

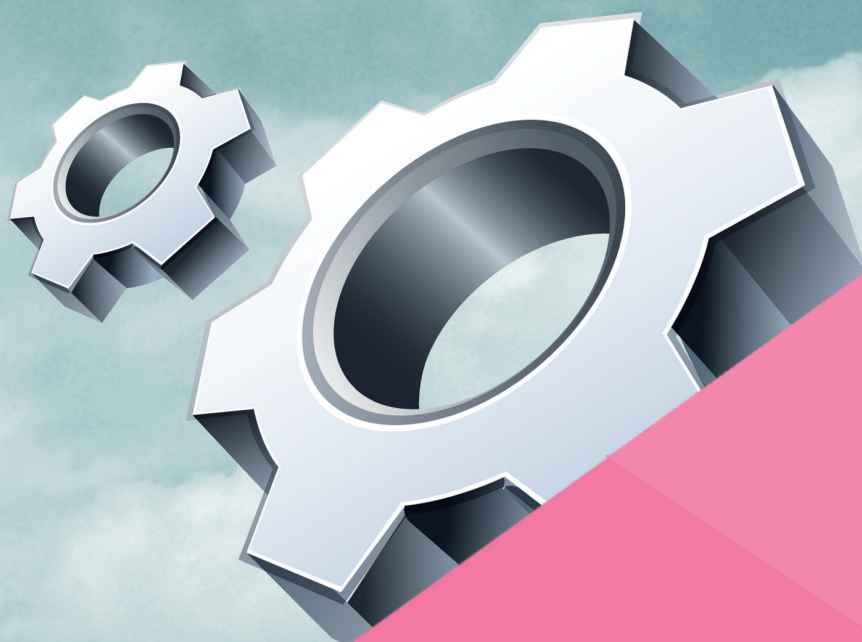
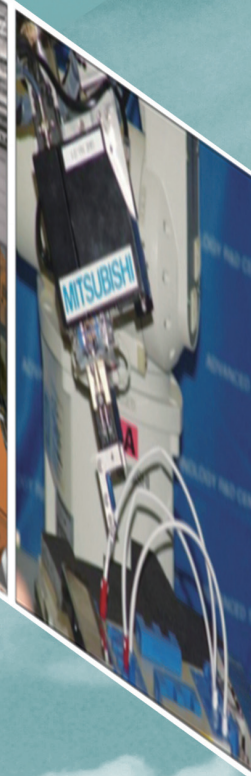
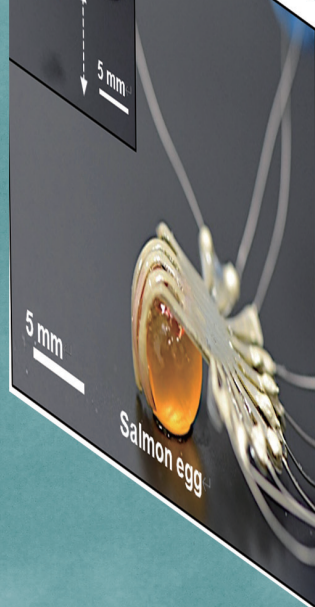


THEME

로봇용 스마트 그리퍼

● 담당위원 : 송성혁 선임연구원(한국기계연구원)

- THEME 01 다품종-변량 생산 공정용 유연 만능 그리퍼 기술 개발 동향
- THEME 02 농업용 그리퍼의 연구 동향
- THEME 03 인간형 로봇 손 개발의 의미와 대표적인 사례 소개
- THEME 04 신소재 기반 가변 강성 소프트 그리퍼 기술 개발 동향
- THEME 05 자동차 산업용 그리퍼 기술



다품종·변량 생산 공정용 유연 만능 그리퍼 기술 개발 동향

송 성 혁 한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 선임연구원

| e-mail: shsong@kimm.re.kr

이 글에서는 스마트 팩토리를 구현하기 위한 핵심 요구 기술 중 하나인 다품종·변량 생산에 대응하기 위한 만능 로봇 그리퍼의 연구 동향에 대해 간략히 소개하고자 한다. 다품종·변량 생산 대응을 위해서는 다양한 형상, 특징을 가진 물체의 안정적인 파지 성능을 구현하는 것이 중요하다. 이를 구현하기 위한 기존 방법들과 한국기계연구원에서 개발한 만능 집게형 그리퍼 연구 내용을 소개한다.

다품종·변량 생산 대응을 위한 그리퍼의 필요성

최근 4차 산업혁명으로 인해 스마트 팩토리 시스템이 도입되면서 다양한 종류의 수요에 신속하게 대응할 수 있는 생산 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 하지만 기존 생산 시스템에서는 미리 정해진 생산 작업 라인의 변경이 어려워, 변화하는 생산 환경에 유연하게 적응하기 어렵다는 문제가 있다. 특히 특정 물품 생산을 위한 전용기를 중심으로 생산 라인이 구성되어 있는 경우, 해당 전용기에서 생산이 가능한 물품의 특성이 매우 제한적인 경우가 많기 때문에 생산 라인의 유연성을 확보하기 어려워진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 높은 자유도를 구현할 수 있는 다관절 로봇을 이용하여 공정 라인을 구성하는 경우가 늘어나고 있다. 다관절 로봇은 그 자체로서 범용적인 특징을 갖기 때문에 간단한 프로그램 변경 및 로봇의 재배치만으로도 손쉽게 공정 구성을 변경할 수 있는 장점이 있다.

하지만 다관절 로봇 자체만으로는 실제 생산 공정에서 작업을 구현할 수 없고, 결국 로봇 말단에 장착되어 실제 대상 물체와 직접 접촉하여 목표 작업을 수

행하는 로봇 엔드 이펙터 기술 또한 뒷받침되어야 한다. 로봇 엔드 이펙터는 크게 물체 파지를 위한 그리퍼 및 석션 컵, 용접을 위한 웰딩 건(welding gun), 툴 체인저, 클램프 등으로 구성되는데, 그 중에서도 물체를 파지하는 것을 목표로 하는 그리퍼 및 석션 컵 시장은 2021년 기준 약 10억 600만 달러로서 전체 엔드 이펙터 시장의 57%를 차지하고 있을 정도로 특히 중요하다(MarketsandMarkets (2021)). 특히 World Robotics 2020 리포트에서는 코로나19 감염병으로 인해 글로벌 공급망의 약화가 발생하였고, 이로 인한 리쇼어링에 대한 요구가 증가하면서 다양한 산업 분야에 대한 로봇 기반 생산 라인 구축이 진행되고 있다고 분석했는데, 이러한 로봇 산업 발전에 필요한 핵심 기술 중 하나로 스마트 그리퍼(smart gripper)를 선정할 바 있다.

문제는 기존의 그리퍼 시스템이 다양한 작업 환경 조건에 공통적으로 적용하기 어렵다는 것에 있다. 이런 이유로 인해 작업 환경 및 작업 종류에 따라, 해당 작업을 가장 효과적으로 수행할 수 있는 각각의 다른 그리퍼를 개별적으로 개발하여 적용하고 있다. 하지만 이런 경우 파지 대상 물체 및 목표 작업의 특성이 조금만 달라지더라도 그리퍼를 새롭게 개발하거나

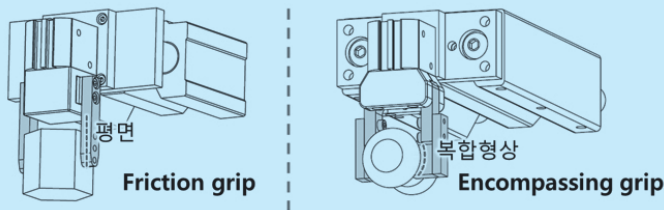


그림 1 집게형 그리퍼의 분류(출처 : <http://www.parker.com>)

그리퍼의 교체 과정이 필요하기 때문에 작업 가능 환경 및 종류를 확장시키는 데 어려움이 있다. 다품종-변량 생산 시스템에 효과적으로 대응하기 위해서는 하나의 그리퍼로 가능한 많은 종류의 물건을 파지하여 기능한 다양한 작업을 수행할 수 있는 기술이 핵심적으로 필요하다. 따라서 다양한 작업 수행이 가능한 만능 그리퍼에 대한 수요가 증가하고 있다.

그리퍼의 분류 및 집게형 그리퍼의 특징

그리퍼의 분류

물체를 파지하는 것을 목표로 하는 그리퍼는 크게 압축력이 인가되어 파지하는 impactive 타입, 표면의 결합력에 의해 파지하는 astrictive 타입, 물체 내부로 침투시켜 파지하는 ingressive 타입, 표면을 접촉시켜 파지하는 contigutive 타입으로 분류할 수 있다 (출처: Gareg J. et al., Robot grippers). 그 중에서 일반적으로 가장 많이 적용되는 타입은 impactive 타입과 astrictive 타입으로서, 일반적으로 진공을 이용하여 표면 결합력을 발생시키는 석션 컵이 astrictive 타입에 속하며, impactive 타입은 그리퍼 팁(jaw)을 이용, 물리적으로 압축력을 인가하여 파지하며, 그리퍼의 팁을 집게처럼 오므려서 파지하기 때문에 집게형 그리퍼(clamping gripper)로 분류하기도 한다. 이

글에서는 주로 집게형 그리퍼를 중심으로 고찰을 진행해 보고자 한다.

집게형 그리퍼의 분류

집게형 그리퍼는 그리핑 팁의 형상에 따라 크게 friction 그립 방식과 encompassing 그립 방식으로 분류가 가능하다. Friction 그립의 경우 그리퍼의 팁을 물체 방향으로 이송시키는 과정에서 발생하는 압축력(compression force)에 비례하여 발생하는 마찰력을 이용하여 물체를 파지하는 방법이다. 마찰력으로 파지하기 때문에 그리퍼 팁과 파지 물체 간의 마찰 계수가 클수록 큰 파지력(holding force)을 구현할 수 있다.¹⁾ Friction 그립 방식은 물체와 평면 형태의 팁 간의 마찰력만 발생시킨다면 되기 때문에 상대적으로 다종의 물체 파지에 용이하며, 파지 전략도 단순하게 구현할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 파지 물체의 무게를 미리 알지 못하는 상황이거나, 파지한 물체에 추가로 외력이 인가되는 상황의 경우 그리퍼 팁을 충분히 강하게 조이는 과정이 필요한데, 이러한 과정에서 물체의 파손이 발생할 위험이 있다. 또한 파손되기 쉬운 물체의 경우에도 충분한 파지력을 구현하기 위한 최소 압축력이 필요한데, 마찰 계수가 낮은 경우 이러한 압축력에 의해서도 물체 파손이 발생할 수 있다는 한계가 존재한다.

Encompassing 그립은 그리퍼 팁의 형상이 파지 물체의 형상과 일치하도록 제작되어 적용된 경우로서, 파지 물체의 형상에 최적화되어 있어 최소한의 압축력으로 높은 파지력을 구현할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 해당 파지 대상 물체의 형상과 다른 형상의 물체를 파지해야 하는 경우에는 파지 효율이 크게 저하되며, 파지가 불가능한 상황도 발생할 수 있다. 또한 파지 대상 물체에 대해 특정 방향으로의 파지를 가정하

1) 일반적인 용어로는 파지력이 이 글에서의 압축력과 동일한 의미로 사용되며, 얼마나 잘 파지하고 있는지를 나타내는 holding force를 표현할 수 있는 용어가 정확히 정의되어 있지 않아서, 이 글에서는 holding force를 파지력으로 기재하였다.

여 팁의 형상이 구성되는 경우가 많아, 해당 파지 방향 및 전략으로만 파지해야 한다는 한계도 존재한다.

유연(soft) 그리퍼의 특징

집게형 그리퍼의 두 가지 타입의 장단점이 명확한 만큼, 이 두 가지 장점을 모두 구현하기 위한 연구 개발이 진행되고 있다. 특히 friction 그립처럼 단순하고 범용적으로 적용이 가능한 특징을 가지면서도 encompassing 그립처럼 대상 물체의 형상과 일치하도록 팁의 형상이 바뀌어 파지 효율성도 증가시킬 수 있는 방법들에 대한 개발이 진행되고 있다. 이를 구현하기 위한 방법들 중에서, 소프트 로봇 기술을 접목하여 그리퍼 팁 및 구동 메커니즘을 유연체로 구성하는 방식에 대한 관심이 높아지고 있다. 물체 파지를 위해 유연한 구조를 가진 팁을 물체쪽으로 이송시켜 힘이 인가되면, 팁의 유연성으로 인해 자연스럽게 물체 형상대로 팁의 형상이 변형되게 된다. 해당 방식에 기반한 각각의 유연 집게형 그리퍼 메커니즘들의 특징에 대해 다음과 같이 비교 분석하였다.

각 유연 만능 그리퍼 종류별 특징

와이어 기반 유연 관절형 그리퍼

유연 집게형 그리퍼는 크게 물체와 직접 접촉하는 그리퍼 팁 구조 전체가 유연체로 구성되는 경우(유연 구조 기반 그리퍼 및 공압 기반 그리퍼)와, 일부 관절부만 유연체로 구성(유연 관절형 그리퍼)되는 경우로 분류할 수 있다. 우선 일부 관절부만 유연체로 구성되는 경우를 살펴보면, 기존 강체 기반의 링크 구조에서는 관절부의 자유도가 제한되어 있기 때문에 다양한 형상대로의 변형에 한계가 있는 것과 달리, 유연 관절부가 보다 다양한 형상으로 변형될 수 있도록 도움을 주어 대상 물체의 형태대로 그리퍼 팁이 적응할 수 있다는 장점이 있다. 사람의 손가락 근육처럼, 팁의 구동은 와이어를 잡아당기는 메커니즘으로 과소 구동



그림 2 와이어 기반 유연 관절형 그리퍼의 종류 : (a) ReFlex 로봇틱 그리퍼(RightHand Robotics사)(출처: <https://www.righthandrobotics.com>, <https://youtu.be/Jwk68AGCHC>); (b) qb SoftHand(qb robotics사)(출처: <https://qbrobotics.com/>)

(underactuation)을 구현하여 적응성을 높인 경우가 많다. 그림 2에서처럼 RightHand Robotics사에서는 유연 힌지부를 와이어 구동부와 결합하여 파지를 구현한 ReFlex 로봇 그리퍼를 출시한 바 있고, qbrobotics사에서는 회전 접촉 기반의 유연 관절 구조를 적용하여 개발된 Pisa-IIT SoftHand에 기반하여 qb SoftHand를 출시하였다.

유연 구조 기반 소프트 그리퍼

유연 구조 기반 소프트 그리퍼는, 유연 소재를 기반으로 설계된 구조체를 그리퍼의 팁 및 구동부에 적용하는 방식으로 구성된다. 집게형 그리퍼와 같이 팁을 물체 방향으로 이송시켜 물체에 힘을 인가하게 되며, 해당 과정 중에 그리퍼의 특수한 유연 구조로 인해 물체 외형대로 그리퍼가 적응(adaptive)하여 파지가 구현된다. 그림 3에서 Festo사의 어댑티브(adaptive) 핑거 구조의 경우, 파지 시 물체와 직접 접촉하는 레이어 부분과 접촉부의 반대편 레이어 구조가 핀 형태의 격자 구조로 연결되는 방식으로 구성되는데, 이러한 구조 설계로 인해 물체에 의해 팁이 눌려지면, 팁의 끝단부가 오므라들면서 파지 물체를 자연스럽게 감싸쥐게 되는 형태로 파지 구현이 가능하다는 장점이 있다. Onrobot사의 소프트 그리퍼(soft gripper)

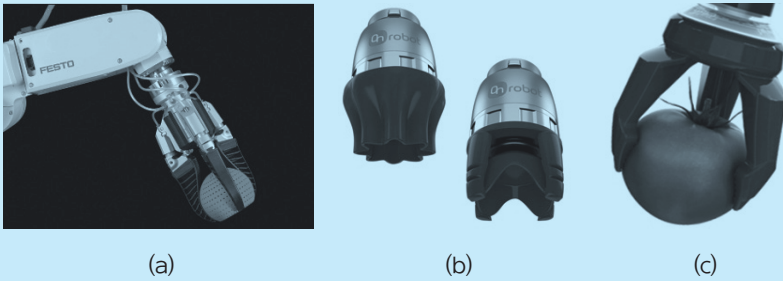


그림 3 유연 구조 기반 소프트 그리퍼의 종류 : (a) 어댑티브 핑거(FESTO사)(출처: <https://www.festo.com>); (b) 소프트 그리퍼(Onrobot사)(출처: <https://onrobot.com>); (c) piSOFTGRIP(piab사)(출처: <https://www.piab.com/suction-cups-and-softgrippers/soft-grippers/>)

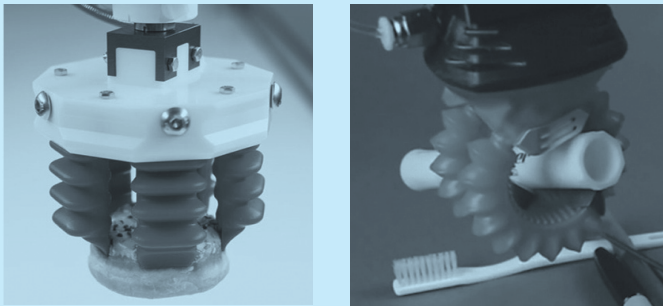


그림 4 공압 기반 소프트 그리퍼 : mGrip 그리퍼(Soft Robotics사)(출처: <https://www.softroboticsinc.com>)

와 Piab사의 piSOFTGRIP의 경우에는 유연 구조체 설계를 통해, 액츄에이터에서 발생시키는 힘 방향이 물체를 파지하는 방향으로 변환되도록 하는 것에 초점을 맞추었다. 그리퍼 상단부 액츄에이터에서 상하 방향으로 힘을 발생시키면, 유연 구조체로 인해 물건을 실제 파지하는 팁이 오르내리는 방향으로 힘의 방향이 전환되며 팁이 이동되도록 구현되었다. 전체 구조체가 유연 소재로 구성되기 때문에 파지 과정에서 마찬가지로 파지 물체에 대해 적응하여 파지가 가능하다. 전체 그리퍼 시스템이 저가로 단순하게 구성이 가능하지만, 각각의 팁을 개별적으로 제어하는 것은 불가능하다는 한계는 있다.

공압 기반 소프트 그리퍼

유연 구조체 자체가 구동원으로서 파지에 이용되는

경우도 있다. 앞서 유연 구조 기반 소프트 그리퍼는 구동원이 그리퍼 팁과 원격지에 배치되어 물체에 힘을 간접적으로 전달하는 구조라면, Soft Robotics 사에서 출시한 mGrip 그리퍼의 경우 그리퍼 팁에 공압이 인가되면 그리퍼 팁이 능동적으로 구동하며 물체를 파지하는 방식으로 작동한다. 그리퍼 팁 내부에는 분할되어 있는 다수의

빈 공간이 한쪽 측면부에 구성되어 있는데, 해당 내부 공간에 공압이 인가되면 부풀어 오르면서 빈 공간이 구성된 반대 방향으로 굽힘 변형이 발생하게 된다. 이렇게 발생하는 굽힘 변형으로 인해 물체 방향으로 팁이 오르내리면서 파지가 구현되게 된다. 구동부 자체가 유연 구조로 구성되어 있고, 공압의 특성상 힘에 대한 적응이 가능하기 때문에 파손되기 쉬운 식품 분야에 적용한 사례가 발표되고 있다. 공압은 각각의 핑거부에 인가하면 개별 제어가 가능하지만 대체로 전체 핑거를 한 번에 구동하는 방식으로 파지한다.

가변 강성 기반 소프트 그리퍼

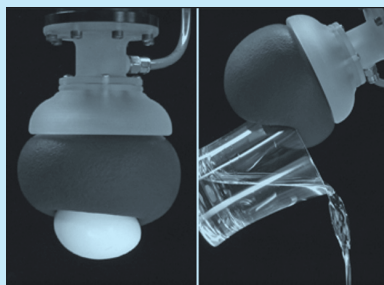
앞서 설명한 유연 구조 기반 그리퍼나 공압 기반 그리퍼의 경우, 그리퍼를 구성하는 소재의 강성이 파지 상황과 관계없이 그대로 유지되기 때문에 그리퍼 자체의 낮은 강성으로 인한 파지 안정성이 저하되는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 구조의 강성을 실시간으로 변경할 수 있는 메커니즘을 적용한 그리퍼가 개발되었다. 강성을 실시간 변화하도록 하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 메커니즘이 재밍(jamming)이라는 방식인데, 밀폐된 주머니 안에 미세 입자나 다수의 적층된 시트를 넣고 진공 펌프로 주머니에 음압(negative pressure)을 인가하게 되면, 주머니가 수축하면서 내부에 위치한 미세 입자들이

나 적층 시트들끼리 서로 모이는 방향으로 힘이 발생하고, 이로 인해 미세 입자들 혹은 적층 시트들 간의 마찰력이 증가하면서 강성이 높아지는 효과를 발생시키는 방법이다. 이러한 방식을 적용한 것이 그림 5에서와 같은 그리퍼인데, 낮은 강성 상태에서 바닥에 위치한 물체를 그리퍼로 누르게 되면 물체 모양대로 주머니의 형상이 변형되고, 그 후 해당 물체 형상대로 단단해지면서 물체를 파지한다. 이렇게 주머니 안에 미세 입자를 가득 넣은 형태를 기반으로 하는 그리퍼들은 대부분 구 형태로 구성되어 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 미세 입자들의 특성상 낮은 강성 상태에서 유체처럼 유동성을 가지기 때문에 유연한 주머니로부터 동일한 초기 압력이 인가되면 구 형태로 재배치되기 때문이다.

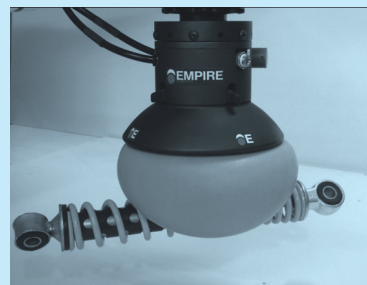
한국기계연구원의 집게형 만능 그리퍼

앞서 설명한 바와 같이, 물체를 파지하는 과정에 있어 파손이 쉬운 물체도 파손 없이 파지를 구현하면서, 파지 동작이 완성된 후에는 안정적인고 높은 파지력을 기반으로 다양한 작업까지 수행할 수 있는 그리퍼를 구현하기 위해 강체와 유연 힌지를 조합한 구성, 유연 구조가 팁으로 이루어진 구성, 강성이 실시간으로 변화하는 구성이 제시되었다. 하지만 강체와 유연 힌지가 조합된 경우 물체 접촉부에 강체가 구성되어 형상 적응에 한계가 있으며, 유연 구조로 구성된 팁의 경우 낮은 팁의 강성으로 높은 파지력 구현에 어려움이 있다. 가변 강성 그리퍼의 경우에는 공 형상에 국한된다는 문제와, 강성이 낮은 상태일 때에도 형상 변형 시 변형 부피만큼 미세 입자가 밀려나는 과정이 동반되어야 하는 점 때문에 초기 강성이 높다는 문제가 있다.

이러한 문제를 극복하기 위해 한국기계연구원에서



(a)



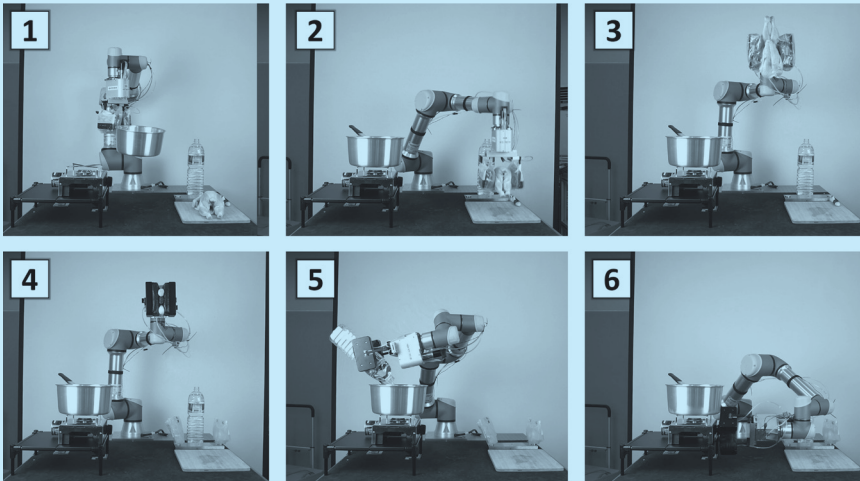
(b)

그림 5 가변 강성 소프트 그리퍼의 종류 : (a) 유니버설 그리퍼(코넬대학교, 시카고대학교)(출처: <https://www.wevolver.com/specs/universal.robotic.gripper>); (b) VersaBall (Empire Robotics사)(출처: <https://newatlas.com/versaball-robotic-gripper/30442/>)

는 레이어 복합재 구조를 가지는 그리퍼 메커니즘을 새롭게 개발하여 그리퍼에 적용하였다. 또한 해당 그리퍼는 강체 기반의 기존 평형 및 각도 그리퍼 플랫폼을 그대로 활용할 수 있기 때문에 구동 안정성 확보에도 용이하다는 장점이 있다. 이 그리퍼는 그리퍼 팁의 초기 강성을 두부 정도로 매우 말랑한 상태로 구현할 수 있도록 하여 일상생활 속 대부분의 물체를 파손 없이 파지하는 게 가능하다. 뿐만 아니라 유연 지지체와 더불어 레이어 형태로 구성된 재밍 메커니즘 덕분에 파지 후 대상 물체의 형상과 일치하도록 변형된 형상이 단단하게 굳어지게 된다. 따라서 그림 1에서 설명한 friction 그립과 encompassing 그립 메커니즘을 동시에 구현하는 게 가능하다. 이러한 특징을 활용하여 딸기, 버섯, 형광등, 포도 등 표면 형상이 복잡하고 파손되기 쉬운 물체까지도 해당 물체의 형상과 일치하도록 변형되어 안정적인 파지가 가능하다. 이러한 성능 덕분에 그림 6에서와 같이 냄비 손잡이를 잡아 가스레인지에 올리고, 생닭을 잡아 무거운 페트병의 물을 붓고, 가스레인지 손잡이를 돌려 불을 켜는 것과 같은 복잡한 작업까지 안정적으로 구현이 가능하다. 만약 물체 파지 상태를 안정적으로 유지하는 것이 어렵다면 물체를 기울이거나 도구를 조작하는 과정에서 물체의 파지 위치가 틀어지면서 물체를 놓치거나



한국기계연구원 집게형 만능 그리퍼로 파지 가능한 대상물 예시



집게형 만능 그리퍼로 일상생활 도구를 다루며 삼계탕 조리과정 일체를 구현

그림 6 한국기계연구원에서 개발한 집게형 만능 그리퍼

작업 수행이 불가능했을 것이다.

맺음말

앞으로도 다양한 산업 분야에서의 로봇 적용을 통한 생산 효율화 구현에 대한 관심이 증대될 것으로 예상된다. 이러한 로봇 기술의 혁신적 파급을 위해서는 하나의 그리퍼로 다양한 산업 분야에 범용적으로 적용이 가능한 만능 그리퍼의 개발이 필수적으로 요구되며, 따라서 앞으로 만능 그리퍼에 대한 관심은 더욱 높아질 것으로 판단된다.

최 태 용 한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 책임연구원

| e-mail: taeyongc@kimm.re.kr

박 종 우 한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 선임연구원

| e-mail: jekiel@kimm.re.kr

김 정 중 한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 선임연구원

| e-mail: rightcore@kimm.re.kr

신 영 식 한국기계연구원 로봇메카트로닉스연구실 선임연구원

| e-mail: yshin86@kimm.re.kr

이 글에서는 농업용 그리퍼의 현재를 살펴보고, 농업 현장, 특히 스마트 팜에서 필요한 농업용 그리퍼 기술의 특징을 살펴보고자 한다. 로봇 적용이 활성화된 산업 분야와 달리 농업 분야는 이제 막 로봇이 적용되기 시작했다. 그마저도 로봇이라고 하기보다는 기존 농기계를 자동화한 수준이다. 기존 농업 트랙터에 자율주행과 첨단 기능을 추가한 것이 대표적 예다. 역사가 짧은 만큼 현재 농업 현장에 바로 적용하기에는 농업용 로봇의 수준이 낮고 농업용 그리퍼도 가야할 길이 멀다. 특히 대상 작물 및 작업마다 다른 특성을 요구하는 농업의 특성상 농업용 로봇의 그리퍼 혹은 작업물은 일반 로봇보다도 훨씬 중요하고 요구 조건도 까다롭다.

농업용 로봇 및 그리퍼 개요

농업의 발전은 인류의 역사와 그 궤를 같이 한다. 인류는 오래전부터 낙농을 시작하면서 병충해에 강하고 수확량이 높은 종자 위주의 의도적 선택으로 종자 개량을 해왔다. 최근에 와서는 유전공학 및 바이오공학 등의 기술 발전에 힘입어 유전자 조작을 통하여 인류에 맞는 종자를 만들어 내는 수준까지 이르러 인류가 종자 개량을 하지 않은 작물을 찾는 것이 더 어려워 지경이다. 이에 더해서 최근에는 줄어드는 농업 노동력 해소 및 농작물의 생육 및 수확까지 최적화하기 위해서 스마트 팜 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내에서는 스마트 팜 개발 및 보급 사업을 통해서 3세대까지 개발·보급이 이루어지고 있다.

스마트 팜은 작물의 환경을 인위적으로 제어하여 농업의 효율성을 높이기 위한 기술로서, 4차 산업혁명 관련 AI, IoT, 빅데이터, 로봇 등의 기술이 적용되

면서 비약적으로 기술이 발전하고 있다. 특히 온도, 습도, 양액 등 작물 생장에 필요한 환경과 관련된 부분은 데이터가 축적되고 자동화가 이루어지면서 우수한 품질의 작물을 대량 생산하는 데 혁혁한 기여를 하고 있다. 하지만 현재 사람이 손으로 관리하는 정밀 농업이라고 불리는 영역은 자동화되지 못했고, 이 중 대표적으로 ‘수확’을 농업용 로봇으로 자동화하기 위한 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다.

정밀 농업을 위한 수확 로봇의 연구는 상용 로봇 팔에 작물을 인식하기 위한 AI 기능 및 센서, 작물을 다루기에 적합한 그리퍼를 개발하여 장착하는 식으로 많이 이루어지고 있다. 이러한 첨단 농업용 로봇의 그리퍼에 요구되는 기능은 정해진 대상물을 반복적으로 취급하는 산업용 로봇에 비하여 범용성이 높아야 하고, 비교적 연약한 작물을 다루기 위한 특수한 구조를 요구한다. 농업용 로봇에 활용하기 위한 그리퍼는 산업용 그리퍼보다 작물의 특성상 범용성이 요구되

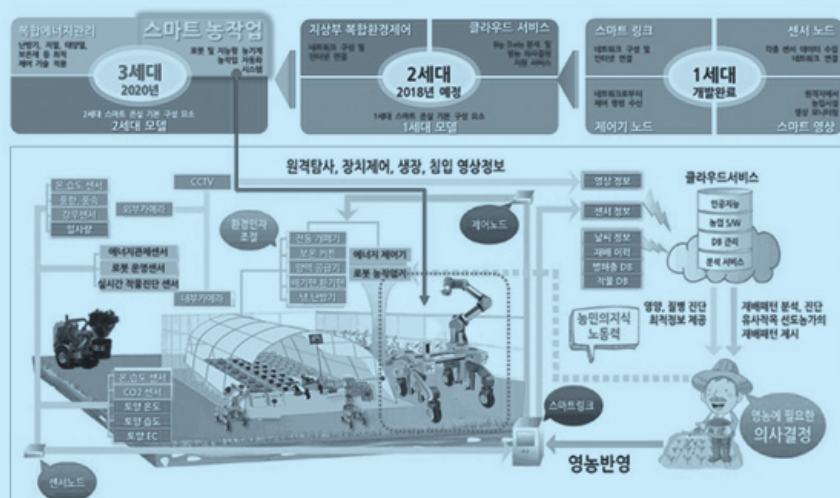


그림 1 스마트 3세대 개념 및 농작업용 농업 로봇 활용 개념도(과기정통부, '시설원예용 농업 로봇 상용화 기술 개발 및 테스트 베드 구축')

지만 현재까지는 다양한 작물보다는 목적으로 하는 단일 작물 대상으로 개발되고 있다. 예를 들어 많이 개발되고 있는 방울토마토 수확용 그리퍼를 보면, 다양한 크기, 다양한 위치의 방울토마토 수확이 가능하도록 개발되지만, 크기가 훨씬 큰 일반 토마토 혹은 크기는 비슷하지만 강도가 현저히 다른 딸기 등에 복수로 활용하기는 어렵다.

주지하고 싶은 것은, 통칭하여 수확용 로봇의 말단 도구를 '그리퍼'로 부르지만 의미상 '그리퍼'보다는 '수확 도구'가 더 정확하다. '그리퍼'라는 용어는 산업용 로봇의 부품에서 따온 것인데, 산업 현장에서 '그리퍼'는 대상을 물리적으로 혹은 공압·전기력·자기력 등으로 쥐고 위치를 옮기는 것이 주요 역할이다. 따라서 '그리퍼'라는 용어가 적합하다. 하지만 농업용 로봇의 '그리퍼'는 단순히 대상을 쥐는 것 이상의 기능을 한다. 작물 수확을 하기 위해서 단순히 작물을 잡는 행위뿐만 아니라 절단·꺾기·비틀 등의 보다 중요한 동작이 추가된다. 이 글에서는 그림에도 통칭되는 '그리퍼'라는 용어를 사용한다.

이 글에서는 먼저 현재 초보적 연구 단계이긴 하지

만 연구 개발 중인 몇 가지 농업용 그리퍼를 살펴보고, 농업용 그리퍼의 발전 방향에 대하여 논한 뒤 글을 맺고자 한다.

농업용 로봇 그리퍼 현황

농업용 로봇의 그리퍼는 크게 고전적인 기계의 메커니즘을 이용한 것과, 다양한 작물의 크기 및 저항성 특성에 대응 가능한 소프트 그리퍼로 구분할 수 있다. 이 글에서는 각각을 '메카닉 그리퍼', '소프트 그리퍼'로 명칭하기로 한다.

메카닉 그리퍼

전통의 농업용 로봇 그리퍼는 메카닉에 기반한다. 기계적 메커니즘에 기반하기 때문에 정밀도 및 속도가 높아서 작업성이 좋다. 다만 전용 그리퍼로서 목적 작물에 한정해서 적용이 가능한 단점이 있다. 또한 정밀 농업이 요구하는 작업을 구현하기 위해서 복잡한 메커니즘을 탑재하여 구현하기가 어렵다. 현재까지는 다수의 그리퍼가 이에 해당한다.

기계적 메커니즘에 기반한 그리퍼 중 가장 상용에 가까운 것은 그림 2의 네덜란드 SWEEPER사의 파프리카 수확용 로봇의 그리퍼이다. 파프리카를 인식하기 위한 센서 및 파프리카 수확을 위한 진동형 톱니를 포함하고 있다. 파프리카와 같이 줄기가 비교적 단단하고 수직으로 자라는 작물의 수확에 적합하게 개발되었다. 시장에서의 적용 가능성이 가장 높은 것으로 평가되고 있지만, 아직까지 적극적으로 활용되지는 못하고 있다.

영국 캠브리지 대학교의 Vegebot의 경우 노지 바닥에 있는 엽채를 수확하는 용도로 개발되었다. 그림 3이 Vegebot을 보여주고 있는데, 로봇 팔은 말단에

장착된 수확용 그리퍼를 옮기는 역할만 하며, 수확에 관련된 모든 알고리즘과 동작은 그리퍼가 다 수행한다. ‘그리퍼’라는 용어보다는 ‘수확기’라는 용어가 더욱 적합한데, Vegebot의 그리퍼 또한 지면의 엽채의 위치를 인식하기 위한 센서를 포함하고 엽채를 수확할 수 있는 특수한 메커니즘에 기반한 기구부를 갖춘 것을 특징으로 한다.

미국 Iron OX사는 식물 공장의 활용을 목적으로 그림 4와 같은 수확용 로봇을 개발하였다. 이 로봇에 장착된 그리퍼는 일반적인 1자유도 그리퍼로 기계 메커니즘상의 특징이 없다. 범용의 그리퍼를 이용하여 구조화된 식물 공장의 배치에서 재배된 엽채를 수확하는 것

을 목적으로 한다. 식물 공장에서 재배하는 엽채는 개개의 경계가 뚜렷하고, 일정한 위치로 배치되어 있으며 그리핑을 위한 기구물도 갖출 수 있어서 자동화에 매우 유리하다.

Tevel은 드론을 이용한 수확 로봇으로 유명한 기업이다. 그 외에도 그림 5와 같은 방울토마토 수확을 위한 로봇도 개발하였는데, 일반 산업용 로봇에 일반 그리퍼를 사용하였다. 앞서 식물 공장의 경우와 달리 시설 원예의 경우에는 환경의 상당 부분이 자동화되고 제어됨에도 불구하고 통상 작물 자체는 구조화되지 않아서 수확이 힘들다. 이 경우 사용된 그리퍼로는 제한된 조건의 방울토마토를 쥐고, 비틀어서 따는 것은 가능하지만 수확의 질을 전혀 보장하지 않으며 수확 자체의 신뢰성이 극히 낮은 경우다.

소프트 그리퍼

기계적 메커니즘 기반의 그리퍼는 그 특성상 다양

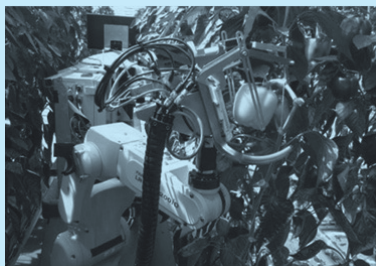


그림 2 파프리카 수확용 로봇(SWEEPER)



그림 3 Vegebot의 노지 엽채 수확용 그리퍼 (케임브리지 대학교)



그림 4 식물 공장의 엽채 채취용 그리퍼 (Iron OX)



그림 5 방울토마토 수확용 그리퍼(Tevel)

한 크기 및 다양한 위치에 열리는 작물에 대응하기 위해서 복잡한 구조가 필요한 경우가 많다. 정형화되지 않은 크기 및 위치의 작물을 수확하기 위한 가장 간단한 방법으로 소프트 그리퍼가 최근 주목받고 있다. 소프트 그리퍼는 그리퍼 자체에 탄성이 있어서 마치 폭신한 스펀지로 작물을 잡는 것과 같은 효과를 일부 낼 수 있다. 반면 정밀한 위치 조작이 불가능하고 동작 속도가 느린 단점이 있다. 그리고 일부의 경우 소프트 그리퍼의 컴플라이언스를 공압으로 구현하는 경우가 있어서, 주변 장치 때문에 이동 로봇 장착이 어려운 단점이 있다. 소프트 그리퍼는 그리핑 위치가 정밀하게 결정되지 않는 특성상 정밀한 작업을 요구하는 ‘수확’을 위한 별도의 메커니즘을 포함하지 않는 경우가 대부분이다. 대신 소프트 그리퍼로 수확할 때는 작물을 쥐고 비틀거나 꺾어서 따는 방법을 취하는데 이 경우 작물에 따라서 상품성이 낮아지는 경우가 많은 단점이 있다. 그럼에도 농작물이 가지는 형태의 비정형



그림 6 방울토마토 수확용 소프트그리퍼 (Root AI)

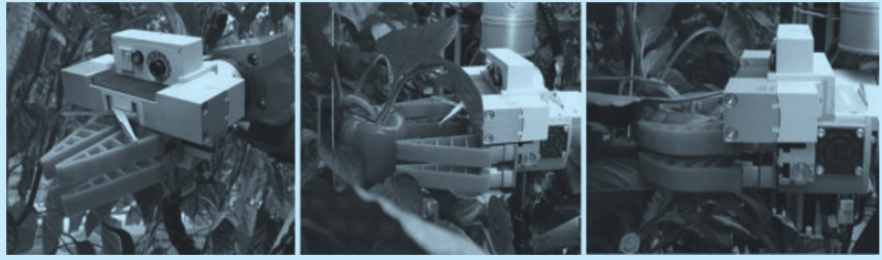


그림 7 Fin-Ray 타입 소프트 그리퍼(Wageningen Univ.)



그림 8 한국기계연구원에서 개발한 소프트 그리퍼 기반의 작물 수확 로봇

성, 위치의 비결정성, 파손 가능성 때문에 소프트 그리퍼는 농업용 로봇의 그리퍼로서의 활용성이 높아 최근 전 세계적으로 연구가 활발히 이루어지고 있다.

그림 6의 Root AI사의 방울토마토 수확용 로봇의 그리퍼는 탄성을 가진 플라스틱 계열의 물질로 만들어진 세 개의 주걱으로 이루어져 있다. 세 개의 주걱을 벌리고 조이면서 방울토마토를 잡는 방식이다. 세 개의 주걱을 벌리고 조이는 것은 후단에 있는 선형 동

작을 하는 한 개의 축에 의존하는 단순하면서 효과적인 메커니즘을 활용하고 있다. 동사의 다른 개발 사례에서는 두 개의 주걱을 이용하기도 했었다.

그림 7의 네덜란드 Wageningen 대학의 파프리카 수확용 소프트 그리퍼는 Fin-Ray 타입으로 개발되었다. 수직 방향 대상의 형태에 맞추어 양쪽의 소프트한 재질의 Fin-Ray가 조여주는 방식이다. 다양한 형태 및 크기의 파프리카를 쥐기에는 적합하나 수확에는 부적합하다. 파프리카는 줄기가 비교적 강한 편에 속해 단순히 작물 그리핑 후 비틀고 뜯는 방식으로 수확하면 작물의 손상 확률이 매우 높다. 별도의 수확 메커니즘이 필요한 경우다.

그림 8은 한국기계연구원에서 개발한 토마토 수확용 농업용 로봇의 그리퍼다. 협동 로봇용 그리퍼 및 말단장치 전문기업인 덴마크 OnRobot사의 소프트 그리퍼를 적용했다. 앞서 Fin-Ray 타입 소프트 그리퍼가 실린더와 유사한 수직 방향 형태의 작물 그리핑에 유리하다면, 이 소프트 그리퍼는 동그란 형태의 토마토, 사과, 배 등의 작물 그리핑에 적합하다. 다만, 이 경우에도 그리핑 후 비틀고 뜯는 방식이기 때문에 작물의 특성에 따라 손상 확률이 있다.

이상으로 기계적 메커니즘 기반의 농업용 그리퍼와 소프트 그리퍼의 최신 개발 동향을 살펴보았다. 두 가지 방향 다 몇몇 제한적인 경우를 제외하고 아직까지는 연구 수준이다. 수확 속도가 사람에 비해서 현저히 느리며, 수확 후 작물의 상품성을 보장하지도 못한다. 다음 장에서는 현재 연구 초기 단계인 농업용 그

작물인식	수확위치 이동	수확
• 동작주체 : 비전센서 • 역할 : 작물 위치, 성숙도 등 인식	• 동작주체 : 로봇팔 • 역할 : 수확가능한 위치로 이동	• 동작주체 : 그리퍼(수확도구) • 역할 ①작물 세부 위치 인식 ②수확동작(잡기,비틀기,자르기 등) ③수확된 작물 그리핑

그림 9 농업용 로봇의 수확 작업 절차

리퍼의 발전 방향에 대해서 살펴보려고 한다.

농업용 그리퍼의 발전 방향

앞서 현재까지 정밀 농업에 위해서 연구되고 있는 농업용 로봇 그리퍼 혹은 수확 도구에 대해서 사례 위주로 알아보았다. 농업용 로봇 자체가 이제 막 연구가 이루어지고 있는 기술이기 때문에 농업용 그리퍼의 기술 수준 또한 초보 수준이다. ‘수확’이라는 동작을 하기 위해서 로봇 팔은 어떤 역할을 하고 그리퍼는 어떤 역할을 하는 것이 좋은지 등의 체계 자체도 명확하지 않다. 현재까지 로봇 팔은 단순히 그리퍼의 위치를 옮겨주는 역할만 하고 그리핑과 수확을 모두 말단에 장착된 ‘그리퍼’ 혹은 ‘수확 도구’에 의존하는 방식으로 개발하고 있다. 이는 근본적인 문제가 있다. 그리퍼는 로봇 말단에 장착되기 때문에 무게 제한이 있고, 좁은 영역의 작물을 수확하기 위해 크기 제한이 있음에도, ‘수확’이라는 중요하고 복잡한 기능이 온전히 그리퍼에 집중되고 있다는 것이다. 앞서 그림 3의 캠브리지 대학의 상추 따는 로봇 Vegebot의 그리퍼는 수확을 위한 로봇 전체 기능에서 그리퍼에 대부분의 기능이 집중된 대표적인 비대칭적 사례다.

정밀 농업에 해당하는 ‘적엽’, ‘적과’, ‘수확’ 등은 단순히 그리퍼를 목적 위치로 움직인 후 단일 동작만으로 작업이 완결되지 않는 경우가 많다. 특히 작업의

질을 고려했을 때는 더욱 동작이 복잡하다. 그림 9에서 일반적인 정밀 농업에 사용되는 농업용 로봇의 수확 동작을 순차적으로 도식화하였다. 이 글에서는 그리퍼의 역할 및 동작에 제한하여 살펴보기 때문에, 시설 및 농장 전체 단위에서 농작물을 관리하고 수확기를 파악하고, 수확 계획에 의해서 목적 작물 앞으로 이동하는 전처리 동작은 배제하였다.

수확을 위해서 농업용 로봇이 작물 앞에 위치한 후 첫 번째 단계는 대상 작물의 설정 및 인식이다. 현재 위치에서 인식할 수 있는 수많은 작물 중에서 수확을 위한 목적 작물을 설정하고 위치를 파악하는 단계이다. 경우에 따라서는 작물의 성숙도도 이 단계에서 파악하기도 한다. 이때 로봇에 장착된 영상 센서 혹은 그리퍼에 장착된 핸드아이 등이 적극적으로 사용된다.

로봇 좌표계에서 대상 작물의 위치가 파악되면, 두 번째 단계는 그리퍼를 수확이 가능한 위치로 이동시키는 것이다. 이때는 로봇 팔이 주요 역할을 담당한다. 경우에 따라서 시각 서보잉(visual-servoing) 기능이 활용되기도 한다. 작물을 그리퍼로 수확이 가능한 미리 계산된 위치로 로봇 팔이 그리퍼를 옮기고 나면, 세 번째 단계로 수확을 하는 것이다. 이때 ‘수확’이라는 것은 단순하고 쉬운 ‘수확’이라는 단일 동작으로 끝나지 않는 경우가 대부분이다. 앞서 예를 든 파

프리카 수확용 로봇인 SWEEPER는 특수 고안한 진동칼로 파프리카의 줄기를 잘라서 파프리카를 아래의 채집기에 떨어뜨리는 방식을 취한다. 실제로는 ‘그리핑’ 동작이 없다. 비교적 수확이 쉬운 방울토마토의 경우에는 기계적 메커니즘에 의한 그리퍼든 소프트 그리퍼든 방울토마토를 그리핑한 후 잡아당기거나 비틀어서 줄기에서 방울토마토를 분리시킨다. 이때 수확된 방울토마토의 파손 여부나 꼭지의 상태 등에 따라서 상품성이 문제가 될 수 있다.

농업용 로봇에서 그리퍼가 중요해진 것은 정밀 농업에 해당하는 여러 작업을 하기 위함이다. 현재의 농업용 그리퍼 중 메카닉 그리퍼는 할당된 무게와 공간을 넘어서 무거워지고 커지고 복잡해지고 있음에도 요구되는 ‘그리핑+수확’ 기능을 제대로 하지 못하고 있다. 소프트 그리퍼는 단순히 ‘그리핑’ 기능만 구현하고 ‘수확’은 회피하고 있다. 이런 문제를 해결하기 위해서 그리퍼는 ‘그리핑’ 기능에 한정해서 기능을 구현하고, ‘수확’은 별도의 ‘수확기’를 통해서 하는 것이 적합하다. 사람으로 치면 한 손은 단순 그리핑 및 수확한 작물의 이동 역할을 하고, 다른 손은 수확을 한다. 현재의 농업용 로봇은 경제적 이유, 공간적 이유, 에너지 문제 등으로 하나의 로봇 팔만을 고집하고 있다. 하나의 로봇 팔에 장착된 그리퍼에 ‘그리퍼’+‘수확기’ 기능을 담다 보니 기능이 떨어지고 범용성도 떨어진다. 특정 작물에만 적용이 가능한 전용기로 개발되고 있고 그마저도 기능이 떨어진다. ‘그리퍼’와 ‘수확기’ 기능을 분리하여 개발하면 기능 확장의 여지가 생기고, 마치 사람이 그러하듯이, 하나의 로봇을 다양한

작물에 적용하는 것이 가능할 것이다.

맺음말

최근의 전 지구적 기후 위기는 각국의 먹거리 문제, 농산물 문제의 중요성을 일깨워주고 있다. 스마트 팜과 농업용 로봇은 농업 생산성을 높여줄 기술로 최근 그 중요성이 부각되고 있다. 스마트 팜은 개발된 기간이 비교적 길어서 안정된 기술로 평가받지만, 농업용 로봇은 이제 막 연구가 시작되는 단계다. 농업용 로봇에서 기술적 난제로 인식되고 있는 것은 정밀 농업에 필요한 사람의 손을 대체하는 기술이다. 이를 해결하기 위해서 농업용 그리퍼에 대한 연구 개발이 이루어지고 있지만 혁신적인 기술 개발보다는 목적 작물의 특성에 맞는 맞춤형 개발이 이루어지고 있다. 이 또한 성능이 부족하여 현재까지는 연구 수준에 머무르고 있다.

농업용 그리퍼는 ‘그리퍼’뿐만 아니라 ‘수확기’의 역할도 포함하는 식으로 연구가 되면서 기능 확장 및 고도화에 한계를 보이고 있다. 이를 해결하기 위해서는 로봇 팔의 개선을 통해서 ‘그리퍼’와 ‘수확기’를 분리하여 개발하고 또한 기능적으로 범용성을 갖추으로써 현장 활용성까지 높일 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음.(과제번호 321059-2)

김 의 겸 아주대학교 기계공학과 조교수

| e-mail: ukim@ajou.ac.kr

이 글에서는 인체에서 가장 복잡한 구조를 지닌 인간 손을 모사하여 개발된 인간형 로봇 손 연구에 대한 대표적인 사례를 소개하고자 한다.

인간 손의 다양한 기능과 복잡성을 달성하는 것은 공학뿐만 아니라 의학, 철학, 문학, 종교 및 예술을 포함한 다양한 분야에서 많은 연구자들의 목표이다. 이렇게 큰 의미를 갖는 이유는 인간 손의 감각 기능(진동, 압력, 힘, 표면 질감, 온도, 능동/수동적 탐색 등), 운동 기능(잡기, 밀기, 당기기, 조작 등), 사회적 기능(악수, 경례, 위협 및 매우 다양한 종류의 몸짓) 등 매우 방대한 기능을 담고 있기 때문이다.

인간 손의 극도로 복잡한 기능을 해석하는 것은 로봇 공학 분야에서 해결되지 않은 과제로 남아 있다. 특히, 사람 손의 움직임은 자유도가 상당히 높기 때문에 미세한 물체를 잡는 것부터 도구의 복잡한 조작까지 가능하며, 섬세하거나 강한 파지력을 요하는 다양한 작업을 수행하는 데 적합하다. 인체에 있는 206개의 뼈 중 손에 있는 뼈는 54개로 전체 뼈의 4분의 1에 해당하며, 움직이는 근육 구조도 매우 복잡하다. 더불어, 촉각을 가능하게 하는 촉각 소체(tactile corpuscle)는 대부분 손에 분포되어 있어 섬세한 작업 수행이 가능하다. 이러한 부분들이 로봇 공학에서는 인간형 로봇 손의 개발이 가장 어려운 과제 중 하나로 꼽는 이유가 된다.

로봇 기술을 사용하여 이러한 기능들 중 복잡한 운동 기능을 구현하기 위해 많은 로봇 손들이 개발되어 왔다. 효율적인 파지 동작을 수행하기 위해 적응형 파지 기능 또는 낮은 자유도(degree-of-freedom)를

갖는 효율적인 구동 방식의 다양한 로봇 손들이 개발되었다. 그러나 이 글에서는 인간 수준의 움직임을 달성하기 위한 고 자유도를 갖는 로봇 손에 초점을 맞춰 분석하였다.

현재까지 개발된 인간형 로봇 손들의 대표적인 핵심 메커니즘(mechanism)은 모터 직접 구동(motor-direct-driven) 메커니즘, 힘줄 구동(tendon-driven) 메커니즘, 링크 구동(linkage-driven) 메커니즘, 이와 같이 크게 세 가지로 분류된다.

첫 번째로, 모터 직접 구동 메커니즘을 기반으로 개발된 로봇 손은 관절(joint)을 모터와 직접적으로 연결하여 구동하거나 기어나 타이밍 풀리(timing pulley)를 이용하여 관절의 움직임을 모터의 움직임에 직관적으로 연결한 구조이다. 이러한 구조는 관절 구동 효율이 높고 관절을 원하는 위치에 쉽게 배치할 수 있다. 특히, Johns Hopkins APL에서 개발한 MPL v2.0은 22DOF의 구동 자유도를 갖는 높은 민첩성과 구동기(actuator)와 전자 장치를 통합하여 콤팩트한 디자인을 보여준다. 더불어, 이 로봇 손은 인간 수준의 자연스러운 움직임과 촉각 피드백이 가능하다. 그러나 이러한 구조 기반 로봇 손의 크기와 성능은 구동기의 스펙에 매우 의존적이다. 고급 사양의 모터나 구동력 전달 부품을 사용하면 비용이 증가하며, 모터의 무게로 인해 손가락의 관성이 높아 복잡한

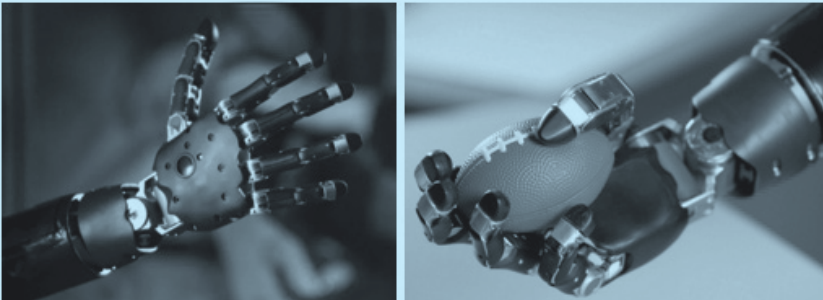


그림 1 미국 Johns Hopkins APL에서 개발한 MPL v2.0 로봇 손

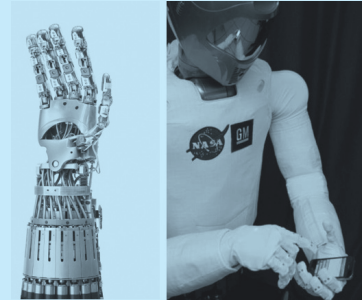


그림 2 미국 NASA에서 개발한 Robonaut II Hand

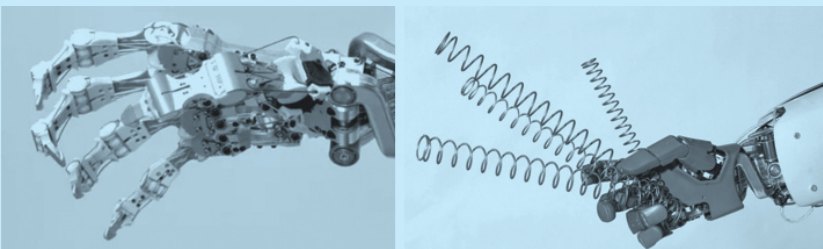


그림 3 독일 DLR에서 개발한 David Hand



그림 4 영국 Shadow Robot Company에서 개발한 Shadow Dexterous Hand

제어 메커니즘이 필요하다. 또한, 손가락 사이의 공간이 좁아 힘 센서를 손가락에 배선하기 어렵다. 따라서 구동기 기술의 혁신 없이는 소형화 및 고성능화를 달성하기 어렵다고 판단된다.

다음으로 힘줄 구동 메커니즘에 기반한 로봇 손이다. 이 메커니즘은 인간의 구동 메커니즘과 가장 유사하다. 일반적으로 구동기는 팔뚝에 위치하며 힘줄 역할을 하는 와이어가 관절과 연결되어 구동력을 전달

한다. 미국 NASA에서 개발한 Robonaut II Hand, 독일 DLR에서 개발한 David Hand, 영국 Shadow Robot Company에서 개발한 Shadow Dexterous Hand가 이러한 메커니즘을 가진 대표적인 손이라고 할 수 있다. 사람의 손과 매우 유사한 움직임을 구현하고 힘줄의 연결 구성에 따라 강력한 파지력을 출력할 수 있다. 휴머노이드 로봇의 전신을 개발할 때 매우 적합한 접근 방식이라고 판단된다. 그러나 이러한 로봇 손은 로봇을 구동하는 구동기와 전기 부품들이 상당히 큰 팔뚝 형태로 부착되어 있기 때문에 기존의 상용 로봇 팔이나 개발 중인 많은 로봇 팔과 결합하여 사용하는 것이 어렵다. 또한, 여러 개의 힘줄이 연결된 관절의 독립적인 구동을 위해서는 힘줄이 관절의 회전축을 가로지르는 구조나 특수한 힘줄 연결 구조가 필요하며, 이로 인해 조립 및 유지보수가 복잡해져 비용이 증가한다. 하나의 힘줄이 부러지거나 풀려도 수리가 어렵다. 또한, 인간의 관절 구동과 같은 양방향(antagonistic) 메커니즘을 위해 두 개의 힘줄이 하나의 관절에 연결되는 경우, 힘줄에 프리스트레인(pre-strain)이 가해져야 한다. 이는 마찰 증가로 인한 구동 효율 저하로 이어진다. 하나의 관절에 하나의 힘줄만 연결되어 있는 경우 반대 방향으로 이동하도록 회귀(return) 스프링이 필요하다. 이 메커니즘에서는 스프링에 의해 정밀한 힘 제

어가 어려워진다.

마지막으로 링크 구동 메커니즘은 일상 생활에서도 많이 활용되는 메커니즘이며, 이를 기반으로 개발된 손은 구동기의 동력을 전달하기 위해 여러 링크들을 결합한 구조를 활용하여 원하는 방향으로 관절의 움직임을 구현하였다. 독일 Schunk에서 개발한 Schunk SVH 5-finger Hand는 이러한 메커니즘의 대표적인 예라고 할 수 있다. 단순한 형상의 링크들의 조합으로 구성되어 있으며, 관절의 양방향 제어, 견고성, 제조 및 유지보수 용이성 등의 장점이 있다. 하지만 손가락과 같은 얇고 긴 구조 안에서 고 자유도의 링크 조합을 설계하는 것과 충분한 작업 반경을 확보하는 것은 어려운 일이다. 따라서 상대적으로 고 자유도와 충분한 파지력을 확보하는 것에 어려움이 있다. 따라서 이 메커니즘은 현재까지 스튜어트 플랫폼(Stewart platform)이나 델타 로봇(delta robot)과 같은 병렬(parallel) 메커니즘이나 낮은 자유도를 가진 메커니즘에서 자주 사용된다.

위의 링크 구동 메커니즘 기반으로 최근에 개발된 로봇 손의 사례가 있다. 국내 아주대-KIMM에서 개발한 ILDA Robotic Hand는 링크 구동 메커니즘을 기반으로 움직임 구현 및 촉각 감지에 필요한 모든 구성 요소를 손바닥 안에 통합하고 높은 자유도를 보유하고 있다. 인간의 손과 유사한 자유도(15DOF)를 가지며 강한 파지력(34N의 손끝 힘) 및 콤팩트한 올인원 로봇 손(218mm의 최대 길이, 1.1kg의 무게)이며, 섬세한 작업을 위한 촉각 감지 기능이 탑재되었다.

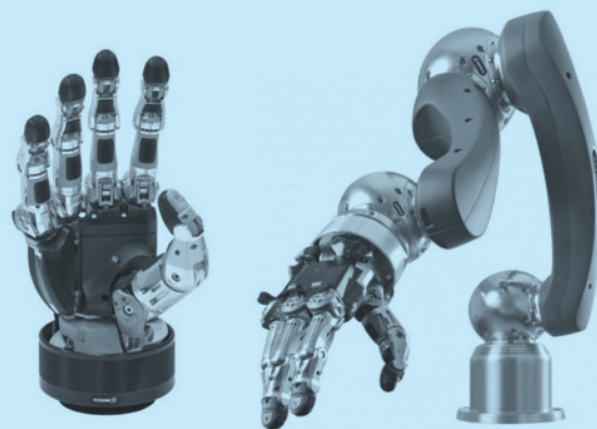


그림 5 독일 Schunk에서 개발한 Schunk SVH 5-finger Hand

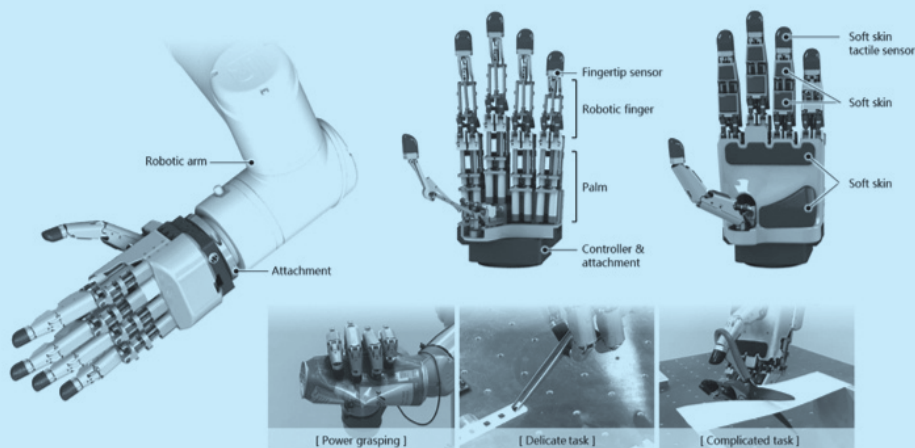


그림 6 국내 아주대-KIMM에서 개발한 ILDA Robotic Hand

ILDA Robotic Hand는 다양한 형상의 물건을 파지하는 게 가능하며, 알루미늄 캔을 찌그러뜨리고, 섬세하게 계란을 잡을 수 있다. 더욱이 가위로 종이를 자르고, 핀셋으로 작은 물건을 집는 등 일상생활에서 수행되는 도구 조작이 가능하다. 하지만 인간 손과 비교하여 유연성이 떨어지고 엄지에 대한 자유도가 부족하여 인간 손 수준의 작업을 하기에는 모자람이 있다고 판단된다.

고 제 성 아주대학교 기계공학과 부교수

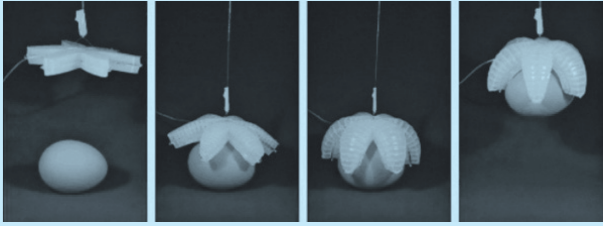
| e-mail: jskoh@ajou.ac.kr

이 글에서는 기존의 강성 그리퍼로 파지가 힘든 형상, 크기를 가진 물체를 파지하거나, 물체에 손상을 줄 수 있는 문제가 있는 경우 적용할 수 있는 소프트 그리퍼 연구 개발 동향에 대해서 간략히 소개하고자 한다. 이러한 문제를 다양한 재료, 설계로 해결해 나아가고 있는데, 그중 신소재 기반 가변 강성 소프트 그리퍼에 대해서 알아보도록 하겠다. 필요에 따라 그리퍼의 강성이 유연했다가 강해지면서 적응적으로 파지를 하되 높은 파지력을 얻는 데 유용한 기술이 될 것이라 생각한다. 그리고 파지 물체의 크기에 있어서도 신소재 기반 소프트 그리퍼의 제작 크기의 범위가 넓기 때문에 작은 물체의 파지에도 한계 범위를 넓힐 수 있으며, 다양한 센서 탑재를 통한 센싱 기능의 추가도 시스템의 큰 형상 변화없이 가능할 수 있을 것이다.

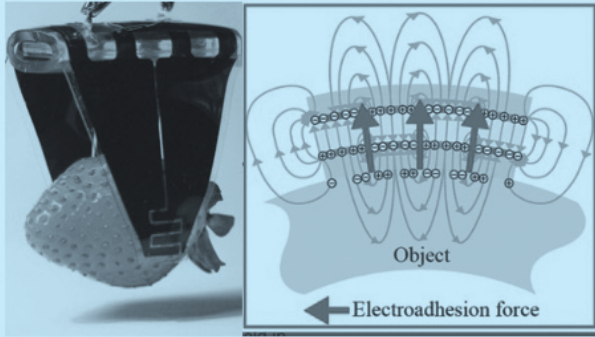
가변 강성 소프트 그리퍼의 필요성

기존 자연계나 산업계에는 다양한 형상 및 용도로 사용되는 그리퍼들이 존재한다. 자연계에 존재하는 그리퍼는 사람의 손과 코끼리의 코 등을 쉽게 떠올릴 수 있다. 산업적으로는 소프트 로봇, 수술용 그리퍼들이 개발되고 있으며 이들의 목적은 대상을 잡아 옮기거나 특정한 위치에 단단하게 고정하기 위함이다. 현재 산업에서 널리 사용되는 그리퍼들은 다관절 형태의 단단한 재료를 기반으로 제작되고 있으며 강성 조절이 불가능한 단일 물질로 이뤄져 마이크로 단위의 작고 부드러운 손상이 쉬운 대상에 적용하는데 한계를 가진다. 예를 들어, 달걀이 깨지지 않도록 부드럽게 잡아 옮기거나 미세한 세포(난자, 지름: $200\ \mu\text{m}$), 사람의 조직, 혈관 등을 상처 없이 잡아 단단히 고정시키기에는 기술적 한계를 가지고 실험 실패 확률 또한 높다.

의료, 산업 분야에서 사람의 손이나 자연계에 존재하는 그리퍼들의 기능을 모방하여 산업적으로 사용할 수 있는 다양한 그리퍼가 개발되어 왔다. 이를 위해 유공압 및 전기 모터가 사용되고 정밀 제어를 위해 복잡한 회로를 요구한다. 그러므로 큰 스케일의 그리퍼들이 대부분이며 단단하고 무거운 물질을 잡을 때는 적합하지만, 작은 스케일의 복잡한 형상 및 부드러운 물체를 잡기에는 부적합하다. 예를 들어 인공 수정의 경우, 난자를 특정한 위치에 단단히 고정하여 수정을 해야 하지만 현재의 그리퍼 기술로는 작은 세포 단위의 물체를 잡을 수 없고 잡는다고 할지라도 단단한 물질로 이루어져 난자가 상처를 받는다. 이를 해결하기 위해 정전기력을 이용하여 난자를 고정시키지만 수정 단계에서 움직임이 많아 인공 수정 실패 확률의 주요 요인이 되고 있다. 이를 해결하기 위해, 국내외 유수의 연구실들이 가변 강성(variable stiffness) 키워드 아래 다양한 연구를 수행하고 있다.



(a) F. Ilievski et al., Angewandte Chemie (2011)

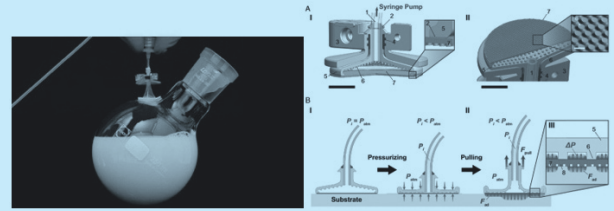


(c) J. Shintake et al., Advanced Materials (2015)

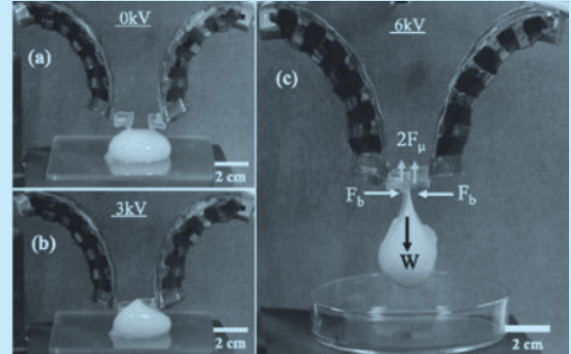
그림 1 다양한 구동 메커니즘을 이용한 소프트 그리퍼

다양한 형태의 소프트 그리퍼

소프트 그리퍼의 특징은 다양한 형상의 물체를 형상에 상관없이 그리퍼가 형상에 적응하여 파지력을 생성하고 부드럽게 대상 물체와 접촉을 한다는 것이다. 따라서 그림 1에서와 같이 형상이 굴곡지거나, 물체가 깨지기 쉽거나 변형이 크게 일어나는 물체를 파지하는 그리퍼로 응용 분야를 넓히고 있다. 그리고 그리퍼의 형상 및 구조가 간단하여 복잡한 메커니즘의 제작이 필요 없는 구조적 특징을 가진다. 단순한 구조는 제작 및 설계에 있어 복잡성을 줄임으로써 그리퍼의 가격을 낮추고 제작 수월성을 높일 수 있다. 기존의 그리퍼로 정밀한 힘의 제어가 필요했던 달걀, 과일, 젤리와 같은 물체의 변형 또는 손상이 일어날 수 있는 대상에 있어 소프트 그리퍼는 구조적 유연성을 이용하여 대상물의 손상 없이 파지가 가능하게 된다. 그리고 표면의 형상이 굴곡져서 정확한 파지점을 찾



(b) S. Song et al., PNAS (2017)



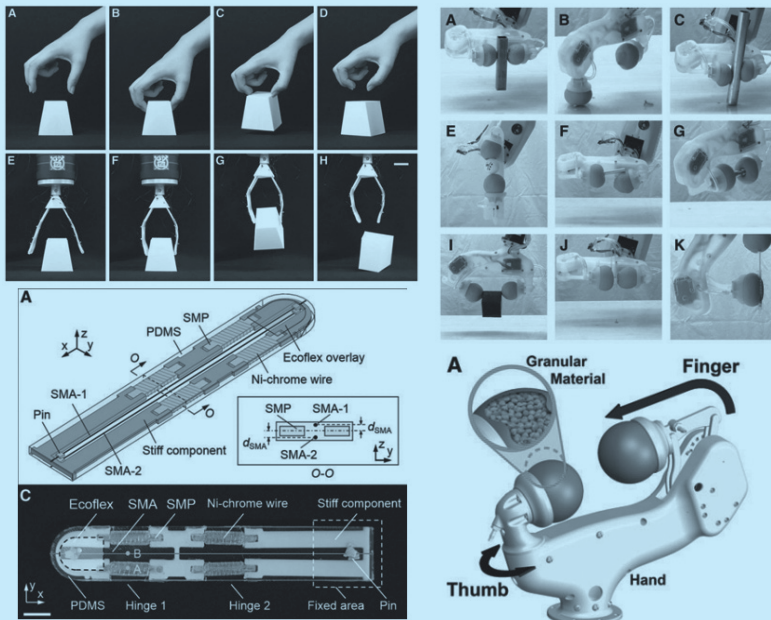
(d) C.-K. Lau et al., Applied Physics Letters (2017)

기 어려웠던 물체 또한 표면 형상에 적응하여 파지를 할 수 있는 특징을 가진다.

이를 위해 소프트 폴리머 기반 유공압 방식, 정전식 접착 및 구동, 건식 접착 방식 등 기존의 전자기력 기반 모터 구동에서 벗어난 구동 및 접착 메커니즘이 쓰이게 된다. 이는 정확하고 정밀한 힘, 위치 제어는 힘들지만, 단순한 구동 및 유연한 구동을 통한 수동적 적응력을 통해 파지 가능성을 높이게 된다.

가변 강성 소프트 그리퍼

소프트 그리퍼의 유연한 특성의 장점을 이용하되 높은 파지력 및 제어 특성을 부가하기 위해 최근 가변 강성 물질의 개발이 활발히 진행 중에 있다. 그림 2에서와 같이 유연한 특성이 필요할 때에는 낮은 강성을 가지도록 하고, 파지력을 높이기 위해서는 높은 강성을 가지도록 재료적, 구조적 특성을 조절할 수 있는



(a) W. Wang et al., Soft Robotics (2017) (b) John et al., Soft Robotics (2017)

그림 2 가변 강성 신소재를 이용한 소프트 그리퍼

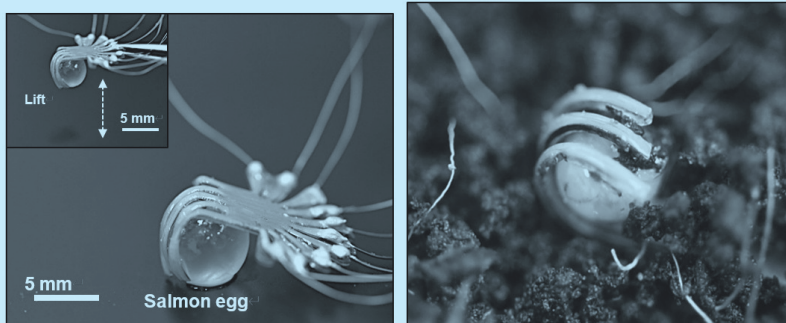


그림 3 형상 기억 폴리머와 초민감 크랙 기반 센서를 이용한 초소형 다기능 가변 강성 그리퍼(출처: Noh et al., Science Robotics (2021))

그리퍼가 개발되고 있다. 형상 기억 합금의 온도에 따른 강성 차이를 이용하여 구조의 형태 변형 및 강성 변화를 일으켜 적응력과 파지력을 필요에 따라 조절하는 연구가 발표되었다. 가루 형태의 재료를 폴리머 주머니에 넣어 진공 상태로 만들면 구조의 강성이 높아지고 표면의 수축 특성이 생기게 되어 자유롭게 변형되다가 변형된 형태로 고정되는 입자 재밍(granular jamming) 메커니즘 또한 이러한 가변 강성, 소프트

그리퍼의 대표적인 예라 할 수 있을 것이다.

센서 통합 다기능 가변 강성 초소형 소프트 그리퍼

최근 개발된 고감도 센서 통합 초소형 가변 강성 그리퍼는 형상 기억 폴리머를 이용한 온도에 따른 가변 강성, 형상 기억 특성을 이용한 소프트 그리퍼이다(그림 3). 레이어링 기반 적층형 공정을 이용하여 작은 손과 같은 형태로 제작되어 손으로 작은 물체를 움켜쥐는 것과 같이 다양한 형상, 재질의 물체를 파지할 수 있다. 적층 중 고감도 크랙 센서를 탑재하여 움켜진 물체의 미세한 진동, 변형을 측정할 수 있는 다기능 그리퍼로 개발되었다.

1cm 크기의 작은 소프트 그리퍼는 그림 3에서와 같이 부서지거나 변형하기 쉬운 연어알을 부드럽게 움켜쥐며, 단단한 상태에서는 그리퍼 무게의 수천 배의 무게를 견딜 수 있다. 이는 형상 기억 폴리머의 500배 이상의 강성 변화를 이용하여 부드러움과 단단함을 조절하게 된다. 그리퍼 내부

에 탑재되어 있는 고감도 크랙 센서는 Gauge Factor(GF)가 수천에 해당하여 미세한 변형, 진동을 감지할 수 있다. 이를 이용하여 잡은 물체가 알이나 생물, 혈관과 같이 움직이는 경우 미세한 압력, 변형량을 측정할 수 있다. 위 그리퍼로 달팽이 알이 부화하는 과정에서 부화 전초 신호, 부화 시 달팽이의 심장 신호를 잡으면서 생물의 탄생 과정을 데이터로 받은 바 있다. 그리고 혈관의 수축 팽창 신호를 측정하

여 심박수, 혈압 등을 측정할 수 있는 가능성을 보여주었다.

가변 강성 초소형 소프트 그리퍼의 한계 및 가능성

소프트 그리퍼의 경우 여전히 정밀한 물체 조작, 높은 파지력에 있어 한계를 가지고 있다. 하지만 재료적, 구조적 연구를 통해 정밀도 및 파지력 향상이 지속되고 있으며, 응용 분야에 따라 소프트 그리퍼의 효용성을 보여주는 연구가 지속될 것이다.

센서, 구동기를 통한 초소형 소프트 그리퍼의 경우

세포의 전기적 신호 및 거동에 대한 데이터를 얻을 수 있고 지금까지 바이오 분야에서 전인미답의 영역으로 남아 있는 문제점의 정답을 제시할 수 있다. 더불어 신소재, 고체역학, 광학, 열역학, 조직공학 등을 아우르는 다학제적 융합 연구는 융합적 공학 인재 양성을 위한 최적의 기회를 제공하여, 국내 공학 후속 세대 양성에 기여할 것으로 기대된다. 최근 저밀도 고강성의 폴리머 재료, 신속한 시제품 제작 기술이 급격히 발전함으로써 연구 기간 및 비용이 획기적으로 줄어들고 있어 근시일 내에 산업적으로 효용성을 증명할 수 있으리라 생각한다.

윤 동 원 대구경북과학기술원 로봇 및 기계전자공학과 교수

| e-mail: mech@dgist.ac.kr

이 글에서는 자동차 제조/조립 공정에서 널리 사용되고 있는 로봇 및 그립퍼 관련 기술을 알아보고, 이를 통하여 로봇 및 로봇 그립퍼와 관련하여 어떠한 연구가 진행되고 있고 어떤 형태로 자동차 산업에 적용되고 있는지를 알아보고자 한다. 특히, 자동차에 널리 사용되고 있는 다양한 케이블과 하네스를 다루는 로봇 및 그립퍼 관련 기술을 중점적으로 살펴보고자 한다.

자동차 산업에서의 로봇 그립퍼의 중요성

로봇을 이용한 제조 라인 자동화는 생산성 향상, 인건비 상승 등으로 인해 다양한 산업에 걸쳐 이루어지고 있다. 특히, 자동차 제조용 로봇 분야는 현재 세계적으로 가장 시장 규모가 크며(대한민국 로봇산업 기술로드맵(2017)),

로봇으로 자동화를 진행하면서 부상 가능성, 생산 속도 저하, 완성 제품의 품질 저하 등의 문제가 해결될 수 있다는 강점이 있다. 아직 수작업이 필요한 복잡한 공정의 경우 단순 반복 작업을 돕는 협동 로봇이 사용되고 있으며, 이 외의 제조 라인에서 용접 로봇, 운반용 로봇, 조립용 로봇 등 다양한 목적의 로봇이 사용되고 있다. 이러한 제조 작업은 정밀함이 요구되므로 엔드 이펙터(end-effector)의 중요성이 점차 커지고 있으며, 이에 따라 목적에 부합하도록 엔드 이펙터의 능력을 향상시키는 연구가 많이 수행되고 있다.

자동차 제조/조립 공정에서 사용되는 로봇의 엔드 이펙터는 조립, 도장, 용접, 폴리싱, 품질 검사 등의



그림 1 자동차 산업용 로봇과 케이블 조립 로봇

목적으로 적용되며, 조립용 엔드 이펙터의 경우 취급 품목에 따라 다양화되어 있다. 규격이 정해진 부품 이동 또는 볼트 체결의 단순 작업의 경우 정형화된 그립퍼와 제어를 이용하여 작업 수행이 가능하지만, 하네스 조립 등 정해진 위치에 있지 않은 유연하고 다양한 규격의 물체를 인식 및 파지하여 조립하는 경우, 그립퍼의 성능과 제어가 매우 중요하게 고려되고 있다. 특히, 최근 자동차 산업이 기존의 내연기관 중심에서 전기차, 자율주행차로 전환되어 감에 따라 배선 및 케이블의 사용량이 증가하고 있으며, 하네스 조립 작업의 중요도 또한 높아지고 있다.

와이어 하네스는 인체의 신경망과 같이 차량의 여

러 전기 장치에 연결되는 케이블 등의 배선을 묶어 각 시스템으로 전기 신호와 전력을 전달하는 것으로서 복잡한 상황에서 케이블의 정확한 위치와 상태를 인식하는 것이 중요하다. 케이블 인식은 주로 비전 센서를 이용하여 수행되고 있으며, 케이블에 마킹된 숫자나 문자를 인식하여 위치와 형상을 추정한다. 이를 위해 딥러닝 기반 영상 처리, 증강 현실(AR : Augmented Reality) 등이 적용되고 있다. 또한, 힘 센서, 촉각 센서 등 기존의 센서를 함께 사용하여 보다 정확한 케이블 인지가 가능하도록 형상 추정 성능을 향상시키는 연구가 진행되고 있다. 케이블 파지 및 조립의 경우 적합한 강성을 가지면서, 외력을 측정할 수 있는 그리퍼 플랫폼을 위한 유연 구조 및 저가의 힘/토크 센싱 모듈이 필요하다. 주로 그리퍼에 내장된 비전 센서 또는 촉각 센서가 사용되어 활발히 연구되고 있으며, 파지 상태와 조립 목표를 고려한 알고리즘 설계 또한 연구가 진행되고 있다. 하드웨어 측면에서 케이블의 재정렬이 수행될 수 있으며, 소프트웨어 측면에서 조립 대상과의 접촉점에서 발생하는 힘을 이용한 제어가 수행될 수 있다.

복잡한 작업을 수행하기 위해 작업물의 인식 및 상태 파악이 필수적으로 요구되고 있으며, 유연한 작업물을 핸들링하기 위한 기술에 대한 연구도 불가피하다. 현재 하네스 조립 작업을 위한 케이블 인식, 파지, 조립, 핸들링의 성능을 향상시키기 위한 연구가 다방면으로 이루어지고 있기에 다음 절에서 이러한 케이블 파지 및 조립을 위한 그리퍼 연구에 대해 알아보고, 사용된 새로운 센서 및 기술에 대해서도 알아보고자 한다.

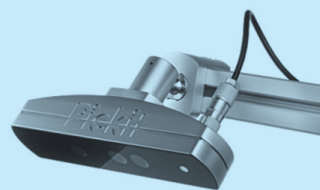
자동차 산업에서의 그리퍼 관련 요소 기술

(1) 케이블 인식 기술

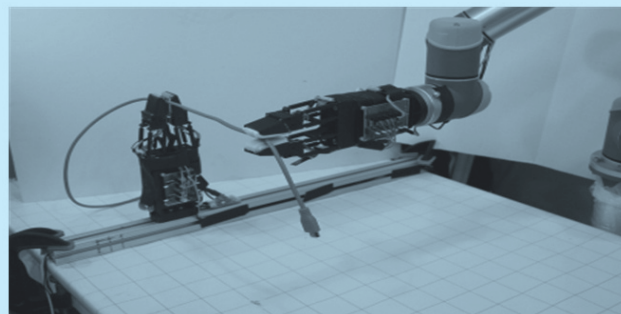
최근 상용 그리퍼나 비전 솔루션 업체에서는 작업물을 인식할 수 있는 시스템을 제공하고 있다.



ROBOTIQ Wrist Camera System(캐나다, ROBOTIQ사)



Pickit L(벨기에, Pickit사)



GelSight를 활용한 그리퍼의 케이블 작업(미국, MIT)

그림 2 케이블 인식 기술의 예시(출처: 각 제조사의 홈페이지 및 MIT News)

ROBOTIQ사는 매니퓰레이터의 손목 부분에 장착할 수 있는 ROBOTIQ Wrist Camera System을 출시하였는데, 비전 기반의 패턴 매칭을 사용해 평면상 작업물의 종류와 방향을 인식한다. Pickit사는 산업용 로봇 및 협동 로봇의 3D 비전 애플리케이션을 제공하고 있으며, 작업물 인식을 위한 비전 엔진 Pickit Bags를 출시하여 구조광과 표면 인식을 통해 단일 혼재 작업물의 종류와 방향을 인식할 수 있게 하였다. 하지만 케이블은 형상의 가변성으로 인해 상용 인식 시스템을 활용하는 데 어려움이 있어, 케이블 작업을 위한 인식 연구가 활발히 진행되고 있다.

베이징대학교는 웨어러블 증강 현실(AR)과 케이블 마커 기반 인식 등을 활용해 복잡한 케이블 조립 작업을 돕는 연구를 수행하였다. ResNet과 Feature Pyramid Network 등을 이용한 딥러닝 모델을 사용하여 케이블 및 문자 인식 성능을 극대화하였으며, 브래킷(bracket)을 인식하여 특정 케이블을 조립하는

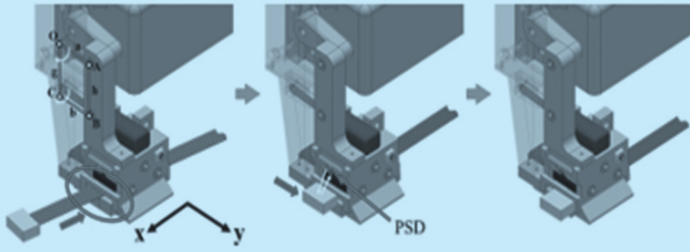


그림 3 케이블 파지 및 이동이 가능한 그리퍼(출처: 성균관대학교 홈페이지)

가이드라인을 제시하는 디바이스를 개발하였다. 케이블에 작성된 문자뿐만 아니라 케이블의 종류, 브래킷의 위치까지 파악할 수 있어 케이블 조립 작업의 전반적인 부분에 도움을 줄 수 있다.

MIT는 촉각 인식 센서인 GelSight를 사용하여 그리퍼로 파지하고 있는 케이블의 상태를 파악하는 연구를 수행하였다. GelSight는 카메라가 내장된 소프트 러버(soft rubber)로 만들어진 시각 기반 촉각 인식 센서이다. 2지형 크랭크-슬라이더 그리퍼의 엔드 이펙터에 GelSight를 장착한 후, 비전으로 획득된 dotted pattern의 왜곡 정도를 파악해 케이블의 파지 위치나 꼬인 정도 등의 상태를 파악할 수 있게 하였다. 그리퍼로 케이블을 다루는 작업의 경우, 케이블의 파지된 부분은 그리퍼에 의해 가려지기 때문에 상태를 파악하기 어렵다는 문제점이 있다. 본 센서는 촉각 센서를 활용해 이러한 문제점을 해결하였으며, 그리퍼를 이용한 케이블 파지 및 커넥터-케이블 연결 작업 성능을 향상시킬 수 있다.

(2) 케이블 파지를 위한 하드웨어 기술

전통적인 조립 공정에서 사용되어온 로봇 그리퍼는 높은 강성을 갖는 병렬형 구조로 제작되어 고정밀도 작업에 사용되었다. 기존의 자동차 산업 현장에서 다루지는 케이블은 자체가 얇고 유연하며, 그 모양이 계속해서 변하고, 손상이 발생할 수 있기 때문에 로봇이 아닌 사람이 케이블 관련 작업을 수행하거나, 병렬형 그리퍼의 끝단의 위치가 아닌 파지력을 제어하여 케이블을 파지하곤 하였다. 이와 같은 문제를 미국

MIT 대학에서는 인간을 모방하는 방식으로 다른 각도에서 접근하였다(로봇기술, <http://robotzine.co.kr/entry/252086>). 이들은 로봇 그리퍼의 손가락을 소프트하게 구성하여서 케이블을 성공적으로 조작하고 매듭 묶기와 같은 작업을 수행하였다. 하지만 케이블을 파지하여도 그리퍼가 부착된 로봇 매니퓰레이터가 목표 위치로 이동해야 하는 등의 번거

로운 움직임이 필수적으로 요구된다. 이를 없애기 위하여 최근에는 매니퓰레이터의 이동 없이 케이블이 파지된 상태에서 케이블 자체를 이동시킬 수 있는 메커니즘을 연구하는 추세이다. 성균관대학교의 그리퍼에 부착된 롤러를 사용하여 파지된 케이블을 이동시키는 연구와, 케이블과 접촉하는 진동판의 진동을 이용하여 이동시키는 등의 방법이 이에 해당한다. 그럼에도 불구하고 이러한 하드웨어적 방안은 그 자체만으로는 돌발 상황에 대한 대처가 불가능하므로, 다양한 센서들이 함께 사용되어서 케이블 파지 및 이동에 보조 역할이 가능하게끔 하는 최신 연구들이 함께 진행되고 있다. 미국 MIT 대학에서는 그리퍼 손가락에서 물체와 접촉하는 곳에 자체 개발한 촉각 센서를 부착하여 파지 시 물체를 인지할 수 있는 병렬형 그리퍼를 연구하였고, 일본 나고야 대학에서는 레이저, 이미지, 힘, 적외선 등의 다양한 각종 센서들을 병렬형 그리퍼에 부착하여서 케이블 커넥터 결착 공정을 수행할 수 있도록 하였다.

(3) 케이블 파지를 위한 소프트웨어 기술

고려대학교는 와이어링 하네스 조립 시스템에서 전기 커넥터 결합 공정을 위한 연구를 수행하였다. 케이블 커넥터-공급 시스템(cable connector-feeding system)을 통해 패시브(passive)하게 정렬한 커넥터 헤더에 부착된 마커에 기반하여 비전 시스템으로 위치와 방향을 인식하였으며, 커넥터와 그리퍼가 접촉한 이후 매니퓰레이터 말단에 부착한 F/T 센서를 사용하여 임피던스 제어를 통해 비전 시스템에 의한 위치

오류를 보정하였다. 본 조립 전략은 기존의 사각형 커넥터나 박스 헤더 커넥터 등 다양한 부품 조립 공정에 적용할 수 있다. 홍콩 중문 대학에서는 USB 와이어링 작업을 위한 비전 기반의 제어 시스템을 연구하였다. 비전 시스템에서 도출된 색상 순위 아웃풋을 제어 알고리즘의 인풋으로 사용하여 와이어 색에 따라 우선순위를 부여하고, 순서대로 지그에 위치하도록 제어하였다. 비전 시스템의 피드백 정보를 통해 와이어의 위치 및 형상에 따라 능동적으로 반응할 수 있는 제어기를 설계하였으며, 제안하는 시스템의 안정성을 Lyapunov 방법으로 입증하였다. 로봇이 와이어를 놓치면 생기는 작업 순서 문제를 와이어 색상에 따른 작업 우선순위로 해결하였다.

(4) 케이블 조립 기술

케이블 파지와 케이블 조립은 전혀 다른 작업을 의미한다. 케이블 파지란 손가락으로 케이블을 잡듯이 로봇 그리퍼를 통해서 케이블을 파지하는 것을 의미하고, 케이블 조립이란 케이블의 끝 또는 케이블의 끝에 부착된 하네스를 목표 조립 위치에 결착시키는 것을 의미한다. 특히 자동차 산업에서는 결착시키는 것 이외에도 파지한 케이블을 차체의 프레임 속 구멍을 통과시키는 것 또한 포함시킬 수 있다. 이러한 작업은 본래 사람이 한 손으로 케이블을 파지하고, 눈을 통해 목표 위치를 확인한 후, 다른 손으로 목표를 잡고 적절한 힘으로 결착시키거나, 다른 손으로 구멍 반대편에서 케이블을 받는 과정으로 이루어진다. 즉, 로봇의 입장에서는 로봇 매니플레이터와 그리퍼를 두 개 이상 사용하여 사물 인식, 경로 계획, 힘 제어 등의 다양한 분야를 통합하는 초고난도의 작업이 된다. 이러한 작업의 구현을 위하여 한양대학교에서는 비전 기반으로 케이블을 인지하고 결착 위치를 결정하여 매니플레이터에 조립 안내를 할 수 있는 딥러닝 기반 케이블 하네스 조립 시스템을 구축하였다. 중국 상하이 대학교에서도 마찬가지로 이중 매니플레이터와 비전 기반의 딥러닝 방법을 통한 3D 포즈 추정을 사용하여

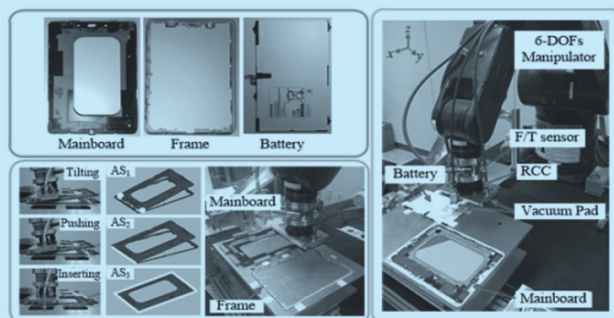


그림 4 소프트웨어 기반 케이블 파지 시스템의 예시(출처: 고려대학교 홈페이지)

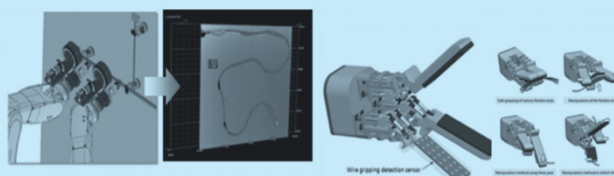


그림 5 케이블 하네스 조립이 가능한 로봇 그리퍼(출처: 한양대학교 홈페이지)

케이블 하네스의 초기 포즈에 관계없이 결착이 가능한 솔루션을 개발하였다. 따라서 케이블 조립의 최신 연구 동향은 비전 피드백을 기반으로 케이블 끝단의 좌표축과 목표 조립 위치의 좌표축을 추정하고, 이를 일치시켜 조립하기 위한 경로 계획을 하는 것이라고 정리할 수 있다. 하지만 이와 같은 로봇을 사용한 케이블 조립 연구들은 그 성공률이 90% 아래에 머무므로 실제 자동차 산업 현장에 사용되기에는 어려움이 있다. 자동차 산업에서 케이블의 조립 불량 문제는 자칫 큰 사고로 이어질 수 있기 때문에 실제 작업에서 로봇이 사용되기 위해서는 기술의 신뢰성이 더욱 뒷받침되어야 하는 상황이다(자동차용 전선과 커넥터, AEM (2008)).

(5) 케이블 조작 기술

자동화 제조 라인에서 케이블의 장착 과정은 정확한 위치 감지가 중요하다. 따라서 장착 전 케이블 핸들링 과정을 통해 커넥터와의 상대 위치 오차를 줄이는 방법이 사용되고 있다. 최근 성균관대학교에서는

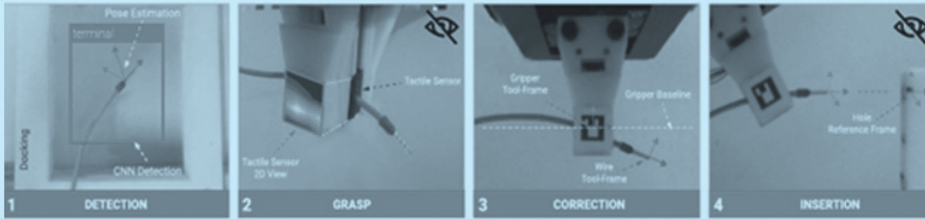


그림 6 촉각 센서와 비전 센서를 사용한 케이블 핸들링 기술의 예시(출처: D. De Gregorio, <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2847222>)

케이블의 재정렬에 대한 다양한 접근과 기술을 제안하고, 관련된 연구를 수행 중이다. 케이블의 꼬임을 방지하며 조립 전 정렬을 통해 원활한 장착을 돕는 것이 목적이다. 이를 위해 단순 전기 구동 2지형 그리퍼에 롤링 시스템을 장착하여 케이블이 커넥터 바로 앞에 정렬되어 위치할 수 있도록 한다. 또한, 브라질의 Networking and Telecommunications Research Group에서는 케이블의 불완전한 연결을 감지하고 해결하기 위한 유지 관리용 그리퍼를 제안하였고, 특정 종류의 케이블에 적합하게 그리퍼를 설계한 후 제작된 그리퍼의 케이블 제거 성능을 평가하였다.

최근에는 촉각 센서와 비전 센서를 통합하여 케이블의 정확한 위치를 인식 및 보정하여 잡는 연구들도 많이 진행되고 있다. 캄파니아 대학에서는 비전 데이터로 케이블을 찾고 파지한 후, 촉각 데이터로 원하는 위치와 방향에 맞게 파지 자세를 교정하는 시스템을 연구하였다. 비전 시스템으로 케이블의 위치를 파악하여 1차 파지를 수행하고, 촉각 센서로 그리퍼 속에서의 케이블의 형태와 위치를 파악하고 자세를 교정하는 2차 파지를 수행하였다. 비전 시스템에서는 복잡한 배경에서 변형이 가능한 선형 개체를 분할하였고, LED와 PT로 구성된 촉각 센서는 광반사를 이용하였다. 제안한 시스템을 사용하여 목표한 케이블을 원하는 형상과 자세로 파지할 수 있다.

볼로냐 대학에서는 넓은 공간에서는 비전 센서와 촉각 센서를 함께 사용하고, 비전 이미지를 획득하기 어려운 좁은 공간에서는 촉각 센서를 사용하여 와이

어 파지 및 삽입 작업이 가능한 시스템에 관한 연구를 수행하였다. 비전 센서로 와이어와 소켓을 검출하기 위해 Convolution Neural Network를 이용하여 와이어의 다양한 이미

유연체의 핸들링 및 조립을 위한 유연 힌지 그리퍼 기술

최근 DGIST BRM Lab에서는 외부 충격을 흡수하여 최소화하고 인간-로봇 상호작용을 위한 협동 로봇 및 스마트 산업용, 차량 제조/조립 공정 분야에 활용될 수 있는 로봇 손을 개발하였다. 최근 로봇 산업에서 물체의 파지, 조작, 조립 등의 여러 작업을 위해서 로봇 손의 중요성이 날로 증가하고 있다. 하지만, 로봇 손은 복잡한 구조와 정밀한 부품의 사용으로 고가의 가격으로 판매되고 있어 그 실용화와 보급이 어려운 실정이다. 로봇 손과 같은 그리퍼가 산업에 적용될 때, 주요하게 고려되어야 할 사항 중 첫째는 다양한 강성을 가지는 물체를 쉽게 파지할 수 있어야 한다는 것이다. 부드럽거나 깨지기 쉬운 물체, 또는 복잡한 형상의 목표 물체를 잡기 위해서는 복잡한 제어기를 사용하여 로봇 손을 구현하여야 하는데, 이는 로봇 손 시스템의 고가화로 연결되며, 결과적으로 실용화 보급에 차질을 빚는 주요 요인이다. 두

번째로 고려되어야 할 사항은 인간과의 협력 및 상호 작용이 가능해야 한다는 것이다. 현재 ‘스마트 팩토리’와 같이 일컬어지는 로봇이 적용된 공정 및 물류 현장에서는 완전한 로봇 자동화가 이뤄지기에는 무리가 있다. 오랜 기간 동안 인간이 해오던 다양한 종류의 복잡한 업무 및 기술을 로봇으로 완전히 대체하기 어렵기 때문이다. 따라서 로봇이 산업 분야에 실질적으로 적용되기 위해서는 인간과의 협력 가능성이 매우 중요한 화두이다. 기존의 볼베어링과 같은 구름 베어링 기반 회전 조인트로 구성된 로봇 핸드의 경우 외부 충격 흡수 능력이 낮아 외부 충격에 고장이 나거나, 파지하고 있는 물체에 손상을 주기도 하였다. 이를 극복하기 위해서 여러 산·학·연에서는 다양한 유연체를 이용한 유연 조인트를 개발하였으나, 물체를 파지하거나 작업 시 모든 방향으로 유연하여 무거운 물체는 잡지 못하거나, 큰 힘을 발휘하지 못하는 경우가 발생하였다.

DGIST BRM Lab에서는 이러한 단점을 극복함과 동시에 높은 충격 흡수율을 지닐 수 있는 교차 유연 힌지 조인트(paired crossed flexure hinge)를 활용한 새로운 로봇 핸드 관절 매커니즘을 제안하고, 이를 적용한 의인화 로봇 핸드를 개발하였다. 그림 7과 같이 이 로봇 핸드는 유연 힌지 조인트를 사용하되, 교차 형태의 두 쌍의 거울상의 유연 힌지 조인트가 적용되었으며, 이를 이용하여 다양한 물체의 파지, 충격 흡수 등의 유연 힌지의 장점은 살리면서도, 물체를 들

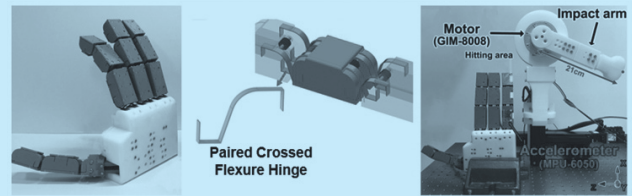


그림 7 DGIST BRM Lab의 교차 유연 힌지 조인트가 적용된 로봇 핸드. (좌측) 로봇 핸드 전체 모습; (중간) 교차 유연 힌지의 형상; (우측) 정량적 충격량 테스트 모습(출처 : J. Yang et al., <https://doi.org/10.1089/soro.2020.0067>)

어 올리는 방향으로의 강성은 키워서 무거운 물체를 용이하게 파지하고 들 수 있다는 장점을 보유하고 있다. 기존에 널리 사용되고 있는 핀 조인트 형식의 로봇 핸드와 비교하였을 때, 제안된 로봇 핸드가 교차 유연 힌지의 자체 유연성으로 인하여 3축 방향으로의 충격을 약 46.7% 더 흡수할 수 있음이 정량적 충격량 테스트를 통해 입증되었다. 또한 최대 4kg의 물체를 파지할 수 있는데, 평균적인 자동차용 와이어링 하네스의 무게가 1~2kg임을 고려하였을 때 실제 자동차 산업 현장에서 케이블 핸들링 및 어셈블리(assembly)를 목적으로 적용될 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 연구 개발 내용을 바탕으로 더욱 진보된 차세대 로봇 핸드 모델을 개발 중에 있으며, 추후 현장에서 인간과 상호작용하며 사용되는 협동 로봇인 매니퓰레이터의 엔드 이펙터, 혹은 다양한 공정 및 생산 라인, 스마트 산업용 로봇 분야 및 자동차 케이블 및 하네스 조립 분야에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.