

로봇 메커니즘 및 제어 기술

김수현 · 한국과학기술원 기계공학과, 교수
장평훈 · 한국과학기술원 기계공학과, 교수

_e-mail : soohyun@kaist.ac.kr
_e-mail : phchang@kaist.ac.kr

이 글에서는 무인화 기술의 많은 부분에서 공통적으로 적용될 수 있는 로봇 메커니즘 및 제어 기술에 대하여 소개한다.

로봇 메커니즘의 설계 및 제어 기술은 자체적으로도 무인화전투체계를 보조할 수 있으며, 미래의 전장에서 핵심적인 역할을 담당할 수 있다.

자연계에 존재하는 생물체는 오랜 시간 동안 지구의 가혹한 환경에 적응하면서 다듬어져 온 최적화된 작품이라 할 수 있으며, 이러한 작품을 모방하여 개발된 로봇 플랫폼은 병사를 대신하여 주·야간 정찰, 탐지, 추적을 수행할 수 있고 유·무인 전투체계에 접목하여 전투효과를 극대화할 수 있는 중요한 요인이라 볼 수 있다.

인간의 능력 확대를 위한 인간

착용형 복합임무로봇은 근전관절 각, 관절 토크 등을 통해 생체 신호를 감지하고 유압, 공압, 모터 구동식의 방법으로 하중지지 및 근력의 증폭을 할 수 있으며, 이를 이용한 소수의 병사가 투입되는 게릴라전에서 그 위력이 극대화 될 수 있을 것이다.

산업용 로봇을 비롯한 다양한 분야에서 이미 개발되고 있는 정밀 핸드 매니퓰레이션 기술은 전장, 우주, 심해, 원자력과 같이 운용자의 안전이 절대적으로 요구되는 환경에서 반드시 필요한 기술이다. 지뢰와 폭발물 탐지 및 제거와 같은 임무를 원격의 사용자가 수행함으로써 병사의 안전

을 보장하고 공포심에서 오는 임무실패의 가능성을 최소화하게 될 것이다.

인간의 개입이 최소화되는 무인화 체계를 구성하게 되는 로봇이 반드시 가져야 할 특징 중 하나는 자세 안정성이다. 이러한 목표를 위해 자세를 유지하고 추정하기 위한 다양한 센서가 사용되며 이를 보조할 수 있는 기술이 전자영상을 이용한 로봇의 자세 제어 기술이라고 볼 수 있다. 무인화된 로봇의 필요 요소 중의 하나인 카메라를 이용하여 자세 안정화를 구현함으로써 전투상황에 파괴될지도 모르는 여러 센서를 보조하고 로봇 자체의 생존성을

을 높일 수 있을 것이다.

생체모방로봇

생체모방로봇(biomimetic robot)이란 인간이나 동물, 곤충이 가진 지능, 감각, 행동 기능을 모방하여 기계적인 형태로 형상화하고 전기·전자적인 요소와 소프트웨어를 추가하여 만든 로봇을 말한다. 인간과 같은 지능적이고 살아있는 것 같은 기계를 만드는 것은 수천 년 전부터 인간의 꿈이었다. 오래전부터 인간은 동식물의 행동기능과 자연에의 적응방식을 연구해 왔으며, 그러한 관찰 결과를 로봇에 접목하여 인간형 로봇을 비롯한 견마형 로봇, 뱀형 로봇, 곤충형 로봇, 새를 닮은 로봇, 물고기 로봇 등의 다양한 로봇을 개발하여 왔다.

생명체의 운동을 모방한 로봇 메커니즘은 무인화를 기반으로 움직이는 다양한 로봇의 훌륭한 플랫폼이 될 수 있지만 단순히 모양과 기능을 똑같이 만드는 것으로는 연구의 목표를 달성하기는 어렵다. 개미가 자신의 생체적 구성비를 유지한 채 단순히 코끼리 크기가 된다면 자신의 무게도 지탱할 수 없다는 사실은 메커니즘의 개발에 생체 모방 가능성의 검토, 메커니즘의 모델을 이용한 가상실험, 실험시제를 이용한 실험 과정이 필요하다는 것을 뒷받침해 준다.

우선 다양한 생명체의 운동 형

태와 원리분석이 선행되어야 하며, 실제로 고자유도를 가지는 생명체의 운동을 최적의 구동기로 모사할 수 있는 메커니즘의 도출과 크기, 중량, 변수들이 달라졌을 때의 상관관계를 잘 분석하고 모델링하는 것이 중요하다. 이러한 목표달성은 단순한 직관적 과정만으로는 달성되기 어려우며 치밀하고 정교한 분석, 설계, 시험평가, 수정의 관계를 체계적으로 수행하여야 한다.

이를 위해서는 생물체의 운동을 분석하고 해석하기 위한 환경 조성 기술, 생체 운동의 분석과 생체 동적의 해석 기술, 모방된 구조의 최적화와 이를 위한 모델링과 시뮬레이션, 시스템의 통합과 자동화, 생체 운동의 구동원이 되는 고효율 구동기의 개발, 구동원으로부터 원하는 힘과 운동을 얻기 위한 메커니즘 등 다양한 분야의 기술이 필요하다.

생체모방로봇의 예로 Michigan 대학에서 개발한 RHex나 Stanford 대학의 iSprawl을 살펴볼 수 있다. RHex의 경우 SimSect라는 6축형 플랫폼에 대한 해석 프로그램을 사용하여 개발되었으며, iSprawl의 경우에는 바퀴벌레와 로봇에 걸리는 힘을 실험을 통하여 측정된 후, 바퀴벌레에 걸리는 힘의 형태를 추종하도록 설계를 변경하도록 하는 연구를 수행되기도 하였다.

생체모방로봇 분야에서 가장 먼저 선행되어야 할 연구로 생물

들의 운동을 모사하는 과정을 꼽을 수 있다. 동물 혹은 곤충의 움직임을 modeling하고 역학적으로 해석하기 위해서는 먼저 동물의 움직임을 자세하게 관찰할 필요가 있다. 외국의 사례를 들어보면 과거부터 비디오 레코딩 기술(video recording)과 시네마토그래피(cinematography)가 가장 많이 이용되어 왔다.

비디오 레코딩 기술은 미국, 유럽을 시작으로 현재는 거의 전세계에서 사용되는 기술로 초당 500프레임 이상의 고속 카메라(high speed camera)를 이용하여 동물의 움직임을 관찰하는 가장 기본적인 방법이다. 현재는 미국에서 16,000fps의 초고속 카메라가 개발되었으며 연구 및 산업분야 등 다양한 분야에 적용되고 있다.

시네마토그래피는 1988년 미국 하버드 대(Harvard Univ.)의 동물학자 Jenkins가 X-ray 시네마토그래피 기술을 처음으로 사용하였다. X-ray 시네마토그래피는 기본적으로는 비디오 레코딩 기술과 같으나 X-ray를 이용하여 동물 내부 뼈의 움직임을 직접 관찰함으로써 동물의 움직임을 분석하는 기술이다.

액추에이터 기술은 생체모방로봇과 같은 지능형 로봇을 구성하는 가장 핵심적인 요소기술 중의 하나인데 최근까지는 주로 유압이나 공압을 이용한 실린더 형태

자기적 방법을 이용한 액추에이터를 로봇 구동에 적용해왔다. 하지만 이러한 액추에이터들은 무겁고 비효율적이며, 부피당 출력되는 power가 약하다는 단점이 있다. 따라서 생체모방로봇과 같은 지능형·소형 로봇을 구동시키기 위해서는 새로운 액추에이터가 필요하게 되었는데 미국을 중심으로 기존에 연구되고 있던 형상기억합금이나 압전재료의 특징을 이용해서 보다 고효율의 동력을 낼 수 있는 액추에이터를 개발하고 있다. 또한 전기활성 고분자를 이용한 인공근육 및 왕복 활동화학근육 등과 같이 인체의 근육과 비슷한 메커니즘으로 구동되는 액추에이터를 개발, 보완하고 있다. 생체모방형 로봇의 동적 해석기술의 선진국 현수준은 특정 생명체(동물 또는 곤충)의 환경적 요인에 대한 극복능력을 어떻게 구현하는가에 대한 동적 해석을 바탕으로 이를 모방하여 유사한 능력을 발휘할 수 있는 시스템의 개발에 중점을 두고 연구가 진행되고 있다. 현재 진행 중인 대부분의 생체모방형 로봇을 다리를 가진 육상동물(짐승 또는 곤충)의 형태를 모방하는 것으로 보행방식에 따라 2족 보행형, 4족, 6족, 8족 보행형, 다족보행형이 주를 이루고 있다.

생체모방로봇 기술의 경우 기본적으로 자연계에 존재하는 생물들이 최적화된 구동 형태를 가지고 있다는 가정에서 출발하며,

생체의 운동을 관찰한 후 이를 추종하는 메커니즘을 개발하는 것은 이미 최적화된 로봇 메커니즘을 개발하는 것일 것이다. 하지만 모방 대상이 되는 생체를 완벽히 구현하는 것은 불가능하기 때문에 어떠한 생존 원리로 생체가 최적화되었고 그 원리에 따라 로봇 메커니즘을 최적화하는 것은 매우 의미 있는 일이다. 이것이 바로 생체모방이 단순히 그 구조와 형태를 따라함으로써 이루어질 수 없으며 생체의 분석과 해석, 이에 따른 최적화 과정이 수반되어야 하는 이유이다.

목표 지향 설계 방식을 이용한 로봇 시스템의 개발

일반적으로 로봇하면 많은 사람들은 영화나 만화 등에서 그려졌던 다재다능한 로봇을 먼저 떠올리게 된다. 하지만, 현재까지 개발되어 사용되고 있는 로봇들은 과연 어떻게? 산업 현장에서 사용되는 산업용 로봇은 용접, 운반 등 각자의 고유 작업을 가지며, 그 작업만을 반복적으로 수행하는 경우가 대부분이다. 필드 로봇 및 서비스 로봇 분야 역시 로봇의 작업 만족도를 극대화하고자 수행하는 작업을 한정하고 있는 추세에 있다. 이렇듯 로봇 역시 다재다능함보다는 실용성 관점에서

목표로 하는 작업의 수행 능력 위주로 평가되고 있다.

목표 지향 설계 개념은 이런 관점에 따라 로봇의 목표를 잘 분석하고, 이에 기반하여 로봇을 체계적인 방식으로 설계함으로써 시행착오를 최소화하고자 하는 설계 방식이다. 이 설계 개념은 그림 1과 같은 과정들로 이루어진다.

우선 로봇을 어디에, 무엇을 위해 배치하고자 하는지에 대한 '실제 적용 상황의 분석' 후, 목표라고 할 수 있는 사용자, 작업, 환경을 설정하게 된다. 이렇게 설정된 목표는 매우 구체적, 실용적이다. 다음으로는 작업을 분석하게 되는데, 설정된 작업 공간 안에서 작업점(task point)의 위치 및 필요 속도, 가속도 등을 결정

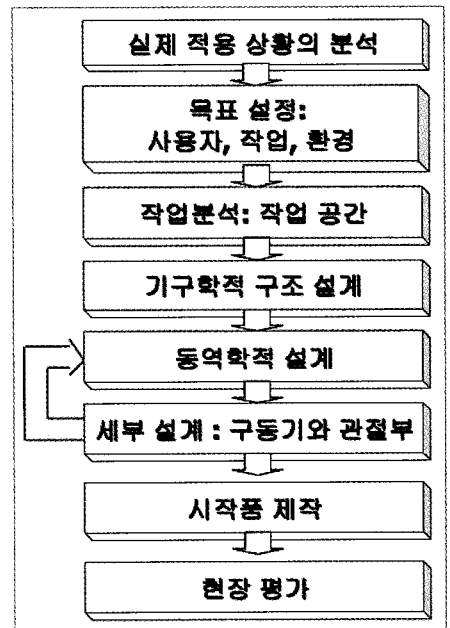


그림 1 목표 지향 설계

하게 된다. 여기서 결정된 정보는 다음 단계인 기구학적 구조 설계 및 동역학적 설계 과정에서 사용된다. 특히 로봇 팔의 경우 이러한 구체적인 작업 정보가 없이 로봇 팔을 설계하게 되면, 실제 제작 후에는 그 작업을 수행할 수가 없는 시행착오를 겪게 되는 일이 빈번하게 발생한다. 구체적으로 보면, 기구학적으로는 작업점 자체에 도달할 수 없는 경우, 작업 공간 안의 장애물을 회피하

면서 작업을 할 수 없는 경우 등이 발생할 수 있으며, 동역학적으로는 작업에 필요한 하중(payload)이 구현되지 못하는 경우, 필요치 이상으로 너무 비효율적인 로봇 링크 구조 및 구동기(actuator) 선택 등의 문제가 발생하는 경우가 많다. 목표(사용자, 작업, 환경)의 세부적인 정보에 기반하고, 피드백(feedback)을 통한 설계치의 최적화가 가능한 목표 지향 설계 방식으로 사

용하여 로봇을 설계하게 되면 이러한 문제를 크게 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다.

목표 지향 설계 방식을 이용한 개발 사례

다음은 목표 지향 설계 방식으로 로봇을 개발한 사례에 대해 소개하고자 한다. 로봇 팔의 설계에 응용된 대표적인 사례는 과학기술부 국가중점과제로 KARES

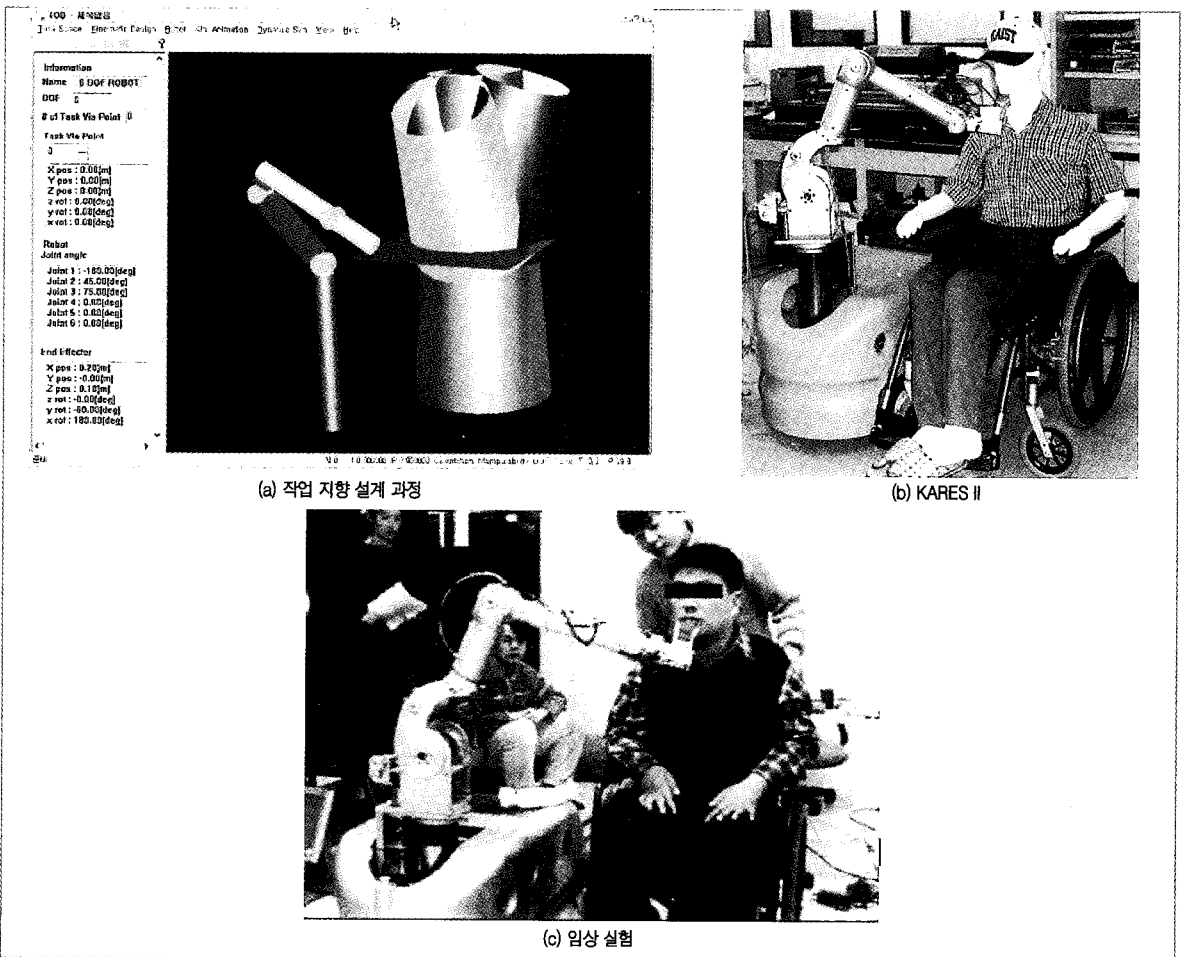
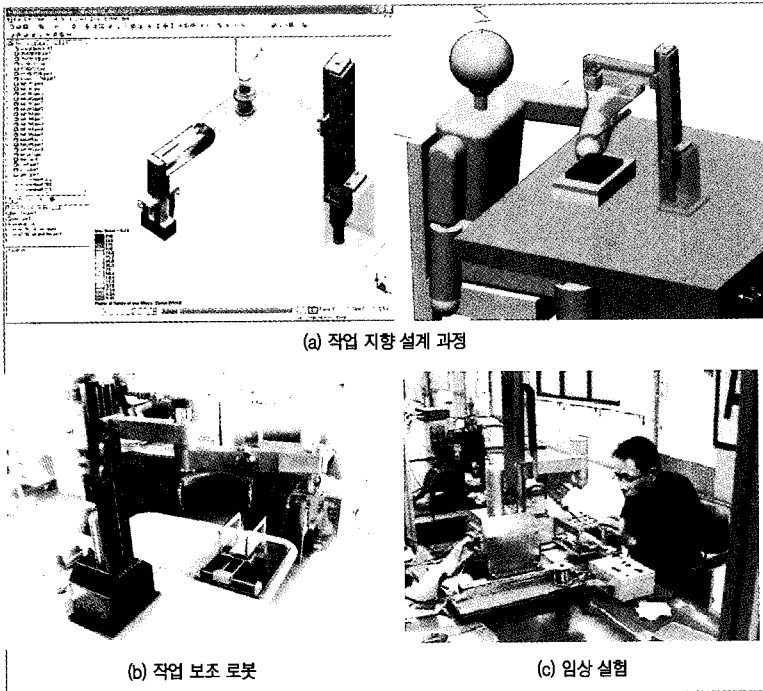


그림 2 KARES II 로봇 개발 사례



(a) 작업 지향 설계 과정

(b) 작업 보조 로봇

(c) 임상 실험

그림 3 작업 보조 로봇 개발 사례

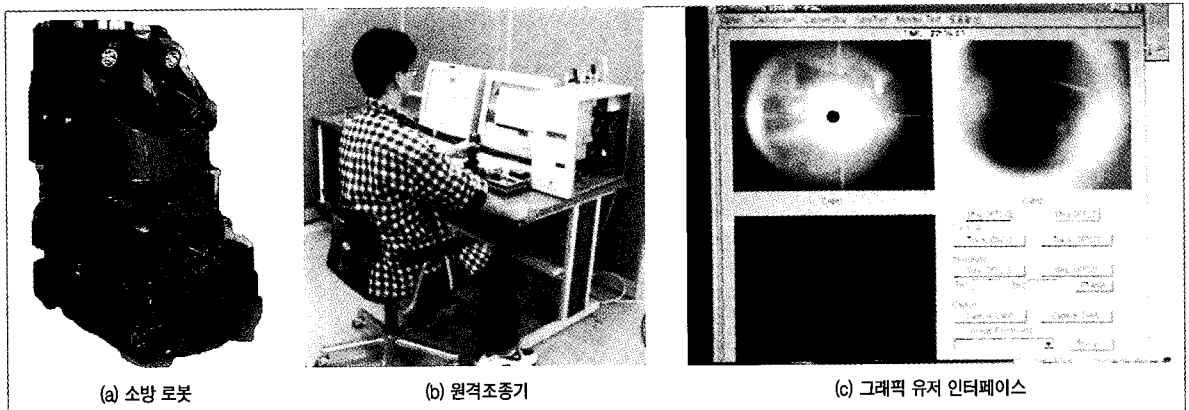
이 로봇이 개발되었던 것이 있는데, 이 때 탑재되었던 6자유도 로봇 팔 설계 시에 목표 지향 설계 방식이 사용되었다. 이 로봇은 사용자인 C4 장애인(어깨 이하는 움직일 수 없는 장애인)을 대상으

로 장애인의 집 또는 재활 센터 공간에서 12가지 작업(식사보조, 면도 등)을 보조하는 것을 목표로 설정하였다. 이 목표에 따라 기구학적 설계, 동역학적 설계 등의 설계 과정을 거친 후에 직접 장

애인을 대상으로 임상 실험까지 수행하여 그 가능성을 입증하였다.

그 밖에도 HWRS-ERC에서는 목표 지향 설계 방식을 이용해 장애인을 위한 작업 보조 로봇을 개발하였다. 대상이 되는 장애인은 편마비 장애인 또는 한쪽 상지 장애인으로, 장애인들의 직업 공간(무궁화전자 등)에서 납땜 작업과 회로검사 작업을 보조하는 것을 목표로 설정하였다. 목표 지향 설계 방식으로 설계된 이 작업 보조 로봇은 실제 장애인을 대상으로 실제 직업 공간 내에서 두 가지 작업에 대한 임상 실험까지 수행하여 성공한 바 있다.

다음으로는 필드 로봇에 목표 지향 설계 방식이 응용된 사례들을 소개하고자 한다. HWRS-ERC에서는 소방 로봇을 개발하였는데, 대형 건물의 지하층 화재를 대상으로 하였고, 이 때 화점 인식을 위한 영상 정보의 전달과 화점 주위로 이동해서 화점을 진



(a) 소방 로봇

(b) 원격조종기

(c) 그래픽 유저 인터페이스

그림 4 HWRS-ERC 소방 로봇

화하는 작업이 선정되었다. 이를 통해 개발된 로봇은 화재 현장에서서의 로봇의 활용 가능성을 제시 해주었다.

이를 토대로 하여 산업자원부 신성장동력사업의 일환으로 소방 로봇 Archibot-S에 대한 본격적인 개발이 시작되었다. 우선 화재를 실내 화재와 실외 화재로 구분하고, 실내 화재를 대상으로 하는 로봇은 지하 공간의 진입과 정찰 및 탐색을 주요 작업으로 선정하여 (주)동일파텍과 함께 공동 개발하였다. 이와 같은 목표를 만족시키기 위해 지하 공간 진입을 위한 계단을 승월할 수 있는

메커니즘을 장착하였고, 지하 공간 및 그 진입로에서의 원격조종에 의한 움직임을 원활히 하기 위한 구동 방법을 결정하여 개발하였다.

그리고 실외 화재를 대상으로 하는 로봇은 대형 공장 및 주유소와 같은 대형 공간에서 발생한 화재를 대상으로 하여 화재 진압 및 인명 구조를 도와주는 작업을 목표로 설정하고, (주)위아와 공동 개발하였다. 특히 이 로봇은 화재 진압을 위해서 소화포가 장착되어 있으며, 대형 공간에서 발생하는 고온의 화재 근방으로 로봇이 접근하기 위해 차체 보호

시스템이 장착되어 있다.

이렇듯 목표 지향 설계 방식은 개발할 로봇에 대한 매우 뚜렷한 목표를 결정한 뒤 이를 가장 잘 만족시킬 수 있도록 로봇을 설계하기 때문에, 로봇의 목표 성취도가 뛰어나고 로봇 개발 중 발생하는 시행착오가 최소화된다. 국방 무인화기술에서 사용될 로봇 역시 병사들이 했던 구체적인 목표에 대해 이를 로봇으로 대체하고자 하는 것이므로, 이 목표 지향 설계 방식을 통해 로봇을 개발한다면 뛰어난 목표 성취도의 로봇을 효율적으로 개발할 수 있으리라 기대된다.



그림 5 소방로봇 Archibot-S 개발 사례



그림 6 실외화재진압 및 인명구조 로봇 개발 사례