

01

휴머노이드의 현황과 핵심 기술

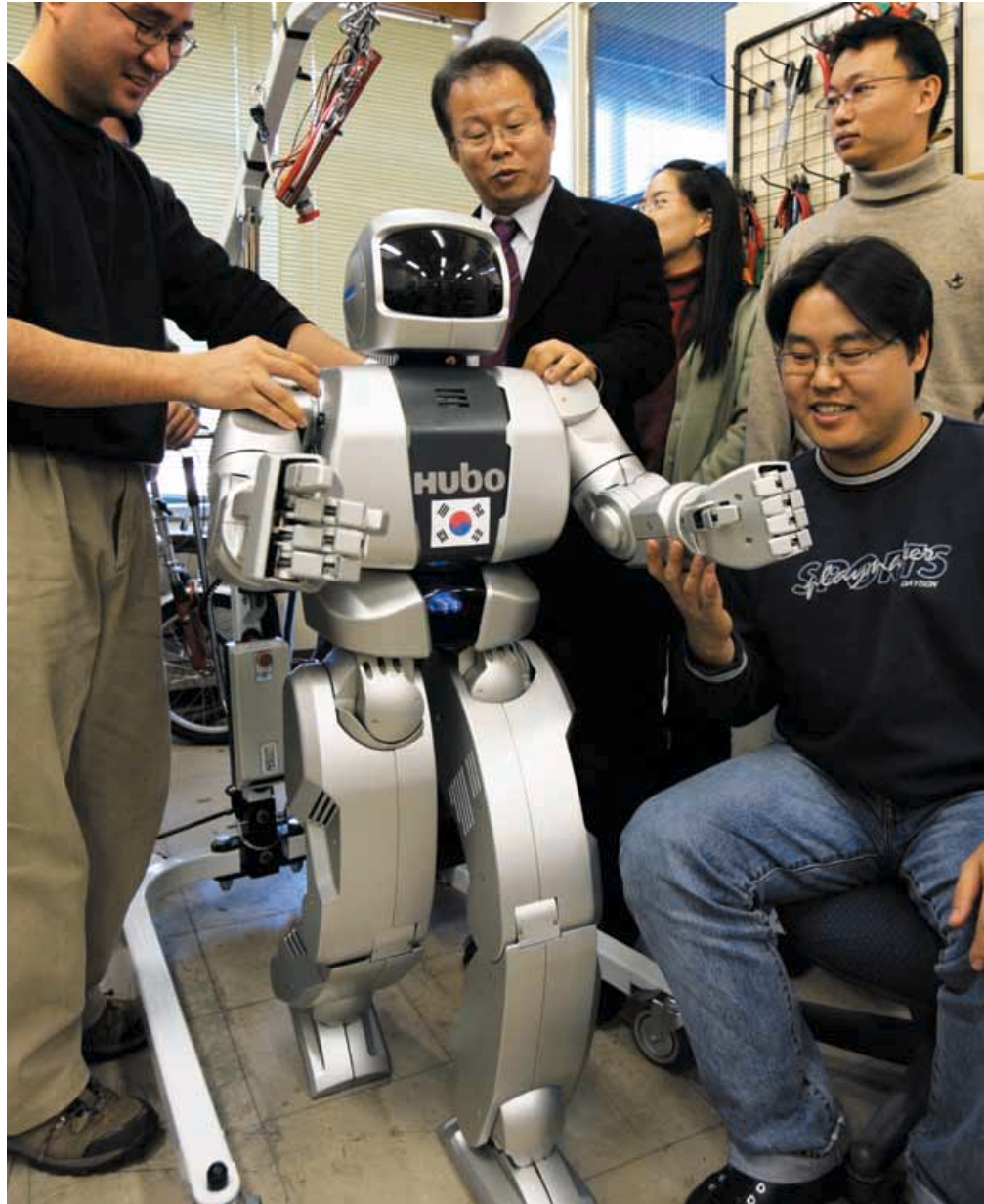
오감(五感)을 가진 로봇 꿈꾼다

글_오준호 KAIST 교수 jhoh@kaist.ac.kr

최 근 KAIST 에서 한국 최초의 인간형 로봇 휴보(HUBO)가 발표된 후 국내에서도 휴머노이드 로봇에 관한 관심과 기대가 매우 커지고 있다. 또한 곧이어 발표된 KIST의 네트워크 기반 인간형 로봇인 NBH가 소개됨에 따라 국내 연구자 간에도 개발 열기가 점차 달아오르는 분위기이다.

우리가 상상하는 로봇의 궁극적인 형태는 인간을 닮고 인간의 행위를 모방할 수 있으며 인간의 지적 능력을 갖춘 로봇으로서 많은 공상과학 영화나 소설 등에 여러 형태로 묘사되어 있다. 이들은 주로 엄청난 물리적 힘과 지적 계산능력을 소유하고 있으며 인간을 주인으로 받들고 봉사하는 모습으로 그려져 왔다. 이러한 모습의 로봇을 현실에서 구현한 것이 휴머노이드 로봇이다. 다시 말해 휴머노이드 로봇이란 인간의 기능을 수행할 수 있는 궁극적인 로봇의 한 형태이다.

이러한 휴머노이드 로봇은 단순히 안정된 걸음을 걸을 수 있는 기능뿐 아니라 시각, 청각은 물론이고 촉각, 후각, 미각 등 오감과 뛰어난 수준의 인공지능까지 갖추어야 한다. 뿐만 아니라 인간과 적절한 수준의 감정적, 지적 교류가 가능하여야 한다. 이를 위하여 전세계의 수많은 연구자들이 각 분야에서 연구에 매진하여 왔다.



그 결과 90년대 중반 이후 여러 종류의 휴머노이드 로봇이 개발되어 대중매체에 소개되면서 전문가들뿐 아니라 일반 대중들의 관심과 호기심을 끌고 있다.

그러나 현재 우리가 보유하고 있는 과학과 기술 수준은 일반 대중과 소비자를 만족시키기에는 턱없이 부족한 것이 현실이다. 즉, 우리가 원하는 기대 성능과 제공할 수 있는 기술 수준의 격차가 가장 큰 분야 중의 하나가 휴머노이드 로봇이다. 이러한 사실은 휴머노이드 로봇이 빠른 시일내에 기술의 장벽을 허물면서 실용화되는 것에 대해 매우 회의적인 시각을 불러일으키고 있기도 하다.

'ZMP' 개념 도입 후 동적 2족 보행 성공

과학자들은 현대적 의미의 로봇기술이 확립된 1960년대부터 산업용 로봇의 출현과 함께 인간의 모습과 흡사한 모습의 로봇을 꿈꿔왔다. 그러나 1970년대부터 로봇이 산업용 로봇이라는 이름으로 대량 생산을 위한 도구로 사용되면서 로봇은 단순히 매니플레이터로 개념이 국한되었었다. 그러나 지난 20여 년간 선진국 등에서는 보다 빠른 컴퓨터 칩 등의 등장에 힘입어 여러 연구자들에 의하여 휴머노이드 로봇뿐 아니라 다각 보행로봇, 호핑로봇, 그리고 단순한 형태의 곡예 로봇, 애원동물 로봇 등에 관한 연구가 끊이지 않았다.

휴머노이드를 위한 연구는 크게 두 가지 영역으로 나누어져 있다. 첫째는 2족 보행 및 메커니즘에 관한 연구이고 두 번째는 비전, 음성인식 등 센서기반 인공지능 연구이다. 후자의 연구 분야는 비단 휴머노이드 로봇뿐 아니라 응용분야가 매우 넓어 광범위한 분야에서 매우 다양한 방식과 접근으로 이루어지고 있다. 한편 전자는 상대적으로 적은 수의 연구 집단에 의해 연구가 이루어지고 있으며 휴머노이드 로봇을 인간답게 보이게 하는 매우 핵심적인 기술요소로 간주되고 있다.

1970~80년대 초기의 2족 보행은 하체 다리 구조에 전력, 모터 드라이버, 컴퓨터 등이 외부에 있는 시스템으로 구성되어 있었다. 이 기간의 연구는 주로 2족 보행의 기본 원리를 이해하고 정적 보행이 가능한 메커니즘의 설계 및 구현에 초점이 맞추어져 있었다. 그 당시에는 동적 걸음새를 구현하는 것이 거의 불가능한 것처럼 인식되기도 하였다. 그러나 ZMP(Zero moment point) 개념이 도입되고 난 후 1985년 일본의 와세다대학이 최초로 동적 보행을 성공시킨 후 주로 일본의 도쿄대, 도쿄공업대, 혼다 등 연구 집단에서 유사한 결과를 도출해 내게 되었다.

한편 1996년도 혼다사는 P2 모델 발표하여 세상을 놀라게 하였으며 기술적으로 여러 면에서 2족 보행을 연구하던 사람들에게 충격을 주었다. 이전의 연구는 컴퓨터, 모터 드라이버, 전력 시스템, 비전 등이 외부에 있었던 것에 비하여 P2는 이 모든 것들은 내장



휴머노이드 로봇 Asimo

하고 있는 최초의 내장형 자율 휴머노이드였다. 또한 전과는 비할 데 없는 인간친화적인 외모를 가지고 있었고 층계오르내리기, 옆걸음, 곡선보행 등 자연스러운 동보행을 시연할 수 있었다. 이러한 것들은 당시까지 느끼던 기술의 한계를 극복한 것들이었다. 이후 내장형 자율 휴머노이드 로봇시대가 열리게 되었다. 특히 혼다사의 P3에 이은 ASIMO(Advanced Step in Innovative Mobility)의 출현은 다시금 큰 사회적 반향과 관심을 이

끌었다. P2는 무게가 210kg이며 키가 180cm에 수 kW전력을 소모하는 거구인데 반하여 아시모는 120cm의 키에 50kg의 체중을 갖는 아담한 크기로 일반 대중과 매스컴으로부터 폭발적인 인기를 끌게 되었다. 아시모는 단지 로봇 기술의 구현이라는 차원을 떠나 생활 환경 속에서 인간과 같이 할 수 있는 로봇의 출현 가능성을 보여주었고 로봇을 대중과 같이 할 수 있는 오락 대상으로 느끼게 하는 계기가 되었다. 이외는 별도로 이미 장난감 시장에 AIBO라는 로봇 강아지를 출시한바 있는

소니사는 SDR 시리즈를 발표해 소형 장난감형 엔터테인먼트 휴머노이드 로봇시장의 가능성을 열었다.

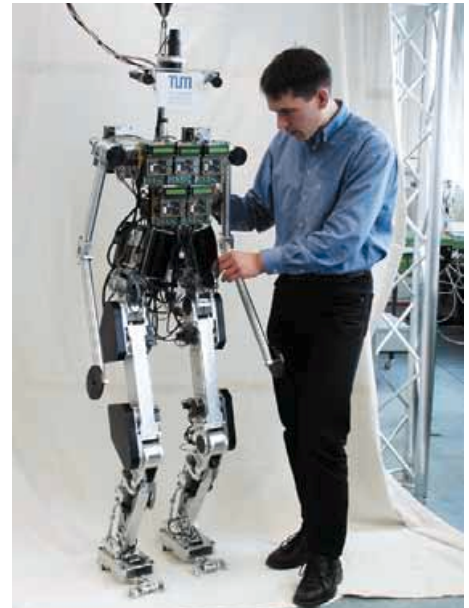
내장형 자율 휴머노이드 연구 활발

1996년을 시작으로 혼다의 P2, P3, 아시모가 발표된 후 전세계적으로 내장형 자율 휴머노이드 로봇 연구에 대한 관심이 고조되면서 세계 각국의 다양한 연구 그룹에서 연구가 시작되었다. 대표적인 사례가 일본 AIST 주도의 HRP (Humanoid Robot Project)이다. 이 연구는 2002년말까지 5년간 지속되었으며, 결과물로 HRP-2를 내놓았다. 당초 생활 환경에서의 실용화와 양산을 통한 상업화를 목표로 하였으나 그에 이르지 못했다. 상대적으로 소액의 예산과 짧은 연구 기간에 인상적인 결과를 보인 경우는 독일 뮌헨대학의 JOHNNIE를 들 수 있다. 단지 5년 정도의 대학규모 연구로 세계적인 2족 보행 시연을 보이고 있다. 그들 역시 초기에는 ‘떨 수 있는’ 로봇을 구상하였으나 아직은 미흡한 결과를 보이고 있다. 중국 베이징대학의 BHR(Beijing Humanoid Robot)은 단지 도쿄대의 H7을 재구현했다는 평가를 받고 있으며 동적 걸음새에 대한 결과보고는 아직 없다. 그 외에 러시아, 스페인 등에서 연구가 진행 중이다.

미국의 경우 1980~90년대의 다족보행, 호핑머신 등의 활발했던 연구에 비해 근래에는 2족 보행 휴머노이드의 연구보다는 휴먼 로봇 인터랙션에 기반을 둔 인식, 인지, 감성 등의 연구에 더 치중해 있는 경향을 보이고 있다. 국내의 경우 여러 곳에서 휴머노이드를 위한 2족 보행에 관



HRP2



Johnnie

한 연구가 진행 중이다. 그러나 이들 연구는 주로 2족 모델에 대한 동역학 전산모사에 근간을 두고 있는 경우가 대부분이다. 실제 보행을 위하여 소형서보모터를 탑재한 신장 50cm급의 플랫폼이 많이 연구되고 있으나 자연스러운 보행을 하기에는 아직 미흡하다.

국내에서도 과거 10여 년간 여러 형태로 인간형 로봇 및 2족 보행에 관한 연구가 지속되어왔고, 최근에 HUBO와 NBH 등이 발표되면서 이제 우리나라도 선진국과의 기술 경쟁에 본격적으로 뛰어 들고 있다.

인간 걸음 흉내 매우 어려워

2족 보행은 크게 정보행과 동보행으로 대별할 수 있다. 정보행은 항시 정적 안정영역에 무게중심이 위치하면서 보행하는 것이다. 반면 동보행은 무게중심이 정적 안정영역 밖에 있어 항시 ‘쓰러지면서’ 다음 지지발을 내딛는 경우를 말한다. 사람은 보통 동보행을 하며 이 경우 훨씬 적은 에너지로 신속하게 걸을 수 있다. 뿐만 아니라 몸 중심을 유지하기 위한 상체의 좌우 운동폭도 정보행에 비하여 훨씬 줄어들게 된다.

그렇다면 휴머노이드 로봇의 보행은 어떻게 구현되는 것인가? 2족 보행에 대하여 가장 많이 접하는 질문 중의 하나는 “2족 보행이 그렇게 어려운 기술인가? 사람의 걸음새를 잘 관찰해 무게중심을 이동해 가며 적절히 하면 되는 것 아닌가?”이다.

2족 보행이 쉽지 않은 이유는 첫째, 인간운동의 구동원인 근육은 힘원이고 휴머노이드의 구동원인 전기모터/감속기는 속도원이라는 것이다. 따라서 각 조인트에는 토크 센서에 의한 피드백이 필수다. 이는 제어 및 경로계획을 복잡하게 만든다. 둘째는 휴머노이드 로봇을 인간과 똑같은 무게 분포를 갖도록 만들기가 힘들다. 이는 인간의 걸음과 걸보기가 유사한 자연스러운 걸음새를 구현하는데 어려움을 준다.

셋째, 우리는 아직 인간의 몸속에서 수십개의 근육이 어떤 인과관계를 가지고 동시에 협동하며 움직이는지 정확히 이해를 못하고 있다. 따라서 아무리 정확히 인간의 운동을 외부에서 관측하여 이를 로봇에 적용한다 하여도 2족 보행을 성공시킬 수 없다. 이는 인

과성은 관측으로 알아낼 수 없기 때문이기도 하다. 때문에 정확한 수학적 모델링에 의한 동적 해석이 필수다. 마지막으로 인간은 시각, 관성, 각 조인트 및 근육에서의 힘 등 여러 종류의 센서시스템을 가지고 있고, 피부에서는 압력, 통증 등 다양한 정보를 제공하고 있는데, 이는 휴머노이드로 하여금 매우 복합적인 센서 및 신호 융합기술을 요구하게 한다. 더욱이 직립보행은 기본적으로 역진자의 성격을 띠고 있으며 비최소위상 시스템이기 때문에 제어에 더욱 어려움을 주고 있다.

SW·HW 통합시스템 기술 확보가 관건

휴머노이드는 로봇기술이 집약된 상징성을 갖고 있는 기술 복합체이다. 따라서 선진국을 중심으로 기술적 우위를 점하고 이를 과시하는 수단으로 향후 활발한 연구가 진행될 것이다. 그러나 현재까지 개발된 휴머노이드 로봇들은 주로 2족 보행 기능의 개발에 주력하고 있었으나 실용화 수준에는 크게 미치지 못하고 있으며 비전, 인공지능 등 인식기능은 매우 초보적인 단계로 이미 각 분야에서 개발된 수준의 것을 단순히 적용한 것에 불과하다. 또한 부여된 기능은 단순히 미리 계획된 작업을 재현하는 수준에 머물

러 있어 실용화에는 아직 크게 미치지 못하는 수준이다. 따라서 앞으로 휴머노이드 로봇이 실용화 수준에 이르기 위하여 앞으로 다음의 분야에 관한 연구가 매우 활발할 것으로 예상된다.

플랫폼 및 시스템 기술

인간 크기와 무게라는 물리적 제한 속에 50여 개의 구동기, 감속기, 센서, 컴퓨터, 네트워크, 전원 등을 효율적으로 포함시키며 소프트웨어와 하드웨어를 통합하는 시스템 기술의 확보가 무엇보다도 중요하다. 앞으로는 네트워크 기술의 발달에 따라 비전, 인식, 지능 등 많은 연산과 메모리를 요구하는 영역은 네트워크를 통하여 외부의 지원을 받아 해결하는 추세로 나아갈 것이다. 또한 초다축 자유자유도 시스템을 효율적으로 동시에 제어하기 위한 툴의 개발도 중요한 연구 분야라 하겠다.

센서 및 액추에이터

MEMS 기술이나 NT 기술을 원용한 소형, 저가의 센서가 많이 개발돼 이를 응용한 센서 시스템이 도입될 것이다. 또한 햅틱 기술을 기초로 한 인간-로봇 인터페이스 기술에 대한 연구가 활발할 것으로 기대된다. 전동 모터/감속기는 이미 더욱 소형화, 경량화 추세이므로 앞으로도 계속 사용될 것이다. 반면 인공근육 등 신개념 액추에이터에 대하여 지속적인 연구는 있겠지만 당분간 실용화는 어려울 것이다.

자율보행 및 자세 안정화

현재는 단순 동보행에 머물러 있으나 최소에너지-최대안정성에 근거한 더욱



Qrio

다양한 걸음새가 구현될 것이며, 이에 대한 연구는 앞으로도 지속적으로 계속될 것이다. 또한 외부 충격 및 비평탄 지형에 대하여도 안정성을 유지할 수 있는 기법에 대한 연구도 앞으로 이루어져야 할 분야이다. 넘어졌을 경우에 대비한 피해 최소화 기술 및 자세복원기술에 관한 연구 역시 해결해야 할 미래의 연구 분야이다.

인식 및 인공지능

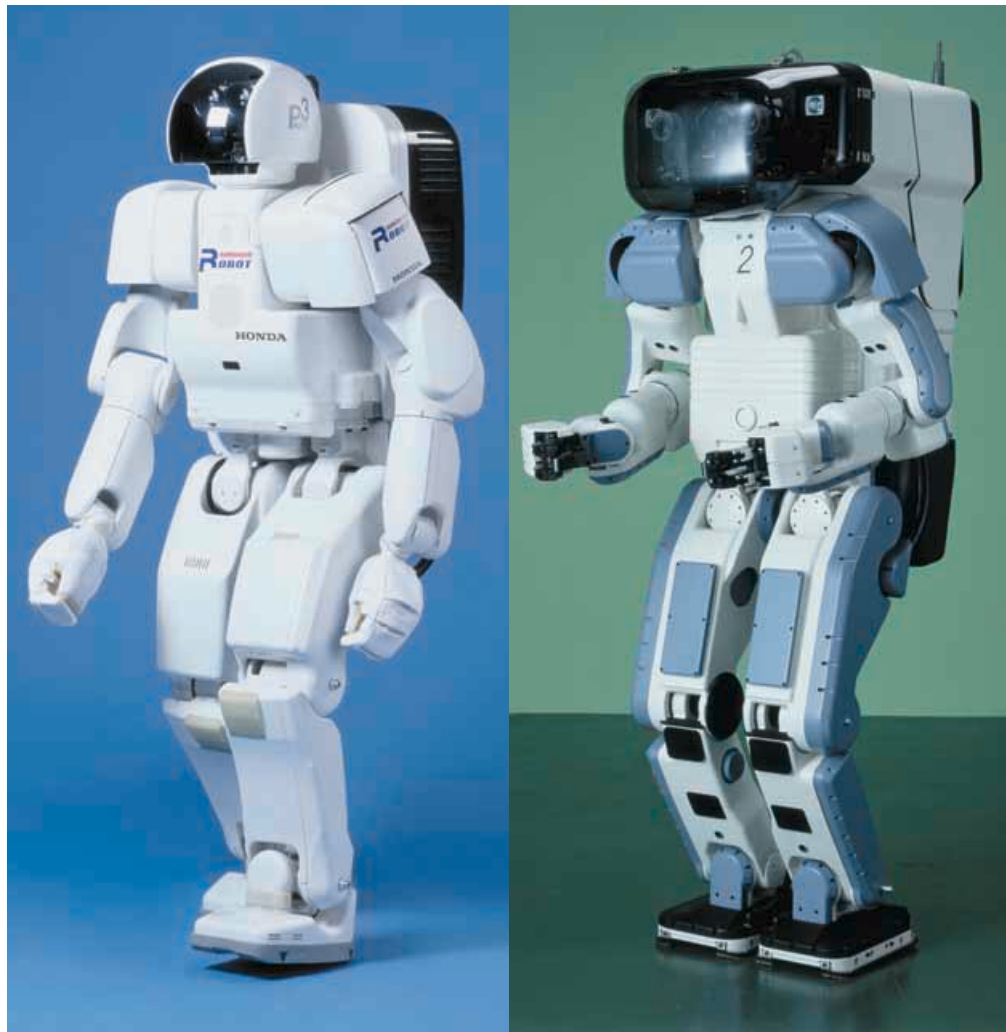
이 분야는 자동차, 가전제품, 이동통신 등의 영역에서 이미 활발한 연구가 진행 중이다. 따라서 로봇틱스의 발달과 더불어 향후 꾸준한 발전이 있을 것으로 예측된다. 이 연구에는 인간의 의도를 파악하는 기술, 감정표현기술 등에 대한 연구가 필수로 포함되어야 할 것이다. 또한 독립적으로 프로그램된 다양한 동작을 융합된 하나의 자연스러운 행동으로 구현하는 기술 역시 중요한 과제로 남아있다.

인간 친화성 및 안전성

인간 크기(키 150cm, 무게 60kg) 정도의 중형 휴머노이드 플랫폼에 대한 연구가 주류를 이룰 것으로 전망된다. 이는 인간 생활환경 속에서 인간과 공존할 수 있는 필수조건이다. 또한 정상 작동시에는 물론이고 오동작시에도 절대 안정성을 확보할 수 있는 기술개발이 매우 중요하다. 인간 친화적인 외관을 갖도록 하여 인간과 같이 공존하는데 적합하여야 한다.

상업성 및 실용성

1회 충전으로 최소 5시간 이상 연속 구동이 가능한 기술이 확보되어야 한다. 이



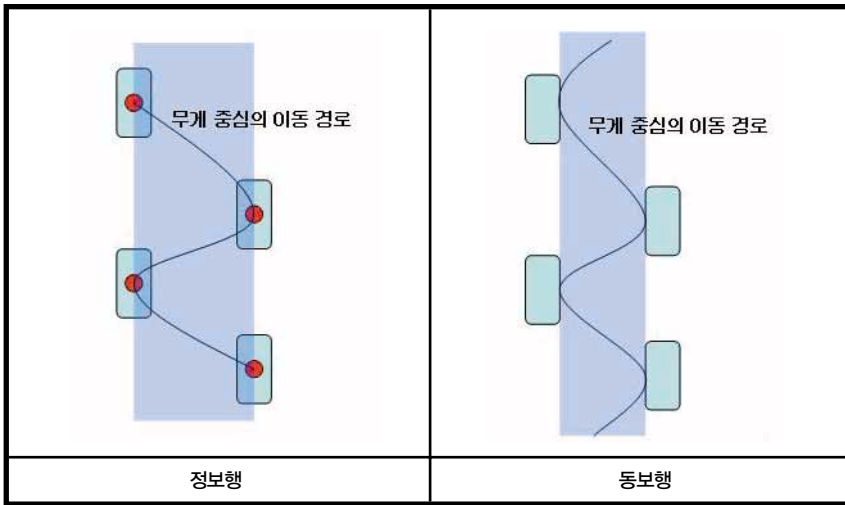
휴머노이드 로봇 P3, P2

를 위하여는 더욱 효율적인 2차전지 시스템개발, 고효율 구동기의 개발 등이 선행되어야겠으나, 보다 효과적인 해결책은 수소연료전지가 될 것으로 보인다. 실용성을 위해 자체 중량 이외에 30kg 이상을 다룰 수 있는 부하능력이 요구된다. 또한 기구학적, 소프트웨어적, 하드웨어적으로 개방된 구조를 가지고 있어 사용자 수준에서의 확장성이 보장되어야 하며 용이한 보수성을 가지고 있어야 한다. 상업적인 보급을 위해 최종 소비자 가격이 20만 달러 이내여야 할 것이다.

이와는 별도로 소형의 단순화된 휴머노이드는 지속적으로 출시되어 장난감시장의 주요 품목으로 자리 잡게 될 것이다. 저가의 서보모터로 구성된 소형 휴머노이드는 주로 학생들의 경진대회를 통하여 다양하고 독창적인 형태로 발전될 것이다.

로봇 관련 기술의 총합체

혼다사는 휴머노이드 로봇으로 기업 이미지 제고에서 매우 큰 성과를 올린바 있다. 그러나 이것이 상업적으로 성공하리라고 기대하는 것은 성급하다는 것이 일반적인 견해다. 소니가 상업적인 목적으로 개발한 QRIO는 여러모로 기술혁신을 주도하고 있으나



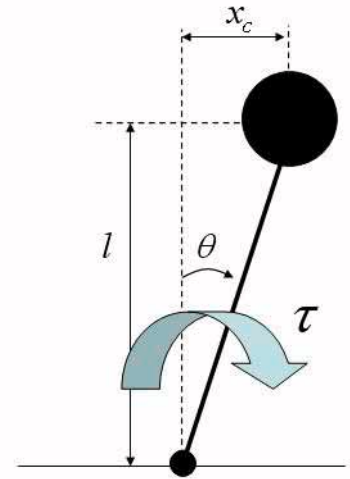
정보행과 동보행 비교

대표적인 휴머노이드 플랫폼의 세부사항

	ASIMO	HRP-2
키 / 무게	125cm / 55kg	140cm / 60kg
하체 자유도	12	12
보폭 / 최대속도	40cm / 1.8km	25cm / 1.0km
비전 시스템	스테레오 + 바닥감시전용 카메라	Asimo와 같은 수준으로 추정
인공지능 및 인식	제한 수준의 초보적 단계	좌동
자세제어 센서	F/T센서, Gyro, 경사계	좌동
1회 충전 작동 시간	1시간 이내	좌동
Demo	생활 환경 속에서 자연스러운 모습 - 사람 인식, 다가서서 악수하기, 총 계 오르기, 인사하기 등	실용적인 응용을 강조 - 누운 자세에서 일어나기, 사람과 협동하여 판재 이동
기타	자연스러운 걸음새와 인간다운 외모 를 목표로 하여 제작된 플랫폼이기 때문에 전시용 혹은 이벤트 용으로 는 적합하나 실용적 목적으로는 부 적합	처음부터 실용화를 목적으로 하고 있어 양산을 염두에 두고 설계를 하 였음 - 제작 : 가와다 공업 그러나 아직 여러 성능 및 안정성면 에서 시장에 나갈 수준에는 미달


휴머노이드 로봇의 크기

로봇의 크기	< 50cm (=0.3m)	< 120cm (=0.8m)	> 200cm (=1.5m)
대표적 모델	SDR, Sony	Asimo, Honda	P2, Honda
$\sqrt{l/g}$	~ 1 Hz	~ 0.5 Hz	~ 0.4 Hz
l/g	0.03	0.08	0.15



ZMP 다이어그램

그 성공 여부는 아직 미지수이다. 종합적으로 보아 휴머노이드 로봇이 상업성을 확보하기에는 아직 미흡한 점이 많다는 것이 거의 모든 전문가들의 공통된 견해다. 그럼에도 불구하고 휴머노이드 로봇에 관한 관심과 열의가 식지 않고 더욱 뜨거워지는 것은 휴머노이드 로봇이 가지고 있는 기술적, 사회문화적 상징성 때문이다. 휴머노이드 로봇은 당대 로봇 관련 모든 기술의 집합체일뿐 아니라 기술력의 상징이다.

이와 같이 휴머노이드 로봇은 당분간 전시, 데모 등 엔터테인먼트 분야에서의 응용이 주력을 이룰 것으로 본다. 현재로는 단지 일본의 아시모만이 이 분야에서 큰 성공을 거두고 있다. 그러나 우리나라에서도 곧 이와 겨룰 휴머노이드가 등장하여 선진국과 기술 우위 경쟁을 벌이며 국제적이며 대중적인 인기와 관심을 이끌 것으로 기대해 본다. 



글쓴이는 연세대학교를 졸업 후 동 대학원에서 석사학위를, 캘리포니아대학에서 박사학위를 받았다.