휴머노이드 로봇의 현황과 발전 방향

글 • 오 준 호 / KAIST 기계공학과, 교수
e-mail • jhoh@kaist.ac.kr

이 글에서는 휴머노이드 로봇의 개발 현황에 대하여 살펴보고 앞으로의 연구 방향을 가늠해 보도록 한다.

우리가 상상하는 로봇의 궁극적인 형태는 인간을 닮고 인간의 행위를 모방할 수 있으며 인간의 지적능력을 갖춘 로봇으로서 많은 공상과학 영화나 소설 등에 여러 형태로 묘사 되어있다. 이들은 주로 엄청난 물리적 힘과 지적 계산능력을 소유하고 있으며 인간을 주인으로 받들고 봉사하는 모습으로 그려져 왔다. 이러한 모습의 로봇을 현실에서 구현한 것이 휴머노이드 로봇(humanoid robot)이다. 다시 말해 휴머노이드 로봇이란 인간의 기능을 수행 할 수 있는 궁극적인 로봇의 한 형태이다.

이러한 휴머노이드 로봇은 단순히 안정한 걸음을 걸을 수 있는 기능뿐 아니라 시각, 청각은 물론이고 촉각, 후각, 미각 등 5감과 뛰어난 수준의 인공지능까지 갖추어야 한다. 뿐만 아니라 인간과 적절한 수준의 감정적, 지적 교류가 가능하여야 한다. 이 목적의 달성을 위하여 전 세계의 수많은 연구자들이 각 분야에서 연구에 매진하여 왔다. 그 결과 '90년대 중반 이후 여러 종류의 휴머노이드 로봇이 개발되어 대중매체에 소개 되면서 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 기대성능과 제공할 수 있는 기술수준의 격차가 가장 큰 분야 중의 하나가 휴머노이드 로봇이다. 이러한 사실은 휴머노이드 로봇이 빠른 시일 내에 기술의 장벽을 허물면서 실용화 되는 것에 대해 매우 회의적인 시각을 불러일으키고 있기도 하다.

휴머노이드 로봇의 출현

과학자들은 현대적 의미의 로봇기술이 확립된 1960대부터 산업용 로봇의 출현과 함께 인간의 모습과 흡사한 모습(humanoid)의 로봇을 꿈꾸어 왔다. 그러나 '70년대부터 로봇이 산업용 로봇이라는 이름으로 대량생산을 위한 도구로 사용되면서 로봇은 단순히 매니퓰레이터(manipulator)로서 개념이 국한되었다. 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 곡예로봇, 애완동물로봇 등에 관한 연구가 끊이지 않았다. 휴머노이드를 위한 연구는 크게 두 가지 영역으로 나누어져 있다. 첫째는 2족 보행 및 메카니즘에 관한 연구이고 두 번째는 비전, 음성인식 등 센서기반 인공지능 연구

이다. 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 의하여 연구가 이루어지고 있으며 휴머노이드 로봇을 인간답게 보이게 하는 매우 핵심적인 기술요소로 간주되고 있다.

'70년, '80년대의 초기의 2족 보행은 하체다리구조에 전력, 모터 드라이버, 컴퓨터 등이 외부에 있는 시스템으로 구성되어 있었다. 이 기간의 연구는 주로 2족 보행의 기본 원리를 이해하고 정적 보행이 가능한 메카니즘의 설계 및 구현에 초점이 맞추어져 있었다.[1, 2] 그 당시에는 동적 걸음새를 구현하는 것이 거의 불가능한 것처럼 인식되기도 하였다. 그러나 ZMP(Zero Moment Point)[3]란 개념이 도입되고 난 후 1985년 와세다대(WL-10RD)에 의하여 최초로 동보행이 성공한 후 주로 일본의 동경대, 동경공업대, 혼다 등 연구집단에서 유사한 결과를 도출해 내게 되었다.[4~6] 한편 1996년도 혼다사에서 P-2 모델 발표하여 세상을 놀라게 하였으며 기술적으로 여러 면에서 2족보행을 연구하던 사람들에게 충격을 주었다. 이전의 연구는 컴퓨터, 모터 드라이버, 전력 시스템, 비전 등 이 외부에 있었던 것에 비하여 P-2는 이 모든 것들은 내장하고 있는 최초의 'self contained' 휴머노이드였다. 또한 전과는 비할 데 없는 인간친화적인 외모를 가지고 있었고 층계 오르내리기, 옆걸음, 곡선보행 등 자연스러운 동보행을 시연할 수 있었다. 이러한 것들은 당시까지 느끼고 있던 기술의 한계를 극복한 것들이었다. 이후 내장형 자율 휴머노이드 로봇(self contained autonomous humanoid) 로봇시대가 열리게 되었다. 특히 혼다사의 P-3에 이은 ASIMO(Advanced Step in Inno-vative Mobility)의 출현은 다시금 큰 사회적 반향과 관심을 이끌었다. P-2가 무게가 210kg이며 키가 180cm에 수kW 전력을 소모하는 거구인데 반하여 ASIMO는 120cm의 키에 50kg의 체중을 갖는 아담한 크기로서, 일반 대중과 매스컴으로부터 폭발적인 인기를 끌게 되었다. ASIMO는 단지 로봇기술의 구현이라는 차원을 떠나 생활 환경 속에서 인간과 같이 할 수 있는 로봇의 출현 가능성을 보여 주었고 로봇을 대중과 같이 할 수 있는 오락(entertainment) 대상으로 느끼게 하는 계기가 되었다. 이와는 별도로 이미 장난감 시장에 AIBO라는 로봇 강아지를 출시한 바 있는 SONY 사는 SDR series를 발표함으로써 소형 장난감형 엔터테인먼트 휴머노이드 로봇시장의 가능성을 열었다.

Humanoid Robot 연구 동향

1996년을 시작으로 혼다의 P2, P3, Asimo가 발표된 후 전 세계적으로 내장형 자율 휴머노이드 로봇 연구에 대한 관심이 고조되면서 세계 각국의 다양한 연구그룹에서 연구가 시작되었다. 대표적인 사례가 일본 AIST 주도의 HRP(Humanoid robot project)[7]이다. 이 연구는 2002년 말까지 5년간 지속되었으며 결과물로서 HRP-2를 내놓았다. 당초 생활환경에서의 실용화와 양산을 통한 상업화를 목표로 하였으나 그

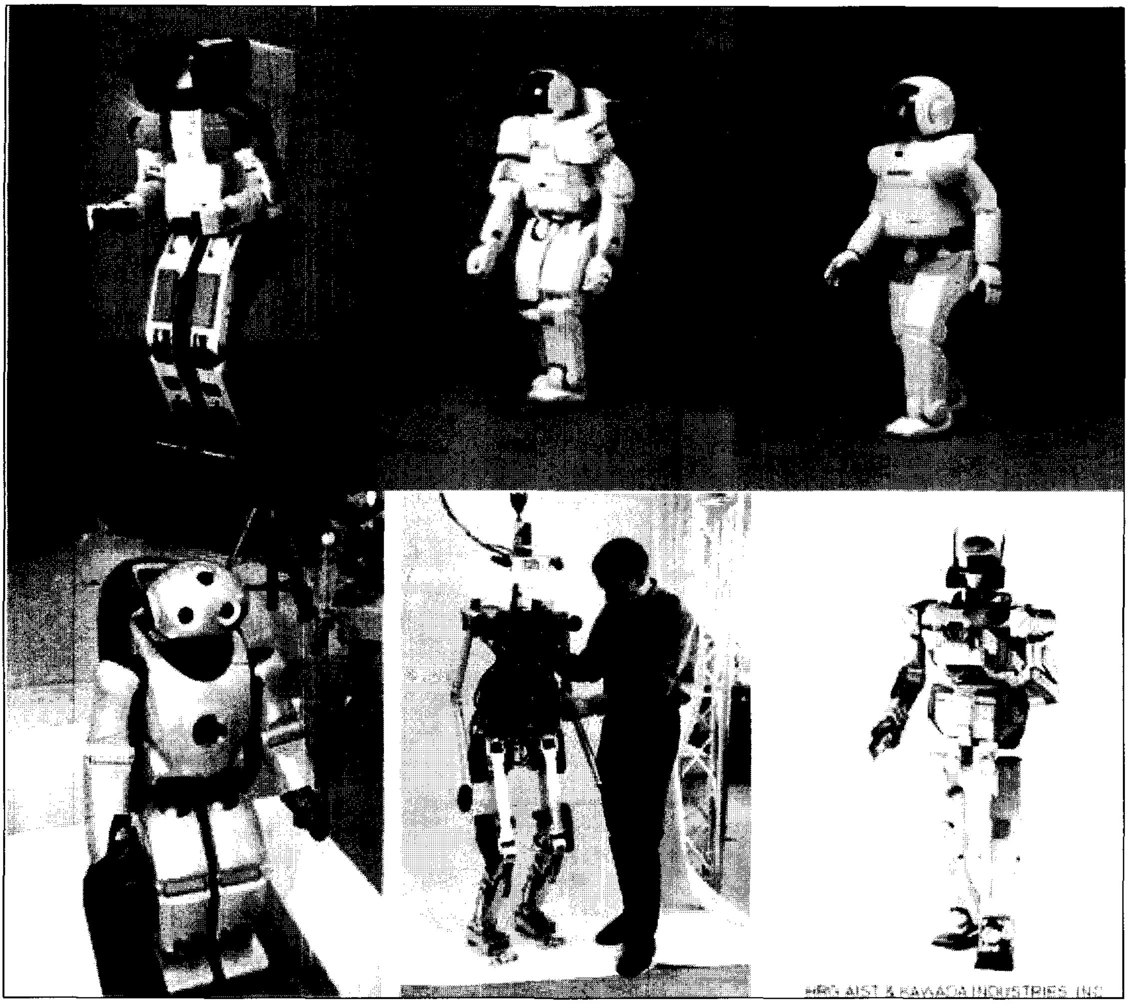

그림 1 휴머노이드 로봇[P2, P3, Asimo, HRP-2, Johnnie, Qrio(시계방향 순)]

에 이르지는 못한 것으로 판단된다. 상대적으로 소액의 예산과 짧은 연구기간에 인상적인 결과를 보인 경우는 독일 뮌헨 대학의 JOHNNIE[8]를 들 수 있다. 단지 5년 정도의 대학규모 연구로 세계적인 2족 보행 시연을 보이고 있다. 그들 역시 초기에는 '뛸 수 있는'(jogging) 로봇을 구상하였으나 아직은 미흡한 결과를 보이고 있다. 중국 북경대의 BHR(Beijing humanoid robot)[9]은 단지 동경대의 H7을 재구현했다는 평가를 받고 있으며 동적 걸음새에 대한 결과보고는 아직 없다. 그 이외에 러시아[10], 스페인[11] 등에서 연구가 진행 중이다. 미국의 경우 '80~'90년대의 다족보행, 호핑머신(hopping machine) 등의 활발했던 연구에 비해 근래에는 2족 보행 휴머노이드의 연구보다는 Human-Robot interaction에 기반을 둔 인식, 인지, 감성 등의 연구[12,13]

표 1 주요 웹 사이트

동경대	http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/
와세다대학	http://www.humanoid.waseda.ac.jp/index.html
MIT Leg Lab	http://www.ai.mit.edu/projects/leglab/robots/robots.html
AIST	http://www.aist.go.jp
MIT Humanoid Robotics Group	http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/index.html
SONY	http://www.sony.net/SonyInfo/QRIO/
독일 뮌헨 대학	http://www.amm.mw.tu-muenchen.de/index_e.html
KAIST 기계제어연구실	http://ohzlab.kaist.ac.kr
KAIST RIT Lab.	http://vivaldi.kaist.ac.kr/

표 2 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 camera	ASIMO와 같은 수준으로 추정
인공지능 및 인식	제어 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 악수 하기, 층계 오르기, 인사하기 등	실용적인 응용을 강조 - 바닥에 누운 자세로부터의 직립, 사람과 협동하여 판재 이동.
기타	자연스러운 걸음새와 인간다운 외모를 목표로 하여 제작된 플랫폼이기 때문에 전시용 혹은 이벤트 용으로는 적합하나 실용적 목적으로는 부적합	처음부터 실용화를 목적으로 하고 있어 양산을 염두에 두고 설계를 하였음 - 제작 : 가와다 공업. 그러나 아직 여러 성능 및 안정성 면에서 Market에 나갈 수준에는 미달

에 더 치중해 있는 경향을 보이고 있다. 국내의 경우 여러 곳에서 humanoid를 위한 2족 보행에 관한 연구가 진행 중이다. 그러나 이들 연구는 주로 2족 모델에 대한 동역학 전산모사[(14)]에 근간을 두고 있는 경우가 대부분이다. 실제 보행의 구현을 위하여 소형서보모터를 탑재한 신장 50cm급의 플렛폼[(15)]이 많이 제작되어 연구되고 있으나 자연스러운 보행을 구현하기에는 아직 미흡한 듯 보인다. 아직 연구개발 단계여서 공식 발표는 없으나 KIST, KAIST 등 연구기관과 몇 기업에서 생활환경급(키 130cm 내외) 휴머노이드 플렛폼의 개발을 진척시켜 나아가고 있는 것으로 알려지고 있으며 조만간 국제수준의 결과물 출현이 기대되고 있다. 표 1에 국제적으로 알려져 있는 대표적인 연구 웹 사이트를 나타내었다. 표 2에는 대표적인 휴머노이드 플렛폼의 세부사항을 정리하였다. 그림 1에는 대표적인 휴머노이드 플렛폼의 외견 사진들을 보이고 있다.

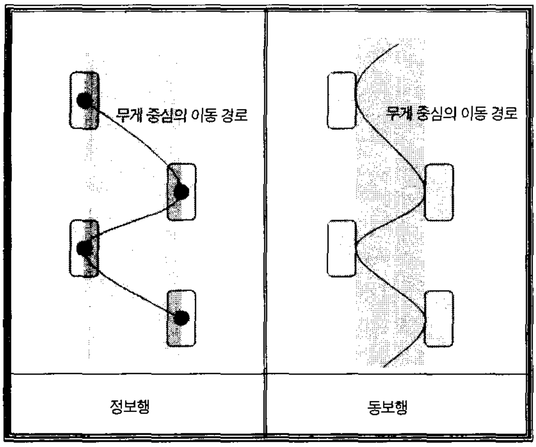

그림 2 정보행과 동보행 비교

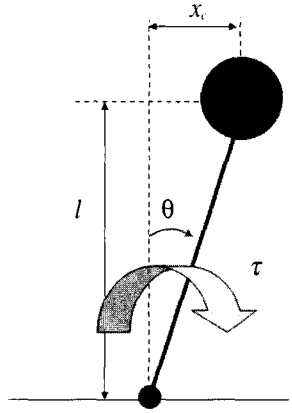

그림 3 ZMP 다이어그램

Humanoid Robot과 2족 보행

2족 보행은 크게 정보행과 동보행으로 대별할 수 있다(그림 2 참조). 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 필자가 가장 많이 접하는 질문 중에 하나는 '2족 보행이 그렇게 어려운 기술인가? 사람의 걸음새를 잘 관찰하여 무게의 중심을 이동해 가며 적절히 하면 되는 것 아닌가?' 이다. 이에 대한 대답은 '2족보행이 그리 용이하지 않다.' 이다 그 이유는 다음과 같이 생각해 볼 수 있다.

1. 인간운동의 구동원인 근육은 힘원(force source)이고 휴머노이드의 구동원인 전기모터/감속기는 속도원(velocity source)이다. 따라서 각 조인트에는 force/torque 센서에 의한 feedback이 필수이다. 이는 제어 및 경로계획을 복잡하게 만든다.
2. 휴머노이드 로봇를 인간과 똑같은 무게분포를 갖도록 만들기가 힘들다. 이는 인간의 걸음과 겉보기가 유사한 자연스러운 걸음새를 구현하는 데 어려움을 준다.
3. 우리는 아직 인간의 몸 속에서 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 인과성(causality)은 관측으로 알아낼 수

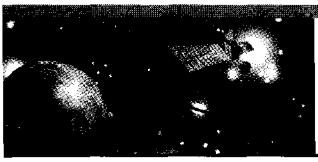

표 3 휴머노이드 로봇의 크기

로봇의 크기	〈 50㎝ (l = 0.3m)	〈 120㎝ (l = 0.8m)	〉 200㎝ (l = 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

없기 때문이기도 하다. 때문에 정확한 수학적 모델링에 의한 동적해석이 필수이다.

4. 인간은 시각, 관성, 각 조인트 및 근육에서의 힘 등 여러 종류의 센서시스템을 가지고 있다. 또한 피부에서는 압력, 통증 등 다양한 정보를 제공하고 있다. 이는 휴머노이드로 하여금 매우 복합적인 센서 및 신호 융합기술을 요구하고 있다.

더욱이 직립보행은 기본적으로 역진자(inverted pendulum)의 성격을 띠고 있으며 비최소위상 시스템[17]이기 때문에 제어에 더욱 어려움을 주고 있다. 휴머노이드 로봇의 기본적인 동특성을 고찰하기 위하여 그림 2와 같은 간단한 역진자를 생각해 보자. 여기에서 ZMP를 구해보면 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$ZMP = x_c - \sqrt{\frac{l}{g}}\,\ddot{x}_c$$

여기서 $\sqrt{\frac{l}{g}}$항은 진자의 고유진동수의 역수로서 로봇의 키가 작으면 에 대하여 상대적으로 적은 양이며, 키가 크면 이 항이 주요 양이 되게 된다. 표 3에서 대표적인 크기의 휴머노이드에 대하여 그 값을 구하여 보았다. 일반적으로 $\sqrt{\frac{l}{g}}$값이 걸음 주기보다 절반 이하일 때 자연스러운 동보행을 구현할 수 있다. 사람의 경우 걸음속도가 1.2Hz이며 고유 진동수는 약 0.45Hz이다. 이 경우 보행시 상체의 흔들림이 자연스러운 동보행을 하게 되는 것이다. 반면에 휴머노이드 로봇이 너무 작으면 ZMP에서 x_c가 차지하는 비중이 커지면서 보행시 몸이 좌우로 크게 흔들리게 되는 현상이 나타난다. 2족 로봇의 동보행 구현에 관한 연구 결과는 참고문헌(18), (19) 등에서 찾아볼 수 있다.

앞으로의 개발 및 연구 방향

전술한 바와 같이 휴머노이드는 로봇기술이 집약된 상징성을 갖고 있는 기술 복합체이다. 따라서 선진국을 중심으로 기술적 우위를 점하고 이를 과시하는 수단으로 향후 활발한 연구가 수행되리라 본다. 그러나 현재까지 개발된 휴머노이드 로봇들은 주로 2족보행 기능의 개발에 주력하고 있었으나 이 조차 실용화 수준에 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(pre-programmed) 작업을 재현(play back)하는 수준에 머물러 있어 실용화에는 아직 크게 미치는 못하는 수준이다. 따라서 앞으로 휴머노이드 로봇이 실용화 수준에 이르기 위하여 앞으로 다음의 분야에 관한 연구가 매우 활발할 것이다.

o **Platform 및 시스템기술** : 인간 크기와 무게라는 물리적 제한 속에 50여 개의

구동기, 감속기, 센서, 컴퓨터, 네트워크, 전원 등을 효율적으로 포함시키며 software/hardware를 통합하는 시스템 기술의 확보가 무엇보다도 중요하다. 앞으로는 네트워크 기술의 발달에 따라 비전, 인식, 지능 등 많은 연산과 메모리를 요구하는 영역은 외부의 지원을 받아 해결하는 추세로 나아갈 것이다. 또한 초다축 여유자유도 시스템을 효율적으로 동시제어하기전 위한 툴의 개발도 중요한 연구 분야라 하겠다.

o **센서 및 액츄에이터** : MEMS 기술이나 NT 기술을 원용한 소형, 저가의 센서가 많이 출현함에 따라 이를 응용한 센서 시스템이 도입될 것이다. 또한 haptic 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 액츄에이터에 대하여는 지속적인 연구는 있겠으나 당분간 실용화되기 어려울 것이다.

o **자율보행 및 자세안정화** : 현재는 단순동보행에 머물러 있으나 최소 에너지/최대 안정성에 근거한 더욱 다양한 걸음새가 구현될 것이며 이에 대한 연구는 앞으로도 지속적으로 계속될 것이다. 또한 외부 충격 및 비 평탄 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.

o **인식 및 인공지능** : 이 분야는 자동차, 가전제품, 이동통신 등의 영역에서 이미 활발한 연구가 진행 중이다. 따라서 로보틱스의 발달과 더불어 향후 꾸준한 발전이 있을 것으로 예측된다. 이에는 인간의 의도를 파악하는 기술, 감정표현기술 등에 대한 연구가 필수로 포함되어야 할 것이다. 독립적으로 인지 혹은 프로그램된 다양한 행동양식을 융합된 한 개의 자연스러운 행동을 구현하는 기술,

o **인간 친화성 및 안전성** : 인간 정도 크기(키 150cm, 무게 60kg-전원 포함) 정도 크기의 중형 휴머노이드 플렛폼에 대한 연구가 주류를 이룰 것으로 전망된다. 이는 인간생활환경 속에서 인간과 공존할 수 있는 필수 조건이다. 또한 정상작동시에는 물론이고 오동작 시에도 절대 안정성을 확보할 수 있는 기술개발이 매우 중요하다. 인간친화적인 외관을 갖도록 하여 인간과 같이 공존하는 데 적합하여야 한다.

o **상업성 및 실용성** : 1회 충전으로 최소 5시간 이상 연속 구동이 가능한 기술이 확보 되어야 한다. 이를 위 하여는 더욱 효율적인 2차전지 시스템개발, 고효율 구동기의 개발 등이 선행 되어야 하겠으나, 보다 효과적인 해결책은 수소연료전지가 될 것으로 판단된다. 실용성을 위하여는 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 위 하여는 최종 소비자 가격이 US$200,000 이내이어야 할 것이다.

이와는 별도로 소형의 단순화된 휴머노이

드는 지속적으로 출시되어 장난감 시장의 주요 품목으로 자리잡게 될 것이다. 저가의 서보모터로 구성된 소형 휴머노이드는 주로 학생 등간의 경진대회(competition)를 통하여 다양하고 독창적인 형태로 발전될 것이다.

맺음말

Honda 사는 휴머노이드 로봇으로 기업 이미지 제고에서 매우 큰 성과를 올린 바 있다. 그러나 이것이 상업적으로 성공하리라고 기대하는 것은 성급하다고 보는 것이 일반적인 견해이다. Sony가 상업적인 목적으로 개발한 SDR은 여러모로 기술혁신을 시도하고 있으나 그 성공여부는 아직 미지수이다. 종합적으로 보아 휴머노이드 로봇이 상업성을 확보하기에는 아직 미흡한 점이 많다는 것이 거의 모든 전문가들의 공통된 견해이다. 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 집합체일 뿐 아니라 기술력의 상징이다. 또한 많은 사람의 마음속에 자리 잡고 있는 환상 속의 안드로이드(Android; 인조인간)나 사이보오그(Cyborg; 인공장기와 생체가 결합된 인간)를 연상하게 하는 대중적 관심을 자아내게 한다.

이와 같이 휴머노이드 로봇은 당분간 전시(Exhibition), 데모 등 엔터테인먼트 분야에서의 응용이 주력을 이룰 것으로 본다. 현재로는 단지 일본의 Asimo만이 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.

우리나라에서는 10대 성장산업의 하나로 지능로봇 분야를 선정하였다. 휴머노이드 로봇이야 말로 지능로봇의 궁극적인 결과물로서의 진정한 실체가 아닌가 본다.

참 고 문 헌

(1) http://www.humanoid.waseda. ac.jp

(2) Kato, T., Takanishi, A., Jishikawa, H. and Kato, I., "The Realization of the Quasi-dynamic Walking by the Biped Walking Machine," In A. Morecki, G. Bianchi, and K. Kedzior, Eds. Fourth Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Warsaw:Polish Scientific Publishers, pp. 341~351.

(3) Juricic, D., Vukobratovic, M. and Frank, A. A., 1970, "On the Stability of Biped Locomotion," IEEE Trans. On Biomed. Eng. BME-17, No. 1, pp. 25~36.

(4) Takanishi, A., M., Ishida, Yamazaki, Y. and Kato, I., 1985, "The Realization of Dynamic Walking by the Biped Walking Robot WL-10RD" in Proc. of Int. Conf. on Advanced Robotics. pp. 459~466.

(5) http://www.mel.go.jp/soshiki/robot/undo/kajita/biped-e.html

(6) http://asimo.honda.com/ asimos_origin.asp?bhcp=1

(7) Hirohisa HIRUKAWA, Fumio KANEHIRO, Kenji KANEKO, Shuuji

KAJITA... " Humanoid Robotics Platform " Proceedings of The Third IARP International Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics Tsukuba, Japan, December 2002
(8) Gienger, M., Loffler, K. and Pfeiffer, F. "Walking Control of a Biped Robot based on Inertial Measurement", Proceedings of The Third IARP International Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics Tsukuba, Japan, December 2002
(9) Qiang Huang, Kejie Li, Tianmiao Wang, "Control and Mechanical Design of Humanoid Robot BHR-01" Proceedings of The Third IARP International Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics Tsukuba, Japan, December 2002
(10) Alexander Iakovlev, Alexei Kritchoun, "Team Description ARNE"
(11) Armada, M., Caballero, R., Akinfiev, T. Montes, H., Manzano, C., Pedraza, L., Ros, S., P. Gonzalez de Santos, "Design of SILO2 Humanoid Robot", Proceedings of The Third IARP International Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics Tsukuba, Japan, December 2002
(12) Breazeal(Ferrell), C., 1998, "Early Experiments using Motivations to Regulate Human-Robot Interaction". In Proceedings of 1998 AAAI Fall Symposium: Emotional and Intelligent, The Tangled Knot of Cognition, Orlando, FL. 31~36.
(13) Breazeal, Cynthia 2001, "Regulation and Entrainment in Human-Robot Interaction", The International Journal of Experimental Robotics.
(14) Park, Jong H., 2003, "Fuzzy-Logic Zero-Moment-Point Trajectory Generation for Reduced Trunk Motions of Biped Robots," Fuzzy Sets and Systems, Vol. 134, No. 1, pp. 189~203.
(15) Jong-Hwan Kim, Dong-Han Kim, Yong-Jae Kim, Kui-Hong Park, Jae-Ho Park, Choon-Koung Moon, Kiam Tian Seow and Kyoung-Chul Koh, 2003, " Humanoid Robot HanSaRam: Recent Progress and Development", in Proceddings of the International Conference on Humanoid, Nano-technology, Information technology, Communication and control, Environment, and Management 2003, 27~30 March 2003.
(16) Jung-Hoon Kim and Jun-Ho Oh, 2003, "Torque Feedback Control of the Humanoid Platform KHR-1," in Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Humanoid Robots, Karlsruhe and Munich, Germany, Oct. 1~3, 2003
(17) Jung-Hoon Kim, 2004, "A Study on the Realization of Dynamic Gait for a Biped Humanoid Robot," Ph.D. Dissertation, Dept. Mech. Eng., KAIST.
(18) Hirai, K., M., Hirose, Haikawa, Y. and Takenaka, T., 1988, " The Development of Honda Humanoid Robot," in Proc. Int. Conf. on Robotics and Auto-mations, Leuven, pp. 1321~1326.
(19) Gienger, M., Loffler, K. and Pfeiffer, F., 2002, "Walking Control of a Biped Robot Based on Inertial Measurement," in Proc. IARP Int. Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics, Tsukuba, pp. 22~29.