소형 인간형 로봇의 개발

성 영 휘
금오공과대학교 전자공학부

1. 서론

인간형 로봇의 연구는 이미 1980년대에 시작되어 간간이 지속되어 오고 있었으며, 1990년대에 들어 일본과 미국을 중심으로 한 해외 및 국내의 다수의 연구자들이 인간형 로봇에 관한 연구를 보다 발전시켜 나오고 있었다. 하지만 본격적으로 연구가 활성화 된 것은 1998년 일본의 혼다(Honda)사에서 2족 2수를 가지며 사람과 거의 유사한 형태의 로봇인 P1을 발표하면서부터이다[1]. 혼다의 P1은 그 이전까지 기술적인 난이도 때문에 큰 발전이 이루어지고 있지 않던 2족 보행을 상당히 안정되게 수행할 수 있었고, 그 이후의 P2, P3를 거쳐 현재의 아시모를 통하여 비록 규정된 상황에서의 보행이지만, 평지 보행뿐만 아니라 계단 보행과 같은 보행 능력을 갖추고, 수레를 밀거나 외부에서 가해지는 힘에 반응하는 초보적인 단계의 외부 환경 순응 능력을 갖춘 로봇을 발표하여왔고, 현재는 아시모를 가이드 로봇이나 특별한 이벤트용 로봇으로 대여하는 등의 사업화를 모색하고 있다.

한편 일본의 소니(Sony)사는 완구용 또는 오락용 로봇 시장에서의 제품으로서 4족 보행을 하는 아이보(AIBO)라는 지능형 로봇 강아지를 발표하였고[2], 근래에는 소형 인간형 로봇으로서 SDR(Sony Dream Robot)-2X, SDR-3x 및 큐리오(Qrio)를 시리즈로 발표하였다. 인간형 로봇의 최근 버전인 큐리오는 평지에서의 보행뿐만 아니라, 기울어진 바닥면에서의 보행 및 기울어지는 바닥면에서의 균형 잡기, 계단 오르기, 넘어졌다 일어나기 등의 기구학적인 기능과 사람을 기억하고 사람과의 간단한 의사 소통을 할 수 있는 지능형 기능을 갖추고 있는 것으로 발표되었다[3]. 이 밖에 일본의 동경대학교와 와세다대학교 등 학교 및 연구기관에서도 많은 종류의 인간형 로봇에 대한 연구를 진행해 오고 있으며[4-5], 국내에서도 연구소 및 대학에서 인간형 로봇에 대한 연구를 활발히 진행해오고 있다.

인간형 로봇을 소형으로 개발하게되면 보다 소수의 연구자가 짧은 시간 안에 하드웨어의 개발을 수행할 수 있고, 오동작의 경우에도 사람의 안정성을 보장할 수 있으며, 로봇의 보행, 머니퓰레이션, 로봇 지능을 필요로 하는 응용 등 보다 소프트웨어적인 연구에 연구력을 집중시킬 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 그동안 금오공과대학교에서 개발해 온 3가지 모델의 소형 인간형 로봇에 관하여 소개하고자 한다. 2000년 3월 전북대학교, 다진시스템과 공동으로 개발한 Lucy[6]를 비롯하여 Robo-Erectus, 그리고 KIBOT(Kumoh Intelligent Biped robOT)의 3가지 모델에 대하여 각각의 특징 및 발전 방향에 대하여 소개한다.

2. 로봇 기구부

로봇의 소형화, 경량화를 위해서는 우선 소형의 구동기를 사용해서 로봇 몸체의 무게를 줄이고, 제어기를 단순화하는 것이 필요하다. 이러한 목적으로 본 연구에서 개발된 로봇들은 모두 RC 서보 모터를 구동기로 사용하고 있다. RC 서보 모터는 DC 모터와 기어박스, 위치 제어 모듈을 내장하고 있어서 소형 경량이며 외부에서의 제어는 인가되는 펄스 폭에 의해 수행되므로 소형 인간형 로봇의 구동기로 적합하다. 한편 RC 서보 모터는 토크 성능별로 거의 일정한 크기를 가지고 있으므로 RC 서보 모터를 사용한 로봇의 경우에는 로봇의 전체 크기나 구조들이 유사한 형태를 띄게된다.

처음 개발된 소형 인간형 로봇인 Lucy는 전체 키가 37cm, 몸무게 1,200g이고 다리에는 5 자유도, 팔에는 2 자유도, 목에는 2 자유도를 가져서 총 16 자유도를 가졌다. 다리의 5 자유도는 2족 보행 로봇이 직진 보행뿐 아니라, 회전 보행을 하기 위해 필요한 최소의 자유도이다. 그림 1은 Lucy의 관절부 구성을 나타내고 있다. 표 1은 사용된 서보의 종류를 나타내는데, 다리부에서 비교적 큰 토크가 필요한 발목, 무릎, 힙 관절에는 일본 후타바사의 S9204(서보 1)를, 다리부의 그 외 관절에는 S9402(서보 2)를, 팔과 목 부위는 비교적 소용량의 S3101(서보 3)을 사용하였다. 그림 2는 2가지 종류의 Lucy의 외형을 보이고 있다.

그림 3은 Robo-Erectus의 관절 구성과 외관을 보이고 있는데, 이전 모델인 Lucy에 비하여 다리부를 6 자유도로증가시켜, 다양한 보행 계획을 통하여 보행의 자연스러움을 개선하였다. 전체 키는 37cm, 몸무게 1,300g이며, 다리부와 팔/목부에는 하이텍사의 아날로그 RC서보 모터인 HS945MG, HS81MG를 각각 사용하였다.

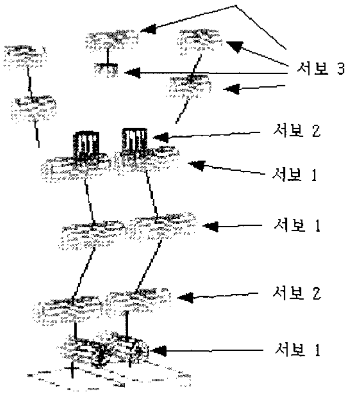


그림 1. Lucy의 관절 구성.

표 1. Lucy에 사용된 RC 서보 모터의 규격.

종류	크기 (mm)	무게(g)	속도	출력 토크
서보 1	40.5×20×37.5	53	0.19 sec/60°	9.5 kgcm
서보 2	40.5×20×37.5	55	0.10 sec/60°	8.0 kgcm
서보 3	28×13×29.7	17	0.18 sec/60°	2.5 kgcm

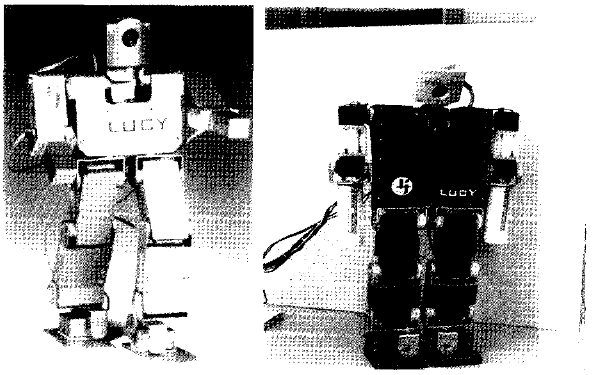


그림 2. Lucy의 외관들.

세 번째 모델인 KIBOT은 계단 보행시 몸체 무게 중심의 이동을 다양하게 할 수 있도록 하고, 이전 모델에서는 할 수 없었던 넘어진 상태에서 일어나는 기능을 기구적으로 가능하도록 하기 위하여 허리에 1 자유도를 추가하였다. 전체 키는 41cm, 몸무게는 2,600g이고, 전체 자유도는 다리에 6 자유도, 팔에 2 자유도, 목에 2 자유도로 총 21 자유도를 갖는다. 구동기로는 다리부에는 기존의 아날로그 RC 서보 모터와 같은 크기이면서 고토크 성능을 갖는 디지털 RC 서보 모터인 HS5945MG를 사용하였고, 팔부에는 HS81MG를, 목 관절부에는 HS945MG를 각각 사용하였다. 그림 4는 KIBOT의 관절 구성 및 외관을 나타내고 있으며 표 2는 KIBOT에 사용된 RC 서보 모터의 규격을 나타내고 있다. Lucy에서는 전원을 외부에서 공급하게 되어 있으나, Robo-Erectus와 KIBOT은 상체부에 배터리를 사용하고 있다. KIBOT의 경우에는 11.1V, 1,500mA의 리튬 폴리머 배터리를 내장하고 있다.

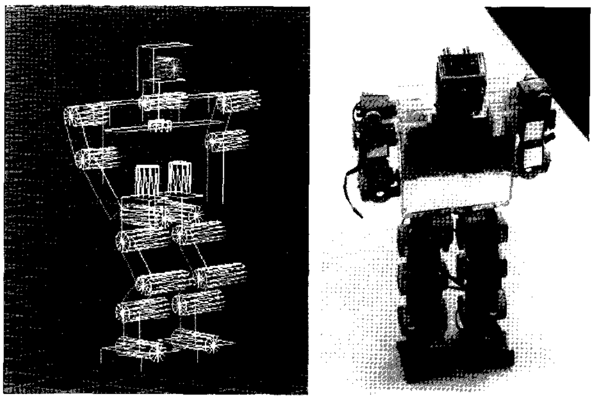


그림 3. Robo-erectus의 관절 구성 및 외관.

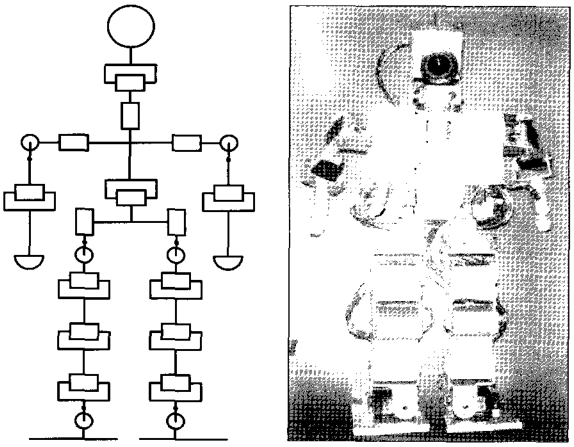


그림 4. KIBOT의 관절 구성 및 외관.

표 2. KIBOT에 사용된 RC 서보 모터의 규격.

종류	크기(㎜)	무게(g)	속도	출력 토크
5945	39.4×20.0×37.8	56.0	0.16 sec/60°	11.0 kgcm
945	39.4×20.0×37.8	56.0	0.16 sec/60°	8.8 kgcm
81	30.0×12.0×30.0	19.0	0.09 sec/60°	2.6 kgcm

3. 로봇 시스템

3.1. 로봇 제어기

개발된 로봇들은 소형이기 때문에 탑재할 수 있는 제어기, 배터리, 센서 등의 크기와 중량에 제한이 있다. 따라서 모든 로봇들은 각 로봇들의 기능상 필요한 최소한의 부분만 탑재하고, 로봇에게 결여되어 있는 복잡한 계산, 신호 처리 등의 기능은 PC를 호스트 컴퓨터로 사용하여 보완하고 있다. 첫 번째 모델인 Lucy는 인텔사의 i386Ex 칩을 채택한 상용의 TB-386EX 보드를 주제어기로 사용하고 있다. 이 보드는 MSDOS와 호환되는 TBDOS-386을 운영체제로 갖추고 있으며 호스트 컴퓨터와의 무선 통신, 원격지 모니터링을 위해서 로봇에 장착되어 있는 디지털 카메라와의 인터페이스 등을 담당한다. 16개의 RC 서보 모터를 제어하기

위한 펄스를 생성하는 것은 Microchips사의 PIC16F873 두 개를 사용하였다. 그림 5는 Lucy의 제어기 구조를 보이고 있다.

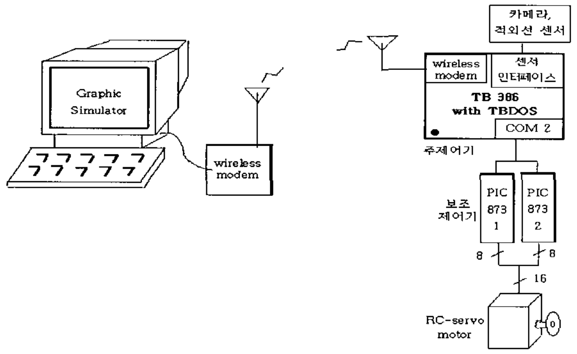


그림 5. Lucy의 제어기 구조.

TB-386EX 보드는 129KB의 ROM, 512KB의 RAM을 장착하고 있으며, 로봇의 구동은 로봇 보행 패턴에 따라 미리 생성된 각 관절 데이터를 메모리에 저장해 두었다가 실제 로봇 보행시에 이 데이터들을 메모리로부터 가져와서 사용하는 방식을 사용하였는데, Robo-Erectus에서는 이와는 달리 로봇 보행에 필요한 보행 데이터를 호스트 컴퓨터인 PC에서 필요한 순간에 생성한 후에 이를 보행 로봇에 장착된 주제어기로 무선으로 송신하고, 로봇 쪽의 주 제어기에서는 수신한 데이터를 사용하여 모터를 구동하는 방식을 사용하여 로봇에 탑재되는 제어기를 더욱 단순화하였다. 그림 6은 Robo-Erectus의 제어기 구조를 나타내고 있다. 이 모델에서는 하나의 칼라 CCD 카메라를 장착하여 주변 환경에 대한 정보를 무선으로 호스트 PC에 전송하고 호스트 PC에서는 이미지 그래버를 사용하여 영상 신호 처리를 수행하는 기능을 갖게 되었다. 로봇 경로 데이터는 BIM 모듈을 사용하여 무선으로 전송된다.

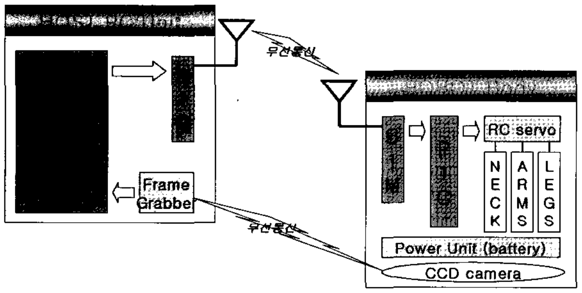


그림 6. Robo-Erectus의 제어기 구조.

그림 7은 KIBOT의 전체 제어기 구조를 나타낸다. 이 모델에서는 FSR(Force sensing resistor), 가속도 센서, 칼라CCD 카메라 등 다양한 센서들과, RC 서보 모터 외에도 2조의 DC 모터 및 인코더를 인터페이스하고, 로봇 보행 경로를 온라인으로 생성해 내는 것을 목적으로 하였다. 따라서 로봇에 탑재되는 주제어기로는 TI사의 제어용 DSP칩인 TMS320LF2407A를 사용하였다. 또한 보조제어기로는 이전 모델에서는 PIC16F873을 사용하였으나 이는 RC 서보 모터를 구동하기 위한 펄스를 시분할 기법을 사용하여 생성하는 방식을 사용하기 때문에 모든 RC 서보 모터를 동시에 구동하지 못하는 단점이 있었다. 따라서 이를 개선하기 위하여 보조 제어기로 FPGA(ATC6024)를 사용하여 전체의 모터를 병렬 구동하도록 하여 부드러운 로봇 보행 동작을 얻을 수 있도록 하였다.

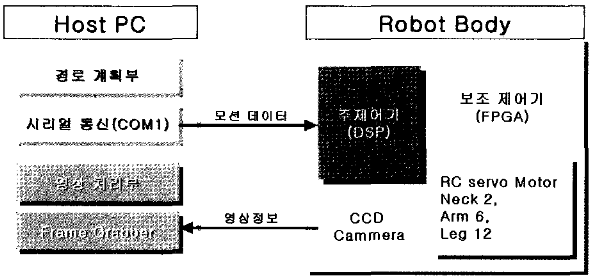


그림 7. KIBOT의 제어기 구조.

3.2. 로봇 기구학 및 보행 운동 계획

개발된 3가지 모델의 소형 인간형 로봇은 균형추를 장착하고 있는 보행 로봇과 달리, 로봇의 무게 중심의 이동만을 위한 별도의 자유도를 갖지 않는다. 즉 개발된 인간형 로봇들은 보행과 동시에 몸체의 균형 유지를 달성할 수 있어야 한다. 보행 및 몸체의 균형 유지를 위한 보행 운동 계획은 3가지 모델에서 모두 동일한 알고리듬을 사용한다. 그림 8은 KIBOT에 설정한 로봇 좌표계 및 링크 파라미터이다.

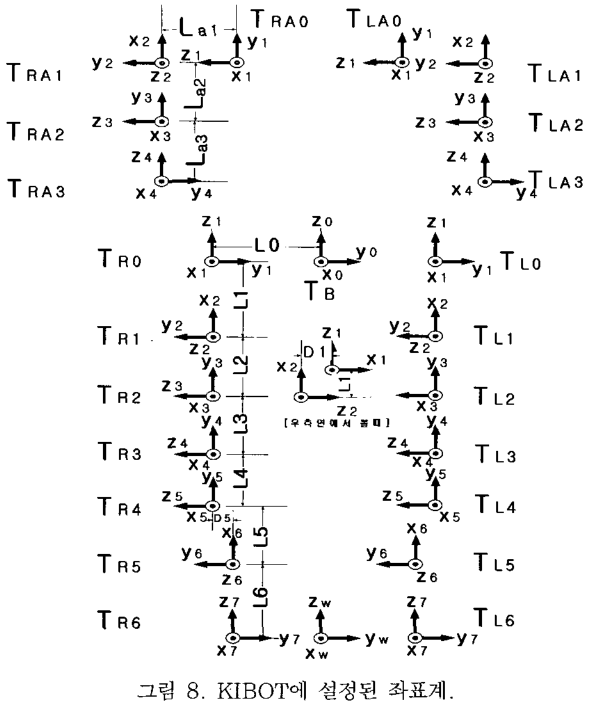


그림 8. KIBOT에 설정된 좌표계.

$x_w y_w z_w$는 월드 좌표계이고, $x_0 y_0 z_0$는 몸체 중심에 설정된 좌표계, 나머지 좌표계들은 팔과 다리의 관절부에 설정된 좌표계들이며, T_{Ri}, T_{Li}, T_{RAi}, T_{LAi} 등은 각 좌표계 사이의 변환행렬을, T_B는 월드 좌표계에 대한 몸체 중심 좌표계의 변환행렬을 나타낸다. 로봇의 운동은 월드 좌표계를 기준으로 하여 몸체 중심 좌표계와 양쪽 다리와 팔의 끝단 좌표계 들의 시간에 따른 변화를 설정하여 주는 것으로 규정될 수 있다[6]. 그림 9는 보행 운동 계획의 과정을 순서도 형태로 표시한 것이다. 일단 로봇의 운동이 결정되면 각 좌표계 사이의 변환행렬을 구할 수 있게 되어, 이 변환행렬들 사이의 관계를 이용하여 로봇의 관절 데이터를 구하면 된다. 로봇의 관절 데이터를 구하는 방법은 자코비안을 사용하여 속도 레벨에서 역기구학 해를 구하는 방법을 사용하거나[6], 닫힌 형태의 역기구학 해를 구하는 방법을 사용하였다[7].

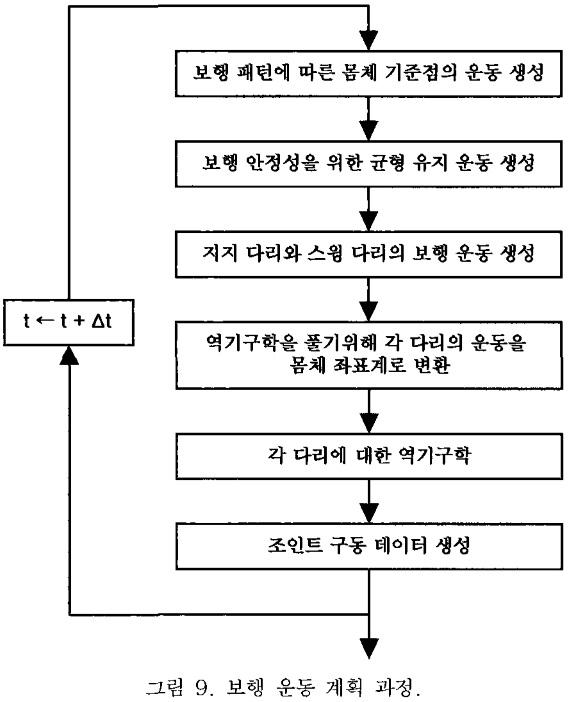
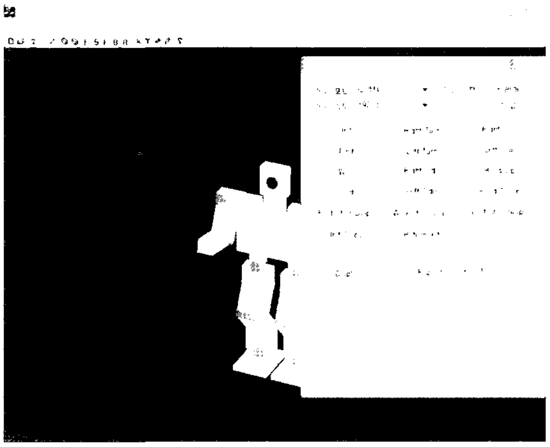


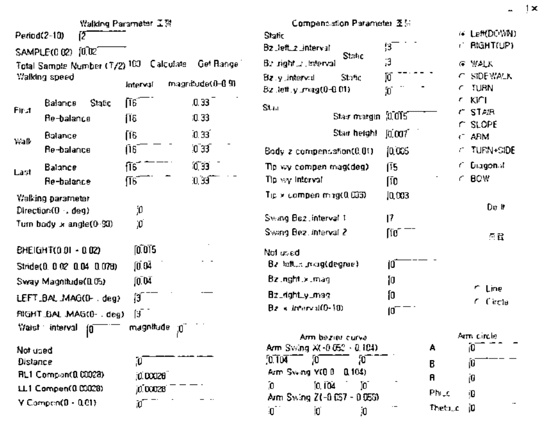
그림 9. 보행 운동 계획 과정.

3.3. 사용자 인터페이스 프로그램

사용자 인터페이스 프로그램은 윈도우즈 운영체제 하에서 OpenGL과 Visual C++를 사용하여 개발되었다. 개발된 사용자 인터페이스 프로그램은 크게 세 가지 기능을 가지고 있다. 첫 번째는 시뮬레이션 기능으로서, 경로 계획 프로그램이나 모션 캡쳐 등 다양한 방법으로 생성된 보행 로봇의 관절 데이터를 그래픽을 통하여 실제 보행 로봇을 구동할 때와 같이 미리 모사해 보는 기능으로 로봇의 관절 경로뿐만 아니라 ZMP(Zero Moment Point)등 동적인 영향도 관찰할 수 있다. 두 번째는 경로 생성기 역할로서 2족 보행 로봇의 보행 파라미터인 걸음 주기, 걸음새 형태, 보폭, 균형을 잡기 위한 상체의 이동 거리 및 각도, 스윙 다리의 최대 높이 등을 사용자가 임의로 변경함에 따라 상응하는 로봇 경로 데이터를 생성해 준다. 마지막으로 원격 제어기로서 기능할 수 있다. 교시상자(teach pendant)와 같은 기능을 모사하여 사용자가 지시하는 명령을 양방향 무선 통신 모듈을 통하여 2족 보행 로봇에 전송하고 필요에 따라 보행 로봇의 현재 상태에 대한 정보를 전송 받을 수 있도록 개발되었다. 사용자 인터페이스 프로그램의 이와 같은 기능들을 이용하여 사용자는 다양한 방법으로 2족 보행 로봇의 경로 데이터를 생성하여 검증하고, 블루투스 무선 모듈을 통하여 원격 제어할 수 있다. 그림 10은 사용자 인터페이스 프로그램을 보이고 있다.



(a) 시뮬레이션 및 원격제어 프로그램.



(b) 로봇 보행 운동 생성 프로그램.

그림 10. 사용자 인터페이스 프로그램.

3.4. 로봇 보행 및 지능형 동작

처음 두 모델에서는 기본적인 직진 보행과 좌/우 회전 보행, 그리고 높이를 미리알고 있는 계단 보행만이 가능하였으나[8], KIBOT은 그림 11에 나타낸 바와 같이 보다 다양한 보행을 수행할 수 있다. 이러한 기본 보행 패턴들은 (a) 전/후진, (b, c) 반보 전/후진, (d) 좌/우 옆걸음 (e) 제자리 좌/우 회전 (f) 이동 좌/우 회전 (g) 대각 보

행들을 포함하고 있다. 3.3절에서 기술한 바와 같이 여러 가지 보행 파라미터들을 설정하여 안정된 기본 보행 데이터를 생성, 검증 및 저장한 후, 이러한 기본 보행 패턴들을 필요에 따라 조합하여 전체 보행을 수행한다.

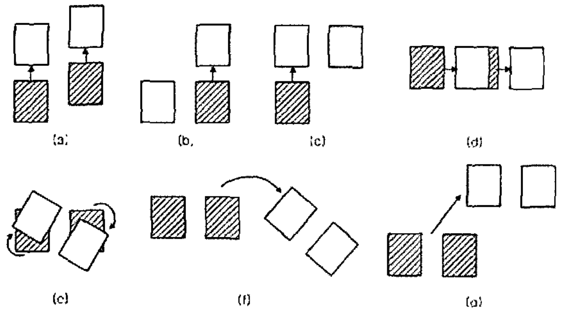
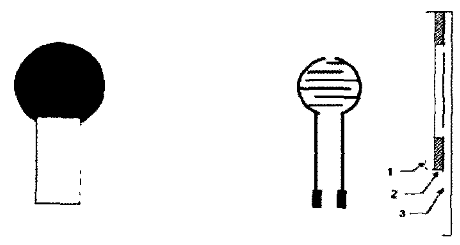


그림 11. KIBOT에 구현되어 있는 기본 보행 패턴.

Lucy와 Robo-Erectus의 두 모델에는 디지털 카메라만을 센서로 장착하고 있어서 로봇 주변의 환경을 원격지의 호스트 컴퓨터로 전송하여 모니터링하는 기능만이 가능하였으나 KIBOT은 FSR과 가속도 센서, 칼라 CCD 카메라를 장착하고 있어 다양한 종류의 지능형 동작을 수행할 수 있다. 그림 12의 (a)에 보인 FSR은 센서 표면에 가해지는 힘이 증가함에 따라 저항이 감소하는 특성을 가진 소자로서 크기가 작고 인터페이스가 간단하여 소형 로봇에서의 힘 감지로 많이 사용되고 있다. KIBOT에서는 그림 12의 (b)에서와 같이 한 발바닥에 4개의 FSR을 장착하여 총 8개의 FSR을 사용하고 있다. KIBOT은 로봇 몸체에 전, 후, 좌, 우의 방향에서 가해지는 힘에 따라 양 발바닥에서 무게중심의 변화를 감지하여 다리부의 관절의 위치를 제어함으로써 외부 힘에 대항하여 평형을 유지하는 기능이 있다. 그림 13은 균형 유지 운동의 실험 예를 보이고 있다.



(a) FSR의 구조.

(b) 발바닥에 부착된 FSR.

그림 12. 힘 감지기로 사용된 FSR.

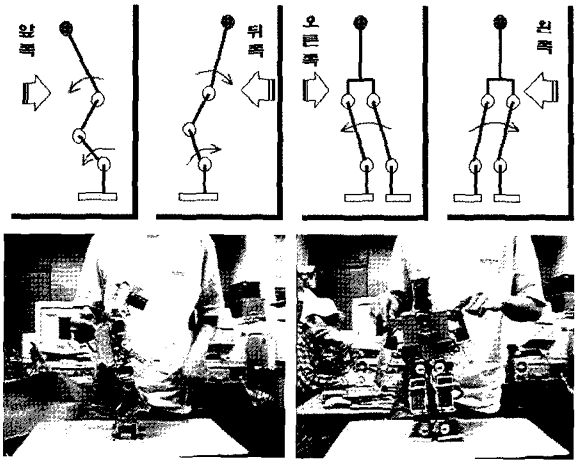
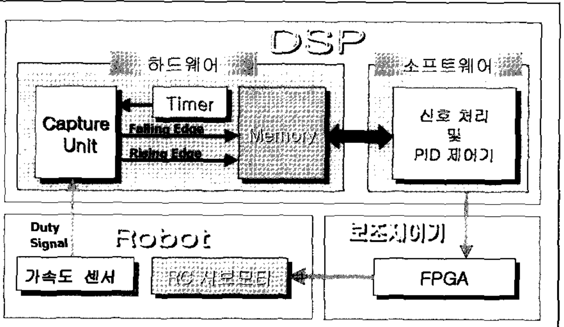
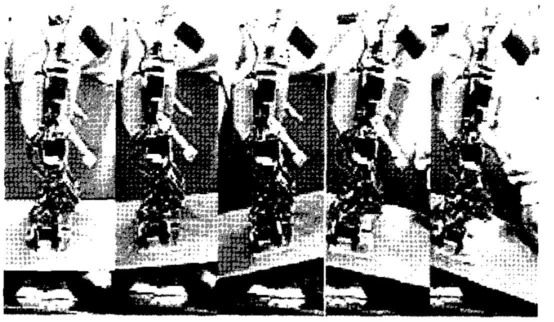


그림 13. FSR을 이용한 평형 유지 운동 실험.

KIBOT에 사용된 가속도 센서는 Analog Device사의 가속도 센서 ADXL202A이다. 이 센서는 정적/동적인 가속도의 측정외에도 중력 가속도의 비를 이용하여 기울기를 측정할 수 있는 센서이다. KIBOT은 이 센서를 이용하여 기울어지는 바닥면 위에서 균형을 유지하는 동작과, 경사면에서 경사각을 자동 감지하여 최대 ±15°의 경사면 오르내리기를 수행할 수 있다. 그림 14는 가속도 센서를 사용한 균형 유지 운동의 개념도와 실험 예를 도시한 것이다. 이외에도 KIBOT은 하나의 칼라 CCD카메라를 사용하여 임의의 위치에 놓인 공과 골대를 인식하고 자율적인 축구를 수행하는 기능도 갖추고 있다[9].



(a) 개념도.



(b) 실험 예.

그림 14. 가속도 센서를 사용한 균형 유지 운동.

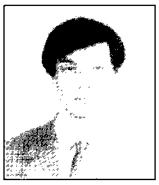
4. 결론

본 논문에서는 보행 알고리듬 및 로봇 지능에 관한 연구를 수행하기 위한 플랫폼으로 개발된 3가지 모델의 소형 인간형 로봇에 대하여 소개하였다. 개발된 로봇들의 기구적인 구조, 제어기 구조, 보행 운동 계획, 센서를 통한 지능의 구현 등의 발전 과정에 대하여 기술하였다. 현재까지 개발된 로봇들은 모두 기본 보행 패턴에 대한 로봇 관절 데이터를 오프라인으로 생성한 후, 기본 보행 패턴을 조합하여 보행을 수행하고 있기 때문에, 불규칙한 바닥면에서의 보행과 같이 보행 중 보행 운동을 수정할 필요가 생길 경우에 대처하지 못하는 경우가 생길 수 있다. 이를 해결하기 위하여 보행을 위한 로봇 관절 데이터를 온라인으로 생성하는 방법에 관한 연구를 진행하고 있다. 추후, 상체를 이용한 머니퓰레이션과 보다 다양한 센서 데이터 처리를 통한 로봇 지능의 증진에 관한 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

1. K. Hirai, et al, "The development of Honda humanoid robot," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1321-1326, 1998.
2. 소니사의 아이보 홈페이지, http://www.aibo.com/
3. 소니사의 큐리오 홈페이지, http://www.sony.net/SonyInfo/QRIO/
4. F. Kanehiro, et al, "Development of a two-armed bipedal robot that can walk and carry objects," *Proc. of IROS'96*, pp. 23-28, 1996.
5. F. Kanehiro, et al, "Development of a remote-brained humanoid for research on whole body action," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1302-1307, 1998.
6. 성영휘, 이수영, "소형 휴머노이드 로봇 시스템 개발," 제어·자동화·시스템공학 논문지, vol. 7, no. 2, pp. 420-426, 2001.
7. 성영휘, "2족 보행 로봇의 역기구학에 관한 연구," 제어·자동화·시스템공학 논문지, vol. 9, no. 12, pp. 1026-1032, 2003.
8. Y. W. Sung and S. Y. Yi, "A miniature humanoid robot that can walk up and down stairs," *Proc. of the 32nd ISR*, pp. 1463-1468, April, 2001.
9. S. H. Lim, J. S. Cho, Y. W. Sung, S. Y. Yi, "A miniature humanoid robot that can play soccer," *ICCAS 2003*, pp. 628-632, October, 2003.

저자약력



《성 영 휘》

- 1962년 5월 20일생.
- 1988년 8월 고려대학교 전자공학과 졸업.
- 1991년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사.
- 1996년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사.
- 1995년 9월~1996년 8월 영국 Oxford university, Dept. of Engineering Science, Robotics Research Group, Post Doc.
- 1996년 9월~1998년 2월 LG산전, LG종합기술원, 선임연구원.
- 1998년 3월~현재 국립금오공과대학교 전자공학부 부교수.
- 관심분야 : Humanoid robot, Redundant manipulator, Intelligent control, Graphic simulation.