

# 4족 휴먼 로봇의 지능형 보행제어 연구

홍 예 선

## Research on the Intelligent Locomotion Control of 4-Legged Human Robot

Yeh-Sun Hong



●홍예선(한국과학기술연구원)  
●1955년생  
●유압비례제어분야를 전공하였으며, 유공압시스템 및 요소의 제어에 관심을 가지고 있음.

### 1. 머리말

한국과학기술연구원(이하 KIST로 약칭)은 정부의 지원을 받아 1994년부터 1차 5개년 연구사업으로 KIST-2000 프로그램을 추진하고 있고 이 프로그램에는 5개의 대형 과제가 있는데, 그중의 하나가 휴먼 로봇 개발 과제이다. 형태, 지능, 기능 면에서 인간을 모델로 한 로봇을 개발하는 것은 과학기술자들이 미래에 이루고자 하는 커다란 꿈이라고 할 수 있다. 현재의 기술 수준을 감안하면 휴먼 로봇의 개발에는 방대한 인원과 비용, 시간이 투자되어야 하는 반면, 계획된 기간에 얼마나 진보된 연구 결과를 달성할 수 있고 또한 이 결과가 얼마나 실용가치가 있을 것인지를 정확히 예측하기는 쉽지가 않다. 그러나 이러한 과제에 도전하는 것이 미래 과학기술의 축적을 위해 KIST가 해야 할 일이라고 뜻이 모아져 그 시작이 이루어졌다.

KIST에서 1차적으로 5년내에 개발하고자 하는 휴먼 로봇은 다음과 같은 기능을 갖게 될 것이다.

- 고등언어(high level language)에 의해 로봇의 임무(mission)를 프로그램할 수 있는 기능
- 시각 센서들을 이용하여 주변 환경을 3차원적으로 실시간 인식할 수 있는 기능; 보행 이동시의 환경인식, 손 및 팔의 작업시 작업물과의 상대적 위치 확인에 이용
- 주변환경을 모델링하여 이에 적응된 보행 이동계획 및 양손/양팔의 작업계획을 자율적으로 수립할 수 있는 기능
- 이동 및 작업 과정의 3차원 그래픽 시뮬레이션 기능; 보행계획과 작업계획의 타당성을 사전에 확인하는 데 필요
- 다리를 이용하여 장애물을 회피 또는 통과하면서 이동할 수 있는 기능
- 사람과 같이 양손과 양팔에 의해 복잡하고 섬세한 작업을 할 수 있는 기능

— 로봇의 지능으로 처리할 수 없는 작업은 원격으로 양팔과 양손을 직접 제어할 수 있는 기능

그림 1은 KIST 휴먼 로봇의 외관에 대한 개념도이다. 여기서 보행기구를 인간과 유사하게 2족으로 개발하는 것은 난이도가 매우 높기 때문에 2차 5개년 사업의 목표로 미루었고 1차 사업에서는 다리가 4개인 관절형 보행기구 개발을 목표로 하였다. 표 1은 휴

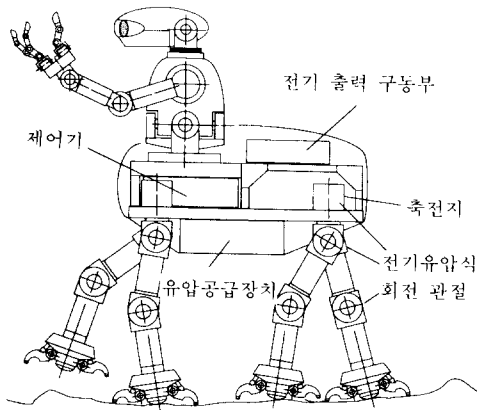


그림 1 KIST에서 개발하고자 하는 휴먼 로봇의 개념도

표 1 휴먼 로봇의 개발 목표

외형	폭 : 700 mm, 길이 : 1,000 mm, 높이 : 1,500 mm, 총중량 : 약 500 kg
다리	관절형 4족, 크로울 및 트롯 보행 최대보행속도 : 평지 상에서 시속 4 km 보행환경 : 평지, 계단, 경사면, 문턱, 험로 등
팔	두팔, 각 7자유도, pay load : 각 20 kg 이상
손	두 손, 각 3손가락(총 11관절), 직접 구동 방식 채택
시각	3차원 레인지 파인더+스테레오 비전
원격제어	양팔/양손 작업시 역각, 촉각, 시각의 臨場感 제공

먼 로봇의 목표사양을 간략히 정리한 것이다.

이 글에서는 휴먼 로봇 개발과제 중에서 특히 4족 보행기구의 개발과 관련된 지능제어 문제에 관해 기술하고자 한다.

## 2. 관절형 보행기구의 연구 현황

4족 보행기구는 관절형과 판토타그래프형으로 구분할 수 있는데, 곤충이나 개의 다리 형태를 띠는 판토타그래프형에 대한 연구사례<sup>(1,2)</sup>에 비해 관절형에 대한 연구사례는 매우 적다. 그 중 가장 주목할 만한 연구사례가 일본에서 극한작업 로봇 개발 대형과제(1983년~1990년)의 일환으로 HITACHI 사에 의해 개발된 4족보행 극한작업 로봇이다(그림 2).<sup>(3)</sup> 이 로봇은 사람 대신 원전 설비의 보수에 투입하는 것을 목표로 하여 개발되었기 때문에 그림에서 보는 바와 같이 각



그림 2 일본 HITACHI사가 개발한 4족 보행 극한작업 로봇

기 5자유도를 갖는 네 다리뿐만 아니라 7자유도로 이동되는 스테레오 카메라, 각 7자유도를 갖는 두팔, 총자유도 14개의 다섯 손가락을 갖는 손을 두 개 갖는다.

이 로봇의 보행관절중 피동관절인 발목(2자유도)을 제외한 세 관절은 3kW 출력의 특수 설계된 전기 서보 모터에 의해 구동되고<sup>(6)</sup> 총중량 700 kg(길이 1,270 mm, 폭 715 mm, 높이 1,610~1,880 mm)의 이 로봇은 최대 속도 시속 300 m로 보행할 수 있는데, 이때의 동력소비는 약 14 kW에 달한다. 최대 보행속도에 대한 당초 목표는 시속 4 km이었다.

이 로봇은 미리 계획된 경로에 포함된 평지 보행, 90도 회전, 문턱 통과, 계단 승월 등의 보행조건을 구분하여 안정된 걸음새(gait)를 미리 정한 후 실제 보행 중에는 시각 센서와 광전식 자이로에 의해 현재 위치를 확인함으로써 해당 위치에 지정된 걸음새를 사용한다. 평지 보행시에는 네 다리 중 세 다리는 착지상태를 유지하는 소위 크로울(crawl) 걸음새를 쓰고 (이때 발의 스윙 궤적(swing trajectory)은 일종의 사이클로이드 커브를 사용), 문턱이나 계단 등의 장애물 통과시에는 발에 부착한 적외선 거리센서를 이용하여 장애물과의 거리를 확인함으로써 미리 계획된 걸음새의 초기위치에 자리를 잡은 후 걸음을 시작하도록 되어 있다. 따라서 보행과 관련된 지능 수준은 그리 높지 않다고 볼 수 있다.<sup>(4)</sup>

한편, 히타치사에서 위 그림의 4족 보행기구를 개발하는 과정에서 개발한 중간단계의 실험모델은 그림 3과 같이 유압식 로테이터(rotator)에 의해 다리 관절을 구동하였다. 실험 모델에 있어서 유압식 관절을 사용하였을 때의 큰 장점은 구동 토크를 압력센서에 의해 구조적으로 쉽게 측정할 수 있고 공급 압력의 변화에 의해 최대 구동 토크의 범위를 어느 정도 조절할 수 있으므로 개발단계에서의 시행착오를 확인하고 대처하기가 용

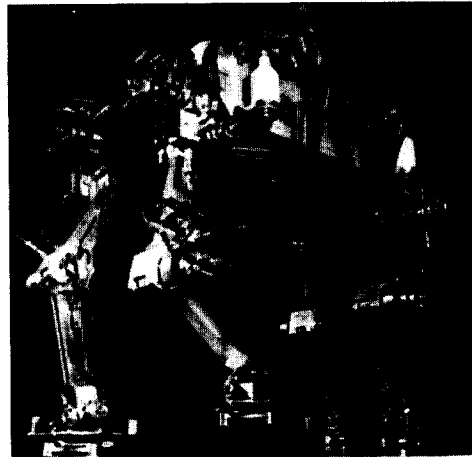


그림 3 일본 HITACHI사가 개발한 전기유압 구동식 4족 보행기구



그림 4 일본 와세다대학에서 개발한 2족 보행기구

이하다는 것이다. 이 전기유압 구동식 보행기구는 대각선 방향의 두 다리를 교대로 동시에 스윙시키는 트롯(trot) 걸음새를 사용하여 최대 시속 2.4 km까지 가능했던 것으

로 보고되어 있다.

그림 4는 일본 와세다 대학에서 거의 20년의 역사를 갖고 개발해오고 있는 전기 유압식 2족 보행기구 제12호 모델을 보여준다.<sup>(5)</sup> 이 보행기구는 형상과 크기 면에서 인간의 다리를 모델로 하여 인간처럼 보행할 수 있게 하는 것이 목표인데, 엉덩이, 무릎, 발목의 3관절을 소형 유압식 로테이터에 의해 구동시키고 몸체의 균형을 잡기 위한 보조 수단으로서 3 자유도를 갖는 역추(inverted pedulum)가 트렁크 운동(trunk motion)을 하도록 하였다. 전체 중량은 약 100 kg으로서 보행은 직진만 가능하고 평지, 계단, 경사면 위를 보행할 수 있으며, 최대 평지 보행속도는 초당 0.5m 정도이다. 이 2족 보행기구는 정지시는 물론, 보행시에는 한쪽 다리를 들어 다음 착지점으로 스윙을 하면서 다른 한쪽 다리와 역추(inverted pedulum)에 의해 몸체의 균형을 유지해야 하는 이른바 동적인 걸음새를 해야 하므로 각종 센서를 이용한 실시간 제어를 하게 된다. 이 트렁크 운동에 의한 안정화 장치(stabilizer)는 2족 보행의 안정도를 높이기 위하여 12호 모델에서 처음 시도된 새로운 개념이다.

### 3. 휴먼 로봇을 위한 전기유압식 관절형 4족 보행기구의 구성

그림 5는 휴먼 로봇의 4족 보행기구가 어떻게 구성되는가를 도시한 것이다. 보행 계획(locomotion planner)은 다음절에 설명될 경로 계획(path planning)과 걸음새 계획(gait planning)을 담당한다. 그리고 보행제어기(locomotion controller)는 각 관절의 구동 궤적에 대한 입력신호를 생성하여 계획된 보행이 기본적으로 이루어지도록 하되, 시각 센서 등 각종 센서의 신호를 이용하여 항법 제어(navigation), 반사 제어(reactive control) 등을 병행하여 수행하게 된다. 보행제어기보다 하위에 있는 다리제어기는 다리 하

당당 3개씩 하여 모두 12개에 달하는 전기유압식 회전 관절의 위치제어를 담당한다.

전기유압식 회전관절은 직동식 비례제어밸브와 로테이터, 관절의 회전변위와 구동 토크를 감지하기 위한 회전각속도 센서 및 압력센서를 일체형으로 집적시켜 개발할 계획이다(그림 6 참조). 다리 관절을 구동하는데 있어서 전기식 서보 모터를 사용한다면 동력 공급의 용이성, 에너지 회생 가능성 등의 측면에서 볼 때 별도의 유압공급원을 필요로 하는 유압식보다 유리하다. 그러나 무게 및 체적당 토크 출력비, 구조의 복잡성,

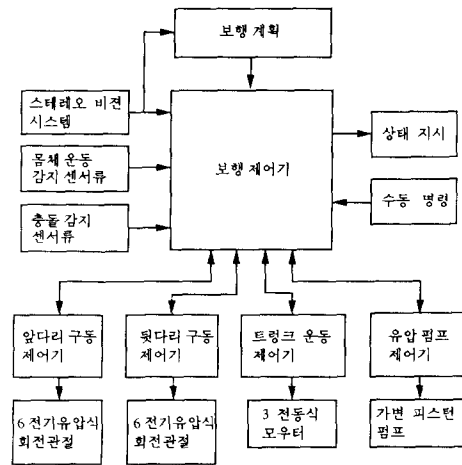


그림 5 휴먼 로봇의 시스템 구성도

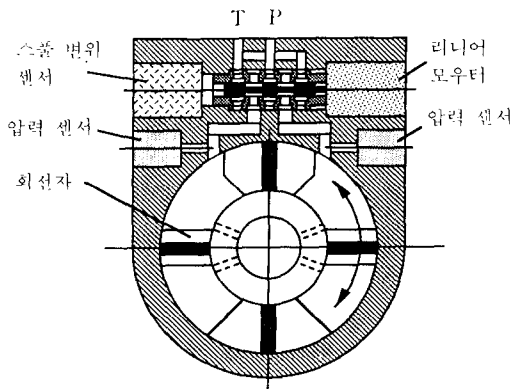


그림 6 전기유압식 회전관절의 개념도

하드웨어적인 개발 비용 및 난이도 등을 고려하면 유압식에 비해 매우 불리하다. 전기 유압식 회전관절의 제어를 위한 구조상의 요구조건은 작동유 누설이 없고 낮은 회전속도에서의 스틱-슬립현상이 발생하지 않으며, 무게가 가벼워야 한다는 것이다.

트렁크 운동 제어기(trunk motion controller)는 상체를 롤(roll), 피치(pitch) 및 요(yaw) 방향으로 움직이므로써 보행시 몸체의 균형을 유지하는데 보조역할을 하게 된다. 이러한 트렁크 운동을 구현하는 데에는 전기 서보 모터를 사용할 계획이다.

가변 토출식 펌프를 사용한 유압 공급원은 12개에 달하는 전기유압 제어밸브에서의 압력 손실이 최소화되도록 각 밸브에 작용하는 부하압력을 감지하여 펌프의 공급압력을 가능한 한 낮게 유지하되, 급격한 상태 변화를 요구하는 제어신호가 입력되면 과도기 동안만 공급압력을 충분히 높여 주는 소위 부하감지(multiple load-sensing) 제어기능을 갖춤으로써 구동동력을 낮출 계획이다. 그리고 펌프 하우징, 오일 탱크를 경량화하여 로봇 몸체에 탑재가 가능하도록 하는 방안도 요구된다.

그밖에도 몸체의 프레임 역시 경량 소재를 사용하되 충분한 강성도가 보장되도록 설계되어야 하고 각종 제어기와 유압 공급원, 충분한 용량의 축전지를 탑재할 수 있는 공간을 제공해야 한다.

#### 4. 보행제어의 지능화를 위한 연구과제

그림 7은 4족 보행기구가 출발지점과 목적지점, 목적지까지의 보행환경에 대한 정보를 입력받은 후, 출발 명령을 받아서 실제로 목적지에 제대로 도착하기까지 요구되는 기능들의 흐름도를 보여 준다.

로봇이 이동해야 하는 환경에는 평지 외에도 벽, 기둥, 계단, 경사면과 같은 장애물이 포함될 수 있다. 이들 장애물의 위치와 3차

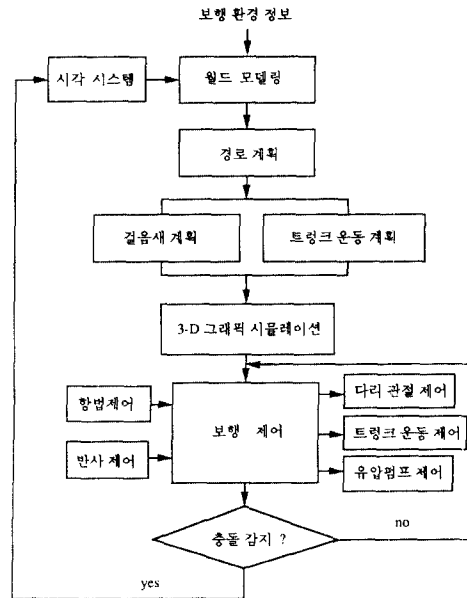


그림 7 4족 보행제어의 계통도

원적인 형태를 작업자가 사전에 입력시키거나 보행 중에 시각 시스템을 통해 실시간으로 입력받으면 이 데이터를 수학적 모델로 표시하여 지도 작성, 경로 계획, 걸음새 계획, 계획된 경로 상에서의 간섭 발생 여부 확인, 보행 과정의 그래픽 시뮬레이션, 로봇의 현재 위치 및 자세 표시 등에 사용할 수 있는 보행제어용 월드 모델링(world modeling) 기법의 개발이 요구된다.

경로 계획은 정량화된(structured) 환경 내에서 이동하는 경우 벽과 같은 장애물을 피해 목표 지점에 도달하기까지의 가장 적합한 경로를 생성시켜 주는 기능에 해당된다. 적합한 경로라고 하는 것은 거리가 가장 짧다던가 가능하면 평탄한 노면을 최대한 이용한다던가 하는 것이 선택기준이 될 것이고 이 경로의 선택은 최종적으로는 사람이 하게 될 것이다.

경로계획이 세워지면 로봇은 4족 보행에 의해 지정된 경로를 정확히 따라가야 하고 그 과정에는 평지 상에서 직진 보행 또는 조

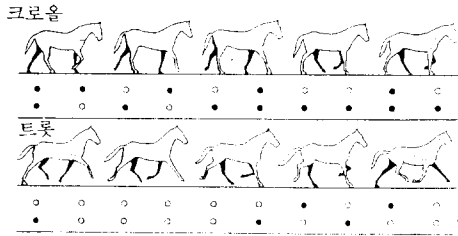
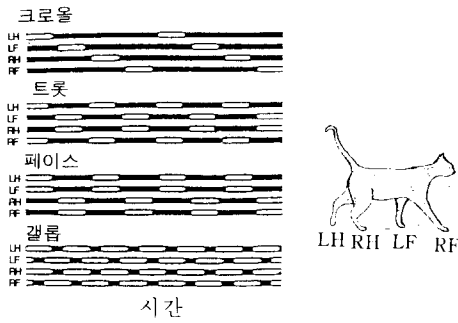


그림 8 고양이와 말의 다리 스윙 패턴

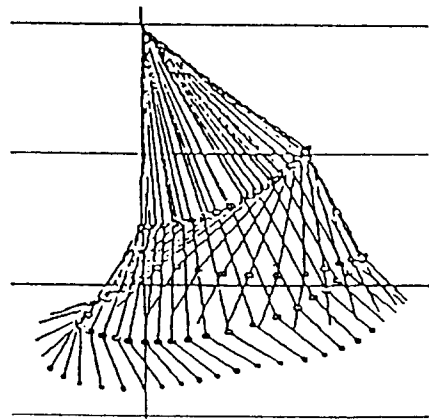


그림 9 말 다리의 스틱 다이어그램

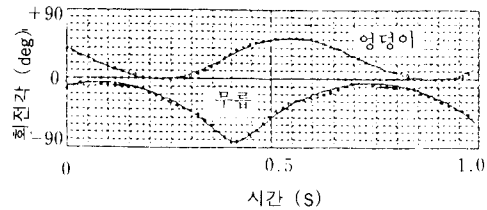


그림 10 말의 각 관절이 회전하는 궤적

향 회전을 하거나 계단, 경사면, 문턱 등의 장애물을 통과하여야 하는 걸음새가 포함될 것이다. 걸음새 계획은 경로 계획 상의 보행 환경을 구분하여 안정도가 보장되는 범위 내에서 각 다리의 스윙 순서(swing sequence), 발의 스윙 궤적(foot-tip trajectory), 착지점(foohold)을 각 보행 사이클에 대해 결정하는 것이다. 걸음새 계획은 몸체의 안정도는 물론 각 관절에 걸리는 최대 토크, 소비 동력, 보행속도에 영향을 주게 되므로 매우 중요한 기능에 해당되고 보행 로봇의 핵심기술이라고 할 수 있다.

참고로 그림 8은 평지 직진시 말과 고양이의 다리 스윙 순서를 보여 준다. 그림 9는 말의 어깨 관절을 기준으로 한 다리의 움직임 스틱 다이어그램(stick diagram)으로 도시한 것이다. 이때 각 관절별 궤적을 관찰하면 그림 10에서 보는 바와 같이 엉덩이 관절은 정현파형, 무릎 관절은 트로코이드 파형을 근사적으로 나타낸다.

고양이의 걸음새에서 보듯이 보행 패턴에는 보행시 4다리 중 3다리는 항상 착지 상태를

유지하는 크로올 걸음새, 4 다리 중 대각선 방향 2 다리가 교대로 착지상태를 유지하는 트롯 걸음새, 앞 뒤의 두 다리가 교대로 착지하는 페이스 걸음새(pace gait) 등이 있다(말의 경우는 이들 걸음새가 혼합된 형태를 띤다).

4족 보행기구의 걸음새 계획 관점에서 보면 크로올 걸음새는 4다리가 차례대로 한번씩 움직여야 하므로 보행속도가 빠르지 않은 반면, 안정도에 있어서 가장 안정된 기본 걸음새라고 할 수 있고 정적인 걸음새가 가능하다. 트롯 걸음새는 2다리씩 움직이므로 보행속도를 보다 높일 수 있으나 정적인 걸음새에 해당된다. 페이스 걸음새는 다리 관절에 높은 순간 구동력이 요구되면서 상대적으로 몸체가 가벼워야 하며 착지 순간에 안정도가 확보되도록 착지점과 몸체의 자세를

결정하되 노면의 상태까지 고려해야 하므로 그 난이도가 매우 높다. 휴먼 로봇의 4족 보행기구에는 크롤 걸음새와 트롯 걸음새를 구현하는 것이 목표이다.

그리고 관절형 4족 보행기구에 있어서 말과 같은 동물의 다리가 갖는 자유도를 모두 구현하는 것은 어렵기 때문에 자유도를 제한하는 것이 불가피하다. 따라서 제한된 자유도를 이용하여 보행성능을 높일 수 있는 걸음새 계획 알고리즘이 요구된다. 걸음새 계획 알고리즘의 가장 중요한 성능 기준은 안정도 마진(stability margin), 관절 토크 마진, 보행속도가 될 것인데, 그 주된 기능은 ① 평지, 계단, 경사면 등의 조건에 따라서 이들 기준을 각자 적합한 비중으로 중시하여 다리 스윙 순서 및 스윙 궤적, 착지점을 경로계획 단계에서 자동으로 생성해 주되, ② 실제 보행 중에는 안정도 마진과 토크 마진이 한계치를 넘지 못하도록 실시간으로 확인하고 경우에 따라서는 발의 착지점을 실시간으로 보정해 주며, ③ 계단과 같은 장애물의 통과시에는 계단과 발 간의 간섭이 발생하지 않도록 시각 시스템이나 촉각센서 등의 도움으로 확인하면서 스윙 궤적과 착지점을 보정하는 것이 될 것이다.

앞에서도 언급한 바와 같이 4족 보행기구를 실제 동물과 비교하면 관절의 자유도가 제한되어 있는 점 외에도, 관절의 최대 구동력이 몸체 무게에 비해 상대적으로 작으며, 몸체 자체에는 허리 등의 자유도가 전혀 없는 점이 다르다. 이로 인해 다리에만 의존하여 안정도를 확보하는 데에는 한계가 있을 수 있다. 이를 극복하기 위해 휴먼 로봇 4족 보행기구에서도 와세다 대학에서 2족 보행기구에 적용하고 있는 트렁크 운동에 의한 안정화 장치(trunk motion stabilization)를 도입할 계획이다(그림 1, 그림 4 참조). 즉, 상체에 피치, 롤 및 요의 3자유도를 주어 걸음새 계획에 따른 안정도 마진의 변화를 감안하여 일정한 값 이상의 안정도가 보장되도록

상체를 보조적으로 움직여주는 것이다. 이 보조 기능은 정적인 걸음새의 경우 계획 단계에서 프로그램될 수도 있고 보행 중에 실시간으로 산출된 안정도 마진에 따라 동적으로 이루어지게 할 수도 있다. 따라서 향후 휴먼 로봇이 보행성능 면에서 기존 기술의 수준을 획기적으로 뛰어 넘는 돌파구를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

걸음새 계획이 이루어지면 로봇에게 실제로 이동 명령을 주기 전에 예견하지 못한 장애물과의 충돌 등 계획단계에서의 착오가 없었는지 모사실험을 통해 확인해보는 것이 필요하고 이것을 구현해주는 것이 3차원 그래픽 시뮬레이션이다.<sup>(7)</sup>

출발신호를 받으면 로봇이 경로계획에 따라 이동할 수 있도록 4다리의 각 관절을 실제로 구동시키는 것이 보행제어이다. 다리 관절은 기본적으로 위치제어 기능을 요구하나 상황에 따라서는 토크 제어 기능이 보조적으로 요구된다. 잘 알려진 바와 같이 비선형성이 강한 전기유압식 요동 모터를 사용한 다리 관절의 제어에는 회전각, 회전속도, 부하 압력의 제환을 통해 제어 안정도와 정밀도를 확보할 수 있으나 적절한 제어 이득을 설정하는 것이 관건이다. 이것을 해결하는 데에는 퍼지 로직을 이용하여 학습을 통해 최적의 제어이득을 찾아 가도록 하는 것이 가능하며 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 그림 11은 전기유압 구동식 다리의 1차 프로토타입에 대한 기본 구성을 도시한 것이다. 다리의 엉덩이에 롤 방향 대신 요 방향의 조향관절을 채택하였고, 외관상 유압 배관을 가능한 한 노출시키지 않도록 설계하였으며, 특히 발 부분에 있어서는 불규칙한 노면 위에서의 착지 상태를 좋게 해주는 발가락과 착지시의 충격을 흡수하는 댐퍼를 갖춘 것이 주된 구조적 특징이다.

실제 보행 중인 상황에서는 걸음새 계획에 의해 이동한 위치가 계획된 위치에서 벗어날 수 있으므로 보행 중에 수시로 현재 위치

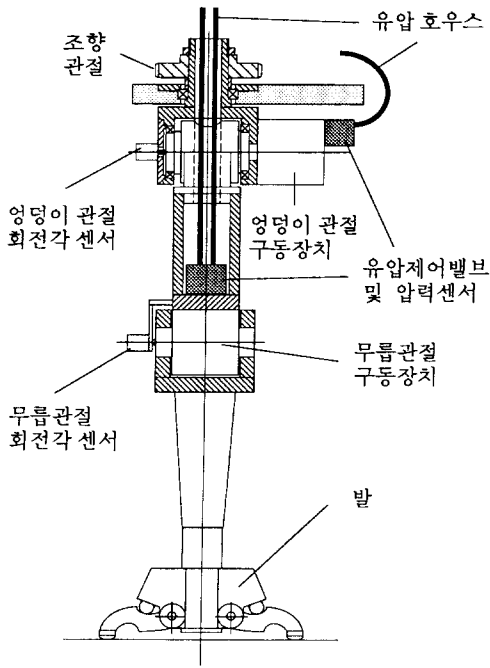


그림 11 전기유압 구동식 다리의 구성

를 확인하고 만약 계획된 경로에서 일정치 이상 벗어나면 계획된 보행을 일단 중지하고 특정한 걸음새로 전후, 좌우로 이동하여 위치를 수정한 후 보행을 계속하거나 다음 스윙 레제를 점진적으로 수정해나감으로써 원래 경로로 복귀하는 항법제어 기능이 요구된다.

보행 중 현재 위치를 검출하는 데에는 자이로 센서를 이용하는 방법이 있을 수 있고 이런 방법에서 문제가 되는 누적 오차를 보상하기 위하여는 시각 센서를 이용하여 이동 환경내의 주요 랜드마크(mark) 예를 들면 벽 모서리, 기둥 등 간의 상대 거리를 확인하는 방법이 있다. 이러한 장애물의 유무, 장애물의 크기 및 형태, 상대적 거리 등을 감지할 수 있는 시각 시스템을 구현하기 위해서는 3차원 레인지 파인더(range finder), 스테레오 비전(stereo vision) 등을 응용한 정밀 측정기술과 실시간 데이터 처리 기술이

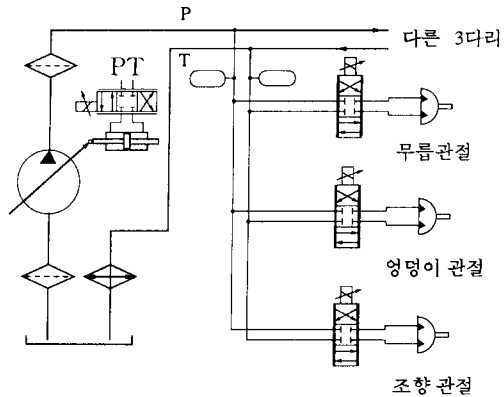


그림 12 가변용량 유압펌프를 이용한 유압 공급원

개발되어야 한다.<sup>(8)</sup>

또한, 불규칙한 노면위를 통과할 경우에는 발이 노면 위에 놓인 상태에 따라서 노면 반력의 방향이 평지를 가정한 경우와 크게 달라지고 슬립이 발생하여 순간적으로 반력이 변할 수도 있으며 발이 돌출 부분에 충돌하여 충격 반력이 생길 수 있다. 그리고 정지 상태에서 로봇이 팔로 작업할 때 큰 반력이 상체에 작용하면 네 다리에 작용하는 반력도 변하게 된다. 이러한 예측할 수 없는 상황에서의 노면 반력의 변화는 걸음새 계획 단계에서 모두 고려할 수 없으므로 4족 보행기구가 각 관절의 토크, 각도, 몸체의 피치, 롤, 요 방향 가속도 및 경사각 등을 고려하여 항상 안정도가 보장되도록 자동으로 각다리의 착지점을 이동시키거나, 상체를 움직여 주거나 또는 다리의 각도를 변화시켜 몸체의 자세를 바꾸도록 함으로써 동적인 반력을 제어하여야 한다. 이러한 기능을 반사제어(reactive control)라 정의하였다. 이 기능이 구현된다면 로봇 전체의 수학적 모델을 이용한 높은 수준의 적응제어 기술, 또는 뉴로 퍼지 로직을 이용한 지능형 학습제어 기술 등의 연구가 요구된다.

그림 12에 도시한 유압 공급원에 있어서는 보행 유형(속보, 완보, 회전 등)과 보행 조



건(평지, 계단, 불규칙 노면 등)에 따라서 12개에 달하는 관절 제어 밸브에서의 전체 압력손실을 최소화하면서도 동적인 반응 속도를 보장해주는 가변 토출펌프의 다수 부하 압력 감지 최적 정압제어 알고리즘이 요구된다.

### 5. 맺음말

이상과 같이 소개한 KIST 휴먼 로봇의 4족 보행시스템을 개발하는 데에 있어서 최대 목표는 보행제어의 지능화를 통해서 외관상 유사한 히타치사의 극한작업 로봇과 차별화시키는 것이다. 이를 위해서는 성능이 급격히 향상되어가고 있는 최신의 컴퓨터와 센서들을 적극 활용하면서 국내외 관련 전문가들이 축적하고 있는 노우 하우들을 최대한 활용하는 것이 필요하고, 기술적으로는 걸음새의 지능제어, 반사제어, 소비동력의 최소화 등을 집중적으로 해결하는 것이 요구된다. 휴먼 로봇 보행기구의 연구 성과는 궁극적으로 계단 등과 같은 단순 장애물은 물론 얼마나 약조건의 험로 위 자율 보행이 가능하고, 평지에서는 얼마나 빠른 최대 보행속도를 발휘할 수 있으며, 로봇에 탑재된 축전지만으로 얼마나 먼거리를 보행할 수 있는 지에 의해 그 질적 수준이 판가름 나게 될 것이다. 이러한 점에서 이 과제의 추진은 국내의 로봇 연구 분야에 있어서 전혀 새로운 매우 거대한 도전이라고 할 수 있다.

### 참고문헌

- (1) Lee, Yun Jung, et. al, 1993, "A Hierarchical Strategy for Planning Crab Gaits of a Quadraped Walking Robot," *Robotica*, No. 79838.
- (2) Horose, Shigeo, et. al, 1991, "Design of Prismatic Quadraped Walking Vehicle TITAN VI," *Proc. 5th Int. Conf. Advanced Robotics*, pp. 723~728.
- (3) Uesugi, Nobuo, et. al, 1991, "Total System of Advanced Robot for Nuclear Power Plant Facilities," *Proc. 1991 Int. Symposium on Advanced Robot Technology*, pp. 111~117.
- (4) Sakakibara, Yoshihiro, et. al, 1991, "Quadrapedal Walking Mechanism and its Intelligent Control," *Proc. 1991 Int. Symposium on Advanced Robot Technology*, pp. 389~396.
- (5) Yamaguchi, Jun-ichi, et. al, 1993, "Development of a Biped Walking Robot Compensating for Three-Axis Movement by Trunk Motion," *Proc. IEEE/RSJ*, pp. 561~566.
- (6) Hachisuka, Yoshiaki, "Compact and High Torque Actuators for Locomotion Robot," *Proc. 1991 Int. Symposium on Advanced Robot Technology*, pp. 335~342.
- (7) Nakamura, Tatsuya, et. al, 1991, "Simulation Technology for Evaluation of Walking Robots," *Proc. 1991 Int. Symposium on Advanced Robot Technology*, pp. 417~424.
- (8) Nakayama, Ryoichi, et. al, 1991, "Advanced Robot Vision & Operation System for Nuclear Power Plant Facilities," *Proc. 1991 Int. Symposium on Advanced Robot Technology*, pp. 247~254.

