

휴머노이드의 보행

인간처럼 두 발로 걷는다

글_ 박종현 한양대학교 교수 jongpark@hanyang.ac.kr

인간과 같이 생기고 인간과 같은 능력을 갖는 기계 장치를 개발하려는 것은 인류의 오랜 꿈이었다. 20세기 들어 눈부시게 발전한 전자, 전기, 기계공학 및 바이오기술은 우리에게 이러한 꿈이 21세기에는 현실화가 될 것이라는 믿음을 갖게 하였다. 현재, 우리 나라를 비롯하여 일본, 미국 등 세계 여러 나라들은 전략적인 사업의 일환으로 로봇산업에 대한 집중적인 투자를 하고 있다.

여러 가지 다양한 로봇 중에서도 관심을 집중적으로 받고 있는 것이 휴머노이드이다. 인간과 같이 생긴 휴머노이드의 외관상 특징은 사람과 같이 두 개의 다리로 보행을 하는 것이다. 대부분의 이동 로봇이 네 개, 또는 그 이상의 다리를 갖고 안전하게 천천히 이동하거나, 바퀴의 구름을 이용하여 이동해 실제로 로봇이 평지에서 쓰러지는 것은 거의 불가능하다. 그러나 바퀴를 굴러 이동하게 되면 계단이나 징검다리 등 특수한 지형에 대해서는 적응이 어렵게 되며, 여러 개의 다리를 갖는 로봇은 무게도 무겁고 보행속도가 무척 느려진다. 이에 반해 두 개의 다리로 걷는 로봇은 두 개의 다리가 지면에 있을 수도 있지만, 때로는 한 개의 다리로 무게를 지탱하여야 한다. 이와 같이 한 개의 다리만 지면 위에 놓이게 되면 소위 역

진자 시스템이 되어 불안정하게 된다. 이것은 막대기를 손바닥 위에 세워놓고 잘 제어하지 않으면 막대기가 쓰러지게 되는 현상에서 쉽게 알 수 있다.

두 발 가진 로봇에 더 호의적이고 친밀감 느껴

이처럼 로봇의 2족 보행 기술은 불안정한 로봇을 제어하여 이동하게 할 수 있게 하는 것이기 때문에 고난도의 제어기술이 필요하다. 이렇게 어려운 보행 방식을 사용하는 것에 대해 많은 사람들이 “왜 구태여 2족인가. 4족은 안되는가? 그렇다면 바퀴는?”이라는 질문을 할 수 있다. 2족 보행 로봇의 존재 이유는 크게 두 가지로 볼 수 있다.

첫째, 인간이 살기 위해 만들어 놓은 공간에서 로봇이 공존하기 위해서는 인간과 같이 두 개의 다리를 이용하여 이동하는 로봇이 필요하다는 것이다. 로봇이 돌아다니기 위해 인간이 로봇을 위한 새로운 시설을 갖추어야 할 필요는 없다. 예를 들어, 계단을 오르고 내리기, 폭이 좁은 나무다리 위를 이동하기, 징검다리 통과 등은 바퀴가 있는 로봇은 할 수가 없거나 매우 특별한 기구를 이용해야 가능하다. 물론, 네 개의 다리를 갖고 개나 퓨마와 같이 이동할 수 있는 로봇은 이러한 장애물을 쉽게 통과할 수 있다. 오히려 2족 보행 로봇보다 더 효율적으로 이동이 가능할 수 있다. 이러한 이유로 필자는 여러 가지 특수한 상황이나 지형지물에 대처해야 하는 군사용 로봇이나 재난구조용 로봇 등은 오히려 4족 보행 로봇이 가장 타당할 것으로 보인다. 4족 보행의 기술적 성숙도가 미진하기 때문에 현재로는 바퀴를 갖는 로봇이 일부 실용화되고 있다.

4족 보행 로봇은 2족 보행 로봇이 필요한 두 번째 이유를 만족시키지 못한다. 그것은 바로 ‘인간의 감성’이다. 인간은 인간과 같이 두 개의 다리로 이동하는 로봇이 자신과 같이 공존하기를 선호한다. 인간은 네 개의 다리를 갖는 로봇을 일종의 ‘괴물’이나 ‘인간과 다른 종’으로 보아 감정을 공유하기 어려운 것으로 여긴다. 물론 애완용 강아지나 물개 로봇 등이 일부 사람들이나 노인들에게 인기를 끌고는 있지만 이는 제한된 것이다. 사무실의 비서, 가정에서의 도우미 등을 생각할 때 우리는 두 개의 다리를 가진 인간과 비슷하게 생긴 로봇을 원하게 된다. 오래전, 일본에서 가정 주부를 대상으로 한 설거지 로봇에 대한 설문조사에서도 주부들은 두 개의 다리를 갖는 로봇을 바퀴나 여러 개의 다리를 가진 로봇보다도 훨씬 선호하는 것으로 나타났다.

휴머노이드의 핵심적인 2족 보행 로봇의 기술 개발은 최근 일본에서 눈부신 발전을 이룩하였다. 일본 와세다 대학 고 가토 교수의 HUREL(Humanoid Research Laboratory)는 1970년 이후 많은 2족 보행 로봇 또는 휴머노이드 개발에 힘을 기울여 많은 2족 보행 로봇을 만들었으며, 2족 보행 로봇의 동적 보행을 성공적으로 구현하였다. 일본의 혼다사는 와세다의 기술을 받아들여 1986년 처음으로 휴먼 로봇 개발에 착수, 지난 96년 1천억 원을 들여 인간에 가장 가깝다는 평가를 받은 P2, P3 라는 이름의 휴머노이드 로봇을 발표

했고, 드디어 두 발로 걷는 로봇 가운데 가장 인간을 많이 닮은 ‘아시모’를 개발하기에 이르렀다.

‘중력보상역진자 모드’로 보행계적 만들어

2족을 이용한 보행 기술은 로봇의 운동 방식의 특성상 비선형적 요소가 강하며 불안정한 시스템이기 때문에 고급 제어기술이 필요하다. 이러한 기술은 발과 다리의 추정 궤적 생성, 안정적인 거동방법 및 거동제어, 외부 환경에 대한 적응 기술 등으로 크게 나누어 볼 수 있다.

먼저 발과 다리의 궤적의 생성 방식 중에서 가장 기본적인 방식에서는 몸 전체를 지면과 한 끝이 접촉하고 있는 질량 없는 막대기와 그 막대기의 다른 끝에 붙어 있는 질량으로 구성된 역진자 모델을 기준으로 사용한다. 그리고 이 역진자가 지면과 수직으로 위치하고 있다 중력에 의해 쓰러지는 궤적을 기본으로 로봇 골반부의 궤적을 결정하는 것이 소위 역진자모드이다. 이 방식은 미분방정식을 이용하여 단순하게 해답을 구할 수가 있으나 이 궤적을 이용할 경우 실제 로봇이 역진자가 아니기 때문에 제어를 해도 실제 궤적과 원하는 궤적 사이에는 오차가 심하게 된다. 이 방식의 단점을 개선하면서도 단순한 미분방정식을 풀어 궤적을 구하기 위해, 하나의 몸체와 스윙하는 발을 따로 모델링하여, 즉 모두 두 개의 질량으로 모델을 기준으로



궤적을 생성하는 방식인 중력보상 역진자 모드도 제안된바 있다. 이 두 방식 모두 다 로봇의 발이 일정한 하나의 점에서 지면과 접촉하고 있다는 가정하에 이루어지고 있다.

ZMP(Zero-Moment Point)는 지면이 로봇에 작용하는 힘의 중심으로 정의된다. 사람이 한 발을 지면에 딛고 있는 상황을 고려해보면, 사람은 지면으로부터 발바닥을 통해 힘을 받고 있다. 이 발바닥에 작용하는 힘의 중심이 바로 ZMP인 것이다. 역진자모드를 기본으로 하고 있는 두 방식에서는 지면을 딛고 있는 발이 바뀌기 전에는 항상 ZMP가 고정되어 있다. 그러나 실제 사람이 걸음을 걸을 때에는 사람은 이 ZMP를 계속 앞으로 이동시킨다.

사람이 직립보행한 이래 오랜 시간에 걸쳐 많은 학습과 유전적 선택을 통해 오늘날 사용하고 있는 걸음형태는 적어도 인간에게는 가장 효율적이라고 가정하는 것은 큰 무리가 없을 것이다. 물론 사람의 보행이 로봇의 보행에 가장 최적이라고 할 수 없으나 적어도 휴머노이드의 궁극적인 목표는 인간과 흡사한 것이 목적이라고 볼 때 보행시에 ZMP를 앞으로 움직이는 것은 바람직하다고 할 수 있다. 실제 단순한 휴리스틱을 이용하여 다리의 형상에 따라 ZMP를 변경시키는 방식이 보행을 더 안정화시킨다는 연구결과를 얻기도 했다. 보다 더 정밀한 로봇의 모델을 사용하고, ZMP 이동 경로를 이용하면 더욱 안정적인 궤적을 생성할 수 있으나 계산상으로 복잡하게 되며 경우에 따라서는 온라인으로 궤적을 생성하기가 어려울 수도 있다.



일본 도쿄 인근 와코에서 선보인 혼다자동차의 아시모가 무대위에서 달리고 있다. 이번에 선보인 아시모는 달리는 과정에서 충격을 흡수하고 균형을 유지할수 있는 센서가 탑재되어 있다.

김민준



연합포토 '랩댄스 추는 휴보' - 대전 한국과학기술원(KAIST) 태울관 미래홀에서 휴먼로봇 '휴보'의 일반인 공개시연회가 열려 휴보 2기가 KAIST 학생들로 구성된 백댄서와 함께 춤을 추고 있다.

휴머노이드는 많은 이동이 필요하기 때문에 적재하고 있는 에너지를 효율적으로 사용할 필요가 있다. 보행궤적을 최적화하여 에너지를 줄이려는 시도도 많이 하고 있는데, 이 중에 흥미로운 결과는 2족 보행 로봇이 비록 사람과 다른 액추에이터를 사용하고 있지만 특정의 최적함수를 사용하여 얻은 최적화된 궤적은 사람이 보행시에 사용하는 궤적과 매우 유사하게 된다는 것이다. 앞으로 보행궤적 측면에서 개선되어야 할 여러 가지 중의 하나는 기하학적인 특이점을 피하기 위해 부자연스럽게 무릎을 굽혀 걷는 것을 개선하는 것이다.

근육 움직임과 비슷한 '임피던스제어방식' 연구중

안정성이 고려된 로봇의 거동방법 및 거동제어방법은 여러 가지로 제안되었다. 먼저 안정적인 거동방법의 연구는 동적인 보행을 위하여 필요한 ZMP가 지지하는 발 안에 존재해야 한다는 조건으로부터 보행에 필요한 로봇의 추정 궤적을 유도함으로써 안정성이 확보될 수 있도록 진행되었다. 그러나, 사람의 경우를 생각해보면 넘어지면서도 ZMP는 발바닥 안에 존재할 수도 있기 때문에 ZMP와 보행안정성 사이의 관계는 그리 단순하지 않다. 그리고 이를 바탕으로 하는 거동제어방법들 중에는 계산 토크제어방법, 복합 임피던스/계산 토크제어방법, 복합 위치/힘제어방법, 그리고 임피던스제어방법 등이 있다. 이 중에서 임피던스제어 방식은 단순한 궤적제어에서 벗어나 다리 근육의 강도를 조절하며 걷는 사람의 보행방식을 이용하여 다리의 임피던스를 변화하며 걷는 방식으로 지면의 높낮이나 경사 등에서 약간의 차이가 있더라도 이를 극복할 수 있는 제어방식이다. 인간의 환경에서 일어날 수 있는 다양하고 복잡한 조건들을 극복하는 보행 연구가 최근 많이 연구되고 있다. 복잡하게 얽힌 사무실에서 행동할 수 있는 로봇의 보

행 연구가 이루어지고 있으며, 또한 미끄러운 노면이나 얼음판을 갑자기 만나는 급박한 상황에서 미끄러지지 않고 보행할 수 있도록 하는 연구도 진행되고 있다.

현재 국내·외에서 진행된 휴머노이드 연구는 짧은 시간에 놀랄 만한 진전을 보인 것은 사실이지만 아직도 사람과 같은 동작, 행위를 하기 위해서는 많은 연구가 필요하다. 각종 센서를 이용하여 여러 가지 복잡한 지면 상황을 극복하며 보행할 수 있는 것도 앞으로 개선해야 할 것이다. 또한, 상·하체를 동시에 사용하며 동작하거나 이동하는 것, 2족 보행에 관한 연구를 활용하여 노인이나 장애자를 위한 보행기구 개발 등을 위한 연구가 앞으로 더욱 중요시될 것이다. 



글쓴이는 서울대학교 기계공학과를 졸업 후, MIT에서 박사학위를 받았다. KIST 연구원, 일본 와세다대학 방문연구자, 국과위 기획조정전문위원을 지냈으며, 현재 제어·자동차·시스템공학회 국제이사를 겸임하고 있다.