

빠른 보행이 가능한 6족 로봇

A Hexapod Robot that can Walk Fast

서 현 세* · 성 영 휘†

(Hyeon Se Seo · Young Whee Sung)

Abstract - In this paper, we propose a new type of hexapod robot that can walk fast. Most of the conventional hexapod robots are either rectangular type or hexagonal type. Those robots have drawbacks in the speed and stability of walking. The proposed robot has six legs, one fore leg, one hind leg, two left legs and two right legs. The proposed robot forms relatively wide supporting polygons along the walking direction, so it can walk very fast stably. We implemented the proposed hexapod robot and showed the feasibility of the robot by 3+3 walking experiment and 2+4 walking experiment.

Key Words : Hexapod Robot, Fast walking, Robot structure

1. 서 론

지능형 로봇은 사용자의 필요에 따른 다양한 작업을 수행하여야 하는데 이러한 작업의 효율성을 높이기 위해서는 이동기능을 필히 가져야 한다. 로봇에 이동 기능을 부여하기 위하여 다양한 연구들이 진행되었으며 대표적인 것들은 바퀴형, 트랙형, 보행형 또는 혼합형의 기계적인 구조[1]를 갖는다. 이 중 보행 로봇은 바퀴형 또는 트랙형 로봇에 비해 비평탄 지형에서의 이동성과 이동 속도, 전력의 사용 등에 있어서 유리하다[2]. 현재까지 연구된 보행 로봇은 대부분 2족, 4족 또는 6족 보행 로봇이다. 2족 보행 로봇은 사람과 같은 형태의 보행을 하며 사람 중심적인 환경에서 잘 동작할 수 있는 장점이 있으나 보행의 안정성을 유지하기가 어려운 단점이 있다. 4족 보행 로봇은 6족 보행 로봇에 비해 하드웨어가 간단하지만 내고장성, 보행 안정성, 보행 속도 측면에서는 6족 보행 로봇이 4족 보행 로봇에 비해 뛰어나다[3]. 한편 6족 보다 더 많은 다리를 갖는 로봇도 고려할 수 있으나 자연계에 존재하는 대부분의 절지동물들은 6개의 다리를 가지고 있으며 다리의 수가 늘어난다고 해도 보행 속도가 더 늘어나지는 않는 것으로 알려져 있다[2]. 위에서 언급한 바와 같이 6족 보행 로봇은 다른 이동 형태에 비해 장점이 있어서 많은 연구가 진행되어 왔다. 기존에 연구되어 온 6족 보행 로봇은 곤충 등 자연계의 생물에서 볼 수 있는 바와 같은 형태의 다리를 갖도록 설계된 것이 대부분이다. 이러한 형태의 6족 보행 로봇들은 사람들에게 익숙하여 외관상 자연스러우나 보행의 안정성, 보행의 속도 등 보행의 관점에서는 비효율적인 측면이 많다. 본 논문에서는 안정되고 빠른 보행이 가능하도록 기존의 6족 보행 로봇들과는 다른 형태의 다리 부착 위치를 갖는 로봇을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 6족 보행 로봇의 구조와 문제점을 살펴보고 새로운 구조의 로봇을 제안한 후 제안된 로봇에 대한 기구학적 해석 및 실제 구현에 관하여 기술하고 3장에서는 보행을 위한 경로 계획 및 보행 실험 결과를 기술하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 새로운 구조의 6족 보행 로봇

2.1 기존 6족 보행 로봇의 구조 및 문제점

대부분의 6족 로봇은 사각 구조[4-6] 또는 육각 구조[7,8]이다. 사각 구조의 6족 로봇은 그림 1의 (a)에서와 같이 사각형의 몸체와 좌, 우 양쪽에 대칭적으로 3개의 다리를 갖는 구조를 말하고, 육각 구조 6족 로봇은 그림 1의 (b)에서와 같이 원형 또는 육각형의 로봇 몸체에 6개의 다리가 균일하게 배열되어 있는 구조를 말한다.

일반적으로 육각 구조 6족 로봇이 사각 구조 6족 로봇보다 안정성, 내고장성, 회전 능력, 지형에의 순응도 측면에서 유리하다고 알려져 있다[8]. 또한 보행 로봇에서의 다리 구조는 말과 같은 포유류 형태[9] 또는 거미와 같은 곤충 형태[10,11]가 있다. 포유류 형태의 다리 구조에서는 상대적으로 낮은 토크를 필요로 하므로 에너지 소모의 관점에서는 가장 효율적인 다리 구조이지만, 지지다각형이 상대적으로 작고 로봇의 무게 중심이 높기 때문에 안정도 관점에서는 비효율적이다. 곤충 형태의 다리 구조에서는 반대로 지지다각형이 상대적으로 크고 로봇의 무게 중심이 낮기 때문에 정적, 동적 안정도 면에서는 효율적이지만, 매우 큰 토크와 전력을 필요로 하므로 에너지 소모의 관점에서는 매우 비효율적이고 지뢰 제거 등과 같이 야외에서 작업하는 이동 로봇에서는 심각한 결함으로 작용한다[3]. 한편 육각 구조 6족 로봇에서 한 다리의 전형적인 자유도는 3으로 거미와 유사한 형태의 다리 구조를 갖는데 보행 속도 측면에서는 말과 같은 포유류의 다리 형태가 유리한 것으로 알려져 있다[12].

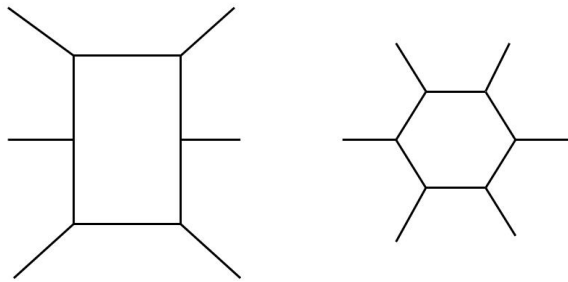
한편 사각 구조와 육각 구조를 혼합한 형태의 다리 구조도 제안되었는데 이는 그림 2에서와 같이 로봇 몸체의 가운데

† Corresponding Author : School of Electronic Engineering,
Kumoh National Institute of Technology
E-mail: ywsung@kumoh.ac.kr

* i3systems co.

Received : January 22, 2013; Accepted : February 27, 2013

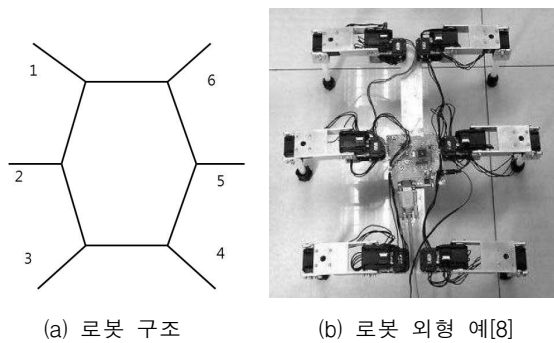
데 부분을 밖으로 튀어 나오게 한 형태이다. 그림 2에서 1, 3, 5번 다리와 2, 4, 6번 다리를 교대로 이동하여 보행하는 3+3 보행 시에 이웃하는 다리의 도달 영역이 겹치는 것을 피하여 다리 사이의 간섭을 적게 하고 지지다각형의 크기를 전통적인 사각 구조 6족 보행 로봇에 비하여 크게 하였고 [13], 2번과 5번 중간 다리들이 무게를 덜 지탱하고 모서리의 다리들이 몸체의 무게를 더 지탱하게 되면서 힘의 분배가 이루어져 시스템에서 필요한 최대 토크를 줄였다[3].



(a) 사각구조 6족 로봇의 구조 (b)육각구조 6족 로봇의 구조

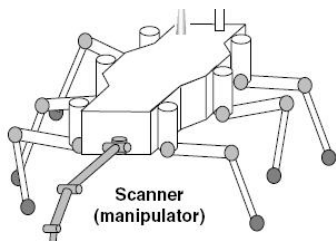
그림 1 전형적인 6족 로봇의 구조

Fig. 1 Structures of conventional hexapod robots



(a) 로봇 구조

(b) 로봇 외형 예[8]



(c) 로봇 외형 예 : DYLEMA[2]

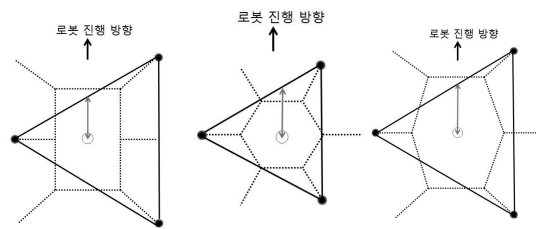
그림 2 사각구조와 육각구조가 혼합된 형태

Fig. 2 Mixed form of rectangular and hexagonal hexapod robots

보행 로봇에서 지면에 닿아 있는 다리들로 이루어지는 다각형을 지지 다각형이라고 한다. 네 다리가 모두 닿아 있는 경우에는 네 다리로 이루어지는 사각형이 지지 다각형이 되고, 세 다리가 닿아 있는 경우에는 세 다리로 이루어지는 삼각형이 지지 다각형이 된다. 로봇의 무게 중심이 로봇의 지지다각형 안에 존재하면 로봇은 넘어지지 않고 안정되지만, 로봇의 무게 중심이 지지다각형을 벗어나면 로봇은 넘어지게 된다.

기존의 보행 로봇의 보행은 크게 정적 보행과 동적 보행 두 가지로 나눌 수 있다. 정적 보행이란 로봇이 보행하는 동안에 항상 로봇의 무게 중심이 로봇의 지지 다각형 안에 존재하는 것을 말하고, 동적 보행이란 로봇의 무게 중심 또는 영모멘트점(Zero Moment Point)이 지지다각형의 외부에도 있는 경우를 말한다. 정적 보행은 보행 중에 로봇의 무게 중심이 지지다각형 안에 항상 존재하도록 하는 보행이므로 넘어지지 않고 안정되게 보행할 수 있다.

그림 2에서와 유사하게 다리에 번호를 매겼을 때 1, 3, 5번 다리와 2, 4, 6번 다리를 교대로 이동하여 보행하는 3+3 보행 시 로봇 구조에 따른 지지다각형은 그림 3과 같다.



(a) 사각구조 (b) 육각구조 (c) 사각+육각 구조

그림 3 로봇 구조에 따른 지지다각형

Fig. 3 Supporting polygons for three robot structures

그림 3에서 속이 채워진 작은 원들은 지면에 닿아있는 다리 끝 점을 나타내고 이 점들에 의해서 지지삼각형이 형성되는 것을 도시하고 있다. 전진 보행 시에는 로봇의 지지 다리들이 몸체를 앞으로 이동시키게 되고 따라서 그림 3에서 지지삼각형은 로봇의 진행방향과 반대 방향으로 이동하게 된다. 이 때 중앙의 작은 원으로 표시한 로봇의 무게 중심과 지지삼각형 사이의 거리(그림에서 양쪽 화살표로 표시된 부분들)는 줄어들게 되고 로봇의 보폭이 큰 경우에는 로봇의 무게 중심이 지지삼각형의 밖으로 나가서 로봇이 불안정하게 된다. 따라서 전진 또는 후진 보행에서는 진행 방향에 대한 무게 중심과 지지다각형 사이의 거리가 중요한 요소가 된다.

그림 3의 (a)~(c)와 같은 기존의 로봇 구조에서는 전진 또는 후진할 때, 로봇 몸체를 지지하는 다리들로 형성되는 지지 다각형의 형태가 로봇의 진행 방향에 대한 안정여유도가 작아서 전진 후진 방향으로의 로봇의 이동 속도에 제한을 주게 된다. 이와 같은 형태의 로봇들은 사람들에게 익숙하여 외관상 자연스러우나 보행의 안정성, 보행의 속도 등 보행의 관점에서는 비효율적인 측면이 있다. 다음 절에서는 자연계에는 존재하지 않는 형태이나 전진, 후진 보행의 안정성과 속도 측면에서 효율적인 로봇을 제안한다.

2.2 제안된 로봇의 구조 및 보행

그림 4는 본 논문에서 제안하는 6족 보행 로봇 및 여섯개 다리의 번호를 나타낸다. 이 로봇은 사각형의 몸체를 가졌으나 로봇 몸체의 좌, 우에 3개씩의 다리를 갖지 않고 전후 다리(1번, 4번)와 좌우다리 두 개씩 총 6개의 포유류 형태의 다리를 갖는다.

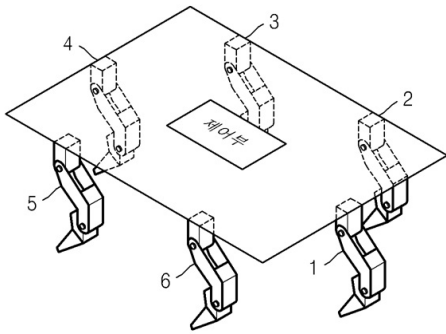


그림 4 제안된 6족 보행 로봇의 다리 구조
Fig. 4 Leg configuration for the proposed hexapod walking robot

제안된 6족 보행 로봇은 정적 보행임에도 불구하고 세 개의 다리를 교대로 이동시키는 3+3 보행과 2개의 다리와 4개의 다리를 교대로 이동시키는 2+4 보행을 할 수 있다. 첫 번째로 제안된 로봇이 3+3 보행을 수행할 시의 지지다각형의 변화는 그림 5와 같다. 즉 로봇은 여섯 다리로 지지하고 있는 초기 상태에서 2, 4, 6번 세 다리를 들어 이동한다. 이때 지지다각형은 1, 3, 5번 다리로 형성되는 삼각형 형태이며 로봇이 진행방향으로 전진하더라도 로봇의 무게 중심이 항상 이 지지삼각형 안에 있어서 로봇이 안정되며 이 구간에서 로봇의 보행 속도를 매우 빠르게 할 수 있다.

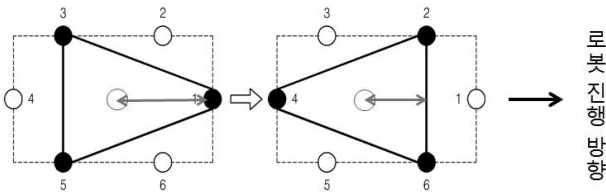


그림 5 제안된 6족 보행 로봇의 3+3 보행
Fig. 5 3+3 walking for the proposed hexapod walking robot

2, 4, 6번 다리가 착지한 후에는 이 세 다리로 형성되는 삼각형이 지지다각형이 된다. 이 지지삼각형은 로봇의 진행 방향 쪽 2, 6번이 이루는 변이 로봇 몸체의 안쪽에 생길 수 있지만 적절히 설계된 로봇 다리 길이에 따라 로봇의 무게 중심이 항상 지지삼각형 안에 있게 할 수 있고 또한 지지삼각형이 기존의 로봇 구조에 비해서 상대적으로 커서 로봇의 보행 속도를 높일 수 있다.

위에서 기술한 바와 같이 제안된 로봇의 3+3 보행에서는 로봇의 전·후진 보행에서 항상 3점 지지가 가능하면서 지지 다리로 이루어지는 지지삼각형이 전·후진방향으로의 면적이 넓은 형태가 된다. 따라서 정적인 보행만으로도 동적인 보행의 효과를 낼 수 있으므로 안정되고 빠른 보행이 가능하게 된다.

그림 3에 나타난 기존의 로봇 구조에서는 임의의 2개의 다리가 지지다리가 될 때 로봇의 진행 방향으로 지지다각형이 형성되지 않는다. 따라서 기존의 로봇들은 2개의 다리를 이동시킬 때에는 2+2 보행을 해야 하지만 제안된 로봇은 앞다리와 뒷다리가 로봇 진행 방향으로 지지다각형을 형성

할 수 있기 때문에 1, 4번 다리를 한 쌍으로 하고 나머지 다리들을 한 쌍으로 하는 보행이 가능하다. 즉 기존의 6족 보행로봇들에 비해서 보행 주기를 짧게 만들 수 있어서 보행 속도를 높일 수 있다. 제안된 로봇이 2+4 보행을 수행할 시의 지지다각형의 변화는 그림 6과 같다. 로봇은 여섯 다리로 지지하고 있는 초기 상태에서 1, 4번 두 다리를 들어 이동한다. 이 때 지지다각형은 2, 3, 5, 6번 다리로 형성되는 사각형 형태이며 상대적으로 넓은 지지다각형이 형성되어 로봇의 무게 중심이 항상 이 지지사각형 안에 있어서 로봇이 안정된다.

1, 4번 다리가 착지한 후에는 2, 3, 5, 6번 네 다리를 들어 이동한다. 이때 지지다각형은 1번, 4번 다리로 형성되는 긴 사각형 형태이며 긴 변이 로봇의 진행방향과 같으므로 진행 방향으로는 안정하다. 하지만 지지사각형의 한 변은 로봇의 발바닥의 좌우쪽에 해당하는 매우 작은 값을 가지므로 로봇 진행 방향 이외의 방향으로의 외란에는 취약하다.

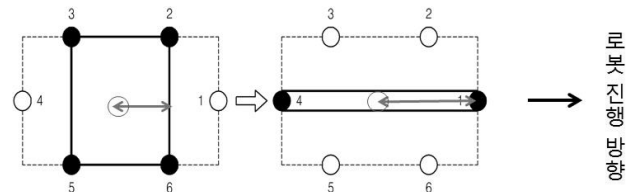
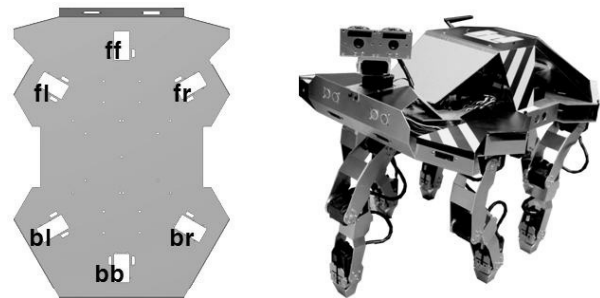


그림 6 제안된 6족 보행 로봇의 2+4 보행
Fig. 6 2+4 walking for the proposed hexapod walking robot

2.3 6족 보행로봇의 구현

제안된 6족 보행 로봇은 한 다리에 4자유도를 가져 직진 보행뿐만 아니라 좌, 우, 회전 보행을 수행할 수 있다. 그림 7의 (a)는 6족 보행 로봇의 다리 부착 위치를 나타내고 있다. 전, 후 다리와 좌측에 두 개, 우측에 두 개 다리의 6개의 다리를 가진다. (b)는 제작된 6족 보행 로봇의 외관을 나타내었다.

로봇의 관절 구동부로는 로보티즈사에서 제조한 감속기, 제어기, 구동기 및 네트워크 기능 등을 일체형으로 구성하여 하나의 모듈로 제작된 다이내믹셀인 RX-64를 사용하였다. 6족 보행 로봇의 주 제어기로는 보행패턴을 실시간으로 생성하고 다수의 관절 구동부를 신속하고 정확하게 제어하기



(a) 몸체와 다리 부착 위치 (b) 외관
그림 7 제안된 로봇의 다리부착 위치 및 외관
Fig. 7 Leg positions and appearance of the robot

위해서 고속으로 소수점연산이 가능해야 하므로 부동소수점 연산이 가능한 TI사의 32bit MCU인 TMS320F28335를 사용하였으며 CPU타이머 인터럽트를 사용하여 5ms의 샘플링 주기를 만들었다. 또한 초음파 센서 적외선 센서 등과 같은 센서들의 데이터 값을 읽고 10ms의 주기로 주제어기로 전송하는 보조 제어기로는 Atmel사의 Atmega 128을 사용하였고 비전 센서 데이터 처리 및 스마트 폰과의 인터페이스를 위해서 호스트 PC를 사용하였다. 그림 8은 로봇의 제어기 구조를 나타낸다.

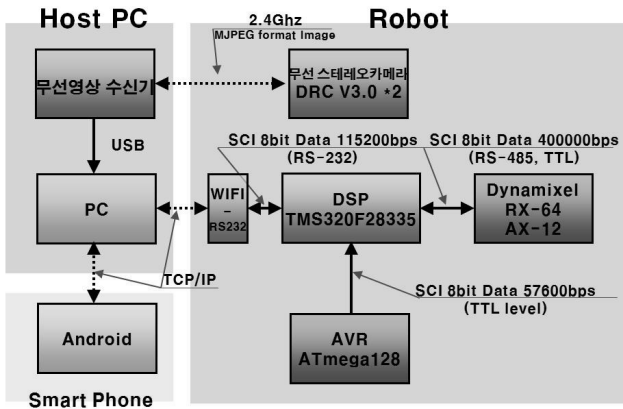


그림 8 로봇 제어기
Fig. 8 Controller for the proposed robot

2.4 6족 보행로봇의 기구학 해석

제안된 로봇의 여섯 개 다리는 모두 같은 구조를 가지며 한 다리는 4개의 회전관절로 이루어져 있는데 그 구조와 회전 방향은 그림 9에 나타낸 바와 같다. 그림 9에는 또한 다리부의 기구학 해석을 하기 위한 관절 좌표계가 설정되어 있다. 그림에서 {i}는 i 좌표계를 나타낸다. 좌표계는 DH 표기법이 적용될 수 있도록 설정하였으며 링크 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 다리좌표계의 링크 파라미터
Table 1 Link parameters for the leg coordinates

링크	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	90°	$-l_1$	θ_1
2	l_2	0	0	θ_2
3	l_3	0	0	θ_3
4	l_4	0	0	θ_4

이 때 두 좌표계 사이의 동차 변환행렬은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 {}^0T_1 &= \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & {}^1T_2 &= \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & l_2c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & l_2s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & (1) \\
 {}^2T_3 &= \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & l_3c_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & l_3s_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & {}^3T_4 &= \begin{bmatrix} c_4 & -s_4 & 0 & l_4c_4 \\ s_4 & c_4 & 0 & l_4s_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

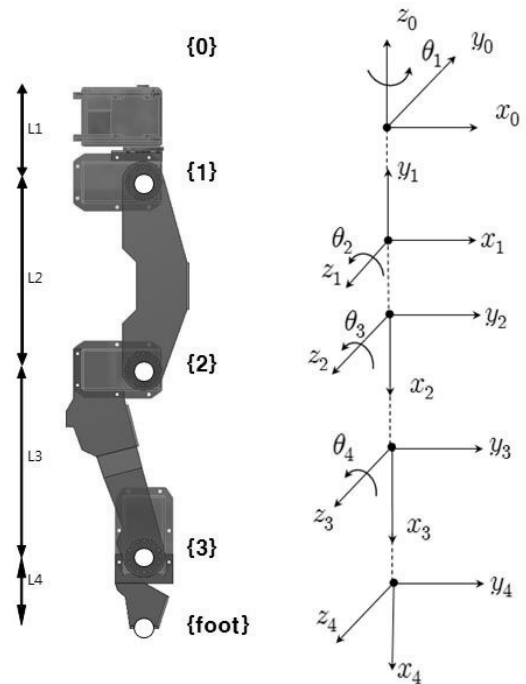


그림 9 로봇의 다리 구조 및 좌표계 설정
Fig. 9 Leg structure and coordinates of the robot

이 때 마지막 좌표계를 {1} 좌표계와 {0} 좌표계에 대해서 표현하면 각각 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 {}^1T_4 &= {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 = \begin{bmatrix} c_{234} & -s_{234} & 0 & l_2c_2 + l_3c_{23} + l_4c_{234} \\ s_{234} & c_{234} & 0 & l_2s_2 + l_3s_{23} + l_4s_{234} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & (2) \\
 {}^0T_4 &= {}^0T_1 {}^1T_4 = \begin{bmatrix} c_1c_{234} & -c_1s_{234} & s_1 & c_1(l_2c_2 + l_3c_{23} + l_4c_{234}) \\ s_1c_{234} & -s_1s_{234} & -c_1 & s_1(l_2c_2 + l_3c_{23} + l_4c_{234}) \\ s_{234} & c_{234} & 0 & -l_1 + l_2s_2 + l_3s_{23} + l_4s_{234} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & (3)
 \end{aligned}$$

한 다리의 역기구학 해는 첫 번째 관절과 나머지 세 관절을 나누어서 구할 수 있다. 첫 번째 관절은 방향 전환을 위해 사용되는 관절로 나머지 세 관절과는 회전 방향이 다른 구조로 되어 있다. 첫 번째 관절에 대한 역기구학 해는 그림 9에 표시된 바와 같이 {0} 좌표계에 대한 {4} 좌표계의 z 방향인 z_4 로부터 쉽게 구할 수 있다. 0T_4 가 주어졌을 때 식 (3)의 (1,3)원소 r_{13} 과 (2,3)원소 r_{23} 으로부터 다음과 같이 첫 번째 관절에 대한 해를 구할 수 있다.

$$\theta_1 = \text{atan2}(s_1, c_1) = \text{atan2}(r_{13}, -r_{23}) \quad (4)$$

한 다리의 나머지 세 관절에 대한 역기구학 해를 구하기 위해서 그림 10에 좌표계를 다시 도시하였다. 식 (4)에서 θ_1 이 결정된 후에는 나머지 세 관절들은 x_1-y_1 평면에서 운동한다. 이 때 식 (2)에서 볼 수 있듯이 1T_4 는 θ_1 에 무관하며 {1} 좌표계의 원점인 o_1 을 원점으로 하고 x_1-y_1 평면에

서 운동하는 3축 평면 머니플레이터로 생각할 수 있다. 따라서 주어진 1T_4 로부터 $\theta_2, \theta_3, \theta_4$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

역기구학을 구하기 위해 주어진 1T_4 의 원소들을 식 (5)와 같이 표기한다. 이 때 X 와 Y 는 {1} 좌표계에 대해서 표현된 로봇 발끝인 o_4 의 x, y 좌표이고 ϕ 는 로봇의 발끝의 방향을 나타낸다.

$${}^1T_4 = \begin{bmatrix} c_{234} - s_{234} 0 & l_2 c_2 + l_3 c_{23} + l_4 c_{234} \\ s_{234} & c_{234} 0 & l_2 s_2 + l_3 s_{23} + l_4 s_{234} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} c_\phi - s_\phi 0 & X \\ s_\phi & c_\phi 0 & Y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

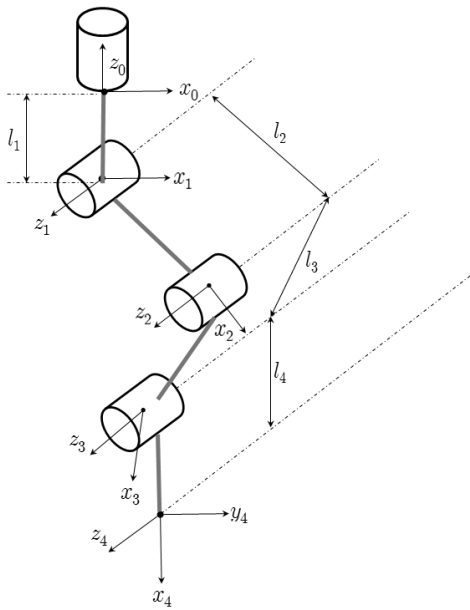


그림 10 다리부의 좌표계
Fig. 10 Coordinates for a leg

발끝의 방향 ϕ 를 이용하여 {3} 좌표계의 원점 o_3 를 {1} 좌표계에 대해서 표현한 좌표 x_c, y_c 를 식 (6)과 같이 구할 수 있고 따라서 세 관절에 대한 역기구학 해는 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_c &= X - l_4 c_\phi \\ y_c &= Y - l_4 s_\phi \end{aligned} \quad (6)$$

$$c_3 = \frac{x_c^2 + y_c^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2 l_3}, \quad s_3 = \pm \sqrt{1 - c_3^2} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \theta_3 &= \text{atan2}(s_3, c_3) \\ \theta_2 &= \text{atan2}(y_c, x_c) - \text{atan2}(l_3 s_3, l_2 + l_3 c_3) \\ \theta_4 &= \phi - \theta_2 - \theta_3 \end{aligned}$$

3. 로봇 보행

3.1 보행을 위한 궤적 생성

로봇의 경로를 계획하는 방법은 월드좌표계를 중심으로 로봇의 몸체 및 각 다리들의 경로를 설정하는 방법과 로봇

몸체를 중심으로 각 다리들의 경로를 설정하는 방법이 있다. 월드좌표계를 중심으로 하는 방법은 좌표계 사이의 변환 계산이 많기 때문에 시간이 많이 걸린다. 여기에서는 로봇의 경로를 실시간으로 생성하기 위하여 로봇 몸체를 중심으로 각 다리들의 경로를 설정하는 방법을 사용한다.

그림 11에 보행 궤적 생성 과정을 도시하였다. 로봇의 보행 방법은 세 다리씩을 교대로 이동하는 3+3 보행인지, 두 다리와 네 다리를 교대로 이동하는 2+4 보행인지를 의미하고 보행 파라미터들은 보행 속도, 보폭, 스윙 다리의 보행 높이 등을 의미한다. 보행 방법과 보행 파라미터들이 결정되면 한 보행 주기 내에서 로봇의 매 샘플링 시간마다 로봇 몸체 중심에 대한 지지다리와 스윙다리들의 보행 궤적을 생성하게 된다. 다리들의 보행 궤적이 결정되면 몸체 중심점에 대해서 표현된 각 다리 발 끝의 위치와 방향이 결정되고 2.4절에서와 같은 방법으로 역기구학을 풀게 된다. 역기구학을 풀어 각 관절값들이 결정되면 관절별 동기 동작이 이루어지도록 차등 속도를 부여하고 로봇 액츄에이터인 디아나믹셀을 구동할 수 있는 형식에 맞도록 조인트 구동 데이터를 생성하여 모터를 구동하게 된다.

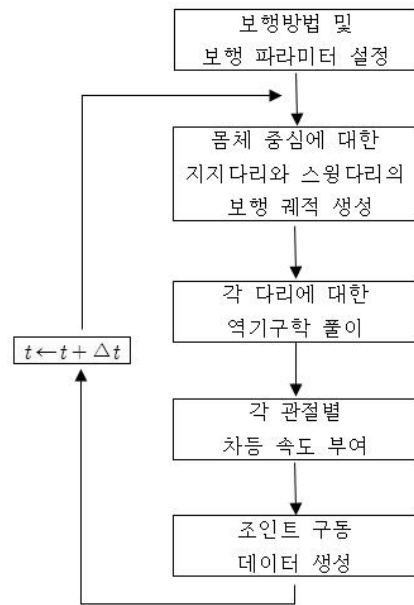


그림 11 로봇 보행 궤적 생성
Fig. 11 Walking trajectory generation for the robot

로봇이 보행을 하기 위해서는 스윙 다리가 스윙운동을 하는 동안 지지다리들은 지면에 닿은 채로 몸체를 이동시키는 동작을 수행한다. 전체 보행 주기가 T 일 때, 스윙 다리의 스윙 시간은 주기의 반인 $T/2$ 로 한다. 스윙 다리의 운동 형태는 그림 12에 나타내었다. 그림 12에서 x_s 는 $T/2$ 시간 동안 로봇의 스윙 다리가 이동되는 거리를 의미하고 z_s 는 스윙 다리를 들어 올리는 높이를 의미한다. 지지 다리들은 지면에 닿아 있으므로 z 축 상의 변화는 없이 x 축 방향으로 x_s 만큼 이동함으로써 몸체를 이동시키게 된다.

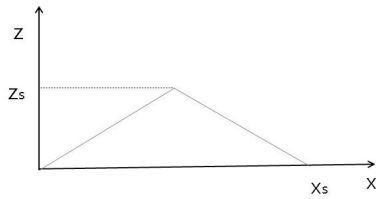


그림 12 스윙다리의 궤적

Fig. 12 Trajectory of swing legs

3.2 6족 보행 로봇의 보행 실험

제작된 6족 보행 로봇의 몸체는 앞, 뒤로 56cm, 좌, 우로 44cm의 크기를 가지고, 로봇의 앞, 뒷다리는 로봇의 중심으로부터 ± 23.5 cm, 왼쪽 앞, 뒷다리, 오른쪽 앞 뒷다리는 로봇의 중심으로부터 x 축으로 ± 15 cm, y 축으로 ± 15 cm의 위치에 각각 부착되어 있다. 다리의 링크의 길이는 허벅지와 종아리 부분인 l_2, l_3 는 각각 13cm, 발목관절로부터 발바닥까지의 길이인 l_4 는 3cm이다. 모든 다리의 최대 보폭은 8cm로 설정하여 실험하였으며, 로봇이 다리를 들어 올리는 최고 높이는 6cm로 설정하였다.

첫 번째로 3+3 보행 실험을 수행하였다. 보행의 한 주기는 초기에 최대값인 0.8초로 설정한 후 한 주기가 끝날 때마다 단계적으로 감소시켜 나가며 최소 0.2초로 설정하여 로봇의 보행 속도를 가속시키며 실험하였다. 3+3 보행 실험에 대한 파라미터는 표 2에 나타내었다.

표 2 3+3 보행 실험 파라미터

Table 2 Experimental parameters for 3+3 walking

항목	값
로봇 크기	전-후 56cm, 좌-우 44cm
다리 부착 위치	전(23.5, 0), 후(-23.5, 0), 전좌(15.0, 15.0), 전우(15.0, -15.0), 후좌(-15.0, 15.0), 후우(-15.0, -15.0)
링크길이	$l_2 = l_3 = 13\text{cm}, l_4 = 3\text{cm}$
보폭	최대 8cm
다리 높이	최고 6cm
보행 주기	최대 0.8초에서 시작 최소 0.2초까지 감소

그림 13은 제안된 6족 보행 로봇이 3+3 보행하는 과정을 보이고 있다. (a)에서 로봇은 모든 다리가 땅에 닿아 있는 초기 자세이고 (b)에서 로봇은 스윙다리인 좌측 앞다리와 뒷다리를 들어 올려 다리를 전진시키고, 지지다리인 앞다리와 좌, 우측 뒷다리를 뒤로 이동시켜 로봇의 몸체를 앞으로 이동시키는 단계이다. (c)는 스윙 동작이 완료되어 모든 다리가 땅에 닿아 있는 모습이다. (d)는 (b)와 반대되는 단계로서 스윙다리와 지지다리를 교대한다. 즉 로봇은 스윙다리인 앞다리와 좌, 우측 뒷다리를 들어 올려 다리를 전진시키고, 지지다리인 좌, 우측 앞다리와 뒷다리를 뒤로 이동시켜 로봇의 몸체를 앞으로 이동시키는 단계이다. 다양한 보폭에 대하여 실험을 진행하였으며, 모든 경우에 최대 속도인

보행 주기 0.2초에서도 안정성을 유지하며 이동할 수 있었다.

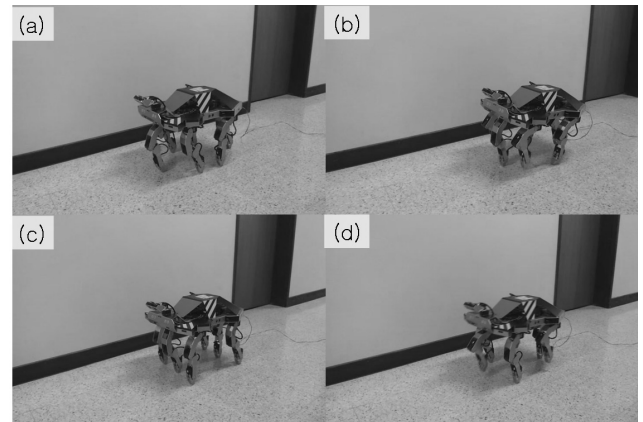


그림 13 3+3 보행 실험 결과

Fig. 13 Results for 3+3 walking experiment

두 번째 실험으로 2+4 보행을 수행하였다. 모든 다리의 보폭은 최대 8cm로 설정하여 실험하였으며, 로봇이 다리를 들어 올리는 최고 높이는 6cm이다. 보행의 한 주기는 초기에 최대값인 0.8초로 설정한 후 한 주기가 끝날 때마다 단계적으로 감소시켜 나가며 최소 0.4초로 설정하여 로봇의 보행 속도를 가속시키며 실험하였다. 2+4 보행 실험에 대한 파라미터는 표 3에 나타내었다.

표 3 2+4 보행 실험 파라미터

Table 3 Experimental parameters for 2+4 walking

항목	값
보폭	최대 8cm
다리 높이	6cm
보행 주기	최대 0.8초에서 시작 최소 0.4초까지 감소

그림 14는 제안된 6족 보행 로봇이 2+4 보행하는 과정을 보이고 있다. (a)에서 로봇은 모든 다리가 땅에 닿아 있는 초기 자세이고 (b)에서 로봇은 4개의 스윙다리인 좌측 앞다리와 뒷다리, 우측 앞다리와 뒷다리를 들어 올려 다리를 전진시키고, 2개의 지지다리인 앞다리와 뒷다리를 지면에 닿은 채로 뒤로 이동시켜 로봇의 몸체를 앞으로 이동시키는 단계이다. (c)는 (b)에서의 스윙동작이 완료되어 모든 다리가 땅에 닿아 있는 모습이다. (d)는 (b)와 반대되는 단계로서, 로봇은 2개의 스윙다리인 앞다리와 뒷다리를 들어 올려 다리를 전진시키고, 4개의 지지다리인 좌측 앞다리와 뒷다리, 우측 앞다리와 뒷다리를 지면에 닿은 채로 뒤로 이동시켜 로봇의 몸체를 앞으로 이동시키는 단계이다.

다양한 보폭에 대해서 실험을 수행하였고 로봇이 안정되게 보행할 수 있는 최소 보행 주기는 0.4초로 3+3 보행의

경우와 비교해서는 낮은 속도이다. 이는 주기 0.4초 이하에서는 그림 6에 표시된 바와 같이 로봇의 1, 4 번 다리인 앞다리와 뒷다리가 지지다각형을 형성할 때 로봇 진행 방향에 수직인 방향으로는 지지다각형의 넓이가 작아서 로봇의 동적인 특성이 영향을 미쳐서 로봇 무게 중심이 지지다각형을 벗어나기 때문이다. 하지만 2.2절에 기술한 바와 같이 2번의 스윙동작만으로 보행 주기를 마칠 수 있어서 기존의 6족 로봇에 비해서는 빠른 보행이 가능하였다.

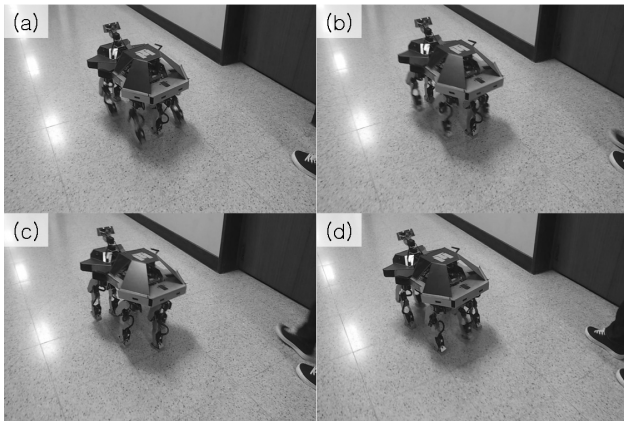


그림 14 2+4 보행 실험 결과
 Fig. 14 Results for 2+4 walking experiment

4. 결 론

본 논문에서는 새로운 형태의 6족 보행 로봇을 제안하였고 로봇의 기구학적 해석을 수행하였다. 제안된 로봇은 몸체 중심점에 대칭인 위치에 6개의 다리를 갖는 형태로 전후 다리 1개씩과 좌우 다리를 2개씩 가지고 있다. 제안된 로봇은 기존의 6족 보행 로봇에 비하여 로봇 진행 방향으로의 지지다각형이 넓게 형성되는 특징을 가지고 있어서 빠른 보행이 가능한 장점이 있다.

제안된 로봇은 세 개의 다리를 교대로 이동하는 3+3 보행뿐만 아니라 기존의 6족 보행 로봇에서는 불가능했던 보행 방식 즉 전후 다리 2개와 좌우 다리 4개를 교대로 이동하는 2+4 보행도 가능하여 다양한 보행 운동이 가능하다. 다만 2+4 보행의 경우에는 보행 방향 외의 방향으로의 외란에는 취약한 단점이 있었다. 제안된 로봇의 효율성을 보이기 위하여 다리부 24개, 머리부 2개 총 26개의 관절로 구성된 6족 보행 로봇을 제작하여 다양한 보행 파라미터에 대하여 보행 실험을 수행하여 검증하였다. 추후 연구로는 발바닥에 센서를 부착한 후 보행 시 감지되는 센서 데이터를 기반으로 한 비평탄 지역 보행 및 다양한 지능형 동작을 수행하도록 할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

References

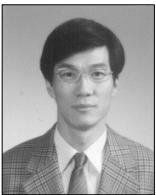
- [1] Young-Kuk Yoo, Juns Shik Kong, and Jin-Geol Kim, "Implementation of a transformable hexapod robot for complex terrains", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 12, pp. 65 - 74, 2008
- [2] A. Preumont, P. Alexandre and D. Ghuys, "Gait analysis and implementation of a six leg walking machine," 91 ICAR, Fifth International Conference on Advanced Robotics, Pisa, Italy, Vol. 2(Jun. 19-22, 1991) pp.941-945
- [3] P. Gonzalez de Sanos, J. A. Cobano, E. Garcia, J. Estremera and M. A. Armada, " A six-legged robot-based system for humanitarian demining mission," Mechatronics 17, pp.417-430, 2007.
- [4] J. M. Porta and E. Celaya, "Reactive free-gait generation to follow arbitrary trajectories with a hexapod robot," Robotics and Autonomous Systems, 47, pp.187-201, 2004
- [5] Sangmu Lee and Sanghoon Kim, "Intelligent hexapod mobile robot using image processing and sensor fusion", Journal of Institute of Control, Robotics, and Systems, Vol. 15, No. 4, pp. 365 - 371, 2009
- [6] Qing-Jiu Huang and Kenzo Nonami, " Humanitarian mine detecting six-leegged walking robot and hybrid neuro walking control with position/force control," Mechatronics 13, pp.773-790, 2002. pp.305-310, 2008
- [7] J. Currie, M. Beckerleg, J. Collins, "Software evolution of a hexapod robot walking gait," 15th International Conf. on Mechatronics and Vision in Practice (M2VIP08), Auckland, New-Zealand.
- [8] Z. Y. Wang, X. L. Ding, and A. Rovetta, "Analysis of typical locomotion of a symmetric hexapod robot," Robotica(2010), Vol. 28, pp.893-907, 2010.
- [9] Young Whee Sung, Hyeon Se Seo, "A study on an intelligent quadruped robot," KISPS Autumn conference 2010, pp.470-473, 2010.
- [10] William A. Lewinger and Roger D. Quinn, "A hexspod walkis over irregular terrain using a controller adpted from an insect's nervous system," The 2010 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 3368-3391, October 18-22, 2010.
- [11] Xiaochuan Zhao, Qingsheng Luo, and Baoling Han, "Research on the real time obstacle avoidance control technology of biologically inspired hexapod robot," Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 25-27, 2008
- [12] SungHo Park, Introduction to Walking Robot, 2008
- [13] Xingji Duan, Weihai Chen, Shouqian Yu, and Jingmeng Liu, "Tripod gaits palnning and kinematics analysis of a hexapod robot," IEEE Int. Conf. on control and automation, Christchurch, New Zealand, pp. 1850-1855, 2009

저 자 소 개



서 현 세 (徐賢世)

1985년 1월 9일생. 2010년 금오공과대학교 전자공학부 졸업. 2012년 2월 금오공과대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
2012년 3월~현재 (주)i3system 연구원
주관심분야 : 지능로봇, 임베디드 시스템.



성 영 휘 (成永輝)

1962년 5월 20일생. 1988년 고려대학교 전자공학과 졸업. 1996년 KAIST 전기및 전자공학과 졸업(공학박사). 1995년 9월~1996년 8월 영국 Oxford university 박사 후 연구원. 1996년~1998년 LG산전 선임 연구원. 1998~현재 국립 금오공과대학교 전자공학부 교수
주관심분야 : Walking robot, Redundant manipulator.