

이족 로봇의 보행 모델링 및 롤/피치/요 운동 특성 분석

Modeling and RPY Motion Analysis of Bipedal Walking Robots

김병호

Byoung-Ho Kim

경성대학교 메카트로닉스공학과 생체모방 및 지능로봇 연구실

Biomimetics & Intelligent Robotics Lab., Dept. of Mechatronics Eng., Kyungsoong Univ.,
Busan, 608-736, Korea

요약

본 논문에서는 이족 로봇을 위한 가상의 다리에 기반한 보행 모델을 제시한 후, 시뮬레이션을 통하여 제시한 보행 모델의 근본적인 롤/피치/요(roll/pitch/yaw) 운동 특성을 분석한다. 이를 위하여 로봇의 무게 중심과 압력 중심에서의 운동 경로를 사람의 발걸음 운동 패턴과 유사한 임의의 패턴으로 설정하고, 이러한 경로를 따라 보행할 경우에 나타나는 주요 관성 성분 특성을 확인한다. 결과적으로, 이족 보행에서 롤, 피치 및 요 방향으로의 운동은 보행 과정에서 생성될 수 있는 자연스러운 현상이며, 이것은 발걸음의 간격, 무게 중심의 위치 및 로봇 몸체의 이동 가속도와 밀접한 관계가 있음을 보인다. 또한, 이족 보행의 밸런스 관점에서 발의 위치 설정을 위한 경로 계획의 중요성을 고찰한다.

키워드 : 가상 다리에 의한 보행 모델, 이족 로봇, 자연스러운 운동 패턴, 보행 밸런스

Abstract

This paper presents a virtual-legged walking model for bipedal robots and analyzes its fundamental RPY(Roll, Pitch, and Yaw) motion effects by simulation. For the purpose of identifying the motion effects of the bipedal walking, we assign some arbitrary trajectories both at the center of mass and at the center of pressure of the robot based on human walking. And then we verify the major moments to the roll, pitch, and yaw directions of the robot. As a result, it is shown that those motions are natural in the process of bipedal walking and they are deeply dependent on the step distance, the vertical level of the center of mass, and the acceleration of the robot. The importance of trajectory planning for the footstep location during a bipedal walking is finally addressed in terms of balance.

Key words : Virtual-legged walking model, Bipedal robots, Natural behaviors, Walking balance

1. 서론

현재 많은 연구자들에 의해 능동적인 작업자로서 다양한 작업 수행이 가능한 인간형 로봇(humanoid robot) 개발에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다 [1]-[4].

그림 1은 인간형 로봇 중의 하나로서 개발된 WABIAN-2 [2]이다. 이 로봇이 능동적인 작업자로서의 역할을 수행하기 위해서는 기본적으로 물체의 조작성을 직접적으로 다루는 손과 팔의 협조(hand/arm coordination)가 잘 이루어져야 할 뿐만 아니라, 안정된 보

접수일자 : 2011년 3월 19일

완료일자 : 2011년 5월 11일

본 논문은 본 학회 2011년도 춘계학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

감사의 글 : 이 연구는 2010학년도 경성대학교 연구년 지원에 의하여 연구되었음. 부분적으로, 이 논문은 2010년도 정부재원(교육과학기술부 대학연구인력국제교류지원사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2010-013-2010-1-D00023).

행(stable walking)이 요구된다. 즉, 이러한 로봇에서 보행 기능은 기본적인 작업 영역이외의 일을 수행하기 위한 추가적인 이동 수단이 된다. 이러한 보행의 관점에서 보면, 인간형 로봇은 두 다리 메커니즘의 연속적인 걸음새 운동을 근간으로 이동 기능을 수행하게 되므로 이족 보행(bipedal walking)이 되는데, 이와 같은 이족 보행에서는 어떤 피봇(pivot)을 형성하면서 로봇의 균형을 잡아야 하고, 원하는 이동 성능을 달성해야 되므로, 특히 이동 상황에서 로봇 자체의 균형을 유지하는 일과 외부의 영향에 의한 자세의 안정화가 중요한 과제가 된다 [5]- [7].



그림 1. 인간형 로봇, WABIAN-2

Fig. 1. A humanoid robot, WABIAN-2

본 논문에서는 이족 로봇의 자세 안정화에 미치는 요인을 파악하기 위하여 가상의 두 다리 메커니즘에 의한 이족 로봇의 보행 모델을 제시하고, 이를 바탕으로 이족 보행에서 야기될 수 있는 근본적인 자세 변화 및 이에 따른 롤/피치/요(roll/pitch/yaw) 방향의 근본적인 운동 특성을 분석하고자 한다. 일반적으로 작업을 수행하는 상황에서 원하지 않는 로봇 자세의 변화는 로봇 자체의 안전과 주어진 작업의 수행 및 주변 환경에 부정적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 이러한 동특성 분석은 보다 자연스러운 이족 로봇의 보행 및 효과적인 작업의 수행을 위하여 활용될 수 있다.

2. 이족 로봇을 위한 보행 모델링

본 논문에서는 이족 보행에 있어서 야기될 수 있는 근본적인 롤/피치/요(roll/pitch/yaw) 방향의 운동 특성을 분석하기 위하여 그림 1과 같은 인간형 로봇을 그림 2와 같은 두 다리와 몸체 메커니즘으로 근사화하였다. 이러한 시스템은 무게 중심을 기준으로 가상의 두 다리(VL1 및 VL2)가 연동된 운동 메커니즘으로 볼 수 있기 때문에 그림 3과 같은 보행 메커니즘으로 모델링하였다. 일반적으로, 이족 로봇의 보행에서 하나의 다리는 지지다리가 되어 어떤 피봇(pivot)을 형성하면서 로봇 시스템을 이동하게 하고, 다른 다리는 걸음을 내딛어 다음 순간의 착지를 준비하는 동작을 지속적으로 반복하게 된다. 따라서 각 지지다리의 원점에 대하여 시스템의 운동 방정식을 구하면, 로봇에 작용되는 힘(force)과 모멘트(moment) 요소를 파악할 수 있을 뿐

만 아니라, 이러한 요소들에 의한 로봇의 자세 변화 및 보행 특성을 분석하는 것이 가능해진다.

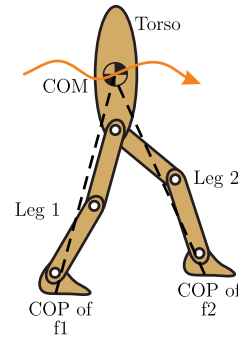


그림 2. 간략화된 이족 로봇 모델

Fig. 2. A simplified model of bipedal robots

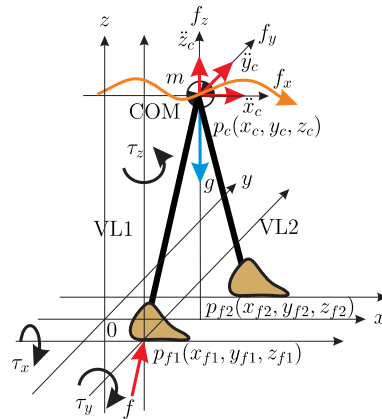


그림 3. 가상 다리에 의한 이족 로봇의 보행 모델

Fig. 3. A virtual-legged walking model of bipedal robots

그림 3에서 힘과 모멘트 관계식을 구하여 정리하면, 각 지지다리의 원점에 대한 시스템의 운동 관계식은 다음과 같은 벡터-행렬 형태로 나타낼 수 있다.

$$f = A\ddot{p}_c + Bp_c + Cp_{fi} + dg \quad (1)$$

여기서, 일반화된 힘 벡터 $f \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$, 무게 중심(center of mass, COM) 공간의 위치 벡터 $p_c \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$ 및 가속도 벡터 $\ddot{p}_c \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$, i 번째 지지발의 원점에 대한 위치 벡터 $p_{fi} \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$ 및 증력효과 벡터 $d \in \mathbb{R}^{6 \times 1}$ 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f = [f_x \ f_y \ f_z \ \tau_x \ \tau_y \ \tau_z]^T$$

$$p_c = [x_c \ y_c \ z_c]^T, \quad \ddot{p}_c = [\ddot{x}_c \ \ddot{y}_c \ \ddot{z}_c]^T$$

$$p_{fi} = [x_{fi} \ y_{fi} \ z_{fi}]^T$$

$$d = [0 \ 0 \ m \ 0 \ 0 \ 0]^T.$$

또한, f_x , f_y 및 f_z 는 지지발의 압력 중심점에서 x 축, y 축 및 z 축 방향으로 작용하는 반작용력 성분을 나

타낸다. x_c, y_c 및 z_c 는 각각 x 축, y 축 및 z 축 방향의 무게 중심의 위치이고, \dot{x}_c, \dot{y}_c , 및 \dot{z}_c 는 각각 x 축, y 축 및 z 축 방향의 가속도를 나타낸다. x_{fi}, y_{fi} 및 z_{fi} 는 각각 x 축, y 축 및 z 축 방향으로의 i 번째 지지발의 위치이고, m 은 각각 로봇 시스템의 무게 중심에서 작용하는 것으로 근사화된 총 점질량(total point mass)을 의미하며, $g(= 9.81m/s^2)$ 는 중력 가속도 계수이다. 그리고 (1)에서 동적인 매핑 행렬(dynamic mapping matrix) $A \in \mathcal{R}^{6 \times 3}$, 무게 중심의 위치와 일반화된 힘 사이의 매핑 행렬 $B \in \mathcal{R}^{6 \times 3}$ 및 지지발의 위치와 일반화된 힘 사이의 매핑 행렬 $C \in \mathcal{R}^{6 \times 3}$ 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \\ 0 & -z_c m & (y_c - y_{fi})m \\ z_c m & 0 & -(x_c - x_{fi})m \\ -(y_c - y_{fi})m & (x_c - x_{fi})m & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & mg & 0 \\ -mg & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -mg & 0 \\ mg & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

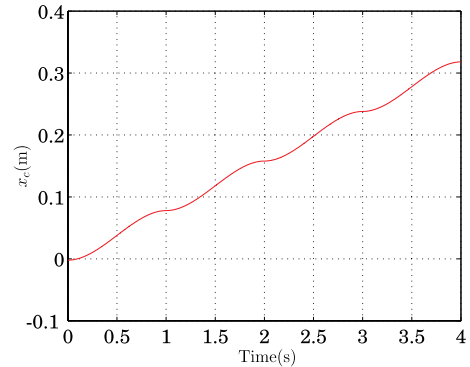
결과적으로, (1)~(4)에 의하면, 이족 보행을 위한 각 방향으로의 힘 성분은 상호 독립적으로 구현될 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 로봇의 앞 방향(x 축)을 중심으로 한 회전 운동(rolling) 요소는 y 축과 z 축 방향으로의 가속도 성분에 의해 영향을 받고, y 축을 중심으로 한 회전 운동(pitching) 요소는 x 축과 z 축 방향으로의 가속도 성분에 의존함을 알 수 있다. 이러한 요소들은 각각 y 축 및 x 축 방향으로의 무게 중심과 지지발의 상대적인 위치 편차에 의해 영향을 받으며, z_c 로 표현되는 z 축 방향의 동적 움직임은 롤링(rolling) 및 피칭(pitching) 운동과 밀접한 관련이 있게 된다. 그러나 기존의 보행 전략 [8] [9]을 이용하는 경우에는 이러한 근본적인 현상이 배제되어 다소 부자연스러운 보행 패턴이 생성될 수 있다. 또한, 로봇의 무게 중심과 지지발의 상대적인 위치에 의해 z 축을 중심으로 한 로봇 몸체의 회전 운동(yawing)이 발생될 수 있고, 중력 효과도 나타날 수 있다. 결국, 이족 보행에서는 매 순간 요구되는 디딤발의 위치 결정에 따라 로봇 몸체의 z 축을 중심으로 한 자세 변화가 달라질 수 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 정상적인 인간의 보행에서 쉽게 경험할 수 있다. 따라서 이러한 특성을 시뮬레이션을 통하여 분석

해 보는 것은 보다 자연스러운 이족 보행을 위하여 의미가 있다.

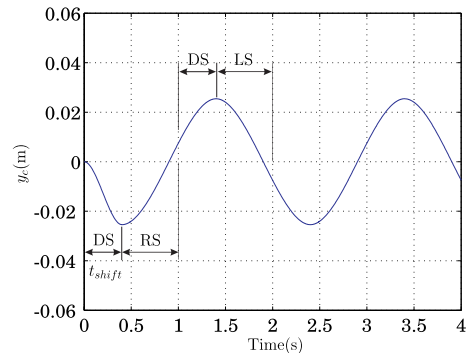
3. 이족 보행의 운동 특성 시뮬레이션

3.1 무게 중심의 운동 경로

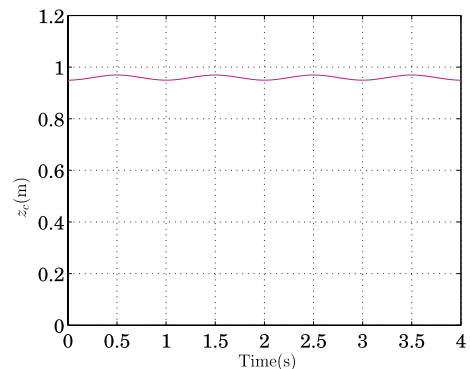
이족 로봇의 보행에 있어서 야기될 수 있는 롤(roll), 피치(pitch) 및 요(yaw) 방향의 운동 특성을 분석하기 위해서는 로봇의 무게 중심과 디딤발을 위한 운동 경로를 설정할 필요가 있다.



(a) x 축



(b) y 축



(c) z 축

그림 4. 이족 보행을 위해 설정된 무게 중심의 운동 경로

Fig. 4. Trajectory profiles prescribed at the COM space for a bipedal manipulation

일반적으로, 로봇의 무게 중심의 운동 경로는 주어진 작업 및 주변 환경에 따라 다양하게 설정될 수 있는데, 본 논문에서는 사람이 어떤 일을 수행하기 위하여 이동할 때 관찰되는 연속적인 운동 패턴을 기반으로 그림 4(a), (b), (c) 와 같이 설정하였다. 여기서, x_c, y_c 및 z_c 는 각각 로봇의 앞 방향(x 축), 측 방향(y 축) 및 수직 방향(z 축)으로 설정된 무게 중심의 운동 경로를 나타낸다. 특히, 그림 4(b)에서 보는 것과 같이, 하나의 발걸음을 위한 이동 시간은 1 초로 설정되었고, 양발 지지 상태에서 몸체만을 약간 이동하기 위한 시간 t_{shift} 는 0.4 초로 설정하였다. 이것은 t_{shift} 구간이 지난 다음 순간에 해당하는 로봇 발이 걸음을 내딛는 것을 의미한다. 즉, RS 구간에서는 오른쪽 발은 지지발이 되고, 왼쪽 발이 이동하며, LS 구간에서는 왼쪽 발로 지지하면서 오른쪽 발이 이동함을 의미한다.

3.2 발의 위치에 따른 이족 보행의 운동 특성 분석

이족 로봇이 정해진 무게 중심의 운동 경로에 따라 보행하기 위해서는 기본적으로 로봇 발의 위치가 연속적으로 적절히 설정되어야 하는데, 본 논문에서는 표 1과 같은 3가지 유형을 고려하였으며, 각각의 경우에 대한 롤(roll), 피치(pitch) 및 요(yaw) 방향의 운동 특성을 확인하였다.

표 1. 설정된 지지발의 위치

Table 1. Assigned position of the supporting foot

Step	Case	$x_{f,support}$ [m]	$y_{f,support}$ [m]	Remarks
0	I	0.000	± 0.089	Start position
	II	0.000	± 0.089	
	III	0.000	± 0.089	
1	I	0.100	0.069	Front/Inside
	II	0.120	0.089	Center
	III	0.140	0.109	Rear/Outside
2	I	0.180	-0.069	Front/Inside
	II	0.200	-0.089	Center
	III	0.220	-0.109	Rear/Outside
3	I	0.260	0.069	Front/Inside
	II	0.280	0.089	Center
	III	0.300	0.109	Rear/Outside

표 1에서 $x_{f,support}$ 와 $y_{f,support}$ 는 각각 설정된 지지발의 x 축 및 y 축 방향의 위치를 의미한다. 여기서, 로봇이 한 걸음 이동할 때, 첫 번째 경우(Case I)는 무게 중심이 x 축 방향으로 이동하는 거리의 중간 지점과 y 축 방향의 초기 위치를 기준으로 연속적으로 내딛는 발의 위치가 각각 앞쪽 지점(Front)과 안쪽 지점(Inside)으로 설정됨을 나타낸다. 두 번째 경우(Case II)는 디딤발의 위치가 각각 중심점(Center)으로, 세 번째 경우(Case III)는 각각 뒷쪽 지점(Rear)과 바깥쪽 지점(Outside)으로 설정됨을 의미한다. 또한, 초기 상태(Step 0)에서 왼쪽 지지발과 오른쪽 지지발의 y 축 방향의 위치는 각각 $\pm 0.089m$ 로 설정하였고, 로봇의 z 축 방향의 초기 위치는 $0.94m$ 이며, 로봇의 질량은 $78kg$ 으로 설정하였다.

그림 5는 주어진 보행의 각 경우에 대하여 식 (2)의 롤 모멘트 성분 4행 3렬항($A(4, 3)$)을 나타낸 것이다. 이것은 로봇의 측 방향, 즉 y 축 방향의 무게 중심의 위치와 지지발의 위치간의 거리와 수직 방향(z 축)의 가속도에 의하여 결정되는 롤 방향의 모멘트(rolling moment) 성분을 나타내며, 물리적으로 이 성분은 주어진 보행에 있어서 로봇이 좌우로 흔들거리도록 하는 효과를 야기시키는 요인이 된다.

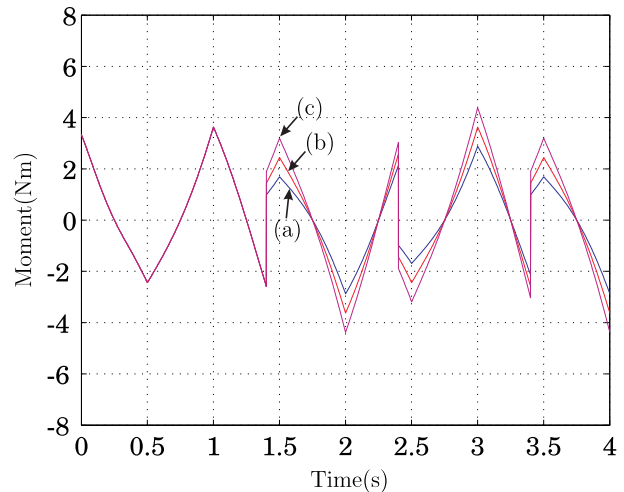


그림 5. 주어진 보행에 따른 롤 방향 모멘트 성분 $A(4, 3)$: (a) 경우 I, (b) 경우 II, (c) 경우 III.

Fig. 5. Rolling moment $A(4, 3)$ for the walking task : (a) Case I, (b) Case II, and (c) Case III.

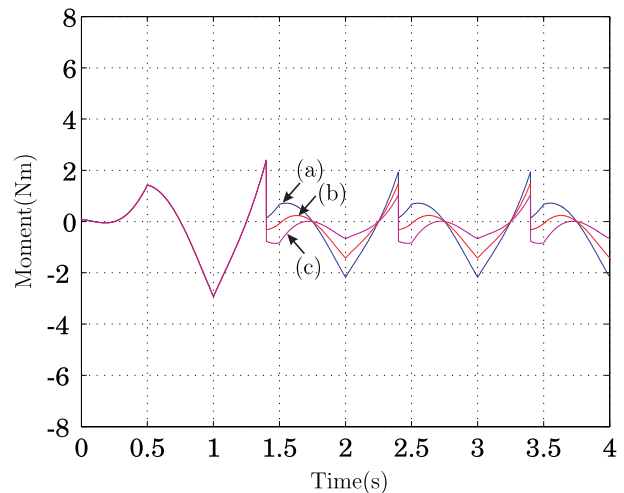
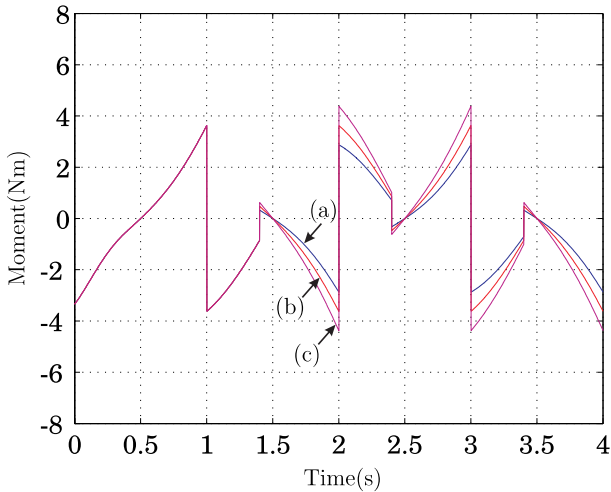


그림 6. 주어진 보행에 따른 피치 방향 모멘트 성분 $A(5, 3)$: (a) 경우 I, (b) 경우 II, (c) 경우 III.

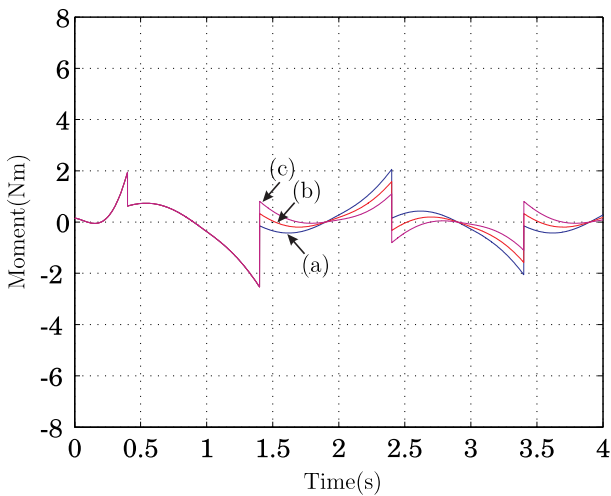
Fig. 6. Pitching moment $A(5, 3)$ for the walking task : (a) Case I, (b) Case II, and (c) Case III.

그림 6은 피치 방향의 모멘트(pitching moment) 성분 $A(5, 3)$ 을 나타내며, 로봇의 앞 방향, 즉 x 축 방향의 무게 중심의 위치와 지지발의 위치간의 거리와 수직 방향(z 축)으로의 가속도에 의하여 결정되는 피치

방향의 회전 모멘트 성분을 의미한다. 이것은 로봇이 앞뒤로 흔들거리도록 하는 효과를 야기시키는 요인이 된다. 그림 7은 두 개의 요 방향의 모멘트 성분 $A(6,1)$ 및 $A(6,2)$ 성분을 나타낸다. 이러한 성분들은 각각 상응하는 방향으로의 무게 중심의 위치와 지지발의 위치간의 거리와 로봇의 앞 방향(x 축)으로의 가속도와 측 방향(y 축)으로의 가속도 성분에 의한 요 방향의 회전 모멘트 성분을 나타내며, 로봇의 몸통 운동 효과를 야기시키는 요인이 된다.



(i) $A(6,1)$



(ii) $A(6,2)$

그림 7. 주어진 보행에 따른 요 방향 모멘트 성분 : (a) 경우 I, (b) 경우 II, (c) 경우 III.

Fig. 7. Yawing moments for the walking task : (a) Case I, (b) Case II, and (c) Case III.

결과적으로, 그림 5~7로부터 이족 보행에서는 주어진 보행을 달성하기 위하여 설정하게 되는 로봇 발의 위치에 따라 로봇의 롤/피치/요(roll/pitch/yaw) 방향으로의 운동 특성이 상당히 달라질 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 그림 7에 제시한 것과 같이, 이족 보행에서는 무게 중심의 위치와 지지발의 위치간의 간극이

불가피하게 발생하기 때문에 항상 요 방향으로 로봇의 몸체가 회전하게 되는 현상이 나타날 수 있다는 사실을 확인할 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 로봇의 이동 경로에 따라 최적의 밸런스를 유지할 수 있도록 하는 발의 위치 설정은 이족 보행에 의한 안정된 작업 수행을 위하여 매우 중요하다는 사실을 파악할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 가상의 이족 보행 모델을 바탕으로 이족 로봇의 보행에서 근본적으로 나타날 수 있는 롤/피치/요(roll/pitch/yaw) 방향의 운동 특성을 고찰하였다. 결과적으로, 이족 로봇의 보행에서는 로봇의 무게 중심과 지지발의 상대적인 위치 편차로 인하여 몸체의 회전 효과와 앞뒤/좌우 방향으로의 흔들림이 자연스러운 현상으로서 발생하게 됨을 확인하였다. 이러한 롤/피치/요 방향으로의 움직임은 적절한 지지발의 위치 설정과 몸체의 수직 축 방향으로의 운동 계획에 의존적이며, 로봇의 이동 가속도와 밀접하게 관련이 있다. 따라서 보다 자연스러운 이족 로봇의 보행 및 효과적인 작업 수행을 위해서는 이러한 운동 특성을 바탕으로 한 로봇 발의 운동경로 최적화가 필요하다고 판단된다. 아울러, 이러한 특성 요인들에 관한 분석은 다족 로봇의 안정된 보행을 위하여 적절히 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 이러한 관점에서, 현재 다양하게 진행되고 있는 로봇 발의 경로 계획에 관한 연구 [10]-[13]는 괄목할 만하며, 폴링(falling)을 고려한 연구 [14] 등은 보행 시스템의 안정성과 밀접한 연관이 있기 때문에 매우 흥미있는 분야로 여겨진다.

참고 문헌

- [1] Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki, and K. Fujimura, "The intelligent ASIMO: system overview and integration," *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2478-2483, 2002.
- [2] Y. Ogura, H. Aikawa, K. Shimomura, H. Kondo, A. Morishima, H.-O. Lim, and A. Takanishi, "Development of a new humanoid robot, WABIAN-2," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2478-2483, 2002.
- [3] I. W. Park, J.-Y. Kim, J. Lee, and J.-H. Oh, "Mechanical design of humanoid robot platform KHR-3 (KAIST humanoid robot-3: HUBO)," *Proc. of IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots*, pp. 321-325, 2005.
- [4] I. Mizuuchi, T. Yoshikai, Y. Sodeyama, Y. Nakanishi, A. Miyadera, T. Yamamoto, T. Niemela, M. Hayashi, J. Urata, Y. Namiki, T. Nishino, and M. Inaba, "Development of musculoskeletal humanoid Ko-

taro," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 82-87, 2006.

[5] M. Vukobratovic and J. Stepaneko, "On the stability of anthropomorphic systems," *Mathematical Biosciences*, Vol. 15, pp. 1-37, 1972

[6] D. G. E. Hobbelen and M. Wisse, "A disturbance rejection measure for limit cycle walkers: the gait sensitivity norm," *IEEE Trans. on Robotics*, Vol. 23, No. 6, pp. 1213-1224, 2007.

[7] P.-B. Wieber, "Viability and predictive control for safe locomotion," *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1103-1108, 2008.

[8] T. Sugihara, Y. Nakamura, and H. Inoue, "Realtime humanoid motion generation through ZMP manipulation based on inverted pendulum control," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1404-1406, 2002.

[9] S. Kajita, F. Kanehiro, K. Kaneko, K. Fujiwara, K. Harada, K. Yokoi, and H. Hirukawa, "Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1620-1626, 2003.

[10] J. Chestnutt, M. Law, G. Cheung, J. Kuffner, J. Hodgins, and T. Kanade, "Footstep planning for the Honda ASIMO humanoid," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 631-636, 2005.

[11] A. D. Kuo, "Choosing your steps carefully," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pp. 18-29, June 2007.

[12] H. Diedam, D. Dimitrov, P.-B. Wieber, K. Mombaur, and M. Diehl, "Online walking gait generation with adaptive foot positioning through linear model predictive control," *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1121-1126, 2008.

[13] D. L. Wight, E. G. Kubica, and D. W. L. Wang, "Introduction of the foot placement estimator: a dynamic measure of balance for bipedal robotics," *Jour. of Computational and Nolinear Dynamics*, Vol. 3, Issue 1, January 2008.

[14] S.-K Yun, A. Goswami, and Y. Sakagami, "Safe fall: humanoid robot fall direction change through intelligent stepping and inertia shaping," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 781-787, 2009.

저 자 소 개

김병호(Byoung-Ho Kim)



2001년 : 한양대 전자공학과(공학박사)
 1995년 ~ 2001년 : 한국과학기술연구원 지능로봇연구센터 학생연구원
 2002년 ~ 2004년 : JSPS Post-Doctoral Fellow, Dept. of Robotics, Ritsumeikan Univ.(Japan)

2004년 ~ 2005년 : Researcher, Biomimetic Control Research Center, RIKEN, Japan
 2005년 ~ 현재 : 경성대학교 메카트로닉스공학과 부교수
 2006년 ~ 현재 : 한국지능시스템학회 이사
 2010년 ~ 2011년 : Visiting Faculty, Robotics Institute, Carnegie-Mellon Univ., USA

관심분야 : intelligent mobile manipulation, walking algorithm, multi-legged & humanoid robots, modeling and control of biomimetic mechanisms, multi-fingered robot/artificial hands and multiple arm control, macro/micro mechanism and intelligent control, neural computation, and sports science.
 E-mail : kimbh@ks.ac.kr