

## 2족 보행 로봇의 계단 보행

## Stairs Walking of a Biped Robot

성 영 휘\*, 안 희 욱\*

Young Whee Sung, Hee Wook Ahn

## 요 약

본 논문에서는 키 42cm, 몸무게 1.5kg으로 총 16 자유도를 가진 소형 인간형 로봇의 개발에 관하여 소개한다. 인간형 로봇은 많은 자유도를 가지기 때문에 개발을 쉽게 하기 위하여 제어가 간단한 RC 서보 모터를 구동기로 사용한다. 개발된 로봇은 또한 머리에 소형 디지털 카메라를 장착하고 있어서 주변의 환경에 대한 영상 데이터를 원격지에 있는 호스트 컴퓨터에 무선 모뎀을 통하여 전송할 수 있다. 개발된 로봇은 직진 보행, 회전 보행 등의 평지 보행뿐만 아니라 계단 보행도 수행할 수 있다. 로봇의 움직임을 생성하고 사전에 모의 실험해 볼 수 있는 그래픽 시뮬레이션 프로그램과 경로 생성 프로그램은 호스트 컴퓨터에서 구동된다. 실험을 통하여 개발된 로봇이 계단 보행을 수행할 수 있음을 보인다.

## Abstract

In this paper, we introduce a case study of developing a miniature humanoid robot which has 16 degrees of freedom, 42 cm heights, and 1.5kg weights. For easy implimentation, the integrated RC-servo motors are adopted as actuators and a digital camera is equipped on its head. So, it can transmit vision data to a remote host computer via wireless modem. The robot can perform staircase walking as well as straight walking and turning to any direction. The user-interface program running on the host computer contains a robot graphic simulator and a motion editor which are used to generate and verify the robot's walking motion. The experimental results show that the robot has various walking capability including straight walking, turning, and stairs walking.

*Key words* : a biped walking robot , a miniature humanoid robot , stairs walking.

## I. 서 론

근래에 많은 연구자들이 인간형 로봇에 관한 연구를 진행하고 있다[1-7]. 일본의 혼다(Honda)사는 P2, P3에 이어 ASIMO의 개발에 성공하여 외형과 보행에 있어서 인간과 유사한 인간형 로봇을 선보였다. ASIMO가 사람과 비슷한 크기의 로봇인데 반하여 일본의 Sony사는 오락용 로봇시장을 겨냥하고 소형의 인간형 로봇 시리즈인 SDR-3X, SDR-4X를 개발하였다. SDR-3X의 경우에는 키가 50cm, 몸무게 5.0kg으로 총 24자유도를 가졌다. ASIMO나 SDR이 자체 탑재된 제어기를 기본으로 하고 있는데 반하여 Inaba 등은 리모트-브레인(Remote-brain)

형의 로봇을 제안하였다[8-9]. 리모트-브레인이란 원격지의 호스트 컴퓨터에서 경로계획과 의사 결정 등의 중요한 기능을 수행하고, 로봇은 단지 호스트 컴퓨터의 명령에 따른 행동만을 수행하도록 하는 형태로서 로봇 몸체의 구성을 간단하게 만들어 연구자가 보행 알고리즘 등과 같은 높은 차원의 연구에 더욱 집중할 수 있도록 하기위해 제안된 구조이다.

본 논문에서는 리모트-브레인형의 소형 인간형 로봇의 개발에 관하여 간략히 소개하고 이 로봇을 이용한 계단 보행에 관하여 고찰한다. 기존에 개발된 로봇[6]은 16자유도를 가지고 있으며, 키 42cm, 몸무게 1.5kg으로 머리부에는 소형의 디지털 카메라를 장착하고 있어서 로봇의 주변 환경에 대한 정보를 수집할 수 있으며, 평지에서의 다양한 보행이 가능하다. 본 논문에서는 로봇 보행 능력을 비 평지에서의 보행으로 확장하기 위하여 계단을 오르는 보행에 대한 알고리즘을 제안하고 이를 실험을 통하여 검증한다.

\*금오공과대학교 전자공학부

접수 일자 : 2003. 11. 24      수정 완료 : 2004. 1. 07

논문 번호 : 2003-4-25

※본 연구는 2001년 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구된 논문임

## II. 2족 보행 로봇 시스템

전체 로봇 시스템은 그림 1과 같이 로봇 몸체와, 탑재 제어기, 그리고 원격지 호스트 PC에서 실행되는 그래픽 사용자 인터페이스로 구성되어 있다.

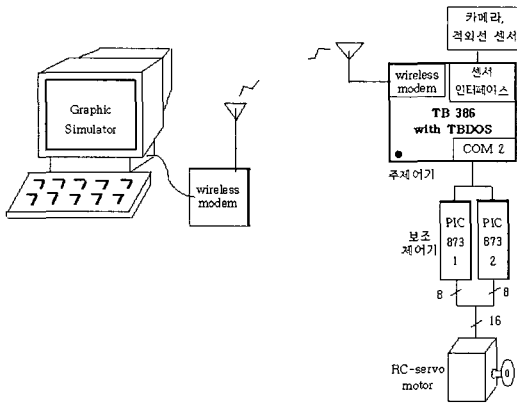


그림 1. 전체 시스템 구조  
Fig. 1. The overall system structure

개발된 로봇은 키 42cm, 몸무게 1.5kg이며 총 16자유도를 가지고 있다. 다리부에는 5개의 자유도를 가지고 있어서 보행 중 방향전환이 가능한데, 자유도의 구성은 그림 2와 같다. 서보 모터는 그림과 같이 토크의 크기에 따라 3가지 종류를 사용하였다. 그림 3은 보행 로봇의 외관을 나타내고 있다.

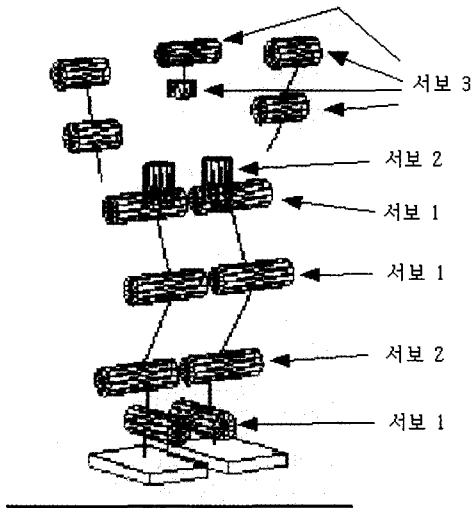


그림 2. 로봇의 관절 구성  
Fig. 2. The kinematic joint configuration of the robot

로봇의 탑재 제어기는 그림 1에서와 같이, 주 제어기와 보조 제어기로 구성되어 있다. 주 제어기는 매 20ms마다

보조 제어기에 로봇의 관절 데이터를 제공하는 역할을 하며 상용의 TB-386EX 보드를 사용하였다. 이 보드는 인텔사의 i386EX 마이크로프로세서를 탑재하고 있으며 DOS호환인 TBDOS-386을 운영체제로 가지고 있다[10]. 보조 제어기는 주제어기로부터의 명령에 따라, 구동기로 사용되는 RC 서보 모터를 구동하기 위한 펄스를 생성한다. 보조 제어기로는 2개의 PIC 프로세서를 사용하였다.

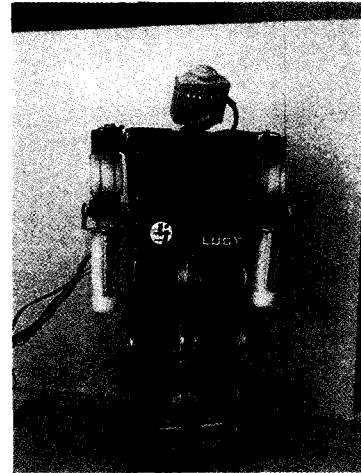


그림 3. 로봇의 외형  
Fig. 3. The appearance of the robot

또한 전체 로봇 시스템을 위한 인터페이스 보드를 설계하였는데 이 보드는 (1) 주제어기와 원격지의 호스트 컴퓨터와의 무선 통신 (2) 주제어기와 두 개의 PIC 마이크로 프로세서로 구성된 보조제어기 사이의 직렬 통신 (3) 카메라 인터페이스 (4) 4 채널의 적외선 센서 인터페이스 (5) 8 채널의 FSR(Force Sensing Resistor) 인터페이스를 할 수 있는 기능을 갖는다.

사용자 인터페이스를 위해서 로봇 그래픽 시뮬레이터와 모션 생성기 프로그램도 개발하였다. 프로그램은 Visual C++과 OpenGL을 사용하여 개발되었다. 사용자는 이 시뮬레이터와 모션 생성기를 이용하여 이족 보행 로봇과 주변 환경을 컴퓨터 상에서 그래픽을 사용하여 모델링하고 보폭, 보행 방향, 스윙 발의 높이 등과 같은 보행 파라미터를 원하는 값으로 변경시켜 가면서 로봇의 보행 궤적을 생성, 검증, 수정할 수 있다. 개발된 로봇 시스템에서는 또한 원격제어 모드로 로봇을 동작시킬 수도 있는데, 사용자 인터페이스 프로그램에서 로봇에게 원격으로 동작 명령을 내릴 수도 있고, 로봇에 장착된 카메라를 통하여 주변 환경에 대한 영상 정보를 원격지의 호스트 컴퓨터로 보내도록 명령을 내릴 수도 있다.

## III. 로봇 경로 계획

로봇의 다양한 보행에 따른 각 관절 데이터는 오프라

인(off-line)으로 생성되고, 생성된 데이터는 로봇에 탑재된 제어기로 다운로드(download)되며 로봇은 이 데이터를 사용하여 보행을 수행하게 된다. 이와 같은 방법으로 주제어기는 한정된 계산 능력에도 불구하고 16개의 서보모터를 제어할 수 있게 된다.

1. 기구학적 구조와 역기구학

그림 4에 로봇의 관절에 부착된 좌표계를 나타내었다.  $T_B$ 는 로봇의 몸체 좌표계를 나타내며 로봇의 운동에 따른 역기구학을 풀기 위한 시작 좌표계이다.  $T_{Ri}$ ,  $T_{Li}$ 는 각각 로봇의 오른 다리와 왼 다리에 설정된 좌표계를,  $T_{RAi}$ ,  $T_{LAi}$ ,  $T_{Hi}$ 는 각각 오른팔, 왼팔, 목에 설정된 좌표계를 나타낸다.

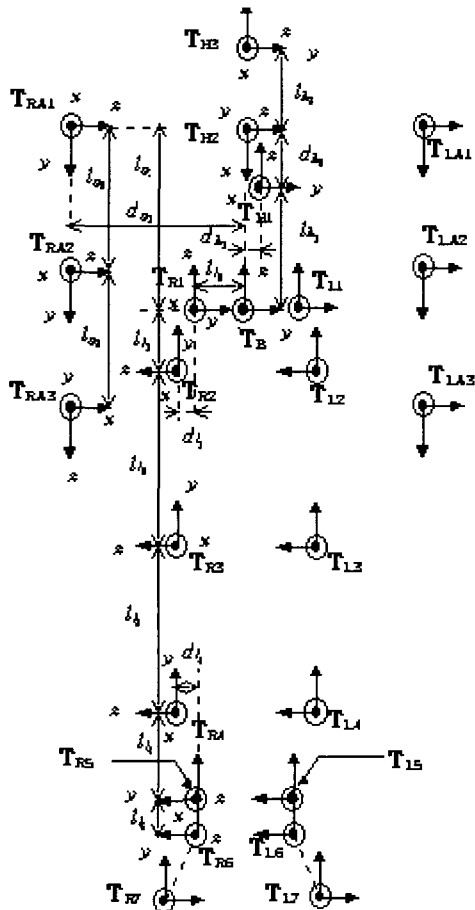


그림 4. 좌표계의 설정  
Fig. 4. Coordinates frames of the robot

계단 보행을 위해서는 로봇의 보행 방향을 바꾸는 것이 불필요하다. 따라서 본 논문에서는 보행 방향을 바꾸는데 필요한 로봇의 첫 번째 다리 관절의 값은 항상 0으로 고정하기로 한다. 한편 계단 보행과 같은 응용을 위해서는 닫힌 형태로 역기구학을 푸는 것이 필요하다. 닫힌

형태의 역기구학을 구하는 방법은 다음과 같다. 개발된 2족 보행 로봇은 다리부의 마지막 관절인 발목 관절만을 이용하여 로봇의 균형잡기 운동을 할 수 있도록 설계되었다. 따라서 로봇 경로 계획을 통하여 특정한 순간에 로봇의 균형잡기 운동이 결정되면 마지막 관절의 값인  $\theta_5$ 는 항상 유일하게 결정될 수 있다. 그림 5는 이와 같은 상황을 나타낸다. 이 그림에서 로봇 몸체는 기준 좌표계(world coordinates)에 대하여 표시되어 있고,  $O_c(=O_2), O_5, O_T$ 는 각각 관절 2 좌표계, 관절 5 좌표계, 발끝 좌표계의 원점을 각각 나타낸다.

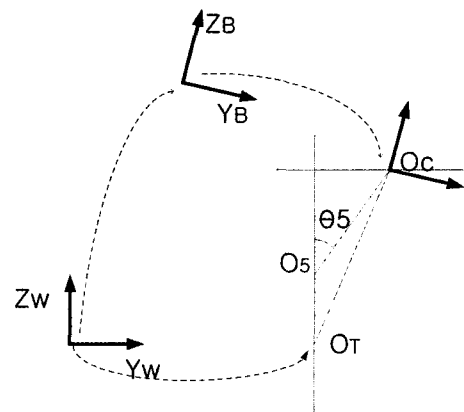


그림 5. 관절 5의 결정  
Fig. 5. Determination of the joint 5

그림 6은 로봇의 왼다리에 대해서, 로봇 몸체 좌표계인  $T_B$ 에서 시작하여 로봇의 발 끝에 설정된 발끝 좌표계까지의 좌표계간의 관계를 보이고 있다. 여기에서  $\theta_5$ 는 결정되어 있다.  $y_B-z_B$ 평면에 수직이면서  $O_2-O_5$ 를 포함하고 있는 평면을 고려해 보자. 이 평면에서는 다리부의 링크  $L2, L3, L4$ 로 이루어져 있는 부분은  $\theta_2, \theta_3, \theta_4$ 의 값이 변하여도 항상 같은 평면에 위치하고 있음을 쉽게 알 수 있다. 따라서 이 부분은 그림 7과 같이 3개의 링크와 3개의 관절을 갖는 3축 평면 머니플레이터로 생각할 수 있다. 그림에서  $x, y$  평면은 링크  $L2, L3, L4$ 를 포함하는 평면은 나타낸다.

그림 7에서  $\alpha$ 는 3축 평면 머니플레이터의 방향을 나타낸다. 이 때의 기구학 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x &= L2 \cos(\theta_2) + L3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + L3 \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \\ y &= L2 \sin(\theta_2) + L3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + L3 \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \\ \alpha &= \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 \end{aligned} \tag{1}$$

3축 평면 머니플레이터의 역기구학을 푸는 방법은 잘 알려져 있으며 이를 이용하여 관절 2, 3, 4의 값을 구할 수 있다[11].

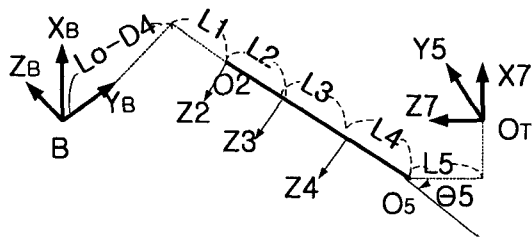


그림 6. 왼다리부의 기구학적 연쇄  
Fig. 6. The kinematic chain of the left leg

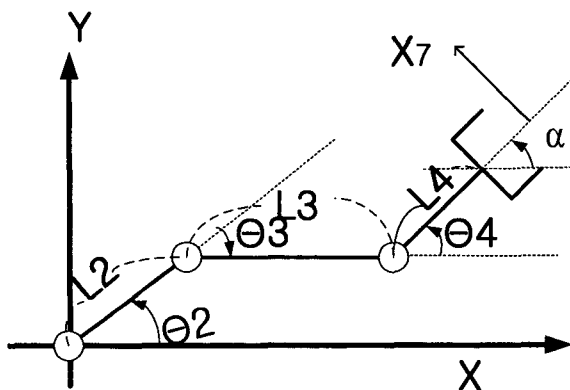


그림 7. 관절 2, 3, 4의 결정  
Fig. 7. Determination of the joints 2, 3, and 4

2. 운동 계획

2족 보행 로봇의 계단 보행을 위한 운동 계획과정을 그림 8에 흐름도 형식으로 나타내었다.

로봇의 관절 궤적은 다음과 같은 과정을 반복하여 구한다:(1) 기준 좌표계에 대한 로봇 몸체의 운동을 생성한다. 이 과정에서는 기준 좌표계에 대한 로봇 몸체 좌표계의 위치와 방향이 결정된다. (2) 균형 유지 운동을 생성한다. 개발된 로봇에서는 발목 관절만을 사용하여 균형 유지 운동을 생성한다. (3) 지지다리와 스윙(swing) 다리의 운동을 생성한다. 이 과정에서는 기준 좌표계에 대한 발끝의 위치와 방향이 결정된다. (4) 다리의 운동을 몸체 좌표계에 대한 표현으로 변환한다. (5) 역기구학 해를 구한다.

사용자가 설정할 수 있는 보행 파라미터들은 보행 주기, 보폭, 계단 높이, 스윙 다리의 최고 높이, 균형 유지 운동을 위한 몸체 기울임의 최대 각도, 지지 다리의 발끝의 최대 회전 각도, 균형 유지 운동을 하는 시간 구간의 크기 등이 포함된다. 계단을 오르기 위한 로봇의 운동은 다음과 같다. 우선 보행의 처음 반 주기 동안에 보행 로봇은, 균형 유지 운동을 하여 로봇의 무게 중심이 원발

바닥 내에 놓이도록 한 후, 오른 다리를 이동하여 새로운 착지점에 놓아 2점 접촉(two point contact) 상태가 되도록 한다. 이후 2점 접촉을 유지한 상태에서 로봇의 몸체를 x 방향인 로봇의 앞 방향과 z 방향인 위 방향으로 이동한다. 첫 반주기의 마지막 단계에서는 로봇은 왼 다리의 발끝의 위치를 유지한 채로 방향을 회전시킨다. 이 과정은 계단 보행을 수행할 때, 로봇의 다리가 곧게 펴지는 상태인 특이영역(singular region)에 빠지는 것을 방지하기 위한 동작이다. 두 번째 반주기 동안에는 로봇은 무게 중심을 지지다리인 오른 다리의 발바닥 내로 이동시키고, 왼쪽 다리를 이동하여 계단 오르는 동작을 완료한다. 다음 식은 각 반 주기 동안에 수행되는 로봇의 운동을 나타낸다.

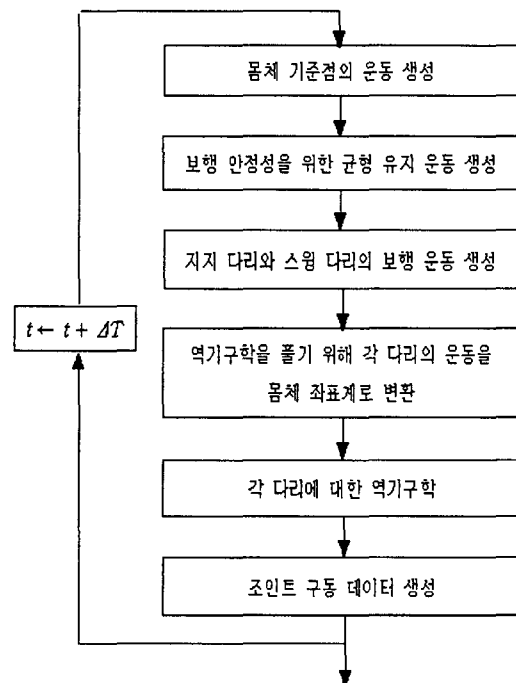


그림 8. 보행 운동 계획 흐름도  
Fig. 8. The flow chart for the walking motion planning

$$\left. \begin{array}{l} 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ \frac{T}{2} \leq t < T \end{array} \right\} \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} 0 \leq t < P_1 : \quad +y \text{ 방향으로 몸체 균형 유지 운동} \\ P_1 \leq t < P_2 : \quad \text{오른쪽 다리 스윙} \\ P_2 \leq t < T/2 : \quad -y \text{ 방향으로 몸체 복귀} \end{array} \right. \\ \left\{ \begin{array}{l} T/2 \leq t < T/2 + P_1 : \quad -y \text{ 방향으로 몸체 균형 유지} \\ T/2 + P_1 \leq t < T/2 + P_2 : \quad \text{왼쪽 다리 스윙} \\ T/2 + P_2 \leq t < T : \quad +y \text{ 방향으로 몸체 복귀} \end{array} \right. \end{array}$$

여기에서 +y, -y 방향은 몸체 중심 좌표계  $Ox_B y_B z_B$  를 기준으로 한 것이다.

위의 운동 계획에 따라 샘플링 시간인 매 20ms마다 기준 좌표계에 대한 로봇 몸체와 발끝들의 위치와 방향이 결정되어야 한다. 미세한 직선운동과 회전운동에 의한 로봇 몸체의

운동은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다[11].

$$T_B(k+1) = T_B(k) + dT_B \quad (2)$$

$$dT_B = \begin{bmatrix} 0 & -\delta_z & \delta_y & d_x \\ \delta_z & 0 & -\delta_x & d_y \\ -\delta_y & \delta_x & 0 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} T_B(k), \quad (3)$$

여기에서

$$\delta_x = w_x \Delta T, \quad \delta_y = w_y \Delta T, \quad \delta_z = w_z \Delta T$$

$$d_x = v_x \Delta T, \quad d_y = v_y \Delta T, \quad d_z = v_z \Delta T$$

이고,  $\omega$ 와  $v$ 는 기준 좌표계에 대한 로봇 몸체의 각속도와 선속도를 나타낸다. 식 (2)에서 로봇 몸체의 직선운동과 회전 운동은 기준 좌표계에 대하여 표현된 것이다. 전술한 바와 같이, 계단 보행을 위해서는 로봇이 특이 영역에 빠지는 것을 막기 위해서 첫 반주기의 마지막 단계에서 발끝의 위치는 변화시키지 않으면서 방향을 바꾸어 주는 것이 필요한데, 이 경우에는 미소 회전을 기준 좌표계가 아니라 로봇의 발끝 좌표계에 대해서 회전하는 것이 필요하다. 이 경우에 로봇의 발끝의 새로운 위치와 방향은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$T_i(k+1) = T_i(k) + dT_i \quad (4)$$

$$dT_i = T_i(k) \begin{bmatrix} 0 & -\delta_{lz} & \delta_{ly} & 0 \\ \delta_{lz} & 0 & -\delta_{lx} & 0 \\ -\delta_{ly} & \delta_{lx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

여기에서

$$\delta_{lx} = w_{lx} \Delta T, \quad \delta_{ly} = w_{ly} \Delta T, \quad \delta_{lz} = w_{lz} \Delta T$$

이고,  $\omega_i$ 는 발끝 좌표계에 대한 로봇 발끝의 각속도를 나타낸다.

#### IV. 계단 보행 실험

계단 보행을 위한 로봇 발끝의 궤적은 그림 9와 같이 설정하였다. 한 주기 T 동안에 하나의 계단을 오르며, 반 주기 동안 한 쪽 다리를 이동시킨다. 또한 반 주기는 그림에서와 같이  $P_1, P_2$  구간으로 나누어진다. 그림에서 수직축은 발끝의 높이를 나타낸다.

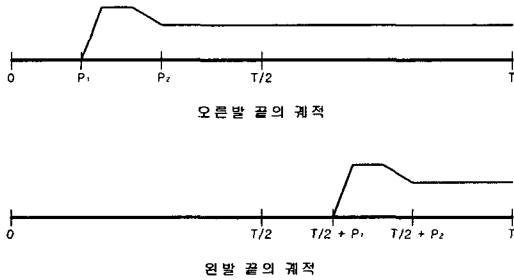


그림 9. 계단 보행을 위한 게이트 다이어그램

Fig. 9. Gait diagrams for walking up stairs

각 시간 구간에서의 로봇 몸체와 발끝의 운동은 다음

식과 같이 결정된다.

$$\begin{cases} 0 \leq t \leq P_1 : \begin{cases} v_x = l/(2P_1), v_y = 0, v_z = 2s/T \\ \omega_x = -\phi/P_1, \omega_y = \omega_z = 0 \\ \omega_{lx} = \omega_{ly} = \omega_{lz} = 0 \end{cases} \\ P_1 \leq t \leq P_2 : \begin{cases} v_x = v_y = 0, v_z = 2s/T \\ \omega_x = \omega_y = \omega_z = 0 \\ \omega_{lx} = \omega_{ly} = \omega_{lz} = 0 \end{cases} \\ P_2 \leq t \leq \frac{T}{2} : \begin{cases} v_x = l/(2P_1), v_y = 0, v_z = 2s/T \\ \omega_x = \phi/P_1, \omega_y = \omega_z = 0 \\ \omega_{lx} = \phi/(T/2 - P_2), \omega_{ly} = \omega_{lz} = 0 \end{cases} \\ \frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} + P_1 : \begin{cases} v_x = v_y = v_z = 0 \\ \omega_x = \phi/P_1, \omega_y = \omega_z = 0 \\ \omega_{lx} = \omega_{ly} = \omega_{lz} = 0 \end{cases} \\ \frac{T}{2} + P_1 \leq t \leq \frac{T}{2} + P_2 : \begin{cases} v_x = v_y = v_z = 0 \\ \omega_x = \omega_y = \omega_z = 0 \\ \omega_{lx} = \omega_{ly} = \omega_{lz} = 0 \end{cases} \\ \frac{T}{2} + P_2 \leq t \leq T : \begin{cases} v_x = v_y = v_z = 0 \\ \omega_x = -\phi/P_1, \omega_y = \omega_z = 0 \\ \omega_{lx} = -\phi/(T/2 - P_2), \omega_{ly} = \omega_{lz} = 0 \end{cases} \end{cases}$$

위 식에서,  $\phi, l, \phi$ 는 각각 균형 각도의 최대 크기, 한 주기 동안의 로봇 몸체의 이동 거리, 왼쪽 다리 발끝의 최대 회전 각도를 나타낸다. 식에서 알 수 있는 바와 같이, 로봇 몸체의 이동은 x 방향인 로봇의 앞쪽에서의 진행은  $0 \leq t \leq P_1$  구간과  $P_2 \leq t \leq T/2$  구간에서만 등속으로 이루어지고 나머지 시간 구간에서는 이동하지 않는다. 식에서는  $v_x$ 로 표시되어 있다. 한편 z 방향인 로봇의 위쪽 방향으로의 이동은 첫 반주기 동안 등속으로 이루어지고 두 번째 반 주기 동안에는 이동하지 않도록 하였다. 식에서는  $v_z$ 로 표시되어 있다. 로봇의 몸체 균형 운동은  $\omega_x$  식으로 표현되어 있으며, 특이 영역을 피하기 위한 로봇 발끝의 회전은  $P_2 \leq t \leq T/2$  구간과  $T/2 + P_2 \leq t \leq T$  구간에서  $\omega_{lx}$  식으로 표현되어 있다.

위의 알고리즘에 따라 계단 보행 실험을 수행하였다. 계단 보행은 오른쪽 다리가 계단에 올라선 후 왼쪽 다리가 오른다리와 같은 높이로 착지하는 방식으로 구현하였다. 현재 로봇은 계단의 위치나 높이를 스스로 알기 위한 센서 시스템은 장착되어 있지 않으므로 계단의 위치와 높이, 계단의 수는 미리 알고 있는 것으로 가정하였다. 그림 10은 계단 보행 과정을 보여주고 있다. 이 실험에서 로봇의 발 길이는 69mm이고, 보폭은 80mm, 계단의 높이는 7mm, 계단의 개수는 2개로 하였다. 한 개의 계단을 오르는 시간인 주기 T는 7초이다. 그림에서 (a)는 시작단

계의 모습을 (b)와 (c)는 오른 발의 착지를 그리고 (d)에서는 왼발의 착지를 나타내고 있다. (e)-(f)는 두 번째 계단에 대한 보행을 보이고 있다. 한편 (c)와 (g)에서 로봇의 왼다리의 발끝이 특이점을 피하기 위하여 위치를 고정한 채로 방향을 변화시키는 모습을 볼 수 있다. III장에서 제안한 알고리즘에 따라, 개발된 로봇은 정해진 환경에서 항상 안정되게 계단 보행을 수행하였다.

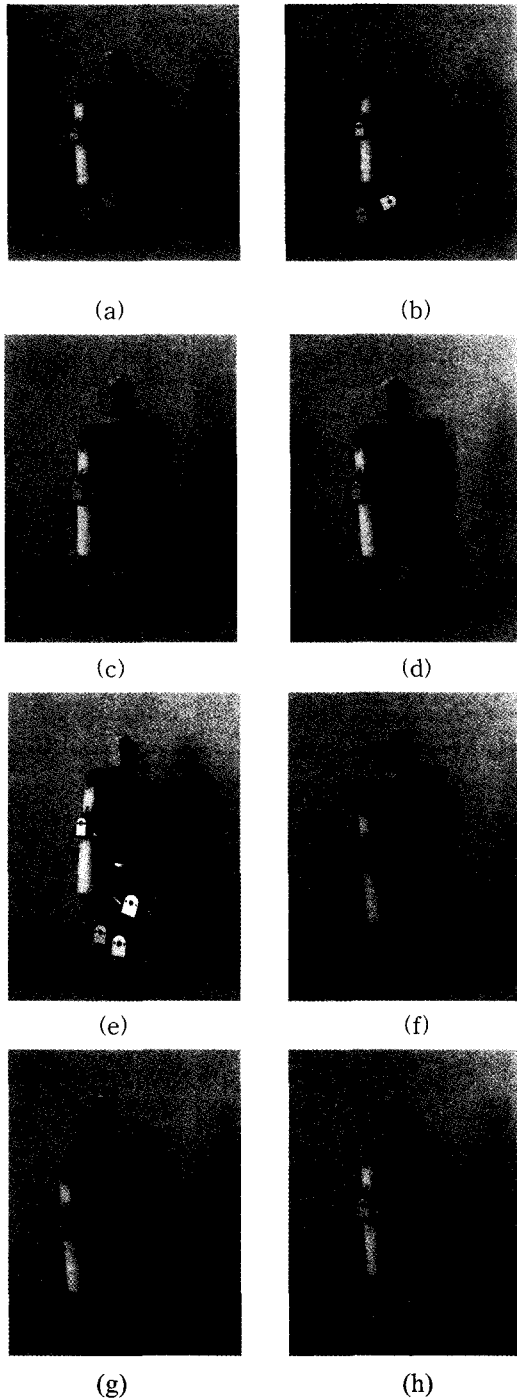


그림 10. 계단 보행 과정

Fig. 10. The process of walking up stairs

## V. 결 론

본 논문에서는 총 16 자유도를 갖는 소형의 2족 보행 로봇의 개발 사례에 대하여 소개하였다. 개발된 로봇은 직진 보행은 물론 회전 보행 등의 안정된 정적인 보행을 수행할 수 있었다. 또한 로봇의 보행 능력을 향상시키기 위하여 계단 보행을 수행할 수 있도록 로봇 다리부의 역기구학을 단힌 형태로 구하는 방법을 제안하였고, 특이점을 피하면서 계단 보행을 수행할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 역기구학 해법과 알고리즘을 실제 소형 2족 보행 로봇에 적용하여 안정되게 계단 보행을 수행할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다. 로봇의 계단 보행 능력은 로봇 다리부의 기구학적인 구조와 밀접한 관계가 있다. 따라서 보다 정교한 계단 보행을 위해서는 기구학적인 해석을 통하여 특이점 회피 등을 보다 쉽게 할 수 있는 구조의 다리부의 설계가 필요하며, 자율적인 계단 보행을 위해서는 계단의 위치, 계단의 방향, 계단 높이 및 계단의 개수 등을 스스로 판별할 수 있도록 센서 시스템을 갖추는 것이 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] Jin'ichi Yamaguchi, et al, "Realization of dynamic biped walking varying joint stiffness using antagonistic driven joints," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2022-2029, 1998
- [2] Y. Fujimoto and A. Kawamura, "Three dimensional digital simulation and autonomous walking control for eight-axis biped robot," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2877-2884, 1995
- [3] Satoshi Kagami, et al, "Design and development of a legged robot research platform JROB-1," *Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 146-151, 1998
- [4] J. T. Kim, Jin-Geol Kim, "study on the generation of balancing trajectory for biped robot using genetic algorithm ," *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering*, vol. 5, no. 8, pp. 969-976, 1999
- [5] Soo-Yeong Yi, Ye-Sun Hong, "Body impedance control for walking stabilization of a quadrupedal robot," *Trans. of KIEE*, vol. 49D, no. 5, pp. 257-263, 2000
- [6] 성영휘, 이수영, "소형 휴머노이드 로봇 시스템 개발," 제어 자동화 시스템 공학 논문지, 제 7권, 제 5호, pp.420-426, 2001
- [7] Kazuo Hirai, et al, "The development of Honda humanoid robot," *Proc. of Int. Conf. on Robotics*

and Automation, pp. 1321-1326, 1998

- [8] Fumio Kanehiro, et al, "Development of a two-armed bipedal robot that can walk and carry objects," *Proc. of IROS'96*, pp. 23-28, 1996
- [9] Fumio 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
- [10] *TB-386EX/TBDOS-386 Users Manual*, Tebek Engineering.
- [11] J. J. Craig, *Introduction to robotics*, Addison-Wesley publishing co. 1986



성 영 휘 (Young Whee Sung)

正會員

1988년 고려대학교 전자공학과(공학사)

1991년 한국과학기술원 전기및전자공학과  
(공학석사)

1996년 한국과학기술원 전기및전자공학과  
(공학박사)

1996년 - 1998년 LG종합기술원(선임연구원)

1998년 - 현재 금오공과대학교 전자공학부 조교수

관심분야 : 인간형 로봇, 여유자유도 머니플레이터



안 희 옥(Hee Wook Ahn)

正會員

1982년 서울대학교 전기공학과(공학사)

1991년 한국과학기술원 전기및전자공학과  
(공학석사)

1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과  
(공학박사)

1982년 - 1998년 산업기술시험원(선임연구원)

1998년 - 현재 금오공과대학교 전자공학부 조교수

관심분야 : 전력변환 회로 및 제어, 모터제어, DSP응용

---