

## 이족 로봇의 저전력 보행 궤적 생성 및 구현

# Low-Power Walking Trajectory Generation of Biped Robot and Its Realization

박상수 · 김병수 · 오재준 · 최윤호

Sang Su Park, Byung Soo Kim, Jae Joon Oh, and Yoon Ho Choi

경기대학교 전자공학부

### 요 약

본 논문에서는 이족 로봇 보행 중 전력 소비가 적고 안정한 저전력 보행 궤적 생성 방법을 제안하고, 생성된 보행 궤적의 구현을 위해 25 자유도를 갖는 이족 로봇을 설계 제작하였다. 본 논문에서 제안된 방법에서는 발목 사용 보행의 장점을 이용하고 보행 중 무릎을 크게 굽히는 동작을 줄이기 위해 기존 보행 방법과는 달리 우선 가장 안정한 VPCG 궤적을 생성하고 생성된 궤적에 따른 발목과 골반의 보행 궤적을 생성한다. 이와 같이 함으로써 이족 로봇이 보행 중 항상 무릎을 굽히지 않으므로 전체 보행 중 전력 소비를 최소화 한다. 한편 제작된 이족 로봇은 발목 사용 시 지면과 잘 접지되는 발 구조와 골반을 유연하게 동작 할 수 있는 특징을 가진다. 마지막으로 이족 로봇의 실제 보행 실험 및 소비 전력 측정 결과, 본 논문에서 제안된 방법이 발목을 사용하지 않는 기존 방법에 비해 더 안정하고 전력 소비가 더 적음을 확인할 수 있었다.

### Abstract

In this paper, a novel method is proposed for generating the low-power and stable walking trajectory of biped robots, and then a biped robot with 25 DOFs(degrees of freedom) is designed and implemented for the realization of the low-power walking trajectory generated by the proposed method. In our method, first a stable VPCG(vertically projected center of gravity) trajectory is generated, and then the trajectories of ankle and pelvis of a biped robot are planned to follow the preplanned stable VPCG trajectory, which produces a walking pattern without bending its knees and enables a biped robot to walk with less power consumption. On the other hand, a biped robot implemented in this paper has the mechanical structure of foot that enables a biped robot to support on the ground well, and the mechanical structure of pelvis that enables a biped robot to move flexibly. From results of the walking experiment and power consumption measurement, it was confirmed that the proposed method can generate the more stable and flexible trajectory with less power consumption compared with the existing methods which do not use the ankle of a biped robot.

**Key words** : 소형 이족 로봇, 휴머노이드, 저전력 보행, VPCG.

## 1. 서 론

2000년 일본 Honda 사에서 경사면을 오르거나 자유자재로 보행이 가능한 휴머노이드 로봇(humanoid robot) ASIMO의 개발이후 휴머노이드 로봇에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으며, 최근 국내의 경우 KAIST에서 휴머노이드 로봇 휴보(HUBO)를 개발하는데 성공하였고, 여러 대학이나 기업에서 이족 로봇(biped robot)의 안정적이고 자연스러운 보행 궤적 생성 및 생성된 궤적을 안정하게 추종하는 제어 문제, 기구적 설계 등에 초점을 두고 연구가 활발히 진행되고 있으며 많은 연구 결과들이 발표되고 있다[1]-[3]. 이와 같은 기존 연구들은 빠른 계산과 보행 동작의 정확성을 위해 보행 중 발바닥이 항상 지면과 평행하도록 하며, 발목과 골반의 부드러운 궤적 생성에 중점을 두었다[4]-[7]. 그러나 이와 같이 발목과 골반 궤적 중심의 보행 패턴 생성은 발목을 사용하더라도 측면 궤적만을 고려하기 때문에 실제 구현 시

발목과 골반을 좌우로 움직이지 않고 상체에 질량체를 두고 좌우로 이동시키면서 무게 중심을 잡게 되므로, 발목과 골반을 좌우로 흔들면서 무게 중심을 이동하는 인간의 보행 모습과는 차이가 있다. 특히 골반 궤적이 이러한 곡선을 따르기 위해서는 무릎을 항상 구부리고 있어야 하기 때문에 보행에 불필요한 전력을 소비하게 되며 또한 모터에 부담을 가중시키게 된다.

따라서 본 논문에서는 전력 소비를 줄이고 보다 안정적인 이족 로봇의 보행을 위해 보행 중 발목의 효과적인 적용 방법을 제시하고, 발목과 골반의 궤적에 중점을 둔 기존의 보행 방법과 달리, 보행 중 형성되는 지면에 투영된 무게 중심(vertically projected center of gravity: VPCG)이 발바닥의 가장 안정한 점에 위치하도록 VPCG 궤적을 우선 생성하고, 생성된 궤적에 VPCG가 위치하기 위한 발목과 골반 궤적을 생성하는 방법을 제시한다. 또한 이를 구현하기 위하여 발에 기능적인 구조를 갖는 25 자유도의 소형 이족 로봇을 설계 제작하고 보행 중 소비 전력을 측정하기 위한 적산 DC전력 측정기를 제작하여 본 논문에서 제안한 저전력 보행 알고리즘에 의한 보행이 기존 보행 방법에 비해 전력 소비가 적고 안정적임을 확인하고자 한다.

접수일자 : 2006년 5월 24일

완료일자 : 2006년 8월 2일

감사의 글 : 본 연구는 2005학년도 경기대학교 학술연구비(연구그룹연구과제) 지원에 의하여 수행되었음.

## 2. 저전력 정적 보행 궤적 생성 알고리즘

본 논문에서 제안한 저전력 보행 궤적 생성 알고리즘은 그림 1과 같은 과정들에 의해 수행된다. 우선 이족 로봇이 효과적으로 발목을 사용하는 보행 패턴을 생성하고, 보행 중 발바닥의 안정 영역에서 가장 안정한 VPCG 궤적을 생성한다. 그리고 이족 로봇의 무게 중심이 이미 생성된 VPCG 궤적을 추종하도록 발목과 골반 궤적을 형성하여 정적 보행 시 가장 안정한 보행을 가능하게 한다. 즉, 발목을 사용함으로써 보행 중 무릎이 가장 많이 굽혀지는 구간에서 무릎을 적게 굽히도록 하여 보행 시 전력 소비를 줄이고, 구간별로 발목과 골반 궤적을 생성하여 보행 중 무릎이 항상 굽혀있지 않도록 하여 보행 중 전체 전력 소비를 줄인다. 이와 같은 방법에 의해 구한 발목과 골반 궤적의 (x, y) 좌표들은 기존의 역삼각 함수나 3차 스플라인(spline) 보간법 등을 사용하여 각도로 변환하거나 직접 구간별로 테이블에 입력할 수 있다[8][9].

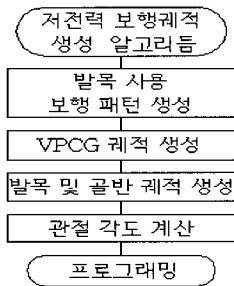


그림 1. 저전력 보행 궤적 생성 알고리즘.

Fig. 1. Low-power walking trajectory generation algorithm.

### 2.1 발목을 사용한 보행의 특징과 보행 패턴 생성

그림 2는 본 논문에서 제안한 발목을 사용하는 보행 패턴을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 발목을 사용함으로써 전력 소비를 줄이고 구간별 궤적 생성으로 계산량을 줄이도록 한다.

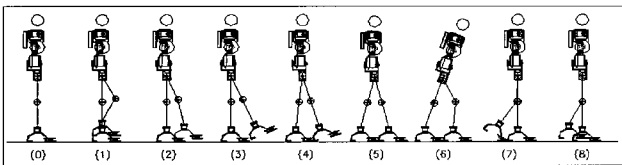


그림 2. 발목을 사용하는 보행 패턴.

Fig. 2. Walking pattern with using ankle.

그림 3과 4는 그림 2의 (6)~(8)번 동작으로 발목 사용 유무에 따른 무게중심(center of gravity: COG)의 위치와

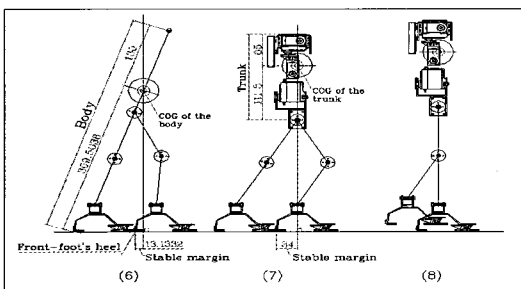


그림 3. 발목을 사용하지 않는 보행 시 형성되는 안정영역.  
Fig. 3. Stability region for walking without using ankle.

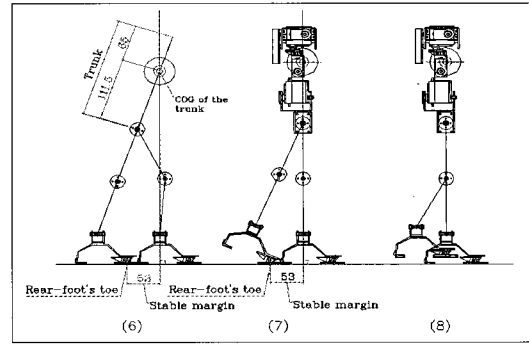


그림 4. 발목 사용 보행 시 형성되는 안정영역.  
Fig. 4. Stability region for walking using ankle.

안정 영역을 나타내고 있으며, (6)번~(7)번 동작 시 발목을 사용하여 뒷발이 땅을 밀며 받쳐주는 역할을 함으로써 안정 영역이 넓어짐을 확인 할 수 있다. 또한 (7)번 동작에서는 무릎을 굽히지 않는 것을 볼 수 있으며 이로 인해 앞발은 전력을 거의 소비하지 않는다고 할 수 있다.

### 2.2 정적 보행 시 안정한 VPCG 궤적 설계

발목을 사용하는 보행 패턴이 보행 중 형성하는 안정 영역에서 한 발로 서있는 경우를  $S_b$ , 한 발과 뒷꿈치가 이루는 안정 영역을  $S_b$ , 두 발이 이루는 안정 영역을  $S_t$ , 한 발과 앞꿈치가 이루는 안정 영역을  $S_r$ 라고 놓을 수 있고, 그림 5는

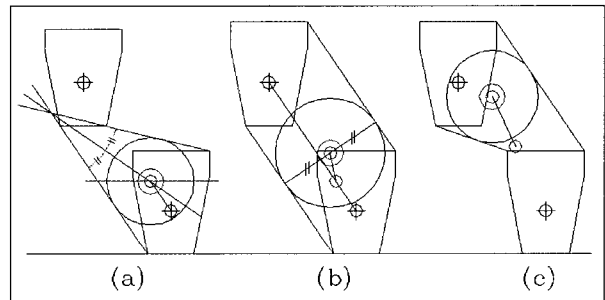


그림 5. 정적 보행 시 각 구간별로 형성되는 안정영역 내에서 구해지는 최적 안정점.

Fig. 5. Optimum stable point designed in stable region for each section at static walking.

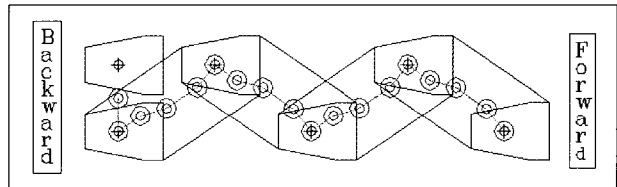


그림 6. 보행 중 나타나는 VPCG 궤적.  
Fig. 6. VPCG trajectory during walking.

$S_b$ ,  $S_t$ ,  $S_r$  구간과 각 영역에서 가장 안정한 점을 구한 것이다. 그림 6은 그림 5에서 구한 VPCG 점들을 연결하여 보행 중 생성되는 VPCG 궤적을 나타내고 있다. 2.3 절에서 논할 발목과 골반 궤적은 이족 로봇의 무게 중심이 보행 중 이 VPCG 궤적을 추종하도록 설계한다.

2.3 발목 궤적 생성

그림 7은 발목을 사용하는 구간인  $S_b$ ,  $S_t$ ,  $S_f$  구간을 나타내고 있다.  $S_b$ 에서의 발목 궤적은 식 (1)과 같다.

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = l_b^2 \quad (1)$$

한편  $S_t$  구간에서는 0이 되며,  $S_f$  구간에서는 식 (2)와 같다.

$$(x-2a)^2 + (y-b)^2 = l_f^2 \quad (2)$$

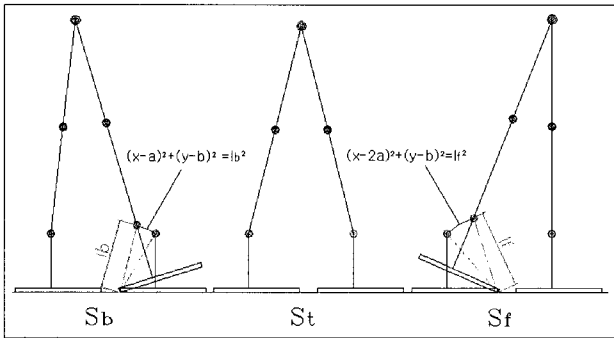


그림 7. 발목 사용 구간의 궤적.

Fig. 7. Trajectory of section with using ankle.

그림 8의 좌측 그림은  $S_s$  구간에서의 발목 궤적을 나타내며  $S_s$  구간이 시작되는 점의 높이를  $y$  절편으로 하고 포물선 위의 두 점을 대입하여 식 (3)을 얻는다.

$$y = -(5/1000)x^2 + (9.9/20)x + 10.9 \quad (3)$$

따라서 각 구간별 발목 궤적은 식 (4)와 같다.

$$\begin{cases} y = -(5/1000)x^2 + (9.9/20)x + 10.9 & (S_s) \\ (x-a)^2 + (y-b)^2 = l_b^2 & (S_b) \\ 0 & (S_t) \\ (x-2a)^2 + (y-b)^2 = l_f^2 & (S_f) \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $a$ ,  $b$ 는 발끝의  $x$ ,  $y$  좌표이다.

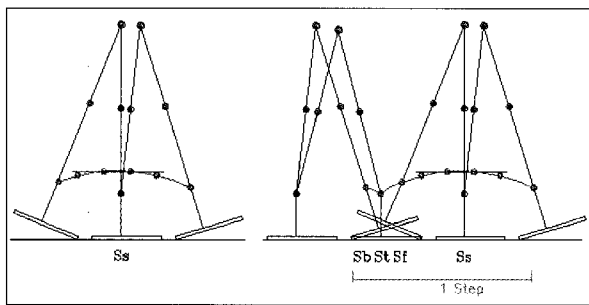


그림 8.  $S_s$ 구간에서 발목 궤적과 전체 발목 궤적.

Fig. 8. Ankle trajectory in  $S_s$  section and total ankle trajectory.

그림 8의 우측 그림은 구간별 발목 궤적을 연결하여 한 스텝에서의 발목 궤적을 나타내고 있다. 각 구간마다 불연속점이 발생하지만 변화가 작아서 부드러운 포물선을 형성하는 것을 볼 수 있다. 그림 9는 발목 궤적의 시간에 따른 거리 변화이고 구간별 이동 거리는 일정하다. 3장에서 논할 서보 모터의 제어 특성과 보행 프로그램은 시간에 따라 제어되므로  $(x, y)$  좌표에 따른 관절의 각도 계산과 실제 구현을 위해서

그림 9와 같은 시간과 거리의 관계 그래프를 이용한다.

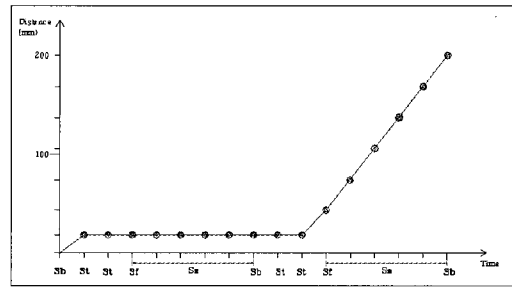


그림 9. 발목 궤적의 시간에 따른 거리 변화.

Fig. 9. Ankle trajectory's distance variation for time.

2.4 골반 궤적 생성

이족 로봇은 보행 중 무게 중심을 잡기 위해 다리를 좌우로 기울이게 된다. 이 때 측면에서 보이는 다리 길이는 그림 10과 같이 변하게 되고 골반 사이가 멀수록 변화는 커지게 된다. 이것은 실제 다음에 논할 골반 궤적 생성 시 다리 길이인  $l_1, l_2$ 에  $\cos\theta$ 를 곱해주고  $\theta$ 는 각 구간마다 선형적으로 변하는 것으로 간주하여 해결한다.

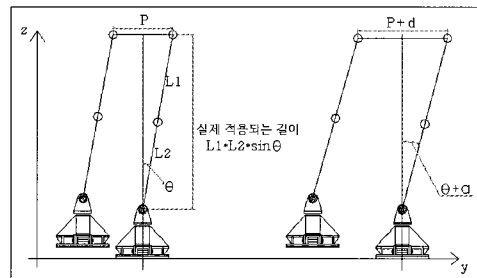


그림 10. 다리 기울기에 따라 실제 적용되는 다리 길이 변화.

Fig. 10. Leg length variation for the incline of leg.

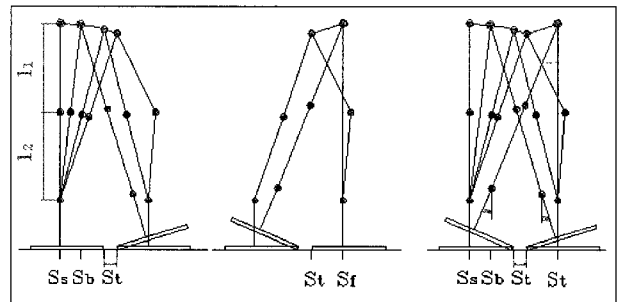


그림 11. 구간별 골반 궤적.

Fig. 11. Pelvis trajectory at each section.

2.1절과 2.2절에서 논한 VPCG 궤적과 발목 궤적에 따라 그림 11과 같이 골반 궤적이 형성된다. 그림 11의 좌측 그림이 나타내는 구간에서 골반 궤적은 식 (5)와 같이 원의 방정식을 따른다.

$$(x-2a)^2 + (y-b)^2 = (l_1 + l_2)^2 \quad (5)$$

그림 11의 가운데 그림이 나타내는 구간에서 골반 궤적은 계산의 편의를 위해 식 (6)과 같이 직선으로 처리한다.

$$y = \frac{b}{a}x + c \quad (6)$$

여기서  $c$ 는 식 (5)의 마지막  $y$  값으로 식 (7)과 같이 간단히 구할 수 있다.

$$c = (l_1 + l_2) \cos \theta \quad (7)$$

또한  $S_8$  구간은 골반의 이동이 없으므로 골반 궤적은 0이 된다. 따라서 골반 궤적은 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} (x-2a)^2 + (y-b)^2 = (l_1 + l_2)^2 & (S_b \sim S_t) \\ y = \frac{b}{a}x + c & (S_t \sim S_f) \\ 0 & (S_s) \end{cases} \quad (8)$$

그림 11의 우측 그림은 구간별 궤적을 모두 연결하여 한 스텝에서 형성되는 골반의 궤적을 나타내고 있다.

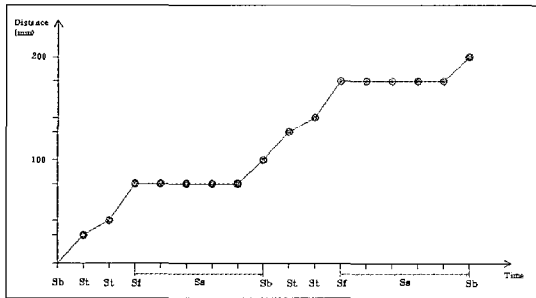


그림 12. 골반 궤적의 시간에 따른 거리 변화.

Fig. 12. Pelvis trajectory's distance variation for time.

그림 12는 골반 궤적의 시간에 따른 거리 변화의 그래프이고, 그림 9의 경우와 같이 구간 별 이동 거리는 일정하다.

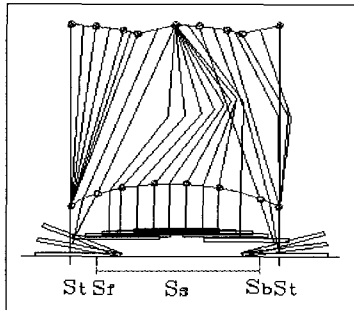


그림 13. 발목과 골반 궤적.

Fig. 13. Trajectory of ankle and pelvis.

그림 13은 앞에서 생성한 발목과 골반 궤적으로 형성되는 보행 패턴이다.  $S_b \sim S_t$ 와  $S_t \sim S_r$  구간은 발바닥이 지면과 수평을 이루지 않고 발목을 사용하므로 이 구간에 추가로 각도를 더해야 한다. 우선 그림 2에서 생성된 보행 패턴에 따라  $S_b \sim S_t$  구간에서 보상해야 할 각도 변화와  $S_t \sim S_r$  구간에서 각도 변화는 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{cases} \tan^{-1} \frac{(x-a)^2 + (y-b)^2}{x} = l_b^2 & (S_b \sim S_t) \\ \tan^{-1} \frac{(x-2a)^2 + (y-b)^2}{x} = l_f^2 & (S_t \sim S_r) \end{cases} \quad (9)$$

### 3. 이족 로봇의 설계

#### 3.1 기구부 설계

본 논문에서 제안한 방법에 의해 생성된 저전력 보행을

구현하기 위한 이족 로봇은 기본적으로 인체와 유사한 비율을 갖도록 설계하고 액츄에이터는 13kg/cm의 토크를 내는 hs-5945mg 서보 모터를 사용한다. 기구부는 알루미늄과 두랄루민을 사용하여 견고히 제작하고 정확한 보행을 위해 베어링과 스페이서를 적용하여 유격을 최소화한다. 그림 14는 두 다리에 12 자유도를 갖는 이족 로봇의 전체 설계도와 실제 사진이다.

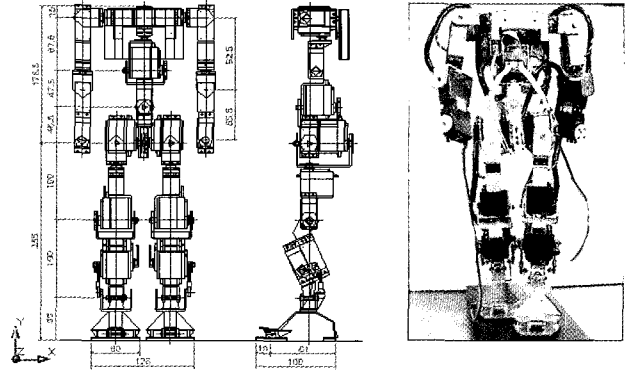


그림 14. 설계된 이족 로봇의 설계도와 실제 사진.

Fig. 14. Biped robot's drawing and photo.

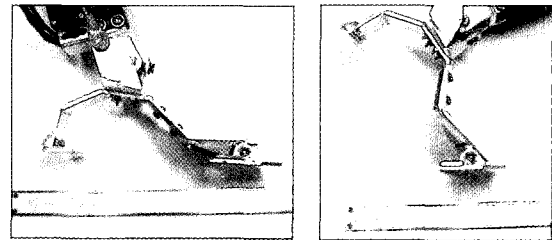


그림 15. 설계된 이족 로봇의 발 구조.

Fig. 15. A foot structure of implemented biped robot.

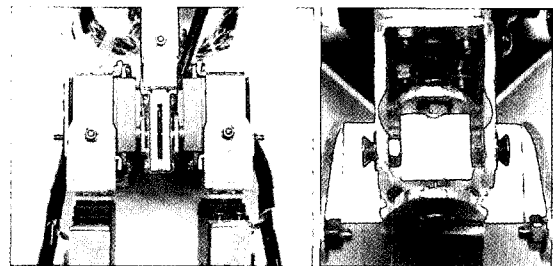


그림 16. 설계된 이족 로봇의 골반과 발목 구조.

Fig. 16. Pelvis and ankle structure of implemented biped robot.

특히 그림 15와 같은 앞꿈치 구조로 보행 시 발목을 사용하여 지면을 밀어주는 동작을 하는데 있어서 미끄러지지 않고 정확히 수행할 수 있도록 한다. 또한 그림 16과 같이 골반과 발목의 회전축들이 한 점에서 만나도록 하여 모든 방향에서 다리 길이가 같도록 한다.

#### 3.2 제어부 설계

3.1절에서 서술한 이족 로봇을 구동시키기 위해 사용된 제어부의 MPU는 16MHz RISC(Reduced Instruction Set Code) 방식의 고성능 저전력이며 이족 로봇에 주로 사용하는 AT-mega 128을 사용한다. 전원부는 2[A]까지 안정적으로

전력을 공급해줄 수 있는 LM-2576 레귤레이터를 사용하고 배터리는 순간 전류공급이 원활하고 용량이 큰 리튬 폴리머 전지를 사용한다. 그림 17은 제어부, 전원부, 센서부의 사진이다.

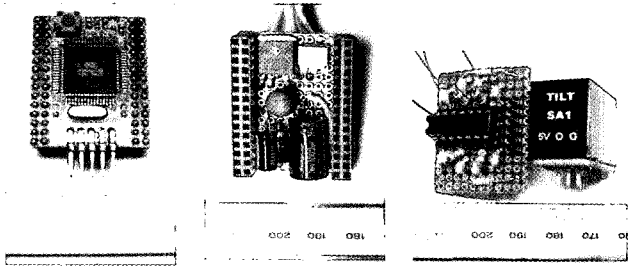


그림 17. 제어부, 전원부, 센서부(왼쪽부터).

#### 4. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서 제안한 저전력 보행 알고리즘은 VPCG 궤적을 추종함으로써 안정하게 보행함을 확인하기 위해 2장의 알고리즘들을 프로그램 및 컴파일하여 제작된 이족 로봇에 다운로드하고, 실제 보행 실험을 하였다. 또한 이때 소비 전력을 측정하여 발목을 사용하지 않고 무릎을 항상 구부린 상태로 걷는 일반적인 보행과 본 논문에서 제시한 저전력 보행의 전력 소비를 비교하였다.

##### 4.1 이족 로봇의 안정적인 보행 실험

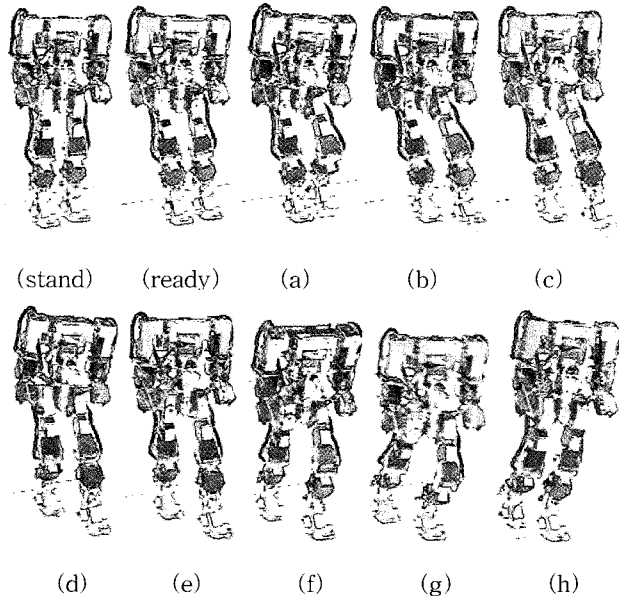


그림 18. 일반적인 보행의 구현.

Fig. 18. General walking's realization.

그림 18은 발목을 사용하지 않고, 발목과 골반 궤적형성에 중점을 둔 일반적인 보행을 하는 이족 로봇의 구간별 동영상 스틸컷(steel cut)이다. 보행하는 동안 발바닥이 지면과 항상 수평을 유지하고 있으며 특히 (g)번 동작에서 뒷 발을 들기 위해 무릎을 많이 구부리는 것을 볼 수 있고 보행 중 이러한 움직임으로 인해 상체가 많이 흔들리는 것을 확인할 수 있었다. 한편, 그림 19는 발목을 사용하여 VPCG 궤적을 따라가는

저전력 보행의 결과로서 그림 18의 일반적 보행과는 달리 (g)번 동작에서 발 앞꿈치로 밀어주는 동작을 취함으로써 앞발의 무릎을 굽히지 않는 것을 확인 할 수 있었으며, 또한 VPCG 궤적을 따라 이동하기 때문에 기존 보행에 비해 흔들림 없이 안정하게 보행하는 것을 확인할 수 있었다.

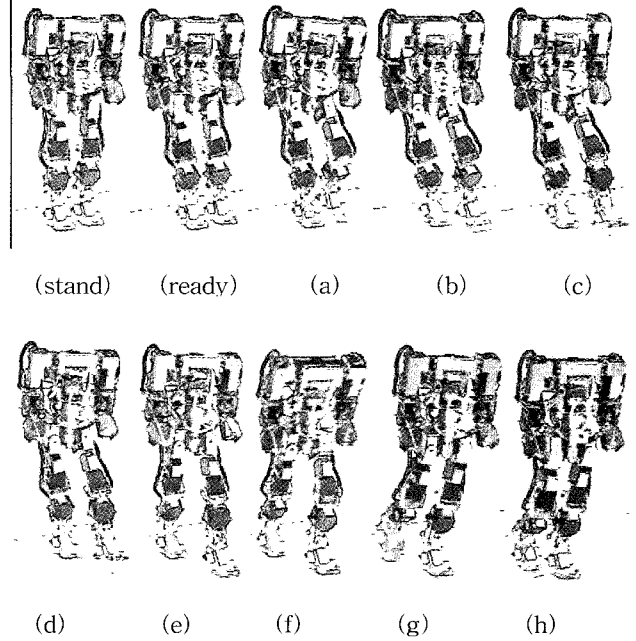


그림 19. 저전력 보행의 구현.

Fig. 19. Low-power consumption walking's realization.

##### 4.2 전력 측정 실험

본 절에서는 기존 보행 방법과 저전력 보행 알고리즘에 따른 보행 방법의 실제 소비전력을 구간 별로 측정하여 본 논문에서 제시한 저전력 보행의 경우 전력 소비가 적음을 확인하고자 한다.

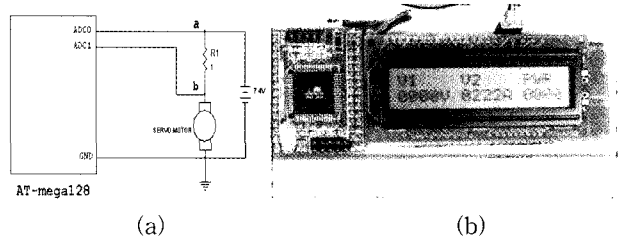


그림 20. 사용된 적산 DC 전력 측정기

(a) 회로도 (b) 실제 모습.

Fig. 20. Accumulation DC power tester

(a) circuit diagram, (b) appearance.

매 시간 변하는 이족 로봇의 전력을 측정하기 위해 그림 20의 (a)와 같이 MPU(AT-mega 128)에 내장된 A/D 변환기를 사용하여 a 단과 b 단의 전압을 각각 측정하여 서보 모터에 흐르는 전류와 전압을 각기 구해 이들 값을 곱해서 전력을 계산하고, 매 시간 샘플링하여 누적 평균한 값을 LCD에 나타내도록 하였다.

표 1은 구간별로 측정된 소비 전력이다. 저전력 보행의 가장 큰 특징인 발목 사용에 따른 전력 소비 감소를 확인하기 위하여 발목을 사용하지 않는 보행 프로그램과 비교 측정하였다.

표 1. 저전력 보행과 발목을 사용하지 않는 보행의 소비 전력 비교.

Table 1. Comparison of power consumption for the low-power walking and the walking with no use of ankle. (단위: W)

구간 비교	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~1	평균 소비전력
일반 보행	19.99	14.47	22.49	30.56	13.42	21.83	36.91	19.60	22.41
저전력 보행	20.23	13.86	17.08	9.83	13.97	29.02	17.01	19.87	19.82

표 1의 결과로부터, (3~5), (6~8) 구간에서 소비 전력이 현격히 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 그림 2의 (3), (4), (5)번 동작에 해당되며, 발목을 사용하는 저전력 보행이 발목을 사용하지 않는 보행에 비해 무릎과 상체를 적게 움직이게 되므로 전력의 소비가 훨씬 적다고 할 수 있다. 특히 (6~8) 구간에서 차이가 많이 나는 이유는 그림 3과 4의 (g)번 동작을 비교해 볼 때 발목을 사용하지 않는 보행인 그림 3의 (g)번 동작이 무릎을 굽히고 있는 반면, 그림 4의 (g)번 동작은 발목을 사용한 (f)번 동작에 의해 다리를 펴고 있기 때문이다. 무릎을 굽힌다는 것은 골반과 발목까지 굽히게 되는 것으로 많은 전력을 소비하게 됨을 확인할 수 있었다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 이족 로봇의 보행 시 안정적이며 전력 소비가 적은 저전력 보행 궤적 생성 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 VPCG 궤적을 먼저 생성하고 생성된 VPCG 궤적에 따른 발목과 골반의 보행 궤적을 구간별로 나누어 생성함으로써 이족 로봇이 보행 중 항상 무릎을 구부리고 있지 않음으로써 전체적인 전력 소비를 줄였다. 또한 이족 로봇이 보행 중 발목 사용을 가능하게 하여 보행 중 가장 크게 무릎을 굽히는 동작을 줄임으로써 최대 전력 소비를 줄였다. 한편 제안된 보행 알고리즘의 실제 구현 및 효용성을 검증하기 위해 25 자유도를 갖는 이족 로봇을 설계 제작하였다. 제작된 이족 로봇의 실제 보행 실험 및 소비 전력 측정 결과, 제안된 저전력 보행이 발목을 사용하지 않는 기존 보행에 비해 더 안정하고 전력 소비가 더 적음을 확인할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

[1] Y. Ogura, H. O. Lim, A. Takanishi, "Development of a Human-like Walking Robot Having Two 7-DOF Legs and a 2-DOF Waist," Proc. of Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 134-139, 2004.  
 [2] Q. Huang, K. Yokoi, S. Kajita, K. Kaneko, H. Arai, "Planning Walking Patterns for a Biped Robot," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 17, No. 3, pp. 280-289, 2001.  
 [3] H. Choi, "Dynamics Modeling and Analysis of a Biped Walking Robot Actuated by a Closed-Chain Mechanism," Journal of Robotic System, Vol. 21, No. 12, pp. 635-649, 2004.  
 [4] I. W. Park, J. Y. Kim, J. H. Lee, J. H. Oh, "Mechanical Design of Humanoid Robot Platform

KHR-3," Proc. of IEEE-RAS Int. Conf. on Humanoid Robots, Vol. 5, pp. 321-326, 2005.

[5] M. Vukobratovic, B. Borovac, D. Surla, D. Stokic, *Biped Locomotion: Dynamics, Stability, Control and Application*, Springer-Verlag, 1990.  
 [6] H. O. Lim, A. Takanishi, "Compensatory Motion Control for a Biped Walking Robot," Robotica, Vol. 23, No. 1, pp. 1-11, 2005.  
 [7] Vukobratovic M. and Juricic D. "Contribution to the Synthesis of Biped Gait," IEEE Trans. on Bio-Medical Engineering, Vol. 16, No. 1, 1969.  
 [8] S. M. Song and B. S. Choi, "The Optimally Stable Ranges of 2nd-Legged Wave Gaits," IEEE Trans. on SMC, Vol. 20, No. 4, pp. 888-902, 1990.  
 [9] S. M. Song and K. J. Waldron, "An Analytical Approach for Gait Study and Its Application on Wave Gait," Int. Jour. of Robotics Res. Vol. 6, No. 2, pp. 60-71, 1987.

### 저 자 소 개



**박상수(Park, Sang Su)**

2004년 : 경기대 전자·기계 공학부 (공학사)

2006년 : 동 대학원 전자공학과(석사)

2006년~현재 : 동 대학원 전자공학과 (박사과정 재학)

관심분야 : 이족 로봇, 지능 제어 이론

E-mail : mrsangsu@naver.com



**최윤호(Choi, Yoon Ho)**

1980년 : 연세대 전자공학부(공학사)

1982년 : 동 대학원 전자공학과(석사)

1991년 : 동 대학원 전자공학과(박사)

1982년~현재 : 경기대 전자공학부 교수

관심분야 : 지능 제어 이론, 이동 로봇, 이족 로봇, 웨이블릿 변환 및 응용, 혼돈제어

E-mail : yhchoi@kyonggi.ac.kr

**김병수(Kim, Byung Soo)**

2005년 : 경기대 전자·기계 공학부(공학사)

2005년~현재 : 동 대학원 전자공학과 (석사과정)

관심분야 : 모바일 로봇, 지능 제어

E-mail : bs011225@paran.com

**오재준(Oh, Jae Joon)**

2005년 : 경기대 전자·기계 공학부(공학사)

2005년~현재 : 동 대학원 전자공학과 (석사과정)

관심분야 : 이족 로봇, 지능 제어 이론

E-mail : qwerewqq@naver.com