

## 소비 에너지를 통한 이족로봇의 저전력 보행 보정 기법

# Low-Power Walking Compensation Method for Biped Robot Based on Consumption Energy Analysis

이창석\* · 나두영\* · 김용태\*\*

Chang-Seok Lee, Doo-Young Na and Yong-Tae Kim

\*한경대학교 바이오·정보기술 대학원

\*\*한경대학교 정보제어공학과, IT융합기술연구소

### 요 약

본 논문에서는 소비 에너지를 통한 이족보행로봇의 저전력 보행 보정 기법을 제안하였다. 먼저 이족 로봇의 보행 기본자세의 각 축별 소비 에너지를 분석하여 소비 에너지를 절감하는 기본 보행 자세를 구현하였다. 이족 로봇의 보행 기본자세를 무릎 구부리는 자세로 정하여 소비에너지를 줄이고, 무게중심을 낮추어 자세 안정성을 향상하였다. 이족로봇의 보행시 모터 전류를 측정하여 좌우 다리의 소비 전력을 분석하고, 이를 바탕으로 좌우 에너지 불균형을 제거하도록 보행 자세를 보정하였다. 보행 기본자세의 좌우 소비 전력을 고르게 분포시키게 자세를 보정함으로써 전체 소비 에너지를 감소시키고, 로봇의 좌우 자세 균형을 맞추어 보행시 안정성을 향상하였다. 제안한 소비 에너지를 통한 저전력 보행 구현 방법은 임베디드시스템 기반의 소형 이족 로봇을 실제 제작하여 보행 실험을 통해 성능을 검증하였다.

**키워드** : 이족 로봇, 소비 에너지 분석, 저전력 보행, 보행 안정화

### Abstract

In this paper we propose a low-power walking compensation method for biped robot based on consumption energy analysis. Firstly, basic walking motions that can reduce energy consumption of robot movements are implemented based on consumption energy analysis according to robot axes. We define knee bent motion as a basic walking motion. It can improve energy consumption and motion stability by lowering center of gravity of the biped robot. We analyze consumption energy of left and right leg of the robot using motor currents and propose a compensation method of walking motions to reduce unbalance of consumption energy between left leg and right leg. It can also improve energy consumption and walking stability of the robot. The proposed low-power compensation method based on consumption energy analysis is verified by walking experiments of a small biped robot with an embedded system.

**Key Words** : Biped robot, energy consumption analysis, low-power walking, walking stabilization

## 1. 서 론

로봇은 IT기술과 관련 기술들의 발달로 고정된 위치에서 단순한 반복 작업을 수행하는 것을 벗어나 보다 많은 자율성을 부여 받고 있으며, 이로 인하여 다양한 형태의 이동 로봇에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 그중에서도 이족 로봇은 인간과 같이 두 다리를 이용하여 보행하기 때문에 바퀴 형태의 로봇이 주행하기 어려운 지형에서도 보행이 가능하고, 인간 중심으로 설계된 기존의 환경에도 탁월한 적응성을 가지며, 자율 주행을 위해 별도의 환경을 고려하지

않아도 된다는 장점을 가지고 있다. 그러나 이족 로봇은 매니플레이터와 같이 고정된 위치에서 제어할 수 없는 접지점이 항상 존재하며, 접지면이 매우 좁아 기구적 오차나 관성, 외부의 작은 외력에도 쉽게 불안정 상태에 이를 수 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 이족 보행 로봇의 안정된 보행 구현에 관한 연구가 진행되고 있다.

이족 로봇의 안정된 보행을 위해 안정화에 중점을 둔 보행 방법 생성[1,2,3], 보행 궤적 생성[4], 보행 궤적을 추종하기 위한 제어기 연구[5], 기구학, 역기구학, 동역학적 해석과 외력에 대한 적응 방법[6,7,8,9] 등이 연구되었다. 이러한 연구들은 이족 로봇이 갖는 근본적인 불안정성의 극복에만 중점을 두고 있으며, 전체 소비 에너지에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 이족 로봇을 포함한 모든 이동 로봇은 에너지 공급원을 로봇에 내장하여야 하므로 일정한 위치에 고정되어 교류 전원을 사용하는 산업용 로봇에서는 중요성이 부가되지 않았던 에너지 소비 저감 및 효율에 대한 중요성이 점차적으로 부각되고 있다.

일반적으로 이족 로봇은 고차원의 자유도를 가지므로 다

접수일자 : 2010년 10월 21일

완료일자 : 2010년 11월 29일

\*\* 교신저자

본 논문은 2010년 한국지능시스템학회 추계 학술대회에서 우수 논문으로 선정된 논문입니다.

감사의 글 : 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 일반 연구자지원사업임(No. 2010-0023291)

른 로봇에 비해 상대적으로 많은 에너지가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 이족 로봇의 소비 에너지 분석을 통한 저전력 보행 구현 기법을 제안하였다. 제안한 저전력 보행 구현 기법은 로봇의 보행을 위한 기본자세를 먼저 보정한 후에 좌우 전류를 특정하여 자세 균형을 실행하여 소비 에너지양을 감소시켰다. 이족 로봇의 보행 기본자세는 무게중심을 낮추어 보행 안정성을 향상시키기 위하여 무릎을 구부리는 자세로 정하였다. 보행 기본자세의 보정은 좌우 소비 전력을 고르게 분포시킴으로써 소비 에너지양을 감소시키고 로봇의 자세 안정화를 통해 보행 안정성을 향상시켰다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 이족 로봇 시스템 구성과 저전력 보행 구현을 위한 보행 패턴에 관하여 설명하고, 3장에서는 소비 에너지 분석 결과와 전류기반 보정 알고리즘을 바탕으로 저전력 보행 구현 방법을 제안한다. 4장에서는 실제 이족 로봇을 제작하여 실험을 통해 제안한 방법의 성능을 검증하고, 5장에서는 결론을 맺었다.

## 2. 이족 보행 로봇 및 보행 패턴

### 2.1 이족 로봇의 시스템 구성

이족 보행 로봇은 그림 1과 같이 주제어기, 모션 제어기, 21개의 DC 모터, 배터리, 카메라 등으로 구성된다. 주제어기는 리눅스 기반의 임베디드시스템으로 구성하였고, 로봇의 안정된 보행을 위한 운동 계획과 영상처리 등을 수행한다. 모션 제어기는 마이크로 컨트롤러 보드를 사용하며, 21개 모터의 실시간 제어를 수행한다. 배터리는 로봇의 자립화를 위해 필요하며 모터 및 제어기에 전원을 공급한다.

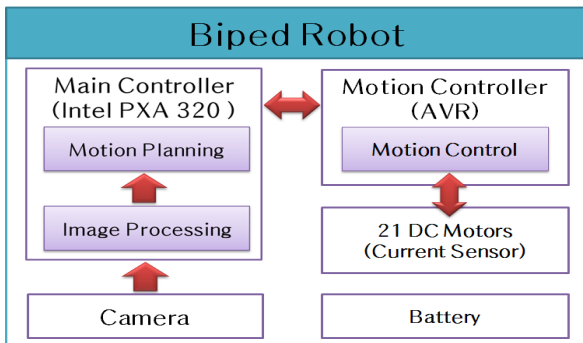


그림 1. 이족 로봇의 전체 시스템 구성  
Fig. 1. Overall structure of a biped robot

본 연구에서는 그림 2와 같이 인간의 보행 방식인 이족 보행을 효과적으로 구현하고 외형적으로 친근감을 줄 수 있도록 인체와 유사한 몸체 구조로 이족 보행 로봇을 설계하였다. 이족 로봇의 크기는 길이 600mm, 배터리를 포함한 전체 중량은 6kg이다. 로봇 몸체는 가공하기 쉽고 가벼운 소재인 알루미늄을 택하여 링크를 구성하였고, 관절의 가동 범위를 가능한 크게 설계하여 자연스러운 이족 보행이 가능하도록 하였다.

다리 관절에는 내장 전류 센서로 전류 측정이 가능하며, 18.5V 전압에서 106kgf·cm의 토크를 낼 수 있는 DC서보모터를 사용하였다. 전류 센서의 전류 측정값은 10bit A/D 변환되어 얻어지며, 이 값을 다시 전류 값으로 변환하여 사용하였다. 전류 변환은 다음의 식 (1)과 같다.

$$|(\alpha - 512) \times 10| = \beta \quad (1)$$

여기에서  $\alpha$ 는 측정 데이터 값을 나타내며,  $\beta$ 는 계산된 전류값을 나타내며, 전류 단위는 mA이다. 전원 장치로 모터가 최대 토크를 낼 수 있도록 18.5V, 3,200mA의 리튬폴리머 배터리를 사용하였다.

로봇 좌표계는 그림 2와 같이 로봇의 양쪽 허벅지 관절 중심의 이동분점에 기준 좌표계 {R}을 설정하였다. 로봇의 좌표는 x축으로 로봇의 정면을 (+)방향으로 설정하였으며, y축으로 로봇의 우측을, z축으로 로봇의 머리 방향을 각각 (+)방향으로 정의하였다. 이족 로봇의 다리 구조는 각각 6자유도로 고관절 3자유도, 무릎 1자유도, 발목 2자유도로 구성하였으며, 각각의 관절 모터 명칭은 표 1과 같이 설정하였다.

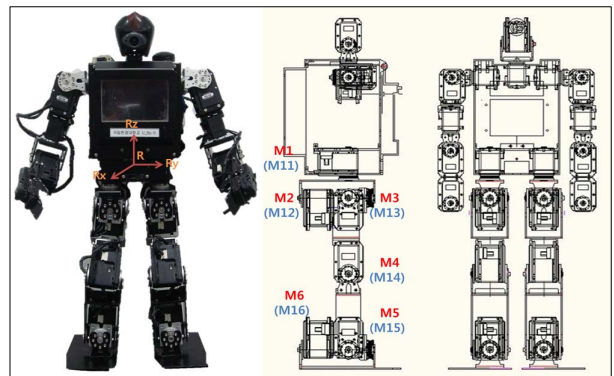


그림 2. 이족 로봇 기구 설계  
Fig. 2. Mechanical design of a biped robot

표 1. 다리 관절의 구성  
Table 1. Construction of leg joints

이족 로봇 위치	좌측다리 명칭	우측다리 명칭
고관절 yaw ( $\theta_{hy}$ )	M 11	M 1
고관절 roll ( $\theta_{hr}$ )	M 12	M 2
고관절 pitch( $\theta_{hp}$ )	M 13	M 3
무릎 pitch ( $\theta_{kp}$ )	M 14	M 4
발목 pitch ( $\theta_{ap}$ )	M 15	M 5
발목 roll ( $\theta_{ar}$ )	M 16	M 6

### 2.2 이족 로봇의 보행 패턴

소비 에너지 분석을 통한 저전력 보행의 성능 검증을 위한 이족로봇의 보행 패턴은 다음의 그림 3과 같다. 이족 보행은 주기적인 현상으로 보행의 한 주기를 왼발과 오른발이 각각 한 번씩 내딛는 것, 즉 두 걸음으로 정의하고 4개의 보행 패턴으로 구성하였다. 그림 4는 각각의 보행 패턴 실행시 이족 로봇의 무게중심의 이동을 나타낸다. 그림 4 (a)는 초기 자세에서 좌측으로 무게중심 이동과 오른쪽 다리를 들어 올리는 구간이며, 그림 4 (b)는 무게중심이 좌측 설정 위치에 도달하고 오른쪽 다리를 내려놓는 구간이다. 그림 4 (c)는 우측으로 무게중심 이동과 왼쪽 다리를 들어 올리는 구간이며, 그림 4 (d)는 무게중심이 우측 설정 위치에 도달하고 왼쪽 다리를 내려놓는 구간이다. 그림 4 (a)와 그림 4 (c)는 한발 지지 구간(SSP, Single support phase)으로 반

대편 다리에서는 스윙이 일어난다. 그림 4 (b)와 그림 4 (d)는 두발이 모두 지면에 닿아있는 두발 지지 구간(DSP, Double support phase)이다. 한 주기에서의 SSP와 DSP의 비율에 따라 보행 속도가 정해진다. 인간의 동적 보행에서는 보행 한주기인 두 걸음을 걸을 때 DSP의 비율이 20~25%이지만 이족 로봇의 일반적인 정적 보행에서는 DSP의 비율이 60%이다. 본 논문에서는 빠른 보행을 위해 DSP와 SSP 비율을 5:5로 설정하고 실험하였다.

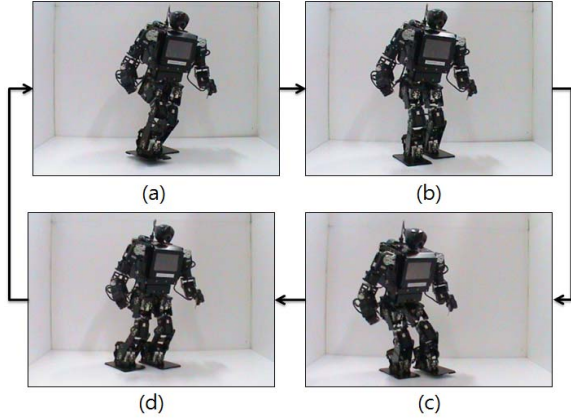


그림 3. 이족 로봇의 보행 패턴  
Fig. 3. Walking pattern of biped robot

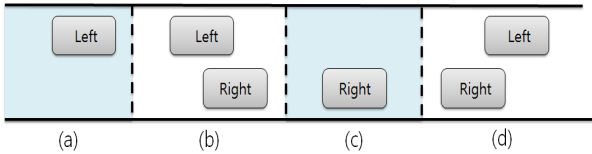


그림 4. 보행 패턴별 착지 발바닥 위치  
Fig. 4. Footprint position of walking pattern

### 3. 소비 에너지 분석을 통한 저전력 보행

#### 3.1 보행 기본 자세의 소비 에너지 분석

그림 5는 이족 로봇의 기준 좌표계 {R}에 따른 보행 기본 자세의 각축별 이동 파라미터를 나타낸다. 그림 5 (a)의 X는 x축 방향으로의 다리 이동 보폭을 의미하며, 그림 5 (b)의 Y는 y축 방향으로의 무게중심 이동 값이며, 그림 5 (c)의 Z는 다리 길이 조절에 따른 z축 방향으로의 무게중심 변화 값이다.

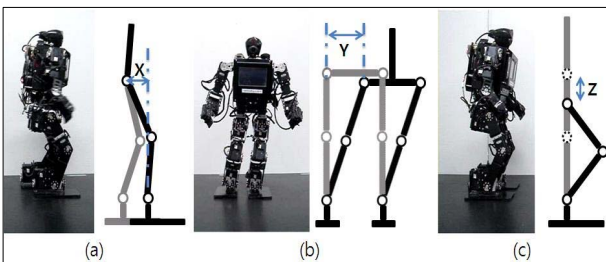


그림 5. 보행 기본 자세의 이동 파라미터  
Fig. 5. Movement parameters of basic walking motion

이족 로봇의 정보행시 평균 소비 에너지 측정을 위해 로봇의 6걸음 동안, 즉 보행 주기를 3회 실행하는 동안의 모터들의 전류를 측정하였다. 이때 X 값은 3cm, Y 값은 5.5cm, Z 값은 2cm로 설정하였다. 그림 6은 정보행시 전체 소비 에너지를 나타낸 그래프이다. 에너지 그래프의 분석을 통해서 에너지 소비량이 보행 패턴에 따라 주기적으로 변하는 것을 알 수 있다. 또한 두발지지 구간보다 한발지지 구간에서 더 많은 양의 에너지를 소비하는 것을 보여준다.



그림 6. 정보행시 소비 에너지 그래프  
Fig. 6. Consumption energy graph of forward walking

이족 로봇의 x축 보폭의 변화에 따른 에너지 소비량을 비교하면 다음의 그림 7과 같은 그래프를 보여준다. X값이 3cm일 경우 평균 27.07W의 에너지를 소비하였고, X값을 4cm로 증가시켰을 경우 평균 29.77W의 에너지를 소비하였고 2cm로 감소시켰을 경우 평균 25.87W이하로 에너지를 소비하였다. x축 이동시 소비 에너지 분석 결과는 보폭이 증가하면 에너지 소비량도 증가하였고, 보폭이 감소하면 에너지 소비량도 감소함을 알 수 있었다. 그러나 기준 보폭(X값이 3cm일 때)의 소비 에너지와 비교했을 때 X값이 증가할 경우 소비 에너지가 크게 변화하였지만 X값이 감소할 경우에는 소비 에너지 변화량이 적음을 알 수 있었다.

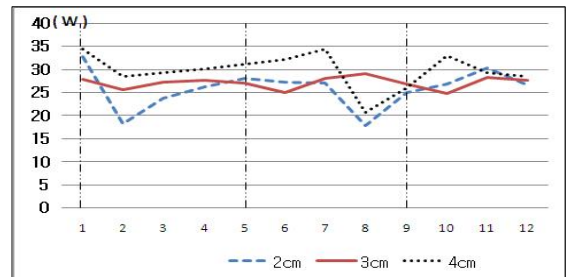


그림 7. 이족로봇의 x축 보폭 변화에 따른 소비 에너지  
Fig. 7. Consumption energy according to change of x-axis step of biped robot

그림 8은 이족 로봇의 y축 무게 중심이동 변화량에 따른 에너지 소비량을 비교한 그래프이다. Y값이 5.5cm일 경우 약 27.07W의 에너지를 소비하였고, Y값을 6.5cm로 증가시켰을 경우 평균 30.18W의 에너지를 소비하였고 4.5cm로 감소시켰을 경우 29.76W의 에너지를 소비하였다. 에너지 소비의 분석 결과는 Y값의 변화에 따라 소비 에너지량이 변하는 것을 보여 주었다. 그러나 X값 변화와는 달리 Y값이 증가할 경우와 감소할 경우 모두 소비 에너지량이 증가하였다. 이를 통해 최적의 Y값을 산출하는 과정이 필요함을 알 수 있었다.

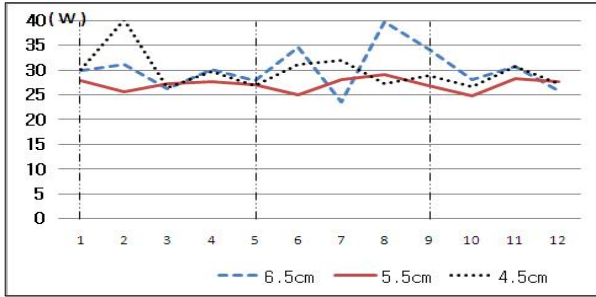


그림 8. 이족로봇의 y축 중심이동에 따른 소비 에너지  
Fig. 8. Consumption energy according to y-axis movement of biped robot

z축의 무게 중심이동 변화량에 따른 에너지 소비량을 비교한 그래프는 다음의 그림 9와 같다. Z값이 2cm일 경우 약 27.07W의 에너지를 소비하였고, Z값을 1cm씩 증가 및 감소시킴에 따른 소비 에너지 변화는 다음과 같다. Z값을 3cm로 증가시켰을 경우 평균 31.71W의 에너지를 소비하였고, Z값을 1cm로 감소시켰을 경우 26.40W의 에너지를 소비하였다. 그림 9의 그래프 분석 결과는 z축 무게 중심이동 변화에 따라 소비 에너지양이 변하며, 기준 보폭(Z값이 2cm일 때)의 소비 에너지와 비교했을 때 Z값이 증가할 경우 소비 에너지가 크게 변화하였지만, Z값이 감소할 경우에는 소비 에너지 변화량이 적음을 알 수 있었다.

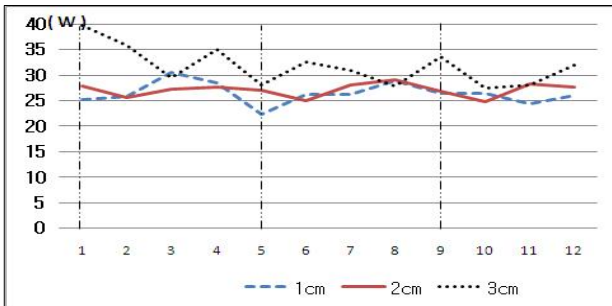


그림 9. 이족로봇의 z축 중심이동에 따른 소비 에너지  
Fig. 9. Consumption energy according to z-axis movement of biped robot

### 3.2 이족 로봇의 저전력 보행 구현

이족 로봇의 보행 기본자세인 무릎 구부리기 자세는 역기구학을 통해 각 관절의 각도가 계산되기 때문에 이론적으로는 대칭적이지만, 로봇의 무게, 바닥 환경, 관절 모터의 상태 등에 따라 필연적으로 비대칭을 이루게 된다. 이러한 비대칭적인 자세는 대칭적으로 로봇의 균형이 이루어질 때보다 소비 에너지양을 증가시키고 무게중심의 변화를 주어 보행시 로봇이 불안정한 상태가 되도록 한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 다음 그림 10과 같이 소비 에너지 분석을 통한 저전력 보행을 구현하는 방법을 제안하고자 한다.

로봇의 상태 초기화가 이루어지면 보행을 위한 기본자세를 실행한다. 무릎을 굽혀주는 보행 기본자세는 이족 로봇의 무게 중심을 낮추어 로봇의 보행 안정성을 향상시킨다. 로봇의 보행 기본자세에서 각 모터들의 전류를 측정하여, 이를 바탕으로 소비 에너지를 계산하고 분석한다. 소비 에너지 분석 결과에 따라 좌우 소비 전류에 따라서 자세 보정

을 하면 보행 기본자세가 최적화 된다. 보행 기본자세 보정 후 저전력의 보행이 구현되면 소비 에너지를 감소시켜 효율적으로 에너지를 이용할 수 있고, 자세 안정화를 통해 로봇 보행 안정성을 향상 시킬 수 있다.

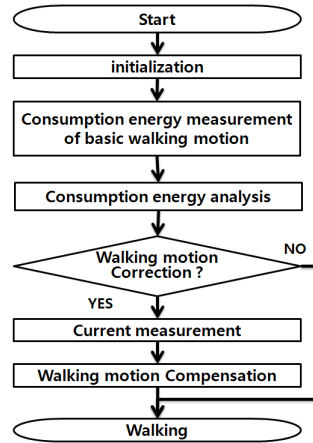


그림 10. 이족 로봇의 저전력 보행패턴 생성 방법  
Fig. 10. Generation method of low-power walking pattern of a biped robot

저전력 보행은 보행 기본자세에서 이족 로봇의 좌우 다리 전체에 흐르는 전류를 측정하고 분석에 따라 전류값을 바탕으로 보행 패턴의 보정을 실행함으로써 이루어진다. 전류기반 보행 자세 보정 알고리즘은 다음의 그림 11과 같다.

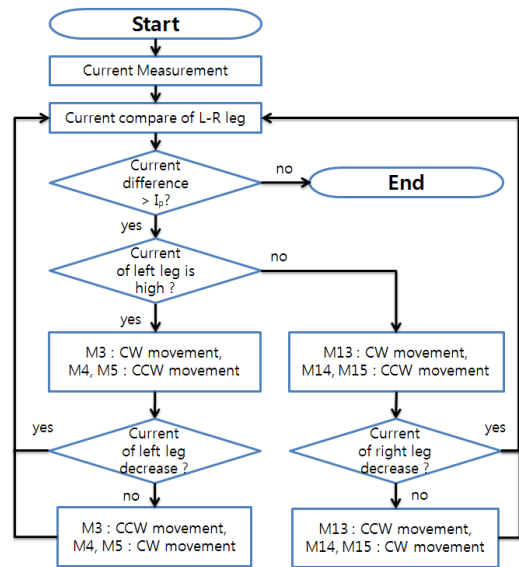


그림 11. 전류기반 보행 자세의 보정 알고리즘  
Fig. 11. Compensation algorithm of walking motion based on current of motors

전류 측정 후 고관절 yaw 모터부터 발목 roll 모터( $M_1 \sim M_6$ 와  $M_{11} \sim M_{16}$ )까지 좌우 대칭적인 관절 모터끼리 전류를 비교한 후 그 차이를 다시 전류 비교값( $I_p$ )과 비교한다. 전류 비교값은 로봇의 전류 차이를 비교한 값으로 본 논문에서는 50mA로 설정하였다.  $I_p$ 보다 값이 크게 되면 우선 왼

쪽 다리와 오른쪽 다리의 전류값을 비교하여 전류의 차이가 높은 다리의 모터들을 CW(clockwise)방향과 CCW(counter clockwise)방향으로 보정을 하게 된다. 모터의 위치 및 보정 방향은 다음의 그림 12와 같다. 보정 후 보정 전 보다 전류량이 낮아지면 다시 전류 비교값  $I_p$  와 비교한다. 만약 보정 전과 같거나 더 커지게 되면 이전 보정과는 반대 방향으로 모터들을 보정하게 된다. 재 보정 후에는 다시 전류 비교값과 비교하여 소비 에너지가 최소값이 될 때 까지 반복하게 된다.



그림 12. 모터의 위치 및 보정 방향  
Fig 12. Position of motor and compensation direction

#### 4. 실험 및 결과

본 논문에서는 임베디드시스템 기반의 소형 이족 로봇을 실제 제작하여 저전력 보행 알고리즘의 적용 전과 후의 보행 자세의 소비 에너지 비교 실험을 통해 성능을 검증하였다. 소비 전력은 보행 기본자세 이후의 보행 패턴부터 정보행을 3회 실행 하는 동작에 대해 측정하였다. 다음의 그림 13은 전류기반 보행 자세 보정 전과 보정 후의 좌우 다리의 소비 에너지를 나타낸 것이다.

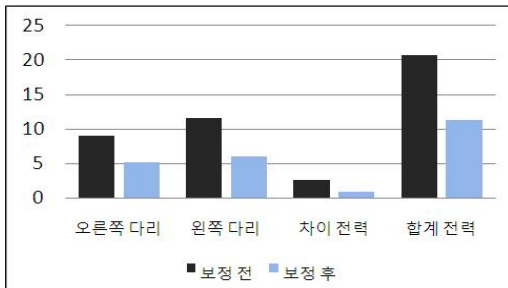


그림 13. 전류기반 보행 보정의 적용에 따른 소비 에너지  
Fig. 13. Consumption energy according to application of walking compensation method

보행 보정 기법의 적용 전의 경우에 오른쪽다리보다 왼쪽 다리의 에너지 소비량이 높은 것은 로봇의 무게가 왼쪽에 치우쳐 있기 때문이다. 제안한 보행 자세의 보정 기법의 적용 후에는 좌우 다리의 소비 에너지 차이와 전체 에너지 소비량이 감소한 것을 확인할 수 있다. 그림 14는 저전력 보행 실험을 위한 이족로봇의 보행 패턴의 연속적인 정보행 자세를 나타낸다.

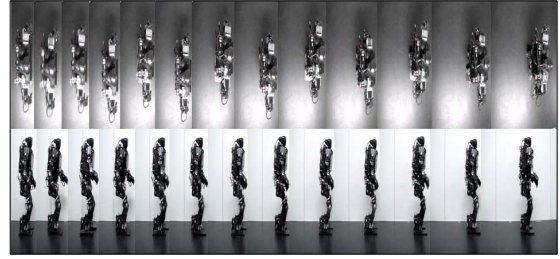
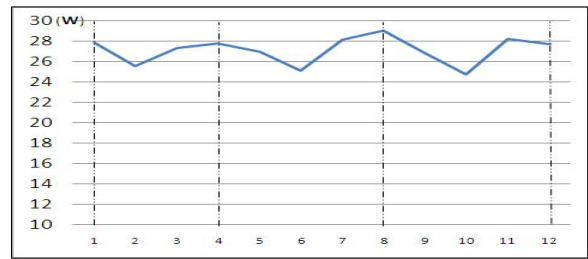
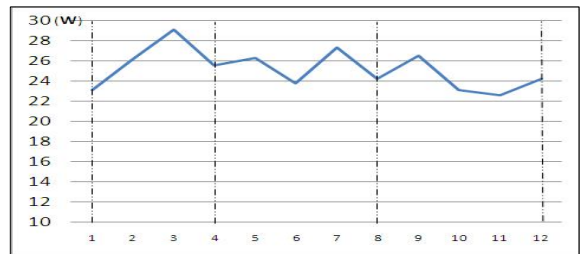


그림 14. 이족 로봇의 저전력 보행 자세  
Fig. 14. Low-power walking motion of biped robot

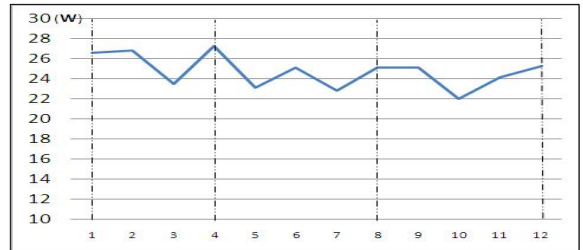
본 연구에서는 이족 로봇의 소비 에너지 분석을 통한 저전력 보행 알고리즘의 적용 전과 후의 경우에 대해 10번의 실험을 수행하였다. 그림 15는 보행 자세 보정 전, 보행 기본 자세의 에너지 분석 결과 적용후, 전류기반 저전력 보정 후의 정보행 실험에서 전체 소비 에너지의 평균량을 그래프로 나타낸 것이다.



(a) 보행 보정 전의 평균 소비 에너지  
(a) Average consumption energy before walking compensation



(b) 보행 기본 자세 보정후의 평균 소비 에너지  
(b) Average consumption energy after compensation of basic walking motion



(c) 저전력 보행 보정후의 평균 소비 에너지  
(c) Average consumption energy after low-power compensation of walking pattern

그림 15. 저전력 보행 보정 기법의 실험 결과  
Fig. 15. Experimental results of low-power walking compensation method

그림 15의 실험 결과는 보정이 없는 일반 보행에서는 평균적으로 27.07W의 소비 전력을 보이며, 기본 보행 자세의 보정후의 보행 실험에서는 25.15W의 평균 소비 전력량을 나타내며, 저전력 보행 보정 기법의 적용 실험에서는 24.72W의 평균 소비 전력량을 나타내고 있다. 실험 결과로부터 제안한 보행 보정 기법이 이족 로봇의 보행 소비 전력을 절감하고, 좌우 균형을 개선하여 보행 안정성을 개선하는 것을 볼 수 있었다.

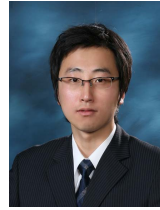
## 5. 결 론

본 논문에서는 이족 로봇의 소비 에너지 분석을 통한 저전력 보행 구현 기법을 제안하였다. 제안된 저전력 보행 보정 방법은 임베디드시스템 기반의 소형 이족 로봇을 실제 제작하여 보행 소비 에너지 분석을 통한 저전력 보행 보정 기법의 적용 전과 후의 비교 실험을 통해 성능을 검증하였다. 실험 결과 제안한 저전력 보행 보정 적용 후의 소비 전력이 적용 전에 비해 개선된 것을 확인 할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] J.J. Kuffner, S. Kagami, K. Nishiwaki, M. Inaba, and H. Inoue, "Dynamically-stable motion planning for humanoid robots", *Autonomous Robots*, Vol. 12, No. 1, pp. 105-118, 2002.
- [2] H. Cruse, 1980, "A Quantitative Model of Walking Incorporating Central and Peripheral Influences: The Control of the Individual Leg," *Biological Cybernetics*, Vol. 37, pp. 131~1
- [3] 노수희, 나두영, 김용태, "휴머노이드 로봇의 행동 보행 프리미티브 기반 보행 안정화," *한국지능시스템 학회 논문지* Vol. 19, No. 2, pp. 125~126, 2009.
- [4] 노수희, 김용태, "행동 프리미티브 기반 휴머노이드 로봇의 행동 계획," *한국지능시스템학회 논문지*, Vol. 19, No. 1, pp. 108~114, 2009
- [5] 김동준, "이족 로봇의 제작 및 안정된 걸음걸이 구현," *명지대 석사 학위 논문*, 1998
- [6] 이정호, 송재복, "정현파를 이용한 가변 주기 및 보폭을 갖는 이족보행로봇의 보행패턴 생성 알고리즘," *로봇 공학회 논문지*, 제 5권 1호, pp.95-100, 2008
- [7] Q. Huang, K. Yokoi, S. Kajita, H. Arai, "Planning Walking Patterns for a Biped Robot," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 17, No. 3, pp. 280-289, 2001
- [8] H. Choi, "Dynamics Model 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
- [9] I. G. Park, J. G. Kim, "Robust Control for Dynamic Walking of a Biped Robot with Ground Contacting Condition," *Proc. of IEEE Int. Symp. on Industrial Electronics*, Vol. 3, pp. 2067-2072, 2001

## 저 자 소 개



**이창석(Chang-Seok Lee)**

2010년 : 한경대학교 정보제어공학과 졸업  
(학사)

2010년~현재 : 동 대학원 석사과정

관심분야 : 지능 로봇, 지능시스템

E-mail : lcsok@naver.com



**나두영(Doo-Young Na)**

2009년 : 한경대학교 정보제어공학과 졸업  
(학사)

2009년~현재 : 동 대학원 석사과정

관심분야 : 지능제어, 지능시스템, 지능로봇

E-mail : nadooyoung@gmail.com



**김용태(Yong-Tae Kim)**

1991년 : 연세대학교 전자공학과 졸업  
(공학사)

1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과  
졸업(공학석사)

1998년 : KAIST 전기 및 전자공학과  
졸업(공학박사)

1998년~2000년 : (주)삼성전자

2006년 : Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 방문연구

2002년~현재 : 국립 한경대학교 정보제어공학과 부교수

관심분야 : 지능로봇, 지능시스템, 지능제어, 기계학습

E-mail : ytkim@hknu.ac.kr