

## 이십대 청년의 정상 및 비정상 계단보행특성에 따른 하지의 운동역학적 분석

김영지\*, 이영신\*\*, 김창원\*\*\*

### A Kinetic Analysis of the Lower Extremity on the Normal and Abnormal Specificity of Walking on Stair for Twenties

Young-Ji Kim\*, Young-Shin Lee\*\* and Chang-Won Kim\*\*\*

#### ABSTRACT

Gait is walking attitude and indicating state. The body's gait is a good mix in the center of body mechanics and exercises to wake up gently at the same time switch is a pass which is complicated at legs various joints. The shifting action what swing phase and stance phase rhythmic movement of body. One from piece moves with different dot. Especially plain walking and stair walking as a vehicle has been used frequently. Characteristics of the stair walking while the balanced the horizontal and vertical movement. Stair walking often takes place in everyday. It requires large range more than walking at plain in the moment and joint range of gait motion. And consistently applied to joints and various types of loads at legs joint may involve joint disorders. In this study, spastic cerebral palsy existing artificial limbs for disabled people when developing calibration equinus deformity patients induce muscle pain when walking on stairs independently, to reduce the research. Comparing the characteristics of the walking up the stairs for analysis patellofemoral joint pain as a result it is to provide engineering data.

**Key words** : EMG system, Stair walking, Wireless insole system

#### 1. 서 론

보행이란 걷는 모양이나 태도를 나타내는 말이다. 인체의 보행은 하지의 여러 관절에서 잘 조화된 역학 운동이 동시에 일어나 몸의 중심을 완만하게 전환시키는 복잡한 과정이며, swing phase와 stance phase를 교대로 하는 양 하지의 율동적인 운동으로 신체를 한 지점에서 다른 지점으로 옮겨가는 행위이다. 보행은 인간의 가장 주기적이고 기본적인 동작중의 하나로 만일 한쪽 방향으로 일정한 속도로 보행을 한다면 신체 각 관절의 궤적은 조화롭게 변하며, 신체적 조건에 따라 다소 차는 있으나 기본적인 주기함수가 중첩된 형태로 역시 주기함수의 형태로 나타난다. 보행연

구는 의공학이나 체육학뿐 만 아니라 2각 보행로봇을 연구하는 로봇공학에서도 많이 연구되고 있다. 재활 의학 분야에서는 신체의 결함이 있는 사람의 보행을 정상인의 걸음걸이와 비교, 분석하는 임상적인 연구가 활발했으며, 의족 개발을 위하여 여러 가지 보행모델이 제안되기도 했다.

본 연구는 기존 뇌성마비 장애인의 침족 변형을 교정하기 위한 의족개발 시 환자가 자립적으로 계단보행을 하는데 있어 근육 통증 유발 문제를 줄이기 위해 상향 계단 보행특성을 비교하고 슬개 관절 통증 분석의 공학적 데이터를 제시하기 위한 것이다. 그러므로 20대 청년의 정상 및 비정상 계단보행특성에 따른 하지의 운동역학적 분석을 위해 계단 보행시의 정상상향보행과 일시적인 비정상 침족 계단 상향 보행 그리고 경직성 뇌성마비 장애인의 침족 보행인 비정상 침족 계단 상향 보행에서의 근-골격 인체의 하지 부분을 족저압 측정 시스템인 Wireless insole system과 근전도 측정 시스템인 EMG system을 이용하여 이를 운동역학적 분석하는 것이다.

\*학생회원, 현 GM Korea  
\*\*교신저자, 정회원, 충남대학교 기계설계공학과  
\*\*\*학생회원, 충남대학교, 대학원  
- 논문투고일: 2011. 04. 18  
- 논문수정일: 2011. 09. 14  
- 심사완료일: 2011. 09. 28

## 2. 실험방법

### 2.1 실험 장비

#### 2.1.1 계단 설계

계단의 구성 중 수직보행의 동작에서 가장 높은 사고율과 위험성이 일반적으로 계단의 단 높이(Riser)와 단 너비(Tread)의 비합리성에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>. 계단을 설계하는 방법은 여러 가지가 있으나, 보행자의 보폭을 기준으로 하는 경우 평균보폭을 73 cm로 고려하고 경사가 가파를수록 보폭은 짧아지는데 약 20° 경사에서 63 cm로 감소한다. 이를 기준으로 할 때 계단의 단 높이×2+단의 너비=63 cm일 때 계단을 이용하는 사람의 보행이 안정적이라는 것이며, 단의 높이가 17 cm인 경우, 단의 너비는 29 cm 이어야 한다. 계단에서의 수직보행은 평평한 곳에서의 보행보다 평균적으로 7배 높은 에너지를 소비하기 때문에 꼭 준수되어야 한다.

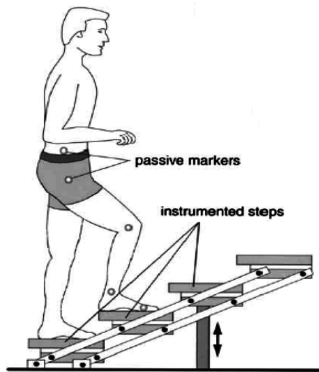


Fig. 1. The man of climb stairs.

#### 2.1.2 Wireless insole system

Insole System은 Storage Device에 센서를 연결하고 측정된 데이터를 SD Card로 저장하는 방식이다. 이때 SD card에 저장된 데이터는 별도의 software에서 reading하여 분석할 수 있다. SD card의 경우는 Secure digital card의 약자로 플래시 메모리카드이며, 안정적이고 높은 저장 능력을 갖고 있다.

분석프로그램은 Insole System application software Ver.3.1로 .dat 파일로 얻어진 데이터를 ‘.txt화’ 시켜 좌표식으로 저장되거나 그래프형식으로 나타낼 수 있다. 특히 COP(Center of pressure)은 압력 중심 값으로 보행평가에 있어서 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 일반적으로 혈의 중심에서 시작하여 엄지와 검지 발가락 사이로 궤적을 그리며 걷는 것이 이상적이라

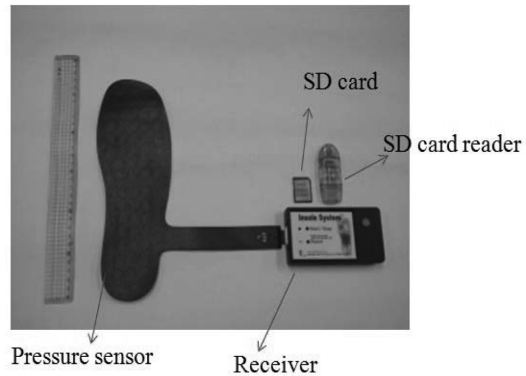


Fig. 2. Wireless insole system.

고 한다. 나타나는 성향은 두 가지가 있는데 (1) 발의 외전(外轉)은 전족부의 외측 압력 편중 현상과 COP 궤적을 보고 종합적으로 판단하는 방법이 바람직하며, 이를 외전 또는 Severe supination으로 판정한다. (2)는 발의 내전(內轉)으로 후족부의 내측압력 편중 현상과 COP 궤적을 보고 종합적으로 판단하는 방법이 바람직하며, 이를 발의 내전 또는 Severe pronation으로 판정한다.

#### 2.1.3 EMG system

근전도를 측정하기 위해서 Laxtha의 8채널 무선 근전도 측정 시스템을 사용하였다. 이는 기존 제품과는 다르게 소형화 된 사이즈로 이동이 쉽고, 원하는 장소에서 측정이 가능하며 측정거리는 반경 30 m이다. 타이머와 샘플링 주파수, 채널 수와 증폭도 선택이 가능하다.

근전도 시스템을 이용하여 계단 보행에서의 오르기 동작 시에 정상상태와 침묵 보행일 때, 경직성 뇌성마비 장애인의 보행 상태 세 가지 경우에서의 근전도를

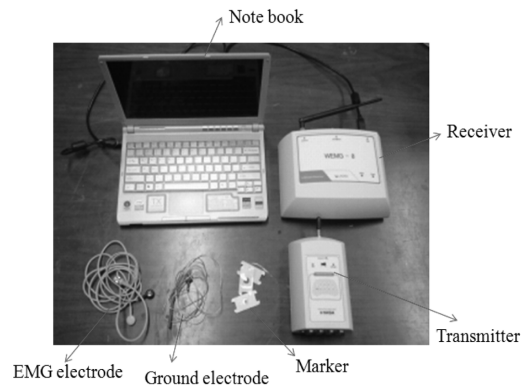


Fig. 3. EMG(electromyogram) system.

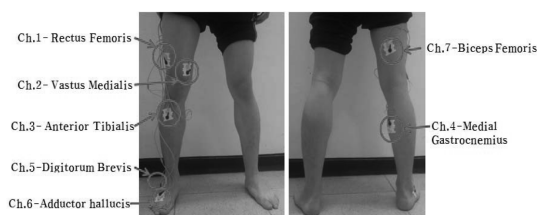


Fig. 4. EMG sensor attachment location.

측정한다<sup>2,3</sup>. 근전도는 Fig. 4와 같이 채널1-대퇴직근(Rectus Femoris), 채널2-경측광근(Vastus Medialis), 채널3-앞경골근(Anterior Tibialis), 채널4-장딴지근(Gastrocnemius) 채널5-발가락굽힘근(Digitorum Brevis), 채널6-엄지의외항근(Adductor hallucis), 채널7-대퇴두갈래근(Biceps Femoris)으로 하지의 주요 근육의 근전도 신호를 측정하였다. 평소 보행과정에서는 발뒤축접지기(Heel contact)에 대퇴두갈래근, 외측넓은근, 앞경골근이 활성화된다. 중간입각기(Mid stance)에 대퇴두갈래근, 외측넓은근, 앞경골근은 점점 비활성화되고 장딴지근이 활성화된다. 그리고 발가락 들림기(Toe off)에 발등을 굽히기 위해 다시 앞경골근이 활성화되고 중간유각기(Mid swing)부터 대퇴두갈래근과 외측넓은근이 활성화 된다.

근전도 측정을 위하여 전극 부착 부위의 제모와 에틸 알콜 소독을 시행한 후 표면 전극(Red Dot, 3M, St. Paul, USA)(직경 11.4 mm, 전극테 직경 20 mm, 350배 증폭, 그리고 3 db 대역여과)을 부착하였다. 전선의 움직임에 의한 잡파를 제거하고 전극이 피부에 잘 부착되도록 하기 위하여 테이프와 탄력밴드를 사용하여 전선과 전극을 고정하였다. 접지전극은 근육의 움직임이 가장 적은 목덜미 중간부분에 부착하였다. 근전도 신호의 표본 추출률(Sampling rate)은 1024 Hz, 증폭률은 1785이다. 전기신호에 의한 잡음을 제거하기 위하여 60 Hz 노치 필터를 사용하였다. 근전도 신호는 Telescan 2.89 소프트웨어(Laxtha, Daejeon)를 통해 디지털 처리되었다.

2.1.4 실험대상

실험 대상자는 정상인과 장애인으로 나뉘 선별하였는데 정상 실험 대상자는 최근 6개월 내에 하지에 정형외과적 이상 소견이 없는 20대의 성인 남자 5명으로 현재 신체 전반적인 불편감이 있거나 통증을 호소하는 사람, 정신과적 문제가 있는 사람은 연구에서 제외시켰다. 장애인의 경우는 유성구장애인종합복지관에서 재활치료를 받고 있는 20대의 성인 남자 3명으

로 현재 경직성 뇌성마비 장애를 겪고 있어 침족 변형으로 인한 비정상적인 보행특성을 갖고 있다. 피험자의 신체적 특성은 다음과 같다.

Table 1. Feature of normal subjects (M: mean, SD: standard deviation)

Properties	Age (yrs.)	Height (cm)	Weight (kg)	Foot size (cm)
Subjects				
M	27.5	176.9	75	275.5
SD	3.5	4.8	11.3	7.8

Table 2. Feature of spastic cerebral palsy subjects (M: mean, SD: standard deviation)

Properties	Age (yrs.)	Height (cm)	Weight (kg)	Foot size (cm)
Subjects				
M	22.5	167.4	64	270.5
SD	0.5	2.5	5.7	6.1

3. 실험조건

3.1 정상인의 상향 계단 보행(Normal stair walking)

본 연구에서는 상향 계단 보행만을 분석하므로 피험자가 하향 계단 보행할 때의 보행분석 실험은 수행하지 않았다. 시험 전 직립자세 및 걷기의 대해 자세한 교육과 연습을 충분히 실시하였다. 연속적인 측정으로 계단 보행 시에 발생할 수 있는 근 스트레스를 최소화하는 방법으로 각 실험 후 5분간 휴식을 하도록 하여 실험을 수행하였다.

3.2 일시적인 비정상 침족 상향 계단 보행(Tiptoe stair walking)

상향 계단 비정상 침족 보행(Tiptoe walking)은 발뒤꿈치부터 바닥에 닿은 후에 발가락이 내려오는 정상적인 보행과 달리, 발뒤꿈치는 바닥에 닿지 않고 발가락 끝만 이용하여 걷는 걸음걸이를 말한다. 정상인인 경우에 대부분의 사람들은 상향 계단보행 시에 침족 보행을 습관적으로 한다. 실험은 10회 후 평균값으로 통계 낸 값이다.

3.3 경직성 뇌성마비 장애인의 비정상 상향 계단 보행

유성구장애인종합복지관에서 재활치료를 받고 있는 20대의 성인 남자 3명으로 현재 경직성 뇌성마비 장애를 겪고 있어 침족 변형으로 인한 비정상적인 보행특성을 갖고 있다. 실험 대상자와 보호자에게 실험

기기에 충분한 설명을 한 후 장비를 착용하고 계단 보행 시험을 수행하였다. 뇌성마비 환자 침족 보행의 X-ray 사진으로 뇌성마비 환자의 침족 보행을 확인할 수 있다.

### 4. 실험 결과

#### 4.1 Wireless Insole System 결과에 따른 보행 특성 분석

##### 4.1.1 지면반력과 보행시의 Foot Scan 영상

Fig. 5는 지면 반력을 받을 때 Foot Scanning을 한 모습이다. 정상상태일 때는 발의 모든 근-골격 부분을 사용하기 때문에 발의 모양대로 형태가 나타난 것을 알 수 있다. 일시적인 Tiptoe State는 발가락으로 온몸의 무게를 지탱하여 걷기 때문에 발이 앞으로 쏠리는 형상으로 색이 표현된다. 경직성 뇌성마비는 왼쪽 하지와 발끝에 힘을 주어 근육을 긴장시키고 오른쪽 하지로 지지하듯이 계단을 상향보행하기 때문에 왼쪽 보다는 오른쪽에 더 큰 지지반력이 생긴다는 것을 알 수 있다. 실험 데이터는 0.025초 간격(40 Hz)으로 측정되었으며, 계단 보행 시 정상상태에서의 평균 지면반력은 오른쪽 하지 중심으로 최대값이 212 N ( $\pm 30$  N)이다. Tiptoe State에서의 평균 지면반력은 오른쪽 하지 중심으로 최대값이 74.92 N ( $\pm 25$  N)이다. 경직성 뇌성마비장애인의 경우인 평균 지면반력은 217.627 N ( $\pm 43$  N)이다.

COP는 지지되는 오른쪽 발부분에서의 압력중심 위치를 나타낸다. X, Y 축 값으로 데이터를 추출할 수 있으며 순서대로 좌표 값을 나타내었을 때 X, Y 값이

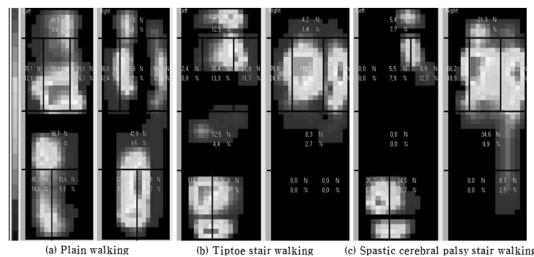


Fig. 5. Foot scanning aspect & GRF.

Table 3. Coordinates of COP (mm)

State \ Axis	Normal stair walking	Tiptoe stair walking	Spastic cerebral palsy stair walking
x	20.57	11.29	28.56
y	72.29	30.82	88.89

작을수록 발의 압력중심위치가 앞으로 기울어져 있다는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 EMG 결과에 따른 보행 시 근육 특성 분석

##### 4.2.1 RMS(Root Mean Square)

상향 계단 보행에서의 근 활성화도는 Fig. 6과 같이 제곱평균제곱근(Root Mean Square) 값으로 비교할 수 있다. 평지보행과 계단보행을 비교하였을 때 계단 보행 입각 시부터 대퇴직근의 근활성도가 가장 높게 나타났으며 대퇴직근과 함께 무릎 슬개 관절을 감싸고 있는 경측광근과 앞경골근에서의 근육 활성화도는 상향 계단 보행 시에 신전(Extension)과 굴곡(Flexion) 동작이 반복되어 근활성도가 높아짐을 알 수 있다. 특히 평지보행일 때 보다 일시적으로 보행을 하게 되는 침족 보행인 경우 채널 4번인 장딴지 근육의 활성화도가 높아짐을 알 수 있다. 또한 침족 보행 시에 발의 근육 중에서 뒤꿈치를 들면서 굽히게 되는 채널 6번의 엄지외향근의 근활성도도 활발해 짐을 알 수 있다. 경직성 뇌성마비 장애인의 경우는 일시적인 비정상보행인 침족 보행과 비슷한 양상을 띠고 있으나 상대적으로 근육이 활성화 되는 값은 일시적인 침족 보행보다는 작은 값을 갖고 있는 것을 알 수 있다.

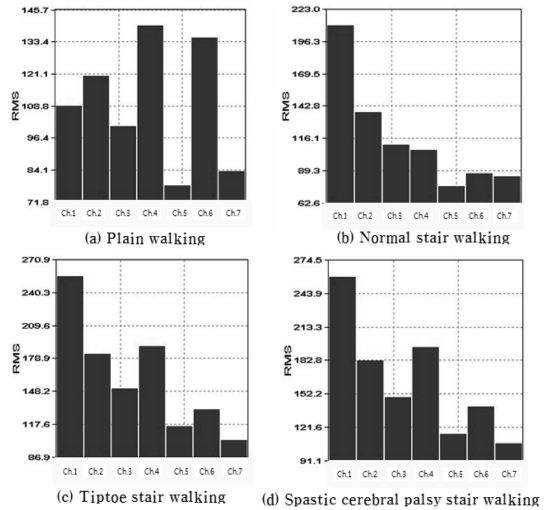


Fig. 6. RMS of 3-condition.

##### 4.2.2 Maximum Muscular Contraction

Fig. 7은 근육의 최대 활성을 알아보기 위한 MMC(Maximum Muscular Contraction) 그래프 결과로 평지보행의 경우와 비교하였을 때 상향계단보행의 경우는 전체적으로 대퇴직근의 근육의 긴장도가 커짐을 알 수 있다. 비정상보행인 일시적인 침족 보행과 경직

성 뇌성마비 장애인의 보행인 경우에는 비슷한 양상의 그래프가 나타났으나 상대적인 수치 비교에서는 일시적인 침족 보행인 경우 근수축이 더 확실하게 일어나고 값이 크다는 것을 알 수 있다. 채널 4의 장딴지근이 비정상보행인 경우에 크게 근수축을 하고 있으나 경직성 뇌성마비 장애인의 보행인 경우에는 양쪽이 침족 보행인 경우보다 왼쪽하지에서 지지하고 있는 오른쪽 부분에서의 근육 힘이 분산되어 오른쪽 하지의 장딴지근수축정도가 침족 보행인 경우보다 작아짐을 알 수 있다.

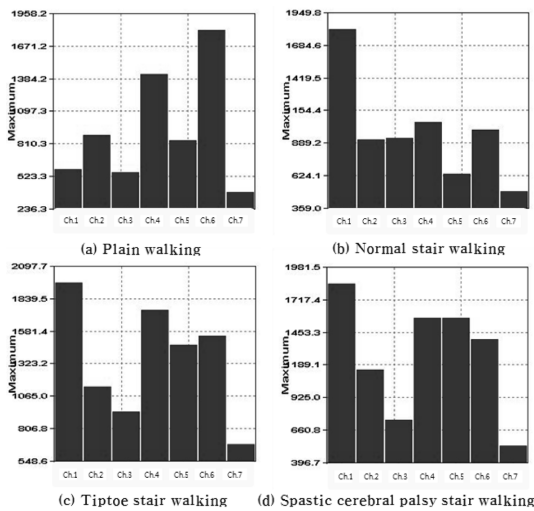


Fig. 7. MMC of 3-condition.

4.2.3 Power Spectrum

파워스펙트럼을 위한 값은 원 신호의 제곱의 합과 푸리에 변환을 거친 신호의 제곱의 합과 같다. 이때 원 신호제곱의 합 또는 푸리에 변환의 합은 총 파워값(Total power)으로 본 연구에서의 파워스펙트럼은 근육의 활성화에 따른 근피로도를 나타낸다. 계단 보행 정상상태에서 입각기에 대퇴직근의 근피로도가 가장 높은 것으로 나타난다. 침족 보행에서는 근육이 일시적으로 수축되기 때문에 전체적인 근육의 순간적인 근피로도가 나타남을 알 수 있다. 특히 장딴지 근에서의 근피로도는 다른 상태에서의 근피로도보다 같은 시간(0~5 sec) 사이에 활성화가 지속됨을 알 수 있다. 경직성 뇌성마비 장애인의 보행에서는 가장 근육의 활성화 지속시간이 길고 각 채널의 근육의 수축이 가장 심한 것으로 나타난다. 특히 하지 허벅지 뒤쪽 근육인 대퇴두갈래근에서의 수축이 가장 크므로 다른 상태의 보행일 때보다 근육이 긴장된 상태로 보행이 진행되고 있음을 알 수 있다.

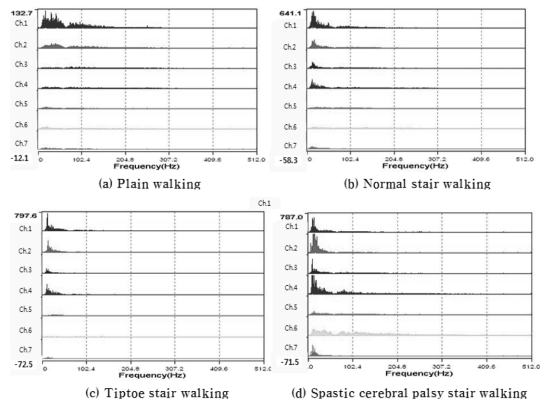


Fig. 8. Power spectrum of 3-condition.

5. 결 론

본 연구에서는 의족개발을 위한 연구와 슬개 관절 통증 분석의 공학적 데이터를 제시하기 위해서 20대 청년의 정상 및 비정상 계단보행특성에 따른 하지의 운동역학적 분석을 위해 계단 보행시의 정상상향보행과 일시적인 비정상 침족 계단 상향 보행 그리고 경직성 뇌성마비 장애인의 침족 보행인 비정상 침족 계단 상향 보행 상황에서의 근-골격 인체의 하지 부분을 족저압 측정 시스템인 Wireless Insole System과 근전도 측정 시스템인 EMG System을 이용하여 이를 운동역학적 분석 하는 것이며 다음과 같이 분석 결과를 확인하였다.

- 1) Wireless Insole System을 이용하여 지면반력과 보행시의 Foot Scan 양상, 구역별로 분산된 지면반력을 통하여 정상 계단 상향 보행과 일시적인 비정상 침족 상향 계단 보행, 경직성 뇌성마비 장애인의 비정상적인 침족 상향 계단 보행에서의 지지되는 발의 부분을 알 수 있었다.
- 2) EMG System을 이용하여 제곱평균제곱근(root mean square) 값과 근육의 최대 활성을 알아보기 위한 Maximum Muscular contraction 값, Power Spectrum은 근육의 활성화에 따른 근피로도를 나타냄으로써 정상 상향 계단 보행과 일시적인 비정상 침족 상향 계단 보행 그리고 경직성 뇌성마비 장애인의 비정상 상향 계단 보행시의 근육 특성에 대해 비교했다.
- 3) 뇌성마비 환자의 침족 보행 시에는 뒤꿈치 지방 패드에 힘이 주로 걸리면서 체중이 좀 더 좋은 부위에 집중되어 걸리며 걸을 때는 거골하관절(후족부)의 운동이 제한되고 거골하관절과 수직 족관절이 강직상태에 있음을 확인했다.

4) 정상인이 계단 보행을 위해 일시적으로 사용하게 되는 침족 보행은 경직성 뇌성마비 장애인이 흔하게 겪는 질병인 비정상적인 침족 보행보다 더 많은 근육의 활성화와 피로도를 갖고 더 큰 지면 반력과 무게중심이 무너질 수 있는 COP를 나타내고 있음을 확인했다.

### 참고문헌

1. Bergmann, G., Graichen, F. and Rohlmann, A., "Is Staircase Walking a Risk for the Fixation of Hip Implants," *Journal of Biomechanics*, Vol. 5, pp. 535-553, 1995.
2. Ki, S. J., "EMG Activities on the Lower Limb Muscles during Power Walking and Normal Walking," 한국운동역학회 2004 추계학술대회 논문집, 2005.
3. Kwon, C. K., "The Comparative Analysis of Kinematic and Emg on Power Walking and Normal Gait," *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 16, No. 2, pp. 85-95, 2006.
4. Cohen, H. H. and Templer, J., "Analysis of Occupational Stair Accident Patterns," *Journal of Safety Research*, Vol. 16, No. 4, pp. 178-181, 1985.
5. Zachazewski, J. E., Riley, P. O. and Krebs, D. E. "Biomechanical Analysis of Body Mass Transfer during Stair Ascent and Descent of Healthy Subjects," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, Vol. 30, pp. 412-22, 1993.
6. Lee, K. and Kwon, B. W., "Efficient Modeling Method of Sheet Objects," *Proc. ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, CA, Vol. 1, pp. 437-446, August 2-3, 1992.



**김 영 지**

2009년 충남대학교 기계설계공학과 학사  
2011년 충남대학교 기계설계공학과 석사  
2011년 현재 GM Korea  
관심분야: CAE, BioMedical Applications



**이 영 신**

1950년 생  
1977년부터 충남대학교 기계설계공학과 교수로 재직 중이다. 주요관심분야는 셀구조해석, 내충격구조해석, 최적설계이며, 인체모델링과 이의 응용기술 개발에 관심을 두고 있다. 충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단장 및 산업대학원장을 역임하였다. 대한기계학회 고체역학 부문(현 CAE 및 응용역학부문) 회장과 총무이사를 역임하였으며, 현재 대한기계학회 감사를 맡고 있다.



**김 창 원**

2011년 충남대학교 기계설계공학과 학사  
2011년 현재충남대학교 대학원 석사과정  
관심분야: CAE, BioMedical Applications