



## 계단보행 시 계단 너비가 지면반력 파라미터에 미치는 영향 -비대칭 지수 및 일관성 지수-

### The Effect of Stair Depth on Ground Reaction Force Parameters - Asymmetric and Variability Indices -

윤석훈\*(한국체육대학교)

Yoon, Suk-Hoon\*(Korea National Sport University)

#### 국문요약

본 연구는 계단 보행 중 연속적인 두 스텝의 3차원적 지면반력 파라미터를 제공하고, 계단의 너비에 따른 지면 반력 파라미터의 차이 및 비대칭성과 일관성을 규명하는데 있다. 10명의 성인 대상자가 본 실험에 참여하였으며, 각 10번의 평지, 상향 및 하향보행을 3가지의 다른 너비의 계단에서 실시하였다. 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 계단의 너비는 대부분의 지면반력 파라미터들의 패턴이나 일관성, 비대칭지수에 영향을 미치지 않았다. 둘째, 평지 보행과 계단보행은 지면반력 파라미터의 패턴에서 큰 차이를 보였다. 평지보행과 상향보행은 Fz1, Fz2, 그리고 Fz3로 구성되는 "M" 형태를 보인 반면에 하향보행에서는 Fz2가 거의 없고 큰 Fz1과 작은 Fz3로 구성된 패턴을 보였다. 또한 계단 보행은 평지보행과 매우 다른 전·후 지면반력 패턴을 보였다. 즉 상향보행은 Fy1이 존재하지 않는 패턴을, 하향보행은 Fy2가 존재하나 매우 작은 크기를 보였다. 셋째, 계단보행의 수직 지면반력 파라미터들은 적용가능한 일관성 지수 및 비대칭 지수를 나타내었다.

#### ABSTRACT

S. H. YOON, The Effect of Stair Depth on Ground Reaction Force Parameters - Asymmetric and Variability Indices -. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 18, No. 1, pp. 169-178, 2008. The goals of this study were to provide data of 3 dimensional ground reaction force(GRF) parameters during stair ascent and descent on three different stair runs and to investigate variability and asymmetry index of them. 10 healthy adults participated in this study and performed 7 different types of gait with 10 trials each. After data analysis, following results were found. Firstly, stair run did not affect on the pattern of GRF parameters, coefficient of variation and asymmetry index. Secondly, a significant different GRF pattern was found between level walking and stair walking. Especially, ascending stair walking has only large Fz1 and small Fz3 while level walking and descending stair walking have a "M" shape connected by Fz1, Fz2 and Fz3. Thirdly, only vertical GRF parameters of stair walking revealed acceptable coefficient of variation and asymmetry index.

KEYWORDS : STAIR RUN, ASCENDING, DESCENDING, VARIABILITY, ASYMMETRY INDEX, WALKING

## I. 서론

역학분야에서 움직임 분석을 하고 규명하는데 있어서 지면반력(GRF) 자료는 매우 중요한 요소이며, 크게 두 가지의 용도로 사용 되어 왔다. 첫째, inverse dynamic 모델을 이용하여 움직임중의 관절 주위의 근육군의 역할(노력)을 알아내기 위한 관절모멘트나 힘을 구할 때 운동학적 자료들과 동조하여 이들을 구하는데 사용되었다. 둘째, 지면반력 파라미터 그 자체의 패턴 분석을 통하여 정상인과 비정상인, 또한 훈련전후의 비교를 하는데 사용되었다. 특히 Giakas & Baltzopoulos(1997)는 지면반력 패턴 그 자체를 비교할 때는 지면반력의 증감이나 변화를 시간변화에 따라(i.e. force-time pattern) 분석하는 것이 중요하다고 보고하였다.

평지보행은 역학분야에서 가장 활발한 연구 과제중의 하나이며, 이들 중의 많은 연구가 보행 중에 나타나는 지면반력 파라미터의 정립이나 형태의 해석에 대하여 행하여져 왔다(Winter, 1991; Perry, 1992). 이러한 연구들 중 특히 보행 비대칭(gait asymmetry)이나 일관성(variability)에 대한 연구(Herzog, Nigg, Read & Olsson, 1989; Giakas & Baltzopoulos, 1997; MaCroy, White & Lifeso, 2001; Kadaba et al., 1989; Yu, Kienbacher, Grownney & Johnson, 1997)가 관심을 받아 왔으며, Kadaba et al.(1989) 과 Yu et al.(1997)은 평지보행에서 지면반력 파라미터는 매우 일관적인 값을 나타낸다고 보고하였다.

인간이 행하는 보행중 하나인 계단보행(상향, 하향)은 평지보행과 다르게 몸의 균형을 유지하면서 반복적인 수평운동과 수직운동이 동시에 행하여지는 여러 보행 형태 중 가장 어려운 보행이라고 할 수 있다. 이런 계단보행은 평지보행과 더불어 인체의 이동수단으로 빈번히 사용되고 있으며, 지지하는 발의 이동이 교차적으로 반복된다는 점과 양발 지지기가 있다는 점에서 평지보행과 유사하지만, 인체의 가속으로 인한 충격량의 크기와 유형이 다르게 나타난다는 점과 경사에 따라 하지분절이 발휘하는 힘의 특성이 달라진다는 점에서 평지보행과 크게 다르다(정남주, 2002; 전현민 2008). 또한 계단은 종종 장애물로 고려되어지며 노인

낙상이 빈번히 일어나는 주된 환경중 하나로 보고되고 있다(Archea, 1985; Startzell, 1998).

최근에 대부분의 계단보행에 대한 연구를 살펴보면 운동학적 데이터나, 관절 모멘트와 EMG 결과 등만을 보고하고 있을 뿐(Kristina & Cavanagh, 2002; Lobo & Amadio, 1995; Riener, Rabuffetti & Frigo, 2002; Savvidis & Decken, 1999; 김유신, 김은정, 서충진, 2006; 은선덕, 이기광, 2004; 은선덕, 이영석, 2004; 은선덕, 유연주, 이종훈, 2007) 지면반력 파라미터에 대한 결과는 보고되고 있지 않다. 지면반력의 크기는 관절모멘트의 크기에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중의 하나로서 계단보행 시 그 크기의 변화를 관찰하는 것은 관절모멘트의 해석에도 도움을 줄 수 있는 중요한 자료로서 의미가 있다고 하겠다.

더불어 보행 중 지면반력 파라미터의 일관성과 대칭성은 안정된 보행을 수행하는데 매우 중요한 요소이다. Giakas & Baltzopoulos(1997)는 10명의 성인을 대상으로 평지보행 시 지면반력 파라미터의 일관성과 대칭성에 대한 연구를 수행하였다. 연구자들은 그들의 연구에서 수직지면반력(Fz)이 전후(Fy), 좌우(Fx)지면반력에 비하여 좀 더 일관적이고 대칭적인 형태를 보였다고 발표하였으며(비대칭 지수: Fz: 3.5%, Fy: 8.6%, Fx: 20.1%; 일관성 지수: Fz: 4%, Fy: 12%, Fx: 21%), 평지보행에서 적용할 수 있는 비대칭 지수는 10% 미만이라고 보고 하였다.

또한 White et al.(1999)은 아이들을 대상으로 한 평지보행 시 지면반력 파라미터의 연구에서 Giakas & Baltzopoulos 등의 연구보다 좀 더 높은 비대칭 지수와 일관성 지수를 보고하였고(비대칭 지수: Fz: 9.1%, Fy: 16.7%, Fx: 36.1%; 일관성 지수: Fz: 10.8%, Fy: 16.5%, Fx: 37%) 평지보행에서 적용할 수 있는 일관성 지수는 12.5% 미만이라고 보고하였다. 그러나 위의 연구들은 비대칭성 지수의 계산에서 적지 않은 문제를 내포하고 있다. 즉 위의 연구들은 지면반력을 획득할 때 한 대의 지면반력기만을 이용하였기 때문에 실제로 보행이 일어나는 연속적인 두 스텝을 이용하지 못하였고, 독립적으로 왼발 오른발의 지면반력을 획득한 후 비교하였다.

지금까지 수행된 보행연구들을 살펴보면, 평지보행에 비하여 계단보행에 대한 연구는 극히 한정되어 있

으며, 특히 계단보행 중 발생하는 지면반력 파라미터에 대한 연구는 극히 미비한 실정이다. 그러므로 계단보행의 지면반력 파라미터들이 평지 때와 같은 형태를 보일 것인지 또한 그 값이 변이성이 적은 일관적인 값을 보일 것인지를 알아보는 것은 매우 의미 있는 일이라 할 수 있겠다.

전현민(2008)은 현재 우리나라의 계단너비의 규격과 성인 발 크기가 맞지 않아(건축법에 명시되어있는 계단너비는 26cm 이상, 한국인 25-29세의 남자의 발 치수는  $252.7 \pm 10.3\text{mm}$ ) 계단을 오르고 내릴 때 낙상이 위험이 크다고 보고하였다. 그는 공간의 효율성을 위하여 결정된 법적 계단 너비는 현재 대한민국 성인의 발 크기를 고려하지 않은 것으로, 낙상을 방지하기 위해서는 계단의 너비를 증가시키는 것이 필요하다고 보고하였다.

본 연구의 목적은 계단보행 중 연속적인 두 스텝의 3차원 지면반력 파라미터를 제공하고, 계단의 너비에 따른 지면반력 파라미터의 차이 및 비대칭성과 일관성을 규명하는데 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

이 실험 연구에는 근신경학적, 정형외과적 병력이 없는 10명의 건강한 성인남자(평균 신장:  $178.1 \pm 2.7\text{cm}$ ; 평균 체중:  $77.9 \pm 15.6\text{kg}$ ; 평균 연령:  $28.6 \pm 1.5\text{yrs.}$ ; 평균 발 치수:  $275 \pm 6.7\text{cm}$ )가 실험의 목적 및 중요성과 실험 절차에 대한 충분한 이해를 바탕으로 자발적인 실험참여 동의를 제출한 뒤 참여하였다.

### 2. 실험방법

이 실험에서 평지보행과 계단보행의 연속적인 두 스텝의 지면반력 파라미터를 구하기 위하여 사용된 실험 도구는 지면반력기 2대(Kistler 9286A)와 직접 제작한 5단 높이의 계단이였다. 또한 보행속도를 산출하기 위

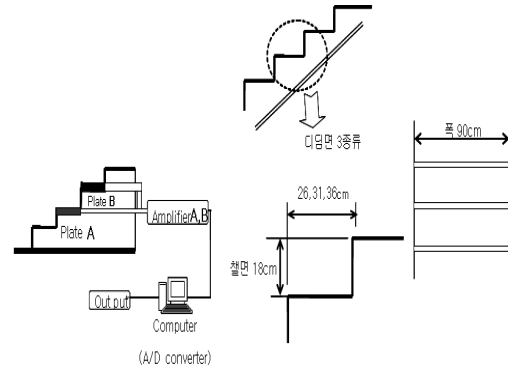


그림 1. 계단의 구성

하여 좌·우 뒤꿈치(heel), 앞꿈치(toe), 외과(lateral malleolus)에 반사마커를 부착하였고, 이는 보행구간의 공간좌표 설정 후, Qualisys사의 Proreflex MCU 240 적외선 카메라 2대로 촬영되었다. 지면반력은 초당 1000Hz로 샘플링(sampling) 되었으며, 평지보행에는 10m의 보행로 중간지점에 설치하였고, 계단보행에서는 세 번째와 네 번째 계단에 설치하였다. 계단의 구조는 건축법에서 제시하고 있는 계단높이 18cm, 최소 너비 26cm, 최소 폭 90cm를 준수하여, 너비를 달리한 세 가지 종류(26cm, 31cm, 36cm)의 계단을 지면반력기에 맞게 설계하였다<그림 1>.

본 실험에 앞서 충분한 워업(warm up)을 실시하였으며, 그 후에 각 연구대상자는 평지보행과 3개의 다른 너비의 계단의 상향보행, 하향보행을 10번씩 총 70번의 보행을 자신의 선호속도로 실시하여, 총 700 트라이얼(70 x 10)이 획득되어 본 연구의 분석에 사용되었다.

### 3. 자료 산출 및 계산 방법

#### 1) 자료산출

자료의 분석범위는 왼발 발뒤꿈치 착지에서 다음 번 왼발 발뒤꿈치 착지까지의 보행주기로 하였다. 이중 지면반력 자료는 각 각의 발이 지면반력기를 지지한 연속적인 두 스텝으로 하였으며, 보행속도는 보행주기가 걸린 시간으로 계산하였다.

각기 다른 보행으로부터 획득된 지면반력 자료는 2계수 Butterworth 저역 통과 필터를 사용하여(차단 주

파수 6.0Hz) 필터링 되었으며, 이를 전·후 2번 반복해 phase lag을 제거함과 동시에 필터의 성능을 4계수 수준으로 향상시켰다. 그 후 지면반력 파라미터, 일관성 지수 및 비대칭 지수를 Matlab 6.5 프로그램을 이용하여 계산하였다.

### 2) 지면반력 파라미터의 계산

지면반력 파라미터는 각 발이 지면반력기에 지지하는 구간에서 계산되었으며, 그 내용은 <그림 2>에 설명되어 있다.

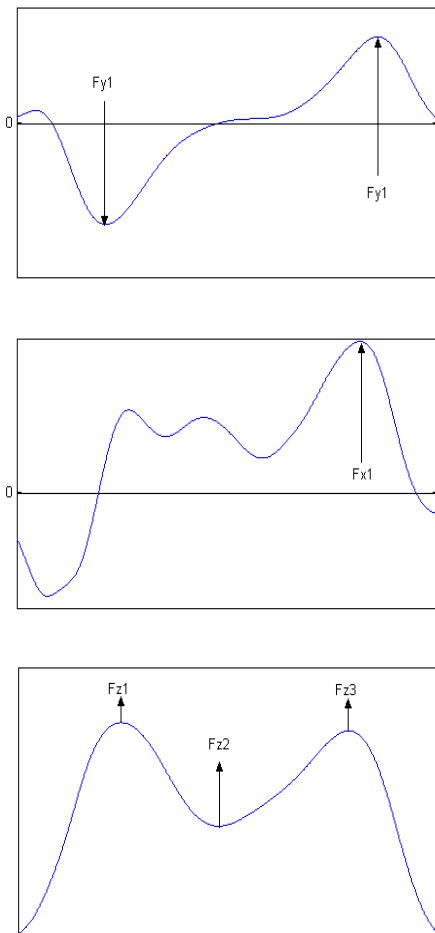


그림 2. 전후(위), 좌우(중간), 수직 지면반력도식(Fy1: 최소 전후 지면반력, Fy2: 최대 전후 지면반력, Fx: 최대 좌우 지면반력, Fz1:제1 최대 수직 지면반력, Fz3: 제2 최대 수직 지면반력, Fz2: Fz1과 Fz2구간의 최소 지면반력(transition peak)).

### 3) 일관성 지수의 계산

일관성 지수(coefficient of variation, CV)는 Winter 공식(Winter, 1983)을 사용하였다.

$$CV(\%) = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2}} \times 100$$

단,  
 $n$  - 샘플수  
 $\sigma_i$  -  $i$  번째 샘플의 표준편차  
 $\bar{X}_i$  -  $i$  번째 샘플의 평균

CV는 0 일 때, 완전일치를 나타내며, 값이 커질수록 일관성이 적어짐을 나타낸다.

### 4) 비대칭 지수의 계산

비대칭 지수(asymmetry index, AI)는 Robinson 공식(Robinson et al., 1987)을 사용하였다.

$$AI(\%) = \left| \frac{X_R - X_L}{\frac{1}{2}(X_R + X_L)} \right| \times 100$$

단,  
 $X_R$  - 오른발에서 측정된 변인  
 $X_L$  - 왼발에서 측정된 변인

AI= 0 일 때, 완전 대칭을 나타내며, AI의 값이 커질수록 비대칭이 커짐을 나타낸다.

### 4. 통계 처리

본 연구의 목적을 수행하기 위하여 SPSS 11.0을 이용한 반복 이원변량분석(two-way ANOVA with repeated measure)을 실시하였다. 두 가지 독립변인들은 보행의 형태(상향, 하향)와 계단의 너비(26cm, 31cm, 36cm)였으며, 독립변인들 사이에 유의한 상호작용 발견 시, Sidak test로 검증하였다. 본연구의 통계적 유의

수준은  $\alpha = .05$ 로 하였다.

### III. 결과 및 논의

#### 1. 보행속도

본 실험에서는 실험대상자들은 7 가지의 다른 조건에서 보행을 선호속도로 10번씩 수행하였다. 전체 실험대상자들의 평균 보행속도는 평지보행 속도가 가장 빠르게 나타났으며(1.54±0.09m/s), 그 다음으로 하향보행(너비 26cm: 0.54±0.08m/s; 너비 31cm: 0.64±0.07cm; 너비 36cm: 0.71±0.1m/s), 그리고 상향보행(너비 26cm: 0.51±0.08m/s; 너비 31cm: 0.56±0.07cm; 너비 36cm: 0.64±0.8m/s)의 순서였다.

#### 2. 지면반력 패턴 및 파라미터

보행의 형태에 따른 지면반력의 패턴과 지면반력 파라미터들은 <표 1>과 <그림 3-5>에 나타나 있다. 지면반력 파라미터 결과는 양발 모두 제시되고 있으며, <표 1>에 나타나 것과 같이 왼발과 오른발은 거의 유사한 지면반력 파라미터의 결과를 보이고 있다.

본 연구에 앞서 연구자는 계단의 너비가 지면반력 파라미터에 영향을 준다고 생각했다. 그러나 <표 1>에 제시된 것과 같이 Fy1 하향보행에서만 계단 너비에 의한 차이를 나타낼 뿐 다른 모든 지면반력 파라미터에서는 계단 너비에 의한 차이를 발견하지 못하였다.

일반적인 평지보행에서의 수직 지면반력은 발이 지면에 착지하면서 나타나는 제어구간에서의 최대값(Fz1)과 발의 스윙구간으로 옮겨가기 위한 추진구간에서 발생하는 최대값(Fz3), 그리고 이 두 최대값 사이에 무릎의 굴곡과 신전으로부터 기인된 transition peak라고 하는 최소값(Fz2)의 연결로 이루어지는 "M" 형태를 이룬다(Winter, 1991; Perry, 1992). 특히 Fz2는 Fz1에서 발생하는 충격을 흡수하는 역할로 상해방지에 중요하다.

<그림 3>에서 나타났듯이 상향보행은 평지보행과 거의 유사한 형태의 "M" 형태의 지면반력 패턴을 보

이고 있는 반면, 하향보행은 두 경우와 비교하여 상당히 큰 Fz1과 작은 Fz3로 구성된 패턴을 보이고 있다.

이런 현상은 중력의 영향으로 사료되며, 하향 보행시 중력가속도는 평지나 상향 보행에 비하여 큰 Fz1이 생성시키고, 이로 인하여 스윙구간으로 변환될 때 추진력이 덜 요구되고 있다고 사료된다. 또한 하향보행의 수직 지면반력 파라미터들(Fz1과 Fz3)이 평지보행이나 상향보행의 그것들과 통계적으로 유의한 차이를 보였다<표 1>. 그러나 명확하지 않은 Fz2를 보이고 있는 하향보행은 Fz1에서 발생된 큰 충격을 흡수하지 못하여 다른 두 보행에 비하여 부상의 위험을 내포하고 있다고 사료된다.

일반적인 평지보행에서 전·후지면 반력은 지면에 착지할 때 몸을 멈추려하는 braking force(Fy1)와 그 이후의 추진기에 나타나는 propulsive force(Fy2) 패턴으로 나타난다. 계단보행은 평지보행과 매우 다른 패턴을 보인다<그림 5>. 즉, 계단보행에서 보여준 전·후 지면반력 파라미터는 평지보행에 비하여 크기가 현저히 작으며, 특히 상향보행은 Fy1이 존재하지 않는 패턴을, 하향보행은 Fy2가 존재하나 매우 적은 크기를 보인다. 이런 현상은 아마도 계단보행의 특성으로 규정할 수 있을 것 같다.

즉 상향보행은 전방으로 이동하는 것이 주목적인 평지보행에 비하여 수직으로 움직임이 요구되는 보행이다. 몸을 수직으로 자연스럽게 멈추지 않고 이동시키기 위해서는 몸을 멈추려는 노력인 Fy1는 불필요할 것이다. 또한 중력가속도의 영향을 받는 하향보행에서는 평지보행에서와 같은 크기의 추진력(Fy2)이 필요 없다고 생각된다. 더불어 서로 다른 형태의 보행사이에 전·후 지면반력 파라미터는 통계적으로 유의한 차이를 보였다<표 1>. 그러나 좌·우 지면반력 패턴은 평지보행과 계단보행이 큰 차이를 보이고 있지 않았으며, 하향보행이 평지보행이나 상향보행에 비하여 큰 힘을 나타내었다.

#### 3. 일관성 지수

본 연구에서 얻어진 평지보행과 계단보행의 지면반력 파라미터들의 일관성지수는 <표 2>에 제시되어 있다.

<표 2>에서 보는 바와 같이 평지보행이 가장 일관

표 1. 평지보행과 계단보행 중 지면반력 파라미터

변인	일반													
	개단보행						오른발							
	평지보행	상향보행	상향보행	하향보행	하향보행	평지보행	상향보행	상향보행	하향보행	하향보행	하향보행			
Fz1	1.28±0.09 <sup>a</sup>	1.17±0.10 <sup>a</sup>	1.16±0.09 <sup>a</sup>	1.13±0.05 <sup>a</sup>	1.47±0.24 <sup>a</sup>	1.54±0.18 <sup>a</sup>	1.57±0.15 <sup>a</sup>	1.25±0.06 <sup>a</sup>	1.17±0.06 <sup>a</sup>	1.17±0.06 <sup>a</sup>	1.15±0.05 <sup>a</sup>	1.43±0.15 <sup>a</sup>	1.30±0.13 <sup>a</sup>	1.54±0.14 <sup>a</sup>
Fz2	0.63±0.06	0.70±0.14	0.70±0.12	0.69±0.11	0.75±0.08	0.74±0.08	0.68±0.10	0.6±0.04	0.70±0.12	0.72±0.11	0.69±0.09	0.69±0.13	0.710.09	0.710.12
Fz3	1.12±0.07 <sup>a</sup>	1.09±0.07 <sup>a</sup>	1.10±0.07 <sup>a</sup>	1.12±0.05 <sup>a</sup>	0.93±0.12	0.93±0.09	0.91±0.07	1.09±0.06 <sup>a</sup>	1.11±0.05 <sup>a</sup>	1.13±0.04 <sup>a</sup>	1.15±0.07 <sup>a</sup>	0.95±0.13	0.99±0.08	0.99±0.08
Fy1	-0.26±0.02 <sup>a</sup>	-	-	-	-0.08±0.03 <sup>d</sup>	-0.09±0.03	-0.10±0.02	-0.22±0.02 <sup>a</sup>	-	-	-	-0.07±0.01 <sup>d</sup>	-0.08±0.02	-0.10±0.03
Fy2	0.23±0.02 <sup>ab</sup>	0.12±0.02 <sup>a</sup>	0.12±0.02 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>a</sup>	0.03±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01	0.23±0.01 <sup>ab</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	0.10±0.02 <sup>a</sup>	0.10±0.02 <sup>a</sup>	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01
Fx	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.07±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01	0.07±0.01	0.04±0.01 <sup>a</sup>	0.05±0.01	0.05±0.01	0.05±0.01	0.05±0.01	0.10±0.01	0.09±0.01

a, b, c, d: 변인들 간의 통계적으로 유의한 차이 (p < .05) a: 평지보행 과 하향보행, b: 평지보행과 상향보행, c: 같은 너비의 하향보행, d 너비 26cm와 36cm

표 2. 평지보행과 계단보행 중 일관성지수

변인	일반													
	개단보행						오른발							
	평지보행	상향보행	상향보행	하향보행	하향보행	평지보행	상향보행	상향보행	하향보행	하향보행	하향보행			
Ez1	2.95±0.68 <sup>a</sup>	3.43±0.37 <sup>a</sup>	3.44±0.32 <sup>a</sup>	3.28±0.23 <sup>a</sup>	6.67±0.36 <sup>a</sup>	5.23±0.73 <sup>a</sup>	4.99±0.88 <sup>a</sup>	3.47±1.01 <sup>a</sup>	2.91±0.89 <sup>a</sup>	3.43±1.75 <sup>a</sup>	2.81±1.21 <sup>a</sup>	6.13±1.73 <sup>a</sup>	5.33±1.54 <sup>a</sup>	5.99±2.18 <sup>a</sup>
Ez2	9.16±7.42 <sup>a</sup>	9.91±7.83 <sup>a</sup>	11.3±8.65 <sup>a</sup>	6.63±6.05 <sup>a</sup>	26.35±19.14 <sup>a</sup>	29.86±22.72 <sup>a</sup>	35.89±17.73 <sup>a</sup>	11.55±9.13 <sup>a</sup>	9.16±6.33 <sup>a</sup>	11.95±12.76 <sup>a</sup>	6.53±3.78 <sup>a</sup>	24.46±20.02 <sup>a</sup>	32.11±21.52 <sup>a</sup>	32.40±14.12 <sup>a</sup>
Ez3	3.18±1.60 <sup>a</sup>	5.20±1.44 <sup>a</sup>	4.38±2.93 <sup>a</sup>	4.81±1.91 <sup>a</sup>	15.78±11.46 <sup>a</sup>	15.55±12.42 <sup>a</sup>	16.3±29.26 <sup>a</sup>	3.73±2.38 <sup>a</sup>	4.99±1.21 <sup>a</sup>	4.78±1.61 <sup>a</sup>	4.07±1.31 <sup>a</sup>	12.86±9.46 <sup>a</sup>	14.05±13.08 <sup>a</sup>	15.71±9.33 <sup>a</sup>
Fy1	7.39±2.62 <sup>a</sup>	14.02±6.83 <sup>a</sup>	15.30±7.62 <sup>a</sup>	11.54±3.72 <sup>a</sup>	40.81±10.41 <sup>a</sup>	23.73±6.22 <sup>a</sup>	19.27±6.50 <sup>a</sup>	9.15±2.47 <sup>a</sup>	13.14±7.91 <sup>a</sup>	14.94±5.14 <sup>a</sup>	15.43±9.12 <sup>a</sup>	23.36±12.21 <sup>a</sup>	18.27±7.68 <sup>a</sup>	17.40±5.12 <sup>a</sup>
Fy2	5.29±2.29 <sup>ab</sup>	29.09±31.15 <sup>a</sup>	27.92±14.24 <sup>a</sup>	24.71±2.10 <sup>a</sup>	13.46±3.97 <sup>a</sup>	10.34±2.88 <sup>a</sup>	9.93±3.73 <sup>a</sup>	4.62±1.61 <sup>a</sup>	19.19±9.97 <sup>a</sup>	14.29±5.33 <sup>a</sup>	16.21±6.13 <sup>a</sup>	53.60±31.15 <sup>a</sup>	37.49±11.45 <sup>a</sup>	36.40±18.54 <sup>a</sup>
Fx	15.09±4.46 <sup>a</sup>	14.88±2.81 <sup>a</sup>	12.30±4.88 <sup>a</sup>	13.9±2.12 <sup>a</sup>	16.42±6.51 <sup>a</sup>	17.06±6.87 <sup>a</sup>	22.11±10.80 <sup>a</sup>	16.9±15.40 <sup>a</sup>	19.6±15.31 <sup>a</sup>	16.17±4.98 <sup>a</sup>	18.03±5.88 <sup>a</sup>	15.18±4.24 <sup>a</sup>	13.89±4.14 <sup>a</sup>	17.95±3.73 <sup>a</sup>

a, b, c, d: 변인들 간의 통계적으로 유의한 차이 (p < .05) a: 평지보행 과 하향보행, b: 평지보행과 상향보행, c: 같은 너비의 하향보행, d 너비 26cm와 36cm

적인 지수를 보이고 있으며, 하향 보행이 가장 일관적이지 않은 형태를 보이고 있음을 밝혔다. 또한 모든 보행 형태에서 수직 지면반력 파라미터가 전·후와 좌·우 지면반력 파라미터보다 일관적인 형태를 보여, Giakas & Baltzopoulos(1997)의 평지보행의 결과를 지지함과 동시에 계단보행에서도 수직 지면반력 파라미터가 가장 일관적이라는 것을 입증하였다.

그러나 하향보행의 수직 지면반력의 일관성은 Fz1을 제외하고는 12.5%를 초과해 평지보행이나 상향보행에 비하여 일관성이 낮음을 나타내었다( $p < .05$ ). 또한 하향보행은 계단의 너비가 증가할수록 일관성 지수가 증가되는 패턴을 보여<표 2>, 다른 형태의 보행에 비하여 보행 시 계단의 너비가 일관성에 영향을 주고 있다고 사료된다.

#### 4. 비대칭 지수

일반적으로 평지보행은 매우 낮은 비대칭 지수(2-5%)를 나타낸다(Stacoff et al., 2005). 본 연구에서 거의 모든 지면반력 파라미터는 하향보행에서 평지보행과 상향보행에 비하여 통계적으로 유의하게 높은 비대칭 지수를 나타내었다<표 3>.

White et al.(1999)은 평지보행 연구에서 지면반력 파라미터 중에 Fz3가 가장 좌·우 대칭성이 높으며(5.73%), 그 다음은 Fz1(7.7%) 라고 보고하였으며, Fy1, Fy2, Fx는 평지보행에서조차 비대칭적인(ASI >10%) 형태를 보인다고 발표하였다.

본 연구에서 대부분의 보행은 Fz1과 Fz3의 비대칭 지수가 10% 미만으로 대칭적임을 보였다. 또한 평지보

행에서는 White et al.(1999)의 결과와 같은 결과를 보였으나, 상향보행과 하향보행의 모든 다른 너비들의 보행들이 Fz3 보다 Fz1이 더 대칭성이 높음을 보여 계단 보행과 평지보행의 차이를 나타내었다<표 3>. 그리고 통계적으로 유의하지는 않지만 모든 계단보행에서 지면반력 파라미터들의 비대칭성 지수가 계단의 너비가 넓어짐에 따라 낮아짐을 확인할 수 있었다.

## IV. 결론

이 연구는 계단보행의 3차원적 지면반력의 패턴을 규명하고, 계단의 너비에 따른 지면반력 파라미터의 차이 및 비대칭성과 일관성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 계단의 너비는 대부분의 지면반력 파라미터들의 패턴이나 일관성, 비대칭지수에 영향을 미치지 않았다.
2. 평지보행과 계단보행은 지면반력 파라미터의 패턴에서 큰 차이점을 보였다. 평지보행과 상향보행은 Fz1, Fz2, 그리고 Fz3로 구성되는 "M" 형태를 보인 반면, 하향보행에서는 Fz2가 거의 없고 큰 Fz1과 작은 Fz3로 구성된 패턴을 보였다. 또한 계단보행은 평지보행과 매우 다른 전·후 지면반력 패턴을 보였다. 즉, 상향보행은 Fy1이 존재하지 않는 패턴을, 하향보행은 Fy2가 존재하나 매우 작은 크기를 보였다.
3. 수직 지면반력 파라미터들만이 모든 보행형태에

표 3 평지보행과 계단보행 중 비대칭 지수

(단위: %)

변인	평지보행	계단보행					
		상향보행		하향보행			
		26cm	31cm	36cm	26cm	31cm	36cm
Fz1	5.40±2.02 <sup>a</sup>	4.79±2.97 <sup>c</sup>	4.49±2.34 <sup>c</sup>	4.52±1.77	9.31±3.45	8.23±3.91	6.70±2.87
Fz2	9.12±6.43 <sup>a</sup>	10.08±7.01 <sup>c</sup>	10.17±11.77 <sup>c</sup>	6.91±3.21 <sup>c</sup>	28.94±19.94	27.28±18.85	30.30±18.91
Fz3	4.34±1.81 <sup>a</sup>	6.74±2.55 <sup>c</sup>	6.49±3.40 <sup>c</sup>	5.93±2.20 <sup>c</sup>	17.43±12.80	16.76±12.24	16.75±9.34
Fy1	17.05±9.84 <sup>a</sup>	18.32±10.60 <sup>c</sup>	18.93±8.08 <sup>c</sup>	18.81±13.58 <sup>c</sup>	43.66±19.55 <sup>d</sup>	34.37±12.31	26.54±17.41
Fy2	6.92±2.41 <sup>ab</sup>	17.27±8.18 <sup>c</sup>	71.42±35.15 <sup>c</sup>	69.14±35.55 <sup>c</sup>	140.07±17.64	156.02±12.85	146.98±27.22
Fx	40.32±11.44 <sup>a</sup>	32.20±12.10	33.52±10.57	36.02±7.52	24.08±5.77	24.59±6.81	26.62±7.91

a, b, c, d: 변인들간의 통계적으로 유의한차이 ( $p < .05$ ) a: 평지보행 과 하향보행, b: 평지보행과 상향보행, c: 같은 너비의 하향보행, d 너비 26cm와 36cm

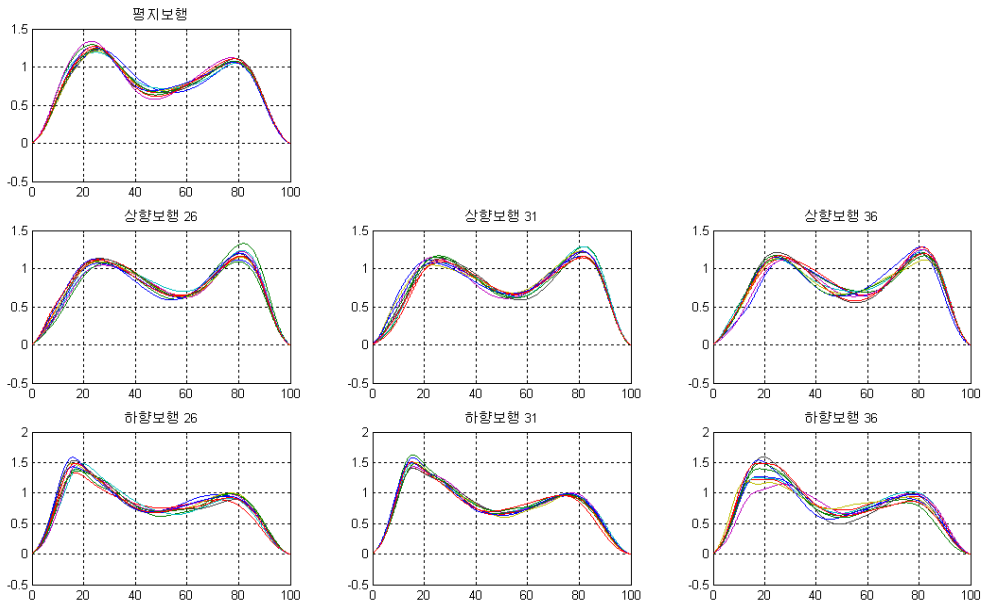


그림 3. 평지보행과 계단보행 중 지기의 수직 지면반력 패턴  
(수평축: 발의 지지기(%), 수직축: 수직 지면반력/BW. 26, 31, 36은 계단의 너비)

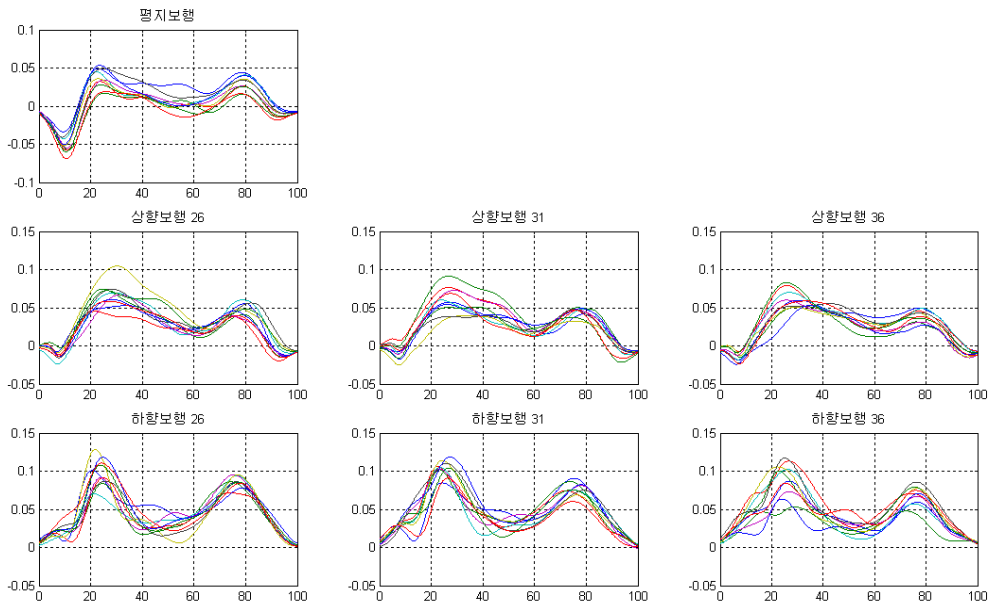


그림 4. 평지보행과 계단보행 중 지기의 좌우 지면반력 패턴  
(수평축: 발의 지지기(%), 수직축: 좌우 지면반력/BW. 26, 31, 36은 계단의 너비)



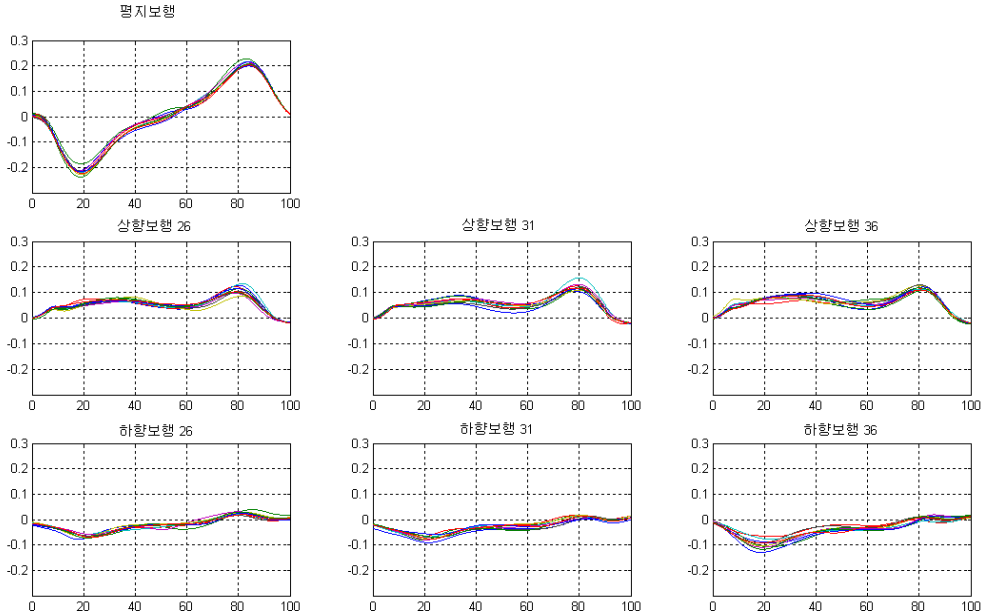


그림 5. 평지보행과 계단보행 중 지기의 전·후 지면반력 패턴  
(수평축: 발의 지지기(%), 수직축: 전·후 지면반력/BW. 26, 31, 36은 계단의 너비)

서 대칭성을 보였고, 계단보행에서는 계단의 너비가 증가할수록 대칭성이 좋아짐을 보였다.

지의 운동 역학적 분석. 미간행 석사 학위논문. 한국체육대학교 대학원.

정남주 (2002). 계단보행 시 몸통 기울기와 발 착지 유형에 따른 하지분절의 역학적 에너지 변화. 미간행 박사 학위논문. 한국체육대학교 대학원.

황인승 (1987). 스포츠바이오메카닉스, 서울: 연세대학교 출판사.

Archea, J.C.(1985). Environmental factors associated with stair accidents by the elderly. *Clin Geriatr Med*, 1, 555-69.

Giakas, G., & Baltzopoulos, V.(1997). Time and frequency domain analysis of ground reaction forces during walking: an investigation of variability and symmetry. *Gait and Posture*, 5, 189-97.

Herzog, W., Nigg, B.M., Read, L. J., & Olsson, E.(1989). Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Med Sci Sports Exerc*, 21, 110-4.

McCrary, J.L., White, S.C., & Lifeso R.M.(2001),

## 참 고 문 헌

김유신, 김은정, 서충진 (2006). 계단 오르기과 내리기 동작 시 하지분절의 보행형태 및 EMG 비교 분석. *한국체육학회지*, 45, 535-545.

은선덕, 이기광 (2004). 노인의 계단 오르기 활동시 보행 패턴에 미치는 계단높이의 효과. *한국체육학회지*, 43, 575-584.

은선덕, 이영석 (2004). 노인의 Stair-Ascent 활동시 계단 높이가 지지기 동안의 하지관절 모멘트에 미치는 효과. *한국체육학회지*, 43, 405-414.

은선덕, 유연주, 이종훈 (2007). 노인의 Stair-descent 활동 시 계단 높이에 따른 보행 패턴의 변화. *한국사회체육학회지*, 29, 443-451.

전현민 (2008). 성인 계단보행 시 계단 너비에 따른 하

- Vertical ground reaction forces: objective measures of gait following hip arthroplasty. *Gait & Posture*, 14, 104-9.
- Kadaba, M.P, Ramakrishnan, H.K., Wootten, M.E., Gainey, J., & Gorton, G., Cochran, G.V.(1989). *J Orthop Res*, 7, 849-60.
- Perry, J.(1992). *Gait Analysis, Normal and Pathological Function*. Thorofare: Slack Inc.
- Ronbinson, R. O., Herzog, W., & Nigg, B. M.(1987). Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *Journal of Manipulative Physiology Therapy*, 10, 172-176.
- Stacoff, A., Diezi, C., Luder, G., Stussi, E., & Quervain, I.A.K.(2005). Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age. *Gait & Posture*, 21, 24-38.
- Startzell, J.K.(1998). *Foot Clearance and Placement during Stair Descent: The Effect of Speed and Illuminance*. Unpublished Thesis, The Pennsylvania State University.
- Yu, B., Kienbacher, T., Growney, E.S., & Johnson, M.E.(1997). Reproducibility of the kinematics and kinetics of the lower extremity during normal stair-climbing. *J Orthop Res*, 15,348-52.
- White, R., Agouris, I., Selbie, R.D., & Kirkpatrick, M.(1999). The variability of force platform data in normal and cerebral palsy gait. *Clin Biomech*, 14,185-192.
- Winter, D. A.(1983). Moment of force and mechanical power in jogging. *Journal of Biomechanics*, 16, 91-97
- Winter, D.A.(1991). *The Biomechanics and Motor Control of Human Gait: Normal, Elderly and Pathological*. Waterloo: University of Waterloo Press.

투 고 일 : 1월 31일  
심 사 일 : 2월 4일  
심사완료일 : 3월 7일