



## 보행시 신발, 속도, 그리고 경사도에 따른 정규 저크의 차이

### The Differences of the Normalized Jerk According to Shoes, Velocity and Slope During Walking

한영민 · 최진승 · 김형식 · 임영태 · 이정환 · 탁계래\* (건국대학교)

이경옥(이화여자대학교) · 박승범(부산신발산업진흥센터)

Han, Young-Min · Choi, Jin-Seung · Kim, Hyung-Sik · Lim, Young-Tae · Yi, Jeong-Han · Tack, Gye-Rae\* (Konkuk University) · Yi, Kyung-Ok (Ewha Womans University) · Park, Seung-Bum (Korea Footware International)

---

#### ABSTRACT

Y. M. HAN, J. S. CHOI, H. S. KIM, Y. T. LIM, J. H. YI, G. R. TACK, K. O. YI, S. B. PARK, The Differences of the Normalized Jerk According to Shoes, Velocity and Slope During Walking, Korean Journal of Sports Biomechanics, 2006, Vol. 16, No. 2, pp. 1-8, 2006. The purpose of this study was to evaluate normalized jerk according to shoes, slope, and velocity during walking. Eleven different test subjects used three different types of shoes (running shoes, mountain climbing boots, and elevated forefoot walking shoes) at various walking speeds (1.19, 1.25, 1.33, 1.56, 1.78, 1.9, 2, 2.11, 2.33 m/sec) and gradients (0, 3, 6, 10 degrees) on a treadmill. Since there were concerns about using the elevated forefoot shoes on an incline, these shoes were not used on a gradient. Motion Analysis (Motion Analysis Corp. Santa Rosa, CA USA) was conducted with four Falcon high speed digital motion capture cameras. Utilizing the maximum smoothness theory, it was hypothesized that there would be differences in jerk according to shoe type, velocity, and slope. Furthermore, it was assumed that running shoes would have the lowest values for normalized jerk because subjects were most accustomed to wearing these shoes. The results demonstrated that elevated forefoot walking shoes had lowest value for normalized jerk at heel. In contrast, elevated forefoot walking shoes had greater normalized jerk at the center of mass at most walking speeds. For most gradients and walking speeds, hiking boots had smaller medio-lateral directional normalized jerk at ankle than running shoes. These results alluded to an inverse ratio for jerk at the heel and at the COM for all types of shoes. Furthermore, as velocity increased, medio-lateral jerk was reduced for all gradients in both hiking boots and running shoes. Due to the fragility of the ankle joint, elevated forefoot walking shoes could be recommended for walking on flat surfaces because they minimize instability at the heel. Although the elevated forefoot walking shoes have the highest levels of jerk at the COM, the structure of the pelvis and spine allows for greater compensatory movement than the ankle. This movement at the COM might even have a beneficial effect of activating the muscles in the back and abdomen more than other shoes. On inclines hiking boots would be recommended over running shoes because hiking boots demonstrated more

medio-lateral stability on a gradient than running shoes. These results also demonstrate the usefulness of normalized jerk theory in analyzing the relationship between the body and shoes, walking velocity, and movement up a slope.

KEYWORDS: SMOOTHNESS, JERK, SHOE, KINEMATICS

## I. 서론

사람의 걷고 뛰는 두 기초적인 보행은 매우 복잡한 움직임이라 할 수 있다. 동시에 인간들의 주요한 이동 수단이며, 체력 향상을 위한 활동의 일환이 되기도 한다. 이런 주요한 이동수단에 필수적인 것이 신발로써 신발의 기능은 다양하다고 할 수 있다. 일반적으로 신발은 두 기초적인 보행 시 착지에 따른 충격력을 흡수하여 발목을 포함한 인체의 여러 관절을 보호하고 부상을 예방하는 역할을 한다. 그러나 신발이 부적합하면 스트레스를 유발시키며 이러한 원인이 발의 불편감을 야기하고 발의 관절 조직에 염증이 생기게 하여 발 변형은 물론(김용재, 2004), 자세의 불균형(Rothbart B, 2001)도 야기할 수 있어 나아가 근골격계의 통증 및 상해의 원인이 될 수도 있다.

보행 및 주행을 통한 체력 단련 활동 인구의 증가와 더불어 신발의 기능이 주요 연구 대상이 되기 시작했으며, 또한 각 용도에 맞는 신발의 기능성도 크게 강조되고 있다. 그러므로 신발 없이 살 수 없는 현대 문명에서 신발 산업은 이제 의복과 같은 유행을 선도할 뿐만 아니라 건강적인 측면에서의 건강필수 상품으로도 그 발전 가능성이 높다고 할 수 있다. 따라서 신발이 갖는 과학적 기능 및 효과에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

지금까지의 신발에 대한 많은 연구는 주로 운동학적, 운동 역학적 변인으로 크게 대별할 수 있다. 운동학적 분석은 착지에 따른 지지 시간 및 착지각, 발목각과 무릎각, 아킬레스건각과 후족각, 스피드 등이며(Bates B.T., 1985 ; Bauer H., 1970 ; Frederick E.C. 1986 ; 최규정, 2003), 운동역학적 변인은 지면반력 및 족저압의 분포에 관한 연구(Bates B.T. et al, 1981. ; Bieber J.M. et al, 1988. ; Clarke T.E., et al, 1983a ; Clarke T.E., et

al 1983b ; Frederick E.C., et al, 1983 ; 백남종, 1997 ; 이종숙, 2004 ; 김용재, 2004)가 주로 이루어져 왔다. 이에 본 연구는 동작의 숙련도를 나타내는 척도가 되는 운동학적 변인인 부드러움(smoothness)의 관점(Hreljac, 1993, 2000)에서 신발, 운동의 속도, 지면의 경사도에 따라 인체가 어떻게 적응하며, 협응하는 지의 자연스러움을 분석하였다.

지금까지 여러 가지 동작에 따른 부드러움에 관한 연구는 저크(jerk)를 이용하여 수행되었다(Hreljac, 1993, 2000). 이러한 연구에서 선호하는 속도로 보행중 동작의 부드러움과 에너지소비량과의 관계에 관하여, 중장거리 주자와 일반인 중 단지 신체활동을 즐기는 사람과의 주행과 보행시의 동작의 부드러움을 원위점인 발뒤꿈치에서의 저크비용함수의 차이를 통하여 규명하였다. 그러나 신발의 특성, 속도, 지면의 경사도에 변화를 주었을 때의 저크의 차이를 이용하여 이러한 내외적인 변인의 변화에 대해 인체가 어떻게 반응하는가에 대한 분석도 인간과 환경과의 상호작용을 이해하는 데에 필요할 것이다. 본 연구의 목적은 동작의 부드러움을 정량적으로 나타낼 수 있는 지표인 저크를 이용하여 런닝화, 앞굽이 높은 보행화, 발목 지지대가 있는 등산화 착용시, 속도와 경사도의 변화에 따른 보행의 차이를 분석하는 것이다. 이를 통하여 저크라는 변수가 신발, 운동 속도, 그리고 지면의 경사도에 반응하는 인체의 움직임에 대한 차이를 설명할 수 있는 변인으로서의 가능성을 타진하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 실험에 사용된 신발

실험에 사용된 신발의 종류는 A사의 런닝화, T사의

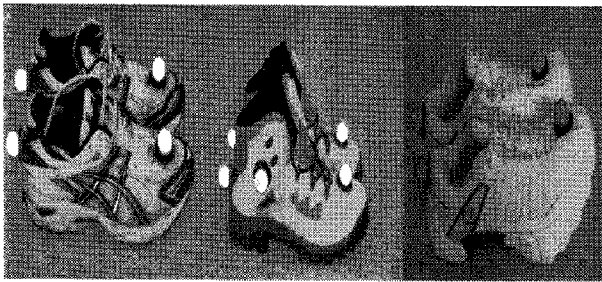


그림 1. 실험에 사용된 신발

경등산화, D사의 앞굽이 높은 보행화이다<그림 1>. 런닝화, 등산화, 보행화는 각각이 가지는 기능이 있다. 런닝화는 주행 시 일반적으로 발생할 수 있는 부상으로부터 발을 보호함이 주목적이 되고, 경등산화는 산행에서 일어날 수 있는 발의 비틀림 등 발목을 보호해주는 목적이 있으며, 앞굽이 높은 보행화는 앞굽이 뒤굽보다 높아 평지를 걸으면서도 경사진 길을 걷는 효과로 일반 보행화보다 에너지 소비를 낮여주며, 보행시 신체중심을 몸 안에 두게 하여, 상체가 앞으로 기울는 것을 방지해 척추는 바로 세워주는 것을 목적으로 하는 보행화이다(이경옥, 2005).

## 2. 연구대상

본 실험은 성인 남자 20대 남성 11명(나이  $24.5 \pm 1.44$ , 키  $173.4 \pm 3.1$ cm, 몸무게  $69.4 \pm 7.3$ kg)이 참가하였다. 피검자는 골관절 질환, 심질환, 호흡기계 질환이 없는 건강한 남성으로 하였다. 피검자에게는 실험 전에 실험 목적, 실험 내용 및 실험 참여시에 발생할지도 모르는 부상의 위험에 대해 충분히 설명하고 실험참가확인서에 서명을 받았다.

## 3. 실험방법

본 실험에서의 보행속도는 일상생활에서 주로 하는 저속으로 트레드밀(IMAGE 760, ICON Health & fitness, USA) 속도의 1.19, 1.25, 1.33, 1.56, 1.78, 1.9, 2, 2.11, 2.33m/sec를 이용하였다. 경사도는 트레드밀에서 제공하는 0, 3, 6, 10도를 이용하였다. 앞굽이 높은 보행화의 특성상 무게중심이 뒤로 많이 이동하는 경향을 보이므로, 위험성을 고려하여 경사도 실험의 경우 런닝화

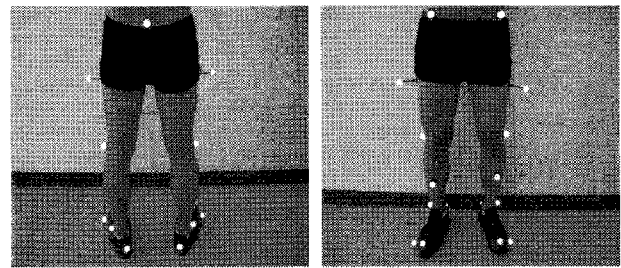


그림 2. 마커부착 위치(좌: 앞, 우: 뒤)

와 경등산화 만을 사용하였다. 각 트레드밀 속도는 반복효과와 이월효과를 제거한 통계적인 방법으로 피험자에게 주어졌으며 실험참여자들은 보행속도 및 경사도 실험에 앞서 실험에서 요구하는 트레드밀 속도와 경사도에 익숙해지도록 보행을 반복하였다.

보행 중 피검자의 위치를 측정하기 위해서 삼차원 동작 분석 시스템(Motion Analysis Corp., Santa Rosa CA, USA)을 사용하였다. 이 시스템은 4대의 카메라(high-speed Falcon digital motion capture camera)로 구성되었다. 4대의 적외선 카메라는 피검자에게 부착된 마커의 움직임을 120Hz로 샘플링 하였다. 인체의 질량 중심과 보행중의 정확한 위치를 추적하기 위하여 17개의 반사 마커를 피검자에게 부착하였다. 반사마커는 신발 바깥측에 발뒤꿈치(Heel), 15번째 발허리뼈 원위부(1st, 5th metatarsal distal joint), 발목 가쪽 복사(lateral malleolus), 발목 안쪽 복사(medial malleolus), 정강뼈 중심(center of tibia), 넙다리뼈중심(center of femur), 오른쪽앞엉덩뼈가시(right anterior superior iliac spine), 왼쪽앞엉덩뼈가시(left anterior superior iliac spine), 5번 요추(5th lumbar spine)<그림 2>이다.

## 4. 분석방법

측정된 데이터는 2차 0지연 Butterworth 필터(2th order zero-lag Butterworth filter)를 사용하여 잡음을 제거하였다. 최적 차단 주파수는 Wells(1980) 등이 제안한 나머지 방법을 이용하여 계산하였다. 계산된 차단주파수는 5~8Hz 사이로 Hreljac (2000)이 제시한 수치(4.5~7.5)와 비슷한 값을 보여주었다. 일차, 이차 및 삼차 미분은 차분방정식에 의하여 계산하였다.

저크(Jerk)는 위치벡터를 시간에 대하여 3 번 미분하

여 얻을 수 있다. 부드러움을 정량적으로 측정하기 위해서는 저크-비용함수(Jerk-Cost function, 단위:  $m2s^{-5}$ ) 혹은 정규저크(Normalized Jerk, 단위: 무차원)가 사용되었다. 일반적으로 정규 저크는 체형의 변화에 따른 보폭의 변화, 보행 시간의 변화에 대한 고려가 필요하기에 저크-비용함수를 정규화한 값으로 다음의 식으로 정의된다. 여기에서  $r$ 은 위치벡터,  $T$ 는 전체 동작에 걸리는 시간,  $L$ 은 전체 동작 중에 움직인 거리를 나타낸다.

$$NJ = \sqrt{\frac{1}{2} \int_0^T \left( \frac{d^3 r}{dt^3} \right)^2 dt} \cdot \frac{T^5}{L^2}$$

최대 부드러움 이론(max. smoothness theory) 혹은 최소저크이론(min. jerk theory)에 따르면 동작중 신체의 원위점에서의 정규 저크를 계산하면 충분하나 보행 중의 에너지 소비량은 인체의 무게중심의 움직임과 밀접한 관계가 있기 때문에(Saibene F. et al, 2003) 본 연구에서는 발뒤꿈치와 무게중심에서의 정규저크에 관심을 두었다. 인체의 무게중심(CM, center of mass)을 구하는 방법으로는 천골중심(CP, center of pelvis)방법을 사용하였다. 오른위앞 엉덩이뼈가시, 왼위앞엉덩이뼈가시 2개와 5번 요추마커 1개를 사용하여 3차원 무게중심좌표를 찾아내었다.

모든 자료는 MATLAB v6.5(Mathworks Inc., USA)을 사용하여 분석하였다. 보행속도에 따른 정규저크의 변화량과 각 마커에서의 차이점 등의 통계적 분석을 위하여 통계분석프로그램인 SPSS 12.0k (SPSS Inc., USA)를 사용하였다. 속도와 지면의 경사도에 따른 정규저크의 차이는 2요인 피험자 내 반복 측정 설계(2 factor within subject design repeated measure on two factor)에 의거하여 2way-ANOVA 및 중다회귀분석(multiple regression analysis)법을 이용하여 분석하였다.

### III. 결과 및 논의

#### 1. 경사 0%에서의 런닝화, 등산화, 보행화에 대한 수직방향의 무게 중심에서의 정규저크의 결과

<그림 3>에서 보여주는 바와 같이 수평경사에서는

거의 대부분의 보행속도에서 무게중심에서의 수직방향의 정규저크는 런닝화가 가장 낮고, 다음이 등산화, 기능성 보행화 순으로 높은 값을 나타냈다. 통계분석결과 신발에 따른 무게중심에서의 정규저크는 통계적으로 유의한 차이를 보였으며( $F=5.431, p<.05$ ) 속도에도 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $F=12.413, p<.05$ ).

이는 기능성 보행화가 런닝화나 등산화보다 동작의 효율적인 면에 있어서 떨어진다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 일반적으로 무게중심에서의 움직임은 에너지 소비량과 밀접한 관련이 있다. 동작이 효율적으로 이루어진다는 것은 그만큼 적은 에너지를 소비하려고 하는 것과 관련지어 생각해볼 때 본 실험과 같은 속도의 조건이라면 보행화가 에너지 소비량이 제일 높을 것이라고 예상할 수 있다. 본 실험에서 사용된 보행화는 앞굽이 뒤굽보다 높아 평지에서도 언덕을 오르는 듯한 효과로 에너지 소비량을 높일 목적으로 제작된 것이므로 다른 신발 보다는 에너지 소비가 높아 체중감소에 도움을 줄 수 있으리라 생각해 볼 수 있다. 이와 관련해서는 실제적인 에너지소비량을 측정하는 실험을 통하여 검증해야할 필요성이 있다.

무게중심은 허리와 복부 중간에 위치하므로 보행화가 다른 신발 보다 허리와 복부의 근육을 많이 사용하여, 다른 신발 보다 복부 및 허리근육 강화에도 효과적일 수 있다고 말할 수 있다.

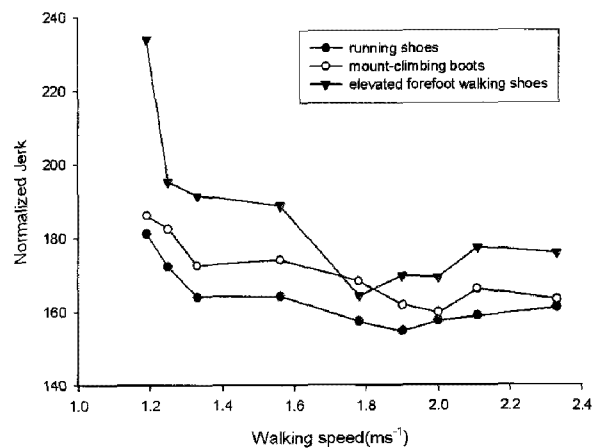


그림 3. 신발과 속도에 따른 무게중심에서의 수직방향 정규저크

또한 보행속도와 동작의 부드러움과의 상관관계(한영민, 2005)를 보면 정규 저크가 최소가 되는 속도는 피험자들이 보행시 가장 선호하는 보행속도(preferred walking speed)이다. <그림 3>에서 보면 런닝화는 1.9m/sec, 등산화는 2.0m/sec, 그리고 보행화는 1.78m/sec에서 저크가 최소가 되므로 이것이 수평경사에서 각 신발의 특성에 따른 가장 효율적인 속도라고 할 수 있다. 이러한 결과는 신발의 특성에 따른 효율적인 보행속도를 결정할 수 있는 기준으로 매우 실용적인 자료로 제공될 수 있을 것이다.

## 2. 경사 0%에서의 런닝화, 등산화, 보행화에 대한 수직방향의 뒤꿈치에서의 정규저크의 결과

<그림 4>에서 보여주는 바와 같이 런닝화, 등산화, 보행화에 대한 수직 방향의 뒤꿈치에서의 정규 저크는 속도가 증가함에 따라 감소한다. 속도가 증가할수록 뒤꿈치에서의 동작은 자연스러워 짐을 알 수 있다. 런닝화와 등산화의 정규 저크는 대체로 유사함을 보이나 보행화에 대한 정규 저크는 런닝화와 등산화 보다는 낮음을 보인다. 운동화 종류별 통계분석결과 등산화와 런닝화의 뒤꿈치에 대한 정규저크는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 보행화와 런닝화, 등산화는 각각 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ( $F=3.878$ ,  $p<.05$ ,  $F=4.786$ ,  $p<.05$ ).

일반적으로 최소저크이론에 따르면 동작의 끝점에서 동작의 숙련도를 평가하며, 동작의 부드러움 혹은 자연스러움은 곧 동작의 숙련도라고 할 수 있다고 했다(A. Hreljac, 1993). 신발 동작의 숙련도에 있어서는 우리가 일반적으로 많이 착용하는 런닝화가 동작의 숙련도에 있어 가장 자연스럽고 그 다음이 많이 접하게 되는 등산화, 마지막으로 앞굽이 높은 보행화에 대한 동작이 자연스러울 것으로 예상하였었다. 그러나 실험 결과는 앞굽이 높은 보행화에서 동작이 가장 자연스러운 결과를 보였고 다음으로 런닝화와 등산화가 비슷한 결과를 보였다.

이런 결과는 신발의 특성이 보행에 많은 영향을 줄 수 있음을 보여주는 것으로, 런닝화와 등산화는 평지에서 뛰거나, 등산을 하는 목적으로 제작된 것이므로 평지에서 저속으로(1.1~2.33m/sec) 보행을 목적으로 신는 것에는 보행화가 가장 적합함을 알 수 있다. 또한 보행화의 뒤꿈

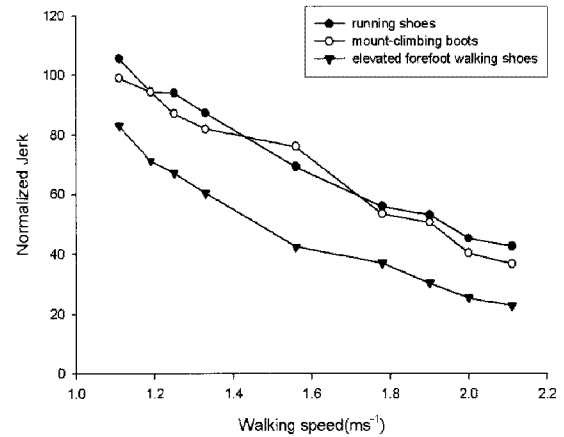


그림 4. 신발과 속도에 따른 뒤꿈치에서의 수직방향 정규저크

치에서의 수직 방향 정규 저크가 가장 낮다는 것은 보행화가 뒤꿈치를 고정시키며 보행하는 데에 가장 적합하다고 말할 수 있겠다. 뒤꿈치를 고정시키며 보행하는 것은 발목 불안정성을 교정시킬 수 있는 가능성을 내포한 것이라고 볼 수 있어 이에 대한 정밀한 연구가 필요하다.

## 3. 경사 0, 3, 6, 10%에서의 런닝화, 등산화의 속도에 따른 내-외측(medial-lateral)방향의 발목 정규 저크

<그림 5>에서 보여주는 바와 같이 네 개의 경사도와 다양한 속도에서 내-외측 방향의 발목에서의 정규저크는 런닝화보다 등산화가 일정하게 작은 값을 보인다. 정규 저크를 분석한 결과, 경사에 따른 통계적인 유의한 차이는 없었으나, 속도에 따라 통계적으로 유의한 차이를 보였다(0도 :  $F=15.172$ ,  $p<.05$ , 3도:  $F=19.453$ , 6도:  $F=14.791$ , 10도:  $F=21.297$ ). 이는 같은 보행속도에서 등산화의 특성상 발목의 움직임이 적다는 것을 의미한다고도 할 수 있다. 이는 등산화의 기능 중에 하나인 산행에서 있을 수 있는 발목의 비틀림 등 발목의 보호에 있어 런닝화보다 등산화가 더 좋다는 것을 의미한다. 발목의 내-외측 방향의 정규저크는 발목 관절의 움직임에 있어 회내작용(pronation)과 관련해서 생각해 볼 수 있을 것이다. 즉 발목에서의 내외측방향의 정규저크가 클수록 과회내현상(over-pronation)이 발생할 가능성이 증가한다는 의미로 해석할 수 있다. 이와 관련하여 보다 심도 깊은 논의가 앞으로 필요할 것이다.

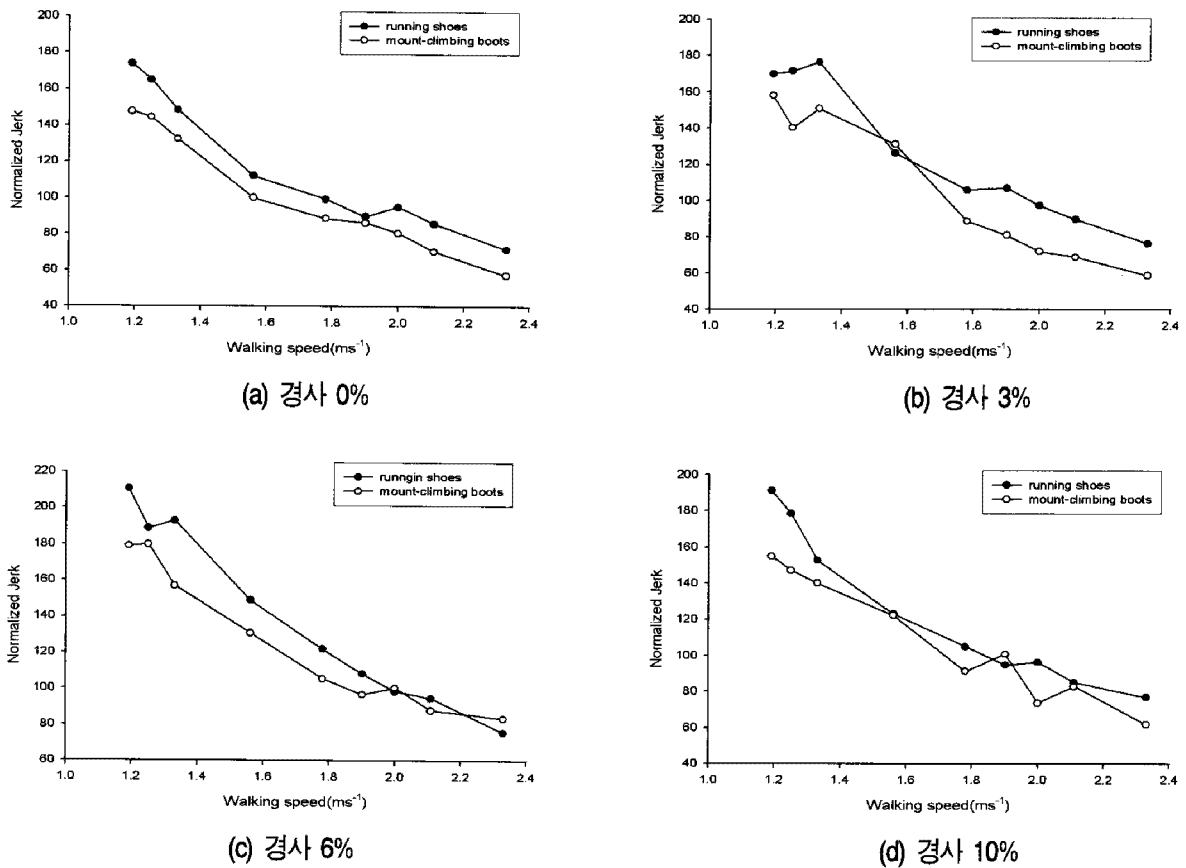


그림 5. 경사 0, 3, 6, 10%에서 런닝화, 등산화의 속도에 따른 내-외측(medial-lateral)방향의 발목 정규 저크

#### IV. 결론

본 연구는 동작의 부드러움을 정량적으로 평가하는 변수인 저크를 사용하여 런닝화, 등산화, 앞굽이 높은 보행화를 착용하여 속도와 지면의 경사도에 변화를 주어 보행한 결과 그 차이를 분석하였다.

에너지소비량과 밀접한 관련이 있는 무게중심에서의 정규 저크는 거의 대부분의 보행속도에서 보행화가 가장 높았다. 이 값이 가장 높다는 것은 에너지 소비에 있어 보행화가 런닝화, 등산화 보다 크다는 것을 유추할 수 있다.

정규 저크가 최소가 되는 속도가 피험자들이 보행시 가장 선호하는 보행속도(preferred walking speed)라고 할 때(한영민, 2005), 수평경사에서 각 신발의 특성에 따라 저크가 최소가 되는 속도가 각기 달라 신발의 특성에 따른 효율적인 보행속도를 결정할 수 있었

고, 이러한 결과는 신발의 특성에 따른 최적의 보행속도를 결정할 수 있는 기준으로 실용적인 가치를 지닌다고 할 수 있다.

속도의 변화에 따른 뒤통치에서의 정규 저크에 대한 결과 보행화가 런닝화나 등산화보다 낮아 보행화는 평지에서 저속으로의(1.1~2.33m/sec) 보행을 목적으로 신는 것에 가장 적합하다는 결론을 내릴 수 있다.

뒤통치에서의 수직 방향 정규 저크와 무게중심에서의 저크를 비교해보면 뒤통치에서의 정규 저크가 적을수록 무게중심에서의 저크는 크게 나타나 보행시 발목이 고정되면 그 발목을 고정시킨 데에 대한 보상작용으로 발목보다 위쪽에 있는 부위를 많이 움직이게 만드는 것으로 보인다. 이 발목과 무게중심의 저크의 상관관계를 분석하는 것은 분절 움직임의 연계성을 추정하는데 귀중한 자료가 될 수 있으리라 생각된다.

경사도와 속도의 변화에 따른 발목의 내·외측 방향 정규 저크에 있어서는 등산화가 런닝화보다는 자연스럽게 나타나 경사진 길을 저속으로 걷기에는 등산화가 효율적이라는 결론을 내릴 수 있다. 과회내현상은 아킬레스건각과 후족각의 변화로부터 알 수 있는 것으로서 발목에서의 내측·외측 방향의 정규 저크를 이용하여 발목의 과회내현상에 대한 설명을 유추할 수 있다.

이상의 결과로부터 저크라는 변수는 신발, 운동의 속도, 그리고 지면의 경사도에 따른 보행의 특성을 설명할 수 있는 변인으로서의 가능성을 보여주었다. 즉 다른 운동학적 변인인 위치, 각도, 속도, 각속도 등은 동작 중 전체시간에서 발생하는 값을 비교분석해야 하지만, 본 논문에서 제시한 정규저크는 동작의 전체 과정에서 계산되는 하나의 값만으로 상대적으로 비교하기 용이하다는 개념이다. 본 실험은 일상생활에서 주로 하는 저속의 보행 속도(1.1~2.33m/sec) 만을 사용 것이다. 모든 운동화 종류별로 속도를 다양하게 하여 저크를 분석하여 운동화 종류별 적합한 운동의 속도를 제시하고, 한 가지 속도에서 지속적으로 보행했을 때의 저크를 분석하는 것은 운동의 효과를 극대화 함은 물론 통증과 상해를 예방하고, 피로의 현상을 분석하는 데에도 기여할 것으로 기대하며, 이는 추후 과제로 한다.

## 참 고 문 헌

- 국소해부학(2002). 대한해부학회 편, 고려의학
- 김용재, 지진구, 김정태, 홍준희, 이중숙, 이훈식, 박승범 (2004). "20대 여성의 신발종류에 따른 족저압 영역별 비교연구", 한국운동역학회지, 제 14권 3호, 93-89
- 백남중, 임민석(1997). "보행시 족저압 중심의 이동경로에 관한 연구", 재활의학지, 제 21권 4호, 762-772
- 이경옥(2005). "발끝이 최대높이까지 올라간 워킹화가 신체구성, 체력, 건강관련 변인에 미치는 영향", 한국여성체육학회지, 제 19권 제1호. 9-26
- 이중숙, 김용재, 박승범(2003). "기능성 전문테니스와 압력분포 분석", 한국운동역학회지, 제 4권 3호, 99-118
- 최규정, 권희자(2003). "보행용 전문 신발과 일반 운동화의 운동역학적 비교 분석", 한국운동역학회지, 제 13권 2호, 161-173
- 한영민, 최진승, 박상균, Darren Stefanyshyn, 이정환, 탁계래(2005). "보행속도와 동작의 유연성과의 상관관계에 관한 연구", 2005 대한의용생체공학회 추계학술대회 논문집, 101
- Bates, B.T.(1985). Testing and evaluation of running shoes. In D.A.Winter, R.W. Norman, R.P.Wells, K.C. Hayes, & A.E. Patla (Eds.), Biomechanics IX-B (128-132). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bates, B.T., James, S.L., Osterning, L.R., Sawhill, J.A., & Hamill, J.(1981). Effects of running shoes on ground reaction forces. In A. Morecki, K. Fidelus, K. Kedzior, & A. Wit (Eds.), Biomechanics VII-B (30-39). Baltimore: University Park.
- Bauer, H.(1970). The effect of high-top and low-cut football shoes on speed and agility. Athletic Journal, 50, 74-77
- Bieber, J.M., Coates, J.C., Lohmann, K., & Danoff, J. (1988). The effects of pronation-controlling orthotic devices on pressure and force under the foot during dynamics stance. Physical Therapy Journal, 68, 805
- Brain A.(2002). Medical Coloumn foot system : on innovative tool for improving posture" Journal of Bodywork and Movement Therapies. 6(1), 37-46
- Clarke, T.E., Frederick, E.C., & Cooper, L.B.(1983). Biomechanical measurement of running shoe cushioning properties, In B.M. Nigg & B.A. Kerr(Eds.), Biomechanical aspects of sports shoes and playing surfaces (25-34). Calgary, AB: University of Calgary.

- Clarke, T.E., Frederick, E.C., & Hamill, C.L.(1983). The effect of shoe design upon rearfoot control in running. *Medicine and Science in Sports and Science in Sports and Exercise*, 15(5), 376-381
- Frederick, E.C.(1986). Kinematically mediated effects of sport shoe design: A review. *Journal of Sports Science*, 4, 169-184
- Frederick, E.C., Clarke, T.E., & Hamill, C.L. (1983). Shoe design and rearfoot control in running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(2), 176
- Hreljac, A.(2000). Stride smoothness evaluation of runners and other athletes. *Gait and Posture*, Vol. 11, 188-206.
- Hreljac, A., Martin, P. E.(1993). The relationship between smoothness and economy during walking. *Biol. Cybern.* Vol. 69, 213-218
- Saibene, F., Minetti, A.E.(2003). Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. *European Journal Of Applied Physiology*, 88(4-5), 297-316
- Wells, R., Winter, D.(1980). Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Proceeding of the special conference of the Canadian Society for Biomechanics(CSB), Human Locomotion I*, 92-93

투 고 일 : 04월 01일

심 사 일 : 05월 13일

심사완료일 : 05월 30일