버스계단 내리기 시 구두 힐 높이와 착지거리에 따른 지면반력 파라미터 조사

현승현¹ · 류재청¹

¹제주대학교 자연과학대학 체육학과

Investigation of the Ground Reaction Force Parameters According to the Shoe's heel Heights and Landing Distance during Downward Stairs on Bus

Seung-Hyun Hyun¹ · Che-Cheong Ryew¹

¹Department of physical education, College of Natural Science, Jeju National University, Jeju-Do, Korea

Received 2 April 2014; Received in revised form 18 June 2014; Accepted 25 June 2014

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the GRF(ground reaction force) parameters according to the shoes's heel heights and ground landing distances during downward stairs on bus. Participants selected as subject were consisted of young and healthy women(n=9, mean age: 21.30±0.48 yrs, mean height: 164.00±3.05 cm, mean body mass: 55.04±4.41 kg, mean BMI: 20.47±1.76 kg/m², mean foot length: 238.00±5.37 mm). They were divided into 2-types of shoe's heel heights(0 cm/bare foot, 9 cm) and also were divides into downward stairs with 3 types of landing distance(20 cm, 35 cm, 50 cm). A one force-plate was used to collect the GRF(AMTI, USA) data from the sampling rate of 1000 Hz. The GRF parameters analyzed were consisted of the medial-lateral GRF, anterior-posterior GRF, vertical GRF, loading rate, Center of Pressure(Δ COPx, Δ COPy, COP area) and Dynamic Postural Stability Index(MLSI, APSI, VSI, DPSI) during downward stairs on bus. Medial-lateral GRF and vertical GRF didn't show significant differences statistically according to the shoe's heel heights and landing distance, but 9 cm shoes heel showed higher vertical GRF than that of 0 cm bare foot in landing distance of 50 cm. Also anterior-posterior GRF didn't show significant difference statistically according to the shoe's heel heights, but landing distance of 20 cm showed higher than that of landing distances of 35 cm and 50 cm in anterior-posterior GRF. Loading rate didn't show significant difference statistically according to the landing distance, but 9 cm shoe's heel showed higher than that of 0 cm bare foot during downward stairs. The Δ COPy and COP area didn't show significant differences statistically according to the shoe's heel heights and landing distance, but 0 cm bare foot showed higher than that of 9 cm shoe's heel in Δ COPx. Dynamic Postural Stability Index(MLSI, APSI, VSI, DPSI) didn't show significant differences statistically according to the landing distance, but 9 cm shoe's heel showed decreased value than that of 0 cm bare foot in dynamics balance. Considering the above, parameters of GRF showed different characteristics according to the shoe's heel heights and ground landing distances during downward stairs on bus.

Keywords : Bus Stair, Shoe's Heel Heights, Landing Distance, GRF, Downward Stair

I. 서 론

계단에서의 보행은 관절의 운동범위가 증가하게 됨은 물

론 (Flynn, 1977), 스텝이 진행되면서 수평이동(translation)과 동시에 신체의 들림(lifting)현상이 크게 나타난다는 점에서 일반적인 평지보행과 다른 특징이 있다(McFadyen & Winter, 1988).

이러한 계단은 일상생활에서 신체이동을 위한 실용성과 불편을 해소하기 위해 매우 다양하게 이용되고 있다. 이에 일반적인 계단의 구조는 건축법에서 높이 18 cm, 너비 26 cm, 폭 90 cm로 보고되고 있지만(Han, 2008), Jun과

Corresponding Author : Che-Cheong Ryew
Faculty of Exercise and Sports Science, College of Natural Science,
Jeju National University, 102 Jejudaehak-ro, Jeju, Korea
Tel : +82-64-754-3588 / Fax : +82-64-757-1752
E-mail : ryew@jejunu.ac.kr

Ryu (2008)는 현재 우리나라의 계단너비의 규격은 단너비가 26 cm로 한국인 25-29세의 성인남자 발 치수 252.7 ± 10.3 mm와 비교할 때, 맞지 않아 계단을 오르고 내리기 시 낙상의 위험이 크다고 하였다. 하지만 더 중요한 사실은 일상생활에서 빈번히 사용되고 있는 계단과 마찬가지로 수평이동으로 접근이 용이한 대중교통 수단인 버스 출입구의 계단 이용 또한 예외일 수 없다(Hyun & Ryew, 2014).

특히, 버스의 계단 구조는 높이 37.66 cm, 너비 29.83 cm, 폭 109 cm로 나타나, 일반계단 구조물과 비교하여 매우 높고 불편한 것으로 보고하고 있다(Ryew & Hyun, 2013). 계단보행의 특징들은 평지보행에 비해 더 많은 하지의 힘(force)과 근력을 요구하며(Jun & Ryu, 2008) 더 큰 하지관절에서의 모멘트와 운동범위를 요구한다(Andriacchi, Andersson, & Fermier, 1982; Andriacchi & Mikosz, 1991). 더욱이 높은 버스계단에서의 내리기 동작은 일반계단보행과 비교하여 더 높은 전·후, 수직지면반력이 나타난다고 하였다(Hyun & Ryew, 2014). 또한 신체중심(COM)의 전방이동거리가 증가하고, 무릎관절은 더 많이 굴곡되는 형태와 최대수직지면반력은 3.62 N/kg 으로 높게 나타나, 버스제작 시 관절 부상, 인체충격과 관련된 변인들을 고려한 계단의 제작 및 디자인이 반영(Ryew & Hyun, 2013)되고 저상버스의 도입이 이루어져야 하지만 현재 상황을 볼 때 많은 어려움이 있다(Hwang, 2010).

한편 여성들의 경우, 패션의 완성과 아이템으로 생각하여(Choi & Chun, 2009; Lee, Park, & Rye, 2012) 많이 애용하는 뒤 굽이 높은 구두(Cho, Kim, & Koh, 2009)의 착용은 대중교통 수단인 버스에서도 예외일 수 없다.

이미 뒤 굽이 높은 구두 힐(high heel)의 착용은 보행 시 동적안정성이 감소되고(Hyun, Lee, & Ryew, 2013; Ryu, 2009; Ryu, 2010), 전족의 압력분포가 증가한다고 하였다(Nyska, McCabe, Linge, & Klenerman, 1996). 또한 근피로가 쉽게 발생하고 발목 안정성 감소와 외상의 발생률이 증가(Valentini et al., 2009)될 뿐만 아니라 전신에 피로감이 나타나며 발의 변형을 초래하는 등(An, Eom & Lee, 2004), 부적인 영향을 미친다는 주장들이 지배적이다. 또한 Stefanyshyn, Nigg, Fisher, O'Flynn과 Liu (2000)가 하이힐 보행 시 지면반력을 분석한 연구에서 수직지면반력과 추진력의 제동 크기는 하이힐 굽 높이가 증가하면 일정하게 커진다고 하였고, Wang, Pascoe, Kim과 Xu (2001)도 구두 굽 높이의 증가에 따라 좌·우 지면반력과 충격력에 영향이 미친다고 주장하였다. 따라서 힐 스트라이크 순간 지면반력은 하지의 내적 부하를 발생시켜 일시적인 스트레스(stress) 파가 신체의 골격 구조를 거쳐 위로 전달된다고 하였고(Whittle, 1999), 이로 인한 반복적인 충격율과 일시적인 스트레스 파들은 연골 조직 파열과 퇴행성 골다공증 유발에 주요 요인들이라고 제기되고 있다

(Dekel & Weissman, 1978; Radin, Orr, Kelman, Paul, & Rose, 1982).

이러한 관점에서 볼 때, 지면에 착지되는 발은 인간에 있어서 가장 중요한 운동 수단으로써 보행 시 몸의 이동에 필요한 추진력과 진행 방향을 제공하지만(Park, Kwon, & Kim, 2003), 뒤 굽이 높은 구두 힐의 착용과 높은 버스계단에서 내리기 동작은 안정성이 저하되어 보행능력에 제한이 나타나고, 하지관절에 많은 부하가 발생되어 낙상의 위험도 수반될 수 있다(Ryew & Hyun, 2013). 또한 중앙버스의 전용차로가 설치되지 않은 장소들이 있다는 점과 주차위반차량이 많이 발생하고, 출발 시 교차로에서 우회전 차량과의 마찰 등(Lee, 2008)으로 지정된 위치에 정류할 수 없게 된다. 이로 인해 지면 착지 거리는 더 증가될 수 있으며, 버스가 적합한 위치에 정차하더라도 개인 성향에 따라 다양한 착지 거리가 나타나 수 있다.

이와 같이 저상버스의 도입과 출입을 위한 최적적인 버스계단의 디자인 설계에 어려움이 있기 때문에 현재 이용되고 있는 높은 버스계단에서 힐 높이와 착지 거리에 따른 지면반력 파라미터 조사는 보행 안정성과 충격차이 규명을 위해 매우 중요하고 필요한 연구라 할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 버스에서 계단을 내려오는 동안 구두 힐 높이변화(0, 9 cm)와 착지거리(20, 35, 50 cm)에 따른 지면반력 파라미터들을 조사하기 위해 실시하였고, 버스 이용객들에게 높은 버스계단에서 내리기 시 착지전략에 필요한 기초자료를 제시하고자 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구의 대상자는 성인여성 9명(age: 21.30 ± 0.48 yrs, height: 164.00 ± 3.05 cm, body mass: 55.04 ± 4.41 kg, BMI: $20.47 \pm 1.76 \text{ kg/m}^2$, foot length: 238.00 ± 5.37 mm)으로 이들은 하지에 부상경험이 없고, 정상보행에 이상이 없는 자들이었다. 특히 발길이는 각 대상자들이 착용하고 있는 신발 사이즈를 조사하였으며, 이러한 이유는 일상생활에서 버스계단 내리기 시 발 길이 비율로 쉽게 적용하여 적합한 착지거리를 제시하기 위해 실시하였다. 또한 버스계단 내리기 시 지면반력 측정 전, 각 대상자별 선호하는 착지 다리를 조사한 결과 모두 왼발 착지를 선호하는 자들이었으며 이들은 본 연구의 목적과 내용을 충분히 이해하고 연구 참여 동의서에 서명한 후 실시하였다.

2. 실험 절차

버스계단 내리기 시 구두의 형태와 힐 높이는 여성들이

Figure 1. Bus stair structure & landing distance

선호하는 앞모양이 가름한 형태(Choi & Chun, 2009)로 선정하여 맨발(bare foot/ 0 cm)과 9 cm로 실시하였다. 또한 버스의 계단 규격은 Ryew와 Hyun (2013)의 자료를 참고하여 나무박스를 이용해 높이(raiser) 37.66 cm, 너비(tread) 29 cm, 폭(width) 109 cm로 제작하였다(Figure 1).

지면반력기(AMTI, USA) 1대를 이용하여 마지막 착지 지점에 각 대상자들의 발길이 84.03%(20 cm), 147.05% (35 cm), 210.08%(50 cm)에 원발 착지를 유도하여 1000 Hz/sec로 생성되는 지면반력 파라미터 자료들을 수집하였다. <Figure 1>과 같이 착지 거리 설정은 충분한 연습 후 구두 힘이 착지지점에 정확히 위치한 동작을 대상으로 선정하였다.

또한 본 연구에서 실험 시 왼쪽 다리를 통일하여 착지를 요청한 이유는 우세(dominant leg)·비우세 다리(non dominant leg) 간 일상생활의 계단 내리기 동작에서 조차 성능차이가 발생된다는 Hyun, Lee와 Ryew (2014)의 자료를 참고하여 충격기전이 다른 비우세 다리로 통일하여 실시하였다. 지면반력의 측정은 Perry와 Burnfield (2010)가 인위적인 하지동작을 일으키거나 보행속도를 느리게 함으로써 자료가 변경될 수 있기 때문에 가장편안한 자기선택 속도로 착지보행을 요청하였다(Ryu, 2007; Buzzi, Stergiou, Kukz, Hageman, & Heidel, 2003).

3. 이벤트 및 분석구면

Giakas와 Baltzopoulos (1997)는 지면반력 패턴 그 자체를 비교할 때는 지면반력의 증감이나 변화를 시간변화에 따라 분석하는 것이 중요하다고 보고하였다. 따라서 본 연구는 이점을 참고하여 지면반력 파라미터분석은 최대수직 지면반력(max vertical GRF)이 생성되는 시점에서 좌우(medial-lateral), 전후(anterior-posterior)지면반력(Figure 2)과 압력의 중심(ΔCOP_x , ΔCOP_y , COP area), 단위 시간당 부하율/loading rate), 시간 샘플 수 변화에 따른 동적 안정성지수(Dynamic Postural Stability Index/APSI, MLSI, VSI, DPSI)를 분석하였다.

Figure 2. Event in GRF (Hyun, Lee, & Ryew, 2014)

압력의 중심(center of pressure [COP])은 <Figure 2>와 같이 지면 착지 동안의 경로(pathway) COP_x 축(axis)과 COP_y 축(axis)에서 생성되는 최대·최소 이동변위의 상대적인 변화량 값을 비교하였다(Hyun & Ryew, 2014; Hyun et al., 2014).

압력중심(COP)의 변화량

ΔCOP_x (압력중심의 좌우변화량)

ΔCOP_y (압력중심의 전후변화량)

압력중심의 면적(COP area)은 Ross, Guskiewicz, Gross와 Yu (2009)의 자료를 참고하여, <Formula 1>과 같이 지면착지 동안 생성되는 압력중심 경로의 최대 내·외(COP_x), 전·후(COP_y)변화량의 사각형 면적을 분석하였다(Hyun et al., 2014).

$$COP_{area} = \int_{t1}^{t2} \Delta COP_x \cdot \Delta COP_y$$

Formula 1. Integration on area between COP_x and COP_y during touch down

부하율(loading rate)은 단위 시간동안 가해지는 힘으로 Munro, Miller와 Fuglevand (1987)의 자료를 참고하여 다음과 같이 계산하였다(Formula 2).

$$\text{loadingrate} = (P_1 - F50^+) / (T_1 - T50^+)$$

Formula 2. loading rate during touch-down

이때, P_1 : 최대수직지면반력, $F50^+$: 최대수직지면반력 발생 전 50N을 넘어선 값, T_1 : P_1 발생시점, $T50^+$: $F50^+$ 발생된 시점

$$MLSI = \sqrt{\frac{\sum (0 - F_{x\max}/BW)^2}{\text{samples}}}$$

$$APSI = \sqrt{\frac{\sum (0 - F_{y\max}/BW)^2}{\text{samples}}}$$

$$VSI = \sqrt{\frac{\sum (1 - F_{z\max}/BW)^2}{\text{samples}}}$$

$$DPSI = \sqrt{\frac{\sum (0 - F_{x\max}/BW)^2 + \sum (0 - F_{y\max}/BW)^2 + \sum (1 - F_{z\max}/BW)^2}{\text{samples}}}$$

Formula 3. Calculation the anterior-posterior stability index (APSI), medial lateral stability index (MLSI), vertical stability index (VSI) and dynamic postural stability index (DPSI)

동적안정성지수는 지면반력데이터를 이용한 Wikstrom,

Tillman, Smith와 Borsa (2005)의 자료를 참고하였다. 특히 내·외, 전·후, 수직 3방향의 지면반력 크기가 커질수록 움직임의 범위가 증가하는 것을 의미하기 때문에 각 방향의 최대값이 생성된 시점을 참고하여 전·후 안정성지수 (APIS), 내·외 안정성지수(MLSI), 수직 안정성지수(VSI)와 동적안정지수(DPSI)를 조사하였다(Formula 3).

이때, 0: target point, BW: 체중, samples: 샘플 수이며, 지수가 낮을수록 안정성이 높음을 의미하고 지수의 크기가 높아질수록 안정성이 낮아짐을 의미한다.

4. 자료처리

버스계단 내리기 시 구두의 힐 높이변화와 착지 거리에 따른 지면반력 파라미터는 Kwon GRF 2.0 program(Visol, Korea)을 사용하여 산출하였다.

산출된 변인들은 SPSS 18.0 (IBM, USA) 프로그램을 사용하여 기초통계량인 평균 및 표준편차를 산출하였고, 두 독립변인인 구두 힐 높이(0, 9 cm)와 마지막 착지거리 (20, 35, 50 cm)에 따라 반복이원변량분석(two-way analysis of variance with repeated measure)과 통계적 유의한 차이발견 시 사후검증(post hoc test: Duncan)을 실시하였다. 이때 모든 통계적 유의 수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

III. 결 과

버스에서 계단내리기 시 구두 힐 높이의 변화와 착지거리에 따른 지면반력 파라미터 결과는 <Table 1>, <Figure 3>

Table 1. The parameters of GRF according to the shoe's heel heights & landing distance during downward stairs on bus

Section		heel height (cm)		total average	Source	F	p	post-hoc
Phase	landing distance	0 cm	9 cm					
Fx (N/BW)	20 cm	0.02±0.19	-0.02±0.12	0.00±0.15	H	.896	.349	-
	35 cm	0.02±0.12	-0.05±0.13	-0.02±0.13	L	.238	.789	-
	50 cm	-0.03±0.11	-0.04±0.21	-0.03±0.16	H×L	.003	.136	-
	total average	0.00±0.14	-0.04±0.15	-0.02±0.15				
Fy (N/BW)	20 cm	0.88±0.37	0.73±0.25	0.80±0.31	H	.235	.630	-
	35 cm	0.42±0.36	0.51±0.22	0.46±0.29	L	7.711	.001***	20 > 35, 50
	50 cm	0.50±0.30	0.45±0.18	0.48±0.24	H×L	.730	.487	-
	total average	0.60±0.39	0.56±0.24	0.58±0.32				
Fz (N/BW)	20 cm	3.80±0.52	3.85±0.86	3.83±0.69	H	.046	.831	-
	35 cm	3.75±0.58	3.69±0.58	3.72±0.56	L	.168	.368	-
	50 cm	3.85±0.60	3.98±0.81	3.91±0.70	H×L	.101	.904	-
	total average	3.80±0.55	3.84±0.74	3.82±0.64				
loading rate (N/BW/sec)	20 cm	98.54±102.00	190.62±142.12	144.58±129.02	H	17.533	.001***	9 > 0
	35 cm	96.13±83.66	193.41±120.72	144.77±112.50	L	.031	.969	-
	50 cm	78.81±26.44	224.64±69.29	151.72±90.65	H×L	.412	.665	-
	total average	91.16±75.17	202.89±111.46	147.03±109.75				

note: *** $p<.001$, H: Heel height of the main effect, L: Landing distance of the main effect, H×L: Interaction

Figure 3. GRF parameter (Fx, Fy, Fz) according to the shoe's heel heights and landing distance during downward stairs on bus (N/BW)

과 같다.

내·외(Fx), 수직(Fz)지면반력의 변화는 구두 힐 높이와 착지거리 증가에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고($p>.05$), 상호작용 또한 없는 것으로 나타났다($p>.05$). 전·후(Fy)지면반력은 착지거리에 따라 35 cm의 0.46 ± 0.29 N/BW, 50 cm의 0.48 ± 0.25 N/BW와 비교하여 20 cm가 0.80 ± 0.32 N/BW로 가장 크게 통계적 유의한 차이가 나타났고($F=7.711$, $p<.001$), 힐 높이 증가와 상호작용은 없는 것으로 나타났다($p>.05$). 부하율(loading rate)의 변화는 <Table 1>과 같이 힐 높이가 9 cm인 경우 202.89 ± 111.46 N/BW/sec로 0 cm의 91.16 ± 75.17 N/BW/sec와 비교하여 더 크게 통계적 유의한 차이가 나타났고($F=17.533$, $p<.001$), 착지거리 증가와 상호작용은 없는 것으로 나타났다($p>.05$).

압력중심의 면적(COP area)과 동적안정성지수는 9명의 각 대상자별 데이터를 사용하여 방사형 그래프로 상대적

인 변화를 <Figure 5, 6>과 같이 제시하였다. 압력의 중심(COP)은 <Table 2> 및 <Figure 4, 5>와 같이 ΔCOP_y , COP area에서 구두 힐 높이와 착지거리 증가에 따라 통계적 유의한 차이는 없었고($p>.05$), 상호작용 또한 없는 것으로 나타났다($p>.05$). 하지만 ΔCOP_x 는 0 cm가 -1.77 ± 1.11 cm로 구두 힐 높이 9 cm의 -0.95 ± 1.61 cm 보다 더 크게 통계적 유의한 차이가 나타났고($F=4.643$, $p<.05$), 착지거리 증가와 상호작용은 없는 것으로 나타났다($p>.05$).

동적안정성지수(dynamic postural stability index)를 조사한 결과, <Table 2> 및 <Figure 6>과 같이 MLSI, APSI, VSI, DPSI는 착지거리 증가와 상호작용은 없는 것으로 나타났다($p>.05$). 하지만 구두 힐 높이 증가에 따라 MLSI는 0 cm가 0.03 ± 0.01 , 9 cm가 0.04 ± 0.01 ($F=5.540$, $p<.05$), APSI는 0 cm가 0.12 ± 0.04 , 9 cm가 0.17 ± 0.08 ($F=7.841$, $p<.05$), VSI는 0 cm가 0.59 ± 0.26 , 9 cm가 0.76 ± 0.33 ($F=20.835$, $p<.001$), DPSI는 0 cm가 0.67 ± 0.18 , 9 cm가 1.00 ± 0.33 ($F=19.634$,

Table 2. The COP and dynamic postural stability index according to the shoe's heel heights & landing distance during downward stairs on bus

Section		heel height (cm)		total average	Source	F	p	post-hoc
Phase	landing distance	0 cm	9 cm					
ΔCOP_x (cm)	20 cm	-1.76±0.91	-1.51±1.07	-1.64±0.97	H	4.643	.036*	0 > 9
	35 cm	-2.06±0.98	-0.70±1.32	-1.38±1.32	L	.792	.459	-
	50 cm	-1.47±1.41	-0.63±2.25	-1.05±1.87	H×L	.701	.501	-
	total average	-1.77±1.11	-0.95±1.61	-1.36±1.43				
ΔCOP_y (cm)	20 cm	12.42±1.55	13.76±2.78	13.09±2.29	H	.803	.375	-
	35 cm	12.56±2.27	13.60±2.33	13.08±2.30	L	.653	.525	-
	50 cm	12.67±2.18	11.98±2.56	12.32±2.33	H×L	1.007	.373	-
	total average	12.55±1.95	13.11±2.60	12.83±2.29				
COP area (cm ²)	20 cm	22.61±13.45	24.47±11.56	23.54±12.20	H	.480	.492	-
	35 cm	26.92±16.53	18.52±8.38	22.72±13.43	L	.027	.973	-
	50 cm	23.64±8.84	23.40±11.31	23.52±9.85	H×L	.918	.406	-
	total average	24.39±12.94	22.13±10.44	23.26±11.70				
MLSI	20 cm	0.03±0.01	0.04±0.01	0.04±0.01	H	5.540	.023*	9 > 0
	35 cm	0.04±0.02	0.05±0.01	0.04±0.02	L	.124	.884	-
	50 cm	0.03±0.01	0.05±0.02	0.04±0.02	H×L	.727	.488	-
	total average	0.03±0.02	0.04±0.02	0.04±0.02				
APSI	20 cm	0.12±0.04	0.17±0.08	0.15±0.06	H	7.841	.007**	9 > 0
	35 cm	0.11±0.06	0.13±0.05	0.12±0.05	L	1.696	.194	-
	50 cm	0.08±0.04	0.15±0.05	0.12±0.06	H×L	.600	.553	-
	total average	0.10±0.05	0.15±0.06	0.13±0.06				
VSI	20 cm	0.53±0.12	0.76±0.33	0.65±0.27	H	20.835	.001***	9 > 0
	35 cm	0.50±0.15	0.77±0.29	0.63±0.26	L	.432	.652	-
	50 cm	0.53±0.12	0.87±0.21	0.70±0.24	H×L	.268	.766	-
	total average	0.52±0.12	0.80±0.28	0.66±0.25				
DPSI	20 cm	0.70±0.16	0.99±0.42	0.84±0.34	H	19.634	.001***	9 > 0
	35 cm	0.65±0.22	0.95±0.35	0.80±0.32	L	.240	.788	-
	50 cm	0.65±0.16	1.08±0.23	0.86±0.29	H×L	.332	.332	-
	total average	0.67±0.18	1.00±0.33	0.84±0.31				

note: * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, H: Heel height of the main effect, L: Landing distance of the main effect, H×L: Interaction

Figure 4. ΔCOP_x , ΔCOP_y according to the shoe's heel heights and landing distance during downward stairs on bus

Figure 5. COP area according to the shoe's heel heights and landing distance during downward stairs on bus

$p < .001$ 로 더 크게 통계적 유의한 차이가 나타났다.

IV. 논 의

계단에서 내리기 동작은 한발 지지기 비율이 오르기 동작보다 크게 나타나고, 양발 지지기 비율은 반대로 오르기 동작보다 작기 때문에 균형을 유지하는데 어려움이 있다 (Zachazewski Riley, & Krebs, 1993). 이러한 이유로 계단보행 중 낙상은 오르기 동작과 비교하여 내려가는 동작에서 흔히 발생한다고 보고되고 있다 (Cohen, Templer, & Archea, 1985).

따라서 본 연구는 일상생활에서 빈번히 이용되고 있는 높은 버스계단에서 내리기 동작 시 여성들이 착용하는 구두의 힐 높이와 착지거리에 따른 지면반력 파라미터를 분석하기 위해 실시하였다.

이동운동 시 발이 지면에 닿는 때 순간마다 좌우, 전후, 수직 3방향별 반복적인 충격을 받게 되는데, 이때, 수직방향으로 생성되는 첫 번째 피크(Fz)인 충격력(impact force)과 크기는 작고 불규칙적인 파형을 보이는 내·외(Fx, 전·

후(Fy) 지면반력이 생성된다(Ryu, 2013). 이중 Fx 값은 신체 COM의 위치와 발의 위치 사이의 관계에 따라 달라진다고 보고하고 있지만(Whittle, 2007), 본 연구 결과, 구두 힐 높이와 착지 거리에 따라 큰 차이는 없었다.

하지만 Fy의 변화는 착지거리에 따라 20 cm가 35, 50 cm보다 더 크게 통계적 유의한 차이가 나타났고, 0 cm가 9 cm 구두 힐 보다 더 큰 제동력을 나타냈다. 일반적인 평지보행에서 초기 접지 시 Fy 값은 제동력(breaking force)의 단계로 음(-)의 값이 생성된다(Coper, Prebeau-Menezes, Butcher, & Bertram, 2008; Heiden, Sanderson, Inglis, & Siegmund, 2006; Lockart, Spaulding, & Park, 2007). 하지만 계단을 내려오는 동작은 상체를 똑바로 세워 신체의 무게중심을 기저면 또는 후방에 유지시켜 전방향으로 회전하려는 움직임을 감소시키고(Shin, 2000), 착지 시 계단 높이만큼 무릎 관절의 굴곡과 발목 관절의 배측굴곡(dorsiflexion)이 발생하게 된다(Kim, Y. S., Kim, E. J., & Seo, 2006). 이러한 특징으로 계단 내리기 시 제동력은 신체의 전방회전력으로 수직지면반력의 생성패턴과 유사한 양(+) 방향의 패턴이 나타난다고 하였다(Hyun et al., 2014).

본 연구결과와 비교해 볼 때, 9 cm 구두 힐은 구조적인 문제로 발목관절이 과도하게 저축 굴곡되어 착지가 이루어지기 때문에 0 cm 보다 더 작은 제동력이 생성된 것으로 판단되며, 이러한 특징은 착지거리가 증가할수록 더 감소되는 경향을 보였지만, 마지막 계단과 더 근접해질수록 제동력이 크게 나타나, 신체의 전방 회전력이 더 증가되는 것으로 판단된다.

Fz 값은 충격력(impact force)으로 구두 힐 높이와 착지 거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만, 9 cm 구두 힐 착용 후 착지거리 50 cm가 3.98 ± 0.82 N/BW로 가장

Figure 6. MLSI, APSI, VSI, DPSI according to the shoe's heel heights and landing distance during bus downward stairs

큰 수직지면반력을 나타냈다. 이는 버스에서 계단내리기 시 편안한 착지거리를 유도하여 구두 힐 높이별 지면반력을 비교한 Ryew와 Hyun (2013)의 연구결과인 3.73 ± 0.72 N/BW와 일반계단에서 내리기 시 발생하는 1.57 ± 0.15 N/BW (Yoon, 2008) 보다 더 큰 값을 나타냈다. 또한 착지거리에 따른 구두 힐 높이의 주효과(main effect)와 비교해 볼 때, 9 cm 구두 힐 착용이 더 큰 수직지면반력이 나타난 바, 계단 내리기는 구두 힐(heel) 높이가 증가되는 만큼 힐-착지점 간 수직 높이를 인지하지 못하여 더 큰 충격력이 생성되는 것으로 판단된다.

부하율은 최대수직지면반력을 최대수직지면반력이 생성된 시간으로 나눈 값이며 동일한 조건에서 시간이 짧아질수록 시간당 신체가 받아들이는 부하가 증가함을 의미한다. <Figure 3>에서 알 수 있듯이 최대수직지면반력 정점까지의 소요시간은 20, 35, 50 cm 모든 착지거리에서 0 cm 보다 9 cm 힐 높이가 더 짧은 형태를 보이고 있다. 이에 시간당 신체가 받아들이는 부하율은 9 cm 구두 힐 착용 후 착지거리가 50 cm 일 때 224.64 ± 69.29 N/BW/sec로 더 증가되는 형태를 보인 반면, 0 cm 는 착지거리가 증가할수록 더 감소하는 형태를 보였다. 이는 Cho, Kim, Lee, H. D.와 Lee, S. C. (2010)가 45 cm에서 드롭랜딩을 실시한 결과인 151.86 N/BW/sec보다 더 큰 부하율이 나타나, 본 연구에서 계단 내리기 동작은 충격가속도의 영향을 받아(Yoon, 2008) 이동속도와 착지거리가 증가할수록 더 큰 부하율이 발생하는 것으로 생각된다. 특히 0 cm 맨발 보행의 경우 9 cm 구두 힐 보행과 비교하여 착지 거리 증가에 따라 부하율이 감소하는 반대의 기전이 나타난 바, 이는 Choi 등 (2006)이 착지 충격을 감지한 신체교유수용기가 발을 디디기 전에 충격흡수 기전을 작용시킨다는 보고와 유사한 결과로 생각되며, ΔCOP_x 변인과 깊은 연관성이 있다고 생각된다.

COP 관련 변인들은 자세 안정성을 평가하는 중요한 변수로 임상적 예측을 위해 사용되고 있다(Lee & Lin, 2007). 본 연구에서 ΔCOP_y 는 큰 변화가 없었지만, ΔCOP_x 에서 구두 힐 높이변화에 따라 0 cm가 -1.77 ± 1.11 cm로, 9 cm의 -0.95 ± 1.61 cm와 비교하여 더 큰 변화를 보였다. Kim 등 (2004)은 접지 시 충격량을 분산시키기 위해 기본적으로 압력중심은 완만한 회내 동작을 수행하는 것이 효율적인 보행이라고 보고한 바, 0 cm 보행은 이러한 역할을 수행하기 위한 기전으로 생각된다. 하지만, 9 cm 구두 힐의 착용은 본 연구의 부하율/loading rate)의 변화에서 알 수 있듯이, 높은 구두 힐의 구조적인 문제로 전족의 압력분포 증가(Nyska et al., 1996) 및 전족 착지 시 발생하는 전방운동량(momentum)이 증가하여 큰 골격계에 더 많은 부하가 발생할 수 있을 것으로 생각된다(Hyun et al., 2013). 또한 ΔCOP_x 와 ΔCOP_y 경로에 의

해 생성된 COP area는 착지 거리에 따라 큰 변화는 없었지만, 0 cm의 경우 ΔCOP_x 의 움직임이 신체의 전방이동 감속을 위해 더 증가된 결과와 같이 면적 또한 더 크게 생성된 것으로 생각된다.

지면반력 파라미터에서 Fx, Fy, Fz값을 이용한 동적안정성지수는 Wikstrom 등 (2005)의 자료를 참고하였다. 특히 계단을 내려오는 동안 수직지면반력은 한번의 최대정점을 나타내기 때문에(Lyons, Perry, Gronley, Barnes, & Antonelli, 1983; Protopapadaki, Drechsler, Cramp, Coutts, & Scott, 2007; Riener, Rabuffetti, & Frigo, 2002; Stacoff, Diezi, Luder, Sussi, & Kramers-de Quervain, 2005) 각 방향으로 생성되는 3방향의 지면반력 값을 시간함수에 따른 샘플수로 나누어 동적안정성을 조사하였다.

본 연구결과에서 알 수 있듯이, 버스계단 내리기 시 착지거리에 따라 안정성에 차이가 나타날 것으로 가정하였지만, MLSI, APSI, VSI, DPSI를 조사한 결과 큰 차이가 없었다. 하지만 구두 힐 높이 증가에 따라 0 cm와 비교하여 9 cm구두 힐 착용이 더 큰 값을 보여 안정성이 저하되는 결과를 나타냈다.

이러한 결과는 본 연구에서 <Figure 3>과 부하율에서 알 수 있듯이 지면반력의 Fx, Fy, Fz의 최고정점이 생성되는 소요시간은 9 cm 구두 힐 착용이 0 cm 보다 더 빠른 것을 알 수 있다. 즉, 지면 착지 시 신체안정성을 위한 발의 조절 기전은 9 cm가 더 빠름을 의미한다. 이에 Lee, Y. C., Lee, D. Y.와 Cho (2013)가 평지보행 시 이동속도에 따른 안정성을 분석한 연구에서 Fx, Fy, Fz 각 방향의 안정성 지수는 이동 속도가 증가할수록 모든 방향의 안정성이 저하된다는 보고와 유사한 결과를 나타냈다.

종합해 볼 때, 높은 버스계단에서 내리기 시 구두 힐 높이와 착지거리에 따른 지면반력 파라미터를 조사한 결과, 뒤 굽이 높은 구두 힐 착용은 피하고, 마지막 지면과의 착지거리는 수평 축(Y axis) 거리 35 cm (신발 사이즈의 147.05%)를 유지하여 내려오는 동작이 낙상 예방 및 동적 균형 유지에 효율적인 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구의 목적은 버스에서 계단을 내려오는 동안 구두의 힐 높이(0, 9 cm)와 착지거리(20, 35, 50 cm)에 따른 지면반력 파라미터들을 조사하기 위해 실시하였고, 분석결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지면반력의 Fx, Fz는 착지거리와 구두 힐 높이 증가에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만 9 cm 구두 힐이 50 cm 착지거리에서 가장 큰 Fz를 나타냈다. Fy는 구두 힐 높이증가에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만 착지거리 20 cm가 35, 50 cm 보다 더 큰 값을 보였다.

2. 부하율은 착지거리 증가에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만 구두 힐 높이 9 cm가 0 cm보다 더 큰 부하율을 보였다.

COP 변인 중 ΔCOP_y 와 COP area는 구두 힐 높이와 착지거리 증가에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만, ΔCOP_x 는 0 cm 보행이 9 cm 보다 더 큰 변화를 보였다.

3. 버스계단 내리기 시 동적안정성지수를 분석한 결과 MLSI, APSI, VSI, DPSI는 착지거리에 따라 통계적 유의한 차이는 없었지만, 구두 힐 높이 증가에 따라 9 cm가 0 cm와 비교하여 안정성이 더 저하되는 것으로 나타났다.

이와 같이 버스에서 계단을 내려가는 동안 구두 힐 높이와 지면착지거리에 따라 지면반력 파라미터들은 서로 다른 특징이 있음을 알 수 있었다. 추후 높은 버스계단에서 오르기·내리기 시 운동학적(kinematic)·역학적(kinetic) 접근을 통해 성별과 연령, 급정거, 급출발 등, 다양한 독립변인들을 고려한 후속연구들이 이루어지길 제안한다.

참고문헌

- An, E. S., Eom, G. M., & Lee, S. H. (2004). Analysis of impulse under foot in various shoes. *Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Conference*, 10, 30-33. Korean: Pusan.
- Andriacchi, T. P., & Mikosz, R. P. (1991). *Musculoskeletal dynamics, locomotion and clinical applications*. In Basic Orthopaedic Biomechanics. 2nd edition. New York: Raven Press.
- Andriacchi, T. P., Andersson, G. B., & Fermier, R. W. (1982). The influence of total knee replacement design of walking and stair climbing. *Journal Bone Joint Surgery*, 64(9), 1328-1335.
- Buzzi, U. H., Stergiou, N., Kurz, M., Hageman, P. A., & Heidel, J. (2003). Nonlinear dynamics indicates aging affects variability during gait. *Clinical Biomechanics*, 18(5), 435-443.
- Cho, J. H., Kim, K. H., Lee, H. D., & Lee, S. C. (2010). Effects of Rehabilitation duration on lower limb joints biomechanics during drop landing in athletes with functional ankle instability. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(4), 395-406.
- Cho, S. M., Kim, H. S., & Koh, A. R. (2009). A qualitative study on the psychological meanings of wearing female high-heeled shoes. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 33(9), 1361-1373.
- Choi, C. S., Nam, K. J., Shin, I. S., Seo, J. S., Eun, S. D., & Kim, S. B. (2006). Shock attenuation mechanism in drop landing according to the backpack weight changes. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(2), 25-35.
- Choi, S. H., & Chun, J. S. (2009). The relationship between shoe wearing trait and foot shape of women in their twenties. *The Research Journal of the Costume Culture*, 17(1), 68-75.
- Cohen, H. H., Templer, J., & Archea, J. (1985). An analysis of occupational stair accident patterns. *Journal of Safety Research*, 16(4), 171-181.
- Cooper, R. C., Prebeau-Menezes, L. M., Butcher, M. T., & Bertram, J. E. A. (2008). Step length and required in walking. *Gait and Posture*, 27(4), 547-551.
- Dekel, S., & Weissman, S. L. (1978). Joint changes after overuse and peak overloading of rabbit knees in vivo. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 49(6), 519-528.
- Flynn, J. (1977). *Kinematical variability of normal climbing and descending stairs*. Unpublished Master's Thesis. Vanderbilt University, Nashville, TN.
- 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(3), 189-197.
- Han, J. T. (2008). *Analysis of gait characteristics during stairs and ramp ascent in elderly people*. Unpublished Doctoral Dissertation, Graduate School of Gyeonbuk National University.
- Heiden, T. L., Sanderson, D. J., Inglis, J. T., & Siegmund, G. P. (2006). Adaptations to normal human gait on potentially slippery surfaces: The effects of awareness and prior slip experience. *Gait and Posture*, 24(2), 237-246.
- Hwang, H. (2010). *A study on the use of public bus of the disabled*. Unpublished Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology.
- Hyun, S. H., Lee, A. R., Ryew, C. C. (2013). Correlational analysis between center of pressure and ground reaction force according to shoe's heel heights & bag weights during gait of obese women. *The Official Journal of the Korean Academy of kinesiology*, 15(4), 41-51.
- Hyun, S. H., & Ryew, C. C. (2014). Comparison analysis of ground reaction force patterns according to the stairs heights and bag weights during downward stairs in women. *The Official Journal of the Korean Academy of kinesiology*, 16(1), 41-52.
- Hyun, S. H., Lee, A. R., & Ryew, C. C. (2014). Analysis of the ground reaction force parameters according to the change of position and of bag during downward stairs between dominant and non-dominant in upper & lower limbs. *Korean Journal of Sport Biomechanics* 24(1), 43-50.
- Jun, H. M., & Ryu, J. S. (2008). A kinetic analysis of the lower extremity during walking on three different stair width in healthy adults. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(4), 161-169.
- Kim, Y. J., Ji, J. G., Kim, J. T., Hong, J. H., Lee, J. S., Lee, H. S., & Park, S. B. (2004). A comparison study mask plantar pressure measures to the difference of shoes in 20 female. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 14(3), 83-98.
- Kim, Y. S., Kim, E. J., & Seo, C. J. (2006). The comparative analysis of EMG and Gait patterns of lower extremities during going up stairs and down. *The Korean Journal of Physical Education*, 45(4), 535-545.
- Lee, A. J. Y., & Lin, W. H. (2007). The influence of gender and somatotype on single leg upright standing postrural stability in children. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(3), 173-179.
- Lee, E. W., Park, K. H., & Rye, H. W. (2012). Characteristics of the leg edema caused by wearing high heels and calming effect of manual lymph drainage on the edema. *The Korean Society for Aesthetics and Cosmetology*, 10(4), 967-977.

- Lee, S. I. (2008). *A study on the bus stop and pedestrian facilities for users-centered median bus lanes*. Unpublished Master's Thesis, Graduate School of Kookmin University.
- Lee, Y. C., Lee, D. Y., & Cho, J. H. (2013). Analysis of three-directional ground reaction force and dynamic stability according to locomotion speed. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 52, 861-868.
- Lockhart, T. E., Spaulding, J. M., & Park, S. H. (2007). Age-related slip avoidance strategy while walking over a known slippery floor surface. *Gait and Posture*, 26(1), 142-149.
- Lyons, K., Perry, J., Gronley, J. K., Barnes, L., & Antonelli, D. (1983). Timing and relative intensity of hip extensor and abductor muscle action during level and stair ambulation: an EMG study. *Journal of the American Physical Therapy*, 63(10), 1597-1605.
- McFadyen, B. J., & Winter, D. A. (1988). An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent. *Journal of Biomechanics*, 21(9), 733-744.
- Munro, C. F., Miller, D. I., & Fuglevand, A. J. (1987). Ground reaction force in running: a reexamination. *Journal of Biomechanics*, 20(2), 147-155.
- Nyska, M., McCabe, C., Linge, K., & Klenerman, L. (1996). Plantar foot pressures during treadmill walking with high-heel and low-heel shoes. *Foot Ankle International*, 17(11), 662-666.
- Park, K. H., Kwon, O. Y., & Kim, Y. H. (2003). Effects of walking speed on foot joint motions and peak plantar pressure in healthy subjects. *Korean Research Society of Physical Therapy*, 10(1), 77-95.
- Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait Analysis: normal and pathological Function*. 2nd edition. Thorofare, New Jersey: SLACK, Inc.
- Protopapadaki, A., Drechsler, W. I., Cramp, M. A., Coutts, F. J., & Scott, O. M. (2007). Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and descent in healthy young individuals. *Clinical Biomechanics*, 22(2), 203-210.
- Radin, E. L., Orr, R. B., Kelman, J. L., Paul, I. L., & Rose, R. M. (1982). Effect of prolonged walking on concrete on the knees of sheep. *Journal of Biomechanics*, 15(7), 487-492.
- Riener, R., Rabuffetti, M., & Frigo, C. (2002). Stair ascent and descent at different inclinations. *Gait and Posture*, 15(1), 32-44.
- Ross, S. E., Guskiewicz, K. M., Gross, M. T., & Yu, B. (2009). Balance measures for discriminating between functionally unstable and stable ankles. *Medicine Science in Sports Exercise*, 41(2), 399-407.
- Ryew, C. C., & Hyun, S. H. (2013). The kinetic comparison analysis of gait posture on the bus downward stair according to shoe's heel and stair heights in the women. *The Korean Journal of Physical Education*, 52(6), 523-536.
- Ryew, C. C., Lee, A. R., & Hyun, S. H. (2013). The effect on the change of shoe's heel heights & body weights for dynamic balance during gait motions in women. *The Official Journal of the Korean Academy of Kinesiology*, 15(3), 79-90.
- Ryu, J. S. (2007). Nonlinear time series analysis of dynamic stability during human walking at the preferred speed. *The Korean of Physical Education*, 46(2), 431-439.
- Ryu, J. S. (2009). The effect of walking with high-heel shoes on local dynamic stability. *The Korean Journal of Physical Education*, 48(1), 431-438.
- Ryu, J. S. (2010). Effects of heeled shoe with different height on the balance during standing and walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(4), 479-486.
- Ryu, J. S. (2013). Effect of a prolonged-run-induced fatigue on the ground reaction force components. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 23(2), 225-233.
- Stacoff, A., Diezi, C., Luder, G., Süssi, E., & Kramers-de Quervain, I. A. (2005). Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age. *Gait and Posture*, 21(1), 24-38.
- Shin, H. S. (2000). *The effect of the treatment of eccentric contraction on the stair gait in hemiplegic quadriceps*. Unpublished Master's Thesis, Graduate School of Korean National University.
- Stefanyshyn, D. J., Nigg, B. M., Fisher, V., O'Flynn, B., & Liu, W. (2000). The influence of high heeled shoes kinematics, kinetics, and muscle EMG of normal female gait. *Journal of Applied Biomechanics*, 16(3), 309-319.
- Valentini, R., Martinelli, B., Mezzarobba, S., Mezzarobba, A., De Michiel, M., & Toffano, M. (2009). Optokinetic analysis of gait cycle during walking with 1cm-and 2cm-high heel lifts. *The Foot*, 19(1), 44-49.
- Wang, Y., Pascoe, D. D., Kim, C. K., & Xu, D. (2001). Force patterns of heel strike and toe off on different heel heights in normal walking. *Foot & Ankle International*, 22(6), 486-492.
- Whittle, M. W. (1999). Generation and attenuation of transient impulsive forces beneath the foot: a review. *Gait Posture*, 10(3), 264-275.
- Whittle, M. W. (2007). *Gait Analysis: an introduction*, 4th edition, Oxford, Butterworth-Heinemann.
- Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., Smith, A. N., & Borsa, P. A. (2005). A new force-plate technology measure of dynamic postural stability: The dynamic postural stability index. *Journal of Athletic Training*, 40(4), 305-309.
- Yoon, S. H. (2008). The effect of stair depth on ground reaction force parameters: Asymmetric and variability indices. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(1), 169-178.
- Zachazewski, J. E., Riley, P. O., & Krebs, D. E. (1993). Biomechanical analysis of body mass transfer during stair ascent and descent of healthy subject. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 30(4), 412-422.