

미끄럼방지 노인화에 대한 생체역학적 분석

이은영¹ · 손지훈² · 양정훈³ · 이기광³ · 곽창수⁴

¹부산외국어대학교 체육학부, ²서울시립대학교 도시노인건강운동연구소
³국민대학교 체육학부, ⁴한림대학교 체육학부

Biomechanical Analysis of the Non-slip Shoes for Older People

Eun-Young Lee¹ · Jee-Hoon Sohn² · Jeong-Hoon Yang³ · Ki-Kwang Lee³ · Chang-Soo Kwak⁴

¹Division of Physical Education, Busan University of Foreign Studies, Busan, Korea

²Institute of Health and Exercise for senior citizens, University of Seoul, Seoul, Korea

³Division of Physical Education, Kookmin University, Seoul, Korea

⁴Division of Physical Education, Hallym University, Chuncheon, Korea

Received 7 November 2013; Received in revised form 16 November 2013; Accepted 19 December 2013

ABSTRACT

Fall is very fatal accident causes death to older people. Shoe may affect to fall. Shoe influences risk of slips, trips, and falls by altering somatosensory feedback to the foot. The purpose of this study was to investigate the analysis of non-slip shoes for older people and influence on older people's lower extremity. For this study twenty three healthy older people were recruited. Each subjects walked over slippery surfaces (COF 0.08). Four pairs of non-slip shoes (shoe A had the greatest COF, 0.23 while shoe B, C, and D had smaller COF relatively) for older people were selected and tested mechanical and biomechanical experiment. For data collection motion capture and ground reaction forces were synchronized. There were statistically significant differences for slip-displacement, coefficient of friction, braking force, propulsion force, knee range of motion and knee joint stiffness by shoes. It was concluded that shoe A was the best for non-slip function because of the lowest slip displacement, the highest braking and propulsion forces, and the highest mechanical and biomechanical coefficient of friction where as shoe B, C, D were identified as a negative effect on the knee joint than shoe A. To prevent fall and slip, older people have to take a appropriate non-slip shoes such as shoe A.

Keywords : Fall, Non-slip Shoe, Elderly Gait, Slip

I. 서 론

안전한 상태는 위험 원인이 없는 상태이다. 위험 원인이 있더라도 인간이 피해를 받는 일이 없도록 대책이 세워져 있는 상태를 뜻한다. 욕실, 주방, 빙판길, 비 오는 거리 등에서는 물, 비누, 기름 등의 물질로 오염되어 있기 때문에 미끄러짐(slip), 낙상(fall) 우려가 있어 위험하다. 미끄러짐,

낙상사고의 75%는 시각 차단, 주의 분산, 위험 인지 실패, 바닥재 마찰력 변화 실패 등 감각(sensation), 인지(perception) 저하로 일어난다(Bentley et al., 2003).

노인들은 이러한 감각, 인지기능이 성인들 보다 현저히 저하되어 있고, 신체 움직임 기능 또한 제한되어 미끄러짐, 낙상을 당할 위험이 높다. 실제로 노인들에게 낙상이 빈번히 일어나며, 발생률이 점점 증가하고 있다(Lockhart, Woldstad, & Smith, 2003). 미끄러짐, 낙상 발생 시 노인들은 성인들 보다 대처능력이 떨어지므로 더 큰 손상을 유발할 가능성이 크다. 노화로 인해 자세 조절 능력, 몸의 반사 작용(body-orienting reflexes), 근육의 힘, 걸음 길이 등이 감소한 것이 그 원인이다(Rubenstein, 2006).

이 논문은 이은영(2013)의 국민대학교 석사학위논문 일부를 발췌하였음.
Corresponding Author : Chang-Soo Kwak
Hallym University, 1 Hallym University street, Chuncheon, Korea
Tel : +82-33-248-2256 / Fax : +82-33-254-0916
E-mail : cskwak@hallym.ac.kr

2009년 미국 질병 대책센터(Center for Disease Control and prevention [CPC], 2009)에서 낙상은 노인들의 이환율(morbidity rate) 증가의 주요 원인이며, 미국 노인들의 비의도적 사망(unintentional injury death) 원인의 45.5%를 차지한다고 했다. 낙상은 노인들에게 죽음을 불러올 수 있는 치명적 사고라고 해도 과언이 아니다. 그러므로 노인들에게 미끄러짐, 낙상 위험요인을 줄여줄 수 있는 연구들이 활발히 이루어져야 한다.

미끄러짐은 자세의 안정성과 하지의 체성감각과 관련이 있고, 이는 신발과 밀접한 관계가 있다(Menant, Steele, Menz, Munro, & Lord, 2008). 노인들은 실내에서 생활할 때나 실외에서 야외활동 시 미끄러짐 위험을 줄여주는 신발을 신는 것이 필수적이다. 미끄러운 지면에서는 신발 밑창(outsole)과 지면 사이에 막이 생겨 미끄러짐을 발생시키기 때문에 신발 밑창의 압착(squeezing)이 중요하다(Li, Wu, & Lin, 2006). 노인들의 신발은 보행 시 자세조절에 도움이 되어야 하며 미끄러짐을 예방할 수 있도록 설계되어야 한다(Menant et al., 2008).

미끄러짐에 강한 신발 밑창을 개발하기 위해서, 밑창의 너비, 깊이, 방향, 소재 등에 대해 연구 되어져 왔다(Li & Chen, 2004, 2005; Li, Chen, Lin, & Hsu, 2006; Li, Wu, et al., 2006; Decker, Houser, Noble, Karst, & Stergiou, 2009; Onodera et al., 2010; Li, Chen, C. Y., Chen, C.C., & Liu, 2012). 신발 밑창 디자인, 소재 및 특성은 신발밑창과 지면 간의 마찰력에 영향을 미친다고 하며(Gao, Abeysekera, Hirvonen, & Grönqvist, 2004; Manning & Jones, 2001; Menz, Lord, & McIntosh, 2001), 신발 밑창의 마찰력은 미끄러짐과 낙상에 큰 연관성이 있다고 한다(Bentley & Haslam, 2001; GRÖNQVIST, 1995). 그러므로 미끄러짐과 낙상이 빈번히 일어나는 노인들은 미끄러짐과 낙상 위험요소를 줄일 수 있도록 도움을 주는 신발을 착용해야 한다.

‘Guidelines for the prevention of falls in people over 65’에서 2000년도에 이미 노인들에게 낙상방지 신발을 필수적으로 착용하도록 권고하였고(Feder, Cryer, Donovan, & Carter, 2000), Menant et al. (2008)은 노인화 설계 시 노인들의 자세조절에 도움이 되도록 하고, 미끄러짐을 예방할 수 있도록 해야 한다고 하였다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 ‘효도화’라 불리며 노인을 위한 신발들이 판매되고 있으나, 기능적 측면에서 일반 성인화와 특별한 구분 없이 설계되어 있다. 노인들에게 적합한 기능성 노인화를 개발하고 이를 위한 여러 가지 연구들이 필요하다.

국내에서 노인화 개발을 위한 기초 연구가 이루어졌었다. Kwak 과 Lee (2000)는 한국 여성 노인용 신발 LAST 설계를 위한 발 측정에 관한 연구를 하였고, Lee 와 Choi (2000)는 노인화 개발의 중요성을 강조하며, 개발된 노인

화를 인체공학적으로 기능을 평가해야 한다고 주장하였다. Lee 와 Choi (2000)는 시중에 판매되고 있는 노인화의 성능을 운동학, 운동역학적 변인을 이용하여 인체공학적으로 평가하는 연구를 진행했으나 미끄러짐과 낙상예방에 대한 기능적인 측면의 평가는 이루어지지 않았다. 노인들에게 미끄러짐과 낙상이 빈번히 일어나며 이는 신발과 관련이 있음에도 불구하고(Menant et al., 2008) 현재 국내에서 이를 위한 기능성 노인화의 개발과 판매가 활발히 이루어지지 않고 있다.

신발을 개발하여 마찰력을 평가할 때, 기계에 신발을 넣어 정해진 규격(KS M ISO 13287, KS M ISO 11220 등의 표준규격)에 따라 실험하는 기계적 마찰력 테스트 방법과, 개발된 신발을 사람이 직접 신고 보행 시 지면반력기(force plate)에서 산출할 수 있는 생체역학적 마찰력 테스트 방법을 사용할 수 있다. 목적에 맞게 개발된 신발을 기계적으로 마찰력, 굴곡성, 마모 등을 테스트 하는 것이 꼭 필요한 부분이라고 생각된다. 하지만 신발은 결국 기계가 아니라 사람이 착용하는 것이므로, 사람이 직접 신발을 착용하고 성능을 평가하는 생체역학적 테스트가 함께 실시 될 필요가 있다고 생각한다. 따라서 본 연구의 목적은 시중에 판매되고 있는 노인화에 대해 기계적 평가와 함께 생체역학적 평가를 실시하고, 평가 된 노인화를 착용한 후 미끄러운 지면 보행 시 노인의 하지에 나타나는 변화를 조사하는 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 근골격계 질병 이력이 없는 건강한 노인 23명을 대상으로 하였다. 실험에 앞서 실험과 관련된 동작을 충분히 설명하였다. 대상자는 실험 상황과 부상위험에 대한 사항을 숙지한 뒤 실험 동의서에 서명 후 실험에 참여하였다. 대상자 정보는 <Table 1>과 같다.

2. 실험장비

노인화 평가와 미끄러운 지면에서 보행 시 하지에 발생하는 운동학, 운동역학적 분석을 위하여 10대의 Motion Capture Camera(MX-Tseries, Vicon, UK)와 1대의 Force Plate(OR6-7, AMTI, USA)을 사용하였다. Motion Capture Camera의 sampling rate은 240 Hz, Force Plate은 2400 Hz로 설정하였다. 동작 분석을 위하여 Vicon의 Plug in gait maker set에 제시된 주요 분절에 반사마커를 부착 하였다.

지면의 마찰계수 측정을 위하여 <Figure 1>에 제시된 ‘O-Y pull slip meter’장비를 사용하였다. 본 실험에 사용

Table 1. Subjects information

(n=23)

Subjects	n	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)	Leg length(cm)	Foot length(mm)
Male	12	68.92±3.92	164.33±6.65	63.92±0.68	80.67±2.65	257.92±13.50
Female	11	70.64±1.97	158.27±4.36	57.00±6.21	78.14±3.76	240.45±4.08
M±SD	23	69.73±3.19	161.43±5.95	60.60±8.78	79.46±3.97	249.56±12.87

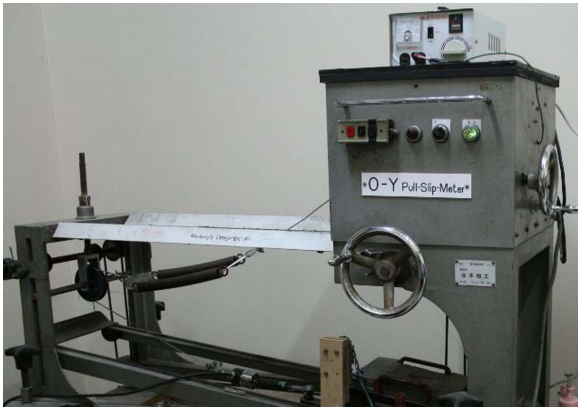


Figure 1. Surface coefficient of friction measurement equipment



Figure 2. Shoe coefficient of friction measurement equipment

된 지면(철판 위에 기름을 뿌린)의 미끄럼저항계수 (coefficient of friction [COF])는 0.08로 측정되었다. 나무 바닥 위에 물이 있는 지면의 미끄럼저항계수는 0.55, 플라스틱 위에 물이 있는 지면의 미끄럼저항계수는 0.25, 나무의 미끄럼저항계수는 0.95, 콘크리트의 미끄럼저항계수는 1.1로 측정이 된 것과 비교 하면, 본 실험에 사용된 표면은 아주 미끄러운 것임을 알 수 있다.

지면과 신발 사이의 마찰계수 측정을 위하여 <Figure 2>에 제시된 한국신발 과학연구소의 ‘신발 미끄럼저항 시험 (대성시험기, DSSL200)’장비를 사용하였다. 본 실험에 사용된 지면과 신발 사이의 마찰계수는 A신발 0.23, B신발 0.08, C신발 0.09, D신발 0.11 이었다. 한국 산업 규격 KS M ISO 11220: 2009에 제시된 방법에 따라 본 연구

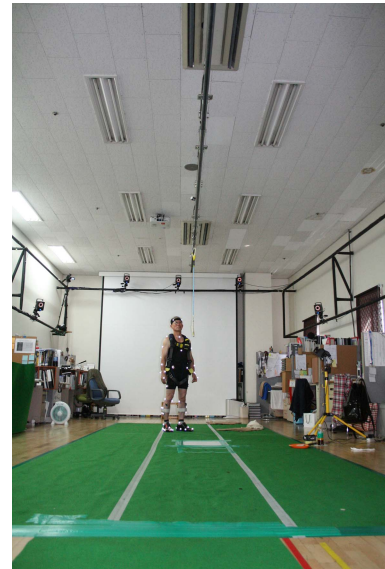


Figure 3. Safety Rope & Harness

를 진행한 실험실의 미끄러운 지면과 동일한 마찰계수의 시험면으로 시험하였다.

본 연구의 특성상 미끄러운 지면을 보행하여야 하므로 부상방지를 위하여 안전장치를 설치하였다. <Figure 3>과 같이 천장에 8000 N의 부하(load)를 견딜 수 있는 레일 (rail)을 고정(fixation)하였다. 레일에 트롤리(trolley)를 설치하고, 트롤리와 줄(rope)을 연결하였다. 그 줄과 대상자가 착용한 하네스(harness)와 연결하여, 미끄러짐과 낙상 발생 시 대상자가 바닥에 부딪혀 다칠 위험이 없도록 하였다.

3. 실험 절차

<Figure 4>와 같이 대상자가 실험과제를 수행 할 수 있도록 공간을 확보하고 실험에 필요한 장비들을 배치하였다. 동작을 측정하기 위하여 10대의 카메라를 대상자의 동선을 중심으로 설치하고, 실험실 안에서 6 m 보행이 될 수 있도록 하였다. 지면반력기는 6 m 보행주로(gait way) 안에 놓여 지도를 하였으며, 미끄러운 지면을 연출하기 위하여 지면반력기를 0.05 mm두께의 방수용 비닐로 감싸고, 1 mm의 철판을 설치하여 그 위에 기름을 뿌렸다. 본 실험에서 연출한 미끄러운 지면의 마찰계수는 <Figure 1>에 제시된 장비로 측정한 결과 0.08이었다.

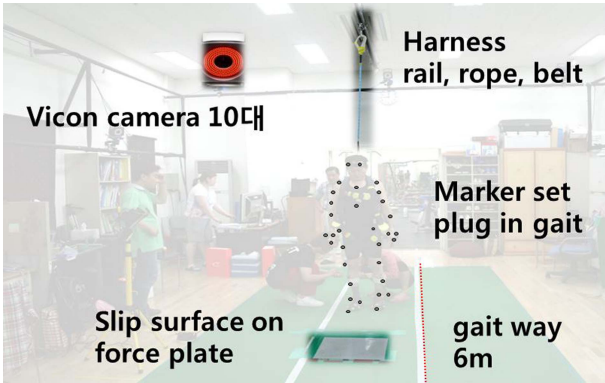


Figure 4. Placement of equipment



Figure 5. Shoe

본 실험에 사용된 신발<Figure 5>은 J사의 노인화 A(기계적 마찰계수 0.23), B사의 노인화 B(기계적 마찰계수 0.08), S사의 노인화 C(기계적 마찰계수 0.09), N사의 일반신발 D(기계적 마찰계수 0.11) 총 4켤레로 정하였다. A, B, C, D 네 종류의 신발 중 어떤 신발을 먼저 착용하고 실험을 할 것인가에 대한 신발 착용 순서는 경우의 수를 계산하여 대상자가 바뀔 때 마다 신발 착용순서가 달라지도록 무작위(random)로 선정 하였다. 대상자에게 실험에 대한 충분한 설명 후, 동의서를 받고, 몸에 달라붙는 실험복을 착용하게 하였다. 대상자의 기본정보를 수집한 후 신체계측을 하고 운동전문가와 함께 스트레칭을 하도록 하였다. 충분히 스트레칭 한 후 안전장치 하네스(harness)를 착용하게 하고, 반사마커를 부착하였다. 자연스러운 보행 동작을 유도하기 위하여 자기보행속도로 충분한 연습 후 본 실험을 실시하였다.

4. 자료분석

Vicon nexus software를 이용하여 영상데이터, 지면반력 데이터를 동조하여 자료를 받았다. Visual 3D (C-motion,

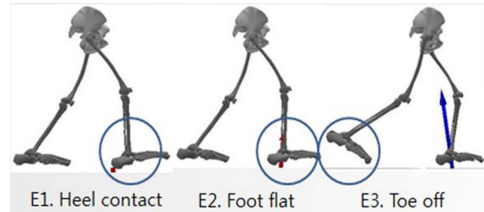


Figure 6. Event

USA)와 엑셀2010 (microsoft, USA)을 이용하여 운동학적, 운동역학적 데이터를 분석하였다. 이벤트는 <Figure 6>과 같이 발꿈치가 지면과 접촉하게 되는 순간의 발꿈치 닿기(heel contact)시점, 발바닥 전체가 지면과 접촉하게 되는 발바닥 닿기(foot flat)시점, 발가락이 지면에서 떨어지려는 순간의 발가락 떼기(toe off)시점으로 정하였다. Vicon nexus software에 이벤트를 입력할 때, 발꿈치 닿기(heel contact)는 지면반력기에 최초로 힘이 발생하는 시점, 발바닥 닿기(foot flat)는 오른발의 발가락(toe)마커의 속도가 0 과 가장 가까운 시점, 발가락 떼기(toe off)는 지면반력기의 힘이 사라지는 순간으로 입력하였다. 미끄러운 지면에서 보행 시 발생한 운동학, 운동역학적 데이터는 버터워스 2차 저역통과 필터(Butterworth 2th low-pass filter)를 이용하여 평활화(smoothing)하였다. 차단주파수(cut-off frequency)는 영상 데이터 11 Hz, 지면반력 데이터 100 Hz로 설정하였다.

노인화의 미끄럼방지 기능을 테스트하기 위하여 발 뒤쪽 미끄러짐 변위(rear-foot slip displacement), 발 앞쪽 미끄러짐 변위(fore-foot slip displacement), 제동력(breaking force), 추진력(propulsion force), 기계적 마찰계수(mechanical coefficient of friction), 생체역학적 마찰계수(biomechanical coefficient of friction)를 산출하였다. 발-뒤쪽 미끄러짐 거리는 heel contact 시점에서 foot flat 시점까지 heel marker의 변위를 계산하였고, 발-앞쪽 미끄러짐 거리는 foot flat 시점에서 toe-off 시점까지의 toe marker의 변위를 계산하였다. 지면반력기에 전-후(y좌표)로 작용하는 힘에서, 정지할 때 최대로 작용 하는 힘 제동력과, 추진할 때 최대로 작용 하는 힘 추진력을 계산하였다. 기계적 마찰 테스트는 한국신발과학연구소에 의뢰하여 <Figure 2>에 제시된 장비로 측정하여 결과 값을 얻었으며, 생체역학적 마찰 테스트는 노인이 직접 신발을 신고 미끄러운 지면 보행 시 지면반력기의 발 밑에 적용된 수직 힘을 전후 힘으로 나눈 값으로 계산하였다(Osis, Worobets, & Stefanyshyn, 2012).

노인화의 미끄럼방지 기능 차이가 미끄러운 지면 보행 시 노인의 하지에 미치는 영향을 조사하기 위하여 걸음길이, 걸음너비, 걸음시간, 시상면에서 나타나는 하지 관절각도, 하지 관절 강직 정도를 산출하였다. 하지 관절 강직

Table 2. Slip displacement

(unit: BW)

Variables	A shoe	B shoe	C shoe	D shoe	P-value	Post hoc
Rearfoot	4.02±2.15	5.70±3.86	4.29±3.45	4.45±2.78	.278	
Forefoot	15.64±5.24	51.55±29.93	52.23±22.78	46.31±19.25	.000	a>b, c, d

Table 3. Braking force·Propulsion force

(unit: BW)

Variables	A shoe	B shoe	C shoe	D shoe	P-value	Post hoc
Braking force	0.07±0.021	0.052±0.014	0.048±0.014	0.056 ±0.025	.000	a>b, c, d
Propulsion force	0.106±0.023	0.082 ±0.018	0.096 ±0.019	0.087 ±0.028	.003	a>b, d

정도는 로커(rocker)로 국면을 구분하지 않고, heel contact 시점에서 toe off지점까지를 한 국면으로 보고 모멘트의 변화량과 각도의 변화량의 비율(모멘트 변화량/각도 변화량)을 계산하여 최대값을 비교하였다(Davis & DeLuca, 1996; Kim & Lockhart, 2012; Liu & Lockhart, 2009; Lockhart, et al., 2003).

5. 통계처리

통계적 분석을 위해 PASW Statistics 18(IBM, USA)을 사용하였다. 기술통계 분석과 측정값 탐색을 통해 평균, 표준편차를 계산하고 정규분포에 대한 판단을 실시하였다. A 신발과 B신발, C신발, D신발의 운동학, 운동역학적 데이터를 3회 평균한 값을 사용하여 일원변량 반복측정 분산분석(1-way repeated measures ANOVA)을 실시하였다. 사후 검정은 Tukey를 통해 개체 간 차이를 검증 하였다. 유의 수준은 $\alpha < .05$ 로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 노인화 미끄럼방지 기능 평가

1) 미끄러짐 변위 (slip displacement)

발-뒤쪽 미끄러짐 변위(rear-foot slip displacement)는 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았지만, A 신발 착용 후 가장 짧게 나타났다. 발-앞쪽 미끄러짐 변위(fore-foot slip displacement) 또한 A 신발 착용 후 가장 짧게 나타났으며, 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. A 신발을 착용했을 때 미끄러짐이 최소화 되는 것으로 조사되었으며, 다른 신발과 발-앞쪽 미끄러짐 변위를 비교했을 때, 30 mm 이상의 차이를 나타냈다. 미끄러짐 변위에 대한 결과 값은 아래 <Table 2>에 제시하였다.

2) 제동력과 추진력 (braking force & propulsion force)

A신발 착용 후 미끄러운 지면 보행 시, 제동력과 추진력이 가장 높은 것으로 조사되었다. A신발의 제동력이

Table 4. Coefficient of Friction

(unit: μ)

Variables	A shoe	B shoe	C shoe	D shoe
Mechanical COF	0.23	0.08	0.09	0.11
Biomechanical COF	0.13	0.09	0.10	0.11

0.074±0.021 BW, 추진력이 0.106±0.023 BW으로 나타났다. 제동력의 유의수준은 .000으로 A신발과 B, C, D신발 간에 차이가 나타났고, 추진력의 유의수준은 .003으로 A신발과 B, D신발 간에 차이가 나타났다. 제동력과 추진력에 대한 결과 값은 아래 <Table 3>에 제시하였다.

3) 마찰계수 (coefficient of friction)

기계적 마찰계수는 A신발-D신발-C신발-B신발 순서로 A신발이 가장 높고, B신발이 가장 낮은 것으로 조사되었다. 생체역학적 마찰계수 역시 A신발-D신발-C신발-B신발 순서로 나타났다. B, C, D신발은 기계적 마찰계수와 생체역학적 마찰계수가 큰 차이가 없는 것으로 조사되었으나, A신발의 기계적 마찰계수와 생체역학적 마찰계수는 다른 신발에 비해 차이가 큰 것으로 나타났다. 결과 값은 아래 <Table 4>에 제시하였다.

2. 하지의 운동학 및 운동역학적 결과

1) 걸음특성 (gait characteristic)

걸음특성에 대한 걸음 길이·너비·시간의 결과는 <Table 5>와 같다. 걸음 길이는 A 신발 착용 후 가장 길게 나타났으며, 걸음 너비는 A 신발 착용 후 장 좁게 나타났다. 통계적으로 유의한 차이는 없었으며, 걸음 시간 역시 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2) 하지 관절각도 (joint angle of lower extremity)

하지의 엉덩이·무릎·발목 각도 결과는 <Table 6>과 같다. 엉덩이 최고 굽힘 각도, 최고 폼 각도, 관절 가동 범위는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 발목의 최고 굽힘 각도, 최고 폼 각도, 관절 가동 범위 또한

Table 5. Step length·width·time

Variables	A shoe	B shoe	C shoe	D shoe	P-value
Step length(cm)	62.36±5.57	61.22±6.08	61.61±6.87	61.00±5.14	.874
Step width(cm)	7.67±3.04	8.69±3.82	8.33±4.11	8.62±2.86	.749
Step time(sec)	0.53±0.04	0.53±0.04	0.52±0.06	0.52±0.05	.875

Table 6. Hip · knee · ankle angle (unit: deg)

Variables	A shoe	B shoe	C shoe	D shoe	P-value	Post hoc	
Hip angle	peak flexion	31.05±7.74	31.62±7.01	30.65±7.12	31.18±6.77	.976	
	peak extension	-15.47±7.98	-14.72±7.82	-15.15±7.24	-15.52±7.36	.983	
	ROM	46.51±4.58	46.33±3.86	45.80±4.53	46.70±3.78	.899	
Knee angle	peak flexion	-34.22±5.59	-30.12±6.24	-30.28±6.01	-28.90±6.15	.021	a>d
	peak extension	-3.41±4.79	-4.29±4.79	-3.69±4.85	-4.28±5.12	.097	
	ROM	30.81±3.46	25.83±4.27	26.58±4.00	24.63±6.22	.000	a>b, c, d
Ankle angle	peak dorsiflexion	11.97±5.37	12.47±3.34	11.25±4.04	11.16±3.25	.659	
	peak plantar flexion	-12.59±4.01	-13.56±4.76	-13.12±4.79	-12.98±3.73	.899	
	ROM	30.70±6.36	32.99±4.37	31.16±4.51	29.82±4.92	.199	

Table 7. Hip·knee·ankle joint Stiffness (unit: Nm/kg /deg)

Variables	A shoe	B shoe	C shoe	D shoe	P-value	Post hoc
Hip joint stiffness	0.0463±0.0061	0.0479±0.0062	0.0480±0.0064	0.0459±0.0053	.527	
Knee joint stiffness	0.0215 ±0.0032	0.0270 ±0.0082	0.0296 ±0.0084	0.0284 ±0.0070	.001	a>b, c, d
Ankle joint stiffness	0.0477±0.0089	0.0405±0.0106	0.0440±0.0121	0.0477±0.0118	.080	

통계적으로 유의한 차이가 나지 않았다. 무릎의 최고 폼 각도도 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았지만, 무릎의 최고 굽힘 각도는 A신발 착용 후 -34.22±5.59°로 가장 높게 나타났고, 무릎의 관절 가동 범위도 A 신발 착용 후 30.81±3.46°로 가장 높게 나타내며 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 조사되었다.

3) 하지 관절강직정도(joint stiffness of lower extremity)

하지의 엉덩이 · 무릎 · 발목 관절 강직 정도 결과는 <Table 7>과 같다. 엉덩 관절, 발목 관절의 강직 정도는 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았지만, 무릎 관절 강직 정도는 A신발 착용 후 가장 낮은 강직 정도를 보이며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

IV. 논 의

본 연구의 목적은 시중에 판매되고 있는 노인화에 대해 기계적 평가와 함께 생체역학적 평가를 실시하고, 평가 된 노인화를 착용한 후 미끄러운 지면 보행 시 노인의 하지에 나타나는 변화를 조사하는 것이었다. 4종류 노인화의 미끄럼방지 기능을 1)발-뒤쪽 미끄러짐 변위, 2)발-앞쪽 미

끄러짐 변위, 3)제동력, 4)추진력, 5)기계적 마찰계수, 6)생체역학적 마찰계수로 평가하고, 1)걸음 특성과 2)하지관절의 각도와 3)강직정도를 분석하여 평가된 노인화 착용 후 미끄러운 지면 보행 시 노인의 하지에 나타나는 변화를 조사하였다.

미끄러짐은 발뒤꿈치 닿기(heel strike) 후 205.8 ms 사이 지점에서 아주 빨리 일어난다고 한다(Osis et al., 2012). 발꿈치 닿기 후 205 ms 사이 지점에서 미끄러짐 거리가 10 mm 미만 이면 ‘Micro slip’, 10 mm에서 100 mm 사이 이면 ‘Macro slip’, 100 mm이상 이면 ‘Fall’이라고 분류하고 있다(Cham & Redfern, 2002; Osis et al., 2012; Perkins, 1978). 이는 발뒤꿈치 닿기 시점에서 발뒤꿈치의 미끄러짐 거리가 낙상과 큰 연관이 있음을 말해준다. Fong, Mao, Li와 Hong (2008)의 연구에서 미끄러운 지면에서 보행 시 압력을 측정 한 결과 발-뒤쪽(rearfoot)의 압력은 감소하고, 발-앞쪽(forefoot)의 압력은 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 미끄러운 지면을 보행 시 발-앞쪽과 발-뒤쪽의 작용이 미끄러짐에 영향을 미친다고 할 수 있다. 본 연구에서 미끄러진 변위를, 발-뒤쪽 미끄러진 변위(rear-foot slip displacement, heel marker movement at phase 1)와, 발-앞쪽 미끄러진 변위(fore-foot slip displacement, toe

marker movement at phase 2) 두 가지로 나눈 이유이다. 본 연구에서 발-뒤쪽 미끄러짐 변위가 신발 종류 간에 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았다. 미끄러짐 연구에서 발-뒤쪽 미끄러짐 변위가 중요함에도 불구하고 차이가 나지 않은 이유는 실험에 참여한 노인들은 미끄러운 지면임을 인지한 상태에서 보행을 하였기 때문에, 평소 걸음보다 바닥과 발사이의 각도(sole angle)를 최소화 시키고 발목 관절 움직임을 최소화 한 뒤, 조심히 보행하여 과도한 발 뒤꿈치 미끄러짐을 미리 예방 한 것에 있다고 판단된다. 이로 미루어볼 때 노인들도 미끄러운 지면을 인지한 상태에서는 낙상이 우려되는 미끄러짐을 어느 정도 방어할 능력이 있다는 것을 조사할 수 있었다. 낙상은 미끄러운 지면임을 인지하지 못한 상태에서 많이 발생하므로 추후 실험에서는 보완될 필요가 있다고 판단된다. 발-앞쪽 미끄러짐 변위(fore-foot slip displacement)는 신발 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났는데, 모두 A신발과 다른 3종류의 신발 간의 차이였다. A신발은 발-앞쪽 미끄러짐 변위 15.64 mm로 다른 신발들과 30 mm이상 차이가 나며, 기름이 뿌려진 미끄러운 지면에서도 큰 미끄러짐을 발생시키지 않았다. 이는 A신발에 부착 된 밑창이 미끄러운 지면과 압착하여 미끄럼방지 기능을 제대로 한 것으로 판단된다.

신발의 종류와 특성에 따라 지면반력기 위에서 보행 시 힘의 작용이 다르게 나타난다. 미끄러운 지면 보행 시 제동력과 추진력의 작용이 현저히 줄어들었다. 본 연구의 결과 A 신발이 제동력은 체중의 0.07%, 추진력은 체중의 0.10%로 가장 높게 나타났다. Lee, Seo 와 Eun (2007)의 연구에서 노인들이 일반 지면 보행 시 제동력은 체중의 0.15%, 추진력은 체중의 0.19%로 나타났다. A신발을 신고 보행 시, 선행연구의 결과 값과 비교해 볼 때, 일반 지면에서 걷는 것과 가장 가까운 값을 보였다.

신발 밑창 특성은 신발과 바닥간의 마찰계수에 영향을 미치며(Gao et al., 2004; Manning & Jones, 2001; Menz et al., 2001), 마찰계수(coefficient of friction)는 신발 밑창의 미끄럼 저항성을 평가할 때 자주 사용된다(Yamaguchi et al., 2012). 기계적 마찰계수는 A신발 0.23, D신발 0.11, C신발 0.09, B신발 0.08 순서로 A신발의 마찰계수가 가장 높게 나타났으며, 생체역학적 마찰계수 또한 A신발 0.13, D신발 0.11, C신발 0.10, B신발 0.09 순서로 A신발의 마찰계수가 가장 높게 나타났다. A신발의 신발 밑창이 다른 신발에 비하여 미끄러짐을 방지할 수 있는 기능이 우수하다고 할 수 있다. 하지만 A신발의 마찰계수를 살펴보면, 상대적으로 다른 신발보다 기계적 마찰계수는 높는데 생체역학적 마찰계수는 확연히 낮은 것을 볼 수 있다. 다시 말해, 다른 신발에 비해 신발 밑창의 마찰계수는 높으나, 이 신발을 사람이 직접 신고

미끄러운 지면을 보행 시 마찰계수가 떨어진다고 할 수 있다. <Figure 5>에서 A신발의 밑창을 살펴보면 미끄러짐 방지 밑창이 발-뒤쪽 1 cm, 발-앞쪽 1 cm 지점에 부착이 되어 있지 않은 것을 확인할 수 있다. 기계적 마찰테스트보다 생체역학적 마찰테스트에서 마찰계수가 낮게 나온 것은 보행 시 heel strike, toe off 시점에서 미끄럼 방지 밑창이 부착되지 않은 발 앞 뒤 1 cm 부분과 접촉하여 나타난 현상이라 판단된다. 이는 A신발의 밑창 디자인이 보완되어야 할 부분이라 사료된다.

4종류의 신발 중 A신발이 신발평가 변인(미끄러짐 변위, 제동력, 추진력, 기계마찰력, 생체역학마찰력)모두 가장 높은 것으로 나타났으며, A신발을 신고 미끄러운 지면을 보행 시 나타나는 신발 평가변인 결과와, 선행연구에서 제시한 일반지면에서 보행 시 나타나는 수치가 비슷하게 나타났다. A신발은 보완될 부분이 조사되었지만, 미끄러운 지면을 보행 시 미끄러짐을 방지 할 수 있는 기능이 있는 노인화로 평가하는 바 이다. 반면, B신발과 C신발은 인지도가 높은 노인화 전문브랜드에서 개발하여 고가로 판매되고 있는 제품임에도 불구하고, 일반 신발인 D신발보다 기능이 낮은 것을 볼 수 있다. 따라서 B신발과 C신발은 노인들이 미끄러짐과 낙상 예방차원에서 착용하기에는 다소 기능이 부족한 것으로 판단된다. 신발 평가 시에 신발의 용도와 특성에 따라 충격흡수, 후족제어, 중량성, 착화감, 내구성, 마찰력, 유연성, 안정성 등 다양한 측면에서 평가되고 있다. 특히 노인화를 평가 할 때에는 낙상과 미끄러짐 예방 측면에서 접근하여 평가 되어져야 하며, 미끄러짐을 예방 할 수 있는 기능을 필수적으로 추가하여 개발하여야 하겠다. 마찰력이 너무 낮으면 미끄러짐을 발생시키고, 너무 높으면 걸려 넘어짐(trip)을 발생시키기 때문에 적절한 마찰계수를 찾는 것이 필요하다. 노인화 밑창에 적용시킬 적절한 마찰계수는 추후에 지속적으로 연구되어야 할 부분이다.

미끄러운 지면 보행 시 신발 종류 간에 걸음 길이, 너비, 시간 변인이 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았지만, 미끄러운 지면 보행 시 나타나는 노인들의 걸음 길이, 너비, 시간을 조사할 수 있었다. Lockhart 와 Kim (2006)의 연구에서 미끄러운 지면에서 보행 시 나타나는 노인들의 걸음길이(step length)가 61.43 ± 6.80 cm 라고 보고하였고, Tang 과 Woollacott (1998)연구에서는 60.50 ± 8.50 cm 라고 보고하였다. 선행연구와 본 연구의 걸음 길이 결과는 유사하게 나타났다.

Menant, steele, Menz, Munro와 Lord (2009)는 미끄러운 지면에서 보행 시 노인들의 걸음 너비(step width)가 9.80 ± 3.1 cm이라고 보고하고 있는데, 본 연구에서는 더 좁은 걸음 너비가 나타났다. Tang 과 Woollacott (1998)는 미끄러운 지면에서 보행 시 노인들의 걸음 시간(step time)

이 0.54 ± 5.50 sec 소요된다고 보고하고 있는데, 이는 본 연구의 연구결과와 유사한 값이다. 미끄러운 지면에서 보행 시 단시간에 신발 종류를 바꿔 착용한다고 해서 고유 걸음걸이의 특성은 변하지 않는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통하여, 미끄러운 지면 보행 시 신체에서 무릎 관절의 가동 범위(knee joint range of motion)를 감소시키고, 무릎 관절의 강직(knee joint stiffness)을 증가시킨다는 것을 조사 할 수 있었다. Heiden 등. (2006)의 성인을 대상으로 한 미끄러운 지면 보행 연구에서도 무릎 각도가 줄어든다고 보고했다. 또한 Kerrigan 등. (2001)이 성인과 일반노인, 낙상을 경험한 노인을 대상으로 한 일반 지면 보행 연구에서 성인들에 비해 일반노인들의 관절 각도가 작게 나타났고, 일반 노인들에 비해 낙상을 경험한 노인들의 관절 각도가 더 작게 나타났다고 보고했다. 무릎의 관절 가동 범위가 감소한 상태로 보행한다는 것은, 무릎 관절의 사용을 평소보다 줄인다는 뜻이다. 이렇게 되면, 줄어든 무릎 관절의 작용을 보완하기 위하여 몸통, 엉덩이, 발목 등에서 보상작용(compensations)이 일어난다. 이러한 비이상적인 보상작용이 지속되고, 반복된다면 정상적인 보행 패턴이 무너지게 되고 보행패턴이 변화하게 되어, 보행 시 몸통 기울기, 엉덩이, 무릎, 발목관절의 변형을 초래하여 장애(impairment)가 유발 될 것이라 사료된다. 노인들은 노화의 자연스런 생리학적 과정에 따라 근육조직이 손실되고 근육내의 지방 침착을 보이며 세포가 죽으면서 발생하는, 노인성 근육감소증(senile sarcopenia)으로 근력이 약화되어있는 상태이며, 골밀도 또한 작아져 있는 상태이다. 근육과 뼈 조직 자체가 약해진 상태에서 무릎의 강직을 크게 하는 전략을 사용하여 지속적으로 하지에 압박과 긴장(stress)을 가하게 되면, 이러한 힘들이 쌓여 근 피로(muscle fatigue)를 유발시킨다. 반복적인 근 피로는 근 손실로 이어지고 더 나아가 뼈에도 부정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다. 본 연구에서 미끄러짐을 방지할 수 있는 기능이 우수하다고 평가된 A신발을 신고 미끄러운 지면을 보행 시, B, C, D 신발 보다 무릎 관절 가동 범위가 증가하고 무릎 관절 강직 정도가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이로 미루어 보아 노인들이 미끄러운 지면에서 보행하는 것은 하지의 무릎에 부정적인 영향을 주지만, 미끄럼 방지 기능이 우수한 기능성 노인화를 착용한다면 이를 어느 정도 보완할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 시중에 판매되고 있는 노인화에 대해 기계적 평가와 함께 생체역학적 평가를 실시하고, 평가된 노인화를 착용한 후 미끄러운 지면 보행 시 노인의 하지에 나타나는 변화를 조사하는 것이었다.

4종류의 신발 중 A를 착용한 후 미끄러운 지면 보행 시, 미끄러짐 변위가 가장 짧았으며, 제동력, 추진력, 기계적 마찰계수, 생체역학적 마찰계수가 높아 미끄럼 방지 기능이 우수한 것으로 평가되었다.

미끄럼 방지 기능이 부족한 B, C, D신발을 착용한 후 미끄러운 지면 걷기 시 무릎 관절 가동범위가 감소하고, 무릎 관절 강직 정도가 커져 하지에 부정적인 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 미끄럼 방지 기능이 우수한 A신발 착용 시 무릎 관절의 가동 범위가 증가하고, 무릎 관절 강직 정도가 감소하는 결과가 나타났다.

신발 밑창(outsole)의 재질과 구조변화로 마찰계수가 높은 기능성 미끄럼 방지 노인화 착용은 미끄러운 지면 보행 시 노인 하지의 무릎 관절에 긍정적 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 노인들에게 미끄럼 방지 기능이 추가된 기능성 노인화 착용을 권고할 필요성이 있다.

본 연구의 결과들은 추후 기능성 노인화의 개발, 설계 및 선택과, 더 나아가 미끄럼 방지 작업화, 안전화 및 주방화 등의 평가에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구의 실험에 필요했던 많은 종류의 신발 지원, 미끄러운 지면에서도 노인들이 안전하게 실험에 참여할 수 있도록 하기위해 필요했던 안전장치 설치공사, 안전장비 지원 등 오랜 기간 동안 원활한 연구가 진행될 수 있도록 아낌없는 지원과 격려를 해주신 것에 대해 제이스텝(jstep) 관계자 분들께 진심을 담아 감사의 글을 전합니다. 감사드립니다.

참고문헌

- Bentley, T., Moore, D., Tappin, D., Parker, R., Ashby, L., & Hide, S. (2003). Slips, Trips and Falls in the New Zealand Dairy Farming Sector.
- Bentley, T., & Haslam, R. (2001). Identification of risk factors and countermeasures for slip, trip and fall accidents during the delivery of mail. *Applied Ergonomics*, 32(2), 127-134.
- CDC. (2009). Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Ten Leading Causes of Death and Injury (Charts). <http://www.cdc.gov/injury/wisqars/LeadingCauses.html>. Updated 2009 (accessed 9/26/2009).
- Cham, R., & Redfern, M. S. (2002). Changes in gait when anticipating slippery floors. *Gait & Posture*, 15(2), 159-171.
- Davis, R. B., & DeLuca, P. A. (1996). Gait characterization via dynamic joint stiffness. *Gait & Posture*, 4(3), 224-231.
- Decker, L., Houser, J. J., Noble, J. M., Karst, G. M., & Stergiou, N. (2009). The effects of shoe traction and obstacle height on lower extremity coordination dynamics during walking. *Applied Ergonomics*, 40(5), 895-903.
- Feder, G., Cryer, C., Donovan, S., & Carter, Y. (2000). Guidelines

- for the prevention of falls in people over 65. *BMJ: British Medical Journal*, 321(7267), 1007.
- Fong, D. T. P., Mao, D. W., Li, J. X., & Hong, Y. (2008). Greater toe grip and gentler heel strike are the strategies to adapt to slippery surface. *Journal of Biomechanics*, 41(4), 838-844.
- Gao, C., Abeysekera, J., Hirvonen, M., & Grönqvist, R. (2004). Slip resistant properties of footwear on ice. *Ergonomics*, 47(6), 710-716.
- Grönqvist, R. (1995). Mechanisms of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear soles on contaminated floors. *Ergonomics*, 38(2), 224-241.
- 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 & Posture*, 24(2), 237-246.
- Kerrigan, D. C., Lee, L. W., Collins, J. J., Riley, P. O., & Lipsitz, L. A. (2001). Reduced hip extension during walking: healthy elderly and fallers versus young adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(1), 26-30.
- Kim, S., & Lockhart, T. E. (2012). Lower limb control and mobility following exercise training. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, 9(1), 15.
- Kwak, C. S., & Lee, K. O. (2000). A Study on the foot measurement date for shoe LAST design for the Korean aged women. *Journal of Korean Physical Education Association for Girls and Women*, 14(1), 23-41.
- Lee, J. H., & Seo, J. S., & Eun, S. D. (2007). In according to walking time the character of the ground reaction force in elderly OA(Osteo-Arthritis) female patient. *Korean journal of sport biomechanics*, 17(2), 75-82.
- Lee, K. C., & Choi, C. J. (2000). The study on human technological analysis and evaluation of shoes for Korean old ladies. *Journal of Korean Physical Education Association for Girls and Women*, 14(2), 121-136.
- Li, K. W., & Chen, C. J. (2004). The effect of shoe soling tread groove width on the coefficient of friction with different sole materials, floors, and contaminants. *Applied Ergonomics*, 35(6), 499-507.
- Li, K. W., & Chen, C. J. (2005). Effects of tread groove orientation and width of the footwear pads on measured friction coefficients. *Safety Science*, 43(7), 391-405.
- Li, K. W., Chen, C. J., Lin, C. H., & Hsu, Y. W. (2006). Relationship between measured friction coefficients and two tread groove design parameters for footwear pads. *Tsinghua Science & Technology*, 11(6), 712-719.
- Li, K. W., Chen, C. Y., Chen, C. C., & Liu, L. (2012). Assessment of slip resistance under footwear materials, tread designs, floor contamination, and floor inclination conditions. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41, 3349-3351.
- Li, K. W., Wu, H. H., & Lin, Y. C. (2006). The effect of shoe sole tread groove depth on the friction coefficient with different tread groove widths, floors and contaminants. *Applied Ergonomics*, 37(6), 743-748.
- Liu, J., & Lockhart, T. E. (2009). Age-related joint moment characteristics during normal gait and successful reactive-recovery from unexpected slip perturbations. *Gait & Posture*, 30(3), 276-281.
- Lockhart, T. E., Woldstad, J. C., & Smith, J. L. (2003). Effects of age-related gait changes on the biomechanics of slips and falls. *Ergonomics*, 46(12), 1136-1160.
- Lockhart, T. E., & Kim, S. (2006). Relationship between hamstring activation rate and heel contact velocity: Factors influencing age-related slip-induced falls. *Gait & Posture*, 24(1), 23-34.
- Manning, D. P., & Jones, C. (2001). The effect of roughness, floor polish, water, oil and ice on underfoot friction: current safety footwear solings are less slip resistant than microcellular polyurethane. *Applied Ergonomics*, 32(2), 185-196.
- Menant, J. C., Steele, J. R., Menz, H. B., Munro, B. J., & Lord, S. R. (2008). Optimizing footwear for older people at risk of falls. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 45(8), 1167-1181.
- Menant, J. C., Steele, J. R., Menz, H. B., Munro, B. J., & Lord, S. R. (2009). Effects of walking surfaces and footwear on tempo-spatial gait parameters in young and older people. *Gait & Posture*, 29(3), 392-397.
- Menz, H. B., Lord, S. T., & McIntosh, A. S. (2001). Slip resistance of casual footwear: implications for falls in older adults. *Gerontology*, 47(3), 145-149.
- Onodera, H., Yamaguchi, T., Yamanouchi, H., Nagamori, K., Yano, M., Hirata, Y., & Hokkirigawa, K. (2010). Analysis of the slip-related falls and fall prevention with an intelligent shoe system. *Paper Presented at the Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2010 3rd IEEE RAS and EMBS International Conference on*.
- Osis, S. T., Worobets, J. T., & Stefanyshyn, D. J. (2012). Early Heel-strike Kinetics Are Indicative of Slip Potential During Walking Over a Contaminated Surface. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(1), 5-13.
- Perkins, P. J. (1978). Measurement of slip between the shoe and ground during walking. *American Society of Testing and Materials: Special Technical Publication*, 649, 71-87.
- Rubenstein, L. Z. (2006). Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age and ageing*, 35(suppl 2), ii37-ii41.
- Tang, P. F., & Woollacott, M. H. (1998). Inefficient postural responses to unexpected slips during walking in older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 53(6), M471.