

보행 시 생체신호분석을 통한 신발 착용 유무에 따른 마찰 특성 비교

오성근¹, 김진현^{2*}

¹용인대학교 체육과학연구소 학술연구교수, ²제주국제대학교 스포츠재활학과 교수

A Comparative Study on the Characteristics of Friction with/without shoes by Analyzing Bio-signals during walking

Oh Seong-geun¹, Jin-Hyun Kim^{2*}

¹Research Professor, Institute of Physical Education Science, Yong-in University

²Professor, Department of Sports Rehabilitation, Jeju International University

요 약 보행 시 지면에 대한 수직력에 대한 전단력의 비율, 즉 보행자가 사용한 마찰계수(UCOF)는 미끄러짐 발생 가능성이 있는 시점을 식별하는데 사용된다. 신발보행은 신발창 두께와 경도, 뒤꿈치 모양, 밑창 문양 등의 신발 디자인이 사용마찰계수를 변화시킬 것이다. 본 연구에서는 보행 시 신발 착용 유무에 따른 사용마찰계수(UCOF) 차이를 분석하기 위해 성인남녀 21명(여자 10명, 남자 11명, 나이: 25.2±2.3yrs, 키: 165.6±7.2cm, 몸무게: 62.2±7.8kg)을 대상으로 보행속도, 지면반력, 사용마찰계수(UCOF) 최대 시점, CoP-CoM-수직선 각도의 차이를 알아보고, 사용마찰계수(UCOF)와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 첫째, 보행 시 신발 착용으로 인해 체중수용기(제동기)의 더 이른 시점에 사용마찰계수가 최대치에 도달하고, 또 그 크기도 증가한다. 둘째, CoP-CoM의 Tangent 값과 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계는 오른발 제동 초기시점(UCOF1_h)보다 추진 후기에 발생하는 왼발(다음발) 착지시점(UCOF2_h)에서 더 높은 상관관계를 보여, 제동기 보다는 추진기(다음 발 제동기)와의 연관성을 시사한다.

주제어 : 보행, 걷기, 맨발, 신발, 사용마찰계수

Abstract The utilized coefficient of friction (UCOF) as a ratio of the shear force to the normal force on the ground during walking is used to identify the point at which slip is likely to occur. Shoe walking will change the utilized coefficient of friction by shoe design such as sole thickness and hardness, heel shape, and outsole pattern.

In this study, subjects are 21 adults (10 female, 11 male, age: 25.2 ± 2.3yrs, height: 165.6 ± 7.2cm), analysis variables were walking speed, GRF, when the UCOF is maximal, and Tangent of CoP-CoM angle, and correlation analysis with the utilized friction coefficient (UCOF). As a result, First, for the shod walking the time point which UCOF is maximum about heel strike was faster and the magnitude was larger than for barefoot walking. Second, the correlation between the tangent of CoP-CoM and UCOF of right foot was higher at the left heel striking point (UCOF2_h) which occurred in the post propulsion phase than at the right heel striking point (UCOF1_h). This suggests that the right foot UCOF is related to the braking phase of left foot(which is the propulsion phase of right foot) rather than the braking phase of right foot.

Key Words : Gait, Walk, Barefoot, shoe, Utilized coefficient of friction

*This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (NRF-2014S1A6A4027857)

*Corresponding Author : Jin-Hyun Kim(jinhyun0829@jeju.ac.kr)

Received October 8, 2018

Revised November 7, 2018

Accepted December 20, 2018

Published December 31, 2018

1. 서론

1.1 연구의 필요성 및 목적

두발로 걷는 능력은 인간의 건강한 삶을 유지하는데 가장 기본적으로 필요한 능력이며, 이러한 능력은 낙상으로 인한 상해로 크게 위협받을 수 있다.

미끄러짐은 일상생활뿐만 아니라 작업환경에서도 낙상의 주요 원인 중 하나이며, 중·장기적 보행능력 상실이 나아가 수명단축 등 심각한 문제를 야기할 수도 있다 [1-4]. 미끄러짐의 원인은 크게 발과 바닥면의 접촉 상태와 보행 시 이러한 외적 환경에 적응하여 보행 운동형상을 조절하는 인간의 운동능력으로 나눌 수 있다 [5]. 발-바닥면 접촉 상태에 따라 최대정지마찰력과 미끄럼마찰력이 결정되며, 이는 발이나 신발 그리고 지면바닥의 재질상태에 의해 결정된다 [6,7]. 다만 보행 시 발의 착지 각과 부과되는 하중에 따라 다양해 질 수 있다. 즉 보행자의 운동형상학 및 운동역학에 따라 외적 요인조차도 변할 수 있다 [8].

보행 중에 바닥에 가해지는 전단력(수평 지면반력)이 발이나 신발과 지면 접촉면에서의 최대정지마찰력(마찰계수×수직력)을 초과하지 않으면 미끄러지지 않는다 [9,10]. 따라서 미끄러짐을 방지하기 위해 바닥에 가해지는 수직력(수직지면반력)에 대한 전단력의 비율이 접촉면에서의 마찰계수보다 낮아야 한다. 결과적으로 최대로 이용가능한 마찰계수(available coefficient of friction) 범위 내에서 보행할 때 미끄러지지 않고 걸을 수 있게 되는 것이다. 보행하는 동안 지면반력으로부터 계산된 이 비율(수평지면반력/수직지면반력)을 보행자가 사용한 마찰계수(utilized coefficient of friction, UCOF)라고 할 수 있으며, 이 비율은 미끄러짐 발생 가능성 있는 보행 주기 시점을 식별하는데 사용되어왔다. 어떤 연구자들은 이 비율을 요구된 마찰계수(required coefficient of friction, RCOF)라고 부르기도 한다.

신발을 신고 걷을 때 맨발보행과는 달리 발-지면 접촉양상이 복잡해진다 [11]. 신발 창(sole)의 두께와 경도(hardness), 뒤꿈치 모양, 밑창 문양 등의 신발 디자인이 시간에 따른 수직력과 수평력의 양상을 변화시켜 결과적으로는 마찰계수를 변화시킬 것이다. 따라서 이용가능한 마찰계수에 영향을 준다 [12,13].

보행관련 다양한 변인들이 UCOF 크기에 대한 예측인자로 제안되었다. 보행 속도, 보폭, 계단 길이,

CoP-CoM-수직선이 이루는 각 등이 이에 해당한다. 왜냐하면, 이들은 보행 중 체중 수용국면에서 발-지면접촉면의 전단력을 변화시켜 UCOF에 영향을 미치기 때문이다 [14, 15].

본 연구에서는 보행 시 신발 착용 유무에 따른 사용마찰계수(UCOF) 차이를 분석하기 위해 보행속도, 지면반력, 사용마찰계수(UCOF) 최대치 도달 시점, CoP-CoM-수직선 각도의 차이를 알아보고, 상관분석을 통해 사용마찰계수(UCOF)에 관련 변인을 식별하고자 하였다. 이는 미끄러짐 예방을 위한 안전보행 평가 도구 개발에 유용한 자료를 제공할 것으로 기대된다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

본 연구는 지난 3년 동안 하지에 신경·정형외과적 병력이 없는 오른발이 우세발인 수도권 거주 청년 21명(여자: 10명, 남자: 11명, 나이: 25.2 ± 2.3 yrs, 키: 165.6 ± 7.2 cm, 몸무게: 62.2 ± 7.8 kg)을 대상으로 하였다.

2.2 실험도구 및 절차

본 연구 목적을 수행하기 위하여 3차원 동작분석이 실시되었다. 영상자료 수집을 위해 Qualisys사의 적외선 카메라(Oqus, SF: 100 frame/sec) 12대가 사용되었으며, 보행 중 두 발의 지면반력을 측정하기 위하여 두 대의 지면반력기(Kistler, Type 9286A, SF: 1000 Hz)가 사용되었다.



Fig. 1. Asics G1 shoes

대상자들은 동작분석용 스핀반바지와 스포탑브라를 착용(여성의 경우)하고 해부학적 위치에 관절마커와 각분절별 추적마커를 부착하고 맨발과 운동화를 신고 보행 주로를 자기선호 속도로 자연스럽게 걷도록 요구받았다. 이 때 사용된 운동화(모델명 :Asics G1, 질량: 400 ± 80 g)를 Fig 1에 나타내었다.

2.3 연구 변인 및 자료 처리

1) 분석 구간

보행 시 신발(운동화) 착용 유무에 따른 마찰특성을 비교하기 위해 두 발의 지지국면을 모두 포함하도록 오른쪽 발 뒤꿈치 착지(RHS) 시점부터 왼발 발가락떼기(LTO) 시점까지 분석대상으로 삼았다.

2) 분석 변인

보행 속도 (walking speed) : 지지국면 운동역학적 특성, 특히 사용마찰계수(UCOF)에 영향을 미칠 것으로 사료되는 뒤꿈치 착지시점(RHS, LHS)의 보행속도(무게중심의 이동속도)를 산출하여 비교해 보았다.

수평 및 수직 지면반력(ground reaction force) : 사용 마찰계수(UCOF)에 영향을 미칠 것으로 사료되는 수평 및 수직 지면반력을 산출하였으며, 대상자 몸무게로 표준화하였다.

사용 마찰계수(Utilized Coefficient of Friction) : 보행 시 사용된 마찰계수는 지면반력의 수평성분과 수직성분 비율로 정의된다. 사용마찰계수의 최대값을 찾을 때 분모에 해당하는 수직지면반력이 50N 미만인 경우는 제외하였다[16].

CoP-CoM-수직선 각 : 수평지면반력에 영향을 미칠 것으로 사료되는 CoP-CoM-수직선 각에 대한 tangent 값을 산출하였다.

3) 자료 및 통계 처리

보행 동작과 지면반력 데이터는 Qualisys Management System과 Visual3D를 이용하여 계산되었다.

본 연구의 목적을 달성하기 위해 21명의 대상자의 수행 데이터 모두를 SPSS 17.0 프로그램을 이용한 대응 t-검정 (paired t-test)과 상관분석을 실시하였다. 본 연구의 통계적 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

3. 결과

3.1 보행속도, 소요시간

해당 시점(event)의 보행속도와 해당 국면의 소요시간을 Table 1에 나타내었다.

뒤꿈치 착지 시점에서의 보행속도는 왼발착지(LHS)와 오른발착지(RHS) 모두 신발 착용 유무에 따른 차이가 없었다.

Table 1. The elapsed times for barefoot and shod walking(unit: second).

Phase	shod		barefoot		paired t-test	
	M	SD	M	SD	t	p
L_stance	0.690	0.043	0.645	0.045	5.966	.000
R_cycle	1.114	0.065	1.073	0.067	3.363	.003
R_stance	0.686	0.048	0.633	0.050	5.948	.000
RHS~UCOF1_h	0.025	0.029	0.046	0.015	-2.882	.009
UCOF1_t~RTO	0.036	0.017	0.028	0.013	1.692	.106
LHS~UCOF2_h	0.018	0.018	0.044	0.013	-6.081	.000
UCOF2_t~LTO	0.032	0.019	0.031	0.011	.144	.887

- UCOF1_h : When UCOF is maximum during the initial half stance of right foot.
- UCOF1_t : When UCOF is maximum during the second half stance of right foot.
- UCOF2_h : When UCOF is maximum during the initial half stance of left foot.
- UCOF2_t : When UCOF is maximum during the second half stance of left foot.

오른발 보행주기의 경우 맨발보행 시보다 신발보행 시 더 길었으며($p<0.01$), 오른발 지지기와 왼발 지지기 모두 맨발보행 시보다 신발보행 시 더 길었다($p<.001$).

오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)은 맨발보행 시보다 신발보행 시에 21 msec 더 빨랐으며($p<0.01$), 왼발 착지시의 경우(UCOF2_h)도 26msec 더 빨랐다($p<.001$). 그러나 오른발과 왼발 모두 발가락 떼기 시 사용마찰계수의 최대 시점(UCOF1_t & UCOF2_t)은 신발 착용 유무에 따른 유의한 차이가 없었다.

3.2 수평 및 수직 지면반력

오른발 지면반력의 수평성분과 수직성분을 Table 2과 Fig 2에 나타내었다.

오른발 수평 지면반력을 살펴보면, 오른발 착지 사용 마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)에서 맨발보행(15.6 BW%)보다 신발보행의 경우(8.8 BW%)가 더 작았으며($p<.001$), 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서는 신발 착용 유무에 따른 유의한 차이가 없었고, 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서는 맨발보행(17.4 BW%)보다 신발보행의 경우(15.4 BW%)가 더 작았다($p<0.05$).

오른발 수직 지면반력을 살펴보면, 오른발 착지 사용 마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)에서 맨발보행(64.4 BW%)보다 신발보행의 경우(32.9 BW%)가 더 작았으며

Table 2. GRF, Tangent of CoM-CoP, Utilized coefficient of friction (UCOF) and walking speed with and without shoes for Right foot (GRF unit: Bodyweight %, speed unit : m/s).

Variables	Event	t-test						Correlation with UCOF1			
		shod		barefoot		paired t-test		shod		barefoot	
		M	SD	M	SD	t	p	r	p	r	p
Horizontal GRF	UCOF1_h	8.8	5.5	15.6	4.2	-5.36	.000	-.622	.003	.089	.700
	UCOF1_t	9.2	3.4	9.4	2.0	-.19	.849	-.478	.028	-.393	.078
	UCOF2_h	15.4	3.0	17.4	4.2	-2.16	.043	.059	.798	.057	.805
Vertical GRF	UCOF1_h	32.9	28.8	64.4	17.2	-4.63	.000	-.738	.000	-.287	.208
	UCOF1_t	29.4	12.1	25.0	8.0	1.35	.191	-.706	.000	-.772	.000
	UCOF2_h	100.4	19.8	69.9	21.9	6.89	.000	-.836	.000	-.745	.000
Tangent of CoM-CoP	UCOF1_h	.281	.031	.272	.028	1.35	.192	-.135	.560	.615	.003
	UCOF1_t	.300	.039	.307	.039	-1.64	.117	.823	.000	.652	.001
	UCOF2_h	.221	.041	.274	.047	-9.64	.000	.948	.000	.868	.000
Utilized coefficient of friction	UCOF1_h	.331	.072	.246	.035	4.57	.000	1.000	.000	1.000	.000
	UCOF1_t	.327	.046	.396	.079	-5.07	.000	1.000	.000	1.000	.000
	UCOF2_h	.165	.048	.271	.068	-12.17	.000	1.000	.000	1.000	.000
walking speed	LHS	1.175	0.120	1.183	0.146	-.433	.669	.725	.000	.740	.000
	RHS	1.221	0.129	1.232	0.157	-.455	.654	-.495	.022	.106	.647

($p<0.01$), 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서는 신발 착용 유무에 따른 유의한 차이가 없었다. 반면, 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서는 맨발보행(69.9 BW%)보다 신발보행의 경우(100.4 BW%)가 더 크게 나타났다($p<0.01$).

3.3 사용마찰계수(Utilized Coefficient of Friction)

Table 2과 Fig 2에 나타난 오른발의 사용마찰계수(UCOF1)를 살펴보면, 오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)에서 맨발보행(0.246)보다 신발보행의 경우(0.331)가 더 컸으며($p<0.01$), 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서는 맨발보행(0.396)보다 신발보행의 경우(0.327)가 더 작았고($p<0.01$), 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서는 맨발보행(0.271)보다 신발보행의 경우(0.165)가 더 작게 나타났다($p<0.01$).

3.4 Tangent of CoM-CoP

일반적으로 보행동작을 해석하는 데 활용되어온 역진자 모델에서 신체무게중심과 압력중심점이 이루는 선분과 무게중심선(무게중심에서 지면에 내린 수직선)의

각도에 대한 tangent 값은 전단력(수평지면반력)에 영향을 미치는 변인이다.

Table 2과 Fig 2에 나타난 오른발 압력중심(center of pressure)과 무게중심(center of mass)과 무게중심선이 이루는 각에 대한 tangent 값을 살펴보면, 오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)과 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서는 신발 착용 유무에 따른 유의한 차이가 없었으나, 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서는 맨발보행(0.274)보다 신발보행의 경우(0.221)가 더 작게 나타났다($p<0.01$).

3.5 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계

오른발 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계를 Table 2에 나타내었다.

1) 보행 속도

오른발 착지시점(RHS)의 보행속도와 오른발 최대 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계를 살펴보면, 맨발보행의 경우는 상관관계가 거의 없었으며($r=.106$, $p<.647$), 신발의 경우는 다소 높은 부적 상관관계를 나타냈다($r=-.495$, $p<0.05$). 반면, 왼발 착지시점(LHS)의 보행속

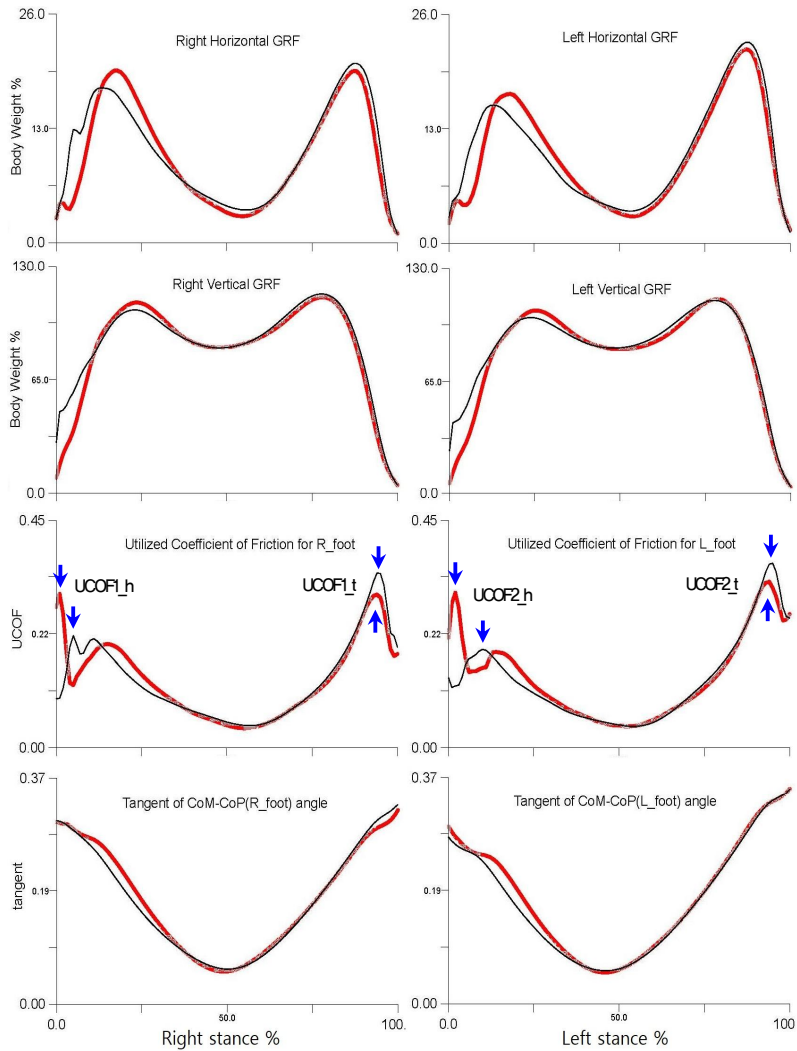


Fig. 2. Illustration of horizontal and vertical GRF, the UCOF and tangent of CoM-CoP curves represented by the average curve for barefoot walking (black line) and shod walking (red bold line) over all participants. The blue arrows indicates the points at which UCOF is maximum.

도와 오른발 최대 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계를 살펴보면, 맨발보행과 신발보행의 경우 모두 높은 정적 상관관계를 나타냈다($r=.740, p<0.01$; $r=.725, p<0.01$).

2) 오른발 수평 지면반력

오른발 수평 지면반력과 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계를 살펴보면, 맨발보행의 경우, 오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)과 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서는 상관관계가 거의 없는

것으로 나타났으나(각각 $r=.089, r<0.057$), 오른발가락 떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서는 유의하진 않지만 낮은 부적 상관관계를 보였다($r=-.393, p<0.078$). 반면, 신발보행의 경우에는, 오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)과 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서는 다소 높은 부적 상관관계를 보였으며(각각 $r=-.622, p<0.01, r=-.478, p<0.05$). 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서는 상관관계가 거의 없었다($r=.059, p<.798$).

3) 오른발 수직 지면반력

오른발 수직 지면반력과 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계를 살펴보면, 맨발보행의 경우, 오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)에서는 유의하진 않지만 낮은 부적 상관관계를 나타냈으나($r=-.287, p<.208$), 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)과 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서는 높은 부적 상관관계를 보였다($r=-.772, p<0.01$; $r=-.745, p<0.01$). 반면, 신발보행의 경우에는, 세 시점 모두(UCOF1_h, UCOF1_t, UCOF2_h)에서 높은 부적 상관관계를 나타냈다(각각 $r=-.738$ -.706 -.836, $p<0.01$).

4) 오른발 Tangent of CoM-CoP

오른발 Tangent of CoM-CoP와 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계를 살펴보면, 맨발보행의 경우, 오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)과 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서는 다소 높은 부적 상관관계를 나타냈으며($r=-.615, p<0.01$; $r=-.652, p<0.01$), 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서는 높은 정적 상관관계를 보였다($r=.868, p<0.01$). 반면, 신발보행의 경우에는, 오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)에서는 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났으며, 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서는 높은 정적 상관관계를 나타냈고($r=.823, p<0.01$), 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서는 매우 높은 정적 상관관계를 보였다($r=.948, p<0.01$).

4. 논의

4.1 보행속도, 소요시간

뒤꿈치 착지 시 보행속도는 신발착용 유무에 따른 차이가 없었던 반면, 지지기(stance phase) 소요시간은 맨발보다 신발보행이 더 길게 나타났는데, 이는 수평속도가 차이가 없었고 수직속도는 신발보행의 경우가 더 높았다는 것을 알 수 있다.

뒤꿈치 착지의 마찰계수 최대사용 시점(UCOF1_h & UCOF2_h)은 맨발보행보다 신발보행이 더 빨랐으나, 발가락 떼기의 마찰계수 최대사용 시점(UCOF1_t & UCOF2_t)은 신발 착용 유무에 따른 유의한 차이가 없었

다. 이는 신발 보행 시 지지기(특히, 제동기)의 더 빠른 시기에 마찰계수 최대사용이 발생한다는 것을 의미한다.

신발보행의 경우 뒤꿈치 착지 시 두꺼운 뒷굽으로 착지하므로 완충효과가 있어 시간은 길어지고, 충격력 피크가 상대적으로 늦게 나타나고 그 크기도 작다. 따라서 상대적으로 낮은 수직지면반력으로 인해 사용마찰계수의 피크가 일직 나타나고 그 크기도 더 커진 것으로 사료된다. 반면, 발가락 떼기 시에는 신발창 앞부분이 상대적으로 얇고 완충효과가 작아 맨발보행과 유의한 차이가 나타나지 않은 것으로 사료된다. 이는 오른발 착지 시 보행속도보다는 왼발 착지 시 보행속도와 사용마찰계수의 상관관계가 더 높게 나타난 것이 뒷받침해 준다고 할 수 있는데, 오른발 착지 시는 오른발이 제동역할을 하지만, 왼발 착지 시에는 오른발이 추진역할을 담당하기 때문이다. 즉, 왼발 착지 시에는 왼발은 뒤로 밀고, 동시에 오른발은 앞으로 밀기 때문에 상대적으로 더 큰 수평력이 작용하게 된 것으로 사료된다.

4.2 지면반력 및 사용마찰계수 (Utilized Coefficient of Friction)

오른발 착지 마찰계수 최대사용 시점(UCOF1_h)에서 오른발 지면반력의 수평과 수직성분 모두 맨발보행보다 신발보행의 경우가 더 작게 나타났으나($p<0.01$), 수평지면반력은 맨발의 56.4%에 해당하지만, 수직지면반력은 51.1%에 해당하기 때문에 수평성분 감소율(43.6%)보다 수직성분 감소율(48.9%)이 더 크다. 따라서 신발보행의 사용마찰계수가 더 크게 나타났다. 이는 신발창에 의한 완충효과가 수평방향보다는 수직방향으로 더 크기 때문인 것으로 사료된다. 이렇게 신발보행에서 더 큰 마찰계수를 사용했다는 것은 신발보행의 경우 최대 정지마찰력이 더 크기 때문에 안전하게 사용가능한 정지마찰력이 증가한 때문인 것으로 판단된다.

반면, 왼발 착지 마찰계수 최대사용 시점(UCOF2_h)에서는 오른발 수평지면반력은 맨발보다 신발보행 시 더 작는데, 수직지면반력은 오히려 맨발보다 신발보행 시 더 크게 나타나, 결과적으로 사용마찰계수는 맨발보다 신발보행 시 더욱 더 작게 나타났다. 이는 일반적으로 맨발보행보다 신발보행에서 무게중심의 수직 요동이 더 크다는 특성과 일치한다. 또한 수평지면반력보다는 수직지면반력이 사용마찰계수와 더 높은 상관관계를 나타낸 것 과도 일치한다.

4.3 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계

오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)과 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서보다 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서 오른발 Tangent of CoM-CoP와 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계가 더 높게 나타난 것으로 보아 제동기 보다는 추진기와의 연관성을 시사한다고 할 수 있다. 이는 오른발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_h)과 오른발가락떼기 사용마찰계수 최대 시점(UCOF1_t)에서 맨발 보행과 신발 보행의 유의한 차이가 없고, 왼발 착지 사용마찰계수 최대 시점(UCOF2_h)에서만 유의한 차이가 있었다는 결과와 일치한다.

또한, 뒤꿈치착지 시점보다 발가락떼기 시점에서 더 높은 상관관계를 보고한 Yamaguchi의 연구결과[17]와 유사하지만, 그들은 발가락떼기 바로 이전에 다음 발(왼발)뒤꿈치 착지에 따른 영향을 간과하였다. 또한 본 연구에서는 맨발보행과 달리 신발보행 시 뒤꿈치 착지 시점에서는 Tangent of CoM-CoP와 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계가 없는 것으로 나타났는데, 이는 Tangent 값과 사용마찰계수의 상관관계를 일반화하기에는 더 많은 연구가 필요하다는 것을 의미하며, 특히 본 연구결과에서 제시한 제동기보다는 다음 발 추진기 시점에 주목할 필요가 있다고 판단된다. 또한 이는 오른발 제동 초기 시점(RHS)보다 추진 후기에 발생하는 왼발(다음발) 착지시점(LHS)의 보행속도가 사용마찰계수(UCOF1)와 상관관계가 더 높았다는 본 연구결과도 이를 뒷받침해 준다고 할 수 있다.

5. 결론 및 제언

본 연구에서는 보행 시 신발 착용 유무에 따른 사용마찰계수(UCOF) 차이를 분석하기 위해 보행속도, 지면반력, 사용마찰계수(UCOF) 최대치 도달 시점, CoP-CoM-수직선 각도의 차이를 알아보고, 사용마찰계수(UCOF)와의 상관분석 결과를 종합하면,

첫째, 보행 시 신발 착용으로 인해 체중수용기(제동기)의 더 이른 시점에 사용마찰계수가 최대치에 도달하고, 또 그 크기도 증가한다.

둘째, CoP-CoM-수직선의 Tangent 값과 사용마찰계수(UCOF1)와의 상관관계는 오른발 제동 초기시점

(RHS)보다 추진 후기에 발생하는 왼발(다음발) 착지시점(LHS)이 더 높은 상관관계를 보여, 제동기 보다는 추진기와의 연관성을 보인다.

이렇게 신발 착용으로 인해 더 큰 마찰계수를 사용한다는 것은 이용가능한 마찰계수(Available Coefficient of Friction)가 더 커서 안전하다는 것을 의미한다. 따라서 빙판이나 거칠한 바닥과 같은 특별한 마찰상황이 아니라면, 안전보행이 요구되는 보행약자들에게 신발보행이 권장된다.

REFERENCES

- [1] T. K. Courtney, G. S. Sorock, D. P. Manning, J. W. Collins & M. A. Holbein-Jenny. (2001). Occupational slip, trip, and fall-related injuries—can the contribution of slipperiness be isolated? *Ergonomics*, 44, 1118-1137.
- [2] D. G. Lloyd & M. G. Stevenson. (1992). Investigation of floor surface profile characteristics that will reduce the incidence of slips and falls. *Mechanical Engineering Transaction Institution of Engineers, (Australia), ME17*, 99-104.
- [3] H. H. Cohen & D. M. J. Compton. (1982). Fall accident patterns: characterization of most frequent work surface-related injuries. *Professional Safety*, 27, 16-35.
- [4] D. A. Sterling, J. A. O'Connor & J. Bonadies. (2001). Geriatric falls: injury severity is high and disproportionate to mechanism. *Journal of Trauma*, 50, 116-119.
- [5] M. S. Redfern, R. Cham, K. Gielo-Perczak, R. Grönqvist, M. Hirvonen, H. Lanshammar, M. Marpet, C. Y. Pai & C. Powers. (2001). Biomechanics of slips. *Ergonomics*, 44, 1138 - 1166.
- [6] I. Kim & H. Nagata. (2008). Research on slip resistance measurement—a new challenge. *Ind. Health*, 46, 66-76.
- [7] A. F. R. Kleiner, M. Galli, A. A. Carmo & R. M. L. Barros. (2015). Effects of flooring on required coefficient of friction: Elderly adult vs. middle-aged adult barefoot gait. *Applied Ergonomics*, 50, 147-152
- [8] T. E. Lockhart, J. C. Woldstad & J. L. Smith. (2003). Effects of age-related gait changes on the biomechanics of slips and falls. *Ergonomics*, 46, 1136-1160.
- [9] W. R. Chang, C. C. Chang & S. Matz. (2012). Comparison of different methods to extract the required coefficient of friction for level walking. *Ergonomics*, 55, 308-315.

- [10] W. R. Chang, C. C. Chang & S. Matz. (2011). The effect of transverse shear force on the required coefficient of friction for level walking. *Hum. Factors*, 53(5), 461 - 473.
- [11] I. B. Kim, T. S. Park & J. H. Kang. (2018). Comparison of Barefoot and Shod Gait Cycle for Adult Women. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(1), 9-14.
- [12] M. S. Redfern & R. O. Andres. (1984). The analysis of dynamic pushing and pulling; required coefficients of friction. Proceedings of the 1984 international conference on occupational ergonomics, vol. I. *Human Factors Association of Canada, Rexdale, ON*, 569-572.
- [13] I. Kim, H. Hsio & P. Simeonov. (2013). Functional levels of floor surface roughness for the prevention of slips and falls: clean-and-dry and soapsuds-covered wet surfaces. *Appl. Ergon.* 44, 58-64.
- [14] P. J. Perkins. (1978). Measurement of slip between the shoe and ground during walking. *American Society of Testing and Materials, Special Technical Publication*, 649, 71-77.
- [15] R. Grönqvist, J. Roine, E. Jarvinen & E. Korhonen. (1989). An apparatus and a method for determining the slip resistance of shoes and floors by simulation of human foot motions. *Ergonomics*, 32, 979-995.
- [16] J. M. Burnfield & C. M. Powers. (2007). The role of center of mass kinematics in predicting peak utilized coefficient of friction during walking. *Journal of Forensic Sciences*, 52, 1328 - 1333.
- [17] T. Yamaguchi, M. Yano, H. Onodera & K. Hokkirigawa. (2013). Kinematics of center of mass and center of pressure predict friction requirement at shoe - floor interface during walking. *Gait & Posture*, 38, 209-214.

오 성 근(Oh, Seong Geun)

[정회원]



- 1990년 2월 : 인하대학교 금속공학
학과(공학사)
- 1992년 2월 : 인하대학교 대학원
금속공학과(공학석사)
- 2011년 8월 : 한국체육대학교 대
학원(이학박사)

· 2017년 7월 ~ 현재 : 용인대학교 체육과학연구소 학술
연구교수

· 관심분야 : 스포츠생체역학, 재활운동, 무술, 무용

· E-Mail : osg2333@hanmail.net

김 진 현(Kim, Jin-Hyun)

[정회원]



· 2008년 2월 : 제주대학교 체육교
육전공(체육교육학석사)

· 2012년 2월 : 제주대학교 체육학
과(체육학박사)

· 2014년 9월 ~ 현재 : 제주대학교
스포츠재활학과 교수

· 관심분야 : 스포츠과학, 스포츠재활, 운동역학

· E-Mail : jinhyun0829@jeju.ac.kr