

## 데크의 논슬립가공 표면형태 변이에 따른 마찰성능 변화 평가\*1

한연중\*2 · 이주희\*2 · 박용건\*2 · 최윤호\*3 · 여환명\*2,4†

### Evaluation of friction force varied by non-slip surface patterns of deck\*1

Yeonjung Han\*2 · Ju-Hee Lee\*2 · Yonggun Park\*2 · Yun-Ho Choi\*3 ·  
Hwanmyeong Yeo\*2,4†

#### 요 약

최근 국내에서 목질계 재료를 이용한 데크의 설치사례는 증가하는 추세이나, 상대적으로 데크의 기초 물성과 안전성에 관련된 연구는 미흡한 상황이다. 신발과 데크 사이에서 발생하는 마찰력은 보행자의 기동 능력에 많은 영향을 미친다. 이러한 마찰력은 바닥재의 재료 특성, 바닥재의 요철무늬 형상, 신발 밑창의 형태, 바닥재와 신발 사이 접촉면의 습윤도 등 여러 인자에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는 보행안전성 평가를 위하여 데크의 요철무늬에 따른 마찰력 변화를 측정하고 미끄럼 정도를 평가하였다. 실험에 이용된 데크의 재료는 천연목재와 합성목재의 두 종류이고, 신발과 접촉하는 데크표면은 데크의 길이 방향으로 홈가공처리를 한 단일 논슬립가공 형태와 길이방향에 더불어 가로방향에 추가로 홈가공처리를 한 이중 논슬립가공 형태 두 종류이다. 실험에 사용된 신발의 밑창 형태는 더블유형(W형)과 네모형(□형)의 두 종류를 사용하였고, 데크 표면의 함수율 상태에 따른 마찰력변화를 알아보기 위하여 대기와 평형을 이룬 건조상태와 수분습윤상태에서 측정하였다. 각각의 조건에서 마찰계수를 결정하고 각각의 인자가 마찰력에 미치는 영향을 분석하였다.

\*1 접수 2012년 10월 4일, 채택 2012년 11월 13일

\*2 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부. Department of Forest Science, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

\*3 (주)호영하이텍. Hoyoung Hightech, 89 Seocho-ro, Gwonseon-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 441-853, Korea

\*4 서울대학교 농업생명과학연구원. Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 여명환(e-mail: hyeo@snu.ac.kr)

## ABSTRACT

Installation of deck has been on the rise in Korea recently, but there is little of research on the safety of deck. One of the major factors affecting maneuverability of a pedestrian is frictional force between an outsole of shoe and a surface of the deck. The frictional force is influenced by many factors such as raw material variance of deck, surface convex shape of deck, outsole patterns of shoes, and moist condition of contact surface between deck and shoes. This study focused on evaluating the effect of these factors on the frictional force. Two kinds of deck, which were made of natural wood and wood plastic composite, were used in this study. The surface convex patterns of deck were classified to single nonslip (longitudinal groove processing) and double nonslip (longitudinal and transverse groove processing). Two kinds of shoe outsole patterns, W-shape and rectangle-shape, were used in the tests. Also, the friction tests were carried out at dried surface conditions and water-adsorbed surface condition.

**Keywords:** deck, outsole, friction force, coefficient of friction, transverse groove processing, non-slip surface pattern

## 1. 서 론

물체가 먼 위를 움직일 때, 미끄러지지 않으려는 힘을 마찰력(미끄럼 저항)이라 정의하고, 운동마찰력과 정지마찰력으로 구분하여 평가할 수 있다. 운동마찰력은 외부 힘에 의하여 물체가 등속도로 움직이기 시작하였을 때의 힘을 말하며, 정지마찰력은 외부 힘에 의하여 물체가 처음으로 움직이기 시작하였을 때의 힘을 말한다. 일반적으로 정지마찰력은 운동마찰력에 비하여 큰 값을 나타낸다(Sheppard, 2005; Meriam and Kraigh, 2002). 이러한 마찰력은 바닥면의 상태(표면거칠기), 바닥면과의 접촉면적, 접촉매질에 따라 영향을 받는다.

마찰은 일상생활에서 피할 수 없이 발생하는 중요한 현상으로서 자동차의 제동장치인 브레이크나 동력전달을 위한 클러치와 같이 긍정적인 측면으로 활용된다. 반대로 자동차, 선박 등의 엔진, 기어 트랜스미션과 자이로스코프와 같이 정밀한 동작이 요구되는 장치에서는 마찰은 동력의 낭비 요인으로 이를 최소화하기 위해 많은 노력이 이루어지고 있다. 이와 같이 마찰의 중요한 물리적 의미 때문에 오랜 기간 동안 많은 물리학자들의 연구의 대상이었으며 공학자들에게는 기계의 작동에 직접적으로 영향을 미치

는 중요한 요소로 관심이 모아져 왔다.

지금으로부터 약 3000여 년전 피라미드 건축시 무거운 암석을 운반하기 위한 통나무 바퀴의 마찰력에 대해 생각한 것을 시작으로 15세기에 이르러 마찰에 관한 과학적 연구가 시작되어, Leonardo da vinci에 의해 마찰의 기본 개념이 확립되었으며, 17세기 말 Amontons은 실험을 통해 마찰에 대한 기본법칙을 발표하였고, Coulomb은 이를 확장시켰다. 이들에 의해 알려진 마찰의 기본법칙은 “① 마찰력은 가해진 하중에 비례한다. ② 마찰력은 외형적 접촉면적의 영향을 받지 않는다. ③ 마찰력은 미끄럼 속도의 영향을 받지 않는다.”는 것이다. 그러나 그 이후 수행된 많은 연구에서 위의 3가지 법칙을 따르지 않은 연구 결과들이 보고되고 있다(Dowson, 1979).

목재의 마찰저항과 관련된 연구는 이전에는 주로 절삭과 관련된 분야에서 행해졌는데, 이들 연구에서 목재의 마찰계수는 수종, 목리경사, 함수율 온도, 접촉면의 거칠기, 하중속도 등의 매우 다양한 인자에 의해 영향을 받으며, 이 값은 주로 0.1에서 0.65까지의 범위에 존재한다고 보고되었다(Mckenzie and Karpovic, 1968). Murase (1984)는 웨스턴 험록(western hemlock)의 마찰계수를 측정하여 0.58로 보고하였다. 위의 연구들은 모두 목재와 금속 사이의 마찰저

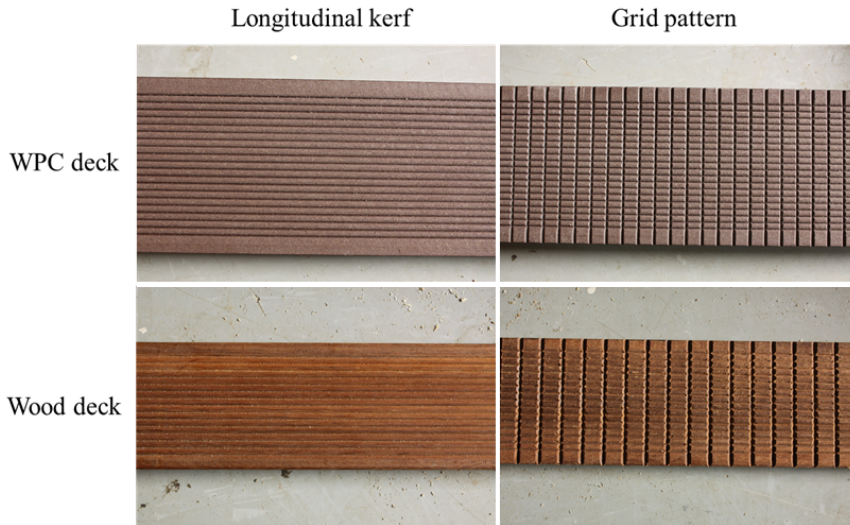


Fig. 1. Machine-processed surface patterns of decks for enhancing the nonslip performance.

항을 측정하는 것이다. 반면 Park *et al.* (2011)은 낙엽송재 사이의 목리방향별 마찰계수를 측정하여 수직하중의 변화는 마찰력에 크게 영향을 미치지 않으며, 목재의 목리경사와 접촉면적에 따라 마찰계수가 변화한다고 보고하였다. Grönqvist *et al.* (1990)은 배의 갑판에 쓰인 데크와 상용신발의 마찰저항을 측정하였는데, 평균 운동마찰계수는 0.05에서 0.64의 범위로 측정된다고 보고하였다.

최근 해변, 저수지 수변 등의 공원조성이나 도심속의 걷고 싶은 거리 등의 건설에 데크의 설치가 매우 보편화되어 가고 있는 추세이다. 그러나 상대적으로 데크의 기초물성이나 데크설치에 따른 안전성 평가는 활발히 진행되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 데크의 보행 안전성 평가를 위하여 데크와 신발 하부면 사이에서 발생하는 마찰력을 측정하였다. 일반적인 데크의 경우, 보행자의 미끄럼 방지를 위하여 길이방향으로 홈을 파는 논슬립(non slip)가공이 적용되고 있다. 본 연구에서는 기존 논슬립 데크의 길이방향 요철가공과 더불어 길이의 직각방향으로 홈을 추가적으로 파는 이중 논슬립 가공을 통하여 미끄럼 방지 효과를 제고하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

#### 2.1.1. 데크

본 실험에 사용된 데크는 (주)호영하이텍에서 제작하였다. 데크의 종류는 합성데크와 천연데크목재로 구분되는데, 합성데크는 목분과 열가소성 물질을 결합하여 목재와 플라스틱의 성질을 갖는 합성목재(wood plastic composite)를 가공하여 제작하였으며, 천연데크는 이페(Ipe, *Tabebuia Standle*)를 가공하여 제작하였다.

데크의 표면 가공형태는 길이방향 홈가공처리를 한 기본형과 길이방향의 가공에 추가로 가로방향 홈가공처리를 한 격자형으로 구분하였으며(Fig. 1), 신발의 폭과 길이, 그리고 신발과 데크의 접촉면적을 고려하여 시편의 폭은 90 mm 이상, 길이 375 mm로 시편을 제작하여 준비하였다. 물체의 마찰성능에 미치는 온·습도의 영향을 최소화하기 위하여 24°C, 65% RH의 조건(11.93% EMC)에서 시험편을 조습하였다. 천연데크의 전건비중은 0.79 ( $\pm 0.03$ ), 합성데크의 비중은 1.07 ( $\pm 0.06$ )이었다.

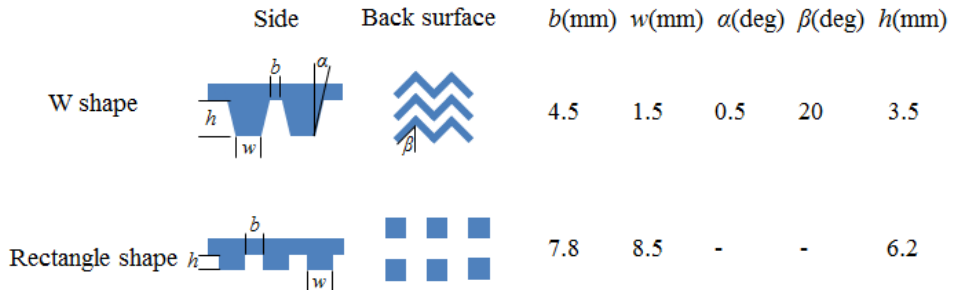


Fig. 2. Outsole type of reference shoes.

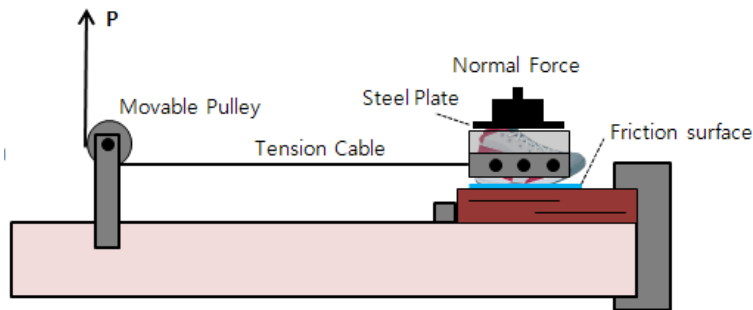


Fig. 3. Simplified diagram of the friction testing device.

### 2.1.2. 마찰변수

Nigg (1986)는 신발 아웃솔의 모양과 소재의 변이에 따라 착용자가 걸을 때 바닥면과 접촉하여 발생하는 마찰력이 다르게 나타나고, 발생된 마찰력은 신발 착용감 및 보행성능에 큰 영향을 준다고 보고하였다. 본 연구에서는 상용 신발 아웃솔의 무늬 중 더블유형(W형, Ad사 제품)과 네모형(□형, As사 제품)의 2가지를 이용하여 실험을 수행하였다. Fig. 2에 2가지 변수의 아웃솔의 형태와 각각의 크기를 제시하였다.

## 2.2. 공시방법 및 실험장치의 구성

### 2.2.1. 공시방법

미국재료시험협회(ASTM)의 ASTM D2394-05 (Test method for simulated service testing of wood and wood-base finish flooring)와 ASTM G115-10 (Standard guide for measuring and reporting friction co-

efficient)을 공시방법으로 실험을 수행하였다.

Fig. 3과 같이 고안하여 제작한 시험장치를 이용하여 수직하중을 일반적인 유아 및 성인의 몸무게인 30, 70 kgf의 2가지 변수로 정하고, 테크모양, 신발 아웃솔 형태, 테크의 수분조건 변이에 따른 최대정지마찰력을 측정하였으며, 시간-하중 그래프를 이용하여 운동마찰력을 결정하고, 각각의 마찰계수를 분석하였다. 5회 반복실험을 통하여 평균값을 제시하였다.

테크의 수분조건은 대기와 평형을 이룬 상태를 건조상태로 정의하고, 테크를 10분간 물에 침지시킨 후 꺼낸 상태를 습윤상태로 정의하였다.

### 2.2.2. 실험장치의 구성

신발을 고정할 수 있는 치구와 발모양의 석고를 제작하여, 치구-석고-운동화가 결합된 결합물을 만들었다. 결합물에 수직하중을 가하고, 운동화의 뒤쪽

Table 1. Static friction coefficient of WPC deck and wood deck

Normal Force	Outsole type	Water condition	Longitudinal kerf		Grid pattern		
			WPC	wood	WPC	wood	
30 kgf	W Shape	dry	0.457 (0.034)*	0.424 (0.025)	0.326 (0.057)	0.469 (0.026)	
		adsorbed water	0.478 (0.022)	0.494 (0.016)	0.335 (0.026)	0.594 (0.028)	
	Rectangle Shape	dry	0.537 (0.087)	0.606 (0.019)	0.393 (0.003)	0.584 (0.025)	
		adsorbed water	0.530 (0.019)	0.611 (0.017)	0.468 (0.010)	0.678 (0.038)	
	70 kgf	W Shape	dry	0.430 (0.020)	0.442 (0.009)	0.294 (0.024)	0.448 (0.026)
			adsorbed water	0.443 (0.003)	0.476 (0.008)	0.325 (0.006)	0.525 (0.012)
Rectangle Shape		dry	0.539 (0.044)	0.590 (0.039)	0.450 (0.014)	0.680 (0.020)	
		adsorbed water	0.596 (0.007)	0.604 (0.006)	0.494 (0.008)	0.719 (0.004)	

\*Standard deviation

방향으로 케이블을 연결하여 인장상태로 만든 후, 3 mm/min의 속도로 결합물을 이동시키면서, 만능재료시험기(UTM)를 이용하여 마찰력을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 정지마찰계수

최대정지마찰력은 운동화가 움직이기 시작하는 시점에서 나타나는 최대마찰력으로 평가되며, 이를 통해 정지마찰계수를 결정할 수 있다. 마찰계수는 Coulomb의 법칙을 이용하여 아래의 식으로 결정하였다.

$$\text{where, } F = \mu N \quad (1)$$

where,  $F$  = friction force (N)

$\mu$  = coefficient of friction

$N$  = normal force (N)

Table 1에 합성데크와 천연데크의 표면형상, 수직하중의 수준, 데크 표면의 수분상태, 마찰변수인 신

발의 아웃솔의 형태에 따른 정지마찰계수를 제시하였다. 정지마찰계수의 평균값은 합성데크에 수직하중 30 kgf를 가한 경우 0.441, 수직하중 70 kgf를 가한 경우 0.445이었고, 천연데크에 수직하중 30 kgf를 가한 경우 0.558, 수직하중 70 kgf를 가한 경우 0.561이었다. 이 결과를 이용하여 재료에 따른 정지마찰계수를 비교해보면, 천연데크의 정지마찰계수는 합성데크에 비해 약 20%정도 높게 평가된다.

금속 표면에 액상수분을 가한 경우, 이 액상수분은 기화하기 전까지 액상형태를 유지하며, 윤활작용을 고수하여 금속표면의 마찰계수를 낮게 유지시킨다 (Fang, 1997). 반면에 흡수성(또는 흡습성) 섬유상 물질의 표면에 액상수분이 가해지는 경우, 이 물질은 수분에 의해 섬유가 포화될 때까지 흡습하고, 표면에 액상물분자가 응집한다. 이 표면의 물분자들이 주위 대기상태에 노출될 경우, 매우 빠른 시간 내에 공기 중으로 기화되거나 내층으로 이동하여 대기과 평형을 이루는 평형함수율 상태에 도달되려 한다. 이때의 표면함수율은 섬유포화점과 평형함수율의 중간의 “습윤상태”라 할 수 있다.

본 연구에서는 “습윤상태”를 물 속에 10분간 침지

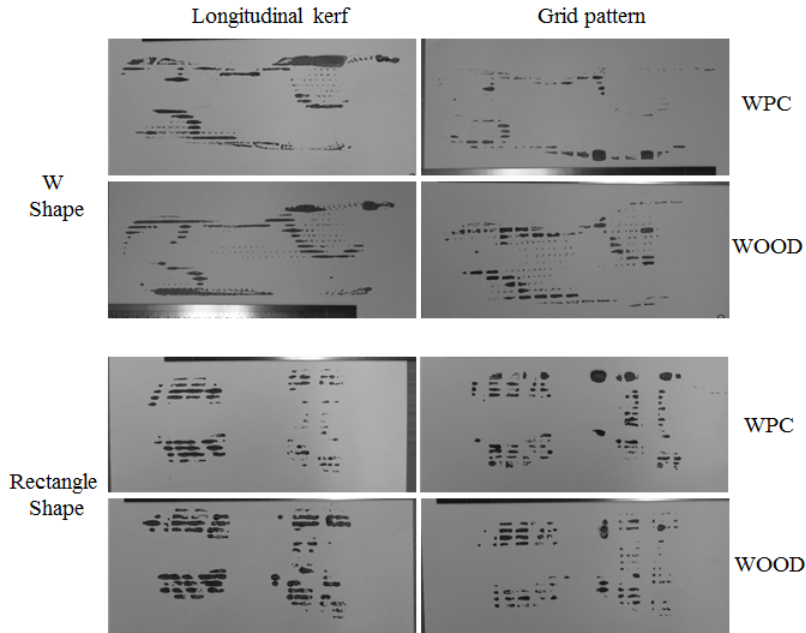


Fig. 4. Real contact area by image analysis.

시킨 후 꺼낸 것으로 정의하였다. 천연테크는 건조상태에서 평형함수율이 11.93%이었고, 침지 후 수분을 흡수한 상태의 함수율은 약 1.46~2.22% 증가하여 시험편의 평균함수율의 증가는 크지 않았다. 표면함수율은 섬유포화점과 평형함수율의 차이값으로 짐작할 수 있다. 그러므로 천연테크의 표면에 액상수분이 존재하지 않기 때문에 물이 직접 윤활역할을 하지 않아 마찰계수에 미치는 영향은 미미하며, 상대적으로 흡수에 의한 팽윤효과로 마찰면적이 증가하여 마찰계수를 증가시킨 것으로 사료된다.

합성테크는 건조상태와 습윤상태에서의 마찰계수가 큰 차이를 나타내지 않았다. 합성테크도 습윤상태 측정시 표면에 액상수분은 존재하지 않았으며, 침지에 의한 팽윤은 발생하지 않았다. 이 결과는 '생물재료는 작은 압력에도 변형되므로 접촉면이 변하고, 습윤재료의 경우 점착현상(adhesion phenomenon)이 나타나 마찰력을 증가시키고 마찰특성을 변화시킨다'고 보고한 김 등(2006)의 결과와 유사하다.

### 3.2. 마찰변수에 따른 접촉면적의 변화 분석

2종류의 테크 표면형상과 2종류의 신발 아웃솔 모양에 따른 마찰계수의 변화를 고찰하였다. 먼저 천연테크를 살펴보면, 30 kgf의 수직하중-□형의 아웃솔-건조상태의 조건에서 측정된 마찰계수를 제외하면 건조상태와 습윤상태에 상관없이 격자형 형상(이중논슬립 가공재)에서 측정된 마찰계수가 기본형(단일논슬립 가공재)에 비하여 큰 값을 보였다. 격자형은 길이방향의 홈가공이 되어 있는 기본형에 가로방향으로 홈가공을 추가한 형태로 합성테크와 달리 천연테크는 홈가공시에 표면의 거칠기가 상승하였을 것으로 사료된다.

그러나 합성테크에서 측정된 마찰계수는 위에서 설명한 것과 다른 양상을 보였다. W형과 □형의 아웃솔을 지닌 신발은 기본형이 격자형에 비하여 건조상태와 습윤상태 모두에서 약 20~30%의 높은 값을 보였으며 이는 W형에서 그 값의 차이가 크게 나타났다.

천연테크에서는 일반적으로 격자형의 표면이 높은 마찰계수를 나타내고, 반대로 합성테크에서는 기본

Table 2. Contact area between shoe outsole and deck surface

Normal Force	Outsole type	Longitudinal kerf		Grid pattern		
		WPC	wood	WPC	wood	
30 kgf	W Shape	Contact area (mm <sup>2</sup> )	852	833	678	787
		Friction coefficient	0.457	0.424	0.326	0.469
	Rectangle Shape	Contact area (mm <sup>2</sup> )	1019	1401	813	993
		Friction coefficient	0.537	0.606	0.393	0.584

형의 표면이 높은 값을 보이기 때문에 이에 대한 분석을 위하여 데크표면과 마찰변수인 신발의 아웃솔과의 접촉면에 대한 이미지 분석을 실시하였다(Fig. 4). 마찰변수인 신발의 하부 표면에 페인트를 도포한 후, 데크 표면위에 신발 올려놓고 수직하중을 가하여 데크 표면에 찍힌 아웃솔의 면적을 디지털카메라로 촬영하였다. 그 이미지를 구성하는 픽셀(pixel)의 갯수를 이용하여 접촉면을 1 mm<sup>2</sup>단위의 면적으로 정량화시켰다. 일반적으로 접촉면적은 수직하중에 비례하기 때문에, 본 연구에서는 동일 수직하중 하에서의 접촉면적과 마찰계수의 비교를 위하여 30 kgf의 동일한 하중을 각 실험에 적용하였다.

Table 2의 접촉면적과 마찰계수를 살펴보면, 접촉면적이 넓은 경우에 대체적으로 마찰계수가 큰 값으로 측정되었다. 가로방향으로 홈가공을 추가했을 때, 합성데크는 마찰면의 절대면적이 줄어들고 마찰계수가 저하되는 반면에, 천연데크는 마찰면의 절대면적은 줄어들지만 오히려 마찰계수는 증가하는 효과가 있다. 이는 합성데크의 재료인 WPC의 경우는 각 방향별 강도와 물리적 성질이 동일한 물질이기 때문에 가로방향의 홈가공으로 인한 마찰력 감소가 접촉면적 감소율과 거의 동일하게 발생한 결과로 해석된다. 하지만 이방성 물질인 목재로 만들어진 천연데크의 경우는 가로방향의 홈가공으로 인한 데크 표면에 위치한 축방향배열 섬유 부분적인 절단이 마찰저항을 높일 수 있는 인자로 작용하기 때문으로 사료된다.

즉 이중 논슬립 처리시 합성 데크표면과 신발 하부

면 간의 접촉면적은 단일 논슬립 처리시에 비하여 20% 정도 줄어드는데 이때 마찰계수 또한 유사한 감소율을 나타낸다. 하지만 천연데크의 경우는 데크 표면에 위치한 종축세포를 부분적으로 절단함으로써 종축방향으로 운동하는 보행자의 신발 하부표면의 돌출부가 데크표면의 홈에 삽입되는 면적을 효과적으로 증가시켜 종축방향의 마찰저항이 증가시킨 결과로 해석된다. 따라서 천연데크의 경우는 미끄러짐에 대한 저항을 높이기 위하여 기존의 길이방향 홈가공에 가로방향으로의 홈가공을 추가하는 것이 효과적이라고 판단된다.

### 3.3. 데크 표면의 가공형태에 따른 마찰력 변화분석

Fig. 5에 데크의 표면형상에 따른 마찰력-하중의 그래프 파형을 제시하였다. 기본형의 파형이 움직이기 시작한 이후 일정한 마찰력을 보이는 반면에 격자형의 경우 마찰력의 변이가 심하게 발생하였다. 이러한 하중의 변이는 주로 □형의 아웃솔을 지닌 신발에서 발생하였다. 이는 가로방향 홈과 마찰변수인 신발의 요철사이에서 발생한 효과에 기인한 것으로 실제적인 마찰력의 증가보다는 홈과 요철 사이의 끼임현상으로 보는 것이 옳다고 사료된다. 상대적으로 아웃솔의 깊이와 간격이 작은 W형에서 마찰력의 변이가 없는 것에 비하여 □형은 아웃솔의 깊이와 간격이 각각 6.2 mm, 7.8 mm(Fig. 2)로 측정되었는데, 이 값이 파형그래프의 마찰력 변이의 주기에 영향을 미치

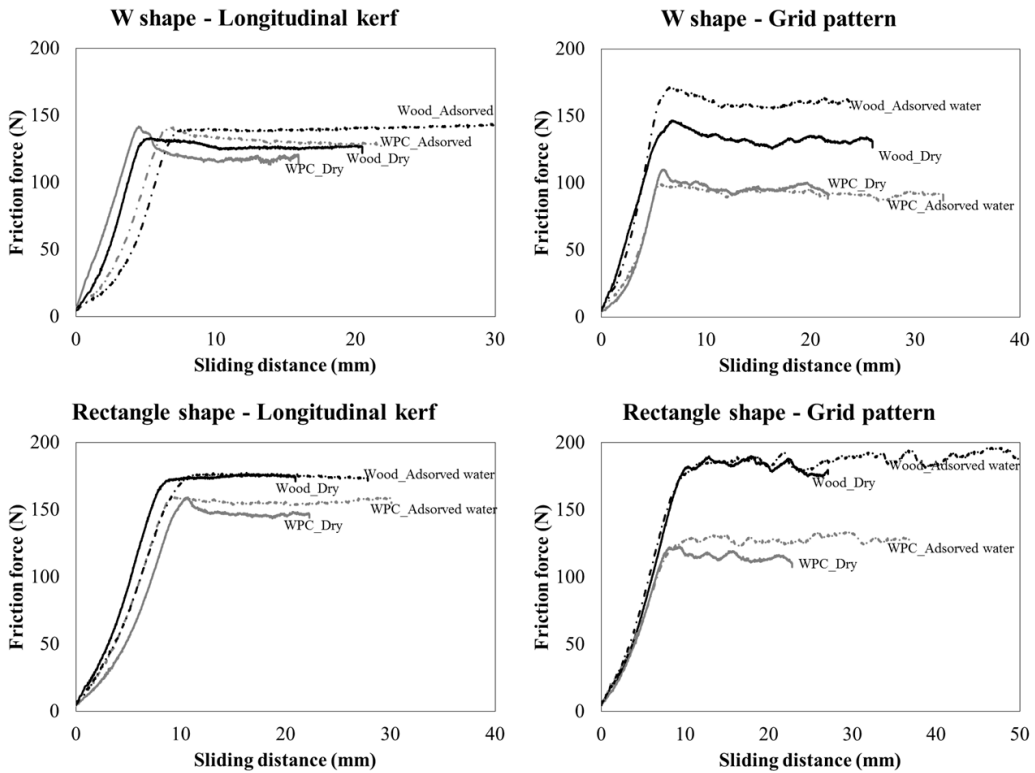


Fig. 5. Friction force varied by different outsole patterns for shoes and nonslip patterns of deck.

는 것으로 보인다.

또한 마찰력의 변이로 인하여 길이방향의 홈가공만으로 이루어진 기본형이 일정한 운동마찰력을 갖는 것에 비하여 가로방향의 홈가공을 추가한 격자형은 운동마찰력 값이 계속적으로 변화하기 때문에 실제로 제시되는 운동마찰력에 비하여 실제 걸음걸이에 제동효과를 추가할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 측정된 정지마찰계수의 경우, 일반적으로 천연데크가 합성데크에 비하여 크게 나타났다. 목재로 만들어진 천연데크는 하중과 데크형상에 관계없이 건조상태에 비하여 습윤상태에서 측정된 마찰계수 값이 크게 측정되었다. 이 결과로 데크 표면에 수분이 존재하더라도 그 수분이 액상이 아닌 경우, 수분

에 의한 팽윤효과로 마찰계수가 증가함을 알 수 있다. 수직하중에 따른 마찰계수의 변화는 미비하였다.

등방성 재료인 WPC를 사용한 합성데크에 길이방향의 홈가공과 더불어 가로방향으로 홈가공을 추가한 경우는 데크와 신발 하부표면 사이의 접촉면적이 줄어들고, 이 줄어든 면적에 비례하여 마찰계수가 감소하였다. 반면에 이중 논슬립 처리를 천연데크에 실시한 경우는 데크 표면에 위치한 중축세포를 부분적으로 절단함으로써 중축방향으로 운동하는 보행자의 신발 하부표면의 돌출부가 데크표면의 홈에 삽입되는 면적을 효과적으로 증가시켜 마찰저항이 증가하였다. 따라서 마찰면적이 마찰계수 변화의 주요변수로 고려될 수 있으나, 이방적 강도성능을 가진 재료의 경우는 마찰력이 발생하는 방향과 데크의 이방성이 함께 고려된 마찰면적의 분석이 필요하다고 사료된다.



## 사 사

본 연구는 (주)호영하이텍의 『이중 논슬립 데크재 마찰성능 평가』(과제번호 : 0525-20110083)의 연구 과제지원에 의하여 이루어진 것임.

## 참 고 문 헌

1. 김만수, 금동혁, 김기복, 김명호, 노상하, 조용진, 조한근. 2006. 생체물성공학. 문운당. 서울: 461.
2. American Society of Testing and Materials. 2005. Standard test methods for simulated service testing of wood and wood-base finish flooring. West Conshohocken. PA. ASTM D 2394-05.
3. American Society of Testing and Materials (2004) Standard guide for measuring and reporting friction coefficients. West Conshohocken. PA. ASTM G 115-04.
4. Dowson, D. 1979. History of Tribology. Longman. New York: 677.
5. English, W. 1995. Ten myths concerning slip-resistance measurement. American Society of Safety Engineers: 35~38.
6. Fang, L., Y. Gao, S. Si, and Q. Zhou. 1997. Effect of lubricants on the friction and wear of  $Al_2O_3$  against gray cast iron. Wear 210: 145~150.
7. Grönqvist, R., J. Roine, E. Korhonen, and A. Rahikainen. 1990. Slip resistance versus surface roughness of deck and other underfoot surface in ships. J. Occupational Accidents 13: 291~302.
8. Grönqvist, R. 1995. Mechanics of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear soles on contaminated floors. Ergonomics 38(2): 224~241.
9. McKenzie, W. M., and H. Karpovic. 1968. Frictional behavior of wood. Wood Sci. Technol. 2: 138~152.
10. Meriam, J. L. and L. G. Kraige. 2002. Engineering Mechanics: Statics. Wiley and Sons. 330.
11. Murase, Y. 1984. Friction of wood sliding on various materials. J. Fac Agric Kyushu Univ. 28: 147~160.
12. Nigg, B. M., H. A. Bahlsen, S. M. Luethi, and S. Stokes. 1987. The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running. J. Biomechanics 20(10): 951~959.
13. Park, C. Y., C. K. Kim, H. K. Kim, and J. J. Lee. 2011. Evaluation of Friction Properties According to Normal Force and Direction of Wood Grain in Real Contact Area. Mokchae Konghak 39(5): 437~443.
14. Sheppard, S. D. 2005. Statics: Analysis and Design of System in Equilibrium. Wiley and Sons. 618.