



## 운동화 바닥창 무늬형태와 마찰계수의 상관관계 연구

### Study on Correlation of Outsole Pattern of Sports Shoes and Frictional Coefficient

이종년\*(동서대학교)

Lee, Jong-Nyun\* (Dongseo University)

#### 국문요약

운동화의 바닥에서 발생하는 마찰력은 착용자의 기동 능력에 많은 영향을 미친다. 이러한 마찰력은 아웃솔의 경도와 마모율, 소재, 바닥재, 바닥재의 상태, 그리고 무늬의 모양에 영향을 받는다. 본 연구는 운동화 아웃솔의 무늬와 바닥에서 발생하는 마찰력과의 상관 상관관계를 연구하고자 한다. 현장에서 생산 판매되고 있는 운동화를 조사하여 바닥창의 무늬를 분류하고 상호 비교를 위한 설계인자를 도출하였다. 기본적인 바닥창의 무늬 중에 일자형 무늬, W자형 무늬, 물결형 무늬와 O형을 검토의 대상으로 선정하였으며, 아울러 무늬의 깊이, 피치, 기울기를 설계인자로 선정하였다. 각각의 무늬와 설계 인자에 대하여 시편을 제작하고, 실험을 수행하여 마찰계수를 구하고 통계적 방법을 이용하여 설계인자에 대한 영향을 분석하였다.

#### ABSTRACT

J. N. LEE, Study on Correlation of Outsole Pattern of Sports Shoes and Frictional Coefficient. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 18, No. 3, pp. 1-10, 2008. One of the major factors affecting maneuverability of an athlete is frictional force caused at an outsole of his shoe. The magnitude of the frictional force is closely related to pattern and hardness of outsole and roughness of ground or floor. This study then focuses on the effect of outsole pattern of sports shoes on the frictional force. After surveying outsole patterns of sports shoes in markets, we select 4 types of outsole patterns, such as straight, W, O, and wave as primary outsole patterns of sports shoe and we also select depth, pitch and slope as design parameters of each pattern. Corresponding to those patterns and design parameters, various outsole specimen are prepared for frictional experiments. After performing frictional tests with those specimen, coefficients of friction(COF) are collected and analyzed with a statistical tool to draw useful conclusion.

KEYWORDS : SPORTS SHOE, OUTSOLE, PATTERN, COEFFICIENT OF FRICTION(COF), DESIGN PARAMETER

\* john@dongseo.ac.kr

## I. 서론

신발 아웃솔(outsole, 밑창)의 무늬(pattern)와 소재는 착용자가 걸을 때 바닥 면과 접촉하여 마찰력을 발생시키고, 발생된 마찰력은 신발 착용감 및 신발의 성능에 주요한 영향을 준다(Benno M. Nigg 1986). 본 연구는 신발 아웃솔의 무늬가 마찰력에 미치는 영향을 분석하고, 그 결과를 신발의 설계에 반영하여 기능성 신발의 마찰 특성을 향상시키고, 그에 따른 바닥무늬 설계의 자료로 활용하고자 한다.

일반적으로 신발 또는 신발의 아웃솔에 대한 연구는 북유럽에서 많이 이루어져 왔다. 북유럽은 겨울철의 낮은 온도로 인하여 노면의 결빙이 많이 생기고 이에 의한 미끄러움으로 많은 부상이 발생하기 때문에 이와 같은 부상을 방지하기 위하여 미끄러움 방지 차원에서 연구가 되어 왔다. 그중 E. William(E. William 1995)은 안전한 걸음걸이를 유지하기 위하여 최소 정마찰계수 0.5이상은 요구된다고 보행 분석을 통하여 해석을 하였다. 특히 미끄러움의 요인은 아웃솔의 재료와 마무리 손질, 신발 아웃솔과 바닥의 상태, 주변온도와 습도 그리고 걸음걸이에 따라 영향을 받는다고 밝혔다. 여기서 사용한 측정방법은 Force Plate를 사용하였다.

R. Gronqvist(R. Gronqvist 1995)는 오염된 바닥의 신발에서 마찰과 미끄러움의 기계적인 특성을 연구하였다. 여기서 마찰계수는 미끄러지는 속도, 면적, 압력 및 압력의 변화의 함수로 나타난다고 소개하였다. M. Wilson(M. Wilson 1996)은 SATRA 마찰계수 측정 장비를 활용하여 재료별 사용 중 신발을 수집하여 측정을 실시하고 경도별 그리고 바닥의 상태별로 앞굽과 뒷굽의 마찰계수 특성을 분류하였다. P. J. Perkins and M. P. Wilson(P. J. Perkins, M.P. Wilson 1983)은 신발의 마찰특성은 착화상태에서 실시되어야 하며, 슬립방지실험은 완성신발을 가지고 저속에서 그리고 고속에서 각각 실험을 하여 특성을 분석해야한다고 주장하였다. 또한 마찰의 법칙은 일반적인 Coulumb의 마찰 법칙과 달리 매우 복잡한 양상을 나타낸다고 언급하였다. 본 논문에서는 이러한 사항을 고려하여 다양한 속도에서 마찰력의 변화를 관찰하였으며, 아웃솔의 무늬에 대

한 마찰력의 영향을 비교분석하기 위해 단순한 Coulumb의 마찰법칙에 의해 마찰계수를 구하고 무늬의 영향을 상호 비교하였다.

신발 아웃솔은 좋은 착용감이나 기능을 고려하여 마모정도나 바닥 면과의 접지상태에 따라서 위치별로 소재를 다르게 할 뿐 아니라 무늬의 형태 및 치수까지도 다르게 사용되고 있다. 그러나 소재와 무늬형태를 동시에 고려한 객관적이고 신뢰성 높은 특성평가 방법의 부재 등으로 인하여 경험이나 모방에 의한 디자인에서 벗어나지 못하였고 특히 역학적인 측면에서 아웃솔의 무늬와 신발의 성능과의 상관관계가 신발의 설계에 있어서 반영되지 못하였다.

연구의 진행은 현장에서 생산 판매되고 있는 신발을 조사하여 신발 아웃솔 무늬의 종류를 분류하고 보편적인 무늬를 선택하여 연구의 대상으로 삼고자 하였다. 아웃솔 무늬를 살펴본 결과, 일자형 무늬, W자형 무늬, 물결무늬와 O형무늬가 주류를 이루며, 이들 무늬를 기반으로 한 변형 형태와 독창적인 모양의 다양한 형태의 아웃솔을 볼 수 있었다. 전체적인 경향을 분석하기 위하여 독창적인 무늬에 대한 영향은 배제하고, 상기 기술한 기본적인 4가지의 무늬에서부터 연구를 시작하였다.

## II. 연구방법

### 1. 시편 제작

신발의 아웃솔 무늬가 마찰계수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 무늬에 따른 시편을 제작하였다. 무늬의 종류는 시장 조사와 연구의 편의를 위하여 일자무늬, 톱니무늬, 원형무늬, 물결무늬의 4가지의 기본 무늬를 선정하였다. 또한 각 무늬에 대한 설계인자를 다음과 같이 선정하여 설계인자에 대한 마찰력의 변화 특성의 관찰을 시도하였다.

기준 무늬를 정하고 기준 무늬로부터 설계인자를 하나씩 변화시켜 무늬의 CAD 도면을 완성한다. CAD도면을 사용하여 시편용 몰드(mold)를 제작하고, 그 시편 몰드를 틀로 하여 준비된 배합고무를 엮어 고온가압 프

레스 작업을 하여 시편을 제작하는 과정을 거치면 사각형(30cmx30cmx0.8cm)의 고무판을 제작하였다. 여기서 고무의 배합 비율에 따라 경도와 마모율이 많이 차이가 나기 때문에 고무를 제작하기 전 시험편을 제작하여 경도 및 NBS 마모율을 측정후 고무의 배합율을 조절하여 경도(Shore A 62)와 고마모(NBS 400)의 고무배합 비율을 결정하여 제작한 시편을 제작한 후 다시 한번 경도와 마모율을 확인하는 과정을 거친다. 사각의 고무판이 각종 무늬에 따라 제작이 완성된 후, Water Jet 자동 재단기로 7cm 직경의 원형 시편을 완성하였다.

### 2. 일자형 무늬 시편제작

일자형무늬의 설계인자로 <그림 1>과 같이 산의 높이(w)와 골의 깊이(b) 그리고 산의 높이(h)와 산의 경사각도(a)를 선정하였다. 실험 시편은 <표 1>의 A5를 기준무늬로 정하고, 설계인자를 변화시켜 A1~A9까지 설계인자의 치수를 결정하여, <그림 2>와 같은 9가지를 만들었다.

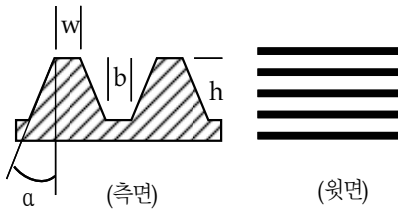


그림 1. 일자형무늬 설계인자

표 1. 일자형무늬의 시편별 치수

	b(mm)	w(mm)	a(deg)	h(mm)
A1	0.8	0.8	34	2.5
A2	0.8	0.4		2.0
A3	1.6	0.4		
A4	0	0.8		
A5	0.8	0.8		
A6	1.6	0.8		
A7	0	1.2		
A8	0.8	1.2		
A9	0.8	0.8		

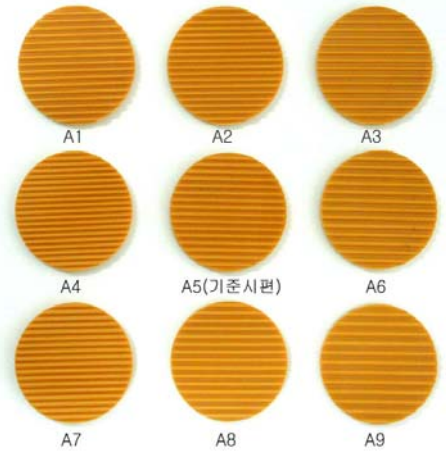


그림 2. 일자형 실험 시편

### 3. W형 무늬 시편 설계

W형무늬의 설계인자는 일자형무늬와 유사하게 <그림 3>과 같이 산의 높이(w), 골의 깊이(b), 산의 높이(h), 산의 경사각도(a), 그리고 무늬의 각도(β)를 선정하였다. W형 무늬의 치수를 <표 2>의 B5를 기준무늬로 정하고, 설계인자를 변화시켜 B1~B9까지 설계인자의 치수를 결정하여, <그림 4>와 같은 9가지 실험 시편을 만들었다.

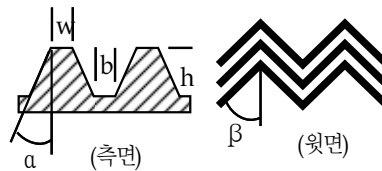


그림 3. W형무늬 설계인자

표 2. W형무늬의 시편별 치수

	b(mm)	w(mm)	a(deg)	h(mm)	β(deg)
B1	0.8	0.8	34	2.5	45
B2	0.8	0.4		2.0	
B3	1.6	0.4			
B4	0	0.8			
B5	0.8	0.8			
B6	1.6	0.8		40	
B7	0	1.2			
B8	0.8	1.2			
B9	0.8	0.8		40	45



그림 4. W형 무늬 시편

#### 4. O형 무늬 시편 설계

O형무늬의 설계인자는 <그림 5>와 같이 원의 직경에 해당하는 산의 높이(w)와 골의 넓이(b) 그리고 산의 높이(h)를 선정하였다.

실험 시편은 <표 3>의 C4를 기준무늬로 정하고, 설계인자를 변화시켜 C1 ~ C4까지 설계인자의 치수를 결정하여, <그림 6>와 같이 4가지를 만들었다.

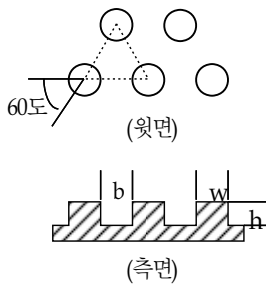


그림 5. O형무늬의 설계인자

표 3. O형무늬의 시편별 치수

	b(mm)	w(mm)	h(mm)
C1	2.0	3.0	2.8
C2	2.0	2.5	2.0
C3	3.0	3.0	2.0
C4	2.0	3.0	2.0

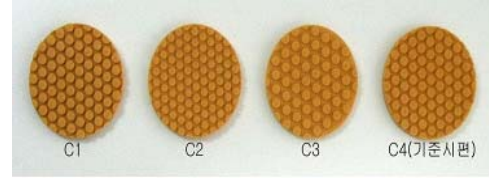


그림 6. O형 무늬 시편

#### 5. 물결 무늬 시편 설계

물결무늬의 설계인자는 <그림 7>과 같이 산의 높이(w)와 골의 넓이(b) 그리고 산의 높이(h)와 곡률반경( $\rho$ )를 선정하였다. <표 4>와 같이 D5를 기준하여 설계인자를 변경하면서 시편 D1 ~ D5를 정하고 <그림 8>과 같은 시편을 만들었다.

표 4. 물결무늬의 시편별 치수

	b(mm)	W(mm)	h(mm)	$\rho$ (mm)
D1	3.0	1.5	2.8	7.5
D2	3.0	1.0	2.0	7.5
D3	3.0	1.5	2.0	10.0
D4	4.0	1.5	2.0	7.5
D5	3.0	1.5	2.0	7.5

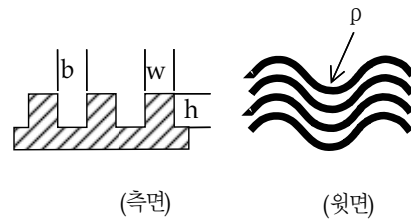


그림 7. 물결무늬의 설계인자

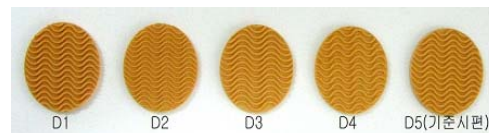


그림 8. 물결 무늬의 시편

## 6. 바닥재의 선정

바닥재의 종류와 상태에 따라 마찰계수는 각기 달리 나타난다. 본 연구에서는 일반 시중에서 구하기가 용이하며, 일반적으로 건축에서 바닥재로 흔히 사용되는 한솔 참마루 오크(제품번호:1603)을 채택하였다. 이 바닥재는 여러 가지 마찰 시험을 수행한바 다른 바닥재에 비하여 고무시편이 안정된 미끄럼 상태를 유지 할 수 있었으며, 반복성이 다른 바닥재에 비해 우수하다는 것을 예비실험을 통하여 확인하였다.

## 7. 무늬별 마찰 계수 측정

아웃솔 무늬에 대한 마찰계수에 미치는 영향을 분석하기 위하여 시편을 제작 후, 바닥재를 선정하여야 하였다.

일반적인 마루 운동에 사용되는 바닥재는 나무재질로서 고무 시편의 실험 과정에 한번 지나가게 되면, 바닥재에 변형이 발생하고, 고무의 각종 유기 성분이 바닥재에 접착이 된다. 바닥재의 표면과 시편 무늬에도 마모에 의한 변형이 발생된다. 그러나 낮은 하중을 부가하여 마찰실험을 수행하면, 바닥재 표면과 시편 무늬에 대한 변형은 적으나, 시편의 제작과정에서 발생하는 시편과 바닥 사이에 존재하는 균일하지 않는 미세한 접촉의 영향이 커져서 실험의 반복성이 낮아지게 된다. 또한, 고무의 마찰계수는 하중의 증가에 따라 약간 증가하는 경향이 있으나 전체적인 실험에는 영향이 미세하였다. 따라서, 본 실험에서는 3kg 하중을 부가하는 조건으로 모든 실험을 수행하였다.

시편의 크기는 바닥면과 접촉하는 면적이 증가하면 마찰계수는 약간의 감소하는 경향을 보이지만, 그 변화량이 미소하였다. 따라서, 본 연구에서는 직경 7cm의 원판으로 시편을 제작하여 실험을 수행하였다. 원판시편을 끄는 속도는 마찰계수에 영향을 많이 미치기 때문에 행할 때 넓은 구간의 속도(2.5mm/sec~100mm/sec)를 선정하여 실험을 수행하고 그 경향을 그래프로 나타내었다. 실험 데이터의 신뢰성을 확보하기 위하여 다음의 실험 계획을 수립하여 실험을 수행하였다.

## 8. 마찰계수 측정 방법 및 실험계획

시편고무와 바닥재 사이에서 발생하는 마찰력은 일반적으로 6축의 힘을 측정할 수 있는 AMTI Force Platform을 사용하였다. Force Platform 위에 일정 크기의 바닥재를 고정시키고 그 위에 원형 시편을 두고 서보장치에 연결하여 일정 속도로 끌 수 있게 하였다. 고무 시편에 일정한 하중을 부가하기 위하여 시편의 상부에 3kg 원통형 추를 얹어두었다. 이때 측정된 수직 반력(Fz)은 추와 시편의 무게이며, 수평반력(Fy)은 마찰력으로 나타나고, 수평반력과 수직반력의 비(Fy/Fz)로써 마찰계수(Coefficient of friction, COF)(K. Jung, A.Fischer 1993)를 구한다. 이때 끄는 총 길이는 30cm로 정하고 마찰계수의 추이를 관찰하였다.

<그림 9>는 실험적으로 수행한 마찰 계수 측정 실험 데이터이다. 여기서 Fz의 미세한 진동현상을 관찰되며, 이것은 흔히 관찰되는 현상으로 시편과 바닥재 사이의 접촉에서 발생하는 상호 점착력에 의한 것이다. 여기서 마찰계수(COF)는 6초에서 10초 사이에 측정된 총 마찰 계수의 평균값으로 산정하였다.

바닥재와 아웃솔 시편은 반복적으로 실험을 수행할 경우 시편과 바닥재의 마모 및 기타 실험의 조건이 변하게 되어 실험의 신뢰성과 반복성을 확보하기 어렵다. 이러한 실험 조건의 변화를 최소화하기 위하여 실험실의 온도(15~18°C)와 습도(45~50%)를 일정하게 유지하였다. 또한 실험 데이터의 신뢰성과 반복성의 높이기 위하여 다음의 실험과정을 거쳐 각 시편의 마찰계수측

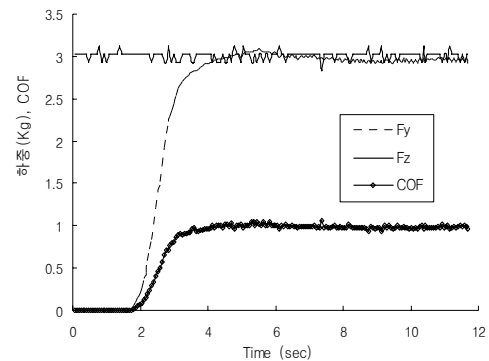


그림 9. 마찰 계수 측정

정 실험을 수행하였다.

### 실험과정

1. 바닥재 1개에 대하여 일반 시편을 10회 끌어 당겨 바닥재의 표면을 균일화시킨다.
2. 준비된 모든 바닥재를 1번의 과정으로 표면을 균일화시킨다.
3. 무늬의 영향을 실험하고자 하는 전체 시편을 준비하고, 1개의 시편에 대하여 각각 5회씩 끌기를 수행하여 시편의 마모 상태를 균일하게 한다.
4. 상기의 과정으로 본 실험의 시편과 바닥재의 사전 준비가 완료된다.
5. 본 실험으로 준비된 시편을 순서대로 1회씩 2.5mm/sec, 5mm/sec, 10mm/sec, 25mm/sec, 50mm/sec, 100mm/sec의 다른 6가지 속도로 각 1회씩 실험을 순서대로 수행하고 마찰력과 마찰계수를 측정한다.
6. 10개의 시편으로 5번의 실험을 수행하고, 다시 그 순서의 역순으로 실험을 수행한다.
7. 바닥재를 교체한다.
8. 상기 10개의 시편을 5번에서 수행한 순서와 무관하게 임의의 순서대로 1회씩 실험을 수행한다.
9. 새로운 10개의 시편으로 다시 6번의 실험단계로 가서 과정을 반복한다.
10. 모든 시편에 대하여 수행된 3회의 실험이 완료되면 그 결과를 통계적으로 처리한다.

### 9. 마찰계수 측정 데이터 통계적 처리 방법

마찰계수의 실험 결과 시편에 따라 여러 형태의 마찰계수 데이터가 나온다. 이와 같은 데이터를 통계적으로 처리하여 시편의 종류(수준)에 따른 마찰계수의 통계적 유의차(statistical significant difference)를 검증해 보고, 이에 따른 시편간의 상호관계를 규명하였다.

일반적으로 어떤 특성에 영향을 미칠 것으로 고려되는 하나의 인자(factor)의 여러 수준(level)에서 반복적인 실험을 통하여 그 인자의 유의성 및 인자의 수준간의 유의차를 검증해 보는 방법으로서 분산분석(ANOVA; analysis of variance)법을 사용하였다.

## III. 연구결과

### 1. 일자형무늬의 실험결과 고찰

아웃솔 무늬를 설계하는데 적용되는 기본 무늬중 일자형무늬에 대한 설계인자의 마찰계수에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 마찰계수 실험이 수행되었다. 여기서 선택된 네 가지 설계인자는 산의 높이(w)와 산의 높이(h), 골의 넓이(b), 그리고 산의 경사각( $\alpha$ )이며, 각기 설계인자에 변화를 주고 9가지의 시편을 제작하였다. 실험 계획법에 의거하여 각기 3회씩 실험을 수행하고 3회 실험에 대한 평균 데이터를 정리하면 <그림 10>과 같은 결과로 나타났다.

각 무늬의 마찰계수는 속도에 따라 변화하는 유사한 추세를 보여준다. 설계인자의 변화에 대한 상대비교를 위하여 전체 속도 영역에서 상호 비교는 어려워 25mm/sec의 일정속도에서 측정된 마찰계수 데이터를 통하여 분석을 시도하였다. 25mm/sec의 일정속도에 대한 마찰계수의 측정 데이터는 <표 5>와 같이 나타났다.

한 개의 시편 당 3회씩 측정된 데이터로부터 시편 상호간의 상관관계를 검토하기 위하여 <표 5>의 데이터를 앞서 기술한 유의차 분석법을 적용하였다. 그 결과 <그림 11>에서 보여지는 바와 같이  $p = 0.000001$ 로 매우 낮으며, 이는 시편 상호간에 나타나는 상관관계의 의미는 매우 높은 것으로 보여졌다.

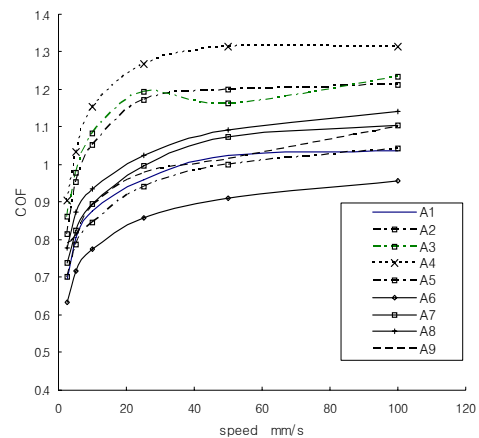


그림 10. 경도 62 일자형무늬 상대비교

표 5. 일자형무늬의 무늬별 마찰계수 측정 데이터

시편	측정		
	1회 측정치	2회 측정치	3회 측정치
A1	1.140	1.023	1.023
A2	1.290	1.173	1.227
A3	1.210	1.190	1.133
A4	1.280	1.410	1.217
A5	1.043	0.927	0.893
A6	0.800	0.770	0.737
A7	1.087	0.983	0.967
A8	1.103	1.023	0.963
A9	1.080	0.96	0.887

시편의 각 조합별로 마찰계수에 대한 최소유의차분석 결과는 <그림 11>과 같으며, 5행의 기준시편(A5)을 기준으로 살펴보면 A5와 A2, A3, A4간에는 유의한 차이가 있으나, A2, A3, A4 상호간에는 유의한 차이가 존재하지 않음을 알 수 있다. 따라서 마찰계수에 가장 큰 차이가 있는 시편그룹은 A2, A3, A4로 볼 수 있었다.

<그림 11>에서 기준시편(A5)의 마찰계수는 0.954이며, 이것은 전체의 평균 마찰계수 1.056와 유사하게 나타난다. 여기서 기준시편의 마찰계수와 차이가 확인하여 나타나는 시편은 A2(w의 변화), A3(w와 b의 변화), A6(b의 변화)이다. 설계인자의 변화가 마찰계수에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 유의차가 있는 인자 A2(w의 감소), A4(b의 감소)만 고려하여 마찰계수의 민감도(sensitivity analysis)를 A5(기준시편) 기준으로 구해보면 <표 6>과 같이 나타난다. 여기서 민감도는 설계인자의 단위 변화당 마찰계수의 변화량을 보

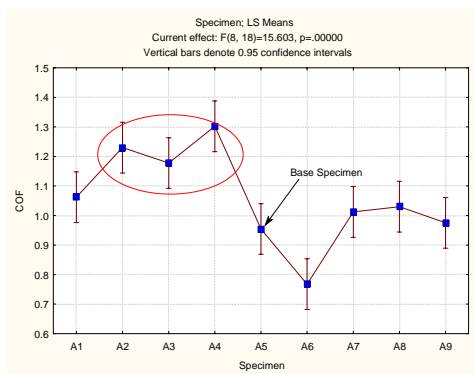


그림 11. 일자형무늬 시편별 마찰계수 평균값 및 95% 신뢰구간

표 6. 일자형 무늬 설계인자의 민감도

설계인자	w	h	b	a
민감도	-0.5	0.0	-0.37	0.0
	COF/mm	COF/mm	COF/mm	COF/deg

여 주었다.

<표 6>의 민감도를 검토하기 위하여 설계인자의 변화를 다른 방향에 대한 변화를 가한 시편 A6(b의 감소)에서는 동일한 경향을 보여주지만, A8(w의 증가)과 2개의 설계인자를 복합으로 변화를 가한 시편 A3(w의 감소, b의 증가)와 A7(w의 증가, b의 감소)에 대하여 유사한 경향을 보여 주지 못하기 때문에 절대적인 설계인자로 인정하기 어렵다. 또한 상기의 민감도는 실험을 통하여 구한 민감도이기 때문에 마찰실험에서 내재하는 여러 가지 불확정 요소를 감안할 때 신뢰성은 낮다고 분석되어 진다.

## 2. W형무늬의 실험결과 고찰

W형무늬는 9가지의 시편으로 구성되어 있다. 표준시편 B5를 기준으로 하고 5가지의 설계인자에 변화를 주고 시편을 제작하였다. 제작된 시편으로 실험 설계법에 의거하여 수행된 실험에서 얻은 데이터를 정리하고, 그 중 25mm/sec의 일정속도에서 측정된 마찰계수 데이터로부터 시편 상호간의 상관관계를 검토하기 위하여 유의차 분석법을 적용하면, <그림 12>와 같이 p = 0.00001로 매우 낮으며, 이는 시편 상호간에 나타나는 상관관계의 의미는 매우 높은 것을 보여 준다.

시편별 마찰계수의 평균값과 95%오차 범위를 <그림 12>에 나타내었다. 여기서 기준 시편(B5)의 마찰계수 COF = 1.212가 전체의 평균 마찰계수 COF=1.224에 가장 가깝다. 그리고, 기준시편에 대하여 시편 B4(b의 감소)와 B7(b의 증가)와 B8(w의 증가)에 따라 마찰계수 변화의 p가 0.01이하로 유의성이 있는 것으로 보인다. 따라서, B4, B7, B8의 8개의 시편과 기준시편인 B5 시편을 비교하여 보면 골의 넓이가 0.8mm 감소할 때 마찰계수가 0.15정도 상승하는 현상을 보여주지만, B3(b의 증가, w의 감소), B6(b의 증가)의 2개 시편과 비교할 때 이와 동일한 현상이 일어나지 않는다. 무늬의 높

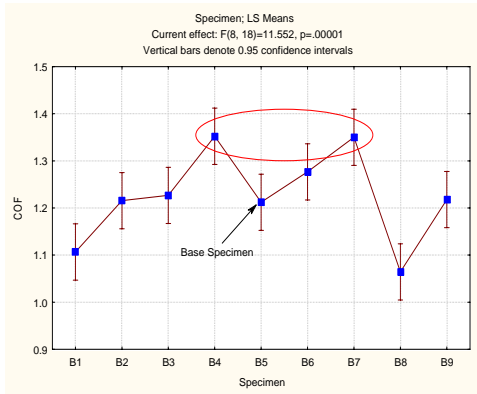


그림 12. W형무늬에 대한 시편별 평균값 및 95% 신뢰구간

이에 대한 영향은 B1시편과 B5의  $p=0.017$ 로 0.01보다 크기 때문에 유의성이 기준보다 낮으므로 무시한다. 산의 넓이에 대한 영향은 B8과 B5의  $p=0.0017$ 로 매우 낮아 유의성이 있다. 그러나 B2의 경우는 산이 좁아지는 경우로 유의성이 매우 낮은 것으로 나타나 신뢰성은 떨어진다. 따라서, 일자형무늬와 같이 절대적인 민감도로 보기 어렵지만 기준시편의 마찰력에 에 대한 설계인자 변화의 영향은 <표 7>과 같이 나타난다. 따라서, W형 무늬의 민감도는 일자형무늬의 분석과 마찬가지로 절대적인 기준은 될 수 없고 일반적인 경향으로 고려되어야 된다.

### 3. O형무늬의 실험결과 고찰

O형무늬는 4가지의 시편으로 구성되어 있다. 표준 시편 C5를 기준으로 하고 산의 높이 증가(C1), 산의 넓이 축소(C2) 그리고 골의 넓이증가(C4), 3가지의 설계인자에 변화를 주고 시편을 제작하였다. 제작된 시편으로 실험 설계법에 의거하여 수행된 실험에서 얻은 데이터를 정리하고, 그 중 25mm/sec의 일정속도에서 측정된 마찰계수 데이터로부터 시편 상호간의 상관관계를 검토하기 위하여 유의차 분석법을 적용하면, <그림 13>과 같

표 7. W형무늬 설계인자의 마찰계수 민감도

설계인자	w	h	b	a	$\beta$
민감도	-0.3	0.0	-0.17	0.0	0.02
	COF/mm	COF/mm	COF/mm	COF/deg	COF/deg

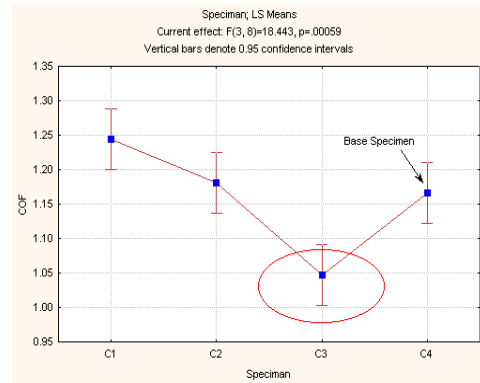


그림 13. O형무늬 시편별 마찰계수 평균값 및 95% 신뢰구간

이  $p = 0.0059$ 로 매우 낮으며, 이는 시편 상호간에 나타나는 상관관계의 의미는 매우 높은 것을 보여 준다.

실험 결과 신뢰도에 의하면, 골의 폭을 변화시킨 시편 C3만이 무늬변화에 영향을 받고 나머지는 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 여기서, 시편 C1, C2, C5는 마찰계수의 상호 변화가 무시될 정도로 미약한 것으로 판단되어진다. 그리고 골의 변화에 대한 마찰계수의 변화율은 1.0mm의 골의 넓이 변화에 대하여 0.10 정도 마찰계수의 변화가 관찰되어진다.

O형 무늬의 설계인자 중에서는 산넓이와 산 높이의 증가에 대한 마찰계수 변화가 없으며, 골의 넓이는 민감도가 -0.12(COF/mm)가 되어 골이 좁아지면 마찰계수가 증가하는 경향이 있었다.

### 4. 물결무늬의 실험결과 고찰

물결무늬는 5가지의 시편으로 구성되어 있다. 표준 시편 D5를 기준으로 하고 4가지의 설계인자에 변화를 주고 시편을 제작하였다. 제작된 시편으로 실험 설계법에 의거하여 수행된 실험에서 얻은 데이터를 정리하고, 그 중 25mm/sec의 일정속도에서 측정된 마찰계수 데이터로부터 시편 상호간의 상관관계를 검토하기 위하

표 8. O형무늬 설계인자의 민감도

설계인자	산넓이	산 높이	골넓이
민감도(COF/mm)	0	0	-0.12



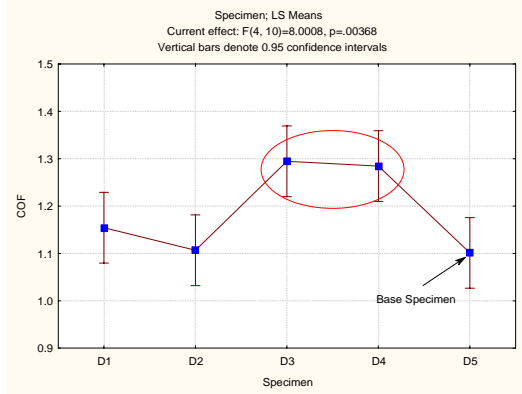


그림 14. 물결무늬 시편별 마찰계수 평균값 및 95% 신뢰구간

여 유의차 분석법을 적용하면,  $p = 0.0036$ 으로 다소 낮으며, 이는 시편 상호간에 나타나는 상관관계의 의미는 충분한 것으로 보여 진다.

시편별 마찰계수의 평균값과 95%오차 범위를 <그림 14>에 나타내었다. 기준 시편(D5)의 마찰계수 1.101은 전체의 평균 마찰계수 1.189에 가장 가까웠다. 여기서 기준시편 D5에 비하여 D1, D2 시편들의 마찰계수의 차이가 매우 적은 것을 알 수 있었다. 이는 무늬의 높이와 산의 넓이 변화에는 마찰계수가 변하지 않는다는 사실을 알 수 있었다. 반면, 물결무늬의 곡률( $\rho$ )의 증가와 간격( $b$ )의 증가는 앞서 실험한 O형무늬와 비슷하게 마찰계수가 증가하였다. 물결무늬에서는 간격( $b$ )의 설계인자 증가에 대한 마찰계수의 민감도(sensitivity)는  $-0.19(\text{COF}/\text{mm})$ 가 되며, 곡률( $\rho$ )의 변화에 대한 민감도는  $0.076(\text{COF}/\text{mm})$ 가 되었다.

### V. 결론 및 제언

아웃솔 무늬가 마찰계수에 미치는 영향을 보기위하여 4가지 기본무늬(일자형무늬, O형무늬, w형무늬, 물결무늬)를 선정하고 무늬의 설계인자(산의 넓이, 골의 넓이, 산의

표 9. 물결무늬 설계인자의 민감도

설계인자	산 넓이	산 높이	골 넓이	곡률반경
민감도(COF/mm)	0	0	-0.19	0.076

표 10. 마찰계수에 영향을 미치는 설계 인자

설계인자	영향
골의 넓이	큼
산의 넓이	작음
산의 높이	작음
산의 경사	작음
무늬의 각도	작음
곡률반경	작음

표 11. 무늬별 평균 마찰계수 비교

설계인자	일자형무늬	w형무늬	O형무늬	물결무늬
COF	1.056	1.224	1.258	1.189

높이, 산의 경사, 무늬경사, 등)를 변화시켜, 실험을 수행한 결과, 다른 설계인자에 비하여 골이 넓어지면 마찰계수가 감소하는 공통적인 경향을 보였다. 그러나 다른 인자들은 무늬에 따라 서로 상이하게 나타나기 때문에 시편의 제작 과정에서 발생하는 불확정요인의 영향이 무늬에 의한 마찰계수의 영향이 더욱 크다고 판단되었다.

4가지 기본 무늬에서 구한 마찰계수의 전체 평균을 상호 비교하여 무늬별 마찰계수의 상관관계를 구하였다. 앞서 구한 무늬별 평균 마찰계수를 정리하여 <표 11>에 나타내었다. 여기서 O형무늬가 가장 마찰계수가 높게 나타나고 W형과 물결무늬 일자형무늬의 순으로 낮아지는 경향을 보인다. 따라서 전반적으로 O형 무늬를 사용하면 상대적으로 높은 마찰계수를 기대할 수 있었다.

운동화의 아웃솔과 바닥의 마찰은 매우 복잡한 양상으로 나타난다. 상대 속도, 온도, 압력, 접촉면의 넓이와 상태 등의 외부적인 요인에 의해 많은 변화가 있으므로, 절대적인 상호비교는 매우 어려웠다. 따라서 본 연구는 이러한 외부적인 요인을 최대한 고정시키고, 상호 무늬사이에 그리고 설계인자 사이의 어떠한 영향을 미치고 있는가에 대한 일반적인 추이를 살펴보았다. 따라서 본 연구는 앞으로 운동화의 마찰력에 대한 연구의 기초자료로 활용되어 질 수 있다고 사료된다.

## 참고문헌

- Benno M. Nigg(1986), *Biomechanics of running shoes*, Human Kinetics Publishers, Inc.
- E. William(1995), "Ten Myths concerning Slip-Resistance Measurement", *American Society of Safety Engineers*, p35-38, April.
- R. Gronqvist(1995), "Mechanics of friction and assessment of slip resistance of new and used footwear soles on contaminated floors", *Ergonomics*, vol. 38, no. 2, 224-241.
- M. William(1996), " Slip Resistance Characteristics of Footwear Solvings Assessed Using the SATRA Friction Tester," *Journal of Testing and Evaluation, JTEVA*, Vol. 24, No. 6, Nov. pp.377-385.
- P. J. Perkins, M.P. Wilson(1983), "Slip resistance testing of shoes-new developments," *ERGONOMICS*, Vol. 26, No. 1, 73-82.
- K. Jung, A.Fischer(1993), "An ISO test method for determining slip resistance of footwear", *Safety Science*, Vol. 16, p115-127.
- 최규정, 권희자(2003). 보행용 전문신발과 일반 운동화의 운동역학적 비교분석. *한국운동역학회지*. 제 13권, 제 2호, pp.161-173.

투 고 일 : 6월 20일

심 사 일 : 8월 7일

심사완료일 : 9월 12일