

습윤 접지력 향상을 위한 안전화 겔창 개발 연구

김정수

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전연구실
(2012. 12. 21. 접수 / 2013. 4. 8. 채택)

The Development of Outsole for Wet Traction Enhancement

Jung Soo Kim

Department of Safety Research, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

(Received December 21, 2012 / Accepted April 8, 2013)

Abstract : Many occupational workers or professionals have to walk on the various floors for a long period of time. The objective of this study was to develop the safety shoes with increased traction through the material selection. In order to fulfill our objective, first, two kinds of filler were selected to compare the wear mechanism at outsole surface. The developed rubber materials were tested with two kinds of portable slip meters. The sample safety shoes with developed rubber materials were also tested with subject in the laboratory. During walking, the safety shoes were naturally abraded with counter surface. The coefficient of friction(COF) was gradually decreased with number of steps to 30,000, while the COF was abruptly increased from 30,000 to 40,000. The experimental results showed that COF tested with silica rubber was at least 10% higher than that with carbon black rubber in wet or detergent condition. It has been well recognized that filler properties play a important role in wet traction in the tire industry. However it has been unclear that filler properties would be decisive factor in safety shoes. Our study shows that silica exhibits a higher slip resistance than carbon black without reference to wear states in wet or detergent condition. So, this results will provide guides for outsole compounds to develop new products and improve product performance.

Key Words : slip resistance, filler, silica, wear, wet traction

1. 서론

최근 10(1998~2007)년 동안 넘어짐(전도) 재해는 지속적으로 증가하여 왔다. 이러한 증가는 우리나라뿐만 아니라 미국에서도 가장 증가율이 높은 것으로 나타나고 있다. 넘어짐 재해의 증가에 대한 다양한 원인이 있지만 지금과 같은 증가는 인구의 고령화에 기인된 것으로 추정 된다¹⁾. 2010년 11월 1일 기준 65세 이상 고령인구는 5년 전보다 24.4%나 급증했다²⁾. 따라서 우리나라의 경우도 앞으로 넘어짐 재해의 증가가 지속될 것으로 예상된다. 고령인구의 증가와 넘어짐 재해의 증가에 대한 상관관계는 외국의 경우 지속적으로 이루어져 왔지만 국내의 경우 다소 미흡한 상태이다. 따라서 이러한 연구도 지금 시점에서 제고할 필요가 있다.

지금까지 신발의 미끄러짐 방지 성능향상을 위한 많은 연구가 있어 왔다. 특히, 기존 연구자들은 신발 겔창(outsole)의 형태가 미끄러움에 미치는 영향을 많이 연구하여 왔다. 신발 겔창 돌출부(asperity)의 높이 및 기하학적 형상이 미끄러짐 저항을 향상시킨다는 연구결과가 있었고³⁾, 문양(textured)이 있는 신발 겔창은 실제로 바닥과 돌출부에서 보다 많은 접촉을 가짐을 보였다^{4,5)}. 그러나 많은 연구 결과에도 불구하고 신발 겔창의 문양이 미끄러짐 저항에 어느 정도 영향을 미치는지, 아니면 주요 변수인지조차 정확하지 않다. 또 다른 연구결과에서는 기하학적 형상이 미치는

영향보다 오히려 겔창 재질의 경도가 미치는 영향이 더 크게 나타난다고 하였다^{6,7)}. 또한 신발 겔창의 기하학적 형상은 거칠기가 큰 바닥재보다 매끈한 바닥재에서 미끄러짐 저항에 더 영향을 줌을 보여주기도 했다⁸⁾. 따라서 바닥재의 거칠기가 어느 정도 존재하고 닳아서 표면 문양(tread)이 없어진 경우가 아니라면 신발의 겔창 문양보다 신발 겔창재질이 미끄러짐 저항에 더욱 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다. 물론 자연계에 존재하는 동물들이 자연에 순응하면서 진화하여 젖은 표면에서도 미끄러지지 않거나^{9,10)} 눈 위에서 미끄러지지 않는 경우도 있지만 이 경우도 대부분 접촉부의 재질적 특성이 반영되어 있다.

만일 미끄러짐 저항을 증가시킬 수 있는 안전화 겔창재료를 개발하기 위해 사용하는 물질이 제조단계나 폐기단계에서 근로자들의 건강장해를 유발시킬 수 있는 물질이라면 이는 적절한 선택이 될 수 없을 것이다. 그러므로 미끄러짐 저항을 증가시킬 수 있는 안전화의 겔창재료를 개발할 경우에 반드시 다른 영향을 고려하여야 할 것이다. 이러한 접근방식을 일반적으로 “설계를 통한 재해예방(PtD ; Prevention through Design)”이라고 한다. 즉, “설계를 통한 재해예방”이라는 전략은 설계단계에서 폐기단계에 이르기까지 관련 근로자들의 안전 및 보건문제를 고려하여 모든 사용물질, 생산방법, 사용방법 및 폐기방법에서 유해위험요인을 제거하는 것을 말한다¹¹⁻¹³⁾. 안전화 겔창재료

*Corresponding Author: Jung Soo Kim, Tel : +82-32-510-0793, E-mail : mechheat@kosha.net

Department of Safety Research, Occupational Safety and Health Research Institute, 4785, Munemi-ro, Bupyeong-Gu, Incheon 403-711, Korea

제조공정에서 사용되고 있는 카본블랙의 경우 유해성이 의심되고 있으나 정제실리카의 경우 아직까지 큰 문제가 나타나고 있지 않으며 안전화의 미끄러짐 저항 성능을 향상시키는 것으로 나타났다.

일반적으로 고무재질의 물성을 강화시키기 위하여 첨가하는 물질로 카본블랙이외에 정제실리카를 사용하여왔다. 이 두 물질은 화학적 특성이 매우 상이하지만 고무에 첨가되어 나타나는 물리적 특성은 매우 유사하다. 그러나 카본블랙이 정제실리카에 비해 다소 많이 사용되고 있다. 카본블랙의 경우, 입자의 분산과 입자와 고무재질의 상호작용이 교반과정에서 다소 자연스럽게 발생하지만, 정제실리카의 경우 표면개질(surface treatment)이 필요하다. 물론 이러한 표면개질이 오히려 고무의 습윤 접지력(wet traction)을 증가시키기는 요인이 되기도 한다.

정제실리카를 카본블랙 대체물질로 고려할 때 어떠한 특성이 접지력을 증가시키는지 정확히 알려져 있지 않다. 만일 접지력의 향상 메커니즘을 정확하게 이해할 수 있다면 앞으로 신발겔창재료를 개발할 경우 더욱 우수한 재질을 개발할 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 일반적으로 접지력이 증가할 경우 신발겔창재료의 내마모도가 감소하는 경향이 많기 때문에 경제적인 고려도 필요할 것으로 판단되며 장기적인 연구를 통하여 내마모성 변화도 함께 조사할 필요가 있다.

따라서 이러한 모든 영향을 고려한 안전화 겔창재료를 개발하기 위한 선행적 연구로 카본블랙 및 정제실리카를 첨가한 고무재질을 개발하고 이를 기존의 휴대용 미끄럼 측정기에 부착하여 습윤 접지 성능 변화를 조사하고자 하였다. 또한 이를 토대로 안전화를 개발하고 실험실 분위기에서 마모에 따른 미끄러짐 저항 변화를 실험적으로 규명하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 안전화 겔창재료 개발

안전화 겔창재료의 재질에 따른 습윤 접지력의 영향을 조사하기 위해 고무재질에 첨가제로 카본블랙과 정제 실리카를 따로 일정한 비율로 첨가하였다. 이때 개발된 2 가지 고무 재질은 고무의 경도를 동일하게 유지하도록 하였다. 이는 기존 연구결과^{6,14)}에서도 나타났듯 안전화의 미끄러짐 저항 특성에 가장 큰 영향을 미치는 원인중 하나가 경도이므로 이러한 영향을 제거하기 위해서이다. 실험용 안전화 겔창재료의 경도는 Fig. 1과 같이 국내에 시판되는 28족 안전화의 고무겔창 경도를 측정하여 얻은 결과로부터 최빈값인 쇼어 A 70으로 선정되었다.

개발된 안전화 겔창고무의 물성치는 Table 1과같이 나타났다. 카본블랙을 충전제로 사용한 안전화의 경우 시중에 시판되고 있는 일반적인 안전화 겔창고무와 거의 동일한 물성치를 나타내고 있으며, 실리카를 충전제로 사용한 안전화의 겔창고무는 인장응력과 인열저항이 카본블랙 사용 안전화 겔창고무보다 다소 낮게 나타나고 있다.

이는 두 물질이 고무와 접착력이 서로 상이하기 때문에 나타난 현상으로 생각된다. 카본블랙과 실리카를 첨가한

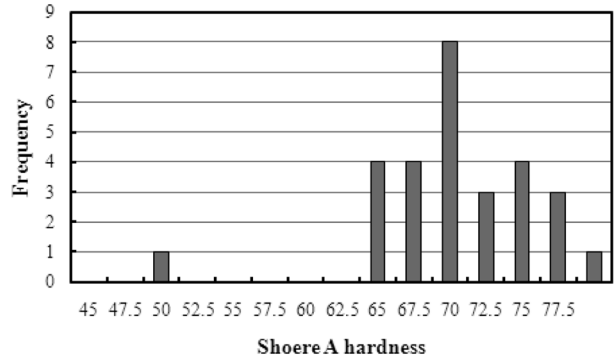


Fig. 1. The distribution of outsole's hardness of safety shoes.

Table 1. Summary of mechanical properties for two kinds of outsole materials.

Properties	Carbon black filler	Silica filler
Hardness(shore A)	70	70
Density(kg/m ³)	1.22	1.18
Tensile stress(kg/m ²)	105	72.3
Elongation(%)	340	550
Tear resistance(kg/m)	78.2	63.5

고무의 물성치를 통해 실리카 첨가 고무가 좀 더 잘 늘어나고(신장률 550%), 잘 마모될 것(인열저항 63.5)으로 예상된다. 따라서 이러한 물성치의 차이가 직·간접적으로 미끄러짐 저항에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

2.2. 겔창 샘플의 미끄럼 저항 변화 측정

제작된 안전화 겔창재료를 Fig. 2와 같은 기존의 미끄럼 저항 측정기에 센서로 부착하여 일정한 실험실 환경(20±2°C, 50±5%rh)에서 동일한 바닥재(60번 사포로 연마한 스테인리스 스틸) 위에 오염물질을 충분히 분무하여 실험을 수행하였다. 사용된 오염물질은 종류수와 세제수용액(SLS 4%, Sodium Lauryl Sulfite)를 사용하였다.

실험에 사용된 샘플은 안전화로 만들어질 겔창재료와 동일한 공식(formular)으로 제작된 고무판에서 기존 장치의 센서크기에 맞게 추출 되었다. 개발된 안전화 겔창고무의 샘플은 전체 고무판(A4 크기)에서 중앙, 각 모서리에서 1 cm 안쪽 등 5개소에서 얻었다. 이렇게 얻어진 샘플을 거

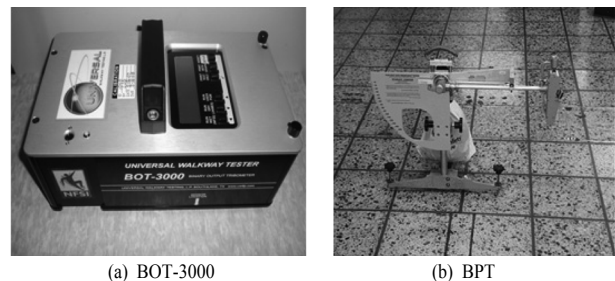


Fig. 2. The used slipmeter for slip resistance.

친 스테인리스 판($R_f=2.3$) 위에서 12회 반복 마모를 시킨 후 오염물질을 표준 바닥재에 도포하고 2회 미끄러짐 저항값을 측정하였다.

하나의 샘플에서 2회만 미끄럼 저항값을 측정한 것은 미끄럼 저항값 측정동안 걸창재료가 마모됨으로 이러한 영향을 최소화하기 위한 것이다. 따라서 매 12회 마모 후 미끄럼 저항 측정 시, 하나의 재질에 대한 미끄럼 저항값 측정은 10회(2회×5개 샘플) 수행하였다.

미끄럼 측정기에 따라 미끄럼 저항값이 거의 일정해지는 순간까지 반복 마모와 미끄럼 저항값을 측정하였다.

2.3. 안전화의 보행마모 및 미끄럼 저항 측정

Fig. 3은 표준 모래(KS L 5100), 시멘트 및 물을 6:2:1로 섞어 모르타르로 만든 보행로 바닥을 보여주는 그림이다. 모르타르는 다지기에 따라 표면의 특성이 다양하게 만들어지기 때문에 2명이 따로 다지기를 통해 표면을 만들었다. 또한 실험 시 바닥의 거칠기에 따라 마모가 다르게 일어나기 때문에 2명이 만든 바닥재는 매 실험 시 무작위한 방법(randomization)으로 배치하였다.

마모 실험은 2명의 피시험자가 2 가지 종류의 신발을 무작위한 방법으로 신고 보행하도록 하였으며 보행 시 주변 조건은 최대한 일치할 수 있도록 하였다. 각 보행 시 보행 횟수는 한쪽 발을 기준으로 한 바퀴에 10보가 되도록 설계하였다. 보행로의 설치는 Fig. 3과 같이 보폭에 따른 변화나 개인적인 차이를 최소화하기 위해 한 보폭을 약 60 cm가 되도록 설치하였다. 보행방향에 따라 신발 걸창의 마모부위가 달라질 수 있으므로 1회에 200바퀴를 돌면서 100바퀴는 시계방향으로 나머지 100바퀴는 반시계방향으로 보행하였다. 각 보행 실험 시 보행속도는 피시험자가 가장 편하게 생각하는 속도로 하였으며 1회 실험 시 약 40분 정도가 소요되었다.

각 발판은 310×430 mm로 제작 하였으며 보행 중 모르타르 표면이 마모되어 발생하는 모래는 그대로 두고 측정하였다. 이는 실제 보행 시 바닥 표면에 모래와 같은 입자가 존재하기 때문이다. 또한 표준 모래를 선택한 것은 표준 모래의 입도범위가 넓고 항상 표준화할 수 있기 때문이다.

안전화의 마모에 따른 미끄럼 저항 변화는 AVIT와 Ramp tester를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 본 연구에서 제작한 2가지 걸창 고무를 BOT-

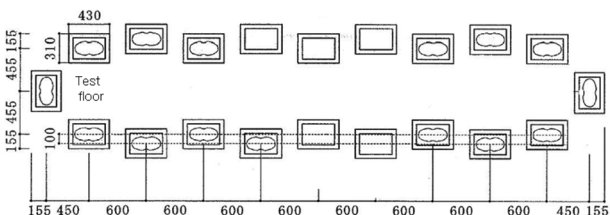


Fig. 3. The counter surfaces for walking wear experiment.

3000으로 건조한 스테인리스 바닥에서 마모시험을 수행하고 난 뒤 스테인리스에 오염물질을 도포하여 측정된 정지마찰계수를 나타내는 그림이다. 전체적으로 정제실리카를 첨가한 고무재질이 카본블랙 첨가한 고무재질보다 정지마찰계수가 약 10~15 % 높게 나타나고 있다. 또한 정제실리카를 첨가한 고무재질은 마찰회수에 따라 거의 일정한 값을 나타내고 있는 반면 카본블랙을 첨가한 고무재질을 조금씩 감소하는 경향을 나타내고 있다. 특히 카본블랙을 첨가한 고무재질은 세제수용액에서 불규칙적으로 증가와 감소를 반복하고 있다. 이는 카본블랙 첨가 고무의 불규칙한 마모에 의한 것으로 추정된다. 다만 동일한 마모상태에서도 물의 경우 변동이 크게 나타나지 않는 것은 물이 고무의 마모상태에 상대적으로 덜 민감하기 때문이다.

오염물질별로 보면 세제수용액이 물보다 낮은 마찰계수를 나타내고 있다.

Fig. 5는 본 연구에서 제작한 2가지 걸창 고무를 BPT로 건조한 스테인리스 바닥에서 마모시험을 수행하고 난 뒤 스테인리스에 오염물질을 도포하여 측정된 동마찰계수를 나타내는 그림이다. 전체적으로 정제실리카를 첨가한 고무재질이 카본블랙 첨가한 고무재질보다 동마찰계수가 높게 나타나고 있다. 이는 앞서 측정된 BOT-3000의 결과와 동일한 것으로 미끄러짐 위험성의 지표가 동마찰계수이던 정지마찰계수이던 어떠한 형태가 되더라도 정제실리카를 첨가한 고무재질이 카본블랙을 첨가한 고무재질에 비해 우수한 미끄러짐 저항 특성을 나타낼 것으로 판단된다.

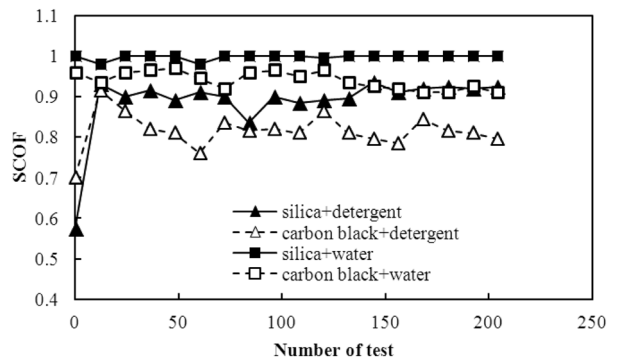


Fig. 4. The counter surfaces for walking wear experiment.

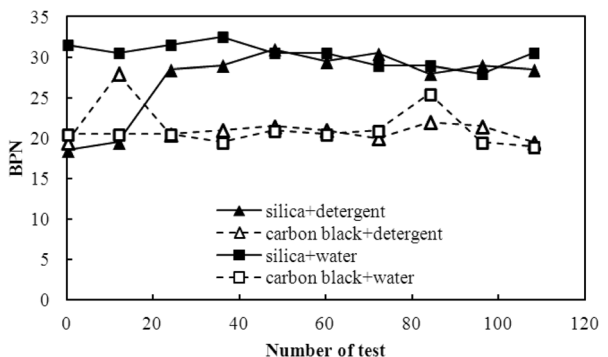


Fig. 5. The counter surfaces for walking wear experiment.

카본블랙 첨가 고무재질은 정제실리카 첨가 고무재질에 비해 비정기적으로 BPN값의 상승이 나타나고 있다. 이는 Fig. 4에서 설명하였듯 카본블랙 첨가 고무재질의 불규칙한 마모와 관련이 있는 것으로 판단되나 추가적인 연구가 필요하다.

일반적으로 바닥재와 상대운동을 하는 고무의 마찰력은 변형 이력현상(deformation hysteresis), 밀착력(adhesion), 파괴(마멸 또는 티어링) 및 액체에 있어서 점성소산(viscous shear dissipation)과 같은 다양한 에너지 소산으로 발생한다¹⁵⁾. 이 중 첫 두 가지가 고무의 마찰에 결정적인 역할을 한다. 이들 요소는 결국 히스테리시스나 동적 탄성계수와 같은 동력학적 물성치에 의해 지배된다. 따라서 카본블랙과 정제실리카를 첨가한 고무의 마찰특성에서의 차이는 고무의 동력학적 상태량에 의해 발생한 것으로 판단할 수 있다.

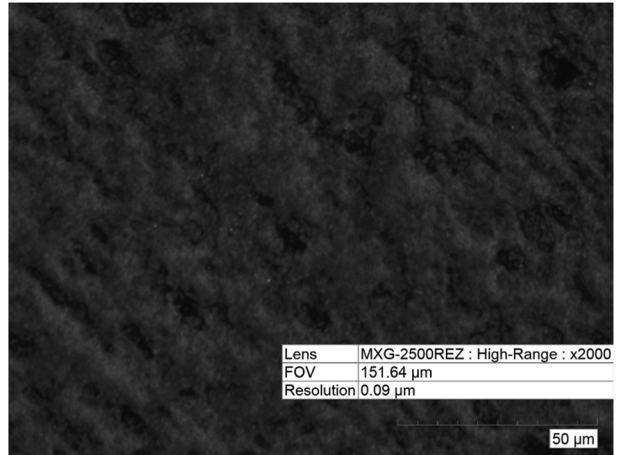
그러나 기존 타이어에 관한 연구결과¹⁶⁾에서 이러한 동력학적 물성치가 거의 유사하지만 젖은 미끄럼 저항값은 상이하게 나타나는 경우가 있다.

Fig. 6은 스테인리스 위에서 마모된 카본블랙(a) 고무와 실리카(b) 고무의 현미경사진과 이 때 발생하는 마모 모델(c)을 보여주는 그림이다. 카본블랙 고무는 표면에 따라 표면에 어떠한 입자도 나타나지 않고 단지 고무재질이 찢겨져 나간 형태를 보여준 반면 실리카 고무는 표면에 입자가 떨어져 나간 자리(검은 색)와 입자가 노출된 부위(표면에 요철로 나타남)가 나타나 있다. 이는 외부에서 하중(전단력)이 가해질 때, 고무매질과 첨가물(카본블랙, 정제실리카)사이에서 발생하는 최대 전단응력이 Fig. 6(c)에서처럼 카본블랙은 고무매질 내에서 발생하고 실리카의 경우 고무와 접촉하는 실리카 표면에서 발생하여 균일이 시작되는 지점이 달라지기 때문이다¹⁷⁾. 즉, 실리카 고무는 마모에 따라 고무와 실리카 입자가 분리되어 표면에 실리카 입자가 나타나 바닥재와 고체-고체접촉이 용이해지고 쇄기효과도 발생하지만, 카본블랙 고무는 마모에 따라 고무와 고무 사이가 떨어지기 때문이다.

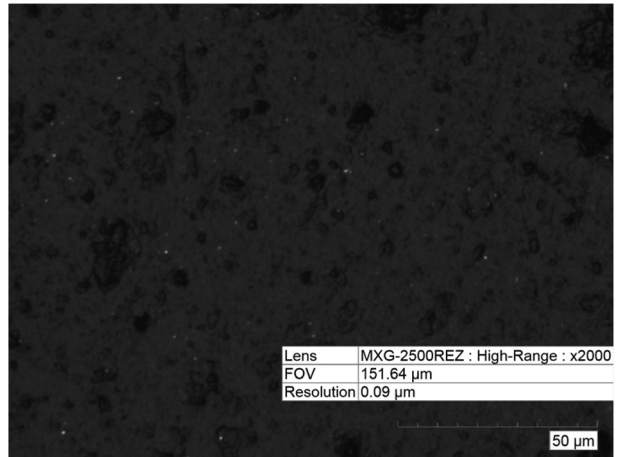
Fig. 7은 6만보 보행 후 안전화 굽(heel)의 마모상태 보여주는 사진이다. 안전화 마모량의 정량적인 측정은 현재로서는 불가능하지만 정성적으로 관찰한 결과 보행횟수에 따른 뒤꿈치 부분의 마모가 증가하고 있다. 특히 이러한 뒤꿈치 마모가 마찰계수에 영향을 주어 천이현상을 유발시킬 수 있다.

실험실에서 수행한 보행마모 실험 결과, 마모상태는 현장에서 3개월간 착용한 안전화의 마모상태와 매우 유사하였다¹⁸⁾. 즉, 실험실에서 수행한 안전화 마모실험이 현장에서 발생하는 마모현상을 어느 정도 추정한다고 생각할 수 있다. 따라서 실험실에서 수행한 안전화 마모실험으로부터 결과를 해석함으로써 현장에서 발생할 수 있는 마모에 따른 안전화의 미끄러짐 위험성을 판단할 수 있다고 생각된다. 대부분 안전화의 뒤꿈치 외측부에서 마모가 심하게 발생하였다. 이는 거의 대부분 사람들의 보행에서 나타나는 현상과 유사한 것이다.

Fig. 8은 안전화의 뒤꿈치 마모에 따른 접촉면적변화를



(a) Surface of carbon black filled rubber



(b) Surface of silica filled rubber

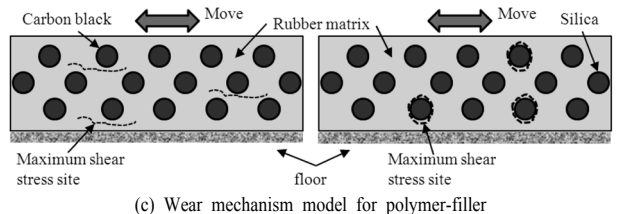
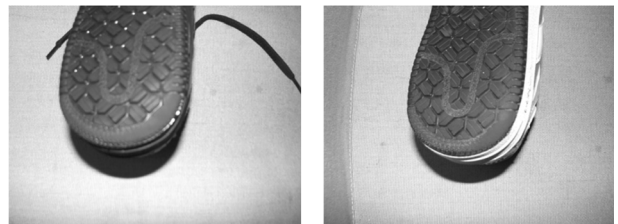


Fig. 6. Microscopic photo of the rubber surface after wet wear test and wear mechanism model.



(a) carbon black filler (b) precipitated silica filler

Fig. 7. Wear state of safety footwear after 60,000 steps.

정성적으로 나타낸 그림이다.

안전화의 뒤꿈치가 바닥과 접촉하여 상대운동을 하면 상대적으로 무른 고무재질이 쉽게 마모될 수 있다. 그러

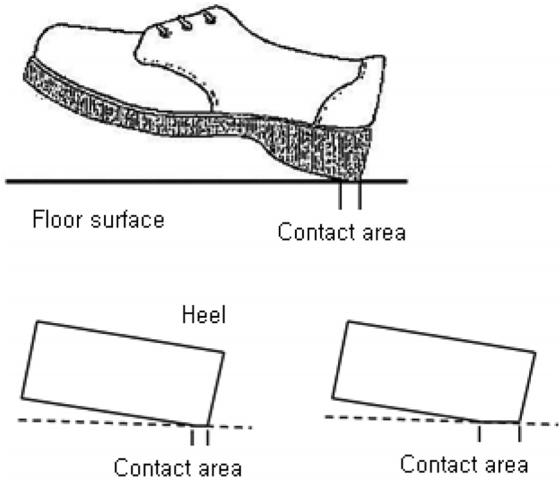


Fig. 8. The cause of COF variation with wear of footwear.

나 초기 마모동안 마찰로 인한 마모량은 그리 크지 않기 때문에 접촉면적 증가효과는 크게 나타나지 않을 것이다. 오히려 보행마모로 인하여 안전화 걸창 표면에 미소한 기공들이 발생하고 이로 인하여 고무표면이 소수성(hydrophobic) 특성을 잃어버리고 친수성(hydrophilic) 특성을 갖게 된다¹⁹⁾. 이로 인하여 액체 오염물질이 걸창표면에 쉽게 달라붙어 마찰력을 감소시키게 된다. 즉, 초기 마모동안 안전화의 마찰계수는 Fig. 9에 나타난 처럼 감소할 것이다. 그러나 마모가 더욱 증가됨에 따라 Fig. 7에서 나타난 것처럼 접촉면적이 증가하여 접촉면적으로 인한 마찰력 증가가 발생할 것이다. 이러한 결과는 기존의 연구결과와 유사한 것으로 판단된다²⁰⁾.

Fig. 9는 실리카와 카본블랙을 첨가한 안전화로 마모를 위한 보행실험을 실시한 후, 각 10,000보마다 Ramp tester와 AVIT를 이용하여 측정한 마찰계수(COF)를 나타낸 그림이다.

전체적으로 실리카를 첨가한 안전화의 마찰계수가 보행 횟수와 상관없이 카본블랙을 첨가한 안전화의 마찰계수보다 약 15~20% 높게 나타났다. 실리카 첨가 안전화의 마찰계수가 카본블랙 첨가 안전화보다 통계적으로 유의하게 높게 나타난다고 할 수 있다($p < 0.05$). 이는 앞에서 설명하였듯이 재료의 동력학적 물성치와 마모에 따른 각 재료의 표면 특성으로 판단된다.

그러나 고무시편을 부착한 휴대용 미끄럼 측정기로 측정한 정지마찰계수와 동마찰계수는 마모에 따라 마찰계수가 거의 일정하게 나타났지만 안전화 걸창으로 제작하여 실험한 결과 보행마모에 따라 감소하거나 증가하는 현상이 나타나고 있다. 이는 휴대용 미끄럼 측정기에 부착한 고무시편에 어떠한 구조(트레드, 거친 요철 등)를 만들지 않았으나 신발 걸창에는 일정한 트레드가 있기 때문에 이러한 트레드의 형상 변화가 영향을 주기 때문으로 판단된다. 또한 신발 걸창의 형상변화가 마찰계수에 영향을 준다는 사실은 Fig. 9에 나타난 것과 같이 재질에 상관없이 보행횟수가 3만보까지는 마찰계수가 계속 감소하다 4만

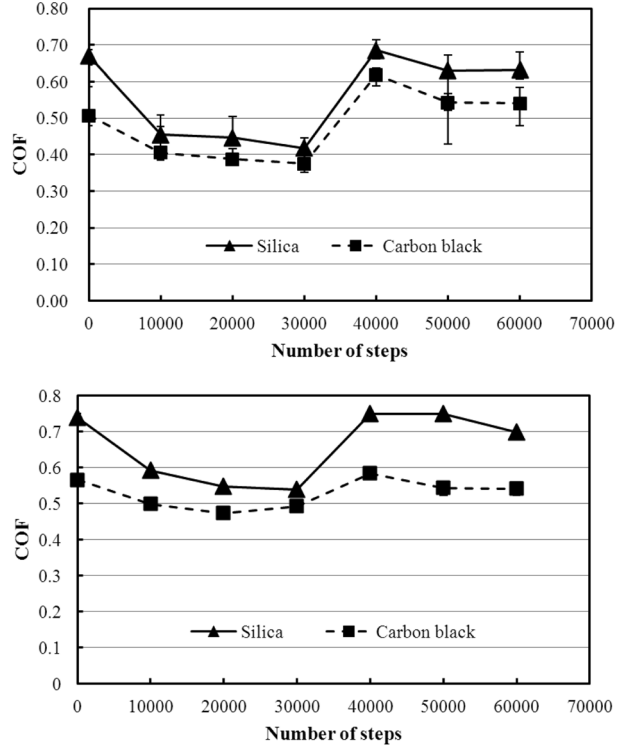


Fig. 9. The variation of COF with wear by walking.

보에서 다시 상승하여 이후 조금씩 감소하는 경향을 나타내는 것으로부터 유추할 수 있다.

또한 안전화의 미끄러짐 저항을 정확하게 평가하기 위해서는 가장 위험한 순간인 약 3만보 정도의 마모상태를 찾아 실험하고 안전화의 미끄럼 위험성을 평가하여야 할 것이다. 그러므로 안전화의 종류에 따른 가장 낮은 마찰계수를 나타내는 시점을 찾아서 평가하는 것이 안전화의 마찰계수를 가장 적합하게 평가하는 방법이 될 것이다.

4. 결론

안전화 걸창(outsole)재질을 개발하기 위한 선행적 연구로 카본블랙 및 정제실리카를 첨가한 고무재질을 개발하여 이를 2가지 휴대용 미끄럼 측정기를 이용하여 정지 및 동마찰계수를 측정하고 마찰계수의 차이가 발생하는 원인을 현미경 사진을 통해 확인하였다. 또한 첨가물의 종류에 따른 마모현상을 설명할 수 있는 모델을 제시하였다. 이를 토대로 안전화를 개발하고 실험실 분위기에서 마모에 따른 미끄러짐 저항 변화를 실험적으로 규명하였다. 안전화의 마찰계수 변화는 고무에 첨가된 재질, 표면의 물리적 특성변화 및 마모에 따른 실제 접촉면적 변화가 상호작용을 하여 나타나고 있으며 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 휴대용 미끄럼 측정기로 측정한 결과 동마찰계수와 정지마찰계수 모두에서 정제실리카를 첨가한 고무재질이 카본블랙을 첨가한 고무재질에 비해 우수한 미끄러짐 저항

특성을 나타내었다.

2) 카본블랙과 정제실리카를 첨가한 고무의 마찰특성에 서의 차이는 고무의 동력학적 상태량 및 마모기구에 따라 달라진다.

3) 안전화를 제작하여 실험한 결과, 실리카를 첨가한 안전화의 마찰계수가 보행화수와 상관없이 카본블랙을 첨가한 안전화의 마찰계수보다 약 15~20% 높게 나타났다.

Reference

- 1) T. E. Lockhart, "Biomechanics of Slip and Falls in the Elderly", a thesis of master of science in industrial engineering. Texas Tech Univ.; 1997.
- 2) 2010 Population and Hosing Census. Statistics Korea; 2011.
- 3) D. Manning, C. Jones, M. Bruce, "Improved Slip Resistance on Oil from Surface Roughness of Footwear", Rubber Chem Tech, Vol. 56, pp. 703~717, 1983.
- 4) O. Finlay, "Footwear Management in the Elderly Care Programme", Physiotherapy, Vol. 72, pp. 172~178, 1986.
- 5) J. Edelstein, "If the Shoe Fits: Footwear Considerations for Elderly", Phys Occup Ther Geriatr, Vol. 5, pp. 1~16, 1987.
- 6) Woon Chul Shin, Jung Soo Kim and Jae Suk Park, "The Study for Avoiding Accidents Caused by STF(Slip, Trip and Fall)", Occupational Safety and Health Research Institute Report 2008-149-1492; 2008.
- 7) M. Loo-Morrey and R. Houlihan, "Futher Slip-Resistance Testing of Footwear for use at Work", HSL report no. PED/07/01, pp. 24~26, 2007.
- 8) L. Strandberg, L. Hildeskog and A. L. Ottoson, "Footwear Friction Assessed by Walking Experiments", VTIRapport 300A, pp. 1~12, 1985.
- 9) W. Federle, W. J. P. Barnes, W. Baumgartner, P. Drechsler and J.M. Smith, "Wet but not Slippery: Boundary Friction in Tree Frog Adhesive toe Pads", J. R. Soc. Interface, Vol. 3, pp. 689~697, 2006.
- 10) M. Varenberg and S. N. Gorb, "Hexagonal Surface Micropattern for Dry and Wet Friction", Adv. Mater., Vol. 21, pp. 483~486, 2009.
- 11) P. A. Schulte, R. Rinehart, A. Okun, C. L. Geraci and D. S. Heidel, "National Prevention through Design(PtD) Initiative", Journal of Safety Research, Vol. 39, pp. 115~121, 2008.
- 12) F. A. Manuele, "Prevention Through Design(PtD): History and Future", Journal of Safety Research, Vol. 39, pp. 127~130, 2008.
- 13) W. Creaser, "Prevention through Design(PtD) Safe Design from an Australian Perspective", Journal of Safety Research, Vol. 39, pp. 131~134, 2008.
- 14) W. R. Chang et. al., "The Role of Friction in the Measurement of Slipperiness, Par 1: Friction Mechanisms and Definition of Test Conditions", In: W.R. Chang, T. K. Courtney, R. Granqvist, M. Redfern, editors. Measuring Slipperiness-Human Locomotion and Surface Factors: Taylor & Francis; pp.119~134, 2002.
- 15) D. F. Moore, "The Friction and Lubrication of Elastomers", pergamon, Oxford, 1972.
- 16) K. Mahmud, M. J. Wang and Y. Kutsovsky, US Pat. 6, 364, 944, Cabot Coporation, 2006.
- 17) A. J. Kinloch and R. J. Young, "Fracture Behaviour of Polymers", Applied Science, London, 1983.
- 18) Jung Soo Kim, "The Development of Green Anti-Slip Outsole and It's Field Study," Occupational Safety and Health Research Institute Report 2011-OSHRI-1896, 2011.
- 19) Q. David, "Wetting and Roughness: Part I", Annu. Rev. Mater. Res., Vol. 38, pp. 71~99, 2008.
- 20) I. J. Kim and R. A. Smith, "Critical Analysis of the Relationship Between Shoe-Heel Wear and Pedestrian / Walkway Slip Resistance", In: Marpet MI, Sapienza MA, editors. Metrology of pedestrian locomotion and slip resistance (STP1424) : ASTM International; pp.33~48, 2002