

바닥 거칠기 및 미끄럼판 재질에 따른 미끄러짐 특성 연구

김정수[†] · 박재석

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원
(2010. 11. 12. 접수 / 2010. 12. 14. 채택)

Experimental Study on Slip Characteristics of Floor Surface Roughness and Slider Materials

Jung-Soo Kim[†] · Jea-Suk Park

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA
(Received November 12, 2010 / Accepted December 14, 2010)

Abstract : This paper presented an experimental study of slip resistance characteristics of shoes and floor surface contact with special focus on the effect of surface roughness, outsole material and mechanical abrasion. The factors that affected the results of slip resistances were investigated for four kinds of rubbers and five kinds of floor samples using the VIT(English XL) tribometer. The slip resistance was observed to increase gradually with increasing roughness for five kinds of floor roughness. In the higher surface roughness (larger than 11.5 μ m), the slip resistance increased more rapidly and exceeded safety criteria at 22.60 μ m. The slip resistance was observed to decrease with increasing hardness of outsole, except for butylenes rubber, which seemed to show the material property. The slip resistance decreased with number of trials. In the first several times(5 or 6 trial), the slip resistance decreased more rapidly, whereafter it approached gradually constant value. The slip resistance of surfaces has generally been shown to increase with floor surface roughness and to decrease with hardness of outsole and number of trials under the wet condition.

Key Words : VIT, slip resistance, surface roughness, hardness of outsole, mechanical abrasion

1. 서론

바닥 표면에 대한 신발의 마찰력은 전도재해 발생과 관련된 중요한 요소 중의 하나이다. 이러한 이유 때문에, 미끄러짐 저항은 일반적으로 탄성중합체 같은 신발 걸창재질로 측정된 마찰계수에 기초하여 평가되어왔다. 여러 미끄러짐 측정 장치가 개발되어 왔고¹⁾ 다양한 나라에서 사용되고 있지만 현재까지 바닥표면의 미끄러짐 저항을 평가하는 장치나 방법에 대한 국제적 표준이 불명확한 실정이다²⁾.

보행자 미끄러짐 저항 측정에 있어서 측정 불확실도에 영향을 주는 중요한 인자들은 장치, 시험 매개변수, 측정과정 및 시험자와 관련된 측정 조건들 뿐만 아니라 접촉하고 있는 바닥표면과 신발걸창물질의 표면조건, 온습도조건 등을 포함한다³⁾.

단단한 바닥 표면에서 상대적으로 부드러운 탄성중합체가 마찰할 경우, 탄성중합체의 마모로 인하여 반복된 마찰 측정의 결과들은 연속적 마모로 인하여 계통적으로 영향을 받을 것으로 추정된다. 다양한 입자 크기의 연마지를 이용한 마찰계수 측정 연구에서, 표면 거칠기는 측정된 마찰계수에 상당한 영향을 줄뿐만 아니라 건조한 바닥에서 조차 마찰계수의 재현성(repeatability)에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다⁴⁾.

수력학적 압축막 이론을 이용하여 Proctor와 Coleman⁵⁾은 미끄러짐 저항을 향상시키기 위해서는 어느 정도의 표면 거칠기가 필요하다는 것을 보여주었다. 또한 Harris와 Shaw⁶⁾는 피시험자를 이용하여 10가지 오염된 바닥에 대하여 평가를 하여 표면 거칠기와 미끄러짐 저항사이의 유의할 만한 상관관계가 있음을 확인하였다. 대부분의 연구에서 미끄러짐 저항과 표면 거칠기 사이의 관계를 규명하기 위해 두 가지 표면 거칠기 파라미터를 사용하

[†] To whom correspondence should be addressed.
mechheat@kosha.net

였고 이러한 파라미터는 제한적이지만 측정된 마찰력과 우수한 상관관계를 나타내었다⁷⁾. 또한 대부분의 연구들은 적절한 표면 거칠기를 찾기 위해 다양한 물질을 사용하였고 이로 인하여 나타난 결과들은 단순히 표면 거칠기의 영향만을 나타내지 못하고 바닥표면 물질의 특성과 거칠기 특성이 중첩되어 나타나 표면 거칠기에 의한 영향만을 충분히 해석할 수 없는 단점이 있었다.

다양한 미끄러짐 저항 측정 장치가 개발되고 사용됨에 따라 각 장치별로 표준 신발걸창재질이 상이하게 나타나고 있어 다양한 장치 사이의 실험결과를 직접적으로 비교하는 것이 거의 불가능한 상태이다. 또한 일반적으로 신발걸창 재질의 경도가 낮을수록 미끄러짐 저항이 우수한 것으로 나타나고 있지만⁸⁾ 압축막 효과에 더 큰 영향을 받는 경향이 있어 젖은 바닥의 미끄러짐 저항 측정을 위한 표준 신발걸창 재질로 부적합할 것으로 예상되며 다수의 미끄러짐 저항 측정 장치는 다소 경도가 높은 물질을 사용하고 있다.

미끄러짐 저항 측정 장치를 작동원리에 따라 크게 나누면 일반적으로 4가지 형태로 대별할 수 있다¹⁾. 이러한 장치들 중 인간의 보행특성을 가장 잘 모사한 것으로 평가되는 분절막대형(Articulated strut) 장치 중 중력에 영향을 받지 않고 동작할 수 있는 English XL(ASTM F-1677-96, ASTM F-1679-96)을 본 연구에서 사용하였다. 이 장치의 작동원리는 수직으로부터 일정한 경사를 가지고 미끄럼판과 바닥 표면이 접촉할 때 수직력과 수평력이 동시에 가해지도록 한 것이다.

따라서 본 연구는 English XL를 이용하여 다양한 표면 거칠기에 따른 미끄러짐 저항과 표면 거칠기에 기초한 미끄러짐 가능성의 분류방법을 검토하고자 한다. 또한 다양한 미끄럼판 재질에 따른 영향을 검토하여 적절한 미끄럼판 재질의 특성을 찾고 상호 비교를 통하여 안전화 재질이 가져야할 특성을 찾고자 한다.

2. 실험방법

2.1. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 각각의 실험 장치를 보여주는 그림이다. Fig. 1(a)는 본 연구에 사용된 거칠기 측정 장치(Surtronic Duo)를 보여주는 그림이다. 거칠기 측정 장치는 제조사에서 설정한 측정변수로 이동거리 5mm, 차단(cut-off) 거리 0.8mm, 2CR



(a) Roughness checker (b) English XL
Fig. 1. The devices used in experimental measurements.

필터 및 반경 5 μ m의 다이아몬드바늘로 구성되어 있다. 많은 거칠기 매개변수가 존재하지만 R_a 값이 일반적인 물질에 대하여 미끄러짐 정도를 가장 잘 예측하고 있어 본 연구에서도 이를 비교 검토하였다²⁾. Fig. 1(b)는 인공관절형 미끄럼 측정 장치인 English XL을 보여주는 그림이다.

2.2. 실험재료

거칠기에 따른 영향을 정확하게 평가하기 위해서는 동일한 경도를 가진 바닥재질을 선택하여 표면 거칠기에 따른 영향을 평가할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 최대한 바닥재질의 경도를 일정하게 하고 거칠기만 변경시키기 위해 매끈한 유리 표면에 연마지나 연삭용 사포를 부착하여 사용하였고 스테인리스강을 연마하여 사용하였다.

Table 1은 각 시험편에 동일간격으로 20개소 측정지점을 정하고 한 개소에서 3회 반복 측정하여, 한 개의 시험편에서 총 60회 측정된 거칠기 값을 평균과 표준편차로 나타낸 표이다. 본 연구에 사용한 거칠기 파라미터는 산술평균 거칠기(R_a)와 10점 평균 거칠기(R_z)이다.

표면 거칠기는 매끈한 유리면, 연마된 스테인리스 표면, 3M pink paper, #2000번 사포, #1200번 사포 순으로 나타나고 있다.

또한 일반적으로 미끄럼판의 고무경도가 증가함에 따라 미끄러짐 지수(slip index)는 감소하지만 신발걸창에 사용되는 물질과 바닥재질이 상호작용을 하기 때문에 이러한 결론은 정확한 표현이 될

Table 1. Surface roughness of tested sample floors[unit : μ m]

Para meter	Floating glass		Steel plate		3M pink paper		Abrasive paper #2000		Abrasive paper #1200	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
Mean	0.01	0.00	0.11	1.23	1.97	11.5	3.21	18.58	3.94	22.62
S.D.	0.00	0.00	0.06	0.61	0.10	0.53	0.37	1.99	0.38	2.17
Max.	0.01	0.00	0.30	2.60	2.17	13.0	3.98	22.8	4.62	30.2
Min.	0.00	0.00	0.04	1.79	1.79	10.5	2.4	14.3	3.25	19.2

수 없다. 또한 표준 신발걸창물질인 네오라이트 (Neolite™, 미국표준: IRHD; 92±1)와 4S고무(영국 표준: IRHD; 96±2)가 작업장의 근로자가 신고 있는 신발걸창물질을 대변할 수 없기 때문에 이에 대한 영향을 평가할 필요가 있다. 따라서 신발걸창물질에 따른 영향을 정확하게 평가하기 위해서는 English XL를 이용하여 가장 일반적인 바닥재질에 대하여 신발걸창물질에 따른 영향을 평가할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 미끄럼판 재질로는 표준 신발걸창물질 2종류와 안전화 걸창으로 일반적으로 사용되는 니트릴고무(NBR: IRHD; 73±2) 및 릿지화(암벽등반용 신발; IRHD; 72±2)재질인 부틸고무(IIR)를 사용하였다. 또한 바닥재질로는 세라믹, SUS316, 에폭시 도장 바닥 표본을 사용하여 건조한 경우와 젖은 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 3가지 미끄럼판 재질은 표면 거칠기를 일정하게 하기 위하여 220번 사포로 연마를 하였으며 시험에 사용된 모든 바닥은 1,200번 사포로 연마하여 동일한 조건을 유지하였다. 여기서 미끄러짐 지수란 English XL의 고유측정 결과로서 정지마찰계수와 동일한 값으로 사용된다.

Fig. 2는 표면 거칠기에 따른 영향을 평가하기 위하여 사용한 시험표면을 보여주는 사진이다. 사진

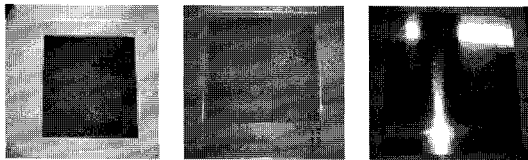


Fig. 2. Photograph of tested surfaces in the experiment of roughness effects.

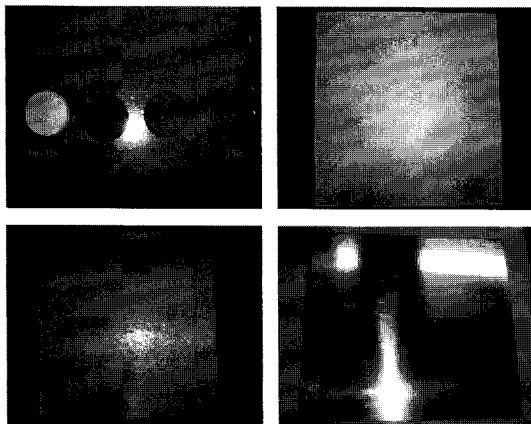


Fig. 3. Photograph of slider and surfaces in the experiment of slider material effects.

에서처럼 연마지를 매끄러운 표면에 부착하여 실험을 수행하였다.

Fig. 3은 미끄럼판 재질에 따른 영향을 평가하기 위한 실험에 사용된 미끄럼판과 시험된 바닥을 보여주는 그림이다.

3. 실험결과

Fig. 4는 건조한 조건과 젖은 조건에서 표면 거칠기에 따른 English XL의 미끄러짐 지수 값을 측정한 결과를 나타낸 그림이다.

전체적으로 건조한 조건일 때는 표면 거칠기와 마찰계수 사이에는 연관성도 나타나지 않았다. 일반적으로 건조한 조건일 때는 거칠기에 따른 영향이 거의 없다고 생각할 수 있다. 따라서 건조한 표면은 어떠한 미끄러짐 위험성을 유발하지 않는다고 판단할 수 있으며 위험성 평가 시 건조한 조건은 모두 안전한 영역으로 판정할 것이다.

젖은 조건에서, 미끄러짐 지수는 11.5µm까지 거의 변화가 없다가 11.5µm 이상에서 급격히 증가하고 있으며 하중판을 이용한 인체역학적 측정결과¹⁰⁾와 English XL의 판정기준(SI≥0.5)을 고려하면 0~17µm까지는 거칠기가 있더라도 미끄러짐 지수값에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단할 수 있다. 18~20µm까지는 중간정도의 영향을 주고 있으며 거칠기가 22.60µm 초과 일 때는 안전한 영역으로 판단할 수 있다. 이와 같은 결과는 위험성 평가 시 거칠기를 측정인자로 사용하여 판단하는 기준으로 사용할 수 있다.

이와 같은 판정기준은 HSL(Health and Safety Laboratory)에서 측정한 결과보다 다소 높게 나타난 것으로 이는 HSL에서 BPT(British Pendulum tester)를 사용한 측정 결과를 이용하였고 본 연구는 English XL이용하여 나타난 결과로 판단되나 이에 대하여는 좀 더 자세한 연구가 필요하다.

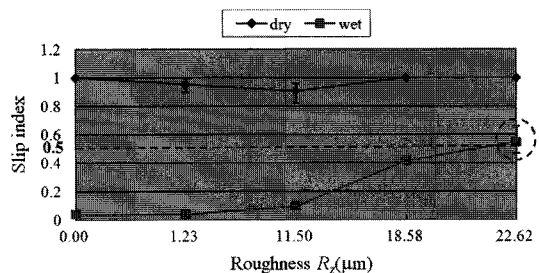


Fig. 4. Slip index versus various roughness of floor surfaces.

Fig. 5는 미끄럼판 재질에 따른 영향을 조사하기 위하여 미끄럼판 재질을 네오라이트, 4S고무, 니트릴고무 및 부틸고무를 사용하여 English XL로 건조한 경우와 젖은 경우에 대하여 미끄러짐 지수(Slip index)를 측정하여 결과를 보여주는 그림이다.

전체적으로 건조한 경우가 젖은 경우에 비해 미끄러짐 지수가 높게 나타나고 있으며 건조한 경우와 젖은 경우 사이의 차는 신발 걸창재질과 관계없이 세라믹 바닥재일 때 가장 작게 나타났다.

표준 신발 걸창 물질인 네오라이트와 4S 고무는 건조한 경우 재질에 따른 차이는 거의 나타나지 않고 있으나 젖은 경우 바닥 재질에 따라 비교적 차이가 크게 발생하고 있다. 즉, 젖은 경우 표준 신발 걸창 물질로 측정하여 미끄러짐 지수는 세라믹이 가장 높았으며 에폭시, 스테인리스 강판 순으로 나타났다.

그러나 안전화 걸창물질인 니트릴고무와 릿지화 걸창물질인 부틸고무는 건조한 경우 스테인레스 스틸판이 가장 높게 나타났으며 니트릴고무는 세라믹, 에폭시 순이고 부틸고무는 에폭시, 세라믹 순으로 나타났다.

신발걸창물질에 관계없이 건조한 경우와 젖은 경우의 차는 세라믹일 때 가장 작게 나타나고 있으며 스테인레스 스틸일 경우 가장 크게 나타나고 있다. 만일 작업장 내에 건조한 구역과 젖은 구역이 동시에 존재하게 된다면 미끄러짐 지수가 가장 급격하게 변하는 스테인레스 스틸이 가장 위험한 바닥이 될 수 있음을 의미한다. 이는 기존의 연구 결과에서 급작스러운 작업장 바닥의 미끄러짐 저항 값 변화는 미끄러짐 저항 값 자체보다 더욱 위험하다는 결과에서 유추해볼 수 있다.

또한 신발걸창물질에 따라 건조한 경우와 젖은 경우의 미끄러짐 지수 차는 세라믹 바닥일 때 니트릴고무가 가장 적게 나타났지만 스테인레스 스틸이나 에폭시 바닥에서는 니트릴고무가 가장 크게

나타났다. 이는 안전화 걸창물질인 니트릴고무의 경우 세라믹 바닥에서 사용할 경우 미끄러짐에 대해 가장 안전한 신발걸창물질이라고 사료되지만 스테인레스 스틸이나 에폭시 바닥에 대해서는 가장 불안정한 물질로 고려될 수 있음을 의미한다.

따라서 세라믹 바닥 재질이 가장 많이 사용되는 음식료품 제조업이나 건물관리업과 같은 업종에서는 니트릴고무 걸창 재질 신발을 사용하는 것이 권장될 수 있지만 철골구조물 건설현장이나 에폭시 바닥이 있는 일반 작업장에서는 니트릴고무 재질의 안전화가 오히려 위험을 증가시키는 요인이 될 수 있다. 그러므로 가장 일반적인 작업장 바닥재질인 에폭시 도장 바닥에서 미끄러짐을 예방하기 위해서는 안전화 바닥의 재질에 대해 좀더 고려해 보아야 한다고 생각된다.

물론 현재 연구에서 신발 바닥의 모양(tread)에 대한 고려는 제외되어 있어 이에 대한 영향은 평가되지 않았다. 그러나 일반적으로 신발 뒷굽이 바닥에 닿을 때 미끄러짐이 가장 많이 발생하고 대부분 뒷굽의 바닥모양이 큰 요철이 없기 때문에 본 연구에서와 같이 바닥 모양을 크게 고려하지 않더라도 실제적인 결과에 큰 영향이 없을 것으로 생각된다.

현재까지 신발 바닥의 모양이 미끄러짐에 미치는 일반적인 인자가 정확하게 알려져 있지는 않지만 HSL 등의 연구 결과를 검토한 결과 신발바닥의 모양은 최대한 면적을 크게 하고 작업장 바닥과 신발 바닥 사이에 액체가 있을 경우 외부로 잘 배출될 수 있는 구조로 만들어야 안전화의 미끄러짐 저항 값이 크게 증가한다. 이는 신발바닥과 작업장 바닥 사이의 미시적 접촉 면적이 실제로 가장 크게 될 수 있는 구조여야 한다는 사실과 일치하고 있다. 따라서 거시적인 접촉 면적보다 미시적인 접촉 면적이 증가될 수 있는 구조로 신발 걸창모양을 만드는 것이 미끄러짐 위험성을 감소시킬 것으로 사료된다.

4. 결론

English XL을 측정 장치로 하여 다양한 거칠기의 바닥과 다양한 미끄럼판을 이용하여 미끄러짐 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 건조한 바닥의 경우 거칠기에 따른 영향은 거의 나타나지 않았지만 젖은 바닥의 경우 바닥의 거칠기가 증가할수록 미끄러짐 위험성이 감소하고 거칠기가 20 μ m를 초과하는 경우 미끄러짐 위험성

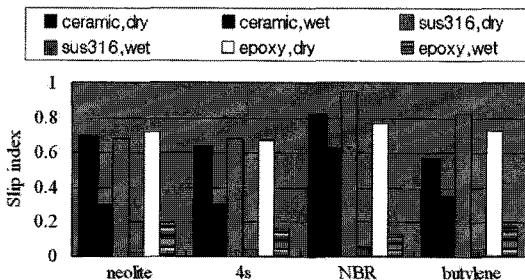


Fig. 5. Slip index versus various slider materials.

은 거의 없어졌다.

2) 안전화 걸창물질인 니트릴고무의 경우 세라믹 바닥에서 사용할 경우 미끄러짐에 대해 가장 안전한 신발걸창물질이지만 스테인레스 스틸이나 에폭시 바닥에 대해서는 가장 불안정한 물질로 판단된다.

참고문헌

- 1) R. Gronqvist, M. Hirvonen, and A. Toiv, "Evaluation of three portable floor slipperiness testers", *Int. J. Industrial Ergonomics*, Vol. 25, pp. 85~95, 1999.
- 2) Personal protective equipment-Footwear-Test method for slip resistance, BS EN 13287:2004
- 3) M. Marpet, "Improved characterization of tribometric test results", *Safety Science*, Vol. 40, pp. 705~714, 2002.
- 4) A. Fendley, M. I. Marpet, H. Medoff, and D. Schutter, "Repeatability and reproducibility in walkway-safety tribometry: abrasive-grit size in test-foot preparation", *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 27, pp. 76~82, 1999.
- 5) T. D. Proctor, and V. Coleman, "Slipping, tripping and falling accidents in great britain- present and future", *J. Occupational Accidents*, Vol. 9, pp. 269~285, 1988.
- 6) G. W. Harris, and S. R. Shaw, "Slip resistance of floors: user's opinions, tortus instrument readings and roughness measurement", *J. Occupational Accidents*, Vol. 9, pp. 287~298, 1988.
- 7) W. R. Chang, "The effect of surface roughness and contaminant on the dynamic friction of porcelain tile", *Applied Ergonomics*, Vol. 32, pp. 173~184, 2001.
- 8) D. P. Manning, and C. Jones, "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*, Vol. 32, pp. 185~196, 2001.
- 9) The assessment of pedestrian slip risk, The HSE approach, 2002.
- 10) R. Gronqvist, et. al., "Slip resistance versus surface roughness of deck and other underfoot surfaces in ships", *Int. J. Occupational Accidents*, Amsterdam, Vol. 13, pp. 291~302, 1990.