

인간의 인지적 감각을 이용한 휴대용 미끄럼 측정기의 성능평가

최형진* · 김정수**

*단국대학교 링크사업단 · **(주)한국젬스, 산업안전보건연구원

Evaluation of Portable Slipmeter using Human Perception

Hyung Jin Choi* · Jung Soo Kim**

*Applied Science and new Technology for LINK, Dankook University

**Dept. of Safety Engineering, OSHRI; Annex Research Institute, GemsKorea

Abstract

The objectives of this study were to evaluate the safe criteria of portable slipmeter using human perception onto the several different floor surfaces under contaminated conditions. It was difficult to find why many different slipmeters took there's own safe criteria. It is still unclear how thres hold values established in many literatures. Two different subjective slippery evaluating methods, AHP(Analytic Hierarchy Process) and Friedman test, were used to evaluate the perception of slipperiness of seven different floor surfaces under the contaminated condition with detergent solution. Twelve subjects worn same footwear and walked with self-selected step and cadence along the test floors. The SCOF(Static Coefficient of Friction) obtained for same test conditions with BOT-3000 was compared to perception of slipperiness to establish as a safe criteria. The very high significant correlation($r=0.97$) was found between AHP and Friedman test. Also, The high significant correlation($r=0.96$) was found between AHP and SCOF obtained with BOT-3000. The results suggested that the SCOF should be greater than 0.63 for safer walking. Perception rating obtained with AHP showed a high correlation with Friedman test and the SCOF obtained with BOT-3000 except for polished tile floor. The safe criteria obtained through this study were similar to ANSI/NFSIB101.1.

Keywords : Human Perception, SCOF, Slipperiness, ANSI/NFSI B101.1

1. 서론

국내에서 낙상사고 중 가장 많은 비중을 점유하고 있는 것은 미끄러짐 재해로 나타나고 있다 [1]. 이러한 미끄러짐 재해의 위험성을 평가하기 위해서는 표준 측정장치 및 판정 기준이 있어야 한다. 그러나 현재 국내 KS기준에 나타난 측정 장치나 판정기준은 ISO 부합화에 따른 다양한 국가별 측정 장치와 판정기준으로 인해 많은 혼동과 판정기준의 잘

못된 해석이 발생하고 있는 실정이다[2]. 이러한 문제의 원인은 동일한 실험조건에서 상이한 측정 장치로 측정된 결과가 일치하지 않기 때문이다[3-5]. 또한 미끄러짐 위험성을 판정하는 기준이 통일되지 않고 있으며 특히 유럽과 미국 사이에 미끄러짐 위험성 판정 기준에 있어서 서로 다른 견해를 갖고 있어 표준화가 더딘 분야이며 지속적인 논란과 표준에 대한 개정이 지속적으로 이루어지는 분야이다.

† 본 연구는 산업안전보건연구원(2012-연구원-771) 지원으로 수행되었음.

† Corresponding Author : Jung Soo Kim, 318, 119 Dandea-ro, Dongnam-gu, Cheonan-s, Korea.
H·P: 010-9245-5635, E-mail: jskim@gemkorea.com

Received June 19, 2014; Revision Received September 20, 2014; Accepted September 20, 2014.

미국의 경우 2007년 12월에 Mark II나 English XL 등이 ASTM 표준에서 폐기되고 2009년 12월에 BOT-3000 (ANSI/NFSI B101.1[6])이 표준으로 채택되었다. 또한 영국의 경우 SATRA(STM 604)가 일반적으로 신발의 미끄러짐 저항 측정기로 사용되고 있으나 HSL (Health and Safety Laboratory)에서는 이 장치의 신뢰성에 의문을 제기하고 지금은 오히려 독일의 Ramp test를 도입하여 자국의 표준 시험법을 만들고 있고 유럽표준에 초안을 제출한 상태이다.

이상과 같이 국제적으로 논란이 되고 있지만 많은 국가에서 자체 안전기준을 만들고 측정 장치를 개발하여 사용하고 있는 중이다. 또한 미끄러짐 재해에 대한 지속적인 관심을 갖고 있다. 국내에서도 정부기관에서 낙상사고를 예방하기 위해 2007년도부터 미끄러짐 저항에 관한 연구를 수행하고 있지만 인간공학적인 평가가 미흡하여 미끄러짐 위험성을 판정할 수 있는 적절한 기준을 마련하지 못하고 있는 실정이다. 또한 미끄러짐에 대한 측정방법과 미끄러움을 정량적으로 규정하고 있지 않아 산업안전보건에 관한 규칙 제3조에 의거하여 규정하고 있는 작업장의 미끄러움 위험성을 예방하도록 강제할 수 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 미끄러짐 위험성 판정 기준을 개발하기 위하여 사람의 인지적 판단 기준을 이용하였다. 또한 기존의 측정기(BOT-3000)와 ANSI/NFSI B101.1기준을 비교 검토하였으며 이를 통해 미끄러짐 위험성 측정 장치 개발 시에 미끄러짐 위험성 판정기준을 동시에 개발할 수 있는 자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구범위 및 방법

2.1 시험 및 통계적 방법

독립변수로는 바닥재(7가지)를 선택하였으며 종속변수는 평가지표 및 마찰계수로 하였다. 평가의 편향을 막기 위해 각 실험 시 바닥재는 피시험자들 각각에 대해 무작위적(randomize)으로 선택되었다. 마찰계수 측정은 ANSI/NFSI B101.1에 적합한 BOT-3000을 사용하여 피시험자 실험조건과 동일하게 실험하였다.

정지마찰계수의 측정은 BOT-3000으로 동일한 바닥재에 대해 12회 측정 후 처음 2회를 버리고 나머지 10회에서 최대 및 최소 값을 제한 후 평균값을 취하였다. 조작자의 개인편차를 감소시키기 위해 조작자 3명이 상기와 동일하게 측정하여 다시 평균을 취하였다.

통계적 처리를 위하여 AHP기법은 공개프로그램을 이용하였고 Friedman test는 통계프로그램(SPSS,

18.0.0)을 이용하였다.

인지적 미끄러짐 위험성을 상대평가 및 절대평가 방법으로 수행하였다. 상대평가 방법은 AHP [7]를 이용하였고 절대평가는 Friedman test [8]를 이용하였다. AHP는 일반적으로 전문가의 의사결정에 사용되는 가중치를 산정하기 위해 사용하는 행렬 값을 얻는 과정이다. 이러한 방법을 미끄러움의 위험성 판단기준을 얻기 위한 방법에 적용한 것은 모든 사람들이 미끄러움에 대해서 느끼는 정도는 전문가 수준이라는 가정이 내포되어있다[9]. 반면 Friedman test는 AHP에 비해 수치적인 값의 의미보다 상대값의 순위(rank)가 더 중요한 의미를 갖는 방법이다.

2.2 시험된 바닥재

실험에 사용된 바닥재는 스테인레스 스틸판(1.6-2.5 μm)과 6가지 형태의 세라믹 타일을 사용하였다.

선정된 타일들은 <Table 1>과 같이 일반적인 장소에서 흔히 발견될 수 있는 형태로 매끈한 바닥(1.7 μm)에서부터 매우 거친 형태의 바닥(78.5 μm)까지로 구성되었다.

인위적이지 않은 표면의 거칠기는 넓은 산포도를 갖는 것이 일반적이다. 그러므로 현재 사용된 타일들은 인위적으로 거칠기가 형성된 형태가 아니므로 일반적인 현장에서 흔히 접할 수 있는 타일로 취급하여도 무방할 것으로 생각된다. 거칠기는 tile A가 가장 낮지만 tile B는 산포도가 가장 낮게 나타나고 있다. 또한 tile E는 평균 거칠기가 78.5 μm 임에도 불구하고 산포도가 가장 넓은 것으로 나타나고 있다(S.D.: 16.17).

2.3 피시험자

실험에 참여한 피시험자는 20대에서 50대사이의 건강한 남자 12명으로 나이는 36.3 \pm 8.54세, 체중은 72.7 \pm 5.29kg, 신장은 171.5 \pm 3.81cm이다.

본 실험은 제1차 연구윤리.진실성 심의위원회 생명윤리분과회의(2010년 산업안전보건연구원)를 거쳐 승인되었다.

2.4 보행시험 및 평가척도

피시험자들은 동일한 신발을 신고 세제수용액으로 오염된 바닥재 위를 Gao와 Abeysekera[8]에 의해 사용된 보행순서로 대로 걸었다. 피시험자들은 본인이 선택한 보행속도와 보폭으로 최대한 자연스럽게 걷도록 교육되었다. 피시험자는 안전대를 착용하지 않고 보행하

였으므로 실제로 미끄러지지 않도록 교육되었다.

피시험자를 통한 상대평가는 2가지 바닥재에 대한 실험이 끝날 때마다 설문조사를 하였고, 절대평가는 전체 바닥재에 대한 실험이 끝나는 동시에 설문조사를 수행하였다. Saaty[9]에 의해 가정되었던 것처럼 미끄러움에 대한 사람의 판정 능력이 전문가 수준이라는 가정 하에 설문지는 7점 척도법으로 구성 되었다.

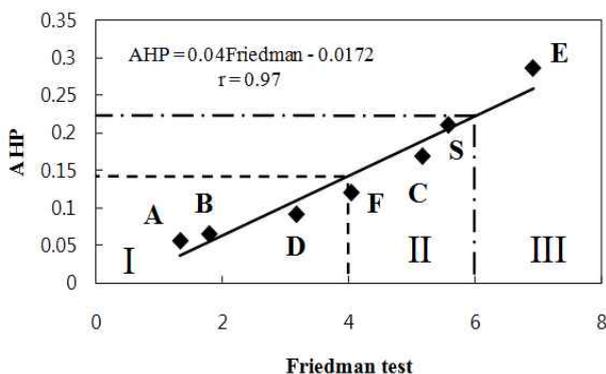
3. 연구결과

피시험자를 이용한 상대평가(AHP)의 신뢰성은 CI (Consistency Index)를 이용하여 평가되었으며 통상 0.1미만이면 신뢰성이 있는 것으로 간주된다. 실험에 참가한 피시험자의 CI 값은 최소 0.0335에서 최대 0.0830으로 앞의 조건을 모두 만족하였다. 절대평가(Friedman test)의 평가설로 “타일의 형태는 미끄러움을 느끼는 인지적 평가에 영향이 없다”로 설정하였으며 통계적 유의수준은 0.01로 설정하였다.

3.1 AHP와 Friedman 결과의 비교

AHP 및 Friedman을 통해 얻어진 각 바닥재에 대한 미끄러움의 인지적 판정기준은 각 개인별로 조금씩 차이가 나지만 전체적으로 미끄러움에 대한 순서는 거의 변화가 없었으며 쌍대비교(AHP)와 절대비교(Friedman) 사이에도 순서에 있어서 차이가 발생하지 않았다.

<Table 1>은 12명의 피시험자가 평가한 바닥재별 미끄러움에 대한 인지적 평가 결과와 표면 거칠기를 나타낸 것이다. AHP 결과는 타일 E가 0.287로 가장 높게 나타났고 타일 A가 0.056으로 가장 낮게 나타났다.



[Figure 1] Comparison of AHP .vs. Friedman

이는 타일 E의 표면 거칠기(Rz)가 78.5 μ m로 가장 높게 나타나고 타일 A의 표면 거칠기가 1.7 μ m로 가장 낮게 나타난 결과와 무관하지 않은 것으로 생각된다. 그

러나 단순히 표면 거칠기에 따른 영향으로 평가하기에는 일치하지 않는 경우(Tile S : 스테인레스 스틸판)도 존재하므로 재질에 따른 영향도 고려할 필요가 있다. 미끄러움에 대한 인지적 평가를 Friedman test를 통하여 얻은 결과도 AHP의 결과와 동일하게 타일 E가 6.92로 가장 높게 나타나고 타일 A가 1.33으로 가장 낮게 나타났다. 여기서 높은 점수일수록 평가된 바닥재가 인지적으로 안전함을 나타낸다. 평가결과 바닥재에 따른 인지적 미끄러움이 통계적으로 유의한 차이를 나타낼 수 있다 ($\chi^2_r = 67.239$, N=12, df=6, P=0.000<0.01).

AHP 결과와 Friedman test 사이의 Pearson 상관계수는 0.97로 매우 높은 상관관계를 보여주고 있다(Figure 1).

<Table 1> The results of AHP and surface roughness for sample floors

Floor name	Perception		Roughness (μ m) ¹⁾
	AHP(S.D.)	Ranking	R _z (S.D.)
Tile E	0.287(0.012)	6.92	78.5(16.17)
Tile S ²⁾	0.211(0.017)	5.58	2.30(0.02)
Tile C	0.169(0.012)	5.17	28.9(12.89)
Tile F	0.120(0.012)	4.04	20.7(6.58)
Tile D	0.092(0.012)	3.17	21.3(9.23)
Tile B	0.065(0.009)	1.79	5.30(0.74)
Tile A	0.056(0.008)	1.06	1.70(1.06)

- 1) 동일한 5개 타일 샘플의 9개소 측정(총 45회 측정)
- 2) 스테인레스 스틸은 60번 사포로 매 실험 후 표면을 재처리하여 항상 일정범위를 유지하도록 함(KS M ISO 13287에 명시된 표준시험 바닥재 조건임)

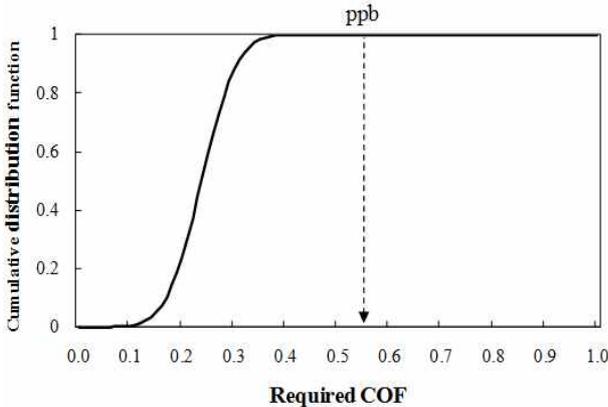
일반적으로 쌍대비교(AHP)는 바닥재의 인지적 안전함을 매우 잘 구분하게 하지만[9] 결과 값이 가지는 의미가 크게 없으므로 미끄러짐 위험성 평가 지표 개발에 어려움이 많다. 반면 Friedman test는 절대평가에 해당하므로 인지적 판정기준을 범주화시키기에 편리한 특성이 있다. 따라서 설문지에서 “매우 미끄럽다”, “미끄럽다”, “조금 미끄럽다”를 위험한 상태(I)로, “모르겠다”와 “조금 안 미끄럽다”를 주의 상태(II)로, “안 미끄럽다”와 “매우 안 미끄럽다”를 안전한 상태(III)로 매우 보수적으로 구분하였다. 이러한 기준으로 실험된 바닥재를 나누면 안전한 상태로 구분되는 바닥재는 1가지, 주의 상태로 구분되는 바닥재는 3가지, 위험한 상태로 구분되는 바닥재는 3가지로 나타났다.

3.2 인지적 평가와 측정결과의 비교

[Figure 2]는 Burnfield et. al.[10]의 연구결과를 요구 마찰계수에 따른 누적확률분포함수로 나타낸 그림이다.

그림에 나타난 ppb(part per billion)은 10억 걸음당 1회 미끄러질 확률로 1일 만보를 걷는 사람기준으로 약 273년에 한번 미끄러질 위험성을 나타내는 것이다. 요구마찰계수란 사람이 미끄러지지 않고 정상적으로 보행하기 위해 바닥과 신발 사이에 요구되는 최소 마찰력을 의미한다. 기존의 연구 결과에서는 요구마찰계수가 약 0.56으로 나타나고 있다.

[Figure 3]은 AHP와 BOT-3000으로 측정한 정지마찰계수 사이의 상관관계를 나타낸 그림이다. Tile A를 제외한 나머지의 AHP 결과와 SCOF값 사이에 높은 통계적 상관성을 나타내고 있다($r=0.96$). 그러나 연마된 바닥재(Tile A)에서 상당한 오차가 발생하고 있다. 이는 BOT-3000과 같은 끌기형 마찰측정기의 공통된 문제로 접촉시간이 증가할수록 더욱 이러한 오차가 증가할 것이다. 즉, 끌기형 마찰측정기는 바닥에 오염물질이 있을 경우 접촉시간이 증가할수록 압축막효과(squeeze film effect)가 증가하기 때문이다. 따라서 이러한 형태의 측정기로 연마된 바닥재를 측정할 경우 오차가 상대적으로 증가하기 때문에 이러한 측정기는 연마된 바닥재에 적합하지 않음을 알 수 있다.

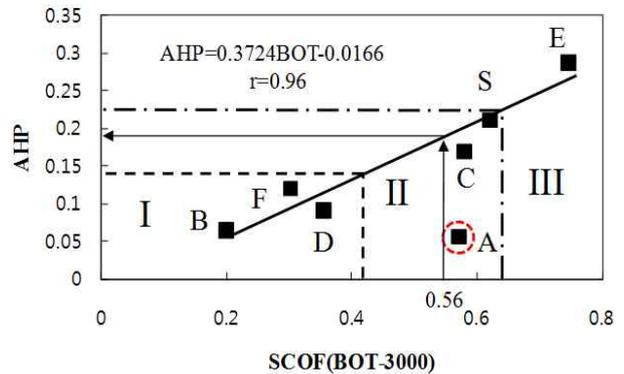


[Figure 2] cdf of Required COF

따라서 연마된 바닥재에 대한 미끄러짐 위험성을 평가하기 위해서는 추가적인 바닥재의 실험이 필요한 것으로 판단된다. 다만 현시점에서 이러한 장비를 이용하여 바닥의 미끄러움을 측정하기 위해서는 연마된 바닥재에 대한 판정기준을 유보하여야 한다.

앞서 Friedman test에서 범주화한 미끄러짐 위험성 기준을 이 장비에 적용할 경우 약 0.63 이상일 때 안전

한 상태로 평가가 되며, 0.42에서 0.62까지는 주의 상태, 0.41이하의 위험한 상태로 분류될 수 있다. 이러한 판정기준은 ANSI/NFSI B101.1에서 정한 위험성 판정 기준(0.6이상 안전)과 매우 유사한 결과를 나타내고 있다. 또한 앞서 Burnfield et. al.[10]에 의해 연구된 자료를 분석한 결과 10억 걸음당 1회 미끄러질 확률을 가진 요구마찰계수가 0.56으로 나타난 것을 고려한다면 0.6을 기준으로 하는 것이 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. 만일 BOT-3000이 아닌 다른 측정장치를 사용한다면 또 다른 판정기준이 나타날 수 있다. 그러나 인지적 판정기준을 이용하여 앞선 수행한 평가 방법을 이용하면 평가에 사용한 측정 장치에 적합한 판정기준이 만들어 질 수 있다.



[Figure 3] Comparison of AHP and SCOF

따라서 인간의 인지적 미끄러짐 위험성 판정 방법을 이용하면 다양한 측정 장치의 신뢰성 및 판정기준을 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론 및 고찰

본 논문은 다양한 바닥재에 대한 사람의 인지적 미끄러움 평가가 실제로 측정 장비의 위험성 판정기준 개발에 활용될 수 있는지 및 사용한계가 무엇인지를 확인하기 위하여 수행되었다. 인지적 판정기준을 마련하기 위해 AHP기법과 Friedman test를 활용하였고 측정 장치로는 끌기형 정지마찰계수 측정기인 BOT-3000이 사용되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫 번째, AHP기법과 Friedman test 사이에 매우 높은 상관관계를 나타내고 있어 상호 보완적으로 사용할 수 있었다.

둘째, 세라믹 타일만을 고려한다면 인지적 미끄러움 판정기준과 타일의 표면거칠기는 상당한 상관관계를 갖는다($r=0.98, p=0.035<0.05$). 따라서 타일 바닥재의 경우 표면 거칠기 측정만으로도 어느 정도 인지적 미끄

러움 판정 결과를 예측할 수 있다.

셋째, 연마된 타일을 제외하고 AHP의 결과와 BOT-3000으로 측정된 SCOF 사이에 높은 상관관계($r=0.96$)가 나타났다. 따라서 현실점에서 이러한 장비를 이용하여 바닥의 미끄러움을 측정하기 위해서는 연마된 바닥재에 대한 판정기준을 유보하여야 한다.

따라서 측정장치의 개발 및 평가 시에 사람을 이용한 인지적 평가 방법을 활용하여 평가기준을 만들 수 있음을 확인하였다. 다만, 실험에 참여한 피시험자의 수가 12명이고 남성만 참여함으로 인하여 전체 인구를 대변할 수 없기 때문에 연구결과를 일반화하기에는 제한점이 있다. 이러한 문제는 추가적인 연구를 통하여 증명할 예정이다.

5. References

- [1] Kim, J.S., et. al(2007). The study for slip and trip assessment tool development. OSHRI report 2007-119-1048, KOSHA.
- [2] Kim, J.S., et.al(2010). Development of slip resistance criteria and device for safety shoes. OSHRI report 2010-157-1065, KOSHA.
- [3] Gronqvist, R., Hirvonen, M., Tohv A(1999). Evaluation of three portable floor slipperiness testers. Int. J Industrial Ergonomics. 25. pp. 85-95.
- [4] Chang W.R., Cotnam J.P., Matz S(2003). Field evaluation of two commonly used slipmeters. Applied Ergonomics. 34. pp. 51- 60.
- [5] Ricotti R., Deucchi M, Cerisola G(2009). A comparison of results from portable and laboratory floor slipperiness testers. Int. J Industrial Ergonomics. 39. pp. 353-357.
- [6] ANSI(2009). Test Method for Measuring Wet SCOF of Common Hard Surface Floor Materials. A ANSI/NFSI B101.1.
- [7] Dura J., Alcantara E., Zamora T., Balaguer E., Rosa D(2005). Identification of floor safety level for public buildings considering mobility disabled people needs. Safety Science. 43. pp. 407-423.
- [8] Gao C., Abeysekera J(2002). The assessment of the integration of slip resistance, thermal insulation and wearability of footwear on icy surfaces. Safety Science. 40. pp. 613-624.
- [9] Saaty T.L(2008). Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences.

1(1). pp. 83-98.

- [10] Burnfield J.M., Power C.M(2002). Influence of age and gender on utilized coefficient of friction during walking at different speeds. In Marpet M.I. and Sapienza M.A. (Eds), Metrology of Pedestrian Locomotion and Slip Resistance (ASTM Stock Number : STP 1424), ASTM International, West Conshohocken. pp. 3-16.

저 자 소 개

최 형 진

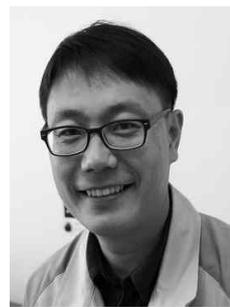


중앙대학교 경제학과에서 경제학사, 전북대학교 행정대학교 행정학석사를 취득하였다. 미국 카네기 멜론대학 최고경영자과정, 하이네켄 마케팅 전략연구소 연구과정을 수료하였다. 현재 단국대학교 경영전략연구소장 및 경영학과 교수로 재직하고 있다.

관심분야는 마케팅전략, 소비자 행동 및 안전정책연구 등이다.

주소 : 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 산학협력단 411호 경영전략연구소

김 정 수



경북대학교 기계공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사학위를 취득하였다. 산업안전보건연구원에서 연구를 수행하였으며 미국 NIOSH에서 교환연구원으로 근무하였다. 현재 (주)한국젬스에서 연구소장으로 재직하고 있다. 관심분야는 인간공학, 낙상사고

예방, 환자안전 등이다.

주소 : 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 산학협력단 318호 (주)한국젬스 부설연구소