

철도역사내 보행위험 방지를 위한 보행로 재료에 관한 고찰

The Review on reducing slip and other hazards on flooring materials for station

김진호* 김민희**
Kim, Jin-Ho Kim, Min-Hee

ABSTRACT

Walking passenger injury accidents in and around stations have increased in recent years, and passengers are now more aware of being able to claim compensation for such accidents. Therefore, it is anticipated that station managers and owners will need to take measures to improve the condition of walking areas so that performance objectives are met and the compensation paid for passenger accidents is limited. The aim of this study covers the following: accidents statistics and contributory factors, station flooring and footway material, guidance for flooring, and test methods for slipperiness and surface profile.

1. 서론

도시화 및 교통량이 증가하면서 철도를 이용하는 승객의 수가 증가하고 있는 반면 사고 횟수도 함께 증가하고 있으며 사고의 종류가 다양화 되고 있다. 특히 최근 들어 승강장을 포함한 역사 내 보행 승객들의 사고가 빈번해짐에 따라 보행자들의 민원도 늘어나고 있다. 이에 따라 역사 내에서의 보행사고에 대한 원인 및 사고의 빈도를 줄이기 위한 위험요소들을 분석하고 승객이 안전하게 보행 할 수 있고 사고로 인한 관계자의 책임을 줄일 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다.

승강장 또는 역내에서 보행에 관련된 사고는 미끄러짐(slips), 부딪힘에 의한 넘어짐(trips)과 추락(falls)로 분류할 수 있으며, 보행로의 표면이 이러한 사고에 많은 영향을 미치므로 적절한 기준을 마련하고 유지해야 한다. 따라서 본 연구에서는 보행사고에 관한 유형분류 및 관련 요소, 역사 내 바닥 및 보행로의 재료, 바닥에 대한 지침, 규정 및 기준, slips와 표면에 대한 실험 방법 등에 대한 검토를 통하여 위험방지를 위한 방안을 제안하고자 한다.

2. 보행사고 분류 및 보행로의 재료

국내 및 국외, 특히 영국의 철도안전기준위원회(Rail Safety Standard Board)의 보고서에 따르면, 역사 내에서 발생하는 보행사고는 slips, trips 또는 falls로 분류될 수 있다. slips는 보행자와 통행로 표면 사이의 마찰에 의해 발생하고 trips는 위험요소의 크기나 위치에 따라 발생한다. 또한 위험도분석에 의하면 역사 내 사고에서 보행사고는 전체사고의 50%이상임을 보여주고 있다.

역내 사고의 원인은 여러 가지로 분류되며, 주요 요소를 살펴보면 표 1과 같이 정리할 수 있으며 사고가 일어나는 주요 장소는 표 2와 같다.

* 한국철도기술연구원, 표준화연구단, 정희원

E-mail : ziminpa@krri.re.kr

TEL : (031)460-5774 FAX : (031)460-5814

* 한국철도기술연구원, 표준화연구단, 정희원

표 1. 역내 사고 원인의 주요 요소

주요 요소	
· 보행로의 동선설계	· 보행로 재료 및 제품
· 보행로의 설치조건	· 환경 상태(습기, 얼음, 눈 등)
· 청소 및 유지관리	· 조명(디자인 및 설치)
· 경고 안내나 표시 부족	· 승객의 밀도 및 통제여부
· 승객의 행동패턴	

표 2. 사고가 일어나는 주요 장소

주요 장소
· 승객들이 열차에 승하차 하는 승강장의 연단
· 에스컬레이터 진입부
· 경사로와 계단
· 오염(물, 음식 등)이 발생하는 곳
· 동절기에 눈이나 눈이 얼어 위험한 지역

보행자와 바닥사이에서 상호작용하는 힘은 slips와 falls에 가장 중요한 변수이다. 보행자와 바닥 상호 작용의 마찰력을 초과할 때 전단력이 나타나면 미끄러짐을 피할 수 없다. 마찰계수는 보행자의 다리가 지면과 이루는 각이며, 수평 지면에서 미끄러짐을 예방하기 위한 최소 마찰계수는 0.3~0.35가 일반적이다. 경사로의 마찰계수는 다음 식을 이용하여 계산 할 수 있다.

$$\mu_{ramp} = \frac{\mu_{level} + \tan\theta}{1 - (\mu_{level} \times \tan\theta)} \quad (1)$$

여기서, μ_{level} : 수평지면에서 요구되는 마찰계수
 θ : 경사로의 각도

μ_{level} 이 0.5이고 경사가 12.5°, 10°, 6.25° 일 때 μ_{ramp} 는 각각 0.67, 0.63, 0.58을 나타낸다.

역사 내 보행지역에서 많은 종류의 바닥재가 쓰이고 있다. 보행로의 안전에 관한 많은 연구에서 미끄러짐을 예방하기 위해 바닥재에 요구되는 마찰계수를 제시하고 있다. 마찰계수에 따른 표면 거칠기의 영향은 표면이 젖거나 여러 재료들이 결합되었을 때 중요하다. 특히 승강장 끝단, 경사로, 에스컬레이터, 대합실과 같은 구역에서 적절히 고려되어야 한다. 그러나 재료의 변화는 승객의 안정성을 줄 일 수 있고 재료의 경계면 모서리에서 헛디딤을 유발할 수 있다. 역사 내 바닥 및 보행로에 쓰이는 재료는 역청 질계(bituminous), 콘크리트, 시멘트 혼합재, 포석도로, 포장재료, 세라믹, 시멘트와 합성수지혼합물, 인공석, 자연석, 비닐, 금속, 나무와 고무 등이 있다. 보행로 표면의 시공 시 재질간의 혼합의 경우 적절한 결합에 대해 설명되어야 하며 장애인, 노약자에 대해서도 고려되어야 한다. 또한 재료의 선택 시 주변 환경과 날씨의 영향 뿐 아니라 모양, 청소용이성, 내구성, 미끄럼 저항, 비용 등을 고려하여야 한다.

3. 보행로 표면에 대한 시험

승강장, 대합실과 같은 표면의 특성, 기울기와 높이는 연속적으로 포장된 표면 정보를 효율적으로 수

집하고 제사를 용이하게 하기 위해 보행로 표면에 대한 시험이 요구된다. 이것은 일반인, 장애인, 노약자 등 모두를 위해 더 나은 보행로를 제공하기 위한 것이다. 승강장 및 역사 내 slips에 대한 보행로 재료의 측정은 다음과 같은 항목이 고려되어야 한다.

- slips에 영향을 미치는 다른 요인을 식별하기 위한 표면 상태의 미끄럼 저항성
- 갑작스런 변화로 인해 추락의 위험이 높은 지역을 식별하기 위한 미끄러짐 균일성
- 새로운 바닥면의 미끄럼 저항성

미끄럼 저항성에 대한 측정 방법은 마찰(static, dynamic, transitional)측정이 널리 사용된다. 보행로 표면의 마찰계수 측정방식에는 static, pendulum, transition friction, multi feature and dynamic devices가 있다. 측정 시에는 장비에 관한 다음의 변수를 고려하여야 한다.

- 전체 shoe 장비에서 수직력 생성율은 최소 10kN/s
- 평균 정압은 200에서 1000kPa 사이
- 접촉면에서 미끄러짐 속도는 0에서 1m/s 사이
- 마찰계수의 연산 시 최대접촉시간은 600ms

표면두께의 감소율 dh/dt 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{h^3 F}{KuA^2} \quad (2)$$

여기서, F : 수직항력

A : 접촉면적

u : 유체의 역학점도(the dynamic viscosity of the liquid)

K : 모양상수(shape constant)

표 3은 수평면과 경사진 비닐 바닥 보행 시 힘에 관해 나타낸 것이다.

표 3. Foot force parameter(Redfern et al, 2003b)

변수	수평면	5° 경사면	10° 경사면
최대 수직항력 (N/kg Body wt)	10.92(1.42)	1.15(1.41)	13.33(1.52)
최대 전단력 (N/kg Body wt)	1.77(0.61)	2.94(0.56)	4.06(0.81)
최대 마찰계수	0.18(0.05)	0.26(0.03)	0.32(0.05)

*()는 표준편차

기존 연구결과에 의하면 보행자들은 종방향 보다 횡방향 표면 특성의 변화에 민감하게 반응한다는 것을 보여준다.

4. 보행로에 대한 규정

현재 승강장 및 역사 내의 보행로에 대하여 국제적으로 인정되고 통용된 총괄규정은 없다. 그러나 승강장 및 역사내의 보행재료에 대한 일부 사항이 여러 규정 내에 산재하여 실무에 일괄 적용함에 있어

어려움이 있다. 이에 필요한 일괄규정의 정립이 요구되며 아래와 같은 slips, trips, falls를 예방하기 위한 일반사항을 표 4와 같이 제시하였다.

표 4. slips, trips, falls를 예방하기 위한 일반사항

일반사항 항목
<ul style="list-style-type: none"> · 적절한 바닥면의 선택 · 조명 레벨의 만족 · 혼잡을 피하기 위한 승객과 교통 경로 계획 · 설치, 시험, 조정 및 청소 등을 포함한 유지관리 및 관리 요원의 교육 · 장애물과 미끄러운 구역에서 잘 보이도록 조명 설치 및 안전을 위한 조명 레벨 유지 · 바닥의 마감, 구멍, 균열에 대한 점검 및 습기나 먼지에 대한 고려

그러나 표 4의 일반사항으로는 보행로 및 보행재료에 대한 규정으로 부족하며, 표 4의 일반사항에 대하여 좀 더 구체적인 규정이 요구된다. 이에 관련된 해외 규정은 다음과 같다.

4.1 Skid 저항성

미국의 UL410에 따르면 측정된 바닥 마감재, 바닥 처리재 등 보행로 구조재의 마찰계수는 적어도 0.5이어야 하고 특정 실험의 경우 적어도 0.45이어야 한다. 이외에 유사한 규정으로 US Department of Defence의 경우 바닥의 마찰계수를 0.7로 하고 있으며 법원의 가이드라인의 경우, 의수와 의족을 사용하는 보행자를 위해 0.7에서 1.0 범위의 마찰계수를 요구하고 있으며, 휠체어 사용 시 마찰계수는 0.5에서 0.7로 규정하고 있다. 또한 ATBC(the Architecture and Transportation Barriers Compliance)위원회에서는 장애인의 접근이 쉬운 경로의 마찰계수는 0.6, 경사로의 마찰계수 0.8로 규정하고 있다.

4.2 표면형상

포장면의 평활도 또는 거침정도는 보행면을 평가하는데 중요한 요소이다. 초기 평활도는 장기간 평활도와 수명에도 영향을 미칠 수 있다. 초기 평활도를 25% 향상시키면 수명은 적어도 9% 증가된다. 따라서 평활도가 높은 새로운 보행구역을 마련하고 평활도의 측정방법이 연구되어야 한다(ASTM, 2001).

4.3 slips 저항성

바닥의 미끄럼 저항은 마찰계수와 표면 거침정도에 따른다. 다양한 상태에서 비교적 믿을만한 결과를 나타내기 때문에 pendulum 시험방법이 많이 쓰인다. 측정된 값은 36(마찰계수 0.36과 같은 값) 또는 그 이상이다. 거침정도는 오염도에 따르며 요구되는 최소값은 표 5와 같다. (Health and Safety Executive, 1999)

표 5. 마찰계수 값을 만족시키기 위해 요구되는 표면 거침정도의 최소 레벨

오염도(cPs)	오염물질	최소 바닥 거침정도(μ m)
<1	clean water	20
1-5	milk	45
5-30	stock	60
30-50	olive oil	70
>50	margarine	>70

American Standard에서는 정적 마찰계수는 0.5, British Standard에서는 동적 마찰계수로 0.4로 쓰이고 있다. 바닥재의 미끄럼 저항을 안전하게 측정하기 위하여 TRL Skid tester를 이용하여 표면 거칠 정도와 마찰계수에 대한 실험을 결합시키는 것을 제안하고 있다.

4.4 보행로의 점검 및 유지관리기준

보행로의 점검 및 유지관리의 기준은 표 6의 사항을 고려하여야 하며, 안전점검은 주기적으로 시행되어야 한다. (Highway Act, 1980)

표 6. 보행로의 점검 및 유지관리의 기준

항 목
· 승객의 통행량
· 사용현황과 미래사용예측
· 위험도 분석과 관리, 사고 level
· 보행면의 수명과 종류
· 보행면의 위치

4.5 보행표면재의 규정

보행로 표면은 미끄럽지 않아야 하며 젖었을 때 승객의 보행이 어렵지 않아야 한다. bituminous(역청질)이나 콘크리트재는 문제가 없으나 점토 포장재나 자연석의 경우 주의가 요구된다. (BS 6717)

5. 결론

철도역사내 보행위험 방지를 위한 안전방안을 강구하기 위해 보행사고에 관한 유형분류 및 관련요소, 보행로의 재료, 관련 해외규정과 보행재의 가장 큰 영향력을 미치는 마찰저항에 대한 시험방법에 관하여 고찰하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 역사에서 발생하는 주요 요소는 slips, trips, falls 가 있다. 사고의 주요 요인으로는 질이 낮은 재료의 사용, 디자인과 설계의 미비, 유지 관리 소홀 등 여러 요인에 의해 발생한다.
- 2) 바닥재에 대한 성능 요구는 보행로, 출입구, 매표소, 대합실, 승강장, 경사로, 계단, 에스컬레이터 등의 장소에서 고려되어야 하며 재료특성을 고려하여야 한다.
- 3) 역사 내 사고는 위치나 재료에 따라 다양하다. 가장 큰 사고지역은 승강장으로, 승객이 열차 승하차시, 에스컬레이터나 경사로의 시작부분과 끝부분과 오염이 발생하는 곳에서 발생한다.
- 4) 보행로 표면의 거칠 정도와 마찰계수, 마찰계수에 대한 측정, 바닥재의 미끄럼 저항에 대하여 국내현실에 적합한 안전기준의 정립이 요구되며 아울러 다음사항에 대하여 좀 더 심층적 연구가 필요한 것으로 판단된다.

① 재료에 대한 검토

역사 내에서 사용 중이거나 사용될 수 있는 재료는 식별되어야 하고 미끄러짐이나 헛디딤의 위험성의 가능성이 평가되어야 한다. 재료의 설치, 점검 및 유지관리는 레벨 변화 횡수와 형태에 대한 평가를 고려해야 한다. 또한 역사 내 설치되었거나 설치 가능한 여러 재료에 대한 미끄럼 저항이 결정되어야 하며 특성, 설치 방법, 유지관리 시 요구조건, 비용, 안정성에 대해 고려되어야 한다.

② 보행자의 행동분석

보행자의 행동은 여행목적, 여행준비, 이동체계와 구성요소에 대한 경험과 지식, 주중, 시간, 날씨

에 따라 다양하다. 이러한 행동 패턴은 하루 중 최대기간 즉, 사고의 위험이 높은 이른 아침과 늦은 저녁에 여러 역에서 모니터 되어야 한다. 또한 기후, 다양한 승객의 계층, 경고표시와 조명을 고려한 행동도 관찰되어야 한다.

참고문헌

1. Rail Safety and Standards Boards, Annual safety performance report, 2003
2. American Society for Testing and Materials (ASTM), E867, Standard terminology relating to travelled surface characteristics, 2001
3. Health and Safety Executive, Railway Safety Statistics Bulletin, 2001
4. Australian Standards, AS/NZS 3661, Slip resistance of pedestrian surfaces, 1993
5. British Standards Institution, BS 5489, Road lighting: Parts 1 to 10, 1992