

다중이용시설물 위험분석을 통한 안전공학적
개선 방안에 관한 연구
(에스컬레이터 및 수평보행기를 중심으로)

권순걸* · 김진수** · 김창은*

*명지대학교 산업경영공학과 · **경희대학교 테경원 건설안전경영학과

A research for improvement methods in the aspect of safety
engineering through risk analysis of facilities for multiple use
- Focused on escalator and passenger conveyors -

Sun-Geol Kwon* · Jin-Soo Kim** · Chang-Eun Kim*

*Dept. of Industrial Engineering, Graduate School, University of Myongji

**Dept. of Industrial Engineering Kyung Hee University

Abstract

For the matter of elevator, one of the multi-use facilities for unspecified public, the JIS has re-established and reformed to apply to the environment in South Korea for the past 20 years. In the aspect of safety assurance, it was inevitable to suggest improved measures. The government, Ministry of Public Administration and Security has secured the safety by enhancing the safety management functions in the elevator inspection standards and expanding its safety device measures. Further, the international inspection standard has been introduced, which is about unifying inspection standard system into the international standard code. In March 14th 2012, the international standard (EN) has been amended and fully announced. Escalator and passenger conveyor among lift devices have several common danger factor that cause safety accident. First, the accident caused by decreased braking power of brake. Second, the accident caused by the rate difference between handrail and tread-board. Third, the accident caused by defects of contraflow preventing device or carelessness inspection. Fourth, the accident caused by wet tread-board or wet floor of platform which makes passenger slip and fall. As the improvements to prevent and reduce these negligent accidents, the inspection list to check and methods should be subdivided and applied for each accident likelihood cause for safety management enhancement and safety assurance of existing escalator and passenger conveyors. The escalators and passenger conveyors without safety devices in existence should be obliged to modify the part of the system or install additional safety device. With making these measures obligations, it requires to improve the system to be suitable for the international inspection standard and to have measures to prevent safety accidents. It also needs to arrange improvements for skid accident of tread-board by the external environment factors such as snow and rain.

Keywords : Escalator, Safety accidents

† Corresponding Author: Chang-Eun Kim, Dept. of Industrial Engineering, Myongji Univ. Yongin Campus, Nam-dong, Cheoin-gu, Yongin-si. M · P: 019-292-6447, E-mail: changkim@mju.ac.kr
Received January 20, 2013; Revision Received March 14, 2013; Accepted March 14, 2013.

1. 서론

정부(행정안전부)는 승강기 검사기준의 안전관리기능을 강화하고 안전장치 확대 등을 통하여 안전성을 확보하고 검사기준 조문체계를 국제적 표준코드로 일원화하는 내용의 국제표준 검사기준(EN)을 도입하여 2012년 3월 14일 전면 개정 고시 하였다.

이 기준의 모태가 되는 EN은 유럽의회에서 제정한 Lift Directive(승강기 안전지침)에 따라 유럽표준화위원회의 제10기술위원회(CEN/TC 10)에서 제정한 EN81-1(전기식 엘리베이터), EN81-2(유압식 엘리베이터) 및 EN115(에스컬레이터 및 수평보행기)을 사용하고 있다. 유럽연합 승강기 안전지침의 가장 큰 특징은 신기술의 조기적용이 용이하도록 전 회원국이 의무적으로 지켜야 할 최소한의 기준인 필수안전요건(Essential Safety Requirements : ESR)을 도입한 것이다.

그러나, 지난 20년 동안 일본검사기준(JIS)을 토대로 만들어지고 적용되어 온 기존 승강기는 안전성 확보 측면에서 볼 때 개선 방안이 불가피하다. 특히, 1993년부터 2012년 12월 현재 에스컬레이터(수평보행기 포함) 안전사고는 642건으로 전체 승강기 안전사고 1,106건의 약 58.0%를 차지하고 있으며, 그 수요와 공급면에서 대규모 서비스가 필요한 지하철이나 백화점, 할인매장 등 다중이용시설을 중심으로 설치 운용되어지고 있기에 안전사고의 파급효과가 크다고 하겠다.

2005년부터 시행된 승강기 사고조사 판정위원회의 에스컬레이터 및 수평보행기와 관련된 사고조사 내용에 따르면 안전사고를 유발하는 몇 가지 공통적인 위험요인을 가지고 있다.

첫째, 에스컬레이터 및 수평보행기의 운전 도중에 이상이 발생하는 경우 승객의 보호를 위하여 주 전원이 차단됨과 동시에 전동기 축을 제동하는 브레이크의 제동력 저하로 인하여 제동거리를 초과하여 발생하는 안전사고.

둘째, 에스컬레이터 및 수평보행기의 손잡이(핸드레일)와 디딤판의 속도차이 또는 핸드레일의 장력부족으로 인하여 급정지함으로써 다수의 이용자가 정지관성으로 인하여 전도되어 발생하는 안전사고.

셋째, 에스컬레이터 및 수평보행기 구동 시 기어, 커플링, 구동체인 등의 파손이나 전자 브레이크 고장 등에 의하여 주 제동기가 본래의 기능을 발휘하지 못하는 경우 구동 휠의 역주행을 방지하는 역주행방지장치의 결함 또는 점검 부주의로 인한 안전사고.

넷째, 외부 환경적 요인에 의하여 에스컬레이터 및 수평보행기 디딤판과 승강장 바닥의 물기로 인하여 보

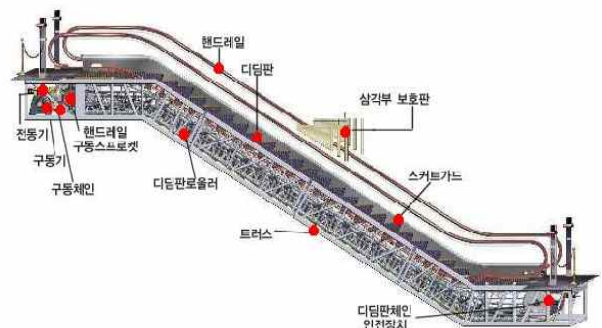
행 중 미끄러져 넘어지는 안전사고이다.

이에 본 연구는 수직교통을 위한 다중이용시설물인 에스컬레이터 및 수평보행기의 공통적인 위험요인을 중심으로 안전사고 발생률 감소를 위하여, 기존에 설치되어 있는 에스컬레이터 및 수평보행기의 시스템 일부의 변경 또는 추가를 통하여 국제표준 검사기준에 적합하도록 하는 시스템 개선 방안과 안전사고 예방활동에 기여하고자 한다.

2. 조사 및 연구방법

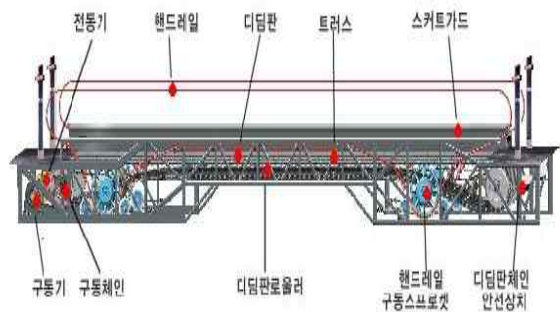
본 연구의 연구방법은 2005년부터 2012년 10월 현재까지 승강기 사고조사 판정위원회의 총 68차에 걸친 사고조사판결문을 바탕으로 에스컬레이터의 안전사고 발생원인의 조사 및 분석을 통하여 기존 에스컬레이터 시스템의 위험성에 대한 공통적인 위험요인을 도출하였고, 그에 따른 안전공학적인 측면의 개선방안을 연구하였다.

3. 에스컬레이터 시스템의 구조 및 개요



(자료:한국승강기안전관리원)

<Figure 1> Escalator structure



(자료:한국승강기안전관리원)

<Figure 2> Passenger conveyors structure

3.1 에스컬레이터 시스템의 주요 구성요소

에스컬레이터는 일정한 통로에 승객을 수송하기 위해 설치된 경사지고 연속으로 움직이는 계단형 에스컬레이터와 평행하게 연속으로 움직이는 표면형 무빙워크(수평보행기)로 구분되며, 주요 구성요소는 다음과 같다.

첫째, 구동기(Driving Machine)는 에스컬레이터를 구동하기 위한 전동기, 감속기, 브레이크 등을 포함한 장치를 말하며 구동장치는 본체 즉 스텝(Step)을 구동시키는 주 구동장치와 핸드레일(Hand Rail)을 구동시키는 핸드레일 구동장치가 있다. 이 구동장치들은 서로 연동되어 같은 속도로 이동한다.

둘째, 전동기(Traction Machine)는 에스컬레이터를 구동하기 위해 동력을 제공하는 것으로서 한 개의 전동기로 2대 이상의 에스컬레이터를 구동시켜서는 안된다.

셋째, 구동체인(Driving Chain)은 에스컬레이터에 있어서 구동기의 회전력을 구동 스프로킷(Driving Sprocket)에 전달하는 장치를 말한다.

넷째, 구동스프로킷(Driving Sprocket)은 에스컬레이터 구동기의 회전을 구동체인을 통하여 스텝체인 스프로킷(Step Chain Sprocket)에 전달하는 장치를 말한다.

다섯째, 핸드레일(Hand Rail=손잡이)은 에스컬레이터의 움직임에 따라 승객이 추락하지 않도록 설치한 측면 벽인 난간 상부의 이동 손잡이를 말하며, 핸드레일은 스텝(Step)과 동일한 속도로 승강한다.

여섯째, 디딤판 체인 안전장치는 스텝체인의 일정하지 않은 이완이나 파단의 경우에 기계실 하부에 설치되어 에스컬레이터가 정지하도록 작동하는 안전장치이다.

일곱째, 트러스(Truss)는 에스컬레이터의 철골구조인 프레임(Frame)으로써 상·하층에 걸쳐 설치된다.

여덟째, 디딤판은 에스컬레이터에 있어서 이동하는 유니트(Unit)로 스텝(Step)이라 하는데, 스텝은 프레임의 발판(Tread Board)과 라이저(Riser)를 조합한 구조로써 전륜과 후륜 각 2개의 롤러(Roller)에 의해 원활하게 구동 되도록 구성되어 있다.

3.2 에스컬레이터의 경사도 및 속도

에스컬레이터는 하강방향의 안전을 고려하여 경사도 α 는 30°를 초과하지 않아야 한다. 다만, 높이가 6m 이하이고 공칭속도가 0.5m/s 이하인 경우에는 경사도를 35°까지 증가시킬 수 있다. 또한, 에스컬레이터의 공칭속도는 경사도가 30°이하인 경우에는 0.75m/s이하이어야 하고, 경사도가 30°를 초과하고 35°이하인 경우에는 0.5m/s이하이어야 한다.

반면, 수평보행기의 경사도는 12°이하이어야 하고 공칭속도는 0.75m/s이하이어야 한다. 다만, 팔레트 또는 벨트의 폭이 1.1m 이하이고, 승강장에서 팔레트 또는 벨트가 들어가기 전 1.6m 이상의 수평주행구간이 있는 경우 공칭속도는 0.9m/s 까지 허용된다.

3.3 에스컬레이터 주 브레이크의 제동부하 및 정지거리

에스컬레이터 및 수평보행기의 제동부하 및 정지거리 초과에 따른 안전사고의 위험을 방지하기 위한 주 브레이크의 제동부하 및 정지거리는 다음과 같다.

<Tabel 1> Determines the braking load of the escalator

공칭 폭 Z1	스텝 당 제동부하
0.6 m 이하	60 kg
0.6 m 초과 0.8 m 이하	90 kg
0.8 m 초과 1.1 m 이하	120 kg

고려되는 스텝(Step)의 수량은 스텝 라이저(Step Riser)의 최대 외관 높이로 나눈 높이에 의하여 결정되며, 총 제동부하는 스텝 수량의 1/3 이상 분포되는 것을 허용한다.

<Tabel 2> Stopping distance of the escalator

공칭속도 v	제동거리
0.5 m/s	0.20 m에서 1.00 m 사이
0.65 m/s	0.30 m에서 1.30 m 사이
0.75 m/s	0.40 m에서 1.50 m 사이

에스컬레이터의 정지거리는 전기적 정지장치가 작동된 시간부터 측정되며, 무부하 상태에서 하강 방향으로 움직이는 에스컬레이터 제동부하 상태의 정지거리는 <Tabel 2>에 따라야 한다.

<Tabel 3> Determine the braking load of passenger conveyors

공칭 폭 Z1	0.4 m 길이 당 제동부하
0.6 m 이하	50 kg
0.6 m 초과 0.8 m 이하	75 kg
0.8 m 초과 1.1 m 이하	100 kg
1.10 m 초과 1.40 m 이하	125 kg
1.40 m 초과 1.65 m 이하	150 kg

여러 개의 경사(다른 수준)를 갖는 수평보행기(무빙 워크)의 제동부하 결정은 하강운행 부분만 고려되어야 한다.

<Tabel 4> Stopping distance passenger conveyors

공칭속도 v	정지거리
0.5 m/s	0.20 m에서 1.00 m 사이
0.65 m/s	0.30 m에서 1.30 m 사이
0.75 m/s	0.40 m에서 1.50 m 사이
0.90 m/s	0.55 m에서 1.70 m 사이

수평보행기의 정지거리는 전기적 정지장치가 작동된 시간부터 측정되며, 무부하 상태에서 하강 방향으로 움직이는 수평보행기 제동부하 상태의 정지거리는 <Tabel 4>에 따라야 한다.

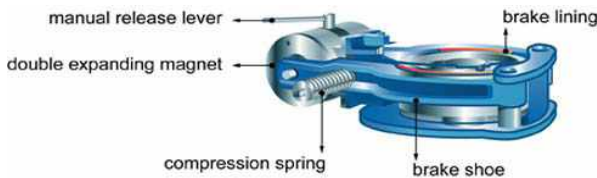
3.4 에스컬레이터 브레이크 시스템

에스컬레이터 및 수평보행기는 균일한 감속(제동 운전) 및 정지 상태를 지속할 수 있는 브레이크 시스템(Brake for the Escalator)이 있어야 하며, 이 시스템은 전원공급이 중단될 때 및 제어 회로에 전압 공급이 중단될 때 작동되어야 한다. 또한, 정지거리가 <Tabel 2>와 <Tabel 4>의 최대값의 20%를 초과하면, 고장 안전장치의 재설정 후에만 재-기동이 가능하도록 설계되어야 하고 에스컬레이터 및 수평보행기의 출발 후에는 브레이크 시스템의 개방을 감시하는 장치가 설치되어야 한다.

브레이크의 대표적인 종류는 다음과 같다.

3.4.1 드럼형 브레이크(Drum Brake)

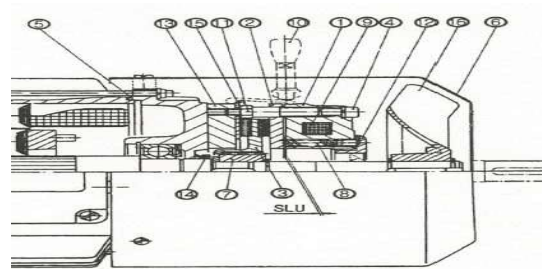
전동기 회전축에 연결된 회전체 모양이 주물체의 원통형으로 생긴 것으로 브레이크 레버(Lever)에 붙어있는 슈(Shoe, 라이닝)가 회전체의 원통형 드럼에 접촉되어 주 구동기를 정지시키는 구조이다.



<Figure 3> Drum Brake

3.4.2 디스크 브레이크(Disk Brake)

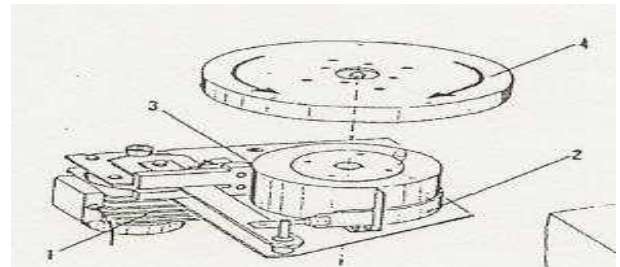
회전하는 주 전동기 축에 붙어있는 디스크(Disk)를 원판형으로 되어 있는 슈(Shoe, 라이닝)가 접촉되어 주 구동기를 정지시키는 구조이다.



<Figure 4> Disk Brake

3.4.3 밴드형 브레이크(Band Brake)

회전하는 주 전동기 축에 원통형 드럼(Drum)을 강철제 밴드(Band)의 장력에 의해 브레이크 슈(Shoe, 라이닝)와 드럼이 접촉되어 에스컬레이터의 주 구동기를 정지시키는 구조이다.



<Figure 5> Band Brake

기준에 설치되어 있는 에스컬레이터 및 수평보행기는 주로 드럼형 브레이크와 디스크형 브레이크를 주로 사용하고 있으며 특징을 살펴보면 다음과 같다.

<Tabel 5> Brake system comparison

구분	드럼형	디스크형
제동력	우수하나 미끄러질 염려	우수
동작방식	전기적마그네트 스프링	전기적마그네트 스프링
유지보수	쉬움	어려움
크기	비교적 큼	비교적 작음
개폐시간	적절함	빠름
Stroke	큼 (조정이 간편함)	작음 (조정이 어려움)
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 드럼이 플라이휠 역할 - 라이닝 마모시 미끄러질 수 있음 - 전동기 발열에 영향이 적음 	<ul style="list-style-type: none"> - 동작시 마찰면이 끼일 수 있음 - 전동기 발열에 영향이 큼

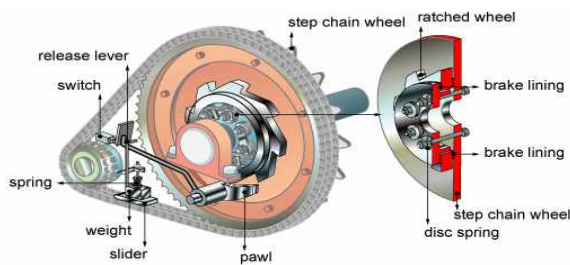
3.5 에스컬레이터용 역주행 방지장치

에스컬레이터 역주행 방지장치는 에스컬레이터 구동시 기어, 커플링, 구동체인 등의 파손이나 전자 브레이크 고장 등의 원인으로 구동 휠의 역주행을 방지하는 장치로서, 초기 설정된 운행방향으로부터 스텝(혹은 팔레트, 벨트)이 방향을 변경 할 때 이를 감지하여 에스컬레이터를 정지시키는 장치이다.

역주행 방지장치의 대표적인 종류는 다음과 같다.

3.5.1 폴 래치 휠 방식 (Pawl Ratched Wheel Method)

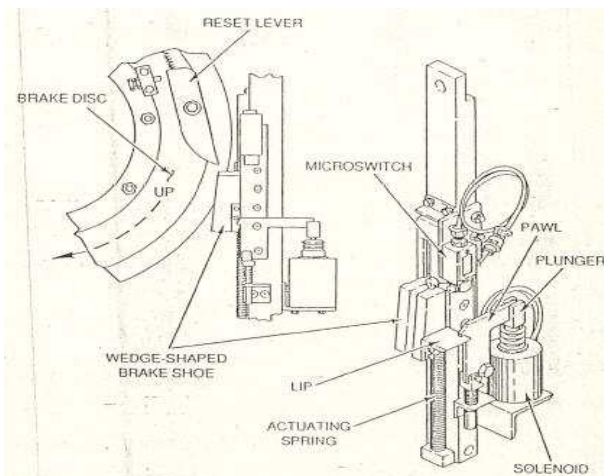
회전하는 스프로킷 축에 붙어있는 래치(Ratchet)를 에스컬레이터의 고정 구조체에 장착된 폴(Pawl)이 비상정지 발생 시 기계적으로 물려 에스컬레이터를 정지시키는 방식이다.



<Figure 6> Pawl Ratched Wheel Method

3.5.2 디스크 웨지 방식(Disk Wedge Method)

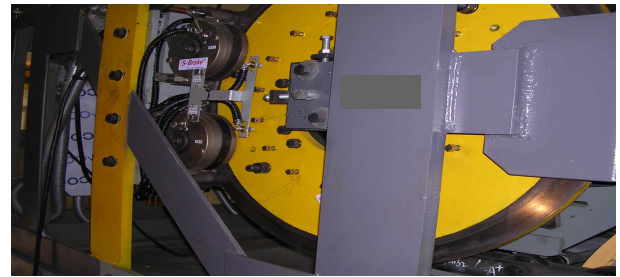
회전하는 스프로킷 축에 붙어있는 디스크(Disk)를 에스컬레이터의 고정 구조체에 장착된 썸이 비상정지 발생 시 기계적으로 물려 에스컬레이터를 정지시키는 방식이다.



<Figure 7> Disk Wedge Method

3.5.3 디스크 브레이크 방식 (Disk Brake Method)

비상정지 상황이 발생하여 코일(Coil) 전원이 차단되면 에스컬레이터의 고정 구조체에 장착된 브레이크 슈(Brake Shoe)가 압축된 스프링에 의해 회전하는 스프로킷 축에 붙어 있는 디스크에 기계적으로 물려 에스컬레이터를 정지시키는 방식이다.



<Figure 8> Disk Brake Method

EN115의 기준에 따르면 주 브레이크 시스템은 2개 이상의 독립적인 전기장치에 의하여 전원공급이 차단되는 전자-기계 브레이크 형태를 권장하고 있으며, 다른 형태의 브레이크 시스템을 사용할 경우에는 보조 브레이크를 의무적으로 설치하도록 규정하고 있으며, 층고 6m를 초과하는 경우와 교통약자의 이용편의증진법 제2조 제3호에 따른 여객시설에 설치되는 에스컬레이터 및 수평보행기에는 의무적으로 설치하도록 규정하고 있다. 그러나, 기준에 설치되어 있는 에스컬레이터 및 수평보행기의 경우 1개의 전기장치에 의하여 전원공급이 차단되는 시스템을 주로 사용하고 있어 안전성 향상을 위하여 보조 브레이크의 설치가 필요한 실정이다.

4. 에스컬레이터 안전사고의 공통요인

4.1 브레이크 제동력저하로 인한 안전사고

<Table 6> Brake braking force related to Safety Accidents

년도	기종	피해인원	운행방향
2005년	에스컬레이터	2	정지
2009년	에스컬레이터	10	상승
2010년	에스컬레이터	1	하강

2005년 발생한 사고의 경우에는 정지되어 있는 에스컬레이터를 계단으로 이용하다 브레이크의 제동력 부족으로 역구동하여 발생한 사고이며, 2009년 발생한 사

고의 경우는 에스컬레이터의 정지 후 브레이크의 제동력 부족으로 인하여 하강방향으로 밀려 발생한 사고이다. 그리고, 2010년 발생한 사고의 경우는 브레이크 제동 정지거리를 초과하여 정지한 사고이다.

4.2 핸드레일(손잡이)과 디딤판의 속도차이로 인한 안전사고

<Tabel 7> Handrail and nosing of the speed difference and the associated safety Accidents

년도	기종	피해인원	운행방향
2005년	에스컬레이터	25	상승
2006년	에스컬레이터	10	상승
2008년	에스컬레이터	5	상승
2009년	에스컬레이터	1	하강
2010년	에스컬레이터	30	상승
2011년	에스컬레이터	2	하강
		1	상승

2005년과 2006년, 2009년에 발생한 사고의 경우는 핸드레일 또는 디딤판의 속도초과 및 속도차이로 인하여 발생한 사고이며, 2008년과 2010년에 발생한 사고의 경우는 핸드레일 속도 감지장치의 불량 등으로 인하여 핸드레일이 급정지하여 연쇄적으로 전도되어 발생한 사고이다. 그리고, 2011년에 발생한 사고의 경우는 여러 사람이 핸드레일을 잡고 이용하는 도중 핸드레일의 장력 불량으로 인하여 급정지 하여 전도되어 발생한 사고이다.

4.3 역주행방지장치의 결함 및 불량으로 인한 안전사고

<Tabel 8> Associated with safety yeokjuhaeng prevention device Accidents

년도	기종	피해인원	운행방향
2006년	에스컬레이터	14	상승
2008년	에스컬레이터	12	상승
2010년	에스컬레이터	1	상승

2006년과 2008년 발생한 사고의 경우는 구동체인이 절단되었음에도 불구하고 역주행방지장치 불량으로 인하여 디딤판이 역구동하여 발생한 사고이며, 2010년 발생한 사고의 경우는 베드플레이트의 고정 불량으로 인하여 역구동방지장치가 작동되지 않아 발생한 사고이다.

4.4 눈·비 등의 외부 환경적 요인으로 인한 안전사고

승강기 사고조사 판정위원회의 최근 3년간의 사고조사판결문에 따르면, 안전사고 총 발생건수 245건의 약 24.5%인 60건이 눈·비 등으로 인하여 미끄러운 승강장과 디딤판 위에서 전도되어 발생한 안전사고이다.

<Tabel 9> Safety accident statistics due to external environmental factors

발생년도	안전사고 총 발생건수	외부 환경	
		눈	비(물)
2009년	69	9	9
		13.0%	13.0%
2010년	101	15	15
		14.8%	14.8%
2011년	75	5	7
		6.7%	9.3%
합계	245	60	
평균	-	24.5%	

5. 기존 에스컬레이터 시스템의 안전성 개선 방안

5.1 브레이크 시스템 자체점검 매뉴얼(Manual) 개선

브레이크 시스템에 대하여 현행 승강기검사 및 관리에 관한 운용요령에 따르면 에스컬레이터(수평보행기 포함) 점검항목 및 방법을 다음과 같이 규정하고 있다.

<Tabel 10> Escalator brake-related inspection items

NO.	점검 항목 장치	B로 하여야 할 것	C로 하여야 할 것	점검 주기 (회/월)
1.4	브레이크	브레이크슈 라이닝의 마모가 현저한 것	제동력이 승강기 검사기준의 규정에서 벗어나는 것	1/1

그러나, 브레이크 시스템의 제동력 저하의 원인은 다양하게 나타난다. 브레이크슈 라이닝의 현저한 마모는 물론, 브레이크 패드(Pad) 또는 라이닝(Lining)과 드럼(Drum) 사이의 접촉상태나 패드(Pad) 또는 라이닝(Lining) 표면의 청결상태, 그리고 드럼형 브레이크와 디스크형 브레이크의 경우 가압스프링(Compression Spring)의 토크(Torque) 값의 변화등 다양한 요인으로 인하여 역구동 발생 원인이 되기도 한다. 특히, 육안으로 확인할 수 없는 토크(Torque) 값의 변화는 에스컬레이터 및 수평보행기의 특성 상 다수의 이용자의 무게에 의하여 브레이크의 면압 약화에 따른 제동력 저하의 원인이 된다. 디스크 브레이크의 경우 가압 스프링(Compression Spring)의 길이는 제조사별로 제동토크, 필요 제동력, 필요 스프링제동력, 필요 흡인력 등을 고려하여 초기치를 확인할 수 있다.

기존에 설치되어 있는 에스컬레이터의 디스크 브레이크(Disk Brake)의 토크 값의 변화에 따른 역구동 현상을 추정하기 위해 도식화하여 살펴보면 다음과 같다.

공칭 폭이 0.6m이고 경사도 30°인 에스컬레이터에서 스텝당 제동부하를 60kg으로 보고 총 스텝의 개수를 30개로 보면 이때 제동부하는 스텝 수량의 2/3 이상 분포되는 것을 허용하여,

$$\begin{aligned} \text{제동부하(kg)} &= 60(\text{kg}) \times 30 \times \frac{2}{3} = 1200(\text{kg})\text{이고,} \\ \text{이때의 중력가속도에 의한 무게 mg는,} \\ \text{mg} &= 1200(\text{kg}) \times \sin 30^\circ \\ &= 600(\text{kg}) \end{aligned}$$

이 된다.

즉, 이때의 제동스프링의 토크(Torque) 값은 mg보다 크거나 같아야 한다. 따라서, 토크 값은 최소 600(kgf·cm)이어야 함을 알 수 있다.

그러나, 한국승강기안전기술원의 한 연구보고서에 따르면 일부 에스컬레이터의 경우 제동 토크 값이 기준치와 현저한 차이를 보여 전 부하에 가까운 하중이 스텝에 작용하면 역구동 할 위험이 있다고 연구되었다.

이처럼 EN115의 브레이크 제동부하를 결정짓는 요인은 공칭속도 및 공칭 폭 등에 따라 달리 적용하고 있으나, 현행 자체점검은 다양한 여건을 고려하지 않고 단순히 이루어지고 있는 실정이다.

따라서, 다양한 위험요인에 대하여 세분화되고 실제적인 자체점검 매뉴얼이 필요하다고 하겠다.

5.2 핸드레일 속도감지장치의 설치 의무화

2013년 9월 13일부터 시행될 개정 승강기검사기준에

의무화 될 안전장치 중 하나인 핸드레일 속도감지장치는, 디딤판의 속도차이 또는 핸드레일의 장력 부족으로 인하여 에스컬레이터 및 수평보행기가 급정지함으로써 그에 따른 정지관성으로 인하여 연쇄적으로 넘어지는 다인사고를 방지하기 위한 안전장치이다. 그러나, 현행 검사기준에서는 의무화 되어 있지 않아 기존 에스컬레이터 및 수평보행기의 경우 2012년 10월말 현재 전체 설치대수의 약 5.53%에만 설치되어 있어 <Tabel 6>에서 보논바와 같이 안전사고의 발생율과 발생 개연성을 안고 있는 것이 현실이다.

<Tabel 11> Speed detection devices installed handrails Status

에스컬레이터 총 설치대수	핸드레일 속도감지장치 설치대수
23,849대	1,320대 (5.53%)

개정 승강기 검사기준에 따르면, 에스컬레이터 또는 무빙워크(수평보행기)가 운행하는 동안 핸드레일 속도가 15초 이상 실제속도 보다 -15%이상 차이가 발생하면 에스컬레이터 및 무빙워크(수평보행기)를 정지시키도록 되어 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존 에스컬레이터 및 수평보행기에 설치되어 있지 않은 핸드레일 속도감지장치를 장착할 수 있는 개선 방안을 제시하고자 한다.

개선 방안의 작동 원리는 좌·우측 핸드레일의 구동회전을 감지할 수 있도록 롤러(Roller)에 회전감지센서를 부착하여 근접센서에 반응하는 펄스(Pulse)를 검출하여 속도를 확인하는 장치이다.

에스컬레이터 또는 수평보행기의 속도(V)가 30 m/min이고 회전감지센서 롤러의 직경(D)이 7.6 cm, 기어(Gear)의 잇수(N)가 21개라고 가정할 때, 핸드레일의 초당 이동거리는,

$$Lhms = V / 60 = 30 / 60 = 0.5 \text{ m} = 50 \text{ cm}\text{이고,}$$

회전감지센서 롤러 원주길이는,

$$Dcrd = D \times \pi = 7.6 \times 3.14 = 23.9 \text{ cm}\text{이므로,}$$

1초당 펄스 신호의 개수는,

$$\begin{aligned} \text{PN} &= (Lhms / Dcrd) \times N \\ &= (50 / 23.9) \times 21 \\ &\approx 43.9 \text{ 개} \end{aligned}$$

그러므로, 15초당 펄스 신호의 개수는 658.5개이다.

따라서, 좌·우측 핸드레일이 -15%의 속도 편차가 발생할 경우 펄스 신호의 개수는 정상 주행시의 펄스 신호의 개수보다 약 99개의 차이가 발생하므로 -15%의 속도 편차가 발생한 것으로 판단해 설정에 따라 에

스컬레이터 또는 수평보행기를 정지하며, 핸드레일 근접센서에서 받은 펄스를 바탕으로 1초당 펄스 값을 산출하여 고속주행구간을 설정하고, 펄스 값의 미세한 변화로 인한 시간 및 거리의 누적에서 오는 에러(Error)를 방지하기 위해 15초 간격으로 데이터를 초기화 한다.

이러한 개선방안을 바탕으로 기존에 설치되어 있는 에스컬레이터 및 수평보행기의 핸드레일 속도감지기능 및 안전 시스템을 개선함으로써 핸드레일 장력부족과 핸드레일과 디딤판의 속도편차로 인한 안전사고를 방지할 수 있을 것이다

5.3 외부 환경적요인에 의한 미끄러짐 사고 방지 대책

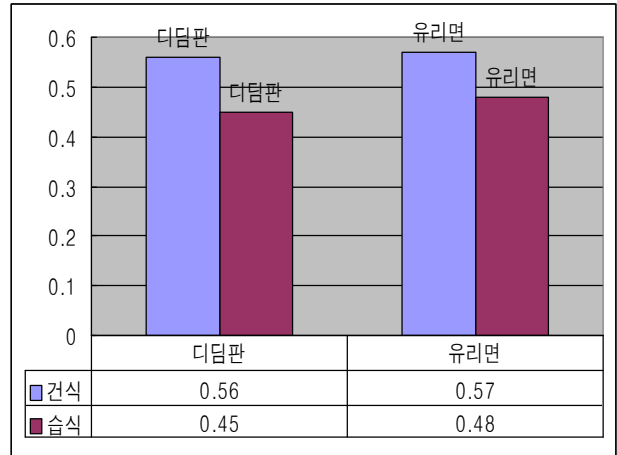
마찰계수란 마찰력의 크기 F (정지마찰력인 경우는 최대정지마찰력)와 수직항력 크기 P 와의 비

$$\mu = F / P$$

를 말한다. 즉, 표면에서 미끄러지는 물체를 계속 움직이게 하는 데 필요한 수평력을 그 표면에 작용하는 힘으로 나눈 값이다.

바닥 표면의 상태는 전도사고 발생과 관련된 중요한 요소 중에 하나이다. 산업안전보건연구원의 연구 보고서에 따르면 실험 결과 바닥 표면이 건조한 조건일 때는 표면 거칠기와 마찰계수 사이에는 어떠한 연관성이 없어 보이며, 바닥 표면이 젖은 조건에서는 거칠기가 증가할수록 마찰계수 값이 증가하고 있으며, 바닥 표면의 거칠기가 20 μ m를 초과하는 경우 안전한 영역으로 판단할 수 있다고 조사되었다. 즉, 바닥 표면이 젖은 경우 바닥 표면의 거칠기가 증가할수록 위험성이 감소한다.

에스컬레이터 및 수평보행기의 디딤판 표면 상태에 따른 미끄러짐 저항을 연구하기 위한 한국승강기안전관리원의 연구보고서에 따르면, 수평보행기 디딤판에 물기가 있는 경우 미끄러짐 저항은 건조한 때보다 평균 약 1.3배 낮은 것으로 나타났으며, 비교 실험을 위한 동일 조건의 유리면 보다 마찰저항 값이 더 낮은 것으로 조사되었다. 즉, 눈·비로 인한 외부 환경적 요인에 따라 미끄러짐 발생 전도사고가 증가할 수 있음을 나타낸다.

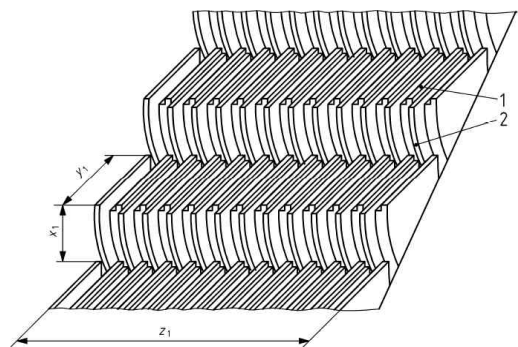


<Figure 9> Contact medium according to average slip resistance

따라서, 최근 3년간의 발생한 에스컬레이터 및 수평보행기와 관련된 안전사고의 약 24.5%가 눈·비 등으로 인한 바닥 표면이 젖은 상태에서 발생한 사고이기에 이에 대한 개선 대책이 절실히 요구된다.

이에 대한 본 연구의 개선방안은 다음과 같다.

통상적인 스텝(Step)의 표면 형태는 콤(Comb)의 물림구간을 따라 세로로 패인 홈과 그 주위에 세로로 연속된 줄 표면 (그림 10의 1-스텝 트레드 : Step Tread)의 형상이다.



<Figure 10> Escalator treads shape

실제로 이용자의 신발 접촉이 이루어지는 곳은 스텝 트레드(Step Tread)이며, 이 표면의 상태에 의하여 전도사고가 발생한다. 그러므로 이표면의 거칠기를 증가시키는 즉, 스텝 트레드에 가로로 된 홈을 재가공하는 등의 방법을 통하여 신발과의 접촉면적을 적게 하는 것이 바람직하다.

6. 결론 및 제언

정부(행정안전부)는 승강기 검사기준의 안전관리기능을 강화하고 안전장치 확대 등을 통하여 안전성을 확보하기 위하여 국제표준 검사기준(EN)을 도입하여 2012년 3월 14일 전면 개정 고시하였다.

그러나, 2011년 12월 31일 현재까지 설치된 승강기는 총 446,707대이며 이 가운데 에스컬레이터 및 수평보행기는 전체 승강기의 5.4%인 24,248대이다. 기존 승강기는 지금까지 20년 동안 안전관리제도로 활용하여 온 일본 승강기기준(JIS)을 토대로 만들어지고 시행되어 온 검사기준으로 국제표준 검사기준(EN)과는 많은 차이를 보이고 있다.

승강기의 수명을 20년으로 보면 최근에 설치된 승강기의 경우 향후 20년 동안은 기존 승강기 검사기준이 적용될 것이다. 법률의 한계성으로 인하여 소급적용은 할 수 없지만, 그럼에도 불구하고 안전관리기능의 강화와 안전성 확보 측면에서 보면 개선의 노력은 불가피 할 것이다.

앞서 논의한 바와 같이 에스컬레이터 및 수평보행기 안전사고는 사고유발 공통요인을 가지고 있으며, 그 개선 방안을 논의하였다.

첫째, 브레이크(Brake)의 제동력 저하로 인해 발생하는 안전사고의 경우 단편적이고 획일된 현행 승강기검사 및 관리에 관한 운용요령상의 에스컬레이터(수평보행기 포함) 점검항목 및 방법을 제동력 저하의 원인별 세분화·다양화할 필요가 있다.

둘째, 2012년 10월 현재 적용 비율이 약 5.54%에 불과한 핸드레일 속도감지장치를 기존 설치된 에스컬레이터 및 수평보행기에 일부변경 또는 개선을 통하여 추가함으로써 급정지 및 급제동으로 인한 안전사고를 예방할 필요가 있다.

셋째, 눈·비등의 외부 환경적 요인에 의한 미끄러짐 안전사고를 예방하기 위하여 스텝면의 스텝 트레드(Step Tread)에 대한 가공 또는 재가공이 필요하다.

넷째, 현재 교통약자의 이동편의증진법 제2조제3호에 따른 여객시설에 적용되고 있는 보조 브레이크 시스템을 기존에 설치되어 있는 모든 에스컬레이터 및 수평보행기에 확대·추가 적용함으로써 브레이크 시스템의 이상으로 인한 정격속도의 증가 및 스텝·팔레트 또는 벨트의 역주행과 관련된 안전사고에 대하여 안전성을 확보 할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서 논의한 개선방안이 기존에 설치되어 있는 에스컬레이터 및 수평보행기의 안전성 확보와 이용자 보호라는 목적을 달성하기 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대한다.

7. 참고 문헌

- [1] Korea Elevator Safety Institute(2012), 2011 Elevator Safety accident Total Analysis Report, Korea Elevator Safety Institute
- [2] Ministry of Public Administration and Security(2012), "Standard of Elevator Inspection Revision, New Establishment and Restriction", Ministry of Public Administration and Security
- [3] Korea Elevator Safety Institute(2010), "Korea Elevating History for 100Years", Korea Elevator Safety Institute
- [4] Jong Ha Jang, Chan Woong Kim(2008), "Original Articles : The Analysis of Escalator-related Injuries in Aging Population", The Korean Society of Emergency Medicine
- [5] Gi Heung Choi(2007), "Analysis on Safety Management of Elevator", The Korean Society of Safety
- [6] Man Hoo Kim(2007), "Children's Safety Accident State and the Result of Parent's Idea Research", Korea Consumer Agency
- [7] Park Chan-Jong(2004), "Improvement of Handrail Slippage Characteristics Using Multi-Body Dynamic Analysis Technique", The Korean Society of Mechanical Engineers

저자 소개

권순걸(權純傑)



명지대학교 대학원 산업경영공학과 박사과정 중.
한국승강기안전관리원(행정안전부 소관 준정부기관)
부산본부장 재직 중
관심분야는 산업·안전공학 중 시스템·기계안전 등

주소 : 서울시 강동구 명일2동 주공9단지 914-704
(02-6413-0317, 010-4100-0802)

김진수



명지대학교 대학원 산업공학과 공학박사
군장대학 산업안전관리과 초빙 교수
진광건설안전기술원 대표
경희대학교 태경원 건설안전경영학과 교수
관심분야 : 산업·건설공학 분야

주소: 서울 송파구 문정2동 웨미리A 309-1201

김창은



고려대학교 산업공학과에서 학사와 TEXAS A&M에서 M.S.·Ph.D. 취득하였고 현재 명지대학교 산업경영공학과 교수로 재직 중이며 주요 관심분야는 경영혁신, 생산관리, 품질관리 등.

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-1 명지대학교 산업경영공학과