

화재시 휠체어 사용자의 에스컬레이터에 의한 피난에 관하여

동경 이과대학 종합연구기구
교수 菅原進一(슈가하라 시니치)

1. 배경

최근 고층 및 심층 계단을 지닌 복합시설의 수직개방형 공간에 에스컬레이터를 설치하는 예가 증가하고 있다. 그 주변에서 발생하는 화재는 적지만 런던의 킹스크로스역 화재(1987년 11월 18일 수요일 오후 7시 30분경 발생, 사망자 31명)에서 보는 바와 같이 에스컬레이터에 관한 방화·피난안전대책을 수립하는 것은 불가결한 사항이다. 그런 이유로 서 인구의 고령화와 시설 등의 배리어프리(barrier free·무장벽)화의 진전과 더불어 휠체어 사용자가 외출하여 에스컬레이터를 이용하는 기회가 증가한 것을 들 수 있다. [그림 1]에서 보듯이 동아시아 지역에서는 수용능력의 향상시키고자 대규모 복합건물의 수직개방형 공간에 장대한 에스컬레이터를 배치한 예도 다수 보여지고 있다. 또한 일본의 M사 제품처럼 스파이럴형 에스컬레이터도 개발되고 있다. 에스컬레이터를 화재시의 피난에 사용하도록 하기 위해서는 그 가동상태·고장요인·구획구조, 피난자의 행동특성, 방재센터 등의 관리기능과의 관련 등에 대해서 많은 과제를 극복할 필요가 있다. 본고에서는 휠체어 사용자의 피난에 관하여 주로 (재)일본건축방재협회의 기술평가보고서를 기본으로 소개한다.



[그림 1] 판매점포 수직개방형공간의 장대 에스컬레이터

2. 에스컬레이터 설치대수와 인명사고

[표 1]은 1978~1999년의 에스컬레이터 인명사고의 조사결과이다. 사고 발생율(에스컬레이터 1대당 사고발생 건수)은 0.8~1.8 %의 범위로 다소 감소하는 추세이며, '발판 끼임'과 '전도'의 예가 보여지고 있다. [표 2]에는 에스컬레이터의 끼임 사고에 관한 조사결과가 나타나 있다. 2005년도의 동경시의 에스컬레이터 사고의 피해자 수는 1,199명으로 엘리베이터 사고(112명)의 약 10배이다. 최근에도 사고가 많이 발생하는 장소는 역사이며, 피해자 수는 702명이고 이 중 65세 이상의 고령자가 333명으로 약 60 %를 차지하고 있다. 일본의 에스컬레이터의 설치대수는 1999년 말에 50,569대, 현재는 약 55,000대에 달하고 있다.

[표 1] 에스컬레이터의 설치대수와 인명사고 실태

조사기간		1978.1 ~1979.12	1983.1 ~1984.12	1988.1 ~1989.12	1993.1 ~1994.12	1998.1 ~1999.12	
사 고 내 역	굴러 떨어짐	15	2	11	14	11	
	충돌(천장)	58	31	20	16	22	
	끼임	발판	102	83	68	99	75
		손잡이	59	41	38	42	46
	전도	65	94	64	112	197	
합계*		323 [†] (299)	292 [†] (251)	232 [†] (201)	322 [†] (283)	420 [†] (351)	
대상대수		18,193	23,286	28,831	38,664	50,569	

※역자 주) †: 원문에 표기된 사고내역의 합계, (): 사고내역의 실제 합계임.

[표 2] 에스컬레이터의 끼임 사고

조사 기간	1993.1 ~ 1994.12	1998.1 ~ 1999.12	2003.1 ~ 2004.12	2006.4 ~ 2007.7
스파, 백화점	48	34	50	34
역, 공항	10	11	12	14
극장, 호텔 등	10	5	29	14

3. 에스컬레이터 화재의 실태

킹스크로스역 화재는 이용자가 버린 성냥으로 추정되는 발화원이 에스컬레이터의 하방에 떨어져서 기계에 부착된 그리스와 분진 등에 착화되고, 에스컬레이터 나무 재질의 측판과 발판으로 전파되어 단번에 연소확대된 사례이다. 이와 유사한 사례로서 은폐된 부분

에서의 화재는 영국 그랜드호드 축구경기장 화재(1985년 5월 11일 발생, 사망자 53명)의 예가 있으며, 관객석 아래에 흩어져 있던 신문지 등이 불타오르면서 의자에서 하드보드재질의 천장으로 화염이 성장하고 그 천장면 아래로 화염이 급속히 전파확대 되어 대참사로 이어진 화재였다.

일본에서는 2008년 2월 12일 화요일 저녁 8시 50분 경 오사카시의 지하철 센니치마에(午日前)선 난빠(難波)역에서 에스컬레이터 모터의 과열로 인한 화재사태가 있었는데, 출화로 인해 주변의 기름과 분진에 불이 붙어 발생한 대량의 연기가 개찰층으로 확산되고 역내의 소방대가 상방에서 방수했지만 진화에 시간이 걸렸던 화재이다. 이처럼 기계의 보이지 않는 부분과 그 주변의 청소를 충분히 실시하지 않으면 출화확대의 위험성이 증가한다.

[표 3]은 1987~1993년의 에스컬레이터 화재현황으로 연평균 1.9건이 발생하였다. 1987~1994년은 평균 설치대수를 (사)일본엘리베이터협회가 파악하는 추정 평균 보수 대수인 약 4만대로 하면, 연간 화재발생률은 약 0.005%가 되며 일상적인 인명사고 발생률의 1/200 정도가 된다. 그러나 만일 화재가 발생하면 대형참사가 일어날 수 있는 위험성도 있다. 즉 전국과 동경의 설치대수(전국/동경)는 2000년이 50,925/9,754, 2003년 51,240/9,939, 2005년 53,569/10,890 가 되고 동경의 설치대수는 전국의 약 1/5를 차지하고 있다.

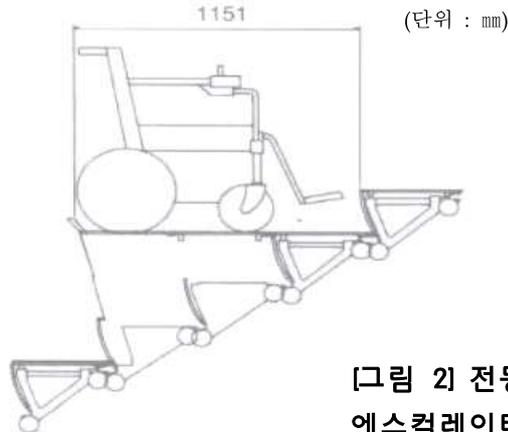
[표 3] 계단 또는 에스컬레이터 부근의 화재현황

연도		1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
화재 건수	계단	165	190	197	207	206	220	208	207	217	227
	에스컬레이터	2	1	1	1	2	1	4	1	2	4

4. 에스컬레이터 피난의 기술적 검토

4.1 휠체어 사용 에스컬레이터의 구조

에스컬레이터는 설치각도가 수평이면 움직이는 보도가 되고, 설치각도의 30도 정도를 한도로 하면 상하층으로 이동하는 장치가 된다. 휠체어 또는 전동 삼륜차의 길이는 1,151 mm (폭은 자주용으로 60~65 cm) 이고, 발판의 크기는 약 30 cm가 되기 때문에 2개의 발판을 높여서 3개의 발판을 수평으로 하면 [그림 2]처럼 휠체어에 의한 이동이 가능해진다. 에스컬레이터의 배선은 내화전선으로 하고 출화에 대비하여 구동모터 설치부분에는 소형 자동소화기를 부착한 비상용 전원을 갖추는 것이 바람직하다.



[그림 2] 전동 휠체어 사용자용 에스컬레이터의 사양(JIS T 9203 - 1987)

4.2 휠체어 사용자 수의 산정

800대의 주차장을 갖춘 판매점포(매장면적 : 1층 9,120 m², 2층 9,607 m²)의 중앙부에 에스컬레이터를 설치하고 휠체어 사용자가 에스컬레이터를 이용하여 피난하는 경우를 고려한다. 휠체어 사용자는 승용차로만 방문하고 1명만 승차하는 것으로 가정하면, 휠체어 사용자수 N_w 는 담당실무자회의의 유도기준에 따르는 총 주차대수 N_p 를 근거로 아래와 같이 산정될 수 있다.

- 휠체어 사용자 수(N_w) : N_p 가 200대 이상일 때, $N_w \geq N_p \times 1\% + 2$ (1)
 N_p 가 200대 미만일 때, $N_w \geq N_p \times 2\%$ (2)
- 가상의 사용자 수(N_{pw}) : $N_{pw} = N_w \times \alpha$, α 는 안전율로 여기에서는 2로 한다. (3)
- i 층에 있는 휠체어 사용자 수(N_{ipw}) : $N_{ipw} = N_{pw} \times (M_{if}/M_{otf})$ (4)

따라서, 이 판매점의 주차대수를 800으로 하면 휠체어 사용자수는 식(1)에 의해 $800 \times 1\% + 2 = 10$ 인 이상이 되고, 2층 휠체어 사용자 수는 식(3) 및 (4)에 의해 $2 \times 10 \times (9,607/18,727) = 11$ 인 것으로 산정된다. 이 사람들의 피난경로 배분은 출화점과 계단의 배치에 의하지만, 여기에서는 외주역(外周域)의 계단에서 도움을 받아 피난하는 사람 5인, 남은 사람 6인이 에스컬레이터를 사용하는 것으로 한다. 에스컬레이터는 교차형 배치를 하면 양 측면에서 이용 가능하여 3인씩 각각의 측면에서 피난할 수 있다.

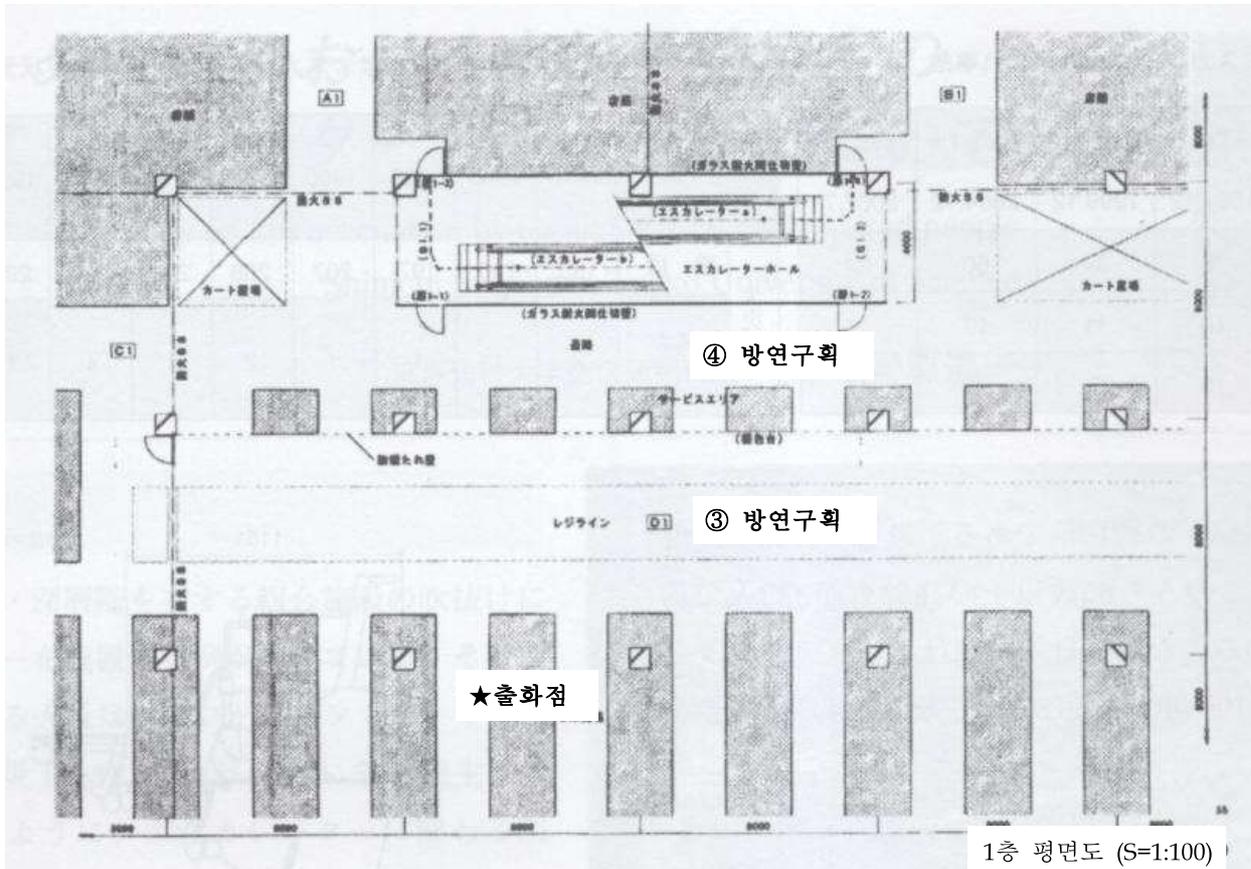
4.3 휠체어 사용자의 아래층으로의 이동 시간

층고 5m의 경우 휠체어용 3단형 에스컬레이터에 대해 일본엘리베이터협회가 실시한 각종 실험 수치로서 아래의 예가 있다.

- 직원 호출 시간 : 70초/대(정지시), 39초/대(가동시)
- 휠체어 사용자의 탑승시간 : 10초
- 운전시간 : 56초/대
- 에스컬레이터 아래층으로의 또는 유도 도우미의 상층부로의 이동시간 : 30초

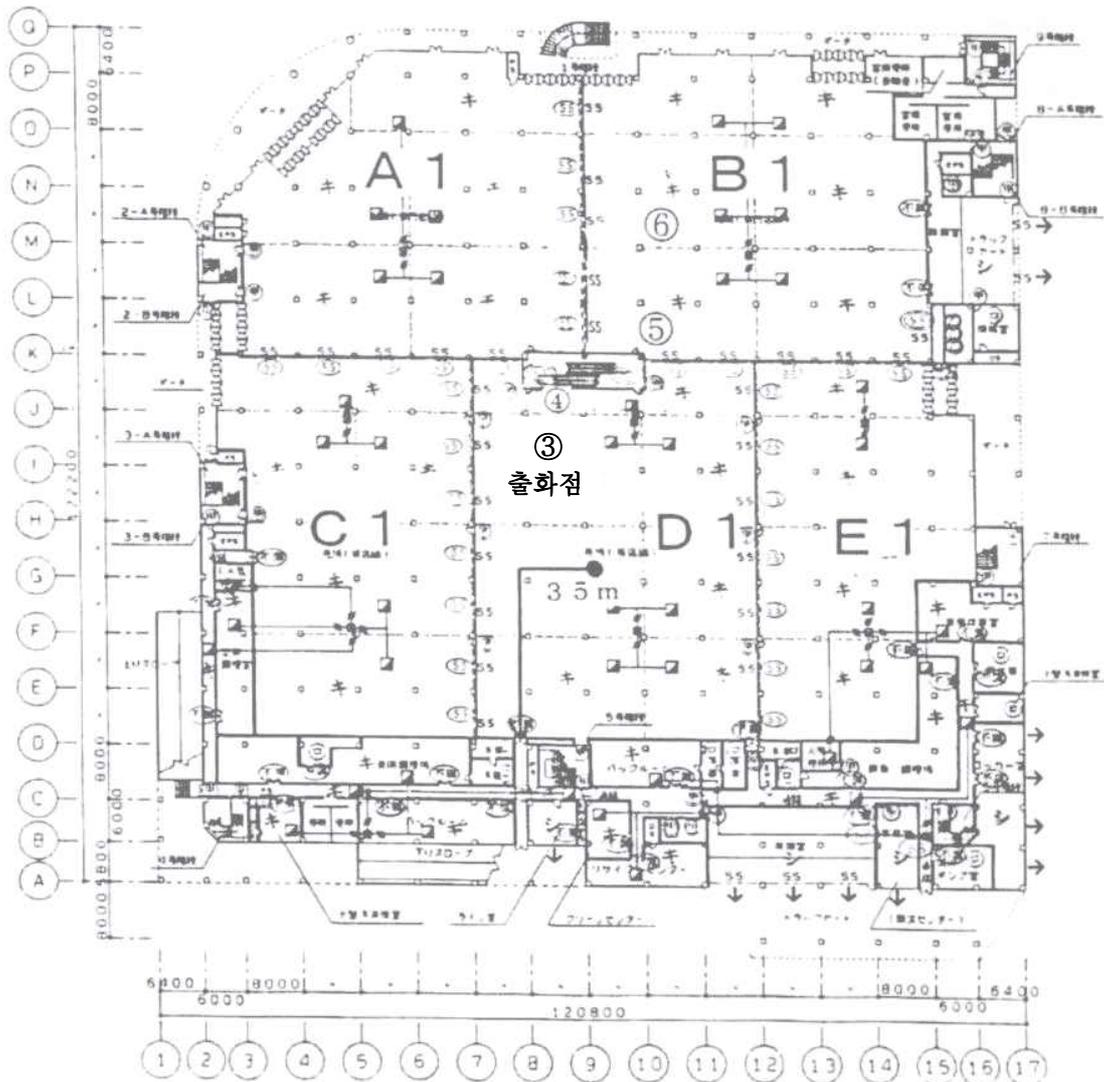
패닉방지를 위해 이 에스컬레이터(방화·방연구획 됨)를 사용해서 우선 일반재실자가 피난하고 그 후 휠체어 사용자가 피난하는 시나리오로 한다. [그림 3-a, b]에 나타난 케이스에서는 일반재실자군의 층 피난경로예측시간은 303초(계산생략 : 피난안전설계법1)에 의한다), 에스컬레이터에서의 아래층 이동시간은 30초이기 때문에 일반재실자군의 아래층 전체 이동시간은 303+30=333초가 된다. 또한, 휠체어 사용자 3인의 하단층 이동시간의 합계는 (70+10+56)+(39+30+10+56)+(39+30+10+56)=406초가 된다.

이상에서 2층에서 전원이 1층으로 피난하기 위한 소요시간은 333+406=739초가 된다.



[그림 3-a] 에스컬레이터 이용 휠체어 피난 케이스 스터디 화원근접도

1) 피난개시시간 : 문헌*에 의해 출화구획 내에서는 연기층이 천장높이의 95%까지 강하한 시점, 그 외의 구획에서는 화재결정의 비상방송이 된 시점으로 한다.



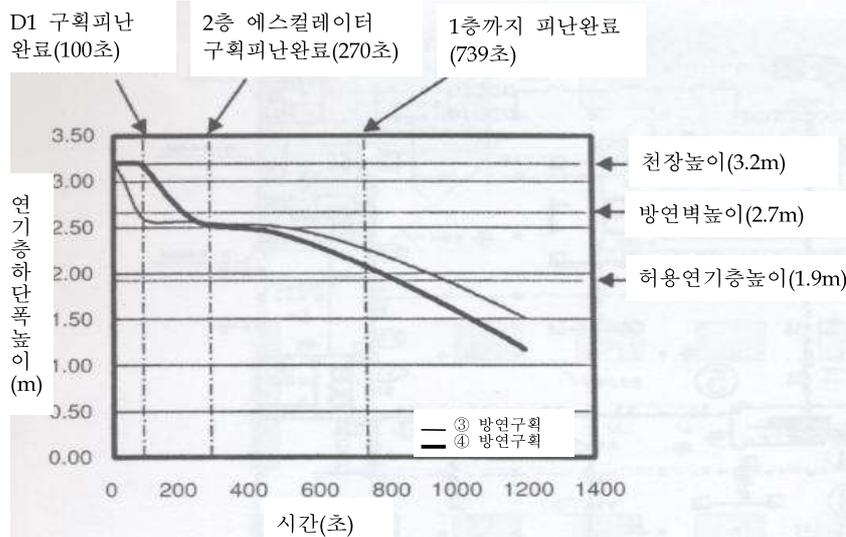
[그림 3-b] 에스컬레이터 이용 휠체어 피난 케이스 스터디 도면

4.4 연기 허용강하 높이와 소요 피난시간

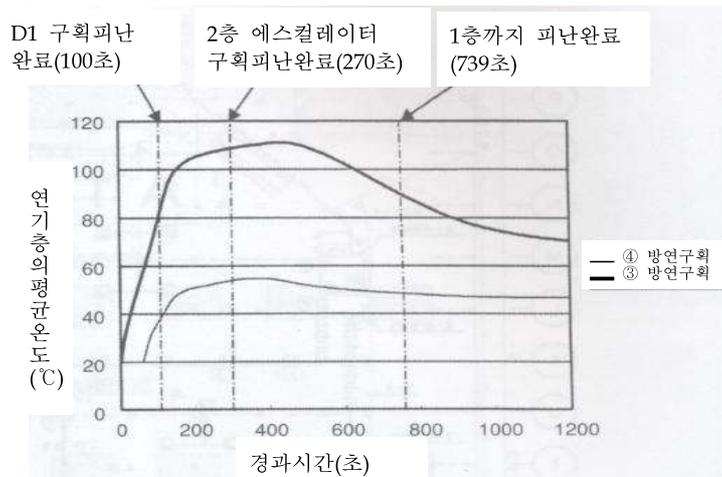
전체 재실자가 2층에서 1층까지 이동하는 소요시간인 739초 사이의 1층 및 2층의 연기 강하 위치는 문헌*에 의해 계산하고, 이것과 각 구획에서의 피난완료 시간을 비교한 결과가 [그림 4]이다. 즉, 설계 화원은 문헌*에 따라 No.2를 채용했다. 이를테면 0~120초 (0→750kW), 120~320초 (750kW→25MW), 320초 이후(25MW)로 직선적으로 변화하지만, 이 화원에 의해 최대경계범위로 2.6 m 떨어진 천장높이 3.2m의 위치에 있는 스프링클러(작동온도 72°C, RTI(응답시간지수) 50)의 작동시간은 문헌*에 의해 NIST Hazard I로 계산해서 119초가 되기 때문에 스프링클러 작동 이후의 화원은 750 kW를 유지하는 것으로 했다.

허용 연기층 높이 S는 문헌*에 따라서 $S > 1.6 + H/10$ 에 의해 1층에서는 $1.6 + (3.2 - 0.5)/10 = 1.9$ m 로 했다. 즉, H는 평균 천장높이이다. 이상에서 1층에서의 연기층

이 1.9 m 까지 강하하는 시간은 약 800초이며, 전원이 1층까지 피난을 완료하는 시간 739 초보다도 길기 때문에 연기가 피난을 방해하지 않는다고 판단된다.



[그림 4] 연기강하 시간과 피난완료 시간



[그림 5] 연기층의 평균온도 변화

4.5 에스컬레이터 구획의 구조

연기 층의 평균온도의 계산결과를 [그림 5]에 나타냈다. 2층에 있어서 에스컬레이터 구획에의 휠체어 사용자의 도달완료시간은 피난개시시간(화재결정 비상방송 시간) 190초2와 이동시간 80초로부터 270초가 된다. 이 시점에서의 에스컬레이터 구획에 접한 1층 연

2) 화재결정 비상방송 시간 = 감지시간 30초 + 방재요원 준비시간 60초 + 긴급출동시간 110/3 + 화재확인시간 60초 = 190초

기층의 평균온도는 [그림 5]에서 약 55℃가 된다.

따라서, 이 연기층에서의 최대 방사열류속은 $5.67 \times 10^{-11} \times (273+55)^4 = 0.66$ 이 된다. 또한 연기층 부분과 피난자와의 형태계수는 [그림 2-b]에서 천장고 3.2m, 구획의 폭 4m와 피난자와의 거리 0.5m로부터 구해지는 0.018이 된다. 그러므로 피난자가 받는 입사열류속 r 은 $0.66 \times 0.018 = 0.012 \text{ kW/m}^2$ 가 되고 휠체어 사용자의 1층으로의 소요이동시간은 66초(승차시간 10초 + 이동시간 56초)가 되기 때문에, 문헌*에 의해 I^2 를 0에서 66까지 적분한 값이 $5 \cdot 10^2$ 미만이 되면 연기층으로부터의 방사열의 영향은 없다고 판단된다. 여기에서 $r > 5$ 이면 $I = r - 0.5$, $r \leq 5$ 이면 $I = 0$ 이 되므로 $I = 0$ 이 되는 방사열의 영향은 무시할 수 있다. 즉 [그림 5]에서 연기층의 평균온도는 110℃가 된다.

이상이 성립하기 위한 에스컬레이터 구획의 구조는 [그림 4]에서 보듯이 1층까지 피난이 완료하는 시점에서 방화셔터와 방화문의 위치까지 연기층이 강하하고 있으므로 차연 성능이 요구된다. 또한 소방활동을 지원하기 위해 1시간 정도의 내화성도 필요하다.

5. 에스컬레이터의 사양과 각종 규제·규격 등

일본의 에스컬레이터와 관련된 인명사고에 대해서는 2장에서 기술한대로 고령자 인구의 증가와 함께 전도사고가 증가하는 경향이다. 휠체어 사용자용 에스컬레이터는 휠체어 사용자 및 부축하는 사람이 자유롭게 이용할 수 있는 상황은 아니어서, 화재 등의 긴급 시에는 자위소방대원 등 훈련을 받은 사람이 도울 필요가 있다. 방재센터가 설치된 규모의 건축물에서는 에스컬레이터의 운행상황을 상시 감시하고 필요한 경우는 센터에서 정지시킬 수 있는 기능을 수반하더라도 현장 확인을 전제로 이용하는 것이 안전상 좋다. 에스컬레이터의 기본 사양을 [표 4]에 나타냈다.

일본 건축기준법에서는 에스컬레이터는 피난시설로서 규정되어 있지 않다. 다만 역사시설에서는 계단 강하 정지조치가 되어있는 경우는 피난로로 보는 해석이 있지만, 비상시의 경우는 극력 운전을 속행한다. 연기감지기 연동에서 정지시에 사용금지 하는 등 취급하는 방법은 각각이다. 다만, 정지 시에는 공통적으로 통행금지를 원칙으로 하고 있다. NFPA 130 (고정안내로 운송시스템 기준)에서는 중요경로가 아닌 경우, 정지 에스컬레이터를 피난계단으로 계획하면 좋다고 규정하고 있다. 또한 계단이 없는 에스컬레이터만 설치된 역사시설에서는 비상용 전원을 설치하여 비상시에도 운전을 속행하면 좋다고 하는 예도 있다.

본 고에서의 운전방법은 일반적으로 비상시에는 휠체어 사용자만이 이용가능하다는 취지를 주지시키기 위해, 비상시에 유도원이 에스컬레이터를 일단 정지시켜서 휠체어 사용자를 승차시킨 후 피난방향으로 재발진시키는 것을 반복하는 것이다. 건축기준법 제12조 제3항에서는 동법 제88조 제1항에 규정하는 승강기를 정기검사하고 보고하는 취지를 규정하고 있다. 2000년에는 건축기준법이 개정되어 에스컬레이터의 교차부에 고정적 보호판을 의무적으로 설치하도록 하였다. 또한 JEAS-A406 「에스컬레이터 주위부의 안전대책과 관리표준」(일본에스컬레이터협회)이라는 자체규정도 있다.

[표 4] 휠체어 이용 에스컬레이터의 기본사양

항목	내용	
형식	1200형(휠체어 발판 부착)	
경사각	30도	
발판 폭	1004mm	
속도	통상운전시	30 m/min
	휠체어 승차시	정지
	휠체어 정격운전시	30 m/min
	휠체어 정지시	7.5 m/min 이하
운전방식	조작키에 의한 승강가역식(휠체어 운전 부착)	
휠체어용 발판	승강기 운전시(발판 수평 3매 일조 연결형)	
이용 가능 휠체어	JIS T 9201(수동휠체어) 규정	

6. 맺음말

에스컬레이터는 세계 각국에서 많이 사용되며 수출입도 활발하다. 따라서 에스컬레이터의 화재시의 사용가능여부, 가능한 경우의 사용방법 등 안전성에 관한 각국 공통의 평준화된 기본적 합의(Essential Requirement)가 제정될 필요가 있으며, 이와 관련하여 ISO/TC178/WG5(에스컬레이터 안전)에서도 GESR(Global Essential Safety Requirements)가 논의되고 있다. 에스컬레이터의 안전성은 기계장치, 설치공간·공급전원·유지관리방법 등 다양한 산업분야가 관련되어 확보되는 것이 중요하다. 그 의미에서도 본고에서 서술한 휠체어 사용자의 화재시의 활용법은 참고가 될 것이다.

※ 역자 주 : 본문에 언급된 문헌은 [일본건축센터 : 건축물의 종합방화설계법(Ⅲ) 「피난 안전설계법」]이며, 저자가 서두에서 밝힌 바와 같이 (재)일본건축방재협회의 기술평가보고서를 기본으로 작성된 글이므로 중간 계산과정 생략 등으로 인하여 본론 <4. 에스컬레이터 피난의 기술적 검토>의 세부적인 이해에 어려움이 수반될 수 있음을 양지하시길 바랍니다.

📁 **참고자료**

NFPA-130:2003 고정안내로 운송시스템

5-5.4 에스컬레이터(Section C-2 참조)

5-5.4.1 에스컬레이터는 다음의 기준을 충족하면 역에서의 비상출구로 허용된다.

- (1) 에스컬레이터는 불연성 재료로 제조되어야 한다.
- (2) 출구방향으로 작동하는 에스컬레이터는 작동상태로 남겨 둘 수 있다.
- (3) 출구 반대 방향으로 작동하는 에스컬레이터는 원격, 수동 또는 자동으로 세울 수 있어야 한다 (Section C-2 참조).

5-5.4.2 에스컬레이터는 중간 기착을 하든 하지 않든 수직 상승에 관계없이 비상출구로 받아들여야 한다.

5-5.4.3 만약 에스컬레이터가 외부환경에 노출된다면 착륙점과 바닥판은 미끄러지지 않는 표면을 가져야 한다. 그리고 또한 빙점온도에 노출되었다면 착륙점과 바닥판 그리고 계단은 그 지역이 얼음이나 눈에 구애받지 않도록 가열되어야 한다.

Section C-2 에스컬레이터

ANSI/ASME A17.1은 에스컬레이터의 설계를 통제하는 것으로 일반적으로 가장 엄격한 합의 기준 가운데 하나라고 인식되고 있다. 그러나 급행 수송역에서 에스컬레이터가 가지는 심각한 운영상의 성격을 생각해 볼 때 추가적인 안전특성을 갖춘 특별히 고안된 장치가 제공되어야 한다.

위층 하차장의 수평 층계의 수는 에스컬레이터의 수직 높이에 비례하여 증가되어야 한다. 6.1 m(20 ft)까지의 높이에 대해서는 제작자의 표준 수평 층계 수를 사용하라. 6.1 m(20 ft)에서 18.3 m(60 ft)까지의 높이에 대해서는 세 개의 수평 층계를 이용하고, 18.3 m(60 ft) 이상에 대해서는 4개의 수평 층계를 이용하라.

원격감시판넬이 역 내에 설치되어 각 에스컬레이터의 다음 사항을 표시해야 한다.

- (1) 이동방향
- (2) (하나 이상일 경우) 작동속도
- (3) 운전정지상태
- (4) 안전장치의 작동으로 정지된 에스컬레이터를 표시하는 점멸등

만일 원격감시소에서 전체 에스컬레이터를 볼 수 있거나 작동정지가 적절한 경보가 선행될 때까지 지체되는 경우에는 원격정지장치가 설치되어야 한다.

출처 : 견제시험정보 (일본견제시험센터 2008.8)

번역 : 업무지원팀 여한승