

# 에스컬레이터 스텝 및 수평보행기 팰릿의 수명시험방법 개발

임창근<sup>1</sup>, 원민호<sup>1</sup>, 강인구<sup>1</sup>, 박정원<sup>2</sup>, 함중걸<sup>2</sup>

1. 산업기술시험원 기계소재본부, 2. 산업기술시험원 신뢰성종합기술지원센터

## Development of Life Test Methods for Assessment of Escalator Steps and Moving Walk Pallets

Chang-Keun Lim<sup>1</sup>, Min-Ho Won<sup>1</sup>, In-Goo Kang<sup>1</sup>, Jung-Won Park<sup>2</sup>, Jung-Keol Ham<sup>2</sup>

1. Korea Testing Laboratory, Machinery & Material Center,

2. Korea Testing Laboratory, Reliability Technology Center

### 초록

에스컬레이터 스텝 및 수평보행기 팰릿의 가속수명시험 국제 기준인 5백만회 시험 조건 및 하중조건의 등가 현장 수명에 대한 근거를 산출하였다. 업체 및 산기원의 시험 데이터로부터 Weibull 모델을 추정하여 분석한 결과 에스컬레이터 스텝 및 수평보행기 팰릿의 형상모수가 각각 2.4~2.6 및 2.7~2.8로 산출되었다. 이 형상모수를 이용하여 본 연구에서 대상으로 한 에스컬레이터 스텝 및 수평보행기 팰릿의 B<sub>10</sub> 수명이 각각의 목표 수명 7년과 6년을 보증할 수 있음을 확인하였다.

### 1. 서론

에스컬레이터와 수평보행기는 인텔리전트 빌딩이 보편화되어 있는 이 시대에 사는 현대인들의 자동차 다음으로 흔하게 접할 수 있는 이동 수단이다. 이용객들이 많은 만큼 이동수단에 빠지지 않고 등장하는 것이 바로 안전사고이며, 승강기의 많은 사고들이 보수불량에 의하여 발생하기 때문에 모든 안전 혹은 운행과 관련된 부품에 내구수명이 명시되어 있어야 함에도 불구하고 현재 대다수의 국내 업체는 육안검사에 의존하고 있는 실정이다. 특히 에스컬레이터나 엘리베이터의 사고 중 유아나 어린이들의 신체 일부 및 의복의 일부가 스텝 및 팰릿에 끼어서 발생하는 사고가 빈번하게 일어나고 있다. 이와 관련하여 유럽의 EN115나 북미의 CSA B44/A.17 등에서 해당 스텝

및 펠릿에 대한 내구성 시험을 요구하고 있으나 국내에는 이에 대한 기준이 없으며, 특히 하중조건 및 해당 내구성 시험에 대한 등가 수명에 대한 연구가 되어 있지 않아 스텝 및 펠릿의 현장 보증 수명도 없는 상태이다.

본 논문에서는 스텝 및 펠릿의 수명에 영향을 미치는 부하조건 및 수명에 관하여 고찰하고 현장 등가 수명을 만족하기 위한 시험 횟수 및 이에 따른 하중조건을 보다 명확하게 추정하여 현장 등가 수명을 구체적으로 제시하고자 한다.

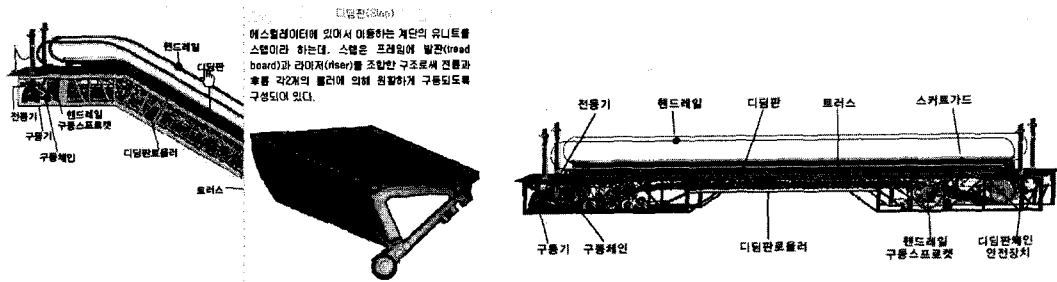


그림 1 에스컬레이터 및 수평보행기

## 2. 유럽 및 북미 기준 분석

본 논문과 관련한 시험조건은 유럽의 EN115나 북미의 CSA B44/A.17 기준을 근간으로 하였다. 또한, 국내 모업체의 외국외뢰 시험 자료와 KTL의 신뢰성 인증 시험 자료를 같이 분석하여 형상모수와 특성 모수의 존재 범위를 확인 할 수 있었다.

우선 양국의 기준 중 펠릿 및 스텝의 내구성 시험 및 시험부하조건에 대한 내용은 다음과 같다.

- ▶ EN115(1995) : 500~3000N, 5~20Hz, 5,000,000회 반복시험 요구
- ▶ CSA B44/A.17 : 455~2955N, 10±5Hz, 5,000,000회 반복시험 요구

내구성 시험 조건은 시험부하하중 및 횟수(등가 수명)로 나누어지며 각 조건의 설정 배경은 다음과 같다.

### 2.1 하중조건

하중조건에 대한 근거는 유럽(CEN)이나 북미(CSA, ASME)등에 질의를 해도 경험상이라는 답변 밖에 받을 수가 없어서, 다음과 같이 모델링을 하여 검증하였다. 해당 부과하중은 그림 2과 같이 스텝의 중심에서 받는 등가하중( $W_C$ )이며 식 (1)로 주어진다.

$$W_C = 0,5 \times (W_A + W_B) \quad (1)$$

여기서, 일반적인 사람의 몸무게는 75 kg(736 N, 엘리베이터 및 에스컬레이터 설계기준)이며, 여기에 손으로 들고 탑승을 할 수 있는 짐의 최대 무게는 20 kg(196 N, 엘리베이터 및 에스컬레이터 설계기준)이며,  $P_1$ (그림 2)이 스텝(혹은 펠릿) 위에 있을 경우  $W_A$ 는 승객의 무게 75 kg(736 N)와 짐의 무게 20 kg(196 N)의 합인 95 kg(932 N)으로,

$W_C$ 는 식 (1)에 의하여 466 N이 된다. 여기서 구한 466 N은 반복 하중 부과시간 중 스텝에 항상 가해지는 하중이다. 이 때  $P_2$ (그림 1)가  $P_1$ 이 디디고 있는 스텝을 밟고 지나간다고 가정하고,  $P_2$ 에 의한 등가 동 하중은 식 (2)를 통하여 구할 수 있다.

$$W_B = M \times (h / l_d) \quad (2)$$

단,  $W_B$ 은 등가 동 하중,  $M$ 는  $P_2$ 의 하중인 736 N,  $h$ 는 일반적인 사람이 보행으로 스텝에 가하는 충격에 대한 등가 자유낙하 높이인 20 mm(하강 방향 운행 시),  $l_d$ 는  $W_A$ 가 부과된 조건에서 스텝의 최대 허용 변형량인 3 mm이다.

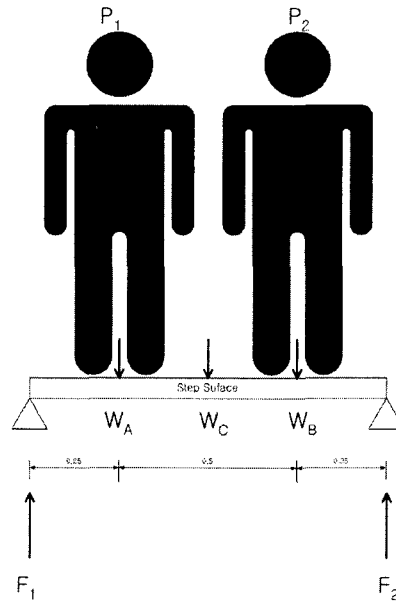


그림 2 부과 하중 분석도

최대 허용 변형량을 3 mm로 정의한 것은, 4세 기준 유아의 신체 중 가장 얇은 부분인 손가락을 기준으로 한 것으로 스텝(혹은 펠릿)간의 최대 허용 틈새인 4 mm에 처짐량이 3 mm 이하가 되어야 아이들의 손가락이 들어가는 것을 방지 할 수가 있다.

식 (2)에서  $P_2$ 에 의한 등가 동 하중은 4 907 N( $W_B$ )이다.  $W_A$ 와  $W_B$ 값을 이용하여 식 (1)에서  $W_C$ 를 구하면 2 919 N이 된다. 즉, 현장에서 에스컬레이터 스텝에 하중이 부과될 경우 466 N( $P_1$ 에 의한 하중) ~ 2 919 N( $P_1$ 에 의한 정 하중 +  $P_2$ 에 의한 등가 동 하중)의 하중과 같다는 것을 알 수가 있다. 단, 해당 시험을 시험실에서 재현할 경우 일반적으로 국제 기준에서 권고하는 하중 조건인 500 N ~ 3 000 N 선택하도록 한다.

그림 3은 부과하중의 파형을 나타낸 것으로 본 시험에서는 국제기준에서 권장하는 시료에 충격을 가하지 않고 하중을 반복적으로 가할 수 있는 조화하중을 선택하였다.

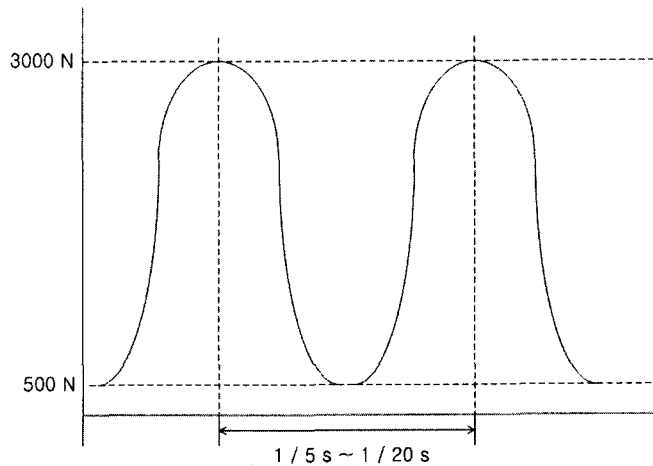


그림 3 반복하중 그래프

## 2.2 등가 수명

현장 등가 수명을 계산하기 위한 조건은 표 1 및 표 2와 같다. 에스컬레이터의 경우는 쇼핑센터에 가장 많이 설치가 되어 있으며, 수평보행기는 대형마트에 주로 설치되어 있고, 운행 빈도도 가장 높기 때문에 해당 장소의 조건을 가정하여 현장 등가 수명을 계산하였다. 계산에 의하면 수평보행기 쪽이 에스컬레이터보다는 훨씬 높은 빈도를 가지며 각 5백만 사이클 수명에 대한 등가 수명은 각각 7년과 6년이 됨을 알 수가 있다. 모델로 제시한 운행 조건은 가장 운행 빈도가 높은 시간을 유지하면서 등가 수명을 계산한 것이다.

표 1 스텝 수명 및 시험시간 계산

조건	스텝 이론 수명( 7년)
-설치장소 : 쇼핑센터	-1주 6일:11 h 운행 ( 9:00~20:00)
-35°, 층고 4,5 m	-1주 1일: 9 h 운행 ( 9:00~18:00)
-속도 : 0,5 m/s(30 m/min)	*7년×52주×(6 d×11 h+1 d×9 h)
-스텝 하중부과 가능 시간	= 27 300 h ≙ <b>28 000 operating hours</b>
= 주행시간 / 2	* 등가 사이클 = 28 000×(3 600 / 2)×0,1 Hz
-하중부과시간 중 계단으로 이용되는 시간	≙ 5×10 <sup>6</sup> (디딤)사이클
= 0,1회/초 (0,1 Hz)	

표 2 펠릿 수명 및 시험시간 계산

조건	펠릿 이론 수명(6년)
-설치장소 : 대형할인매장 -12. , 층고 4,5 m -속도 : 0,5 m/s(30 m/min) -펠릿 하중부과시간 = 주행시간 / 2 -하중부과시간 중 계단으로 이용되는 시간 = 0,1 회/초 (0,1 Hz)	-1주 6일:13 h 운행 (10:00~23:00) -1주 1일:10 h 운행 (10:00~20:00) *6년×52주×(6 d×13 h+1 d×10 h) = 27 456 h ≒ <b>28 000 operating hours</b> * 등가 사이클 = 28 000×(3 600 / 2)×0,1 Hz ≒ <b>5×10<sup>6</sup>(디딤)사이클</b>

### 3. 형상모수 결정

와이블 분포의 형상모수( $\beta$ )를 결정하기 위하여 업체의 시험 결과를 분석하였다. 표 3은 A업체에서 자사의 스텝에 대한 수명 시험을 한 결과와 KTL에서 수행한 신뢰성 시험 결과이다.

표 3 스텝 수명시험 자료

	수명시험횟수 (Cycles)	해당 시료 수	정시 중단(0) 및 고장(1)	비고
1	29 840 000	1	1	A업체 시험 자료
2	32 450 000	1	1	
3	26 860 000	1	1	
4	25 000 000	1	0	
5	5 000 000	4	0	
6	7 220 000	1	1	
7	10 570 000	1	1	
8	8 000 000	4	0	신뢰성 시험 자료
9	14 430 000	1	1	
10	8 000 000	4	0	
11	39 525 000	1	1	
계		15		

표 3의 자료로부터 MINITAB을 이용하여 와이블 도시(Weibull plot)를 하면 그림 4와 같이 형상모수( $\beta$ , shape parameter)를 구할 수 있다. 실제로 시험의 결과에 따라 형상모수가 조금씩 변동을 보이고 있으나, A업체 시험 자료로부터 추정된 형상모수(Case 1)와 A업체 시험자료와 KTL에서 수행한 신뢰성 시험 자료를 함께 이용하여 추정된 형상모수(Case 2) 모두 2.4~2.6범위에 존재하며 고장시간 분포도 거의 비슷한 것을 알 수가 있다.

Probability Plot for Cycles for Failure of Case 1 - Cycles for Failure of Case 2

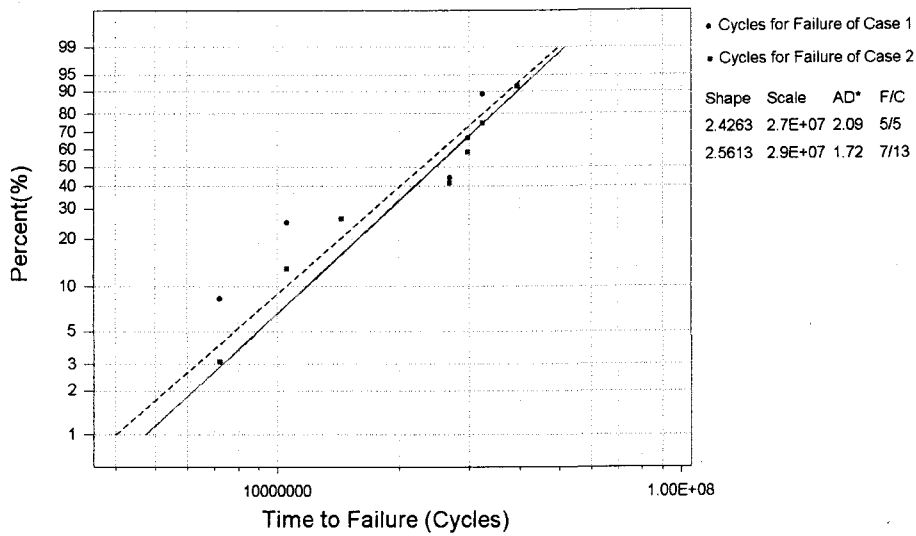


그림 4 스텝 고장 수명에 대한 와이블 도시

표 4는 B업체에서 자사의 팰릿에 대한 수명 시험을 한 결과와 KTL에서 신뢰성 시험 결과이다.

표 4 팰릿 수명시험 자료

순서	수명시험횟수 (Cycles)	해당 시료 수	정시 중단(0) 및 고장(1)	비고
1	30 100 000	1	1	B업체 시험 자료
2	27 200 000	1	1	
3	12 500 000	1	1	
4	21 100 000	1	1	
5	8 600 000	1	1	
6	5 000 000	4	0	
7	25 000 000	1	0	
8	8 000 000	4	0	신뢰성 시험 자료
9	37 960 000	1	1	
계		15		

표 4의 자료로부터 와이블 도시(Weibull plot)를 이용하면 그림 5와 같이 형상모수 ( $\beta$ , shape parameter)를 구할 수 있다. 역시 B업체 시험 자료로부터 추정된 형상모수 (Case 1)와 B업체 시험자료와 KTL에서 수행한 신뢰성 시험 자료를 모두 이용하여 추정된 형상모수(Case 2)가 2.7~2.8의 범위에 존재하며 고장시간 분포도 거의 비슷한 것을 알 수가 있다.

Probability Plot for Cycles for Failure of Case 1 - Cycles for Failure of Case 2

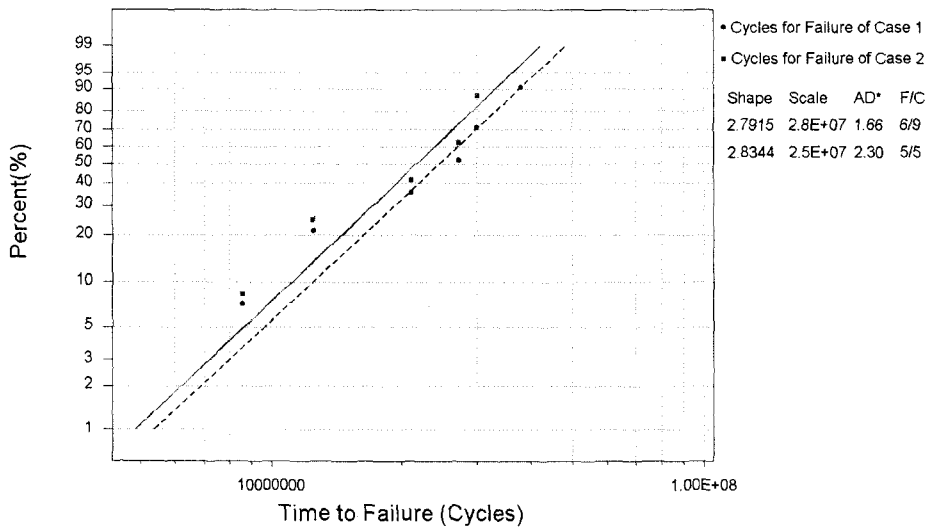


그림 5 펠릿 고장 수명에 대한 와이블 도식

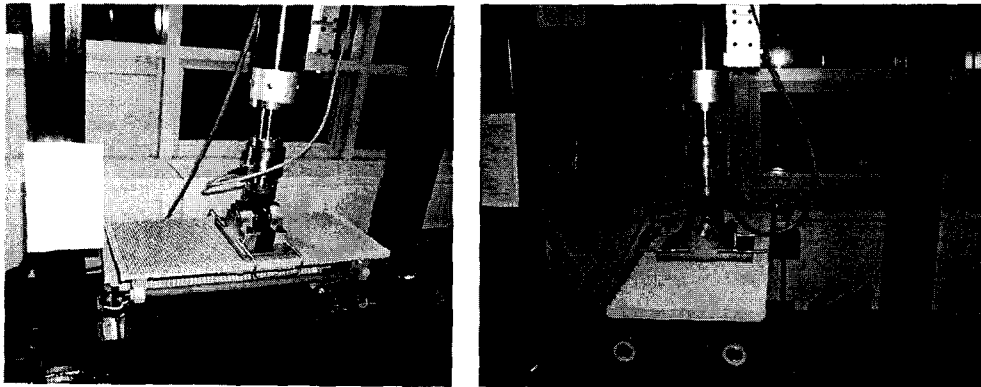


그림 6 스텝 및 펠릿 내구성 시험

#### 4. 수명 보증을 위한 시험 설계

앞 절에서 구한 와이블분포의 형상모수를 적용하여 **CSA B44/A.17-1**와 **EN 115**에서 명시한 28 000 작동시간(operating hours,  $5 \times 10^6$  사이클)을 보증하기 위한 시험을 설계하였다. 이 때, 28 000 작동시간이 어떤 수명을 기준으로 하는지 명확한 정의가 없으므로 본 논문에서는 보증하고자 하는 28 000 작동시간을 사용자가 통상 수명으로 생각하는 개념을 반영한  $B_{10}$  수명으로 정의하고 시험을 설계하였다. 보증시험의 설계는 그림 7과 같은 절차를 따랐다. 먼저 신뢰성 평가적도는  $B_{10}$  수명으로 결정하고, 목표값은 **CSA B44/A.17-1**와 **EN 115**에서 명시한 28 000 작동시간으로 정하였다. 신뢰수준은 통상 산업계에서 많이 적용하고 있는 90%로 정하고, 시험조건은 **CSA B44/A.17-1**와 **EN 115**에서 제시한 조건을 적용하였다. 허용 고장 수는 시료 수를 최소화하기 위하여

0으로 결정하고 시험시간과 시료 수를 식(3)을 통하여 통계적으로 결정하였다 (김명수와 유동수, 신뢰성평가를 위한 기본 개념과 시험조건 결정, 제2회 부품·소재 신뢰성워크샵, 2001).

$$n \geq (\tau^*/T)^\beta \times \chi_{1-\alpha}^2((c+1)/2) \times 1/\ln(1-p)^{-1} \quad (3)$$

단,  $n$ 은 시료수,  $\tau^*$ 는 보증하고자 하는  $B_{10}$ 수명,  $T$ 는 시험시간,  $c$ 는 허용고장 수,  $\beta$ 는 와이블분포의 형상모수,  $\alpha$ 는 신뢰수준,  $p$ 는 10%가 고장나는 수명을 평가척도로 정하였으므로 0,1이다.



그림 7 보증시험 설계 절차

식(3)에서 우선 시료는 업체에서 1개의 로트로 처리하는 5개를 기준으로 하고, 시험시간을 계산하였다. 스텝의 경우 형상모수를 3항의 결과에 따라 2.4~2.6을 적용하면 시험사이클 수가 약  $9 \times 10^6$  사이클이 되며, 팰릿의 경우 형상모수가 2.7~2.8일 경우도 역시 같은 시험 시간이 요구 된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 스텝 및 팰릿의 수명을 보증하기 위한 시험에 대하여 고찰해 보았다. 먼저 산업계에서 많이 사용하고 있는 유럽의 EN115나 북미의 CSA B44/A.17 기준에서 제시한 시험조건 중 수명에 가장 영향을 크게 미치는 반복하중부하 조건의 설정 배경에 대하여 고찰해 보았으며, 업체에서 시험한 스텝 및 팰릿의 시험데이터와 KTL에서 수행한 시험데이터로부터 와이블분포의 형상모수를 추정하였다. 추정 결과 스텝의 경우



2.4~2.6의 형상모수가 추정되었고, 팰릿의 경우 2.7~2.8의 형상모수가 추정되었다. 추정된 형상모수를 적용하여 스텝과 팰릿의 B10수명이 CSA B44/A.17-1와 EN 115에서 명시한 28 000 작동시간(operating hours,  $5 \times 10^6$  사이클) 이상됨을 신뢰수준 90%로 보증하기 위한 시험을 설계한 결과 표 5와 같았다.

표 5 스텝과 팰릿의 수명보증시험 기준

시험조건	CSA B44/A.17-1와 EN 115에서 제시한 시험조건
시료 수	5대
허용 고장 수	0 대
시험시간	$9 \times 10^6$ 사이클

본 연구에서는 스텝과 팰릿 각각 1개 모델에 대하여 시험데이터로부터 형상모수를 추정하였으나 다른 구조를 갖는 스텝 혹은 팰릿에 대해서는 형상모수가 달라질 수가 있다. 향후 다른 구조의 스텝 혹은 팰릿에 대해서도 시험데이터를 축적하여 형상모수에 대한 정보를 계속 데이터베이스화해 가는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] 김명수와 유동수, 신뢰성평가를 위한 기본 개념과 시험조건 결정, 제2회 부품·소재 신뢰성워크샵, 2001
- [2] EN115, 1995, "Safety rules for the construction and installation of escalators and passenger conveyors"
- [3] ASME A.17-1, 2000, "Safety Code for Elevators and Escalators"
- [4] CSA B44, 2004, "Safety Code for Elevators"
- [5] Gina Barney, "Elevator Traffic Handbook", Spon Press