

유한요소해석을 활용한 에스컬레이터 스텝롤러의 구조적 교체 주기 및 안전성 평가

이유선*, 임묵**, 이상민***

Structural Replacement Cycle and Safety Evaluation of Escalator Step Rollers using Finite Element Analysis

Yu-Sun Lee*, Mook Lim**, and Sang-Min Lee***

본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 충청북도의 재원으로 충북 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다(2026-RISE-11-004-02)

요 약

국내 승강기 시장에서 높은 점유율을 가지는 에스컬레이터는 장시간 가동에 의한 부품 고장이 승객의 안전과 직결되는 설비이다. 특히 국내의 '한 줄 서기' 보행문화는 스텝롤러에 비대칭적 하중을 가해 기계적인 피로를 가속하는 원인으로 작용한다. 본 논문은 국내 실제 운용 환경과 미흡한 관리 방식의 한계를 개선하고자, ANSYS Workbench를 기반으로 피로수명 및 권장 교체 주기를 분석하였다. 해석 결과, 에스컬레이터 스텝의 규격(800형, 1000형, 1200형)과 운행 속도(15~25m/min)에 따라 교체 주기는 최대 3.94년에서 최소 1.92년까지의 분포를 나타냈으며, 가혹 조건에서의 수명은 최대 51.3%까지 단축되었다. 이러한 편차는 운용 환경에 따른 피로 가속화가 안전 확보의 한계로 이어짐을 시사한다. 따라서 안전사고 예방과 효율적인 유지보수를 위해서는 운용 환경별 특성을 정량적으로 반영한 맞춤형 유지관리 전략 수립이 요구된다.

Abstract

As escalators hold a high market share in the domestic industry, component failures from prolonged operation directly threaten passenger safety. In Korea, the pedestrian culture of "standing on one side" induces eccentric loading, accelerating mechanical fatigue on step rollers. This study evaluates roller fatigue life and replacement cycles using ANSYS Workbench to improve existing maintenance practices. Under eccentric loads and an 8-hour daily operation, the calculated replacement cycles ranged from 3.94 years (Type 800, 15 m/min) to 1.92 years (Type 1200, 25 m/min), showing up to a 51.3% lifespan reduction under severe conditions. These variations demonstrate that environment-driven fatigue acceleration restricts structural safety. Therefore, transitioning to environment-specific, dynamic maintenance strategies is essential to prevent safety accidents and optimize maintenance efficiency.

Keywords

escalator step roller, finite element analysis, replacement cycle, fatigue life, safety assessment

* 국립한국교통대학교 전자공학과 석사과정
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8294-3012>

** 한국지방재정공제회 공제사업본부장
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7289-3660>

*** 국립한국교통대학교 창의융합학부 부교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9123-2725>

• Received: May 21, 2026, Revised: Jul. 09, 2026, Accepted: Jul. 12, 2026

• Corresponding Author: Sang-Min Lee

Dept. of Creative Convergence, Korea National University of
Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk 27469, Korea
Tel.: +82-43-849-1667, Email: leesm@ut.ac.kr

I. 서 론

국내에 설치된 13가지 종류(승객용, 화물용, 장애인용 등)의 승강기 중 4번째로 높은 점유율을 보이는 에스컬레이터는 장시간 반복 가동되는 설비로써, 에스컬레이터 부품의 수명 저하가 가속화된다. 이는 단순한 기능 저하를 넘어 승객의 안전사고를 초래할 수 있어, 설비의 운용 효율과 안전성을 확보하는 것이 필수적이며, 예지보전 방식의 유지관리 전략이 반영되어야 한다[1].

본 연구는 에스컬레이터 스텝의 주요 부품 중 하나인 스텝롤러를 대상으로 ANSYS Workbench 피로 수명 분석을 활용하여, 실제 국내 운용 환경을 반영한 교체 주기를 제안하고자 한다. 여기서 스텝롤러는 에스컬레이터의 부드럽고 안정적인 운행을 책임지는 구동 부품으로서, 파손 및 변형 시 에스컬레이터의 급정지, 역주행과 같은 안전사고를 유발한다. 이에 반복적인 하중과 충격을 견딜 수 있는 내구성 확보가 필요하다[2][3]. 특히 빠른 이동 문화를 추구하는 대한민국의 지하철역에는 ‘한 줄 서기’ 보행 문화가 보편화되어 있다[4]. 이러한 보행 문화는 에스컬레이터 스텝에 비대칭적인 하중과 충격을 가해 일반적인 피로 및 손상 패턴과 다른 양상을 초래하여, 기계 마모, 체인 절단 등의 여러 형태의 고장을 유발해 수명을 단축하는 주요한 원인이 된다. 국내 외에서 안전 확보를 목적으로 두 줄 서기가 권장되고 있음에도 불구하고, 국내는 충분히 준수되지 않고 있는 실정이다.

뿐만 아니라 현행 법규 상 승강기 제조·수입업자는 승강기 유지관리용 부품의 권장 교체 주기에 대한 자료를 인터넷 홈페이지에 공개하도록 명시되어 있다. 그러나 스텝롤러의 경우 법규상 ‘디딤판 및 그 부속품’으로 통합 표기되어 있어 별도의 교체 주기 기준이 명시되지 않은 실정이다[5]. 실제로 국내 에스컬레이터 설치업체 10곳을 대상으로 조사한 결과, 2곳의 업체만이 스텝롤러 교체 주기를 별도로 제시하고 있었으며, 제시된 스텝롤러 교체 주기 또한 법규에 따라 8곳에서 제시한 ‘디딤판 및 그 부속품’의 평균 권장 교체 주기(약 7.5년)와 높은 차이를 보이는 것으로 나타났다[6].

II. 관련 연구

2.1 에스컬레이터 스텝 및 스텝롤러의 구조

에스컬레이터 스텝은 승객이 직접 하중을 가하는 주요 구성요소로서, 반복하중과 충격하중을 동시에 받는 구조체이다. 일반적으로 알루미늄 합금 주조 또는 프레스 가공 방식으로 제작되며, 경량성과 충분한 구조 강성을 동시에 확보하도록 설계된다[1][2][7]. 스텝은 크게 디딤판(Tread), 라이저(Riser), 측판(Side frame)으로 구성된다. 디딤판은 미끄럼 방지를 위해 표면에 요철 가공이 되어 있으며, 이와 맞물리는 라이저는 계단 사이의 간극을 좁혀 끼임 사고를 방지하는 밀착 구조로 형성되어 있다. 또한 스텝의 측면 프레임은 구동 체인이 롤러와 결합되는 지지체 역할을 하며, 이를 통해 순환운동을 수행한다.

한편, 스텝롤러는 스텝 하단에 장착되어 가이드 레일을 따라 구름 운동을 수행하는 부품으로, 가이드레일 위를 구르며 전체 하중을 분산시키는 핵심 부품이다. 이는 주행 경로 내에서 스텝이 흔들림 없이 평형을 유지하며 구동될 수 있도록 물리적인 안정성을 제공한다. 일반적으로 전륜과 후륜으로 구분되며, 각 롤러는 축, 베어링, 외륜부로 구성된다. 외륜부는 내마모성과 충격 흡수 특성을 고려하여 폴리우레탄 또는 플라스틱 등의 재질이 사용되며, 내부에는 볼베어링이 삽입되어 회전마찰을 최소화한다. 승객의 하중이 디딤판을 통해 전달될 때에는 접촉면에서 압축응력을 받으며, 이동 중에는 반복적인 회전으로 인한 피로 하중과 레일 접촉에 따른 마찰 하중이 발생하여, 롤러 재질의 피로 특성과 구조적 안정성이 중요하다.

2.2 유한요소 해석 모델

본 연구에서는 에스컬레이터 스텝롤러의 구조적 거동과 피로수명을 분석하기 위하여 유한요소해석 모델을 구성하고, 하중 조건 및 경계조건을 포함한 해석 절차와 교체 주기 평가 방법을 제시한다[8][9]. 또한 에스컬레이터 스텝 너비 변화가 구조적 안전

성에 미치는 영향을 분석하고, 각 규격별 응력 분포 특성에 따른 상대적인 교체 주기 예측 및 비교를 위하여 가장 범용적으로 사용되는 세 가지 규격의 에스컬레이터 스텝을 그림 1과 같이 모델링하였다.

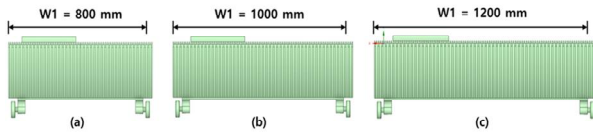


그림 1. 스텝 너비에 따른 에스컬레이터 스텝 모델 비교
(a) 800 mm, (b) 1000 mm, (c) 1200 mm
Fig. 1. Comparison of escalator step models according to step width (a) 800 mm, (b) 1000 mm, (c) 1200 mm

해석을 위해 각 규격별 에스컬레이터 스텝은 스텝 본체와 베어링을 포함한 스텝롤러, 하중 인가를 위한 강판으로 부품별 모델링을 진행하였다. 본 해석에서 적용된 하중판의 규격은 과거 ‘자율안전확인대상 공산품 안전기준’의 시험 규격을 준용하였으며, 해당 기준은 법적 폐지 이후에도 실무적인 기술 지침으로 활용되고 있어 해석의 객관성을 확보하기 위해 채택하였다. 또한, 국내 지하철역의 ‘한 줄 서기’ 이용 문화로 인해 발생하는 스텝 롤러의 비대칭적 집중 하중을 실제 물리 현상과 유사하게 구현하고자, 하중판을 스텝의 중앙이 아닌 실제 하중이 편중되는 지점에 배치하였다.

그림 2는 1,000 mm 너비 스텝 모델의 형상을 다 각도에서 나타낸 것이며, 그림 3은 구조 및 피로 해석 진행을 위해 각 파트에 생성된 유한요소 격자 (Mesh)를 나타낸다.

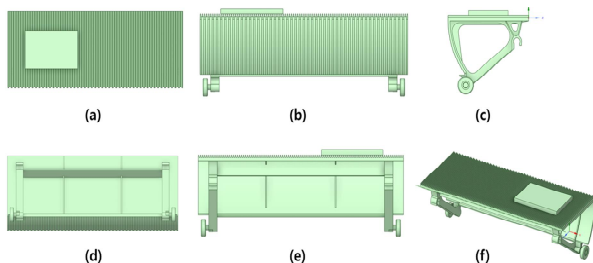


그림 2. 3D 모델링 및 주요 투영도 (a) 평면도, (b) 정면도, (c) 측면도, (d) 저면도, (e) 배면도, (f) 부등각투상도

Fig. 2. 3D modeling and various views
(a) Top view, (b) Front view, (c) Side view, (d) Bottom view, (e) Rear view, (f) Isometric view

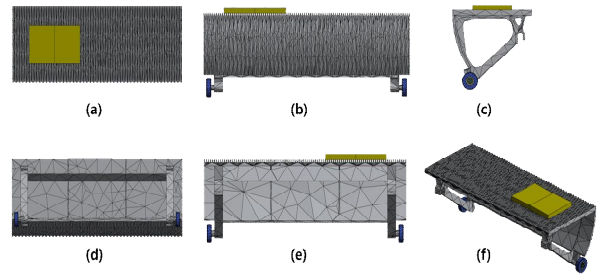


그림 3. 모델 유한요소 및 주요 투영도 (a) 평면도, (b) 정면도, (c) 측면도, (d) 저면도, (e) 배면도, (f) 등각도
Fig. 3. Finite element mesh and various views of the escalator step model (a) Top view, (b) Front view, (c) Side view, (d) Bottom view, (e) Rear view, (f) ISO view

그림 4는 에스컬레이터 스텝의 구조해석을 위해 설정된 하중 및 구속 조건을 나타내며, 도시된 바와 같이 실제 구동 환경을 모사하기 위해 스텝 롤러가 체인 및 레일과 접촉하는 부위를 고정하여 해석의 경계조건을 설정하였다.

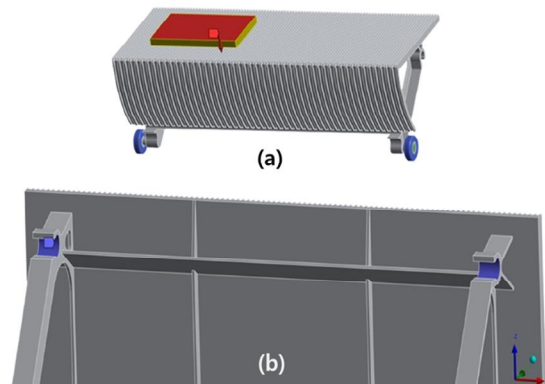


그림 4. 에스컬레이터 스텝 모델의 하중 및 구속 조건
(a) 하중 조건, (b) 구속조건

Fig. 4. Loading and constraint conditions of the escalator step model (a) Loading condition, (b) Constraint condition

한편, 해석의 신뢰성을 높이기 위해 스텝 Assembly를 구성하는 각 요소에 실제 제작 사양에 기반한 재질 특성 및 물성치를 반영하였다. 주요 구조체인 스텝 프레임에는 Aluminum Alloy 6061, 스텝롤러와 프레임을 연결하는 구조재에는 Stainless Steel 304를 적용하였고, 하중 인가 강판에는 강성 확보를 위한 Structural Steel, 스텝롤러에는 베어링에 해당하는 Chrome Steel과 비금속 재질인 Polypropylene 및 Polyurethane 물성치를 부여하여 복합 재질 모델을 설정하였다.

2.3 구조해석 결과

에스컬레이터 스텝 및 롤러의 피로수명을 예측하기에 앞서, 제시한 세 가지 표준 규격 모델을 대상으로 하중 조건에 따른 구조적 건전성 및 응력 분포 특성을 분석하기 위해 그림 5와 같이 정적 구조해석을 수행하였다. 일반적으로 피로수명은 응력 집중 정도에 영향을 받으므로, 등가응력(Equivalent stress) 분석을 통해 각 규격별 응력 흐름을 파악하는 것은 피로 해석의 정밀도를 확보하기 위한 필수 선행 단계이다. 또한, 변형률(Total deformation) 결과를 검토하여 스텝 너비 변화에 따른 강성 저하 여부를 확인하였으며, 이를 통해 피로수명 예측 및 교체 주기 검토를 위한 수치해석 모델의 타당성을 검증하고자 하였다.

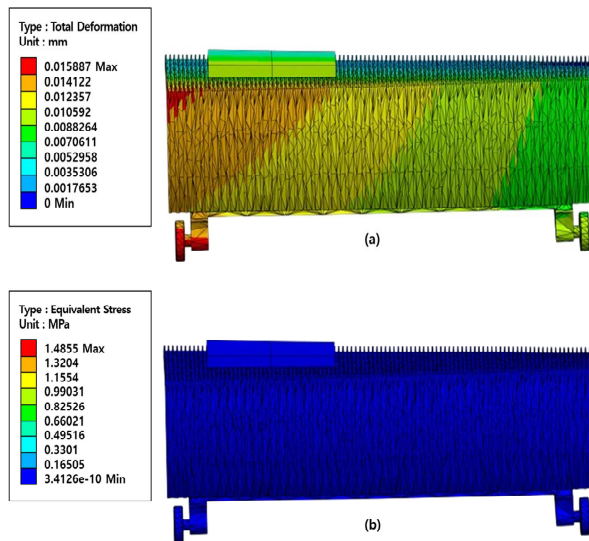


그림 5. 1000형 에스컬레이터 스텝 모델의 구조해석 결과
(a) 전변형량 해석, (b) 등가응력 해석

Fig. 5. Structural analysis results of the 1000-type escalator step model (a) Total deformation analysis, (b) Equivalent stress analysis

해석 결과, 스텝의 폭이 넓어짐에 따라 Total Deformation과 Equivalent Stress가 모두 소폭 증가하는 경향을 확인하였다. 800형 대비 1000형에서 약 1.15배, 1000형 대비 1200형에서 약 1.12배의 최대 변형량 증가가 관찰되었으며, 등가 응력 또한 폭의 증가에 비례하여 상승하는 양상을 보였다.

이러한 응력 상승은 반복 하중 하에서 재료의 피

로 한도에 도달하는 시간을 단축시키는 주요 원인이 된다. 따라서 본 해석을 통해 도출된 규격별 응력 지점과 응력 값을 기초 데이터로 활용하여, 피로수명을 예측하고 이를 바탕으로 합리적인 스텝롤러 부품 교체 주기를 제안하고자 한다.

III. 피로수명 예측

3.1 피로수명 분석 방법

에스컬레이터 스텝 시스템의 전체 수명은 각 구성 요소들의 상호작용에 의해 결정된다. 따라서 본 연구에서는 개별 부품인 스텝롤러의 피로수명을 정밀하게 분석 및 예측하기 위해 차감법을 적용하였다. 식 (1)과 같이 ANSYS Workbench의 Fatigue Tool을 통해 도출된 전체 스텝 구성품 어셈블리에 대한 통합 피로수명을 산출한 후, 구조적 강성이 높은 스텝 본체 및 체결 볼트의 피로수명 기여도를 제외함으로써, 롤러 자체의 내구성을 독립적으로 평가하였다. 여기서 L_{roller_cyc} 는 스텝롤러의 독립 피로수명(Cycles), L_{total} 은 전체 스텝 어셈블리의 통합 피로수명(Cycles), L_{body} 는 스텝 본체의 피로수명(Cycles), L_{bolt} 는 체결 볼트의 피로수명(Cycles)을 의미한다.

$$L_{roller_cyc} = |L_{total} - (L_{body} + L_{bolt})| \text{ [cycles]} \quad (1)$$

한편, ANSYS Workbench를 통해 도출된 기본 해석 결과에 실제 운용 환경에서 발생할 수 있는 가변적 요소를 반영하여 수명 예측의 정밀도를 제고하였다. 구체적으로 지하철역의 실질적인 운용 환경을 모사하기 위해 운행 속도와 일일 집중 이용 시간을 변수로 설정하였다. 특히 에스컬레이터의 순환 운행 특성을 고려하여, 전체 사이클 중 하중이 인가되지 않는 귀환 구간을 제외한 유효 하중 인가 사이클을 적용함으로써 실제 피로 누적 가중치를 산출하였다.

본 논문에서 설정한 8시간의 일일 집중 이용 시간은 단순한 물리적 운행 시간이 아닌, 이용 강도 변동에 따른 스텝롤러의 피로 누적 속도 상관관계를 분석하고자 도출된 변수이다[10]. ‘서울시 지하철

호선별 역별 시간대별 승하차 인원 정보' 2026년 4월 기준의 공공데이터를 바탕으로 분석한 결과, 전체 이용객의 과반수 이상(58.6%)이 오전 3시간(07~10시) 및 오후 5시간(15~20시)에 밀집되는 현상을 확인하였다. 특히 '한 줄 서기'로 대변되는 편중하중 현상은 이처럼 유동 인구가 급증하는 시점에 집중적으로 심화된다는 점에서, 해당 8시간의 설정값은 실제 이용객의 밀집도와 역학적 부하 특성을 반영한 기준이다[11].

또한 운행 속도가 롤러의 단위 시간당 피로 손상에 미치는 영향을 파악하기 위해 안전성 강화 목적의 저속(15 m/min), 민원 발생을 고려한 적정 속도(20 m/min), 기존 고속 운행(25 m/min) 조건으로 계산을 수행하였다. 이 과정에서 에스컬레이터 스텝이 승객을 태우고 상부로 이동하는 구간과 하부로 회귀하는 하중 비인가 구간을 구분하여 분석에 적용하였다.

본 연구에서 제안하는 스텝롤러의 기대 수명 산출 과정은 다음과 같다. 먼저, 에스컬레이터의 운행 속도와 이용 강도를 고려한 일일 기본 사이클(N_{base})은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$N_{base} = \frac{V \times 60 \times T_{usage}}{2} [cycles] \quad (2)$$

여기서 V 는 운행 속도(m/min), T_{usage} 는 일일 집중 이용 시간(hr)을 의미한다. 운행 속도와 이용 시간을 곱하여 산출된 사이클을 기준으로 하되, 에스컬레이터의 왕복 순환 구조를 반영하여 하중이 인가되지 않는 귀환 구간을 제외하고자 전체 사이클을 2로 나누어 실제 피로가 누적되는 유효 사이클을 산출하였다.

다음으로, ANSYS Fatigue Tool을 통해 도출된 스텝롤러의 해석상 피로수명(L_{roller_cyc})을 앞서 계산된 일일 기본 사이클로 나누어, 일(Day) 단위의 기대 수명($L_{roller(day)}$)을 식 (3)과 같이 도출하였다.

$$L_{roller(day)} = \frac{L_{roller_cyc}}{N_{base}} [days] \quad (3)$$

최종적으로, 일 단위 수명을 연(Year) 단위의 교체 주기($P_{replacement}$)로 환산하기 위해 식 (4)를 적용하였다. 이때 K_{maint} 는 베어링 볼의 마모율 및 유지 보수 환경을 고려한 보정 계수를 의미하며, 이론적 피로 수명과 실제 마모에 의한 열화 현상을 통합적으로 반영한 최종 기대 수명을 예측하였다.

$$P_{replacement} = \frac{L_{roller(day)} \times K_{maint}}{365} [years] \quad (4)$$

3.2 피로수명 기반 교체 주기 검토

실제 운행 환경을 모사하여 식 (1)~(4)로 계산한 스텝 롤러의 권장 교체 주기는 표 1에 나타난 바와 같다. 분석 결과, 스텝의 규격(800형, 1000형, 1200형)과 운행 속도(15~25 m/min)가 스텝 롤러의 피로 수명에 직접적인 영향을 미치는 것을 확인하였다. 부하가 비교적 적은 800형 모델이 15 m/min으로 저속 구동될 때 교체 주기는 3.94년으로 나타났으며, 대형 규격인 1200형 모델이 25 m/min의 고속으로 운행되는 조건에서는 교체 주기가 1.92년까지 단축되었다. 이러한 결과는 운행 속도의 증가와 스텝 자체의 중량 및 하중 조건 변화가 롤러 내부의 피로 누적을 가속하는 주요인임을 보여준다.

표 1. 피로수명 기반 권장 교체 주기

Table 1. Recommended replacement cycles based on fatigue life

Step model	Operating speed	Recommended replacement cycles (unit: year)
Type 800	15 m/min	3.94
	20 m/min	2.96
	25 m/min	2.37
Type 1000	15 m/min	3.58
	20 m/min	2.68
	25 m/min	2.15
Type 1200	15 m/min	3.20
	20 m/min	2.40
	25 m/min	1.92

국내외 주요 에스컬레이터 제조·수입 업체 10개에서 제시하는 권장 교체 주기를 검토한 결과, 8개 업체는 '디딤판 및 그 부속품'에 대해 7~10년의 고

정된 주기를 부여하고 있으며, 스텝 롤러에 대해 구체적인 기준을 제시한 업체는 파손 시 교체 혹은 3년으로 명시하고 있다. 이러한 3년의 주기는 본 연구에서 도출된 중간 부하 환경의 결과와 유사하게 나타났다으나, 15~20 m/min의 속도 범위 내에서 운용되어야 하는 제약이 있어, 혼잡도가 높고 고속으로 구동되는 특수 환경의 안전성을 보장하기에는 어려움이 있다. 이는 고부하 구동 조건에서 고정 주기 기반의 정비 체계가 지닌 한계를 보여준다.

결과적으로 에스컬레이터 스텝 롤러의 피로수명은 이용자 보행 패턴, 스텝 규격, 운행 속도와 같은 복합적인 환경 요인에 의해 영향을 받음을 확인하였다. 따라서 부품 고장 및 마모 등으로 인해 발생하는 안전사고 예방 및 효율적인 유지보수를 위해서는 고정된 기간의 교체 방식이 아닌 환경 맞춤형 가변 교체 방식이 도입되어야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 에스컬레이터 스텝롤러의 교체 주기 산출과 운행 안전성 평가를 위해 ANSYS Workbench를 활용하여 피로수명 해석을 진행하였다.

구조해석 결과, 국내 지하철의 '한 줄 서기'와 같은 비대칭 편중 하중 환경은 스텝의 규격이 800형에서 1,200형으로 커짐에 따라 변형률을 최소 1.13배에서 최대 1.32배까지 증가시켰으며, 등가응력 또한 1.29배에서 1.44배 수준으로 증가시키는 것으로 나타났다. 이러한 하중 불균형에 의한 응력 집중은 구조적 결함과 피로 파괴를 유발하는 요인으로 작용하며, 이는 스텝롤러 파손을 비롯해 에스컬레이터의 급정지 및 역주행 등 안전사고로 이어질 수 있는 위험 요인으로 확인된다.

피로수명 해석 데이터를 기반으로 실제 가동 환경을 반영한 에스컬레이터 스텝 롤러의 권장 교체 주기를 산출한 결과, 스텝 규격과 운행 속도에 따라 최대 3.94년(800형, 15 m/min)에서 최소 1.92년(1200형, 25 m/min)까지의 분포를 보였으며, 특히 운행 속도 증가와 스텝의 대형화는 롤러의 내구 수명을 최대 51.3%까지 감소시켰다. 이는 현행 법규상 '디딤판 및 그 부속품'으로 통합 관리되는 방식이 실제

부품의 내구 성능과 안전성을 보장하기에 미흡함을 입증하며, 고부하 환경에서의 안전성 확보에 한계가 있음을 나타낸다. 결론적으로, 에스컬레이터 이용 환경의 안전성 확보를 위해서는 보편화된 고정 기간 유지보수 방식에서 벗어나 스텝의 규격, 속도 등 실제 환경 변수를 반영한 독립적인 부품 교체 기준이 마련되어야 한다.

본 연구는 정적 해석 기반의 하중 변수에 집중하였으나, 실제 운행 환경에서는 소재의 마모 및 경화, 온·습도 변화에 따른 물리·화학적 열화가 복합적으로 작용한다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 복합 환경 요인을 반영한 수명 예측 모델을 구축할 필요성이 있다. 나아가 가속 수명 시험 및 현장 실측 데이터와의 연계를 수행함으로써, 본 연구에서 제안한 독립적 부품 교체 기준의 정밀도와 현장 적용성을 더욱 제고하는 데 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] Y. S. Lee and S. M. Lee, "Reliability and Fatigue Life Evaluation of Escalator Step Roller Using ANSYS Workbench", Proc. Korean Reliability Society Fall Conference Abstracts, Gyeongju, Korea, pp. 52-52, Nov. 2025.
- [2] A. H. W. Ngan and K. W. Siu, "Are super-long escalators safe? Lessons learned from the Langham place escalator incident in Hong Kong", HKIE Transactions, Vol. 28, No. 1, pp. 49-57, Apr. 2021. <https://doi.org/10.1080/23270098.2019.1614131>.
- [3] M. Tianxing, A. Vodyaho, N. Zhukova, A. Subbotin, and Y. Shichkina, "Urban intelligent assistant on the example of the escalator passenger safety management at the subway stations", Scientific Reports, Vol. 13, No. 15914, Sep. 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42436-x>.
- [4] Y. S. Lee and S. M. Lee, "Evaluation of Safety and Fatigue Life of Escalator Step Rollers Using ANSYS Finite Element Analysis", Proc. Korean Institute of Information Technology Fall

- Conference, JeJu, Korea, pp. 93-93, Nov. 2024.
- [5] Y. S. Lee and S. M. Lee, "Optimization of Escalator Step Roller Recommended Replacement Cycle Using Public Data and ANSYS", Proc. Korean Institute of Information Technology Summer Conference, JeJu, Korea, Jun. pp. 51-51, Jun. 2025.
- [6] Y. S. Lee, B. K. Kim, and S. M. Lee, "Digital Twin-Based Escalator Parts Prediction and Maintenance Analysis Using ANSYS Fatigue Life Analysis", Proc. Korean Institute of Information Technology Fall Conference, JeJu, Korea, pp. 153-153, Nov. 2025.
- [7] Y. S. Kim, "An Analysis of the Importance of Major Components of Urban Railroad Escalators: Around the Airport Railway", Journal of the Korean Society for Urban Railway, Vol. 13, No. 4, pp. 1979-1987, Dec. 2025. <https://doi.org/10.24284/JKOSUR.2025.12.13.4.1979>.
- [8] H. K. Oh, S. K. Beak, and C. S. Jeon, "Fatigue Analysis for Electro-Mechanical Brake Caliper based on Eccentric Rotating Shaft", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 21, No. 9, pp. 596-603, Sep. 2020. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.9.596>.
- [9] H. J. Son, O. H. Kwon, and S. W. Kang, "Analysis of Accident Factors through the Development of an Accident Prediction Model for Metro Station Escalators", Journal of Traffic Safety Research, Vol. 44, No. 1, pp. 147-166, 2025. <https://doi.org/10.22940/TSR.2025.44.1.147>.
- [10] H. J. Cheon, J. R. Cho, H. J. Yang, and S. B. Lee, "Fatigue Life Prediction of Medical Lift Column utilizing Finite Element Analysis", Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol. 24, No. 3, pp. 337-346, Jun. 2011. <https://doi.org/10.7781/coise.2011.24.3.337>.
- [11] Seoul Metropolitan Government, "Card-based Subway Passenger Boarding and Alighting Information by Station and Time Slot", Seoul City

Big Data Campus (Seoul Open Data Plaza), <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-12252/S/1/datasetView.do>, Apr. 2026. [accessed: May 12, 2026]

저자소개

이 유 선 (Yu-Sun Lee)



2024년 2월 :
국립한국교통대학교
안전공학전공(공학사)
2024년 3월 ~ 현재 :
국립한국교통대학교
전자공학과 석사과정
관심분야 : 예지보전, 승강기안전

임 목 (Mook Lim)



2021년 2월 : 건양사이버대학교
재난안전소방학 전공(소방학사)
2024년 2월 : 건양대학교
재난안전 소방학전공(공학석사)
2011년 8월 : 충남대학교
자치행정학과(자치행정학박사)
1996년 4월 ~ 2025년 2월 :
대전광역시 시민안전실장
2025년 3월 ~ 현재 : 한국지방재정공제회
공제사업본부장, 대덕대학교 소방산업안전관리과
겸임교수
관심분야 : 산업안전, 안전교육, 안전성 평가

이 상 민 (Sang-Min Lee)



2002년 2월 : 충북대학교
전기전자공학(공학사)
2011년 8월 : 충북대학교
정보통신공학과(공학석사)
2018년 2월 : 충북대학교
정보통신공학과(공학박사)
2019년 3월 ~ 현재 :
국립한국교통대학교 창의융합학부 부교수
관심분야 : 안테나설계, 전자기파 해석, IoT, AI예지보전,
전기전자 및 자율주행 신뢰성, 재난안전