신뢰성응용연구
제16권, 제4호. pp.272-279, 2016

# 도시철도 승강설비의 가용성, 유지보수성 및 안전성 입증*

이환덕 · 정 원†

대구대학교 산업경영공학과

# Validation of Availability, Maintainability and Safety for Subway Elevating Equipment*

Hwan-Deok Lee · Won Jung†

Department of Industrial and Management Engineering, Daegu University

**Purpose**: In order to fulfill the RAMS (Reliability Availability Maintainability and Safety) requirements in Korean railway systems, specific target metrics should be measured and met the requirements when ordering a new system. This paper presents a procedure to predict and demonstrate the availability, maintainability and safety of subway elevators, escalators and PSD (platform screen doors) systems.
**Methods**: The system manufacturer predicts availability and maintainability with lab and field tested data. After installation, availability and maintainability are demonstrated based on the actual operational data. The data was collected from the FRACAS (Failure Report and Corrective Action System).
**Results**: Methods and process of assessing and analyzing the availability, maintainability and safety are presented for elevating services and PSD systems. The data obtained through the actual operation of the equipment is analyzed and maintained to predict the RAMS based on the component and system level failure data acquired.
**Conclusion**: This study presented an application using IEC 62278 and operational data which can be used in the design and development stage to achieve the RAMS target value of the subway elevators, escalators and PSD systems.

***Keywords***: RAMS, Availability, Maintainability, Safety, Elevator services, Screen Door

## 1. 서 론

국내 철도 운영시스템의 안전성이 날로 개선되고는 있으나 아직 철도선진국과 비교하여 사고율이 현저히 높음에 따라 철도 역사 내에 있는 부속시설의 신뢰성 및 안전성의 개선에 대한 필요성이 절실하다. 철도 시스템의 신뢰성을 확보하기 위하여 국내 및 국외 대부분의 철도운영기관에서는 시스템의 보증 활동을 요구

* 이 논문은 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 연구임
† 교신저자 wjung@daegu.ac.kr
2016년 6월 5일 접수; 2016년 11월 29일 수정본 접수; 2016년 12월 5일 게재 확정.

하고 있다. 따라서 최근 철도 시스템 발주 시 발주처의 요구사항에서 구체적인 성능 목표와 보증을 위하여 가용성과 유지보수성에 대한 입증을 요구하고 있다. 철도 시스템의 가용도란 철도 시스템이 요구되는 기능을 수행 할 수 있는 상태에 있을 능력으로 정의되며 정량적 척도는 가용도로서 요구되는 기능을 수행 할 수 있는 상태에 있을 확률로 정의된다. 가용도는 그 사용 목적 및 계산 방법에 따라 고유가용도, 성취가용도, 운영가용도, 전 차량 가용도 및 일정 준수도 등으로 다르게 나타내기도 하는데 이 중 운용가용도는 차량의 가용성을 결정하는 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability and Safety) 성능과 유지보수를 지원하는 체계의 효율성을 모두 포함하는 값으로 가장 많이 활용되는 측도이다.

가용성 및 유지보수성에 대한 국내외 연구내용을 살펴보면 이명철[1]은 기존 궤도회로장치에서의 고장률을 분석하여 신뢰도 및 가용도의 기준을 제시하였고, 하드웨어 및 소프트웨어 결함허용기법을 적용하는 여분 가상궤도회로시스템의 시뮬레이션을 수행하여 신뢰도 및 가용도 행상 결과를 검증하였다. 고창수[2]는 KTX의 최적 유지보수 관리체계를 구축하여 유지보수비용을 절감하고 안정적인 보수품을 수급하기 위한 KTX TBO 프로그램을 이용한 KTX 차량 주요 전장품의 수명을 분석하였다. 김종운 등[3]은 획득된 시스템의 RAMS 고유 성능이 지속적으로 달성되는 것을 목표로 하는 RAMS 중심의 유지보수에 대한 절차를 제안하였다. 정인수 등[4]은 다른 산업분야에서 활용되는 신뢰성 검증 방법을 기술하고 이 방법들을 철도 차량에 적용 할 수 있는지를 평가하였고, 김종기[5]는 열차제어시스템의 RAMS 주요 업무에 대한 단계별 업무활동과 문서화로 철도현장에서 IEC 62278을 잘 적용 할 수 있도록 하였다.

철도역사내 설비의 가용성 및 유지보수성의 입증 방법과 절차는 복잡한 내용이 아니지만 이에 대한 사례를 보여준 논문은 아직 발견하지 못하였다. 본 연구에서는 철도역사내의 승강설비 및 승강장 스크린도어의 가용성, 유지보수성 및 안전성의 예측 및 입증 방법을 설명하고, 그 사례를 소개하려고 한다. 설비제작자가 경험 데이터를 바탕으로 획득한 부품 및 시스템레벨의 고장데이터를 활용하여 가용도를 예측하고 승강설비의 실제 운용 데이터를FRACAS 절차에 따라 분석한 자료를 기반으로 목표 값의 만족을 입증한다. 유지보수성은 주어진 조건하에서 사용 중인 아이템에 대해, 정해진 조건과 절차 및 자원 하에서 유지보수가 수행될 때, 정해진 시간 간격 안에 주어진 능동적인 유지보수 행위가 수행될 수 있는 확률로 정의되는데 일반적으로 정비성 또는 보전성으로 표현하기도 한다. 유지보수성의 분석 이론과 설비제작자의 시험 데이터를 바탕으로 획득한 부품 및 시스템레벨의 고장데이터를 기반으로 유지보수성을 예측하고, 이를 입증하기 위하여 승강설비의 실제 운용을 통하여 획득한 데이터를 분석하여 유지보수성의 목표 값에 대한 만족여부를 입증한다. 도시철도 승강설비 및 승강장 스크린도어의 안전성은 요구되는 안전 관리 요건들을 실현하여 시스템의 안전 목표를 달성할 수 있도록 한다. 위험요소(Hazard)의 분석과 위험도(Risk)의 관리 및 이에 대한 입증을 위하여는 예비위험성분석(PHA, Preliminary hazard analysis)을 활용하였다.

## 2. 철도 승강설비의 구조

승강기란 건축물이나 고정된 시설물에 설치되어 일정한 경로에 따라 사람이나 화물을 승강장으로 옮기는 데에 사용되는 시설로서 엘리베이터, 에스컬레이터, 휠체어리프트 등 총리령으로 정하는 것을 말한다[6]. 본 연구에서는 승강설비를 엘리베이터와 에스컬레이터에 한정하여 다루려고 한다.

엘리베이터는 건축물 내에 설치되어 승객이 건물의 층간 수직 이동을 쉽고 빠르게 할 수 있도록 한다. 최상층과 최하층을 제외한 모든 층에서 상하 방향으로 이동할 수 있고, 승객이 타고 내리는 카의 반대편에 카운터 웨이트가 설치되어 최소한의 동력이 사용되는 구조로 되어 있다. 엘리베이터의 구분은  권상기, 제어반 등이 설치되어 있는 "기계실", 사람이 타거나 화물을 적재하여 운반하는 "카", 카가 움직이는 통로인 "승강로", 탑승객이 카를 타고 내리는 "승강장"과 승강로 하부에 완충기 등을 설치하는 "피트"로 구분되어 있고, 각 부분에 엘리베이터의 이상과 성능의 저하로부터 탑승자를 보호하는 안전장치가 설치되어 있다. 주요 구성품으로는 권상기, 제어반, 머신빔, 카운터 웨이트, 주 로프, 조속기 & 비상정지 장치, 카 프레임 & 플랫폼, 승장 출입구, 완충기 등이 있다. <Fig. 1>은 엘리베이터의 구조를 나타낸다[7].

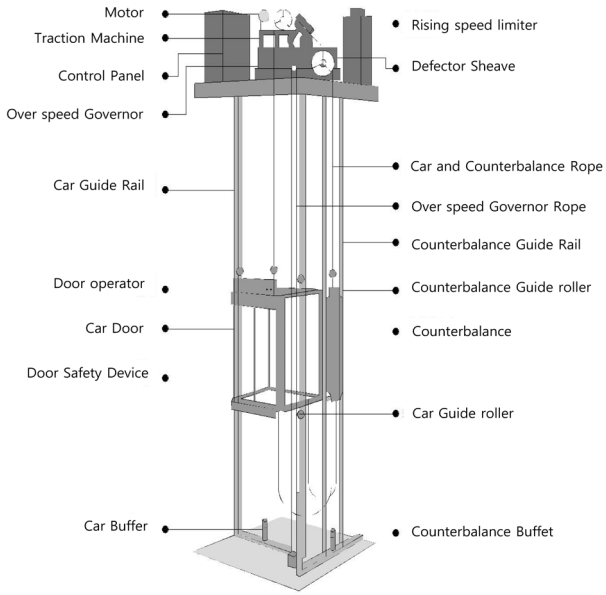


Fig. 1 Elevator structure

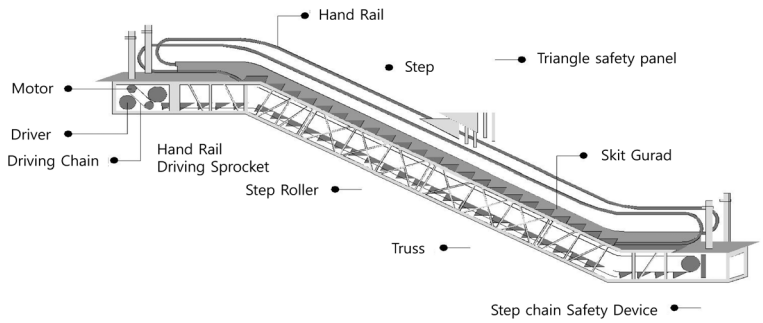


Fig. 2 Escalator structure

에스컬레이터는 쉽게 승강할 수 있는 구조로 되어 있으며 중간부에서 수평 경사각을 유지하여 이동하며, 터미널 부위에서 역전형으로 되어 연속적인 구동이 분당 30~40m 속도로 이동한다. 에스컬레이터는 구동부, 디딤판과 핸드레일 등이 동시에 구동되어 움직이고 연결기구에 의해 서로 연동되어 있기 때문에 연결기구에 손상 등의 결함이 있는 경우 사고로 이어질 가능성이 크므로 이 연결기구들의 안전한 작동에 대하여 감시 장치가 필요하다. 주요 구성은 트러스, 주 구동장치, 스텝장치, 난간 및 핸드레일, 제어반, 승강바닥 및 부속장치로 구성되고, 트러스의 상·하단부를 건축 구조물의 보에 지지토록 되어 있다. <Fig. 2>는 에스컬레이터의 구조를 나타낸다.

## 3. 가용성 및 유지보수성 입증 방법

가용성을 나타내는 가용도는 계속적으로 동작할 것이 요구되는 수리 가능한 시스템이 임의의 시간에서 고장으로 인하여 정지된 상태에서 최소 시간 내에 시스템의 동작을 복원하기 위한 확률로 궁극적인 신뢰성 관리를 위하여 체계적으로 관리되어야 하는 요소이다. 가용성 증명은 신뢰성 및 유지보수성 활동 결과를 바탕으로 실시하며, RAMS 목표 요구사항과의 비교를 통해서 증명된다. 철도 승강 설비 및 승강장 스크린도어의 가용성(Availability)은 신뢰성(Reliability) 항목인 시스템 MTBF(Mean Time Between Failure)와 유지보수성(Maintainability) 항목인 MTTR(Mean Time To Repair)

에 의한 식 (1)에 의해 측정되고 입증된다. 즉,

$$\text{가용도}(\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \qquad (1)$$

MTTR = 평균 수리시간 (Mean Time To Repair)

승강설비에 대한 신뢰성 곡선과 고장 간 평균시간 및 평균장애시간을 입증하여, 설비의 기능이 요구조건과 일치함을 증명한다. 이를 위해 승강설비 제조사는 다음과 같은 유지보수도 업무를 수행한다.

- 시스템 복구시간의 최소화
- MTTR 분석
- 결함 해결을 통한 가용도의 최대화
- 최소한의 인력, 유지보수 요원의 기술 요구사항, 특정 교육훈련, 특정 공구 사용을 용이하게 하기 위한 분석 검토

유지보수성 활동은 시스템을 구성하는 하부시스템의 LRU(Line Replace Unit)분류를 통하여 수행하며, 설비별 유지보수 엔지니어 판단에 따른 각 하부시스템 및 장치별 교체시간과 수리시간을 토대로 MTTR을 산출하면 식 (2)와 같다[8]. 이를 바탕으로 유지보수도 예측 활동을 수행하며, 향후 유지보수 매뉴얼 작성 시 이를 참조하여야 한다.

$$MTTR = \overline{M_d} = \frac{\text{총 유지보수 시간}}{\text{총 유지보수 횟수}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n} \qquad (2)$$

$ct$ : 평균 유지보수 시간
$n$ : 유지보수 횟수
$i$ : 고장 순번
$t_i$ : $i$번째 유지보수 수행 시 소요된 시간

### 3.1 가용성 예측 및 입증

<Table 1>은 승강설비 및 승강장 스크린도어의 가용도 목표 값을 나타내고 있는데 승강설비에 비해서 승강장 스크린도어의 가용도 목표 값이 높은 수치를 보이고 있음을 알 수 있다.

**Table 1** Availability target for elevator services and screen door

| Equipment | Availability target |
|---|---|
| Elevator services | 99% |
| Platform screen door | 99.5% |

가용성의 입증은 IEC 62278의 RAMS 요구사항을 활용하여 두 가지 사항에 대한 입증이 이루어진다. 첫째는 설비제작자의 부품 및 시스템 레벨의 고장데이터를 기반으로 한 가용도 예측 값의 확인이고, 둘째는 실제운용에 의해 확인된 실증 데이터를 기반으로 한 가용도 입증이다. 가용도 입증은 고유 고장률 값과 고장이 발생했을 경우 수리에 소요되는 평균 시간만을 고려하여 가용도를 표현한 고유가용도를 일반적으로 적용한다. 가용성 활동은 시스템을 구성하는 하부시스템의 LRU 또는 LLRU 분류를 통하여 수행하며, 신뢰성과 유지보수성 데이터를 활용하여 예측한다. 본 사례에서 엘리베이터의 MTBF는 781.25시간, 유지보수성은 0.498시간을 에스컬레이터의 MTBF는 819.672, 유지보수성은 0.585시간을 적용하였다. 그리고 승강장 스크린도어의 MTBF는 28,384시간, 유지보수성은 0.405시간을 적용 하여 식 (1)로 가용도를 산출하였다. 따라서 엘리베이터의 가용도는 99.936%이고, 에스컬레이터의 가용도는 99.929%이다. 또한, 승강장 스크린도어의 가용도는 99.999%로 나타났다.

### 3.2 유지보수성 예측 및 입증

승강설비에 대한 신뢰성 데이터로부터 MTBF 및 평균고장시간(MDT)을 입증하여, 설비의 기능이 요구조건과 일치함을 증명한다. 유지보수성 활동도 시스템을 구성하는 하부시스템의 LRU 또는 LLRU 분류를 통하여 수행하며, 설비별 유지보수 엔지니어 판단에 따른 각 서브시스템 및 장치별 교체시간과 수리시간을 토대로 평균 수리시간을 산출하고, 이를 바탕으로 유지보수성 예측 활동을 수행하며, 향후 유지보수 시 이를 활용하도록 한다. 모든 확인된 유지보수업무 완료 후 만약 업무의 95%가 요구되는 고장수리시간 내에 완료되면 유지보수성이 입증된 것으로 간주한다.

**Table 2** MTTR target for elevator services and screen door

| Equipment | MTTR target |
|---|---|
| Elevator services | 1.5 hour |
| Platform screen door | 0.5 hour |

Table 3 Total maintenance time: Elevator

| Item No. | Item | Frequency of maintenance | Total time of maintenance |
|---|---|---|---|
| 30000 | Elevator system | 238 | 118.524 |

Table 4 Total maintenance time: Escalator

| Item No. | Item | Frequency of maintenance | Total time of maintenance |
|---|---|---|---|
| 40000 | Escalator system | 217 | 158.535 hr |

Table 5 Total maintenance time: Platform screen door

| Item No. | Item | Frequency of maintenance | Total time of maintenance |
|---|---|---|---|
| 50000 | PSD system | 427 | 173.105 hr |

승강설비 및 스크린도어의MTTR 목표 값은 <Table 2>와 같다.

<Table 3>은 엘리베이터의 총 유지보수 시간을 나타내고, <Table 4>는 에스컬레이터의 총 유지보수 시간을 나타낸다. <Table 5>는 승강장 스크린도어의 총 유지보수 시간이다.

유지보수성은 식(2)로부터 엘리베이터는 MTTR = 0.498시간, 에스컬레이터는 MTTR = 0.585시간이었다. 그리고 승강장 스크린도어의 유지보수성은MTTR은 0.405시간으로 나타났다.

승강설비의 유지보수성 입증은186일간의 상업 운행 기간에 발생된 데이터를 기반으로 하였으며, 승강설비 연간 고장 분석 데이터로 부터 연관 고장 건수 709건과 총 연관 고장 시간 312.2시간을 확인하여 유지보수성이 0.4403시간임을 입증하였다.

## 4. 도시철도 승강설비와 PSD의 유지보수성의 입증 사례

유지보수성의 입증은 IEC 62278의 RAMS 요구사항을 활용하여 두 가지 사항에 대한 입증이 이루어진다. 첫째는 설비제작자의 부품 및 시스템 레벨의 고장데이터를 기반으로 한 유지보수성 예측 값의 확인이고, 둘째는 실제운용에 의해 확인된 실증 데이터를 기반으로 한 유지보수성 입증이다.

### 4.1 유지보수성 예측 사례

유지보수성 입증은 승강설비의MTTR의 유효성을 확인하는 것이 목적이다. 승강설비에 대한 신뢰성 곡선과 MTBF 및 평균고장시간(MDT)을 입증하여, 설비의 기능이 요구조건과 일치함을 증명한다.

유지보수성 활동은 시스템을 구성하는 하부시스템의 LRU 또는 LLRU 분류를 통하여 수행하며, 설비별 유지보수 엔지니어 판단에 따른 각 서브시스템 및 장치별 교체시간과 수리시간을 토대로 평균 수리시간을 산출하고, 이를 바탕으로 유지보수성 예측 활동을 수행하며, 향후 유지보수 시 이를 활용하도록 한다. <Table 6>은 엘리베이터의 품목별 MMTR을 나타내고 <Table 7>은 에스컬레이터의 품목별 MTTR이다.

유지보수성의 계산은 식(2)를 적용하여 엘리베이터의 MTTR은 0.498시간, 에스컬레이터의 MTTR은 0.585시간이다. 승강장 스크린도어의 유지보수성의 계산은 <Table 7>을 적용하여 MTTR은 0.08108시간이다.

Table 6 MTTR of elevator items

| Item No. | item | number of parts | MTTR(hr) |
|---|---|---|---|
| 30000 | Elevator system | 87 | 0.4980 |
| 31000 | Traction machine | 11 | 0.1898 |
| 32000 | Control panel | 24 | 0.0807 |
| 33000 | Cage | 26 | 0.1323 |
| 34000 | Hoist weigh | 16 | 0.0580 |
| 35000 | landing door | 10 | 0.0372 |

Table 7 MTTR of escalator items

| Item No. | Item | number of parts | MTTR(hr) |
|---|---|---|---|
| 40000 | Escalator system | 139 | 0.585 |
| 41000 | Drive unit | 8 | 0.098 |
| 42000 | Bedplate assembly | 65 | 0.267 |
| 43000 | Control panel | 66 | 0.220 |

Table 8 Relevant failure analysis for elevator services

| Relevant failure | Number of failures | Failure mode |
|---|---|---|
| Inverter | 152 | fault, burn out, error |
| Comb plate switch | 111 | error, noise, foreign object |
| Step up switch | 95 | error |
| Hand rail | 52 | speed mismatch |
| Multi beam | 11 | malfunction |
| Others | 288 | noise, connection error |
| Total | 709 | Toral delay time 312.2 hrs |

### 4.2 유지보수성 입증 사례

승강설비의 유지보수성 입증은186일간의 상업 운행 기간에 발생된 데이터를 기반으로 하여<Table 8>의 승강설비 연간고장 분석데이터로 부터 연관고장 건수 709건과 고장 시간 312.2시간을 입력하여 유지보수성 0.4403시간의 입증값을 확인하였다. 연관고장은 시험 또는 운용 결과를 해석하거나 신뢰성 척도를 계산하는 데 포함되어야 하는 고장이다.

## 5. 안전성평가

도시철도 승강설비 및 승강장 스크린도어의 안전사항은 설치된 역사에 대한 안전 관리 요건들을 실현하는데 있으며 이와 같은 요건들을 준수함으로써 시스템이 안전 목표를 달성하고 안전 및 가용도 요건을 만족할 수 있도록 한다. 시스템 안전 요구사항은 승강설비에 대한 현장설명서와 고객이 요구사항에서 제시한 내용에 따라 위험요소 분석하고 관리하여야 한다.

신뢰성과 안전성은 하나의 제품이 태어나서 폐기되기까지의 수명주기 동안의 모든 업무와 관련된다. 시스템의 신뢰성 문제로 인하여 부품의 고장이 발생하고 그로 인한 신체적, 경제적 손실을 입었다면 기기 자체의 신뢰성이 바로 안전성과 직결된다는 것을 알 수 있다. 엘리베이터의 무게를 지탱하는 와이어로프의 신뢰성 수준은 바로 제품의 안전성 수준인 것이다. “엘리베이터의 안전성이 높다”라고 하면 이것은 정성적인 것이지만, 왜 안전성이 높은지 다지다 보면 주요 구성 부품들의 고장률이 낮기 때문이라고 하는 정량적인 것을 도출할 수 있다[9]. 또한 승강장 스크린도어가 정해진 시점에 작동이 되지 않아 개방된 상태에서 열차가 진입을 하는 경우 신뢰성의 문제로 인하여 안전을 보장하기 어려운 상황이 발생될 수 있다.

승강설비의 안전성 활동은 설계 및 이행과정에서 안전에 대하여 현행 철도 산업의 최고운영모델을 적용하여 작업자, 승객뿐만 아니라 일반인에 대한 위험을 최소화 시킬 수 있도록 하여야 한다. 따라서 승강설비의 안전성의 목표는 용인가능 또는 무시가능한 수준의 위험 등급이어야 한다.

승강설비 시스템의 효과적인 안전성 보증을 위한 안전성 활동 방법론은 다음과 같다.

- 시스템 및 시스템 구성요소(Components)에 대한 위험요인 정립
- 각 위험요인의 심각도(Severity)와 발생 가능성(Likelihood) 분류에 따라 허용 가능한 위험도 수준 평가
- 허용 불가능한 위험요인에 대한 적절한 안전성 대책 수립 및 적용을 통해 허용 가능한 수준까지의 위험도 경감 또는 제거

### 5.1 위험요인 정립

철도 승강설비의 안전성 분석과정을 통하여 위험요인의 도출이 가능하다.

<Table 9>은 에스컬레이터의 PHA(Preliminary hazard analysis) 사례를 나타낸다. <Table 9>의 리스크 평가(Assess)란의 S(severity), F(frequency), R(risk)는 심각도, 빈도, 위험도를 나타내는 것으로서 이환덕[10]의 분류에 따른다.

<Table 10>은 엘리베이터의 PHA 사례를 나타내는 것으로 용인되지 않는 R2 리스크가 완화 조치 이후 수용이 가능한 R4 리스크로 경감되었으므로 철도 승강설비의 리스크는 모두 수용가능한 수준의 리스크로 확인이 되었다.

Table 9 PHA for escalator (example in part)

| Hazard No. | Hazard | Cause /Trigger | Incident /Effect | Assess | | | Corrective action | New assess | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | S | F | R | | S | F | R |
| PHA -01 | Bump into or fell down on the escalator | Walk or run when get into and out of escalator | Be slightly injured by fell down | 2 | C | R1 | Put sticker for riding in two lines<br>Put sticker for not running on the step | 2 | D | R2 |
| PHA -03 | Passenger's clothes or shoes are caught between step and skirt panel | When boarding the escalator, tide close to the side | The clothes are torn or the foot is injured | 4 | C | R2 | Attention is drawn in yellow mark on the edge of the escalator step so that you do not ride on the side.<br>Install a safety brush on the skirt panel. | 4 | F | R3 |

Table 10 PHA for elevator (example in part)

| Hazard No. | Hazard | Cause /Trigger | Incident /Effect | Assess | | | Corrective action | New assess | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | S | F | R | | S | F | R |
| PHA -301 | The car starts or stops all of a sudden | Sudden acceleration or stop | Physical and mental shock Minor wound | 3 | F | R3 | Make sure adjustment and setting | 2 | F | R4 |
| PHA -302 | The car moves while the door is open | The car moves in the hatch door jumper state and the person is looking into the hoistway | Death | 6 | F | R2 | Training of maintenance crew<br>Applying door-line jumper detection function | 2 | H | R4 |
| PHA -303 | | The car departs when the passenger goes in | Death due to stenosis | 6 | F | R2 | Double check by installing the door closing end sensor<br>Application of prevention system from starting with door open | 3 | H | R4 |

엘리베이터의 FTA 분석에서 최상위 사상(Event)은 엘리베이터의 정지이고 정지는 트렉션 머신 고장, 주 판넬(Main control panel) 고장, 케이지 부품고장, 승강로 부품고장, 승장부품고장으로 구성되어있다 승장부품고장률에 대한 에스컬레이터의 FTA의 사례는 <Fig. 3>과 같다.

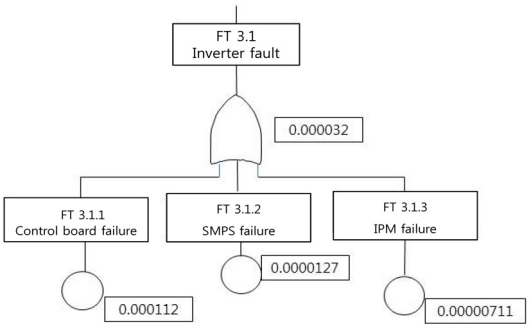


Fig. 3 Part of escalator FTA

## 6. 결 론

본 연구는 도시철도 승강설비 및 승강장 스크린도어의 RAMS 목표값을 달성하기 위하여 설계 및 개발 단계에서 활용 할 수 있는 방안을 IEC 62278을 적용하여 제안하였다. 본 연구를 통하여 분석된 결과는 다음과 같다.

첫째, 철도 승강설비 및 승강장 스크린도어의 가용성 예측 및 입증 방법을 제안하였다. 가용성 입증은 고유가용도를 적용하여 엘리베이터의 가용도는 99.936%임을 예측하였고, 에스컬레이터의 가용도는 99.929%, 그리고 승강장 스크린도어의 가용도는99.999% 의 값을 예측하였다. 승강설비에 대하여 186일간의 운전 기간 동안 수집한 FRACAS 자료의 분석 내용을 활용하여 가용도가 99.945% 임을 입증하였다.

둘째, 철도 승강설비 및 승강장 스크린도어의 유지보수성 예측 및 입증 방법을 제안하였다. 승강설비에 대한 시험데이터로부터 MTBF 및 MDT를 계산하여, 설비의 기능이 요구조건과 일치함을 증명하였는데 엘리베이터의 MTTR은 0.498시간, 에스컬레이터의 MTTR은 0.585시간, 그리고 승강장 스크린도어의 MTTR은 0.405시간을 예측하였다. 승강설비의 유지보수성은0.440시간임을 입증하였다.

## References

[1] Lee, M. C. (2012). A study on reliability & availability of train detection using virtual track circuit. Department of Railroad Electrical & Signalling Engineering Graduate School of Railroad, Seoul National University of Science and Technology.

[2] Ko, C. S. (2014). An analysis on the life cycle of man electronic components for high speed train(KTX), The Graduate School of Engineering Hanyang University.

[3] Kim, J. W. Park, J. S., Lee, H. Y. and Kim, J. H. (2008). “A conceptual procedure of RAMS centered maintenance for railway systems”. Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 11, No.1, pp. 19-25.

[4] Chung, I. S., Kim, J. W. and Lee, K. W. (2008). “The study on the demonstration test of quantitative reliability requirements for rolling stocks”. Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 11, No. 3 pp. 233-239.

[5] Kim, J. K. (2003). “RAMS of railway control system, the korean institute of electrical engineers”. Electrical Machinery and Energy Conversion Systems, Autumn Conference Papers, pp. 391-394.

[6] Kim, C. S. and Park, M. H. (2012). “Durability evaluation on doorstep equipments used for low and high level platforms at railway vehicle”. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 9, pp. 3889-3894.

[7] Jeong, Y., Kim, J. W. and Kim, J. B. (2008). “A case study on evaluating RAM performance of the door systems through field data”. Journal of the Korean Society for Railway, Conference Papers, pp. 1473-1480.

[8] MIL-HDBK-472 (1966). Maintainability prediction.

[9] Kim, K. S., Choi, J. M. and Lee, J. S. (2007). Interlocked control and interface safety between train door and PSD, The Korea Society for Railway, Spring Conference Papers, pp. 249-254.

[10] Lee, H. D. (2016). RAMS Estimation and Demonstration of Elevating Equipment & Platform Screen Door for Urban Railway Systems, Daegu University Doctoral thesis.