

## 도시철도 승강장 안전발판 시스템 신뢰도 분석에 관한 연구

박민흥\*, 이정훈<sup>1</sup>, 곽희만<sup>1</sup>, 김민호<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>주식회사 진합 기술연구소

### A Study on the Reliability Analysis of Platform Safety Step System in Urban Railway

Min-Heung Park<sup>\*</sup>, Jeong-Hun Lee<sup>1</sup>, Hee-Man Kwak<sup>1</sup>, Min-Ho Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technology Research Institute, Jinhap Co.,Ltd.

**요약** 본 연구에서는 승객들의 실족 사고를 방지하고 보행안전을 확보하기 위해 개발한 승강장 안전발판 시스템의 모듈별 부품들을 계층적으로 분류하여 고장률을 예측하였다. 예측된 고장률을 바탕으로 신뢰성 블록도와 고장수목분석을 이용하여 시스템별 평균 수명 및 고장률을 산출하였고 승강장 안전발판 시스템의 RAMS(신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성) 분석을 위해 수행한 신뢰도 분석 결과를 제시하고자 한다.

**Abstract** We developed the platform safety step system for the passenger to avoid misstep accident and secure the pedestrian safety. In this study, we classify platform safety step system into hierarchy system and predict the failure rate of each part and calculate the failure rate & MTBF(Mean Time Between Failure) of each module(sub-system) by means of RBD(Reliability Block Diagram) & FTA(Fault Tree Analysis). Finally, we will propose the reliability analysis results for RAMS analysis of platform safety step system.

**Key Words** : FTA(Fault Tree Analysis), Failure Rate, MTBF(Mean Time Between Failure), Reliability Analysis, RBD(Reliability Block Diagram)

#### 1. 서론

복지교통(Welfare Mobility)에 대한 국민적, 사회적 공감대가 형성되면서 안전성, 편의성, 쾌적성 등의 교통 이용환경 요구수준과 교통약자도 차별 없이 이용할 수 있는 교통여건 조성에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 상황에서 도시철도 구간에서 차량과 승강장사이의 공간에 장애우, 어린이 등 교통약자의 발빠짐이나 휠체어 바퀴가 빠지는 등의 안전사고 방지 및 저감을 위한 승강장과 전동차 사이 이격 거리 극복을 위한 니즈기술로서, 승강장 안전발판 시스템이 더욱 필요한 실정이며[1], 시스템 성능 및 내구성과 함께 신뢰성 확보가 바탕이 된 RAMS(Reliability Availability Maintainability Safety)

성능이 요구된다. 즉, 승강장 안전발판 시스템의 계층구조 분류 및 각 부품의 고장률 예측 결과를 기초로 시스템 신뢰도 분석을 통한 RAMS 요구사항에 충족되는 시스템 설계 및 개발이 필요하다.

산업별로 RAMS관련 연구는 다양하게 진행되어 왔다. 이론적인 접근에서부터 산업현장에 직접 적용한 사례 연구들이 주를 이룬다. 박재영은 열차 내 연산시스템용 AF궤도회로 신뢰성향상 방안 연구에서 FMEA 등 신뢰성 분석 기법을 적용하여 경험에 의한 유지보수 체계 계량화 방법 및 AF궤도회로에 대한 신뢰성 향상 방안을 연구하였고[2], 윤학선 등은 도시형자기부상열차 열차 제어시스템 개발에 RAMS 분석기법을 적용하여 설정된 RAMS 목표 값 달성을 입증하였다[3,4]. 한석운 등은 한

본 논문은 국토교통부 도시형자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술개발 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Min-Heung Park(Technology Research Institute, Jinhap Co.,Ltd.)

Tel: +82-70-8889-1611 email : mhpark@jinhap.com

Received May 8, 2015

Revised (1st June 5, 2015, 2nd June 10, 2015)

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

국형 경량전철인 고무차륜 AGT 차량시스템 개발에 있어 국내 철도차량 RAMS 적용현황과 개선방향 연구를 통해 국내·외의 도시철도차량 발주사양에서 RAMS와 관련된 현황과 국내의 도시철도법에서 명기된 신뢰성 관련 현황을 분석하고, 국내에서 운영되고 있는 신뢰성 인증 제도를 검토하였다[5]. 또한 신뢰성 관리체계 개발 및 신뢰성 DB프로그램 개발하여 신뢰성 성장 분석을 실시하였고[6,7], 철도신뢰성 관련 국제 규격비교 분석 연구를 통해 국내·외의 도시철도차량 발주사양에서 RAMS와 관련된 현황과 국내의 도시철도법에서 명기된 신뢰성 관련 현황을 분석하고, 국내에서 운영되고 있는 신뢰성 인증 제도를 검토하였다[8]. 김종운, 정인수 등은 철도시스템의 RAMS 중심의 유지보수 정책결정을 위한 개념적 절차를 연구하여 획득된 시스템의 RAMS 고유 성능이 지속적으로 달성되는 것을 목표로 하는 RAMS 중심의 유지보수 정책 결정을 위한 절차를 제안하였고[9], 철도차량 구매요구사항에 포함되는 RAMS 특성 값에 대한 연구를 통해 정량적인 RAMS 요구사항 설정이 유효성과 효율성 측면에서 철도차량 구매요구사항에 적합함을 검증하였다[10].

승강장 안전발판 시스템 설계 안정화 및 신뢰성 향상 연구는 신뢰도 분석을 기초로 RAMS 요구사항이 충족된 시스템 개발과 RAMS 성능 향상을 목적으로 한다. 따라서, 본 논문에서는 승강장 안전발판 시스템을 구성하고 있는 각 모듈 및 부품들을 계층적으로 분류한 후 각각의 부품에 대한 고장률을 예측하고 신뢰성블록도(RBD)와 고장수목분석(FTA)를 이용하여 각 모듈별 평균 수명(MTBF) 및 고장률을 산출하여 승강장 안전발판 시스템의 신뢰도 분석 결과를 제시하고자 한다.

표 1은 본 논문에서 사용된 용어 및 약어이다.

Table 1. Primary Terminology & Abbreviation

| Item | Terminology & Abbreviation            |
|------|---------------------------------------|
| EPRD | Electronic Parts Reliability Data     |
| FTA  | Fault Tree Analysis                   |
| FT   | Fault Tree                            |
| LRU  | Line Replaceable Unit                 |
| MTBF | Mean Time Between Failure             |
| NPRD | Non-electronic Parts Reliability Data |
| PBS  | Product Breakdown Structure           |
| PSCU | Platform Safety step Control Unit     |
| RBD  | Reliability Block Diagram             |

## 2. 시스템의 기능 및 신뢰도 분석

### 2.1 시스템의 기능

승강장 안전발판 시스템은 교통약자를 포함한 모든 승객들의 실족 사고를 방지하고 보행안전을 확보하기 위한 장치로 그림 1과 같이 하중지지부(Load Support Module), 충돌부(Impact Module), 클러치 & 링크부(Clutch & Link Module), 구동부(Operation Module), 발판부(Step Module), 제어부(Control Module)와 같은 하위 시스템으로 구성된다.

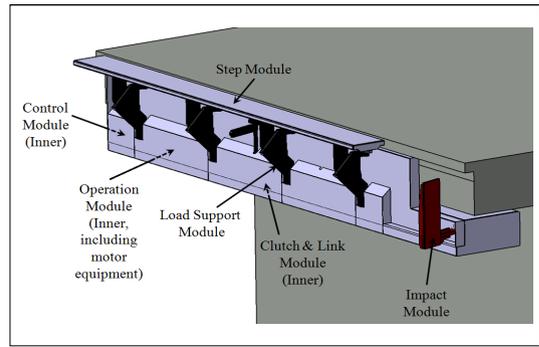


Fig. 1. Platform Safety Step System Block Diagram

각각의 하위 시스템에 대한 기능을 살펴보면, 하중지지부는 안전발판에 적용되는 하중을 견딜 수 있는 구조체이고, 충돌부는 열차와의 충돌 시 이를 감지하여 강제적으로 발판을 복귀시키는 Fail-Safe 기능을 수행하는 모듈이다. 클러치 & 링크부는 구동부 모터의 회전력을 하중지지부에 전달하고 비상 상황 시 충격력이 구동부에 전달되지 않도록 하는 기능을 수행한다. 구동부는 모터와 볼 스크류에 의해 안전발판이 동작할 수 있는 힘을 발생시키고, 발판부는 승강장과 열차의 간격을 막아 승객 승하차시 발빠짐을 방지하는 기능을 수행한다. 마지막으로 제어부는 안전발판의 구동을 제어하고, 모니터링하는 기능을 수행한다.

### 2.2 신뢰도 분석

승강장 안전발판에 대한 신뢰도 분석을 위해 RAMS 관련 규격 및 MIL-HDBK-217F 등의 기준서와 EPRD/NPRD와 같은 데이터북을 적용하여 하드웨어의 부품단위 고장률을 예측하고, 각 구성 장치에 대한 신뢰성 블록도(RBD)와 고장수목분석(FTA)을 수행하여 각 구성 장치

및 시스템에 대한 평균 수명(MTBF) 및 고장률을 산출하였다[11,12,13,14].

2.2.1 계층구조 및 기능분석

승강장 안전발판의 신뢰도 분석을 위해 먼저 각 하위 시스템별 계층 구조와 구성품 및 보드(Board) 단위의 현장교체가능유닛(LRU)를 기초로 제품분류체계(PBS)를 구성하였다. 제품분류체계(PBS)는 고장 또는 이상 징후가 발생했을 때 현장에서 새로운 예비품으로 교체가 가능한 구성품 및 보드 등과 같은 현장교체가능유닛(LRU) 단위로 구성되며, 이러한 분류체계를 기반으로 신뢰도 분석을 수행하였다.

표 2는 승강장 안전발판 시스템을 구성하는 6개의 모듈 중 하중지지부에 대한 제품분류체계(PBS)의 일부 예시를 나타내며, 표2와 같이 제품분류체계(PBS)는 시스템에 대한 구성 부품, 부품별 기능 그리고 수량을 포함한다.

Table 2. PBS of Platform Safety Step System  
(Partial Example : Load Support Module)

| ID     | Item Description            | Q'ty | Function   |
|--------|-----------------------------|------|--|
| 100000 | Platform Safety Step System |      |  |
| 110000 | Load Support Module         |      |  |
| 111000 | Folding Link (Lower/Upper)  | 8    | Structure of supporting for load                           |
| 112000 | Swing Arm (Main Link)       | 4    | Structure connected Folding Link of Load Support Module    |
| 113000 | Main Block (Swing)          | 5    | Support unit connected Lower link for loading              |
| 114000 | Main Block Pin              | 5    | Connecting unit for rotating motion of Load Support Module |

2.2.2 고장률 예측

고장률(또는 평균 수명)은 실제로 현장에서 운용되는 동안 고장이 발생한 이력자료를 기반으로 통계적으로 추정하는 것이 원칙이지만, 본 시스템과 같이 운영 이력이 없는 신규 개발 시스템에 대해서는 고장자료를 획득하기가 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 구성 부품의 명세서를 정리하여 이를 토대로 전자 부품류인 경우는 Telcordia, MIL-HDBK-217F 등과 같은 기준서, EPRD와 같은 데이터북을 적용하여 구성 부품에 대한 고장률을 예측하였고, 기계 부품류의 경우도 전자 부품류와 마찬가지로 NPRD와 같은 데이터북을 적용하여 구성 부품에 대한

고장률을 산출하였다. 고장률 예측을 수행하기 위해서는 먼저 구성 부품의 계층 구조 및 분해 수준을 결정하고 각 부품에 대한 상세 부품 명세서를 수집, 정리하며 동작 환경, 온도, 품질수준, 전기적 특성, 기계적 특성 및 기술적인 특성을 파악한 후 기준서 및 데이터북을 적용하여 고장률을 예측해야 한다.

Table 3. Failure Rate Prediction Result (Partial) of Platform Safety Step System Component

| Item Description            | Failure /Hour | MTBF (Hour) | Data Source  |
|-----------------------------|---------------|-------------|--------------|
| Platform Safety Step System |               |             |              |
| Load Support Module         |               |             |              |
| Folding Link (Lower/Upper)  | 2.2298 E-07   | 4,484,767   | D:NPRD -2011 |
| Swing Arm (Main Link)       | 1.2023 E-06   | 831,710     | D:NPRD -2011 |
| Main Block (Swing)          | 7.3003 E-07   | 1,369,814   | D:NPRD -2011 |
| Main Block Pin              | 7.1493 E-07   | 1,398,738   | D:NPRD -2011 |

승강장 안전발판 시스템 내 구성 부품 중에서 시중품인 경우 기기 제조사에서 제공하는 자료 및 유사 제품의 자료를 검토하고 이에 대한 자료가 없는 경우에는 EPRD/NPRD와 같은 데이터북을 활용하였다. 발판 제어기(PSCU) 및 전자 부품에 대해서는 구성 부품의 명세서를 토대로 MIL-HDBK-217F 기준서 및 EPRD/NPRD 등의 데이터북을 활용하여 고장률을 산출하였다.

각 부품별 고장률 예측 시, 부품의 수명은 고장률이 일정한 지수분포를 따르고, 한 모듈의 모든 부품은 직렬로 연결되어 있으며, 각 부품은 통계적으로 독립이라는 가정을 적용하였다. 또한 MIL-HDBK-217F 기준서를 활용한 안전발판 시스템 내 제어기(PSCU)에 대한 고장률 산출을 위해 사용온도는 30℃, 환경조건은 Ground Benign, 전류, 전압, 전원 스트레스 50%를 가정하였고, 커패시터, 저항, 릴레이, 코일 등 제어시스템을 구성하는 요소별로 품질조건을 정하였다.

표 3에 승강장 안전발판 시스템의 부품별 고장률 예측 결과 일부를 나타냈다.

2.2.3 신뢰성 블록도(RBD)

신뢰성 블록도(RBD)는 기능 블록도를 기준하여 아이템이 주어진 기능을 수행하기 위하여 정상적으로 동작하

여야 하는 하드웨어 블록의 연결 관계도를 나타낸다. 아래의 3가지 가정을 바탕으로 직렬과 병렬 구조의 시스템에 대한 신뢰도( $R_s(t)$ )와 평균 수명(MTBF) 산출 방법을 살펴보면 다음과 같다.

가정 1. 시스템은  $n$ 개의 부품으로 구성되어 있으며, 각 부품은 통계적으로 독립이다.

가정 2. 각 부품의 고장률을  $\lambda_i(i=1, \dots, n)$ 라 하고, 각각의  $\lambda_i$ 는 일정하다. (지수분포 가정)

가정 3. 부품의 신뢰도는  $R_i(t) = e^{-\lambda_i t}$  이다.

1) 직렬구조의 경우

$n$ 개의 부품 수명이 각각 지수 분포를 따르고 ( $T \sim \text{Exp}(\lambda)$ ), 직렬로 구성되어 있는 경우는  $n$ 개의 부품 각각이 고장 없이 수행되어야 시스템이 작동하는 형태로 전체 시스템에 대한 신뢰도( $R_s(t)$ )는 식 (1)과 같이 산출되고, 전체 시스템의 고장률( $\lambda_s$ )은 식 (2)와 같이 각 부품의 고장률( $\lambda_i$ )의 합으로 계산된다.

$$R_s(t) = R_1(t) \times \dots \times R_n(t) \tag{1}$$

$$= \prod_{i=1}^n R_i(t) = e^{-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)t} = e^{-\lambda_s t}$$

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \tag{2}$$

$$MTBF_s = \int_0^\infty t \cdot f_s(t) dt = \int_0^\infty R_s(t) dt$$

$$= \int_0^\infty e^{-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)t} dt = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{\lambda_s} \tag{3}$$

이 구조에서 시스템의 평균 수명(MTBFs)은 신뢰도 함수를 시간에 대해 적분하여 구할 수 있으며 식 (3)에서와 같이 전체 시스템의 고장률의 역수로 산출된다.

2) 병렬구조의 경우

$n$ 개의 부품 수명이 지수 분포를 따르고 ( $T \sim \text{Exp}(\lambda)$ ), 병렬로 구성되어 있는 경우는  $n$ 개의 부품이 모두 고장이 나는 경우를 제외하고는 전체 시스템이 작동하는 구조로 신뢰도는 식 (4)와 같이 산출된다.

$$R_s(t) = 1 - (1 - R_1(t)) \times (1 - R_2(t)) \times \dots \times (1 - R_n(t)) \tag{4}$$

$$= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$

$$= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t})$$

$n$ 개의 동일한 부품이 병렬로 구성될 경우 전체 시스템의 평균 수명(MTBFs)은 식 (5)와 같이 정리되고, 전체 시스템에 대한 고장률( $\lambda_s$ )은 평균 수명(MTBFs)의 역수로 식 (6)과 같이 산출된다.

$$MTBF_s = \int_0^\infty (1 - (1 - e^{-\lambda t})^n) dt \tag{5}$$

$$= \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda} + \dots + \frac{1}{n\lambda}$$

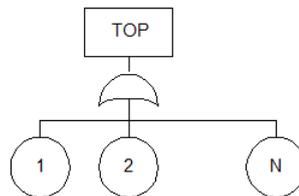
$$= \sum_{i=1}^n \frac{1}{i\lambda}$$

$$\lambda_s = \frac{1}{MTBF_s} \tag{6}$$

2.2.4 고장수목분석(FTA)

고장수목분석(FTA)은 시스템 고장을 발생시키는 원인들과의 관계를 논리 기호(AND, OR 등)를 이용하여 나뭇가지 모양의 그림(Tree)으로 나타낸 고장수목(FT)을 만들고 이에 의거하여 시스템의 고장확률을 구함으로써 취약 부분을 찾아내어 시스템의 신뢰도를 개선하는 정량적 고장해석 및 신뢰성 평가 방법이다. OR gate(직렬 구조)와 AND gate(병렬 구조)로 구성된 시스템의 고장확률을 구하는 방법을 살펴보면 다음과 같다.

1) OR gate(직렬 구조)의 경우



$n$ 개의 기본 사상이 OR gate로 위 기호와 같이 연결되어 있는 경우 해당 시스템의 고장확률( $F_s(t)$ )을 구하는

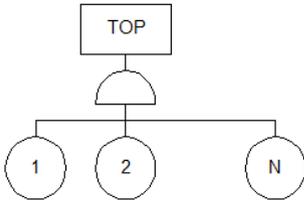
식은 식(7)과 같이 정리된다.

$$F_s(t) = 1 - (1 - F_1)(1 - F_2) \cdots (1 - F_n) \quad (7)$$

$$= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i)$$

2) AND gate(병렬 구조)의 경우

아래의 기호와 같이 n개의 기본 사상이 AND gate로 연결되어 있는 경우 시스템의 고장확률(Fs(t))을 구하는 식은 식(8)과 같이 정리된다.



$$F_s(t) = F_1 \cdot F_2 \cdots F_n = \prod_{i=1}^n F_i \quad (8)$$

2.2.5 고장률 및 평균 수명(MTBF) 산출

신뢰성 블록도(RBD)와 고장수목(FT)을 이용하면 n개의 독립된 부품들로 구성된 시스템에 대한 신뢰도, 고장률, 평균 수명(MTBF)을 산출할 수 있으며, 승강장 안전발판 시스템의 각 하위 시스템에 대한 평균 수명(MTBF)과 고장률 산출을 통해 승강장 안전발판 시스템의 평균 수명(MTBF)과 고장률을 산출할 수 있다. 그림 2는 기계시스템을 구성하는 6개의 모듈 중 하중지지부에 대한 신뢰성 블록도(RBD)이며 그림 3은 하중지지부에 대한 고장수목(FT)이다. 승강장 안전발판 시스템의 하중지지부의 신뢰성 블록도(RBD)는 직렬구조로 구성되며 이에 따른 고장수목(FT)는 OR 게이트로 표현된다.

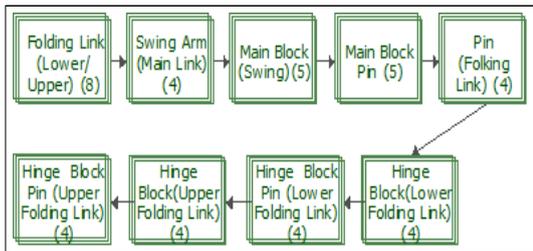


Fig. 2. RBD Example of Load Support Module in Platform Safety Step System

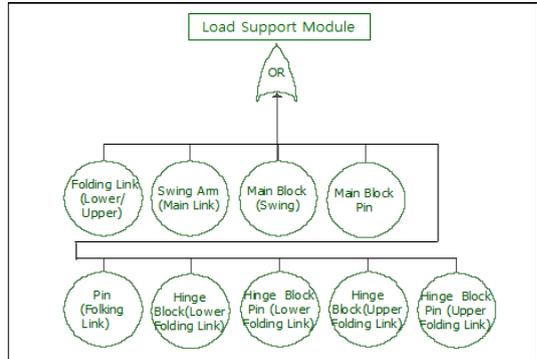


Fig. 3. FTA Example of Load Support Module in Platform Safety Step System

하중지지부의 신뢰성 블록도(RBD)와 고장수목(FT)을 이용하여 9개의 독립된 부품들로 구성된 하중지지부에 대한 고장률과 평균 수명(MTBF)을 산출한 결과를 표 4에 나타냈다.

Table 4. Reliability Analysis Result of Load Support Module

| Load Support Module           |              |
|-------------------------------|--------------|
| Failure Rate (failures/106hr) | MTBF (hours) |
| 28.8226                       | 34,695       |

이와 같은 방법으로 승강장 안전발판 시스템의 각 하위 시스템에 대한 고장률과 평균 수명(MTBF)을 산출할 수 있으며, 그 결과를 표 5에 나타냈다.

승강장 안전발판 하위 시스템의 신뢰도 분석을 통해 전체 시스템의 고장률과 평균수명(MTBF)을 산출할 수 있다. 본 시스템은 정상 가동을 위해 모든 부품이 정상 작동해야 하므로 신뢰도 구조상 직렬구조를 갖으며, 각각의 하위 시스템들이 하나라도 기능을 수행하지 못하면 시스템 고장으로 판정한다. 그림 4와 5에 승강장 안전발판 시스템의 신뢰성 블록도(RBD)와 고장수목(FT)을 나타냈으며, 표 6에 신뢰성 분석을 통해 산출된 승강장 안전발판 시스템의 고장률과 평균수명(MTBF)을 나타냈다.

Table 5. Reliability Analysis Result of Platform Safety Step Sub-System

| Classification       | Failure Rate (failures/106hr) | MTBF (hours) |
|----------------------|-------------------------------|--------------|
| Load Support Module  | 28.8226                       | 34,695       |
| Impact Module        | 3.4060                        | 293,600      |
| Clutch & Link Module | 20.4507                       | 48,898       |
| Operation Module     | 11.5695                       | 86,434       |
| Step Module          | 2.5547                        | 391,435      |
| Control Module       | 2.0085                        | 497,884      |

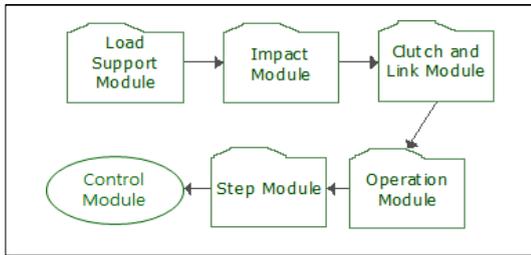


Fig. 4. RBD of Platform Safety Step System

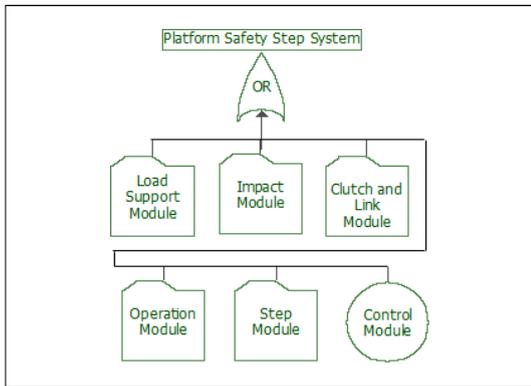


Fig. 5. FTA of Platform Safety Step System

Table 6. Reliability Analysis Result of Platform Safety Step System

| Platform Safety Step System      |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| Failure Rate<br>(failures/106hr) | MTBF<br>(hours) |
| 68.8089                          | 14,533          |

신뢰성 분석을 통해 산출된 승강장 안전발판 시스템의 고장률  $68.8089 \times 10^{-6}$ 은 1,000,000만 시간동안 68.8089건의 고장 발생을 의미한다. 평균수명 해석을 위해 하루 열차가 20시간 동안 운행되고 안전발판 시스템이 3분에 1회 작동(1회 동작 시간 20초)한다고 가정할 경우, 하루 동안 안전발판 가동 횟수는 20시간(1,200분) 당 400회 이고 1년 동안 가동횟수는 146,000(400회\*365일)회 이므로 1년 동안 안전발판의 동작 시간은 811시간으로 수리적 계산이 가능하다. 즉, 1년 동안 안전발판의 동작시간 811시간을 고려하면 산출된 평균수명(MTBF) 14,533시간은 17.9년을 의미한다.

### 3. 결론

1. 승강장 안전발판 시스템을 구성하고 있는 각 모듈별 부품들을 계층적으로 분류하여 기준서 및 데이터북을 통해 각각의 모듈별 부품에 대한 고장률을 예측하였고 그 일부를 제시하였다.
2. 예측된 부품의 고장률을 바탕으로 신뢰성 블록도 및 고장수목분석을 통해 각 모듈별 평균수명 및 고장률을 산출하여 결과를 제시하였다.
3. 각 모듈별 신뢰성 분석 결과를 토대로 승강장 안전발판 시스템의 고장률과 평균수명을 산출하여 제시하였다. 고장률  $68.8089 \times 10^{-6}$ 은 1,000,000만 시간 동안 68.8089 건의 고장 발생을 의미하며, 평균수명 14,533시간은 1년 동안 안전발판의 동작시간 811시간을 고려했을 때, 17.9년을 의미한다.

향후 본 신뢰성 분석 결과를 기반으로 RAMS 분석을 진행할 예정이며 성능 및 내구성 시험 결과와의 Feedback을 통해 승강장 안전발판 시스템의 설계 안정화 및 제품의 신뢰성 향상에 기여하고자 한다.

### References

- [1] M. H Park, et al., “Conceptual Design of Safety Step System in Urban Railway Platforms”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15, No. 5, pp.2559-2566, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.5.2559>
- [2] J. Y Park, “Reliability improvement methods of AF track circuits for the train control system”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 10 pp. 4762-4767, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.10.4762>
- [3] H. S. Yun, et al., “A Study on the RAMS Analysis of Urban Maglev Train Control System”, Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 14, No. 6, pp.515-525, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2011.14.6.515>
- [4] H. S. Yun, et al., “A Study on the Application of RAMS for Urban Maglev Signalling System”, Proceedings of the 2008 annual meeting for Korean Society for Railway, pp.1113-1125, 2008.
- [5] S. Y. Han, et al., “Improvement of RAMS Application to Electrical Multiple Unit in Korea”, Proceedings of the

2006 spring annual meeting for the Korean Society for Railway, pp.25-32, 2006.

- [6] S. Y. Han, et. al., "Reliability Management of the Rubber-Tired AGT Vehicle System", Proceedings of the 2004 autumn annual meeting for the Korea Safety Management & Science, pp.171-182, 2004.
- [7] S. Y. Han, et. al., "Development and Application of Reliability DB Program for K-AGT System", Journal of the Korea Safety Management & Science, Vol. 8, No. 2, pp.91-101, 2006.
- [8] S. Y. Han, et. al., "A study on the Comparison of the International Standards for Railway Reliability", Proceedings of the 2005 spring annual meeting for the Korea Safety Management & Science, pp.267-271, 2005
- [9] J. W. Kim, et. al., "A Conceptual Procedure of RAMS Centered Maintenance for Railway Systems", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 11, No. 1, pp.19-25, 2008.
- [10] I. S. Chung, et. al., "A Study on RAMS Parameters in the Procurement Requirement for Rolling Stock", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 11, No. 4, pp.371-377, 2008.
- [11] EN 50126, Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), 2007.
- [12] MIL-HDBK-217, Military Handbook - Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1995
- [13] NPRD, Nonelectronic Parts Reliability Data, RiAC(Reliability Information Analysis Center), 1995.
- [14] EPRD, Electronic Parts Reliability Data, RiAC(Reliability Information Analysis Center), 1997.

**박민흥(Min-Heung Park) [정회원]**



- 2006년 8월 : 한양대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2012년 8월 : 한양대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사수료)
- 2006년 7월 ~ 2008년 8월 : GM 대우 차체설계팀 Underbody 설계
- 2008년 9월 ~ 2012년 12월 : 한국철도차량엔지니어링 기술연구소 연구원

• 2012년 12월~현재 : 주식회사진합 기술연구소 책임연구원

<관심분야>

기계설계, 시스템 수명예측 및 신뢰성평가, 신뢰성공학,

**이정훈(Jeong-Hun Lee) [정회원]**



- 2007년 2월 : 한밭대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 6월 ~ 2012년 1월 : (재)한국철도차량엔지니어링 검사본부/기술연구소
- 2012년 1월 ~ 2014년 12월 : 한국철도공사 연구원
- 2015년 1월 ~ 현재 : 주식회사진합 기술연구소 선임연구원

<관심분야>

신뢰성 공학, 철도차량 공학, RF 수동/능동소자 설계

**곽희만(Hee-Man Kwak) [정회원]**



- 2005년 2월 : 한밭대학교 응용소재 공학과
- 2008년 2월 : 한국기술대학교 일반대학원 신소재공학과 (공학석사)
- 2006년 10월 ~ 2008년 6월 : 자동차부품연구원 연구원
- 2008년 7월 ~ 현재 : 주식회사진합 기술연구소 선임연구원

<관심분야>

신소재, 기계설계, 기계적 특성 평가

**김민호(Min-Ho Kim) [정회원]**



- 2010년 2월 : 한밭대학교 생산가공 공학과
- 2010년 4월 ~ 2012년 1월 : 한국전자통신연구원 연구원
- 2012년 2월 : 한밭대학교 산업대학원 생산가공공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 ~ 현재 : 주식회사진합 기술연구소 선임연구원

<관심분야>

신소재, 기계설계