

## 전기식 출입문 시스템의 신뢰도 분석기법에 관한 연구

김철섭<sup>1)</sup> 이희성<sup>1)\*</sup>

1) 서울과학기술대학교

### A Study on the Reliability Analysis Methodology of Passenger Door System of Electrical Type

Chul Sub Kim,<sup>1)</sup> Hi Sung Lee<sup>2)\*</sup>

1) KORAIL, 2) Seoul National University of Science and Technology,

**Abstract** : The door system for railway vehicles is the critical device directly influences on safety and satisfaction of passengers, Recently, electrical type of passenger door system is widely used for EMU type train instead of pneumatic type of passenger door system. The estimation of MTBF and failure rates for electrical type door system is essential. The manufacturer simply provides intrinsic reliability data for the railway operator. But actual reliability data based on operation and maintenance data is not complying with intrinsic reliability. In this study, operation and failure data associated with electrical door system were analyzed in order to determine actual MTBF and failure data. Intrinsic reliability data and service reliability data were studied to finalize much more practical and reliable actual reliability. Relax 2011 was used to predict intrinsic reliability and 217Plus model was also used to estimate of actual reliability data based on field data. Furthermore, it is necessary to keep studying on reliability prediction methodology and applying it in the field and doing research on improvement of reliability through feedback as well.

**Key Words** : Failure Rate, MTBF(Mean Time Between Failure). Electrical type, EMU(Electric Multiple Unit)

---

\* corresponding author : Hi Sung Lee/Seoul National University of Science and Technology/hslee@seoultech.ac.kr

\* This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

## 1. 서론

현대의 도시철도차량은 부품과 시스템이 복잡하고 첨단화되어 고장관리 또한 과학적이고 체계적인 접근이 수행되어야 한다. 특히, 철도차량의 정비방식이 기존의 정비방식인 운행시간 또는 운행거리에 따라 그 기준을 정하여 해당 검사를 시행하는 획일적인 정비방법에서 신뢰도 분석을 통한 합리적인 유지보수체계로 변화되고 있다. 이에 따라 철도분야의 신뢰도 설계 및 평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 아직까지 활성화 된다고나 표준화되고 있지 못한 것이 현실이다.

시스템 전체의 편성단위 신뢰도 목표에 부합하는 개별 철도차량부품 및 구성품의 신뢰도 목표값에 맞는 부품 및 구성품의 사용을 의무화 되는 추세에 있지만 실제 운영환경에 적용되었을 때에는 제작사에서 제시한 신뢰도 기준과 실제 신뢰도 값은 큰 차이를 보이는 것이 현실이다. 이에 본 연구의 목적은 전기식 출입문에 대하여 신뢰도 분석기법을 적용하여 제작사에서 제시한 자료와 실제 전동차 운영에서 발생하였던 운영데이터를 사용하여, 이들의 다양한 고장요소들을 분석하여 전동차에 장착된 전기식 출입문 시스템의 신뢰도를 분석하고자 한다.

## 2. 전기식 출입문 시스템의 구조

### 2.1 전기식 출입문의 개요

본 연구에서의 대상인 전기식 출입문 시스템은 실제 운영되고 있는 철도 차량에 장치된 시스템으로서, 승객의 안전이 가장 우선시되도록 설계된 시스템이다.

일반적으로 개별 차량에는 좌·우 각각 8 세트의 승객용 측 출입문이 있으며, 1 세트의 전기식 출입문 시스템은 크게 4부분(제어장치부, 작동부, 판넬부, 비상 장치부)으로 모듈화 되어 있고, 각 출입문 시스템은 개별적인 DCU (Door Control Unit) 를 가지고 있어 시스템의 상태를 스스로 파악이 가능하고, 운전실에서는 각 DCU의 상태를 입력 받아 출

입문 상태를 원격으로 파악할 수 있다.

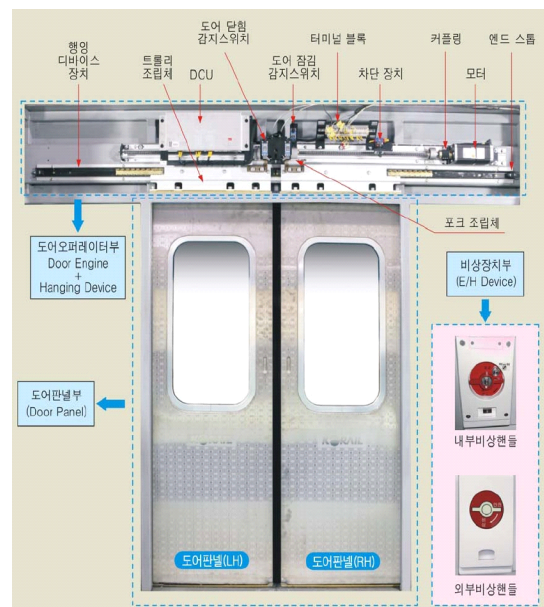
전기식 출입문의 시스템 규격은 Table 1과 같다.

<Table. 1> Specification of Electric Door System

구분	사양
도어 시스템 형식	전기식 포켓 슬라이딩 형식
스트로크	2 × 650 mm = 1,300 mm
작동 방식	스크류 기어 시스템
정격 전압	100 VDC
작동 전압	70 VDC ~ 110 VDC
열리는 시간	2.5 ± 0.5 초
닫히는 시간	3.0 ± 0.5 초
장애물 감지	두께 10 mm × 100 mm 평판
주요 작동 장치	출입문 제어 장치 (DCU) 내부 및 외부 비상 해제 장치 차단(Isolation) 장치 (Switch)
작동 스위치	-닫힘 감지 스위치 2개 -잠김 감지 스위치 1개 -비상 해제 감지 스위치 2개 (내/외부) -차단(Isolation) 장치 감지 스위치 1개

### 2.2 전기식 출입문의 주요 구성

전기식 출입문의 주요 구성은 Fig.1과 같다.



[Figure 1] Component of Electric Door System

### 2.3 전기식 출입문 시스템의 동작

전기식 출입문 시스템의 동작은 Fig 2와 같다.



[Figure 2] Operation Process of Electric Door System

## 3. 신뢰도 분석 모델 및 방법론

### 3.1 분석 일반

신뢰성이란 KS A 3004에서는 주어진 기간 동안 주어진 조건에서 요구 기능을 수행할 수 있는 아이템의 능력이라고 정의하고 있으며 KS C IEC 62278에서 신뢰도란 아이템이 주어진 조건하에서 주어진 시간 동안 요구된 기능을 수행 할 수 있는 확률로 정의하고 있다. 즉, 분석의 대상이 되는 장비가 특정 시점에 원하는 기능을 수행하면서 살아 있을 가능성을 확률로 표현한다[1].

### 3.2 신뢰도 모델

신뢰도 모델은 주어진 시스템 또는 기능과 구성 부품들 간의 상호 연관관계를 표현하는 방식이다. 기본적인 신뢰도 모델은 모든 시스템을 구성하는 부품이 직렬로 연결된 모델이라고 가정하며 신뢰도 분석을 위한 수단으로 활용된다. 신뢰도 분석 대상인 시스템 고장은 정상적인 유지보수가 수행되는 정상적인 운영조건에서 발생하는 순수한 부품의 고장만을 대상으로 하며 운영자나 정비요원의 실수에 의해 발생하는 고장은 분석대상에서 제외한다[2].

### 3.3 신뢰도 요구사항 분석

전기식 출입문 시스템의 신뢰도 모델링과 분석을 효과적으로 수행하기 위해서는 해당 전동차의 운행 환경, 편성열차 시스템의 기술 사양 및 신뢰도 요구 사항 등의 분석이 우선적으로 수행되어야 한다.

### 3.4 신뢰도 분석 방법

신뢰도 분석은 신뢰성 모델에서 정의된 방법을 사용하여 전기식 출입문 시스템을 구성하는 부품의 신뢰도가 고장률 혹은 MTBF와 같은 신뢰도 요구 사항을 만족시키는지 여부를 예측하는 방법으로 다음과 같은 2가지 방식을 사용하여 신뢰도 분석을 수행한다.

방법 1: 실제 운영데이터를 이용한 신뢰도 분석

예측 대상시스템 및 부품에 대하여 실제 사용 중 발생한 고장 이력 데이터를 이용하여 통계적으로 추정이 가능한 경우 사용 시간, 고장 발생 빈도 및 운행 환경 등을 고려한다.

방법 2: 예측 규격을 이용한 신뢰도 분석

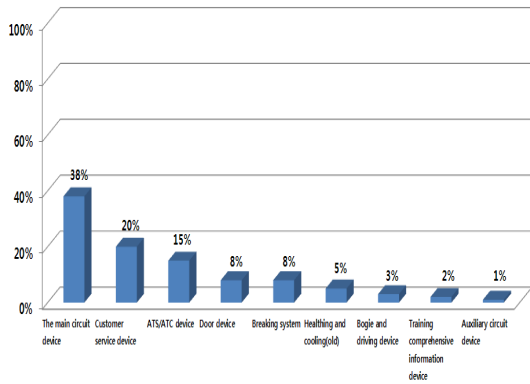
방법 1의 데이터를 활용할 수 없는 경우 MIL 규격, Telcordia, NPRD/EPRD 등을 이용한다.

## 4. 실제 운영데이터를 이용한 신뢰도 분석

운영기관에서 전동차에 장착된 전기식 출입문 시스템의 2008년부터 2011년 6월까지의 운영데이터를 수집, 분석하였다.

### 4.1 전동차 장치별 고장현황

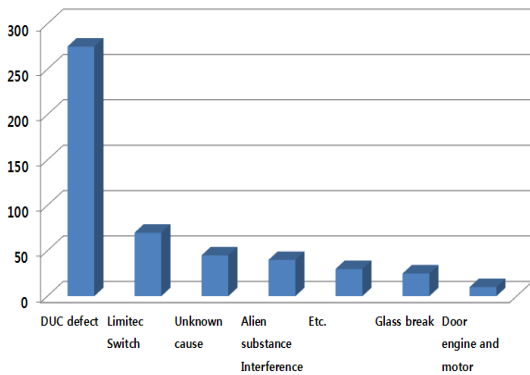
운영데이터를 분석한 결과 전동차 장치 중 주회로 장치에서의 고장이 가장 많이 발생하였으며, 객서비스장치(방송장치, 객실안내표시기 등), ATC 장치 순으로 나타났으며 출입문장치는 4번째로 고장이 많이 발생하는 것으로 분석되었으며 Fig. 3과 같다.



[Figure 3] Failure conditions of EMU parts

#### 4.2 전기식 출입문 시스템의 주요 고장 원인

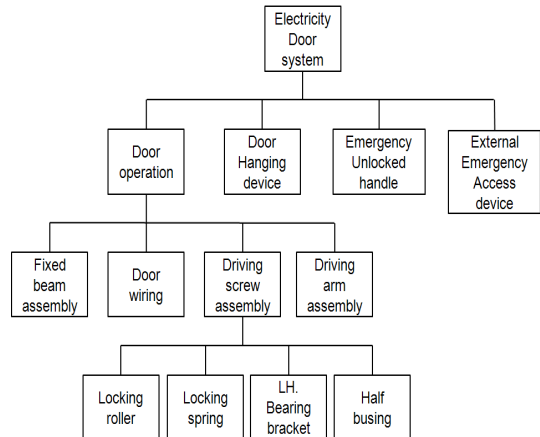
전기식 출입문 시스템의 고장 원인은 Fig. 4와 같으며 그 중에서도 가장 많은 고장원인을 나타내고 있는 DCU 불량은 전체 고장 원인의 60%의 비율을 차지하고 있음을 확인할 수 있다.



[Figure 4] Failure cause of Electric Door System

#### 4.3 전기식 출입문 시스템의 BOM(Bill of Materials) 구성

Fig. 5는 전기식 출입문 시스템의 구조 중 일부를 나타냈으며, 4레벨로 구분하여 전기식 출입문 시스템의 BOM을 구성하였다.



[Figure 5] BOM Level of Electric Door System

#### 4.4. 와이블 분석

운영데이터의 고장률을 분석하기 위해서 운영기관의 도움을 받아 전기식 출입문의 3년동안의 정비자료를 수집하였다. 출입문은 고장시 수리하여 재사용하는 수리계 제품으로 가정하여 분석을 수행하였다.

운영 데이터를 통해 전기식 출입문 고장에 대한 고장분포를 알고자 와이블 분석을 수행하였다. 와이블 분석의 장점은 육조곡선의 초기(Burn-In), 정상상태(Steady-State), 마모(Wear Out) 등 모든 상태의 고장 현상을 설명할 수 있으며, 고장 자료 분석을 통해 향후 다양한 고장현상에 대한 예측이 가능하다.

신뢰성분석 프로그램인 RELEX의 와이블 모듈을 사용하여 데이터를 분석하였다. 분석결과 전기식 출입문의 와이블 분석결과 형상모수( $\beta$ )는 1.4837, 척도모수( $\eta$ )는 19,737.9446이 도출되었다. 감마 함수표에 의해서  $\Gamma(1.67) = 0.90318$  이므로 평균 수명(MTBF)는 17,827시간임을 알 수 있었다.

#### 5. 예측 규격을 이용한 신뢰도 분석

전기식 출입문 시스템의 MTBF 분석은 217Plus 규격을 사용하였고, 기계류 부품의 경우는 NPRD95(Non-electronic Parts Reliability Data)를 적용하였다. Fig. 5와 같이 전기식 출입문 시스

템의 BOM 레벨에 따라 4레벨로 구분하고 단위부품에 대하여 고장률을 예측하였다[2].

**5.1 217Plus 예측 결과**

온도 40℃, 환경 조건은 GM(Ground Mobile)을 적용하였고, 예측결과에 따르면 고장률은 6.154회/106, MTBF는 162,505시간이다. 또한 평균 운행 속도를 고려하여 산출한 MKBF는 5,218,143 km로 산출되었다.

여기서, MKBF는 MTBF와 평균운행 속도의 곱으로 산출하였으며, 평균 운행 속도는 1회 운행 거리(48.8 km)를 1회 운행 시간(90분)으로 나눈 값으로 32.5 km/h를 적용하여 산출하였다.

**5.2 217Plus Process Grade 적용 결과**

MIL-HDBK-217F의 모형에서는 고장률이 시스템 구성 부품의 기술수준과 외부 스트레스에 의해서 결정된다. 이는 부품의 고장률이 높고 시스템이 복잡하지 않을 때는 적절한 가정이다. 하지만 현재와 같이 시스템이 복잡해지고, 부품의 품질이 향상된 경우에는 고장요인이 시스템 기술 수준과 인터페이스 그리고 소프트웨어에 기인한다.

이러한 문제점 들을 해결하고자 217Plus에서는 시스템 수준에서의 고장요인을 계산할 수 있도록 하였다. Process Grade은 설계, 제조, 부품 품질, 시스템관리, 복제 불가, 유발, 마모, 신뢰도 성장 등 8개 범주로 구분되고 463개 질문으로 구성되며 이중 필수 답변 항목은 117개 항목이다.

이 항목들을 적용하여 계산한 결과는 다음 Table 2와 같다.

<Table. 2> Reliability prediction results (Process Grade)

Value	Result
Failure Rate, Predicted	6.815333
MTBF, Predicted	146728
Reliability, Predicted	0.999319
Availability	1.000000
MTTR	0.000000

**5.3 MIL-HDBK-217F N2 예측 결과**

기존에 선행 연구되었던 공압식 출입문 시스템과의 비교를 위해 MIL-HDBK-217F N2를 적용하여 신뢰도를 분석하였다. 온도 조건과 환경 조건은 동일하게 적용하여 산출한 결과 고장률은 14.994회/106, MTBF는 66,691시간이며 Table 3과 같다. 또한, MKBF는 2,167,458 km로 산출되었다.

<Table. 3> Reliability prediction results (MIL-HDBK-217F N2)

Value	Result
Failure Rate, Predicted	14.994475
MTBF, Predicted	66691
Reliability, Predicted	0.998502
Availability	1.000000
MTTR	0.000000

**6. 결 론**

본 연구에서는 전동차 차량에 장착된 전기식 출입문에 대한 실제 운영데이터와 신뢰도 예측 규격을 이용하여 신뢰도 분석을 하였다.

첫째, 실제 출입문 운영데이터를 사용하여 전기식 출입문 시스템의 고장 현황 자료를 조사하여, 전기식 출입문 시스템의 고장원인을 분석하였다.

둘째, 운영데이터를 이용하여 와이블 분석을 수행한 결과 MTBF는 17,827시간, MKBF는 579,378km의 값을 얻었다. 실제 운영데이터를 이용한 MKBF는 약 58만km로 전기식 출입문 검사주기 40만km에 비해 약 1.4배 높은 주기를 갖는 것으로 분석되었다. 이 결과를 활용하여 전동차 전기식 출입문 시스템의 정기점검 정비주기 보완 및 정비정책에 반영할 필요가 있다.

셋째, 217Plus 모델을 적용한 결과 고장간 평균 시간(MTBF)은 162,505시간으로 약 18년이 예측되었고, MKBF는 5,281,413km로 예측되었다. 시스템 레벨에서 Process Grade를 적용한 결과 MTBF는 146,728시간, MKBF는 4,768,660km로

예측되었다. 또한, MIL-HDBK-217F N2로 계산된 MTBF는 66,691시간, MKBF는 2,167,458km으로 예측되었다.

따라서, 전동차의 발주사양서에 필요한 전기식 출입문 신뢰도 요구값은 본 논문에서 제시된 방법을 사용하여 실제 운영데이터를 적용하여 분석한 MKBF  $\approx$  약 58만 km를 발주사양서 신뢰도 요구값에 반영하기를 권고한다.

### References

- [1] KS A 3004, Vocabulary-Dependability and Quality of Service, 2002
- [2] RiAC-HDBK-217Plus, "HANDBOOK OF 217Plus RELIABILITY PREDICTION MODELS", RiAC. 2006
- [3] Jeoung Geon Ji, Kun Young Shin, Duk Gyu Lee, Hi Sung Lee, "Life Analysis and Reliability Prediction of Micro-Switches based on Life Prediction Method", Korean Society of Systems Engineering, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, vol.7, No.1, pp57~69, 2011
- [4] D. S. Lee, "A study for reliability improvement of belt type door system using FMECA", Seoul National University of Science and Technology, 2009.