

경량전철 차량시스템 출입문장치 목표 신뢰도 배분

정락교, 윤용기, 이병송  
한국철도기술연구원

A Reliability allocation for Door System of the AGT vehicle System

Rag-Gyo Jeong, Yong-Ki Yoon, Byung-Song Lee  
The Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - 본 논문은 경량전철차량시스템의 출입문장치에 주어진 목표신뢰도를 바탕으로 출입문장치 구성품별 목표신뢰도를 정의하였으며 출입문 구성품의 목표신뢰도 배분은 출입문의 설계 및 유지보수과정에서 발견된 문제점을 분석하여 작성되었다. 또한 경량전철차량 출입문을 설계, 제작 및 유지보수에 필요한 지침을 마련하였다.

1. 서론

열차출입문의 고장은 운행중인 열차의 지연, 열차의 가용성, 역사에서의 지연 등에 영향을 미쳐 궁극적으로 열차운행시스템에 영향을 미치게 된다. 따라서 출입문장치에 대한 문제점 분석평가, 신뢰성 배분 및 신뢰성 기준을 제시하여 원활한 열차운행이 이루어지도록 하는 것이 요구된다. 출입문장치의 문제가 되는 내용은 설계상 문제, 유지관리상 문제, 안전상의 문제 및 사람의 조작 등이 있다. 이러한 문제점 가운데 출입문장치의 신뢰도와 밀접한 관련을 갖는 것은 설계 및 유지관리이다.

설계상 문제점은 1)기후변화에 의한 마모, 차체의 비틀림, 홈 부분에 축적되는 미세한 먼지 등의 기계적인 부분, 2)스위치, 조절기, 실린더, 밸브 및 미세한 구멍 등에 작용하는 먼지 등 조작장치 부분, 3)전기접점오염 등의 전기적인 부분, 4)출입문의 장애물을 검지하는 장치의 민감도부분으로 구분된다.

유지관리상의 문제점은 고장수리의 복잡성, 유지·관리교육 결여 등이 해당된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 바탕으로 출입문 구성장치 각각에 대한 목표신뢰도 배분 및 설계, 제작, 관리에 대한 지침을 언급하였다.

2. 본론

2.1 출입문 설계상 문제점

출입문장치의 일반적인 구성은 그림.1과 같으며 다음의 3부분으로 구성된다.

- 전기제어분야
- 출입문조작기
- 출입문판넬, 도어레일, 행거

2.1.1 물리적 / 기계적 측면

출입문조작에 영향을 미치는 물리적/기계적인 문제는 적절하지 못한 출입문 판넬의 설계와 제작된 출입문 구성품을 조립하는 것이 적절하지 않은 것으로 다음과 같은 내용이 있다.

- 출입문포켓 방풍용 고무가 출입문을 조이는 경우로 슬라이딩형식의 도어에만 적용.
- 출입문 행거의 적절하지 못한 조정에 의한 과도한 끌림
- 파편 및 부스러기(유리, 종이, 캔 등)가 출입문 레일과 연동되는 지역에 축적되어 출입문의 동작을 제한
- 차체의 비틀림에 의한 출입문 동작을 제한

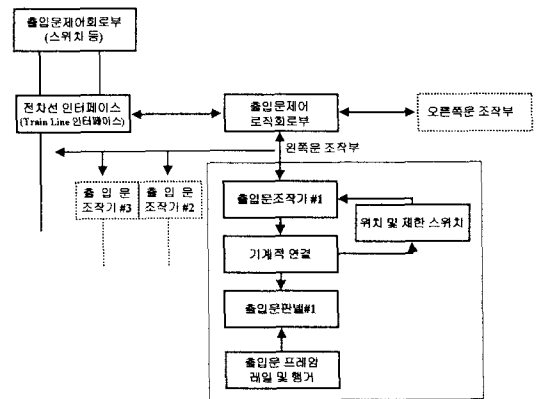


그림1. 출입문장치 기능블록도

2.1.2 출입문 조작기

출입문조작설계는 출입문판넬이 선형으로 움직이도록 하는 것으로 연동장치, 위치스위치 및 안전용 연동장치로 구성되는데 이러한 장치로 출입문을 조작하는데 있어 다음과 같은 문제가 있다.

- 선형운동을 위한 기계식 연동장치의 파손으로 알루미늄 늑체철을 피하고 강철을 사용한다.
- 스위치를 피드백으로 구성하면 스위치를 개별적으로 조정할 수 없어 스위치의 오조작을 유발할 수 있다.
- 공기압축기의 경우 밸브 및 판에서의 공기누출이 발생하는 것으로 원인은 배관에 있는 먼지 때문에 발생한다. 또한 공기압축기의 stroke작용으로 댐퍼 또는 충격흡수장치에 고장이 발생한다.

2.1.3 제어분야

출입문의 조작을 담당하는 제어장치는 승객안내방송 장치, 표시장치 및 위치감지장치와 연계되어 있는데 이러한 제어장치의 신뢰성에 영향을 주는 것은 다음과 같다.

- 송풍용 환기배관이 출입문제어장치용 나선단자부근을 경유하는 경우 단자에 먼지가 축적된다. 특히 장마기간에 습도에 의해서 단락회로가 형성되어 적절하지 못한 신호가 전송될 수 있다.
- 열차편성에 걸쳐있는 통신선로(Train Line)의 복잡성, 신호전압의 강하 및 결선 등의 문제점을 갖고 있다.

2.1.4 출입문 장애물 감지

출입문장애물을 감지하는 방법으로는 출입문의 테두리에 센서를 사용하는 방법과 장애물감지용 타이피회로를 사용하는 2가지 방법이 있다. 출입문의 테두리에 센서를 사용하는 방법은 출입문 유지보수관리에 대부분을 차지하기 때문에 현재 잘 사용되지 않고 있다.

## 2.2 출입문의 고장유형

### 2.2.1 출입문의 신뢰도 측정

출입문 신뢰도 분석을 수행하기 위해서 측정하는 방법으로는 두 가지가 있다.

- 비주기적 유지보수활동 회수 / 주행거리
- 비주기적 유지보수활동 회수 / 조작회수

출입문자체의 고장은 열차의 주행거리 보다는 출입문 작동에 가장 밀접하게 관련되어 있다. 또한 출입문 조작은 승강장에 열차가 정차했을 때 만 이루어지므로 출입문의 조작회수를 측정하는 방법이 출입문구성품의 신뢰도와 밀접한 관련을 갖는다. 조작회수에 의한 신뢰도 측정방법은 출입문 구조 및 차량 구성과 밀접한 관련을 갖는다.

그림 2에서 출입문조작회수는 주행거리 데이터를 환산하여 계산을 하였으며 환산변수는 역사공간 및 차량의 측면 당 출입문 갯수를 평균한 값이다.

이 결과 역사의 구조 및 차량의 배치 등을 제외하고 하드웨어 자체만을 고려하면 열차의 출입문장치의 신뢰도 차이는 미미하다.

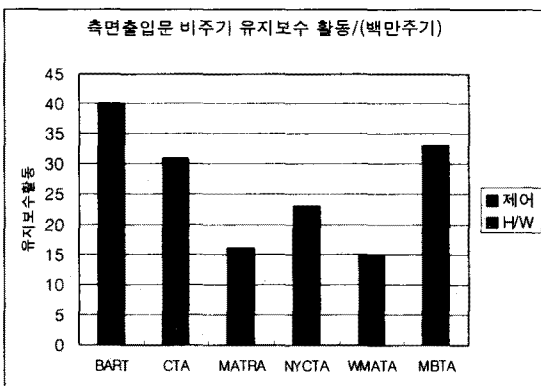
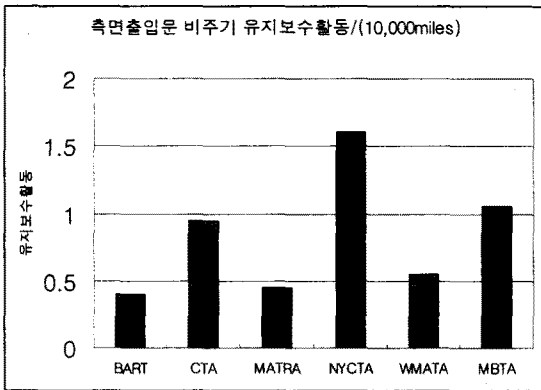


그림 2. 출입문 신뢰도 측정

그림 2에서 NYCTA 열차는 BART와 비교해 보면 평균적으로 역사공간은 1/4, 측면당 출입문 수는 2배다. 열차의 주행거리를 기준으로 하는 경우 작동되는 출입문의 하드웨어는 8배가 되지만 출입문의 작동주기에 따른 하드웨어의 유지보수활동은 BART보다 작다. 이러한 결과는 차량의 구조 및 승차패턴과 밀접한 관련을 갖고 있음을 보여주고 있다.

### 2.2.2 출입문고장유형

국내 전동차의 사고사례 및 출입문장치 구성품의 고장분포를 조사한 결과 다음과 같았다.

표.1 국내 전동차 고장사례(수도권)

	선로	계동	출입문	추진	집전	신호	전력
'97	3	7	4	6	1	8	3
'98	0	0	1	3	1	1	2
'99	1	1	1	2	1	1	2
'00	1	1	0	0	0	1	2
계	5	9	6	11	3	11	9

위 표에서 보듯이 출입문의 고장사고는 해마다 감소하는 추세를 보이고 있지만 평균적으로 1년에 1건이상의 사고가 발생되고 있으며 이러한 고장의 원인으로서는 공기압력 부족, 출입문제어장치 고장, 사전점검불량, 전원장치 고장 및 점검불량 등으로 이루어진다.

또한 출입문구성품의 고장분포를 조사해 본 결과 다음과 같다.

표.2 출입문장치 구성품의 고장분포(해외사례)

	제어 회로	제어 로직	조작 기기	위치/제한 스위치	기계 연동	출입문 판별	트랙 레일 프레임
설계	2	4	-	-	2	1	3
유지 보수	-	1	2	2	2	-	5
계	2	5	2	2	4	1	8

위 표에서 설계 상 문제점 12개, 유지보수 상 문제점 12개로 열차운행에 있어 출입문장치의 문제는 설계단계 및 유지보수 단계에 골고루 분포되어 있다.

## 2.3 출입문의 목표신뢰도 배분

### 2.3.1 차량시스템의 목표신뢰도

경량전철차량 1대가 1년동안 주행하는 거리는 131,400km (400km \* 365 \* 0.9)로, 1대의 차량이 13만km를 주행할 때 5분을 초과하는 운행지연이 발생하는 횟수를 1회로 제한한다. 그리고 경량전철차량의 주요 구성품에 대한 신뢰도배분비율 및 신뢰도값은 표.3과 같다.

표.3 경량전철차량시스템의 목표신뢰도 배분

구성품	신뢰도 비율(%)	신뢰도값(MDBF)
차체	2.33	55793
대차/현가	0.04	3250000
조향장치	5.76	22569
통로 및 연결기	0.06	2166667
추진장치	20.81	6246
보조전원장치	14.67	8861
제동장치	19.01	6838
출입문장치	14.51	8959
공기압축기	7.60	17105
열차제어장치	15.21	8547

MDBF : Mean Distance Between Failure(km)

이 신뢰도배분은 열차의 운행에 많은 영향을 줄 수 있는 추진장치, 열차제어장치, 보조전원장치, 제동장치 및

출입문에 목표신뢰도를 집중을 하였는데 제어장치(하드웨어, 소프트웨어), 전력시스템 및 기계작동장치 등이 포함된다. 또한 국내에서 전동차의 운영을 지원시킨 사고내용을 분석하여 신뢰도를 배분하였다.

[2] R.T Lerew, J.T.Pekarcik, R.D. Smith, "U.S Rapid Railcar Door System Assessment Report", 1982.  
 [3] 한국철도기술연구원, "경량전철시스템기술개발사업 1차년도 연구결과보고서(종합시스템엔지니어링)", 1999.

**2.3.2 출입문장치의 목표신뢰도 배분**

출입문장치의 목표신뢰도배분은 차량시스템의 목표신뢰도배분에 따라 주행거리를 기준으로 작성을 하였다. 목표신뢰도 배분은 출입문구성장치의 고장분포에 맞추어 작성을 하였으며 출입문장치의 고장율은 14.51이다.

표.4 출입문장치 구성품별 신뢰도 배분

구성품목	고장율 배분	고장율 분포(%)	신뢰도값 (MDBF)
제어회로 제어로직	4.24	29.2	30,660
조작장치	1.2	8.3	108,333
위치·제한 스위치	1.2	8.3	108,333
기계연동	2.42	16.7	53,719
출입문판넬	0.61	4.2	213,114
출입문트랙 프레임	4.83	33.3	26,915

MDBF : Mean Distance Between Failure(km)

**2.3.3 출입문장치의 신뢰성유지 방안**

출입문의 고장사례 및 구성품별 사고유형에 맞추어 출입문장치 구성품에 대한 목표신뢰도를 배분하였다. 이러한 목표신뢰도를 충분히 만족하여 열차의 원활한 운영을 보장하기 위한 여러 가지 방안을 작성하였다.

- 1) 출입문장치의 설계를 상세히 기술하는 설계지침 및 통합방안 개발
- 2) 전기 및 기계적으로 표준화된 모듈 개발
- 3) 출입문신뢰성향상프로그램 개발
- 4) 기타
  - 만차 및 공차상태에서의 차체의 비틀림을 고려한 설계
  - 충분한 강도를 갖는 재질을 사용
  - 습기 및 먼지에 강한 전기연결기 사용
  - 유지보수를 우선적으로 고려한 출입문 설계
  - 온도변화에 강인한 재질을 사용하여 변형을 최소화
  - 출입문 틈에 누적되는 오물이 없도록 청결 유지

**3. 결 론**

본 논문에서는 출입문장치 구성품에 대한 목표신뢰도 작성 및 출입문의 신뢰성유지방안을 수행하였으며, 목표신뢰도는 출입문의 고장유형 및 고장비율을 바탕으로 작성하였고 출입문의 신뢰성유지방안은 운행중인 전동차의 유지보수내용을 바탕으로 작성되었다.

이 내용은 출입문장치의 상세설계 및 제작 시 유용하게 활용될 것이며, 상세설계단계 및 제작단계에서는 출입문장치의 신뢰도예측을 수행하고 신뢰도목표와 비교하여 이에 따른 보안을 수행하여야 한다.

**(참 고 문 헌)**

[1] 정락교, 윤용기, 목재균, 이병승, "경량전철 차량시스템의 신뢰도 배분", 2001년도 대한전기학회 춘계학술대회, 전기기기 및 에너지변환시스템, 369-371, 2001년도