

차세대전동차 신뢰성 시험에 관한 연구

A Study on Reliability Performance of Advanced EMU

김길동*, 이한민*[†], 이장무*, 박현준*, 김보경*

Gil-Dong Kim*, Han-Min Lee*[†], Chanmg-Mu Lee*, Hyun-Jun Park*, Bo-Kyong Kim*

Abstract The developed advanced EMU is now tested in the DAEBUL test line in Korea for one year. The advanced EMU is a new type EMU that is required reliability proof. Several failures will be occurred during the test period. We will check reliability periodically to analyze the failure data. In the first period many failures will be occurred but finally the reliability value will be met to the reliability target. The reliability will be gradually improved. The demonstration is aimed to improve the reliability so we will apply reliability growth method. In this paper, so far the reliability results of AEMU are presented.

Keywords : Advanced EMU, Reliability, Reliability growth

초 록 차세대전동차는 대불시험선에서 1년동안 신뢰성 시험이 진행 중에 있다. 이 차량은 6량 1편성으로 제작되었으며, 신뢰성 검증을 위해 주행시험을 하고 있다. 주행시험 동안 고장 데이터를 주기적으로 분석하였고, 조치함으로써 신뢰성 목표치를 만족하게 되었다. 차세대전동차는 점차적으로 신뢰성이 향상되고 있다. 따라서 본 논문에서는 신뢰성 시험의 절차와 그 절차에 따른 신뢰성 향상결과를 보여준다.

주요어 : 차세대전동차, 신뢰성, 신뢰성 성장

1. 서 론

차세대전동차는 신뢰성을 확인하기 위해 신뢰성 시험이 수행되었다. 차세대전동차는 기존보다 차별화되었는데, 몇 가지 새로운 기술과 서브 시스템 개발 등이 차세대전동차에 적용되었다. 즉, 직접구동전동기 (DDM), 플러그인 도어, 슬라이딩 스텝, 넓은 통로, 완전 전기 제동 시스템, 싱글 암 팬터그래프, 1C1M 모터 제어 시스템 및 승객 정보 시스템 등이다.

신뢰성 시험은 기존 신뢰성 예측이 실제 동작 조건에 맞는지 검토하는 것으로 목포 대불 시험선에서 주행시험이 진행되고 있다. 본 논문에서는 지금까지 차세대전동차의 신뢰성 결과를 나타낸다.

[†] 교신저자: 한국철도기술연구원 차세대전동차연구단(hanmin@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 차세대전동차연구단

2. 차세대전동차 신뢰성 시험

차세대전동차의 개발 개념은 다음과 같다. 수송 능력을 향상시키기 위해 높은 차량 속도, 가속 및 개별 모터 제어와 새로운 추진 시스템을 적용하였다. 시스템 개선을 통해, 9년간 무유지 보수의 직접 구동 모터 (DDM), 공기제동을 사용하지 않고 전기제동으로만 제로 속도 까지 제동을 하는 완전전기제동(M-자동차), 1개의 인버터가 1개의 전동기를 제어하여 신뢰성을 향상시킨 1C1M 추진제어, 각 대차마다 요구되는 제동력을 공급하는 대차단위제동기술, 실내 쾌적성을 향상시킨 확장형 갱웨이, 밀폐형 단힘으로 소음을 저감하고 승객 실족 방지를 위한 플러그인 도어 및 슬라이딩 스텝장치를 제공하였다. 또한 냉난방장치에 대해서는 환경 친화적인 냉매를 적용 하였다. [1]



Fig. 1 Advanced EMU



Fig. 2 System Development Concept of Advanced EMU

일반적인 신뢰도 척도는 MTBF(Mean Time Between Failure)로 표시하나, 차량시스템의 경우 MKBF (Mean Kilometer Between Failure)를 사용한다. Failure도 Service failure는 상용운전에 있어서 열차의 운행 중단이나 정해진 시간 이상의 열차 지연을 초래하는 결함을 대상으로 하는 반면, Component failure는 차량이나 주요 부품 등의 제품을 기준으로 그 제품이 일시적이거나 영구히 그 기능을 손실함으로써 수리나 유지보수를 필요로 하는 고장을 대상으로 한다. 상용운전 중 운행 중단이나 열차 지연에는 이르지 않는 차량 또는 부품의 고장이 있을 경우, MKBSF(Mean Kilometer Between Service Failure)에서는 고장으로 집계되지 않지만, MKBCF(Mean Kilometer Between Component Failure)는 고장으로 집계하여 신뢰도를 평가하기 때문에 상용운전의 투입을 전제하지 않는 연구개발차량의 경우, 신뢰도 평가는 MKBCF로 신뢰성 척도를 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. MKBCF는 차량의 총 누적 주행거리를 그 운행거리 동안 발생한 고장의 수로 나눈 값으로 차량의 총 고장건수는 규정된 설계조건 및 환경에서 장치의 기능 상실 등으로 인하여 유지보수 행위가 요구되는 모든 고장을 말하나, 승인받은 소모품, 입증되지 않은 고장, 운전 및 유지보수 요원의 실수, 파괴행위 등으로 인한 고장은 제외한다. 차세대전동차의 신뢰도 목표는 국내외 기준을 감안하여 8,000 car-km로 설정하였다. 차량 및 주요부품에 대한 신뢰성에 대한 척도는 MKBCF로 표현되며, 이는 차량의 총 누적 주행거리를 그 운행거리 동안 발생한 고장의 수로 나눈 값이다. 주요부품에 대한 신뢰도 할당값은 도표1과 같다.

Table 1 Reliability allocation for subsystem

No.	시스템명	MKBCF(car-km)
1	차량전체	8,000
2	견인시스템	64,000
3	보조전원시스템	96,000
4	에어컨시스템	128,000
5	승객출입문	76,000
6	제동시스템	76,000
7	통신시스템	128,000

본 연구에서는 정확한 신뢰성 예측을 위하여 상향식 접근법을 적용하였으며, 각 부품에 대한 신뢰성 수치를 획득하기 위하여 먼저 시스템을 LRU 또는 WRU 수준으로 분해하였다. 각 시스템의 n개의 부품으로 구성되며, 각 부품의 고장률이 λ_i 인 지수분포를 따르고 부품들이 직렬로 연결되어 있는 경우, 이 시스템에 대한 고장률 λ_{system} 은 아래 식과 같이 계산된다.

$$\lambda_{system} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$MTBF_{system} = \frac{1}{\lambda_{system}}$$

- λ_i = 특정 부품의 고장률
- λ_{system} = 특정 시스템의 고장률

개발된 차세대전동차는 신뢰성을 증명하기 위해 일년동안 대불 시험선에서 시험되고 있다. 여러 고장이 시험기간 동안 발생하였으며 고장 데이터를 분석하기 위해 정기적으로 신뢰성을 확인하였다. 신뢰성 시험 초기에는 많은 고장이 발생하였지만 신뢰성 성장 방법을 적용하여 목표한 신뢰성값을 만족하게 되었다. FRACAS 절차를 통해 체계적으로 고장 데이터를 관리하기 위해 대불 시험선에서 고장 데이터를 수집하고 분석하며 피드백해서 장치 및 부품의 신뢰성을 높였다. 다음 그림은 FRACAS 절차를 나타낸다.

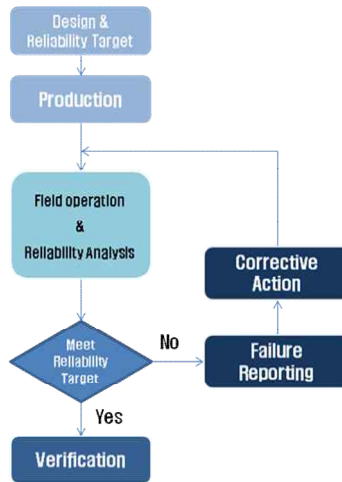


Fig. 3 FRACAS process

그림 4는 고장의 수를 보여준다. 주행시험을 수행하고 FRACAS 절차에 따라 피드백하기 때문에 고장의 수가 줄어들었다.



Fig. 4 The number of failures

아래 그림은 지금까지 MDBCf의 결과를 보여준다. FRACAS 절차에 의해 고장을 해결하였다. 2012년12월 현재 37,000 킬로미터의 지점에서 MDBCf 3,200 car-km를 얻었다. 주행거리 4만 km에서 MDBCf 목표 3000 car-km를 달성하였다. 따라서 향후 신뢰성 목표 MDBCf 8000 car-km를 만족할 것으로 기대된다.

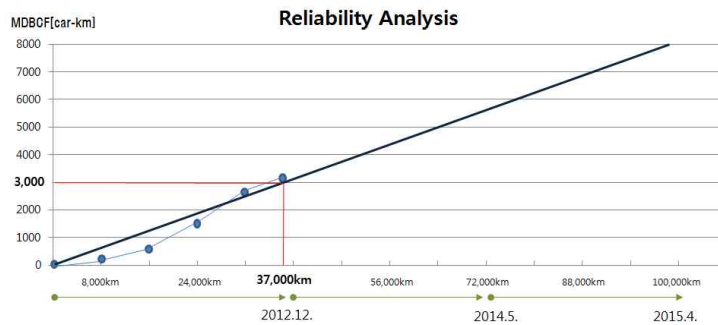


Fig. 5 Reliability results

3. 결론

차세대전동차의 신뢰성을 확인하기 위해 신뢰성 시험이 수행되었다. 차세대전동차는 기존 전동차 보다 차별화되었는데, 몇 가지 새로운 기술과 서브 시스템 개발 등이 차세대전동차에 적용되었다. 즉, 직접구동전동기 (DDM), 플러그인 도어, 슬라이딩 스텝, 넓은 통로, 완전 전기 제동 시스템, 싱글 암 팬터그래프, 1C1M 모터 제어 시스템 및 승객 정보 시스템 등이다.

신뢰성 시험은 기존 신뢰성 예측이 실제 동작 조건에 맞는지 검토하는 것으로 목표 대비 시험선에서 수행되고 있다. FRACAS 절차를 통해 체계적으로 대비 시험선에서 고장 데이터를 수집하고 분석하며 피드백해서 장치 및 부품의 신뢰성을 높였다. 그 결과 고장의 수가 줄어들고 있으며, 주행거리 3만7천km에서 MDBCf 3,200 car-km(목표치 4만km, MDBCf 3,000car-km)를 달성하였다.

참고문헌

- [1] Hanmin Lee, Euijin Joung, Gildong Kim and Changmu Lee. (2012) A Study on Management system for Reliability Analysis in Advanced EMU, Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), pp.1266-1269
- [2] Euijin Joung, Gildong Kim and Hanmin Lee. (2012) Reliability Approving Procedure of New Type Electric Multiple Unit, ICEE, pp. 101-105
- [3] Euijin Joung, Gildong Kim(2012) A Procedure of Reliability Prediction in Advanced EMU, ICEIC, pp.49