

차세대전동차 신뢰도 목표 설정 연구

A Study on the Reliability Target Setting for the Electrical Multiple Unit

*#정의진¹, 이한민², 김길동³

*#E. J. Joung(ejjoung@krri.re.kr)¹, H. M. Lee(hanmin@krri.re.kr)², G. D. Kim(gdkim@krri.re.kr)³

¹⁻³ 한국철도기술연구원 차세대전동차연구단

Key words : Electrical Multiple Unit (EMU), Reliability, Availability, Maintainability, Reliability target

1. 서론

전동차의 신뢰성, 가용성, 유지보수성 및 안전성(RAMS; Reliability, Availability, Maintainability & Safety) 확보는 설계, 개발, 생산 및 시운전 등 전체 수명주기 동안 고려하여야 하는 작업이다. 전동차의 RAMS 적용의 목적은 정량적인 RAMS값을 도출함으로써 신규차량일 경우 기존차량대비 어느 정도로 RAMS 값이 향상되었는지를 입증하고자 하는데 있다. 신뢰도 예측은 주요장치를 구성하고 있는 부품단위의 고장률을 이용하여 시스템의 신뢰도를 예측하고 신뢰도 목표치를 만족하는지를 분석하는 것이며, 예비위험요인분석은 전동차에서 발생 가능한 위험요인을 식별하고, 위험도를 평가하여, 그 저감대책을 도출하는 것이다.

본 논문은 전체 RAMS 업무 중 안전성을 제외한 RAM 업무에 초점을 맞추어 다루고 있으며, 그 중 신뢰성과 밀접히 관련된다. 전동차에 RAM을 적용하기 위해서는 크게 목표설정, 신뢰도예측, 신뢰도입증의 3단계 작업이 진행되어야 하며, 본 논문에서는 첫 번째 작업으로 신뢰도 목표치 설정에 중점을 두어 논하고자 한다.

2. RAM 적용 절차

2.1 신뢰도 예측 절차

RAM 예측의 첫 번째 작업은 시스템 요구사항을 분석하여 정량적인 신뢰도 목표치를 설정하는 것이다. 일반적인 경우, 시스템 요구사항에 주어져야 하지만, 준비되어 있지 않을 경우, 이를 유추하거나 기존 유사시스템의 데이터에 근거하여 정할 수 있다. RAM 목표가 설정된 이후에는 RAM 목표를 달성하기 위한 시스템 설계가 이루어져야 하며, 하부시스템별로 신뢰도를 할당한다. 신뢰도 할당은 시스템을 구성하는 모듈의 구성 체계와 각 모듈에 신뢰도를 할당함으로써 이루어진다. 이러한 작업은 신뢰도 블록 다이어그램 (RBD : Reliability Block Diagram)을 이용한다. 또한 각 모듈은 LRU (Line Replaceable Unit) 단위로 부품단위까지 신뢰도를 할당하여 궁극적으로 최종 시스템의 신뢰도를 예측한다. 만약 예측한 신뢰도 값이 신뢰도 목표치에 미치지 못할 경우 고장률을 저감하기 위한 대책을 세워 신뢰도 예측치가 신뢰도 목표치를 만족할 때까지 반복한다. 최종적으로 신뢰도 예측치가 신뢰도 목표치를 만족할 경우 RAM 예측을 종료하게 된다. [1]-[4]

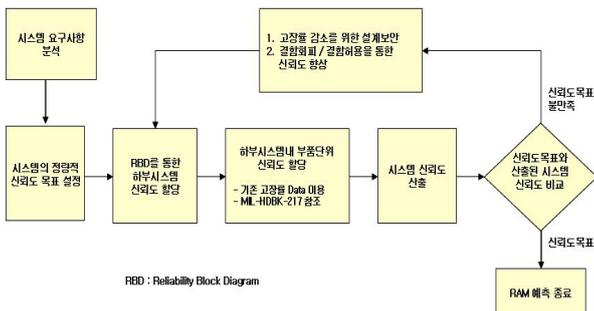


Fig. 1. RAM prediction process

2.2 신뢰도 입증 절차

RAM 예측에 따라 시스템을 설계, 제작한 이후, RAM 입증업무를 수행하여야 한다. RAM 입증은 RAM 예측 당시, LRU 수준으로 제시한 부품의 사용 여부를 포함하여 실제 규격에 맞추어 사용하고 있는지에 대한 비교입증, 단위모듈에 대한 신뢰성 시험을 통한 입증, 최종적으로 시운전시험을 통한 RAM 입증을 생각할 수 있다. 전동차와 같이 대형시스템일 경우, 많은 제약사항과 시료 수의 제한으로 인하여 보통 시운전시험을 통한 신뢰도 성장 유형을 체크하여 신뢰도를 입증하는 방법을 많이 사용하고 있다.

제시된 RAM 입증치가 RAM 목표치 또는 예측치에 도달하지 못하면, 이에 영향을 미치는 Critical factor를 찾고 신뢰도 조정을 한 후 수정 및 제작을 거쳐 RAM 목표치 및 예측치를 만족하도록 개선작업을 반복한다. 최종적으로 모든 값을 만족할 경우, RAM 입증보고서를 작성함으로써 RAM 입증을 완료한다.

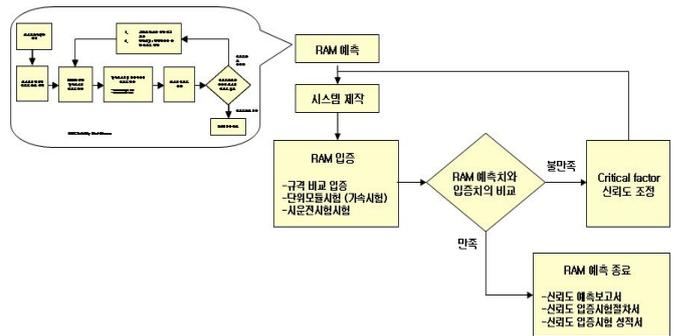


Fig. 2. RAM demonstration process

3. 차세대전동차 RAM 목표 설정

차세대 전동차는 기존 전동차 대비 유지보수성 및 효율성 향상을 위해 직접구동전동기(DDM : Direct Drive Motor)를 채택하고 있다. 전폐형 자연냉각방식의 매입형 영구자석 동기 전동기를 사용하여 기어박스 없는 견인전동기를 차축에 직접 연결함으로써 기존대비 10% 이상 에너지 소비가 저감될 것으로 기대하고 있다. 직접구동전동기를 이용함으로써 10년 동안 유지보수 없이 구동이 가능할 것으로 예상하고 있다. 주행장치는 직접구동전동기용 조향대차를 사용하여 곡선 추종성을 향상시키고자 하고 있다. 이로써 차륜, 궤도마모의 저감 등 유지보수 비용이 저감될 것으로 기대한다. 전기식 플러그인 도어의 사용과 동시에 장비의 일체형 모듈화로 유지보수성을 향상시키고 있다. 차량정보제어 시스템의 경우 전동차 내 서로 다른 정보 단말기를 특정 인터페이스 카드 없이 연결하여 동작 가능하도록 함으로써 차량 내 배선 저감 및 비용절감을 도모하고 있다. 또한 완전전기제동을 통해 공기제동을 최소화함으로써 브레이크 슈의 마모를 저감하고, 회생에너지 활용을 증대하고자 하고 있다. 고속철도에 쓰이는 싱글암 판토틀그래프를 채택함으로써 장치의 간소화 및 유지보수성을 향상시키고, 편성당 판토틀그래프 수를 저감시킴으로써 경량화를 도모하고 있다. 추진제어시스템의 경우 1개의 인버터가 1개의 전동기를 제어하는 방식(1CIM : 1 Converter 1 Motor)으로 차량의 신뢰성과 제어효율 향상을 도모하고 있다.



Fig. 4. Exterior of advanced electrical multiple unit

RAM 예측의 첫 번째 작업인 RAM 목표치 설정은 기존 유사시스템의 데이터에 근거하여 설정하였으나 추후 차세대전동차의 특성을 좀 더 면밀히 분석하여 RAM 목표치를 설정할 수 있을 것으로 기대한다.^[5]

3.1 신뢰도 목표 설정

일반적인 신뢰도 척도는 MTBF(Mean Time Between Failure)로 표시하나, 차량시스템의 경우, 주행 중에 발생하는 고장수로 신뢰도를 측정하는 것이 적절하여 MKBF (Mean Kilometer Between Failure)를 사용한다. Failure의 종류도 서로 상이하여 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 정비를 필요로 하는 고장을 대상으로 한다.

차량 또는 부품의 고장이 발생하더라도 상용운전 중에 운행 중단이나 열차 지연이 발생하지 않을 경우에는 MKBSF(Mean Kilometer Between Service Failure)에서 고장으로 집계하지 않지만, MKBCF(Mean Kilometer Between Component Failure)에서는 고장으로 집계하여 신뢰도를 평가하기 때문에 상용운전의 투입을 전제하지 않는 연구개발차량의 경우, 신뢰도 평가는 MKBCF로 신뢰성 척도를 사용하는 것이 일반적인 추세이다. MKBCF는 차량의 총 누적 주행거리를 운행 중에 발생한 고장의 수로 나눈 값으로 계산 공식은 다음과 같다.

$$MKBCF(car - km) = \frac{\text{차량의 총 누적 주행거리}(car - km)}{\text{차량의 총 고장건수}}$$

여기서, 차량의 총 고장건수는 규정된 설계조건 및 환경에서 장치의 기능 상실 등으로 인하여 정비행위가 요구되는 모든 고장을 말하나, 승인받은 소모품, 입증되지 않은 고장, 운전 및 정비요원의 실수, Vandalism 등으로 인한 고장은 제외한다.

차세대전동차의 신뢰도 목표는 인천지하철 1호선이 6,000 car-kilometer, 미국 뉴욕 PATH 전동차가 10,000 car-kilometer, 아테네 ATTIKO 전동차가 10,000 car-kilometer, 대만 투썬 전동차가 4,000 car-kilometer, 터키 OTOGAR 전동차가 1,333 car-kilometer인 점을 감안하여 8,000 car-kilometer로 설정하였다.

3.2 가용도 목표 설정

가용도란, 차량이 필요로 하는 외부 자원을 활용하여 주어진 환경 하에서 차량의 계획된 서비스를 수행할 수 있는 확률을 말하며, 가용도 계산은 다음식과 같다.

$$Availability = \frac{\text{실제 차량 운행시간}}{\text{계획된 차량 운행시간}} = 1 - \frac{\text{고장으로 인하여 소요되는 총 수리시간}}{\text{계획된 차량 운행시간}}$$

차세대전동차의 가용도 목표는 아테네 ATTIKO 전동차가 99%, 미국 SEPTA 전동차가 98%, 홍콩 MTRC 전동차가 96.5%, 아일랜드 동차(DMU)가 95%인 점을 감안하여 99%로 설정하였다.

3.3 유지보수도 목표 설정

유지보수도는 차량의 영업운행 중 발생한 고장의 수리를 위해 투입된 총 고장정비 시간을 총 고장건수로 나눈 값으로 MTTR(Mean Time To Repair)로 표기하며 계산식은 다음과 같다.

$$MTTR = \frac{\text{총 고장수리 시간}}{\text{총 고장건수}}$$

차세대전동차의 유지보수도 목표는 미국 뉴욕 PATH 전동차가 1.8시간, 아테네 ATTIKO 전동차가 1.8시간, 대만 DORTS 전동차가 1.32시간인 점을 감안하여 1.8시간으로 설정하였다.

4. 결론

차세대전동차에 RAM을 적용하기 위한 첫걸음으로 RAM 목표치 설정에 대하여 기술하였다. 기존에 납품한 차량의 RAM 목표치를 근거로 신뢰도를 제외한 나머지 항목(가용도, 유지보수도)에 대해서는 기존 목표치와 크게 다르지 않게 설정하였다.

신뢰도 목표치의 경우, 차세대전동차가 직접구동모터(DDM : Direct Drive Motor) 방식으로 기존의 기어박스를 없애는 등, 연결부품을 제거함으로써 고장률을 줄일 수 있을 것으로 보고, 기존 대비 신뢰성 목표치를 30% 이상 상향 조정하였다. 그러나, 단순히 모터 자체 만을 변경함으로써 신뢰도 값을 향상시킬 수 있다고 보기는 어렵고, 시스템차원에서 전동차 내 타 구성품과의 인터페이스에서 고장이 줄어들 것으로 예상하여 신뢰도 목표치를 설정할 수 있다. 앞으로 RAM 목표치를 근거로 RBD, FMECA(Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) 등 RAM 예측 업무를 정리하고, 차세대전동차 제작에 맞추어 RAM 입증 업무를 진행함으로써 신뢰도 높은 차세대전동차 개발에 일조하고자 한다.

참고문헌

1. IEC 62278, "Railway application -The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)", 2002
2. EN50126, "Railway application -The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)", 1999
3. CLC/TR 50126-3 "Guide to the application of EN50126 for rolling stock RAMS", 2006
4. CLC/TR 50126-2 "Guide to the application of EN50126 for safety", 2007
5. 한국철도기술연구원(2008) “차세대첨단도시철도시스템기술개발사업 3차년도 연구보고서”