

서울시 9호선 전동차 RAMS 관리

신경준*†, 황대훈*, 조영완**

서울시 9호선 전동차 유지보수를 담당하고 있는 메인트란스(주)는 2009년 개통 이후 2010년부터 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)을 도입하였으며, 2018년도에 안전성(Safety)을 추가 도입해 관리 중이다. 초기에는 홍콩전동차 기준으로 목표를 선정하여 관리했으며 현재는 상향된 목표를 선정하여 전동차의 고장 및 운행기록을 통해 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안정성 지표를 산출하고 분석하여 열차 운행장애를 예방하고 전동차 유지보수 품질을 관리하고 있다.

주요어 : RAMS, 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성

1. 서론

서울시 9호선 전동차 유지보수를 담당하고 있는 메인트란스(주)는 차량 RAMS 목표값을 선정하고 관리, 분석하여 열차 운행 장애를 예방하고 전동차 유지보수 품질을 확보하고 있다.

9호선 전동차의 신뢰성은 개통초기 안정화 기간을 거친 이후 2010년도부터 4량36개 편성에 대하여 RAM입증을 시작하였고 2013년도에 이르러 차량 목표값을 만족하였으며 2018년도 6량9개편성 증편, 2019년 2량36개 편성 증량을 하여 현재 270량에 대해 RAMS를 관리하고 있다.

본문에서는 현재 서울시 9호선 RAMS관리 현황에 대해서 서술하고자 한다.

2. RAMS 관리 기준

RAMS관리 초기에 고장분류 기준과 신뢰성 및 가용성 목표값은 홍콩 MTRC TKE 전동차를 기준으로 선정하였고 2013년 초기 목표값 만족으로 목표를 상향하여 관리하고 있다. 유지보수성과 안정성은 외부기관 컨설팅을 받아 기준값을 선정하였다.

또한 RAMS 산출값 및 고장 이력을 토대로 주요부품 선정하여 관리하고 있다.

2.1 고장분류 기준

2.1.1 고장

(1) Incident

- 2분이상 영업운행 지연
- 영업운행 중 운행능력 상실
(차량교체, 기지회송, 운행취소)

(2) Failure

- 장치의 기능손실로 수리 또는 부품교체 등이 요구되어지는 모든 고장

2.1.2 비고장

(1) Non Failure

- 정병류 이완 및 수명주기에 의한 소모품
- 차량결합 이외의 사항
- 시스템 개선 및 모니터링 진행 중 사항

2.2 RAM 및 Safety 목표값

2.2.1 신뢰성(Reliability)

Incident 및 5분이상 지연건의 평균 고장간 서비스 거리(MDBSF)를 산출하여 관리하며 산출공식 및 목표값은 다음과 같다.

$$\text{MDBSF for Incident} = \frac{\text{차량의 총 주행거리}}{\text{총 운행장애(Incident) 발생 건수}} \geq 370,000 \text{ car-km}$$

$$\text{MDBSF for } E_{\text{min delay}} = \frac{\text{차량의 총 주행거리}}{\text{총 5분 이상지연 발생 건수}} \geq 2,500,000 \text{ car-km}$$

※ MDBSF: Mean Distance Between Service Failure

† 교신저자: 메인트란스 품질안전처(sgj2760@maintrans.co.kr)

* 메인트란스 기술처

** 메인트란스 품질안전처

2.2.2 가용성(Availability)

차량 및 운행 가용도로 구분하여 관리하며 산출공식 및 목표값은 다음과 같다.

$$\text{차량가용도} = 1 - \frac{\text{차량 정비에 따른 비가용 시간}}{\text{총 운행가능 시간}} \geq 97.00 \%$$

$$\text{운행가용도} = 1 - \frac{\text{차량 고장으로 인한 총 지연시간}}{\text{총 운행시간}} \geq 99.9991 \%$$

2.2.3 유지보수성(Maintainability)

평균 고장 정비시간(MTTR)을 산출하여 관리하며 산출공식 및 목표값은 다음과 같다.

$$\text{MTTR for Failure} = \frac{\text{총 서비스 고장 수리 시간}}{\text{총 서비스 고장 발생 건수}} \leq 1.8 \text{ hr}$$

※ MTTR: Mean Time To Repair

2.2.4 안전성(Safety)

위험고장은 충돌, 탈선, 화재 등 열차사고와 그 밖에 인명피해를 유발할 수 있는 고장을 의미하며 산출 공식은 다음과 같다.

$$\text{안전도} = \frac{\text{차량의 총 주행거리}}{\text{총 위험고장 건수}}$$

2.3 주요부품

신뢰성분석 결과에 따라 철도안전 주요 부품의 교체 및 정비주기를 변경 관리하고 있으며, 주요부품의 선정기준은 아래와 같다.

2.3.1 대상 및 기준

- (1) 주요핵심부품
 - 철도안전법에 의거 국토교통부가 형식 승인 대상으로 고시하는 철도용품
- (2) 고장빈발부품
 - 최근 3년간의 고장이력 등을 토대로 보유차종의 특성에 맞게 선정
- (3) 철도차량안전에 필요하다고 판단된 부품

3. RAMS 분석

3.1 신뢰성 분석

3.1.1 신뢰성 지표

Incident건은 초기에 **홍콩전동차** 기준인 166,666car-km로 3차년도인 2013년에 목표값 달성 이후 목표값을 상향해 초기 목표값 대비 약2.2배 수준인 370,000car-km로 관리하고 있으며, 5분 이상 지연 건은 초기 목표값인 2,500,000car-km로 현재까지 관리하고 있다.

최근 3년간의 관리 현황은 다음 표1, 2와 같다.

표1. 신뢰성

단위: car-km

구분	목표값	20년	21년	22년
Incident MDBSF	370,000 이상	575,574	797,744	1,217,007
5분이상지연 MDBSF	2,500,000 이상	2,749,965	29,516,524	34,095,479

표2. 주요장치 신뢰성

단위: car-km

구분	20년	21년	22년
공기제동장치	3,535,669	4,216,646	5,679,364
보조전원장치	12,374,841	∞	11,358,728
종합제어장치	12,374,841	5,903,305	11,358,728
주회로 및 제어회로기기	3,535,669	4,919,421	17,038,092
차상신호장치	2,062,474	3,279,614	3,097,835

1) 20년: 198량

2) 21년: 198량 + 6월부터 72량 추가

3) 22년: 270량

3.1.2 신뢰성 결과

최근 3년간 Incident건에 대한 MDBSF는 운행장애 관련 고장 개선을 통해 22년도 기준 목표값의 약3.3배 초과 달성하고 있으며 5분이상 지연 건은 약13.6배 초과 달성하고 있다.

장치별 신뢰성은 21년도 6월부터 72량에 대해 추가 관리함에 따라 주행거리가 늘어나 장치별 신뢰성이 증가하여야 하지만 보조전원장치, 종합제어장치는 신뢰성이 감소하였다. 이는 차량 노후화에 따른 고장 증가로 인해 감소된 것으로 파악된다.

3.2 가용성 분석

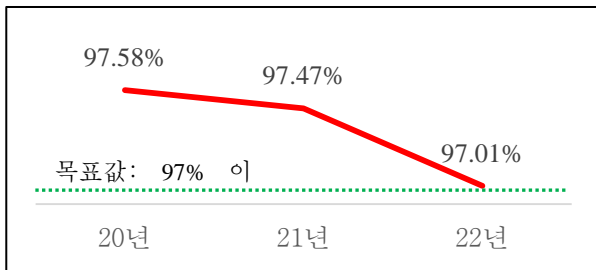
3.2.1 가용성 지표

차량가용도는 초기 **홍콩전동차** 기준인 96.5%로 선정하여 관리하였으며, 지속적인

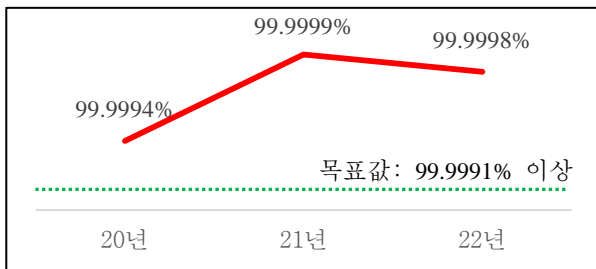
목표값 달성으로 2015년부터 97%로 상향 관리하고 있으며 운행가용도는 2014년에 공항철도 및 신분당선 목표값을 참조하여 수립하였다.

최근 3년간의 관리 현황은 다음 그래프1, 2와 같다.

그래프1. 차량가용도



그래프2. 운행가용도



3.2.2 가용성 결과

차량가용도는 목표값을 지속 달성 중이며 최근 3년 지표상 감소하는 사유는 3단계구간 개통이후 차륜 마모에 따른 비정기 정비 시간이 증가함에 따라 점차 감소하고 있다.

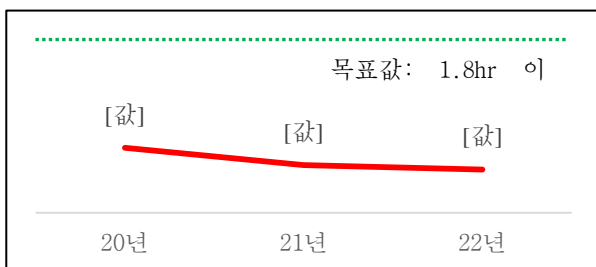
운행가용도 목표값 선정 이후 지속적으로 목표값을 달성하고 있다.

3.3 유지보수성 분석

3.3.1 유지보수성 지표

MTTR은 2017년 외부전문기관 컨설팅을 통해 목표값을 선정하였으며 최근 3년간의 관리 현황은 다음 그래프3.과 같다.

그래프3. 유지보수성



3.3.2 유지보수성 결과

최근 3년간 감소는 숙련된 고장 조치로 고장 건수에 반해 조치 시간이 줄어들었음을 나타내는 지표로 9호선 전동차의 높은 유지보수성을 보여준다.

3.4 안전성 분석

2.4.1 안전성 지표

안전성은 2017년부터 추가 관리하고 있으며 최근 3년간의 관리 현황은 다음 표3.과 같다.

표3. 안전도

구분	목표값	20년	21년	22년
안전도	-	∞	∞	∞

※ `23년 현재까지 위험고장이 발생하지 않았음.

2.4.2 안전성 결과

개통 이후 현재까지 안전성에 영향을 주는 위험고장이 발생하지 않아 높은 안정성을 나타내고 있다.

4. 결론

신뢰성은 22년도 기준 목표 대비 약3.3배 초과 달성을 하고 있으나 장치별 신뢰성 부분에서는 21년도에 증량분(72량)에 대하여 추가 관리를 시작하였음에도 불구하고 신뢰성이 20년도 대비 감소된 장치인 보조전원장치와 종합제어장치는 차량의 노후화에 따른 고장증가로 판단되며, 이 문제를 해결하기 위해 주요부품 선정하여 부품의 교체 및 정비주기를 변경하여 관리하거나 9호선 운영사와 협의하여 대체투자를 진행할 예정이다.

가용성은 운행가용도는 목표 만족을 하고 있지만 차량가용도는 2018년 12월 3단계구간 개통 후 차륜의 마모 증가로 인한 추가적인 점검 및 보수로 인해 비정기 정비시간이 증가하여 감소 추세이다. 이 문제는 1단계 및 2,3단계 운영사와 합동으로 인터페이스 협의체를 구성하여 해결방안을 논의할 계획이다.

유지보수성은 목표 대비 초과달성 중이며,

안전성은 23년인 현재까지 위험고장이 발생하지 않았다. 이는 숙련된 정비성을 토대로 메인트란스(주)의 높은 유지보수 수준을 확인할 수 있다.

또한 9호선 전동차는 승객혼잡도를 낮추기 위해 2024년도부터 추가투입 되는 6량8개 편성을 3년간 현대로템의 제작사 RAMS 입증 종료 후 2027년도부터 9호선 유지보수 RAMS에 통합 적용하여 관리할 것이다.

참고문헌

- [1] IEC 62278 Railway application-specification of demonstration of reliability, availability, maintainability and safety(RAMS)
- [2] 이명호.(2014).서울시 9호선 차량의 신뢰성 관리 개선 현황.철도저널,17(1),58-63.

(한국철도학회 정기학술대회 Full Paper -
Template 작성일: 2023.9.15)