

# 서울시 9호선 차량의 신뢰성 관리 개선 현황



**이명호**  
메인트란스(주)  
기술팀장  
T.02.2656.0803  
mhlee01@maintrans.co.kr

## 1. 서론

철도서비스의 이해 관계자라 할 수 있는 승객, 발주기관, 시스템 공급업체, 운영기관의 역할 및 기대 수준을 만족하기 위한 주요가치 중 안전성, 정시성, 서비스공급비용은 RAM 성능과 직접적인 관련을 맺고 있으며 철도차량 유지보수 전문회사로써 9호선 전동차(144량) 유지보수를 담당하고 있는 메인트란스(주)는 차량 RAM 목표값을 선정하고 관리함으로써 신뢰성 개선을 통한 가용도 향상 및 유지보수비용 절감을 달성하기 위하여 노력하고 있다.

9호선 전동차의 신뢰성 분석은 개통초기 안정화 기간을 거친 이후 2010년 5월부터 1차분(96량)에 대하여 현대로템 연구소(시스템기술팀)와 RAM 입증을 시행하면서 시작되었다.

RAM 분석과 지속적인 시스템 개선을 진행하면서 3차년도(2012.05~2013.04)에 이르러 차량 신뢰도 목표값을 만족하였으며 이를 바탕으로 신규 RAM 목표값 선정을 검토하

고 이를 달성하기 위하여 차량 신뢰성 관리 개선방안을 검토하고자 한다.

## 2. RAM 관리기준

제작사에서 차상신호를 포함한 차량시스템의 RAM 성능을 입증하기 위하여 홍콩 Mass Transit Railway Corporation(이하 MTRC라 한다) Tseung Kwan o Extention(이하 TKE라 한다) 전동차(1998년)에 적용한 고장분류기준과 신뢰도 및 가용도 산출기준을 적용하였으며 상세 내용은 다음과 같다.

### 2.1 고장분류 기준

#### 2.1.1 고장

##### (1) Incident

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

##### (2) Failure

- 장치의 기능손실로 수리 또는 부품교체 등이 요구되어 지는 모든고장

#### 2.1.2 비교장

##### (1) Non Failure

- 정병류 이완 및 수명주기에 의한 소모품 교체

표1. 철도이해관계자 및 서비스 품질인자

철도서비스 이해관계자	형태	역할 및 기대	가치구성요소
이용자(승객)	소비	- 공간이동을 통한 가치창출	RAM 성능 - 안정성 - 정시성 - 서비스공급비용 - 편리성 - 심미성 - 기타
정부	↑	- 국가가치 향상 - 교통서비스경쟁력 강화	
운영기관		- 우수한 철도서비스 공급 - 이윤창출	
제작사		- 우수한 철도시스템 공급 - 이윤창출	
	공급		

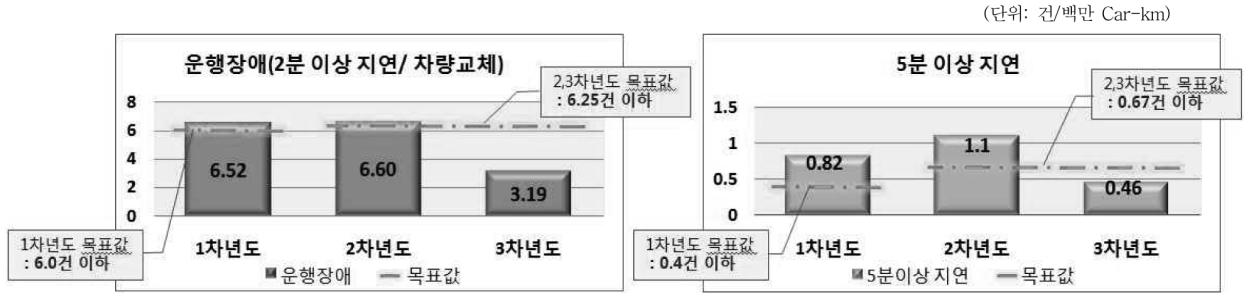


그림1.3년간 신뢰도 현황 그래프

- 차량결함 이외의 사항
- 시스템 개선 및 모니터링 진행 중 사항

2.2 신뢰도 목표값

신뢰도는 평균고장간 거리(MDBF, Mean Distance Between Failure)를 산출 및 관리한다.

$$MDBF = \frac{\text{총 서비스이용거리(Car-km)}}{\text{총 고장발생 건수}}$$

- 2분 이상 지연 : 6.25 회 / 백만 Car-km (MDBF ≥ 160,000 car km, 기교체/ 회송 포함)
- 5분 이상 지연 : 0.67 회 / 백만 Car-km (MDBF ≥ 1,500,000 Car-km)

2.3 가용도 목표값

가용성은 비가용시간(Down time)을 기준으로 산출한 성취가용도를 측정하며 기준은 다음과 같다.

$$\text{성취가용도} = 1 - \frac{DT(PM) + DT(CM) + DT(OPM)}{\text{Total Time}} \geq 96.5\%$$

- Total Time: 실제 운행 시간과 Down Time (비가용시간)의 총합 (전체 측정시간)
- DT(PM): 예방정비로 인한 차량 비가용 시간
- DT(CM): 고장으로 인한 수리를 위한 차량 비가용 시간
- DT(OPM): 예방정비 일정 이외의 별도 확인 및 수리를 위한 차량 비가용 시간 (전 편성 수정작업 등)

3. 신뢰도 및 가용성 측정 결과

3.1 신뢰도 측정결과(3년간)

표2. 3년간 신뢰도 현황

(단위: 건/백만 Car-km)

구 분		1차년도 ( '10.5.1~ 11.4.30)	2차년도 ( '11.5.1~ 12.4.30)	3차년도 ( '12.5.1~ 13.12.31)
2분 이상 지연 (회송, 기교체)	목표값	6.00 이하	6.25 이하	6.25 이하
	실 적	6.52	6.60	3.09
5분 이상 지연	목표값	0.40	0.67	0.67
	실 적	0.82	1.10	0.41
주요고장 장치		신호장치 HW/SW	TCMS, 계전기	-

3.1.1 목표값 선정 및 분석결과

1차년도 차량 RAM 목표값 선정을 위하여 홍콩 MTRC TKE(1998년)에 적용되었던 목표치를 기준으로 차상신호를 포함한 RAM 분석을 시행하였으며, 분석시행 결과 목표값인 '6.0건 이하/백만 Car-km' (MDBF ≥ 166,666 Car-km)를 달성하지 못하였다. 신뢰도에 가장 많은 영향을 준 장치는 차상신호 장치였으며 주요보드의 입출력 신호오류로 인한 ATO 운전불능 발생을 저감하기 위하여 하드웨어 및 소프트웨어의 수정작업이 이루어 졌다.

1차년도에 목표값 달성을 못하여 현대로템 연구소와 협

의하여 2차년도의 신뢰도 목표값을 ‘6.25건 이하/백만 Car-km’ (MDBF ≥ 160,000 Car-km)로 조정 하였으며, TCMS 통신고장 및 출입문 관련 계전기 동작불량으로 인한 운행장애가 다수 발생하여 목표값을 만족하지 못하였다. TCMS 통신고장으로 인한 운행장애 저감을 위하여 TCMS 하드웨어 및 소프트웨어의 수정작업을 실시하였으며 출입문 관련 계전기 접점의 병렬회로 구성으로 해당 고장 유형의 발생을 감소시킬 수 있었다.

3차년도에 이르러 운행장애를 발생시키는 주요장치의 개선작업이 효과를 거두어 Incident 신뢰도 실적이 3.19건/백만 Car-km (MDBF=313,480 Car-km)로 목표값을 상회하여 만족하였으며 5분이상 지연 고장에 대한 신뢰도 역시 0.46건/백만 Car-km(MDBF=2,173,913 Car-km)로 목표값인 0.67건/백만 Car-km를 만족하였다.

### 3.2 가용도 측정결과(3년간)

#### 3.2.1 목표값 선정 및 분석결과

가용도 목표값은 홍콩 MTRC TKE(1998년)전동차 기준으로 하였으며 이는 2013년 MTRC Shatin to Central Link(이하 SCL이라 한다)기준과도 동일하다.

년간 성취가용도는 1,2,3차년도 모두 목표값을 상회하여 만족하였으며 3차년도 누계치는 97.34%로써 고장율이 안정됨에 따른 CM 및 OPM Down time(비가용시간)이 안정화된 것으로 사료된다.

표3. 3년간 가용도 현황

구분	1차년도 (‘10.5.1~ 11.4.30)	2차년도 (‘11.5.1~ 12.4.30)	3차년도 (‘12.5.1~ 13.12.31)	비고
성취가용도	96.81%	96.61%	97.34%	목표값: 96.5%

표4. 3차년도 가용도 및 Down time(비가용시간) 현황

구분	목표값	실적(누계)	비고
가용도	96.50% 이상	97.34%	
편성당 Down Time (월간)	22.4시간 /월 이하	17.0시간 /월	- 예방정비 시간 : 65% - 고장수리 시간 : 18% - 기타정비 시간 : 18%

가용도 목표값에 따른 편성당 월평균 Down time(비가용시간) 허용시간은 약 22.4시간이며 3차년도 실적치인 97.34%는 편성당 월평균 Down time(비가용시간)이 약 17.0시간임을 의미한다.

## 4. RAM 목표값 개선

### 4.1 2014년도 신뢰도 목표값

RAM 분석 초기 홍콩 MTRC TKE(1998년) 전동차의 신뢰도 목표값을 기준으로 신뢰도 목표값을 선정하였으며 최근 홍콩 MTRC SCL(2013년) 신조전동차의 경우 보다 강화된 신뢰도 기준이 요구되고 있다.

9호선 전동차의 3차년도 신뢰도 측정결과 MTRC SCL(2013년) 신조 전동차의 신뢰도 성능 목표값에는 미치지 못하고 있으나 기존 목표값을 2배이상 만족하고 있으며 3차년도 실적을 기준으로 다음과 같이 목표값을 개선하고자 한다.

- 2분 이상 지연: 100만 Car-km 당 3.2건 이하 (MDBF ≥ 312,500 Car-km)
- 5분 이상 지연: 100만 Car-km 당 0.5건 이하 (MDBF ≥ 2,000,000 Car-km)

표5. MTRC SCL(2013년) 신조전동차 RAM 목표값

No.	Service Performance Targets		
1)	3분이상 지연	0.73건 이하/ 100만 Car-km	MDBSF≥ 1,369,863 Car-km
	5분이상 지연 및 검수원 침승 (platform area)	0.33건 이하/100 만 Car-km	MDBSF≥ 3,030,303 Car-km
	20분이상 지연 및 검수원 침승 (not platform area)	0.03건 이하/100 만 Car-km	MDBSF≥33,333,333 Car-km
2)	Service Impact Target		
	1분이상 지연 및 기교체, 회송, 구원 운전	5.86건 이하/100 만 Car-km	MDBSF≥170,648 Car-km

#### 4.2 가용도 관리지표 추가(운행가용도)

기존 9호선의 가용도 산출은 Down time(비가용시간) 기준으로 산출(성취 가용도) 하여 차량별, 시스템별 Down time(비가용시간) 관리에는 용이하나, 차량의 운영 및 유지 보수 조건이 명확하지 않은 조건에서 차량 제작사가 차량을 제작/납품 후 RAM 성능을 입증하는데 주로 사용되는 가용도 지표이다.

이를 보완하기 위하여 기존의 성취가용도외에 실제 운행서비스 기준의 가용도 관리지표를 추가하여 관리할 필요가 있다고 판단되어 다음과 같이 목표값을 선정하였다.

$$\text{○ 운행가용도} = 1 - \frac{\text{5분 이상 지연시간 합}}{\text{총 운행시간}} \geq 99.9\%$$

※ 가용도 산출방식이 동일한 코레일공항철도와 신분당선의 목표값은 다음과 같다.

- 공항철도 목표값: 99.82% 이상
- 신분당선 목표값: 99.99% 이상

### 5. RAM 관리업무 개선

#### 5.1 RAM 데이터 집계 및 분석 전산화

신규 검수정보시스템(MAXIMO)를 구축하여 기존의 수작업으로 RAM 지표를 집계 및 분석하던것을 전산화하여 실시간 RAM 지표 및 Down time(비가용시간) 집계기능을 구현하였다.



그림2. 작업오더 입력 화면

#### 5.1.1 고장이력의 입력

본선운영 중 또는 기지에서 차량점검 중 발견된 고장내역은 작업오더를 통하여 기록/관리되어진다.

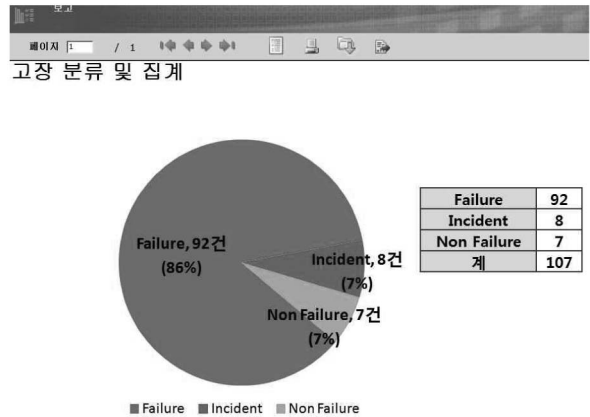


그림3. 고장분류 및 집계 화면

#### 5.1.2 신뢰도 집계

작업오더에 입력된 고장내역 중 Incident에 해당되는 고장에 대하여 편성별, 시스템별 신뢰도를 집계한다.

Train No.	MDBF (Mean Distance Between Failure)				Remark
	2분 이상 5분 미만 지면, W/CO/CL		5분 이상 지면		
	2014년 02월	누적 MDBF 2014년 01월 ~	2014년 02월	누적 MDBF 2014년 01월 ~	
0901	-	-	-	-	
0902	-	-	-	-	
0903	-	-	-	-	
0904	-	-	-	-	

그림4. 편성별 MDBF 집계 화면

#### 5.1.3 가용도 집계

전 편성 성취가용도, 운행가용도를 실시간으로 분석하고 편성별, 시스템별, 검종별 Down time(비가용시간)을 확인 할 수 있다.

보고

페이지 1 / 1

총 **Down time** 및 가용도 현황 (월간)

	2014-01-19 ~ 2014-02-19	목표값	목표값
비가용시간 Down Time (hours)	39.80	588.00	목표값 이하면 만족
성위가능도	99.83%	96.50%	목표값 이상이면 만족
운행가능도	100.00%	99.90%	

편성별 **Down Time** 및 가용도

2014.01.19 ~ 2014.02.19

편성번호	CM(hour)	CM(%)	PM(hour)	Other PM(hour)	합계	가용도 Availability(%)
0901	0.50	3.44%	3.00	0.00	3.50	99.46%
0902	0.00	0.00%	3.00	0.00	3.00	99.54%

그림5. 가용도 및 Down time(비가용시간) 집계 화면

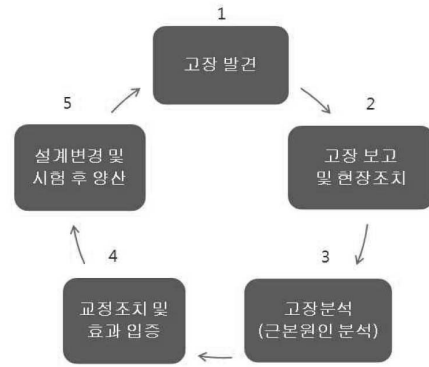


그림7. FRACAS Closed Loop

보고

페이지 1 / 1

시스템별 **CM Down Time**

2014.01.19 ~ 2014.02.19

시스템	비가용시간 (CM)	비율 (%)
출입문	0.00	0.00%
신호장치	5.50	29.65%
LCD 표시장치	0.38	2.07%
열차중합제어장치	0.00	0.00%
제동 및 공압장치	2.75	14.82%

그림6. 시스템별 CM Down time(비가용시간) 집계 화면

FRACAS 정보

발생일, 편성, 주요내용, 원인분석, 진행현황, 회의결과 및 대책방안, 담당부서, 담당자

차호, Incident, Failure, Non Failure, 하자유무, 검주목록, 지난목록, 모니터링, 난도, 번호

검색기간, 시작날짜, 종료날짜, 구분, 조회

기타 사항 정보 - 부서간 협조 사항 및 공지 사항 관련 직접입력

구분, 발생일, 주요내용, 진행현황, 회의결과 및 대책방안, 담당부서, 담당자, 상태

차량 고장 현황 집계기간: 2014/2/10 ~ 2014/2/16

구분	발생일	편성	차호	주요내용	원인분석	진행현황(구분)	회의 결과 및 대책
Total	0						

그림8. FRACAS 화면 설계(안)

### 5.2 FRACAS(Failure Report, Analysis and Corrective Action System) 기능 추가

FRACAS는 고장보고 및 교정시스템으로써 어떤 부품이 고장시, 고장난 부품의 정보를 입력하고 고장원인 분석 및 고장수리내역을 작성하여 제작사 설계변경에 반영될 수 있도록 하는 Closed loop로 구성되어 있다.

주요고장들에 대하여 원인분석 및 수정조치 업무 진행 상황을 검수정보시스템 상에서 일목요연하게 확인할 수 있도록 기존 오프라인을 통해 이루지던 FRACAS 기능을 추가하여 검수정보시스템의 작업오더와 연계하여 진행현황 및 조치내역을 확인할 수 있도록 하였다.

### 6. 맺음말

차량의 신뢰성은 정해진 운행조건에 대한 차량의 고유 특성으로써 제작사가 입증하여야 하며, 유지보수자는 입증되어진 신뢰성 및 가용성을 유지관리하며 시스템 개선 사항을 도출하고 수정작업 내용들이 설계에 반영될 수 있도록 제작사에 피드백 함으로써 차량의 신뢰성 및 가용성을 개선할 수가 있다.

차량의 RAM 관리 업무자체는 비용과 시간이 많이 들고 가시적인 성과가 뚜렷하지 않아 자칫 활용가치가 없는 데이터를 모으는 일로만 비춰질 수 있으나 지난 3년간 정확한 기준에 의해 분류되고 축적 되어진 고장데이터의 분석

을 통하여 차량의 신뢰성 및 가용성의 정량적 측정이 가능하였으며, 이를 바탕으로 시스템의 성능개선사항을 도출하고 그 효과를 입증하였다.

또한, 제작사와 유기적인 협조를 통한 설계개선은 차량의 신뢰성과 가용성의 증대로 이어졌다.

시스템의 신뢰성 및 가용성의 관리를 통하여 시민의 발로써 안전하고 믿을 수 있는 대중교통수단의 사회적 책임을 다하고, 서비스 공급비용의 절감을 달성할 수 있도록 앞으로도 지속적으로 노력을 아끼지 않을 것이다. ♪

♣ 참고 문헌

1. IEC62278 (2002), Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS).
2. 정인수(2008), "철도차량의 구매 요구사항에 포함되는 RAMS 특성값에 관한 연구," 한국철도학회논문집, 제 11권, 제 4호, pp.5-6.
3. 김종운(2011), "철도의 신뢰성 관리 활동", 기계저널, 제51권 pp.44.