

## 표준전동차 10만km 내구도 시험평가

### An evaluation on 100,000km endurance test for the Korean EMU

정 종덕\*      김 원경\*\*      한 석윤\*\*      이 호용\*\*\*      안 태기\*      한 성호\*

Chung, Jong-Duk   Kim, won-kyung   Han, Seok-Youn   Lee, ho-yong   Ahn, tae-ki   Han, sung-ho

---

This paper describes the result of endurance test on the Sangju test track. The purpose of the test is to prove the endurance of the Korean EMU for the commercial operation. Test conditions are more severe than actual operation on the commercial line. But endurance test come to an end well without severe problem. Hereafter, Korean EMU will be applied the quality certification of railroad supplies as a testing vehicle and their components will be applied in a new line.

---

#### 1. 서론

국내 대도시에서 운행되고 있는 전동차의 주요 전장품은 호선별로 대부분 외국에서 수입하여 국내 차량 제작사에서 조립하여 적용되고 있는 실정이다. 이 전장품들은 각 호선별로 제작사양이 다르기 때문에 운영 및 유지보수 등에 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해 한국철도기술연구원 주관으로 도시철도차량 표준화·국산화 연구개발사업을 추진하여 주요 전장품인 추진제어장치, 종합제어장치, 신호제어장치 등 차량의 핵심기술과 경량화를 위해 알루미늄 차체를 개발하여 이미 성능시험(구성품, 완성차, 본선시운전)을 마친 상태이다.

개발된 표준전동차 및 핵심 전장품을 실용화시키기 위해서는 검증된 차량이 장기간 사용해도 안전 및 성능에 문제가 없는지 확인하는 내구성 시험이 요구되어 상주공장 시운전 노선에서 10만 km 주행을 목표로 표준전동차 내구도 주행시험을 실시하였다.

본 보고서는 표준전동차 내구도 주행시험을 통해 검출된 고장내역을 분석하여 수정/보완하고 주행안전성 확보를 위해 영업노선에서 보다 가혹한 조건으로 차량을 운행하여 신뢰성을 확보하여 수입에 의존하던 주요 장치들을 실용화하고자 한다.

---

\* 한국철도기술연구원 선임연구원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원

\*\* 한국철도기술연구원 주임연구원

## 2. 표준전동차 주행시험 추진 현황

### 2.1 목적

표준전동차의 주행 내구도시험을 통해 검출된 고장내역을 분석하여 수정/보완하고 주행안전성 확보를 위해 영업노선에서 보다 가혹한 조건으로 차량을 운행하여 신뢰성을 확보함으로써 개발된 표준전동차 및 핵심장치가 실용화 될 수 있도록 하고자 한다.

### 2.2 일반사항 및 시험현황

- 1) 시험 장소 : 한국철도차량(주) 상주공장 시험선
- 2) 시험선 길이 : 약 1km(운행노선)
- 3) 차량 운행
  - 운전 방법 : 수동운전모드, 자동운전모드
  - 운행 조건 : 공차 및 만차(량당 20 ton 기준)
- 3) 시험기간 및 누적 총주행거리 : 2000.11~2001.12, 100,073km

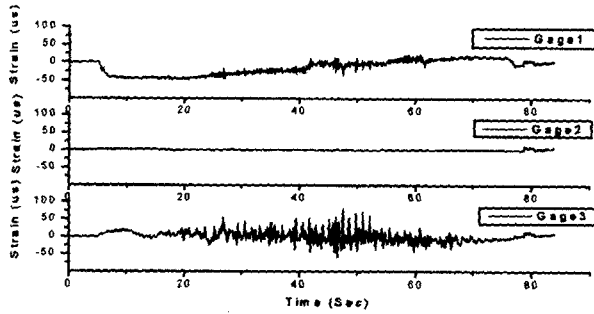
### 2.3 주요 주행 시험항목 및 내용

시험 항목	시 험 내 용
대차장치 내구도시험	공차시 실동용력 측정, 단축하중 피로강도 시험, 안전수평설계기준 피로강도평가 등
ATC/ATO 지상신호 연계동작 시험	ADU동작시험, ATC동작시험, TWC시험, ATC시험, 속도검지시험
집전장치 내구도시험	압상력 시험, 상승/하강시간 시험, 최저작동 공기압력 시험, 공기누설시험, 펜헤드 추종성 시험 등
제동장치 내구도시험	정차제동시험, 보안제동시험, 주차제동시험, 상용최대 제동시험, 비상제동시험
환경시험 (소음,진동 승차감)	소음시험(차외, 차내, 운전실), 진동시험, 승차감시험
추진제어장치 내구성시험	외관상태, 절연저항 측정, 가속특성시험, 회생제동 확인시험 등
종합제어장치 내구도시험	전속확인시험, 열차보조제어시험, ATC/ATO지원 기능시험등
집전장치 습판체 마모시험	주습판 마모시험과 재질별(동계/카본)마모도 시험 마모현상분석
제동슈 및 디스크 패드 마모시험	마찰재 마모량시험 및 마찰계수시험(다이내모시험)
차체 내구도시험	실동용력, 피로신뢰성평가

## 3. 표준전동차 내구도 주행시험

### 3.1 차체장치 내구도시험

- 1) 시험 내용 : 실동용력 측정
- 2) 실동용력 분석 : 주행중 발생하는 실동용력을 측정하기 위하여 전동차 차체의 구조해석 및 정하중 시험결과로부터 가장 용력이 발생한 부위인 출입문 코너부 아래쪽에 게이지를 취부
- 3) 시험결과 : 실동용력으로 차체내구도시험 결과는 안전한 결과를 얻었다.



### 3.2 대차장치 내구도시험

- 1) 시험내용 : 공차시 실동용력 측정, 단축하중 피로강도시험, 안전수평설계기준 피로강도 평가
- 2) 시험장면 및 시험방법
  - 대차를 피로강도 평가를 위하여 취약부위로 예측되는 부위 15곳에 단축 / 다축 스트레인 게이지 부착
  - 실동용력 측정은 공차인 경우에 측정하였고, 전동차 속도를 40Km/h, 50Km/h, 60Km/h, 70Km/h, 80Km/h에서 측정

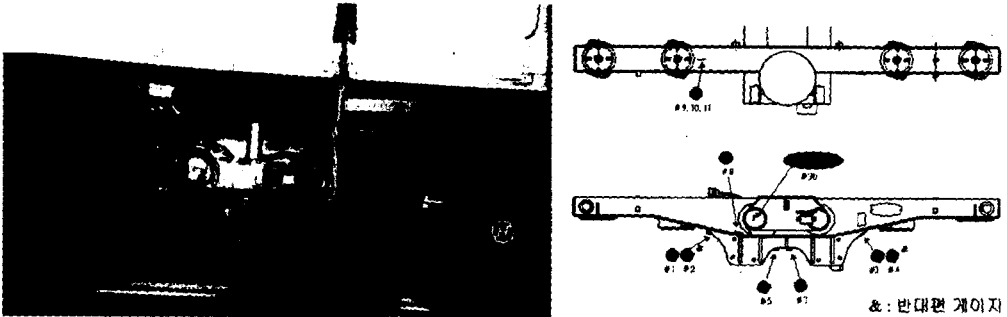
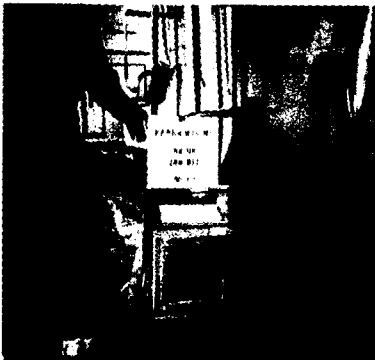


그림 1. 표준전동차 주행장치 게이지 취부

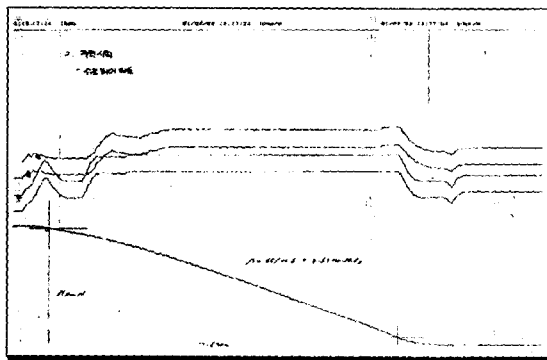
- 3) 시험결과 : 단축 및 다축하중을 측정하여 표준전동차의 대차를 피로강도를 평가한 결과 두 하중 조건 모두에서 안전계수가 최고 5이상으로 평가되어 대차를 사용 내구수명까지는 안전한 것으로 평가된다.

### 3.3 제동장치 내구도시험

- 1) 시험의 종류
  - 정차 시험 : 정차제동시험, 보안제동시험, 주차제동시험
  - 주행 시험 : 상용최대제동시험, 비상제동시험
- 2) 시험장면



정차시험



주행시험(상용최대제동)

3) 시험결과

항 목		기 준 치		시험결과
정차 시험 (M-Tc)	정차제동 (공차)	M	0.8±0.2 kgf/cm <sup>2</sup> [78±20kPa]	0.8
		T	1.2±0.2 kgf/cm <sup>2</sup> [117±20kPa]	1.2
	보안제동	4.00±0.2[392±20kPa]		4.0
	주차제동	주차제동이 체결되고, 역행이 차단 될 것.		양호
주행 시험	상용최대제동	공차:3.5 km/h/s 이상		3.69
		만차:3.5 km/h/s 이상		3.73
	비상제동	공차:4.5 km/h/s 이상		4.81
		만차:4.5 km/h/s 이상		4.61

3.4 공기압축기 내구도시험

1) 시험의 종류 및 내용

- 주공기 압축기 : 회전방향, 회전속도, 오일온도, 배기전자밸브, 누기 및 누유시험 등
- 트윈타워 공기건조기 : 성능시험, 공기누설시험
- 공기압축기 시스템 : 연동작용시험
- 보조공기 압축기 : 누설시험

2) 시험장면



주공기 압축기(회전방향)



주공기 압축기(오일온도)

3) 시험결과

구분	항 목	기 준 치		시험결과
주공기 압축기	회전 방향 시험	전동기의 회전 방향이 회전방향 표시와 일치 할 것.		이상 없음
	회전 속도 시험	10kg f/cm <sup>2</sup> 의 토출 압력으로 운전시 구동축의 회전속도가 1750rpm±5%이내 일 것		1802rpm
	오일온도 시험	10kg f/cm <sup>2</sup> 의 토출 압력으로 30분간 연속운전 후 오일 온도가 95℃이하 일 것.		85℃
	배기전자밸브 시험	공기 압축기를 10kg f/cm <sup>2</sup> 으로 가동하다가 멈추었을 때 벤트밸브가 열려 압력 공기배출이 이루어질 것.		이상 없음
	누기 및 누유 시험	공기 압축기를 약 20분간 연속 가동 후 어떠한 누기 및 누유도 없어야 한다.		이상 없음
	진공표시기 시험	공기 압축기 가동하여 흡입구를 차단했을 때 진공 표시기의 빨간색 피스톤이 보일 것.		이상 없음
트윈타워 공기건조기	성능시험	작용 사이클 시간	120초±6초	118초
		전력 재투입 시험	전기스위치 OFF 후 약 30초 동안 같은 상태를 유지되고 스위치 ON 시 동일 사이클이 이루어 질 것	
	공기누설 시험	제습통과 공기 배관 사이에 공기 누설이 없을 것.		이상 없음

구분	항 목	기 준 치		시험결과
공기압축기 시스템	연동 작용 시험	조압기 ON/OFF시 자동배수 전자밸브 유분리기의 자동 배수 밸브와의 연계작용 및 공기건조기의 재생, 건조작용 사이클 정상적으로 동작 할 것.		이상 없음
보조 공기압축기	온도상승 시험	진동 기계자틀	deg 30 이하	29.4
		실린더 두께	deg 90 이하	30.1
		실린더 몸체	deg 80 이하	29.3
	누설시험	온도상승 시험 후 1분간 누설이 없어야 한다.		이상 없음

### 3.5 VVVF 인버터장치 내구도시험

#### 1) 시험의 종류 및 내용

##### 가) 외관상태확인

- Box 및 Cover의 변형, 손상등의 점검, Packing의 탄력성 확인
- Box내 전선의 열화, 조임상태 등의 확인
- 압착단자의 열화, 조임상태 등의 확인 등

##### 나) 절연저항 측정

고압부, 저압부 접지간 : 400M $\Omega$ , 저압부 접지간 : 2000M $\Omega$

##### 다) 가속특성확인

0~80 km/h로 가속할 때 5~35km/h 사이의 영역에서 가속도가 3.0km/h/s 이상을 확인한다.  
출발시 P4단으로 가속한다.

##### 라) 회생제동 확인

80~0 km/h로 감속할 때 60~20km/h 사이의 영역에서 감속도가 3.5km/h/s 이상을 확인한다.  
제동시 B7단으로 감속한다.

##### 마) 무부하 회생제동 동작확인

회생부하 OFF 상태에서 제동 투입시 발전제동 동작 여부 확인

##### 바 온도특성 확인

- INVERTER UNIT V상의 HEAT PIPE부 : 65℃ 이하
- OVT UNIT의 HEAT PIPE 부 : 49℃ 이하
- P측 BUS BAR 표면 : 60℃ 이하
- N측 BUS BAR 표면 : 60℃ 이하
- 주회로 입력 511선 표면 : 54℃ 이하
- 주회로 출력 V상선 표면 : 54℃ 이하

#### 2) 시험 결과

##### 가) 외관상태확인 : 이상 없음

##### 나) 절연저항측정 :

고압부, 저압부 접지간 : 10M $\Omega$ , 저압부 접지간 : 10M $\Omega$

##### 다) 가속특성확인 : 가속도 : 3.26 km/h/s(차륜경 820mm)

##### 라) 회생제동 확인 : 감속도 : 3.57 km/h/s

##### 마) 무부하 회생제동 동작확인 : 회생부하 OFF 상태에서 제동 투입시 발전제동이 5초간 동작하고 90초 이내에는 발전제동이 동작하지 않는 것을 확인한다.

##### 바) 온도특성 확인 : 부위별 기준 온도 범위내에서 작동

### 3.6 종합제어장치 내구도시험

#### 1) 개요

종합제어장치 내구도시험은 표준전동차가 일정 주행거리를 주행한 후에 종합제어장치의 기능이 제대로 동작하는 지를 검사하는 시험으로 주로 인터페이스 시험과 기능시험으로 구성된다.

#### 2) 시험내용 및 결과

시험 항목	확인 사항	결과
전송확인시험	TCMS 주통신 전송확인	양호
	주변장치와의 통신 확인	양호
열차보조제어시험	Head Control ; Driverless, Automatic, Manual, Yard, Emergency Mode에서의 TCMS가 제어하는 HCR,TCR의 동작을 확인.	양호
	Mode Control ; ATC로 부터의 전송에 의해 지시되는 Operation Mode의 설정을 확인.	양호
	Dead Man; 입력 검지에 의한 TCMS 처리를 확인	양호
ATO 장치 지원기능	종합제어장치의 자동열차운전장치 활성화기능 확인	양호
ATC 장치 지원기능	각 운전모드에서 ATC장치의 전원제어기능 확인	양호
열차자연신호전송확인	열차가 자연되는 경우 TWC 경우 열차자연신호 발생여부 확인	양호
열차번호제어	모니터상에서 열번호확인 및 TWC, PA, TRS, PISC 로 열번호전송확인	양호
열차편성길이제어	TWC, PA, PISC로 열차편성길이 정보전송 확인	양호
주시각제어	종합제어장치와 접속기기에 주시각 송신기능확인	양호
휠직경보정기능	종합제어장치의 휠직경보정기능확인	양호
모니터현시기능	기기동작상태, 열차번호, 노치값, 승차율 등의 표시확인	양호
	고장발생의 경우 고장명칭 등의 정보표시를 확인	
고장정보기능	고장발생의 경우 고장램프를 점등하고 부저 울림을 확인	양호
백업기능	종합제어장치에서 각 백업기능이 정상적으로 되는 지 확인	양호
차상검사	일상검사에 대한 정상실행을 Display Unit로 확인.	양호
	PDT에 대한 정상실행을 Display Unit로 확인.	양호
	월상검사에 대한 정상실행을 Display Unit로 확인.	양호

### 3.7 ATC/ATO 장치 내구도시험

#### 1) 개요

본 시험은 표준전동차 내구도시험 중 ATC/ATO/TWC/TRA 차상장치의 정확한 기능을 입증하기 위함이며, 동적 시험은 AF 레도회로와 TWC 루프가 설치되어 조정이 완료된 시험구간에서 차량을 설치하여 수행하였다

#### 2) 기지내 시운전 선로상에서 정지 시험

가) ADU 동작시험 : ADU의 현상태를 점검

나) ATC 동작시험

- 속도 코드: ATC의 속도 신호 디코드 능력을 확인하기 위함이다. TWC Loop 상에 열차를 정지시키고 지상으로부터 각 코드를 수신하는지 확인
- 기지모드(Yard Mode) : Yard Mode 신호들을 디코드하는 능력을 시험
- 출입문 개방신호 : ATC의 출입문 개방신호를 디코드하는 능력을 시험
- Key Up/Key Down 시험 : Key Up/Down 신호를 디코드하는 ATC의 능력을 시험

다) TWC 시험 : 지상설비와 TWC의 통신 능력을 시험

#### 3) 열차주행시험

ATC/ATO/TWC/TRA 시스템의 주행과 관련한 동적 성능을 시험하기 위함이며 이 시험은 기지내 시운전 선로에서 사령실의 지원으로 주행을 실시한다.

가) ATC 시험

- 기지운전모드(Yard Mode) 동작
- 속도 검지 및 Yard Mode의 과속
- 정지 후 진행모드(Stop & Proceed) 동작시험
- 수동운전모드에서의 과속검지기능

나) TRA 검지시험 : 열차 운행 중 PSM 마커 검지 상태를 점검

다) 열차 자동 운전 시험

- 자동운전 출발시험
- 정상 역간 주행

라) 무인 운전 모드 : 무인 운전 출발시험 및 다음 역에서 열차가 정차 후 출입문 자동 개폐 시퀀스가 수행되는지 확인하고, 주간제어기를 FSB로 설정

### 3.8 집전장치 내구도시험

#### 1) 개요

집전장치에 대한 성능과 사용에 따른 문제점이 없는지 내구도시험을 수행하였다.

2) 시험 항목 및 내용

가) 압상력 시험

조작공기 압력 5kgf/cm<sup>2</sup>로 습판체 상면을 1분간 3m정도의 속도로 상승 및 하강 시켰을 때 압상력 측정

나) 상승/하강시간 시험

5 kgf/cm<sup>2</sup>의 공기압력으로 작동 시켰을 때 동작되는 시간측정

다) 최저 작동공기 압력시험

4 kgf/cm<sup>2</sup>의 공기압력에서도 상승여부 확인

라) 공기 누설시험

판도그래프의 공기 관에 9 kgf/cm<sup>2</sup>의 공기압력을 공급한 후 누기여부 확인

마) 팬헤드 추종성 시험

판도그래프의 헤드가 원활한가를 최대 및 최소작용높이에서 시험하며, 이때 회전각도는 수평에서 약 10° 이상여부 확인

3) 시험 결과

항목	기준치		시험결과
	상승시	하강시	
압상력시험	상승시	4.5kgf이상	4.8
	하강시	7.5kgf이상	7.1
상승시간	10~14초 범위일것		12초
하강시간	4~6초 범위일것		5초
최저작동 공기압력 시험	4kgf/cm <sup>2</sup> 의 공기압력에서 상승될것		이상없음
공기누설시험	판도그래프의 공기관에 누설이 없을 것		이상없음
팬헤드 추종성시험	회전각도가 수평에서 약 10° 이상일 것		12°

3.9 마모량 시험

1) 집전장치 주습판 측정시험

가) 시험내용 : 집전장치 주습판/보조습판 측정, 습판체 마모량, 과대원인 분석

나) 시험결과

· 습판체 사용기간 / 주행거리

1차 : 80일 / 21,255 km - 완전마모

2차 : 54일 / 21,213 km - 일부마모

· 재질별 마모량분석

동계주습판의 마모량 : 14.94%(83.5g/558.6g) / 21,213 km

카본주습판의 마모량 : 11.84%(28.3g/240.7g) / 21,213 km

※ 동계주습판은 국부마모가 심하고 우기시 수분이 가선에 형성된 윤활성분을 세척시켜 마찰계수가 증가하고 동(Cu)성분을 산화시켜 마모를 촉진시킨다.

2) 제동슈 및 디스크 패드 측정시험

가) 시험내용 : 수명한도 분석, 디스크패드 마찰재 시험(다이나모 시험기)

시험시편(BSI 제품, 대화브레이크 제품)

나) 시험결과 분석

· 수명한도

디스크패드 : 52.971km (9개월 사용)

제동슈 : 69.266km (10개월 사용)

· 디스크패드 마찰계수

BSI 제품 : 상용제동(0.37), 비상제동(0.37)

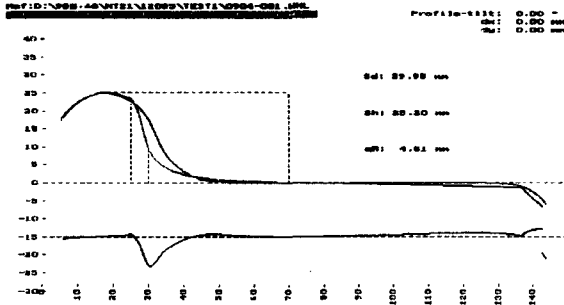
대화브레이크 제품 : 상용제동(0.355), 비상제동(0.342)

다) 마모량(휠직경 및 휠담면) 측정시험

· 시험내용 : 휠직경 / 담면 마모량 및 차륜형상 측정량 분석

· 시험결과 분석 : 휠마모량(10,000km 기준)

Sh = 0.10567 mm, Sd = 0.43069 mm, Qr = 0.27460 mm



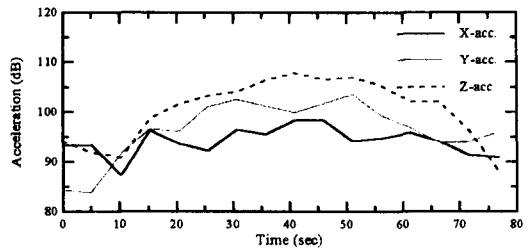
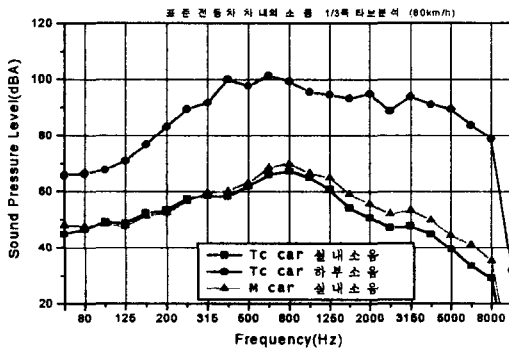
### 3.10 환경시험

#### 가) 시험내용

- 소음/진동시험 : 실외소음, 실내소음필직경 / 담면 마모량 및 차륜형상 측정량 분석
- 승차감 시험 : 좌석, 바닥면 측정에서 측정

#### 나) 시험결과 분석

- 소음 및 진동시험  
주행시 내부소음(각 차종별) : 약 69.8dB(A), 70km/h
- 승차감시험 : X 방향 : 108 dB, Y 방향 : 113 dB, Z 방향 : 118 dB



### 4. 결론 및 향후 연구방향

본 보고서는 도시철도 표준화·국산화 사업을 통해 개발된 표준전동차의 내구도 주행시험에 대한 내용과 시험결과를 기술하였다. 내구도 주행시험의 총 주행거리는 약 10만 km를 운행하였으며 운행하는 동안에 큰 고장 없이 시스템이 안정화되어 있음을 볼 수 있었다. 초기 단계에서는 제작상의 하자발생 및 상용화된 제동장치의 일부 부품의 고장이 있었으며, 핵심장치중 인버터에 TM 과전류 검지가 발생되었으나 프로그램 수정후 정상적인 전류의 파형을 갖을 수 있었다.

표준전동차 주행 내구도 시험 운행조건은 영업노선보다 가혹한 운행조건[역정차 시간 최소화, 선로상태불량(분기점 3개지점 통과, 노선길이 약 1km), 휴식시간없이 운행, 만차/공차 병행, 일 주행거리 400km이상, 짧은 제동거리 등]으로 운행되었으나, 주요장치 내구도 시험기록에 나타낸 바와 같이 중요 고장 없이 양호한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

지상설비연계동작시험은 시험구간에서 자동/무인운전 모드로 실시하여 양호한 결과를 얻었으나 지상 및 차상장치의 시스템 불안정으로 지속적인 시험이 요구되며 아울러, 국내 호선별로 신호시스템이 상이함에 따라 어느 구간이라도 전동차를 운행할 수 있는 신호시스템의 표준화가 시급한 실정이다.

표준전동차 내구도 주행 시험 완료로 개발된 표준전동차 및 핵심장치에 대한 성능이 입증됨에 따라 국산화 용품을 운영처에 공급할 수 있는 계기를 마련하였으며 표준화체계 정착에 밑거름이 될 것으로 본다.