

# 도시철도 전동차 유지보수체계의 개선에 관한 연구

김규중 · 이근오<sup>\*†</sup>

대전광역시도시철도공사 · 서울산업대학교 안전공학과

(2009. 9. 2. 접수 / 2010. 2. 12. 채택)

## A Study on the Improvement for EMU Maintenance System of Urban Transit

Kyu Joong Kim · Keun Oh Lee<sup>\*†</sup>

Daejeon Metropolitan Express Transit Corporation

<sup>\*</sup>Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology

(Received September 2, 2009 / Accepted February 12, 2010)

**Abstract** : Urban transit system must secure fast, safe and reliable transportation capacity as a metropolitan mass transit. For this purpose, it is important to make all the sub-systems (which consist of EMU, power feeding, signaling & telecommunication, railway, platform facility, and control system and so on) work well. To operate all the systems effectively and reliably, a maintenance measure optimal to each system's characteristics is needed to be established and executed. So, highly reliable maintenance should be performed. But, EMU maintenance methods suitable to its own model and EMU lines are not yet introduced. This study examined few examples mainly to secure reliability on a maintenance quality in operating method and the features of train maintenance system based on travel distance.

**Key Words** : urban transit system, maintenance, electric multiple unit(EMU), reliability

### 1. 서론

최근 국내의 도시철도 분야는 정시성, 안전성, 대량 수송성 및 환경 친화적인 장점 때문에 대도시 대중교통수단으로서 비약적인 질적, 양적 성장을 이루어 왔다.

도시철도시스템이 대도시의 대중교통수단으로서 신속·안전하고 신뢰성 높은 수송능력을 확보하기 위해서는 차량, 급전, 신호통신, 선로 및 역사 설비, 관제시스템 등 모든 서브시스템들이 항상 정상적으로 작동하는 것이 중요하며, 또 높은 신뢰성으로 모든 시스템들을 효율적으로 가동하기 위해서는 각 시스템들의 특성에 가장 적합한 유지보수대책을 수립·운영하는 것이 필요하다.

하지만 국내 대도시에서 운행 중인 전동차(EMU; Electric Multiple Unit)의 경우 각 노선별, 도시별로 서로 상이한 시스템의 전동차가 운행되어 부품 호환성 등 유지보수 측면에서 많은 문제점들이 나

타나고 있음에도 불구하고 아직까지 차종별, 운행 노선별 특성에 적합한 전동차 유지보수기법이 개발 또는 도입되지 않은 실정이다.

본 논문은 전동차 정비품질의 신뢰성 확보와 비용절감을 위하여 현재 대전도시철도공사에서 시행 중인 신개념의 전동차 주행거리를 기준으로 한 경정비 유지보수체계 운영방식과 특징에 대하여 연구하였다.

### 2. 전동차 유지보수의 이론적 배경과 국내 현황

#### 2.1. 전동차 유지보수의 목적

전동차 유지보수시행 목적은 최상의 차량 성능을 유지하여 본선 영업운전 중의 고장 및 사고를 미연에 방지함과 동시에 전동차 사용 효율의 향상을 도모하는데 있으며, Table 1과 같이 크게 예방정비(Preventive maintenance)와 사후정비(Corrective maintenance)로 구분된다. 예방정비는 일정 주기를 정하고 미리 정한 점검항목에 따라 검사를 시행하는 정

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
leeko@snut.ac.kr

기검사와 전동차 운행상태 등으로부터 고장 징후를 사전에 예지하여 필요한 검사 및 수선을 시행하는 비정기검사로 나뉜다. 예방정비는 계획적인 점검, 시험 등을 시행함으로써 사전에 주요 고장을 방지할 수 있다는 면에서 매우 바람직하지만 전자장치 등과 같이 고장 징후를 사전에 예지하기 어려운 경우 또는 우발적 사고에 대해서는 예방정비의 효과를 기대하기 어렵기에 사후정비를 병행하는 것이 바람직하다.

특히 최근에는 전동차 제작부분에 최첨단 기술력이 도입됨에 따라 부품 품질의 향상, 기기 구성의 모듈화 등에 의해 정비방법도 과거의 예방정비를 주로 하는 방식에서 고장 발생 후 조속히 고장을 감지하고 복구하는 사후정비 방식을 채택하는 경향이 많이 나타나고 있다<sup>1)</sup>.

2.2. 유지보수 주기에 관한 이론

일반적으로 모든 기기는 사용 개시 이후 다양한 불량사항이 발생된다. 불량내용으로는 설계 불량, 재료불량, 제작 불량, 사용기간이나 사용빈도 등에 의한 열화, 취급불량, 기타 예측 불가능한 원인 등에 의해 발생된 불량 등이 있다. 수많은 부품으로 구성되어 있는 기기의 고장 발생형태는 예방정비를 행하지 않을 때는 일반적으로 Fig. 1과 같이 Bathub Shape(욕조곡선)이라 불리는 곡선으로 나타난다<sup>2)</sup>.

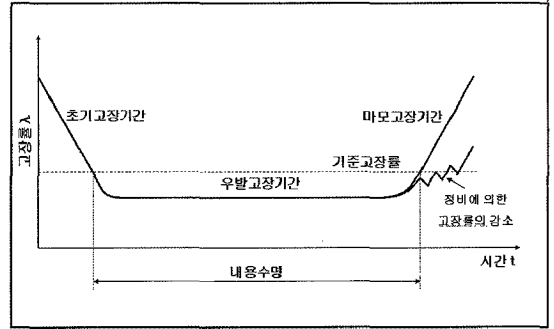


Fig. 1. Bathtub-Shaped hazard function.

사용초기에는 설계 불량, 제작 불량 등 생산과정에서의 품질관리 미비로 인한 고장이 발생되며 이 기간을 초기고장기간이라 한다.

계속 사용함에 따라 고장률이 감소하게 되면 고장이 우발적(Random)으로 발생하는 우발고장기간이 되고, 더욱 사용시간이 경과하면 부품 마모나 열화에 의해 고장률이 증가되는 마모고장기간이 된다. 마모고장이 시작하기 직전에 적절한 정비를 행

Table 1. Classification of EMU maintenance

구분		주요 내용	장소
예방정비	정기검사	출고점검	검사고
		입고점검	
		일상검사	
	중간검사	월상검사	주공장
		전반검사	
비정기검사	임시검사	검사고 또는 주공장	
	특별검사		
	차륜전삭 및 교환		
	인수검사		
사후정비		· 예방검사를 기대할 수 없는 부분 · 우발적인 고장 · 실내설비 등의 간단한 고장	

Table 2. Classification of main causes and parts for EMU maintenance period

주요요인	관련 부품
주행거리	대차, 윤축, 주전동기, 집전장치 등
운행시간	차체, 승객설비, 고무 튜, 공기호스 튜
가동시간	전자기기, 공기제동장치 등
동작횟수	차단기, 전자기기, 접촉자 등

Table 3. Comparison of maintenance system of EMU

기관명	호선	전동차 유지보수체계					비고
		일상	월상	중간	전반		
서울메트로	1~4	3일	2개월 (3만km)	2년 (30만km)	4년 (60만km)	구형	
			3개월 (5만km)	3년 (50만km)	6년 (100만km)		
서울특별시 도시철도공사	5~8	5일	4개월 (4만km)	4년 (40만km)		VVVF	
부산광역시 교통공사	1	2일	3개월	2년 (20만km)	4년 (40만km)	구형	
	2~3	3일		3년 (30만km)	6년 (60만km)	VVVF	
인천광역시 지하철공사	1	7일	4개월	4년		VVVF	
대구광역시 도시철도공사	1~2	3일	3개월 (4만km)	3년 (40만km)	6년 (80만km)	VVVF	
광주광역시 도시철도공사	1	7일	4개월	3년	6년	VVVF	
대전광역시 도시철도공사	1	2천km	3만km	3년 (40만km)	6년 (80만km)	VVVF	

하면 고장률을 떨어뜨리는 것이 가능하고 내용수명을 연장할 수가 있다<sup>3)</sup>.

전동차 정기검사의 주기 설정은 차량 사용조건, 사용연수 등을 고려하여 차량의 기본 설계조건과 고장발생빈도 등의 기본적인 자료의 검토를 거쳐 경험을 바탕으로 시간 및 거리주기를 병행하여 안전하게 설정하는 것이 현재까지의 관례이다.

전동차 유지보수주기에 영향을 미치는 주요 요인과 그 관련 부품들을 Table 2에 나타내었다.

### 2.3. 국내 전동차 유지보수체계 현황

수도권을 포함하여 총 7개 운영기관의 전동차 유지보수체계 현황을 Table 3에 나타내었다.

## 3. 신개념의 전동차 유지보수체계 도입 필요성

### 3.1. 최첨단 전동차 도입으로 신뢰성 향상

최첨단 제어기술 및 소자개발기술의 발달로 부품 성능과 수명이 향상된 장치들을 적용, 제작한 최신 전동차가 제작, 운행됨으로서 과거에 비해 제품의 신뢰성이 크게 향상되었다. 대부분의 전동차 주요 장치들은 차량 컴퓨터와 통신·제어됨으로서 정상동작 여부의 진단 및 상태감시가 항상 가능토록 제작되었으며, 고장데이터를 저장하여 고장원인을 추적할 수 있는 프로그램들이 설치됨으로서 전동차 유지보수업무가 간편해지고 효율성도 향상되었다.

또한 주요 장치들의 전자부품 사용 증가, 대형 모듈화로 Laptop Computer를 활용한 고장 추적 및 분석기법이 보편화되는 추세이므로, 각종 소모품 교환 위주의 3D 업무와 외관상태 확인 등의 육안검사방법은 최근 제작된 전동차에 적용할 유지보수방식으로는 적합하지 않게 되었다.

### 3.2. 도시철도 운영여건의 차등화

전동차 운행횟수, 노선길이, 이용승객 수 등이 적은 지방 대도시의 경우, 동일기간 동안 보유전동차들의 1일 평균 주행거리가 수도권에 비해 상대적으로 적어 실제 사용량에 따른 전동차 피로도가 낮다는 특징이 있다. 그럼에도 기존의 시간 기준 일상 검사방식을 채택할 경우, 실제 주행한 거리와 관계없이 사전 계획된 일상검사를 시행하는 비효율적인 유지보수체계가 형성된다. Fig. 2는 각 도시의 노선별 전동차 1일 평균 주행거리를 비교하여 나타내고 있다.

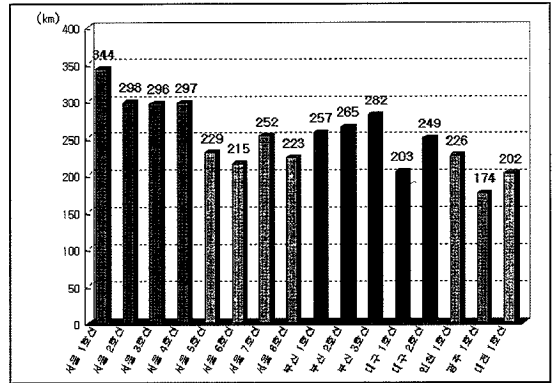


Fig. 2. Comparison of average of daily travel distance(in 2009).

※ 전동차 1일 평균주행거리 산출 기준

$$[(\text{평일수} \times \text{평일운행거리}) + (\text{토요일수} \times \text{토요일운행거리}) + (\text{휴일수} \times \text{휴일운행거리})] \div 365 \div \text{보유 편성수}$$

### 3.3. 도시철도 적자 운영의 심화

공공 부문의 특성상 일반 회사들처럼 최소의 투자와 최대의 이윤창출을 위한 경영방식을 무조건 고집할 수 없는 현실 속에서 모든 도시철도의 적자 운영은 정부, 지방자치단체 및 모든 운영기관들 입장에서는 여간 고민스러운 문제가 아닐 수 없다.

나날이 증가되는 적자 운영을 극복하기 위하여 이용수요의 증대, 무임수송손실에 대한 정부지원요구, 저비용·고효율의 유지보수체계 검토 및 신규 부대사업 개발 등 모든 운영기관들의 자발적인 노력의 필요성이 최근 몇 년간 계속 철도분야의 이슈로 부각되고 있다<sup>4)</sup>.

따라서 신뢰성과 비용절감 측면을 모두 고려한 실효성 있는 저비용, 고효율의 전동차 유지보수체계의 개발과 도입이 현재 필요한 실정이다.

## 4. 대전도시철도공사 전동차 유지보수체계의 운영방식과 특징

### 4.1. 선진화를 위한 로드 맵 수립

기술력을 바탕으로 한 신뢰성 높은 전동차 유지보수체계의 구축과 효율적인 운영 및 주요 외자 부품의 국산화 등을 실현하고자 Fig. 3과 같이 전동차 성능의 조기 안정화, 신뢰성 높은 유지보수체계의 구축, 경쟁력 있는 자체 기술력의 확보 등 3개 부분을 차량분야 선진화를 위한 2011년까지의 기본 방향으로 설정, 수행하고 있다.

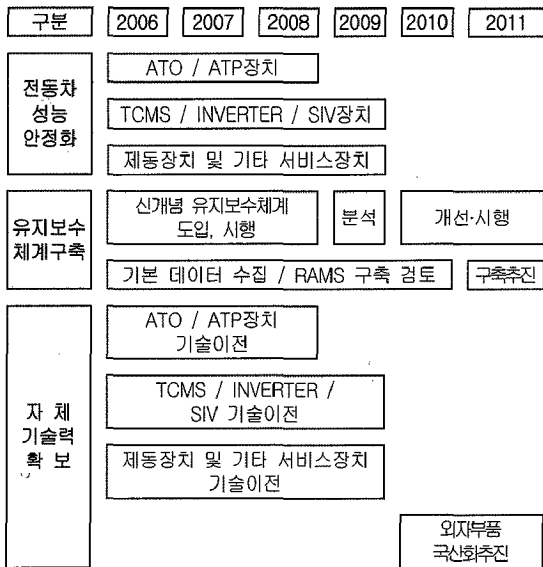


Fig. 3. Road map of rolling stock's advancement.

4.2. 전동차 성능 조기안정화 추진

개통 이후 현재까지 전동차 성능의 조기안정화를 위하여 불량 발생 시 적극적인 원인 규명과 함께 전동차 각종 부품의 기능개선을 Table 4와 같이 총 113건 시행하였다.

특히 외자부품의 경우 고장데이터를 분석한 후 고장보고서를 작성하여 외국 제작사로 송부, 최초 설계부문의 오류를 인정받고 A/S 처리함으로써 전동차 성능 안정화 및 추후 발생될 유지보수비용의 상당부분을 절감하였으며, 주행거리 기준의 유지보수방식이 정착되는데 가장 중요한 요소로 작용하였다.

Table 4. Functional improvement of EMU

구분	전동차 기능개선 현황 ('06~'09년)	
	Hardware	Software
ATO/ATP	3건	9건
TCMS	1건	12건
VVVF	5건	3건
IV	-	1건
표시기장치	9건	5건
방송장치	3건	3건
제동장치	4건	-
대차	1건	-
객실설비	19건	3건
제동장치	19건	4건
기타	9건	-
계	73건	40건

4.3. 기술이전 전담조직의 운영

어떤 기기의 고장징후를 사전에 발견하고 단시간 내에 수리 복구할 수 있는 Multi-Player 양성을 위하여 핵심 전장부품의 관리와 국내·외 제작사의 기술력 습득, 전동차 성능 조기 안정화 및 차량 전체 인원에 대한 효율적인 기술력 전파를 수행할 기술이전 전담조직을 구성하여 Fig. 4와 같이 개통 전부터 계속 운영하고 있다. 특히 고장데이터의 수집·분석을 통한 전동차 기능개선을 수행함으로써 안전운행의 위험요소를 사전 제거하였다.

4.4. 실제 주행거리를 적용한 전동차 유지보수체계의 도입, 시행

대전도시철도 전동차 유지보수의 경우, 기존의 날짜 주기기준으로 시행하는 전동차 유지보수체계를 지양하고 전동차의 실제 사용량(주행거리)에 따라 일상, 월상검사횟수를 차등 적용하는 신개념의 유지보수체계를 국내 최초로 도입하여 개통 이후 현재까지 운영하고 있다.

전동차 검사기준인 주행거리의 산정은 타 운영

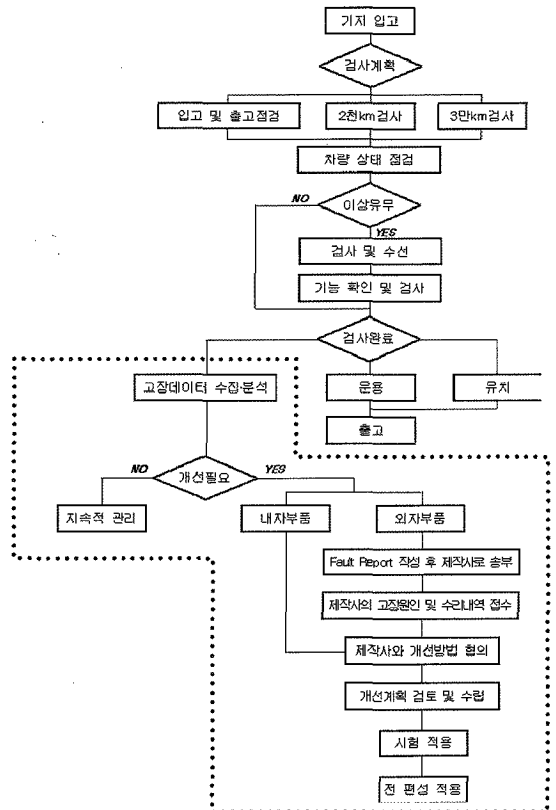


Fig. 4. EMU maintenance process.

기관들의 전동차 검사방식과 검사종별 평균 주행 거리를 사전 조사한 후 적정범위 내에서 일상검사 주기로 2,000km(-25%~+15%)를, 월상검사 주기로 30,000km(±15%)를 산출, 적용함으로써 신뢰성 높은 유지보수체계의 구축과 함께 정비용역 비용을 크게 절감하였다.

### 5. 신개념의 전동차 유지보수체계 운영결과에 대한 고찰

#### 5.1. 누적 주행거리 분석

Fig.5에서 보는 바와 같이 전동차 21개 전 편성의 주행거리를 분석한 결과, '05년 반입된 1단계 12개 편성과 '06년 반입된 2단계 9개 편성의 '09. 7 월까지의 평균 누적주행거리는 각각 286,552km, 202,244km로 대부분의 편성이 ±1.2%, ±1.7%의 표준편차 범위 내에서 거의 비슷하게 운행되었다. 이 결과는 전 구간 개통 이후 현재까지 1) 전동차 발생 고장의 철저한 조치, 2) 편성별 실제 사용량(주행거리)이 평준화 관리됨으로써, 일부 편성에 치우치지 않고 전체적으로 비슷한 피로도 및 가동률로 전동차가 운행되고 있음을 알 수 있으며, 차량 폐차 시까지 이런 패턴으로 관리되면 모든 편성의 유지 보수효과 및 각종 비용이 균등하게 발생되리라 예상된다.

#### 5.2. 2천km검사 실적분석

최근 1년간의 2천km검사 실적을 시행날짜별로 분석해 보면 2천km검사 완료차량들이 평균 8.5일(최소 5일~최대 19일) 운행한 후 검사되었으며, 2천km검사 간 평균 주행거리는 약 2,120km로 2,000km검사 파동율 -25%~+15% 범위 내에서 효과적으로 운영되었음을 Fig. 6, 7에서 알 수 있다.

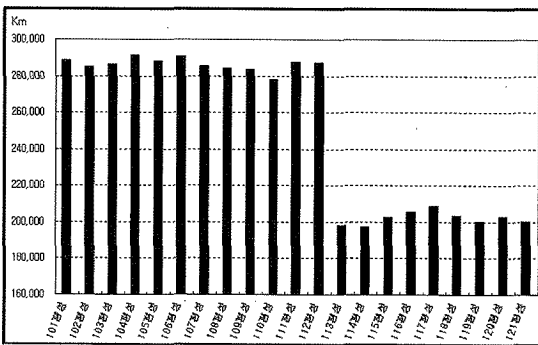


Fig. 5. Comparison of the accumulative travel distance (per unit).

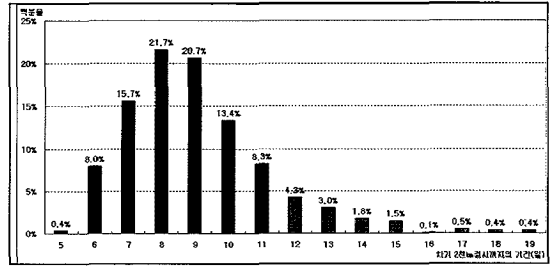


Fig. 6. Comparison of 2,000km maintenance accomplishment (per period).

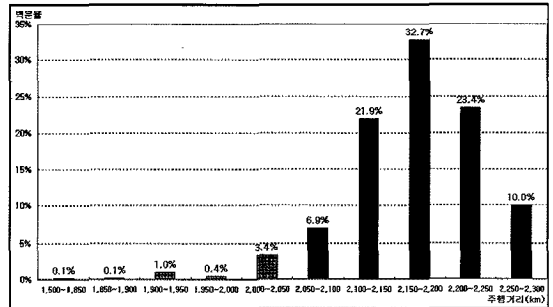


Fig. 7. Comparison of 2,000km maintenance accomplishment (per distance).

종래의 시간간격 기준(MTBM ; 유지보수평균간격시간, mean time between maintenance)의 일상검사보다는, 입고점검과 발생고장에 대한 효과적인 사후정비가 철저히 뒷받침된 주행거리 기준의 일상(2천km)검사방식이 전동차 유지보수의 품질 및 안전운행 측면에서 보다 바람직하였다.

또 주행거리 파동율 (±)범위 내에서 검사차량의 탄력적 운용이 가능하므로, 2008년 용역단가 기준 3일검사 대비 66.5%, 7일검사 대비 19.1%의 용역비용이 절감되었음을 Table 5에서 알 수 있었다.

#### 5.3. MKBSF 산출 및 분석

MKBSF(mean kilometer between service failure)

Table 5. Comparison of outsourcing cost of EMU daily maintenance

구분	전동차 일상검사물량 비교		비고
	검사물량 산출	상대비교	
기존	3일 검사 7개 편성×4량×365일 -244량(월상) =9,976량	9,976량 (100%)	비교산출 (예상물량)
	7일 검사 3개 편성×4량×365일 -244량(월상) =4,136량	4,136량 (41.5%, △58.5%)	
신개념	2천 km 검사 3,344량 (1,500~2,300km 범위에서 운행 후 검사)	3,344량 (33.5%, △66.5%)	실적

※ Operating conditions : 21units(8cars)

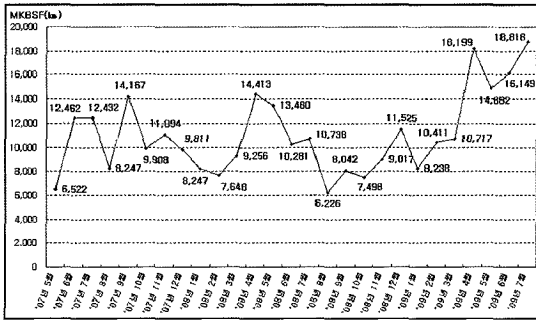


Fig. 8. Comparison of MKBSF.

는 ‘고장 간 평균 주행거리’를 의미하며<sup>5)</sup>, 대전도 시철도의 최근 2년간의 전동차 월 주행거리를 영업운행 중 발생한 고장건수로 나누어 MKBSF를 구해보면 Fig. 8과 같다. 단 고장의 종류는 경미한 것으로부터 전동차 영업운행이 지연되는 경우까지 다양하므로 신뢰성 높은 MKBSF의 산출을 위하여

1) 차량고장으로 운행계획 대비 3분 이상 지연이 발생한 경우, 2) 차량고장으로 영업운행중인 전동차를 다른 차량과 교체한 경우, 3) 전동차 안전운행에 영향을 줄 수 있는 중요 장치의 이상 발생 등으로 차량 고장을 선별하여 계산식에 적용하였다.

’07. 4월 완전개통 이후 월별 MKBSF를 산출해 보면 전동차 초기 안정화가 이루어지지 않은 ’08년 3/4분기까지는 불규칙한 추이를 보이지만, 신개념의 유지보수체계가 정착되고 전동차 초기 안정화가 가시적 효과를 나타내는 ’08년 4/4분기부터는 매우 안정적인 추이를 나타내고 있음을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 연구는 대전도시철도공사에서 국내 최초로 도입, 현재까지 운영 중인 주행거리를 기준으로 한 전동차 유지보수체계를 정비품질의 신뢰성 확보 및 비용 절감 측면에서 실제 운영데이터를 갖고 기존의 시간기준 검사방식과의 차이점을 비교분석함으로써 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 주행거리 기준 일상(2천km)검사 방식의 경우 전동차 21개 전 편성의 누적주행거리가 1%대의 표준편차 범위에서 비슷하게 운행되었다. 이 결과는 주행거리를 기준으로 전체 편성의 차량 가동을 및 피로도를 평준화 관리하면 유지보수 측면에서 동일 효과와 비용이 발생됨을 확인하였다.

2) 하위수준의 예방정비체계인 입고점검과 발생 고장에 대한 효과적인 사후정비가 철저히 뒷받침된 주행거리 기준 일상(2천km)검사방식은 주행거리 범위 내에서 검사차량의 MTBM을 탄력적으로 운용, 신뢰성 확보와 비용절감을 동시 달성함으로써 전동차 유지보수체계를 질적으로 향상시켰다.

3) ’07. 4월 완전개통 이후 주행거리 기준 일상(2천km)검사방식을 실시한 최근 2년간의 월별 MKBSF를 산출, 분석함으로써 저비용·고효율의 유지보수체계가 정착되고 전동차 성능의 초기 안정화가 가시적인 효과를 나타내고 있음을 입증하였다.

## 참고문헌

- 1) 염동진, “표준전동차 경정비 효율화 방안에 대하여”, 한양대학교 산업대학원 석사논문, pp. 15~17, 2000.
- 2) R. Ramakumar, “Engineering Reliability Fundamentals and Applications”, pp. 53~139, 1993.
- 3) 최용운, “도시철도 전동차 정비이론 및 개선방향 연구”, 한국철도학회 학술발표대회 논문집, pp. 1859~1865, 2007.
- 4) 차준일, “대전도시철도공사의 혁신적 경영전략과 비전”, 한국철도학회 철도저널, Vol. 12, No. 2, pp. 40~49, 2009.
- 5) 유양하, “MKBSF 산출을 통한 KTX 신뢰성 연구”, 서울산업대학교 철도전문대학원 석사논문 pp. 29~43, 2004.