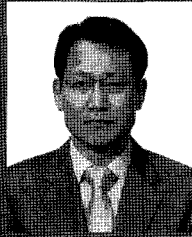


정책동향

## 도시철도 철도차량 유지보수 선진화 방안



| 손영진 |  
(주) 신진엔지니어링  
부회장



| 이희성 |  
서울산업대학교 교수  
신교통연연구소장

### 1. 서론

국내도시철도는 지난 35년간 운영경험과 축적된 유지보수기술력을 기반으로 전수명주기내에서 한 단계 높은 선진화된 방식으로 철도시스템을 유지 관리하도록 요구받고 있다. 이에 현재 도시철도 철도차량 유지보수 선진화를 적극적으로 모색하고 있는 서울메트로에서 구축한 전동차유지보수 정보화 시스템 (RIMS : Rolling-Stock Information Maintenance System) 추진 사례를 중심으로 선진화 방안을 제시하고자 한다. RIMS는 2001년3월에 태동되어 수많은 우여곡절 끝에 2004년10월2일 마침내 4호선 창동차량사무소에 적용되어 시험운영이 시작된 이래 현재까지 계속 5년간 실제 유지보수 현장에서 실행됨으로 해서 실질적인 전동차유지보수 데이터가 축적이 되었다. 이제 RIMS는 신뢰도 중심 유지보수에 필요한 데이터를 추출할 수 있는 시스템으로 자리 매김 되었다.

이에 따라 처음 4호선에서 운용되는 차량의 주요 장치에 대하여 RIMS에 축적된 데이터를 분석하여

각종 신뢰도 변수들인 운행고장간 평균주행거리 (MKBSF, Mean Kilometer Between Service Failure) · 고장간 평균주행거리(MKBF, Mean Kilometer Between Failure) · 고장간 평균주행시간 (MTBF, Mean Time Between Failure)을 구하여 신뢰도 중심 유지보수(RCM)의 기초 자료로 활용함으로써 유지보수주기의 적정성 검토, 장치별 수명주기 예측 등 RIMS 데이터를 기반으로하여 유지보수의 신뢰도를 확보하게 되었다.

### 2. 도시철도 시스템 유지보수 배경

철도시스템 중에서 E&M 분야는 통상 20년~30년을 주기로 하고, 차량의 경우 전통적으로 고장분석에 있어 시간보다는 주행거리에 따라 고장분석이 이루어져왔다. 즉, 예전에는 100만km당 고장발생 건수로 신뢰도를 표시하였으나, 최근에는 MKBSF나 MKBF로 신뢰도수치를 표시하고 있다. 예로서 KTX의 신뢰도 사양은 MKBSF를 121,000km 이상으로 하고 있으며, 인도 텔리전동차의 신뢰도 사양은



표 1. 차종별 MKBF, MKBSF

구분	편성당 MKBF (km)	편성당 MTBF (day)	편성당 MKBSF (km)	편성당 MTBSF (day)	량당 MKBF (km)
전체 (평균)	22,832	63	605,732	1,668	228,320
현대 DV	51,872	152	1,867,415	5,486	518,720
현대 ADV	25,819	61	1,153,292	2,721	258,190
대우 DV	19,454	62	1,057,017	3,355	194,540
복합차 ADV	17,024	42	172,681	430	170,240
대우 ADV	12,831	36	196,748	430	128,310

MKBF를 편성당 40,000km 이상을 목표로 하였다.

서울메트로에서 운행중인 최신형 전동차는 구형 저항차 및 초퍼차량에 비해 사양의 고급화 및 경량화기술이 적용되어 제작되었다. 기계적 구성부품의 단순화 및 무접점화, 회전기류 기기축소 및 AC모터 채용 등으로 인하여 DC모터를 사용하는 구형차량에 비해 내구성 및 유지보수성이 향상된 차량이다. 특히, TGIS 및 TCMS장치가 채용되어 차량의 고장을 미리 감지할 수 있게 된 차량으로 교체되고 있다.

### 3. 차종별 유지보수 및 고장분석

현재 4호선에 운행되고 있는 VVVF 인버터제어차량은 차종별로 1993~1995년 도입되었으며, 10량 1편성으로 총 47개 편성이 운행되고 있다. 4호선 운행 차량을 제작사 및 전기형식으로 구분하면 총 5종의 차량이 운행되고 있다. 특히, 4호선 차량에 대한 고장분석시에 MKBSF는 본선에서 3분 이상 운행지연을 차량고장을 기준으로 하였으며, MKBF는 운행 중 차량교환이 이루어진 고장을 기준으로 하였다. 그 결과는 표1과 같다.

차량의 고장률 추세를 살펴보면 초기시점에는 육조곡선과 같은 특성을 나타내지만 결코 사용연령 즉, 노후화 의존의 열화영역을 갖지 않는 것을 알 수 있다. 다시 말하면 예방정비에 의한 정기오버홀 이후 초기고장 영역이 존재하다가 우발고장만이 발생함을 알 수 있다. 즉, 현 서울메트로의 2년검사(2Y), 4년검사(4Y) 시스템 보다 더 긴 정기검사주기가 되어야 하며, 생각지 못한 우발고장 대처에 유리한 예지정비(Predictive Maintenance)와 선행정비(Proactive Maintenance)가 병행되어야 함을 알 수 있다.

4호선 차량에 대한 고장분석 결과 미국의 각 도시철도 운

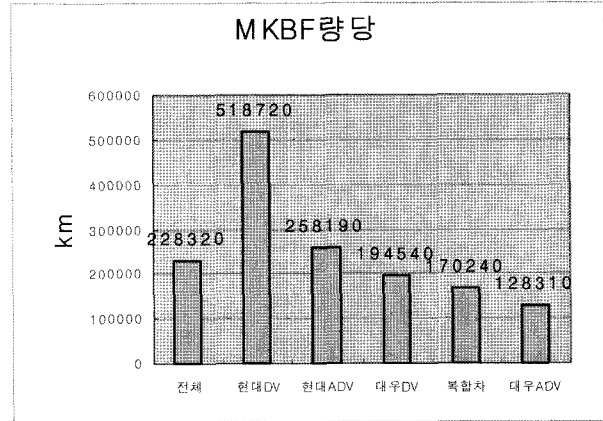


그림 1. 차종별 MKB

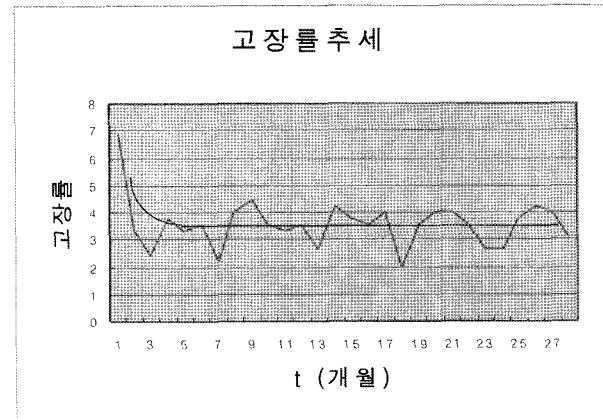


그림 2. 차량의 고장률 추세

영기관이 표준으로 사용하고 있는 차량당 MKBF 160,900km 보다 DV(직류전용), ADV(교직류) 차량은 매우 우수한 것으로 판명되었으며, DV 차량 및 복합차량은 미국운영기관 표준보다도 우수하게 나타났다. 그러나 ADV 차량의 경우 이에 미치지 못하는 결과가 도출되었는데 이는 ADV 차량이 DV 차량에 비해 긴 구간을 운행하며 DC(직류) 구간과 AC(교류)구간을 모두 운행함에 따라 고장 발생이 많은 것으로 사료된다. 이에 따라 복합차량(TC car 현대, M car 대우) 및 ADV 차량은 주요 고장 발생 원인분석과 함께 이에 대한 대책 수립뿐만 아니라 보다 철저한 정비가 이루어져야 함을 알 수 있다.

전체 차종에서 어떤 한 차종의 고장이 차지하는 비율을 살펴보면 DV 차량은 보유차량 대비 고장비율이 현저히 낮으며, ADV 차량은 보유차량 대비 고장비율이 높은 것을 알 수 있다. 특히, MKBSF 기준으로 보면 복합 ADV 차량의

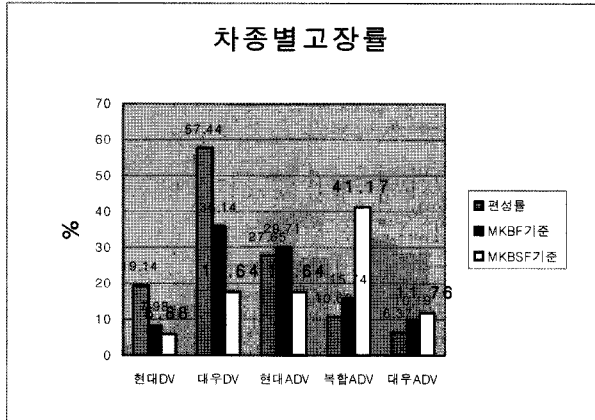


그림 3. 차종별 고장률

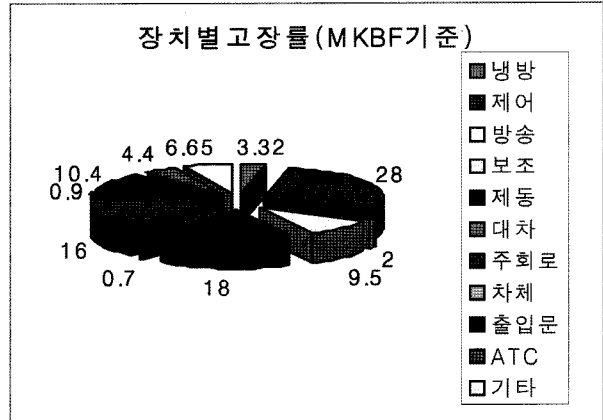


그림 5. 장치별고장률(MKBF기준)

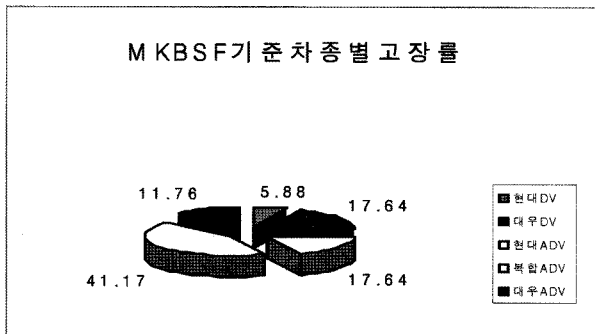


그림 4. MKBSF기준 차종별 고장률

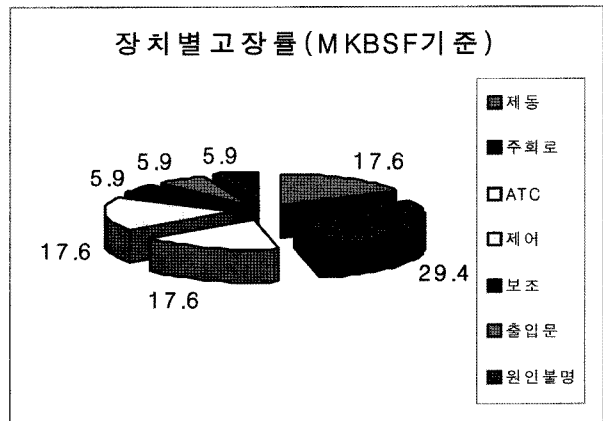


그림 6. 장치별고장률(MKBSF기준)

고장률이 차량고장으로 인하여 본선 3분 이상 운행지연이 41%를 차지하여 보유편성 대비 지나치게 많은 고장이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 서로 다른 시스템을 적용한 차량의 특성에 의해 한번 고장이 발생하면 본선개통에 지장을 주는 큰 고장으로 이어지고 있는 것을 알 수 있다.

#### 4. 장치별 고장분석

운행 중 차량교환이 이루어진 고장을 기준으로 4호선 전차종의 장치별 고장률(MKBF기준)을 살펴보면, 제어장치 28%, 제동장치 18%, 주회로장치 16%, 출입문 10.4%, 보조회로장치 9.5%, 신호장치(ATC)순이며 제어·제동·주회로장치 고장률이 많은 것으로 보여 지지만 이중 TGIS 장치상의 고장표시등 점등에 따른 열차교환이 다수를 점하고 있어 실질적인 고장이라고 보기는 다소 무리가 있다.

하지만 도시철도 특성상 주요 고장표시등이 점등되면 사

고예방차원에서 차량을 교환 회송을 하게 되므로 이를 고장으로 보고 데이터를 처리하였다. 또한 제동 및 출입문장치가 높은 고장률을 나타내므로 이에 대한 고장원인 분석 및 대책이 필요함을 알 수 있다.

다음의 <표 2>는 뉴욕전동차(NYCT), 미국 SEPTA 전동차, 워싱턴전동차(WMATA), 미국 PATH 전동차, 그리스 ATTIKO 전동차의 서브시스템의 신뢰도 목표 요구조건으로 장치별 100만km당 고장발생 목표치로, 우리나라 실정과 일치하지는 않지만 좋은 비교자료다.

비교 가능한 제동장치, 출입문장치, 신호장치, 대차장치 등을 국제기준평균치와 비교해보면 국제기준 목표치를 능가하는 것을 알 수 있다. 4호선에 운행되는 전동차는 12년~15년 운행된 차량으로 초기고장기간을 지나 안정되어 우발고장이 일어나는 시기가 되었기 때문이라 사료된다. 그 밖의 장치 등의 고장비교는 고장분류 등을 국제 기준에 맞

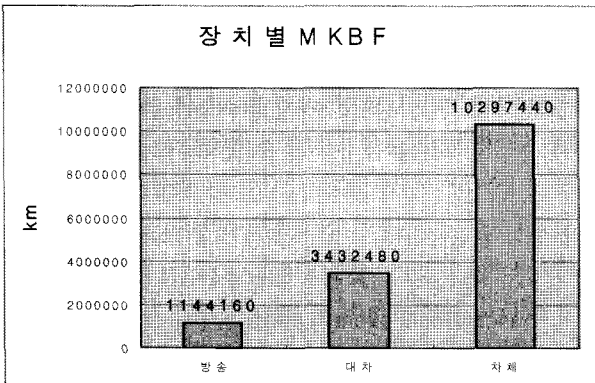


그림 7. 장치별 MKBF

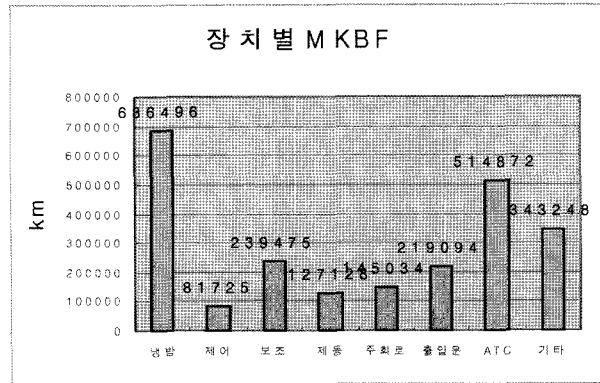


그림 8. 장치별 MKBF

추어야 가능할 것이다.

장치별 고장률 추세를 살펴보면 냉방장치, 보조회로장치(SIV), 제어장치 등은 초기고장영역이 존재하지 않는 구간 사이에 있어 일정한 고장률을 나타내는 우발고장 영역만이 존재한다. 이들 장치들은 예방정비의 한계를 극복하기 위하여 고장의 사전진단 기법을 활용한 예지정비와 고장의 근본원인을 제거하고자하는 예지정비가 이루어져야 한다. 출입문장치 및 ATC 장치의 고장률 추세를 살펴보면 초기 시점에는 육조곡선과 같은 특성을 나타내지만 결코 연령의 존의 열화영역을 갖지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 2Y, 4Y, 3Y, 6Y 시스템 보다 더 긴 정기검사 주기로 조정이 검토되어야 하며, 우발고장에 유리한 예지정비와 선행정비가 병행되어야 한다고 판단된다.

주회로 장치의 고장 추세를 살펴보면 예방정비에 의한 오버홀 후 시간에 따라 고장률이 서서히 증가하고 있음을

알 수 있다. 이는 주 회로를 이루는 장치들이 기계적 접점으로 이루어져있어 사용 시간이 증가할수록 전기적 기계적 마모가 이루어지기 때문이다. 주 회로장치는 예방정비에 의한 오버홀이 유익하다고 할 수 있다.

### 5. 맺음말

- 도시철도시스템의 전반적인 유지보수는 건설초기에는 큰 문제가 없었으나 상업운전을 하면서 제반여건이 최악의 조건들 속에서 상호작용하기 때문에, E&M 분야, 토목 분야, 철도차량 분야의 상호 인터페이스와 관련한 전수명주기(LCC)에 기반한 적정유지보수수단 용이하지 않다. 이에 따라 신뢰도 데이터에 근거한 체계적인 접근을 하여야 한다.

표 2. 장치별 100만km당 고장발생 목표치

구분	추진장치	보조전원	HVAC	출입문	제동	대차	신호	기타
NYCT	28.6		14.3	22.2	16.8		13.3	8.3
SEPTA	16.6	10	20	25	16.6		10	
WMATA	30	2	13	6	18	3	4	
PATH	20	15	10	18	18		11	
ATTIKO	20		10	16.8	16.8		10	13.3
평균	27.04	9	13.46	13	17.24	3	9.66	10.8
DMRC실적	3.4		2.6	3.34	2.83	0.3		1.0

표 3. 장치별 100만km당 고장발생 목표치

장치	냉방	제어	방송	보조	제동
MKBF	686,496	81,725	1,144,160	239,475	127,128
장치	대차	주회로	차체	출입문	ATC
MKBF	3,432,480	145,034	10,297,440	219,094	514,872

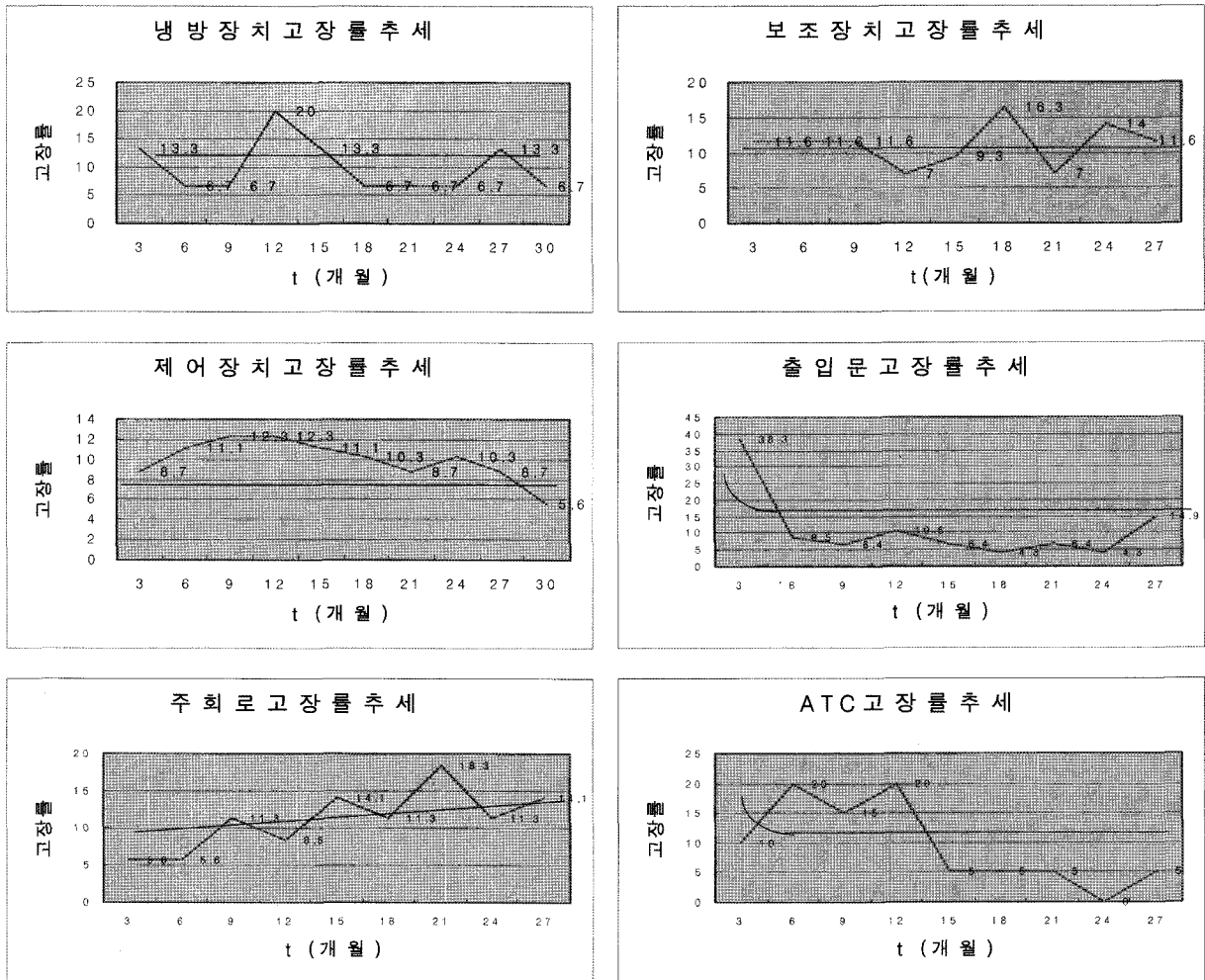


그림 9. 장치별 고장률 추세

감소형(DFR)	- 초기 운행시 고장나기 쉬운 결정을 갖고 고장을 일으키지만 시간과 더불어 감소(전자부품류) - 설계오류 등에 의해 발생 Aging에 의해 제거함	와이بل 분포
일정형(CFR)	- 초기고장의 원인 제거 후 우발고장이 발생하는 경우	지수분포
증가형(IFR)	- 고장률이 시간에 따라 증가하는 형태. - 베어링 등의 기계적 고장과 인간의 노화곡선	와이بل 분포

- 전동차의 고장률 추세를 살펴보면 초기시점에는 육조 곡선과 같은 특성을 나타내지만 결코 사용년수에 따른 열화영역을 갖지 않는 것을 알 수 있듯이 주행거리와 운행시간의 구분에 의한 유지보수를 장치별로 구분하여 실제적으로 적용하는 것을 검토하여야 한다.
- 전동차 일부 장치에서는 현재의 2Y, 4Y이거나 3Y, 6Y의 획일적인 주기보다는 새로운 시간개념과 주행거리에

- 따른 차별화된 정기검사주기 검토가 필요하다는 것을 알 수 있으며, 예기치 못한 우발고장에 유연하게 대처할 수 있는 예방정비의 한계를 극복하기 위해서는 고장의 사전진단 기법을 활용한 안전운행을 위한 예지정비와 고장의 근본원인을 사전 제거할 수 있는 선행정비가 이루어져야 한다.
- 차종별로는 DV 전용차량이 고장이 적고 안전운행에



기여하는 것을 알 수 있으며, 또한 복합차량이 보유편성 대비 고장이 많이 발생하고 있으므로, 이에 대한 고장원인분석 및 대책이 필요하다.

- 장치별 MKBF를 살펴보면 제동장치, 출입문장치, 신호장치, 대차장치 등을 국제기준평균치와 비교해보면 국제기준 평균치를 능가하는 것을 알 수 있으며, 주회로 장치를 제외한 나머지 장치들은 시간의존성 고장이 아니라 우발고장에 의한 고장이 발생됨을 알 수 있다.

- 이에 실질적인 도시철도 유지보수 선진화 방안은 1974년 8월15일 개통 이후 35년간 축적된 도시철도 운영 경험과 전문 엔지니어링 기술을 접목시켜서 도시철도 건설 및 운영이 이르는 전 분야를 원천기술수준으로 완성시키는 것이다. 이는 도시철도 경영개선은 물론 도시철도 운영 경쟁력을 세계적으로 높이는 계기가 되므로, 도시철도운영기관의 중요한 과제이며 당연한 책무라고 생각한다. ☺