

RIMS 데이터를 활용한 전동차 운행 신뢰성 향상방안
The Rolling Stock operation reliability improvement plan
which applies a data base of the RIMS

박수중* 이도선** 전서탁*** 손영진****
Park, soo choong Lee, do sun Jeon, seo tak Son, Young jin

ABSTRACT

RIMS (Rolling Stock Information Maintenance System) was installed in structure which it can analyze the data base in need of credibility maintenance. So it could accumulate real data without repulsion of working spot. Information system was installed not following to system but following to working spot. The development of RIMS project was started from March 29, 2001 and it has been operating from October 12, 2004 in Chang-dong Car depot for light maintenance in charge subway line4. So substantial data base was accumulated for three years.

This study calculated all RAMS data by analyzing data base accumulated in RIMS and used in dada base about credibility maintenance and found investigation of propriety, expectation of the life cycle cost, the improvement plan on credibility of sorts of cars and formation about the cycle of repairing and maintenance. This got MKBSF · MKBF and MTBF about devices and sorts of line4 Rolling Stocks for it.

1.서론

최근의 철도차량은 부품과 시스템이 복잡하고 첨단화되어 유지보수에 과학적이고 체계적인 접근이 반드시 수행되어야 하며, 이를 위해서는 통계적인 분석이 필요하다. 즉, 철도차량 정보화시스템을 통한 객관적이고 신뢰성을 지닌 데이터의 축적이 필수 요소이다. 신뢰성정비를 위한 정보화사업은 서울메트로 이전에 타 운영기관에서 시도되었으나 정보화가 현장과 괴리된 시스템의 도입으로 부정확한 데이터로 인한 정보화시스템의 활용성 및 확대가 성공하지 못하였다. 정보화에 있어 가장 중요한 것이 실제 정보가 입력되고 축적되어야 한다는 것인데 정보화 구축과정에서 현장이 소외됨에 따라 연구원 및 대학의 연구진 그리고 정보화업체, 현장 이라는 것이 그 사업장의 전산팀 정도가 참여하여 정보화시스템을 구축하다보니 이론상의 시스템 즉 현장과는 괴리된 시스템이 만들어졌었으며, 따라서 연구진의 이론과 정보화업체의 입장이 우선된 시스템이 구축되어 하나의 패키지 형태의 시스템을 만들어 현장에 이렇게 입력해 하는 식으로 진행되어 현장의 반발과 시스템에 대한 불신 이라는 결과를 가져오게 되었고, 그 결과로 실제 데이터가 아닌 거짓 데이터 입력되거나 시스템 사용을 거부하는 결과를 가져오게 되었던 것이다.

* 박수중: 정회원, 서울Metro, 정보화전담반(RIMS)

E-mail : hakusuing@hanmail.net

TEL : (02)2247-4043 FAX : (02)2247-4041

**정회원, 서울Metro, 정보화전담반(RIMS)

***정회원, 서울Metro, 정보화전담반(RIMS)

****정회원, 서울Metro, 기술본부장

즉, 현장의 직원들은 기존의 업무체계를 무시한 현장에 맞지 않는 시스템을 쓸려고 하지 않으며, 이를 교육과 강제에 의해 실현하려 하면 할수록 더욱더 큰 반발을 가져올 뿐만 아니라 강제에 의해 입력이 강요될 경우 거짓 데이터 입력이라는 결과를 가져온다는 것이다. 아무리 좋은 제도와 시스템이라도 그것을 입력하는 사람이 실제데이터가 아닌 거짓데이터를 입력하게 된다면 그 데이터를 이용한 통계분석의 결과역시 거짓이 되는 것이기 때문에 정보화시스템은 현장의 작업시스템을 반영한 상태에서 우리가 목적하는 신뢰성 정비에 필요한 데이터를 추출할 수 있는 구조로 시스템을 구축해야하는 필요성이 여기에 있는 것이다.

서울메트로의 전동차유지보수 정보화시스템은(RIMS : Rolling-Stock Information Maintenance System) 서울메트로 전동차 정비 여건에 맞추어 구축됨에 따라 최초 도입 시 현장에 원활하게 적용되어 유지보수 내역들을 실행 사실대로 입력하여 데이터가 축적됨으로써 RIMS가 목적하는 신뢰성 정비에 필요한 데이터를 추출할 수 있는 시스템으로 자리 매김 되었다. RIMS 프로젝트의 개발은 2001년3월에 태동되어 수많은 우여곡절 끝에 2004년10월2일 마침내 4호선 창동차량사무소에서 실질적인 시험운영이 시작된 이래 2007년10월 현재까지 계속 3년간의 실질적인 전동차유지보수 데이터가 쌓이게 되었다.

본 논문은 4호선에서 운용되는 차량의 주요 장치에 대하여 RIMS에 축적된 데이터를 분석하여 각종 RAMS 자료를 추출하고 해석하여 서비스 실패간 평균주행킬로미터 (MKBSF, Mean Kilometer Between Service Failure) · 고장간 평균주행킬로미터(MKBF, Mean Kilometer Between Failure) · 고장간 평균주행시간(MTBF, Mean Time Between Failure)을 구하여 신뢰성정비(RCM)의 기초자료로 활용함으로써 검수 및 정비주기의 적정성 검토, 장치별 수명주기 예측 등 RIMS 데이터를 이용하여 검수 및 정비의 신뢰성 향상방안을 연구하였다.

2. 신뢰성 이론

신뢰성이란 사전적으로는 “아이템이 주어진 조건에서 규정된 기간 동안에 요구된 기능을 발휘할 수 있는 성질”이라 되어있다. 그러나 신뢰성은 기술의 발달과 고객의 요구에 따라서 달라지며, 신뢰성의범위와 해석도 시대의 요구에 따라서 달라질 수 있다. 보통 신뢰도는 시간의 함수로 그 시간까지 고장이 나지 않을 확률 $R(t)$ 로 나타내며, 그 반대인 비 신뢰도는 $F(t) = 1 - R(t)$ 로 나타낸다. 신뢰성을 향상시키기 위해서는 고장분석이 기본이 되며 이를 통해 고장률을 감소시켜야 한다. 고장률 역시 통상 시간의 함수로 $\lambda(t)$ 나타낸다. 신뢰도 지수들을 수학적으로 표현하기 위해 $f(t)$ 를 시스템의 시간에 대한 고장밀도함수(PDF)라고 할 때, 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt = \exp\left(-\int_0^t \lambda(x)dt\right) = e^{-\lambda t} \quad t > 0$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad t > 0$$

$$F(t) + R(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt = 1 \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

$$f(t) = \frac{df(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}$$

$f(t)$ 의 평균치인 평균수명(mean life) $E(t)$ 를 구하면

$$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t)dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

수리계에서 MTBF(Mean Time Between Failure) = $1/\lambda$ 이 되고 비 수리계에서는 MTTF(Mean Time To Failure) = $1/\lambda$ 이 된다. 일반적으로 많은 부품들로 구성된 시스템의 수명분포는 Drenick 정리에 의해 지수분포(exponential distribution)를 따른다. 지수분포의 경우 고장률 $\lambda(t) = \lambda$ 이므로, 신뢰성 성장(Reliability Growth)을 고장률 $\lambda(t)$ 를 줄이는 과정 또는 MTBF가 상승하는 과정이라 할 수 있다.

3. 고장분석

철도차량의 경우 전통적으로 고장분석에 있어 시간보다는 거리에 따라 고장분석이 이루어져왔다. 예전에는 100만km당 몇 건이 발생 하였는가로 나타냈으며, 최근들어 MKBSF나, MKBF로 나타내고 있다. 예로서 KTX의 RAM사양은 MKBSF를 121,000km이상으로 하고 있으며, 인도 델리전동차의 RAM사양은 MKBF를 편성 당 40,000km이상을 목표로 하였다.

4호선에 운행되고 있는 전동차는 구형 저항차 및 초퍼차량에 비해 계절의 고급화 및 경량화되어 제작되었다. 기계적 구성부품의 단순화 및 무접점화, 회전기류 기기축소 및 AC모터 채용 등으로 인하여 구형에 비해 내구성 및 유지보수성 안전도가 향상된 차량이다. 특히 TGIS장치가 채용되어 차량의 고장을 미리 감지할 수 있게 된 차량이다.

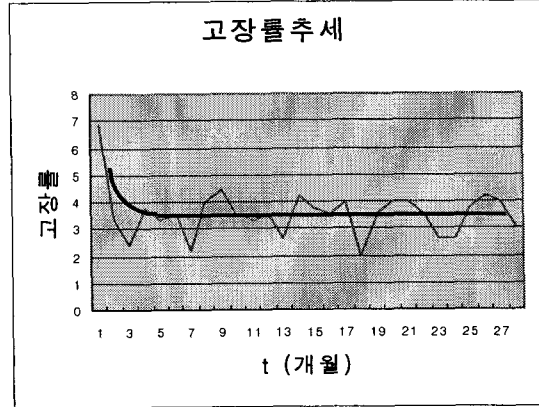
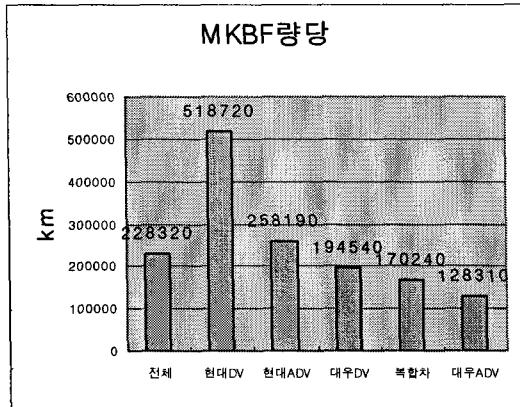
3.1 차종별 고장분석

4호선에 운행되고 있는 전동차는 VVVF인버터제어 차량으로 1993~1995년 도입되었으며, 10량 1편성으로 총47개편성이 운행되고 있다. 차량을 제작사, 전기의 형식으로 구분하면 총 5종의 차량이 운행되고 있다. 4호선차량에 대한 고장분석은 MKBSF는 본선 3분이상 지연차량고장을 기준으로 하였으며, MKBF는 운행 중 차량교환이 이루어진 고장을 기준으로 하였다. 그 결과는 표1과 같다.

< 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
현대DV	51,872	152	1,867,415	5,486	518,720
현대ADV	25,819	61	1,153,292	2,721	258,190
대우DV	19,454	62	1,057,017	3,355	194,540
복합차ADV	17,024	42	172,681	430	170,240
대우ADV	12,831	36	196,748	430	128,310

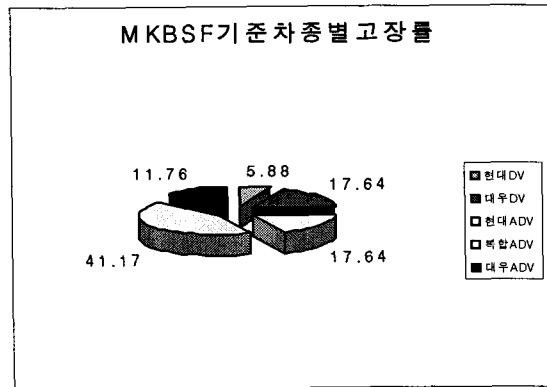
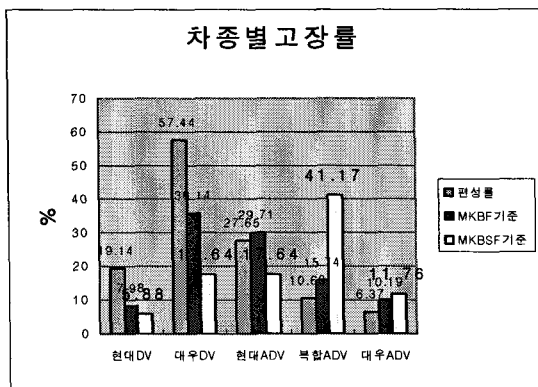
차량의 고장률 추세를 살펴보면 초기시점에는 육조곡선과 같은 특성을 나타내지만 결코 연령 즉 노후화 의존의 열화영역을 갖지 않는 것을 알 수 있다. 다시 말해 예방정비에 의한 정기오버홀 이후 초기고장 영역이 존재하다가 우발고장만이 발생함을 알 수 있다. 즉 현 서울메트로의 2년검사(2Y), 4년검사(4Y) 시스템 보다 더 긴 정기검사주기가 되어야 하며, 우발고장 대처에 유리한 예지정비(Predictive Maintenance)와 선행정비(Proactive Maintenance)가 병행되어야 함을 알 수 있다.



<그림 1> 차종별 MKBF

<그림 2> 차량의 고장률 추세

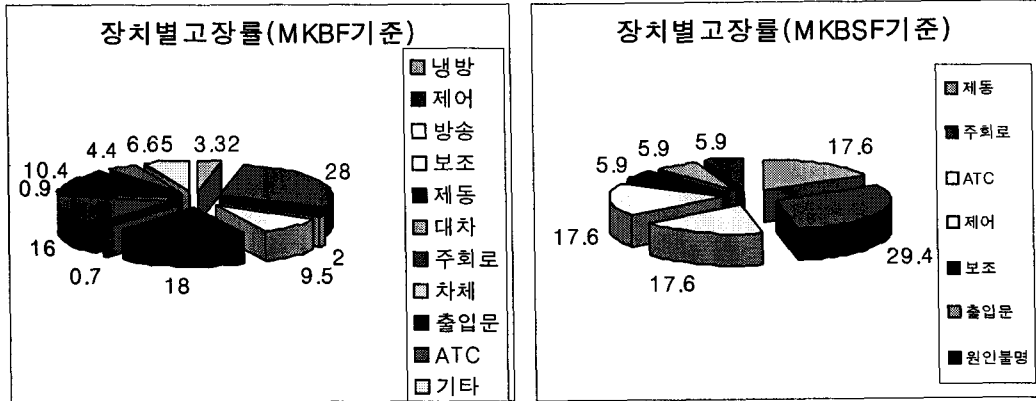
4호선 차량에 대한 고장분석 결과 미국의 각 도시철도 운영기관이 표준으로 사용하고 있는 차량당 MKBF 160,900km보다 현대DV(직류전용), 현대ADV(교직류) 차량은 매우 우수한 것으로 판명되었으며, 대우DV차량 및 복합차량은 미국운영기관표준보다는 우수하게 나왔다. 그러나 대우ADV차량의 경우 이에 미치지 못하는 결과가 도출되었는데 이는 ADV차량이 DV차량에 비해 긴 구간을 운행하며 전기의 성질이 다른 두 구간 즉, DC(직류) 구간과 AC(교류)구간을 모두 운행함에 따라 고장발생이 많은 것으로 사료된다. 이에 따라 복합차량 (TC car 현대, M car 대우) 및 대우 ADV차량은 주요고장발생 원인분석과 함께 이에 대한 대책 수립과 보다 철저한 정비가 이루어져야 함을 알 수 있다.



<그림 3> 차종별 고장률

전체 차종에서 어떤 한 차종의 고장이 차지하는 비율을 살펴보면 DV차량은 보유차량 대비 고장비율이 현저히 낮으며, ADV차량은 보유차량 대비 고장비율이 높은 것을 알 수 있다. 특히 MKBSF기준으로 보면 복합차량의 사고비율이 차량고장으로 본선 3분 이상 지연사항으로 41%를 차지하는 것으로 나타나 보유편성 대비 지나치게 많은 고장이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 서로 다른 시스템을 차용한 차량의 특성에 의해 한번 고장이 발생하면 본선개통에 지장을 주는 큰 고장으로 이어지고 있는 것을 알 수 있다.

3.2 장치별 고장분석



<그림 4> 장치별고장률

운행 중 차량교환이 이루어진 고장을 기준으로 4호선 전차종의 장치별 고장률(MKBF기준)을 살펴보면, 제어장치28%, 제동장치18%, 주회로장치16%, 출입문10.4%, 보조회로장치 9.5%, 신호장치(ATC)순이며 제어·제동·주회로장치 고장률이 많은 것으로 보여 지지만 이중 TGIS장치상의 고장표시등 점등에 따른 열차교환이 다수를 점하고 있어 실질적인 고장이라고 보기는 다소 무리가 있다. 하지만 도시철도 특성상 주요 고장표시등이 점등되면 사고예방차원에서 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), 미국SEPTA전동차, 워싱턴전동차 WMATA, 미국 PATH전동차, 그리스 ATTIKO전동차의 서브시스템의 신뢰성 목표 요구조건으로 장치별 100만km당 고장발생목표치로, 우리나라 실정과 일치하지는 않지만 좋은 비교자료로서 제시 하였다.

< 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

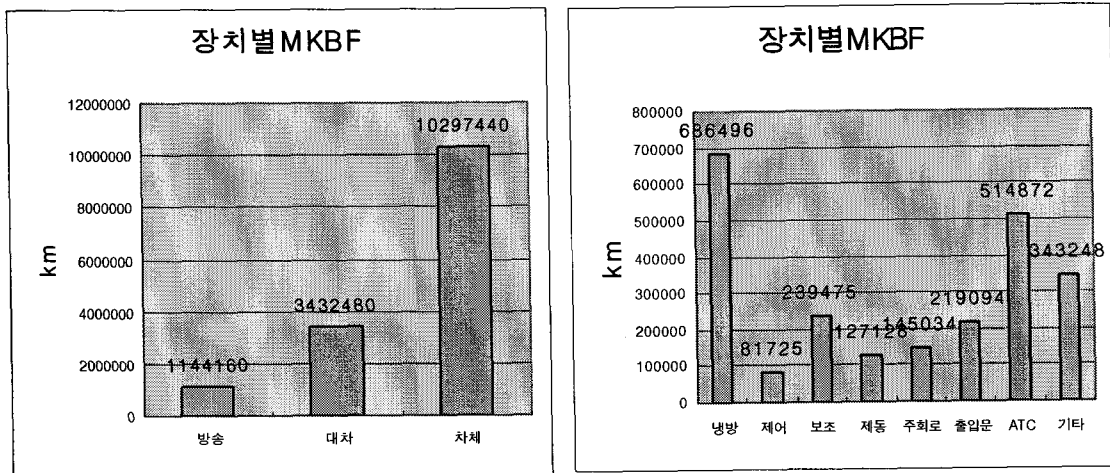
100만km당 장치별 국제기준 고장발생 목표치평균을 살펴보면 출입문장치는 13건/100만 km, 제동장치는 17건/100만km, 대차장치는 3건/100만km, 신호장치는 9.66건/100만km을 나타내고 있다.

< 표 3 > 장치별 MKBF

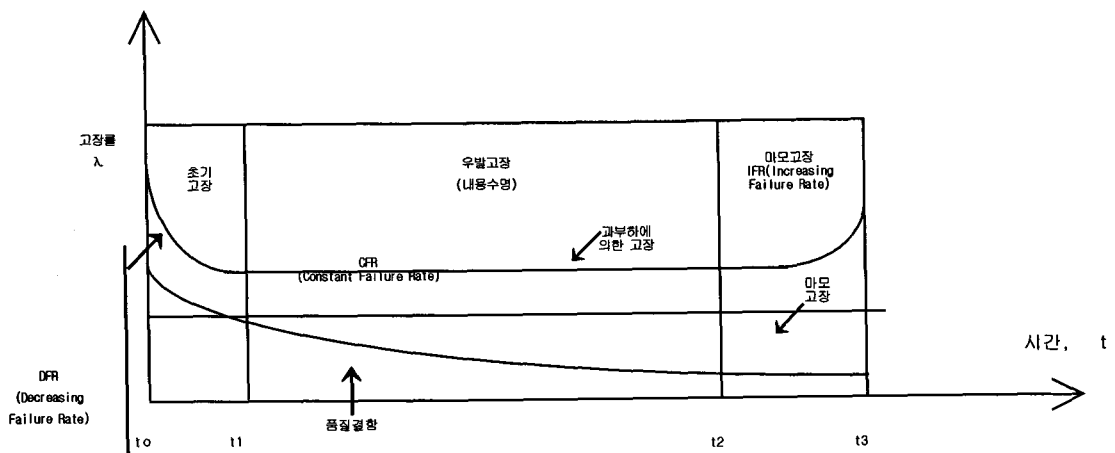
(단위 : km)

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

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 맞추어야 가능할 것이다.



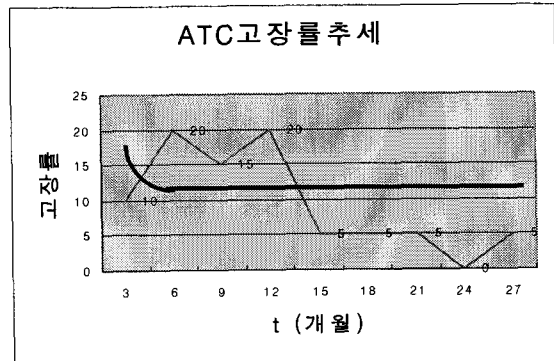
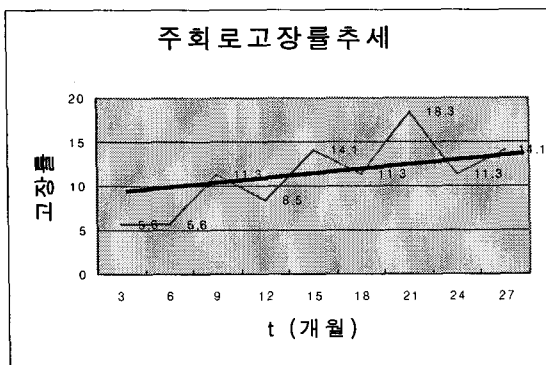
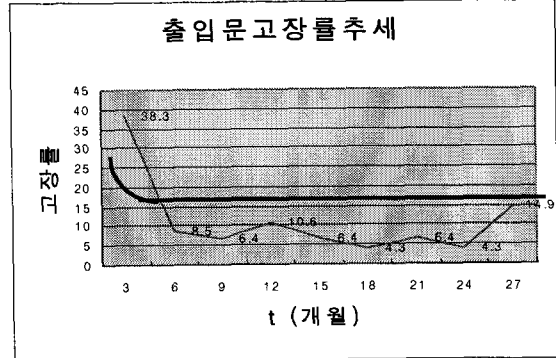
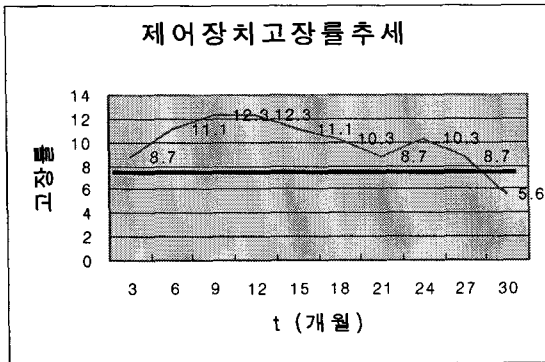
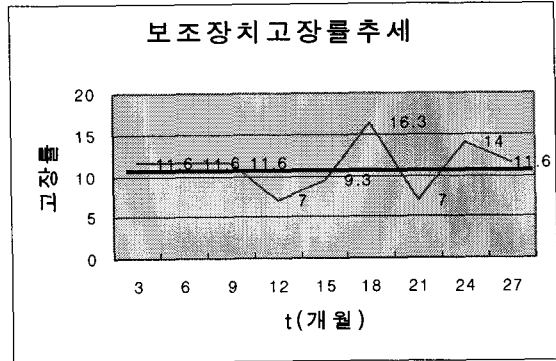
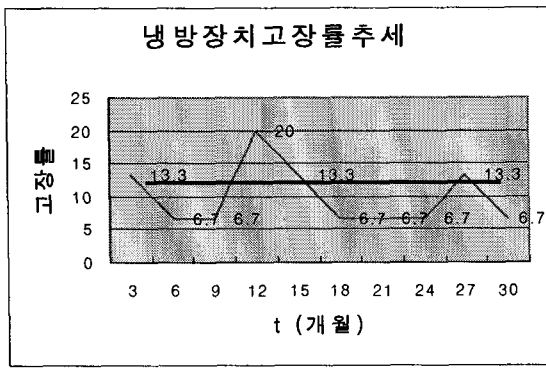
<그림 5> 장치별MKBF



<그림 6> 고장률곡선

< 표 4 > 고장률곡선의 예

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



<그림 7> 장치별 고장률 추세

장치별 고장률 추세를 살펴보면 냉방장치, 보조회로장치(SIV), 제어장치 등은 초기고장 영역이 존재하지 않는 전 구간에 있어 일정한 고장률을 나타내는 우발고장 영역만이 존재한다. 이들 장치들은 예방정비의 한계를 극복하기 위하여 고장의 사전진단 기법을 활용한 Predictive Maintenance와 고장의 근본원인을 제거하고자하는 Proactive Maintenance가 이루어져야 한다. 출입문장치 및 ATC장치의 고장률 추세를 살펴보면 초기시점에는 육조곡선과 같은 특성을 나타내지만 결국 연령의존의 열화영역을 갖지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 2Y, 4Y 시스템 보다 더 긴 정기검사 주기로 조정이 검토되어야 하며, 우발고장에 유리한 예지정비와 선행정비가 병행 되어야 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.

4. 결론

- 4호선 차량의 고장률 추세를 살펴보면 초기시점에는 육조곡선과 같은 특성을 나타내지만 결국 내용년수의 열화영역을 갖지 않는 것을 알 수 있다.
- 전동차 일부 장치에서는 현재의 2Y, 4Y 시스템 보다 더 긴 정기검사주기 검토가 필요하다는 것을 알 수 있으며, 우발고장 대처에 유리한 예지정비(Predictive Maintenance)와 선행정비(Proactive Maintenance)가 병행 되어야한다.
- 차종별로는 현대차량과 DV 전용차량이 고장이 적고 안전운행에 기여하는 것을 알 수 있으며, 복합차량이 보유편성 대비 고장이 많이 발생하고 있음을 알 수 있으며, 이에 대한 고장원인분석 및 대책이 필요하다.
- 장치별 MKBF를 살펴보면 제동장치, 출입문장치, 신호장치, 대차장치 등을 국제기준평균치와 비교해보면 국제기준 평균치를 능가하는 것을 알 수 있다.
- 장치별 고장률 추세를 살펴보면 주회로 장치를 제외한 나머지 장치들이 시간의존성 고장이 아니라 우발고장이 발생됨을 알 수 있다.
- 예방정비의 한계를 극복하기 위해서는 고장의 사전진단 기법을 활용한 예지정비(Predictive Maintenance)와 고장의 근본원인을 제거하는 선행정비(Proactive Maintenance)가 이루어져야 한다.

* 참고자료

1. “鐵道RAMS” 溝口 正仁 監修 日本鐵道車輛工業會RAMS 編 2006
2. “MKBSF산출을 통한 KTX신뢰성연구”유양하 저 서울산업대 철도전문대학원 석사학위논문 2005
3. “철도시스템 RAM 관리체계 구축을 위한 기반연구” 박준서 저 한국철도기술연구원2005
4. “철도차량RCM적용방안연구 1차년도성과보고서” KORAIL철도연구개발센터 2006
5. “철도차량의 신뢰성유지보수 적용방안 연구” 유양하 저 철도학회 춘계춘계학술대회 논문집 2006