

KTX차량 MKBSF산출을 통한 신뢰성 연구

A Study for the KTX Reliability by MKBSF calculation

유양하* 이희성** 서승일***
Yu, Yang-ha Lee, Hee-sung Seo, Seung-il

With the introduction of KTX, in my view it is necessary to secure the reliability of high-speed trains, make them stabilized at the earliest moment possible, and completely digest them as our own system for the purpose of being second to none in the area of railroad business.

I am going to study in this thesis through analysis of train failures by help of MKBSF calculation, breaking from the convention in maintaining the high-speed trains, in order to establish and apply the computerized system called as RCM (Reliability Centered Maintenance), foster manpower in charge of the reliability maintenance, and realize the scientific and efficient maintenance covering the whole field of maintenance.

Depending on how efficiently and scientifically we can perform the maintenance activities, we will be able to not only reduce the maintenance cost but also ensure the railroad security, and as a natural consequence improve the railroad image much better.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2004년 4월 1일 우리나라의 고속철도가 개통되었다. 결코 짧지 않은 오랜 시간을 준비했고 개통되기까지는 시행착오와 우여곡절도 많았다. 이제 고속철도의 개통을 계기로 의형적인 철도의 발전과 함께 내실을 다져 명실상부한 철도의 선진국이 되기 위해서는 보다 더 효율적인 시스템화된 철도운영체제를 만들어 가야할 때이다.

이에 본 연구는 철도차량용 유지보수 학에 있어서 신뢰성 개념을 도입하여 과학적이고 체계적인 신뢰성유지보수 업무를 수행하기 위한 신뢰성의 이론적 개념을 정리하고, 철도차량의 주요부품의 교환주기에 사용되는 MKB(S)F(Mean Kilometer Between Service Failure) 등 선세 적용사례를 연구·조사하여 신뢰성 유지보수를 시행함으로써 우리나라 철도차량 유지보수 분야를 선진화하고 더 나아가 우리나라 철도가 크게 발전하는 도약의 시발점이 되는 일련의 계기가 되고자하는 욕심을 가지 본다.

1.2 신뢰성의 역사적 배경

신뢰성공학이 학문으로서 중요한 자리를 차지하게 된 직접적인 동기는 전쟁으로 세계 1, 2차 대전을 거치면서 크게 발전하게 되었고, 이렇게 발전된 개념이 학문적으로 민간(commercial) 부분에 응용되어

* 정회원 철도청 차량본부, 철도전문대학원 철도차량공학과 석사과정
** 정회원 서울산업대학교 철도전문대학원 교수
*** 정회원 철도기술연구원 책임연구원 공학박사

발전되어 왔다. 이러한 설명을 뒷받침하는 단적인 예가 신뢰성관련 대부분의 표준은 아직도 미 국방성에서 제정한 Handbooks 또는 Standards 시리즈 등을 사용한다는 점이다. 신뢰성공학 분야는 1950년대 초에 전자공학 및 유도미사일 분야의 발달과 더불어 본격적으로 연구되기 시작하였으나 실제로는 2차대전 직후부터 신뢰도 기법들이 조금씩 개발되었다. 그러다가 전자부품의 높은 고장율과 전자장비가 복잡해짐에 따라, 장비의 어려움이 급격히 증가하게 되어 신뢰도에 대한 연구의 필요성이 부각되었다. 특히 미국의 민간 항공기 회사들이 2차대전 후에 VHF(Very High Frequency) 통신장비 및 전자항해 장비를 항공기에 설치하게 되면서부터 신뢰도 연구를 시작하게 되었다. 그 당시 항공기 회사에서 VHF 통신장비를 설치하여 몇 달을 사용해 본 결과 진공관의 고장율이 매우 높아서 이 고장율을 감소시키지 않고서는 장비를 설치한 효과를 얻을 수 없음을 경험하게 되었다. 이에 따라 항공기 회사는 항공무선 통신사(Aeronautical Radio Incorporated: ARINC)의 도움을 얻어서 진공관의 신뢰도 연구를 수행했고 연구결과에 따라 신뢰도 증대계획을 실시하여 성공적인 결과를 거두게 되었다. 1950년에 미 정부산하 AGRE(전자장비 신뢰성 자료회)발족으로 장비의 설계, 시험, 생산, 배치 및 운용에 이르는 각 단계에서 수행해야 할 신뢰성관련 업무를 9개로 나누어 연구하기 시작하였고, 1960년에 인공위성 아폴로 프로그램 계획에 MIL-STD-756, 신뢰도 예측을 적용 RAM 요소별 예측기법을 개발하였다. 또한 1970년에 미국 일본에서 신뢰성 센터가 설립되었으며 한국에서는 1980년 K1전차 개발시 처음으로 신뢰성 개념이 시작되었다고 할 수 있다.

II. 신뢰성의 정의 및 중요성

신뢰성의 사전적인 해석은 「아이템이 주어진 조건에서 규정된 기간 중에 요구된 기능을 발휘할 수 있는 성질」이라고 규정되어 있다. 그러나 이것은 좁은 의미에서의 신뢰성을 의미하는 것이고, 넓은 의미에서의 신뢰성은 기술의 발달과 고객의 요구에 따라서 그 범위가 달라지고 있고 신뢰성에 대한 범위와 해석도 시대의 요구에 따라서 달라질 수 있다. 신뢰도는 그 시간까지 고장이 나지 않을 확률이고 R(t)로 표시한다. 이것과 반대되는 개념이 불 신뢰도(Unreliability)이며 $F(t)=1-R(t)$ 로 나타낸다. 인간 또한 신뢰성의 개념을 가지고 있고 인간의 신뢰성이란 주어진 조건과 시간에서 요구되는 일을 수행하기 위한 인간행동의 능력을 말하며, 이러한 인간운영 능력을 인간의 가용성이라 할 수 있고, 인간의 고장유형은 주어진 일을 수행하기 위한 인간의 능력이 중지된 상태로 그 사례는 인간실수, 결함·무능 등의 내적 원인에 의한 무능력, 화재·혼란부족 등의 외적 요인에 의한 무능력을 들 수 있으며, 작업자의 행동에 따른 실수 확률은 다음 표2-1과 같다.

신뢰성업무의 가장 기본은 '고장분석'이라고 할 수 있으며, 고장분석은 관련 제품 또는 서비스의 품질 향상 및 매출 증대, 공정관련 문제 해결을 통해서 제품과 기업의 신뢰성 제고, 고장분석 데이터를 활용한 신제품 개발 및 이에 소요되는 비용절감 등을 이룰 수 있으며, 부품 및 시스템의 신뢰도 예측, Claim 예방, 기업의 이미지 향상을 위한 목적과 필요성을 가지고 있다고 할 수 있겠다. 사회의 모든 분야 뿐 아니라 철도운영에 있어서도 안전성에 대한 요구가 높아지고, 관련 시스템이 복잡하게 되었으며, 고장으로 인한 영향 또한 크게 되었다. 이 때문에 품질보증활동에서는 고장률 결함을 정확히 예측하고, 이들의 재발을 방지하여야 할 뿐만 아니라, 미연에 방지할 필요가 생겼다. 이 목적에 중심적인 역할을 한 것이 신뢰성 기법과 개념이다. 신뢰성의 개념에 대한 이해를 돕고자 품질관리와 신뢰성의 의미를 비교해보면 품질관리는 신뢰성이라고 하는 품질을 향상시키려고 하는 공동의 목적을 갖고 있기 때문에 같은 범주에서 논할 수도 있겠으나, 다음과 같은 이유로 그 차이를 알 수 있다. 첫째는 이 둘의 발달단계와 분야가 다르다. 본래 신뢰성은 고장대해를 위한 과학적 관리기법으로서 연구가 이루어졌기 때문에 기술(engineering)부분을 주제로 발달하여 왔다. 이것에 반해서 품질관리는 그 초기에는 제조(manufacturing)

[표2-1 인간실수의 확률]

행 동	실수 확률
위험한 일상적인 일(감염원의 격리)	10의 -3승
위험하지 않은 일상적인 일(온도의 부정확한 읽기)	3×10의 -3승
큰 주의를 요하고 빠르게 사건이 발생하는 행동에 나타나는 고장률	2.5×10의 -3승
예외적인 동작(출발, 유거보수)	10의 -2승
안내시를 가지고 체크하는 경우	10의 -1승
유관으로 검사하는 경우	5×10의 -1승
큰 사고 발생후 큰 주의를 요할 때의 동작	
- 1분 이내	95×10의 -2승
- 5분 후	9×10의 -1승
- 30분 후	10의 -1승
- 몇 시간 후	10의 -2승
관찰의 실수	5×10의 -2승
스위치 장치	10의 -3승
일외에 의한 스위치 장치	10의 -4승
일반적으로 생략하는 실수	10의 -2승

부분에 있어서 규격에 맞는 품질을 만들어 내는 기술로써 제공되어 왔다. 문제는 대상이 되는 관리범위가 다르다. 신뢰성은 고장이나 사고를 그 대상으로 하고 있는데 반해서 품질관리는 보다 넓은 품질을 대상으로 하여 관리체계를 다루고 있다. 또한 신뢰성은 FMEA, FTA와 신뢰성 시험 등에서 볼 수 있듯이 기술문제에 관한 언어정보를 분석하는 수법과 데이터를 해석하는 데에도 그 배경에 있는 환경조건과 고장발생 메커니즘을 중시하는 수법을 주제로 하고 있는 반면 전통적인 품질관리에서는 통계적 품질관리(SQC)로 대표되는 관리 기술적인 수법을 많이 쓰고 있다. 이와 같이 품질관리와 신뢰성은 목적은 하나이면서 축을 하나로 하지 않는 발전의 과정이 있으며, 기술이 발달되고, 품질에 대한 사회의 요구가 고도화됨으로써 품질관리의 핵심적인 역할을 해온 품질보증활동 가운데서 신뢰성에 대한 중요성이 인식되고 있다.

III. KTX의 MKBSF 산출

MKBSF는 열차 평균 운행주행키로미터 당 고장발생 건수를 말하는 것으로 KTX의 도입사인 프랑스 알스톰사에서 최초 계약시 제시한 MKBSF는 121,000km 이다. 이는 모든 편성이 평균 121,000km를 운행하면 평균 한번 고장이 발생된다는 개념을 말한다. MKBSF의 산출은 편성당 운행키로 110,000시간이거나 4년 간의 운행 동안 산출하여 조건에 부합되도록 하였으나 계약적인 부분은 별도의 협의가 이루어져야 하고 또한 현재에도 진행되고 있는 사항이나 학술적인 측면에서 먼저 산출해보고자 한다.

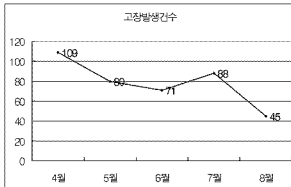
고장의 종류는 감미한 것부터 심저이 1시간 이상 열차가 지연되는 고장까지 다양하므로 MKBSF의 산출을 위한 고장의 기준은 첫째, '차량이 고장에 의한 계획된 운행시간에 대해 종착역에 10분 이상 지연한 것' 둘째, '유지보수를 위해서나 특별한 사유로 인한 것을 제외하고 차량의 고장에 의하여 계획된 차량이 운행에 투입되지 못한 것' 셋째, '차량고장에 의하여 운행중 편성을 교체한 것'을 고장의 기준으로 설정하였다. 2004년 4월 1일 고속철도 개통 후 5개월 간 KTX 운행 주행키로와 도중고장 발생건수를 고려하여 KTX차량의 MKBSF(mean kilometer between service failure)를 구하면 다음과 같다

고속철도 개통 후 KTX 46개 편성이 1일 평균 47,900km를 운행하였고, 1편성이 1일 평균 1,041km를 운행한 것으로 조사되었다. 물론 매일 46개 편성이 모두 운행에 투입되는 것은 아니며 일일 중 유지보수 중이거나 운행대기 중인 것을 포함한 것으로 실제 운행에 투입되는 편성의 1일 주행키로는 1,500km에서 1,700km 정도 운행된다. 고장 발생건수는 조건에 부합하고 철도청과 KTX공급계약자인 KTGVIC와의 협

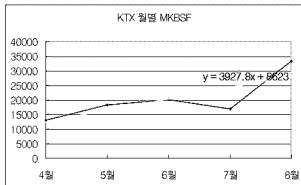
의에 의해 결정된 간수는 7월 58건, 8월 25건이나 2개월의 데이터 산출은 신뢰성을 확보할 수 없으므로 협의되기 전 철도청 자체 집계한 발생건수를 활용하여 MKBSF를 구해보고자 한다

[도표 3-1 KTX 월별 주행거리와 MKBSF]

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월
고장건수	109	80	71	88	45	-
원주행거리(km)	1,424,745	1,466,371	1,435,738	1,502,464	1,500,250	
MKBSF(km)	13,071	18,329	20,221	17,073	33,338	

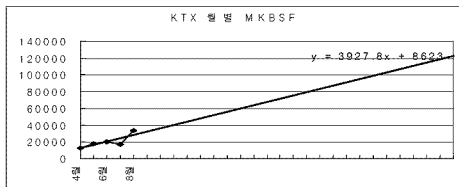


[그림3-1 KTX 월별 고장발생현황]



[그림 3-2 KTX 월별 MKBSF]

도표와 그래프에서 보듯이 고속철도 개통 후 5개월간의 고장발생건수는 줄어들고 있고 MKBSF는 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 7월의 MKBSF 17,073km는 차량공급자가 제시한 목표값 121,000 km의 14.1%, 8월 33,338km는 27.6%로 1개월 사이 약 2배의 급격한 성장을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이는 한편으로 차량의 안정화가 빠른 속도로 진행되고 있다고도 볼 수 있으나 아직 개통초기라 그만큼 안정화가 이루어지지 않았고 불안정한 상태를 만중하기도 한다고 볼 수 있다. 하지만 5개월간의 발생현황을 보면 고장발생건수의 감소와 더불어 MKBSF의 지속적인 증가는 기울기가 0.39로(차량공급자의 제시 기준 Duane 성장모멘 0.25) 그림 3-3에 나타난 바와 같이 개통 후 32개월 즉 2년 8개월 후 목표값인 121,000km를 달성하는 것을 예측할 수 있다.



[그림3-3 24개월 후 MKBSF 예측]

이를 뒷받침하기 위해 고장건수의 평가기준에는 부합되지 않으나 고속철도 개통 후 KTX차상업퓨터

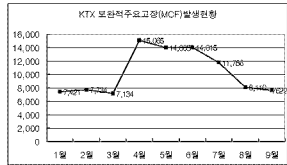
(OBCS)에 나타난 고장발생건수를 보면 이를 더욱 확실하게 해준다.

[표 4-6 KTX월별 전산시스템상 고장발생현황]

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
MF	433	459	547	1,200	1,021	692	440	285	405	0
MCF	7,421	7,734	7,134	15,065	14,003	14,015	11,756	8,110	7,629	0
OF	20,374	17,030	23,749	60,978	53,018	51,791	52,367	32,825	34,249	0



[그림 3-3 KTX 주요고장(MF)발생현황]



[그림 3-4 KTX 보완적고장(MCF) 발생현황]

V. 결론

KTX의 차량고장발생이 7월에 전월 71건에서 88건으로 오히려 늘어나기도 하였으나 전반적으로는 개통 후 현저한 감소세를 나타내어 MKBSF의 상승추세가 기울기 0.39의 급격한 성장을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 한편으로 차량의 안정화가 빠른 속도로 진행되고 있다고도 볼 수 있으나 아직 개통초기라 그 만큼 안정화가 이루어지지 않았고 불안정한 상태로 신뢰성이 확보되지 않음을 반증하기도 한다고 볼 수 있다. 하지만 차량에 대한 신뢰성 확보는 고장발생의 지속적인 관리 및 분석에서 비롯되고 차량 전체 편성에 대한 MKBSF 산출만이 아니라 장치별 주요부품에 대한 관리가 시행되어 이러한 부품 신뢰성이 결합하여 차량전체의 신뢰성확보가 이루어지는 방향으로 정착되어야 할 것이다.

본 논문에서는 철도차량유지보수에 있어서 신뢰성 도입이 최우선이며, 시작단계로 구체적이고 실제의 적용사례를 제시하기엔 시간과 여건이 허락하지 못하는 부분이 안타까운 점이나 앞으로 신뢰성업무 체계가 정착되기까지는 많은 노력과 시간이 필요함을 질설의 느낌며 이 분야에 몸담고 있는 한사람으로 사명감과 책임감을 또한 크게 느끼는 부분이다.

고속철도 개통을 계기로 신뢰성유지보수를 통한 진정한 철도의 선진국으로 나아가기 위해서는

첫째, 관련종사들의 신뢰성에 대한 확고한 인식, 특히 관리자들의 인식과 의지

둘째, 인력 및 장비를 포함한 시스템의 구축, 능력을 갖춘 인력에 의한 신뢰성담당조직의 구성과 MICS, RCM 등 관련 전산시스템의 완벽한 활용

셋째, 신뢰성업무 담당자들의 관련 기술에 대한 전문가화

철도차량용 유지보수 함에 있어서 신뢰성업무의 핵심은 운행중 발생하는 고장과 부품의 교환 등 유지보수 실적을 정확히 데이터베이스화여 관리하고 이를 과학적으로 분석하여 실무에 적용하는 것이다. 실무에 적용한다는 것은 효율적인 유지보수를 말하는 것이고, 효율적 유지보수라 하면 구체적으로 작업

시간, 작업량, 소요부품의 예측, 부품별 유지보수 주기의 관리 등을 통한 차량안정성 확보와 비용절감이라고 할 수 있다. 신뢰성 기반이 다져지고 신뢰성유지보수가 정착될 때 비로소 우리는 세계 최고의 선진철도를 운영하고 있다고 자부할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. ROBERT A. Dovich "RELIABILITY STATISTICS" ASQC Quality Press 1990
2. John Moubray 'Reliability-centered Maintenance' Industrial Press Inc. 1997
3. W.Grant Lreson 'HANDBOOK OF RELIABILITY ENGINEERING AND MANAGEMENT' McGraw-Hill 1996
4. 장현덕 '고장분석의 필요성과 사례' FACK (Failure Analysis Center Of KOREA) 연구발표논문 2000
5. SNCF 'ESTABLISHING OF MAINTENANCE RULES(유지보수정책의 제정)' SYSTRA 2002
6. 김연중(주)유나이티드 피서픽 피엘지, 김찬주(주)유양기술주 'RCM 분석 기법 및 철도시스템에 대한 도입 필요성' 테마논문 2001
7. 대우정보시스템(주) '고속철도차량 신뢰성기반 유지보수 시스템 KTXRCM의 주요기능' 발표자료 2004
8. 오석문 의 'RCM을 이용한 한국 고속철도차량의 유지보수체계 구축' 연구논문 2002
9. 철도연, 고속차량 운영 및 유지보수 프로그램 구축 기본계획 최종보고서, 2001
10. 철도청 차량본부 '고속철도유지보수이론' SNCF유지보수정책이론 번역집 2003