

철도차량 일상검수 최적화에 관한 연구

강병수(전주대학교 대학원 산업공학과 박사과정, 롯데역사(주))*

이강인(전주대학교 공과대학 소방안전공학과)**

국 문 요 약

철도차량은 사용기간이 길고 철로 위를 달리기 때문에 마모, 진동이 심하여 다른 교통수단에 비해 정비비용이 많이 소요된다. 이에 따라 정비최적화는 매우 중요하다.

본 연구에서는 코레일에서 운용하고 있는 철도차량 정비현황을 분석해 보고 개선방안을 찾고자 하였다. 특히, 차량정비인력이 많이 소요되는 일상검수에 대해 가장 효율적인 정비 주기와 방법을 적용하고자 하였다. 철도차량은 컴퓨터시스템 적용으로 자가진단이 가능하고 과거에 비해 차량의 품질이 많이 향상되었으나, 현행 일상검수는 관례적으로 짧은 기간 시행해야 한다는 측면에서 현재 비효율적인 측면을 시급히 개선해야 함은 당연하다. 따라서 본 연구에서는 차량의 상태를 반영한 개선된 일상검수 주기를 적용하여 차량의 신뢰성 확보와 정비비용을 최소화하고자 한다.

핵심주제어: 철도차량, 일상검수, 정비최적화

I. 서 론

일반적으로 철도차량 운용·유지보수 비용은 김종운 외(2010)에 의하면 철로운용 LCC (Life Cycle Cost) 중 가장 많은 비중을 차지한다. 코레일(2010)에 의하면 차량은 사용기간이 20년 이상으로 길고 차륜과 레일간의 지속적인 마찰로 인해 차륜의 마모, 차체의 진동 등이 심하기 때문에 다른 교통수단이나 고정설비에 비해 많은 횟수의 정비를 수반하게 된다. 또한, 대한민국의 철도는 1899년부터 2012년까지 113년의 역사를 가지는 과정에서 오랜 기간 일본의 영향을 받아왔다. 정비 방법 또한 일본의 영향을 받아 정비규정이 만들어졌고, 정비 방법은 정비공장에서 시행하는 중수선(Heavy Repair)과 차량 사업소에서 차량운행을 하면서 시행하는 경수선(Right Repair)으로 나누어 시행되고 있다.

코레일(2012)에 의하면 2012년 현재 우리나라 철도의 차량보유량(18,183량) 기준 76.4%, 영업거리(3,385km) 기준 88%를 차지하고 있는 코레일(KORAIL)은 과거 철도청 시절 국가기관으로서 철도를 운영할 때는 경제성보다는 차량고장예방을 위한 안전성을 중요시하였다.

현재는 안전성뿐만 아니라 신뢰성 과 경제성이 강조되고 있다. 과거 오랫동안 시행해 온 획일적이고 반복적인 정비는 노동집약적으로 비용이 많이 소요되었다. 이에 따라 신뢰성을 기반으로 하고 정비비용을 최소화하는 효율적인 정비가 요구되고 있다. 본 논문에서는 기존의 정비방식에 대한 문제점을

진단하고 코레일에서 시행하고 있는 정비종류 중 가장 최소 단위 개념의 정비인 일상검수의 최적화 모델을 제시하고자 한다.

II. 철도차량 종류와 정비

2.1 철도차량의 종류

코레일(2012)에 의하면 코레일의 철도차량 정비는 차종별로 정비주기(Maintenance Cycle) 및 항목(Item)이 정해져 있으며, 정해진 기준에 따라 정비가 시행된다. 정비주기는 시간과 주행거리를 병용하여 적용하고 있다. 철도차량은 운행속도에 따라 200km/h이상의 고속철도와 200km/h미만의 일반철도로 나누어지고, 동력방식, 사용용도 등에 따라 나누어지기도 한다. 본 연구에서는 2010년 기준 코레일에서 실제 운행되고 있는 철도차량의 종류를 대상으로 논하고자 한다. 코레일 차량기술단(2008)에 의하면 코레일의 철도차량은 다음의 <그림 1>와 같이 2004년 프랑스 알스톰(Alstom)사에서 도입하여 운영을 시작한 고속차량 KTX와 우리의 기술력으로 제작한 고속차량 'KTX-산천을 비롯하여 1998년 하반기 우리나라 최초의 150km/h의 인버터제어방식을 적용한 8200호대 전기기관차, 1973년 6월20일 중앙선 청량리-제천 간 155.2km 전철화 개통으로 운영을 시작한 8000호대 전기기관차, 1955년 3월 UN군으로부터 4량을 기증받아 운행하기 시작하여 오랫동안 동력차의 주력을 담당해온 디젤기관차, 1933년 독일에서 벤츠

* 전주대학교 대학원 산업공학과, 롯데역사(주) 감사, kbs1st@hanmail.net.

** 교신저자, 전주대학교 공과대학 소방안전공학과 교수, leeki@jj.ac.kr.

· 투고일: 2012-11-11 · 게재확정일: 2012-12-05

SS175형 엔진을 도입하여 경성공장에서 제작하여 운영을 시작하였고 현재 새마을 PP동차가 주력인 디젤동차, 1974년 8월 15일 서울지하철(서울-청량리)과 함께 서울-수원, 구로-인천, 청량리-성북 간 수도권전철로 운영을 시작한 전동차, 그밖에

여객의 운송을 목적으로 한 새마을 객차, 화물수송을 위한 유계화차, 객차에 전원을 공급하기 위한 발전차 그리고 극히 일부의 기관사체험용 간선형 전동차 등으로 다음의 <표 1>과 같이 구분할 수 있다



<그림 1> 코레일의 철도차량 종류

<표 1> 코레일 차종별 보유량 수 (2009.12월기준)

구 분	KTX(1),2)	전기 기관차(3),4)	디젤 기관차(5)	디젤동차(6)	전동차(7)	객차(8), 발전차(10)	유계화차(9)	간선형 전동차	합계
보유량	920	179	335	476	2,192	1,309	12,740	32	18,183

2.2 철도 차량 정비주기와 정비 현황

이미 앞에서 언급한 바와 같이 철도차량 정비는 차량정비공장에서 시행하는 중정비와 차량사업소에서 차량운용을 하면서 시행하는 경정비로 나눌 수 있으며, 본 연구에서는 차량사업소에서 일상적으로 시행하는 일상검수의 시행시기와 방법의 최적화에 대해 논하고자 한다.

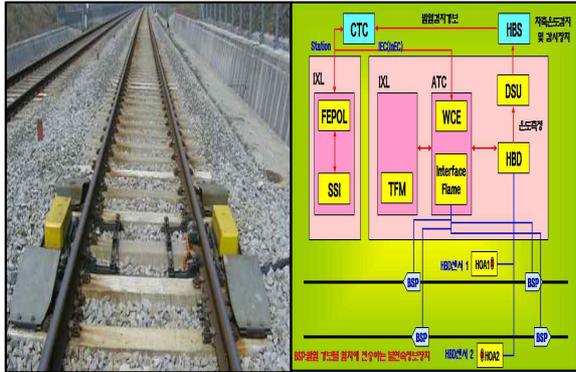
일상검수는 차량운행에 앞서 이상 없이 열차 본연의 기능을 수행할 수 있도록 안전과 관계있는 주행 장치인 대차 각부의 확인점검이 주가 되며, 열차운행과 직접적으로 관계있는 부분을 확인하고 점검하는 것이다. 철도청 차량본부(2002)에 의하면 일반차량이 일본의 영향을 받은 것과 달리 고속철도차량인 KTX는 유럽에서 도입되어 유럽방식의 정비주기 및 5단계(Level 1~5) 정비방식을 채택하고 있다. KTX는 운행초기 Level 1에 해당하는 일상검수(ES : Examination in Service)를 2,500km운행 후에 시행하던 것을 제작사 하자보증기간 중인 2005년에 프랑스 기술진의 주도하에 1년간의 운영경험과 프랑스 고속차량 TGV의 정비주기가 5,000km임을 감안하여 3,500km로 연장하였고, 2010년 8월부터는 우리 자체의 경험과 신뢰성관리 활동을 통해 5,000km로 연장하여 적용하고 있다. 일반차량도 차종별로 일상검수 주기를 기간 및 주행실적을 병용하고 있으며, 먼저 도달하는 기준에 따라 시행하고 있다. 이들 차종별로 코레일(2010)에 의하면 일상검수 시행기준은 아래 <표 2>와 같다.

<표 2> 코레일 철도차량 차종별 일상검수 기준 (2010.1월 제정 기준)

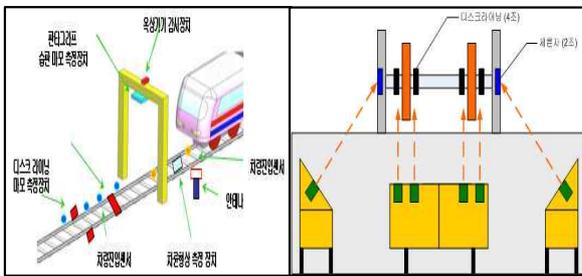
차 종	주행거리	회기한도	비 고
고속차량	3,500 km	3일	2010. 8. 1일부터 5,000km적용
디젤기관차	-	1일	
디젤동차(PMC)	680 km	1일	
전기 기관차	구형(8000호대)	350 km	1일
	신형(8200호대)	1,000 km	2일
전동차	저할차	1,000 km	2일
	인버터형	1,500 km	3일
		2,500 km	5일
간선형전동차(EMU)	2,300 km	-	
객차	-	1일	
화차	-	1일	

일상검수는 차량의 고장유무에 관계없이 일상적으로 점검하고 확인하는 것에 많은 인공(Man-Power)을 차지하고 있다. 과거 차량품질 수준이 낮고 노후화되어 차량의 고장이 잦아 열차 운행 후 확인점검하고 수리하지 않으면 안 되었던 시절에는 열차가 1회 운행을 종료한 후 사업검수라고 하여 확인하고 점검하였다. 그러나 최성규 외(2006)에 의하면 현재는 차량의 품질수준이 향상되었고, 철도청 차량본부(2002)에 의하면 차량에 IT기술이 접목되어 자가진단이 가능해졌기 때문에 인력의 오감에 의한 확인점검은 최소화 가능하게 되었다. 또한, 차축발열감지장치<그림 2>, 일상검수자동화시스템<그림 3>, 육상감지장치<그림 4> 및 차륜자동검사장치<그림 5> 등

이 채택되어 많은 부분 사람이 하던 일을 시스템이 대체할 수 있게 되었다.



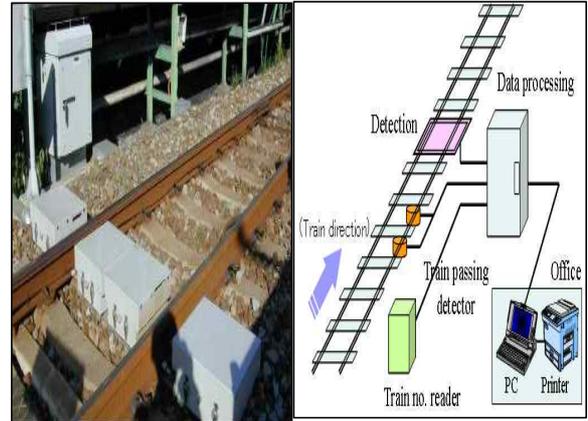
<그림 2> 고속철도 KTX 차축발열검지장치



<그림 3> 차량 일상검수자동화시스템 개념도



<그림 4> 코레일 이문기지 옥상검지장치 및 고양기지 KTX 차량자동검사장치



<그림 5> 레이저 및 이미지프로세싱을 접목한 JR 차륜 자동검사 장치

박수명 외(2009)에 의하면 위의 <그림 2>은 KTX열차 운행 중 차축 베어링박스의 온도를 감지하여 무선으로 관제센터를 통해 차량기지로 전송되도록 하는 차축발열검지장치이다. <그림 3>은 일상검수자동화시스템의 개념도로서 전동차가 통과하면 상부의 CCTV는 차량 지붕장치의 팬더그래프 마모 여부를 판별하고 선로에 설치된 감지장치에 의해 차륜, 제륜차, 디스크 라이닝의 마모 여부를 측정하게 된다. <그림 4>는 코레일 이문 전동차기지의 차량속상장치검지시스템과 고양 고속차량기지의 차량자동검사장치의 모습이다. <그림 5>는 JR East(東日本 철도)에서 사용하고 있는 차량자동검지장치로 측정원리는 레이저와 이미지프로세싱을 이용하고 있으며 KTX의 차륜측정 장치와 그 형태가 다른 것을 볼 수 있다.

한편, 유양하 외(2010)와 코레일 연구원(2008)에 의하면 일상검수는 빈번하게 반복하여 시행함에 따라 다른 종류의 정기검수에 비해 상대적으로 많은 인공(Man-Power)이 소요된다. 일상검수를 시행하는데 소요되는 인공은 차종별로 차이는 있으나 차량정비인력의 약 50%를 차지하며, 차종종류별 일상검수 인공은 <표 3>과 같다.

<표 3> 차종별 일상검수 인공비율(2008년 1월 제정 기준)

차종	일상검수인공(%)	비고
고속차량(KTX)	32.2	
디젤기관차	47.0	
전기기관차(신형)	27.6	2W(38.2%)
전기기관차(구형)	31.6	
전동차(저항차)	58.7	
전동차(인버터차)	28.1	3Y(53.3%)
동차(PMC)	49.7	
객차	45.6	
화차	40.7	
발전차	51.0	

차량의 각 장치 및 부품은 제동장치의 디스크 및 라이닝, 팬더그래프의 집전판 등과 같이 운행횟수에 따라 마모되는 것과 스위치, 접촉기 등과 같이 사용횟수에 관계되어 손상되

거나 열화 되는 것, 운행횟수 및 사용기간과 무관하게 오랜 시간이 지남에 따라 부식되거나 노후화되어 사용할 수 없게 되는 것이 있다. 차량의 정비주기는 이러한 특성을 반영하여 정비주기가 정해지게 된다. 이계형(2008)과 철도청 차량본부(2002)에 의하면 열차 정상운행에 필요한 차량기능의 확보를 위해 시행하는 일상검수는 정비주기가 긴 정기적인 예방검수로 충족되지 않는 급수장치의 물 보충, 청소 및 오물수거, 급유, 윤활유 및 모래 보충, 제동장치 및 출입문의 기능상태 확인 등과 불규칙하게 발생하는 차량의 고장조치를 위해 시행한다. 일상검수에 소요되는 인력 및 시간을 최소화하여 열차 가용성(Availability, $\alpha = MTBF / (MTBF + MTTR)$)을 높이는 것이 철도 경쟁력을 향상할 수 있는 핵심이 되고 있다. 코레일은 2010년 8월 고속차량 KTX 일상검수 주기를 3,500km에서 5,000km로 연장한데 이어 일반차량도 차종별로 차이는 있으나 시범운행을 통해 신뢰성을 확보하고 매일 시행하던 것을 최장 7일 마다 시행하는 등 일상검수 정비주기를 최적화해 가고 있다. 차종별 일상검수 주기연장 내역은 <표 4>와 같다.

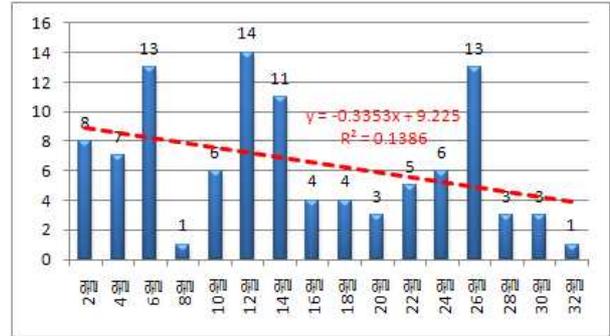
<표 4> 코레일 차종별 일상검수 주기연장 현황

구분	일상검수 주기	비고
고속차량	3,500km → 5,000km	2010. 8. 1
전기 기관차	신형 1,000km/2D → 5,000km/7D	2010.10. 1
	구형 1단계 : 350km/1D → 700km/3D 2단계 : 700km/3D → 1,000km/7D	
간선형전기동차	2,300km → 3,500km/7D	2011년
디젤기관차	1단계 : 1D → 1,200km/3D	2010.10. 1
	2단계 : 1,200km/3D → 2,800km/7D	2012년
디젤동차	1단계(RDC) : 500km/1D → 1,500km/3D, (PP) : 680km/1D → 2,000km/3D	2010.10. 1
	2단계(RDC) : 1,500km/3D → 3,500km/7D, (PP) : 2,000km/3D → 3,500km/7D	
객차·발전차	1D → 3,500km/7D	2010.10. 1
전기 동차	저항제어 1단계 : 1,000km/2D → 1,500km/3D 2단계 : 1,500km/3D → 2,500km/7D	2011년
	신형 2,500km/5D → 3,500km/7D 3,500km/7D	2010. 4. 1
화차	일반 1D → 1,600km/7D	2010. 3. 1
	컨테이너 1D → 1,600km/7D	

III. 일상검수와 고장발생의 연관성 분석

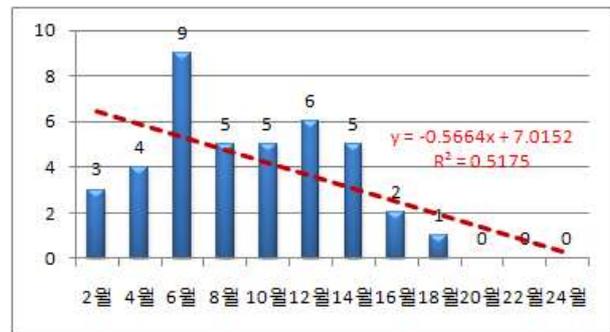
일상검수의 목적은 열차가 운행에 앞서 차량 각 부를 확인하여 열차 운행에 지장이 없도록 하기 위함이다. 차량운행 중에 발생하는 불량 및 고장이 실제 정비활동과의 연관성을 알아보기 위해 객차 및 디젤기관차의 2009년 1년 동안 발생된 고장 및 불량현황 중 객차냉방장치 불량과 디젤기관차 견인전동기 플래시오버*에 대해 분석해 보았다. 1년 간 객차냉방

불량은 1,200여 건이 발생하였으며 이 중 랜덤 넘버(Random No.)를 발생시켜 랜덤하게 100건을 샘플 조사하였다. 냉방장치는 2년검수 시 일제정비가 시행되는 것을 감안하여 2년 검수 후 경과일수에 따른 고장발생 현황을 조사하였고, 고장발생은 <그림 6>에서 보는 바와 같다.



<그림 6> 객차 2년 검수 후 냉방장치 불량발생 현황

통계적 분석은 Microsoft사의 Excel프로그램을 사용한 회귀분석을 시행하였다. 실제 데이터의 월별 발생건수의 편차가 심하여 추세선과 실제 데이터의 일치율을 나타내는 결정계수는 0.1386로 낮은 편이나 추세선 기울기가 -0.3353으로 고장발생은 시간의 경과에 따라 증가하지 않고 약간 감소되는 것은 명확히 알 수 있다. 이 중 디젤기관차 견인전동기 플래시오버 현상은 2009년 한 해 동안 200여건으로 중복되는 자료를 제외하고 2Y검수 경과일수와 플래시오버의 관련성을 엑셀을 이용한 회귀분석을 시행하였다.



<그림 7> 디젤기관차 2년 검수 후 플래시오버 발생 현황

위의 <그림 7>에서 보는 바와 같이 디젤기관차 플래시오버 현상은 정기검수 직후 6개월까지 급격히 증가하고 1년경과 후부터 현저히 줄어들고 있으며, 2년 검수 시행 18개월 이후는 발생되지 않은 것을 볼 수 있다. 추세선 기울기가 -0.5664, 결정계수는 0.5175로 디젤기관차 2년 검수 시행이 견인전동기 플래시오버 현상을 예방하지 못하고 있음을 알 수 있다.

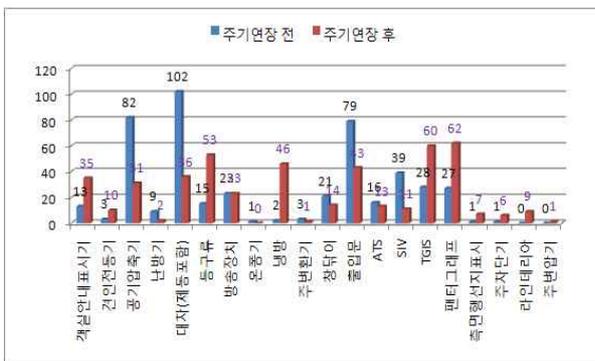
2009년 운행을 시작한 경의선 전동차는 당초 5일 또는 2,500km 운행 후 일상검수를 시행하였으나 2010년 4월 1일부터 7일 또는 3,500km 운행 후 일상검수를 시행하고 있다. 일

* Flash over : 견인전동기 접지에 의한 불꽃 발생 현상

상검수 주기를 5일 2,500km기준으로 시행하던 2010년 1월 1일에서 3월31일까지 3개월간과 일상검수 주기를 7일 3,500km로 연장하여 시행한 2010년 4월1일에서 6월 30일까지 3개월간 열차운행 중 발생된 불량 및 고장을 비교분석하였다. 다음의 <표 5>와 <그림 8>을 통해 일상검수주기연장 후 계절변화에 따라 냉방장치 불량이 다수 발생하였고, 팬터그래프, 열차정보장치(TGIS; Train General Information System), 조명장치 불량은 증가하였으며, 제동장치와 공기압축기 고장은 감소하였음을 알 수 있다.

<표 5> 경의선전동차 일상검수주기 연장 전후 장치별 고장발생건수

구분	객실내대표시기	견인전동기	공기압축기	냉방기	대차·제동포함	제동장치	공기압축기	냉방장치	주변환기	창닫이	출입문	ATS	SIV	TGIS	팬터그래프	측면행선지표시	주차단기	라인데리아	주변압기	계
주기 연장 전	13	3	82	9	102	15	23	1	2	3	21	79	16	39	28	27	1	1	0	465
주기 연장 후	35	10	31	2	36	53	23	0	46	1	14	43	13	11	60	62	7	6	9	463



<그림 8> 경의선 전동차 일상검수주기 연장전후 장치별 고장발생 현황

일상검수주기연장 후 계절변화에 따라 냉방장치불량이 다수 발생하였고, 팬터그래프, 열차정보장치(TGIS; Train General Information System), 조명장치 불량은 증가하였으며, 제동장치와 공기압축기 고장은 감소하였다. 분석대상의 고장발생건수는 장치별로 차이는 있으나 일상검수 주기 연장 전 후 각 465건 대 463건으로 전체 발생량에는 차이가 없는 것으로 나타났다. 경의선 전동차의 경우 신조차량에 해당되어 사용연식이 다른 모든 차종에 똑같이 적용하는 것은 불합리한 측면이 있으나 일상검수의 주기연장이 차량고장 발생에 영향을 미치지 않음을 입증하는 사례가 될 수 있을 것이다. 객차 냉방장치와 디젤기관차 견인전동기 플래시오버 고장에서 볼 수 있듯이 고장은 정기검수 경과일수와 무관하게 발생되고, 일상적이고 반복적인 확인점검만으로는 불규칙하게 발생하는 도중 고장을 완벽하게 예방할 수 없음을 알 수 있다.

IV. 결론

일반적으로 철도차량을 포함하여 기계적인 부품 및 시스템은 시간이 지남에 따라 마모되고 노후화되어 고장이 발생하게 된다. 정비는 시스템의 고장을 미연에 방지하고 항상 주어진 기능을 발휘하도록 하는 것이 목적이므로 고장이 발생하기 전에 확인하고 점검하여 예방하게 된다. 한 번이라도 고장이 발생하여 나타나게 되는 피해는 예방정비에 소요되는 비용보다 크기 때문이다. 그러나 RCM이론에서 입증되었듯이 단순 확률적이고 반복적인 점검정비는 많은 인력투입에 비해 효율적이지 못하다. 객차 냉방장치와 디젤기관차 견인전동기 플래시오버 발생과 정기검수 경과일 분석에서도 불량 및 고장은 정기검수 시행 경과일수에 관계없이 발생되고 검수직후가 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 경의선 전동차의 일상검수 주기를 5일 또는 2,500km에서 7일 또는 3,500km로 연장하여 3개월간의 고장발생량을 비교한 결과 일상검수주기 연장전후 발생량에는 차이가 없었다. 열차 운행 중 차량고장 발생은 정기검수 시행경과일과 무관하고 일상검수 주기에 관계없이 발생하는 것은 알 수 있다. 차량고장 예방을 위해서는 부품의 수명관리를 통해 부품 특성에 맞는 정비가 시행되어야 하고 부품 품질향상을 통해 가용성을 높이는 것이 필요함을 짐작할 수 있다. 열차운행 중에 불규칙(Random)하게 발생하는 고장은 차륜자동검사장치, 옥상감지장치, 제륜차 및 디스크 라이닝 측정시스템 등을 통해 자동화하고 인력오감에 의해 확인하고 점검하는 것은 최소화하여야 한다.

한편, 우리나라는 2004년 고속철도 KTX 개통 이래 2009년부터 우리기술로 만든 고속철도 'KTX-산천'을 운용 중에 있다. 지금까지 연마한 기술력을 바탕으로 2010년부터는 '브라질고속철도사업'등 해외 진출을 추진하고 있다. 친환경 녹색성장의 주역으로 철도교통혁명의 실현과 더불어 통일이후 대륙철도시대의 대비와 세계철도시장의 진출을 위해서도 본 연구와 같은 지속적인 노력을 바탕으로 한국이 일본, 유럽보다 우수한 철도 유지보수 기술력을 확보하는 것이 우리에게 주어진 당면과제가 아닐 수 없다.

참고문헌

김중운·정광우·박준서·정종덕(2010), 철도차량 획득을 위한 수명주기비용 모형 및 적용절차, *한국철도학회논문집*, 13(3), 257~263.

김진규(2003), *신뢰성공학*, 인터넷 교보문고, 한울출판사.

박수명 (2009), *철도차량 LCC분석을 통한 경제적 내구연한 연구*, KORI-경영-기본-09-08 코레일연구원.

박수명·오병일(2009, 2010), *코레일 동일본철도(JR East)*, 연수자료.

유양하·김호순·김명수(2010), 철도차량일상검수 주기 및 방법에 관한 연구, *한국철도학회 춘계학술대회 논문집*.

이계형(2008), 고장예방 실천과정, *KSA(한국표준협회) 신뢰성기술*

경영 교육교재, 26-40.

- 철도청 차량본부(2002), *고속철도유지보수이론*, TGV 교육자료.
- 최성규·박준서·이관섭·최강윤(2006), *철도시스템 RAM 관리체계 구축을 위한 기반연구*, KRRI 연구 05-90, 한국철도기술원.
- 코레일연구원(2008), *철도차량검수최적화방안연구보고서*, KORI-기술-07-05, 코레일연구원.
- 코레일연구원(2009), *고속차량 주요부품 잠재수명 및 TBO 산정연구보고서*, 연구원-02-09047-01, 코레일연구원.
- 코레일 차량기술단(2008), *철도차량총람*, 삼성종합인쇄.
- 코레일(2010), *철도차량유지보수규정*, *철도차량유지보수지침*, 코레일 2010-15/16, 코레일.
- 코레일(2012), *한국철도의 위상*, 코레일 내부보고자료.
- Gertsbakh, I.(2000), *Reliability Theory with Applications to Preventive Maintenance*, New York; Springer.
- Moubray, J.(1997), *Reliability Centered Maintenance Second Ed.*, New York; Industrial Press Inc.

A Study on the Daily Inspection Optimization of the Rolling Stocks

Kang, Byoung-Soo*

Lee, Kang-In**

Abstract

Railroad rolling stock has long service life and a lot of maintenance cost running on rail by wear and vibration. And it is very important to get optimization of maintenance. This paper want to analyze rolling stock maintenance situation of KORAIL and find out its improvement methods.

Especially, the purpose of this paper is to adopt the most effective maintenance period and methods to daily inspection which needs many maintenance manpower in rolling stock. Rolling stock has self-diagnosis function using computer system and the quality of rolling stock has much improved these days but current daily inspection repeat for short period routinely and it is very ineffective. Therefore, the paper adopt improved daily inspection period reflecting the characteristics of rolling stock, and want to secure reliability of rolling stock and minimize maintenance cost.

Key words : Rolling stocks, daily inspection, Maintenance optimization

* Graduate School, Jeonju University, Audit, Lotte Station Building Corp.

** Professor, Department of Fire Protection and Safety, Jeonju University