

電動車 維持補修 改善方案에 관한 研究

A Study on the improvement of rolling stocks maintenance

김동민*
Kim dong-min.

안재경**
Ahn Jae-kyoung

ABSTRACT

Safety and punctuality in the subway are considered as critical factors. This system is composed of many factors like signals, rails, electrical power sources, rolling stocks. The effective inspection should be carried out at all the times for the safety and punctuality. Purpose of the rolling stocks maintenance is to offer the optimum condition of vehicles, and minimize the maintenance expenses.

This paper suggests appropriate maintenance period of rolling stocks to enhance the utility efficiency in SMSC.

1 서 론

대중교통수단으로서 지하철은 전동차, 선로, 전기, 신호, 역사시설 등 많은 설비를 이용하여 승객을 안전하고 쾌적하게 수송하는 것이 목적이며 이러한 역할을 달성하기 위해서는 상호 연관되어 작동하는 이들 각각의 설비가 정상적으로 가동되도록 하여야 한다. 승객을 목적지까지 이동시켜주는 전동차는 전기, 전자, 기계 등 다양한 설비, 부품 등이 서로 유기적으로 연동되어 작동하는 복합적인 장치이다. 이러한 전동차는 운행 중에 높은 신뢰성을 유지하기 위하여 그 기능을 항상 정상적인 동작 상태를 유지시키기 위하여 특별한 대책이 필요하다. 전동차 유지보수의 목적은 최적의 사용조건을 만들어 고객에게 안전하고 정시에 쾌적하게 이용할 수 있는 서비스수단이 되도록 하며 전동차 차량상태를 최적화하여 운영의 효율화를 극대화함으로써 경영상 운영비를 최소화하는 데 그 목적이 있다.

74년도에 도입된 전동차에 비교해서 90년도 중반에 도입되어 운행되는 전동차는 기술진보로 많은 부품의 전자화, 복잡화, 정밀화, 고성능화, 고신뢰 수준으로 발전하였다. 따라서 차량을 정상적으로 운행이 되도록 유지보수(Maintenance) 방법도 구형 차량에 맞는 전통적인 유지보수 방법보다 신형 전동차에 알맞은 새로운 유지보수 기술이 요구된다. 차량제작기술도 과거보다 많이 발전하여 차량의 견고성 및 내구성, 안전도 등도 많이 향상되었다. 아울러 현재 운행 중인 전동차는 정밀안전진단 등을 거쳐 안전한 상태를 유지하면서 차량수명을 연장하여 차량운영효율을 높여 경성비의 절감을 하여야 한다.

본 고에서는 서울지하철공사 1호선 일부와 4호선에서 운용 중인 90년 대 중반에 도입된 신형 전동차(VVVF인버터 전동차)를 대상으로 하여, 전동차 유지보수 주기(inspection period)분해와 견

* 서울산업대학교 철도전문대학원 , 정회원

** 서울산업대학교 정보시스템학과 교수, 비회원

동차 사용 내구 년한에 대해 개선 방향을 제시하고자 한다.

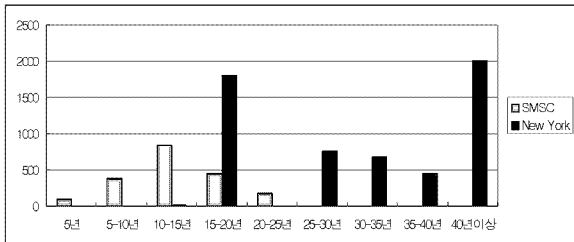
2 서울지하철공사현황 차량보유 유지보수 현황

2.1 전동차 보유현황

74년부터 운영을 시작한 1호선의 전동차는 최초 74년부터 운영을 하였던 일부 지향전동차는 법정 차량 수명인 25년을 채우고 신형전동차로 교체되어 160량이 운행이 되고 있으며 순환선인 2호선은 효파 전동차로 834량이 운영이 되고 있다. 또한 3호선은 효파 전동차 470량과 4호선에는 VVVFi미터 전동차가 470량으로 총계 1944량이 현재 운행이 되고 있다.

현재 보유전동차 수명의 분포는 5년 미만의 전동차가 96량, 5년과 10년 수명의 전동차가 382량, 10년 이상 15년 미만의 전동차가 842량 20년 이상 25년 미만이 전동차 182량으로 25년 이상의 수명의 전동차는 법정 차량 수명 년한 규정에 의해 모두 폐차되고 신형 전동차로 교체되었다. 반면 미국 뉴욕의 경우는 총 5675량의 전동차 중에서 25년 경과된 차량이 3867량이나 된다. 이 곳에서는 노후화된 전동차는 적당한 안전검사 및 대수선의 공정을 거쳐 전동차 수명을 연장하여 운영을 계속하고 있다.

<표-1> 서울 지하철 공사와 뉴욕 전동차 수명별 현황



자료 Jane's 2003-2004

2.2 전동차 유지보수 현황

현재 서울지하철공사 전동차의 검사와 수선은 '전동차 관리규정'에 의하여 시행하고 있으며 경수선 분야에서 점검하는 3일마다 시행하는 일상검사, 2개월마다 시행하는 월상검사, 6개월마다 검사하는 6개월 검사와 중수선 부서에서 시행하는 2년 검사 및 4년 검사의 방법이 있다. 또한 비정기검사의 방법으로 전동차의 개조 등의 특별검사와 전동차의 이상 경우 발견 시 시행하는 임시검사의 방법 등이 있다.

〈표-2〉 전동차 중수선 검사 종류

검사종류	주기	회기km	검 사 내 용	비고
중간검사	2년	30만km	·주요 부품분해검사·수선 및 시험하여 전동차를 최적상태 유지	
전반검사	4년	60만km	·영구결합부분을 제외한 해체 필요한 부분을 분해검사·수선 및 시험하여 전동차 최적의 상태 유지	
특별검사	일시		·전동차 개조 등 목적으로 시행하는 검사	
차량교환검사	일시		·차륜외경의 교환한도, 균열, 파손 등으로 차륜을 교환하는 검사	

3. 서울지하철공사 전동차 유지보수의 문제점 분석

전동차 유지보수에 영향을 미치는 요소로는 정비체계, 품질관리 및 차량 유지보수 관리 시스템을 들 수 있다. 정비체계의 문제점으로는 정비 시 보수품 Life Cycle 미 확립으로 유지보수 시 적절한 부품 교환을 하지 못함으로써 검사 시행 후에도 운행 시 보수품의 재결노후 및 재결불량에 의한 도당고장이 발생되고 있으며, 전동차 중수선 검사의 주기가 전동차를 10-15년 사용 후 정밀안전진단을 시행하는 대수선공정이 없어서 차량수명을 연장하는 검사방법이 없다. 또한 전동차의 내구 년한이 전동차 종류에 상관없이 일률적으로 25년으로 법정되어 신행전동차에도 같은 규정이 적용되는 문제점이 있으며 전동차는 엄격한 품질관리가 요구되고 있으나 차량 제작 시부터 전동차 및 전동차 부품의 표준화의 정도가 낮아 품질관리가 잘 이루어지지 못하고 있다.

그리고 전동차 검사 관리 시스템은 현재 중수선부서와 경수선 부서와의 각각 사무소 별로 지면을 이용한 수작업으로 처리하고 있다. 그로인해 업무 처리, 부품교환이력 관리, 전동차 고장이력 등의 활용도와 부서 간 정보의 공유화 및 정보전달이 원활하지 않다.

3.1 전동차 사용 내구 년한 문제

74년에 일본으로부터 도입되어 1호선에 운행되던 저상전동차 60량은 25년의 법정 사용 년한의 규정에 의해 원차적으로 신조차로 대체되었다.(도시 철도 차량 관리에 관한 규칙 제9조). 최신 기술로 제작된 현재의 전동차(구형 전동차와는 달리 차량 Life cycle을 정확한 데이터와 엄격한 분석을 통해서 안전도 및 유지보수비용 등의 경제성은 종합하여 판단 할 필요가 있다. 현 법령에 의하면 60년대 설계에 의해 제작 된 전동차와 90년대에 설계에 의해 제작된 전동차를 동일시하고 있다. 신행 전동차는 구형 전동차 보다 안전도가 향상이 되었으나 신기술로 제작되어 내구성이 향상되었다. 따라서 구형전동차가 같이 사용 년한 규정이 적용되어 폐차 처리되고 새로운 전동차를 구입한다면 운영비의 급격한 상승은 물론 차량의 낭비를 가져올 수 있다.

3.1.1 전동차 사용 년한의 해외사례

해외의 일본, 영국, 미국, 독일 등은 우리나라와 같이 도시철도 전동차사용에 대한 내구 년 한을 법적으로 정하지 않고 운행에 필요한 정밀 안전도시험, 전동차의 유지보수비용, 신조차량의 구입비 등을 감안한 경제성을 등을 종합하여 대수선공정을 거쳐 차량사용주기 년한을 연장하여 적절하게 이용하여 효율성을 높이고 있다.

해외 도시의 25년 이상의 수명을 가진 전동차 보유 현황은 'Jane's 2003~2004년 자료에 의하면 영국의 런던은 대수선공정에 의해 노후화된 전동차의 수명을 연장하여 운영하는 전동차가

3033량에 달하며 프랑스 파리의 RATP는 2401량, 미국의 뉴욕 지하철은 40년 이상 전동차 1997량을 포함하여 3867량을 보유하고 있으며 일본의 영단 지하철은 899량, 독일 베를린지하철은 292량의 전동차를 운행하고 있다.

4. 서울지하철공사 전동차 유지보수 주기 개선 방안

4.1 전동차 대수선 공정의 필요성

현재 지하철공사의 전동차는 법정 차량 수명이 25년으로 규정되어있기 때문에 74년에 도입되어 운행되던 구형차량들은 모두 새로운 전동차로 교체되어 25년 이상 운행되는 차량은 없다. 법정수명이란 차량이 노후화에 따른 유지보수비용의 기하급수적인 증가와 안전도 문제로 규정한 것이다.

그 당시의 규정은 60년대에 설계되어 제작된 전동차와 90년대에 설계·제작된 전동차를 같은 수준의 수명으로 규정되어있다. 90년 대 중반에부터 도입된 신형 전동차는 재료의 고급화, 경량화, 제작기술의 첨단화, 스테인레스 재료로 차체 제작, 기계적 구성 부품의 단순화, 무점접 화, 회전기류 기기 축소, 마모 및 습동 부위 감소, DC모터의 AC모터로 채용 등으로 구형전동차에 비해서 유지보수성과 안전도 및 내구성이 많이 향상되었다. 이 제작규정은 구형전동차에 맞는 규정으로 신형전동차에도 그대로 적용할 경우 차량상태가 양호해도 폐차를 해야 하고, 차량의 견전성 상태가 불량해도 수선해서 계속 사용해야 하는 문제점이 있다.

<표-3> 구형전동차(저장전동차)와 신형전동차(VVVF인버터 전동차)사양 비교

	1호선 저장제어전동차	신형 VVVF제어 전동차	비고
제작년도	1974-1989	1993-1995	74-78년 제작 전동차 폐차
전기방식	DC 1500 AC 25000	DC 1500 AC 25000	
차중	TC:32.2t T:33t M:43t M:47.6t	TC:33t T1:26.5t T2:32t M:41.2t	부품소재의 고급화, 부품의 감소화 등으로 차체 중량의 경량화
속도제어방식	저항제어	가변저항, 가변주파수제어	제어기기 단순화, 무점접화, 접촉기류 대폭 감소
대차	2축보기 coil spring 대차	2축보기, 공기스프링 불스터레스	습동부·마모부 감소, 절강스프링 대신 공기스프링 채용, 대차 단순화, 기조제동장치 단순·견고.
주전동기	직류직권전동기 120kw	교류전동기 200kw	모터고장률 획기적 저하, 효율향상, 브러시가 없어 보수성향상
보조회로장치	전동발전기 AC200V 110KVA	정지형인버터 AC380V 180KVA	부품 경량화, 차체에 무전동으로 차체내구성향상
차체의판	연강골조	스테인레스	방청제칠도 도장불필요, 차체내구성 향상

4.2 대수선공정 시행으로 전동차 사용 년 한 연장 방안 검토

4.2.1. 해외사례

일본의 각 철도회사는 경영효율화의 자구노력에 따라, 노후차량에 대한 보수 및 방부처리, 갱신공사를 통해 차량의 내구 년한을 30년 이상으로 연장하여 운행하기도 하고, 차량의 운행효율 및 러시아워 시간대의 수송능력의 극대화, 고객의 요망 등에 의해 신규차량으로 교체하기도 하고 구 모델은 신형 모델로 용도변경을 실시하고 있다.

(1). 帝都高速度交通營團의 연명공사 사례

1). 대상: 동서선의 Type5000(세미스텐레스)차량

인디 프레임은 강재로서 탄소강 차량과 동일한 차량으로 주요 전장품 중에서 주전동기, 제어용 전원의 MG는 기존의 탄소제품을 사용하고, 주로 제어 시스템(System)의 성능이 향상된 장치로 교체했다. 제조시기가 66년-77년으로 기존 시스템이 전기제어 및 캄샤프트 제어인 것을 89년 91년 사이에 제어장치가 여자회생계동 및 캄샤프트 제어장치로 교체하고 냉난방장치를 탑재한 차량으로 개조하였다. 개조비용은 신차가격의 30-40%비용을 투자하여 230량의 보수, 개조 공사를 실시하였다.

2) 대상: 千代田線の Type 6000차량-알루미늄 차체

66년에 제조되어 일본에서는 처음으로 대량 양산된 조피 차량으로 350량에 대한 근대화 계획으로 개조, 보수를 시행하였다. 알루미늄 차량으로 시간의 경과에 따른 부식의 염려가 없기 때문에 장기간의 사용을 목적으로 제어장치의 성능향상을 위해 VVVF시스템으로 차량을 개조시켰다.

<36-4> 기타 해외 전동차 내구 년한 및 대수선 적용 사례

국가별	내구년한	적용기준 및 사례	비고
핀란드	25년	갑상갑에 의한 회계규정 적용 목적 -내구 년한 경과차량 자산가치 상실 -차량상태, 제작기술, 부품 생산중단, 유지보수 등에 따라 연장 여부 결정	전동차레차처리 방안연구용역 자료
영국	30년	-내구연한은 30년으로 제정되어 있음 -70년대 제작 전동차도 보수 후 현재 운행 중임	
미국	제한 없음	-대다수 차량 18-28년 사용 후 보수하여 재사용 -25년 이상 사용 전동차 대보수 실시 후 연장운행	

해외 지하철에서는 노후차량을 보수 개량하여 연명(延命)공사를 실시할 경우 다음과 같이 개조에 대한 비용 투자 효과로 적정 기간의 수명 연장을 기대할 수 있을 때 행하여 졌다.

- 가. 신규차량제작비의 30%를 투입하여 신차량 수명의 1/3이상수명 연장을 기대가능 시,
- 나. 신규차량 제작비가 60%를 투입하여 2/3이상의 수명 연장 기대 가능 시

4.2.2. 전동차 대수선 검사방안

현재 시행하고 있는 중수선 검사는 전동차를 일정수준으로 해체하고 각 해체부품의 상태 및 기능상태를 비교적 체계적으로 수행하고 있다. 그러나 차량의 종합적인 상태를 구체적으로 알기 위해서는 여러 가지 시험이 요구되어지거나 이를 수행하기 위해서는 차량검사 기간이 짧다고 생각되며 더욱이 10-15년 이상 경과된 차량에 대해서도 검수 시마다 동일한 항목의 검사를 실시하고 있는바 적절한 검사기간의 확보 및 차량의 부식, 마모 및 기능의 노후화 정도를 고려한 검수가 현행 검수정비와 더불어 추가적으로 필요하다고 판단된다. 기 폐차된 1호선 전동차에 비해서 신조차는 여러 가지 면에서 견고한 골조로 제작이 되었으므로 대수선 주기에 적당한 안전진단 등의 실시로 내용 년한도 다르게 적용하여야 된다고 판단된다. 전동차 수명 연장을 위한 대수선주기 설정에 관한 기준은 각 차량에 대한 물리적인 안전성의 기준과 경제적 평가기준 및 차량의 효용가치 측면에서 종합적으로 측정하여 판단하여야 한다.

가) 대수선의 경제성 평가 기준 검토

경제성평가는 전동차 신차구입비용과 수명연장을 위한 대수수선유지·보수비용에 대해서 대수선이 예상되는 사용개시 후 15년경과 후 차량 LCC(Life cycle cost)의 정확한 계산에 의해 경제적으로 적절한 기준을 설정한다. 1호선 구형 전동차 안전진단 결과 대수선 유지비의 적정가는 10년 수명 연장을 목적으로 한 경우 구입비의 20%이하 일 때 경제적인 것으로 나타났다*. 폐차된 1호선의 경제성평가는 대수선 항목이 127개 주요 품목 중에서 68개 품목에 대해 대수선 비용비율이 신차구입이 29.4%에 대해 대수선 후 연장 사용에 대해서는 경제성이 없는 것으로 평가되었다. 그러나 신형전동차는 1호선의 안전진단의 평가항목을 간접 비교해 본 결과 대수선 품목이 29개로 줄어들어 대수선비용도 대폭 줄어들 것으로 판단되어 경제성이 있을 것으로 예측된다.

나) 대수선의 안정성기준 검토

전동차의 운행 시 안전과 직결되는 역행, 제동관련 부품에 대한 안전진단과 차체골조에 대한 변형, 부식, 굴곡 등에 대해서 분야별 종합 적인 안전진단을 시행하여 수명연장 기간에 대한 안전도를 경빙 점검하여야한다. 현재 운행 중인 신형전동차는 아직 대수선에 관련된 준비 및 검사가 시행되지 않은 만큼 기 폐차된 '서울 지하철 1호선 전동차의 안전진단 결과'(대우 중공업 철도차량연구소, 1995년,10월)를 기준으로 구형전동차와 신형전동차의 기기구성별 안전도를 간접비교함으로써 신형전동차에 대한 안전성 여부, 교환 여부, 계속사용여부, 대수선 여부 등을 유추 추론한다.

<표-5> 1호선저항전동차에 대한 안전진단결과표 및 VVVF인버터 차량의 비교 예측

구분	신단항목	진단결과			VVVF차량 예측 진단 결과			신단항목
		중수선	대수선	계속사용	중수선	대수선	계속사용	
차체	22	7	12	3	10	2	10	22
대차	18	4	14	0	8	1	3	12
연결기	2	1	1	0	1	1	0	2
제동장치	24	12	3	9	7	1	4	12
주제어기	15	2	12	1	1	2	0	3
전동기	9	5	3	1	6	1	0	7
전기장치	37	14	23	0	14	21	0	35
계	127	42	68	17	47	29	17	93
비율(%)	100	33	53.5	13.3	50.5	31.1	18.2	100

(제동장치 및 주제어기의 신단항목은 부품의 간소화로 대폭 축소되었으며, 차체의 광과 출입문 부착품은 스트림레스로 제작되어 수선항목이 대폭 축소되었고 주행 장치인 대차도 대수선 및 중수선의 필요성과 장치의 간소화로 대수선 품목이 대폭 감소되었음)

상기 표에서 본 것처럼 1호선 구형전동차의 안전진단결과는 안전진단의 가장 중요한 차량모제가 되는 차체 주골조는 현 상태에서 적절한 강도를 지니고 있는 것으로 평가되었으며 전체적인 평가는 향후 각종 기기 부품 등의 부식 진전에 따른 강도 저하 등을 고려할 때 대상 차량은 대수선을 통해서 10년 정도의 수명연장이 가능한 것으로 판단되었다. 차체내부, 차체 지붕, 출입문 레일 등은 대수선 및 중수선 공정이 필요하다고 평가되었으며 주행 장치인 대차도 대수선 및 중수선의 필요했고, 제동장치 및 주제어기, 전기장치 등도 중수선 및 대수선을 통해서 차량수명 연장이 가능하다고 평가되었다.

이 평가표에서처럼 신형전동차는 대수선 품목이 구형 1호선 전동차 68항목 보다 29항목으로 대폭 줄어들어 안전성 평가에서도 일부의 대수선공정을 통해서 연장사용이 가능하다고 예측한다.

* 대우 중공업철도차량연구소(1995), "서울지하철1호선 전동차 안전진단결과보고서".

다) 대수선의 승객에 대한 서비스 검토

1호선의 구형 전동차는 주행 장치의 현가장치 등이 코일 스프링 등의 장치로 구성되어 있어 운행 중 승차감이 좋지 않았고, 저항제어로 인한 발열로 승객의 요구에 부응하지 못했다. 60년대의 설계에 의한 차량 제작으로 보수품의 조달문제, 기술발전에도 낙후되어 운영상의 문제점이 있었다. 그러나 신형 전동차(구형 전동차에 비해 주행 장치에 공기스프링의 채용 및 쿨단제어장치의 채택)으로 승차감이 향상되어 승객에 대한 서비스문제는 발생되지 않는다고 판단되어 대수선 후 차량수명을 연장하여 사용하는 데 문제점이 없다고 예측된다.

라) 대수선의 전동차 기술 발전 추이 및 보수품 조달 문제 검토

현재 운행 중인 차량은 원단 전력반도체, 효율성이 높고 고장율이 적은 교류전동기 탑재한 전동차로서 기술발전 수준이 현재의 추이를 감안할 때 급격한 발전은 없다고 예측 된다. 따라서 대수선 후 차량 수명을 연장하여 사용해도 유지보수품의 조달문제 및 유지보수 상의 문제점도 없다고 판단된다.

5 결론 및 향후 연구 과제

서울지하철공사 전동차의 유지보수는 최 상위 검사인 중수선의 경우 2년 검사와 4년 검사의 두 종류로 나뉘어 시행하고 있다. 93년부터 새로 도입된 신형차량(VVVF인버터 전동차)부터는 대수선공정을 채택하여 내구 년한이 경과한 고무 튜 제품 등을 교환하고, 향후 대수선 주기가 예상된 시점인 사용 개시 후 15년 후에 정밀안전진단과 차량운영의 경제성 평가 등을 하여 전동차 사용 내구 년 한을 늘려 차량운영의 효율적으로 운영하면 경영상의 경비를 절감할 수 있을 것이다. 향후 폐차규정은 차량상태에 따라 탄력적으로 운용될 수 있도록 차량 내구 년한에 대한 보완이 필요하다. 폐차규정을 획일적으로 적용할 경우 내용 년수가 경과한 차량은 차량상태가 양호해도 폐차시키거나, 반대로 실제 노후도가 심한 내용 년수 미경과 차량은 보수하여 계속 사용하여야 하는 문제점이 있다.

본 고에서는 대수선의 시기에 도달하지 않아서 차량에 대한 정확한 LCC(Life cycle cost)와 대수선비의 정확한 계측과 정밀진단 등에 대한 자료가 없어 기 폐차된 전동차의 안전성평가를 기준으로 하여 간접비교하는 한계가 있었다. IT기술의 발전과 신뢰성 공학, 유지보수공학의 발달로 장비에 대한 유지보수 관리기법이 날로 발전되어가고 있다. 향후 전동차에 대한 정확한 경제성 평가 및 정밀 안전진단 이 요망된다. 현재 건교부에서 지원하고 한국철도기술연구원이 주관기관으로 서울지하철공사에 '도시철도 유지보수 체계의 정보화'사업이 진행되고 있다. 이 시스템이 완성이 되면 전동차 LCC 및 부품 LCC의 계측이 정확해 질 것으로 예측되어 전동차 신뢰성이 향상 될 것이라 판단된다.

참고자료

- 1.서울지하철1호선 전동차 안전진단 결과보고서, 대우중공업 철도차량연구소,1955
- 2.서울지하철 전동차 폐차처리방안 연구, 1988, 한국산업관계연구원
- 3.서울지하철 전동차 검수규정, 서울지하철공사
- 4.JANE'S URBAN TRANSPORT SYSTEM 2003-2004