

도시철도차량의 내구연한관련 사례분석

A Case Study on Lifetime for Electric Multiple Units

정종덕*
Chung, Jong-Duk

편장식**
Pyun, Jang-Sik

박기준**
Park, Kee-Jun

ABSTRACT

Currently, the use of the subway system as a public transportation has been an increasing demand due to the complex transportation structure in Korea. The subway system provides on time arrival and departure, relatively comfortable riding, and convenient access in the metropolitan area. Among several areas of the operation of the subway system, the safety of subway vehicle itself is of important because the rolling stocks carry the passengers, and the safety and reliability of rolling stocks are directly affected for the safety of subway passengers.

In this research, various advanced engineering analysis techniques for the precision diagnosis assessment of subway EMUs have been introduced and the diagnosis assessment results have been used to provide the critical information for the lifetime assessment of EMUs.

1. 서 론

국내 도시철도차량의 현황은 1974년 개통된 1호선을 일본 Hitachi社에서 제작된 차량을 도입하여 최초로 운행하면서, 초기 국내전동차 운행계획 시 무분별한 외국기술의 도입으로 인하여 도시철도의 안전 측면, 운용 측면, 건설 측면 등에서 다양한 문제점이 대두되었고 특히 노후차량에 대한 안전문제가 심각하게 제기되기 시작하였다. 이에 당시 서울시 지하철공사에서는 1995년 10월 서울시 1호선 노후전동차의 안전진단을 시행하였고[1], 그 점검 결과와 그 이후 조사된 철도청의 유사차종의 폐차현황과 연강재질의 차체로 제작된 전동차에 대한 용접부 강도, 차체의 부식, 관련기기 및 전선의 노후도 등에 대한 전반적인 연구, 분석자료를 기본으로 하여 1995년 12월에는 도시철도법에 도시철도차량 사용내구연한 조항을 추가하게 되었고 후속으로 “도시철도차량관리에 관한 규칙”을 제정하여 도시철도차량의 사용내구연한을 25년으로 구체적으로 지정하게 되었다[2,3].

도시철도법에서 차량 수명을 25년으로 설정하고 있으나 이러한 차량수명을 결정하는데 있어 많은 변수들로 인해 어려움이 따른다. 그래서 본 논문에서는 차량수명을 결정하는 요인들을 분석하고, 국내·외 철도차량의 사용내구연한 및 정밀진단 기준과 관련된 내용을 서술하고, 내구연한 및 정밀진단기법의 개선방향을 제시하고자 한다.

* 한국철도기술연구원, 도시철도표준화연구단, 정회원

E-mail : jdchung@krri.re.kr

TEL : (031)460-5513 FAX : (031)460-5749

** 한국철도기술연구원

2. 도시철도차량 정밀진단 방법

도시철도차량은 도시철도법에 따라 내구연한 25년이 도래하기 이전에 정밀진단을 받아 최대 5년을 연장 사용하도록 규정되어 있으며 정밀진단 대상은 차체, 대차, 제동장치, 전기장치이다. 이러한 장치들에 대해 일반검사와 정밀검사를 실시하는데, 여기서 일반검사는 진단신청자가 제출한 자료의 검토 및 확인검사를 통하여 차량의 전반적인 이상상태 및 결함정도를 파악하기 위한 검사이고, 정밀검사는 일반검사에서 발견된 이상상태 및 결함부위를 대상으로 구조·성능시험, 상태진단시험 및 계측조사 등을 실시하여 차량의 안전성 및 잔존수명을 평가하는 검사이다. 이렇게 검사를 실시한 후에 일반검사와 정밀검사 결과를 분석하여 종합판정을 내리게 된다. 도표 1은 진단대상별 일반검사와 정밀검사의 검사항목을 나타낸 것이다.

도표 1. 진단대상별 검사항목

진단대상	검사항목구분	
	일반검사 항목	정밀검사 항목
차체	- 치수검사, 표면결함검사, 내부결함검사	- 구조체하중시험, 피로강도평가
대차	- 외관검사, 치수검사, 용접부검사, 부식 및 마모량 검사	- 대차실동응력시험
제동장치	- 기능검사, 성능검사, 누설검사, 외관 및 설치검사	- 교정검사, 제어신호검사, 공기압력검사, 압부력검사, 기밀검사, 내압검사, 부식검사, 장치검사
전기장치	- 제출한 자료의 분석 결과와 도시철도차량의 성능 시험에 관한 기준을 준용하여 일반검사항목을 선정	- 정밀진단자는 일반검사결과 정밀검사에 의한 상태진단과 안전성평가가 요구되는 장치나 기기를 대상으로 정밀검사항목 및 검사방법을 선정

3. 국내 도시철도차량 수명평가 관련사례

3.1 철도청 전동차 정밀진단

철도청은 1978년 운행을 개시한 저항제어형식 전동차 6량에 대해 2002년 10월에 정밀진단을 받았다. 차체의 정밀진단 결과는 차체 치수검사에서 노후화로 인한 전체적인 영구적인 변형이 진행되어 좌측과 우측의 캠버량 편차 발생, 언더프레임의 수평도 기준 불만족, 차체폭 및 높이차이 발생, 출입구 개구부 변형이 심하게 나타났으며, 차체 강판의 부식 특히, 차량과 차량 사이의 통로 하부부식 및 승객 출입 개폐문 하부의 부식, 차체 바닥의 굴곡 강판에 발생한 구멍부식은 심각하게 진전된 상태이며 조속한 보강과 수리가 안 될 경우, 인적 피해의 발생 가능성이 매우 높은 것으로 판단되었다. 전반적인 변형정도가 심각하고 또한 부식상태가 관통상태까지 진전되어 인명피해 방지와 안전확보 측면에서 진단대상 전동차 모두 차체의 연장사용은 불가한 것으로 판정하였다. 대차정밀진단 결과는 검수이력조사 결과에서 차륜의 박리, 찰상 등 일반적인 마모 및 결함을 발견되었지만 대차프레임에서의 이상 징후는 발견되지 않았다. 육안검사 등에서도 전체적인 이상징후는 발견되지 않았으며, 치수검사에서의 경우에도 대차의 운행에 영향을 줄 정도의 영구변형은 발생하지 않았지만, 100mm 이상의 균열은 동일차량에서 집중적으로 발견되었으며, 동일한 노선에서 비슷한 운행조건을 갖는다고 가정하였을 때 이는 차량의 제작시 발생한 결함으로부터 기인한 것으로 볼 수 있다[4].

3.2 서울시 2호선 전동차 정밀진단

서울메트로는 2호선에서 운행하고 있는 초퍼식 제어차량(일본식 6량 1편성, 영국식 8량 1편성)에 대해 2005년 4월에 정밀진단을 받았다. 차체에 대한 정밀진단 결과를 보면 대상차량의 반이 장기 사용으로 인한 변형이 발생되어 연장 사용에 부적합한 것으로 나타났다. 이와 같이 규정치 이상의 변형이 발생한 차량의 경우 승객의 혼잡도로 인한 하중이 크게 증가할 경우 역캠버로 인한 안전성 저하 및 차체 내부에 설치되어 있는 각종 전기장치 및 배선 계통에서도 순간적인 접점 이상 등의 일시적인 고장이 증가될 것으로도 예측되고 있다. 대차에 대한 결합검사 방법은 자분탐상과 초음파 탐상을 사용하여 균열의 위치 및 균열깊이를 측정하였다. 동력차용 대차에서 상대적으로 더 많은 균열이 발생하고 있으며 이로부터 상대적으로 하중을 많이 받는 대차가 균열이 발생할 가능성이 더 크음을 알 수 있다. 또한 대부분의 균열은 용접부 주위에서 발생하였으며, 용접부 중 모재부와 만나는 필렛부위가 응력이 가장 크게 나타나는 부위이므로 이 부위가 가장 취약한 부위임을 알 수 있다[5].

4. 국외 철도차량 수명평가 관련사례

4.1 국외 철도차량 사용내구연한기준 및 폐차기준

국외 도시철도차량의 사용내구연한/폐차기준 및 정밀진단 기준 등에 대해 살펴보면 철도 선진국(영국, 미국, 일본 등)에서는 사용내구연한/폐차기준 및 정밀진단 기준에 대하여 국가적인 법규로 규제하고 있지 않다. 미국 캘리포니아주의 샌프란시스코 교통국에서는 철도차량 운영사들이 자체적으로 정기적인 유지보수 검수체계 및 중간수명기간 전반검사 체계를 수립하여 철도차량의 안전한 운영에 대한 책임을 지고 다만 감독기관에서는 철도차량 운영사들이 수립한 검수체계에 따른 이행여부 및 검수결과의 적합성 등을 감독, 확인함으로써 철도차량의 안전한 운영체계를 구축하고 있다. 국외 도시철도차량의 사용내구연한/폐차기준 및 정밀진단 기준과 관련하여 선진국의 관련기준에 대한 주요 내용은 도표 2와 같고, 도표 3은 국외 철도차량의 사양에서 요구하는 수명요건을 나타낸 것이다[6].

도표 2. 해외 도시철도차량의 사용내구연한/폐차기준 및 정밀진단기준 요약

국가별	조사 내용	비 고
일본	<ul style="list-style-type: none"> 법적인 사용내구연한 제한 없음 일본에서는 연명공사를 운영처 자율로 시행하며 승객안전성 및 경제성 평가가 주 관점임(JR 서일본에서는 신조차량과 개조차량의 비율이 각 50%정도, 개조 비용은 신규차량의 2/3 정도임) 연강재(mild steel) 차량의 경우 30년 전후로 사용함 	* 조사기관 JR 서일본
영국	<ul style="list-style-type: none"> 철도차량의 내구수명이나 폐차에 관한 규정은 없음(철도차량을 안전하게, 그리고 경제적으로 오래 사용하는 것은 차량 소유주나 운영자의 소관임.) 차량연명공사에 대하여도 규정화된 기준은 없음(현대화된 표준에 부합시켜야 할 경우 시행여부를 운영자가 결정) 	* 조사기관 ORR ¹⁾ , RSSB ²⁾ 영국철도공업협회
미국	<ul style="list-style-type: none"> 일반철도나 도시철도차량의 내구수명/폐기, 연명공사 등을 주정부나 중앙 정부에서 규제하는 법이나 규정은 없음 각 운영사는 철도차량 도입시 정기검수 및 전반검사계획을 수립하여 시행하고, 감독기관에서는 수립된 계획의 이행여부 및 수행결과의 적합성을 관리감독함 	* 조사기관 SFMTA ³⁾ Railmania

참조) ¹⁾ORR(Office of Rail Regulation), ²⁾RSSB(Rail Safety and Standard Board)

³⁾SEMFTA(Sanfrancisco Municipal Transportation Agency)

도표 3. 국외 철도차량 사양에서 요구하는 수명요건

지 역	수 요 처	차 량 수명(Min)
미 주	미국 SEPTA 전동차	30년
	미국 SCARRA 객차	30년(8만 miles/년 기준)
	캐나다 RAV 전동차	30년
유 럽	아일랜드(IE) 동차	30년
	그리스 AM 전동차	30년
	그리스 데살로니키 전동차	30년
	터키 TCDD 전동차	30년
	독일 호코반 전동차	45년
남 미	브라질 살바도르 전동차	40년
	브라질 센트랄 전동차	40년
기 타	인도 DMRC 전동차	30년
	호주 시드니 이층 전동차	35년
	뉴질랜드 전동차	30년

4.2 일본 철도차량 운영 현황 및 정밀진단

JR에서 연장재(mild steel)의 경우 30년 전후를 사용하고 있으나 차체 언더프레임과 공기 배관의 부식 문제로 인하여 부식 발생시 해당부분을 제거하고, 스테인레스재로 교체(용접시공)하고 있으며, 주로 운전실과 객실 창문, 도어 부분을 교체 시공하고 있으며, 차체 부식에 따른 균열 등의 정밀검사를 실시하여 연장사용을 결정하고 있다. 30년 이상은 운행하고 있지 않으며 한신철도와 한큐 철도 등의 일부 사철에서는 40년 경과한 차량을 보유하고 있으나 운행은 하고 있지 않고 있다. 차량의 경제성을 고려한 개조 및 신규차량 구매에 대한 비용을 살펴보면 JR 서일본의 경우 전체 차량에 대한 개조비용이 신차 구입비용의 2배 비율로 소요되고 있으며 개조차량의 가격이 신규차량 가격의 2/3정도이며, 개조차량과 신규차량의 소유 비율은 각각 50%로 동일한 것으로 나타났다.

차량 설계/발주시, 차체 재질에 따른 설계수명은 40년으로 제작하고 있으며(예전에는 30년), 현재는 스테인레스 차량과 알루미늄차량만을 제작하고 있으며, 차체 재질별 부식이나 용접결함에 따른 잔존수명을 평가하는 기준이 별도로 정해져 있지 않아 부식상태에 따라 보수여부를 현장에서 실시하고 용접결함이나 균열발생부위는 별도로 본사에 보고를 하고 국토교통성에 정례적으로 보고하고 있다.

내용년수가 도래한 차량은 연명공사(대수선)을 실시하여 연장사용 여부를 결정하고 있으며 본사에 보고되어 별도의 회의에서 결정한다. 결정기준은 승객안전성이 최우선이며 승객에 대한 편의성 및 대외적인 이미지 제고를 위하여 가능하면 신차를 구입하고 있다. 또한 대수선 비용과 신차구입비용을 비교, 경제성 평가를 실시하여 연장사용 여부를 결정하고, 일반적으로 신간선은 10~20년, 기존선은 30~35년 사용하며 연명공사(renewal)에 따라 30~40년 사용하고 있다. 도시철도차량의 연명공사와 관련하여 운영처 자율로 시행하고 있으며 사고발생시 모든 책임은 운영처가 부담하고 있다. 고장발생차량 또는 충돌차량에 대하여 보수를 실시하며 20년 경과 차량에 대하여 대수선을 실시하고 있다.

정밀진단 사례와 검수기준을 살펴보면 연명공사를 실시하고 있는 차량은 103系로서 주전동기의 출력을 향상시키고 치차비를 크게 하여 가속성능을 높인 것으로 MT의 비율을 1: 1로 하여 주전동기의 출력을 향상시킨 차량이다. 1963년 시작차로 시험 운행되어 1964년부터 양산되기 시작하였음. 1984년까지 3447량이 제작되어 운행되었으며 1989년부터 차량의 노령화로 인하여 폐차되고 있는 실정이다 [6].

5. 타 교통수단의 사용내구연한 법규 분석

5.1 사업용 자동차

사업용 자동차의 차령은 도표 4와 같이 법에 정해져 있으며, 법에 정한 차령기간에 당해 고시에서 정한 기간을 더한 기간으로 한다. 다만, 그 기간은 2년을 초과하지 못한다고 정해져 있다. 자동차 검사는 차령기간이 만료되기 전 2월 이내 및 연장된 차령 기간 중에 승용자동차는 1년마다, 승합자동차는 6월마다 「자동차관리법」 제43조제1항제4호의 규정에 의한 임시 검사를 받아 검사기준에 적합해야 한다고 법에서 정하고 있다.

도표 4. 사업용 자동차의 차령

차종	사업의 구분		차령
승용자동차	여객자동차운송사업용	개인택시(소형)	5년
		개인택시(배기량 2,400cc 미만)	7년
		개인택시(배기량 2,400cc 이상)	9년
		일반택시(소형)	3년6월
		일반택시(배기량 2,400cc 미만)	4년
	자동차대여사업용	중·소형	5년
		대형	8년
특수여객자동차운송사업용	중·소형	6년	
	대형	10년	
승합자동차	특수여객자동차운송사업용		10년6월
	기타 사업용		9년

5.2 선박

여객운송용 선박의 경우 해운법 시행규칙에 해상여객운송사업에 사용하는 여객선의 선령을 20년 이하로 제한하고 있으며, 선박검사를 실시한 결과 안전항행에 지장이 없는 것으로 판정된 선박의 선령의 기준을 5년의 범위내에서 1년 단위로 연장할 수 있도록 되어 있다. 또한 선령 적용 기간을 연장하고자 하는 경우에 있어서는 선령제한 만료 1개월 이전에 선령 적용기간 연장 신청을 하여야 하며 매1년 단위로 연장 승인을 받을 수 있다. 기타 선박의 경우 내항화물선은 15년, 폐기물운반선은 17년 예선은 12년, 목선 및 합성수지선은 15년 등으로 선박의 선령을 제한하고 있다.

5.3 항공기

항공여객운송사업에 사용하는 여객기의 경우 사용내구연한을 법으로 규제하고 있지는 않고 있으며, 항공법 제15조 (감항증명)에 따라 감항증명서를 받아야 한다. 여기서, 감항증명이란 항공기가 안전하게 비행할 수 있는 성능이 있다는 증명을 말하며, 감항증명을 받지 아니한 항공기는 이를 항공에 사용하여서는 아니 되며, 감항증명의 유효기간은 1년으로 정하고 있다. 여객기의 경우 항공기 제작사가 설계 시 최소한의 기간을 항공기의 착륙회수나 비행시간으로 제시하고 있으며, 또한 항공기의 노후에 따른 특별점검이 요구되는 시점을 제시하여 시행, 항공 관련한 정부기관에서는 이를 기반으로 감항증명을 발급하여 항공기의 운항을 허가하여 안전 운행체계를 구축하고 있다.

7. 결론

현행 정밀진단의 경우 일반검사와 정밀검사를 실시하는데 차체 정밀검사 방법인 구조체하중시험, 피로강도시험 경우 시험실시 후 차량사용이 불가능하여 시험의 어려움이 있으며, 다른 정밀진단 대상장치들 중에도 시험의 어려움이 있는 항목들이 있다. 이에 현재 정밀진단은 육안검사, 치수검사, 용접부 비파괴검사, 부식 및 마모검사 위주로 수행되고 있으나 결함 및 손상이 발견되었을 경우에는 정밀진단자의 공학적 지식에 의존하여 대차의 계속적인 사용 또는 폐기를 결정하고 있으며, 시험을 통해 나타난 결함에 대해 매우 보수적인 결정을 내릴 수밖에 없는 실정이다. 따라서 지금까지 국내·외에서 수행된 정밀진단사례를 분석한 결과와 타교통수단의 사례들을 바탕으로 하여 향후 정밀진단의 대상선정, 평가방법, 진단절차 등의 개정을 통해 정밀진단의 본래 취지에 맞도록 절차를 개선할 필요가 있다. 또한, 부식, 마모 및 치수변형 등의 손상현상에 대한 평가 절차를 가급적 단순화하고 정확한 평가를 수행할 수 있도록 절차 및 기준을 마련할 필요가 있다.

참고문헌

1. 대우중공업 철도차량연구소(1995년), “서울지하철1호선 전동차 안전진단 결과보고서”
2. 한국철도기술연구원(1999년), “도시철도차량 정밀진단지침 연구보고서”
3. 정종덕, 윤성철, 홍선호, 전한준(2003), “도시철도차량 구조체의 정밀진단에 관한 고찰”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집
4. 한국철도기술연구원(2002), “철도청(6량) 정밀진단결과요약보고서”
5. 한국철도기술연구원(2005), “서울지하철 2호선(14량) 정밀진단결과요약보고서”
6. 한국철도기술연구원(2008년), “도시철도차량 표준화 유지발전연구 중간보고서”