

도시철도차량의 내구연수에 대한 기초 연구

A Basic Study on Lifetime of Electric Multiple Unit

*#편장식¹, 정종덕¹

*J. S. Pyun(jspyun@krii.re.kr)¹, J. D. Chung¹

¹ 한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단

Key words : Lifetime, EMU(Electric Multiple Unit), Carbody

1. 서론

국내 도시철도차량은 1974년 개통된 1호선을 시작으로 운행하면서, 초기 국내전동차 운행계획 시 무분별한 외국기술의 도입으로 인하여 도시철도의 안전측면, 운용측면, 건설측면 등에서 다양한 문제점이 대두되었고 특히 노후차량에 대한 안전문제가 심각하게 제기되기 시작하여 1995년 12월에는 도시철도법에 도시철도차량 사용내구연한 조항을 추가하였으며, 후속으로 “도시철도차량관리에 관한 규칙”을 제정하여 도시철도차량의 사용내구연한을 25년으로 구체적으로 지정하게 되었다.

현재 국내에서 운행하고 있는 도시철도는 수도권, 부산, 대구 등에서 운행하고 있고, 각각의 도시철도는 운행조건, 선로상태, 차량종류 및 유지보수 조건이 동일하지 않으므로 사용내구연한을 일률적으로 적용하기에는 무리가 있다. 이에 본 논문에서는 정밀진단 및 내구연수 관련 자료분석을 통해 도시철도차량의 내구연수에 대한 검토의견을 제시하고자 한다.

2. 내구연수

국내 도시철도차량의 경우 도시철도법에서 제시한 사용내구연한 25년을 초과한 차량은 운행할 수 없으며, 다만, 정밀진단을 받아 안전운행에 적합하다고 인정될 경우 사용연장기간을 5년 범위내에서 연장이 가능하도록 규정하고 있다.

국외의 경우 철도선진국인 영국, 미국, 일본 등에서는 사용내구연한 및 폐차기준에 대해 국가적인 법규로 규제하고 있지 않다. 일본에서는 사용내구연한에 대한 제한이 없으며, 연명공사를 운영처 자율로 시행하고 있고 승객안전성 및 경제성 평가에 주된 영향을 미친다. 영국에서는 내구연한 및 폐차에 대한 규정이 없으며, 철도차량을 안전하고 경제적으로 오래 사용하는 것은 차량소유주나 운영자의 소관이다. 미국의 경우도 내구연한에 대한 규제가 없으며, 각 운영사에서 철도차량 도입시 정기검수 및 전반검사계획을 수립하여 시행하고, 감독기관에서는 수입된 계획의 이행여부 및 수행결과의 적합성을 관리, 감독하고 있다.

국내 타교통수단의 내구연한에 대해 살펴보면 사업용 자동차의 차량은 여객자동차 운수사업법 등에 사업용 차종별로 차량을 규제하고 있으며, 자동차의 차량은 법에 정한 차량기간에 당해 고시에서 정한 기간을 더한 기간으로 한다. 다만, 그 기간은 2년을 초과하지 못하게 되어 있다. 여객운송용 선박의 경우 해운법 시행규칙에 해상여객운송사업에 사용하는 여객선의 선령을 20년 이하로 제한하고 있으며, 선박검사를 실시한 결과 안전행위에 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 매 1년 단위로 연장 승인을 받을 수 있다. 기타 선박의 경우 내항화물선은 15년, 폐기물운반선은 17년 예선은 12년, 목선 및 합성수지선은 15년 등으로 선박의 선령을 제한하고 있다. 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 설계시 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 안전운행체계를 구축하고 있다.

3. 도시철도차량 운영현황

Table 1은 서울 및 지방 자치단체에서 보유하고 있는 도시철도차량의 현황을 나타낸 것이며, Table 2는 일본 주요 철도차량의 운영 현황을 나타낸 것으로 사용연수가 30년 미만인 차량이 87%이며 30년 이상된 것이 13% 정도이다.

Table 1 Present possession of Korea EMU

Operating Agency Year	Seoul metro	SMRT	Busan	Daegu	Incheon	Gwangju	Daejeon	AREX
	25 year	25 year	25 year	25 year	25 year	25 year	25 year	25 year
1 ~ 5 year	90	-	80	180	-	52	84	72
6 ~ 10 year	60	727	396	204	200	-	-	-
11 ~ 15 year	734	834	84	-	-	-	-	-
16 ~ 20 year	544	-	84	-	-	-	-	-
21 ~ 25 year	516	-	132	-	-	-	-	-
25 year and over	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1944	1561	776	384	200	52	84	72

Table 2 Present possession of Japan electric railcar

Type of rolling stock	Material of car body	First operated	Year(Number of cars)			Subtotal
			~ 20 year	~ 30 year	30 year and over	
JR Electric Railcar	Stainless	1985	10,039	-	-	10,039
	AL Alloy	1975	795	281	-	1,076
	Steel	1970	1,307	4,206	1,643	7,156
Subway Electric Railcar	Stainless	1978	2,197	144	-	2,341
	AL Alloy	1970	3,369	820	310	4,499
	Semi-Stainless	1970	-	163	55	218
Kanto Large Railroad Companies Electric Railcar	Stainless	1962	3,091	544	174	3,809
	AL Alloy	1972	1,000	82	2	1,084
	Steel	1962	1,113	1,236	654	3,003
Kansai/Chubu /Kyushu Large Railroad Companies Electric Railcar	Stainless	1962	280	64	160	504
	AL Alloy	1970	1,112	149	28	1,289
	Steel	1962	1,601	1,237	1,870	4,708
Medium & Small Railroad Companies Electric Railcar A	Stainless	1967	381	49	25	455
	AL Alloy	1969	825	105	20	950
	Steel	1962	355	69	159	583
Medium & Small Railroad Companies Electric Railcar B	Stainless	1962	158	39	208	405
	AL Alloy	1980	249	36	-	285
	Steel	1962	231	176	522	929
Subtotal			28,103	9,400	5,830	
Total			43,333			
(%)			65%	22%	13%	

4. 차량 설계수명과 회계수명

국내에서 발주한 대구, 서울, 광주, 부산, 인천 도시철도차량 사양서의 설계수명을 나타내고 있으며, 구조체는 정상적인 운행 상태에서 개조 및 대대적인 보수, 보강 없이 25년 이상 사용할 수 있도록 설계되고 제작되도록 요구하고 있으며, 인천의 경우 20년 이상 사용할 수 있도록 설계되었다. Table 3은 국외 전동차의 사양서에 나타난 설계수명을 요약한 것으로 국내와는 다르게 투입하고자 하는 노선에서의 운행조건을 고려하여 30~40년까지

다양하게 제시하고 있다.

뉴욕지하철의 경우에는 차체(Car body)와 대차프레임(Truck frame)의 경우에는 최소 운행수명(Minimum service life)을 40년으로 하고 그 밖의 시스템은 20년으로 하고 있다. 이때 설계수명은 차량의 유지보수 기간을 고려하도록 하고 있으며, 평균 운행거리를 96,560 km, 평균속도를 24 km/h로 규정하고 있다. 이를 보증하기 위하여 설계된 차량의 응력 해석과 시험을 실시한다.

뉴델리 지하철의 설계수명은 30년으로 정하고 있다. 차체의 경우에는 UIC 566의 강도조건을 만족하도록 하고 있고, 피로수명 평가를 인정된 평가방법으로 수행하도록 하고 있다. 또한 30년 설계수명동안 운행조건에서 부식이 되지 않도록 하고 있다. 대차프레임에 대하여는 UIC 615-4와 UIC 515-4의 정하중 시험과 피로시험에 만족하도록 하고 있다.

홍콩 지하철의 경우에는 설계수명을 최소 35년이 되도록 하고 있다. 차체의 강도 평가는 정하중 시험에서 영구변형이나 손상이 없도록 하고 있다. 또한 차체 대하여 피로강도 평가를 수행하도록 하고 있다. 평가방법은 스틸의 경우에는 BS 7608(1999)과 알루미늄의 경우에는 BS 8118에 따라서 수행하도록 규정하고 있다. 대차의 경우에도 구조물의 보강이나 수리 혹은 개조 없이 설계수명을 만족하여야 하고, 이러한 설계수명은 유사한 운행조건 환경에서 증명되도록 하고 있다. 피로수명 평가는 BS 7608에 따라서 수행하도록 하고 있다.

Table 3 Minimum lifetime of rolling stock

Area	Operating Agency	Minimum lifetime
North America	USA SEPTA EMU	30 year
	USA SCARRA Coach	30 year(80,000 miles/year)
	USA New York Subway	40 year
	Canada RAV EMU	30 year
Europe	IE Locomotive	30 year
	Greece AM EMU	30 year
	Greece Thessalonica EMU	30 year
	Turkey TCDD EMU	30 year
	Turkey Marmaray EMU	50 year
	Germany Hocoban EMU	45 year
South America	Brazil Salvador EMU	40 year
	Brazil Central EMU	40 year
Asia & others	India DMRC EMU	30 year
	Australia Sydney EMU	35 year
	New Zealand EMU	30 year
	Hong Kong Subway	35 year
	Taiwan Subway	30 year

Table 4는 국외 철도차량 운영기관의 감가상각을 위한 회계수명 사례를 나타낸 것이다.

Table 4 Planned depreciation periods of each operating agency

Operating Agency	Depreciation
Japan(law)	Electric Locomotive(18 year)/Electric Railcar(13 year)/ Internal Combustion Railcar(11 year)/Freight Car(10~20 year)
Tokyo Metro	Machine etc.(5~20 year)
JR East Japan	Rolling stock and Vehicle(3~20 year)
VR Group	Tractive stock(30 year)/Electric trains(25 year)/ Rolling stock(15~20 year)
London Underground	Rolling stock(30~50 year)
SPT	Rolling stock(1~25 year)
SNCB	Rolling stock(25~35 year)
CN	Rolling stock(30(33 year))
RAPT	Rolling stock(20~40 year)
SNCF	TGV Structure/Diesel Loco/Electric Loco/Passenger Car/ Freight Car (30 year)
KCRC	Rail Stock(30~40 year)/Loco & Wagon(15~35 year)
MTA-NYCT	Equipment(2~40 year)
NJ Transit	Rail Cars and Loco(22~25 year)/Light Rail Cars(5~15 year)
Latvia	Rolling stock of railway and Trams(20 year(5%))

5. 도시철도차량 내구연수에 대한 검토

도시철도차량의 적정 내구수명은 경제적 요인, 정책적 요인 및 물리적 요인의 3가지 주요한 요인을 고려하여 결정한다. 즉, 시간경과에 따른 감각상각비, 유지/보수비 및 신규차량구입에 따른 비용 등 경제적 상황에 기반한 요인, 설계 및 제작 기술의 발달로 우수한 성능과 쾌적한 신형차량의 개발이 가능해짐에 따라 승객에게 보다 쾌적한 서비스 및 안전성을 제공하기 위하여 기존 구형차량의 폐기 및 신형차량의 도입 등 정책적인 상황에 기반한 요인, 차량의 구조 강도 및 피로파괴, 부식 등 안전성을 기반으로 물리적인 상황에 기반한 요인을 들 수 있다. 현재 도시철도법에서 규정하는 적정내구연한은 수명기간 중 안전한 열차운행을 확보하기 위한 목적으로 제정한 만큼 차량의 안전성과 연관되어 있는 물리적 요인에 의해서 결정될 필요가 있다.

내구연한은 구조강도측면에서 도시철도차량이 안전하게 운행될 수 있는 최소 한계수명의 개념으로 도시철도차량이 운행 중 받는 피로하중과 밀접한 관계가 있다. 이론적으로는 운행 중 피로가 누적되어 구조강도 측면에서 더 이상 안전성이 확보되지 않을 경우까지를 한계수명으로 정의한다.

현재 국내 도시철도는 서울, 수도권, 인천, 부산, 대구, 광주, 대전, 울산 등에서 운행하고 있으며 운행조건, 선로상태, 차량종류 및 유지보수 조건이 다양하다. 따라서 각각의 도시철도가 운행 중 받는 피로현상은 다르며, 동일한 운행기간일지라도 구조체에 누적된 피로는 다르다. 따라서 도시철도의 내구연한을 각 도시철도의 특성을 고려하지 않고 일률적으로 적용하기에는 무리가 있다. 또한 차량의 설계시에도 도시철도차량을 운행 할 운행조건 및 선로상태 등이 고려되어 설계되고 제작되고 있으며, 이에 대한 검증으로 각종 시험 및 해석이 수행된다. 따라서 발주사 양에 따른 설계수명에는 앞서의 운행조건, 선로상태, 차량종류 및 유지보수 조건 등 각각의 도시철도특성이 충분히 반영되어 있다고 볼 수 있다.

철도차량은 주문에 의한 제작방식으로 발주자가 제시한 운행수명(Service life)에 적합하도록 차량이 운행 할 운행조건, 하중조건을 고려하여 설계 및 제작을 한다. 이때 제작사는 이윤을 고려하여 발주자가 제시한 최소한 운행수명을 만족하도록 설계를 하며 여기에 안전여유를 두어 구조물의 안전성을 확보한다. 이때 최소한의 운행수명이 설계수명(Design life)이다. 따라서 실제 도시철도차량의 총 수명에는 안전여유만큼의 추가적인 수명이 존재하고 있으나, 안전여유는 설계자 및 제작사의 기술력에 따라 많게 혹은 적게 주어질 수 있으므로 안전여유에 의한 추가수명을 총 수명에 직접적으로 고려하기는 어렵다. 따라서 발주사양서의 설계수명이 다하는 시점에서 도시철도차량의 안전진단을 실시하여, 도시철도차량의 상태진단 및 안전여유에 의한 잔여수명을 계산하고 이를 기반으로 하여 도시철도차량의 계속 사용여부를 결정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

6. 결론

도시철도차량의 내구연한과 관련하여 관련 법규, 차량 운용현황, 회계수명사례, 설계사양서, 타교통수단 법규 등을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 도시철도차량의 내구연수는 차량의 운행조건, 선로상태, 차량종류 및 유지보수 조건 등 각각 도시철도의 특성이 충분히 반영되어야 할 것으로 사료된다.
- 2) 내구연한이 도래한 차량의 사용연수 연장시에는 차량의 안전성확보 및 운영기관의 유지보수체계 및 관리를 강화해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 도시철도법(일부개정 2008.3.28 법률 제9071호), 국토해양부
2. 도시철도차량관리에관한규칙(일부개정 2008.3.14 국토해양부령 제4호), 국토해양부