

철도차량의 안전 사용 내구연한에 관한 최적화기법

The Optimization Method On The Life Cycle For Safety of The Rolling Stock

**최경진¹,

**K. J. Choi(kjnachoi@nate.com)¹

¹한국철도기술연구원 시험인증안전센터 철도종합안전기술개발사업단

Key words : Safety, Rolling Stock, Life Cycle, Maintenance

1. 서론

철도교통의 편리함과 대량수송 및 안전성(safety)에 비추어 철도차량(rolling stock)을 장기간 사용하는 내구연한은 운영자와 설계자에 있어서 매우 중요한 설계인자이며, 설계와 제작이후 운영자가 사용하고 유지보수(maintenance)하는 동안 충분한 안전을 보장할 수 있어야 한다. 이후 안전성 보장이 어려운 상태에 도달하면 폐기하도록 해야 한다. 철도차량은 자동차등 타교통수단에 비하면 수명(life cycle)이 장기간으로 설계되어 있다.

본 연구는 철도차량의 안전을 목표로 사용내구연한에 관하여 사례를 분석하고 철도차량의 종류별로 정해진 사용 내구연한에 대하여 운용환경 변화에 대응하는 방법을 제시하였으며, 수명연장에 있어 수명평가를 통한 안전성 확보의 사례를 통하여 철도차량의 사용내구연한을 최적화하기 위한 기법을 제안하고자 하였다.

2. 철도차량 안전 사용 내구연한

철도차량은 차량의 종류에 따라 20~40 년의 사용내구연한을 폐기 이전의 사용수명으로 적용되고 있다. Table 1 은 ‘철도안전법시행규칙제70조(철도차량의 사용내구연한)’에서 적용되는 철도차량의 사용내구연한의 일부를 보여준다.

Table 1 The kinds of vehicle and life cycle(year) used

Kinds of vehicle	Life cycle(year)
1. High speed vehicle(KTX)	30
2. General vehicle	
- Diesel Locomotive	25
- Electrical Locomotive	30
- Diesel power car	20
- Electrical power car	25
- Passenger car	25

사용내구연한을 초과 연장하고자 하는 자는 만료 6 개월전까지 동 제71조(정밀진단의 실시)의 정밀진단을 신청하고 안전운행에 지장이 없는 판

정은 최근 개정법안에서 사용내구연한을 제작사양서에 의한 수명을 기준으로, 최대 15 년까지 연장 가능하고, 5 년마다 자체적으로 정밀진단하고 있다. 국내 철도차량 제작사양서의 설계수명에는 ‘철도차량의 구조체가 정상 운행상태이고, 개조 및 대대적인 보수, 보강이 없는 상태에서 차종별 설계 목표 연수 이상의 내구성을 확보하도록 설계되고 제작되어야 한다’고 되어 있다.

철도차량 구조체를 보면 일반 강판에서 스텐인레스 강 또는 알루미늄 합금강등으로 변화가 있으며 바람직한 발전의 추세이지만 구조체의 수명이 장수명이면 중요 부품의 수명과 교환비용을 최적화해야하는 문제도 발생한다. Table 2는 일부이다.

Table 2 Materials of rolling stock design

Rolling Stock	Under Frame	Remarks
DL	SMA490B→SS400	
HC	KTX	E36-3→HSLA-500 6005A Sanchun

*SMA 490B/SS 400/SPCC : Steel Plate & Material
6005A : Aluminum Alloy
E36-3, HSLA-500 : EN Hight Tension Steel

따라서, 기존의 사용내구연한을 단순한 사용기간으로만 수명을 산정하는 것은 현실적으로 다양한 운용과 환경조건의 실제 사용일수(days)와 실제 주행거리 실적(km)을 고려하는 것을 제고할 필요가 있다. 우선, 법정 사용내구연한과 실 운용 일수가 다른 결과를 나타내는 경우의 차이를 통계적으로 비교분석하고, 실제 운행시간과 거리의 이력사항을 비례하여 설계 표준값을 연장하고 단축할 수 있도록 보정계수를 도입하고, 운행하는 동안 심각하게 발생하는 환경 영향인자에 대하여도 보정계수를 적용하는 것이 타당하다고 생각된다.

3. 사용 내구연한의 연장·단축 산정

실 주행거리와 실 운용일수는 제작 안전요구사

양서에서 정한 설계값을 기준으로 연간 표준값을 정하고, 5% 이상을 벗어나는 경우 사용내구연한을 비례하여 달리 적용할 필요가 있다. 1) 환경 변화가 없는 경우(η_1), 2) 운행 환경 변화가 많은 경우(η_2)로 구분하여 연장단축을 반영하여 구하는 관계식은 다음과 같다.

$$Y_s = Y_{(L,M)}(1 + \eta_1 + \eta_2) \quad (1)$$

여기서, Y_s 는 운용 사용내구연한, Y_L 은 법정연한(Y_M 제작사양서)이고 η_1 은 운행거리 및 시간 보정계수, η_2 는 운용환경 변화 보정계수이다.

Table 3 는 정상 운행한 차량의 운행 일수 및 거리의 실적에 의하여 보정계수를 산정하도록 하였으며, 표준값 차이를 백분율로 계산하였다.

Table 3 Ratio η_1 of correlation in the static operation

Parameters(± 5% above)		η_1
Latio of Dist.(D)	Latio of Days(d)	
$\frac{L_a - L_s}{L_s}$	$\frac{T_a - T_s}{T_s}$	$D+d$
33.3%(20×10^4 km/year, PC: 15×10^4 km/year)	-17.8%(300d/year, PC: 250d/year)	-15.5

운용 환경의 변화가 과다한 차량의 경우에는 다양한 파라미터가 있지만, 하중조건(사람, 화물, 변형), 유지보수(방청, 캠버상태), 운전조건(속도, 노선, 전식), 자연환경(온도, 습도, 부식)에 대하여 설계조건보다 여유가 있거나 과다하다고 판단되는 항목에 대하여는 증가비와 감소비의 최대조건 범위를 설정하여 Table 4 와 같이 적용하도록 제시하였다.

Table 4 Ratio η_2 of correlation in environment of operation

Division	Parameters		η_2
	Decrease(-)	Increase(+)	
Loaded(a_1)	$-30 \leq$ (Below)	$30 \geq$ (Over)	$\sum_{a_1}^{a_n}$
Maintenance(a_2)	$-10 \leq$ (Good)	$10 \geq$ (Bad)	
Operation(a_3)	$-10 \leq$ (Good)	$10 \geq$ (Bad)	
Nature Envi. (a_4)	$-10 \leq$ (Good)	$10 \geq$ (Bad)	

철도차량을 운행한 실적을 통한 일정 기간을 경과한 상태의 사용수명을 파악하기 위하여는 구체(차체 및 대차 프레임)의 피로수명을 실물로 평

가해야 하지만 이는 차량의 훼손을 의미하므로 실행이 어려움이 있다. 따라서 외관의 변형이 심하게 나타난 영구변형에 대하여 판단하거나 부식과 균열등을 비파괴 검사를 통하여 판단의 근거를 마련하는 것이 필요하다.

이러한 기법은 수명을 연장하거나 단축하는 두 가지 경우로 나누어 생각할 수 있으며, 단축의 경우는 가혹조건을 벗어난 경우로서 정밀진단을 시행할 필요가 없는 것으로 판단할 수 있으며, 초기 설계 및 제작사양의 목표를 벗어난 경우이므로 초기에 폐기하도록 한다. 사용 내구연한의 연장을 고려하는 경우는 충분한 기술적 방법의 진단을 통하여 노후 상태와 잔존수명을 분석하는 구체적 시험결과를 통하여 철도차량의 안전성을 판정하도록 한다.

4. 결론

철도차량의 안전한 사용 내구연한은 대량의 승객을 수송하는 수단으로서 안전성이 보장되어야 한다. 차량의 종류에 따라 25~30 년이거나 제작사양서에서 제시한 사용 내구연한을 법정 사용 내구연한으로 정하고 있으며, 사용 내구연한이 도래한 경우에 정밀진단하여 상태가 양호 경우에 연장하여 사용하도록 허용하고 있다.

본 연구는 철도차량의 사용 내구연한에 대한 최적화 적용 기법으로 법정 사용 내구연한이 실제 운행일수와 주행거리에 의한 차이가 많이 발생하고 있는 것에 대하여 연장과 단축에 필요한 표준 내구연한을 설정하도록 하고 실제 운행일수와 주행거리에 의한 보정계수를 산정하는 관계식을 제시하였다. 운용환경 변화에 대하여 하중, 유지보수, 운전, 자연환경인자 증감을 고려한 보정계수를 도입하는 방안을 제안하였다.

후기

본 연구는 국토해양부의 철도종합안전기술개발사업 및 용역과제지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 철도안전법 시행규칙(일부개정 2009.6.25 부령 제143호), 국토해양부
2. UIC515-4. "Passenger Rolling Stock Trailer Bogies - Running Gear Bogie Frame Structure Strength Test 1," 2003