

입환기관차의 LCC 평가분석

Life-Cost-Cycle Evaluation Analysis of the Shunting Locomotive

정종덕*
Chung, Jong-Duk

김정국**
Kim, Jeong-Guk

편장식***
Pyun, Jang-Sik

김필환****
Kim, Pil-Hwan

ABSTRACT

The deterioration of a shunting locomotive was characterized for the lifetime assessment. The locomotive has been used for shunting works in steel making processes, and in this investigation, various types of technical evaluation methods for the locomotive parts were employed to assess the current deterioration status and to provide important clue for lifetime prediction. Unlike other rolling stocks in railway applications, the diesel shunting locomotive is composed of major components such as diesel engine, transmission, gear box, brake system, electronic devices, etc., which cover more than 70 percent of the total price of the locomotive. Therefore, in this paper, each part of major components in the diesel locomotive was analyzed in terms of the degree of deterioration.

The life-cycle-cost (LCC) analysis was performed based on the maintenance and repair history as compared with economical cost to provide the cost-effective prediction, i.e., to assess either repair for reuse or putting the locomotive out of service based on cost-effective calculation.

1. 서론

노후된 철도차량에 대하여 계속 사용할 경우 안전에 큰 문제가 발생할 수 있으므로 차량에 대한 잔존수명평가를 실시하여 차량을 연장사용하기 위해 보수를 실시할 것인지 또는 신차로 교체를 할 것인지를 결정하여야 한다. 이렇게 노후화된 차량의 잔존수명을 결정하는데 차량의 안전성 측면에서는 차체 및 대차 등의 주요 골조에 대한 안전이 직접적인 영향을 미치게 되고, 경제성 측면에서는 차량의 노후화로 인한 부품의 수선이나 소모품의 교체가 잦아짐에 따라 유지보수비용이 증가하므로 이러한 유지보수비용에 지배적인 비중을 차지하는 항목들이 경제적 측면의 고려대상이 된다.

사용내구연한 연장에 대하여 해외사례를 비추어 판단할 때 내구사용 연장을 위해서는 차량구멍가의 1/3 수준을 투입하여 내구연한의 1/3 정도 연장하는 것이 경제성이 있다고 본다. 최근 일본에서는 차량의 Life-Cycle을 고려한 잔수명 차량의 개념을 도입하여 중간보수 및 점검 없이 13년을 사용하고 보수공사를 위해 정비장에 입고되었을 때 폐기를 시킬 것인지, 연장 사용을 위한 보수를 할 것인지를 결정할 수 있도록 추진하고 있다. 이는 수명연장에 따른 부품의 단종에 대한 두려움과 기술발전이 따른 유지보수의 최소화, 운영비 절감 등을 전혀 기대할 수 없기 때문에 차량입찰시점부터 LCC를 요구하고 있다.

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

**** (주)도텍, 비회원

신규로 투입되는 차량은 안전성 강화와 수송능력 향상이 되므로서 차량 초기 구입비용 증가가 불가피할 것으로 예상된다. 그러나 신뢰성 있고 고장정비가 용이한 신규 부품의 도입, 효율적인 정비체계 및 고효율장치를 적용함으로써 운영비를 절감할 수 있다.

차량 구입은 단순히 초기 구입비용만으로 결정되어지는 요소가 아니고 초기 구입비용 및 차량 수명 기간 동안의 운영비용 전체를 고려하여 결정되어야 하며, 이러한 비용 추정을 목적으로 차량 수명주기 비용(LCC, Life Cycle Cost)이 적용된다.

철도차량의 LCC는 입찰단계에서는 제안된 차량의 경제성을 평가하는 도구로, 설계단계에서는 비용 효율적인 대안 설계를 위한 도구로 활용되고 있으며 운영처에서는 이를 기반으로 유지보수 체계를 갖추어 업무 효율을 높이는데 적용되고 있다.

본 논문에서는 입환기관차의 구입과 유지, 보수에 대한 LCC 분석을 하여 차량 노후화에 따른 신규 도입과 수리 후 재 사용시 예상되는 비용을 검토하고 운영처 입장에서 비용에 대한 효율적인 적용 방안을 제시하고자 한다.

2. 철도차량 수명 주기 비용(LCC) 기본 개념

철도차량 LCC와 상호 연계되는 분야는 신뢰성(Reliability), 정비성(Maintainability), 비용분석(Cost Analysis), 정비(Maintenance), 정비 도구·장비 최적화, 예비품 수량 최적화이다.

철도차량 LCC의 구성요소는 차량구입가격, 정비비용, 운영비용, 기타 비용 등으로 구분되며, 상세 내용은 도표 1과 같다. LCC 검토에는 연간 인플레이션과 금리차이를 고려하여 순현재가(NPV, Net Present Value)를 적용한다. 미래에 발생할 현금흐름(Cash flow)을 현재의 시점에서 평가한 가치를 말하며, 현재(現價)로 줄여서 부르기도 한다. 이러한 목적으로 널리 사용되는 개념은 순현재가로서, 이는 미래에 투입되는 예상비용을 현재의 시점에서 평가한 가치를 뜻한다.

도표 1. LCC 구성 요소 상세 내역

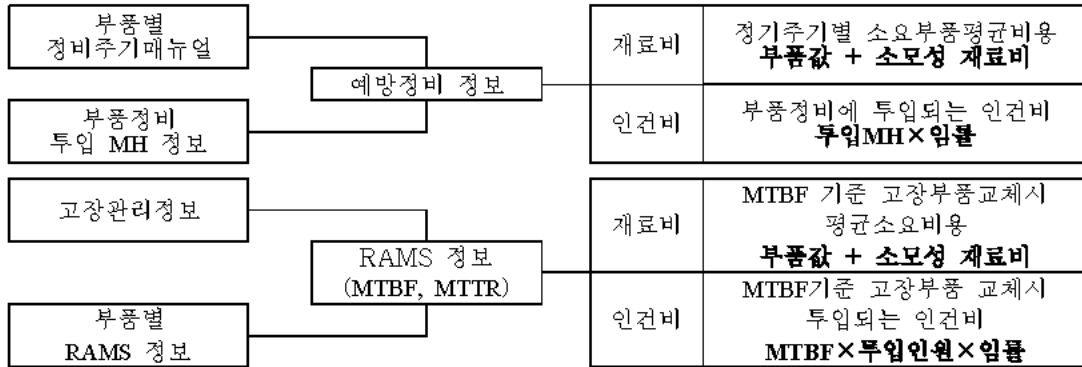
| 구성요소 | | 항목 | 재료비 | 인건비 |
|-----------|------|-------------------------|-----|-----|
| 차량구입가격(A) | | 차량가격, 부품 검사장비 등 비용 | ○ | |
| 차량정비비용(B) | 예방정비 | 일상/월상 및 중수선 등 정비 비용 | ○ | ○ |
| | 수리정비 | 운영중 발생하는 고장 수리 비용 | ○ | ○ |
| | 수명교체 | 부품수명 도래시 신규부품 교체비용 | ○ | ○ |
| 운영비(C) | 전력비 | 차량 운행시 예상되는 전력소모비용 | | |
| | 보선비 | 궤도/선로 보수유지비 부담비용 | ○ | ○ |
| 기타 비용(D) | 세척청소 | 차량 입출고시 시행하는 차량 세척 및 청소 | ○ | ○ |
| | 기지운영 | 기지 소요 인원/임대장비/설비 운영 비용 | | ○ |

차량의 LCC는 차량 수명 기간 동안 예상되는 각 구성요소 비용의 합이며 다음 식으로 표현된다.

$$LCC = \text{차량구입가격(A)} + \text{차량정비비용(B)} + \text{운영비(C)} + \text{기타비용(D)}$$

여기서 차량정비는 예방정비와 수리정비로 구분되는데 예방정비는 차량의 성능 및 기능을 유지하기 위하여 시행되는 정비로서 주기적으로 발생하는 비용이므로 일반적으로 차량의 고장수리에 기인하는 수리정비 비용보다 차량 LCC에 미치는 영향이 크다. LCC에서 예방정비 비용은 도표 2와 같이 구성된다.

도표 2. LCC 예방정비 비용



범례 : RAMS(Reliability, Availability, Maintainability and Safety)
 평균고장간격(Mean Time Between Failure : MTBF)
 평균수리간격(Mean Time To Repair : MTTR)

3. 입환기관차 LCC 분석

3.1 개요

차량 LCC는 초기 차량 구입가와 더불어 차량 수명기간 동안 차량의 예방정비 및 고장정비를 수행하는데 소요되는 비용을 계산하여 사용기간 동안의 비용을 효율적으로 적용하는데 활용목적이 있다.

3.2 LCC 평가기준 및 방법

LCC 계산에 적용된 기준과 내용은 도표 3과 같다. 적용 data는 설계자료, 검토자료(차량운영자료) 및 철도차량 부품 수명에 대한 관련 자료와 정밀진단 결과를 기준으로 하였다.

도표 3. LCC 분석에 이용된 데이터

| 부품명 | 신품비용 | 예방정비(수리) | 사용내구년수 |
|--------------------------------|--------|---|----------|
| 1. 엔진 | 1.4 억원 | - 신품은 5년후, 3년마다 3회 정비 (정비비 : 0.3 억원/1회) | 만 14년 적용 |
| 2. 변속기 | 1.5 억원 | - 신품은 7년마다 1회 정비(정비비 : 0.4 억원/1회) | 만 15년 적용 |
| 3. 감속기 | 1.0 억원 | - 신품은 7년마다 1회 정비(교환비용 : 0.4 억원/1회) | 만 15년 적용 |
| 4. 차륜 | - | - 5년마다 신품으로 교환 - 교환비용 : 0.094 억원/1량 (정비비:0.0118 억원*8개=0.094 억원) | 만 5년 적용 |
| 5. 차체(외피) | - | - 도색작업 : 7년마다 차체도장 (도색비용 : 0.05 억원/1회) - 외피수리 : 차량 재사용시 차체 상판전면교체 (외피 비용 : 0.3 억원) | 만 15년 적용 |
| 6. 전자제어 | 1.0 억원 | - 신품은 4년후, 4년마다 2회 정비 (정비비 : 0.3 억원/1회) | 만 12년 적용 |
| 7. 대수리 (공기관/전선관 및 실내설비등) | 2.0 억원 | - 노후화에 따른 공기관, 전선, 부품취부용 브라켓트 등 전면적인 대수리 | 만 15년 적용 |
| 8. 기타설비 | - | - 각종 밸브류, 전기장치, 실내설비 등 (교환비용 : 0.250 억원/년, 최초) | - |

3.3 입환기관차 유지보수비 집행현황

92년 12월에 도입되어 사용 중인 입환기관차의 유지보수비 사용내역은 도표 4와 같으며 이 실적 데이터는 5년(97년부터 01년까지)동안의 유지보수비 집행현황을 정리한 것이다. 이 기간내 차량 1량당 평균 유지보수비용은 2,785만원이 집행되었음을 알 수 있다.

도표 4. 92년 도입분 입환기관차 유지보수비 현황(단위:백만원)

| 구분 | 수량 | 97년 | 98년 | 99년 | 00년 | 01년 | 누계 | 평균 |
|-----------|----|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 엔진 | 9량 | 140.00 | 140.00 | 118.37 | 140.25 | 124.00 | 662.62 | 132.52 |
| 변속기 | 9량 | 20.50 | 20.54 | 18.00 | 18.00 | 100.00 | 177.04 | 35.41 |
| 전자제어 | 9량 | 24.00 | 28.91 | 24.83 | 30.00 | 45.00 | 152.74 | 30.55 |
| 전기장치 | 9량 | 16.00 | 16.00 | 16.00 | 16.00 | 18.00 | 82.00 | 16.40 |
| 대차 및 기타장치 | 9량 | 35.00 | 43.00 | 32.00 | 28.88 | 40.00 | 178.88 | 35.78 |
| 누계 | 9량 | 235.50 | 248.45 | 209.20 | 233.13 | 327.00 | 1253.28 | 250.66 |
| | 1량 | 26.17 | 27.61 | 23.24 | 25.90 | 36.33 | 139.25 | 27.85 |
| 기계 | | 195.50 | 203.54 | 168.37 | 187.13 | 264.00 | 1018.54 | 203.71 |
| 전기 | | 40.00 | 44.91 | 40.83 | 46.00 | 63.00 | 234.74 | 46.95 |

3.4 LCC 분석

대상차량에 대한 LCC 분석은 다음 2가지 방안으로 구분하여 제시하고자한다. 각 방안에 대해 현가화(NPV, Net Present Value)적용 및 가동손실비용을 적용하여 LCC분석을 수행하였다.

▶ 제1안 : 수리사용(부품교체)

부품제작사에서 제시한 내구사용년수와 정밀진단 결과를 기초로 주요 노후 부품을 교체 후 차량 수명을 추가로 15년, 약 30년 사용하는 방안

▶ 제2안 : 신차도입

사용 14년차에서 16년차 사이의 노후차량 부품 교체를 대신하여 16년 차에 기존차를 폐기하고 신규차량을 구입, 신규 15년을 사용하는 방안

차량의 LCC 분석을 위해 NPV 적용 기준을 금리(Interest)는 5%, 물가상승률(Inflation Rate)은 4%로 가정하였고 금리와 물가상승률의 차이인 Discount Rate는 1%이다.

도표 5. 가동손실비용 계산 기준

| 구분 | 내용 |
|--------------|---|
| 수송비용 | 32대/년 : 33,299백만원 |
| | 1대당/년 : 104,058천원 |
| 년간 가동률 (%) | 필수 가동률 : 85% |
| 손실 비용 (대당/년) | 104,058천원×(필수가동률-실가동률) |
| | 예시) 104,058천원 × (85-80) 실가동률 80% 적용시 |

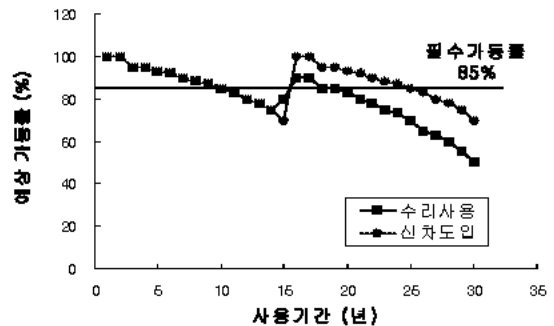


그림 1. 차량운용 30년 동안 수리사용 및 신차도입 예상 가동률

차량 운용 과정에서 예상되는 가동률은 차량 사용기간에 따라 저하가 예상되며, 수리사용과 신차도입에 따른 차량운용 30년 동안의 가동률은 기존 차량 운영가동률을 기준으로 추정한다.

수리사용의 경우, 14-15년차 주요 부품의 교체로 가동률이 일시적으로 향상되나 20년 이후 미 교체 부품 고장 등에 기인하여 신차구입 가동보다 상대적으로 낮은 가동률이 예상된다.

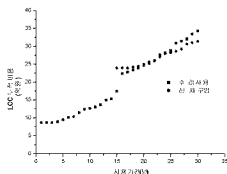
차량 가동률 저하에 따른 가동손실은 도표 5의 가동손실비용 계산 기준에 따라 필수가동률 85%를 기준으로 예상가동률이 필수가동률 미만인 경우 손실이 발생한다고 가정하고, 가동손실에 따른 가동손실비용은 해당 수송비용의 손실분으로 계산된다.

4. LCC 검토 결과

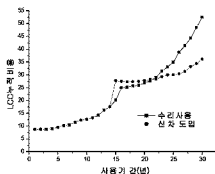
차량의 내구사용년수를 30년으로 정하여 부품 교체 후 계속(수리)사용과 신차 도입에 대한 LCC 평가를 수행하였다. 도표 6과 그림 2를 살펴보면 주요부품 교체 후 수리 사용하는 경우 LCC 누적비용 및 현재화(NPV) 비용이 신차도입차량보다 많이 발생됨을 알 수 있었다.

도표 6. LCC 누적 예상 비용(단위:억원)

| 구분 | LCC 누적비용 | | A-B |
|----------------|--------------------|-----------|--------|
| | 수리사용시 (A) | 신차도입시 (B) | |
| NPV未적용, 가동율未적용 | | | |
| | 34.275 | 31.488 | 2.787 |
| | 31.439 | 28.607 | 2.832 |
| (1) NPV 적용 | Discount Rate : 1% | 28.992 | 2.815 |
| | Discount Rate : 2% | 26.876 | 2.782 |
| (2) 가동손실 비용未적용 | Discount Rate : 3% | 25.044 | 2.736 |
| | Discount Rate : 4% | 23.453 | 2.680 |
| | Discount Rate : 5% | 22.308 | 2.680 |
| (1) NPV 적용 | Discount Rate : 1% | 52.461 | 16.395 |
| | 필수가동률 : 85% 기준 | | |
| (2) 가동손실 비용 적용 | Discount Rate : 2% | 49.067 | 16.002 |
| | 필수가동률 : 85% 기준 | | |



(a) NPV 및 가동손실비용 미적용시



(b) NPV (Discount Rate : 1%) 및 가동손실비용 적용시

그림 2. 신차도입과 수리사용(부품교체)의 사용기간내 LCC 누적 예상 비용

그림 3은 신차도입과 수리사용의 사용기간내 LCC 연간 투입 예상 비용으로 기존 입환기관차를 수리하여 계속 사용하는 경우에는 엔진계통, 변속기, 제어장치, 제동장치 및 차체의 외피 등의 노후화에 따른 성능저하, 안전성 문제를 고려하여 대략 15년을 기점으로 2년 동안 전면적인 교체가 요구된다. 특히, 이 시점에서 차량가격의 약 70% 이상이 보수비용으로 투입됨에 따라 차량을 교체하여 사용하는 것이 바람직하다.

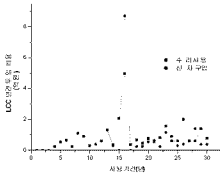


그림 3. 신차도입과 수리사용의 사용기간내 LCC 연간 투입 예상 비용

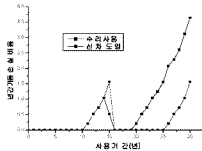


그림 4. 신차도입과 수리사용의 사용기간내 가동손실예상비용

그림 4는 신차도입과 수리사용의 사용시 기간내 가동손실예상비용으로 차량 운영시 예상되는 가동률 저하에 따른 30년 가동 손실 비용은 필수가동률 85%를 기준으로 예상비용을 산출한 결과 수리 사용의 경우, 신차 도입에 비해 약 16억원이 더 소요되는 것으로 계산되었다.

LCC 검토결과, 수리 사용시, LCC 누적비용 및 순현재가치(NPV) 비용이 신차도입보다 많아 경제적이지 못하고, 또한, 교체품 외 일부 부품의 노후화 등으로 고장 및 차량 가동률 저하가 지속적으로 예상되는 반면, 신규 구입시 고장 감소로 차량의 가동률이 높다는 점을 고려한다면 신규 차량 도입이 비용 효율 측면과 운용 측면에서 최적의 대안이라 판단된다.

5. 결론

기존차량 노후화된 주요 부품들만 교환하여 더 사용하는 방안을 검토해 본 결과 15년을 기점으로 차량가격의 약 70%이상의 보수비용이 발생됨에 따라 경제성이 없는 것으로 판단된다.

이상에서와 같이 차량의 내구년한 설정은 차량 도입단계에서부터 LCC를 고려하여 차량 발주가 되어야 하겠고, 차량제작사는 각 부품에 대한 신뢰성 있는 자료제시와 비용을 산출하여 운영처에 제시하여야 하며, 운영처는 이를 토대로 계약이 이루어져 이에 대한 유지보수체계를 갖추는 것이 차량의 내구수명은 결정하는데 무엇보다 중요하다고 하겠다. 운영처가 유지보수 체계를 갖 갖추면 운행 중 일어날 수 있는 사고를 미연에 방지할 수 있으며, 조업능력 향상과 경영효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.