

도시철도차량의 수명주기비용에 대한 고찰

김재문*, 정광우*, 김철수*, 안승호*, 진영석*, 정종덕**

*한국철도대학, **철도기술연구원

Investigation on the Life Cycle Cost of Urban Electric Railway Vehicles

J.M. Kim*, K.W. Chung*, C.S. Kim*, S.H. Ahn*, Y.S. Jeon*, and J.D. Jung**

*Korea National Railroad College, **Korea Railway Research Institute

Abstract - 철도시스템은 철도차량을 비롯한 다양한 시스템이 유기적으로 결합된 산업으로 제한된 물질, 인적 자원을 투입하여 요구하는 성능 및 서비스를 달성하기 위한 총비용을 경감하기 위한 문제에 늘 직면해 있다. 본 논문에서는 전동차 도입 및 유지 보수에 따른 합리적으로 평가할 수 있는 전동차 수명주기비용(LCC; Life Cycle Cost)에 대한 기초연구 측면에서 고찰해 보았다.

기관차에 대한 LCC분석을 토대로 경제성 분석을, 전현규[4] 등은 자기부상열차에 대한 LCC 모델 개발을 위한 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 전동차 도입 및 유지 보수에 따른 발생하는 비용 유발요인의 선정 및 측정을 합리적으로 평가할 수 있는 전동차 수명주기비용(LCC) 평가기준(안)을 마련하기 위한 기초연구 측면에서 고찰해 보았다.

1. 서 론

시스템 수명주기(Life Cycle)는 초기의 개념부터 폐기 처분까지 시스템의 전체 수명 주기를 포함하고, 각 업무를 포함하는 일련의 단계를 의미한다. 따라서 수명 주기는 각 단계를 통해 RAMS를 포함한 시스템의 모든 측면을 계획, 관리, 제어 및 감시하는 구조를 제공한다. 이러한 의미에서, 철도차량 분야의 수명주기비용(LCC)은 1986년 Adtranz사와 SJ(Swedish State Railway)간에 이루어진 스위스 고속철도 X2000계약이후 지속적인 관심을 보이고 있으며, 유럽에서는 철도관련 회원사들이 유럽 전역을 하나의 시장으로 구축하려는 노력하에 UNIFE (Union of European Railway Industries)가 결성된 이후 활발한 연구가 이루어지고 있다[1-4].

UNIFE-LCC 그룹에서는 LCC 요구사항에 대한 수명주기비용을 계산하기 위한 모델을 개발하고 이를 Excel로 프로그램화(UNILIFE, UNIDATA)하여 배포하고 있으며 EU에서는 이를 기준으로 수명주기비용을 계산 및 평가하고 있다. 따라서 철도 시스템의 정확한 수명주기 모델 수립 및 예측을 통한 자원의 효율적 분배에 관심을 갖게 되었으며, 차량 도입 등 초기의 취득 비용뿐만 아니라 이를 유지하기 위한 비용에도 많은 관심을 갖게 되었다. UNIFE의 LCC인 경우, 투자비(Investment Cost), 운영비(Yearly Cost) 및 유지보수비(Life Support Cost : LSC)의 합으로 계산한다.

한편 수명주기평가(LCC) 관련 연구동향을 살펴보면 철도선진국에서는 철도차량의 주요 계약조건의 항목으로 명시될 정도로, IEC 60300-3-3, SAE ARP 4293, NASA 등의 규격과 UNIFE 등과 같은 워킹 그룹을 결성하고 이를 기반으로 다양한 연구 활동이 수행되고 있다. 반면 국내에서는 아직까지 발주사양에 LCC 요구조건이 포함되거나 체계적으로 세부적인 항목에 대한 LCC 연구가 체계적으로 이루어 지지 않는 실정이다. 자기부상열차, 입환기관차 등에 대한 연구가 수행되었지만, 해외에 비하여 상대적으로 전동차에 대한 LCC 도입 및 연구가 활발하게 이루어지지 않고 있는 실정이다. 박종목[2] 등은 국의 전동차 수명주기비용 연구동향 및 국제 규격에 대응하기 위한 전략을 제시하였으며, 정종덕[3] 등은 입환

2. 본 론

2.1 수명주기비용(LCC) 분석

수명주기비용(LCC)은 예상되는 사용주기 동안의 주요한 시스템의 설계에서부터 마지막 처분으로 발생할 수 있는 총비용의 추정값을 의미한다. 따라서 LCC 분석의 목적은 여러 가지 대안들 중에 가장 효과적인 비용접근법을 선택하여 저렴한 장기 비용 지출 계획의 수립을 성취하는 것이다. 즉, LCC 분석은 초기 도입비가 아닌 사업의 총비용에 따른 장비와 일련의 공정 선택을 정당화 시키는데, 이것은 운영비용, 유지비용, 처분비용 등이 보통 초기 도입비용의 몇 배나 초과한다는 것에 기반을 두고 있다.

IEC 60300-3-3 규격에 따르면 시스템의 신인성(Independability)과 연관된 비용을 강조하고 있는데, 원가계산을 통해 다음과 같이 사용된다.

- 1) 제품의 취득, 소유, 처분의 전체 비용을 포함한 경제적 분석
- 2) 명시된 성능, 안전성, 신뢰성, 보전성, 그리고 기타 다른 요구를 만족하는 동시에 시스템의 수명비용을 평가 혹은 최적화
- 3) 시스템 수명주기의 모든 단계(특히 초기단계)내에서 의사결정을 하기 위한 정보 제공
- 4) 종합물류지원분석(integrated logistic support analysis)의 자료제공

한편 KS A IEC 60300-2의 정의로서 임의의 시스템에 대해 a) 개념 및 정의; b) 디자인 및 개발; c) 제조; d) 설치; e) 작동 및 보전; f) 처분 등 크게 수명주기 6단계가 있다. 6가지 단계 동안 발생한 총 비용은 크게 취득비용과 소유비용, 처분비용으로 나뉘며, 다음과 같이 정의된다.

$$LCC = Cost_{취득} + Cost_{소유} + Cost_{처분} \quad (1)$$

여기서, 취득비용은 일반적으로 가시적이며, 취득결정 전에 평가가 가능하고 소유비용은 LCC의 주요 요소로

비용 예측이 매우 어려워 의사결정과정에서 불확실성 및 위험을 초래하게 된다. 일반적으로 소유비용이 시스템 사용자(소비자)의 주요 관심사이긴 하지만, 보증 형태의 조항이나 기타 계약상의 조정을 통하여 점차 공급자의 관심 사항이 되기도 한다. 마지막으로 폐기비용은 전체 LCC의 중요한 부분을 차지한다. 표 1은 일반적인 LCC 분류를 보여준다.

표 1. 일반적인 LCC 분류

| | |
|------------------|--|
| Investment Cost | - 차량 구입비용 - 특수 정비공구 및 시설 구입비용 - 예비부품 및 교체 부품 비용 - 기관사 및 정비 요원 교육비용 - 문서관리 비용 |
| Maintenance Cost | - 예방보전(예방정비) - 개량보전(고장정비) |
| Operating Cost | - 전기료 혹은 자연연료 비용 - 철도 사용비용 - 운영요원 인건비 |
| End of Life Cost | - 폐기처분 비용 |

신인성과 관련된 비용은 유지보수 비용을 포함한 시스템 회복비용, 예방 유지보수 비용, 결과적인(부수적인) 비용 있는데 그림 1에서 보듯이 시스템의 가용성 성능과 수명주기비용에 관련된 최적화가 필요하다. 일반적으로 신뢰성이 증가하게 되면 획득비용은 증가하지만 보전성과 보전지원성 비용은 감소한다.

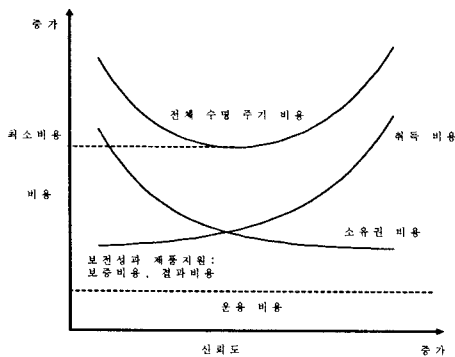


그림 1. 신뢰성과 LCC간의 단순화된 관계

LCC는 신뢰성 향상으로 인한 취득 비용의 증가가 보전 및 유지비용, 부수적인 비용이 만나는 지점, 즉 총 LCC가 최소일 때의 특정 시점에서 최저의 수명주기 비용에 해당하는 최적의 제품 신뢰성을 얻을 수 있다.

2.2 수명주기비용(LCC) 분석 방법

LCC에 대한 정보는 여러 해에 걸쳐 분포되어 있는 실질 비용과 예측 비용을 포함하는데, 비용예측 관계(Cost Estimating Relations ; CERs)는 LCC 분석 구조의 각각의 요소들과 관련된 비용을 예측하는데 사용된다. 일반적으로 CER을 개발하거나 예측하는 방법에는 다음과 같이 세 가지 기본 방법이 있다.

■ 기술 비용 방법(Engineering Cost Method)

시스템의 구성과 구성, 부품과 부품을 조사하여 특정 비용 요소에 대한 직접적인 예측을 의미한다. 현재의 공

학기술과 제조 공정과 같은 표준화로 설정된 비용요소는 각 요소의 비용과 다른 요소와의 관계를 개발하는데 사용될 수 있다.

■ 분석 비용 방법(Analog Cost Method)

기존의 유사한 시스템이나 기술의 경험을 기반으로 한 비용 예측을 의미한다. 신인성 정보 시스템으로부터의 수평적 데이터를 이용하여 기술 진보의 효과와 비용 할증을 반영하기 위해 갱신된다.

■ 모수적 비용 방법(Parametric Cost Method)

일반적으로 수식의 형태로 CERs를 개발하기 위한 중요한 모수나 변수를 사용한다. CERs에서 매개 변수는 유닛의 한 시스템에서 다른 시스템으로 변환 요인을 반영한다. 이것은 가격이나 경험적으로 유도된 비율일 수 있는데, 일반적으로 모수적 비용 방법에 대한 변수는 시간을 초과한 자원 소비로서 비용이 발생한다. CER의 수식은 비용이 얼마나 발생되었느냐에 대한 분석적 평가가 반영되어 상세한 이론적 또는 분석적 관련성을 개발할 수 없을 때 회귀 분석을 이용하여 사용되기도 한다.

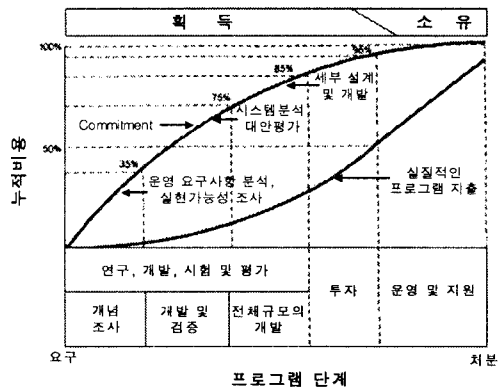


그림 2. LCC에서 프로그램 결정 단계의 영향

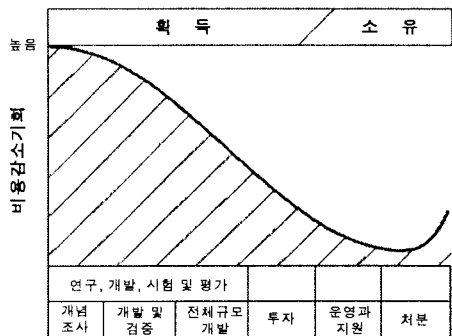


그림 3. 수명주기비용(LCC) 감소 기회

한편 LCC에서 비용하고 지출 시기와 분포는 프로그램에 따라 다양하다. 그림 2는 전형적인 프로그램의 지급계약(commitment)과 지출 프로파일을 보여준다. 시간이 경과하고 결정이 실행될수록, 대안 접근법에 대한 선택범위가 점진적으로 작아진다. 그림 2에서 보듯이 LCC의 15% 정도가 소비되었음에도 불구하고, 약 75%의 설계 결정은 반복이 불가능할 수도 있으며, O&S 단계(운영 및 지원)에 가장 큰 영향력을 가지고 있음을 알 수 있다.

수명주기비용(LCC) 감소 기회의 의미는 그림 3에 나타내었다. 수명주기에 대한 비용을 감소시킬 수 있는 기회

가 시스템에 대한 소유시점보다 획득되는 시점에서 매우 높게 나타나고 있고, 특히 시스템에 대한 개념 및 개발 등 초기에 상대적 기회가 많음을 알 수 있다. 이러한 감소 비용에 대한 기회요소는 시스템에 대한 의사 결정 과정에 있어 매우 큰 영향력을 가짐을 의미한다.

2.3 도시철도차량에서의 비용 요소분류 체계

도시철도차량의 LCC를 구현하는데 있어 비용 구조는 LCC 일람표 안에 할당된 비용 요소의 목록을 통해 일목요연하게 알 수 있으며, 이를 “비용 요소 분류 체계, 비용 요소 세부내역 구조”라고 불린다. 이 체계는 고객과 장비 공급자 사이의 LCC 정보의 정확한 의사소통을 보장하며, 그리고 합작 투자에 사용될 때 LCC 정보의 정확한 의사소통을 보장한다. 그림 4는 철도차량에 대한 세부내역 구조를 보여주고 있고, 표 2는 철도차량 세부내역 구조에 따른 수명주기비용 종합의 일례를 보여주는 데, 차체(Car Body)와 추진장치(Propulsion)이 중요 부분을 차지함을 알 수 있다.

비용의 영향이 일관성이 있어야 하는데, 비용 조정(Drive Cost)와 조정된 비용(Driven Cost)사이의 구분은 민감도 분석들을 수행할 때 식별하는 측면에서 중요하다. 그리고 비용은 재정 지표를 사용한 일반적인 기본도로 정규화 되어야 한다.

3. 결 론

본 논문은 전동차 도입 및 유지 보수에 따른 발생하는 비용 유발요인의 선정 및 측정을 합리적으로 평가할 수 있는 전동차 수명주기비용(LCC) 평가기준(안)을 마련하기 위한 기초연구 측면에서 비용분석 및 방법, 비용 요소분류 체계를 고찰해 보았다. 이를 통해 향후 예산 예측으로 유지보수의 효율성을 극대화할 수 있는 총소유비용을 경감하는 방안을 제시할 수 있다.

후 기

본 연구는 “도시철도표준화 2단계 연구개발사업”의 일환으로 국토해양부의 연구지원으로 수행되었습니다.

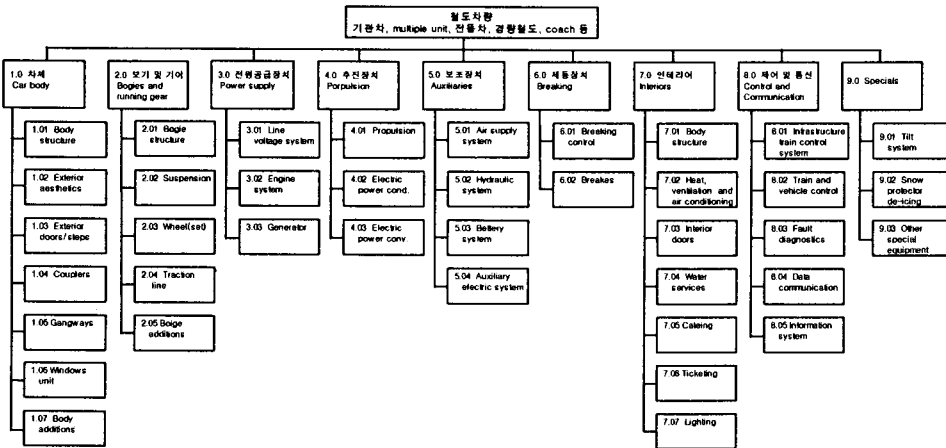


그림 4. 철도차량 시스템의 세부내역 구조 예
표 2. 철도차량 세부내역 구조에 따른 수명주기비용 종합

| 시스템 명세 | 획득 비용 | 예방보전 노동 | 예방보전 재료 | 예방보전 전체 | 고장보전 노동 | 고장보전 재료 | 고장보전 전체 | 전체 LCC | LCC 비율(%) |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| car body | 51,781 | 5,471 | 24,716 | 30,187 | 208 | 4,587 | 4,795 | 86,763 | 73 |
| Boiges and running gear | 5,820 | 25 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | 5,845 | 5 |
| Power supply | 5,811 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5,814 | 5 |
| propulsion | 3,399 | 2,118 | 2,974 | 5,092 | 54 | 595 | 649 | 9,140 | 8 |
| Auxiliaries | 1,975 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 13 | 1,988 | 2 |
| Breaking | 487 | 56 | 438 | 494 | 0 | 0 | 0 | 981 | 1 |
| Interiors | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Control and communication | 7,151 | 361 | 412 | 773 | 3 | 7 | 10 | 7,934 | 7 |
| Totals | 76,424 | 8,034 | 28,540 | 36,574 | 265 | 5,202 | 5,467 | 118,465 | 100 |

비고 모든 비용의 단위는 CU

한편 LCC 요소 구조는 일반적인 작업 분류 구조(WBS)와 같지 않다. 비록 몇 가지 요소가 공통된다 할 지라도 두 체계 모두 다른 프로그램의 요구들을 수행한다. WBS는 모든 주요 작업과 지원 작업 패키지를 감당하는 하드웨어, 서비스, 그리고 데이터의 상세한 분류로 구성되어 있어 주어진 작업 프로그램을 달성하기 위하여 수행된다. 반면 LCC 요소 구조는 프로그램의 전체 수명주기의 중요단계 동안에 발생된 비용의 세부내역을 나타낸다. 요소 상세 세부내역의 수준은 선택된 결정과 최종

[참 고 문 헌]

- [1] 정광우 외 5인, “전동차 수명주기비용 평가기준 기초연구”, 중간보고서, 2008
- [2] 박종욱 외 2인, “전동차 수명주기 비용에 대한 고찰”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, PP.396-407,2002
- [3] 정종덕, 배대성, “입환기관차의 LCC 평가분석”, 한국철도학회 논문집, Vol.8 No. 3, pp.260-266.
- [4] 전현규 외 3인 “자기부상열차 수명주기비용모델 개발을 위한 기초연구”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.735-742, 2007