

도시철도차량의 수명주기비용 분석의 적용에 대한 고찰

A Study on the Application of Life Cycle Cost Analysis for the Urban Transit Vehicle

정광우* 김철수* 안승호* 전영석* 김재문* 한석윤**
Chung, Kwang-Woo Kim, Chul-Su Ahn, Seung-Ho Jeon, Young-Seok Kim, Jae-Moon Han, Seok-Youn

ABSTRACT

This paper is concerned with the life-cycle cost(LCC) analysis of the urban transit vehicle. LCC is the core part of analyzing the total cost of acquisition and ownership of a system. LCC in railway industry has been focused on the prediction of investment for railway vehicles.

Therefore, to investigate future cost for operation and maintenance in detail, it is necessary to evaluate the LCC of the vehicle systematically.

This study is focused on making a fundamental model for estimating the LCC of the urban transit vehicle. To develop a appropriate LCC model, we broadly analyzed specs and standards and compared the LCC model developed in other country. Moreover, this paper proposes strategies to develop an unique LCC model for the urban transit vehicle.

1. 서 론

도시철도시스템은 차량, 신호통신, 전력, 선로 등이 상호 유기적으로 결합된 대형 복합시스템의 특징을 갖고 있으며, 도시철도시스템 획득비용(15~20%)보다 운영 및 유지보수에서 폐기까지의 총소유비용(75~80%)이 훨씬 큰 특징을 가지고 있다[1]. 철도운영자 입장에서는 시스템의 신뢰성을 향상하고 안전한 운영을 보장하며 사용 가능한 수명기간 동안 손쉽게 유지 보수할 수 있는 철도 시스템을 요구한다. 이러한 철도 시스템의 비용 지출 특징과 운영자의 요구를 만족하기 위해서는 철도시스템의 수명주기 측면에서 시스템을 평가하고 최적의 운영 및 유지보수 대안을 선택할 수 있는 수명주기비용(LCC, Life Cycle Cost) 분석이 필수적으로 요구된다.

LCC 분석의 기본 목적은 명시된 성능, 안전성, 신뢰성, 유지보수성, 그리고 기타 다른 요구를 만족하는 동시에 철도 시스템의 획득과 소유의 총비용을 평가하거나 최적화하기 위한 경제적 분석 절차를 제공하는 것이다. 또 다른 목적은 제품 수명주기의 모든 단계 내에서 의사결정을 하기 위한 대안 평가 및 비교, 트레이드오프(trade-off) 분석을 위한 정보를 제공하는 것이다.[2]

과거 철도분야의 LCC 분석은 주로 열차 투자, 즉 차량 도입을 위해 사용되었지만, 오늘날은 TRS(Total Railway System)와 같은 턴키 시스템으로 변화되고 있어 차량을 위해서뿐만 아니라 전체 철도 시스템을 위한 LCC 분석을 요구하고 있다. 또한 BOT(Build Operation Transfer) 프로젝트에서는 철도투자단계뿐만 아니라 철도 운영 단계까지를 포함한 수명주기비용 분석을 요구하고 있다.

* 한국철도대학, 운전기전과 교수, 정회원

E-mail : ckw1201@hanmail.net

TEL : (031)460-4278 FAX : (031)462-1531

** 한국철도기술연구원, 책임연구원

국내의 철도운영 환경도 차량제작사는 차량공급만을 책임지고 철도운영기관이 운영 및 유지보수를 책임지던 과거와는 달리 철도 운영기관에서는 운영만을 담당하고 차량제작 및 유지보수작업은 차량제작사에서 담당하는 체계로 유지보수 체계가 이원화되는 현상이 가속화되고 있으며, 이에 따라 철도운영기관 뿐만 아니라 제작사 입장에서 철도 시스템의 전체 수명주기 동안에 정확한 수명주기비용의 예측이 필수적으로 요구되고 있다. 이를 위해 신뢰성(reliability), 가용성(availability), 유지보수성(maintainability) 및 안전성(safety)을 기반으로 한 철도시스템의 최적화는 운영기관뿐만 아니라 차량제작사의 공동의 목표이며, 모든 관련 당사자가 개방된 마인드를 갖고 서로 협력하여야만 이를 수 있다. 이를 위해 유럽에서는 IEC 60300-3-3 규격을 제정하고 있으며, 유럽철도산업연합(UNIFE, Union of European Railway Industries)는 철도산업의 협력을 위해 유럽의 철도산업 관련기관 및 기업을 중심으로 UNIFE-LCC 워킹 그룹을 결성하여 철도산업 내에서 LCC 관련 연구 활동을 수행하고 있다[3]. 미국에서는 SAE ARP 4293, 4294 규격[4]과 NASA 규격[5] 등을 제정하고 제품 개발 초기부터 LCC 분석을 요구하고 있다.

국내의 경우에는 상대적으로 LCC에 관련된 연구가 산발적으로 이루어지고 있으며, 또한 국내 발주 사양서에 LCC 요구조건이 포함된 바 없다. 박[6]등은 국외 전동차 수명주기비용 연구동향 및 국제 규격에 대응하기 위한 전략을 제시하였으며, 정[7]등은 입환 기관차에 대한 LCC 분석을 통하여 기존 기관차의 대체 또는 수명연장을 결정하기 위한 경제성 분석을 수행하였고, 전[1]등은 자기부상열차에 대한 LCC 모델 개발을 위한 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 국내외 LCC관련 국제 규격의 현황 및 LCC 분석 방법들에 대한 조사를 기반으로, 이를 국내 도시철도차량의 수명주기비용 분석에 적합한 LCC 모델을 개발하고, 이에 필요한 제품세부구조(PBS, product breakdown structure)와 비용세부구조(CBS, cost breakdown structure)등을 정의하였다.

본 연구의 목적은 향후 국내 도시철도차량의 LCC 규격(안)을 제정하는데 필요한 기초연구를 수행하는 것이다.

2. 수명주기비용

수명주기비용은 제품개발, 제조, 운영 및 유지보수, 폐기에 이르기까지에 소요되는 모든 비용을 의미하며 이를 위해서는 RAMS을 기반으로 한 종합적인 해석이 수반되어야 하며, 이를 통하여 여러 가지 대안에 대한 평가 및 비교, 의사결정 지원을 목적으로 하고 있다.

표1. RAMS/LCC 관련 국내외 주요 표준 및 지침

| 규격 | 제목 | 내용 |
|--|--|------|
| KS C IEC 60300-3-2 IEC 60300-3-2 (2004) | Dependability management-Part 3: Application guide -Section 2 :Collection of dependability data from the field | RAMS |
| KS C IEC 60300-1 IEC 60300-1 (2003) | Dependability management-Part 1: Dependability management systems | RAMS |
| KS C IEC 62278 IEC 62278 (2002) | Railway applications-Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) | RAMS |
| KS C IEC 60300-3-3 IEC 60300-3-3 (1996) | Dependability management-Part 3: Application guide -Section 3 : Life Cycle Costing | LCC |
| SAE ARP 4293 (1992) | Life Cycle Cost - Techniques and Applications | LCC |
| SAE ARP 4294 (1992) | Data Formats and Practices for Life Cycle Cost Information | LCC |
| UNIFE (1997) | Guidelines for Life Cycle Cost Vol. I~IV | LCC |
| NASA (2002) | Cost Estimating Handbook | LCC |
| Department of Defense (1995) | Parametric Cost Estimating Handbook | LCC |

2.1 KS C 60300-3-3 (IEC 60300-3-3) 규격

수명주기비용에 대한 국내(국외)규격은 KS C IEC 60300-3-3(IEC 60300-3-3)이 있으며, 제품의 수명주기 단계를 개념 및 정의, 설계 및 개발, 제조, 설치, 운영 및 유지보수, 폐기의 6단계로 정의하고 있으며, 총수명주기비용을 획득비용, 소유비용 및 폐기비용의 합의로 정의하고 있다. 특히 이 규격은 신뢰성, 유지보수성, 유지보수 지원성과 같은 가용도 성능 및 그 영향 요인을 기술하는 신인성과 LCC와의 관계를 강조하고 있다. 또한 비용 측면은 예방정비 비용과 고장정비 비용을 포함한 시스템 회복 비용, 즉 신인성(가용성) 관련 비용과 제품이 비가용적일때 발생하는 결과적 비용, 즉, 보증비용, 책임 부담비용, 수입손실에 따른 비용, 대안 서비스의 제공을 위한 비용으로 구분하여 설명하고 있다. 제품의 LCC 세부내역으로는 수명주기단계, 제품/작업 세부내역, 비용범주로 구분하고 그림1과 같이 LCC 모델을 정의하고 있다.

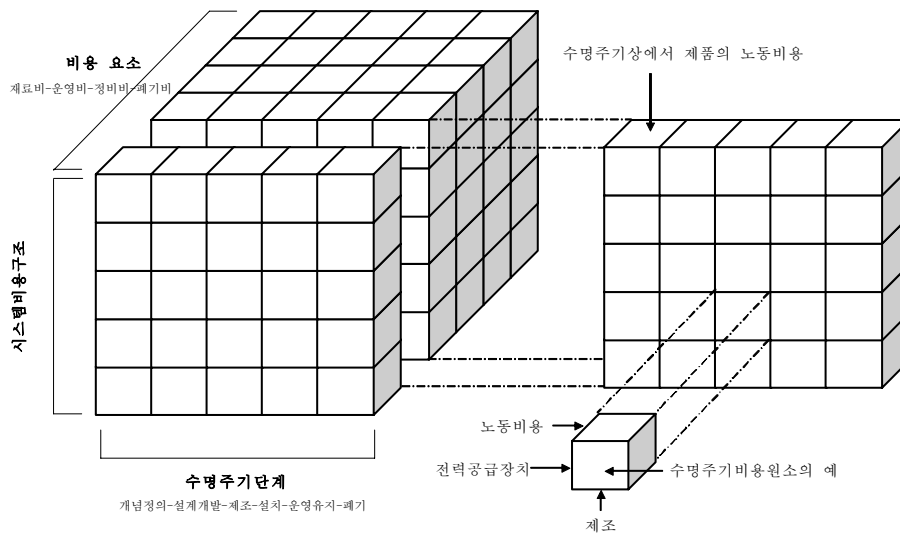


그림1. IEC 60300-3-3 수명주기비용모델[2]

수명주기비용을 추정하는 방식으로는 비용예측관계(CER : Cost Estimation Relationships)를 이용하여 각각의 요소들과 관련된 비용을 추정하는데 사용하고 있으며, CER을 개발하거나 예측하기 위해서 다음과 같은 세가지 기본 방법을 제시하고 있다.

- 공학 비용방법(Engineering Cost Method)
- 유사비용방법(Analogous Cost Method)
- 모수비용방법(Parametric Cost Method)

2.2 KS C IEC 62278 (IEC 62278) 규격

이 규격은 철도분야에 관련된 국제 규격으로 철도 시스템의 수명 주기에 근거하여 RAMS을 관리하기 위한 절차를 정의하고 있다. 철도 시스템의 수명주기단계를 개념단계부터 폐기처분단계까지 총 14 단계로 구분하고 있으며, 각 수명주기단계별 철도 일반 업무와 RAM업무, 안전성 관련 일련의 업무를 제공함으로써 조달 및 계약을 지원하고, 통합된 시스템 관리 절차를 제공하고 있다. 이 규격에 포함된 수명주기의 "V" 표현에서 Top-down 가지(왼쪽)는 일반적으로 개발(development)라 하며, 시스템 부품의 제조에 관련이 있는 단계이며, Bottom-up가지(오른쪽)는 조립, 설치, 인수 그리고 전체 시스템의 운영에 관련이 있는 단계이다.

2.3 UNIFE LCC

이 규격은 TRS(Total Railway System)의 LCC 모델링 절차와 적용방안을 제시하고 있으며, 특히 가용성 성능지수(FOM : Figures Of Merit)를 이용하여 TRS내의 RAMS 및 LCC을 설명하고 있다.

UNIFE LCC 모델은 하위공급자로부터 데이터를 수집하는 UNIDATA 모델과 수집된 데이터를 이용하여 완전한 LCC 계산을 수행하는 UNILIFE 모델로 구성된 2 level 모델을 사용하고 있으며, 비용구조로는 크게 “투자비용”, “연간비용”, “수명지원비용(LSC)”의 3가지 항목 구조로 구성되어 있다.

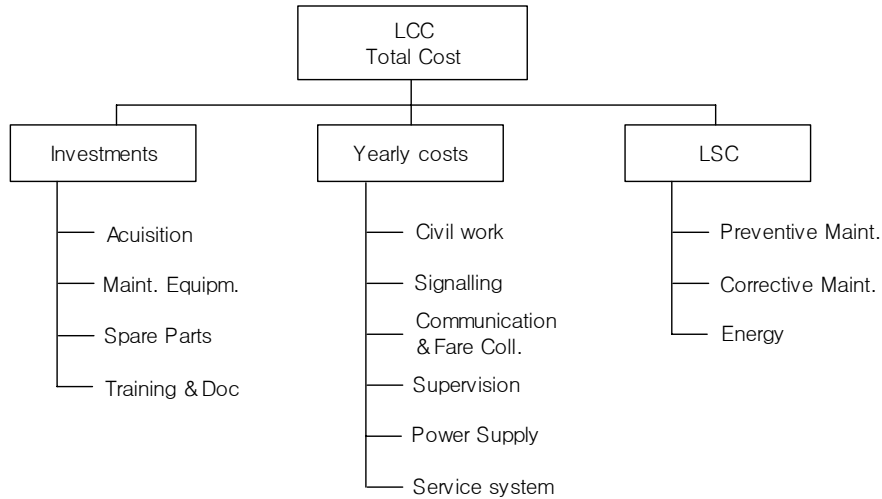


그림 2. UNIFE LCC 모델

2.4 SAE ARP 4293

이 규격은 방어시스템에 관련된 장비의 획득 과정 동안에 LCC 기술과 응용에 대한 개요를 기술하고 있으며, 특히 미래 기술 비용의 예측 및 우주산업에 대한 불확실성을 추정하기 위하여 맞춤형 LCC 모델을 사용하고 있다. LCC 정보는 여러 해에 걸쳐 분포되어 있는 실질적인 지출 비용요소와 분석 시점에서 예상되는 예측 비용요소 모두를 포함하고 있으며, 비용 지출시기와 분포는 프로그램에 따라 다양하게 나타난다. 전형적인 프로그램의 지급계약(commitment)과 지출 프로파일은 그림 3와 같으며, 시간이 경과하고 의사결정이 지연됨에 따라 대안 접근법에 대한 범위가 점진적으로 침식됨을 강조하여 나타내고 있으며, LCC 비용의 감소 기회 또한 침식됨을 나타내고 있다. 이 규격에서는 LCC 분석의 수행 시기는 수명주기단계의 초기단계부터 수행되어야 함을 강조하고 있다.

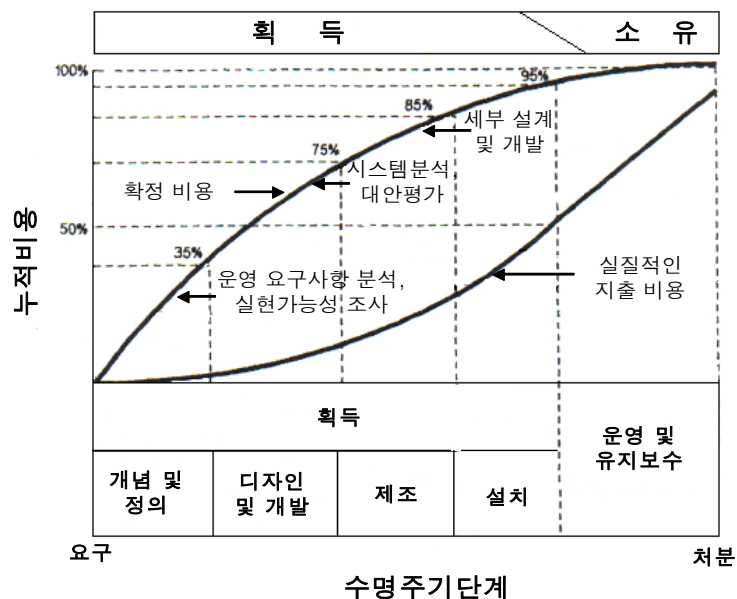


그림 3. LCC에서 프로그램 결정 단계의 영향

표2. 국내외 규격 비교

| 구분 | KS C IEC 60300-3-3 (IEC 60300-3-3) | KS C IEC 62278 (IEC 62278) |
|----------------|---|---|
| 적용범위 | · LCC의 일반적인 개념소개 · RAMS에 연관된 비용을 강조 | · 철도분야 적용을 위한 RAMS 정의 |
| 수명주기단계 | · 6단계 | · 14단계 |
| LCC 구조 | · 획득비용, 소유비용, 처분비용 | - |
| LCC 모델 포함내용 | · 비용세부내역(CBS) · 제품/작업세부내역(PBS) · 비용범주의 선택 · 비용요소의 선택 · 비용추정방법(CER 기반) · 결과표현 | · 수명주기단계별 주요업무(일반업무, RAMS 업무, 안전성 업무)를 기술 |
| 특징 | · 일반적인 LCC 모델링 방법 및 절차를 상세히 기술 · LCC와 RAMS의 관계를 기술 | · 수명주기단계를 세분화하고 각 단계별 RAMS업무를 상세히 기술 |

| 구분 | UNIFE | SAE ARP 4293 |
|----------------|--|--|
| 적용범위 | · 철도시스템의 LCC 모델링 절차 및 적용방안을 제공 | · 국방 방어시스템의 조달과정 동안에 LCC 기술과 응용에 대한 개요 |
| 수명주기단계 | · 6단계 | · 4단계 |
| LCC 구조 | · 투자비용, 연간비용, 수명지원비용 | · 획득비용, 소유비용 |
| LCC 모델 포함내용 | · 성능지수로 RAMS와 LCC를 설명 · TRS의 특정 물리적 구조 · 프로젝트의 수행 단계 · 비용 범주 - 투자비용, 운영 및 유지보수비용 · 2 레벨 모델 : UNIDATA, UNILIFE | · 프로그램 단계별 LCC 모델의 관계를 제공 · 비용요소 - 매물비용 - 확정비용 - 계획비용 - 추론/예상비용 |
| 특징 | · 철도운영자에 의해 초래되는 비용 중 RAMS와 연관된 기술적 측면의 단순화된 모델 · 획득(취득)비용을 고정비용에 포함하고 주로 운영 및 유지보수 비용에 초점을 맞춤 | · 시스템 개발 초기의 LCC 분석의 중요성을 강조 · 회계(재정) 계획의 수립 및 할당 · RAMS과의 관계는 기술되지 않음 |

3. LCC 분석 고찰

3.1 LCC 분석의 정의

LCC란 제품의 전체 수명동안 각 단계에서 발생하는 모든 비용의 총합을 일컬으며, LCC 분석이란 총비용을 산정하는 방법 또는 순서까지를 포함한 분석개념이다. 그러나 국내에서는 이를 구분하지 않고 사용하고 있으나, 일본의 경우에는 LCC 분석을 LCCing(Life cycle Costing)으로 미국의 경우는 LCCA(Life cycle Cost Analysis)로 용어를 분류하여 사용하고 있다. LCC 분석이란 제품의 전체 또는

일부분의 수명주기 동안 발생하는 모든 현금 가치를 파악함으로써 제품의 수명동안의 경제능률을 평가하는 기법으로 비용 효율성뿐만 아니라 기능 및 미관 등의 정성적인 평가항목까지를 포함하여 의사결정의 합리적 도구로 사용할 수 있는 경제성 평가기법이다.

LCC 분석에서는 미래의 비용을 다루게 되는데 다양하고 불확실한 요소들로 인해 예측이 어려움이 많다. 따라서 합리적인 예측을 위해서는 부분적인 가정이 필요하며 이들 가정은 과거의 이력자료 또는 물리적 정보 등으로 보편적인 개연성을 지니게 하는 방법이 필요하다. LCC 분석기법은 다음과 같은 개념으로 분류되어 발전되고 있다.[8]

1) LCCA(Life Cycle Cost Analysis)

분석대상과 물리적 성능 및 특징이 유사한 제품으로부터 수집된 생산 및 유지에 관한 실적자료를 이용하여 제품의 수명주기비용을 추정하는 방법으로 분석목적에 적합하도록 데이터의 보정이 필요하다.

2) LCCP(Life Cycle Cost Planning)

제품의 설계과정에서 설계도면에 기초한 설계정보를 이용하여 총비용을 산정하는 방법이다. 이는 전문가의 견적 의견 자료에 근거하여 비용을 예측하므로 정확한 비용예측이 가능하도록 하기 위해서는 다양한 자료의 수집과 처리 등을 위한 일관성 있는 접근방법의 모색이 필요하다.

3) LCCM(Life Cycle Cost Management)

현재 운용중인 시설물 및 부속물에 대한 최적관리비용을 산정하는 방법으로 LCCA에서 산정된 유지관리비용을 토대로 유지관리비용을 최소화 할 수 있는 방안을 도출하는 것이다.

위와 같이 LCC 분석기법은 단지 경제적인 요소에만 근거하기 때문에 최종 의사결정에는 신뢰성, 가용성, 안전성, 환경요인 등의 비경제적인 요소를 고려할 필요가 있다.

3.2 LCC 분석 절차

| 단계 | 활동 | 신뢰성고려 |
|----------------------|--|--|
| 비용분석 목표정의 | 분석대상 명확화 중요요소 정의 분석의 한계 | 총 LCC를 최소화하는 MTBF의 최적 가치 결정. 전반적인 제품성능과 비용목적의 기준을 만족시키는 최적의 MTBF 결정. |
| 가이드라이프 제약사항 규명 | 가용자원 사정 일정제약 결정 경영정책 규명 기술적제약 사항 | 가용자원은 설계, 분석, 시험분야의 신뢰성을 결정한다. 현장 지원자원은 달성된 신뢰성수준과 직접적으로 연결된다. 자원 한계는 실제 일정제약과 경영능력의 기능을 한다. 외부에서 조달은 잠재적 해결책이다. |
| 실행가능 대안 규명 | 모든 접근방법고려 가용대안 평가 비가용 대안의 제거 | 위의 단계에서 주어진 자료를 기초로 신뢰성 프로그램을 실행을 위한 모든 가능한 접근 방법의 평가. 어떤 접근방법(또는 대안)이 완전히 필요없는 것이란 결론이 나기전까진 요소를 고려해야한다. |
| 비용 분류 구조 작성 | LCC 모든 요소 규명 주요 비용 범주 규명 합리적수준의 비용범주 확립. 비용분야에 상응하는 코드 작성 | 신뢰성관련 비용요소에는 어떠한 것들이 있는지 규명하는 것은 어렵고 이런 요소들은 여러 기술항목 특히, 연구개발과 설계분석 단계 분포해 있다. 기업비용회계구조에서 세부항목수준은 LCC 비용요소 자료의 수준을 말한다. |
| 모델선택 혹은 모델개발 | 현재 가능한 모델의 검토 필요시 새로운 모델의 작성. | 선택된 모델은 획득비용요소와 운영유지보수비용요소를 포함하여야 한다. 신뢰성 파라미터에 기초한 민감도 분석을 수행할 수 있는 모델이 선택되어야 한다. 민감도 분석은 유효한 LCC 효과를 얻기위한 것이다. |

| | | |
|-------------------|--|--|
| 비용평가 관계개발 | 요구사항 자료의 필요성 지원비용자료 개발 | 비용평가관계는 MTBF에 대한 자료의존에 기초하여 개발 되어야 한다. |
| LCC 프로파일 개발 | 비용범주에 관련된 각 활동 의 비용발생요소 규명 물가상승요소, 학습곡선, 가격수준 | 프로파일은 신뢰성 활동의 다양한 수준을 나타내어야 한다. 프로그램 단계에 따른 의존도, 제품정의 정도, 수행되어야할 분석의 형태/정도 또한 나타내어야 한다. 비용 프로파일은 모든 기술항목(분야)또는 비기술항목(분야)에서 발생하는 활 동과 관련된 신뢰도를 반영 하여야 한다. |

4. 도시철도차량의 수명주기비용 모델

본 절에서는 도시철도차량의 LCC 모델을 개발하고 이를 평가하기위한 기초 연구로써, 차량 운영 측면에서 LCC에 영향을 미치는 주요 요소들을 중심으로 국내 도시철도 운영기관의 운영현황을 분석하였으며, 향후 도시철도차량 LCC 연구의 체계화와 효율성 증대, 연구 활동의 일관성 유지를 위하여 도시철도차량 고유의 LCC 모델을 제시한다.

4.1 LCC에 영향을 미치는 주요 요인

LCC 모델 개발이나 분석에 있어 비용에 중요한 영향력을 갖고 있는 다음 요소들을 고려하여야 한다.

■ 기대수명(Expected Life)

이것은 비용을 좌우하는 명백한 기본적인 요소이다. 현재 국내에서는 철도안전법 시행규칙에서 전기동차(도시철도차량)의 사용내구연한 25년으로 규정하고 있다.

■ 차량단 규모(Fleet size)

차량단 규모는 또 다른 중요한 요소로써, 차량단 규모가 큰 곳에서, 특히 유지보수 활동과 관련하여 많은 비용을 발생하게 된다.

■ 연간 주행거리(km per annum.)

보다 큰 열차운행 주행거리는 일반적으로 주행거리가 작지 경우에 비하여 높은 비용을 발생한다.

표3은 코레일 자료를 활용하여 3호선과 4호선의 운영현황에 대하여 나타낸 것이다.

국내 운영기관의 1편상 당 연간 열차키로는 약 10만km에서 14만km 정도를 운행하고 있는 것으로 파악되고 있다.

■ 유지보수 기간(Maintenance regimes)

유지보수 비용은 주로 예방정비와 고장정비 비용으로 구성되어 있으며, 이 비용에 영향을 미치는 요소는 유지보수 체계의 형태와 검수 주기에 많은 영향을 받는다. 최근 철도기술이 향상되고 차량의 신뢰성이 향상됨에 따라 검사 주기의 연장이 시도되고 있다. 일본의 경우, 전기차의 검사주기를 중요부 검사(차량에 탑재된 각 기기를 분리하여 상세한 검사를 실시)의 경우 기존 3년(신차 4년) 혹은 60만 Km에서 4년 60만 km로 연장하였으며, 전반검사(차량에 탑재되어있는 대부분의 기기 등을 분리하여 상세한 검사를 실시)의 경우 6년(신차 7년)에서 8년으로 주기를 연장하였으며, 이와 관련된省수를 1999년에 개정하였다.

표4에 국내 도시철도차량의 주요 검수 종류 및 주기를 나타내었다.

표3. 3호선과 4호선의 운행현황

| 항 목 | 서울메트로 | | 코레일 | | 서울메트로 | | 코레일 | |
|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 3호선 | 일산선 | 3호선 | 일산선 | 4호선 | 안산,과천선 | 4호선 | 안산,과천선 |
| 차량 수명 | 25년 | 25년 | 25년 | 25년 | 25년 | 25년 | 25년 | 25년 |
| 영업 구간 및 영업 키로 | 수서-지축 35.2 km | 지축-대화 19.2 km | 수서-지축 35.2 km | 지축-대화 19.2 km | 당고개-남태령 31.7 km | 남태령-오이도 40.4 km | 당고개-남태령 31.7 km | 남태령-오이도 40.4 km |
| 차량단(Fleet) 규모 | 480량 (48편성) | | 160량 (16편성) | | 470량 (47편성) | | 300량 (30편성) | |
| 표정속도 | 34km/h | 41.9km/h | 34km/h | 41.9km/h | 35.8km/h | 41.1km/h | 35.8km/h | 41.1km/h |
| | ·36.3 km/h | | 36.3 km/h | | 38.3 km/h | | 38.3 km/h | |
| 일일 열차 총 운행횟수 | 328회/일 | 178회/일 | 96회/일 | 98회/일 | 344회/일 | 112회/일 | 162회/일 | 172회/일 |
| 일일 총 열차키로 | 11,385.2 km/일 | 3,414.3 km/일 | 3,371.4 km/일 | 1,854.4 km/일 | 9,573.4 km/일 | 4,232 km/일 | 5,159.4 km/일 | 6,253 km/일 |
| | 14,799.5 km/일 | | 5,225.8 km/일 | | 13,805.4 km/일 | | 11,412.4 km/일 | |
| 1편성당 일일 열차키로 | 308.3 km/일/편성 | | 326.6 km/일/편성 | | 293.7 km/일/편성 | | 380.4 km/일/편성 | |
| 연간 1편성당 열차키로 | 112,538 km/년/편성 | | 119,214 km/년/편성 | | 107,212 km/년/편성 | | 138,846 km/년/편성 | |

* 코레일 광역철도 운영현황 내부자료참조, 2008.1.1 기준, 평일기준

표4. 주요 검수종류 및 주기

| 검사종류 | | 검수주기 | 소요시간 | 검수내용 | 작업장소 | |
|-----------------------|--------------|-------|-------------------|----------------------------------|---|----------------|
| 도착점검 | | 기지입고시 | 30~45분 | 차량의 영업운행 후 외관 및 이상상태 검수, 내부청소 | 기지유치선 | |
| 정기 검사 | 경 정 비 | 3일검사 | 3일 이내 | 2시간 | 집전장치, 견인전동기, 제어장치, 보조전 원장치, 대차, 제동장치 등 주요부분에 대한 상태 및 기능검사 | 검사고 |
| | | 3월검사 | 3개월 이내 | 8시간 | 집전장치, 견인전동기, 제어장치, 보조전 원장치, 대차, 제동장치 등 주요부분에 대한 상태 및 기능검사와 급유 및 청소, 부품교환 | 검사고 |
| | 중 정 비 | 3년검사 | 3년 이내 (40만Km내) | 14일 | 차량 주요부분의 분해, 검사 및 시험 | 주공장 |
| | | 6년검사 | 6년이내 (80만km내) | 16일 | 차량 주요부분의 분해, 검사 및 시험 | 주공장 |
| 비 정 기 검 사 | 임시검사 | | 필요시 | 필요시간 | 고장발생 우려시 차량의 일부 또는 전 반에 걸쳐 하는 검사 | 주공장 및 임시검사고 |
| | 특별검사 | | 필요시 | 필요시간 | 노후차량에 대한 유지관리 | 주공장 및 임시검사고 |
| | 차륜전삭 및 교환 | | 필요시 | 필요시간 | 차륜의 상태가 교환 한도에 도달 혹은 찰상, 균열, 파손 등으로 전삭 및 교환 하기 위하여 시행 | 전삭고 |
| | 인수검사 | | 필요시 | 필요시간 | 신규제작 및 주요 부위를 개조 도입된 차량의 상태, 기능 등을 확인하는 검수 | 전삭고 |

4.2 도시철도차량의 PBS

도시철도 차량의 PBS/WBS(Product Breakdown Structure/Work Breakdown Structure)은 LCC 모델링 및 분석에 있어 핵심 요소이며, 또한 유지보수 활동에도 많은 영향을 미치는 요소이다.

일반적인 PBS는 도시철도 차량의 수리나 조립과정을 중심으로 각각의 품목을 TOP-DOWN 형식으로 Level을 정의하는 계층적 구조를 갖고 있다. 가장 간단한 PBS 구조는 도시철도 차량의 구성품을 분류하는데 있어 품목의 설치위치만을 고려하여 분류하는 공간 중심의 PBS이다. 공간 중심의 PBS는 분류작업이 간단하고 이해가 쉽다는 장점을 가지고 있으나, 동일 기능의 장치가 여러번 반복되어 나타나는 불합리성이 존재하며, 또한 유지보수 활동에 대한 고려나 장치별 기능에 대한 고려가 반영되지 못하는 문제점을 갖고 있다.

도시철도 차량의 PBS는 차량 전체의 형상을 결정하고 각 구성품이 어떤 위치에 장착될 것인가를 고려하는 것도 중요하지만, 그 보다 먼저 시스템이 어떻게 쓰일 것인가를 생각하고 그로인해 시스템이 갖추어야 할 기능이 무엇인가를 정의하는 것이 더 중요하며, 유지보수 활동에 따른 비용 요소의 발생 및 비용 범주를 어떻게 정의할 것인가에 대한 고려도 중요하다. 그러므로 도시철도 차량의 PBS는 각 장치의 기능을 중심으로 고려되어야 하며, 추가적으로 기능을 수행하는 구성품이 장착되는 공간을 고려하여 구축하는 기능적/공간적 PBS가 타당할 것이며, 이를 기반으로 유지보수 활동을 정의하고, 비용 발생의 범주와 요인을 정의하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 도시철도 차량의 LCC 모델 및 분석 방법을 개발하고, 차량의 수명주기동안의 유지보수 활동에 기인한 비용요소부분을 확인하고 분류하기 위하여 기능적/공간적 PBS를 제안한다.

제안된 도시철도차량 PBS는 기능적/공간적 특성과 물리적/전기적 인터페이스 관계 등을 반영하여 수준1의 대분류를 정의하였으며, 수준2는 독립적으로 정의될 수 있는 개체 단위의 장치를 기준으로 중분류 하였으며, 수준3~수준5의 소분류는 수준2의 장치별 구성요소 혹은 부품 수준의 상세한 분류체계로 구성되어 있다. 수준 1~2는 모든 도시철도차량에 적용가능한 수준의 분류로 정의하였고, 수준3~5는 도시철도차량의 형식에 따라 달라질 수 있다.[9]

도시철도 차량의 PBS를 분류하기 위하여 1차적으로 기능적 분류를 적용하여 기계적 부분과 전기적 부분으로 분류하였다. 기계적 부분은 기능적/공간적 부분을 고려하여 차체(Car body) 부분과 대차 및 주행부분(Bogies and Running gear), 기타 차내 설비품으로 분류하였다.

차체는 차량의 골격을 구성하는 부분으로 언더프레임(under frame), 측구조(side framing), 엔드구조(end framing), 지붕구조(roof framing)가 하나의 단일체로 구성되어 있는 구체(Body structure) 부분과 연결기(coupler), 통로, 창문 및 출입문장치, 기타 차체부속 장치로 분류하였다.

대차 및 주행장치는 차체를 지지하고 차체에 대하여 선로의 방향으로 회전할 수 있는 주행장치로 구성되며, 이를 기능적으로 구분하여 대차 프레임(Bogie Frame), 현수장치(Suspention), 윤축(Wheel Set), 구동장치(Traction Unit) 및 기타 대차부속 장치로 분류하였다.

전기적 부분은 각 장치의 기능적/공간적 측면과 물리적/전기적 인터페이스 관계를 고려하여 전원공급장치, 주회로, 보조회로, 제동장치, 제어 및 통신장치, 승객 서비스 장치로 분류하였다. 전원공급장치는 기능적으로는 전차선으로부터 차량에 전기를 공급하는 특고압 부분으로 전기 공급의 형태와 전기 공급의 변동성으로부터 차량 내부의 기기를 보호하는 역할을 수행하는 부분이며, 공간적으로 차량 옥상에 설치되는 주요기기들로 구성되어 있다. 주회로는 주전동기와 주전동기를 구동하고 속도를 제어하기 위해서 필요한 전기기기가 상호 인터페이스되어있는 전기회로 부분으로 주변압장치(transformer), 주변환장치(Converter/Inverter), 견인전동기(Moter)로 분류하였으며, 공간적으로는 차량의 하부에 설치되어 있는 전기기기를 이다. 보조회로는 전동기를 제외한 차량의 냉난방, 객실조명, 기타 주요기기등에 전원을 공급하는 전기회로 부분으로 보조전원장치(SIV Inverter Box), 변압기함, 인버터고속도차단기함(IVHB Box), 기타 보조전기장치로 분류하였으며, 공간적으로는 차량의 하부에 설치되어 저압의 전기를 공급하는 전기기기들 이다. 제동장치는 차량을 정지하고 속도를 제어하기위해서 필요한 전기기기로써 제동작용장치(Break Operating Unit, BOU Box), 주공기압축기(Screw Air Compressor), 제동중계장치(Breaking Translating Unit) 및 기타 제동장치부속으로 분류한다. 여기서 제동통(상용제동실린더, 주

차체동실린더 등)은 차량의 제동에 관련된 기기로 기능적으로는 제동장치에 속하나 설치 장소는 대차 및 주행 장치에 부속되어 있는 특징을 고려하여 대차 부속장치로 분류한다. 제어 및 통신장치는 열차의 안전운행에 관련된 부분으로 열차보안장치(Signalling unit), 열차무선장치, 열차운행정보전송장치, 모니터링 장치(TGIS Unit)로 분류하였다. 승객 서비스 장치는 서비스 제공을 목적으로 설치되는 장치로 방송 장치, 표시장치, 냉난방 장치로 구분하였으며, 공간적으로는 차량 외부와 차량 내부의 장치로 구분된다.

설비품은 차내 객실의 주요 구성품으로 특히 화재 등 철도차량의 안전기준이 강화됨에 따라 중요성이 강조되고 있으며, 차량의 비용 측면에서도 점차 비중이 커지고 있다. 이런 추세를 반영하여 본 연구에서는 설비품으로 구분하였으며, 객실의자, 내장판, 통로연결막, 바닥재, 단열재, 기타 설비로 구분하였으며, 공간적으로는 차량 내부의 객실에 관련된 부분이다.

이런 대분류에 기초하여 도시철도 차량의 각각의 장치 혹은 부품은 더욱 세분화되어 분류된다. 그림 4은 도시철도차량의 PBS를 나타내고 있으며, 부품 수준의 세분화된 분류를 수행하였다.[9]

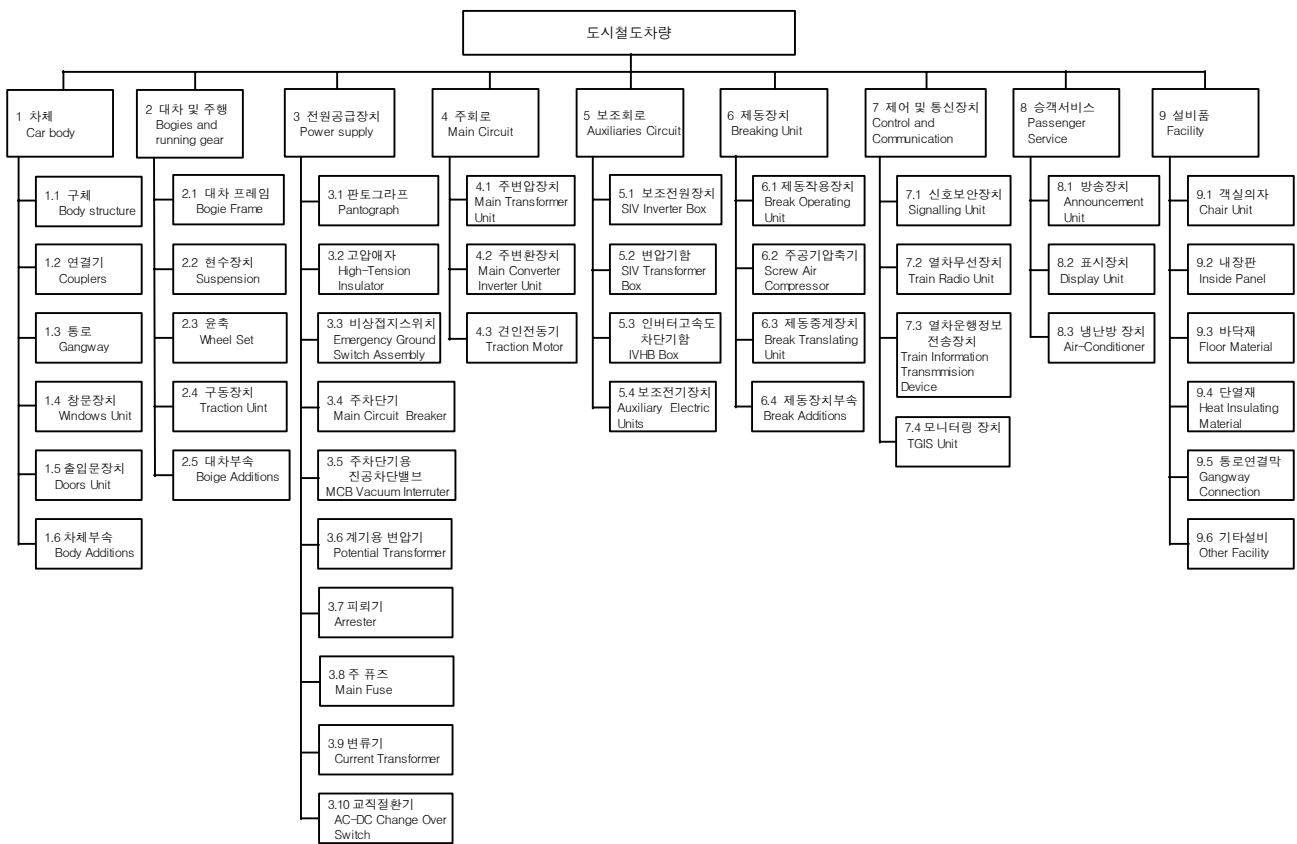


그림 4. 도시철도차량 PBS

4.3 도시철도차량의 CBS(Cost Breakdown Structure)

총 수명주기비용을 예측하기 위해 총 LCC를 비용 구성 요소로 분류할 필요가 있으며, 이러한 비용 요소들은 명확하게 정의되거나 예측될 수 있도록 개별적으로 확인해야 한다.

획득비용은 도시철도 차량의 도입단계에서 어느 정도 정확히 예측되는 부분으로, 도입되는 지역의 운행 특성, 예상 수송인원, 운영방식 등을 충분히 검토하여 결정할 수 있다. 현재 국내 운영기관의 차량 발주 사양을 보면, 차량 도입에 필요한 비용 외에 시운전 비용등이 포함되고 있으며, 철도안전법과 도시 철도법에 의한 제작검사와 성능검사 등을 시스템 획득비용에 포함하고 있다.

소유비용은 차량 운영 및 유지보수 비용으로 구분할 수 있으며, 운영비는 에너지 소모비용 및 열차운 영요원의 인건비, 차량기지운영비 등으로 구성되어 있다. 여기서 운영요원의 인건비를 운영비에서 제외 한다. 차량기지운영비는 현재 운영과 유지보수의 이원화 전략에 따라 국내 철도 운영 환경이 변화되고 있는 점을 고려하여 별도로 규정한다. 유지보수비용은 예방정비 및 고장정비에 대해 각각 계산하여 이

를 종합하여 시스템에 대한 유지비로 계산한다. 또한 개량비용은 유지보수 비용의 많은 부분을 차지하고 있는 부분으로 시스템 도입 단계에서는 고려되지 않으나 시스템 운영 중 LCC 분석을 위해서는 별도의 정의가 필요한 부분이다.

표5. 도시철도차량의 CBS(Cost Breakdown Structure)

| 비용요소 | | 내용 | |
|--------------|--------------|---|---|
| 획득 비용 | 차량구입비 | 도시철도차량 도입에 소요되는 비용 | |
| | 초기유지보수장비구입비 | 도시철도차량의 유지보수에 필요한 장비 구입비 | |
| | 교육훈련비 | 차량 운영에 필요한 승무원 및 검수원의 교육에 소요되는 비용 | |
| | 문서화비 | 차량 도입 및 운영에 필요한 문서 생성 비용 | |
| | 예비품비 | 가용성 유지를 위해 초기 도입되는 예비품 및 소모품 비용 | |
| | 시운전비 | 에너지비(전력소모) | 차량 도입시 차량의 안정화를 위해 필요한 시운전 관련비용 이것은 차량 도입 계획 수립 시 명확한 설정이 필요 |
| | | 예방 정비비 | |
| | | 고장 정비비 | |
| 기관사 및 검수 인력비 | | | |
| 검사비 | 제작검사 | 철도안전법 및 도시철도법에서 정한 차량 제작/성능 검사비 | |
| | 성능검사 | | |
| 소유 비용 | 운영비 | 에너지비(전력소모) | 차량 운행에 소비되는 전력사용 비용 |
| | | 차량기지운영비 | 운영과 유지보수 이원화에 따른 기지 운영비 |
| | 예방정비비 | 차량 혹은 부품이 가용 상태를 유지하는데 소요되는 유지보수비 | |
| | 고장정비비 | 차량 혹은 부품이 비가용 상태에서 가용상태로 회복하는데 소요되는 유지보수비 | |
| | 개량비용(업그레이드비) | 차량의 성능을 개선하기 위해 소요되는 비용 | |

4.4 도시철도차량의 LCC 모델

도시철도차량의 간략화된 LCC 모델은 크게 획득비용과 소유비용 구분하고, 비용 범주로는 비순환 비용인 투자비와 순환비용인 운영비, 인건비, 재료비로 구분한 모델을 제안한다.

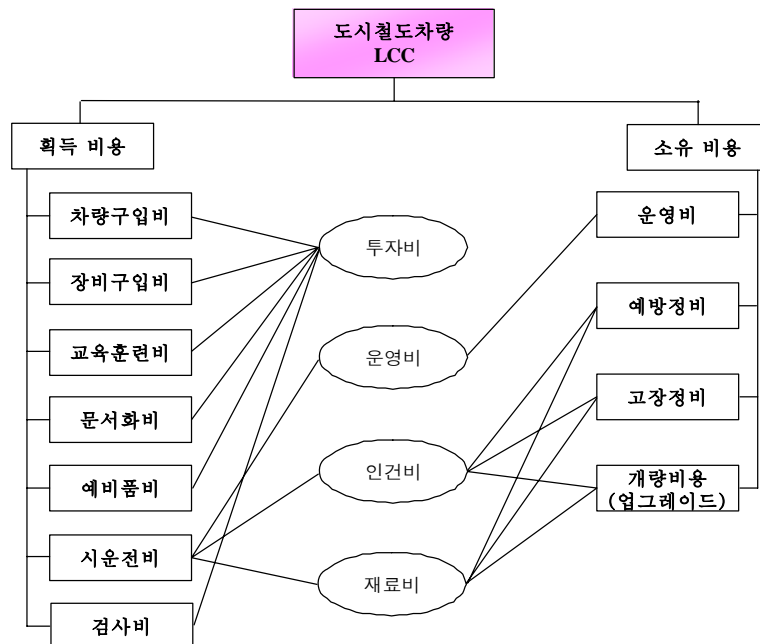


그림 5. 도시철도차량의 LCC 모델

5. 토의 및 향후 연구계획

본 연구는 도시철도차량의 LCC 규격화를 위한 기초연구로써 LCC 관련 해외 사양 및 규격을 분석하고 상호 비교하였다. 또한 도시철도차량 고유의 LCC 모델을 개발하기 위하여 수명주기비용에 영향을 미치는 운용상의 주요 요인들을 검토하였고, 이를 관련된 국내 운영기관의 운영 현황을 조사하였다.

제안된 도시철도 차량의 PBS는 기능적/공간적 특성을 고려하여 9가지로 대분류(수준1~2)하였으며, 향후 유지보수 활동과 연계(수준3~5)될 수 있도록 부품단위까지 세분화하였다. 또한 도시철도차량의 비용 요소 분류체계 구축을 위하여 국내 발주사양서 동향과 유지보수 작업, PBS에 기초하여 도시철도 차량의 CBS를 제안하였다.

향후에는 제안된 도시철도차량 고유의 LCC 모델을 기반으로 실제 현실 적용과의 지속적인 비교를 통하여 개선작업을 수행할 계획이며, 비용 추정과 관련하여 모수 분석방법에 대한 심도있는 연구를 추진할 계획이다.

후 기

본 연구는 “도시철도표준화 2단계 연구개발사업”의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 전현규, 김재훈, 김종운, 박준서 (2007), “자기부상열차 수명주기비용모델 개발을 위한 기초연구”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.735-742.
2. IEC 60300-3-3 (2004), "Application Guide for Life Cycle Costing", IEC International Standard.
3. UNIFE LCC group (1997), " Guidelines for Life Cycle Cost Vol. I~IV", <http://www.unife.org>
4. SAE ARP 4293, 4294 Aerospace Recommended Practice (1992), "Life Cycle Cost Techniques and Applications", USA Standard.
5. NASA (2002), " Cost estimating handbook".
6. 박종목, 김필한, 이종권 (2002), “전동차 수명주기비용에 대한 고찰”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.396-407.
7. 정종덕, 배대성 (2005), “입환기관차의 LCC 평가분석”, 한국철도학회논문집 제8권 제3호, pp.260-266.
8. 김태완, 임용택, 길홍배 (2006), “고속도로 생애주기비용(Life Cycle Cost) 산정을 위한 사용자비용 모형”, 교통기술과 정책, 제3권 제1호, pp.107-115.
9. 정광우 외 5인 (2008), “전동차 수명주기비용 평가기준 기초연구”, 최종연구보고서