

# 도시철도 차량에서 LCC 분석의 기본 절차에 관한 연구

## A Study on the Basic Procedure of LCC Analysis for the Urban Transit Vehicle

정광우†, 전영석\*, 안준용\*, 김철수\*, 정종덕\*\*  
Kwang-Woo Chung, Young-Seok Jeon, Joon-Yong An, Chul-Su Kim, Jong-duk Chung

### ABSTRACT

This paper presents brief history and a state-of-the-art survey of Life Cycle Cost (LCC) analysis, in particular LCC analysis in the Urban Transit Vehicle, based on international codes and standards related to LCC analysis. A main objective of the LCC analysis is to quantify the total cost of ownership of a product throughout its full life cycle, which includes research and development, construction, operation and maintenance, and disposal. The predicted LCC is useful information for decision making in purchasing a product, in optimizing design, in scheduling maintenance, or in planning overhaul. This paper presents a LCC procedure consisting of seven steps, which are "Problems definition", "Cost elements definition", "System modeling", "Data collection", "Cost profile development", "Evaluation", and "Verification". Sub-activities to be encompassed in the seven steps procedure are described.

### 1. 서 론

현재 국내외 철도운영기관은 도시철도차량의 도입에 있어, 획득비용 뿐만 아니라 운영 및 유지보수 비용의 전체적인 최적화에 많은 관심을 갖고 있으며, 이것은 수명주기비용 평가 기술에 기초한 취득절차의 발달로 귀착되고 있다.

수명주기비용 분석을 통하여 얻을 수 있는 비용 절감이 획득비용 요소에만 있을지도 모른다고 믿을지도 모르지만, 그러나, LCC 평가 기술은 일반적으로 도시철도차량의 운영 및 지원 비용 성능에 대한 일부 책임을 계약자(차량공급자)와 공유함으로써 운영 및 지원 비용을 절감하고 통제할 수 있는 수단이다.

수명주기비용 기술은 낮은 총 비용과 높은 신뢰성을 성취하기 위한 효율적인 도구로써, 도시철도 차량 도입의 전체과정(입찰에서 검증까지)동안 지속적이고 체계적인 분석을 통하여 매우 신뢰할 수 있는 도시철도차량을 획득할 수 있으며, 더 낮은 고장률과 짧은 수리시간의 성취를 통하여 도시철도 차량의 가용성을 향상하고, 운영 및 관리 비용을 절감할 수 있다.

LCC 분석 기술은 포괄적인 적용 범위를 갖고 있으며, 많은 분석 절차와 방법들이 포함되어 있다. 현재 LCC 분석 기술과 관련된 국제 표준 규격으로는 IEC 60300-3-3, ISO 15663, SAE-ARP 4293/4294 및 NORSOK-O-CR001/2 등이 있다.[1-5] 그러나, 이런 규격들은 일반적인 적용 범위 혹은 특정 응용 분야를 위한 기본적인 개념과 절차를 나타내고 있어, 국내 도시철도 차량에 적용하기에는 많은 한계가 존재한다. 특히, LCC 검증 및 보증 절차에 관한 내용의 보완이 필요하다.

† 정회원, 한국철도대학 운전기전과 교수  
E-mail :ckw1201@hanmail.net  
TEL : (031)460-4278 FAX : (031)462-2944  
\* 한국철도대학 교수  
\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원

본 논문에서는 국제 규격서와 많은 참고문헌 조사를 바탕으로 도시철도 차량의 LCC 분석에 적합한 기본 절차를 제안하였으며, 특히 철도운영기관의 입장에서 철도 프로젝트의 진행 단계(입찰에서 운영까지) 별 8단계의 LCC 분석 절차에 대하여 연구하였으며, 각 절차에서의 LCC 하위 활동들에 대하여 논의 하였다. 제안된 LCC 분석 절차에는 LCC 검증 및 보증 절차를 포함하고 있으며, 철도 프로젝트에서 철도운영자와 계약자간의 상호 협력에 의해 최적의 취득, 운영 및 관리 비용을 산출하고, 차량설계와 비용요소의 상호 결합함으로써 비용 효율성을 최적화하는데 그 목적이 있다.

## 2. 철도차량 프로젝트

### 2.1 LCC 분석의 시기

LCC 분석 기술은 의사결정자에게 유용한 정보를 제공하기 위하여 제품 수명주기의 모든 단계에서 실행된다. 그러나, 획득비용과 소유비용의 조기 식별은 수명주기비용 대비 시스템 성능, 신뢰성, 유지보수성 및 기타 다른 목표 등과의 균형을 잡을 수 있는 기회를 의사결정자에게 더 많이 제공한다.

그림 2-1은 프로젝트 각 단계에서 수행되는 계약의무비용(commitment)과 실질 비용지출의 전형적인 비용 프로파일을 나타내고 있으며, 또한 비용 예측의 불확실성을 나타내고 있다.[2] 이것은 철도차량 프로젝트의 기획 및 계획 단계에서 계약의무비용의 프로파일이 급속하게 증가하고 있기 때문에 철도 프로젝트의 초기 단계에서 LCC 분석을 수행하는 것이 전체 LCC를 최소화하는데 더 많은 기회를 가지고 있다는 것을 보여주고 있다. 일반적으로 프로젝트 진행 공정의 처음 20%내에서하는 결정이 총 LCC의 80% 정도를 결정한다. 그러므로 도시철도 차량의 도입과정에서 엄격한 LCC 요구사항의 정의 및 평가 절차의 규정이 중요하다.

그러나, 각 프로젝트 단계에는 LCC 추정의 불확실성이 존재하기 때문에 이를 항상 고려하여야 한다. LCC 분석의 불확실성은 LCC를 예측하는 시기에 상당히 의존한다. 프로젝트 초기 단계에서 예측한 LCC는 이후 프로젝트 단계보다 더 많은 불확실성을 가지고 있다는 것은 분명하다. 그림 2-1은 프로젝트 진행에 따른 불확실성의 관계를 나타내고 있으며, 개념 연구단계에 존재하는 불확실성은 매우 크게 나타나고 있으며 이후 개발 단계에서는 급속히 감소되고 있음을 나타나고 있다. 따라서, 계약의무비용(Commitment) 곡선과 불확실성 곡선 사이에 존재하는 트레이트오프(trade-off)를 고려하여 각 프로그램에 대한 최선의 LCC 분석 시기를 결정하는 것이 중요하다.

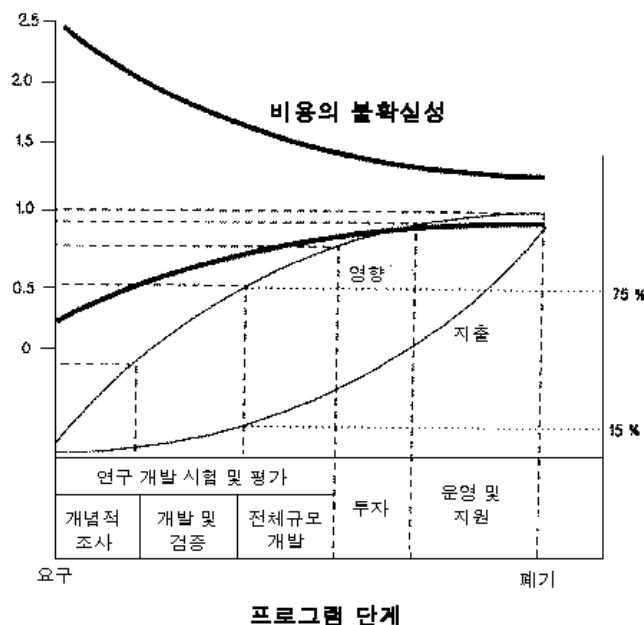


그림 2-1. LCC에서 프로그램 결정 단계의 영향[2]

프로젝트 초기의 LCC 분석의 불확실성을 줄이기 위해서는 사용 목적에 적합한 LCC 분석절차, 방법, 모델 선정이 중요하며, 유사 시스템으로부터의 운영 경험에 기초한 면밀한 사전 자료 조사, 신기술 방향 등이 필요하다.

## 2.2 철도차량 프로젝트에서의 LCC 활동

1990년대 중반, EU권역 내에서 차량 발주사양서에 광범위하게 RAMS가 도입되었으며, LCC 기술은 1986년 스웨덴 고속철도 X2000의 도입과정에서 처음으로 철도산업에 응용었고, 그 이후 많은 곳에서 LCC 분석 요구가 사용되고 있으며, 보편화되어 가는 추세에 있다. 그러나 국내 도시철도차량의 획득과정에서 RAMS가 도입되고 있으나, LCC 분석은 사용되지 못하고 있는 실정이다. 이는 LCC 분석의 필요성과 효율성에 대한 철도 운영기관의 이해 부족과 LCC 분석 절차 및 방법, 평가, 검증에 이르는 체계적인 방법론 개발이 부족했기 때문이다.

일반적으로, 철도 프로젝트는 계획 단계에서부터 입찰, 계약, 설계, 생산, 납품의 각 단계를 거쳐, 철도의 운행에 이른다. 철도 프로젝트 단계와 LCC 절차와의 관계는 그림 2-2과 같다.

LCC 활동은, 본래 요람에서 무덤까지의 철도차량 수명주기 전반에 걸쳐 실시되는 것이며, 차량의 계획 단계부터 생산, 납품을 끝낸 후의 운행 단계에도 관계되는 것이다. 특히 철도 시스템의 경우에는 구성 시스템이 복잡할 뿐만 아니라 25년 이상의 오랜 기간 사용으로 인하여, 차량 납품 후의 LCC활동이 증시되고 있는 것이 특징이며, LCC 적용 방법에 따라서는 기존의 차량 도입과정에는 없었던 문제가 발생하는 경우가 있다. 따라서, 철도 운영기관 입장에서는 차량 설계시부터 LCC 검증 활동에 대한 책임 범위와 인센티브 조건을 제안요청서와 계약서에 충분히 정해 둘 필요가 있다.

하지만 국내에서는, 계약 시에 품질 보증 기간이 명확히 정해져있지 않은 경우가 많으며, 납입 차량에 대한 수명주기 전반에 걸친 LCC 성과 달성의 책임성 문제를 설정하지 않는 경우가 많다. 이것이 철도차량을 운영하는 운영기관의 어려움이기도 하다. 그러나 책임성에 대해서는 애매한 경우가 많아, 당사자 각자가 나름의 해결을 도모하고 있는 실정이며, 이것은 상호 불신과 분쟁의 원인이 되기도 한다. 이러한 취급이 앞으로 국내 LCC 적용에 있어 하나의 해결 과제가 될 것이다.

이를 분쟁을 줄이기 위해서는 제안 요청서의 세밀한 검토가 필요하며, 차량 설계부터 입찰자와의 상호 협력에 의한 LCC 수행 목표의 설정 및 평가 방법, 절차, 범위 등에 대한 당사자간 상호 합의와 협력이 중요하다.

철도 프로젝트의 계획 단계에서, 철도 사업자측은 지금까지의 기술 수준과 운영 현황 자료 및 경험을 참고로 하여 LCC 목표(안전성, 신뢰성, 가용성, 유지보수 등의 정량화된 목표)를 정의하고, 사업화 계획에서는 이들 목표를 발주사양서 상의 요구값으로 전개할 필요가 있다.

다음은 발주사양서에 포함되어야 할 요인들이다.

### (1) LCC 평가의 원칙

: 입찰자에 의해 제공된 자료를 기반으로 LCC 평가를 수행하기 때문에, 제공된 자료에 함축된 제품의 특성을 보장할 수 있는 자료의 누락 혹은 오류는 입찰자의 거절 사유가 될 수 있다는 것을 명문화하여야 한다.

### (2) 가용성 성능을 위한 공급자의 책임

: 기술설계 단계 동안에 대안의 기술적 해결책의 지속적인 분석을 포함하여 가용성 성능 개선 프로그램이 실행될 것이라는 것을 명문화하여야 한다.

### (3) 공급자로부터 예상되는 보증은 기술되어야 한다

### (4) 차량 운영 조건

: 차량단 규모, 일일 열차 키로, 연간 열차 키로, 표정 속도 등 LCC 제안을 위한 기초 운영 조건은 제시되어야 한다.

### (5) 유지보수 환경

: 유지 보수 조직의 구성, 유지보수 장비, 유지보수 주기 등에 대한 자료는 제시되어야 한다. 만일 입찰자가 유지보수에 필요한 자원 혹은 장비의 누락을 확인했을 경우, 추가 장비의 필요성을 제

안할 수 있어야 한다.

(6) 사전 LCC 계산 모델

: 발주사양서와 더불어 사전 LCC 계산 모델이 입찰자들에게 제공되어야 한다.

(7) 평가를 위해 필요한 자료는 입찰서에 포함될 수 있도록 신중하게 지정하여야 한다.

철도차량 프로젝트 단계

LCC 분석 절차

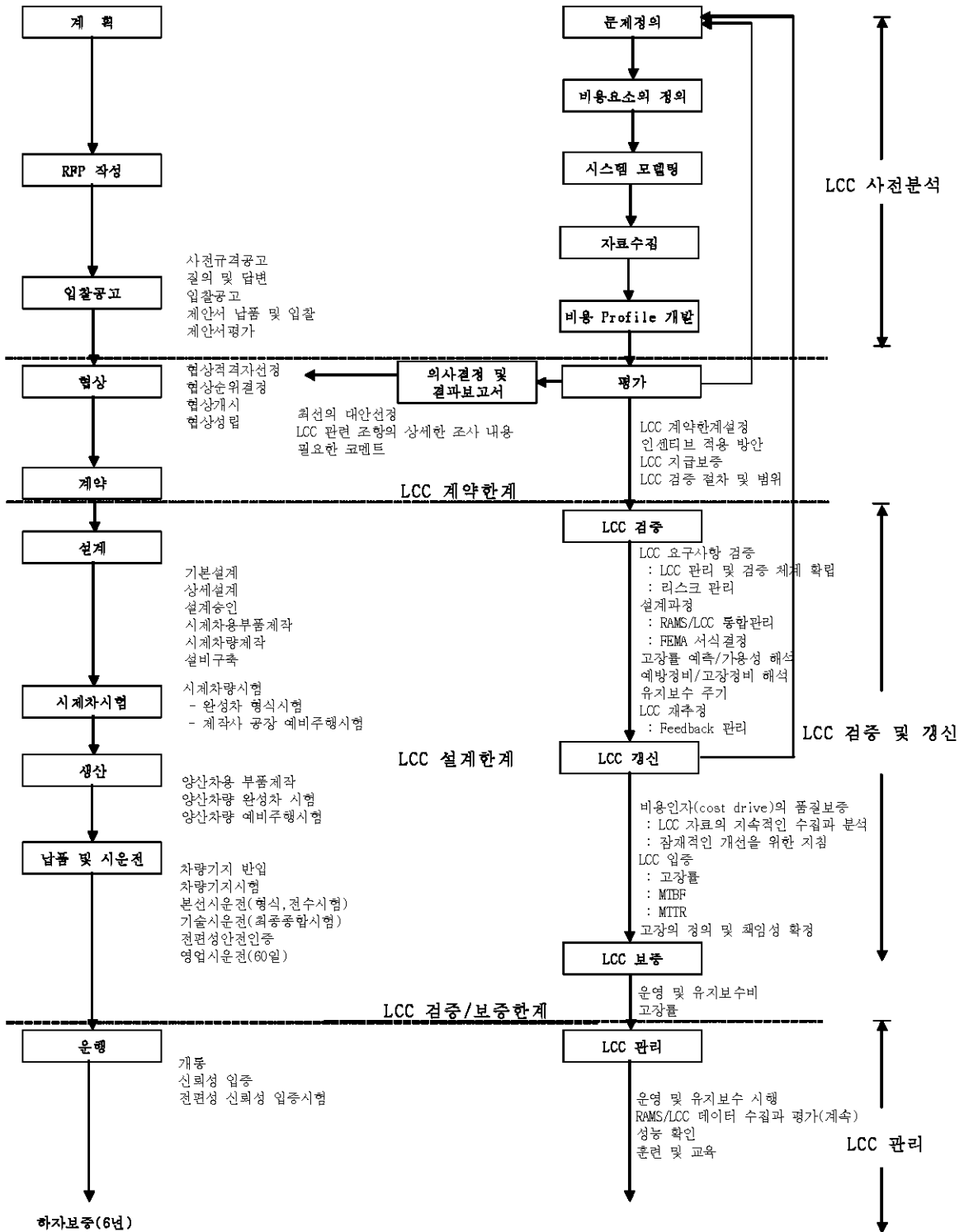


그림 2-2. 철도 프로젝트와 LCC 분석 절차와의 관계

### 3. 도시철도차량 LCC 분석 절차

LCC 분석은 경제성 평가를 기반으로 의사결정과정에 다양한 자료를 제공할 수 있는 이점에도 불구하고, 실제로 LCC 평가 시 미래비용에 대한 심리적 거부, 예측의 불확실성, 수집 데이터의 불완전성과 기존의 데이터의 부족, 구체적인 절차와 기법 부족 등의 이유로 아직까지 국내에서 LCC 평가를 적용하는 것은 상당히 어려운 실정이다. 따라서 국내 LCC 관련 연구를 활성화하고 운영기관의 이해를 돕기 위해서는 LCC 분석 과정상의 고려 사항에 대한 전반적인 검토와 운영 기관 입장에서의 구체적인 분석 절차 및 분석 기법에 대한 기초 연구가 필요하다.

LCC 분석을 위한 많은 절차들이 제안되어있다. 그러나 분석하고자 하는 시스템간의 차이로 인하여 분석 절차가 완전히 동일하지 않은 것은 분명하다.

본 연구에서는 도시철도 운영기관 입장에서 철도차량 도입 시 프로젝트 진행 단계에서 LCC 분석 절차에 대하여 기술한다. 제안된 도시철도 차량의 LCC 분석 절차에 대한 기본적인 과정은 그림 3-1과 같다.

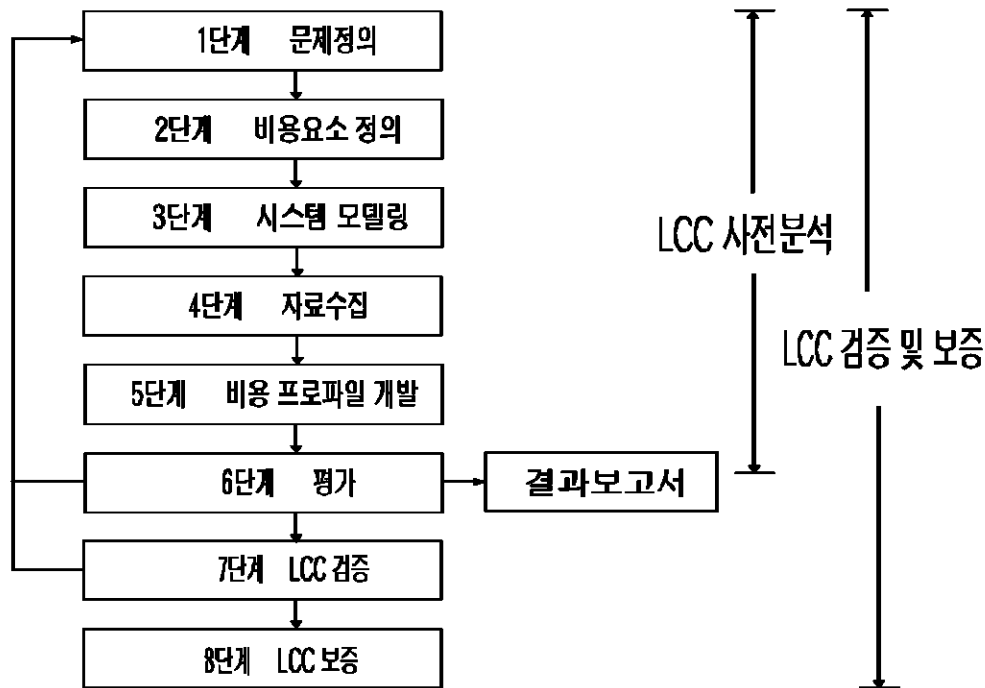


그림 3-1. 8단계의 LCC 분석 절차(안)

LCC 분석 절차는 크게 LCC 사전분석 단계와 LCC 검증 및 보증 단계로 구분할 수 있다. LCC 사전 분석 단계는 철도운영기관이 유사 시스템의 운영 자료를 기반으로 사전 조사한 자료와 입찰자가 제공한 자료를 기반으로 LCC 분석을 수행한다. LCC 사전분석 결과는 차량의 획득비용과 운영 및 유지보수 비용 측면에서의 입찰자 평가를 통한 협상적격자선정 및 협상순위결정에 활용한다.

LCC 검증 및 보증 단계는 비용 효율성이 높은 차량을 설계, 제작, 납품 및 시운전을 위한 LCC 평가로 운영기관과 계약자간의 상호 협력이 중요하며, 계약에 명시된 RAMS/LCC 요구사항에 대한 LCC 검증 및 보증 작업이 진행된다. 이 단계에서는 이미 계약에서 차량의 획득가격은 결정이 되어 있기 때문에, 차량 운영 및 유지보수 비용에 집중하여 LCC를 재평가하며, 이때 평가에 사용되는 자료는 설계 및 시운전 결과를 기반으로 평가를 진행한다.

### 3.1 LCC 한계값

본 연구에서 제안한 8단계의 LCC 분석 절차내에는 여러개의 LCC 한계값이 사용될 수 있다.

(1) LCC 기준 한계

: 프로젝트 계획 단계에서 철도운영자가 사전 조사한 자료와 차량 운영 및 유지보수 계획을 기반으로 설정한 LCC 한계값으로, 운영기관이 철도차량 프로젝트에서 허용할 수 있는 한계값의 의미를 갖고 있다. 또한 이 한계값은 입찰자가 제시한 LCC 값과의 비교를 위한 기준점으로 활용할 수 있으며, 이 비교를 통하여 입찰과정의 협상대상자 순위결정에 활용한다.

(2) LCC 계약 한계

: 철도운영기관과 우선 협상 대상자간의 협상에 의해 설정되는 한계값으로, 계약서상에 명시되는 LCC 값이다. LCC 계약 한계 중에서 차량획득 비용은 결정되기 때문에, 이후 LCC 분석에서는 고정값의 의미를 갖게된다.

(3) LCC 설계 한계

: 설계 과정 중에 철도운영기관과 시스템 엔지니어의 상호 협력에 의해 설정되는 한계값으로, 신기술의 적용, 가용성 해석, 예방정비 및 고장정비 해석 등 운영 및 유지보수비용에 집중하여 설정된다.

(4) LCC 검증 및 보증한계

: RAMS/LCC 입증과정에 수집된 고장률, MTBF, MTTR 등 실질 운영 자료들 기반으로 설정된 한계값이다. 이 값은 LCC 계약한계와 비교하여 프로젝트 성공여부를 판단하게 되며, 계약자에 대한 인센티브 혹은 패널티 적용의 기준이 된다.

가능한한 LCC 한계값은 다음과 같은 순서가 되도록 철도운영기관과 계약자간에 상호 협력하는 것이 중요하다.

$$LCC \text{ 기준한계} \geq LCC \text{ 계약한계} \geq LCC \text{ 설계한계} \geq LCC \text{ 검증 및 보증한계}$$

### 3.2 LCC 사전분석단계

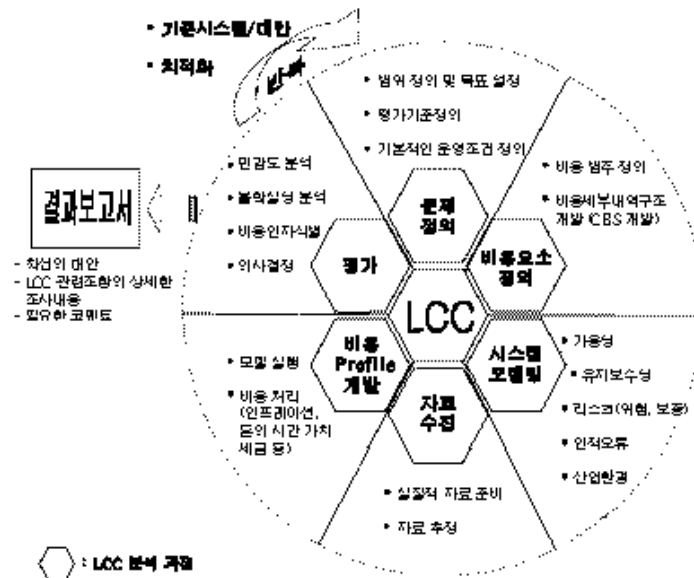


그림 3-2. LCC 사전 분석의 개념(6단계 기본 과정과 하위 활동)

그림 3-2는 8단계 LCC 분석 절차 중에서 LCC 사전 분석의 개념도를 나타내고 있다. LCC 사전 분석은 "LCC"라고 명명된 중앙 육각형을 중심으로 그 주위들 둘러싸고 있는 육각형에 의해 6단계 기본 과정

을 포함하는 집단 활동이다. 각각의 기초 과정은 각각의 하위 영역에 나열되어 있는 하위 활동으로 더욱 세분화할 수 있다. LCC 분석은 “문제 정의” 과정에서 시작하고, 나머지 5단계 과정은 시스템이 첫 번째 과정에서 정의한 기준을 만족하지 않는 동안에는 그림 3-2에서 시계방향으로 반복적으로 수행된다. LCC 분석에서 각각의 하위 활동과 신뢰성 고려사항은 표3-1에 나타내었다. 각 절차에 대한 자세한 내용은 참고문헌[6]에 나타내었다.

표 3-1. LCC 활동 및 신뢰성 고려사항

단계		LCC 활동	신뢰성 고려사항
1단계 문제정의	비용분석 목표정의	분석대상 명확화 중요 고려사항 정의 분석의 한계	총 LCC를 최소화하는 고장률, MTBF, MTTR 등 최적 가치 검토. 전반적인 차량성능과 비용목적의 기준으로 분석의 한계를 결정
	가이드 라인과 계약사항 규명	가용자원 사정 일정계약 결정 기술적 제약사항	가용자원은 설계, 분석, 시험분야의 신뢰성을 결정한다. 현장지원 자원은 달성된 신뢰성수준과 직접적으로 연결된다. 자원한계는 실 제 일정계약과 경영능력의 기능을 한다. 외부에서 조달은 잠재적 해결책이다.
	실행가능 대안 규명	모든 접근방법고려 가용대안 평가 비가용 대안의 제거	위의 단계에서 주어진 자료를 기초로 신뢰성 프로그램 실행을 위한 모든 가능한 접근 방법의 평가. 어떤 접근방법(또는 대안)이 완전히 필요없는 것이란 결론이 나기전 까지는 요소를 고려해야한다.
	가정 및 정의	운영 조건 고장의 정의 평가 기준 검증/보증절차및방법 (패널티/인센티브)	신뢰성 측정 및 시험 방법의 정의. 신뢰성 입증 절차의 정의. 신뢰성 기반의 평가 기준 작성.
2단계 비용요소 정의	비용분류 구조작성 정의	모든 LCC 요소규명 주요비용 범주 규명 비용범주 확립. 비용세부내역구조	신뢰성관련 비용요소에는 어떠한 것들이 있는지 규명하는 것은 어렵고 이런 요소들은 여러 기술항목 특히, 연구개발과 설계분석 단계 분포해 있다.
3단계 시스템 모델링	모델선택 혹은 모델개발	가능한 모델의 검토 새로운 모델의 작성.	선택된 모델은 획득비용요소와 운영, 유지보수 비용요소를 포함하여 야 한다. 신뢰성 파라미터에 기초한 민감도 분석을 수행할 수 있는 모델이 선택되어야 한다. 민감도 분석은 유효한 LCC 효과를 얻기위 한 것이다.
4단계 자료수집	비용평가 관계개발	요구 자료의 필요성 지원비용자료 개발	비용평가관계는 MTBF에 대한 자료 의존에 기초하여 개발 되어 야 한다.
5단계 LCC 프로파일 개발	LCC profile 개발	비용발생요소 규명 미래의 프로젝트 개 개의 비용 요소 물가상승요소, 학습 곡선, 가격수준 최상위 수준의 비용 프로파일로 개개의 비용 스트림을 요약	Profile은 신뢰성 프로그램활동의 다양한 수준을 나타내어야 한다. 프로그램 단계에 따른 의존도, 제품정의 정도, 수행되어야할 분석의 형태/정도 또한 나타내어야 한다. 비용 profile은 모든 기술항목(분 야)또는 비기술 항목(분야)에서 발생하는 활동과 관련된 신뢰도를 반 영 하여야 한다.
6단계 평가	민감도 분석 수행	중요 인자의 변화 비용범주영향 평가 LCC 영향 평가	신뢰성 프로그램의 무결성이 반영된 MTBF 비용 민감도는 개별 비용범주와 총 LCC 영향을 평가하는 주 요소(driver)이다. 최적화를 위한 총 LCC에서의 변화에 주목하라.
결과 보고서	최적가치 대안 선택	제품의 기능목표를 만 족시키는 최소비용과 최대의 신뢰도를 갖는 대안의 선택	신뢰성 기능은 다른 제품요소(비용, 일정, 기술 등)들과 상보적 (trad-off) 관계를 가진다. 민감도 분석은 합당한 대안을 규명해야 한다.

### 3.3 LCC 검증 및 보증

앞에서 언급한 LCC 사전분석(철도차량 프로젝트 단계에서 계획에서부터 우선협상자 선정까지)은 입찰자의 제안 내용을 근거로 협상자의 우선 순위를 결정하기 위한 사전 분석의 의미를 갖는다. 이후 철도차량 프로젝트 단계의 협상은 향후 진행될 LCC 검증 및 보증을 위한 세부적인 항목들에 대한 운영자와 협상자간의 합의가 필요하다.

다음과 같은 주요 협상 내용은 계약서에 포함되어야 한다.

(1) LCC 계약 한계의 설정

: LCC 사전 분석의 결과와 당사자간 합의에 의한 계약서상의 LCC 한계(LCC 지급보증)  
이것은 향후 LCC 성과에 따른 패널티 혹은 인센티브 적용의 기초가 된다.

(2) 획득 비용의 확정

: LCC 중 획득 비용(즉, 차량 가격, 각종 성능시험, 예비품 등)의 확정

(3) LCC 검증 절차 및 범위

: LCC 관련 자료의 수집 방법 및 절차, 신뢰성 및 가용성 입증 절차 및 방법 등에 대한 합의가 필요

(4) LCC 검증 이후의 처리 방안

: 검증된 LCC값이 LCC 계약 한계를 초과할 때의 처리 방안

LCC 계약 한계로 되돌리기 위한 활동, 즉, 재설계, 재검증 절차, 보상 방법 및 범위 등에 대한 사후 처리 방안에 대한 합의가 필요

#### 3.3.1 7단계 : LCC 검증

계약에서 취해진 엄격한 신뢰성 및 LCC 요구사항 관점에서, 성공적인 프로젝트를 위한 전제조건은 차량 설계 과정에서 LCC와 신뢰성 고려사항을 통합하는 것이다. 차량 가격은 이미 계약서에 설정되었기 때문에, 이후 LCC 작업은 운영 및 유지보수 비용에 집중되어 수행된다.

LCC 검증의 원칙인 계약서의 LCC 계약한계와 설계 단계 동안의 예측된 LCC 설계한계, 시운전등을 통해 확보된 실제 운영 경험에 기초한 LCC 검증/보증 한계를 상호 비교하는 단계로 차량의 성능을 향상하고 낮은 LCC 실현을 위해 매우 중요한 단계이다.

LCC 검증 절차의 목적은 패널티를 물리기 위한 목적보다는 오히려 차량의 신뢰성과 유지보수 및 운영 성능의 개선을 위하여 계약자에게 동기를 부여하는 것이다. 왜냐하면, 패널티는 신뢰할 수 없는 차량에 의해 유발되는 운영 및 유지보수 비용의 증가 및 이익의 손실을 결코 보상할 수 없기 때문이다.

(가) LCC 관리 및 검증 체계 확립

LCC 검증은 운영자와 계약자간의 상호 협력 활동이 중요하며, 신뢰성과 LCC를 공동으로 관리하고 서로 합의된 검증 절차에 의해 프로젝트 성공을 위한 최선의 해결책을 모색하는 것이 중요하다. 특히, 시스템 설계 엔지니어의 참여를 통해 설계단계부터 신뢰성과 LCC를 통합 관리하고 개선할 수 있도록 참여를 보장하는 것이 필요하다.

LCC 관리 및 검증체계의 주요 하위활동은 다음과 같다.

- LCC 검증의 감독 및 지원
- LCC 관련 모든 정보의 수집 및 분석
  - : 자료 수집을 위한 보고 절차 및 방법
  - : FMEA 활동의 관리
  - : FRACAS 관리
- 리스크 관리
  - : 프로젝트 수행에서 발생될 수 있는 리스크의 최소화
- 신뢰성과 LCC 통합 관리



- LCC 측정방법 및 절차 관리
- 신뢰성 및 LCC 입증 절차 및 분석 관리
- 운영 인력의 훈련 및 교육
- 신뢰성 및 LCC 평가 및 성능 확인

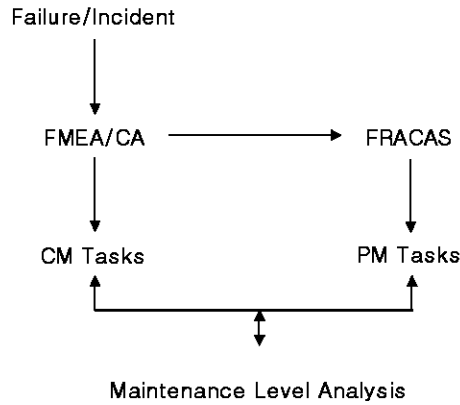


그림 3-3. 자료수집과 유지보수 활동과의 관계

(나) 차량 설계와 LCC의 통합

신뢰성과 LCC에 가장 큰 영향을 미치는 중요한 작업은 설계단계 동안에 실행된다. 설계 과정에서 신뢰성과 LCC 고려사항의 통합을 위해서는 시스템 설계자들의 높은 수준의 참여 보장이 가장 효율적이며, 설계자의 기술적 경쟁력을 향상이 중요하다.

설계과정에서는 다음과 같은 예측 활동과 해석 활동에 주력하여야 한다.

- 신뢰성 예측
- 고장률 예측
- 가용성 해석
- 예방정비/고장정비 해석
- 유지보수 주기 해석

(다) LCC 입증

프로젝트 단계의 시제차 시험, 생산, 납품 및 시운전 단계는 실제 신뢰성 및 LCC 관련 운영 경험 자료를 얻을 수 있는 단계이다. 이 단계에서는 계약상에 설정된 요구사항과 설계 과정에서 예측된 값, 실제 자료를 상호 비교함으로써 프로젝트의 목적 달성을 확인할 수 있다. LCC 입증은 주로 신뢰성 파라미터를 중심으로 확인되기 때문에 신뢰성 파라미터는 예방 정비와 고장정비 활동에 관련된 정보를 포함하고 있는 것을 선택하는 것이 중요하다. 신뢰성 파라미터는 고장에 관련된 것이 주를 이루고 있기 때문에 사전에 고장에 대한 정의 및 해석에 대하여 RFP에 사전 기술이 필요하며, 운영자와 계약자간의 합의가 중요하다.

LCC 입증 단계의 주요 영역은 다음과 같다.

- 신뢰성 관련 영역
  - : 고장률, MTBF, MTTR
- LCC 관련 영역
  - : 가용성, 유지보수성(예방정비/고장정비), 소모품(혹은 예비품) 사용률, 에너지 사용률
- 비용인자(cost driver)의 확인 및 품질보증
  - : 주요 비용발생 품목의 확인을 통하여 잠재적인 LCC 개선을 위한 지침을 마련

### (라) LCC 모델 갱신

설계과정 속에서의 계약 변경은 신뢰성 성능의 영향뿐만 아니라 LCC에 큰 영향을 미치기 때문에 계약 변경에 따른 LCC 영향을 고려하여야 하며, 또한 LCC 입증과정에서의 실제 신뢰성 및 LCC 관련 자료를 기반으로 LCC 모델의 갱신이 필요하다. 그러나 실제 운영 경험 자료는 아직도 불확실성이 내포되어 있다. 차량의 모든 장치 혹은 부품에 대한 충분한 자료가 확보되지 못할 수 있고, 계약자의 보수적 경향에 의한 예측으로 인하여 불확실성이 내포될 수 있다. 따라서, 특정 아이템들의 유지보수성 검증 결과로부터 수정계수를 도입하여 정규화하는 것이 필요하고, 이를 기반으로 LCC 모델의 갱신이 요구된다.

예를 들어, MTTR 수정계수 K는 다음과 같은 것을 활용할 수 있다.

$$K = \frac{\sum_{k=1}^n (\text{수량} \times \text{고장률} \times MTTR_{\text{검증}})}{\sum_{k=1}^n (\text{수량} \times \text{고장률} \times MTTR_{\text{예측}})}$$

### 3.3.2 8단계 : LCC 보증

LCC 검증 결과와 LCC 모델 갱신 결과를 기반으로 LCC 검증/보증단계의 설정이 필요하다. 이것은 계약의 인센티브 혹은 페널티 적용의 기준 자료로 활용할 수 있으며, 차량의 영업운전 혹은 하자보수 기간 동안의 LCC 지급보증의 책임성을 지정하여야 한다.

LCC 보증에는 보증의 범위와 절차, 방법(재정적 지불, 예비품 공급 등)에 대한 합의가 필요하며, LCC 성능관리를 위한 지속적인 신뢰성과 LCC 데이터의 수집과 평가, 성능확인 방법 및 절차, 효율적인 운영 및 유지보수를 위한 인력의 훈련 및 교육 방안 등이 합의되어야 한다.

## 4. 결론

본 논문에서는 도시철도 차량의 LCC 분석에 적합한 8단계 기본 절차를 제안하였다. 특히 철도운영기관의 입장에서 철도 프로젝트의 진행 단계별 8단계의 LCC 분석 절차에 대하여 연구하였으며, 각 절차에서의 LCC 하위 활동들에 대하여 논의 하였다. 제안된 LCC 분석 절차에는 LCC 검증 및 보증 절차를 포함하고 있으며, 철도 프로젝트에서 철도운영자와 계약자간의 상호 협력에 의해 최적의 취득, 운영 및 관리 비용을 산출하고, 차량설계와 비용요소의 상호 결합함으로써 비용 효율성을 최적화하는데 그 목적을 두었다.

## 후 기

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

### 참고문헌

1. IEC 60300-3-3, 2004, "Application Guide for Life Cycle Costing" IEC International Standards.
2. ISO15663-1, 2000, "Petroleum and natural gas industries -Life cycle costing part 1 Methodology"
3. SAE ARP 4293 Aerospace Recommended Practice, 1992. Life Cycle Cost-Techniques and Applications, USA Standards.
4. NORSOK O-CR-001, 1996, "Life cycle cost for systems and equipment"
5. NORSOK O-CR-002, 1997, "Life cycle cost for production facility"
6. 정광우외 6명(2009), “도시철도차량 수명주기비용에 관한 기초연구(2)”, 한국철도기술연구원.
7. Hokstad,P., et al: Life Cycle Cost Analysis in Railway System." SINTEF Safety and Reliability, (1998)
8. UNIFE LCC Group, 1997, "Guidelines for Life Cycle Cost Volume I-IV".