

RAM을 고려한 도시철도시스템의 수명주기비용 분석

한석윤^{1*} · 홍순기² · 하천수¹

¹한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단 / ²성균관대학교 시스템경영공학과

Analysis of Life-Cycle Cost for Urban Transit System using RAM

Seok-Youn Han¹ · Soon-Ki Hong² · Chen-Soo Ha¹

¹Korea Railroad Research Institute, Urban Transit Engineering Corps., Uiwan, 437-050

²Sungkyunkwan University, Department of Systems Management Engineering, Suwon, 440-746

This paper is concerned with the life-cycle cost(LCC) of the urban transit system which was developed by KRRI and is now under test in Gyeongsan, Korea. Its reliability, availability and maintainability(RAM) were analyzed. LCC is the core part of analyzing the total cost of acquisition and ownership of a system. LCC analysis of a system is the most effective when it is applied in the it's early design phase. In this paper, we present IEC 60300-3-3(Life Cycle Costing) in detail and propose how to apply LCC in assessing the urban transit system according to RAM process. This case study demonstrates that reliability management system is very effective in reducing the operating cost of subway corporations in Korea.

Keywords: IEC 60300(Dependability management), IEC 60300-3-3 : Life Cycle Costing, RAM(reliability, availability and maintainability), MKBSF(mean kilometers between service failures)

1. 서론

도시철도시스템은 차량, 전력, 신호통신, 선로 등이 유기적으로 결합된 대형 복합시스템으로 한번 설치하면 장기간 운영되는 특징이 있다. 따라서 초기획득비용뿐만 아니라 이를 유지하기 위한 비용도 매우 중요하다. 특히 차량의 경우 수명주기비용의 60% 정도를 차지하는 유지보수비용의 절감은 도시철도 운영기관의 막대한 운영적자를 감소시킬 수 있는 주요한 요소이다. 유지보수비용을 절감하기 위해서는 시스템의 신뢰성을 향상시키는 것이 중요하나 비용이 많이 든다. 따라서 시스템의 RAM을 고려한 신뢰성과 경제성 분석을 통해 개발시스템이 타당성을 갖도록 하여야 한다[Hwang, H.S. and Hwang, G.W.(2001), Hwang, H.S.(1995), Hwang, H.S. and Park, T.W.(2000), Jang, J.S. and Youk, C.H.(2002)].

새로운 철도시스템의 개발 또는 노후 철도차량의 교체 시 수행하는 수명주기비용 분석의 궁극적인 목적은 하나의 시스

템 또는 프로젝트의 최종적인 의사결정과정에서 범할 수 있는 오류를 줄이고 대안을 모색할 수 있게 한다(Chung *et al.*, 2005; Lee, T.H *et al.*, 2003). 신인성과 관련된 국제 규격인 IEC 60300-신인성 관리(dependability management)에서는 시스템 수명주기의 모든 단계에 걸쳐 신뢰성과비용 등을 최적화하고, 투자 대비 성과에 대한 지침을 제공하고 있다.

수명주기비용(Life Cycle Cost, 이하 LCC)을 추정하는 데 사용하는 방법(Kwon *et al.*, 2003; Moon, H.L *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2003)은 다음과 같다.

(1) 유사비용방법(analogous cost method)

하향식 추정방법(top-down estimation)이라고도 하며 예전의 비슷한 프로젝트의 실제 비용을 이용해서 현재 프로젝트의 비용을 계산하는 방법을 말한다. 이것은 프로젝트에 대한 상세정보가 제한적인 초기 단계에서 프로젝트 총 비용을 계산하는 데 이용된다. 유사비용모형은 전문

*연락처 : 한석윤, 437-050 경기도 의왕시 월암동 360-1 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단, FAX : 031-460-5749,

E-mail : syhan@krrri.re.kr

2005년 8월 접수, 1회 수정 후 2005년 11월 게재 확정.

가 판단모형의 한 형태이다.

(2) **모수비용방법**(parametric cost method)

프로젝트의 모수를 이용한 수학적 모델로 프로젝트 비용을 예측하는 것이다. 동 방법의 비용이나 정확성은 매우 다양하다.

(3) **공학비용방법**(engineering cost method)

상향식 추정방법(bottom-up estimation)이라고도 하며 이것은 각 작업항목의 비용을 계산해서 이를 합산하여 프로젝트 총 비용을 구하는 기법이다. 여기서 정확성은 개별 작업항목의 크기에 의해서 좌우된다. 작업항목이 작을수록 정확성은 상승한다.

본 연구에서는 (1)의 방법을 제외한 (2), (3)의 기법을 적용하여 LCC 비용을 계산한다. 즉, (2)의 방법으로 LCC 모형을 설정하여 분석하고, LCC 모형에 영향을 주는 주요 파라미터의 변화에 따른 민감도분석을 실시한다. 그리고 (3)의 방법으로 도시철도시스템을 구성하는 주요 하부시스템의 비용명세구조를 정의하여 정식화하고, 수치 예에서는 RAM과 관련된 주요 요소만 고려하여 분석한다.

현재 국내 도시철도 운영기관의 경우 막대한 운영직자가 발생하고 있다. 이를 줄이기 위해서는 시스템의 신뢰성을 근원적으로 향상시키는 신인성 관리시스템의 도입이 필요하다. 본 연구에서는 IEC 60300-3-3(Life cycle costing)의 수명주기 개념을 소개한 후, 사례연구를 통하여 신인성 관리시스템 도입 시 기대되는 경제효과를 분석하고자 한다.

2. 신인성 관리시스템

2.1 개요

도시철도시스템의 신뢰성 향상으로 도시철도를 이용하는 승객에 대한 서비스의 질을 높일 뿐만 아니라 운영기관의 운영비용을 많이 절감할 수 있다(Han, 2005). IEC 60300 규격에서 신인성이란 가용성과 그 관련요소들을 종합적으로 표현하는 용어이다. 가용성은 신뢰성, 보전성, 보전지원 성능을 의미한다. 신인성은 그 목적과 이익을 성취하기 위하여, 관리하는 데 필요한 기술분야로서 고객 중심으로 제공되어야 한다. 또한 비용-효과를 제고하기 위해 신인성 활동은 전체 경영시스템에 포함되어야 한다.

시스템의 수명주기를 약술하면 다음과 같다.

(1) **개념·정의단계**

제품 및 시스템의 필요성과 요구사항을 규정하며 이 단계에서의 결정사항이 제품과 수명주기비용에 가장 큰 영향을 미친다.

(2) **설계·개발단계**

제품 및 시스템의 하드웨어와 소프트웨어를 작성하여 상세한 제조규격으로 문서화하고, 사용·정비지침과 같은 문서들을 작성한다.

(3) **제조단계**

제품 및 시스템을 조립·생산하고 소프트웨어를 장착하는 단계이다.

(4) **설치단계**

설치단계에서 제품 및 시스템의 신뢰성이 저하되지 않도록 한다.

(5) **운용과 보전단계**

예방보전 및 사후보전을 실시하고 제품성능을 추적한다.

(6) **폐기단계**

시스템의 기술적 수명이 다하거나, 보전비용의 증가로 운용의 경제성이 없어질 때 유효수명도 끝난다.

2.2 IEC 60300-3-3 LCC

수명주기비용 분석의 목적은 제품 또는 시스템이 안전하고, 신뢰성이 높은, 특정한 기능을 수행하는 동안에 발생하는 수명주기비용을 최적화하고 평가하는 것이다(Barringer, 1998; Barringer et al., 1996).

IEC 60300-3-3(2005) 규격에서는 식 (1)과 같이 총 비용을 획득 관련 비용과 운영 관련 비용의 두 가지 주요영역으로 구분한다. 이 두 영역 간의 관계는 <Figure 1>과 같다. 고신뢰성의 시스템을 구현하기 위해서는 획득비용이 크게 증가하고, 고신뢰성 시스템을 갖출수록 고장으로 인한 수리·교체비용이 감소되어 운영비용이 감소함을 알 수 있다. 따라서 운영기관에서는 신뢰성 수준에 따른 획득비용과 운영비용의 절충(trade-off)점을 파악하여 최적 총 비용을 산출하여야 한다.

$$LCC = \text{획득비용} (Cost\ acquisition) + \text{운영비용} (Cost\ ownership) \tag{1}$$

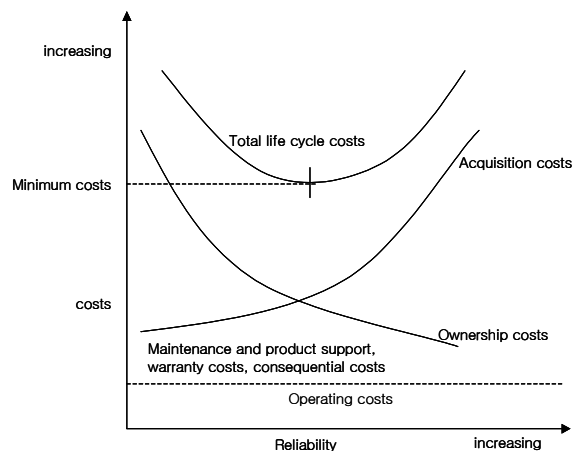


Figure 1. Relationship between reliability and costs.

2.3 LCC 모형화 및 절차

LCC는 시스템 혹은 제품의 두드러진 특징과 외형을 비용수치로 환산하는 것이다. LCC 분석을 위해서는 전체 LCC 중 고장이 야기하는 비용요소를 정의하고, 측정하여 전체 수명주기비용을 추정해야 한다.

여기에는 화폐의 실질가치, 기회비용의 상실, 인플레이션, 세금 등이 고려된다. 물가상승률, 노동과 자재의 과다한 비용, 미래의 긴 기간 동안 초래하는 비용요소들은 LCC 분석결과에 심각한 불확실성을 야기할 수 있다. 이러한 불확실성과 위험은 비용산정에서 중요한 다른 요인들과 연관되어 있으므로, 이를 감소시킬 수 있도록 민감도분석을 실시하기도 한다. LCC 분석은 다음과 같은 6단계로 구분하여 시행한다.

(1) LCC 분석계획

시스템·제품의 개발 또는 새로운 프로젝트의 시작단계이며 수명주기의 문제를 정의하고 분석목적을 설정한다.

(2) LCC 모델 개발

계획/설계단계의 비용구조를 수명주기 전체에 대해 설정

하는 단계이다. 목표 시스템·제품의 비용을 발생시키는 모든 요소들을 체계화한 수명주기비용 모형을 개발한다.

(3) LCC 모델 분석

자료를 수집하고 LCC 모델의 모든 기초비용을 추정한다. LCC 모델의 타당성을 검토하고 모델에 주요한 영향을 미치는 비용요소를 결정하기 위한 입·출력값을 조사하고 확인한다. 그리고 여러 가지 대안 중 하나를 선택하여 비용명세구조(cost breakdown structure)에 맞추어 LCC 분석을 실시한다. 또한 선택한 대안에 대해 비용구조의 각 요소에 대한 민감도분석을 실시한다.

(4) LCC 분석 문서화

LCC 분석결과를 다음에 열거한 항목에 따라 상세하게 기술한다.

- ① 실시 요약: 분석 목적, 결과, 결론, 건의
- ② 목적과 범위
- ③ LCC 모델 설명
- ④ LCC 모델 분석
- ⑤ 논의

Table 1. LCC cost breakdown structure of urban transit system

Breakdown structure		Description	Comment	
Acquisition cost (A)	A ₁ : Vehicle system	• vehicle manufacturing cost • rubber-tired, steel, LIM, LRT etc.	type of vehicle	
	A ₂ : Power supply system	• DC 750V traction power supply etc.	type of power supply	
	A ₃ : Signaling system	• driverless, automated operating etc.	type of operation	
	A ₄ : Track & Infrastructure	• LRT track structure • LRT bridges and facilities etc.	subsystems interface	
Ownership cost (O)	O ₁ : Subsystems maintenance cost	preventive maintenance	• PM cost(inspection & maintenance)	RAM effect
		repair	• repair cost(when a failure occurs)	RAM effect
		replacement	• replacement cost(parts, LRU etc.)	RAM effect
	O ₂ :Operating cost	electric power	• electric power consumption	according to kilometers
	O ₃ : Others	opportunity cost	• loss of operation • compensation cost, insurance fee, credit depreciation etc.	when a failure or an accident occurs
		depreciation cost	• using straight line method, salvage value = "0" won	until disposal
		management cost	• whole management cost(subsystems, interface etc.)	according to operating period
cleaning cost		• subsystems cleaning cost	according to operating period	

Table 2. Assumption of inspection costs

Type of inspection	(1) General vehicle(GV)	(2) Reliability improvement vehicle (RV)	Cost※(1 car)
Day(D)	72hr, 3D	72hr, 3D	400,000won/1 inspection
Month(M)	2M	3M	1,000,000won/1 inspection
Year(Y)	2Y, 300,000km	3Y, 400,000km	2,000,000won/1 inspection
Whole	4Y, 600,000km	6Y, 800,000km	3,000,000won/1 inspection

※) Above costs based on Subway Corp.'s maintenance cost(average 57 mil. won/vehicle) in Seoul.

⑥ 결론과 건의

(5) LCC 결과의 재검토

분석결과, 결론, 건의 등 분석절차를 재검토한다.

(6) LCC 분석의 갱신

재검토 실시 후 이에 따른 분석결과를 갱신한다.

3. 도시철도 차량시스템의 LCC 분석

3.1 비용명세구조

철도시스템의 특성상, 획득비용은 도입되는 지역의 특성, 예상 수송인원과 운영방식 등을 충분히 검토하여 결정한다. 운영비용은 시스템의 RAM(신뢰성, 가용성, 보전성)과 밀접한 관계가 있으므로 각 하위 시스템을 비롯한 전체 시스템의 신인성 관리를 통한 최적화로 최소 비용계획을 수립해야 한다. <Table 1>에는 LCC 구성요소 비용명세 구조를 정리하였으며, 식 (2)는 이들 요소의 총 비용을 의미한다.

$$LCC = \sum_{i=1}^4 A_i + \sum_{j=1}^3 O_j \quad (2)$$

여기서 RAM과 직접 관련된 비용요소는 A 와 O_1 , 그리고 O_3 가운데 기회비용이다. 본 논문에서는 차량획득비용 A_1 과 유지보수비용 O_1 , 그리고 O_3 의 기회비용을 중심으로 기술한다.

3.2 도시철도 차량시스템의 수명주기비용 분석

LCC 분석대상으로는 신인성 관리시스템을 적용하지 않은 일반차량시스템(이하 일반차량)과 신뢰성을 향상시킨 차량시스템(이하 신뢰성 향상 차량)을 선정했으며, 평가방법은 현재가치법(NPV, net present value)과 불변가격분석법을 사용하였다.

(1) 일반차량, MKBF 12,000km

대상 차량시스템은 25년의 내구수명과 표정속도 30km/h, 1일 주행거리 400km, 1량당 초기획득비용, 즉 구입가격은 10억 원으로 가정한다. 한국철도기술연구원(KRRRI)의 “표준전동차 RAMS 평가연구”에서 정한 목표신뢰도를 적용하여 MKBF(mean kilometers between failures)는 12,000km으로 한다.

(2) 신뢰성 향상 차량, MKBF 15,000km

대상 차량은 (1)과 동일하게 25년의 내구수명과 표정속도 30km/h를 가지나 신인성 관리시스템을 적용하며, 1량당 구입가격은 (1)보다 10%가 높은 11억 원으로 하고, MKBF는 25%가 증가한 15,000km라고 가정한다.

(3) 공통사항

예방정비비는 검수주기에 따라서 비용이 발생하므로 다음

과 같이 산정하였다.

평균수리시간인 MTTR(mean time to repair)은 4시간, 차량시스템의 1일 운행거리 400km/일, 1년 동안 총 144,540km(400km*365일, 운행초기 목표 가용도는 99%일 때) 운행된다고 가정한다. 그리고 고장발생에 따른 수리정비 비용¹⁾은 평균 100만원/회·량이다. 단, 목표 가용도가 1% 감소 시 운행일정 취소로 인한 손해 등 이에 따른 비용손실은 1,000만 원으로 가정한다.

차량시스템의 수명주기비용 분석을 위해 NPV 적용 기준금리는 5~6%, 물가상승률은 4%, 금리와 물가상승률의 차이인 할인율(discount rate)은 1%와 2%로 가정하였다. 새로 제작된 도시철도 차량이 영업선에 투입되면, 최초 4~5년 정도까지 빈번하던 고장이 그 이후에는 점차 감소되며 안정화상태에 도달한다. 그리고 15~16년 이후부터 폐기까지 고장이 점차 증가한다고 알려져 있다. 따라서 고장수는 <Figure 2>와 같이 세 단계로 구분하여 ① 초기단계(DFR; decreasing failure rate, 5년까지), ② 안정화단계(CFR; constant failure rate, 15년까지), ③ 노화단계(IFR; increasing failure rate, 16년부터 25년까지)로 구분하여 계산하였다. 이때 초기단계인 5년까지는 고장수가 매년 5%씩 감소하여 안정화단계에 도달하고, 노화단계에서는 안정화단계를 기준으로 고장수가 전년도에 비해 5% 증가하도록 가정하였다. 즉, <Table 3>에서 고장수는 5년부터 15년까지의 안정화단계에서 매년 고장수는 12.1 (144,540km/12,000km)이다. 이 기준으로 4년째부터 매년 5% 증가할 경우 초기년도의 고장수는 15가 된다. 고장수와 1년 목표 누적주행거리의 관계에 의해서 MKBF를 계산하였다. 또한 차량운행과 관련하여 예상되는 가동률은 사용기간에 따라 감소가 예상되는데, 이는 수리에 따른 평균소요시간은 변함이 있으나 차량 수명연수인 25년 동안 매우 적게 증가한 고장수의 영향을 받기 때문이다.

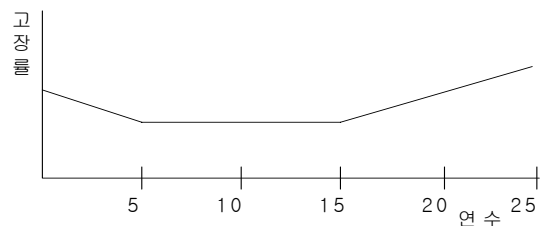


Figure 2. The failure rate of vehicle system.

(4) 가정 및 계산방법

두 대안의 비용분석은 각 대안의 총 현재가치를 구하는 식 (3)을 이용한다.

$$PW = \sum_{t=0}^n F_t(1+i)^{-t} \quad (3)$$

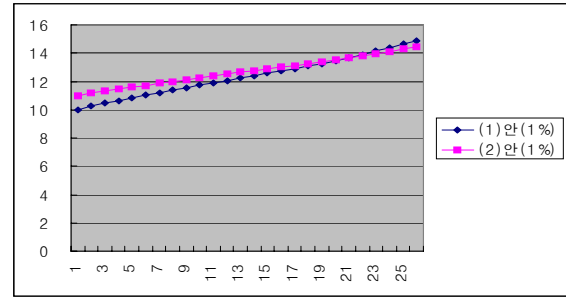
단, PW : 현재가치, F_t : t 년도 현금흐름, i : (명목)할인율.

1) 일반적으로 수리정비비용은 예방정비비용 보다크므로 본 예에서 최대 월상검사비용을 평균 수리정비비용으로 가정함, 다음 절에서 월상검사비용보다 큰 경우에 민감도분석을 실시한다.

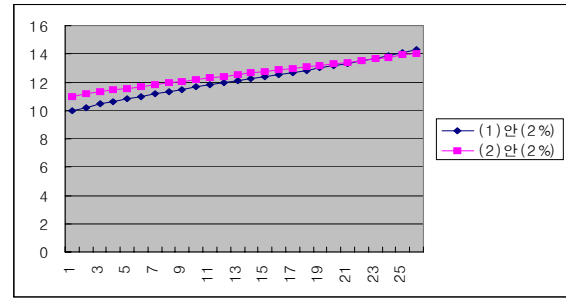
- ① 고장수: $\frac{1\text{년 목표 누적주행거리}}{\text{연 MKBF}}$
- ② 연 MKBF(단위:km):
 $\frac{1\text{년 목표 누적주행거리}}{\text{연간 고장수}} = \frac{1\text{년 목표 누적주행거리}}{\text{①}}$
- ③ 예방정비비: <Table 2>의 기준에 따라 월상, 중반, 전반 검사에 대하여 계산함.
- ④ 가동률:

$$\text{Availability} = \frac{\text{MKBF}/\text{표정속도}}{(\text{MKBF}/\text{표정속도}) + \text{MTTR}}$$

$$= \frac{\text{②}/30(\text{km/h})}{\text{②}/30(\text{km/h}) + 4h}$$
- ⑤ 가동률 손실에 따른 기회비용:
 $(0.99 - \text{④}) \times 1,000\text{만원}$
- ⑥ 고장에 따른 연간부대비용: 고장 시 수리
 정비비용+가동률 손실액 = (①×100만원) + ⑤
- ⑦ NPV(할인율 1%): 현재 가치액 계산
 (1% = 금리-물가상승률 고려)
- ⑧ NPV(할인율 2%): 현재 가치액 계산
 (2% = 금리-물가상승률 고려)



(a) discount rate 1%



(b) discount rate 2%

Figure 3. Plot of total cost(example).

Table 3. LCC calculation of general vehicle(GV) (1 car, 10,000won)

Year	① Number of failures	② MKBF	③ PM cost	④ Availability	⑤ Availability loss cost	⑥ Annual cost	⑦ NPV(discount rate : 1%)	⑧ NPV(discount rate : 2%)
0	-	-	-	-	-	100,000	100,000	100,000
1	15.0	9636	600	0.9877	230	2330	2307	2284
2	14.2	10179	700	0.9884	160	2280	2235	2191
3	13.5	10707	600	0.9890	100	2050	1990	1932
4	12.8	11293	800	0.9895	50	2130	2047	1968
5	12.1	12000	600	0.9901	0	1810	1722	1639
6	12.1	12000	700	0.9901	0	1910	1799	1696
7	12.1	12000	600	0.9901	0	1810	1688	1576
8	12.1	12000	800	0.9901	0	2010	1856	1716
9	12.1	12000	600	0.9901	0	1810	1655	1515
10	12.1	12000	700	0.9901	0	1910	1729	1567
11	12.1	12000	600	0.9901	0	1810	1622	1456
12	12.1	12000	800	0.9901	0	2010	1784	1585
13	12.1	12000	600	0.9901	0	1810	1590	1399
14	12.1	12000	700	0.9901	0	1910	1662	1448
15	12.1	12000	600	0.9901	0	1810	1559	1345
16	12.8	11293	800	0.9895	50	2130	1817	1552
17	13.5	10707	600	0.9890	100	2050	1731	1464
18	14.2	10179	700	0.9884	160	2280	1906	1596
19	15.0	9636	600	0.9877	230	2330	1929	1599
20	15.8	9149	800	0.9871	290	2670	2188	1797
21	16.6	8708	600	0.9865	350	2610	2118	1722
22	17.5	8260	700	0.9857	430	2880	2314	1863
23	18.4	7856	600	0.9850	500	2940	2339	1864
24	19.4	7451	800	0.9842	580	3320	2615	2064
25	20.4	7086	600	0.9834	660	3300	2573	2011
Total						155,910*	148,774	142,849

* Sum of annual cost is apr. 35 % of total cost, because this calculation does not consider power consumption cost, management cost, cleaning cost etc.

Table 4. LCC calculation of reliability improvement vehicle(RV) (1 car, 10,000won)

Year	① Number of failures	② MKBF	③ PM cost	④ Availability	⑤ Availability loss cost	⑥ Annual cost	⑦ NPV(discount rate : 1%)	⑧ NPV(discount rate : 2%)
0	-	-	-	-	-	110,000	110,000	110,000
1	11.6	12468	400	0.9905	0	1560	1545	1529
2	11.0	13140	400	0.9910	0	1500	1470	1442
3	10.4	13899	500	0.9915	0	1540	1495	1451
4	9.9	14600	400	0.9919	0	1390	1336	1284
5	9.7	15000	400	0.9921	0	1370	1304	1241
6	9.7	15000	600	0.9921	0	1570	1479	1394
7	9.7	15000	400	0.9921	0	1370	1278	1193
8	9.7	15000	400	0.9921	0	1370	1265	1169
9	9.7	15000	500	0.9921	0	1470	1344	1230
10	9.7	15000	400	0.9921	0	1370	1240	1124
11	9.7	15000	400	0.9921	0	1370	1228	1102
12	9.7	15000	600	0.9921	0	1570	1393	1238
13	9.7	15000	400	0.9921	0	1370	1204	1059
14	9.7	15000	400	0.9921	0	1370	1192	1038
15	9.7	15000	500	0.9921	0	1470	1266	1092
16	9.9	14600	400	0.9919	0	1390	1185	1013
17	10.4	13899	400	0.9915	0	1440	1216	1028
18	11.0	13140	600	0.9910	0	1700	1421	1190
19	11.6	12461	400	0.9905	0	1560	1291	1071
20	12.2	11848	400	0.9900	0	1620	1328	1090
21	12.9	11205	500	0.9895	50	1840	1493	1214
22	13.6	10628	400	0.9889	110	1870	1502	1210
23	14.3	10108	400	0.9883	170	2000	1591	1268
24	15.1	9573	600	0.9877	230	2340	1843	1455
25	15.9	9091	400	0.9870	300	2290	1786	1396
Total						149,710	144,695	140,521

수치 예에서 <Figure 3>을 살펴보면 할인율이 1%일 경우는 20년째부터, 할인율이 2%일 경우는 22년째부터 신뢰성 향상 차량의 총 비용이 일반차량보다 작아짐을 알 수 있다.

Table 5. The comparison between two PWs under discount rates (10,000won/car)

Discount rate	(1) GV PW	(2) RV PW	Difference (GV-RV)
1%	148,774	144,695	4,079
2%	142,849	140,521	2,328
3%	137,901	137,030	871
4%	133,747	134,092	-345
5%	130,241	131,607	-1,366

(주) GV PW = RV PW at discount rate 3.72%

도시철도 차량시스템에 신뢰성 향상을 실시한 경우, 차량구입가가 10% 이상 증가하더라도 수명주기비용은 감소함을 알 수 있다. 위의 예에서는 차량시스템 1량일 경우를 계산하였으나 100량의 차량시스템을 도입할 경우라면, 상대적으로 큰 비용의 차이가 발생할 것이다. 따라서 운영기관에서는 신인성

관리시스템의 중요한 관리지표인 RAM을 바탕으로 한 전(全) 수명주기에 대한 비용분석을 적절하게 실시하여 이를 반영해야 할 것이다.

<Table 5>에는 할인율이 1%~5%일 경우 두 대안의 비교결과를 정리하였다. 초기비용이 1억 원 차이가 있으므로 할인율이 약 3.72%보다 작을 경우에 (2)안이 유리하다. 따라서 <Table 6>에는 할인율에 따라서 (2)안이 유리한 차량 초기비용 차액을 정리하였다.

Table 6. The difference between two vehicle acquisition costs (10,000won/car)

Discount rate	1%	2%	3%	4%	5%
Vehiclepurchase difference	14,079	12,328	10,871	9,665	8,634

<Table 6>에서 나타난 것과 같이, 대안 (2)가 더 유리하기 위해서는 각 할인율별로 차액 이하로 차량을 구입하면 된다. 만일 할인율이 ① 4%일 경우 구입비용의 차액은 9,665만 원 이하, ② 5%일 경우 8,634만 원 이하로 하면 이득이 된다. 또한 위에서 계산한 조건에서 일부조건이 변경될 경우의 변화를 검토하

기 위해 다음과 같이 가정하여 민감도분석을 실시하였다.

(1) **Case1** : 고장수가 전년 대비 매년 5%에서 7%로 증가할 경우

<Figure 4>를 살펴보면, 신뢰성 향상 차량의 총 비용이 일반 차량의 경우보다 19년째부터 작아짐을 알 수 있다. 즉, 전년 대비 고장수가 증가하면 할수록, “⑤ 가동률 손실액”이 비례적으로 증가하므로 신뢰성 향상 차량이 더 유리함을 알 수 있다.

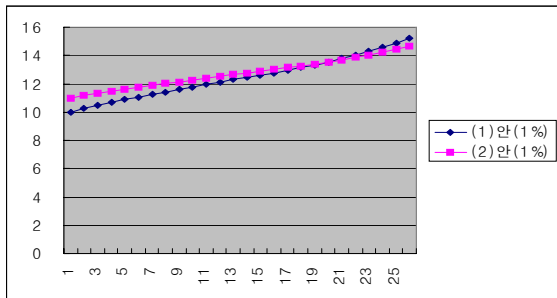


Figure 4. LCC plot of Case 1.

(2) **Case2** : 예방정비비용만 증가할 경우(월상: 200만 원/회, 중반: 350만 원/회, 전반: 500만 원/회)

<Figure 5>를 살펴보면, 신뢰성 향상 차량의 총 비용이 일반 차량보다 15년째부터 작아짐을 알 수 있다. 즉 예방정비비용이 커지면, “③ 예방정비비용”만이 비례적으로 증가하므로 신뢰성 향상 차량이 더 유리함을 알 수 있다.

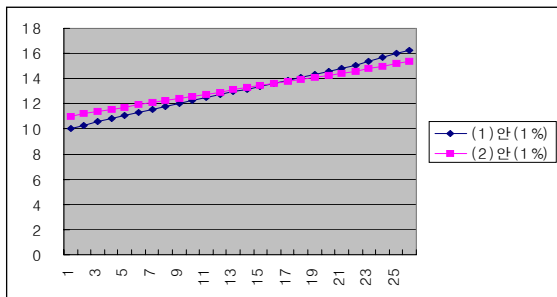


Figure 5. LCC plot of Case 2.

(3) **Case3** : 가동률 1%당 손실비용 1천만 원에서 2천만 원일 경우

<Figure 6>을 살펴보면, 19년째부터 신뢰성 향상 차량의 총

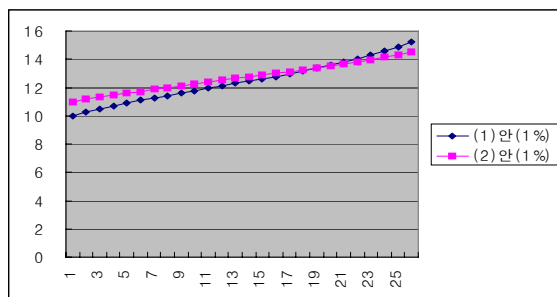


Figure 6. LCC plot of Case 3.

비용이 일반차량보다 작아짐을 알 수 있다. 즉, 가동률 1%당 손실비용이 클수록, “⑤ 가동률 손실액”만이 비례적으로 증가하므로 신뢰성 향상 차량이 더 유리함을 알 수 있다.

(4) **Case4** : 고장 시 평균 수리비용이 평균 100에서 평균 200만 원일 경우

<Figure 7>을 살펴보면, 14년째부터 신뢰성 향상 차량의 총 비용이 일반차량보다 작아짐을 알 수 있다. 즉, 고장 시 평균 수리비용이 클수록, “고장수에 따른 수리정비비용”이 ⑥ 비용항목에만 비례적으로 증가하므로 신뢰성 향상 차량이 더 유리함을 알 수 있다.

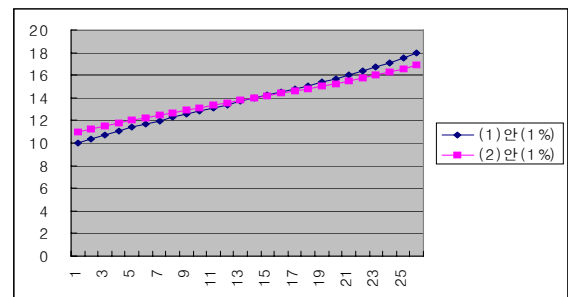


Figure 7. LCC plot of Case 4.

Table 7. LCC comparison of Cases (discount rate 1%, 10,000won/car)

Division	Example	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
(1) GV	148,774	152,011	162,778	151,991	179,537
(2) RV	144,695	146,373	154,027	145,374	168,855
Difference (GV-RV)	4,079	5,638	8,751	6,617	10,682

이상의 결과를 요약하면, 차량시스템의 수명주기비용은 신뢰성 향상 차량이 일반 차량보다 더 유리함을 알 수 있다.

<Table 4>의 각 Case별로 할인율 1%일 경우 총액을 살펴보면, 고장 건수, 예방정비비용, 가동률 손실비, 평균수리비용이 많을수록 수명주기비용이 더 작음을 알 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 1량 기준일 경우의 계산결과이므로 총 운행량수가 크면 클수록 전체 비용을 절감할 수 있으므로 운영기관에서는 신뢰성을 적용한 도시철도시스템의 도입이 중요함을 알 수 있다.

5. 결론

국내 도시철도차량의 수명은 25년으로 규정되어 있고, 수명을 연장하여 운영하고자 할 경우에는 법에서 정한 정밀진단을 받도록 되어 있다. 따라서 한번 구매하면 장기간 운영하여야 하고 이를 유지하고 관리하기 위해서는 많은 비용이 소요된다.

본 연구에서는 LCC 분석을 통해 시스템의 신뢰성 향상이 운영 비용을 절감할 수 있는 주요한 요소임을 정량적으로 나타내었다. 이를 위해 수명주기비용과 관련된 국제규격인 IEC 60300-3-3을 기반으로 하여 수명주기비용을 설명한 후, 이를 도시철도 차량시스템에 적용하여 이를 분석하였다. 수치 예를 통하여 신인성 관리시스템 도입의 타당성을 입증하였다. 또한 변동요인에 대한 다양한 경우에 민감도분석을 실시하여 이를 분석하였다.

본 연구는 차량시스템에 대한 효과를 분석하였으나 신호·통신, 전력, 선로 분야 등에도 신인성 관리를 도입할 경우에는 도시철도 운영기관의 비용절감에 더욱 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 철도시스템의 고장에 대한 분포를 가정하지 않았으나, 향후 고장자료를 충분히 획득하고, 적절한 수명분포를 가정한 LCC 분석연구가 필요하다.

참고문헌

- Barringer, H.P.(1998), Life Cycle Cost and Good Practices, *NPRA Maintenance Conference*.
- Barringer, H.P. and Weber, D.P.(1996), Life Cycle Cost Tutorial, *Fifth International Conference on Process Plant Reliability*.
- Chung, J.D. and Bae, D.S.(2005). "Life-Cost-Cycle Evaluation Analysis of the Shunting Locomotive", *Journal of The Korean Society for Railway*, 8(3), 260~266.
- Han, S.Y. Ha, C.S and Hong, S.K.(2005), Dependability Management System's Application to Subway Corporation, *Journal of the Korean Society for Railway*, 8(3), 286~292.
- Hwang, H.S.(1995), A Study on a RAM-Based Model for Integrated Automatic Manufacturing System Design and Performance Evaluation, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 21(1), 17~32.
- Hwang, H.S. and Hwang, G.W.(2001), Reliability Design Based on System Performance-Cost Trade-off for Manufacturing Facility, *International Journal of Reliability and Applications*, 2(4), 269~280.
- Hwang, H.S. and Park, T.W.(2000), Effects of RAM and LCC in Manufacturing System Performance, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers 2000 Proceeding*, 44~47.
- IEC(2005), IEC 60300-3-3, *Dependability management - Part 3:Application guide-Section 3:Life cycle costing*.
- Jang, J.S. and Youk, C.H.(2002), Analysis of Life Cycle Cost Based on RAM Analysis, *Journal of International Cost Institute*.
- Kwon, Y.S. and Jo, S.Y.(2003), Cost estimation of defense acquisition programs using parametric cost models, *2003 System Engineering Spring Symposium Proceeding*, 54~59.
- Lee, S.K.(2003), A Study on the Life Cycle Cost by the Parametric Estimation with WBS, *2003 System Engineering Spring Symposium Proceeding*, 40~53.
- Lee, T.H. and Park, C.S.(2003), Prediction/Investment Cost Analysis for Korea High-Speed Railway System,, *2003 System Engineering Spring Symposium Proceeding*, 60~64.
- Moon, H.L. et. al.(2000), Methodology to Decide Optimum Replacement Term for Components of Nuclear Power Plants, *The Korean Reliability Society 2000 Proceeding*, 257~267



한석윤

부산대학교 기계공학과 학사
연세대학교 기계공학과 석사
성균관대학교 산업공학과 박사 수료
현재: 한국철도기술연구원 도시철도기술개발 사업단장
관심분야: 철도 RAMS 및 기술경영



하천수

동아대학교 산업공학과 학사
동아대학교 산업공학과 석사
동아대학교 산업공학과 박사
현재: 한국철도기술연구원 경량전철연구팀 연구원
관심분야: 신뢰성공학 및 철도 RAMS



홍순기

서울대학교 금속공학 학사
Univ. Col. of Swansea(영국) 경영과학 Diploma
Univ. Col. of Swansea(영국) 경영과학 석사
Univ. Col. of Swansea(영국) 경영과학 박사
현재: 성균관대학교 시스템경영공학과 정교수
관심분야: 기술경영, 기술예측, 기술경제