

LCC분석을 통한 궤도도상구조의 적정 유지관리수준 선정에 관한 연구

A Study on Proper Maintenance Level Selection of Track Ballast Structures Using LCC Analysis

안국* 이호열** 추장식*** 박 미연**** 임 종권*****
An, Kook Lee, Ho-Yeol Chu, Jang-Sik Park, Mi-yun Lim, Jong-kwon

ABSTRACT

Several research institutes including KISTEC and KRRI etc., recently, have studied maintenance activities and performance, in order to determine proper maintenance level and maintenance cost of rail tracks. But it may extremely difficult to make a decision in maintenance matters of concrete track and ballast containing other sub-components. For these reasons, this study investigate variables related to current maintenance, essential maintenance, and preventive maintenance. It is intended to suggest estimation method of proper maintenance cost maximizing rail track performance. It is stated that proposed approach may be very useful to make a decision of proper maintenance level. Typical section of rail track is applied for calculation of life cycle cost according to each maintenance strategy. A proper profile for maintenance is determined minimum life cycle cost.

1. 현황 및 문제점

국내 철도는 1899년 경인선 개통 이래로 100년간의 역사를 가지고 있으며, 현재 km당 국내수송량은 20%이상을 담당하고 있다. 또한, 최근 KTX의 도입으로 인하여 노선의 복선화 및 고속화를 위한 철도 노반 개량공사 및 건설공사가 활발히 진행되고 있다.

이러한 철도시설물중 궤도도상 구조물은 설계시 또는 시공시 뿐만 아니라 정기점검 및 정밀점검 등의 유지관리시에 궤도도상 구조물의 손상정도에 따라 보수 및 교체가 이루어지며, 이는 지속적인 비용지출로 이어진다.

그러나 현재까지의 유지관리는 한정된 예산의 범위내에서 보수·보강, 대수선을 실시하기 때문에 적시적소에 예산이 반영되지 못함으로, 구조물의 열화손상이 더 심해지는 경우가 발생하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 철도 궤도도상구조물에 대하여 LCC분석 모델을 통한 유지관리수준을 선정하고, 이러한 모델에 기초하여 실제 궤도도상구조물에 적용하여 LCC 측면에서 비용 절감효과를 검토하고자 한다.

2. LCC 분석에 의한 경제성 평가

경제적인 시설물의 계획을 위해서는 계획 단계 시 초기건설비용 및 유지관리비용을 고려한 의사결정이 필요하다. 현재 계획단계에서 궤도 유지관리비용 산정기준은 도표 1의 자료를 이용하여 유지보수비용을 추정하고 있다.[1]

* (주)아이엠기술단, 토목민자사업팀, 과장
E-mail : kookan@korea.com
TEL : (02)2205-1102 FAX : (02)2205-1123

** (주)아이엠기술단, 토목민자사업팀, 대리

*** GS건설(주), SOC팀, 과장

****(주)아이엠기술단, 기술연구소,이사

***** (주)아이엠기술단, 대표이사

도표 1. 유지관리비용 산정기준

유지관리항목	비용 산정근거	적용근거
궤도유지보수	47.2백만원/km(단선기준)을 개통 후 10년후부터 매년 적용	한국개발연구원 (2001)
궤도 교체	12.2억원/km(복선기준)을 개통 후 25년 마다 적용	한국개발연구원 (2001)

기준에 LCC의 개념이 도입되지 않은 시기에 LCC분석에 의하기 보다는 경험에 기초한 유지보수 방법에 의한 실적치이다.

최근에는 계획, 설계, 유지-보수 및 대수선 단계에 이르기까지 체계적이고 효율적인 유지관리를 위하여 시설물관리시스템(FMS, Facility Management System) 등의 운용을 시도하고 있으며, 유지보수 방법에 LCC 분석개념을 도입하여 효율적이고 경제적인 방법을 도입함으로써 유지보수에 투입되는 비용을 감소시킬수 있다.

2.1 유지관리 프로파일의 모형화

궤도도상구조에 대한 적정 유지관리수준을 제시하기 위해선 각각의 유지관리수준에 대해 LCC가 분석되어야 한다. 각각의 LCC는 비교되어 상대적 차이를 분석하고 이를 토대로 경제이익에 대한 절감효과의 분석으로 적정 유지관리수준의 결정이 가능해진다. [2]

적정 유지관리 수준을 정립하기 위해 도표 2와 같이 한국시설안전기술공단 [3]에서 제시된 세 가지 유지관리수준의 비교·검토를 통하여 적정 유지관리수준과 이에 따른 유지관리 프로파일이 결정된다.

적정 유지관리수준에 대한 LCC 분석을 위해서는 유지관리 조치와 관련된 일상적인 점검비용 외에 대대적인 보수·보강비용 및 대수선 비용 그리고 시설물별, 구성요소별로 기대되는 보수-보강년도와 수명에 대한 데이터가 필요하다.

그러나, 현재 시설물에 대한 유지관리 데이터가

축적되어 있는 것이 거의 없는 실정이어서 실적데이터로 적용하는 것에는 무리가 있다. OECD[4]에서도 과거이력에 기초한 방법으로는 적정 유지관리비용의 산정은 기대하기 어렵다고 보고 있으며 이러한 사항으로 FHWA[5]에서는 실질적인 자료가 없는 경우 대안으로서 전문가의 의견과 경험을 수렴하는 방안의 제시하고 있기에, 본 연구에서는 전문가집단을 대상으로 설문조사를 실시하여 이들의 경험과 기술적 판단을 수렴하였다

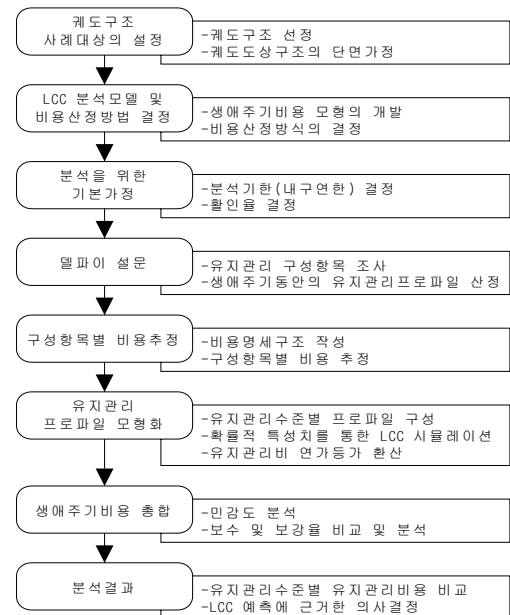


그림 1. 궤도구조의 LCC 분석절차

도표 2. 유지관리수준의 정의

구 분	내 용
현행 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 시설물의 안전관리에 관한 특별법에서 정하고 있는 유지관리수준 • 어느 정도의 유지관리를 수행하나 예산부족으로 인하여 항상 적기에 유지보수를 할 수 없는 전략
사후 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> • 안전 상에 문제가 있는 시설물 위주로 유지관리를 시행하는 유지관리수준 • 건설 완료 후 거의 방치하였다가 내하력 및 안전성에 문제가 발생할 경우에 그 대책을 강구하여 보수/보강하는 전략
예방 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> • 열화를 방지하기 위하여 또는 결함의 전진을 막기 위해 필요한 조치를 취하는 유지관리수준 • 결함을 적극적으로 찾아내고 조치의 필요성이 대두되는 즉시 결함을 제거하기 위한 조치를 내리는 전략

2.2 델파이설문을 통한 LCC 분석

델파이기법은 하나의 주제에 대해 해당분야의 전문가들이 의견을 제시하고 조정하는 과정을 반복하여 최종 합의점을 집단적 판단으로 정리하는 일련의 절차라고 할수 있다. 절차의 반복과 통제된 피드백, 응답자의 익명, 통계적 집단반응의 절차를 특징으로 갖는다[6]

본 연구에서는 총 2회의 전문가 설문을 통하여 궤도도상구조의 유지관리 항목 및 생애주기 프로파일을 도출하였다.

3. 궤도도상구조의 LCC 분석 모델

3.1 LCC 분석 정의

생애주기비용은 시설물의 계획 단계에서부터 구조물의 폐기처분시까지의 모든 비용, 즉 계획, 설계비, 건설비, 유지관리비, 폐기물 처리비용을 합한 것으로 구조물의 공용수명에 필요한 모든 비용을 의미한다. 또한 건설분야에 있어서 생애주기비용분석이 시설물의 건설에 있어서 하나의 대안 또는 복수의 대안에 대하여 경제적 생애주기(Economic Life Cycle)에 걸쳐서 발생하는 비용을 체계적으로 결정하기 위해서 구조물의 경제수명 범위내에서 각 대안의 경제성을 일정한 기준으로 정하여 등가환산한 값으로 평가하는 방법으로 정의할 수 있다.

3.2 LCC 분석 절차

일반적으로 LCC 분석은 확정적 방법과 확률적 방법으로 구분된다. 확정적 방법은 최확기대치를 가지고 LCC 분석을 수행하여 하나의 결과를 얻을수 있으며, 확률적 방법은 불확실한 입력변수에 대한 분포 형태나 변동계수와 같은 확률적 특성값을 사용하고, 이를 Monte Carlo Simulation 기법과 같은 확률해석기법을 이용하여 분석한다. 따라서 확정론적 방법과 비교하면 좀더 과학적이고 합리적인 방법이라 할수 있다. 본 연구에서 궤도 도상구조에 확률론적 LCC 분석방법을 사용하였으며, 분석절차는 다음과 같다.

첫째, 관련계획을 검토하고 분석관련 문헌 및 교통관련 기초자료를 수집한다.

둘째, 비교안에 대한 초기비용, 유지관리비용, 사용자비용 등에 대한 모델을 추정한다.

셋째, 비교안에 대한 요소수명, 공기, 단가 등을 산정한다.

넷째, 비교안에 대한 주체별, 생애주기별, 비용요소별 LCC 분석을 수행한다.

다섯째, 비교안에 대한 상대절감을 또는 중요 항목별 민감도를 분석하여 산정안의 타당성을 검토 한후 최적안을 제시한다.

3.3 궤도도상구조의 LCC 분석 모델

본 연구의 LCC 분석모델은 Ehlen & Marshall(1996)의 분석모델 및 비용분류 모델에 따랐다.

$$PVLCC = IC + PVOMR + PVD \quad (1)$$

여기서, PVLCC : 현재가치의 생애주기비용

IC : 초기비용

PVOMR : 유지관리비용

PVD : 폐기처분비용

식(1)에서 초기비용(IC) 항목은 조사비용, 설계비용 및 건설비용의 범주로 구분할 수 있으나 가장 큰 부분을 차지하는 항목은 건설비용이며, 엔지니어링사업 대가기준(과학기술부 공고) 및 공사감리 대가기준(한국건설감리협회)을 바탕으로 산출한다.

유지관리비용(PVOMR)의 항목은 구조물의 건설 이후 보수·보강 또는 재해에 의해 발생하는 비용으로써 공용중에 소요되는 비용으로서 3.4절과 같이 세분화하여 산정한다. 또한, 폐기처분비용(PVD)은 궤도도상의 수명이 다한 후 해체비용과 주요부재 또는 구조물의 재활용에 따른 이익을 고려하는 종합적인 비용이다.

3.4 유지관리비용(PVOMR)

궤도도상구조의 유지관리비용(PVOMR)에 대한 산정은 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$PVOMR = MC_{Ins} + MC_{Re} + MC_{De} + MC_{Eco} \quad (2)$$

여기서 MC_{Ins} : 점검,진단 비용 MC_{Re} : 보수,보강,교체비용
 MC_{De} : 시간지체비용 MC_{Eco} : 지역경제손실비용

가. 점검 및 진단비용(MC_{Ins})

점검 및 진단은 정기점검, 정밀점검 및 정밀안전진단 등으로 구분되며, 각각의 대가 산출은 건교부 고시 제 2001-273호 건설공사 안전점검 대가산정기준에 의해 산정한다.

나. 보수,보강 및 교체비용(MC_{Re})

궤도도상의 건설후부터 지속적으로 소요되는 비용으로서 보수·보강 및 교체비용은 LCC 비용에서 매우 중요한 부분이다. 정확한 예측을 위해서 과거의 유지보수 자료 또는 산정 기준등에 근거하여 주기, 보수율, 비용에 대한 자료를 추정해야 하나 지금까지 통계적으로 축적되지 않아서 본 연구에서는 다음 표 3에 근거하여 보수·보강 및 교체비용을 추정하였다.[7][8]

다. 시간지체비용(MC_{De})

본 연구에서는 보수·보강 및 교체시 발생하는 철도운행의 시간지체에 대한 비용을 도표 3와 같이 산정하였다. 표 4는 경전선 OO구간에 대하여 2025년을 기준으로 산정하였으며, 1인당 시간가치는 전산업 월평균급여와 차종에 따른 운임비용을 통하여 산정하였다.[9][10]

도표 3. 시간-차량 1대당 단위 시간지연비용 산출내역(경전선 기준, 2025년 기준)

요소		①	②	③	④	②③④ (백만원/시간-일)
		교통량비율(%)	열차종별 일일 평균 횟수 T_j (대/일)	1인당 시간가치 U_j (원)	평균재차인원 N_j (인/대)	
여객	새마을	23.1	6	11,856	1,307	93
	무궁화	38.5	10	4,940	2,178	107.6
	통일	30.8	8	2,470	2,174	43
화물		7.7	2	58	672	0.08
합계		100	26			243.68

라. 지역경제 손실비용(MC_{Eco})

지역경제손실비용은 철도의 운행중지나 지연등으로 인해 재상지역의 산업시설 혹은 상업시설에 미치는 간접적인 경제적 손실을 의미한다. 도로의 경우, Seskin(1990)은 간접적 지역경제 편익을 도로이용자 편익의 50~150% 정도 제시하고 있으나, 철도에서는 이에 대한 연구가 미비하고 물류수송의 중요성을 고려하여 안전측으로 도로의 최대비용인 150%으로 가정하였다.

4. 사례적용

4.1 분석조건

궤도 시설물의 기대공용수명은 25년으로 적용하고, 할인율은 4.5%로 적용하였다.[11]

4.2 델파이 설문에 의한 유지관리 항목 도출

구성요소별로 기대되는 보수, 보강 및 교체 주기에 대한 데이터를 결정하기 위해 이력 데이터 없이 산정이 가능한 전문가 설문조사법으로 분석하였다.

도표 6. 궤도도상구조의 유지관리 항목 설정

자갈도상		콘크리트 도상	
① 자갈도상 다짐	② 자갈 살포 고르기	① 콘크리트 도상 보수	② 방진재, 레일패드 교체
③ 자갈도상 교체	④ PC침목 교체	③ RC침목 교체	④ 레일 교체
⑤ 레일 교체	⑥ 체결구 교체	⑤ 콘크리트도상 교체	⑥ 체결구 교체
⑦ 분기기 교체	⑧ 순회 및 기본관리	⑦ 분기기 교체	⑧ 순회 및 기본관리
⑨ 점검 및 진단	(면맞춤, 유간정정, 궤간정정 등)	⑨ 점검 및 진단	(면맞춤, 유간정정, 궤간정정 등)

4.3 적용대상

본 연구는 경전선 복선화 개량공사 OO구간에 적용될 궤도구조를 중심으로 LCC분석을 수행하였다. 비교대안으로 전체 자갈궤도, 전체 콘크리트궤도, 자갈궤도 + 콘크리트궤도에 대해 분석기초자료를 분석하였고, 초기비용은 철도투자편람(2001)[8]에 제시된 비용을 토대로 산정하였으며, 연장은 전체 20km 로 가정하였다.

4.4 분석결과

경전선 OO구간에 적용될 궤도구조를 중심으로 확정적 방법으로 LCC분석을 수행하였다.

도표 5. 항목별 LCC 분석 결과

비교안		총 LCC	초기비용	유지관리비용	해체폐기비용
자갈궤도	현행	1,712.4	220.0	1,435.3	57.1
	사후	1,829.8	220.0	1,552.6	57.1
	예방	1,655.2	220.0	1,378.0	57.1
콘크리트궤도	현행	1,225.4	360.0	793.0	72.4
	사후	1,276.3	360.0	843.9	72.4
	예방	1,170.7	360.0	738.2	72.4
자갈궤도 + 콘크리트궤도	현행	1,468.9	290.0	1,114.1	64.8
	사후	1,553.1	290.0	1,198.2	64.8
	예방	1,412.9	290.0	1,058.1	64.8

(단위 : 억원)

분석결과 자갈궤도의 경우엔 예방유지관리 방법이 가장 경제적인 방법이며, 기존 현행 유지관리 방법에 비해 10.5% 정도의 비용 감소를 기대할수 있고, 콘크리트궤도의 경우엔 예방유지관리 방법이 가장 경제적인 방법이며, 기존 현행 유지관리 방법에 비해 9% 정도의 비용 감소를 기대할수 있고, 자갈궤도 + 콘크리트궤도의 경우엔 예방유지관리 방법이 가장 경제적인 방법이며, 기존 현행 유지관리 방법에 비해 9.9% 정도의 비용 감소를 기대할수 있었다.

5. 결론

본 연구는 자갈궤도와 콘크리트궤도에 대하여 각각 3가지의 비교대안을 가지고 검토를 하였다. 검토가 되는 궤도구조는 설계상황에 따라 각각 상이하지만, 유지관리 수준의 측면에서는 기존의 현행 유지관리에 비해 예방유지관리가 평균적으로 9.8% 정도의 비용 감소를 기대할 수 있었기 때문에, 이후에 궤도 시설물의 관리주체는 가능한한 예방유지관리의 관점에서 점검, 보수, 교체를 위해 예산을 미리 확보해 놓는 방법이 전체적인 국가예산을 줄일수 있는 방법으로 보여진다.

참고문헌

1. 대한교통학회(2003), “철도투자분석 및 평가편람 개정”
2. 백재욱,주환중,송유섭,박대효(2007), “적정 유지관리수준에 기초한 궤도도상구조에 대한 경제성 검토”
철도학회논문집 제10권 제2호 pp.167~178
3. 건설교통부, 한국시설안전공단(2001), “LCC개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구”
4. OECD(1981), Bridge Maintenance, Rep. Road Research, Road Research Group, Organization for Economic Co-operation and Development. Paris. France.
5. O’connor, P. S. and Hyman (1989). Bridge Management System, FHWA-DP-71-01R, Technical Report, FHWA.
6. Linstone, H.A. and Turoff, M. (1975). The Delphi Method”F Techniques and Applications, Addison-Wesley Publishing Company.
7. 국토연구원(2001), “민간투자사업의 운영관리산정에 관한연구 : 유지관리비 중심으로”
8. 대한교통학회(2001), “철도투자편람”
9. 철도청(2000), “경전선 개량 기본계획보고서”
10. 철도청(2004), “철도통계연보”
11. 한국시설안전기술공단(2002), “교량 LCC 분석모델 개발 및 DB 구축방안 연구”