

LCC분석을 통한 교량 유지관리수준의 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Bridge Maintenance and Operation Level Using Life-Cycle Cost Analysis

전 용 현*O 이 영 대** 박 혁*** 김 성 환**** 김 사 명*****
 Chun, yong-Hyun Lee, Young-Dae Park, Hyeok Kim, Sung-Hwan Kim, Sa-Myung

요 약

도로시설물의 수명동안 비용이 최소가 되는 최적의 건설 및 유지관리 전략을 수립하기 위해서는 시설물에 대한 체계적인 LCC분석이 이루어져야 하지만 아직 국내 건설프로젝트 중 토목시설물에 대한 LCC연구는 거의 이루어지지 못하여 이에 대한 기초적 연구 및 실적자료가 절실히 필요한 시점에 와 있다. 본 연구에서는 사례교량의 LCC분석을 통해 유지관리 실태를 파악하고, 장래 요구되는 유지관리수준과의 비교분석을 통해 적정유지관리수준을 제시함과 동시에 아직 사례가 별로 없는 교량구조물에 대한 실적 LCC 기초자료를 얻고자 하였다. 본 연구를 통해 LCC 측면에서 볼 때, (1) PSC교나 RC교에 비해 강교가 경제적임을 알 수 있었으며, (2) 향후 더욱 적극적인 유지관리가 필요한 것으로 분석되었다.

키워드: 생애주기비용, 유지관리수준, 민감도분석

표 1. 유지관리수준의 정의¹⁾

1. 서론

도로시설물과 같은 장기투자에서는 초기투자비용 뿐만 아니라 유지관리비 및 폐기처분비용을 포함하는 총 비용이 중요한 관건이다. 따라서 도로시설물의 수명동안 비용이 최소가 되는 최적의 건설 및 유지관리 전략을 수립할 필요가 있다. 이러한 전략을 신규 건설이나 기존 시설물의 유지관리에 적용하여 시설물의 수명을 연장하고, 안전성을 확보함으로써 신규사업이나 유지관리에 소요되는 예산을 절감하고 사용자 비용 등 사회적 비용을 최소화하여야 할 것이다. 이를 위해서는 토목시설물에 대한 LCC 연구가 많이 수행되어, 체계적인 LCC 분석자료의 관리가 이루어져야 하지만 아직 국내 건설프로젝트 중 토목시설물에 대한 LCC 연구는 시작단계로 이에 대한 기초적 연구 및 실적자료가 절실히 필요한 시점에 와 있다. 본 연구에서는 OO지역의 교량 중 강교, RC교, PSC 교 각 10개소, 총 30개소의 사례교량에 대하여 먼저 형식별 초기공사비, 설계 및 감리비, 유지관리비를 고려한 LCC 분석을통하여 유지관리 실태를 파악하고, 장래 요구되는 유지관리수준과의 비교·분석을 통해 적정유지관리수준을 제시함과 동시에 아직 사례가 별로 없는 교량구조물에 대한 실적 LCC 기초자료를 얻고자 하는데 그 목적이 있다.

유지관리수준	정 의
실제유지관리수준	- 사례교량의 시설물 관리대장에서 발체한 실제비용자료를 이용하여 산정.
현행유지관리수준	- 점검 및 진단, 보수·보강·개축 등 우리나라의 현실 실태를 반영하는 유지관리수준으로 현재까지의 도로공사 유지관리실태를 반영한 수준. - 이 정도의 유지관리를 할 경우 교량을 약 50년 정도 사용할 수 있을 것으로 가정하여 산출한 금액.
예방유지관리수준	- 교량이 우수한 수준으로 유지관리되기 위해 요구되는 수준으로 교량의 장수명화(현재 도로공사에서는 교량의 내용년수를 100년으로 설정)를 위해 필요한 유지관리수준. - 이 정도의 유지관리를 할 경우 교량을 약 100년 정도 사용할 수 있을 것으로 가정하여 산출한 금액.

2. 교량 유지관리수준에 대한 정의

본 연구에서는 유지관리수준을 다음과 같은 세 가지로 정의한 후, 실제 교량에 적용시켜 LCC분석을 행하여 각각의 유지관리수준을 비교하고자 한다. 시설안전기술공단에 서 제시한 유지관리수준으로서 본 연구에서의 비교대안인 세가지 유지관리수준을 정리하여 나타내면 표 1과 같다.

* 일반회원, 부경대학교 대학원, 공학석사
 ** 종신회원, 부경대학교 토목공학과 교수, 공학박사
 *** 일반회원, 울산광역시 중구청 건설도시국장, 박사수료
 **** 일반회원, (주)유신코퍼레이션 상무이사, 박사수료
 ***** 일반회원, (주)유신코퍼레이션 상무이사, 박사과정

3. LCC 분석이론

3.1 경제성 평가방법

경제성공학(Engineering economy¹⁴⁾에서는 대안들의 경제성분석을 위한 기준으로 비교기준이 필요하고, 이것은 대안들을 공통적인 기준으로 변경 또는 환산시키는 지표의 미한다. 이때 비교를 위한 보편적인 기준으로 현재가(Present Worth), 연간등가(Annual Equivalent), 미래가(Future Worth), 내부수익율(IRR), 회수기간(Payback Period) 등으로 나눌 수 있으며, 이 중 분석기간이 서로 다른 대안의 비교에는 현재가를 먼저 계산한 후 연간등가(Equivalent Uniform Annual Cost)로 전환하는 방법이 많

이 사용되고 있다.¹³⁾ 따라서 본 연구에서의 경제성 분석은 화폐의 시간적 가치를 가장 적절히 고려할 수 있는 현금법과 연가법을 이용하여 비용을 등가 환산하고 이를 비교하고자 한다.

3.2 교량 LCC분석 변수

적정유지관리수준의 제시를 위한 유지관리수준별 유지관리비의 비교·분석을 위하여 본 연구에서는 전문가집단의 설문조사 결과를 분석한 시설안전기술공단의 연구자료와 사례교량의 교량관리대장을 이용한다. 본 연구에서의 분석변수를 요약정리하면 표 2와 같다.

표 2. 본 연구에 사용된 주요 변수의 기본가정

주요변수	기본가정	비고
초기 공사비	· 사례교량의 LCC분석시 사용 · 유지관리수준별 유지관리비 예측시 사용	
설계 및 감리비	· 사례교량의 LCC분석시 사용 · 유지관리수준별 유지관리비 예측을 위해 초기공사비에 포함	· 엔지니어링협회의 건설부분요율 적용
유지 관리비	· 실제유지관리비 : 사례교량의 관리대장자료 이용 · 현행 및 예방유지관리비 : 초기공사비 대비 유지관리비 적용비율로 산정	<Table 3.4> 참조
점검 및 진단비	· 연간 일정비율로 지출되는 것으로 계산	「안전점검 및 정밀안전진단대가기준」, 건설교통부 고시 (1999. 12. 30) <Table 3.4> 참조
유지관리 조치시기	· 시설안전기술공단의 전문가 설문자료와 사례교량들의 유지관리 자료를 이용하여 결정	「LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구」, 시설안전기술공단, 2001년
할인율	· 4.5%	
분석기간	· 실제유지관리수준 : 각사례교량의 사용년수 · 현행유지관리수준 : 50년 · 예방유지관리수준 : 100년	

4. LCC분석결과 및 고찰

4.1 교량형식별 비용자료에 대한 고찰

사례교량의 비용자료를 표2의 기본가정에 따라 LCC를 산정한 후, 비교·분석하였다. 그림 1~그림 3에 각 사례교량의 교량형식별 비용자료를 비교하여 나타내었다. 분석결과 초기공사비, 설계 및 감리비에서는 강교에 비해 RC교나 PSC교가 더 경제적인 것으로 나타났으며, 유지관리비는 강교가 RC교나 PSC교에 비해 더 경제적인 것으로 나타났다.

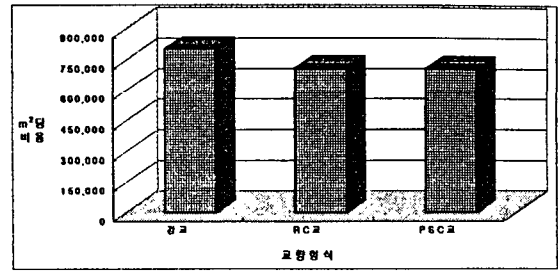


그림 1. 교량형식별 ㎡당 초기공사비(2003년 기준)

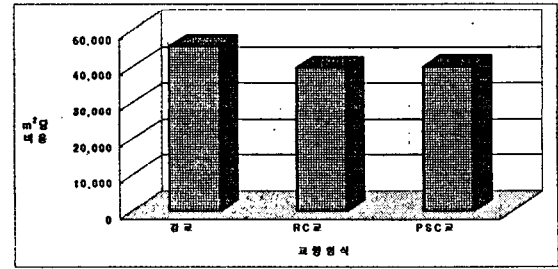


그림 2. 교량형식별 ㎡당 설계 및 감리비(2003년 기준)

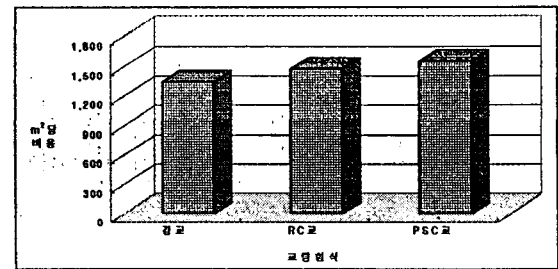


그림 3. 교량형식별 ㎡당 유지관리비(2003년 기준)

그림 4를 보면 LCC측면에서는 강교가 RC교나 PSC교에 비해 경제적으로 불리함을 알 수 있다. 그러나 초기공사비를 절감할 수 있다고 가정한다면, 유지관리비용이 경제적인 강교가 RC교나 PSC교에 비해 경쟁력이 있다고 보아진다.

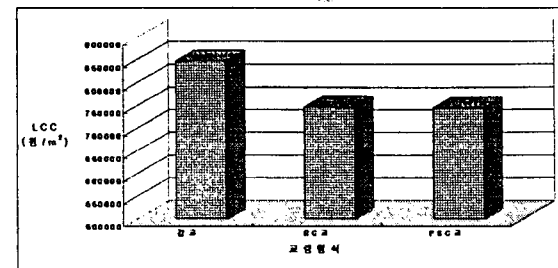


그림 4. 교량형식별 ㎡당 LCC(2003년 기준)

4.2 유지관리수준에 따른 유지관리비의 비교

그림 5~그림 7에는 유지관리수준별 평균보수율을 비교하여 나타내었다. 그림 5~그림 7에서 볼 수 있듯이 실제유지관리수준의 평균보수율은 약 0.44%를 나타내고 있고, 현행

유지관리수준의 평균보수율과 예방유지관리수준의 평균보수율은 각각 약 0.75%, 1.46%를 나타내고 있어 현행유지관리수준에 비해 각각 0.3%, 1.0%정도의 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이 수치는 예방유지관리수준의 평균보수율을 100%로 보았을 때 실제유지관리수준의 평균보수율은 불과 30%, 현행유지관리수준의 평균보수율은 51%정도에 그치는 수준이다. 이는 연구지역내 교량의 실제 유지관리수준이 요구되는 유지관리수준에 크게 못미치고 있다는 것을 말해준다.

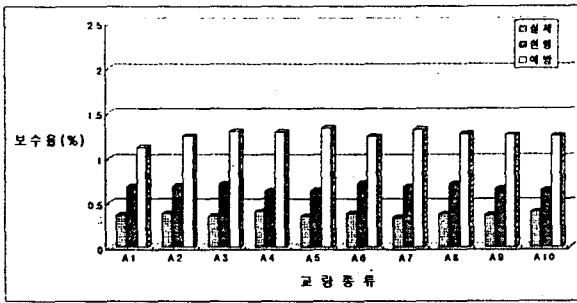


그림 5. 강교의 유지관리수준에 따른 보수율 비교

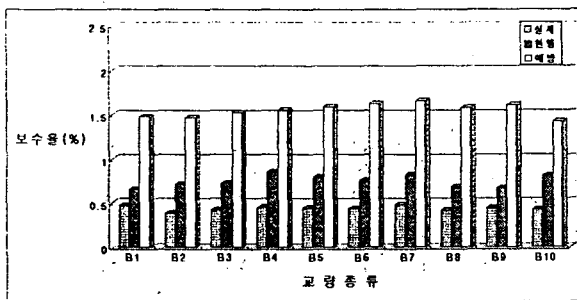


그림 6. RC교의 유지관리수준에 따른 보수율비교

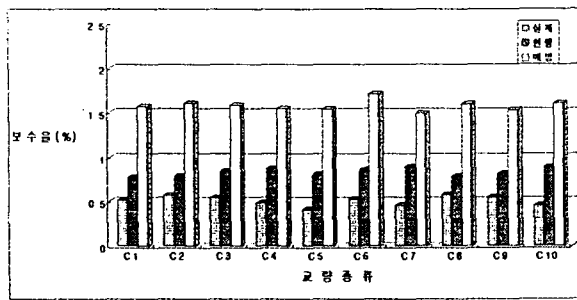


그림 7. PSC교의 유지관리수준에 따른 보수율 비교

이 결과를 표 3에서의 각국의 보수율과 비교해보면, 실제 유지관리수준은 다른나라의 보수율에 비해 상대적으로 낮은 것을 알 수 있으며, 이탈리아와 독일 및 일본이 제시한 1.5~2.5%에 비하면 현저하게 낮은 수준임을 알 수 있다. 그러나 예방유지관리수준은 이탈리아, 독일 및 일본의 수준과 비슷하며, 이탈리아나 독일 이외의 나라에 비해서는 상대적으로 높은 유지관리수준인 것을 알 수 있다.

표 3. 각국의 유지관리비 비교

국가	조사대상교량	유지관리비 비율	유지관리비의 적정성
덴마크	1900개교	0.6%/년: 일상점검 0.5%: 개축비에 대한 비율	부족
프랑스	모든교량	0.3%(개축비의) \$10/m2(현수교) \$5/m2(강교)	매우부족
독일	1노선 및 1시(함부르크)평균 교량 30년	1.0~1.5% 0.5~1.1%	
이탈리아	1200개교	1.5%	어느정도 적당함
일본	모든 교량	2.5%	충분함
노르웨이	국도 및 지방도상교량	0.6% 국도: \$1100/교 지방도: \$350/교 평균: \$700/교	적당
스웨덴	국도 및 지방도상교량	\$1100/교	적당
스위스	국도 및 지방도상교량	0.4~0.8%	
영국	모든 국도상 교량	0.5%, \$700/교	적당하나, 장기간의 손상예방에는 부족
미국	258,000개의 연방지원교량	\$285/교	부족
본연구	00시의 30개 사례교량	실제: 0.44% 현행: 0.75 예방: 1.46%	실제, 현행은 부족 예방은 적당

4.3 민감도 분석

LCC분석 시 예측된 영향인자들은 불확실한 미래를 예측하여 추정된 값이기 때문에 이의 변화에 따라 총비용(LCC)은 가변성을 내포하게 된다.¹³⁾ 본 연구에서는 민감도분석(Sensitivity Analysis)을 이용하여 이러한 불확실성에 대응하고자 한다. 그림 8은 할인율의 변화에 따른 순현재 초기공사비(㎡당 비용)의 변화를 도식화하여 나타낸 것으로서, 그래프의 기울기가 클수록 민감하게 반응하는 것을 의미한다. 그림 8에 의하면 할인율의 변화에 따라 순현재 초기공사비(㎡당 비용)가 점차 감소하는 경향을 보이는 것을 알 수 있으며, 1.5~4.5%의 낮은 할인율 구간에서는 민감하게 반응하고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 실질할인율이 약 7.0%를 넘어서는 시점부터는 곡선의 변화가 완만하게 나타나고 있으므로 7.0% 이상의 높은 할인율에 대해서는 할인율의 변화를 크게 고려하지 않아도 된다고 판단된다.

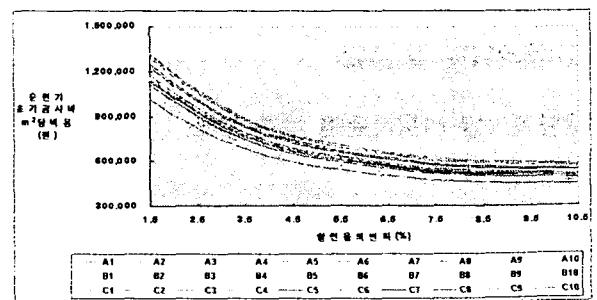


그림 8. 할인율의 변화에 따른 순현재 초기공사비의 변화

5. 결론

LCC 분석기법을 이용, 사례교량의 LCC를 분석하여 사례교량 형식별 유지관리 현황을 파악하고, 유지관리수준에 따른 유지관리비용을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 사례교량의 교량형식별 m²당 LCC를 비교한 결과 강교는 847,449원/m², RC교는 746,746원/m², PSC교는 745,365원/m²로 나타났으며, PSC교와 RC교가 강교에 비해 LCC 측면에서 약 12%정도 더 경제적인 것으로 나타났다.
2. 유지관리수준별 평균 보수율을 비교한 결과 실제유지관리수준의 평균보수율은 약 0.44%, 현행유지관리수준은 약 0.75%, 예방유지관리수준은 약 1.46%를 나타내었다. 이는 예방유지관리수준의 평균 보수율과 비교할 때 실제유지관리수준은 불과 30%, 현행유지관리수준은 51% 정도에 그치는 수준으로, 유지관리수준을 예방관리수준으로 높여야 할 것으로 판단된다.
3. 할인율의 변화에 따른 순현재가 초기공사비의 변화를 살펴보기 위하여 민감도 분석을 한 결과, 1.5~4.5%의 낮은 할인율 구간에서는 민감하게 반응하였으며 할인율이 7.0%이상의 높은 구간에서는 낮은 민감도를 나타내었다. 따라서 1.5~4.5%의 낮은 할인율 구간에서는 할인율 적용시 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

장래의 비용을 예측하여 적용하는 불확실성을 내포하고 있는 LCC 분석의 신뢰도를 높일 수 있도록 실적자료의 축적과 전산화 등에 관한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단되며, 본 연구에서는 고려되지 않은 사용자비용, 해체·폐기비용 등을 고려한 종합적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 김상범, "RC Slab 교량의 Life Cycle Cost 분석에 관한 연구", 석사학위논문, 중앙대학교, 2001.
2. 건설교통부고시 제1999-409호, "시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침", 1999.
3. 김용수, "건축물의 Life Cycle Costing:방법과 활용, 그리고 문제점", 월간 건축, 대한건축학회, 제42권8호, pp.48-55, 1998.
4. 김형수 "교량의 생애비용(Life Cycle Cost)분석을 이용한 경제성평가에 관한 연구", 석사학위논문, 부경대학교, 2001.
5. 박정식·박종원 공저, 재무관리, 다산출판사, p.257, p.271, 1999.
6. 서울특별시, "도로 시설물 유지관리 기본계획 종합보고서", 1997.
7. 손보식, "LCC 분석을 이용한 노후 공공주택 개보수의 경제성 평가방법", 석사학위논문, 서울대학교, 2001.
8. 안장원, "Life Cycle Cost 기법을 이용한 교량의 경제성 분석-PSCI, STB, PSCB 교량을 중심으로 한 사례연구-", 박사학위논문, 중앙대학교, 2001.
9. 이철규, "퍼지 및 유전알고리즘에 의한 교량 시설물의 적정 유지관리 방법", 박사학위논문, 중앙대학교, 2000.
10. 차강석, "Life Cycle Cost 기법을 이용한, 교량 상부구조의 형식에 따른 경제성 분석에 관한 사례연구-Steel Box교 와 PC Box교의 사례비교를 중심으로-", 석사학위논문, 중앙대학교, 2000.
11. 최길대, "수명주기비용분석기법을 적용한 교량유지관리 방안에 관한 연구", 박사학위논문, 중앙대학교, 2001.
12. 시설안전기술공단, "정밀안전진단교육교재", 1999.
13. Lee, Reginald, "Building Maintenance Management", BSP Professional Books, 3rd ed, pp.37, 1988.
14. Thuesen, G. J, and Fabrycky, W. J, "Engineering Economy", Prentice-Hall, 9th ed. pp.152~169, 2000.

Abstract

This study predicts the maintenance and operation level of the bridge based on the LCC concept.

In order to predict the LCC of the given case, suggested the maintenance and operation level after reviewing other related materials. Apply the real information of the maintenance and operation to the three cases of the maintenance and operation level (real, current, and prevented maintenance and operation level). And based on such analytical measures, maintenance and operation costs and LCC in maintenance and operation level, have been predicted; therefore, suggests the basic information about maintenance and operation level for the bridge.

With a result of this study, we could obtain (1)the LCC of PSC-bridge and RC-bridge is more economy than Steel-bridge and (2)more active maintenance and operation of a bridge is absolutely necessary.

Keywords : LCC, Maintenance and Operation Level, Sensitivity Analysis