

Life Cycle Cost 기법에 의한 RC Slab 교량의 절감비용 예측에 관한 연구

A Case Study on the Reduction Costs Prediction of a Reinforced Concrete Bridge using LCC method

권 석 현*
Kwon, Suk-Hyun

김 상 범**
Kim, Sang-Beom

박 용 진***
Park, Yong-Jin

Abstract

This study predicts Life Cycle Cost of RC Slab bridge case in maintenance and operation level and calculated economic efficiency by the avoidable costs of a bridge. This result of the study can be summarized as follow: (1) LCC analysis model on the bridge case is suggested. (2) Maintenance and operation level of a bridge have been divided, and LCC of the bridge case has been predicted at current maintenance and operation level and required maintenance and operation level. (3) Reduction costs is predicted by LCC of the bridge case, and its economic efficiency is calculated.

요 지

본 연구는 교량의 경제성 평가를 통해 교량 가설시 유용한 정보를 제공하기 위해, RC Slab교를 대상으로 유지관리수준에 따른 교량의 LCC를 예측하여 절감비용을 예측하고자 하였다. 본 연구의 수행 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) 사례교량 LCC 분석 모델을 제안하였다. (2) 교량의 유지관리수준을 현행과 필요로 구분하고, 분석기간은 80년, 실질할인율은 4.5%로 가정하여 사례대상 교량에 대한 유지관리수준별 LCC를 예측하였다. (3) 사례교량의 LCC 예측결과를 통하여 절감비용을 예측하고 경제적인 절감효과를 파악하였다.

Keywords : Life cycle cost, RC slab bridge, Maintenance and Operation level, Reduction costs

핵심 용어 : 생애주기비용, RC Slab교, 유지관리수준, 절감비용

* 정희원, (주)도명E&C 대표이사, 공학박사 수료

** (주)도명E&C 기술연구소 소장, CVS

*** (주)도명E&C CM사업부 부장

E-mail : ksh6407@chol.com 02-571-1780

•본 논문에 대한 토의를 2007년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2008년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

교량은 교통소통 및 통행이 불가능한 지역의 통행을 가능하게 하는 중요한 사회간접자본시설로서, 건설교통부⁽¹⁾(2001)의 「교량현황조사」에 따르면 전국에는 16,117개소의 교량이 존재하며 총 연장은 1,188.8 km로 전체에 비해 499개소(106.7km)의 교량이 증가하였다. 이는 10년 전보다 무려 4,249개소(772.1km)가 증가한 것으로, 국내 산업이 급속도로 발전함에 따라 더욱 빠르게 증가하고 있는 추세이다.

하지만 아직까지 국내에서는 교량 건설계획시 초기비용만을 고려하는 경우가 많다. 최근에는 초기비용 이외에 교량의 유지관리비용, 해체·폐기비용 및 개축비용 등이 추가적인 비용에 대한 이해가 국내외적으로 확산되고 있고, 교량에 대하여 이러한 일련의 공공간 LCC를 기획단계에서부터 고려하는 추세에 있다. 그리고 최근 들어 이러한 LCC 고려에 따른 경제적 효과가 크다는 것이 널리 알려지면서 정부에서는 공공공사 효율화 방안의 일환으로 대형공사 발주시 LCC 검토를 의무화하고 있다.

그러나 국내에서는 주로 공동주택, 건축설비 및 기계 등을 LCC 연구대상으로 한 것들이 대부분이며, 공공시설인 교량을 대상으로 한 LCC 연구는 아직 미비한 상태이다. 최근 들어 교량과 같은 공공시설에 대한 효율적인 조달과 유지관리의 중요성이 인식되어 한국건설기술연구원⁽⁹⁾(1999)의 「교량관리체계(BMS, Bridge Management System) 개선에 관한 연구」는 교량관리의 체계적 방법을 제시하면서 LCC 기법의 도입 및 적극적 활용에 대한 필요성을 강력히 제기하였다. 최근의 이러한 추세에 따른 교량의 LCC에 관한 연구들을 보면, 김상범⁽⁴⁾(2001)의 「RC Slab 교량의 Life Cycle Cost 분석에 관한 연구」, 시설물안전기술공단⁽⁶⁾(2001)의 「LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구」 등이 수행되었다.

기존의 연구에서는 주로 유지관리단계의 사용자비용과 해체·폐기단계의 잔존가치가 고려되지 않았고, 유지관리수준별 유지보수비는 설문조사를 바탕으로 예측

되어 보다 현실적인 LCC 분석에 관한 연구가 수행되지 못하였다. 이러한 배경 하에서 수행된 본 연구의 목적은 사례교량의 유지관리수준에 따른 LCC 예측을 통해 경제성 평가를 하는데 있으며, 연구의 목적을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 사례대상인 RC Slab교의 LCC 구성항목을 도출하여, 교량 LCC 분석 모델을 제안했다.
- (2) 교량 LCC 모델을 사례대상에 적용하여, 사례교량의 유지관리수준별 현행 LCC와 필요 LCC로 구분하여 예측한다.
- (3) 사례교량의 현행 LCC와 필요 LCC의 예측결과를 통해 예상절감비용을 예측하고, 교량의 경제성을 평가한다.

1.2 연구의 절차 및 방법

본 연구는 교량의 LCC 분석에 관한 연구로서 앞서 기술한 연구목적에 달성하기 위하여 Fig. 1과 같은 절차에 따라 연구를 수행한다.

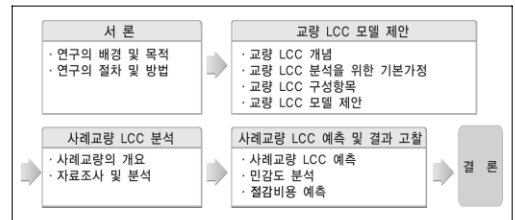


Fig. 1 연구의 흐름도

2. 교량 LCC 모델 제안

2.1 교량 LCC 개념

교량의 수명주기(Life Cycle, LC)란 교량의 가설부터 철거까지에 이르는 전 과정을 나타내는 용어로 일반적으로 계획단계, 설계단계, 입찰 및 계약단계, 시공단계, 인도관계, 유지관리단계, 해체·폐기단계 등 모든 단계를 포함한다. 따라서 교량 수명주기비용(Life Cycle Cost, LCC)은 교량의 수명주기 동안 발생하는 모든 비용 즉 계획, 설계, 시공, 유지관리, 해체·폐기 등에 소요되는 전체 비용을 의미한다.

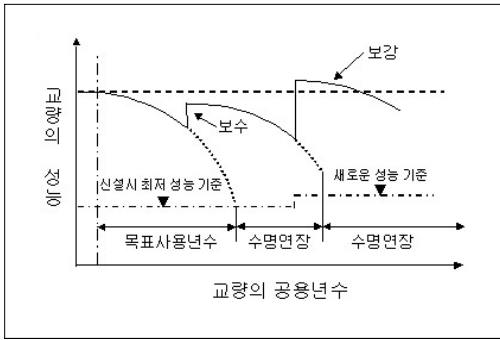


Fig. 2 교량의 유지관리와 Life Cycle의 상관관계

교량 수명주기의 특징은 Fig. 2와 같이 적절한 보수·보강을 수행함에 따라 성능이 개선되고 교량의 공용년수를 연장할 수 있다. 그러므로 언제 어느 시점에서 어떻게 보수·보강을 시행하느냐를 정확히 결정하는 것이 무엇보다 중요하다 하겠다.

2.2 교량 LCC 분석을 위한 기본 가정

LCC 분석은 시설물의 미래를 대상으로 하므로 기본적인 가정이 필수적으로 요구된다. 분석을 위한 대표적인 가정사항은 할인율과 분석기간이다.

2.2.1 실질할인율

할인율(Discount Rate)이란 시간의 가치를 나타내는 개념이며, LCC 분석시 미래금액을 현재금액으로 환산하기 위해 물가상승율과 할인율(이자율)을 동시에 고려하여 하나의 실질할인율을 나타낸다.

다음은 실질할인율을 산출하는 방법이다.

$$I = \frac{1+i}{1+j} - 1$$

여기서, I = 실질할인율, i = 이자율

j = 물가상승율

본 연구에서는 한국은행⁽¹¹⁾과 통계청⁽⁸⁾의 자료에서 금리자유화 이후인 1993년 이후의 자료에 대한 평균치를 이용하였다. 그 결과 이자율은 9.17%, 물가상승율은 4.43%이었으며 이때의 실질할인율은 4.53%인 것으로 계산되었고, 이의 근사치인 4.50%를 적용하여 LCC 분

석을 하고자 한다.

2.2.2 분석기간

LCC 분석을 위해서는 Life Cycle 동안 발생하게 될 비용을 분석하기 위한 공용년수에 대한 가정이 필수적으로 요구된다.

Table 1 통계치에 의한 각국의 평균 공용년수 추정값

국 가	강교	RC	PSC	기타
영 국	68	72	42	-
일 본	50	57	35	-
스웨덴	76	-	-	73
핀란드	75	-	-	86

주 : OECD Scientific Expert Group⁽¹³⁾(1992), "Bridge Rehabilitation and Strengthening"

교량에 대한 공용년수는 대략 50년에서 100년 정도로 인식하고 있다. 본 연구에서는 사례대상인 RC Slab교의 분석기간을 문헌조사와 전문가의 면담을 통하여 80년으로 가정하여 분석하고자 한다.

2.3 교량 LCC 구성 항목

본 연구에서는 교량 LCC 구성항목을 초기투자비, 유지관리비와 해체·폐기비로 분류하여 교량 LCC를 분석하고자 한다.

Table 2 교량 LCC 구성항목 분류

대분류	중분류	소분류
초기 투자비	기획·설계비	•설계비
		•감리비
	시공비	•직접공사비
		•간접공사비 •일반관리비 및 이윤
유지 관리비	일반 관리비	•인건비
		•기타
	점검 및 진단비용	•정기점검비
		•정밀점검비
		•정밀안전점검비
	유지 보수비	•보수비
		•보강비
		•교체비
	사용자 비용	•차량운행비용
		•시간지연비용
해체 폐기비	해체·폐기 처분비	•해체비
		•폐기처분비
	잔존가치	•폐기물 재활용비

2.3.1 교량 LCC 구성항목

선행되었던 교량에 관한 연구를 고찰한 후 다음 Table 2와 같은 교량 LCC 구성항목을 제시하였으며, 본 연구에서는 이와 같은 구성항목으로 교량 LCC를 분석하고자 한다.

2.3.2 교량 LCC 구성항목별 비용 산정방식

본 연구에서 분석하고자 하는 교량 LCC 구성항목별 비용 산정방식을 정리하면 다음 Table 3과 같다.

Table 3 구성항목별 비용 산정방식

구 분	세부항목	비용 산정방식
초기 투자비	기획·설계비	• 건설공사비 요율에 의해 추정
	시공비	• 건축전문업체로부터 견적자료에 의한 추정
유지관리비	일반관리비	• 사례교량과 유사한 기존교량으로부터의 자료조사에 의한 추정
	점검 및 진단비용	• 사례교량과 유사한 기존교량으로부터의 자료조사에 의한 추정 • 법령 및 대가기준에 의한 추정
	유지보수비	• 사례교량과 유사한 기존교량으로부터의 자료조사에 의한 추정 • 설문조사에 의한 추정
	사용자 비용	• 사용자비용 모델에 의한 추정
해체 폐기비	해체·폐기처분비	• 해체·폐기 전문업체로부터의 견적자료에 의한 추정
	잔존가치	• 전문업체로부터의 견적자료에 의한 추정

2.4 교량 LCC 분석 모델 제안

교량의 LCC 분석에서 초기투자비에는 설계비와 감리비를 포함하는 기획·설계비와 감리비를 포함하는 기획·설계비와 일반관리비와 이윤을 포함한 시공에 드는 비용인 시공비로 구성된다. 유지관리비는 교량을 관리하는데 드는 비용과 점검 및 진단비용, 사용자 비용을 포함하며, 해체폐기비는 잔존가치를 포함한 해체·폐기처분비용으로 구성된다. 이렇게 구한 각각의 비용에 가정된 분석기간과 할인율을 적용하여 교량 LCC를 예측한다. 이때 현행유지관리수준의 유지관리비와 공용년수 증대를 위한 필요유지관리수준의 유지관리비를 고려한 LCC 비교로 사례교량에 대한 총 절감비용을 예측하여 교량의 경제성을 평가한다.

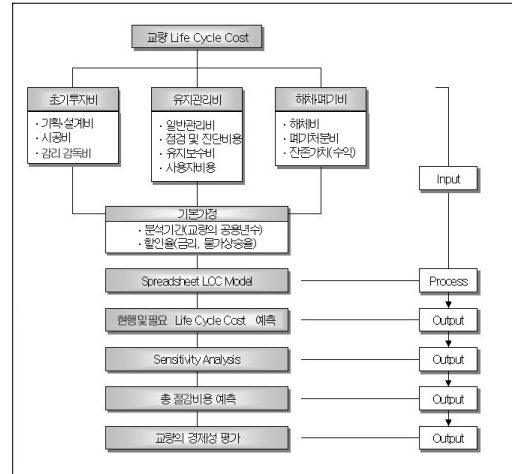


Fig. 3 교량 LCC 분석 모델

본 연구에서 제안하는 교량 LCC 분석 모델은 다음 Fig. 3과 같다.

3. 사례교량 LCC 분석

3.1 사례교량의 개요

연구대상 교량형식은 주로 상부구조에 의해 결정된다. 본 연구에서 수행하고자 하는 사례대상이 되는 교량형식은 국내 도로상의 교량 현황에서 가장 많은 RC Slab 형식을 선정하였고, 본 연구에서 적용되는 상부구조가 RC Slab 형식인 사례교량은 고속도로 상에 가설된 왕복 4차로, 총 연장 48.2m, 총 폭원 28.038m인 교량으로 다음 Table 4에서는 사례교량의 구조형식 및 제원 등을 나타내고 있다.

Table 4 사례대상 RC, Slab교의 개요

구 분	상부형식		RC Slab 형식
구조형식	하부형식	교대	역T형식
		교각	구주식
제 원	총 연장		48.2m
	경간수		3
	최대경간장		18m
	총 폭원		28.038m
	유효 폭		27.138m
	차로수		왕복 4차로
설계하중			DB-24

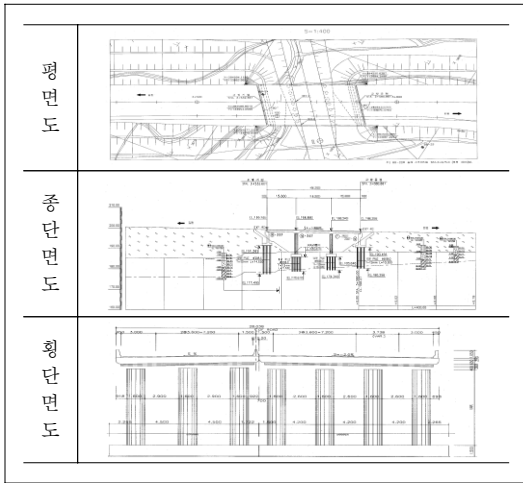


Fig. 4 사례대상 RC Slab교의 일반도

위에서 제시한 사례교량의 일반도인 평면도, 횡단면도는 다음 Fig. 4와 같다.

3.2 자료조사 및 분석

3.2.1 초기투자비 분석

(1) 시공비

시공비는 재경부에서 정한 원가계산에 의한 예정비용작성준칙에 의거하여 공사원가계산에 따라 산출한 금액으로 직접비, 간접비, 일반관리비 및 이윤을 합한

Table 5 사례교량의 시공비

구분	공종	공사비(원)	m ² 당 비용(원/m ²)	구성비
직접공사비	A. 교면	17,280,247	13,581	0.9%
	B. Slab	495,348,602	389,307	26.9%
	C. 신축이음	13,080,247	10,280	0.7%
	D. 교좌장치	69,710,736	54,787	3.8%
	E. 교대	282,104,775	221,714	15.3%
	F. 교각	290,078,090	227,980	15.8%
	G. 배수시설	6,014,439	4,727	0.3%
	H. 부대시설	12,182,638	9,575	0.7%
	I. 토공	41,442,585	32,571	2.3%
합계	1,227,242,359	964,522	66.7%	
간접공사비 (직접공사비의 33%)		404,989,978	318,292	22.0%
일반관리비 및 이윤 (직접공사비의 17%)		208,631,201	163,969	11.3%
총 공사비		1,840,863,539	1,446,783	100%

것이다. 다음 Table 5는 사례교량의 시공비 산출내역을 정리한 것이다.

(2) 기획·설계비

설계비와 감리비는 엔지니어링사업대가기준의 규정에 따라 건설공사비에 요율을 적용하여 산출한다. 다음 Table 6은 요율에 적용한 사례교량의 설계비 및 감리비를 나타낸 것이다.

Table 6 사례교량의 설계비 및 감리비

사례교량형식	총 시공비(원)	업무구분	요율(%)	소요비용(원)
RC Slab교	1,840,863,559	기본설계	1.37	25,219,830
		실시설계	2.75	50,623,747
		공사감리	1.53	28,165,212
		합계	5.65	104,008,790
		m ² 당 비용		76,962

3.2.2 유지관리비 분석

(1) 점검 및 진단 비용

점검 및 진단비용은 교량의 안전한 유지관리비를 위하여 행해지는 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단으로 인하여 발생하는 비용으로, 「시설물안전관리에 관한 특별법」에 의해 현재 국내 교량의 안전점검시기는 정기점검은 1년에 2회, 정밀점검은 2년에 1회, 정밀안전진단은 준공후 10년 후 5년에 1회로 규정되어 있으며, 시설안전기술공단의 대가산정기준에 따라 비용을 산정한다.

다음은 시설물별 직접인건비 기준 인원수와 시설물별 조정비를 나타낸 것이다.

Table 7 직접인건비 기준인원수 (단위 : 명)

시설물	기준규격	정밀안전진단		정밀점검		정기점검		
		전체	외업	전체	외업	전체	외업	
교량	도로교, 콘크리트 구조, 4차선	300m	158	50	22	18	11	9
		500m	174	65	26	22	13	11
		1,000m	212	104	32	28	16	14
		2,000m	290	182	46	42	23	21

Table 8 시설물별 조정비

차선별 조정		용도별 조정		구조형식별 조정	
차선수	조정비	용도	조정비	구조형식	조정비
4차선	1.00	도로교	1.00	콘크리트교	1.00
6차선	1.15	시가지도로	1.10	강교	1.10
8차선	1.30	고속도로	1.50	특수교	1.30

Table 7, Table 8에서 산정된 점검 및 진단 기준인 원수에 대하여 직접경비 대가기준에 따라 점검 및 진단 비용을 산출 할 수 있다.

Table 9 직접경비 대가기준

가. 여비 및 현장제비
<ul style="list-style-type: none"> • 체재비 : 고급기술자에 상당하는 출장여비 기준 적용 • 일비 : 25,000원/일(일비 10,000 + 식비 15,000) • 숙박비 : 35,000/일 • 여비 : 새마을호 보통실 기준
나. 차량운행비
<ul style="list-style-type: none"> • 차량의 종류:승용차(배기량 1,500cc 이하) • 차량대수 : 검사원 10인 이내 1대 • 대가방법 : 차량비는 손료와 재료비로 계상한다. 시간당 손료(상각비, 정비비, 관리비)
다. 현지보조인부의 노임
<ul style="list-style-type: none"> • 현장점검 및 시험·측정에 소요되는 일수 적용 • 적용인수 : 정밀안전점검-2인 / 정밀안전진단-4인 • 적용임금 : 특별인부의 시중 노임단가 적용
라. 위험수당
<ul style="list-style-type: none"> • 시설물별 작업 위험도에 따라 적용 • 현지 직접인건비의 10~20%
마. 기계·기구손료
<ul style="list-style-type: none"> • 정밀안전점검 : 직접인건비의 5% • 정밀안전진단 : 직접인건비의 10%
바. 보고서 등 인쇄비
<ul style="list-style-type: none"> • 정밀안전점검 : 100p, 50부 기준 • 정밀안전진단 : 200p, 50부 기준

다음 Table 10은 직접경비 대가기준에 따라 산출된 사례교량의 1회 점검 및 진단비용이다.

Table 10 사례교량의 점검 및 진단비용

교량 형식	정밀안전진단		정밀점검		정기점검	
	비용 (천원)	m ² 당 (원/m ²)	비용 (천원)	m ² 당 (원/m ²)	비용 (천원)	m ² 당 (원/m ²)
RC Slab	47,956	35,486	8,108	6,000	4,570	3,382

(2) 유지보수비

교량 유지관리를 위해 보수, 보강, 교체가 행해지며, 이에 해당하는 비용은 다음 Fig. 5와 같은 개념에 의해 산출되어 진다.

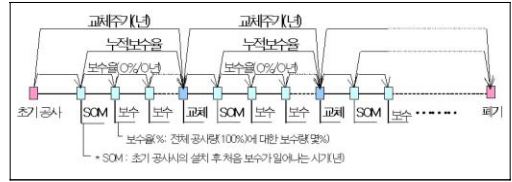


Fig. 5 보수 및 교체 개념도

본 연구에서는 시설안전기술공단의 유지관리수준에 대한 정의를 바탕으로 유지관리 수준과 유지관리수준에 따른 LCC를 다음 Table 11과 같이 정의하였다.

본 연구에서는 먼저 교량의 구성요소별 유지보수형태를 파악하고 이를 통해 비용의 산출을 위해 표본교량의 교량대장에 대하여 자료조사를 실시하였다. 그리고 유지관리수준에 따라 현행유지관리수준과 필요유지관리수준으로 구분하고 이에 대한 자료조사를 위하여 교량대장과 면담 및 설문조사를 실시하며, 조사된 결과는 다음과 같다.

Table 11 유지관리수준 정의

유지관리수준	정의	관련 LCC
현행 유지관리수준	<ul style="list-style-type: none"> • 우리나라의 현 실태를 반영하는 유지관리수준으로 현 도로공사의 유지관리실태를 반영한 수준 • 이 정도의 유지관리를 할 경우 본 연구의 사례교량인 RC Slab교는 약 40년 정도 사용할 수 있을 것으로 가정하고 산출한 금액 	현행 LCC
필요 유지관리수준	<ul style="list-style-type: none"> • 교량이 우수한 수준으로 유지관리되기 위해 요구되는 교량 각 부위별 보수·교체주기 및 보수율에 따른 교량의 유지관리 • 교량의 장수명화를 위해 필요한 유지관리수준 • 이 정도의 유지관리를 할 경우 본 연구의 사례교량인 RC Slab교는 약 80년 정도 사용할 수 있을 것으로 가정하고 산출한 금액 	필요 LCC

Table 12 현행유지관리수준의 유지보수

구성항목	보수			보강			교체	
	SOM (년)	주기 (년)	보수율 (%)	SOM (년)	주기 (년)	보수율 (%)	주기 (년)	
교면포장	17	6	14.5	-	-	-	23	
Slab	18	3	5.6	26	4	16.8	-	
신축 이음	본체	18	4	3.0	-	-	-	25
	후타제	27	7	5.5	-	-	-	-
교좌장치	15	7	6.3	-	-	-	-	
교대	구체	12	12	4.3	16	10	7.00	-
	기초	-	-	-	14	14	7.3	-
교각	구체	15	9	14.1	26	9	9.6	-
	기초	-	-	-	23	10	9.5	-
배수시설	13	6	4.0	-	-	-	25	

Table 12는 사례대상인 RC Slab교의 표본 30개소의 교량대장을 통하여 분석되어진 자료와 교량대장에서 얻지 못한 자료에 대해서는 면담 및 설문조사를 통하여 분석되어진 자료를 정리한 것으로 현재 행해지고 있는 유지관리수준에 관한 유지보수에 대한 정보이다.

Table 13은 교량의 장수명화를 위한 유지관리수준에 대한 전문가 35명과의 면담 및 설문조사를 통해 분석되어진 유지보수에 대한 정보이다.

본 연구에서는 Table 12, Table 13의 자료를 적용하여 사례교량에 대한 LCC를 예측하고자 한다.

Table 13 필요유지관리수준의 유지보수

구성항목	보수			보강			교체	
	SOM (년)	주기 (년)	보수율 (%)	SOM (년)	주기 (년)	보수율 (%)	주기 (년)	
교면포장	9	5	15.5	-	-	-	10	
Slab	11	4	7.0	12	4	15.1	-	
신축 이음	본체	9	4	14.8	-	-	-	11
	후타제	9	7	13.4	-	-	-	-
교좌장치	9	8	17.8	-	-	-	-	
교대	구체	12	9	12.4	13	9	14.2	-
	기초	-	-	-	12	10	14.6	-
교각	구체	11	9	13.9	12	9	19.4	-
	기초	-	-	-	12	9	15.9	-
배수시설	9	6	16.8	-	-	-	13	

(3) 사용자 비용

본 연구에서는 사용자비용 가운데 차량운행비용과 시간지연비용에 대해서만 고려하기로 하고, 차량운행비용은 연료비용만을 평가인자로 채택하고, 시간지연비용의 경우는 운전자의 여객시간가치를 제외한 화물 자체의 비용만을 고려하기로 한다. 본 연구에서는 건설교통부와 시설안전기술공단⁽⁵⁾(2000)의 「도로교의 공용수명 연장방안 연구」에서 제시한 모델을 적용하였고 그 모델은 다음과 같다.

$$\text{사용자비용 (원/일)} = \sum_{i=\text{원인}} [\text{차량운행비용}_i + \text{시간지연비용}_i]$$

가) 차량운행비용

차량의 운행으로 발생하는 비용의 기본적인 변수는 연료소모량이다. 다음은 차량운행비용을 구하는 식이다.

$$\begin{aligned} \text{차량운행비용}_i &= \text{평균유류비} \times \text{일평균교통량}_i \times \text{평균운행거리} \\ &\times \sum_{j=\text{차종}} [\text{평균연료소모량}_j + \text{차종별구성비}_j] \end{aligned}$$

차량의 연료소모량은 차량주행속도에 따라 크게 달라지며 연료비용 또한 주행속도별로 다르게 산정한다. 국토개발연구원⁽²⁾(1995)의 「고속도로 사업효과 조사」에서는 차량속도와 연료소모량 사이의 함수식을 도출하기 위한 일반식을 다음과 같이 제시하였다. 이 함수식에서 차종에 따른 매개변수는 Table 14와 같다.

$$FC = a \times \frac{1}{S} + b \times S + c \times S^2 + d \times S^3 + e$$

여기서, FC : 연료소모량 (ℓ/km·대)

S : 차량운행속도(km/hr)

Table 14 차량속도별 연료소모량의 개수

차종	a	b	c	d	e
승용차	0.974462	-	-0.5771E-5	6.6022E-8	0.042917
소형버스	7.108024	-	0.3750E-6	3.8315E-8	0.007134
대형버스	7.399693	-0.81E-4	0.1140E-4	-	0.009972
소형화물차	2.557721	-	-0.3187E-4	0.3160E-6	0.180303
중형화물차	5.024225	-0.004258	-	0.3130E-6	0.503512
대형화물차	6.227382	-	-0.8346E-4	0.8180E-6	0.468340

본 연구에서는 해체·폐기 후 개축시 차로의 전면 통제로 인한 차량이 우회할 경우 사용자 비용이 발생하는 것으로 가정하고, 개축시 차량 우회거리는 100m 초과 우회하고 이때 차량속도는 100km/hr로 가정하였고, 사례교량의 개축기간은 1년으로 가정하였다. 본 연구에서 사례교량은 2001년 기준으로 가설된 사례교량은 현행 유지관리수준일 때 2042년에 개축되는 것으로 가정되었다. 사례교량이 신설되는 곳의 2042년 차종별 예측 교통량은 다음 Table 15와 같다.

Table 15 일평균 교통량 (단위 : 대/일)

년도	승용차	버스		화물차			합계
		소형	대형	소형	중형	대형	
2042	34,808	4,367	2,126	5,112	10,639	3,318	60,370

연료소모량을 비용으로 환산하기 위해서는 유류비용이 적용되어야 한다. 한국건설기술연구원⁽⁹⁾(1999)의 「교량관리체계(BMS) 개선에 관한 연구」에서 제시한 유류비용 261원/ℓ를 적용하였다.

나) 시간지연비용

시간지연비용은 가정에 의해 화물에 따라 결정되므로 화물의 중량에 따른 금전적 가치를 산출해야 한다. 따라서 시간지연비용은 운행시간 화물중량의 함수이며, 다음과 같이 구한다.

$$\text{시간지연비용}_i = \text{일평균교통량}_i \times \text{평균화물비용} \times \text{평균운행시간}_i \times \sum_{j=\text{차종}} [\text{평균적재중량}_j + \text{차종별구성비}_j]$$

여기서 평균화물비용은 국토개발연구원⁽²⁾(1995)의 「고속도로 사업효과 조사」에서 제시한 전체품목에 대한 시간가치 8,108원/hr·ton을 적용하였고, 평균적재중량은 건설교통부의 차량분류법과 FHWA의 차량분류법을 고려하여 그룹으로 분류하고 각 그룹 내에 속하는 차량들의 적재중량을 평균하여 Table 16에 나타내었다.

운행시간은 운행거리에 평균운행속도를 나누어 산출하였다.

Table 16 국내차종별 평균적재중량

종 별	평균적재중량(kg)
1종 승용차, 소형승용차	0
2종 중형버스	0
3종 대형버스	0
4종 소형트럭A	1,356
5종 소형트럭B	4,875
6종 중형트럭C	14,402
7종 중형트럭D	11,847
8종 중형트럭E	20,646
9종 대형트럭F	-
10종 대형트럭G	16,772
11종 대형트럭H	-

앞에서 고려한 가정사항과 산출식을 이용하여 사용자비용을 구하면 다음 Table 17과 같다.

Table 17 사례교량의 일평균사용자비용

구 분	차량운행비용	시간지연비용	사용자비용
일평균비용	273,778	1,927,396	2,201,174
m ² 당 비용	203	1,426	1,629

본 연구에서 개축기간은 1년으로 가정하였으므로 개축기간 동안의 사용자비용은 일평균사용자비용에 365일을 곱한 값으로 산출할 수 있다.

3.2.3 해체폐기비 분석

해체폐기비는 해체비용, 폐기처분비용, 잔존가치로 구성되며 각 비용별 산출내용은 다음과 같다.

(1) 해체비용

해체비용은 해체·폐기전문업체의 견적자료를 이용하여 산출하며 그 결과는 다음 Table 18과 같다.

Table 18 사례교량의 해체비용

구 분	단위	수 량	단가 (원/m ²)	금액(원)
무근 콘크리트 깨기	m ²	162.251	36,382	5,903,016
철근 콘크리트 깨기	m ²	2,929.366	34,668	101,555,260
교면포장제거	m ²	121.629	49,813	6,058,698
소 계				113,516,974
제 잡 비				56,758,487
해체비용				170,275,461
m ² 당 비용				125,996

(2) 폐기처분비용

폐기처분비용은 전국건설폐기처분공제조합에서 표준 품셈을 근거로 산출한 건설폐기물 성상별 ton당 처리 단가와 폐기전문업체의 견적자료에 의한 ton당 폐기물 운반단가를 이용하여 산출한다. 다음 Table 19는 사례교량의 폐기처분비용을 나타낸 것이다.

Table 19 사례교량의 폐기처분비용

구 분	단위	수 량	단 가 (원/ton)	금액(원)
페콘크리트 운반비	ton	7,729.043	3,848	29,741,356
페아스콘 운반비	ton	285.828	3,826	1,093,577
페콘크리트 처리비	ton	7,729.043	15,066	116,445,754
페아스콘 처리비	ton	285.828	15,800	4,516,079
폐기처분비용				151,796,766
m ² 당 비용				123,555

(3) 잔존가치

본 연구에서는 잔존가치를 전문가와 면담을 통해 물가자료⁽¹⁰⁾(2001)의 「재생재료」의 품목별 단가에서 보이고 있는 철의 규격 가운데 중량과 경량 철의 매출비용을 기준으로 잔존가치를 산정하고자 한다. 서울지역의 중량철과 경량철의 매출가의 평균인 ton당 단가 95,000원/ton을 적용하여 산출한다. 다음 Table 20은 사례교량의 잔존가치를 산출한 결과이다.

Table 20 사례교량의 잔존가치

구 분	단위	수량	단가(원/ton)	금액(원)
철 근	ton	624.825	95,000	59,358,375
합 계				59,358,375
m ² 당 비용				43,923

4. 사례교량 LCC 예측 및 결과 고찰

4.1 사례교량 LCC 예측

본 장에서는 총 연장이 48.2m, 총 폭원이 28.038m인 사례대상 RC Slab교의 유지관리수준별 LCC를 예측하고자 한다. 사례교량인 LCC 예측에서는 앞에서 분석되어진 구성항목별 m²당 비용이 적용되며, 분석기간은 총 80년으로 가정하고, 유지관리비는 해당년도의

연말을 기준시점으로 한다. 또한 해체폐기비는 공용년 수 마지막 해의 연말을 기준으로 하나, 개축할 경우 개축이 발생하는 해의 연말을 기준으로 한다.

본 연구에서는 사례교량이 분석기간 동안 유지관리가 현행유지관리수준으로 행해진다면 40년 후에 교량을 개축한다고 가정하여 LCC를 예측하였고, 이를 현행 LCC라 하고, 필요유지관리수준으로 유지관리가 행해진다면 분석기간동안 개축 없이 사용한다고 가정하여 LCC를 예측하였으며, 이를 필요 LCC라 한다.

4.1.1 불변비용에 따른 LCC 비교·분석

불변비용으로 현행 LCC와 필요 LCC를 비교, 분석한 결과는 다음 Table 21과 같다.

Table 21 불변비용에 따른 LCC 비교 (단위 : 원/m²)

구성항목	현행 LCC		필요 LCC	
	소요비용	구성비	소요비용	구성비
초기 투자비	기획·설계비	76,962 1.2%	76,962 1.4%	
	시공비	1,446,783 22.4%	1,446,783 25.8%	
유지 관리비	점검 및 진단비용	1,206,952 18.6%	1,277,924 22.8%	
	유지보수비	1,211,678 18.7%	2,594,735 46.3%	
	사용자비용	594,502 9.2%	0 0.0%	
해체폐기비 및 개축비	개축비	1,523,745 23.5%	0 0.0%	
	해체폐기비	205,628 3.2%	0 0.0%	
해체 폐기비	해체폐기비	249,551 3.9%	249,551 4.5%	
	잔존가치	-43,923 -0.7%	-43,923 -0.8%	
LCC(불변비용)	6,471,878 100%		5,602,032 100%	

현행 LCC는 유지보수비가 필요 LCC의 절반 수준임에도 불구하고 적절한 유지관리가 행해지지 않음으로서 개축에 의한 시공비가 소요되어 필요 LCC보다 총 소요비용이 큰 것으로 분석되었다. 그러므로 필요 유지관리수준으로 유지관리하는 것이 경제적인 것으로 분석되었다.

다음 Fig. 6은 불변비용에 따른 유지관리수준별 현행 LCC와 필요 LCC의 분포를 비교하여 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 현행 LCC에서 분석기간 41년째에 현행 유지관리수준으로 인한 해체·폐기 및 개축으로 소요비용이 급상승하는 것으로 분석되었다.

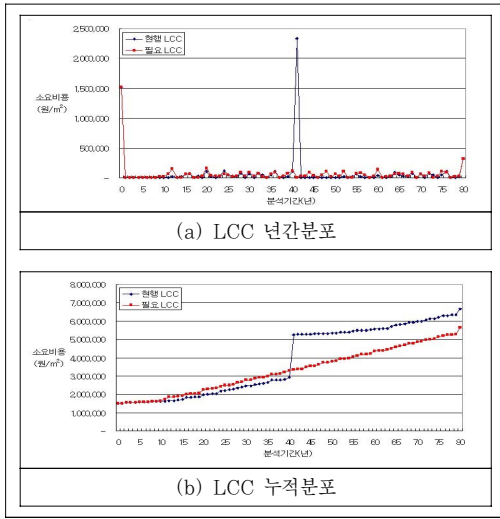


Fig. 6 불변비용에 따른 LCC 분포

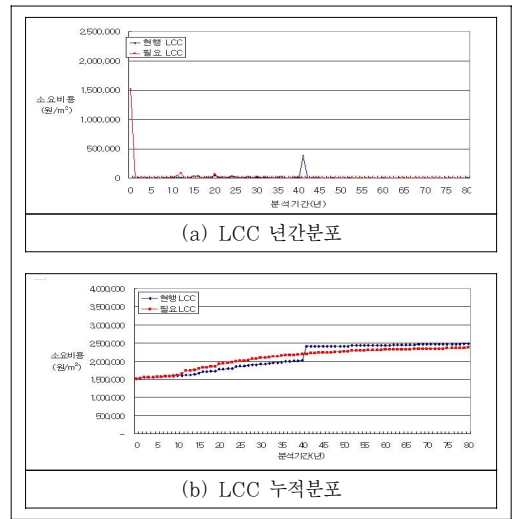


Fig. 7 할인비용에 따른 분포

4.1.2 할인비용에 따른 LCC 비교·분석

할인비용으로 현행 LCC와 필요 LCC를 비교, 분석한 결과는 다음 Table 22와 같다.

Table 22 할인비용에 따른 LCC 비교 (단위 : 원/㎡)

구성항목	현행 LCC		필요 LCC		
	소요비용	구성비	소요비용	구성비	
초기투자비	기획·설계비	76,962	3.2%	76,962	3.3%
	시공비	1,446,783	60.3%	1,446,783	61.2%
유지관리비	점검 및 진단비용	288,874	12.0%	297,699	12.6%
	유지보수비	198,634	8.3%	537,489	22.7%
	사용자비용	97,810	4.1%	0	0.0%
해체폐기비 및 개축비	개축비	250,694	10.4%	0	0.0%
	해체폐기비	33,831	1.4%	0	0.0%
해체폐기비	해체폐기비	7,337	0.3%	7,337	0.3%
	잔존가치	-1,298	-0.1%	-1,298	-0.1%
LCC(불변비용)		2,399,668	100%	2,365,011	100%

다음 Fig. 7은 할인비용에 따른 유지관리수준별 현행 LCC와 필요 LCC의 분포를 비교하여 나타낸 것이다.

4.2 민감도 분석

할인율은 교량의 공용년수 동안에 발생하는 비용을 예측함에 있어 그 영향이 매우 큰 요소 중 하나이다. 따라서 할인율에 따른 LCC의 변화를 예측하는 것은 의사결정에 있어서 보다 종합적인 정보를 제공해 줄 수 있다.

이에 따라 본 절에서는 본 연구에서 사용한 실질할인율 4.5%를 중심으로 0%에서부터 10%까지 0.5%씩 할인율을 증감시켜 이에 따른 사례교량의 LCC의 변화를 예측하였다. 단, 분석기간은 80년으로 고정시켰다. 할인율 변화에 따른 LCC의 분포를 나타내면 다음 Fig. 8과 같다.

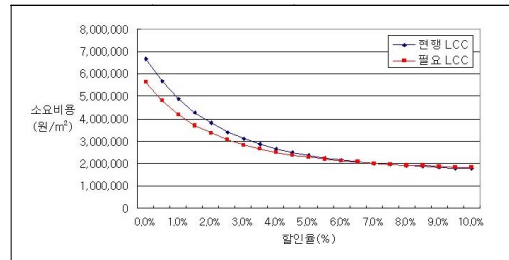


Fig. 8 할인율에 따른 LCC의 민감도 분석

4.3 절감비용 예측

현행 LCC와 필요 LCC의 차액을 구하면 이 비용이 의미하는 것은 필요 LCC의 유지관리수준을 적용하여 교량을 관리할 경우 현행 LCC의 유지관리수준을 적용한 경우보다 차액만큼 절약할 수 있다는 것을 나타내어 준다. 이 때 차액을 절감비용이라 한다. 다음 Table 23에서는 사례교량의 현행 LCC와 필요 LCC의 절감비용을 예측한 결과이다.

Table 23 사례 교량의 절감비용 (단위 : 원/㎡)

구 분	현행 LCC	필요 LCC	절감비용	
			비 용	구성비(%)
불변비용	6,471,878	5,602,032	869,846	57.1%
할인비용	2,399,668	2,365,011	34,657	2.2%

주 : 비용은 현행 LCC에서 필요 LCC를 뺀 비용
구성비는 초기투자비에 대한 절감비용의 비율

본 연구에서 사례교량에 대한 LCC 예측결과, 개축 없이 80년간 사용할 수 있는 필요유지관리수준의 필요 LCC가 현재 행해지고 있는 유지관리수준인 현행 유지관리수준의 현행 LCC보다 개축비의 절감으로 인하여 소요비용이 절감되어 경제적 이익이 발생하는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구는 교량의 경제성 평가를 통해 교량 가설시 유용한 정보를 제공하기 위해, RC Slab교를 대상으로 유지관리수준에 따른 교량의 LCC를 예측하고자 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 사례교량의 LCC를 구성하는 비용항목인 초기투자비, 유지관리비, 해체·폐기비의 세부항목에 대한 자료조사 및 분석을 통하여 교량 LCC 분석모델을 제안하였다.
- 2) 교량의 유지관리수준을 가설된 교량들에 대해 현행 유지관리수준으로 구분하고, 분석기간은 80년, 실질할인율은 4.5%로 가정하여 사례대상 교량에 대한 유지관리수준별 현행 LCC와 필요 LCC를 예측하였다.
- 3) 사례교량의 유지관리수준에 따른 현행 LCC와 필요 LCC를 예측한 결과를 통하여 절감비용을 예측

하여 경제적인 절감효과를 파악하였다.

본 연구는 LCC 기법을 이용하여 교량의 경제성을 평가하고자 교량 LCC에 관한 문헌연구, 자료조사, 면담 및 설문조사 등을 실시하였고 이들 수집자료의 분석결과를 바탕으로 교량의 경제성을 평가하였다. 또한 교량 LCC를 구성하는 세부 구성항목별 비용예측과 사례교량에 대한 LCC 예측치 몇 가지 가정사항을 설정하여 설정된 가정사항을 전제로 하여 교량의 LCC를 예측하였다. 그러나 향후 LCC 기법을 이용하여 교량의 경제성을 평가하기 위해서는 자료수집의 문제를 극복하고, 본 연구에서 가정한 부분 및 극복하지 못한 부분에 대하여 보다 실제에 가까운 교량 LCC의 예측이 이루어져야 한다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술기반구축사업의 연구비지원(과제번호 : 06기반구축A03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 교량현황조사, 2001.
2. 국토개발원, 고속도로 사업효과 조사, 1995.
3. 권석현, "LCC 기법에 의한 도로포장형식의 경제성 분석에 관한 연구", 석사학위논문, 중앙대학교 건설대학원, 2000.
4. 김상범, "RC Slab 교량의 Life Cycle Cost 분석에 관한 연구", 석사학위논문, 중앙대학교, 2001.
5. 시설안전기술공단, "도로교의 공용수명 연장방안 연구", 건설교통부, 2000.
6. 시설안전기술공단, "LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구", 건설교통부, 2001.
7. 이철규, "피지 및 유전 알고리즘에 의한 교량 시설물의 적정유지관리 방법", 박사학위논문, 중앙대학교, 2000.
8. 통계청, 한국의 주요경제지표, 1999.
9. 한국건설기술연구원, "교량관리체계(BMS) 개선에 관한 연구", 건설교통부, 1999.
10. 한국물가협회, 월간물가자료, 2001.
11. 한국은행, 경제통계연보, 1999.
12. Ehlen, M. A., "Life-Cycle Costs of Fiber-Reinforced-Ploymer Bridge Decks", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 11, No. 3, 1999, pp. 224-231.
13. OECD Scientific Expert Group, "Bridge Rehabilitation and Strengthening", OECD, Paris. 1992.

금접(접수일자 : 2007년 5월 4일)