

LMC 교면 포장 공법의 생애주기비용분석에 관한 연구

A Study on Life Cycle Cost Analysis of Latex Modified Concrete Pavement for Bridges

조호남* 최현호** 정평기*** 임종권****

Cho, Hyo-Nam Choi, Hyun-Ho Jung, Pyoung-Ki Lim, Jong-Kwon

Abstract

Latex Modified Concrete(LMC) has been widely used for the pavement of highway bridges over the past 35years around the world since it is more resistant to the intrusion of chloride ions, has higher tensile, compressive, and flexural strength, and has greater freeze-thaw resistance. However, in Korea, it has not been introduced to fields due to higher initial construction cost for its overlay compared with that of conventional pavement materials. Due to durable characteristics, it should be noted that the LMC may be more cost-effective than conventional pavements such as asphalt pavement, when life-cycle cost(LCC) concept is considered. The objective of this study is intended to suggest a practical LCC analysis model for pavement projects and to demonstrate relative cost-effectiveness of the LMC overlays in comparison with conventional pavement techniques. It may be stated that the procedure proposed in this study may be utilized for making optimal decision on cost-effective pavement design.

keywords : Life Cycle Cost, Latex Modified Concrete, Pavement Design

1. 서론

구조물은 설계 및 시공, 정기점검 및 정밀진단 등의 유지관리, 시설물의 손상에 따른 보수보강 및 교체라는 일련의 중장기적이고 지속적인 과정이 필요 수반되

므로 시설물의 건설이후의 유지관리 소요비용은 상당히 커질 수 있다. 따라서, 시설물 건설시, 특히 포장공사의 경우, 초기비용 이외에도 시설물의 유지관리, 시설물의 손상에 따른 보수보강 및 궁극적으로 교량의 해체·재건설, 그리고 보수나 교체를 위한 차량통제로

* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과, 교수, 공학박사

** 학생회원, 한양대학교 토목·환경공학과, 박사과정

*** 학생회원, 한양대학교 토목·환경공학과, 석사과정

**** (주)송화이엔씨 기술연구소 LCC연구팀 팀장

● 본 논문에 대한 토의를 2001년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2002년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

인해 발생할 수 있는 사용지비용 등 수명기간 동안의 생애주기비용(Life Cycle Cost ; 이하 LCC라 약칭함)을 설계단계에서부터 고려해야 사회간접자본의 효율적인 활용을 기대할 수 있다. 그러나 현재까지도 우리나라의 건설공사에서 경제·사회적 요소 및 환경적 요인에 의해 가 시설물 형식의 장/단점, 시설물의 생애주기동안의 총비용 즉, LCC 등을 충분히 고려한 최적 시설물 형식의 선정이 이루어지지 않고 있는 형편이다. 따라서 사회기반시설의 균형 있는 발전을 통하여 국가 경쟁력의 향상을 추구하려는 시설물은 가설단계의 초기비용뿐만 아니라 유지관리비용 및 파괴비용 등의 총비용에 있어 LCC를 고려하여 경제적이며, 합리적인 최적의 시설물을 선정해야 한다.^{7),12),17)}

본 연구의 목적은 현재 우리나라에서 초기도입단계에 있는 라텍스 개질 콘크리트(Latex Modified Concrete : 이하 LMC라 약칭함) 교면 포장공법을 위한 체계적인 LCC 분석 절차 제시 및 국내 여건에 적합한 사용자비용 모델의 정식화를 이루고자 한다.

본 연구에서는 이러한 절차 및 모델에 기초하여 실제 대상교량의 포장공사에 적용하여 LMC의 LCC 측면에서의 비용 절감효과를 정량적으로 조사하고자 한다.

2. LCC 분석

2.1 LCC 분석의 정의

생애주기비용은 시설물의 계획 단계에서부터 구조물의 폐기처분 시까지의 모든 비용, 즉 계획/설계비, 건설비, 유지관리비, 폐기물 처분비용을 합한 것으로 구조물의 공용수명에 필요한 모든 비용을 말한다. 또한, 건설분야에 있어서 생애주기비용분석이란 시설구조물의 건설에 있어서 하나의 대안 또는 복수의 대안에 대해서 경제적 생애주기(Economic Life Cycle)에 걸쳐서 발생하는 비용을 체계적으로 결정하기 위해서 구조물의 경제수명 범위 내에서 각 대안(Alternative)의 경제성을 일정한 기준으로 정하고, 할인율을 적용하여 미래의 가치를 현재의 가치로 등가 환산한 값으로 평가하는 방법으로 정의할 수 있다.^{1),7),10)}

2.2 생애주기비용분석 절차

본 연구에서는 다음 Fig. 1과 같은 생애주기비용분석 절차를 제시하였다.

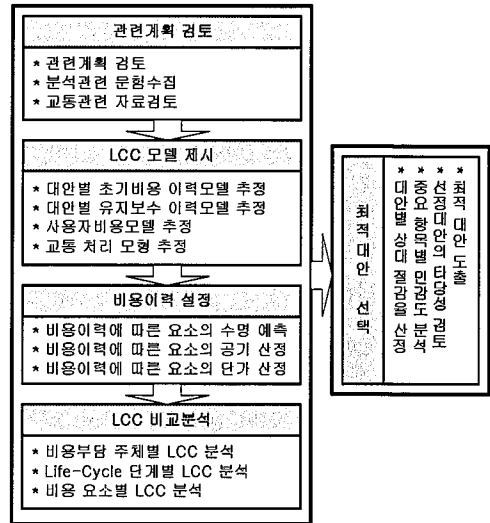


Fig. 1 생애주기비용 분석절차

2.3 LCC 분석 모델

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

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

여기서,

$PVLCC$ = 현재가치의 생애주기비용

IC = 초기비용

$PVCMR$ = 유지관리비용

PVD = 폐기처분비용

여기서, 초기비용 항목은 조사비용, 설계비용 및 건설비용의 범주로 구분할 수 있으나 가장 큰 부분을 차지하는 항목은 건설비용이며, 유지보수비용의 항목은

구조물의 건설이 완료된 후 보수에 사용되는 비용으로써 공용중에 소요되는 비용이다. 또한, 파괴비용은 교량의 수명이 다한 후 해체비용과 주요구조부재 또는 구조물의 재활용에 따른 이익 등을 고려하는 종합적인 비용이다.³⁾ 그리고, 사용자비용 모델 또한 NIST의 Ehlen & Marshall(1996) 모델을 기본적으로 사용하여 (2)와 같이 정식화하였다. 일반적으로 사용자비용은 차량운행비용, 시간지연비용, 사고비용, 불편함의 비용, 환경영향 비용 등 5가지 항목으로 크게 평가되어 왔다.¹⁸⁾ 그러나 이중 가장 중요하게 고려되는 항목은 시간지연비용과 차량운행비용으로서 구조물의 유지/보수시 차량이 우회할 때 추가로 발생하는 시간에 대한 지연비용으로서 평가할 수 있다.⁴⁾

$$SC_{Total} = SC_{VOC} + SC_{TDC} \quad (2)$$

여기서,

$$SC_{VOC} = \text{차량운행비용}$$

$$SC_{TDC} = \text{시간지연비용}$$

본 연구에서는 시간지연비용과 차량운행비용 모델은 다음의 (3), (4)와 같이 정식화하였다.

시간지연비용 모델의 경우 앞서 언급하였듯이 NIST(1996)의 모델을 기본으로 하여 단위 시간지연비용을 Table 1과 (5)에 나타난 바와 같이 국내의 실정에 적합하게 수정하여 정식화하였으며, 차량운행비용 모델의 경우 NIST(1996)의 모델과는 달리 기존 국내 연

구지의 연구⁸⁾를 참고하여 (6), (7)과 같이 고정비용과 변동비용으로 구분함으로써 현행 교통관련자료를 효율적으로 이용할 수 있도록 정식화하였다. 그리고, 연료소비량 (FC)은 국토개발연구원(1995)의 산출식을 참고하여 산출하였다.²⁾

$$SC_{TDC} = \left(\frac{L}{S_a} - \frac{L}{S_n} \right) \times ADT \times N \times UC_{TDC} \quad (3)$$

$$SC_{VOC} = \left(\frac{L}{S_a} - \frac{L}{S_n} \right) \times ADT \times N \times (UC_{VOCF} + UC_{VOCV}) \quad (4)$$

여기서,

L = 영향받는 도로의 길이

S_a = 보수공사기간동안의 교통속도

S_n = 정상상태의 교통속도

ADT = 평균일일교통량

N = 공사기간

UC_{TDC} = 단위 시간지연비용

UC_{VOCF} = 단위 차량운행 고정비용

UC_{VOCV} = 단위 차량운행 변동비용

$$UC_{TDC} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^2 T_{jk} U_{ijk} N_{ijk}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^2 T_{jk}} \text{ 원/대-hr} \quad (5)$$

$$UC_{VOCF} = \frac{\sum_{j=1}^n T_j U_{c,j}}{\sum_{j=1}^n T_j} \text{ 원/대-hr} \quad (6)$$

Table 1 시간-차량 1대당 단위 시간지연비용 산출내역

차종	요소	①	②	③	④	⑤⑥⑦
		교통량비율 (%)	차종별 일일평균교통량 T_j (대/일)	1인당 시간가치 U_j (원)	평균제차인원 N_{ij} (인/대)	(백만원/시간-일)
승용차(j=1)	업 무(k=1)	36.22	10,989	14,319	1.4	220.29
	비업무(k=2)	63.78	19,351	1,984	1.4	53.75
버스(j=2)	업 무(k=1)	10.14	316	7,936	3.96	9.93
	비업무(k=2)	89.68	2,799	1,984	34.92	193.92
합계		-	33,455	-	0	447.89

$$UC_{TDC} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^2 T_{jk} U_{ijk} N_{ijk}}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^2 T_{jk}} = \frac{447,890,000}{33,455} = 13,388 \text{ 원/대-hr}$$

Table 2 시간당 단위 차량운행 고정비용 신출내역

항 목	①	②	① × ② (백만원)
	차종별 일일평균교통량(T)	시간당 차량운행비용(U _{cj})	
승용차(j=1)	30,340	6,936.3	210.45
소형버스(j=2)	1,211	6,936.3	8.40
대형버스(j=3)	1,904	10,209.1	19.44
소형트럭(j=4)	2,195	6,346.5	13.93
중형트럭(j=5)	2,962	8,805.2	26.08
대형트럭(j=6)	1,960	9,455.7	18.53
합 계	40,572	-	296.83

$$UC_{VOCF} = \frac{\sum_{j=1}^n T_j U_{cj}}{\sum_{j=1}^n T_j} = \frac{296,830,000}{40,572} = 7,316 \text{ 원/대-hr}$$

$$UC_{VOCV} = \frac{\sum_{j=1}^n T_j FCO_{cj} S}{\sum_{j=1}^n T_j} \text{ 원/대-hr} \quad (7)$$

- 여기서, T_j = 차종별 일일평균교통량
 U_j = 1인당 시간가치
 N_j = 차종별 평균 재차인원
 U_{cj} = 시간당 차량운행비용
 FC = 차종별 연료소비량
 O_{cj} = 현재가치 유류 단가
 S = 평균 주행속도

여기서, 대상교량의 평균주행속도는 서선덕(1991)의 산출식에 따라 정상상태의 교통속도를 86km/hr, 보수공사기간 동안의 교통속도를 13km/hr로 계산하였다.^{1),5),6)} 따라서, 본 연구에서의 단위 사용자비용은 Table 1~Table 3에 각각 계산하였다.

Table 3 시간당 단위 차량운행 변동비용 신출내역

항 목	①	②	① × ② (원)
	차종별 일일평균교통량(T)	1 km당 차종별연료비용(FC × O _{cj})	
승용차(j=1)	30,340	65.29	1,980,898.6
소형버스(j=2)	1,211	62.93	76,208.23
대형버스(j=3)	1,904	97.94	186,477.76
소형트럭(j=4)	2,195	99.06	217,436.7
중형트럭(j=5)	2,962	224.16	663,961.92
대형트럭(j=6)	1,960	251.07	492,097.2
합 계	40,572	-	3,124,983.21

$$UC_{VOCV} = \frac{\sum_{j=1}^n T_j FCO_{cj} S}{\sum_{j=1}^n T_j} = \frac{3,617,080 \text{ 원/km} \times 86 \text{ km/hr}}{40,572 \text{ 대}} = 7,667 \text{ 원/대-hr}$$

Table 4 포장공법별 해석조건

구 분	일반가열아스팔트포장	LMC	RS-LMC
포장두께	8cm	5cm	5cm
단 가	39,551원/m ²	49,037원/m ²	73,116원/m ²
방 수	방수막식	불필요	불필요

Table 5 설계대안별 포장형식

구 분	원설계안	비교대안 1	비교대안 2
포장형식	일반가열아스팔트	초기시공 : LMC 재포장시 : 일반가열아스팔트	초기시공 : LMC 재포장시 : RS-LMC

3. LCC 비용이력 설정

본 연구는 현재 신기술공법으로 연구중인 LMC 교면포장에 대하여 중앙고속도로상의 OO교량을 대상으로 하였으며, BridgeLCC 1.0 프로그램을 사용하여 분석하였다.¹⁵⁾

3.1 대상교량의 제원

본 연구에 적용된 대상교량은 P.S.C Beam 형식의 교량으로 확장기철중의 교량으로써 교량의 총 연장은 150.26m, 교폭은 12.15@2m 이다.

3.2 설계대안별 분석조건

설계대안은 Table 4에 나타낸 각 포장공법을 단일 또는 혼용법에 따라 구분하였으며, 포장공법별 기준단은 한국물가정보(2001.1)의 단가로 산출하였으며, 조효남(2001)에 상세히 기술하였다.^{1),2),9)}

또한, Table 5에 설계대안별 포장형식을 나타내었다. 여기서, 설계대안으로 채택된 RS-LMC는 초속경 라텍스 개질 콘크리트로서, 보통콘크리트의 강도발현 시기를 앞당기기 위해 초속경시멘트를 사용하여 조기 발현을 기대한 포장공법이다.

3.3 기대공용수명

본 연구의 목적이 포장제에 따른 생애주기비용을 산

정 하는데 있으므로, 각 시공 공법별 기대공용수명을 Table 6에 나타내었다.^{11),13),14)} 그러므로, Table 6에서 언급한 바와 같이 기준 기대공용수명은 일반아스팔트포장의 경우는 7년, LMC 교면 포장의 경우는 23년으로 가정하였다. 또한, 포장재가 바닥판에 미치는 영향을 고려하기 위해 바닥판의 수명은 참고문헌에 따라 산정하였다.

3.4 기타

본 연구에서는 대상교량이 복선교량임을 감안하여 작업시간의 산정은 가설장비의 작업성능에 현장작업의 현실성을 고려하여 비중치를 두어 시간을 산정하였으며, 차량통제는 부분통제를 원칙으로 하였고, 바닥판 교체시는 우회가교를 설치하는 것으로 모델화 하였다. 또한, 일반 가열 아스팔트의 경우는 재포장(재포장 1, 2회)시의 작업시간은 양방향을 12시간, 방수층 및 재포장(재포장 3회)시는 방수층 시공으로 인하여 양방향을 6일로 가정하였으며, RS-LMC 교면포장의 경우에는 양방향을 10일로 가정하였다. 그리고, LMC 교면포장공법의 경우 세로이 도입된 공법임을 감안하여 신기술 도입비용을 초기 시공비용의 10%로 하였으며, 유지보수비용은 초기시공비용의 5%, 유지보수의 셀링작업의 경우 일반아스팔트교면포장은 2년 주기로 하였고, LMC 교면포장도 원설계안과 동일하게 2년으로 가정하였으며, 바닥판의 교체시 소요공기는 180일, 바닥판 교체시 가교설치비는 초기시공비의 30%, 재포장시 폐기물 처리비용은 Tonf 당 6,336원으로 계산하여 적용하였다.^{1),2)}

Table 6 포장공법별 기대공용수명

구분	수명 (년)	관련문헌/근거	
포장공	LMC 포장	20	Kuhlmann (1991)
		23	포장수명 20년과 25년의 참고문헌을 근거로 평균치로 가정
		25	High-Performance Concretes A State-of-Art Report(1989-1994)
	일반 가열 Asphalt 포장	6	실무기술자 5인의 인터뷰를 통해 가정
		7	(대상집단은 교수, 공무원, 연구직, 진단분야 엔지니어이며, 이들중 80%이상이 10년 이상 교량관련 업무종사한 전문가로 구성됨.)
		9	
바닥판	일반가열 Asphalt 포장	30	Ramono(1997)
	LMC 포장	40	Ramono(1997)

4. 설계대안의 LCC 비교분석

설계대안은 연구분석기간 23년인 경우는 LMC 교면포장의 1회포장 동안의 일반가열아스팔트와의 LCC를 비교, 30년인 경우는 LMC 교면포장의 1회 교체함에 따른 일반가열아스팔트와의 LCC 비교하였고, 50년인 경우는 두 종류의 교면포장공법이 바닥판에 미치는 영향을 알아보기 위해 각각 연구분석기간을 설정하여 그 변화에 대하여 분석하였다.

Table 7과 Fig. 2~Fig. 4에서 알 수 있듯이 연구 분석기간이 23년인 경우는 비교대안 1인 LMC 교면포장의 초기비용이 다소 고가의 비용이 들더라도 생애주기비용을 고려하여 볼 때 원설계안보다 49.9% 정도의 낮은 비용이 산출되었다. 그리고, 30년인 경우는 원설계안이 일반 가열아스팔트만으로, 비교대안 1은 LMC와 일반 가열아스팔트의 혼용으로, 비교대안 2는 LMC와 RS-LMC로 시공한 경우로 하여 분석하였고, 비교대안 1이 원설계안 대비 상대절감율은 51.6%, 비교대안 2는 43.1%로 분석되었다.

또한, 50년인 경우는 바닥판 설치 및 교체비용도 포함하였으며, 그 분석결과는 비교대안 2가 원설계안 대비 상대절감율이 19.83%, 비교대안 1이 16.9%로 각각 분석되었으며 교량의 내구연한이 증대되어 연구분석기간이 다소 더 증가된다면 그 효과가 더 커질 것으로 판단된다.

또한, 교면포장의 사용연수별 LCC 변화를 Fig. 5~Fig. 7에 각각 나타내었으며, 이는 연구분석기간이 증대됨에 따라 원설계안의 비용이 비교대안의 비용 증가폭보다 더 증대됨을 알 수 있다.

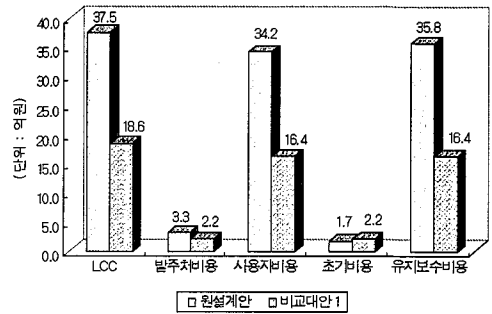


Fig. 2 비용항목별 LCC 차이(연구분석기간 23년인 경우)

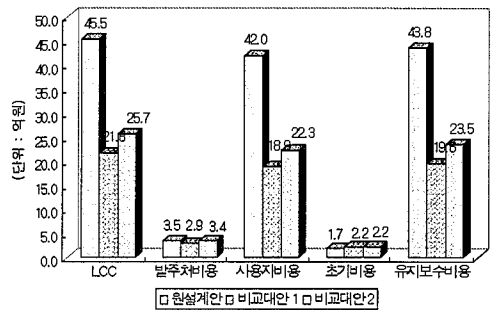


Fig. 3 비용항목별 LCC 차이(연구분석기간 30년인 경우)

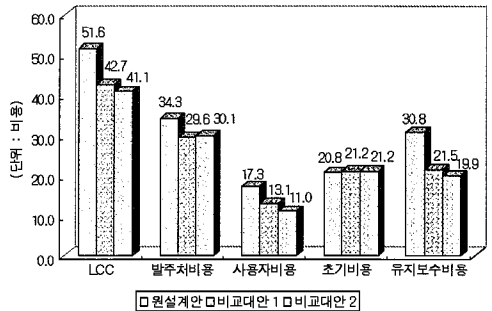


Fig. 4 비용항목별 LCC 차이(연구분석기간 50년인 경우)

Table 7 LCC 계산 및 비교 (단위: 억원)

구분	원설계안	비교대안 1		비교대안 2
	일반 가열아스팔트 포장	LMC / 일반가열아스팔트포장	LMC / RS-LMC	
연구분석기간 23년인 경우	생애주기비용	37.5	18.8	-
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	49.9%	-
연구분석기간 30년인 경우	생애주기비용	45.5	22.0	25.9
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	51.6%	43.1%
연구분석기간 50년인 경우	생애주기비용	51.6	42.9	41.4
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	16.9%	19.8%

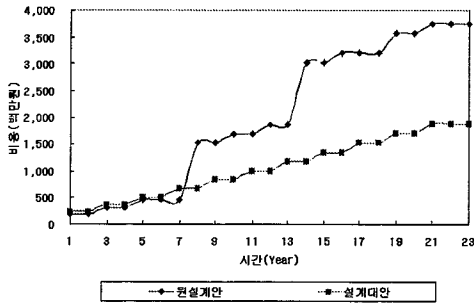


Fig. 5 사용년수별 LCC 변화(연구분석기간 23년인 경우)

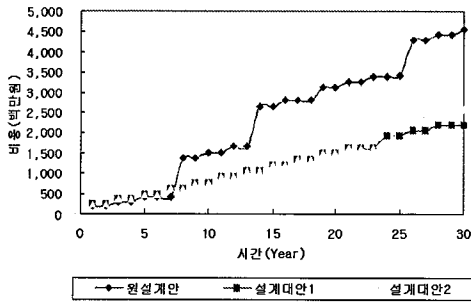


Fig. 6 사용년수별 LCC 차이(연구분석기간 30년인 경우)

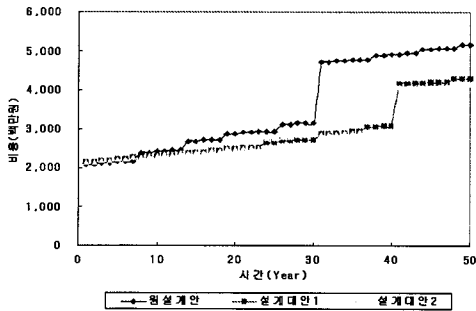


Fig. 7 사용년수별 LCC 차이(연구분석기간 50년인 경우)

5. 민감도 분석

LCC 분석은 미래의 통화가치의 변화량, 연구분석기간의 변화 등 불확실한 변수가 많다. 따라서 이와 같은 불확실한 변수를 각종자료와 전문가의 판단을 근거하여 합리적인 수준으로 최확기대치를 결정함으로써 불확실성을 줄일 필요가 있다. 본 연구에서는 할인율, 비담판의 수명 및 사용자비용의 포함여부 및 각 포장공법의 수명 등의 항목을 설정하여 민감도 분석을 수행하였다.

5.1 할인율

할인율 3%, 4.5%, 6%의 변화에 따른 LCC 변화 추이와 원설계안 대비 상대절감율을 Table 8과 Fig. 8에 나타내었다. Table 8과 Fig. 8로부터 알 수 있듯이, 연구분석기간 23년과 연구분석기간 30년의 경우, 할인율의 증가에 따른 각 비교대안들의 상대절감율은 큰 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다.

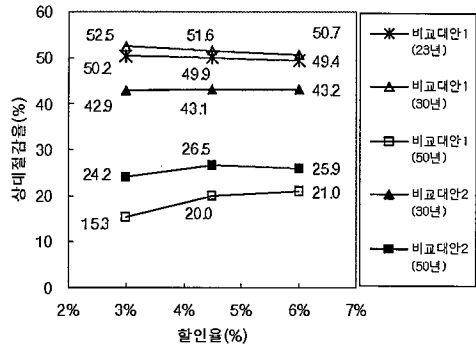


Fig. 8 할인율 변화에 따른 LCC 상대절감율

Table 8 연구분석기간과 할인율에 따른 LCC 변화 추이

구분	원설계안			비교대안 1			비교대안 2			
	일반 가열아스팔트 포장			LMC / 일반가열아스팔트포장			LMC / RS-LMC			
	3%	4.5%	5%	3%	4.5%	5%	3%	4.5%	5%	
연구분석기간 23년인 경우	생애주기비용(억원)	43.8	37.5	32.3	21.8	18.8	16.3	-	-	-
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	-	50.2	49.9	49.4	-	-	-
연구분석기간 30년인 경우	생애주기비용(억원)	56.6	45.5	37.2	26.9	22.0	18.3	32.3	25.9	21.1
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	-	52.5	51.6	50.7	42.9	43.1	43.2
연구분석기간 50년인 경우	생애주기비용(억원)	144.4	86.4	67.1	96.9	69.1	53.0	86.8	63.5	49.7
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	-	15.3	20.0	21.0	24.2	26.5	25.9

또한, 연구분석기간 50년의 경우 각 비교대안들의 상대절감율이 낮은 할인율에서 다소 큰 변화를 보이며 증가하나, 그 보다 큰 할인율에서는 연구분석기간 23년과 연구분석기간 30년의 경우와 마찬가지로 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. 한편, 가 할인율에 따른 비교대안 1과 비교대안 2의 원설계안 대비 상대절감율을 비교하여보면 연구분석기간이 30년인 경우는 비교대안 1이, 연구분석기간 50년인 경우는 비교대안 2가 여전히 경제성의 우위를 나타낸다는 것을 알 수 있다.

5.2 바닥판 수명

일반가열아스팔트 교면포장시 바닥판 수명 25년, 30년, 35년으로, LMC 교면포장시 바닥판 수명이 35년, 40년, 45년으로 변화함에 따른 LCC 변화추이를 Table 9와 Fig. 9에 나타내었다. 또한, 연구분석기간은 바닥판 교체가 일어날 것으로 기대되는 50년으로 하여 분석을 수행하였으며, 비교대안 1과 비교대안 2인 LMC 혼용포장공법의 바닥판 교체시기가 같다고 가정하였다. Table 9와 Fig. 9에서 알 수 있듯이, 바닥판의 교체시기를 모두 동일(35년)하게하여 원설계안은 최대 비교대안들은 최소가 되도록 가정한다고 하여도, 비교대안 1과 비교대안 2인 LMC혼용포장이 원설계안 대비 상대절감율이 각각 7.93%, 10.53%로 경제적인 것으로 나타났으며, 원설계안과 비교대안의 바닥판 교체시기의 차가 증가됨에 따라 원설계안 대비 최대 상대절감율이 24.21%로 경제성이 있는 것으로 분석되었다. 이는 교량의 공용수명이 증대되는 추세에 비추어볼 때 경제성이 더 증가될 것으로 기대된다.

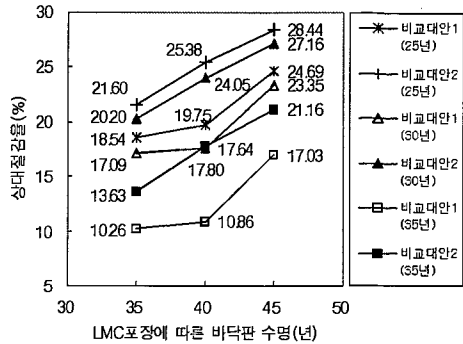


Fig. 9 LMC포장시 바닥판 수명의 상대절감율

또한, LMC 교면포장만을 실시한 비교대안 2의 바닥판 수명이 비교대안 1의 바닥판 수명보다 조금 더 길어질 것으로 기대됨에 따라 비교대안 1과 비교대안 2의 LCC 경제성 우위는 비교대안 2가 다소 더 경제적으로 변화될 것으로 사료된다.

5.3 사용자비용

연구분석기간별 사용자비용의 포함 유무에 따른 LCC 변화추이는 Table 10과 Fig. 10, Fig. 11에서 알 수 있듯이 사용자 비용을 고려하지 않더라도 각 비교대안들이 원설계안에 비해 경제적인 것으로 나타난다. 사용자 비용을 포함하지 않았을 경우, 연구분석기간이 30년일 때 비교대안 2의 상대절감율이 원설계안 보다 경제적 하위를 나타내고 있으나 사용자 비용을 포함한다면 43.1% 정도의 우위를 나타내고 있다. 그리고, 연구분석기간이 50일 경우 비교대안 1, 2가 모두 우위를 나타내고 있으며 비교대안 2가 비교대안 1

Table 9 바닥판 수명의 변화에 따른 LCC 변화 추이(일반 가열아스팔트포장 기준)

구분	원설계안	비교대안 1			비교대안 2					
		일반 가열아스팔트 포장	LMC / 일반가열아스팔트포장	1.MC / RSLMC	1.MC / RSLMC	1.MC / RSLMC	1.MC / RSLMC			
기준바닥판수명	LMC 교면포장의 바닥판 수명	35년	40년	45년	35년	40년	45년	35년	40년	45년
바닥판수명 25년	생애주기비용(억원)	85.14			69.35	68.32	64.12	66.75	63.53	60.93
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	-	15.79	16.82	21.02	18.39	21.61	24.21
바닥판수명 30년	생애주기비용(억원)	83.65			69.35	68.89	64.12	66.75	63.53	60.93
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	-	14.30	14.76	19.53	16.90	20.12	22.72
바닥판수명 35년	생애주기비용(억원)	77.28			69.35	68.89	64.12	66.75	63.53	60.93
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	-	7.93	8.39	13.16	10.53	13.75	16.35

Table 10 사용자비용의 포함 유무에 따른 LCC 변화 추이

구 분	원 설계안 일반 가열아스팔트 포장	비교대안 1		비교대안 2			
		LMC / 일반가열아스팔트포장		LMC / RS-LMC			
		포함시	미 포함시	포함시	미 포함시		
연구분석기간 23년인 경우	생애주기비용(억원)	37.45	3.30	18.76	2.40	-	-
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	49.9	27.1	-	-
연구분석기간 30년인 경우	생애주기비용(억원)	45.48	3.48	22.00	3.05	25.89	3.58
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	51.6	12.5	43.1	-2.7
연구분석기간 50년인 경우	생애주기비용(억원)	86.42	34.31	69.12	29.84	63.53	30.29
	원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	20.0	13.0	26.5	11.7

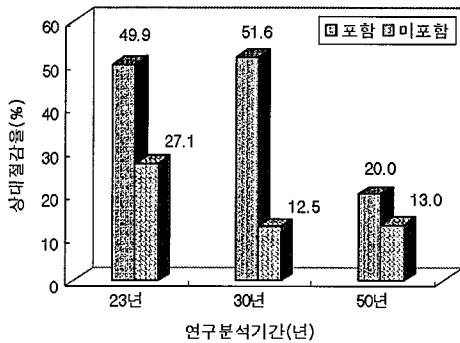


Fig. 10 사용자비용의 포함유무에 따른 LCC(비교대안 1)

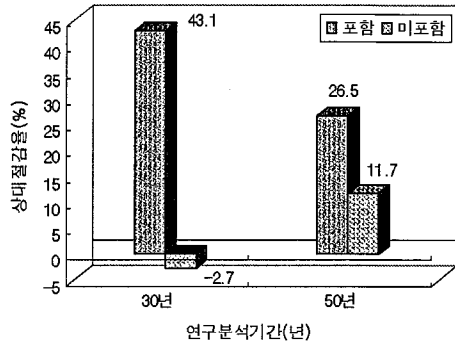


Fig. 11 사용자비용의 포함유무에 따른 LCC(비교대안 2)

보다 1.3%정도 더 크게 나타났으나, 연구분석기간 50년으로는 LMC포장의 수명을 다 고려하지 못한다는 단점이 있으므로 교량의 공용수명이 증대되어 연구분석기간이 5년 이상 더 장기화 될 경우 비교대안 2가 경제성의 우위를 나타낼 것으로 판단된다.

5.4 포장수명의 변화

일반가열아스팔트 교면포장의 수명은 6년, 9년으로 LMC

교면포장의 수명은 20년, 25년으로 변화함에 따른 LCC 변화추이를 Table 11과 Fig. 12, Fig. 13에 나타내었다. Table 11와 Fig. 12에서 알 수 있듯이, 원설계안의 포장수명을 최대로 하고, 비교대안들의 포장수명을 최소로 하였을 때 연구분석기간 30년일 경우 비교대안 2가 25.34%, 연구분석기간 50년일 경우 비교대안 1이 9.93%로 비교대안들이 경제적 우위를 나타내고 있다. 또한, 원설계안의 포장수명을 최소로 비교대안의 포장수명을 최대로 할 경우 최대 38.98%의 경제적 우위를 나타내었다.

Table 11 포장 수명의 변화에 따른 LCC 변화 추이(일반 가열아스팔트포장 기준)

구 분	원 설계안 일반 가열아스팔트 포장	비교대안 1		비교대안 2				
		LMC / 일반가열아스팔트포장		LMC / RSLMC				
		20년	25년	20년	25년			
연구 분석 기간	일반가열아스팔트 포장수명 6년	생애주기비용(억원)	39.98	39.98	28.62	24.39	27.54	25.70
		원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	28.41	38.98	31.11	35.73
23년	일반가열아스팔트 포장수명 9년	생애주기비용(억원)	36.89	36.89	23.33	23.03	27.54	25.70
		원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	36.75	37.57	25.34	30.34
연구 분석 기간	일반가열아스팔트 포장수명 6년	생애주기비용(억원)	90.38	90.38	73.54	70.40	64.70	63.34
		원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	18.64	22.11	28.42	29.92
23년	일반가열아스팔트 포장수명 9년	생애주기비용(억원)	77.53	77.53	69.83	66.29	64.70	63.34
		원설계안 대비 상대절감율(%)	-	-	9.93	14.50	16.55	18.31

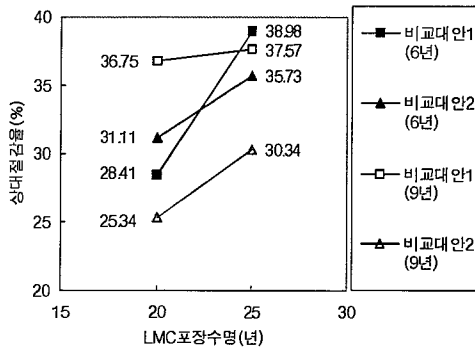


Fig. 12 포장수명의 변화에 따른 LCC (연구분석기간 30년)

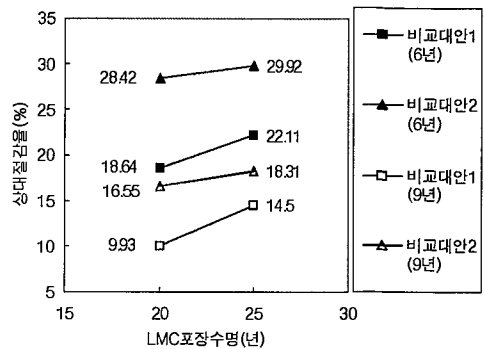


Fig. 13 포장수명의 변화에 따른 LCC (연구분석기간 50년)

6. 결론

본 연구는 포장 LCC 분석을 통하여 최적의 포장형식을 선정하는 방법을 제시하였으며, 이를 LMC 교면포장에 적용하였다. 본 연구에서 사용된 LCC 분석 모델은 Ehlen & Marshall(1996)의 분석모델 및 비용분류 모델에 따랐으며, 프로그램은 NIST에서 개발한 BridgeLCC 1.0 수치해석 프로그램을 사용하였다. 또한, 사용자비용의 모델은 NIST의 Ehlen & Marshall (1996) 모델을 기본적으로 사용하였으며, 기존의 조효남/Ang (1999) 모델을 현 실정에 맞게 수정·보완한 사용자비용 모델을 제시하였다.

그리고, 각 교면포장공법이 바닥판에 미치는 영향을 알아보기 위하여 각각 23년, 30년 및 50년의 세가지 연구분석기간을 설정하여 각 교체시기를 고려한 LCC 분석을 수행하였으며, 여러 중요변수에 대한 민감도를 알아보기 위하여 민감도 분석도 실시하였다.

본 연구의 LCC 분석을 수행한 결과에 따르면, 단순히 초기 공사비만을 고려하지 않고, 향후 유지관리 비용, 사용자 비용 등 구조 수명간 총 생애주기비용을 고려한다면, 라텍스 개질 콘크리트(Latex Modified Concrete) 교면 포장공법을 이용한 교면포장이 LCC 개념 측면에서 볼 때의 경제성이 일반기열아스팔트에 비해 현저하게 우수한 것으로 나타났다.

따라서, 교면포장공법의 선택시 LCC 개념을 고려한 최적의사결정을 내리는데 많은 도움을 줄 수 있는

것으로 기대되며, 본 연구에서 적용한 LCC 분석 모델 및 절차는 차후 다양한 교면포장 공법의 LCC 분석을 위한 기초자료로 활용이 가능한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문의 연구내용은 2001년도 BK 21사업에 의해 수행되었으며, 연구비를 지원하여준 (주)승화이엔씨에 진심으로 감사 드립니다.

참고 문헌

1. 조효남, LMC 교면포장 공법을 이용한 포장 LCC 분석, 한양대학교, 2001.
2. 건설교통부/시설안전기술공단 (2000), "도로교의 공용수명 연장방안 연구", 기술연구보고서, 2000, 12.
3. 조효남/Ang, "장대 PC교량의 설계 및 성능개선을 위한 신뢰성에 기초한 지진안전도 및 최적성능규준개발", 한국과학기술원, 1999.
4. 손의영(1992), 교통혼잡비용 예측연구, 교통개발연구원 연구 보고서 92-17.
5. 서선덕, 도로용량합수와 혼잡비용, 교통정보, 1991
6. 도철웅, "교통공학원론", 청문각, 1998.
7. 임중권(1999), 구조수명간 최소기대비용에 기초한 교량의 최석내진안전수준의 결정을 위한 신뢰성 해석기법, 한양대학교 박사학위논문.
8. 주학중, 박명호, 무질서의 경제적 비용에 관한 연구, 국

- 민경제연구소 연구보고서, 9501, 인지사, 1995.
9. 한국물가정보(2001.1), 종합물가정보.
 10. Ang, A. H-S. & De Leon, D. (1997a), "Determination of Optimal Target Reliabilities for Design and Upgrading of Structures", *Structural Safety* 19(1): 91-103.
 11. Kuhlmann, L.A., "LMC overlay for O'Hare Airport Parking garage roof", 1991.
 12. Leeming, M. B. (1993), "The Application of Life Cycle Costing to Bridges", *Bridge Management* 2, Thomas Telford, London, U.K., pp. 574-583.
 13. High-Performance Concretes A State-of-Art Report (1989-1994), NTIS.
 14. Romano, J.J.(1997), "Modeling Bridge Deck Maintenance Costs," MS thesis, Dept. of Civil & Environmental Eng., Lehigh University, Bethlehem, PA.
 15. Ehlen, M. A. (1999), *Bridgecc 1.0 Users Manual - Life-Cycle Costing Software for Preliminary Bridge Design*, Office of Applied Economics, Building and Fire Research Laboratory, NIST.
 16. Ehlen, M. A. and Marshall, H. E. (1996), *The Economics of New-Technology Materials: A Case Study of FRP Bridge Decking*, Office of Applied Economics, NIST.
 17. Frangopol, D.M., Lin K-Y., and Estes A.C., *Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures*, (with K-Y. Lin and A.C. Estes), *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Paper No. 13902, Vol. 123, No. 10, October 1997, pp. 1390 - 1401.
 18. Berthelot, C. F., Sparks, G. A., Blomme, T., Kajuer, L., and Nickeson, M.(1995), *Meckanistic-Probabilistic Vehicle Operating Cost Model*, *Jour. of Transportation Engineering.*, pp. 337 - 341.

(접수일자 : 2001년 8월 24일)