

공 학 석 사 학 위 논 문

LCC 분석을 이용한
교량 유지관리수준에 관한 연구

지도교수 이 영 대

이 論文을 그 學位 論文으로 提出함



부 경 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

천 용 현

천용현의 공학석사 학위논문을 인준함

2003년 6월 26일

주 심 공 학 박 사 이 종 출

위 원 공 학 박 사 김 수 용

위 원 공 학 박 사 이 영 대



목 차

표 목 차	i
그림 목차	ii
Abstract	iii
1. 서 론	1
1.1 연구목적	1
1.2 연구동향	3
1.3 연구방법 및 범위	6
2. 교량의 유지관리	8
2.1 교량 유지관리의 개념 및 목적	8
2.2 국내·외 교량유지관리 현황	9
2.2.1 국내의 교량유지관리 현황	9
2.2.2 외국의 교량유지관리 현황	16
2.3 교량 유지관리수준에 대한 정의	18
3. LCC 분석이론	20
3.1 LCC의 개념 및 분석절차	20

3.1.1 LCC의 개념	20
3.1.2 LCC 분석절차	22
3.2 경제성 평가방법	24
3.3 교량 LCC 분석 변수	26
3.3.1 교량 LCC 구성항목	26
3.3.2 유지관리비 적용비율 및 시행시기	27
3.3.3 할인율	28
3.3.4 분석기간	29
3.3.5 비용산정방법	30
3.4 교량 LCC 분석모델	33
4. LCC 분석결과 및 고찰	34
4.1 사례교량의 자료조사	34
4.1.1 사례교량의 형식	34
4.1.2 사례교량의 비용자료	35
4.2 LCC 분석결과	39
4.2.1 초기공사비 순현재가계산	39
4.2.2 설계 및 감리비 순현재가계산	40
4.2.3 유지관리비 순현재가계산	41
4.2.4 유지관리비 예측	43
4.3 고찰	46
4.3.1 초기공사비에 대한 고찰	46
4.3.2 설계 및 감리비에 대한 고찰	47
4.3.3 유지관리비에 대한 고찰	48

4.3.4 사례교량의 형식별 LCC 비교	49
4.3.5 유지관리수준에 따른 유지관리비의 비교	50
4.3.6 민감도 분석	54
 5. 결 론	 56
 참고문헌	 57

표 목 차

<표 2.1> 대상교량과 점검주기에 따른 국내 점검 분류	13
<표 2.2> 시설안전기술공단의 교량 상태평가기준	14
<표 2.3> 연도별 일반국도 및 고속국도의 유지보수 현황	15
<표 2.4> 각 국의 교량유지관리 현황	17
<표 2.5> 유지관리수준의 정의	19
<표 3.1> 프로젝트 전 단계의 LCC 구성항목	21
<표 3.2> 투자평가법의 특성 비교	25
<표 3.3> 본 연구에서의 교량 LCC 구성항목	26
<표 3.4> 항목별 유지관리비용 적용비율	27
<표 3.5> 교량 형식별 유지관리 시행시기	27
<표 3.6> 이자율, 물가상승율에 따른 연도별 실질할인율	29
<표 3.7> 본 연구에 사용된 주요 변수의 기본가정	32
<표 4.1> 사례교량의 개요	34
<표 4.2> 사례교량의 초기공사비	35
<표 4.3> 설계 및 감리비의 건설부분 요율	36
<표 4.4> 사례교량에 대한 설계 및 감리비용	37
<표 4.5> 사례교량의 유지관리비	38
<표 4.6> 초기공사비 순현재가계산	39
<표 4.7> 설계 및 감리비의 순현재가계산	40
<표 4.8> 유지관리비 순현재가계산	42
<표 4.9> 현행유지관리수준의 보수율	44
<표 4.10> 예방유지관리수준의 보수율	45
<표 4.11> 각국의 유지관리비 비교	53

그림 목차

<그림 1.1> 연구의 흐름	7
<그림 2.1> 교량 유지관리 흐름도	10
<그림 2.2> 교량의 유지관리와 Life Cycle의 상관관계	11
<그림 2.3> 교량의 Life Cycle	12
<그림 3.1> LCC 분석절차	23
<그림 3.2> 사례교량의 LCC 분석모델	33
<그림 4.1> 교량형식별 m ² 당 초기공사비	46
<그림 4.2> 교량형식별 m ² 당 설계 및 감리비	47
<그림 4.3> 교량형식별 m ² 당 유지관리비	48
<그림 4.4> 교량형식별 m ² 당 LCC	49
<그림 4.5> 강교의 유지관리수준에 따른 보수율 비교	51
<그림 4.6> RC교의 유지관리수준에 따른 보수율 비교	51
<그림 4.7> PSC교의 유지관리수준에 따른 보수율 비교	52
<그림 4.8> 할인율의 변화에 따른 순현재가 초기공사비 (m ² 당 비용)의 변화	55

***Study on the Bridge Maintenance and Operation Level
Using Life-Cycle Cost Analysis***

Yong-Hyun, Chun

*Department of Civil Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

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.

1. 서 론

지금까지는 도로의 설계나 유지보수대안 중에서 최적안을 선정할 때는 장래에 소요되는 비용과 시설물의 성능보다는 주로 초기 투자비용에 근거해서 의사결정을 해 왔다. 그러나 도로시설물과 같은 장기투자에서는 초기 투자비용 뿐만 아니라 유지관리비 및 폐기처분비를 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 사용자비용 등 사회적 비용을 최소화하여야 할 것이다.²⁰⁾

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.

1.1 연구목적

건설교통부에서 발간된 「교량현황조서 (2002)」를 살펴보면 2001년 말 기준으로 우리나라 도로에 가설된 교량은 총 17,150개소, 1,300km에 이르고 있다. 이처럼 교량은 국가 기간 교통망이 제대로 기능을 발휘하는 데 있어 매우 중요한 시설물이다. 1994년 발생한 성수대교 사고에서도 보았듯이 유지관리 소홀로 인한 교량의 붕괴 또는 교량 기능의 상실은 귀중한 인명과 재산피해 뿐만 아니라 도시의 기능을 마비시킬 수도 있다. 따라서 교량의 안전을 확보하고 교량이 제 기능을 다할 수 있도록 유지관리 하는

것은 국가적 차원의 과제이다. 도로의 증가와 함께 교량의 숫자도 점점 증가하고 있어, 유지관리에 대한 국가차원의 기준이 마련되어져 적절한 유지관리가 이루어져야 함에도 불구하고 아직 체계적인 유지관리수준의 제시도 되어있지 않은 상태이다.

본 연구에서는 OO지역의 교량 중 강교, RC교, PSC교 각10개소, 총 30개소의 사례교량에 대하여 먼저 형식별 초기공사비, 설계 및 감리비, 유지관리비를 고려한 LCC 분석을 통하여 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.

1.2 연구동향

미국에서는 1980년대에 도로포장의 유지관리에 LCC 분석기법을 적용한 이후, 주로 고속도로상의 교량을 대상으로 연구하였고, 그 후 교량관리를 위한 대안의 평가 시 의사결정기준의 한 방법으로 LCC분석기법이 사용되기 시작하였다.

일본에서는 1979년 Blanchard의 저서인 「Design and Manage to Life Cycle Cost」가 번역됨으로서 LCC가 일반에게 널리 알려지게 되었다. 또한 같은 해 건설성 영선부에 LCC 연구회가 설치되면서 LCC 기법이 보급·실용화 되었다. 韓新고속도로의 토목연구소는 1999년 LCC 개념을 도입하여 교량의 수명을 200년으로 하여 경제성 검토를 실시하였다. 그 결과 이 교량은 LCC 분석을 하지 않은 교량에 비해서 부채별 내구년한이 최소 1.5배에서 최대 8배 정도로 큰 것으로 나타났고, 초기건설비는 기존교량에 비해 1.6배나 크지만 준공 후 25년부터는 경제성이 있는 것으로 분석되었다.¹⁷⁾

그 외에도 LCC 관련 연구는 최근 교량유지관리시 최적의 의사결정을 지원하기 위해 활발히 진행되고 있으며 관련 내용은 다음과 같다.

1993년 Leeming은 교량 LCC 분석을 통해 할인율과 내용년수, 그리고 과거의 유지보수 이력에 대한 데이터베이스의 중요성을 강조하였다.⁴⁾ 같은 해인 1993년 Piringer도 교량의 LCC 분석절차를 소개하였다. 그는 초기공사비에 대한 유지관리비용의 비율을 콘크리트교, PSC교, 강교별로 비교하여 분석하였다.

1993년 Brown 과 Owens는 강교에 대한 LCC 분석절차를 소개하였다. 그들은 초기공사비가 많이 소요되는 강교가 LCC측면에서는 오히려 다른 형식의 교량보다 유지보수비용이 절약되어 더 경제적이라고 강조하였다.

또한 1999년 Estes와 Frangopol은 신뢰성 접근방법에 의한 고속도로 교량의 최적유지관리수준을 제시하였다.²⁾ 그들은 교량의 기대 LCC와 신뢰성 접근 방법에 의한 보수시기가 균형을 이루도록 유지관리수준의 결정을 할 수 있는 방안을 제시하였다.

이밖에 1997년 Nichikawa는 유지관리수준을 최소화시킨 교량을 제안하면서 일반적인 교량과의 LCC를 비교·분석하였다.⁶⁾ 1998년 Walls와 Smith는 포장설계를 위한 LCC 분석 지침서를 개발하였으며 비용 및 관련 변수의 불확실성을 고려한 확률적 접근방식을 제안하였다. 1998년 Wen과 Kang은 기대 LCC의 최소화에 기초하여 Multiple Hazard에 대한 LCC 최적설계 모델을 개발하였다.

한편, 국내에서의 LCC분석은 1980년대 초에 처음 소개되어 1981년 12월 병참을 지원하기 위한 비용수단 지침서인 「체계분석과 비용」부터 도입되었다. 그 후 1981년 이평수 외 2명에 의한 건물의 유지관리 측면에서 「건물의 보수유지비 산정에 관한 연구」로 시작되어 1993년 김영호는 「공동주택의 내용년수 감소에 따른 재산상손실에 관한 고찰」이라는 연구를 실시하였다. 1989년 김인호는 「LCC분석에 의한 공동주택 내·외벽의 적정설계에 관한 연구」라는 제목으로 연구를 실시하였고, 1994년 김용수는 「시뮬레이션 모델을 이용한 근린사무소건물의 LCC예측 및 수선교체 전략에 관한 사례연구」를 통해 건축물의 유지보수에 관한 문제를 LCC 분석기법을 사용하여 연구하였다. 이렇듯 LCC에 관한 연구는 주로 공동주택이나 건축설비 및 기계 등을 연구대상으로 삼은 것이 대부분이며, 공공시설물인 교량을 대상으로 한 연구는 아직 시작단계이다. 그러나 최근 들어 교량과 같은 공공시설물에 대해서도 교량의 경제성과 유지관리에 대한 중요성이 증대되자 1995년 한국 건설기술연구원에서는 「교량관리체계(BMS: Bridge Management System)개선에 관한 연구」를 통해 LCC기법

에 대한 필요성을 제시하였고, 그 이후 교량에 대한 LCC 분석기법을 이용한 연구가 점차 발전하기 시작했다. LCC분석기법을 이용한 교량유지관리에 관한 연구현황은 다음과 같다.

1995년 김도군은 강교와 콘크리트교의 환경측면에서의 LCC비교를 통해 폐기처리 및 환경비용 모델을 제시하였고, 1999년 김형열은 도로교의 최적 유지관리 의사결정을 위한 비용-편익분석을 고려한 경제성평가기법을 제시하였으며, 1998년 한국강구조학회에서는 고속도로 교량으로서 MSS공법에 의한 PSC박스거더교와 2주형 강합성교에 대한 대안 LCC측면에서의 비교우위에 대한 시안을 제시하였다.

1999년 한국강구조학회에서는 MSS공법에 의한 PSC박스거더교와 2주형 강합성교에 대한 대안을 LCC측면에서 비교하여 강교가 LCC측면에서 경제적임을 정량적으로 비교하였다.¹⁷⁾

2000년 시설안전기술공단과 한국건설기술연구원에서는 도로교의 프로젝트레벨에서의 최적 유지관리 의사결정을 위한 비용-편익분석을 고려한 경제성 평가기법을 LCC 측면에서 접근하여 유지관리 최소화교량의 시안을 제시하였다.²¹⁾

2001년 김형수는 「교량의 생애비용분석을 이용한 경제성 평가에 관한 연구」에서 연구지역내 교량들의 유지관리비에 대한 LCC 분석을 통해 사례교량들에 대한 실적 LCC 기초자료를 제시하였다.¹³⁾

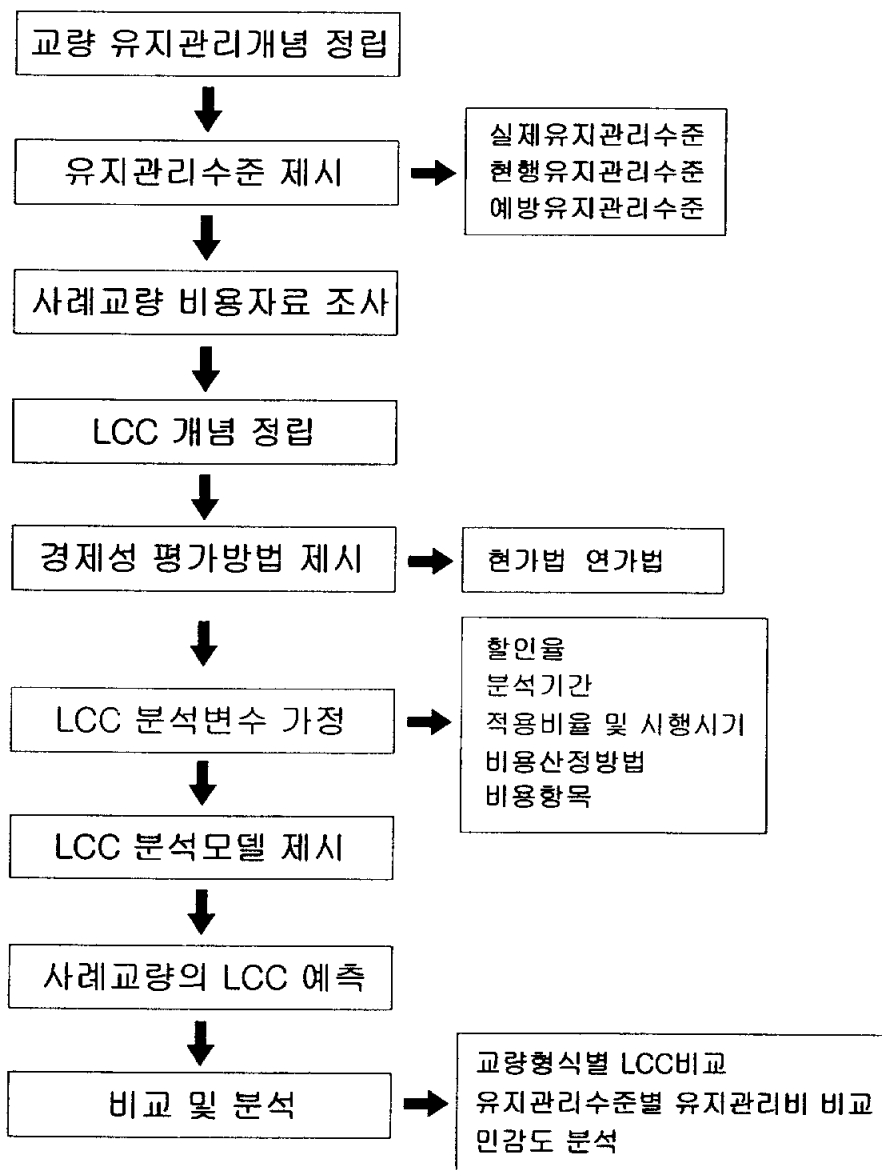
이상과 같이 국내외 연구동향을 보면, 시설물의 경제적 의사결정시 LCC 분석기법의 사용이 점차 중요해지고 있고, 유지보수수준의 결정이나 공법의 비교 등, 의사결정 수단으로서의 LCC 분석기법은 그 활용분야가 더욱 확대될 것으로 기대된다.

1.3 연구방법 및 범위

본 연구는 연구지역내 교량에 대하여 초기공사비, 설계 및 감리비, 유지관리비를 고려한 비용자료를 조사·분석함으로써 아직 사례가 별로 없는 교량구조물에 대한 실적 LCC 기초자료를 얻는 것과 동시에 사례교량의 형식별 LCC를 비교하고, 얻어진 실적 LCC 기초자료를 이용하여 사례교량의 실제유지관리수준과 장래 요구되는 유지관리수준과의 정량적 비교를 통한 적정유지관리수준의 제시에 그 목적이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 <그림 1.1>과 같은 절차로 연구를 수행하고자 한다.

먼저 교량 유지관리의 개념을 살펴본 후, 본 연구에서 사용할 유지관리수준을 제시한다. 그리고 사례교량의 교량관리 대장을 분석하여 각 사례교량의 초기공사비, 설계 및 감리비, 유지관리비, 유지관리비에 대한 비용자료를 조사한다.

다음으로 LCC의 개념을 정리한 후, 본 연구에서 사용할 경제성 평가방법을 제시하고, LCC 분석시 사용할 여러 변수를 가정한 후 본 연구의 LCC 분석모델을 제시된 분석모델의 순서에 따라 각 사례교량의 형식별 LCC를 예측한 후 비교하고, 예측된 각 사례교량의 유지관리수준별 유지관리비를 이용하여 각각의 보수율을 산정하고 유지관리수준별, 사례교량형식별로 비교·분석하였으며, 분석의 신뢰도를 높이기 위해 할인율의 변화에 따른 초기공사비 변화의 민감도분석을 실시하였다.



<그림 1.1> 연구의 흐름

2. 교량의 유지관리

2.1 교량 유지관리의 개념 및 목적

일반적으로 유지관리란 시설물을 일정수준 이상의 상태로 유지하여 이용상의 편의와 안전성을 확보함은 물론, 시설물을 사용하는데 있어 지장이 되는 요소들을 없애고 각종 점검을 통하여 이상이 있는 곳은 보수, 보강을 실시함으로써 그 본래의 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 하는 모든 물적·인적 투자행위를 총칭한다.²⁰⁾

OECD ROAD RESEARCH GROUP(1987)에서는 교량을 사용할 수 있는 상태로 보전하기 위하여 설계된 모든 행위라고 하고, 보다 구체적으로는 교량의 내하력을 확보하고 사용자에게 지속적인 안전을 보장하는 모든 행위로 정의하고 있다. 한편 일본 국토교통성의 유지관리 기본 개념에는 사고복구비용과 교체, 개량비용이 포함되어 있다. 우리나라 「시설물안전관리에관한특별법」에서는 완공된 시설물의 기능을 보전하고 시설물 이용자의 편의와 안전을 높이기 위하여 시설물을 일상적으로 점검·정비하고 손상된 부분을 원상복구하며 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개량, 보수·보강에 필요한 활동을 하는 것으로 규정하고 있다.⁷⁾

일반적으로 시설물은 완공된 후 시간이 지나면 물리적·사회적·기능적으로 효용이 저하하는 현상이 나타난다. 이 중 물리적인 기능 저하 원인은 시간이 지나감에 따라서 자연적으로 발생하는 노후화, 사용에 따른 마모, 파손, 그리고 사고 등으로 인한 우발적인 손상 등을 들 수 있다. 시설물의 안전 및 유지관리는 이러한 시설물의 성능저하 수준을 파악하고 효용이 지속될 수 있도록, 점검과 정밀안전진단, 보수, 보강, 개량 등을 하는 것이고 이와 같은 일련의 활동에는 비용을 지불하게 된다. 따라서 유지관리의 목적은 문제가 생길 소지가 있는 부분을 미연에 방지하여 내하력이 크게

떨어지지 않은 상태에서 열화속도를 완화시켜 시설물의 전면보수, 보강 시기를 연장함으로써 궁극적으로 시설물의 수명을 연장시키는데 있다.²⁰⁾

2.2 국내 · 외 교량유지관리 현황

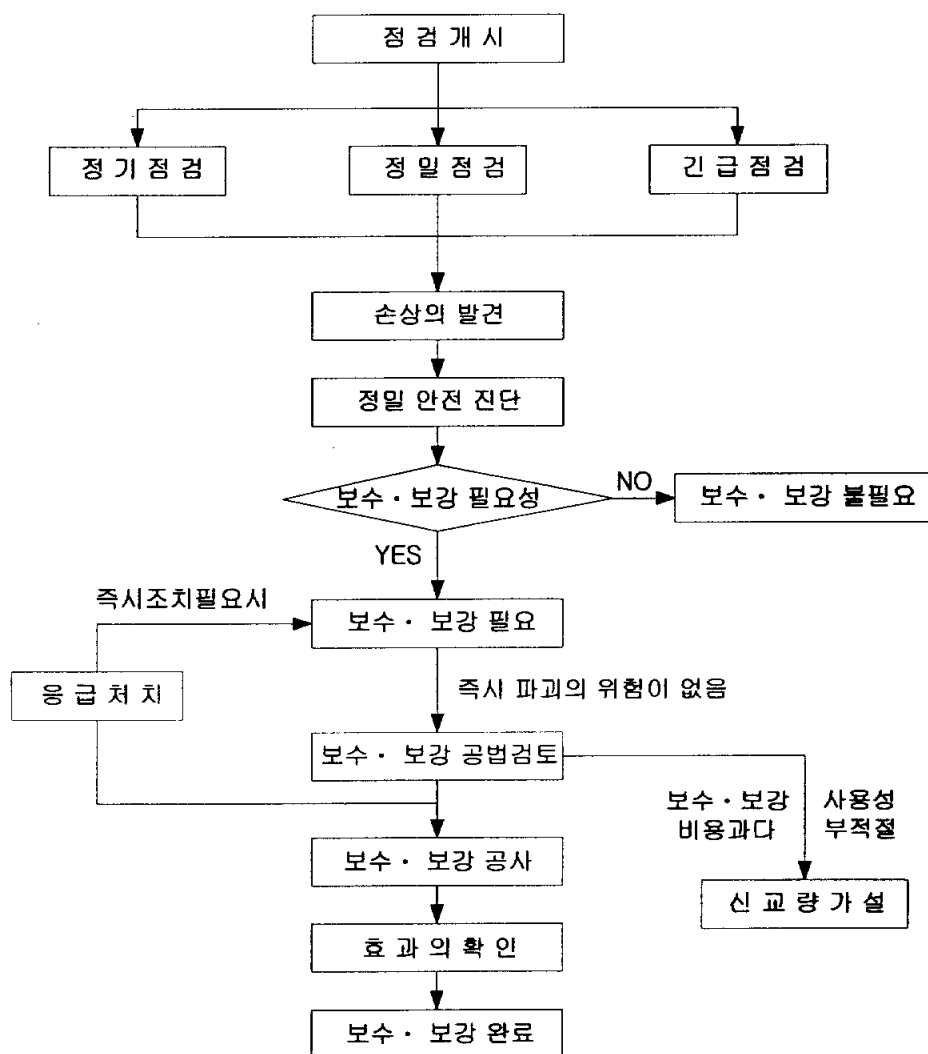
2.2.1 국내의 교량유지관리 현황

교량의 체계적인 유지관리를 위해 건설교통부는 BMS(Bridge Management System)을 개발하여 현재 건설교통부, 각 지방국토관리청, 국도유지건설 사무소 및 건설기술연구원과 네트워크로 연결되어 사용중에 있다. 또한 고속국도는 한국도로공사에서 HBMS(Highway Bridge Mnagement System)을 개발하여 이를 고속국도상의 교량관리에 이용하고 있다. 그리고 매년 교량의 장기 유지관리계획 수립, 유지관리 및 도로행정에 필요한 기본자료를 제공하기 위하여 교량유지관리 현황을 기록한 교량현황조서가 작성되고 있다.²⁰⁾

정부에서는 각종 시설물에 대한 안전관리 및 유지관리를 도모하고자 1995년 「시설물안전관리에관한특별법」을 제정하였다. 교량도 「시설물안전관리에관한특별법」에서 정한 시설물에 속하는 것으로, 특수교량(현수교, 사장교, 아치교, 최대경간장 50m 이상)과 연장 500m 이상인 교량은 1종 시설물, 연장 100m 이상인 교량으로 1종 이외의 교량은 2종 시설물로 규정되어 있다.

1) 교량의 유지관리

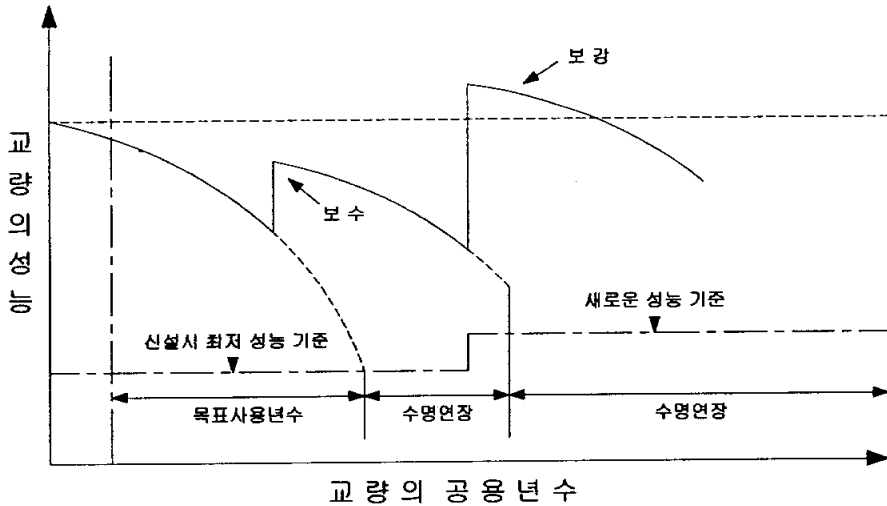
국내 교량의 유지관리는 <그림 2.1>과 같이 이루어진다.



<그림 2.1> 교량 유지관리 흐름도¹⁵⁾

현재 국내의 교량관리는 건설교통부 직할 5개 지방국토관리청과 15개 국도유지 건설사무소, 한국도로공사의 6개 지역본부와 31개 각 지사에서 일반국도 및 고속도로상 교량을 관리하고 있으며, 지방자치단체의 도로 관련 기구인 시·도·군의 건설국 도로과 및 건설과 에서 특별·광역시 및 지방도, 군도상의 교량을 관리하고 있다.

2) 교량 수명주기의 특징



<그림 2.2> 교량의 유지관리 조치와 Life Cycle의 상관관계¹¹⁾

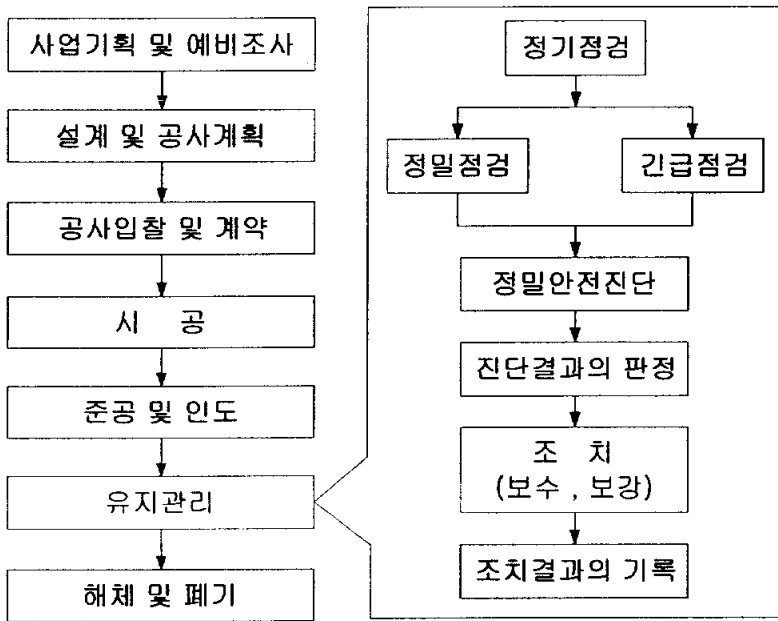
교량 수명주기의 특징은 <그림 2.2>와 같이 적절한 보수·보강을 수행함에 따라 성능이 개선되고 교량의 공용년수를 연장할 수가 있다. 그러므로 언제 어느 시점에서 어떻게 보수·보강을 시행하느냐를 정확히 결정하는 것이 무엇보다도 중요하다 하겠다.¹⁸⁾

3) 교량 Life Cycle에서의 유지관리 단계

일반적으로 모든 교량은 <그림 2.3>과 같은 Life Cycle을 갖고 있다. 이 중에서 교량의 유지관리 업무는 크게 교량의 점검 및 진단, 판정, 조치, 기록으로 구분할 수 있다. 유지관리 단계는 설계 시 목표로 한 예정 공용년수 까지 교량을 사용할 수 있도록 공용 중 발생한 열화나 손상을 회복시키는 중요한 과정으로서 프로젝트 전체 Life Cycle에서 그 중요성에 대한 인식이 점차 증가하고 있다.

교량의 Life Cycle에서 유지관리는 교량의 준공과 더불어 시작되며, 보

수·보강 등의 유지관리 행위만으로는 더 이상 교량의 수명을 연장할 수 없을 때까지 지속적으로 시행되는 것으로서, 얼마나 유지관리를 철저히 하는가에 따라서 교량의 수명과도 직결되는 중요한 업무이다.



<그림 2.3> 교량의 Life Cycle¹⁸⁾

4) 교량의 점검 및 상태평가기준

가. 교량점검

기존 「시설물안전관리에관한특별법」에서는 점검의 종류를 일상점검, 정기점검, 긴급점검, 정밀안전진단으로 분류하여 각각의 점검주기, 점검내용, 점검자의 자격, 대상 교량 등을 규정하고 있었으나 1999년 동 법의 개정으로 인하여 점검의 종류와 주기가 다소 변경되었다. 개정된 법에서는 점검의 종류를 정기점검, 정밀점검, 긴급점검 및 정밀안전진단으로 분류하고 있다.

개정된 법령을 토대로 대상교량과 점검주기를 살펴보면 <표 2.1>과 같이 분류된다.

<표 2.1> 대상교량과 점검주기에 따른 국내 점검 분류²¹⁾

구분	대상교량	점검주기
정기점검	도로상의 모든 교량	매년 2회 이상
정밀점검	도로상의 교량 중 1,2종 교량과 그 외에 교량 중 관리주체가 선정한 교량	2년에 1회이상
긴급점검	각종 재해 및 긴급한 손상이 발견된 경우 또는 관리주체가 필요하다고 판단하여 선정한 교량	관리주체가 필요하다고 판단하는 경우에 실시
정밀안전진단	1종교량 중 준공 후 10년이상 경과된 교량과 관리주체가 선정한 교량	매 5년마다 1회이상 또는 관리주체가 필요하다고 판단하는 경우. 준공 후 10년이 경과된 교량의 첫 번째 정밀안전진단은 공용년수가 15년이 되기 이전에 1회 실시

나. 상태평가기준

국내에서 가장 일반적으로 적용되고 있는 상태평가기준은 <표 2.2>의 건설교통부와 시설안전기술공단(1999)의 「시설물 안전점검 및 정밀안전진단 지침」에 규정하고 있는 판정기준이다. 이 지침에서는 크게 정기점검수준에서의 기준과 정밀점검 수준에서의 상태평가 기준을 제시하고 있다.²⁰⁾

<표 2.2> 시설안전기술공단의 교량 상태평가기준²¹⁾

판정등급	상 태
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	경미한 손상의 양호한 상태
C	보조부재에 손상이 있는 보통의 상태
D	주요 부재에 진전된 노후화(강재의 피로균열, 콘크리트의 전단균열, 침하 등)로 긴급한 보수·보강이 필요한 상태로 사용제한 여부를 판단.
E	주요 부재에 심각한 노후화 또는 단면손실이 발생하였거나 안전성에 위험이 있어 시설물을 즉각 사용금지하고 개축이 필요한 상태

정밀점검 수준에서의 상태평가 기준은 다음과 같다.

(1) A, B, C, D, E 등급

점검부재의 손상정도에 따라 상태가 양호한 경우 A등급에서의 손상이 심할 경우 E등급으로 손상의 정도에 따라 5등급으로 구분한다. 이에 대한 자세한 평가기준은 점검부재별로 세분한다.

(2) Q등급

점검부재에 대한 접근이 불가능한 경우, Q등급을 사용하여 점검되지 않은 부재임을 표시하고, 향후 재점검을 실시할 경우 접근장비를 동원하여 점검할 수 있도록 한다.

(3) X등급

점검대상 교량에 해당 점검 대상부위가 없을 경우 X등급을 사용하여 점검의 필요성에 없음을 표시한다.

5) 교량의 유지관리비

가설된 교량 총 연장(1,188km) 가운데 약 46%(550.0km)를 차지하고 있는 일반국도와 고속국도의 년도별 보수량 및 보수액 집행현황을 요약하면 <표 2.3>과 같다.

<표 2.3> 연도별 일반국도 및 고속국도의 유지보수 현황¹⁷⁾

년 도	일반국도		고속국도		합계	
	사업량 (개소)	사업비 (백만원)	사업량 (개소)	사업비 (백만원)	사업량 (개소)	사업비 (백만원)
1988	274	6,757	153	5,318	427	12,075
1989	204	10,712	244	7,896	448	18,608
1990	202	10,712	224	6,332	426	17,044
1991	284	11,182	233	10,325	517	21,507
1992	195	13,329	240	17,364	435	30,693
1993	558	24,804	1,177	16,647	1,735	41,541
1994	843	57,376	1,232	19,483	2,075	76,859
1995	11,157	120,345	0	0	11,157	120,345
1996	1,044	129,971	650	56,592	1,694	186,563
1997	2,001	141,088	1,450	44,061	3,451	185,149
1998	1,080	139,934	1,968	48,526	3,048	188,460
1999	11,020	134,189	1,375	42,096	12,395	176,285

<표 2.3>에 의하면 1995년 이후 보수량 및 보수액이 급격하게 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 대형사고들 이후 「시설물관리에관한특별법」이 제정되면서 시설물의 안전관리에 대한 중요성이 부각되어 유지보수액이 증액되어 집행된 것으로 판단된다.¹⁷⁾

교량의 보수·보장에 사용되는 예산은 1993년 이전에는 전체 건설공사비 중 신규 건설공사비의 0.3%수준이었으나 1994년 이후 꾸준히 증가하여 현재는 약 1.0%수준으로 집행되고 있다.¹⁷⁾ 이러한 교량유지관리비에 대하여 Menn은 1.0~1.2%정도가 소요되어야 한다고 주장하였으며⁵⁾, OECD보고서(Piringer, 1981)에 의하면 독일의 경우 연간유지관리비용이 초기건설

비용의 0.8%~1.5%되는 것으로 보고되었으며, 이 정도 유지관리비용이 투입되어야 안전한 교량유지관리체제로 갈 수 있음을 강조하고 있다.

2.2.2 외국의 교량유지관리 현황

외국의 안전 및 유지관리체계가 어떠한 방향으로 전개되고 있는가를 교량을 중심으로 살펴보았다. 외국의 경우 대부분의 시설물을 과학적이고 체계적으로 관리하며 특히 교량은 이른바 교량관리시스템(BMS : Bridge Management System)등을 개발하여 운용하고 있다. 이는 법률이나 제도에 의존하여 시설물의 안전성을 확보하고 이용도를 증진시키는 정책에서, 첨단기술을 도입하여 구축한 관리시스템을 활용하여 안전성을 확보하고 이용도를 증진시키는 정책으로 전환하고 있음을 의미한다.²⁰⁾

각 국의 교량유지관리 현황을 요약하여 비교하면 <표 2.4>와 같다.

<표 2.4> 각 국의 교량유지관리 현황²⁰⁾

구 분	미 국	영 국	일 본	우리나라 (일반국도)
예 산	· 58만개의 교량유지관리를 위해 연간 25억불씩 지출.	· 개축을 제외한 연간 유지관리비는 개축비의 0.5% 수준임.	· 도로건설비의 20% 수준이 유지관리비에 사용되고 있음.	· 도로사업비의 10%수준이 유지관리비에 사용되고 있음(2001년 기준) · 연간교량유지관리비는 개축비의 0.68% 수준임.
교 량 유 지 관 리 체 계 (BMS)	· 1991년 「육상교통효율화법」에 따라 각 주마다 BMS를 갖도록 의무화 하였음. · 각 주의 교량관리대상 자료를 기초로 능력등급기준에 따라 보강, 교체대상 교량을 결정한다.	· BMS는 교량점검을 통해서 각 부재의 상태, 요구되는 유지관리작업의 종류, 소요비용과 같은 정보를 제공. · 연속적인 점검으로 교량상태의 변이를 예측하여 선행유지관리를 가능하게 한다.	· 1990년에 교량관리시스템 개발을 시작하여 1995년에 완성 · 점검자료는 건설성도로정보체계(MICNI)에 의해 작성됨. · 교량의 상태평가로 교량보수계획을 수립한다.	· 1995년에 BMS구축 · 개수 및 보강우선순위 산정 · 건설교통부와 국도유지건설사무소간 전산망을 구축하여 교량자료 입력
상 태 평 가 기 준	· 58만 개소나 되는 교량의 구조수치와 현상태의 자료가 입력되어 있고, 부위별로 0~100까지 점수가 세분화되어 있으며 80이하이면 보수비 지원.	· 상태등급의 판정기준에 염화물 함유량, 전위차와 같은 실험결과를 이용하여 5등급으로 나누고 평가의 주관성 개입에 대한 문제점을 극복한다.	· 손상이 현저하고 안전확보에 지장이 있는 경우인 1등급에서 손상에서 문제가 없는 OK까지 5등급으로 나뉨	· 상태가 좋은 A등급에서 E등급까지 5개등급으로 구분
조 직	· 주마다 조직에 차이가 있으며 교량의 점검은 주 교통부에서 직접 관장	· England, Wales, Northern Island 교통부가 있고 각 군에 지역사무소가 설치되어 운영되고 있음	· 국토교통성 도로국 산하에 지방건설국이 있고, 지방건설국 산하의 공사사무소와 출장소가 유지관리를 담당하고 있으며 1공사사무소마다 평균 230km, 1출장소마다 60km를 관리.	· 건설교통부 도로국, 5개지방국토관리청, 18개 국도유지건설사무소에서 유지관리업무 담당.
기 타	· PONTIS라는 교량관리 시스템으로 혁신적인 수준의 최적교량관리 계획을 수립.			

2.3 교량 유지관리수준에 대한 정의

국내 교량의 발주 및 관리주체들은 「시설물안전관리에관한특별법」이 제정되기 전에는 설계 및 시공에만 주력하였으며 유지관리에는 관심을 두지 않았기 때문에 매우 소극적인 유지관리수준으로 교량을 관리하여 왔다고 할 수 있다. 그러나 안전한 유지관리를 위해서는 유지관리에 대한 관심과 보다 적극적인 유지관리정책이 수립·실행되어야 한다. 현재 유지관리수준에 대해서는 조금씩 연구가 이루어지고 있으나, 실제교량의 유지관리비용을 토대로 한 실적유지관리자료와의 비교·분석에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유지관리수준을 다음과 같은 세 가지로 정의한 후, 실제 교량에 적용시켜 LCC분석을 행하여 각각의 유지관리수준을 비교하고자 한다.

여기서 실제유지관리수준은 사례대상 교량의 도로시설물 관리대장에서 발췌한 실제 비용자료를 이용하여 산정한 유지관리수준을 말하고, 현행유지관리수준과 예방유지관리수준은 시설안전기술공단에서 제시한 유지관리수준으로서 본 연구에서의 비교대안인 세 가지 유지관리수준을 정리하여 나타내면 <표 2.5>와 같다.

<표 2.5> 유지관리수준의 정의¹¹⁾

유지관리수준	정 의
실제유지관리수준 (Real Maintenance)	- 사례교량의 시설물 관리대장에서 발췌한 실제 비용자료를 이용하여 산정.
현행유지관리수준 (Current Maintenance)	- 점검 및 진단, 보수·보강·개축 등 우리나라의 현 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 (Prevented Maintenance)	- 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.

3. LCC 분석이론

3.1 LCC의 개념 및 분석절차

3.1.1 LCC의 개념

건설프로젝트는 일반적인 공업상품과 비교해 보면 여러 가지의 큰 차이점이 존재한다. 예를 들면 이 세상의 모든 건설프로젝트의 산물은 똑같은 조건을 갖고 있는 시설물은 존재하지 않은 유일성(Unique)을 갖는다는 것이다. 비록 크기, 외관 등 설계가 완전히 동일하다고 하여도 시설물이 서 있는 위치가 같을 수는 없는 것이다.

하나의 시설물이 완성되기 위해서는 설계와 시공의 과정이 필수적으로 요구되는데 이때 필요한 자원의 종류는 적게는 수십 가지에서 많게는 수천 가지 이상에 이를 정도로 다양한 자원의 동원 및 결합이 필수적인 자원의 결합체이다.

대부분의 제조상품에 비해 시설물은 생산기간이 길고 사용기간도 수십 년에서 수백 년에 이를 정도로 매우 긴 생산기간과 사용기간을 가지는 생애주기(Life Cycle)특징을 가지고 있다. 여기서 시설물의 생애주기(Life Cycle)란 시설물의 탄생에서 종말에 이르는 전 과정을 나타내는 용어로 일반적으로 초기투자, 유지관리, 해체·폐기의 단계로 나누어지며, 각 단계는 세부항목을 가진다.

시설물의 생애주기비용(Life Cycle Cost)은 시설물의 생애주기 동안에 발생하는 모든 비용 즉 초기투자, 유지관리, 해체·폐기 등에 소요되는 전체비용의 총합을 의미하며 기본적인 LCC 분석절차는 우선 비용분석이 필요한 프로젝트의 수명기간을 몇 단계로 구분하고, 각 단계별로 예상되는 모든 비용요소에 대한 비용을 산정한 다음, 여러 가지 경제적 분석기법 중

에 적절한 기법을 선정하여 각 단계별 비용요소에 적용하는 과정으로 이루어진다. LCC는 프로젝트의 여러 가지 투자 대안 중 최적 안을 선택하는 데 고려하여야 할 모든 중요한 요소들에 대해 주어진 기간에 따른 금전적 가치의 비교를 통하여 경제적 평가를 수행하는 절차라고 정의할 수 있으며 운영비용의 현재 가치가 보통 초기 투자비용을 많이 초과하는 프로젝트에 있어서 매우 중요하다 .

교량의 LCC 구성항목은 아직 정확하게 정의 되어있지 않으므로, 지금까지의 연구를 바탕으로 하여 나타내면 다음 <표 3.1>과 같다.

<표 3.1> 프로젝트 전 단계의 LCC 구성항목¹⁾

대분류	중분류	소분류
초기투자비	기획·설계비	설계비
		감리비
	초기공사비	직·간접 공사비
		일반관리비 및 이윤
유지관리비	일반관리비	인건비
	점검 및 진단비용	정기·정밀점검비
		정밀안전진단비
	유지보수비	보수비
		보강비
		교체비
	사용자비용	차량운행비용
		시간지연비용
해체·폐기비	해체·폐기처분비	해체·폐기비
	잔존가치	폐기물 재활용비

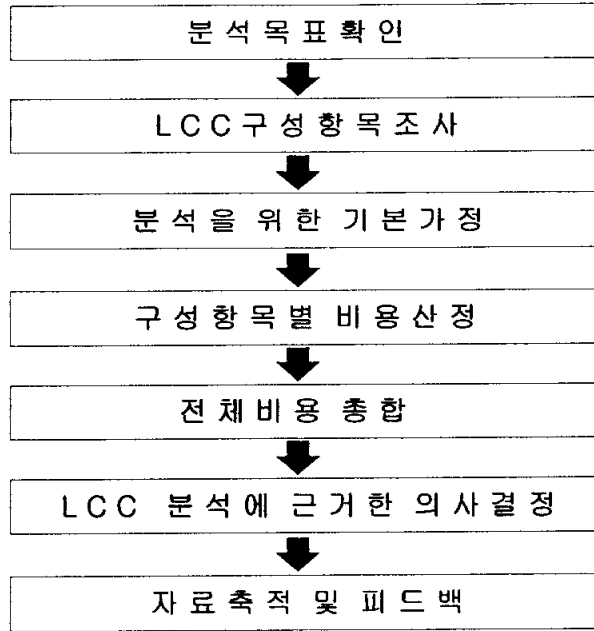
3.1.2 LCC 분석절차

LCC 분석의 최초단계는 분석의 목표를 명확히 하는 일이다. 예를 들면 설계대안의 평가, 시설물 유지관리에 대한 평가, 발주자의 의사결정지원 등이 있다. 이러한 분석목표에 따라 이후 LCC 분석단계들의 작업내용이 결정되고 LCC 구성항목이 결정된다. LCC 분석은 시설물의 미래를 대상으로 하므로 기본적인 가정이 필수적으로 요구된다. 분석을 위한 대표적인 가정사항은 분석기간과 할인율이 있다.

분석기간과 할인율이 정해지면 다음단계로 LCC 구성항목별 비용을 산정 하는 작업이 필요하다. 이들 비용은 모든 미래의 발생비용에 대한 예측으로 이를 위해서는 과거의 유사 시설물에 대한 실측자료가 매우 중요하게 사용된다. 그러므로 자료수집을 통해 필요한 자료를 수집하고 이들 중 해당 LCC 분석에 이용될 수 있는 자료를 엄선하여 구성항목별 비용산정에 사용한다.

구성항목별 비용산정이 완료되면 이들 비용을 종합하여 총비용(LCC)을 구한다. 총비용이 구해지면 이를 기초로 각종 분석(경제성평가)을 한다. 이러한 경제성평가를 바탕으로 최종 의사결정을 한다. 최종단계는 자료축적 및 피드백(Feed back)의 단계로 실무가 진행되어감에 따라 LCC 분석시의 예상과 실제를 비교하고, 문제점을 찾아내고, 가능한 경우 의사결정을 조정·수정해 가는 단계로 체계적인 자료의 수집 및 이들 자료의 미래 활용방안에 대한 준비를 하는 단계이다.

LCC 분석의 절차를 요약하면 <그림 3.1>과 같다.



<그림 3.1> LCC 분석절차¹²⁾

3.2 경제성 평가방법

건설산업분야에서 일반적으로 적용되어온 경제성 평가방법들에 대한 기존연구의 내용을 종합하여 정리하면 <표 3.2>와 같다. <표 3.2>에 제시된 분석 방법 중에서 내부수익율법(IRR, Internal Rate of Return)은 수익목적의 투자 평가에는 적절하지만 현금흐름이 복잡한 복수 대안들의 평가에는 불리하고, 순현재가치법(NPV, Net Present Value)이 일반적인 경영학에서 투자안의 경제성분석에 사용되는 여러 가지 분석방법중 가장 우월한 방법이라고 설명하고 있다.¹⁴⁾ 그러므로 시설물의 생애주기에 따르는 화폐의 시간적 가치 변화를 적절히 고려할 수 있는 비용 비교방식으로는 순현재가치법이 더 타당한 것으로 판단된다.

또한 경제성공학(Engineering economy)⁹⁾에서는 대안들의 경제성분석을 위한 기준으로 비교기준이 필요하고, 이것은 대안들을 공통적인 기준으로 변경 또는 환산시키는 지표를 의미한다. 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 많이 사용되고 있다.³⁾

따라서 본 연구에서의 경제성 분석은 화폐의 시간적 가치를 가장 적절히 고려할 수 있는 현재법과 연가법을 이용하여 비용을 등가 환산하고 이를 비교하고자 한다.

<표 3.2> 투자평가법의 특성 비교¹⁶⁾

구분	평가방법	응용	특징	장점	단점
부분적인 평가방법 (단기)	회수 기간법 (Payback Period)	· 기계 등 비 교적 단기설 비투자.	· 회수기간의 장 단기로 투자 양호 /불량을 판단 · 투자 안전성에 중점을 둠.	· 계산이 간단. · 자금조달 판단 이 양호.	· 수익성 판단을 할 수 없음. · 사용기간이 다 른 설비끼리의 비교가 어려움. · 화폐의 시간적 가치가 계산되지 않음.
	투자자본 이익율법 (ROI)	· 기기 등의 설비투자.	· 투자자본에 대 한 수익률로 투자 양호/불량을 판단.	· 계산이 비교적 간단. · 투자의 수익성 판단가능.	· 화폐의 시간적 가치가 계산되지 않아 부정확한 계산이 되기 쉬 움.
종합 적인 정밀 분석 방법 (장기)	순현재 가치법 (NPV)	· 부동산투자 전반. · 취득/임대 등의 비교.	· 할인율을 설정 하고 시간적 가치 로 역환산하여 순 현재가치 산출로 투자의 양호/불량 을 판단.	· 투자 수익성을 비교 검토 가능. · 장기 프로젝트 평가에 적합. · 이론상 최적의 기법.	· 할인율의 정확 한 파악이 어려 움. · Cash Flow의 정의가 여러가지 이다.
	연가법 (AE)	· 부동산투자 전반. · 순현재가치 법과 유사.	· Cash Flow를 먼저 현재가치로 환산하고, 이를 다 시 연간등가로 계 산하여 연간비용 을 파악함.	· 연간비용으로 나타내므로 이해 하기 쉬움.	· 할인율의 정확 한 파악이 어려 움.
	내부 수익률법 (IRR)	· 수익목적의 부동산투자.	· 투자 후 Cash Flow가 현재가치 와 동일하게 되는 할인율을 구하고 목표이익율과 비 교하여 투자의 가 부를 판단.	· 투자수익성 검 토에 편리. · 수익목적 부동 산 투자의 검토 에 적합.	· 복수 대안의 종합적 효과측정 에 부적합. · Cash Flow가 달라지거나 마이 너스는 측정이 불가.

3.3 교량 LCC 분석 변수

본 연구의 목적은 적정유지관리수준의 제시를 위한 유지관리수준별 유지관리비의 비교·분석에 있다. 그러나 시설물의 LCC 산정에 필요한 자료가 축적되어 있지 않아 추정이 매우 어려운 실정이다. 본 연구에서는 적정 유지관리수준을 제시하기 위해 전문가 집단의 설문조사 결과를 분석한 시설안전기술공단의 연구자료와 사례교량의 교량관리대장을 이용한다.

3.3.1 교량 LCC 구성항목

본 연구에서 분석하고자하는 LCC 구성항목을 <표 3.1>을 바탕으로 재구성 하여 <표 3.3>에 나타내었다. 본 연구에서는 사용자·비용에 대해서는 고려하지 않았으며, 사례교량들은 현재 사용 중에 있으므로 해체·폐기비는 고려하지 않고 초기투자비와 유지관리비에 대해서만 LCC분석을 하였다.

<표 3.3> 본 연구에서의 교량 LCC 구성항목

대분류	중분류	소분류	LCC 포함여부
초기투자비	기획·설계비	설계비	○
		감리비	○
	초기공사비	직·간접 공사비	○
		일반관리비 및 이윤	○
유지관리비	일반관리비	인건비	○
	점검 및 진단비용	정기·정밀점검비	○
		정밀안전진단비	○
	유지보수비	보수비	○
		보강비	○
		교체비	○
	사용자비용	차량운행비용	×
		시간지연비용	×
해체·폐기비	해체·폐기처분비	해체·폐기비	×
	잔존가치	폐기물 재활용비	×

3.3.2 유지관리비 적용비율 및 시행시기

시설안전기술공단에서 제시한 현행 및 예방유지관리수준에 대한 각 구성항목별 유지관리비용 적용비율은 <표 3.4>와 같다. 각 보수비용 및 보강비용은 초기공사비 대비 1회 발생 비용을 나타내며, 초기공사비에는 설계 및 감리비를 포함한다. 설계 및 감리비는 각 사례교량의 초기공사비에 2000년도 엔지니어링업체 임금실태조사 보고서의 건설부분 요율을 적용하여 산출하였고 점검진단비용은 연간 일정비율로 지출되는 것으로 계산하였다.

<표 3.4> 항목별 유지관리비용 적용비율 (초기공사비 대비)²⁰⁾ (단위 : %)

구 분	강 교		RC 교		PSC 교	
	현 행	예 방	현 행	예 방	현 행	예 방
보수비용	0.8	1.0	0.6	1.3	0.6	1.3
보강비용	27.3	63.1	70.7	86.1	70.7	86.1
점검진단비용	0.4	0.4	1.4	1.4	1.4	1.4

유지관리 시행시기에 대한 연구는 확정적인 방법, 확률적인 방법 등 몇 가지 연구가 선행된 바 있다. 본 연구에서는 시설안전기술공단의 2001년 「LCC개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구」에서 실시한 전문가 집단의 설문조사와 사례교량들의 유지관리, 그리고 선행연구를 분석하여 <표 3.5>와 같이 유지관리 시행시기를 도출하였다. <표 3.5>에서 SOM(Start of Maintenance)은 완공 후 첫 보수 및 보강이 발생한 때를 나타낸 것이다.

<표 3.5> 교량 형식별 유지관리 시행시기

구분	현 행				예 방			
	보 수		보 강		보 수		보 강	
	SOM (년)	보수주 기(년)	SOM (년)	보강주 기(년)	SOM (년)	보수주 기(년)	SOM (년)	보강주 기(년)
강 교	16	6	20	8	10	5	11	7
RC 교	15	5	19	7	9	5	11	8
PSC 교	15	5	19	7	10	5	11	7

3.3.3 할인율

미래의 비용은 현재의 비용과 같지 않으며 자금에는 시간적인 가치가 있다. 즉, 자금의 시간적 가치란 시간의 흐름에 따라 자금의 가치가 변동하는 것을 의미한다. 따라서 초기투자비는 현재의 시점에서 이루어지고 유지보수비 등의 지출은 미래에 이루어지므로 절대적인 비교가 어렵게 된다.

LCC분석에는 미래의 발생비용을 현재의 가치로 환산해야하며 이와 같이 시간에 따른 돈의 가치 환산 시 할인율 또는 이자율이 이용된다. LCC분석에서는 물가상승율과 이자율을 동시에 고려하여 하나의 실질이자율로 나타내고, 이 실질이자율을 이용하여 미래에 발생하는 금액을 현재의 가치로, 또는 현재의 금액을 미래의 가치로 등가 환산한다. 이때 물가상승율과 이자율에 의한 실질할인율을 산출하는 방법은 다음과 같다.

$$i = \left[\frac{1 + i_n}{1 + i_f} \right] - 1$$

i : 실질할인율

i_n : 명목할인율

i_f : 물가상승률 또는 해당비용의 상승율

위의 식을 이용해서 실질할인율을 산출하고, 93년 이전에는 고정 명목이자율(10%)의 적용으로 실질적인 할인율의 산정에 어려움이 있어 금리자유화가 시작된 1993년부터 2000년까지의 평균 실질할인율을 적용하였으며 실질할인율은 4.54%로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 4.5%를 실질할인율로 적용하였다. 또한 본 연구에서는 금리 및 물가의 변동폭이 큰 현 상황에서 미래의 물가상승률을 예측하기 어렵기 때문에 실질할인율을 1.5%에서 10.5%까지 1%단위로 분류하여 민감도분석을 실시하였다.

다음 <표 3.6>은 1993년부터 2000년까지의 한국은행, 통계청 자료에 의한 이자율 및 물가상승율의 변화추이를 나타낸 것이다.

<표 3.6> 이자율, 물가상승율에 따른 연도별 실질할인율¹³⁾

연도	명목이자율	물가상승율	실질할인율
1993	8.5	4.8	3.53
1994	9.3	6.2	2.92
1995	8.8	4.5	4.11
1996	9.8	4.9	4.67
1997	12.8	4.5	7.94
1998	9.1	7.5	1.49
1999	7.98	0.8	7.12
2000	7.3	2.3	4.89
금리 자유화 이후의 실제 할인율의 평균			4.54

※1993년 이전에는 금리 자유화 이전으로 고정 명목이자율 10%가 적용되었다.

3.3.4 분석기간

현가법의 분석기간은 비교 대안들의 내용연수의 최소공배수로 정하는 것이 합리적이나, 이 경우 분석기간이 너무 길어져서 장기예측에 따른 금전의 할인 효과가 너무 커져 분석결과의 신뢰성을 저하시킬 수 있으므로 본 연구의 LCC 분석을 위한 비용통합 방법은 내용연수가 상이한 대안의 비교에 유리한 연가법을 적용하는 것이 타당하다고 판단된다.¹⁶⁾

연가법은 각 대안의 내용연수 말까지의 모든 비용을 산정하는 것이므로 분석기간은 각 대안의 내용연수로 설정해야 한다.

본 연구에서는 실제유지관리수준의 분석기간은 사례교량들의 사용연수로 하고 <표 2.5>의 유지관리수준의 정의에 따라 현행유지관리수준의 분석기간은 50년, 예방유지관리수준의 분석기간은 100년으로 한다.

3.3.5 비용산정방법

화폐의 시간적 가치(Time Value of Money)를 고려하여 LCC를 산정하는 방법으로는 3.2절에서 살펴본 바와 같이 현가법과 연가법이 적절한 방법으로 판단된다. 그러나 본 연구에서는 분석기간(Study period)인 내용연수가 서로 다른 세가지 대안에 대한 비교이므로, 현가법을 사용할 경우 세 대안의 수명의 최소공배수에 해당하는 기간만큼 분석하거나 짧은 수명을 분석기간으로 설정하고, 긴 수명의 대안은 잔존가치를 다시 추정해야하는 문제가 발생한다. 따라서 내용연수가 서로 다른 대안의 LCC비교에 유용한 연가법을 이용하여 비용을 산정하고 그 경제성을 평가하는 것이 더 적절하다고 판단된다.¹⁶⁾

연가산정을 위해서는 먼저 현가법을 이용하여 모든 비용을 현재가치의 비용으로 바꾸어 현재비용으로 합산한 후 각 대안의 분석기간에 따라 연간 등가액으로 환산한다.

1) 현가법

현가법은 대안들의 생애주기동안 발생하는 모든 비용을 현재의 가치로 바꾸어 비교하는 방법이다.

$$P = F \times \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad \text{[현가환산식]}$$

P : 현가 (현재가)

F : 미래 비용

n : 분석 기간

i : 할인율

2) 연가법

연가법이란 현재의 비용을 일정한 기간동안 동일한 비용으로 배분할 경우의 매년의 비용, 즉 연간등가비용(Annual Equivalent)으로 나타내는 방법을 말한다. 이 때의 계수를 다른 용어로 자본회수계수(Uniform Capital Recovery)라고도 한다.¹⁶⁾

$$A = P \times \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad \text{[연가환산식]}$$

A : 연가 (연간등가)

P : 현재 비용

n : 분석 기간

i : 할인율

이 식을 달리 자세히 표현해 보면 다음과 같다.

$$A = \left[\sum_{n=1}^N \frac{F}{(1+i)^n} \right] \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

이처럼 연가법은 모든 비용을 현재가치로 먼저 환산하여 합산한 후, 이 값을 다시 연간 등가로 구하는 것이다.

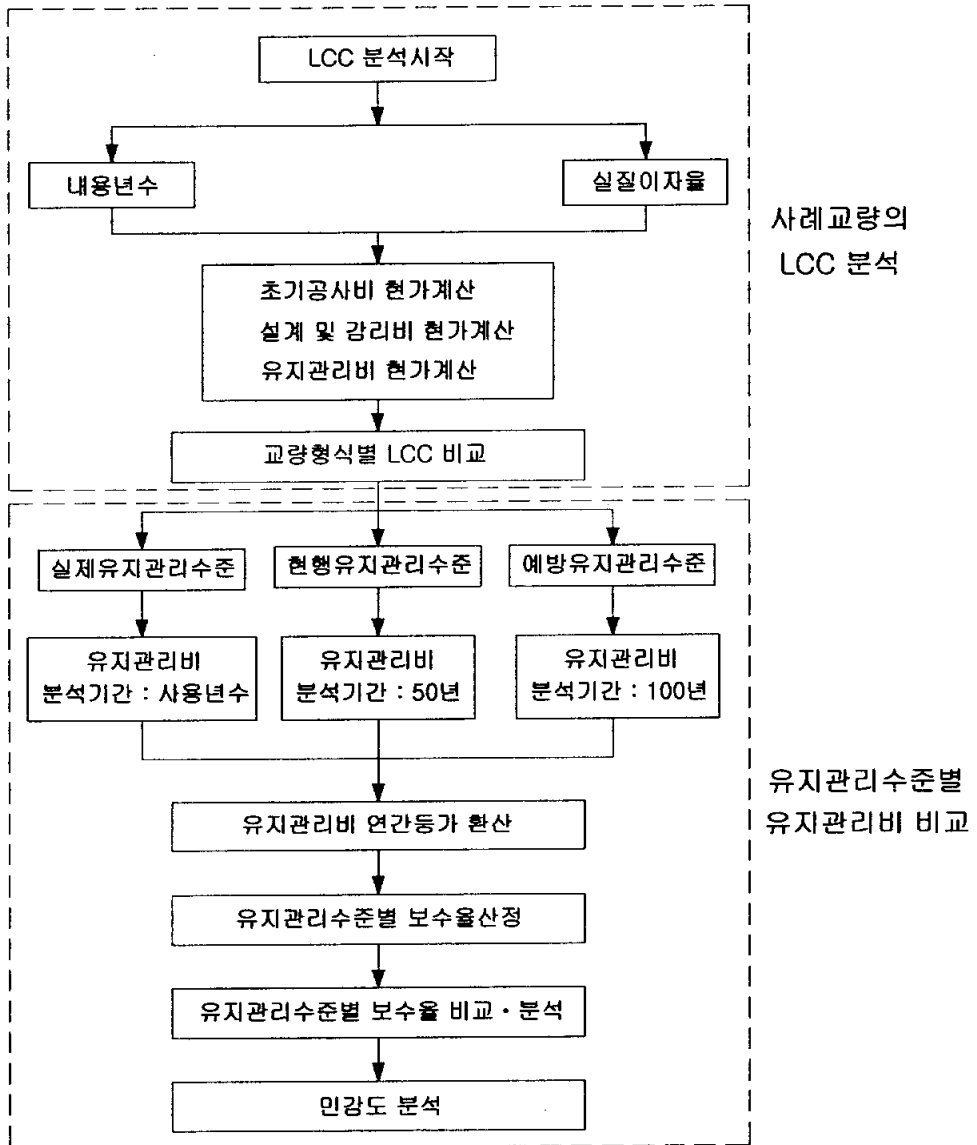
본 연구에 사용된 모든 변수들의 기본가정을 요약하면 <표 3.7>과 같다.

<표 3.7> 본 연구에 사용된 주요 변수의 기본가정

주요변수	기본가정	비 고
초기공사비	· 사례교량의 LCC분석시 사용 · 유지관리수준별 유지관리비 예측시 사용	
설계 및 감리비	· 사례교량의 LCC분석시 사용 · 유지관리수준별 유지관리비 예측을 위해 초기공사비에 포함	· 엔지니어링협회의 건설부분요율 적용
유지관리비	· 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」, 건설교통부고시 (1999. 12. 30) <Table 3.4> 참조
유지관리조치 시기	· 시설안전기술공단의 전문가 설문자료와 사례교량들의 유지관리자료를 이용하여 결정	「LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구」, 시설안전기술공단, 2001년
할인율	· 4.5%	
분석기간	· 실제유지관리수준 : 각사례교량의 사용년수 · 현행유지관리수준 : 50년 · 예방유지관리수준 : 100년	

3.4 교량 LCC 분석모델

본 연구에서는 <그림 3.2>와 같은 순서로 사례교량의 유지관리수준에 따른 LCC 분석을 실시하고자 한다.



<그림 3.2> 사례교량의 LCC 분석모델

4. LCC 분석결과 및 고찰

4.1 사례교량의 자료조사

4.1.1 사례교량의 형식

사례교량은 유지관리자료가 존재하는 강교, RC교 그리고 PSC교를 각각 10개소씩 총 30개소의 교량을 선정하였다. 사례교량의 형식은 <표 4.1>과 같다.

<표 4.1> 사례교량의 개요

구 분		준공년도(년)	폭(m)	연 장(m)	설계하중
강 교	A1	1980	10.2	590.0	DB-24
	A2	1980	12.7	320.0	DB-24
	A3	1982	11.7	242.5	DB-24
	A4	1982	12.0	221.0	DB-24
	A5	1983	12.0	362.1	DB-24
	A6	1985	9.8	245.6	DB-18
	A7	1986	18.0	560.5	DB-24
	A8	1987	35.0	554.2	DB-24
	A9	1988	16.8	15.02	DB-24
	A10	1990	19.5	450.3	DB-18
RC교	B1	1979	12.0	350.7	DB-24
	B2	1981	25.7	235.3	DB-24
	B3	1984	37.0	562.1	DB-24
	B4	1985	19.5	345.2	DB-18
	B5	1985	27.0	363.0	DB-24
	B6	1986	17.7	157.2	DB-24
	B7	1987	18.0	216.7	DB-24
	B8	1988	12.0	265.2	DB-24
	B9	1990	25.7	463.2	DB-24
	B10	1991	19.5	336.2	DB-24
PSC교	C1	1980	15.0	252.7	DB-24
	C2	1981	12.7	256.3	DB-24
	C3	1982	11.7	553.7	DB-24
	C4	1983	19.5	237.3	DB-24
	C5	1984	25.7	352.1	DB-24
	C6	1985	22.4	996.2	DB-24
	C7	1985	16.0	568.5	DB-18
	C8	1986	12.7	325.7	DB-24
	C9	1986	19.5	458.6	DB-24
	C10	1987	14.7	412.2	DB-24

4.1.2 사례교량의 비용자료

1) 초기공사비

초기공사비는 00시의 도로시설물 관리대장에서 발췌한 것으로 <표 4.2>에 나타내었다.

<표 4.2> 사례교량의 초기공사비

구 분		준공년도(년)	초기공사비(원)
강 교	A1	1980	1,720,000,000
	A2	1980	1,222,000,000
	A3	1982	895,000,000
	A4	1982	848,640,000
	A5	1983	1,478,000,000
	A6	1985	850,000,000
	A7	1986	3,868,000,000
	A8	1987	7,369,967,000
	A9	1988	1,075,000,000
	A10	1990	3,896,000,000
RC교	B1	1979	996,000,000
	B2	1981	1,693,950,000
	B3	1984	6,477,000,000
	B4	1985	2,109,000,000
	B5	1985	3,260,000,000
	B6	1986	955,645,000
	B7	1987	1,389,612,000
	B8	1988	1,174,000,000
	B9	1990	4,468,000,000
	B1	1991	2,583,000,000
PSC교	C1	1980	980,023,000
	C2	1981	855,507,000
	C3	1982	1,786,000,000
	C4	1983	1,389,000,000
	C5	1984	2,715,000,000
	C6	1985	7,459,000,000
	C7	1985	2,934,000,000
	C8	1986	1,241,000,000
	C9	1986	3,001,400,000
	C10	1987	2,191,000,000

2) 설계비 및 감리비

본 연구에서 사용된 모든 비용은 불변비용과 할인비용으로 분류하였으며 할인비용의 발생시점은 2003년을 기준으로 하여 산정한 것이다. 그리고 사례교량의 객관적 비교를 위해 기본단위로써 원/㎡로 통일하였으며, 이 단위는 한국도로공사, 강구조협회 등의 많은 연구기관에서 교량의 건설단가를 산정할 때 사용하는 단위이다.

계획 및 설계 비용은 대부분 업체마다 대외비로 분류되어 있었고, 일반적으로 설계 및 감리비에 관한 정확한 자료의 수집에 어려움이 있어 총공사비에 대한 효율을 통해 결정하였다. 따라서 본 연구에서는 엔지니어링기술진흥협회에서 발표한 건설부분의 효율을 참조하여 구하였다. <표 4.3>은 2000년도 엔지니어링업체 임금실태조사 보고서의 건설부분 효율을 나타낸 것이다.

<표 4.3> 설계 및 감리비의 건설부분 효율

공사비 요율	업무별요율(%)			
	기본설계	실시설계	공사감리	계
1천만원까지	3.87	7.75	4.3	15.92
2천만원까지	3.29	6.57	3.65	13.51
3천만원까지	3.03	6.06	3.36	12.45
5천만원까지	2.73	5.46	3.02	11.21
1억원까지	2.56	5.11	2.85	10.52
2억원까지	2.04	4.08	2.26	8.38
3억원까지	1.87	3.73	2.06	7.66
5억원까지	1.69	3.39	1.89	6.97
10억원까지	1.49	2.99	1.66	6.14
20억원까지	1.37	2.75	1.53	5.65
30억원까지	1.32	2.65	1.48	5.45
50억원까지	1.30	2.60	1.45	5.35
100억원까지	1.27	2.53	1.41	5.21
200억원까지	1.23	2.45	1.37	5.05
300억원까지	1.22	2.44	1.35	5.01
500억원까지	1.19	2.36	1.33	4.91
1000억원까지	1.18	2.35	1.30	4.83
2000억원까지	1.16	2.32	1.28	4.76
3000억원까지	1.15	2.29	1.25	4.69
5000억원까지	1.13	2.27	1.23	4.63

<표 4.4>는 <표 4.3>을 적용하여 계산한 사례교량의 설계 및 감리비를 나타낸 것이다.

<표 4.4> 사례교량에 대한 설계 및 감리비용

구 분		준공년도 (년)	초기공사비(원)	요율 (%)	감리 및 설계비 (원)	m'당비용 (원)
강 교	A1	1980	1,720,000,000	5.65	97,180,000	16,148
	A2	1980	1,222,000,000	5.65	69,043,000	16,989
	A3	1982	895,000,000	6.14	54,953,000	19,368
	A4	1982	848,640,000	6.14	52,106,496	19,648
	A5	1983	1,478,000,000	5.65	83,507,000	19,218
	A6	1985	850,000,000	6.14	52,190,000	21,684
	A7	1986	3,868,000,000	5.35	206,938,000	20,511
	A8	1987	7,369,967,000	5.21	383,975,281	19,796
	A9	1988	1,075,000,000	5.65	60,737,500	24,070
	A10	1990	3,896,000,000	5.35	208,436,000	23,738
RC교	B1	1979	996,000,000	6.14	61,154,400	14,532
	B2	1981	1,693,950,000	5.65	95,708,175	15,827
	B3	1984	6,477,000,000	5.21	337,451,700	16,225
	B4	1985	2,109,000,000	5.45	114,940,500	17,075
	B5	1985	3,260,000,000	5.35	174,410,000	17,795
	B6	1986	955,645,000	6.14	58,676,603	21,088
	B7	1987	1,389,612,000	5.65	78,513,078	20,128
	B8	1988	1,174,000,000	5.65	66,331,000	20,843
	B9	1990	4,468,000,000	5.35	239,038,000	20,080
	B10	1991	2,583,000,000	5.45	140,773,500	21,473
PSC교	C1	1980	980,023,000	6.14	60,173,412	15,875
	C2	1981	855,507,000	6.14	52,528,130	16,138
	C3	1982	1,786,000,000	5.65	100,909,000	15,576
	C4	1983	1,389,000,000	6.14	85,284,600	18,431
	C5	1984	2,715,000,000	5.45	147,967,500	16,352
	C6	1985	7,459,000,000	5.21	388,613,900	17,415
	C7	1985	2,934,000,000	5.45	159,903,000	17,579
	C8	1986	1,241,000,000	5.65	70,116,500	16,951
	C9	1986	3,001,400,000	5.35	160,574,900	17,956
	C10	1987	2,191,000,000	5.45	119,409,500	19,707

(3) 유지관리비

사례교량의 유지관리비는 각 사례교량의 도로시설물 관리대장에서 발췌한 유지보수비와 점검비용을 합산한 것으로 <표 4.5>에 나타내었다.

<표 4.5> 사례교량의 유지관리비

구 분		사용년수(년)	유지관리비(원)
강 교	A1	23	167,479,000
	A2	23	124,822,000
	A3	21	75,085,000
	A4	21	82,286,000
	A5	20	114,370,000
	A6	18	65,923,000
	A7	17	252,135,000
	A8	16	513,498,000
	A9	15	64,680,000
	A10	13	218,638,000
RC교	B1	24	129,278,000
	B2	22	164,539,000
	B3	19	585,970,000
	B4	18	196,977,000
	B5	18	299,808,000
	B6	17	75,248,000
	B7	16	120,671,000
	B8	15	76,866,000
	B9	13	275,107,000
	B10	12	135,443,000
PSC교	C1	23	133,248,000
	C2	22	117,010,000
	C3	21	240,487,000
	C4	20	145,136,000
	C5	19	236,139,000
	C6	18	828,095,000
	C7	18	276,459,000
	C8	17	134,521,000
	C9	17	318,514,000
	C10	16	177,978,000

※유지관리비는 불변비용의 합을 나타낸다.

4.2 LCC 분석결과

4.2.1 초기공사비 순현가계산

연구대상인 30개소의 사례교량에 대하여 2003년 기준으로 순현가방식에 의해서 실질할인을 4.5%를 적용하여 초기공사비를 계산한 결과를 <표 4.6>에 나타내었다.

<표 4.6> 초기공사비 순현가계산 (2003년 기준)

구 분		준공년도 (년)	불변초기공사비 (준공년도기준)	순현가초기공사비 (2003년기준)	폭×길이 (㎡)	㎡당 비용 (원)
강교	A1	1980	1,720,000,000	4,733,726,119	6,018	786,595
	A2	1980	1,222,000,000	3,363,147,278	4,064	827,546
	A3	1982	895,000,000	2,255,615,835	2,837	795,001
	A4	1982	848,640,000	2,138,777,455	2,652	806,477
	A5	1983	1,478,000,000	3,564,513,329	4,345	820,334
	A6	1985	850,000,000	1,877,206,951	2,407	779,934
	A7	1986	3,868,000,000	8,174,541,501	10,089	810,243
	A8	1987	7,369,967,000	14,904,801,290	19,397	768,408
	A9	1988	1,075,000,000	2,080,428,626	2,523	824,468
	A10	1990	3,896,000,000	6,904,475,995	8,781	786,311
RC교	B1	1979	996,000,000	2,864,509,779	4,208	680,665
	B2	1981	1,693,950,000	4,461,274,819	6,047	737,741
	B3	1984	6,477,000,000	14,948,011,233	20,798	718,734
	B4	1985	2,109,000,000	4,657,681,718	6,731	691,934
	B5	1985	3,260,000,000	7,199,640,778	9,801	734,582
	B6	1986	955,645,000	2,019,637,982	2,782	725,851
	B7	1987	1,389,612,000	2,810,309,833	3,901	720,481
	B8	1988	1,174,000,000	2,272,021,588	3,182	713,933
	B9	1990	4,468,000,000	7,918,172,162	11,904	665,156
	B10	1991	2,583,000,000	4,380,461,741	6,556	668,171
PSC교	C1	1980	980,023,000	2,697,186,321	3,791	711,565
	C2	1981	855,507,000	2,253,107,728	3,255	692,197
	C3	1982	1,786,000,000	4,501,150,705	6,478	694,805
	C4	1983	1,389,000,000	3,349,870,780	4,627	723,929
	C5	1984	2,715,000,000	6,265,840,744	9,049	692,437
	C6	1985	7,459,000,000	16,473,043,118	22,315	738,209
	C7	1985	2,934,000,000	6,479,676,701	9,096	712,366
	C8	1986	1,241,000,000	2,622,700,621	4,136	634,055
	C9	1986	3,001,400,000	6,343,089,157	8,943	709,304
	C10	1987	2,191,000,000	4,431,013,005	6,059	731,270

4.2.2 설계 및 감리비 순현가계산

본 연구에서는 2003년 기준으로 순현가 계산방식을 이용하여 실질할인을 4.5%를 적용하여 예측하였으며 설계 및 감리비에 대한 정확한 자료를 구하기 어려운 실정에서 대안적으로 4.1.2절에서 제시한 <표 4.3> 설계 및 감리비의 건설부분 요율을 적용하여 예측하였다. <표 4.7>은 각 사례교량의 설계 및 감리비용을 예측한 값이다.

<표 4.7> 설계 및 감리비의 순현가계산 (2003년 기준)

구 분		준공 년도(년)	순현가 초기공사비 (원)	요율 (%)	순현가 설계 및 감리비(원)	폭×길이 (㎡)	㎡당 설계 및 감리비
강교	A1	1980	4,733,726,119	5.65	267,455,526	6,018	44,443
	A2	1980	3,363,147,278	5.65	190,017,821	4,064	46,756
	A3	1982	2,255,615,835	6.14	138,494,812	2,837	48,813
	A4	1982	2,138,777,455	6.14	131,320,936	2,652	49,518
	A5	1983	3,564,513,329	5.65	201,395,003	4,345	46,349
	A6	1985	1,877,206,951	6.14	115,260,507	2,407	47,888
	A7	1986	8,174,541,501	5.35	437,337,970	10,089	43,348
	A8	1987	14,904,801,290	5.21	776,540,147	19,397	40,034
	A9	1988	2,080,428,626	5.65	11,754,217	2,523	46,582
	A10	1990	6,904,475,995	5.35	369,389,466	8,781	42,068
RC 교	B1	1979	2,864,509,779	6.14	175,880,900	4,208	41,793
	B2	1981	4,461,274,819	5.65	252,062,027	6,047	41,682
	B3	1984	14,948,011,233	5.21	778,791,385	20,798	37,446
	B4	1985	4,657,681,718	5.45	253,843,654	6,731	37,701
	B5	1985	7,199,640,778	5.35	385,180,782	9,801	39,300
	B6	1986	2,019,637,982	6.14	124,005,772	2,782	44,567
	B7	1987	2,810,309,833	5.65	158,782,506	3,901	40,707
	B8	1988	2,272,021,588	5.65	12,8369,220	3,182	40,337
	B9	1990	7,918,172,162	5.35	423,622,211	11,904	35,586
	B10	1991	4,380,461,741	5.45	238,735,165	6,556	36,415
PSC 교	C1	1980	2,697,186,321	6.14	165,607,240	3,791	43,690
	C2	1981	2,253,107,728	6.14	138,340,815	3,255	42,501
	C3	1982	4,501,150,705	5.65	254,315,015	6,478	39,257
	C4	1983	3,349,870,780	6.14	205,682,066	4,627	44,449
	C5	1984	6,265,840,744	5.45	341,488,321	9,049	37,738
	C6	1985	16,473,043,118	5.21	858,245,546	22,315	38,461
	C7	1985	6,479,676,701	5.45	353,142,380	9,096	38,824
	C8	1986	2,622,700,621	5.65	148,182,585	4,136	35,824
	C9	1986	6,343,089,157	5.35	339,355,270	8,943	37,948
	C10	1987	4,431,013,005	5.45	241,490,209	6,059	39,854

4.2.3 유지관리비 순현재가계산

30개소의 사례교량에 대한 유지관리비를 실질할인을 4.5%를 적용하여 2003년 기준으로 순현재가로 환산하였다. 본 연구에서는 연도별 평균유지관리비를 순현재가로 계산하여 3.3.4절에서 주어진 각 교량의 사용년수 동안에 발생하는 유지관리비 연간등가로 변환하였다. 사례교량에 대한 유지관리비 자료를 정리하여 나타내면 <표 4.8>과 같다.

순현재 유지관리비는 각 사례교량의 유지관리비를 2003년 기준으로 환산하였으며, 유지관리비 연간등가는 순현재 유지관리비를 각 사례교량의 사용년수에 대해 연간등가로 환산한 것이다. 그리고 보수율은 불변초기공사비에 대한 유지관리비 연간등가의 비율을 나타낸 것으로 차후 유지관리 수준별 보수율 비교·분석시 사용할 것이다.

<표 4.8> 유지관리비 순현가계산 (2003년 기준)

구 분		준공 년도 (년)	불변 초기공사비 (원)	불변 유지관리비 (원)	순현가 유지관리비 (원)	유지관리비 연간등가 (원)	m ² 당비용 (원)	보수율 (%)
강교	A1	1980	1,720,000,000	167,479,000	247,664,135	6,360,632	1,057	0.37
	A2	1980	1,222,000,000	124,822,000	185,419,851	4,762,044	1,172	0.39
	A3	1982	895,000,000	75,085,000	108,786,018	3,220,128	1,135	0.36
	A4	1982	848,640,000	82,286,000	117,545,857	3,479,424	1,312	0.41
	A5	1983	1,478,000,000	114,370,000	166,904,162	5,320,261	1,224	0.36
	A6	1985	850,000,000	65,923,000	89,038,898	3,315,532	1,378	0.39
	A7	1986	3,868,000,000	252,135,000	325,341,678	13,149,524	1,303	0.34
	A8	1987	7,369,967,000	513,498,000	636,274,959	28,005,877	1,444	0.38
	A9	1988	1,075,000,000	64,680,000	82,712,377	3,979,607	1,577	0.37
	A10	1990	3,896,000,000	218,638,000	267,458,175	15,586,219	1,775	0.40
RC 교	B1	1979	996,000,000	129,278,000	199,319,905	4,781,093	1,136	0.48
	B2	1981	1,693,950,000	164,539,000	239,834,890	6,606,407	1,092	0.39
	B3	1984	6,477,000,000	585,970,000	805,738,852	27,723,334	1,333	0.43
	B4	1985	2,109,000,000	196,977,000	260,552,880	9,702,181	1,441	0.46
	B5	1985	3,260,000,000	299,808,000	393,896,423	14,667,481	1,497	0.45
	B6	1986	955,645,000	75,248,000	104,034,947	4,204,841	1,511	0.44
	B7	1987	1,389,612,000	120,671,000	154,698,226	6,809,100	1,746	0.49
	B8	1988	1,174,000,000	76,866,000	102,413,961	4,927,526	1,548	0.42
	B9	1990	4,468,000,000	275,107,000	344,957,967	20,102,547	1,689	0.45
	B10	1991	2,583,000,000	135,443,000	171,732,499	11,105,286	1,694	0.43
PSC 교	C1	1980	980,023,000	133,248,000	194,611,725	4,998,114	1,319	0.51
	C2	1981	855,507,000	117,010,000	177,029,585	4,876,394	1,498	0.57
	C3	1982	1,786,000,000	240,487,000	325,728,224	9,641,740	1,488	0.54
	C4	1983	1,389,000,000	145,136,000	209,039,837	6,663,384	1,440	0.48
	C5	1984	2,715,000,000	236,139,000	331,374,084	11,401,702	1,260	0.42
	C6	1985	7,459,000,000	828,095,000	1,061,592,782	39,530,422	1,771	0.53
	C7	1985	2,934,000,000	276,459,000	362,380,244	13,493,916	1,484	0.46
	C8	1986	1,241,000,000	134,521,000	178,073,947	7,197,319	1,740	0.58
	C9	1986	3,001,400,000	318,514,000	408,427,816	16,507,665	1,846	0.55
	C10	1987	2,191,000,000	177,978,000	228,950,904	10,077,359	1,663	0.46

4.2.4 유지관리비 예측

4.2.3절에서 예측한 사례교량의 실제유지관리비와, 현행 및 예방수준의 유지관리비를 비교·분석하기 위해서 본 절에서는 <표 3.4>항목별 유지관리비용 적용비율 및 <표 3.5>교량 형식별 유지관리 시행시기를 적용하여 현행 및 예방유지관리비를 예측하였다.

연구의 목적에 따라 각 유지관리수준별 보수율을 비교할 것이므로 본 절에서는 보수율 산정에 초점을 맞추어 정리하였다. <표 4.9>는 현행유지관리수준의 보수율을, <표 4.10>은 예방수준의 보수율을 나타낸 것이다.

순현가 유지관리비는 2003년을 기준으로 예측하였으며 유지관리비 연간등가는 순현가 유지관리비를 각 사례교량의 분석기간에 대해서 연간등가로 환산한 값을 나타낸 것이다. 보수율은 불변초기공사비에 대한 유지관리비 연간등가의 비율을 계산한 것이다.

<표 4.9> 현행유지관리수준의 보수율

구 분		불변초기공사비 (원)	순현가 유지관리비(원)	유지관리비 연간등가(원)	보수율 (%)
강교	A1	1,720,000,000	455,166,519	11,689,811	0.68
	A2	1,222,000,000	328,050,505	8,425,155	0.69
	A3	895,000,000	214,550,203	6,350,808	0.71
	A4	848,640,000	180,619,244	5,346,432	0.63
	A5	1,478,000,000	296,718,509	9,458,242	0.64
	A6	850,000,000	164,379,507	6,120,983	0.72
	A7	3,868,000,000	650,683,356	26,299,049	0.68
	A8	7,369,967,000	1,188,829,529	52,326,771	0.71
	A9	1,075,000,000	147,540,998	798,759	0.66
	A10	3,896,000,000	427,933,080	24,937,951	0.64
RC 교	B1	996,000,000	274,064,870	6,574,002	0.66
	B2	1,693,950,000	442,772,105	12,196,444	0.72
	B3	6,477,000,000	1,367,882,238	47,065,195	0.73
	B4	2,109,000,000	481,456,408	17,927,943	0.85
	B5	3,260,000,000	691,507,053	25,749,577	0.79
	B6	955,645,000	179,696,726	7,262,907	0.76
	B7	1,389,612,000	258,882,745	11,394,820	0.82
	B8	1,174,000,000	168,251,508	8,095,221	0.69
	B9	4,468,000,000	513,604,084	29,930,459	0.67
	B10	2,583,000,000	323,496,103	20,919,260	0.81
PSC 교	C1	980,023,000	293,825,545	7,546,173	0.77
	C2	855,507,000	245,356,793	6,758,511	0.79
	C3	1,786,000,000	512,720,352	15,176,813	0.85
	C4	1,389,000,000	378,884,704	12,077,384	0.87
	C5	2,715,000,000	639,078,591	21,988,997	0.81
	C6	7,459,000,000	1,722,584,514	64,143,703	0.86
	C7	2,934,000,000	701,126,993	26,107,794	0.89
	C8	1,241,000,000	242,548,997	9,803,244	0.79
	C9	3,001,400,000	608,928,744	24,611,428	0.82
	C10	2,191,000,000	437,993,034	19,278,425	0.88

<표 4.10> 예방유지관리수준의 보수율

구 분		불변초기공사비 (원)	순현가 유지관리비(원)	유지관리비 연간등가(원)	보수율 (%)
강교	A1	1,720,000,000	749,686,031	19,253,806	1.12
	A2	1,222,000,000	594,294,393	15,262,962	1.25
	A3	895,000,000	392,838,399	11,628,239	1.30
	A4	848,640,000	369,839,404	10,947,456	1.29
	A5	1,478,000,000	621,254,379	19,803,194	1.34
	A6	850,000,000	283,098,034	10,541,692	1.24
	A7	3,868,000,000	1,263,091,220	51,051,095	1.32
	A8	7,369,967,000	2,126,497,890	93,598,590	1.27
	A9	1,075,000,000	281,669,177	13,552,177	1.26
	A10	3,896,000,000	835,806,796	48,706,936	1.25
RC 교	B1	996,000,000	614,569,708	14,741,702	1.48
	B2	1,693,950,000	903,993,048	24,901,073	1.47
	B3	6,477,000,000	2,848,193,152	97,998,762	1.52
	B4	2,109,000,000	877,949,920	32,692,131	1.55
	B5	3,260,000,000	1,391,767,360	51,825,099	1.59
	B6	955,645,000	385,402,190	15,577,025	1.63
	B7	1,389,612,000	524,079,703	23,067,562	1.66
	B8	1,174,000,000	385,271,569	18,536,882	1.58
	B9	4,468,000,000	1,234,182,949	71,922,447	1.61
	B10	2,583,000,000	571,110,403	36,931,533	1.43
PSC 교	C1	980,023,000	599,098,839	15,386,352	1.57
	C2	855,507,000	500,030,932	13,773,675	1.61
	C3	1,786,000,000	959,088,659	28,389,568	1.59
	C4	1,389,000,000	675,024,472	21,517,178	1.55
	C5	2,715,000,000	1,215,038,308	41,806,241	1.54
	C6	7,459,000,000	3,425,138,975	127,541,549	1.71
	C7	2,934,000,000	1,173,796,876	43,708,554	1.49
	C8	1,241,000,000	491,238,475	19,854,672	1.60
	C9	3,001,400,000	1,136,171,924	45,921,323	1.53
	C10	2,191,000,000	801,328,165	35,270,755	1.61

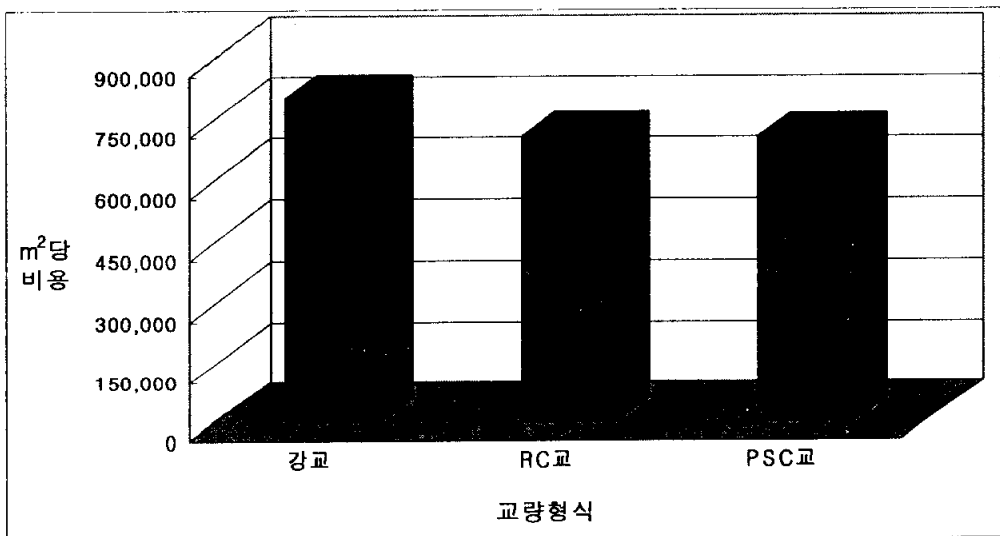
4.3 고 찰

4.3.1 초기공사비에 대한 고찰

<그림 4.1>은 실질할인을 4.5% 적용에 따른 m²당 초기공사비를 교량형식별로 비교하여 나타낸 것이다.

사례교량의 교량형식별 초기공사비의 평균비용은 강교가 800,531원/m², RC교가 705,724원/m², 그리고 PSC교가 704,013원/m²로 나타나 강교의 초기공사비가 가장 높은 것으로 나타났다.

강교의 초기공사비와 비교할 때 RC교는 12%, PSC교는 13% 가량 더 경제적인 것으로 나타났다.



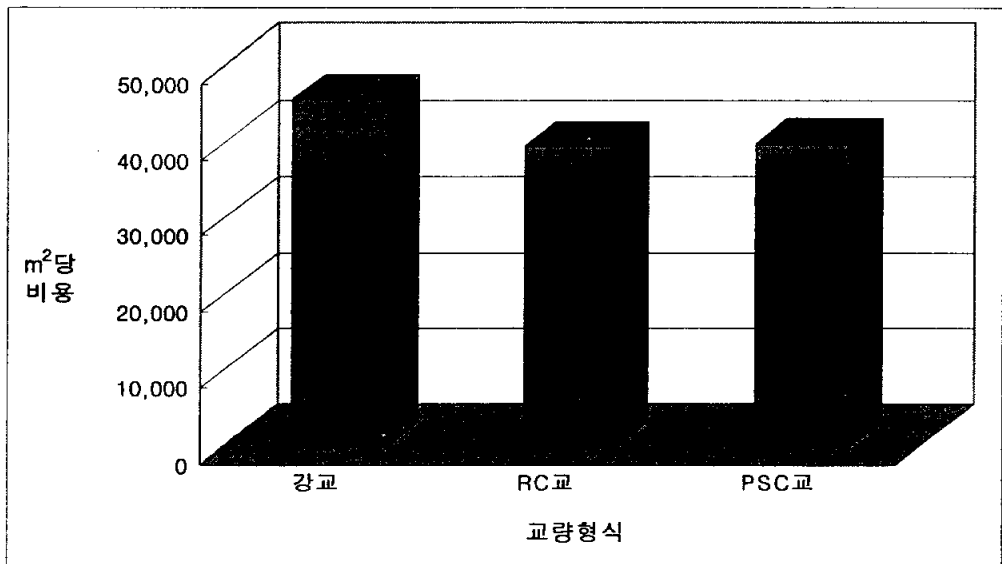
<그림 4.1> 교량형식별 m²당 초기공사비(2003년 기준)

4.3.2 설계 및 감리비에 대한 고찰

<그림 4.2>는 실질할인을 4.5% 적용에 따른 m²당 설계 및 감리비를 교량형식별로 비교하여 나타낸 것이다.

사례교량의 교량형식별 설계 및 감리비의 평균비용은 강교가 45,580원/m², RC교가 39,553원/m², 그리고 PSC교가 39,854원/m²로 나타나 강교의 설계 및 감리비가 가장 높은 것으로 나타났다.

강교의 설계 및 감리비와 비교할 때 RC교는 14%, PSC교는 13% 가량 더 경제적인 것으로 나타났다.



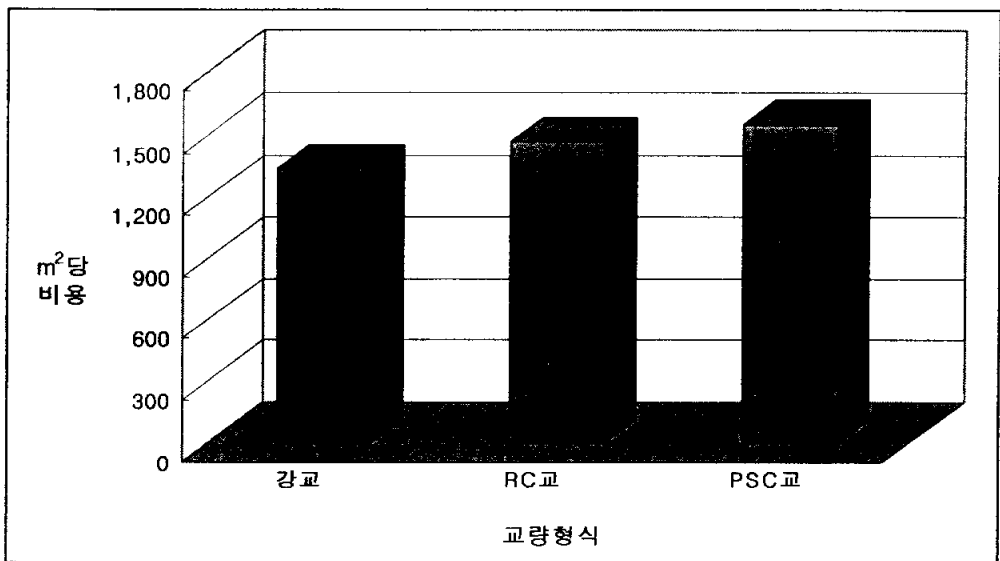
<그림 4.2> 교량형식별 m²당 설계 및 감리비(2003년 기준)

4.3.3 유지관리비에 대한 고찰

<그림 4.3>은 실질할인을 4.5%를 적용하여, 교량형식별 m^2 당 유지관리비 연간등가를 비교하여 나타낸 것이다.

사례교량의 유지관리비용의 평균비용은 PSC교가 1,551원/ m^2 , RC교가 1,469원/ m^2 , 그리고 강교가 1,338원/ m^2 로 PSC교의 유지관리비가 가장 높은 것으로 나타났다.

강교의 유지관리비와 비교할 때 RC교의 유지관리비는 약 6%가량 더 많이 소요되고, PSC교는 약 15%가량 더 소요되는 것으로 나타났다.

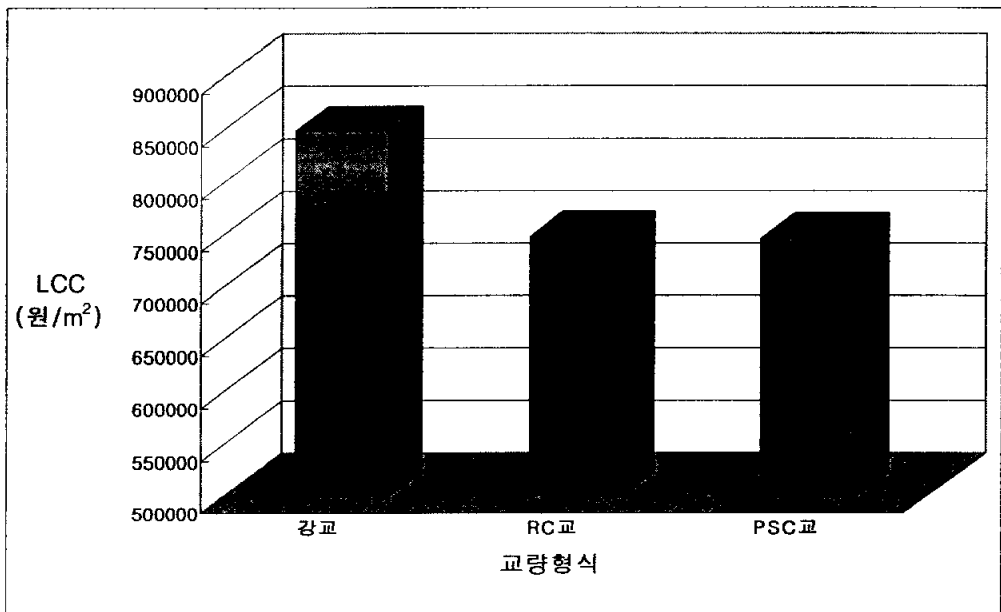


<그림 4.3> 교량형식별 m^2 당 유지관리비(2003년 기준)

4.3.4 사례교량의 형식별 LCC 비교

앞 절에서 구한 사례교량에 대한 각 단계별 비용들을 모두 합산하여 LCC를 예측하면 <그림 4.4>와 같다.

<그림 4.4>는 실질할인을 4.5%를 적용하여 교량형식별 m²당 LCC를 비교한 것이다. 사례교량의 교량형식별 평균 LCC는 강교가 847,449원/m², RC교가 746,746원/m², PSC교가 745,365원/m²로 RC교와 PSC교가 강교에 비해 LCC측면에서 약 12%정도 더 경제적인 것으로 나타났다.



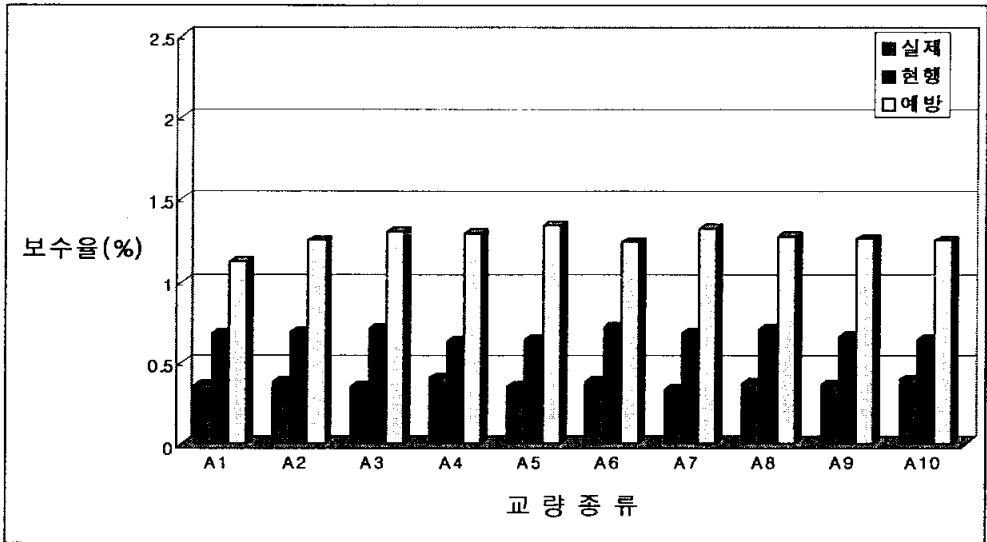
<그림 4.4> 교량형식별 m²당 LCC(2003년 기준)

4.3.5 유지관리수준에 따른 유지관리비의 비교

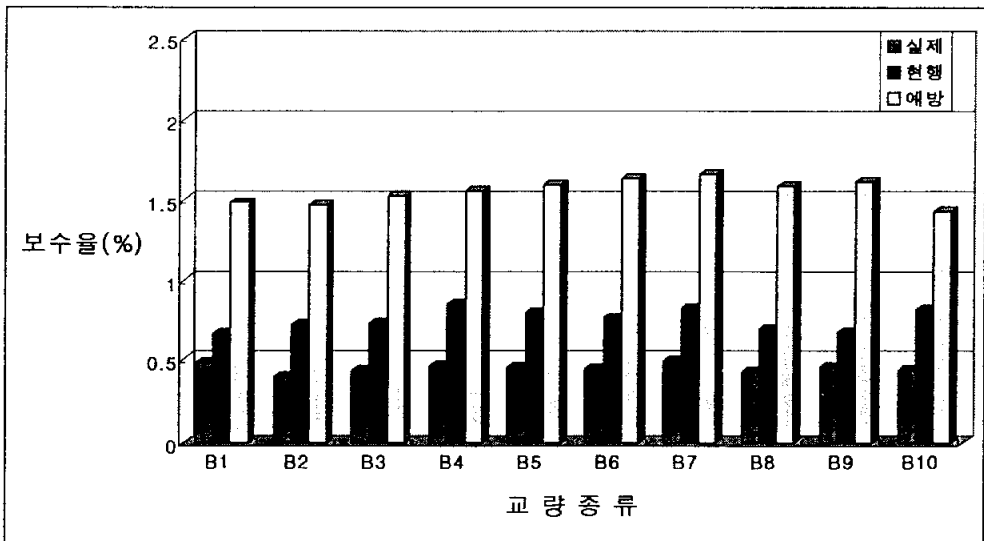
<그림 4.5>~<그림 4.7>에는 유지관리수준별 평균보수율을 비교하여 나타내었다. <그림 4.5>~<그림 4.7>에서 볼 수 있듯이 실제유지관리수준의 평균 보수율은 약 0.44%를 나타내고 있고, 현행유지관리수준의 평균 보수율과 예방유지관리수준의 평균 보수율은 각각 약 0.75%, 1.46%를 나타내고 있어 현행유지관리수준에 비해 각각 0.3%, 1.0% 정도의 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

이 수치는 예방유지관리수준의 평균 보수율을 100%로 보았을 때 실제 유지관리수준의 평균 보수율은 불과 30%, 현행유지관리수준의 평균 보수율은 51% 정도에 그치는 수준이다. 이는 연구지역내 교량의 실제 유지관리수준이 요구되는 유지관리수준에 크게 못 미치고 있다는 것을 말해준다.

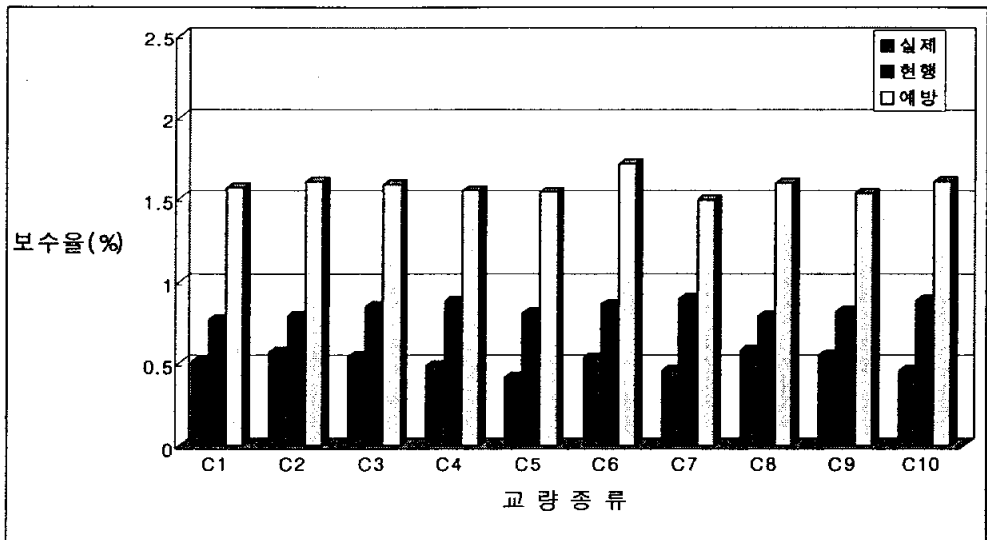
이 결과를 <표 4.11>에서의 각국의 보수율과 비교해보면, 실제유지관리수준은 다른나라의 보수율에 비해 상대적으로 낮은 것을 알 수 있으며, 이탈리아와 독일 및 일본이 제시한 1.5~2.5%에 비하면 현저하게 낮은 수준임을 알 수 있다. 그러나 예방유지관리수준은 이탈리아, 독일 및 일본의 수준과 비슷하며, 이탈리아나 독일 이외의 나라에 비해서는 상대적으로 높은 유지관리수준인 것을 알 수 있다.



<그림 4.5> 강교의 유지관리수준에 따른 보수율 비교



<그림 4.6> RC교의 유지관리수준에 따른 보수율 비교



<그림 4.7> PSC교의 유지관리수준에 따른 보수율 비교

<표 4.11> 각국의 유지관리비 비교¹³⁾

국가	조사대상교량	유지관리비 비율	유지관리내용	유지관리비의 적정성
덴마크	1900개교	0.6%/년: 일상점검 0.5%: 개축비에 대한 비율		부족
프랑스	모든교량	0.3%(개축비의) \$10/m ² (현수교) \$5/m ² (강교)	일상유지관리	매우부족
독일	1노선 및 1시(함부르크)평균교량 30년	1.0~1.5% 0.5~1.1%	모든 유지관리 안전도 측정제외	
이탈리아	1200개교	1.5%	일상 및 예방 유지관리	어느정도 적당함
일본	모든 교량	2.5%		충분함
노르웨이	국도 및 지방도상교량	0.6% 국도: \$1100/교 지방도: \$350/교 평균: \$700/교	모든 유지관리	적당
스웨덴	국도 및 지방도상교량	\$1100/교	개축을 제외한 모든 유지관리 업무	적당
스위스	국도 및 지방도상 교량	0.4~0.8%	개축을 제외한 모든 유지관리 업무	
영국	모든 국도상 교량	0.5%, \$700/교	개축을 제외한 모든 유지관리 업무	필수적인 유지관리에는 적당 장기간의 손상예방에는 부족
미국	258,000개의 연방지원교량	\$285/교	개축을 제외한 모든 유지관리 업무	부족
본연구	OO시의 30개 사례교량	실제 : 0.44% 현행 : 0.75 예방 : 1.46%	개축을 제외한 모든 유지관리 업무	실제, 현행은 부족 예방은 적당

4.3.6 민감도 분석

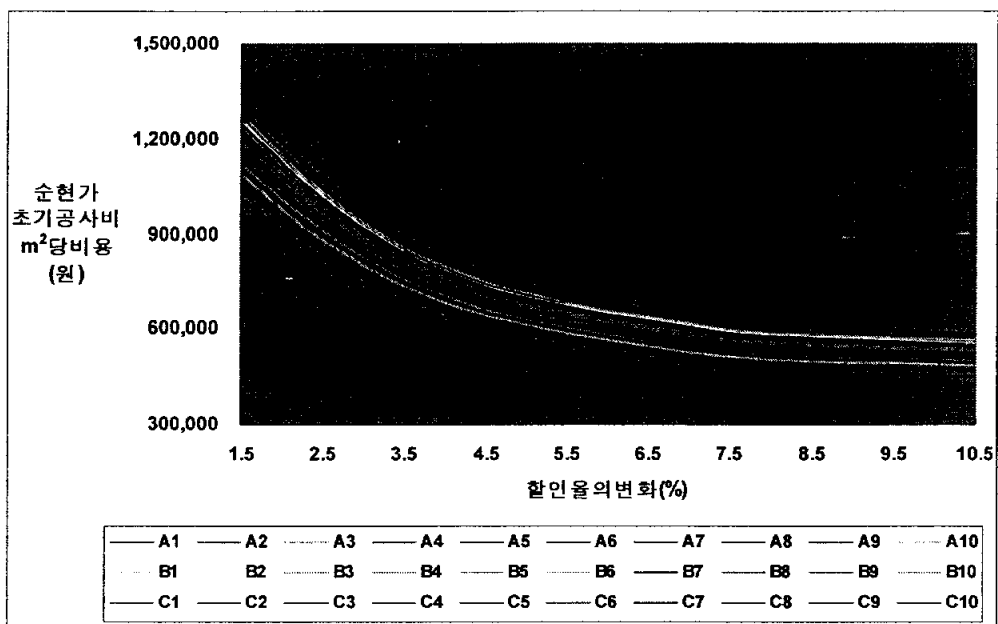
LCC 분석은 LCC 영향인자들의 예측을 전제로 한다. 이러한 영향인자들은 불확실한 미래를 예측하여 추정된 값이기 때문에 이의 변화에 따라 총비용은 가변성을 내포하게 된다. 또한 이것은 의사결정에 영향을 미치게 되므로 이에 대응할 수 있는 방안이 필요하다.¹⁾

본 연구에서는 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 이용하여 이러한 불확실성에 대응하고자 한다. 민감도 분석은 다른 변수값들을 고정시킨 상태에서 선정된 영향인자의 값을 다양하게 변화시킴으로써 특정 영향인자가 의사결정의 결과에 영향을 미치는 정도를 관찰하는 방법이다.

본 절에서는 할인율의 변화에 따른 순현재가 초기공사비(m^2 당 비용)의 변화를 살펴보기 위해서 할인율을 1.5%~10.5% 까지 1% 단위로 분류하여 적용하였다.

<그림 4.8>은 할인율의 변화에 따른 순현재가 초기공사비(m^2 당 비용)의 변화를 도식화하여 나타낸 것으로써, 그래프의 기울기가 클수록 민감하게 반응하는 것을 의미한다.

<그림 4.8>에 의하면 할인율의 변화에 따라 순현재가 초기공사비(m^2 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 4.8> 할인율의 변화에 따른 순현재가 초기공사비(m²당비용)의 변화

5. 결 론

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 LCC측면에서 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. Ehlen, M. A, "The life-cycle cost of new construction materials", Journal of Infrastructure system, ASCE, 3(4), pp. 129-133, 1997.
2. Frangopol D. M, K-Y. Lin and A. C. Estes, "Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 10, 1997.
3. Lee, Reginald, "Building Maintenance Management", BSP Professional Books, 3rd ed, pp.37, 1988.
4. Leeming M. B., "The Application of Life Cycle Costing to Bridges", Bridge Management 2, Thomas Telford, London, U. K., 1993.
5. Menn, C., "Prestressed Concrete Bridge", Birkhauser Verlag, 1990.
6. Nishikawa, K. "A Concept of Minimized Maintenance Bridges", 1997.
7. OECD, Road Research Group, Bridge Maintenance, Rep. Road Research, Road Research Group, Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 1981.
8. OECD, Road Maintenance and Rehabilitation : Funding and Allocation Strategies, 1994.
9. Thuesen, G. J, and Fabrycky, W. J, "Engineering Economy", Prentice-Hall, 9th ed. pp.152~169, 2000.
10. 건설교통부고시 제1999-409호, "시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침", 1999.
11. 김상범, "RC Slab 교량의 Life Cycle Cost 분석에 관한 연구", 석사학위논문, 중앙대학교, 2001.
12. 김용수, "건축물의 Life Cycle Costing: 방법과 활용, 그리고 문제점", 월간 건축, 대한건축학회, 제42권8호, pp.48-55, 1998.

13. 김형수 “교량의 생애비용(Life Cycle Cost)분석을 이용한 경제성평가에 관한 연구“, 석사학위논문, 부경대학교, 2001.
14. 박정식·박종원 공저, 재무관리, 다산출판사, p.257, p.271, 1999.
15. 서울특별시, “도로 시설물 유지관리 기본계획 종합보고서”, 1997.
16. 손보식, “LCC 분석을 이용한 노후 공공주택 개보수의 경제성 평가방법”, 석사학위논문, 서울대학교, 2001.
17. 안장원, “Life Cycle Cost 기법을 이용한 교량의 경제성 분석-PSCI, STB, PSCB 교량을 중심으로 한 사례연구-”, 박사학위논문, 중앙대학교, 2001.
18. 이철규, “퍼지 및 유전알고리즘에 의한 교량 시설물의 적정 유지관리 방법”, 박사학위논문, 중앙대학교, 2000.
19. 차강석, “Life Cycle Cost 기법을 이용한, 교량 상부구조의 형식에 따른 경제성 분석에 관한 사례연구-Steel Box교 와 PC Box교의 사례비교를 중심으로-”, 석사학위논문, 중앙대학교, 2000.
20. 최길대, “수명주기비용분석기법을 적용한 교량유지관리 방안에 관한 연구”, 박사학위논문, 중앙대학교, 2001.
21. 시설안전기술공단, “정밀안전진단교육교재”, 1999.
22. 한국건설기술연구원, “98 교량관리체계(BMS) 개선에 관한 연구, 건설교통부, 1999.
23. 한국도로공사, “교량유지관리 시스템의 개발 및 운용(I)”, 1997.

감사의 글

부족하고도 부족한 저에게 항상 한없는 사랑을 주시는 하나님께 먼저 감사를 드립니다. 이제 논문을 마무리하며 그동안 저를 보살펴주시고 생각해 주신 여러 분들에게 감사의 마음을 전하고자 합니다.

한없이 부족한 저를 항상 자상하게 이끌어 주시고 학문만이 아닌 인간적인 가르침까지 함께 주신 이영대 교수님께 먼저 머리숙여 감사드리며, 교수님의 가르침을 항상 명심하여 바른 사람이 되도록 노력하겠습니다.

그리고 미흡한 제가 논문을 완성할 수 있도록 충고와 지적으로 심사해 주신 이종출 교수님, 김수용 교수님께 깊은 감사를 드리며, 대학원 생활을 비롯하여 학문연구를 아낌없이 지도해주신 김종수 교수님, 김상용 교수님, 손인식 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수님, 이동욱 교수님, 김명식 교수님, 정진호 교수님, 정두희 교수님, 국승규 교수님, 이상호 교수님께도 감사를 드립니다.

특별히 비록 지금은 미국에 계시지만 제가 대학원에서 공부할 수 있도록 길을 열어주시고 용기를 주신 이환우 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

우리 연구실을 거쳐가신 많은 선배님들의 보살핌에 감사드리고, 특히 어려운 환경에서도 연구실을 위해 애쓰시는 김병석 선배님, 그리고 항상 연구실을 지키며 교수님 모시느라 애쓴 내 동기 병욱이과 영이 에게도 고마움을 전합니다. 지금은 모두들 조금 힘든 시기지만 큰 도약을 위한 준비라고 생각하며 잘 견뎌나갔으면 합니다. 선배들 도와주느라 고생한 정현이와 무조건 열심히 하는 용득이, 너희들 덕분에 이렇게 무사히 논문을 마칠 수 있었던 것 같다. 그리고 주경야독 하시며 저희들의 귀감이 되어주시는 산업대학원 여러 선배님들, 김형수 선배님, 김옥수 선배님, 허영현 선배님, 김종순 선배님, 신정철 선배님, 김정기 선배님, 정석현 선배님, 김만구 선배님, 윤대진 선배님께 감사드립니다.

항상 힘이 되어 주시는 측량연구실 선·후배님들을 비롯한 부경토사모
여러 선배님 그리고 후배님들, 바쁜 업무중에도 도움을 아끼지 않으신 이
병길 선생님, 박준봉 선생님, 그리고 민대훈 선생님께도 감사의 마음을 전
합니다.

항상 바쁜 친구를 마음으로 응원해주는 내 소중한 친구들 승민아, 성용
아, 진옥아, 훈균아 고맙다. 너희들이 있는데 내가 못할 일이 뭐가 있겠
니? 그리고 나의 든든한 후원자인 9304동기들 은태형, 홍식이형, 성현이
형, 선희, 은경이, 현철이, 그리고 현영 형수님, 지금 전국에서 열심히들
생활하고 있을 내 동기 상진이, 종문이, 병구, 나를 잘 이해해주는 고2동
창들 정민이, 인권이, 영민이, 종환이, 경은이, 자주 만나지는 못하지만 든
든한 격려를 아끼지 않는 우리 명장초등학교 친구들, 저의 모자란 지식을
채워주시고 동시에 멋진 추억을 남겨준 (주)정신엔지니어링의 여러분들께
감사드리며, 특히 하창우 대리님과 강덕용 기사님, 내친구 용근이 에게도
감사의 마음을 전합니다.

끝으로, 지금의 저를 이 자리에 있게 해 주신 우리 가족들... 못난 아들
이 무슨 일을 하든 믿어주시는 든든한 아버지, 저를 위해 항상 기도하시는
제 힘의 근원 어머니, 그리고 저를 지켜주는 우리누나, 마지막으로 항상
제 곁에 있는 우리 경현이 에게 깊은 감사와 사랑을 전하며, 항상 여러분
을 생각하며 살아가겠습니다.

용당골에서

2003년 7월

천 용 현