

프리스트레스트 콘크리트교의 LCC분석 사례연구

A Case Study on LCC Analysis of Prestressed Concrete Bridges

백재욱* 박대효**
Baek, Jae-Wook Park, Taehyo

ABSTRACT

The objective is to compare with economic evaluation and to analysis the LCC for prestressed concrete used on rail bridge. A new style concrete bridge is difficult to estimate a history for maintenance cost reliably. For the reason, we introduce a analogical interpretation by similar bridge style in order to estimate a appropriate maintenance profile. The proposed method is usefully supplied to estimating the LCC for bridge which is difficult to determine the maintenance cost.

keywords : prestressed concrete bridges, life-cycle cost, relative valuation method

1. 서론

교량의 계획 및 선정과정에서 여러 가지 대안이 비교·검토되고 있지만 평가 및 선정방법은 일정하지 않고 정형화된 방법으로 교량의 목적과 영향의 미칠 범위를 고려하면서 최적교량을 분석·선정하지 못하는 실정이다. 최적교량 선정이라는 목표에 도달하기 위해서는 여러 가지 주·객관적 기준을 정성적·정량적으로 종합하여 고려하고 경제적·사회적·환경적·기술적 객관성을 확보할 수 있는 접근방법이 요구된다.

노선계획에서 교량의 도출 및 검토는 여러 개념과 평가기준 하에서 가장 적절한 대안을 개발하고 선택하려는 의사결정의 문제로 정의할 수 있다. 하지만 이런 주관적인 가치를 지는 개념은 정량화하기 매우 힘들어 보다 객관적이고 체계적인 접근법을 필요로 한다. 대안교량 선정을 실질적으로 최적화하기 위해서는 선정기준과 관련된 여러 요소들 간의 상호연관관계를 파악하여 각각의 대안을 합리적으로 도출하고 장단점을 정량화하여 판단·선정하여야 한다. 이에 대안교량의 합리적 도출과 후보교량 간의 우선순위를 결정하기 위해서 체계적 문제해결기법으로 인식하고 있는 가치공학(Value Engineering, VE) 개념을 적용하여 분석·선정하는 것이 일반적인 경향이다. VE는 여러 분야의 다양한 전문가의 협력 및 기능분석을 통하여 최적의 비용을 통한 최상의 가치를 얻기 위한 목적으로 수행하는 대안창출 및 대안분석 프로세스로 정의한다[1].

VE의 가치(V)는 기능(F)과 비용(C)의 비율로 평가되는데 비용은 정량적이지만 기능은 정성적인 표현이기 때문에 수치화하기 어려워, 기능평가에서 어떻게 정량화하고 수치화 할 것인가가 중요문제로 인식되어오고 있다. 일반적으로 기능평가법은 기능을 값어치인 비용으로 바꾸어 수치화하는 금액법과 각각의 기능을 비교하여 그 중요도를 평가하는 기능중요도평가법으로 분류·적용되고 있다. VE의 기능분석의 방향이 어긋났을 때 그 후의 분석결과가 모두 방향착오 속에서 진행될 수 있기 때문에 기능평가법은

* (주)유신코퍼레이션 철도부, 정회원

** 한양대학교 토목공학과 부교수, 정회원

특히 중요시되어왔지만 그럼에도 불구하고 기능평가법에 대한 방법의 적합성과 객관성의 유지에 상당한 곤란을 겪어 온 것이 사실이다. 또한 최근 교량 건설과 관련된 국내외의 기술동향을 살펴보면 다양한 구조용 재료의 개발과 더불어 신형식의 교량이 개발되면서 기능평가법의 신뢰성은 떨어지고 있다.

VE는 가치분석(Value Analysis, VA)에서 발전하여 비용효율(cost effectiveness)이 높은 재료나 부품을 사용함으로써 가치를 높이는 기법이다. 하지만 적용에 있어서는 그 체계가 실질적으로 확립되지 않아 대안의 비교·선정으로 그치고 심지어는 대안 간의 상당한 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC)의 차이에도 불구하고 객관적인 신뢰성을 검증할 수 없는 기능평가로 후보교량의 우선순위가 뒤바뀌고 있다. 비용평가는 계수의 불확실성, 변동성 등 확실적인 분석방법 등으로 점진적인 발전을 하고 있지만 기능평가는 체계적으로 척도화 할 수 없는 전문가의 지식과 경험을 바탕으로 하고 있어 중요도 선정의 구조화에 연구·개발이 필요하다.

LCC 분석은 총 생애주기비용을 최소화할 수 있는 대안의 비용평가로 기능평가와 상호 연계되어 사용 중에 있는 재료나 부품의 기능을 체계적으로 검토하여 그 기능을 좀 더 경제적으로 실현할 수 있는 방법이어야 한다. 구체적으로 기존의 재료나 부품을 제거, 단순화, 결합 또는 대체함으로써 비용을 절감할 수 없는지, 최적의 총비용으로 필요한 기능을 달성하기 위해 기능개선을 수행하는 분석방법이어야 한다 [2]. 이와 같이 VE는 기능평가와 비용평가가 개별적으로 분석되어 통합하는 과정이 아니고 상호 연관되어 하나의 체계로 단일화하는 과정이 필요하다.

본 연구는 대안의 가치공학적 비교 및 분석이 객관적으로 신뢰할 수 없는 기능평가로 우선순위를 설정하는 문제점을 개선시킬 수 있는 방법으로 성능척도에 기초한 상대평가계수를 LCC 분석에 고려하여 기능평가와 비용평가가 상호 연계할 수 있는 VE 단일화과정을 시도하였다. VE의 단일화 과정이 고려한 LCC 분석을 통하여 교량선정에 있어 경제성 비교의 개선점을 찾을 수 있으며 보다 신뢰할 수 있는 의사결정의 판단 잣대로 이용이 가능하다.

사례연구로 구조적 안전성과 사용성, 건설재료의 활용 효율성이 뛰어나 새로운 교량형식으로 널리 활용되는 프리스트레스트 콘크리트교에 적용하여 교량의 선정가치를 평가함에 있어 그리고 신형식 교량으로 유지관리 이력 추정에 어려움이 있는 교량에 대해 유지관리 프로파일을 추정함에 있어 개선된 기법을 적용하고자 한다.

2. LCC 분석

LCC란 시설물의 기획단계에서부터 폐기처분 시까지의 모든 비용 즉, 계획·설계비, 건설비, 운영관리 관리비, 폐기물 처분비를 합한 것으로 시설물의 생애에 필요한 모든 비용을 말하며 총 생애주기비용을 최소화할 수 있는 대안 분석을 LCC 분석이라고 한다. LCC 분석은 비용효율이 높은 재료나 부품을 사용함으로써 좀 가치를 높이려는 즉, 생애주기비용을 낮추기 위한 기법으로 기능평가와 비용평가를 분리하여 비율화 하는 통합과정이 필요한 것이 아니고 상호 연계되어 영향을 종합화 할 수 있는 단일화과정이 필요하다.

2.1 상대평가척도를 고려한 LCC 분석의 이론 정식화

프리스트레스트 콘크리트교의 LCC 분석은 Ehlen & Marshall의 비용분류모델[3]을 기준으로 한다. 기준모델은 NIST의 BridgeLCC 프로그램 개발모델로 확정적인 분석을 위한 간단한 접근방법이기 때문에 본 연구에서는 계수의 불확실성 및 변동성 그리고 유추분석을 위한 상대평가척도[4]를 고려할 수 있는 새로운 추정모델을 개발한다. 대안의 생애주기비용 산출을 위한 산정 식은 다음과 같다.

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

여기서, 대안 a 에 대한 생애주기비용 LCC_a 는 총 기대 생애주기비용의 현재가치 PVLCC로 나타내며 초기비용 IC, 유지관리비용의 현재가치 PVOMR, 처리비용의 현재가치 PVD의 각각의 합으로 나타낸다.

초기비용(IC)은 관리주체가 최초에 투자하는 기본적인 매개변수로서 시설물의 계획과 설계 및 시공 등 준공되기 전까지 발생하는 비용으로 건설비용, 계획·설계·감리비용 등을 포함한다. 초기비용의 산정식은 다음과 같다.

$$IC = \sum_{j=1} C_j^{ic}(x) \quad (2)$$

여기서, j 는 구성항목, x 는 구성항목에 관련된 제반변수, C_j^{ic} 는 초기비용 항에 관련된 구성항목의 적용비용을 나타낸다.

유지관리비용(PVOMR)은 크게 운영·관리비용, 유지·보수비용, 점검·진단비용이라는 각각의 합으로 표현하며 산정 식은 다음과 같다[5].

$$PVOMR = \sum_{k=0} \frac{OMR_k}{(1+i)^k}$$

$$OMR_k = \sum_{j=1} OMR_j(x, k) \quad (3)$$

$$OMR_j(x, k) = C_j^{omr}(x, k) \cdot RV_j^a \cdot \int PDF_j(m_n, v_n) dk$$

여기서, OMR_k 는 k 년도의 j 항목까지의 유지관리비용의 총합, i 는 할인율, k 은 LCC 고려 시 유지관리 및 보수·보장의 단위기간을 나타낸다. OMR_j 는 j 항목의 유지관리비용, C_j^{omr} 는 j 항목의 k 년에 발생하는 n 번째의 적용비용, RV_j^a 는 대안 a 에 대한 상대평가계수, $\int PDF_j(m_n, v_n) dk$ 는 k 년에 속하는 구성항목의 발생에 대한 확률밀도분포의 합을 나타낸다. m_n 은 k 년도에 발생하는 n 번째 산술평균, v_n 은 k 년도에 발생하는 n 번째 표준편차를 의미한다.

$$RV_j^a = \left(\frac{V_a^{\min}}{V_a} \right)_j \quad (4)$$

$$V_a = \sum_{e=1}^e W_e Z_e(a)$$

여기서, j 항목의 상대평가계수 RV_j^a 는 대안에서의 최소 성능척도 V_a^{\min} 에 대한 대안별 성능척도 V_a 의 비율로 나타낸다. e 은 의사결정요소의 수, W_e 는 e 가지 의사결정요소별 선호도, $Z_e(a)$ 는 각각의 의사결정요소에 대한 대안의 선호도를 나타내며 고려하는 대안별 산정에서 분배되어진다.

처리비용(PVD)은 철도시설물의 내구연한이 끝나는 시점에서 해체·폐기에 의해 발생하는 비용으로

산정 식은 다음과 같다.

$$PVD = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{D_k}{(1+i)^k}$$

$$D_k = \sum_{j=1}^n D_j(x, k) \quad (5)$$

$$D_j(x, k) = C_j^d(x, k) \cdot RV_j^a \cdot \int PDF_j(m_n, v_n) dk$$

여기서, D_k 는 k 년도의 j 항목까지의 처리비용의 총합을 나타낸다. D_j 는 j 항목의 처리비용, C_j^d 는 j 항목의 k 년에 발생하는 n 번째의 적용비용을 나타낸다.

2.2 상대평가척도의 의미

대안의 생애주기비용(LCC_a)은 기능(F)과 비용(C)이 단일화 되어 표현된다. 기존의 기능과 비용이 비율로 통합하여 평가하는 가치분석($V = F/C$)과는 다른 평가방법이다. 대안의 생애주기비용은 성능척도의 상대평가계수로서 평가하는 기능평가가 비용평가의 항목 속에 포함되어 기능평가의 영향이 줄어진다. 이로써 신뢰성 없는 기능평가가 가치분석에 크게 좌우되고 있는 문제점을 개선할 수 있다. 기능과 비용이 상호 연계되어 영향을 종합화한 상대평가척도를 고려한 LCC 분석이 VE 분석과 LCC 분석의 원 취지에 부합하는 분석과정으로 고려할 수 있다.

3. 사례 적용

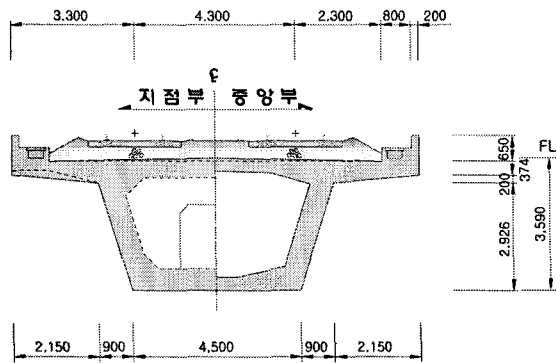
본 연구에서는 그림 1과 같이 프리스트레스트 콘크리트교로 주로 적용되고 있는 철도교량을 고려하여 성능척도에 기초한 상대평가계수를 고려하여 LCC 분석이 수행되었다. 경제성평가에서 새로운 형식의 교량개발로 유지관리 이력 추정에 어려움이 있고 객관적인 신뢰성을 검증할 수 없는 기능평가가 크게 고려되어 우선순위를 설정하는 등 VE 통합화과정에 문제점이 있다. 적정한 유지관리 프로파일을 설정하기 위해 검증된 유사형식과의 교량들에 대한 유추분석이 필요하고 기능평가와 비용평가가 별개의 과정인 아닌 연계되어 분석할 수 있는 VE 단일화과정이 필요하다. 이에 본 연구는 검증된 유사형식 교량과의 유추분석에 기초한 상대평가법이 고려되어 VE 단일화과정으로 대표되는 경제성평가방법이 제안되었다.

프리스트레스트 콘크리트교의 사례 적용에서는 그림 1과 같이 PSC 박스거더교, PSC 빔교, IPC 거더교, PSC-e 빔교, UNION-PC 거더교, PRECOM교, PPC 거더교로 고려되었다. 또한 비교를 위해 강박스 거더교도 함께 고려하여 분석되었다. 표 1은 적용된 프리스트레스트 콘크리트교에 대한 적용성, 장단점이 비교되었다.

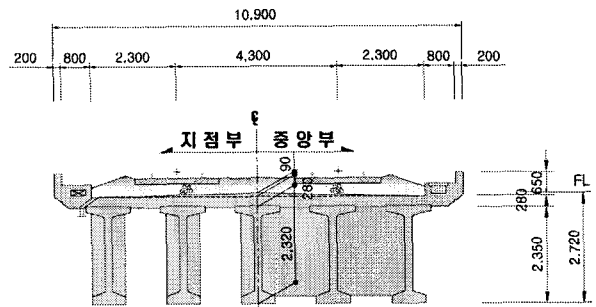
분석기간은 철도시설물의 목표수명으로 일반적으로 고려되는 100년을 기준으로 분석되었고 LCC 분석에서의 할인율은 가장 일반적으로 사용하고 있는 실질할인율인 4.5%가 사용되었다.

초기비용(IC)은 대부분을 차지하는 건설비용만을 고려하여 철도투자분석 및 평가편람을 기초하여 표 1과 같이 분석되었다[6].

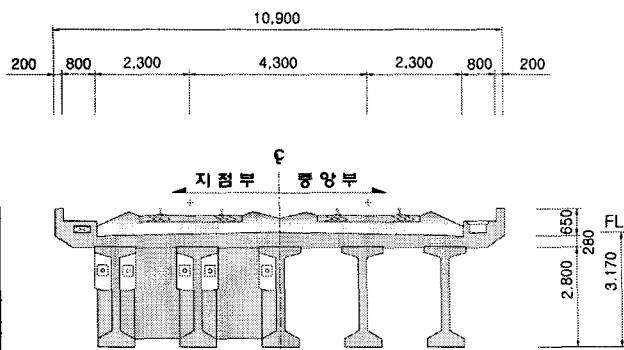
유지관리비용(PVOMR)은 개축비용, 보수 및 보강비용, 기타 유지보수비용, 점검·진단비용의 합으로 구성되며 개축, 보수조치, 보강조치 발생확률이 고려되었다. 유지관리비용은 일례로 표 2와 같이 그간 연구자료들을 분석, 선택, 보정하여 고려되었고 그림 2는 보수, 보강, 개축 조치 시의 발생확률을 나타낸다[7,8,9].



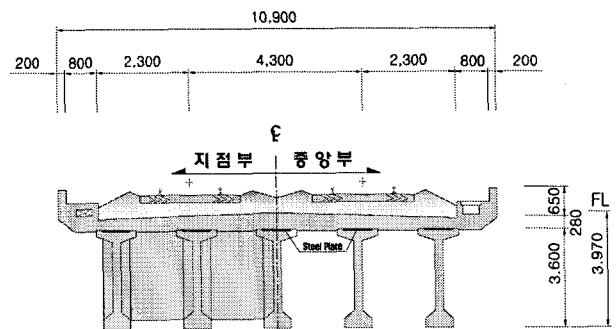
(a) PSC 박스거더교



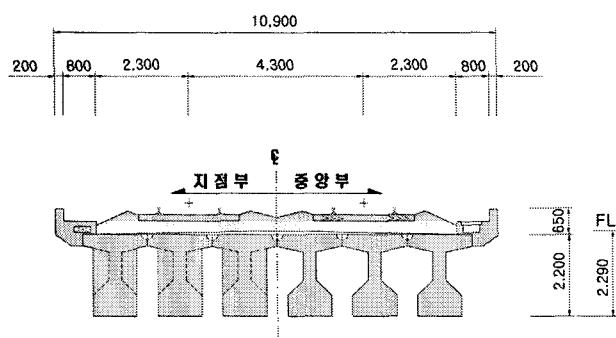
(b) PSC 빔교



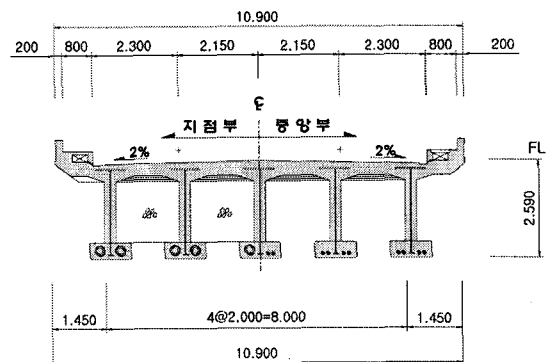
(c) IPC 거더교



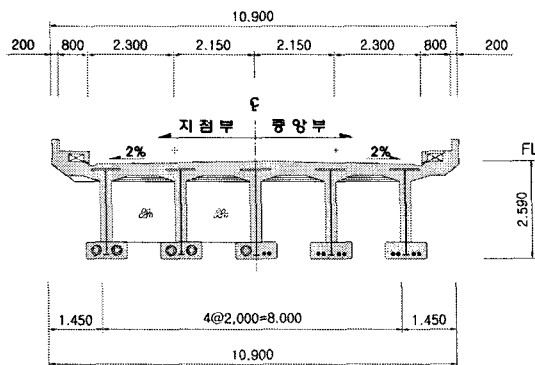
(d) PSC-e 빔교



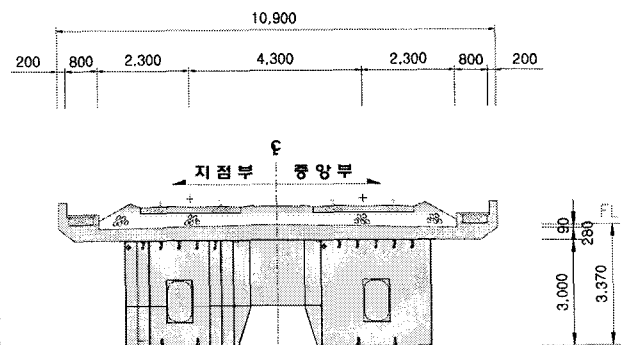
(e) UNION-PC 거더교



(f) PRECOM교



(g) PPC 거더교



※ 강박스 거더교

그림 1. 프리스트레스트 콘크리트교의 단면형상.

표 1. 프리스트레스트 콘크리트교의 장·단점 비교

구 분	PSC 박스거더교	PSC 빔교
장단점 및 건설비용	<ul style="list-style-type: none"> • 외형이 단순하고 미관이 양호하며 외면이 평탄한 관계로 유지관리가 용이 • 40m 이상의 경간에 유리 • 비틀림 강성 및 단면의 중형방향 휨강성 큼 • 거푸집이 복잡해서 현장품이 많이 소요되며 콘크리트 타설도 다른 형식에 비해 복잡 • 고속철도 실적이 많음 • 선형조건이 양호하고 교고가 높아 별도의 가설공법이 필요한 구간에 적용 • 건설비용 : 2,923,000원/m² ⇒ 40m, 박스 	<ul style="list-style-type: none"> • 일반적으로 널리 쓰이는 공법으로 제작 및 거치 등 시공이 용이 • 슬래브공사는 거치된 PSC거더 상에서 시공되므로 시공성 양호 • 플랜지폭 대비 빔높이가 높아 가설 중 안전성 불리 • 철도교에서 가장 일반적인 공법으로 실적 많음 • 장경간 구조형식에 적용사례 없음 • 건설비용 : 1,028,000원/m² ⇒ 25m, 5주형
구 분	IPC 거더교	PSC-e 빔교
장단점 및 건설비용	<ul style="list-style-type: none"> • PSC 거더 제작 시 시공단계별로 하중 증가를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입할 수 있도록 설계, 제작 • 횡방향 강성이 커 프리스트레스트 도입에 따른 좌굴발생 방지 가능 • 거더 거치 후 2차 긴장의 공정이 추가 • PSC 빔교 대비 장경간 형식 적용에 유리 • 동일 경간장에서 형고가 낮아 도로 통과높이 확보에 유리 • 건설비용 : 1,090,000원/m² ⇒ 35m, 5주형 	<ul style="list-style-type: none"> • 거더 중앙부 단면 상부플랜지에 강판을 삽입하여 거더 단면을 강판과 콘크리트의 합성단면으로 구성하여 단면의 효율성을 증가 • 하부 플랜지 폭이 넓어 시공 중 전도의 위험이 저하되고 시공성이 양호 • 설계하중에 대한 전단면 압축상태로 인장응력을 발생하지 않으므로 내구성 양호 • 슬래브 타설 후 강선 긴장 필요 • 곡선구간 설치 시 제약이 따름 • 건설비용 : 1,036,000원/m² ⇒ 35m, 5주형
구 분	UNION-PC 거더교	PRECOM교
장단점 및 건설비용	<ul style="list-style-type: none"> • 긴장력 작용 시 발생하는 빔 상부 균열발생 및 빔좌굴에 대한 안정성을 확보하기 위하여 빔상부에 나선형 강봉을 설치한 공법 • 바닥판일체형 빔으로 별도의 바닥판이 시공이 불필요하여 시공성 및 공기 개선 • 콘크리트 고유성질인 크리프와 건조수축에 대한 빔의 처짐 감소로 안전성 개선 • 별도의 제작장 필요 • 건설비용 : 1,092,000원/m² ⇒ 35m, 5주형 	<ul style="list-style-type: none"> • 거푸집을 I형 강재거더에 매달아 콘크리트 자중을 강재에 부담시킴으로써 인장에 취약한 콘크리트를 단순지보 상태에서 무응력 구조로 유도한 공법 • 가설 시 무게 중심이 낮아 전도에 안전하고 형고가 낮아 형하고 확보에 유리 • 별도의 제작장 필요 • 장대교량 적용 시 장경간 계획으로 타공법에 비해 공사비 저렴 • 건설비용 : 1,598,000원/m² ⇒ 40m, 5주형
구 분	PPC 거더교	강박스 거더교
장단점 및 건설비용	<ul style="list-style-type: none"> • 미리 제작된 중공 프리캐스트 거더에 종방향 긴장력을 도입하여 작용하는 하중에 저항하도록 거더를 제작하고 가설 후 횡방향 긴장하여 모든 상부거더를 일체화 시킴 • 바닥판 타설 공정이 없어 시공성이 양호하고 공기 단축 • 가벤투가 필요 없어 하상공사에 유리 • 가설중량이 다소 큼 • 박스형태의 거더로 구조적 안정성 우수 • 건설비용 : 1,500,000원/m² ⇒ 35m, 6주형 	<ul style="list-style-type: none"> • 강성 및 단면의 중형방향에 대한 휨강성이 크므로 경간이 길거나 곡선교에 유리 • 외형이 단순하고 미관이 양호 • 철도교 실적이 많음 • 선형조건이 불량한 곡선구간에 유리 • 장경간 교량에는 연속교로 적용 가능 • 복부가 얇은 판으로 구성되어 있어 좌굴에 약하며 복부에 보강재가 필요 • 콘크리트교에 비해 소음이 큼 • 건설비용 : 3,062,000원/m² ⇒ 50m, 5주형

표 2. 보수, 보강, 점검진단비용의 단위비용

구 분	강교	라멘교	PSC교	비 고
보수비용	1.0%	1.3%	1.3%	• 건설 후 10년 후부터 매년 적용
보강비용	66.3%	119.6%	119.6%	• 건설 후 10년 후부터 매년 적용
점검진단비용	0.4%	1.5%	1.5%	• 시특별 기준에 의해서 적용
기타 유지보수비용	0.72%	0.72%	0.72%	• 매년 적용

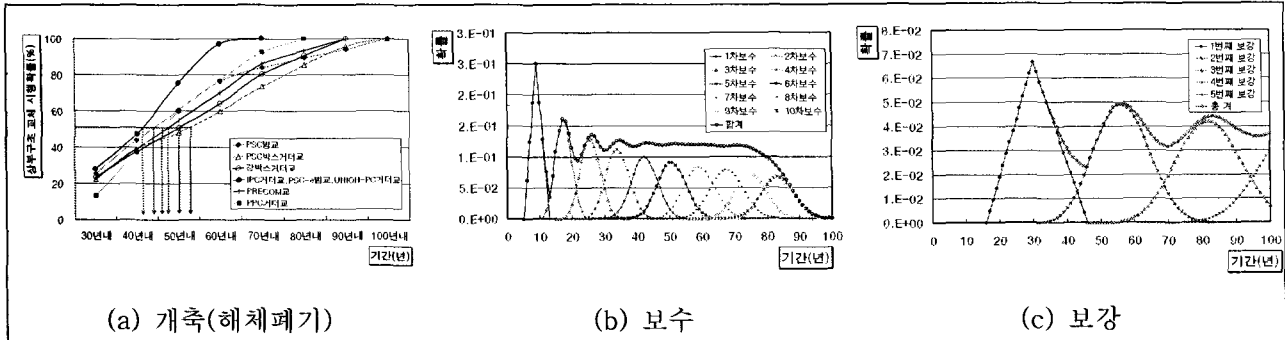


그림 2. 개축(해체폐기), 보수, 보강 조치 발생확률.

표 3. 해체폐기비용

(단위 : 원/m²)

교 량 형 식	철거비용 (A)	폐기비용 (B)	재활용비용 (C)	해체폐기비용 (A+B-C)
PSC 박스거더교	822,304	49,349	40,547	831,106
PSC 빔교	528,427	40,304	35,038	533,693
PPC 거더교	528,427	40,304	35,038	533,693
IPC, PSC-e, UNION-PC	528,427	40,304	35,038	533,693
PRECOM교	528,427	40,304	35,038	533,693
강박스 거더교	682,575	23,328	43,022	662,881

처리비용(PVD)는 표 3과 같이 철거비용, 폐기비용, 재활용비용의 합으로 구성되며 그림 2와 같이 해체폐기확률이 고려되어 분석되었다[8].

유지관리비용 및 처리비용의 적용에서 상대평가계수는 보수비용, 보강비용, 점검진단비용, 개축비용, 해체폐기비용의 적용에 분석되었다. 일례로 보강에 관련된 여러 의사결정요소는 대안간의 쌍대비교를 통하여 그리고 의사결정요소 간에 비교를 통하여 대안별 성능척도가 정해진다[10]. 상대평가계수는 대안에서의 최소 성능척도에 대한 대안별 성능척도의 비율로 결정되어 만약 10%의 성능향상이 기대되어 지면 대안에서의 비용 적용은 10% 감소된다. 본 연구에서는 표 1의 장단점 비교를 기초로 교량전문가들의 유지관리 항목에 관련된 의사결정요소, 대안에 대한 선호도 평가결과로 상대평가계수가 산정되어 표 4와 같이 유지관리비용과 처리비용이 분석되었다.

유지관리는 설계수준, 시공의 품질관리, 지역여건, 교통특성 등에 따라 크게 달라지고 향후 유지관리의 의사결정, 일정계획, 정비체계, 관리방안 등에 따라 크게 달라지므로 유지관리항목에 적절한 의사결정요소가 고려되어 상대성능척도의 결정이 필요하다.

표 4와 같이 생애주기 동안의 유지관리비용의 분석결과는 PSC 박스거더교가 유리하고 PRECOM교가 불리한 것으로 분석되었다. LCC 분석결과는 PSC-e 빔교, PSC 빔교, UNION-PC 거더교, IPC 거더교가 유리하고 PSC 박스거더교, PRECOM교, PPC 거더교가 불리한 것으로 분석되었다. 프리스트레스트 콘크리트교를 강박스 거더교와 유지관리비용 비교 시 PSC 박스거더교, UNION-PC 거더교, PPC 거더교는 낮은 것으로, PSC 빔교, IPC 거더교, PSC-e 빔교, PRECOM교는 높은 것으로 분석되었고 생애주기비용 비교 시 프리스트레스트 콘크리트교가 모두 낮은 것으로 분석되었다.

표 4. 상대평가계수를 고려한 LCC 분석결과

(단위 : 억원 / 100m)

구분	PSC 박스 거더교	PSC 빔교	IPC 거더교	PSC-e 빔교	UNION- PC거더교	PRECOM 교	PPC 거더교	강박스 거더교
초기비용	22.96	11.21	11.88	11.29	11.90	17.42	16.35	33.38
유지관리 + 처리비용	9.91	12.54	12.86	12.35	11.86	13.75	11.20	12.12
생애주기비용	32.87	23.75	24.74	23.64	23.76	31.17	27.55	45.50
상대 LCC	1.390	1.005	1.047	1.000	1.005	1.319	1.165	1.925

4. 결론

본 연구는 철도교량 선정에서 흔히 고려되는 프리스트레스트 콘크리트교에 대하여 상대평가척도를 고려한 LCC 분석을 수행하여 VE 단일화과정을 통한 경제성 비교가 분석되었다. 유지관리 추정에 어려움이 있는 교량에 대해 그리고 기능과 비용의 비율로 척도화 되는 가치공학적 분석에 대해 신뢰성을 높일 수 있도록 유추분석을 통하여 그리고 LCC 분석에 성능척도를 고려한 상대평가계수의 적용을 통하여 비용으로 정량적으로 평가될 수 있도록 해석·분석되었다. 보수, 보강 등 유지관리에 관련된 항목에 대하여 성능척도의 비교를 통한 계수의 적용으로 이력 추정이 어려움이 있는 교량에 대해, 기능평가의 적정한 영향이 고려되는 경제성 비교의 개선점을 찾을 수 있었다.

상대평가척도를 고려한 LCC 분석결과는 PSC-e 빔교가 가장 유리하게 분석되었고 PSC 박스거더교가 가장 불리하게 분석되었다. 유지관리비용은 PSC 박스거더교가 가장 낮았고 PRECOM교가 가장 높게 분석되었다.

참고문헌

- [1] VE 방법론 및 제도활성화 방안연구, 한국개발연구원 공공투자관리센터, 2000. 12.
- [2] 김광수 (2001). 가치공학실무, 민영사.
- [3] Ehlen, M. A. and Marshall, H. E. (1996). "The Economics of New-Technology Materials: A Case Study of FRP Bridge Decking," Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899.
- [4] Jose Holguin-Veras (1995). Comparative Assessment of AHP and MAV in Highway Planning, Journal of Transportation Engineering, Vol. 121, No. 2.
- [5] 백재욱, 주환중, 송유섭, 박대효 (2007). "적정 유지관리수준에 기초한 궤도도상구조에 대한 경제성 검토," 한국철도학회 논문집 제10권 제2호, pp. 167-178.
- [6] 대한교통학회 (2006). 철도투자평가 체계개선방안연구.
- [7] 건설교통부, 시설안전기술공단 (2001). LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구.
- [8] 한국도로공사 (2003). 고속도로 교량형식별 생애주기비용(LCC)분석 연구.
- [9] 한국도로공사 (2002). 고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용(LCC) 분석연구.
- [10] E.H.Forman & M.A.Selly (1999). Decision by Objectives(How to convince others that you are right), World Scientific.