

# 전과정평가(LCA)를 이용한 교량안 선정시 통합 LCC/VE 방법론(Triple V<sup>TM</sup>)

박기학, 정재수, 임송택, 장완복, 박상혁

(주) 에코아이

## Integrated VE/LCC approach base on LCA : in Selection of Bridge type Alternatives

Kihak Park, Jaesoo Jung, Song T. Lim, Wanbok Jang, Sanghyouk Park.

Ecoeye. co. ltd (www.ecoeye.com)

### Abstract

These are studies about integrated VE/ LCC that is based on LCA about Nielsen arch bridge, Truss bridge and Cable stayed bridge as bridge type alternatives. we assume that endurance period is 100years and standard interest rate is 3.89%. Also present worth is used for analysis of life cycle cost.

We studied about distinctive quantitative analysis that coincides with sustainable development through analysis of AHP & LCA as well as existing LCC/VE. Selecting the best alternative that is suitable for structural features will be helpful for purified structures to make environmentally and economically sustainable bridges.

Key-words : VE(Value Engineering), LCC(Life Cycle Cost), LCA(Life Cycle Assessment), AHP(Analytic Hierarchy Process), Bridge construction. Triple value method.

### 요 약 문

본 연구는 교량의 상부구조형식의 설계대안으로 닐센아치교, 트러스트교, 단현로제강아치교, 비대칭 사장교에 대해 LCA를 고려한 VE/LCC를 평가하였다. 내구년한은 100년을 기준으로 하였고, 기준할인율은 3.89%이며 대안의 수명주기비용의 분석 및 비용은 현재가치화법으로 분석하였다.

본 연구에서는 기존의 평가방법인 LCC와 VE는 물론 LCA(Life Cycle Assessment)와 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석을 통하여 지속가능한 개발과 부합하는 차별화된 정량적 분석결과를 교량을 예로써 분석하였다. 교량의 구조적 특징에 맞는 최적의 공법을 선정함으로써, 경제적·환경적으로 지속가능한 교량설계로 구조물의 청정화를 유도·기여하는데 도움을 줄 것으로 판단된다.

주제어 : 가치공학, 전과정비용평가, 전과정평가, 계층분석과정, 교량구조, 통합평가방법론

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

정부는 1999년 3월 공공건설부문의 고비용-저효율 구조를 개선하고자 「공공건설 사업효율화 종합대책」

의 일환으로 기본 및 실시 설계에 대하여 설계 VE(Value Engineering)제도와 LCC(Life Cycle Cost) 검토를 의무화 방안을 추진하였다. 이에 따라 건설기술관리법 시행령(제38조의 13)에 근거 총 공사비가 500억원이상 건설공사로서 발주청이 경제성 검

토가 필요하다고 인정되는 공사에 대하여 시행되고 있다. 그러나 현재 수행중인 VE/LCC는 코스트 절감을 위한 경제성 측면에만 국한되어 있고, 환경 및 사회 영향 측면을 고려한 분석/평가는 미비한 것으로 나타났다.

따라서 본 논문은 교량건설공사의 VE/LCC 분석에 있어 전과정 평가(Life Cycle Assessment: 이하 LCA)를 적용한 통합적인 VE/LCC 분석방법(Triple Value Method ; 이하 Triple V<sup>TM</sup>)을 제안하고 현장 사례분석을 통해 분석방법의 적용성 및 도출된 결과의 분석에 목적이 있다.

## 1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 『OO 방수로 시설공사』 중 기본설계단계에서의 교량상부형식 선정을 위한 대안 평가로 그 범위를 한정하였다.

본 연구의 수행방법은 첫째, VE/LCC의 이론적 고찰을 통해 정의, 분석 방법을 고찰하고 환경성 측면에서의 기존 VE/LCC 방법론의 특징 및 시사점을 도출하였다. 둘째, 도출된 시사점을 바탕으로 전과정평가(LCA)를 적용한 통합적인 VE/LCC 분석 및 평가 방법론(Triple V<sup>TM</sup>)을 도출하였다. 마지막으로 사례분석을 통해 제안한 통합적 적용방법론의 타당성을 입증하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 통합 VE(Triple V<sup>TM</sup>) 정의

VE는 Value Engineering의 약자로서 국내에서는 가치공학으로 알려져 있으며, VA(Value Analysis: 가치분석)이라고도 불린다. VE기법은 “여러 분야에 걸친 체계적인 검토를 통해 동등 이상이 품질과 기능을 유지하면서 시설물의 설계과정에서 발생할 수 있는 고비용 요소를 찾아내 제거하거나, 최소의 추가비용을 투입함으로써 기능을 향상시키는 활동”이라고 정의할 수 있다.

LCC는 시설물의 기획단계에서부터 폐기처분 시까

지 모든 비용 즉, 계획·설계비, 운용관리비, 폐기물 처분 비용을 합한 것으로 시설물의 생애에 필요한 모든 비용을 말하며, LCC 분석은 총 LCC를 최소화할 수 있는 대안의 비교를 통한 의사결정기법을 의미한다. LCC의 비용항목에는 초기비용과, 유지관리비용, 처리비용 등 크게 3가지로 구분되는데, 초기비용에는 계획/설계비용, 초기공사비용 등이 포함되고, 유지관리 비용에는 점검비용, 보수 및 보강비용, 성능개선 비용 등이 포함되며 마지막으로 처리비용에는 재활용비용, 폐기물 처리비용 등이 있다.

전과정평가(Life Cycle Assessment: LCA)는 정의된 시스템의 전과정에 관련된 투입물과 산출물의 목록을 취합하여 처리하고, 이러한 투입물 및 산출물과 관련된 잠재적 환경영향들을 평가하며, 위의 두 과정을 통해 얻은 결과를 연구의 목적에 맞게 해석함으로써 제품이나 서비스와 관련된 환경적 측면과 잠재적 영향을 평가하는 기술(ISO 14040: Life Cycle Assessment - Principles and Framework)이다. LCA 수행의 궁극적인 목표는 환경적으로 건전하고 지속 가능한 발전을 실현하기 위하여 원료, 자원획득, 생산 및 운영, 폐기 등의 life cycle 동안 자원 및 에너지 소비 그리고 환경오염부하를 최소화하고 이에 따른 환경개선방안을 모색하는데 있다.

계층분석법은 Saaty(1980)가 제안한 기법으로 다수의 평가기준을 토대로 몇 개의 선택대안 중에서 최선의 대안을 선택하는 다기준 의사결정분석 기법 가운데 대표적인 방법이다. 계층분석법 용어 자체에는 분석적 (Analytic), 계층(Hierarchy), 과정(Process)의 개념을 포함하고 있다. 계층분석법을 적용하는데 있어서 중요한 문제는 의사결정 문제에 적합하도록 계층구조를 만드는 것과 가중치를 부여하는 것이다. 이들 두 요소 모두 의사결정자의 주관적인 판단에 의해서 결정되며, 이러한 주관적인 판단을 합리적으로 표현 또는 계량화 하는 것이 계층분석법을 적용하는데 있어서 중요한 인자라 할 수 있다.

통합 VE(Triple V<sup>TM</sup>)는 기존의 VE에 환경적인 측면을 정량화 하는 전과정평가(LCA)를 포함한 VE를 말한다<sup>1)</sup>. 다기준의사결정 분석에 의한 기능점수 부

1) 「환경성(LCA), 경제성(LCC)를 고려한 통합형의사결정(AHP) 기법 활용 VE 보고서」 2004 (주)에코아이

여와 전과정평가(LCA)를 분석한 통합 VE(Triple V™)를 수행함으로써 최적대안 선정시 환경친화적인 공법선정을 유도할 수 있는 특징이 있다.(식 1, 2, 3 참조)

$$V_1 = \frac{F}{C} \dots\dots\dots [1]$$

$V_1$  : 비용최소화 가치점수  
 $F$  : 기능점수,  $C$  : LCC 상대비

$$V_2 = \frac{F}{E} \dots\dots\dots [2]$$

$V_2$  : 환경최소화 가치점수  
 $E$  : LCA 상대비

$$V_3 = \frac{F}{f} \dots\dots\dots [3]$$

$V_3$  : 통합 가치점수  
 $f$  :  $C + E$

2.2 LCC 분석의 정식화

본 LCC 분석을 위한 모델은 NIST Bridge LCC 프로그램 개발을 위한 모델(Ehlen & Marshall,1996)이며, LCC 분석방법은 도로투자기법에 가장 일반적으로 사용하는 현재가치화법을 사용하였다.

2.3 LCC 분석을 위한 할인율 적용

할인율의 변화함에 따라 LCC 분석 결과에 큰 영향을 미친다. 할인율은 보통 명목할인율(Nominal Discount Rate)와 실질할인율(Real Discount Rate)로 구별된다.

명목할인율과 실질할인율의 상관관계 :

$$I_r = \frac{(1 + I_n)}{(1 + F)} - 1$$

(여기서,  $I_r$  : 실질할인율,  $I_n$  : 명목할인율,  $F$  : 물가상승율)

보통 LCC 분석 시 물가상승율을 고려하지 않는 실질할인율을 사용하는데, 타당성이 있는 LCC 분석을 위해서는 과거의 오랜 기간의 이력을 반영한 합리적인 할인율의 사용이 필수적이다. 미국의 경우, 아주 오랜 기간에 걸친 과거 이력에 대한 실질할인율은 평균 4%로 최근 LCC 분석시 대략 3~5%의 실질할인율을 사용하고 있다.

현재 적용되는 할인율은 미국 LCC 평가: 3~5%, 영국 LCC 평가: 5~8%, 통계청(1999)[한국의 주요 경제지표 1999의 최근 7년간(1993~1999)의 평균실질할인율 4.5% (시설안전기술공단, 2001), 하헌구/조희덕(1999), 도로 및 철도부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구에서 사회적할인율 7.5%적용, 시설안전기술공단(2001), [LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화방안 연구에서 통계청 자료인 4.5% 적용이 되고 있다.

본 연구에서는 1994~2003 까지의 통계자료로부터 구한 평균 실질할인율 3.89%를 적용하였다.

2.4 LCA 구조 및 절차

2.4.1 LCA 기본구조

LCA는 상호 연관된 네 가지의 요소로 구성되어 있다. 따라서, LCA를 수행하기 위해서는 각각의 과정에서 필요한 자료와 절차, 방법 등을 정립할 필요성이 있다. ISO 14040시리즈에서 규정하고 있는 LCA의

<Table 2.1> LCC 분석의 정식화

적용 모델	미래비용의 현재가치화
※ NIST 모델(Ehlen/Marshall, 1996) $PVLCC = IC + PVOMR + PVD$ 여기서 $PVLCC$ = 현재가치의 총기대비용 $IC$ = 초기비용 $PVOMR$ = 유지보수비용의 현재가치 $PVD$ = 철거 및 폐기비용의 현재가치	$PV(LCC) = \sum_{n=1}^k \frac{C_n}{(1+i)^n} = \frac{C_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{C_k}{(1+i)^k}$ 여기서, $PV$ = 미래에 발생하는 현재가치 $C_n$ = n년 후에 발생하는 비용 $I$ = 할인율 $k$ = Life Cycle 고려시 설계수명

실시 순서는 크게 목록 및 범위 설정(Goal Definition and Scope), 목록분석(Inventory Analysis), 영향평가(Impact Assessment), 결과해석(Interpretation)의 4단계와 보고(Reporting) 및 검토(Critical Review)로 구성된다.

#### 2.4.2 LCA 절차

##### 가. 목적 및 범위정의(Goal and scope definition)

목적 및 범위정의단계에서는 LCA 수행으로 얻어지는 결과의 사용목적과 어느 정도의 구체성, 전제조건, 범위로 수행하는가 등을 결정하는 단계이다. 구체적으로 목적정의, 기능(Function)의 선택, 기능단위(Functional Unit), 기준흐름(Reference flow), 초기 시스템 경계설정, 데이터 품질요건, 영향의 종류 및 영향평가 방법론 정의 등이 있다.

##### 나. 전과정 목록분석(Life Cycle Inventory Analysis)

선정된 시스템을 대상으로 해당 시스템에 투입되는 에너지 및 원료 그리고 배출되는 제품, 부산물, 오염물질 등의 종류와 양을 파악하여 정량화하는 과정이다. 공정도 작성(단위공정: 데이터 수집의 최소단위), 데이터 수집 및 처리, Gate to Gate 목록표 구축, 전과정목록표(LCI) 구축등의 단계를 거친다

##### 다. 전과정 영향평가(Life Cycle Assessment)

목록분석에서 얻어진 에너지 및 자원소요량과 배출물이 환경에 미치는 잠재적인 영향을 기술적, 정량적, 그리고 경우에 따라서는 정성적으로 파악하고 평가하는 단계이다. 분류화, 특성화, 정규화, 가중치부여 단계를 거쳐 환경으로의 영향을 평가한다.

##### 라. 전과정 해석(Interpretation)

전과정 목록분석과 전과정 영향평가 단계의 결과를 기초로 한 주요 이슈의 규명하는 단계로 완전성, 민감도, 일관성 검사들을 고려하는 평가와 연구의 목적 및 범위에 부합하도록 결과를 제시한다.

### 2.5 통합형 VE의 도입배경 및 효과

건설업 분야에 관한 종래의 평가는 공법의 성능, 건설비, 유지관리비, 시공 면적을 중심으로 이루어져 왔

으며, 최근에 대두되고 있는 지구환경문제를 고려한 포괄적인 분석은 충분히 이루어지지 않는 실정이다. 건설분야는 초기 원료채취 및 건설자재 생산, 건설, 유지보수, 해체에 이르는 전과정에 걸쳐 막대한 환경부하를 배출하는 대규모 인프라 시설인 경우가 많으므로 지구환경적 측면과 사회전체에서 환경 조화성을 유지하고 있는가를 판단하기 위해 각 단위 프로세스를 구성하기 위한 설비, 재료 등의 원료채취, 제조, 사용 폐기로 인한 자원, 에너지 소비 및 환경오염부하를 정량화하는 기법이 필요하며, 여기에 사용되는 것이 LCA 기법이다.

환경 LCA를 수행함으로써 건설 분야에 관련한 여러 환경적인 영향을 종합적, 체계적으로 파악하고 평가함으로써, 계획 및 설계단계에서부터 전과정에 걸친 환경부하를 예측과 환경 개선의 기회를 사전에 규명할 수 있다.

### 2.6 기존 VE분석과 차별성

기존의 VE 분석에서는 환경적 기능을 정성적으로 평가하여 분석하였다. 그러나 본 연구에서는 LCA 기법을 도입하여 환경적 기능을 정량화 하였으며, 통합 VE(Triple V<sup>TM</sup>)를 평가함으로써 1) 지속가능한 개발에 부합하는 차별화된 분석 및 평가 2) 경제성과 환경성을 모두 만족시키는 대안 선정 3) 공법 선정의 객관적 정량적 근거 제시 4) 수지원시설물 공사와 관계된 다양한 이해관계자 의견 수렴하여 평가함으로써 최적화 공법도출에 객관적 근거를 제시하였다.

본 연구에서 최적안의 설계제안을 위해 통합 VE 분석은 대안별 평가 성능항목별 기능점수 부여하여 총 기능점수(F)를 산정하였다. LCC분석에 의한 생애주기 비용 상대점수(C) 산정, LCA분석에 의한 전과정영향도(E) 산정, 대안별 가치점수( $V_1=F/C$ ,  $V_2=F/E$ ) 산정하여 AHP기법을 통해 환경성과 경제성을 포함하는 가치점수 산정( $V_3 = F / f(C,E)$ )결과를 최적안에 대한 가치향상유형 선별 및 설계 제안하였다.

### 3. 통합VE(Triple V<sup>TM</sup>) 적용사례(교량)

본 연구는 OO 방수로 II단계 건설사업 제 O공구

<Table 2.2> 기존 VE와 통합 VE(Triple V™)의 비교

구분	기존 VE	통합 VE(Triple V™)
목적	• 최저 생애주기비용(LCC)으로 최상의 가치 추구	• 생애주기비용(LCC)과 전과정 환경영향(LCA)을 고려한 최상의 가치 추구
평가기준	• 기능성, 경제성	• 기능성, 경제성, 환경성
평가절차	대상 선정	대상 선정
	분석 평가	
	최적안 선정	환경/경제 통합 최적안
주요 방법론 및 평가항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LCC : 시설물의 경제적 수명전반에 걸쳐 발생하는 제비용의 합, 즉 총비용을 일정한 시점으로 등가환산한 가치로써 경제성을 평가하는 방법</li> <li>• 초기 공사 비용 유지 관리 비용 처리 비용 → 전생애주기 비용(Life Cycle Cost)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LCA : 시설물의 전과정에 걸친 투입산출물을 정량화하여 환경에 미치는 영향을 평가하고, 친환경적인 공법을 선정하는 환경성 평가 방법</li> <li>• 건설자재, 중장비 연료 투입량 건설자재 생산 전과정 투입산출물 연료 생산 및 소비 전과정 투입산출물 → 전과정 환경영향 (Life Cycle Impact)</li> </ul>

시설공사의 교량설계 비교안으로 분석한 결과이다. 교량은 폭 31m 지간 150m(6차선) 신설로 적용 가능한 비교대안 4개의 교량상부형식에 대해 VE를 평가하였다.

### 3.1 교량구조물의 공용수명

교량의 공용수명에 얼마를 적용해야 하는가는 많은 데이터의 축적이 이루어진 후 검토가능하다. 최근 국내에서 설계 기대내구년한을 100년을 목표로



내구성설계가 이루어짐을 고려하여 본 연구에서는 교량의 내구년한 즉 공용수명을 100년으로 보고 LCC 분석기간도 100년을 적용하였다. 할인율이 4~5% 정도에서 50년 이후의 비용을 현재가치로 환산하면 LCC에 큰 영향을 주지않으므로 교량의 내구년한과 분석기간이 LCC의 의사결정에 결정적인 역할을 하는 것은 아니다. 교량의 공용 내구년수는 일반교량인 경우 75년을 사용하고 있으며, RC교는 70년을 기준으로 하고 있다.

<Table 2.3> 교량의 공용 내구년수

종류	공용수명	근거문헌
일반교량	75년	AASHTO LRFD Spec
RC교	70년	Piringer(1993)
	50년	Nishikawa(1997)
PSC교	70년	Piringer(1993)
강교	80년	Piringer(1993)
고성능강교량(무도상/PSC바닥판)	200년 이상	Nishikawa(1997)
강합성형교	70년	Piringer(1993)

### 3.2 교량상부형식 선정을 위한 대안

<Table 2.4> 교량상부형식 비교안

구분	대안 1 : 널센아치교	대안 2 : 트러스교	대안 3 : 단현로제강아치교	대안 4 : 비대칭 사장교
교량 형식				
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 적정지간 : L=130.0~190.0m</li> <li>· 하천이나 해안 연안부 횡단교량에 적용시 조화 양호</li> <li>· 곡률반경, 크로스오이드 곡선구간, 종단경사 크거나 종단곡선 변화구간은 적용시 유의 필요</li> <li>· 아치리브의 휨모멘트, 축방향력이 일반 아치교 보다 작아 지반에 미치는 영향이 적다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 적정지간 : L=70.0~130.0m</li> <li>· 하천이나 해안 연안부 횡단교량에 적용시 조화 양호</li> <li>· Lohse 교에 비해 아치리브의 단면이 작고, 수직재와 아치리브의 격점구조가 간단함</li> <li>· 아치리브의 휨모멘트, 축방향력이 일반 아치교 보다 작아 지반에 미치는 영향이 적다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단면을 구성하는 부재의 수가 적기 때문에 구조가 단순함</li> <li>· 외관 양호</li> <li>· 자동용접이 적용 가능하여 제작 자동화 가능</li> <li>· 구조계 전체붕괴를 제외하고 파괴가 단계적 진행함에 순간 파괴 없음</li> <li>· 복부판이 얇아 복부판에 보강재로 보강필요</li> <li>· 비교적 큰 블록으로 제작하므로 운반 가설상의 제약을 받음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 적정지간 : L=200.0m ~ 500.0m</li> <li>· 곡률반경, 크로스오이드 곡선구간, 종단경사 크거나 종단곡선 변화구간은 적용이 곤란</li> <li>· 주탑이 높고 중심위치가 높으므로 내진상에 기초공 규모가 증대</li> <li>· 유연한 구조이므로 내풍 안정성 검토가 필요함</li> </ul>
총공사비	· 226.7억원	· 246.8억원	· 223.8억원	· 280.9억원

### 3.3 상부교량형식선정을 위한 평가

VE를 평가하기위해 경제성, 기술성, 이용자편익, 자연친화성에 대한 항목으로 쌍대비교하여 각 계층별 가중치를 구하였다. 기능점수 산정을 위해 OO대학교 토목공학과, OO 엔지니어링 전문기술자를 대상으로 각 공법별 주기능과 부기능으로 세부항목을 나누워 설문 조사를 실시하였다.

#### 3.3.1 AHP 기법을 이용한 가중치

<Table 3.1> 설문집단별 가중치

주 기능	부 기능	중요도				종합가중치	종합순위
		학계전문가	순 위	기술자	순 위		
경제성	경제성	0.096	5	0.160	3	0.122	6
	시공성	0.142	4	0.124	4		
기술성	유지관리성	0.060	7	0.078	7	0.070	7
	안전성	0.224	2	0.290	1		
이용자 편익	기능성	0.235	1	0.082	6	0.155	2
	경관성	0.078	6	0.164	2		
환경성	자연친화성	0.164	3	0.101	5	0.129	3
합 계		1	-	1	-	1	-

#### 3.3.2 교량 기능분석

LCC 분석방법은 현재가치화법으로 교량수명은 100년, 기준할인을 3.89%를 적용하였다.

#### 3.3.3 LCC 비용분석

LCC를 분석하기 위하여 초기건설비용과 유지관리비용, 해체·폐기비용 및 사용자비용을 추정하였다. 유지관리비용은 보수, 보강, 교체로 각각 해당주기에 따라 비용을 계산하였다.

<Table 3.2> 대안별 기능분석

주기능	부기능	가중치	대안 1 : 널센아치교		대안 2 : 트러스교		대안 3 : 단원로제강아치교		대안 4 : 비대칭사장교	
			점수	가중점수	점수	가중점수	점수	가중점수	점수	가중점수
경제성	경제성	0.122	6.2	7.55	7.2	8.78	7.8	9.59	5.5	6.73
기술성	시공성	0.136	7.8	10.66	8.0	10.88	10.0	13.60	5.7	7.71
	유지관리성	0.070	8.3	5.87	8.2	5.75	9.3	6.57	6.8	4.81
	안전성	0.261	8.0	20.86	8.3	21.73	9.0	23.47	6.3	16.51
이용자 편익	기능성	0.155	9.0	13.95	8.3	12.92	8.7	13.43	8.7	13.43
	경관성	0.127	9.0	11.39	8.2	10.34	7.3	9.28	9.3	11.81
환경성	자연 친화성	0.129	9.0	11.59	9.0	11.59	8.0	10.30	8.0	10.30
설계기능점수(F)			81.87		81.98		86.25		71.32	

<Table 3.3> 대안별 LCC 분석

비용 (억원)		대안 1 : 널센아치교	대안 2 : 트러스교	대안 3 : 단원로제 강아치교	대안 4 : 비대칭사장교
초기건 설비용	상부공	165.5	152.9	140.3	193.2
	하부공	31.5	29.1	26.7	36.8
	유지관리비용	41.6	42.4	32.7	25.4
	해체/폐기비용	0.6	0.6	0.6	0.6
	사용자비용	27.4	21.8	23.5	24.9
LCC (억원)		266.7	246.8	223.8	280.9

3.3.4 대안별 LCA평가

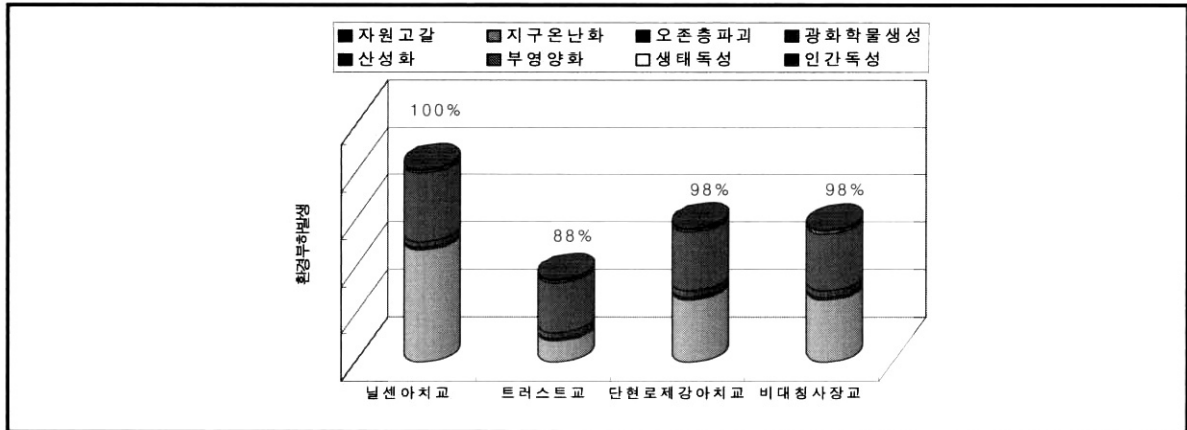
본 연구에서는 산업 자원부에서 개발한 한국형 환경영향평가지수 방법론을 사용하였으며, 고려한 영향범주(impact category)는 자원고갈(abiotic resource depletion, ARD), 지구온난화 (global warming, GW), 오존층 파괴(ozone layer depletion, OD), 산성화(acidification, AC), 부영양화(eutrophication,

EU), 광화학산화물 형성(photochemical oxidant creation, POC), 인간독성(human toxicity, HT), 생태독성(eco toxicity, ET) 등 모두 8개 영향범주를 고려하였다. 전과정평가(LCA)를 분석하기 위해 LCA Software Sima Pro 5.1을 이용하였다.

전과정평가를 시행하기 위해 시스템 경계는 교량 시공단계까지 고려하였으며, 기능은 교량이 원활하게 진행될 수 있는 교량 기능, 기능단위는 폭 31m 교량 길이 150m이다. 교량 시공에 포함된 장비는 콘크리트

<Table 3.4> LCA 특성화 결과

Impact category	Unit	널센아치교	트러스교	단원로제강아치교	비대칭사장교
자원고갈	l/yr	5.54E+04	4.38E+04	4.91E+04	4.90E+04
지구온난화	g CO2 eq	1.44E+07	1.15E+07	1.28E+07	1.28E+07
오존층파괴	g CFC-11 eq	1.28E+00	1.14E+00	1.21E+00	1.21E+00
광화학물질생성	g ethylene	1.21E+04	1.31E+04	1.29E+04	1.32E+04
산성화	g SO2 eq	3.66E+04	2.66E+04	3.10E+04	3.07E+04
부영양화	g PO4-3 eq	4.99E+03	3.69E+03	4.27E+03	4.24E+03
생태독성	g 1,4 DCB eq	4.53E+07	4.09E+07	4.31E+07	4.31E+07
인간독성	g 1,4 DCB eq	1.61E+06	1.40E+06	1.51E+06	1.52E+06



<Fig 3.1> 교량상부형식별 정규화 결과

<Table 3.5> 교량상부형식 VE 평가 결과

구분	대안 1 : 닐센아치교	대안 2 : 트러스트교	대안 3 : 단원로제강아치교	대안 4 : 비대칭사장교	
기능점수 (F)	81.87	81.98	86.25	71.32	
비용 최소화	LCC(억원)	266.7	246.8	223.8	280.9
	LCC상대비(C)	1.19	1.10	1.00	1.26
	가치점수(V <sub>1</sub> =F/C)	68.70	74.34	86.25	56.82
환경 영향 최소화	LCA	110.81	87.55	98.25	97.98
	LCA상대비(E)	1.13	0.89	1.00	1.00
	가치점수(V <sub>2</sub> =F/E)	72.59	92.00	86.25	71.51
경제성 및 환경성 통합	f=C+E	2.32	1.99	2.00	2.25
	가치지수(V <sub>3</sub> =F/f)	35.29	41.12	43.13	31.66
	다이아그램				
선정안			◎		

타설 장비를 고려하였고, 교량의 주요 자재에 대한 전 과정평가를 분석하였다. 장비의 시간당 연료소비량과, 장비의 시간당 작업능력을 고려하여 에너지 사용량을 산출하였다. 이에 산출된 에너지는 IPCC배출계수를 이용하여 배출량을 구하였다.

각 대안별 LCA 특성화결과는<Table 3.4>에서 보는 바와 같이 자원고갈의 경우 닐센아치교가 5.54E+4 1/yr 로 분석되었고, 산성화의 특성화결과는 센아치교 3.66E+04 g SO2 eq, 현로제강아치교는 3.10E+04 g SO2 eq 이다.

정규화 결과는 <Fig 3.1>에 나타나 있다. 정규화 결과 트러스트교가 가장 친환경적인 것으로 분석되었다. 닐센아치교의 환경부하( 110.81 person-yr/f.u.) 를 100%로 가정하였을 때 트러스트교는 88%의 환경 부하를 갖고 있는 것으로 나타났다. 교량에서 주요 환경이슈는 지구온난화와 산성화인 것으로 분석되었다.

3.4 종합결과

본 연구에서 교량상부형식에 대해 비교대안 4개를



분석한 결과이다(Table 3.5). 단현로제강아치교의 LCC 값을 1로 보았을 때 닐센아치교의 상대적 LCC 값은 1.19, 비대칭 사장교는 1.26 이다. 또한 상대적 LCA 결과는 단현로제강아치교가 1 일때 트러스트교는 0.89, 닐센아치교는 1.13인 것으로 분석되었다. 대안 선정함에 있어서 LCC 상대비와 LCA 상대비를 합하여 f 값을 구하였다. 최종 선정안은 가치점수  $V_3(V_3 = F/f)$  값이 가장높은 단현로제강아치교가 본 사업에 타당한 것으로 분석되었다.

- 6) 도로교의 공용수명 연장방안연구. 2000. 건설교통부/시설안전기술공단
- 7) OECD Scientific Expert Group(1983) 『Bridge Rehabilitation and Strengthening』 Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France
- 8) OECD Scientific Expert Group(1983) 『Bridge Rehabilitation and Strengthening』 Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France

#### 4. 결 론

본 연구에서 통합 VE 방법론(Triple V™)을 적용하여 교량 상부형식에 대한 최적대안 선정에 적용하였다.

본 연구에서는 기존 VE 방법과 달리 LCA를 이용한 통합 VE 방법론(Triple V™)을 적용함으로써 환경·기능·비용질감의 총체적 최적대안 선정에 중점을 두었다. 또한 VE 분석을 위한 가중치 산정에 있어 다기준의사결정법(AHP 기법)을 적용하였으며, LCA 기법을 통하여 환경영향 범주별로 환경부하를 정량화하였다.

통합 VE 방법론(Triple V™)을 다양한 국가기간 사업(토목, 건설분야 등등)에 적용함으로써 실제 사례를 바탕으로한 경제·환경성에 상호보완적인 연구가 더 진행되어야 하며, 또한 교량형식의 사용 및 해체·폐기 부분의 전과정평가를 위한 데이터베이스의 구축과 연구가 선행 되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 한국은행 주요경제지표(시중은행 정기예금리, 소비자물가지수)
- 2) 교량의 LCC분석모델 개발 및 구축방안 연구 2002.12, 건설교통부·한국시설안전기술공단
- 3) 고속도로 교량형식별 생애주기 비용(LCC) 2003.12, 한국도로공사
- 4) 의사결정기법을 적용한 전과정평가의 상대적 중요도 인자산정. 2002. 이주대학교 공학박사학위논문, 노재성
- 5) 고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용(LCC) 분석연구. 2002.12 한국도로공사