

AHP 기법을 이용한 교량상부구조의 VE 검토

Article
03

Examination of Value Engineering for Bridge Superstructures Using Analytic Hierarchy Process

※ 본 논문은 "2009년 한국안전학회지 24권 16호"에 동 제목으로 기발표되었으며 한국안전학회의 동의하에 게재합니다.

박장호, 신영석, 안예준, 이광균
아주대학교 공과대학 환경건설교통공학부

Abstract

This study presents an algorithm to select the best alternative plane among various bridge superstructure types (Steel box girder, Rational girder, PSC-I girder) using Value Engineering (VE). Economical efficiency, landscape, constructability, maintenance, stability, function of bridge superstructure were taken into consideration in the designing of bridge. Economical efficiency was evaluated for each alternative plan with optimal design considering Life Cycle Cost (LCC). Repair and rehabilitation histories and some factors were set to get reasonable results. In the application of Analytic Hierarchy Process (AHP), consistency of Pairwise Comparisons Matrix was evaluated and the best plan was determined.

Keywords : Life Cycle Cost, Optimal Design, Analytic Hierarchy Process, Value Engineering, Pairwise Comparisons Matrix, Consistency

1 서론

공공건설사업의 효율성을 제고하기 위한 대안의 하나로 건설교통부는 "건설기술관리법시행령"을 개정하여 공공사업수행 절차와 기준을 법제화 하였으며, 이후 시행령 38조 13의 규정에 의한 "설계의 경제성 등 검토" 실시를 의무화하는 시행지침을 작성하여 시행하고 있다. 최근에는 VE(Value Engineering, 가치공학) 적용대상 규모를 500억에서 100억 공사로 확대 적용하도록 개정하여 VE제도가 전반적으로 일반화되고 있다. 그러나 현

재 국내에서는 교량의 기본계획과 기본설계가 설계에 필요한 자료의 조사를 제외하고는 형식적으로 이루어지고 있는 실정이다. 또한, 발주관서의 의도대로 설계를 하거나 과거의 경험에 의거하여 설계 수행하고 이를 합리화하는 수준에 그치고 있다.

합리적인 교량대안 선정을 위해서는 설계시 경제성, 경관성, 안전성 및 기능성, 유지관리 용이성, 시공성 등 다양한 속성이 고려되어야 한다. 이중 경제성은 초기비용뿐만 아니라 공용수명에 걸쳐 발생하는 유지관리비용, 보수·보강비용, 사용자비용, 해체·폐기비용 등의

합인 생애주기비용에 대해 검토되어야 한다. 그리고 최소의 비용으로 최상의 가치를 창출할 수 있도록 객관적인 평가기법에 의한 교량대안의 성능평가가 이루어져야 한다. 서로 경합관계에 있는 다양한 유형의 교량대안을 평가하여 우선순위를 결정하는 의사결정과정에서는 불가피하게 개입되는 사람의 주관적 평가기준과 정보 및 자료의 부족, 그리고 각 대안의 계획목적에 대한 잠재적 기여도의 불확실성 등을 고려하여야 하며 대안의 비용 및 성능에 대한 여러 정량적, 정성적 평가기준을 동시에 고려해야 한다.

본 연구에서는 교량의 비용 및 여러 평가기준에 대한 상대적 중요도를 통해 종합적인 의사결정을 수행하여 주는 다속성 의사결정기법의 하나인 AHP 기법 (Analytic Hierarchy Process, 계층 분석적 의사결정법)을 적용하여 교량대안들로부터 최적의 대안을 선정하는 모델을 제시하고자 한다.

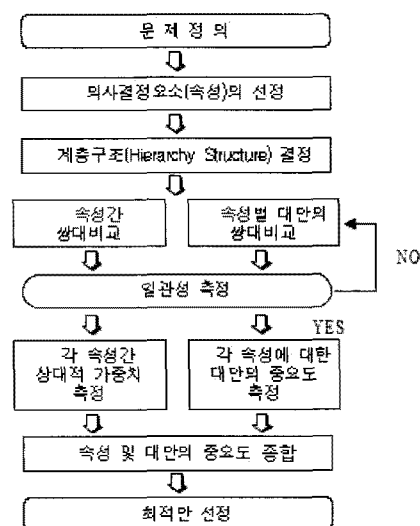
2 AHP 기법의 개념 및 절차

2.1. AHP 기법의 개념

AHP 기법은 Thomas L. Saaty에 의해 제안된 다속성 의사결정기법으로 불분명한 의사선택문제에 있어서 문제를 계층적으로 분석하여 평가할 수 있고 정성적인 특성들을 정량적인 판단 기준에 따라서 평가함으로써 의사결정문제에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하지 않으면 안 될 정성적 평가 기준들도 비교적 쉽게 처리가 가능하며, 의사결정자의 오랜 경험이나 직관 등을 반영함으로써 보다 객관적이고 일관된 평가를 할 수 있는 이론이다¹⁻²⁾.

2.2. AHP 기법의 의사결정과정

AHP 기법을 통해서 최적의 대안을 선정하기 위한 의사결정과정은 [Fig. 1]과 같다.



[Fig. 1] Flow of Analytic Hierarchy Process

각 단계에서 두 요소들 사이의 중요도는 동일한 단계의 두 요소들을 상호비교하는 쌍대비교(Pairwise Comparison)를 통해서 얻을 수 있고, 중요도를 평가하는 척도는 9개의 등급으로 세분화함으로써 유연성 있는 가중치를 산출 할 수 있다. 또한 AHP 기법은 산출된 중요도의 일관성(Consistency) 검증은 통해 주관적으로 결정된 중요도에 대한 논리적 일관성을 확인한 후 이를 적용한다.

2.3. 계층구조 결정

주어진 의사결정문제를 상호 관련된 의사결정 요소들로 계층화하여 문제를 분리하는 과정이다. 최상위 계층에는 가장 포괄적인 의사결정의 목표가 놓여지고, 최하위 계층에는 선택의 대상인 대안들로 구성된다. 계층구

조의 중간 계층은 평가기준(속성)들로 구성이 되는데 하위 계층으로 갈수록 보다 상세하고 구체적인 내용이 되어야 한다. 또한 Saaty는 계층에 포함되는 요소들의 수가 많아질수록 쌍대비교의 횟수도 많아지므로 가능한 한 계층 내에 요소들의 수가 9개를 초과하지 않도록 제안하였다¹⁻²⁾.

2.4. 쌍대비교행렬의 구성

다속성 의사결정에서는 각 속성의 상대적인 중요도를 모두 고려하여 중요도를 정하기가 어렵다. 따라서 AHP 기법에서는 속성들을 두개씩 뽑아 쌍대비교를 수행한다. 어떤 계층에 있는 하나의 평가기준(속성)의 관점에서 직계하위계층에 있는 요소들(속성 또는 대안)의 중요도(또는 가중치)를 평가하기 위하여 요소들 간에 쌍대비교를 행하고, 그 결과를 행렬로 나타내는 과정이다. 쌍대비교의 과정에는 요소에 대한 의사결정자의 선호 정도를 먼저 어의적인 표현에 의해 나타내고 이를 계량화한다.

한 단계에서 n개의 요소가 존재한다고 할 때, 먼저 이 단계에서는 쌍대비교행렬 n×n 행렬을 구성한다. 이 행렬에서 행 i와 열 j의 숫자는 i가 j보다 얼마나 중요한가에 대한 정도를 1~9척도에 의해 표현한다. 여기서 요소 j와 비교한 요소 i는 a_{ij}로 표시되며 a_{ij}=1/a_{ji}이 된다. n개의 요소가 있다면 n(n-1)/2 회의 쌍비교가 이루어지고, 다음 식(1)과 같이 행렬이 구성된다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

n개 요소의 중요도를 $w = (w_1 \ w_2 \ w_3 \ \dots \ w_n)$ 라 표현하면 다음의 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$(A - nI)w = 0 \quad (2)$$

여기서 n은 선형대수에서의 고유치 λ이며, w는 고유치 λ에 대한 행렬 A의 고유벡터이다.

$$D(\lambda) = \det(A - \lambda I) = 0 \quad (3)$$

식(3)에서 0이 아닌 유일한 λ를 λ_{max}(최대고유치)라 하면, λ_{max} = n, λ_i = 0이 되고 식(4)를 만족하게 된다.

$$\sum D_i = (A \text{의 대각선요소의 합}) = n \quad (4)$$

쌍대비교행렬 A와 $\sum w_i=1$ 로부터 최대고유치 λ_{max}와 그에 따른 고유벡터 w를 구하게 되는데 여기서 구한 고유벡터가 중요도가 된다.

속성에 대한 중요도(상대 가중치)를 산출한 후에는 각각의 속성에 대하여 제시된 대안의 중요도를 산출한다. 이렇게 산출된 두 결과를 합성하여 종합중요도를 계산하며, 가장 큰 값을 갖는 대안을 최적으로 선정한다.

$$U_i = \sum_j (w_j) (u_{ij}) = n \quad (5)$$

여기서, U_i = i번째 대안의 종합중요도

w_j = 평가기준 j의 상대적 중요도

u_{ij} = 평가기준 j에 대한 i번째 대안의 중요도

2.5. 일관성 측정

정량적 분석에 의한 결과값은 쌍대비교를 하거나 전체를 한꺼번에 비교하여도 그 결과는 정확한 일관성을 갖는다. 그러나, 인간의 주관이 개입되는 문제에서는 기준이나 대안의 수가 많아지면 의사결정자가 완벽한 일관

성을 가지고 판단하기는 쉬운 일이 아니다. AHP 기법에는 일관성 확보를 위하여 일관성 검증을 수행한다. Saaty는 일관성검증을 위해 C.I.(Consistency Index, 일관성 지표)를 R.I.(Random Index, 임의 지표)로 나눈 C.R.(Consistency Rate, 일관성 비율)을 구하고, C.R. 값이 0.1이하인 경우에는 신뢰할 수 있는 만족스런 수준으로 보았고, 0.2 미만이면 가용범위의 일관성을 갖는 것으로 제시하였다¹⁻²⁾.

$$C.R = C.I/R.I \quad (6)$$

C.I.(일관성 지표)는 일치성의 정도를 나타내는 것으로 식(7)과 같고, C.I.가 0이면 완전한 일관성을 갖는다.

$$C.R = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad (7)$$

R.I.(임의 지표)는 1에서 9까지 정수들을 무작위 추출하여 행렬을 작성한 후 이로부터 지표를 구한 것으로 [Table 1]과 같다.

[Table 1] Random Index

n	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

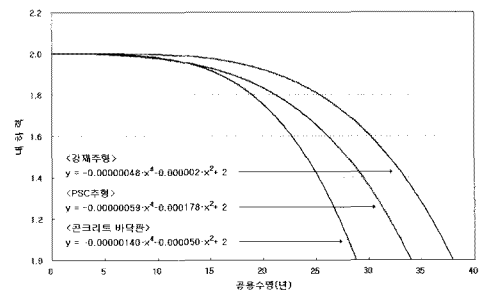
3 LCC 최적설계를 이용한 경제성 평가

본 연구에서는 중기간 교량에 많이 사용되고 있는 강상자형교, 소수주형교, PSC-I형 거더교를 대안들로 선정하고 각 대안별 목표공용수명에 대한 LCC 최적설계를 수행하고 이를 이용하여 각 대안에 대한 경제성을 평가하였다.

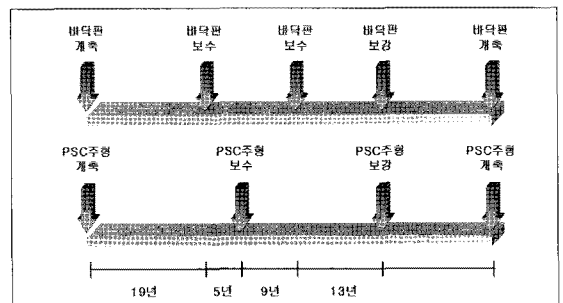
3.1 공용수명 산정

본 연구에서는 교량상부구조의 공용수명을 산정하기 위하여 시설안전기술공단의 “도로교의 공용수명 연장방안 연구”에서 제시한 상태등급곡선과 정밀안전진단이 이루어진 교량의 이력자료로부터 추정된 내하력곡선을 사용하였다(Fig. 2). 상태등급이 우수한 경우 교량에서의 내하력 감소가 서서히 나타나지만, 상태등급이 낮아지게 됨에 따라 내하력의 감소가 급격하게 나타나게 된다³⁻⁴⁾.

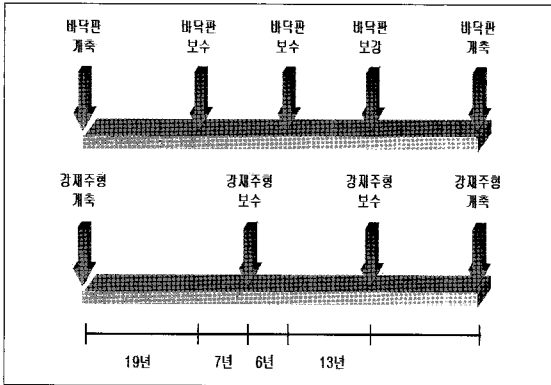
공용수명 동안 각각의 교량형식에서는 수차례의 보수·보강이 이루어진다. 본 연구에서는 보수·보강에 의해 발생하는 사용자비용을 최소화하기 위하여 각 교량형식에 대한 보수·보강이력을 [Fig. 3] 및 [Fig. 4]와 같이 정하였다.



[Fig. 2] Load carrying capacity curves for members



[Fig. 3] Life Cycle Profile for PSC-I girder



[Fig. 4] Life Cycle Profile for steel girder

3.2 LCC를 고려한 최적설계 모델

본 연구에서는 내하력곡선과 보수·보강이력을 통하여 공용수명을 결정하고 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC)을 고려하여 교량상부구조의 대안들에 대한 최적설계를 수행하였다³⁻⁴⁾.

3.2.1 설계변수 및 제약조건

설계변수는 부재치수 및 철근량과 PS강재량 등으로 선정하였으며, 제약조건으로 도로교 설계기준과 콘크리트 구조설계기준을 사용하였다⁵⁻⁶⁾. 콘크리트 바닥판의 경우 허용응력설계법, 강재주형의 경우 강도설계법, PSC의 경우 하중단계에서의 강도설계법과 사용상태에서의 허용응력설계법에 의거하여 제약조건을 구성하였다.

3.2.2 목적함수

본 연구에서는 교량의 신설시 발생하는 초기비용과 공용수명 동안의 유지관리비용 및 보수·보강비용, 불확실성을 고려한 손상비용 그리고 사용자비용과 교량의 해체·폐기비용으로부터 식(8)과 같이 생애주기비용을 산출하였다⁵⁻⁶⁾.

$$C_T = C_I + P_d C_d + C_M + n \cdot C_R + C_U + C_D \quad (8)$$

여기서, C_T = 총 생애주기비용

C_I = 초기비용

$P_d C_d$ = 손상비용

C_M = 유지관리비용

$n \cdot C_R$ = 보수·보강비용

C_U = 사용자비용

C_D = 해체·폐기비용

이로부터 다양한 공용수명 동안 발생하는 생애주기비용을 비교하기 위하여 식(9)와 같이 연간비용을 목적함수로 하였다.

$$C_Y = C_T / SL \quad (9)$$

여기서, C_Y = 연간비용

SL = 공용수명

1) 초기비용

초기비용은 일반적으로 교량의 계획·설계에서부터 완공까지 발생하는 비용으로 계획 및 설계비용, 시공비용, 초기검증 재하시험비용, 감리비용 등으로 이루어져 있다. 시공비용의 경우 종합물가정보(2004) 및 참고문헌 자료를 근거로 산출하였다⁷⁾. 나머지 비용에 대해서는 엔지니어링 사업대가기준(2002, 과학기술부 공고) 및 건설공사 감리대가기준(한국건설감리협회) 등을 통해 산출할

[Table 2] Cost for materials

구분	부재료 사용비용			
단위	강재(만원/ton)	PC강선(만원/ton)	콘크리트 바닥판(만원/m)	철근(만원/ton)
시공비용	268.8	645.0	62.6	231

수 있으나, 본 연구에서는 초기비용의 10%로 하였다⁸⁾.

2) 손상비용

구조물의 신뢰도를 평가함에 있어서 하중 및 부재, 재료강도의 불확실성을 고려하기 위해 생애주기비용 목적 함수 구성 시 손상확률의 개념을 도입하였다. 이 때 손상 확률을 산정하기 위해 신뢰성 평가방법 중 Hasofer-Lind의 개선된 일계이차모멘트법(Advanced First Order Second Moment, AFOSM)을 사용하였다.

생애주기비용에서 구조물의 손상확률을 고려하기 위해서 한계상태모형을 주형의 경우 휨모멘트에 의한 복부판 및 플랜지의 손상으로 정의하고 바닥판의 경우 휨모멘트에 의한 바닥판의 손상으로 정의하였으며, 각각 식(10), 식(11)과 같다.

$$g(\cdot) = \sigma_{allow} - \sigma_{real} \quad (10)$$

여기서, σ_{allow} = 강재주형의 허용응력

σ_{real} = 강재주형의 발생응력

$$g(\cdot) = \phi \cdot M_n - (1.3M_d + 2.15M_{I+i}) \quad (11)$$

여기서, M_d = 바닥판의 설계휨강도

M_u = 바닥판의 소요휨강도

ϕ = 휨강도감소계수

M_n = 바닥판의 공칭휨강도

M_d = 바닥판의 사하중모멘트

M_{I+i} = 충격계수를 고려한 바닥판의 활하중모멘트

3) 유지관리비용

유지관리비용의 경우 안전점검 및 정밀안전진단 대가 기준을 통해 산출할 수 있지만, 본 연구에서는 시설물의

안전관리에 관한 특별법시행령에 따라 초기비용의 일정한 비율로 하였다.

4) 보수·보강비용

보수·보강비용이란 공용수명동안 교량의 손상에 따른 보수, 보강에 소요되는 비용을 말한다. 보수·보강은 주기적으로 이루어지며 상태 및 내하력을 증가시킨다. 보수·보강비용은 [Fig. 3], [Fig. 4]에서 표시된 교량 부재들의 보수 또는 보강의 횟수와 시설안전기술공단 및 한국도로공사의 시설물의 유지관리조치별 비용자료를 바탕으로 산정하였다⁹⁻¹⁰⁾.

[Table 3] Repair and rehabilitation cost

구분	주 형				
	강재주형	PSC-1		바닥판	
	보수	보수	보강	보수	보수
적용단개천원(㎡)	151,889	124,248	346,000	150,220	249,366
소요일수(day/㎡)	0.033	0.447	0.506	0.546	0.518

5) 해체·폐기비용

교량 구조물을 해체·폐기하는데 소요되는 비용으로 해체에 따른 철거비용 및 폐기비용과 해체 후 재활용 비용의 합으로 이루어진다. 본 연구에서는 중앙대학교 건설산업기술연구소에 제시된 자료를 근거로 하여 초기비용에 대한 일정한 비율로 하였다¹¹⁾.

6) 사용자 비용

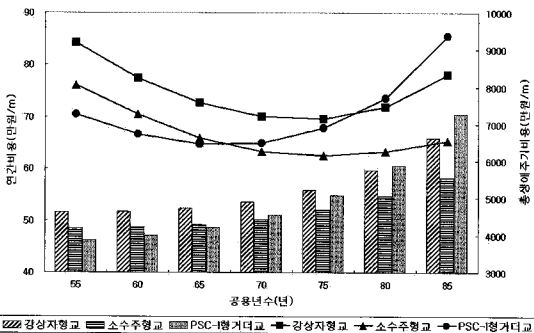
본 연구에서는 국내 교량에 대해 공용수명동안 발생하는 사용자비용에 대한 체계적인 연구가 미흡한 실정이므로 NIST(National Institute of Standard and Technology, Ehlen/ Marshall, 1996)에서 제안한 사용자비용 모델을 적용하여 산정하되 정기적인 유지관리

시에 발생하는 사용자비용 및 사회·경제적인 손실비용은 무시하고 유지보수 및 교체 그리고 재건설 시에 발생하는 불확실성이 크고 산정하기 어려운 사고자 비용을 제외한 시간지연비용과 차량운행비용만으로 사용자비용만을 산정하였다^{3,4,12}.

3.3 교량상부구조의 경제성 평가

각 교량형식의 경제성을 평가하기 위해서는 동일조건에서의 경제적 가치비교가 필요하므로 LCC를 고려한 최적설계시 고려된 각 대안들의 초기 조건을 통일시켜야 한다. 설계조건으로는 교량의 설계등급(1등급), 교량 연장(40m), 설계차선(4차선), 사용자비용조건(일반국도)이 고려되었다.

[Fig. 5]에서 보는 바와 같이 PSC-I형 거더교의 경우 목표 공용년수가 비교적 짧은 55~65년 사이에서 경제적으로 우수하며, 소수주형교의 경우 70년 이상의 목표 공용년수에서 경제적으로 유리한 것으로 나타났다. PSC-I형 거더교의 경우 공용수명이 늘어날수록 요구 내하력이 강상자형교나 소수주형교에 비해 급속히 상승하게 되어 단면이 커지게 되고 이에 따라 생애주기비용이 급격하게 늘어나고 있다.



[Fig. 5] Annual cost and life cycle cost of alternatives for service lives

4 대안들에 대한 VE 평가

교량의 속성 가운데 경제성은 LCC를 고려한 최적설계 결과를 바탕으로 평가하였으며, 경제성을 제외한 교량의 속성인 경관성, 안전성 및 기능성, 유지관리 용이성, 시공성은 관련 전문가와 문헌자료를 통해 평가하였다

11.13)

[Table 4] Details for alternatives and attributes

교량 형식	강상자형교 (대안 I)	소수주형교 (대안 II)	PSC-I형 거더교 (대안 III)
경제성	LCC 최적설계 결과에 의한 공용수명별 연간생애주기비용 산정		
경관성	포물선 단면 도심지에 부합하는 교각형상	Braing 등의 노출로 허부로부터 터의 마감불량	압박감 도심지에 부적합
안전성 및 기능성	지진저항성 양호	지진저항성 양호	지진저항성 불량
유지관리 용이성	재도장 필요	재도장 필요	유지관리 Tendon 필요
시공성	시공성 우수 폐단면으로 용접성 불량	교강도 강제 및 후판사용으로 용접성 불량	시공성 미흡 (지보공법사용)

속성에 대한 중요도를 평가한 결과 경제성 항목이 대안의 선정에 가장 크게 영향을 미치며, 유지관리 용이성 항목이 가장 적게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

[Table 5] Pairwise comparison matrix for critical attributes

구분	A	B	C	D	E	상대가중치
A	1	1	3	2	1/5	0.600
B	1	1	3	2	1/5	0.139
C	1/3	1/3	1	1	1/9	0.139
D	1/2	1/2	1	1	1/8	0.056
E	5	5	9	8	1	0.067

A: 경제성 B: 경관성 C: 안전성 및 기능성

D: 유지관리 용이성 E: 시공성

경제성을 제외한 비교속성에 대하여 대안의 쌍대비교 행렬을 작성하여 구한 중요도를 정리하면, [Table 6, 7, 8, 9]와 같다.

[Table 6] Pairwise comparison matrix of alternatives for landscape

구분	대안 I	대안 II	대안 III	중요도
대안 I	1	2	2	0.500
대안 II	1/2	1	1	0.250
대안 III	1/2	1	1	0.250

[Table 7] Pairwise comparison matrix of alternatives for stability and functionality

구분	대안 I	대안 II	대안 III	중요도
대안 I	1	1	2	0.400
대안 II	1	1	2	0.400
대안 III	1/2	1/2	1	0.200

[Table 8] Pairwise comparison matrix of alternatives for maintenance

구분	대안 I	대안 II	대안 III	중요도
대안 I	1	1/3	1/4	0.113
대안 II	3	1	1/4	0.235
대안 III	4	4	1	0.652

[Table 9] Pairwise comparison matrix of alternatives for constructability

구분	대안 I	대안 II	대안 III	중요도
대안 I	1	1/2	1	0.260
대안 II	2	1	1/2	0.328
대안 III	1	2	1	0.412

비교속성들에 대한 표에 알 수 있는 것과 같이 경관성에서는 대안 I, 안전성 및 기능성에서는 대안 I 과 대안 II, 유지관리 용이성에서는 대안 III, 시공성에 대해서는 대안 III이 우수함을 보였다.

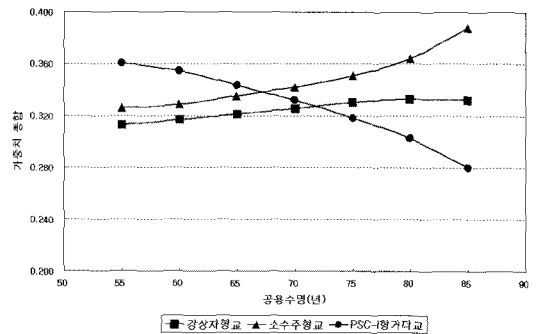
경제성에 대한 대안의 중요도는 공용수명에 따른 대안의 LCC 최적설계 결과인 연간생애주기비용에 의해 쌍대비교행렬을 구성하여 상대적 중요도를 구하였다

[Table 10].

[Table 10] Local priorities of alternatives for economical efficiency

구분	대안 I	대안 II	대안 III	
중요도	55년	0.274	0.335	0.391
	60년	0.281	0.339	0.380
	65년	0.289	0.350	0.362
	70년	0.295	0.362	0.343
	75년	0.304	0.376	0.320
	80년	0.308	0.398	0.294
	85년	0.306	0.438	0.256

비교속성의 상대가중치에 비교속성별 대안의 중요도를 종합하여 공용수명별로 정리한 종합중요도는 [Fig. 6]과 같다.



[Fig. 6] Overall priority of alternatives for service lives

비교속성에 대한 대안의 AHP 기법에 의한 평가결과, 목표공용수명이 비교적 작을 경우 PSC-I형 거더교가 최적대안으로 선정되었으며, 목표공용수명이 증가함에 따라 PSC-I형 거더교의 경제적 중요도가 감소하면서 소수주형교가 우수한 것으로 나타났다.

5 결론

본 연구에서는 다속성 의사결정 기법의 하나인 AHP 기법을 적용하여 세가지 대안교량형식인 강상자형교, 소수주형교, PSC-I형 거더교에 대해 경제성, 경관성, 안전성 및 기능성, 유지관리 용이성, 시공성을 비교속성으로 중요도를 구하고 이로부터 공용수명별 최적의 대안을 선정하는 모델을 제시하였다.

- 1) 비용측면인 경제성만을 고려할 경우 PSC-I형 거더교의 경우 목표공용수명 55~65년, 소수주형교의 경우 목표공용수명 70년 이상일 때 우수한 것으로 나타났다.
- 2) PSC-I형 거더교의 경우 공용수명이 증가함에 따라 소요 내하력이 강상자형교나 소수주형교에 비해 급속히 상승하게 되어 단면이 커지게 되고 이에 따라 비용

의 증가량이 강재교량에 비해 급속히 커져 생애주기 비용의 상승을 유발하였다.

- 3) 각각의 비교속성에 대해서는 경제성이 가장 지배적인 속성으로 나타났으며, 유지관리 용이성이 가장 낮은 중요도를 나타내었다.
- 4) 경제성을 제외한 대안교량형식들의 속성만을 고려할 경우 강상자형교가 우수한 것으로 나타난다.
- 5) AHP 기법에 의한 대안의 평가결과, 목표공용수명이 비교적 작을 경우 PSC-I형 거더교가 최적대안으로 선정되었으며 목표공용수명이 증가함에 따라 PSC-I형 거더교의 경제성에 대한 중요도가 감소하면서 소수주형교가 우수한 것으로 나타났다.
- 6) 향후 본 연구의 사례 이외의 다양한 경우에 대해 기준을 확립하여 보다 신뢰성 있는 쌍대비교행렬을 구성하여야 할 것이다.

Reference

- 1) Saaty, T., The Analytic Hierarchy Process, McGraw New York, 1980.
- 2) Saaty, T., Prediction, Projection and Forecasting, Kluwer Academic Publishers, London, 1990.
- 3) 신영석, 박장호, 안예준, 이현섭, "강박스 거더의 생애주기비용 최적설계," 한국전산구조공학회 논문집, 제18권 제4호, pp. 445-452, 2005.
- 4) Shin, Y. S., Park, J. H., and Kim, T. H., "Optimum life-cycle-cost design for bridge structures considering damage probability," Proc. of the Fourth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, pp.975-982, 2008.
- 5) 한국도로교통협회, 도로교설계기준, 2005.
- 6) 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 2003.
- 7) 한국개발연구원, 도로부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구, 2001.
- 8) De Brito, J. and Branco, F. A., "Bridge Management Policy Using Cost Analysis," Proc. of Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings, pp. 431-439, 1995.
- 9) 시설안전기술공단, 도로교의 공용수명 연장방안 연구, 2000.
- 10) 한국도로공사, 고속도로 교량 형식별 생애주기비용(LCC) 분석 연구, 한국도로공사 기술심사실, 2003.
- 11) 안장원, 김용수, 김수삼, AHP 기법과 LCC개념을 이용한 교량상부구조형식의 선정방법에 관한 사례연구, 대한토목학회 논문집, 21(5-D), pp.673-681, 2001.
- 12) Hugh Hawk, NCHRP REPORT 483-Bridge Life Cycle Cost Analysis, Transportation Research Board of The National Academies, Washington D.C., 2003.
- 13) 장미숙, 생애주기비용과 계층적분석과정 기법의 최적교량 대안 선정 방법론, 석사학위논문, 충북대학교, pp.85, 2004.