

교량 유지관리 대안의 경제성 평가 연구

The Research on Economic Valuation of Maintenance Alternatives for Bridge

이용수*

Lee, Yongsu

Abstract

Bridge is an indispensable facility as a social overhead capital. This study suggests and examines the ways of Economic valuation on maintenance alternatives for Bridge. In order to evaluate each alternative on the basis of the same time, the concepts of the basic year and the valuation year are introduced and applied. Interest rates and discount rates are also applied according to the time when each cost is incurred. This study also suggests the ways that the objects of the valuation on maintenance alternatives are not limited to construction cost, but the valuation period is fixed and so maintenance cost and remaining value incurred by maintenance alternatives are valued. Furthermore, this study shows the way to estimate and evaluate maintenance cost through direct construction cost and annuity present value coefficient and the way to estimate remaining value based on the basic year. In addition, this study suggests economic valuation system, cost methods and analyses of the result through verification. The proposed system is considered to be applied to practical business.

Keywords : Economic valuation, annuity present value coefficient, remaining value, basic year

요 지

교량은 사회간접자본에 해당되는 시설물이다. 본 연구에서는 교량 유지관리 대안들에 대한 경제성 평가방법을 제안하고 이를 검증해 보았다. 각 대안들을 동일시점 기준으로 평가하기 위해 기저년도와 평가년도 개념을 도입하여 적용하였으며, 각 비용발생시기에 따라 이자율이나 할인율을 적용하였다. 본 연구에서는 유지관리 대안의 평가대상을 공사비용에 국한하지 않고, 평가기간을 정하여 유지관리 대안으로 인해 발생하는 관리비용 및 잔존가치를 평가하는 방법을 제안하였다. 직접공사비와 연금현재가치계수를 통해 유지관리 비용산정과 평가방법을 제시하였고, 기저년도를 기준으로 하는 잔존가치 산정방법을 제시하였다. 또한, 경제성 평가시스템을 제안하였고 검증을 통해 계산방법과 그 결과를 분석하여 제시하였다. 제안한 시스템은 실무에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 경제성평가, 연금현재가치계수, 잔존가치, 기저년도

1. 연구의 배경

교량 유지관리는 사후관리, 일상관리, 예방관리로 구분되는데 이는 손상 발견시의 보수·보강 또는 교체공사 시점과 관련된 분류라고 할 수 있다. 교량이 안전성, 통행성, 내구성을 제공하기 위해서는 진단(안전진단이나 정밀안전진단)을 통해 발견된 손상원인과 손상범위를 제거하고 복구하는 작업이 필수적이나 복구작업의 중요성에 비해 공법선정은 (안전)진단보고서 뒤에 포함된 자료에 의존하여 결정되는 경우가 적지 않았다.

교량의 보수·보강 또는 교체작업은 단순한 상태회복이나, 등급상향을 위한 작업에 그치는 것이 아니라 그 이후의 잔존 내용연수동안 필요한 유지관리 개념과 내역에 대한 변화의 시발점을 의미한다고 할 수 있다. 유지관리 단계의 보수·보강작업이나 교체작업에 대한 경제성분석은 발생한 결

과에 대한 대안을 대상으로 하지만 건설사업 초기단계에서의 경제성분석은 생애주기 비용이 제공하는 예측을 대상으로 한다. 즉, 경제성분석의 적용시기와 적용내용 및 적용환경이 다른 만큼 분석에 이용되는 방법도 달라질 수 있다.

국내 건설업계의 공공시설물 조달프로세스는 한정적인 투자재원 때문에 전체 생애주기비용을 절감하기 위한 초기투자 확대보다 건설비용 절감에 노력했음을 부인하기 어렵다. 비용 절감을 중요하게 생각한 시기에 건설된 많은 교량들의 보수·보강 또는 교체작업 시기가 도래하면서 유지관리 대안들에 대한 객관적이고 합리적인 평가 방법들이 요구되나 아직 국내에서는 이와 관련된 논의나 준비가 부족한 실정이다.

2. 선행연구 조사 및 연구 목적

교량의 내용연수 동안 사용되는 유지관리 비용의 비율이

*정회원 · 광주대학교 공과대학 토목공학과 부교수(E-mail: ysl@gwangju.ac.kr)

높아지고 그 비중이 높아짐에 따라 관련 연구가 활발히 진행되었고, 초기건설비에 유지관리비 및 해체·폐기비용까지 고려한 연구(한국건설기술연구원, 1999; 안장원 외, 2000; 강창희 외 2004)가 진행된 바 있다. LCC분석을 이용한 교량의 경제성연구(이영대 외, 2001; 권순철 외, 2007), 교량 유지관리 수준에 따른 비용연구(천용현 외, 2005)들은 유지관리 단계에서의 비용최적화와 관련된 연구들이다. 이 외에도 특정 교량을 대상으로 경제성을 연구한 “강교 유지관리 단계의 생애주기비용 모델개발”(조효남 외, 2004), “LCC기법을 이용한 PSCI형 교량의 경제성분석에 관한 사례연구”(강창희 외, 2004), “손상된 RC교량의 유지관리 및 보수보강을 위한 전문가 시스템개발”(이경동 외, 2003) 등이 있다. 교량의 경제성과 관련된 선행연구들을 분석한 결과 많은 연구가 생애주기 동안의 총비용 최적화와 관련된 연구들이었고, 유지관리 대안에 대한 경제성 비교분석이나 평가방법에 대한 국내연구는 부족한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 유지관리 대안에 대한 경제성 평가방법을 제시하고 이를 검증하여 실무에 적용할 수 있는 기본 틀을 제공하는 것을 목적으로 하고자 한다.

3. 경제성 평가의 요소와 개념

3.1 경제성 평가에 사용한 개념

본 연구에서 교량 유지관리 대안의 경제성 평가를 위해 사용한 개념을 정리해 보면 다음과 같다.

유지관리 대안 : 진단 후 교량의 상태 회복이나 복구를 위해 제안된 보수·보강 또는 교체 공사를 의미한다.

응급공사(EW, emergency work) : 응급공사는 기저년도까지, 다시 표현하면 교통통행을 재개한 시점까지 수행된 공사를 의미한다. 유지관리 대안(보수·보강 또는 교체)은 모두 응급공사부터 시작되며, 경우에 따라 후속공사가 계획될 수 있다. 특정년도를 표시하기 위해 앞에 Y(Year)를 붙여서 YEWO로 표기하기도 하였다.

후속공사(FW, follow-up work) : 응급공사와는 시기적으로 차이가 있게 계획된 작업을 의미한다. 보수·보강 공사로 응급공사를 하고 몇 년간 사용한 후에 교체공사를 한다고 할 때, 뒤에 시행하는 공사가 후속공사에 해당된다. 응급공사만으로 공사가 종료될 경우, 후속공사가 없을 수도 있다. 특정년도를 표시하기 위해 앞에 Y(Year)를 붙여서 YFW로 표기하기도 하였다.

기저년도(BY, basic year) : 서로 다른 시기에 발생한 비용을 비교하기 위해 사용한 기준년도이며, 응급공사(EW) 후에 교통통행을 재개한 해이다. 통행재개는 마무리 작업이 남아있는 상태에서도 가능하기 때문에, 통행재개 상태가 반드시 정상적인 운영상태를 의미하지는 않는다. 마무리작업은 통행재개 후 1년 이내에 종료되는 잔업이며 후속공사(FW)와는 다르기 때문에 작업종료시기가 잔존 내용연수에 영향을 주지 않는 것으로 하였다. 특정년도를 표시하기 위해 앞에 Y(Year)를 붙여서 YBY로 표기하기도 하였다.

평가기간(UD, used duration) : 보강이나 교체 등의 대안은 교량의 내용연수를 증가시킬 수 있기 때문에 여러 대안들을 동일한 기준으로 비교하기 위해 도입한 기간이다. 평가

기간은 대안들의 잔존 내용연수 가운데 사용기간이 겹치는 기간이다. 평가기준년도를 표시하기 위해 앞에 Y(Year)를 붙여서 YUD로 표기하기도 하였다.

자본비용 : 자본비용은 자본을 사용하는 데 필요한 사용비용이다. 본 연구에서는 서로 다른 시기에 발생하는 비용을 기저년도(YBY) 기준으로 비교하기 위해, 할인율이나 이자율을 사용하여 자본비용을 계산하였다.

내용연수 : 교량을 신설하거나 개축을 할 경우 기대되는 사용기간이며, 교량의 감가상각주기를 의미한다. 교체를 할 경우 새로운 내용연수가 시작되고, 보수·보강을 할 경우 내용연수를 연장하게 된다.

공용기간 : 내용연수가 시작되어 경과된 기간 즉, 사용된 기간을 의미한다.

잔존기간 : 평가기준년도에서 평가사유 발생년도까지의 기간. 평가사유 발생년도는 기저년도, 응급공사 완료년도, 후속공사 완료년도 등이 될 수 있다.

3.2 투자와 비용 요소

유지관리 대안의 경제성 평가에 사용한 감가상각, 비용지수, 현재가치, 현금현재가치, 이자율 및 유지관리 요율에 대해 정리하였다.

3.2.1 감가상각

시설물의 감가상각은 시설물의 가치와 내용연수로 표현되며 법정 감가상각방법에는 정액법과 정률법이 있다. 일반적으로 공공시설물의 감가상각에는 정액법이 사용된다. 연평균 감가상각액(D_y)은 사용가능한 시설의 자산가치(K)를 내용연수(L)로 나누어 구한다.

$$D_y = \frac{K}{L} \quad (1)$$

D_y : 연평균 감가상각액, K : 자산가치, L : 내용연수

누적감가상각액(D)은 지 L 까지만 사용한 년 수(n)에 연평균 감가상각액(D_y)을 곱하여 구할 수 있다.

$$D = D_y \times n \quad (2)$$

상부와 하부구조물이 서로 다른 형식(구조/재료)을 취하고 있을 경우, 두 구조물은 서로 다른 기준에 의해 감가상각된다. 독일 감가상각규정(BMV, 1988)에서는 콘크리트교량의 경우 110년, 강교의 경우 70년 정도를 감가상각 기간으로 보고 있다. 이를 이용하여 공용기간 30년이 경과된 강합성교(하부: 콘크리트 구조, 상부: 강구조)에 대해 연평균 감가상각액을 계산해 보면 표 1과 같다. 상부구조물과 하부구조물

표 1. 감가상각 계산 예

변 수	하부구조물	상부구조물
건설비용(준공년도기준) (억 원)	4.51	6.87
내용연수(년)	110	70
공용기간(년)	30	30
연평균감가상각액(억원/a)	$\frac{4.51}{110} = 0.041$	$\frac{6.87}{70} = 0.098$

내용연수 : 예상 총 사용기간, 공용기간 : 이미 사용한 기간

의 차이에 의해 연 평균 감가상각액이 달라지며, 30년간의 누적감가상각 총액은 준공년도 기준금액으로 $(0.041+0.098) \times 30 = 4.17$ 억 원이 된다.

3.2.2 비용지수

시간의 경과와 함께 물가가 변화하지만 기술상의 진보 및 관련 산업분야의 발전 또한 비용의 변화를 가져온다. 준공년도와 건설기간이 서로 다른 건설물의 경제성을 비교하기 위해서는 해당년도의 건설비용에 건설관련 지수를 반영하였을 때 보다 정확한 비교가 가능하다. 하지만, 한국은행 경제통계시스템에서 제공하는 건설관련 생산자물가지수는 1995년부터 시작된다. 통계청에서 제공하는 건설공사비지수는 2000년 1월부터의 자료만 제공하고 있다. 위와 같은 이유로 1995년 이전에 건설된 시설물의 경제성 비교를 위해 일반적인 생산자물가지수를 사용하였다. 표 2는 한국은행의 생산자물가지수를 정리한 것이다.

3.2.3 현재가치

유지관리 대안(보수·보강이나 교체)으로 인해 발생하는 가치는 공사단계 및 경제성 평가기간 동안에 발생할 모든 가치를 합한 것이다. 서로 다른 시기에 발생한 여러 대안들의 비용을 비교하기 위해서는 기저년도를 기준으로 발생시점에 따라 할인 또는 이자가 포함된 가치로 계산해야 된다. 동일한 크기의 비용이라고 하더라도, 미래시점에 지불하게 될 비용이나 과거시점에 지불한 비용의 가치는 서로 다르게 평가된다. 이는 미래의 시점이나 과거의 시점에 대해 물가지수나 금리지수가 반영되기 때문이다. 따라서 기저년도 이전(v)에 지불된 비용(K_i)의 경우에는 이자(z)를, 기저년도 이후에 발생할 비용에 대해서는 할인율을 적용하게 된다. 기저년도 이후의 기간은 잔존 내용연수(n)까지가 대상이 된다. 유지관리 대안이 발생시킨 현재가치(K_0)는 기저년도를 기준으로 다음과 같이 계산된다(Schelle, 1992).

$$K_0 = \sum_{i=-v}^{-1} K_i \frac{1}{q^i} + \sum_{i=0}^n K_i \frac{1}{q^i} = \sum_{i=-v}^n K_i \frac{1}{q^i} \quad (3)$$

표 2. 생산자물가지수 (2005 = 100)

년도	물가지수	년도	물가지수	년도	물가지수	년도	물가지수
1965	6.0	1977	25.5	1989	62.2	2001	90.6
1966	6.5	1978	28.5	1990	64.8	2002	90.3
1967	7.0	1979	33.8	1991	67.9	2003	92.3
1968	7.5	1980	47.0	1992	69.4	2004	97.9
1969	8.0	1981	56.6	1993	70.4	2005	100
1970	8.8	1982	59.2	1994	72.3	2006	100.9
1971	9.5	1983	59.3	1995	75.7	2007	102.3
1972	10.9	1984	59.8	1996	78.2	2008	111.1
1973	11.6	1985	60.3	1997	81.2	2009	110.9
1974	16.5	1986	59.4	1998	91.1	2010	115.1
1975	20.9	1987	59.7	1999	89.2	2011	122.1
1976	23.4	1988	61.3	2000	91.0		

출처 : 한국은행 경제통계시스템 (<http://ecos.bok.or.kr>)

$$q = 1 + \frac{z}{100} \quad (\text{계산 예: } z = 3\%, q = 1.03)$$

K_0 : 기저년도 기준 현재가치, K_i : 년도별 지불비용, z : 이자, q : 이자율, i, v : 년도, n : 잔존내용연수

수식 (3)에는 두 개의 Σ 로 표현된 부분이 있는데, 앞부분은 기저년도 이전의 비용에 대해 이자를 곱한 부분이고, 뒷부분은 미래의 가치에 대해 할인율을 적용한 부분이다. 기저년도를 기준으로 보수·보강이나 교체작업이 1년 안에 종료될 경우, 위의 식은 다음과 같이 단순화될 수 있다.

$$K_0 = \sum_{i=0}^n K_i \frac{1}{q^i} \quad (4)$$

K_0 : 기저년도 기준 현재가치, K_i : 년도별 지불비용, q : 이자율, i : 년도, n : 잔존내용연수

표 3은 유지관리 대안으로 인해 지출된(될) 비용을 2012년을 기저년도로 하여 3%의 이자율로 현재가치를 계산한 것이다. 2016년의 1억 9천만원은 기저년도 가치로 1억 6천9백만원 정도에 해당됨을 알 수 있다. 한편, 모든 비용은 발생년도의 발생시점과 무관하게 연말에 정산되는 것으로 하였다. 이를 통해 현재가치를 계산하는 이자율의 시점을 일관되게 적용할 수 있다.

3.2.4 연금현재가치계수

매년 동일한 자금의 투자나 비용이 필요할 경우, 일정기간 동안 발생한 총비용을 기저년도 가치로 계산하기 위해 연금현재가치계수를 이용한다. 연금현재가치계수(r_n) 계산방법은 임의의 기간(n)까지 발생하는 이자율을 누적하는 방법을 이용한다(Warnecke, 1990).

$$r_n = \frac{1}{q^1} + \frac{1}{q^2} + \frac{1}{q^3} + \dots + \frac{1}{q^n} = \sum_{i=1}^n q^{-i} = \frac{q^n - 1}{q^{n*} (q - 1)} \quad (5)$$

$q = 1 + \frac{z}{100}$, z : 이자, q : 이자율

표 4는 2.5%~5%의 이자율에 대해 연금현재가치계수를 계산하여 일부 제시한 것이다. 2.5%와 5%를 비교해 보면 1년차 계수는 서로 큰 차이를 보이지 않으나 시간이 증가하면서 2.5%일 때의 계수가 빠르게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 그만큼의 빠른 가치하락을 의미한다.

유지관리 대안을 통해 교량의 잔존수명이 70년으로 연장되었고 이 기간에 매년 5천만 원의 유지관리비용이 필요하

표 3. 자본가치 계산 예 단위 : 억원

년도	비용	자본가치
2010	3.5	3.71
2011	2.0	2.06
2012	1.7	1.7
2013	0.7	0.68
2014	0.7	0.66
2015	0.7	0.64
2016	1.9	1.69
2017	1.2	1.04

표 4. 연금현재가치계수(r_n)

년	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%
1	0.97561	0.97087	0.96618	0.96154	0.95694	0.95238
5	4.64583	4.57971	4.51505	4.45182	4.38998	4.32948
10	8.75206	8.53020	8.31661	8.11090	7.91272	7.72173
15	12.38138	11.93794	11.51741	11.11839	10.73955	10.37966
20	15.58916	14.87747	14.21240	13.59033	13.00794	12.46221
25	18.42438	17.41315	16.48151	15.62208	14.82821	14.09394
30	20.93029	19.60044	18.39205	17.29203	16.28889	15.37245
35	23.14516	21.48722	20.00066	18.66461	17.46101	16.37419
40	25.10278	23.11477	21.35507	19.79277	18.40158	17.15909
45	26.83302	24.51871	22.49545	20.72004	19.15635	17.77407
50	28.36231	25.72976	23.45562	21.48218	19.76201	18.25593
55	29.71398	26.77443	24.26405	22.10861	20.24802	18.63347
60	30.90866	27.67556	24.94473	22.62349	20.63802	18.92929
65	31.96458	28.45289	25.51785	23.04668	20.95098	19.16107
70	32.89786	29.12342	26.00040	23.39451	21.20211	19.34268
75	33.72274	29.70183	26.40669	23.68041	21.40363	19.48497
80	34.45182	30.20076	26.74878	23.91539	21.56534	19.59646
85	35.09621	30.63115	27.03680	24.10853	21.69511	19.68382
90	35.66577	31.00241	27.27932	24.26728	21.79924	19.75226
95	36.16917	31.32266	27.48350	24.39776	21.88280	19.80589
100	36.61411	31.59891	27.65543	24.50500	21.94985	19.84791
105	37.00736	31.83720	27.80018	24.59315	22.00366	19.88083
110	37.35494	32.04276	27.92206	24.66560	22.04684	19.90663

다고 가정하면, 필요한 총 비용의 현재가치는 이자율에 따라 다르게 계산된다. 이자율 2.5~5%일 때의 계산결과를 표 5에 정리하였다.

표 5의 계산결과에 의하면 이자율이 3%일 경우에는 14억 5천 6백만원, 4%일 경우에는 11억 7천만원, 5%일 경우에는 9억 6천 7백만원이 현재가치로 필요함을 알 수 있다. 연금현재가치계수는 각 대안들이 발생시키는 유지관리비총액을 기저년도 기준으로 계산하기 위해 이용하였다.

3.2.5 이자율

내용연수가 긴 교량에서 이자율이 계산결과에 주는 영향력은 작지 않다. 경제성 평가에서는 이자율이 갖는 영향력을 최소화하기 위해 동일 이자율을 적용하였다. 우리나라의 경우 2001년부터 2011년까지의 무담보 콜금리가 2%~5%, 국고채 3년 만기 금리가 4~6% 정도를 보이고 있기 때문에 본 연구에서는 인플레이션을 고려하여 최저 이자율 4%를 적용하는 것으로 하였다.

3.2.6 유지관리요금

교량에 필요한 유지관리 예산을 산정하는데 사용되는 것이

표 5. 현재가치 계산 예

이자율	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%	4.5%	5.0%
r_n	32.89786	29.12342	26.00040	23.39451	21.20211	19.34268
현재가치	1644.893	1456.171	1300.02	1169.726	1060.106	967.1338

(가치단위 백만원, $n = 70$ 년, 5천만원/년 기준)

표 6. 독일 감가상각규정에 의한 교량 내용연수와 유지관리요금

교량구조 구분		내용연수	유지관리요금
하부	조적 또는 콘크리트	110	0.5
	철근콘크리트	110	0.5
	강		
	부식방지 없음		
	지상 수중	60 50	0.4 0.6
	부식방지 처리		
	지상 수중	80 70	0.4 0.6
상부	철근콘크리트	70	0.8
	프리스트레스 콘크리트	70	1.1
	강	80	1.2
	강합성	70	1.1

유지관리 요금이다. 최길대(2002)는 시설안전기술공단의 항목별 요금을 조사하여 수명주기 분석에 사용하였고, 천용현 외(2005)는 LCC분석에 사용하기 위해 외국의 유지관리요금을 조사하여 제시하였다. 하지만 시설안전기술공단의 유지관리 요금은 아직 체계적인 통합관리시스템에 의해 작성된 것이 아니었고, 외국의 사례는 구조물 분류가 없는 표준요금에 불과했다. 본 연구에서는 독일에서 현재 사용중인 감가상각 규정(BMV, 1988)에 제시된 교량의 내용연수와 유지관리 요금을 사용하고자 한다(표 6 참조).

4. 경제성 산정과 평가

유지관리 대안들의 경제성을 평가하는 요소로 본 연구에서는 상부구조물과 하부구조물을 구분하여 공사비용, 유지관리 비용 및 잔존가치를 고려하였다. 유지관리 단계에서 상부구조물과 하부구조물을 구분하는 이유는 구조물 형식에 의해 유지관리요금 차이가 존재하기 때문이다. 상부와 하부에 제시될 수 있는 유지관리 대안의 조합을 표 7에 제시해 보았다. 대안조합에서는 교체와 보수·보강을 구분하였다. 교체 부분의 내용연수(예상 총 사용기간)는 새로 시작되지만, 보수·보강된 부분의 내용연수는 새로 시작되지 않고 연장되기 때문이다.

유지관리 대안별 비용총액(K_A)은 하부구조물 비용(K_{UT})과 상부구조물 비용(K_{OT})을 합하여 구할 수 있다.

$$K_A = K_{UT} + K_{OT} \quad (6)$$

상부비용(K_{OT}) 또는 하부비용(K_{UT})계산에는 대안의 시공비용(K_C), 유지관리 비용(M , Maintenance), 잔존가치(R , Remaining value)를 사용하였다. 평가기간까지의 가치는 발

표 7. 교량 유지관리 대안 조합

	A	B	C	D	E	F	G	H
상부	교체	보수 보강	교체	보수 보강		교체		보수 보강
하부	보수 보강	보수 보강	교체	교체	보수 보강		교체	

생한 비용에서 잔존가치를 뺀 가치이다(식 (7)).

$$K_{UT} \text{ 또는 } K_{OT} = K_C + M - R \quad (7)$$

경제성 비교검토를 위해 모든 비용계산에는 자본비용개념을 적용하였다. 즉, 기저년도를 기준으로 비용이 발생한 시기에 따라 할인율 및 이자율을 계산하여, 동일 기준에 의한 비용평가를 할 수 있도록 하였다.

4.1 공사비용

제안된 대안 가운데에는 작업내역의 특성 또는 재정적인 이유에 의해 분할시공이나 추후공사를 해야 하는 경우가 발생할 수 있다. 예를 들어, 예산문제 때문에 보수나 보강공사를 먼저 시행하고 일정 시점이 경과한 후 교체공사를 계획하는 사례가 있을 수 있다. 본 연구에서는 이를 응급공사(EW)와 후속공사(FW)로 구분하였다.

그림 2는 교량이 준공된 년도(YOR)부터 자산가치가 감소되고 있음을 보여준다. 기저년도(YBY)는 평가의 기준이 되는 해이면서 응급공사가 완료된 해(YEW)이기도 하다. 교체공사로 후속공사가 완료된 해(YFW)에 투자된 비용의 가치는 교량의 자산가치($K_{M,FW}$)가 되고 응급공사에 투자된 비용도 교량의 자산가치($K_{M,EW}$)가 된다. 교체가 완료된 교량의 잔존 내용연수는 원 교량의 예상 총 사용기간(L_{OR})과 동일하다고 가정하였다.

유지관리 단계에서의 공사비용에는 보수보강이나 교체공사에 순수하게 사용된 비용 외에도, 해체폐기비용, 교통우회나 기타 임시적 조치로 인해 발생 가능한 부대비용도 포함된다. 또한, 후속공사에 따르는 추가비용도 경제성 평가에 포함된다. 경제성평가를 위한 공사비용은 따라서 응급공사(EW)와 후속공사(FW)의 비용 및 부대비용을 합하고 여기에 비용발생시기에 따르는 자본가치(식 (3) 또는 (4))가 반영되어 있어야 한다. 응급공사(EW)의 공사비($K_{C,EW}$)는 직접공사비($K_{보수·보강 \text{ 또는 } 교체}$)에 간접공사비(K_D) 및 일반관리비(K_H)를 합하여 구할 수 있다. 유지관리 대안의 직접공사비는 설계+시공비용을 의미한다.

$$K_{C,EW} = K_{보수보강 \text{ 또는 } 교체} + K_D + K_H \quad (8)$$

단, $K_H = (0.05 \sim 0.06) * (K_{보수보강 \text{ 또는 } 교체} + K_D)$

국내 회계예규에 제시된 일반관리비의 요율을 정리하면 표 8과 같다.

표 8. 일반관리비 요율

전문공사 등		일반공사	
5천 만원 미만	6.0	3억 이하	6.0
5천 만원 이상~3억 미만	5.5	3억 이상~30억 미만	5.5
3억 이상	5.0	30억 이상	5.0

응급공사에 1년 이상의 기간이 필요할 경우에는 다른 대안과의 경제성비교를 위해 기저년도를 중심으로 정산시기에 따른 자본비용(할인율 및 이자율)을 계산할 필요가 있다. 응급공사 후 수 년이 지난 시점에 계획된 후속공사의 경우에도 기저년도 기준의 비용계산이 필요하다. 후속공사(FW)의 공사비($K_{C,FW}$)를 구하는 식은 아래와 같다.

$$K_{C,FW} = (K_{보수보강 \text{ 또는 } 교체} + K_D + K_H) * \frac{1}{q^{YFW-YBY}} \quad (9)$$

$K_{보수·보강 \text{ 또는 } 교체}$: 직접공사비, K_D : 간접공사비, K_H : 일반관리비, $q^{YFW-YBY}$: 후속공사년도와 기저년도 사이의 이자율

4.2 자본비용이 포함된 유지관리 비용

각 대안의 경제성 비교평가에는 평가대상기간 동안 필요한 유지관리 비용을 기저년도 가치로 변환한 값이 사용된다. 대안별 유지관리 비용은 잔존 내용연수기간동안에 필요한 총 비용을 잔존기간으로 나눈 연평균유지관리비용을 일반적으로 사용한다. 연평균유지관리비용을 동일한 비용이 계속적으로 나열된 수열로 보면, 기저년도를 기준으로 하는 총비용 계산에는 연금현재가치계수(식 (5))를 사용할 수 있다. 기저년도를 기준으로 n년까지 필요한 총 유지관리비용(M_n)을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$M_n = K_M * \frac{p}{100} * \frac{q^n - 1}{q^n(q-1)} = K_M * \frac{p}{100} * r_n \quad (10)$$

K_M : 교량의 자산가치, p : 유지관리요율, q : 이자율

단, K_M 은 유지관리비 비용 산정에 사용되는 기준비용이며 공사원가에 일반관리비가 포함된 시설물의 자산 가치이다. p 는 구조물에 대한 유지관리요율을 의미한다.

국내 회계예규에 의하면, 직접공사비는 구조물에 직접적으로 사용되는 비용이고 간접공사비는 비계나 동바리 같이 보조적으로 사용되는 비용으로 정의하고 있다. 교량 교체공사를 할 경우 임시적 교통통행을 위해 우회도로나 가교를 제공해야 하는데, 이를 간접공사비로 분류하였다. 유지관리비는 공사비에 유지관리요율을 곱해서 결정하게 되는데, 가교 같은 간접공사비를 유지관리비 산정의 기준이 되는 공사비에 포함시키는 것은 유지관리비용만 상승시키는 결과를 가져오게 된다. 따라서 본 연구에서는 직접공사비와 간접공사비를 구분하여 직접공사비와 일반관리비만을 대상으로 유지관리 비용을 산정하였다.

4.2.1 보수내역만 제안된 교량의 유지관리비용

유지관리 생애주기 동안 보강이나 교체작업 없이 보수공사만 할 경우 유지관리 대상의 변화가 없기 때문에 유지관리

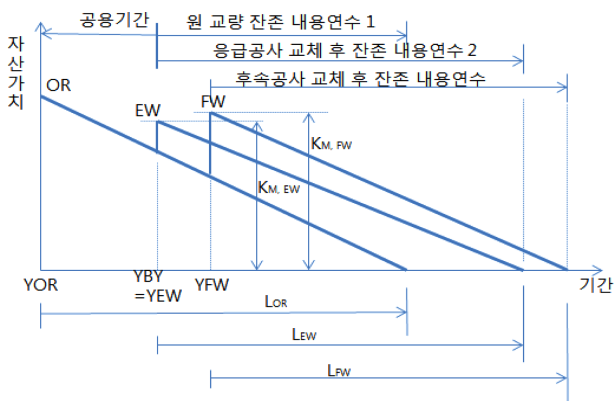


그림 1. 응급공사(EW)와 후속공사(FW) 개념

요율에도 변화가 없다. 기저년도를 기점으로 하는 새로운 유지관리비용을 계산하기 위해서는 교량이 준공된 년도의 물가지수(IDX_{OR})와 기저년도(BY)의 물가지수(IDX_{BY})를 사용하여 준공년도의 건설비용을 기저년도의 건설비용으로 변환할 필요가 있다. 준공년도의 건설비용($K_{C,OR}$)에 기저년도를 기준으로 하는 물가지수를 곱하면 원 교량의 자산가치를 기저년도 기준가치($K_{M,OR}$)로 환산할 수 있다.

$$K_{M,OR} = IDX_{BY/OR} * K_{C,OR} \quad (11)$$

$$IDX_{BY/OR} = \frac{IDX_{BY}}{IDX_{OR}}$$

$K_{M,OR}$: 원 교량의 기저년도 기준가치
 $K_{C,OR}$: 준공년도의 교량가치
 IDX : 물가지수(표 2 참조)

원 교량의 연간 유지관리비(M_{OR})를 보강이나 교체가 제안된 다른 대안과 비교하기 위해서는 평가기간동안 기저년도를 기준으로 이자율과 할인율이 적용된 자본비용 계산이 필요하다. 이는, 기저년도 기준가치에 원래 교량의 유지관리요율을 곱한 후 기저년도부터 평가기간까지 연금현재가치계수($r_{YUD-YBY}$)를 곱한 것과 같다. 이를 수식을 사용하여 표현하면 다음과 같다.

$$M_{OR} = K_{M,OR} * \frac{P_{OR}}{100} * r_{YUD-YBY} \quad (12)$$

$K_{M,OR}$: 원 교량의 기저년도 기준가치
 P_{OR} : 기존교량에 대한 유지관리비용 적용요율
 $r_{YUD-YBY}$: 기저년도부터 평가기간까지의 연금현재가치계수

4.2.2 교체내역만 제안된 교량의 유지관리비용

교체작업만 제안된 교량에서는 교체공사가 완료된 시점에서 유지관리비용을 결정하게 된다. 만약 수차래의 상이한 교체작업이 요구된다면 각 교체작업 완료시점마다 새로운 유지관리비용을 계산하고 이를 기저년도 기준의 비용으로 환산해서 다른 대안과의 경제성을 비교한다.

교체공사가 완료된 교량의 자산가치는 직접공사비에 일반관리비를 더한 값이 된다. 응급공사로 교체공사가 종료된 교량의 자산 가치($K_{M,EW}$)와 후속공사로 교체공사가 종료된 교량의 자산 가치($K_{M,FW}$)는 비용발생 시점이 차이를 보정해 기저년도의 가치로 환산해 주어야만 경제성 비교가 가능하다. 응급공사로 교체공사가 종료된 교량에 필요한 총 유지관리비용(M_{EW})을 구하는 식은 아래와 같다.

$$M_{EW} = \frac{P_{EW}}{100} * K_{M,EW} * r_{YUD-YBY} \quad (13)$$

$K_{M,EW}$: 응급공사로 교체된 교량의 자산가치
 P_{EW} : 응급공사로 교체공사가 완료된 교량의 유지관리요율
 $r_{YUD-YBY}$: 기저년도부터 평가기간까지의 연금현재가치계수

후속공사로 교체공사가 종료된 교량의 경우, 응급공사 종료시점에서 후속공사 종료시점까지의 유지관리비용과 후속공사 종료시점 이후의 유지관리비용을 구별하여 계산할 필요가 있다. 교체공사로 인하여 유지관리요율이나 자산가치의

변화가 있을 수 있기 때문이다. 따라서, 후속공사(교체공사)가 완료되기 전까지는 기존 교량에 대한 유지관리 비용을 구하고 후속공사종료 후에는 새로운 교량에 대한 유지관리 비용을 구해 기저년도 시점으로 총 유지관리비용을 환산하면 된다. 후속공사(FW)로 교체공사가 종료된 교량의 유지관리비용 총액(M_{FU})은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$M_{FW} = K_{M,OR} * \frac{P_{OR}}{100} * r_{YFW-YBY} + K_{M,FW} * \frac{P_{FW}}{100} * (r_{YUD-YBY} - r_{YFW-YBY}) \quad (14)$$

$K_{M,OR}$: 원 교량의 기저년도 기준가치
 P_{OR} : 기존교량에 대한 유지관리비용 적용요율
 $r_{YFW-YBY}$: 기저년도부터 후속공사년도까지 연금현재가치계수
 $K_{M,FW}$: 후속공사로 교체공사가 종료된 교량의 자산가치
 P_{FW} : 후속공사로 교체공사가 종료된 교량에 대한 유지관리요율
 $r_{YUD-YBY}$: 기저년도부터 평가기간까지의 연금현재가치계수

4.2.3 다수의 교체가 제안된 교량의 유지관리비용

교량의 잔존 내용연수 동안 다수의 교체공사가 제안된 대안의 유지관리 비용은 4.2.2장에서 제시한 “후속공사로 교체공사를 종료한 교량”의 경우에 사용한 식 (13)과 유사한 방법을 사용하여 구할 수 있다. 다만, 식 전반부에 사용된 기준가치($K_{M,OR}$)를 응급공사로 교체공사가 종료된 교량의 자산가치($K_{M,EW}$)로 바꾸고, 기존교량에 대한 유지관리비용 적용요율(P_{OR})을 교체가 종료된 교량에 맞는 유지관리 적용요율(P_{EW})로 바꾸면 된다. 이를 식으로 제시하면 다음과 같다.

$$M_{FW} = K_{M,EW} * \frac{P_{EW}}{100} * r_{YFW-YBY} + K_{M,FW} * \frac{P_{FW}}{100} * (r_{YUD-YBY} - r_{YFW-YBY}) \quad (15)$$

$K_{M,EW}$: 응급공사로 공사가 종료된 교량의 자산가치
 P_{EW} : 응급공사로 공사가 종료된 교량에 대한 유지관리요율
 $r_{YFW-YBY}$: 기저년도부터 후속공사년도까지 연금현재가치계수
 $K_{M,FW}$: 후속공사로 교체공사가 종료된 교량의 자산가치
 P_{FW} : 후속공사로 교체공사가 종료된 교량에 대한 유지관리요율
 $r_{YUD-YBY}$: 기저년도부터 평가기간까지의 연금현재가치계수

4.3 잔존가치

특정년도 교량의 잔존가치는 건설비용에서 특정년도까지의 누적감가상각가치를 제외한 가치이다. 교량의 경우 공공재라는 특성상 정액법을 통해 총 사용기간에 걸쳐 균등한 감가상각을 실시하는 것이 일반적이다. 감가상각비는 일차선형함수의 형태로 사용되지만 이자율 계산에 사용되는 지수함수(q^n)는 일차선형함수가 아니기 때문에 자산가치의 변화에 따르는 자본비용 계산은 기간을 구분해서 계산해야 한다.

그림 3은 교량의 잔존가치를 원 교량(OR), 응급공사가 종료된 교량(EW) 및 후속공사가 종료된 교량(FW)으로 구분하여, 잔존가치가 0이 되는 기간까지를 나타낸 것이다. 평가기

간(YUD)을 원 교량의 잔존 내용연수 안에서 결정하면 다른 대안과의 가치비교가 가능하다.

잔존기간(D_{OR} , D_{EW} , D_{FW})은 평가기준년(YUD)에서 평가사유 발생년(YBY, YEW, YFW)까지의 기간을 의미하며, 총 사용기간(L_{OR} , L_{EW} , L_{FW})과의 비율을 통해 평가기간 동안의 가치를 계산한다. 교량의 잔존가치(R_{OR} , R_{EW} , R_{FW})는 잔존기간에 대한 이자율(q)을 곱하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_{OR} = K_{M,OR} * \frac{L_{OR} - D_{OR}}{L_{OR}} * \frac{1}{q^{YUD - YBY}} \quad (16)$$

$$R_{EW} = K_{M,EW} * \frac{L_{EW} - D_{EW}}{L_{EW}} * \frac{1}{q^{YUD - YEW}} \quad (17)$$

$$R_{FW} = K_{M,FW} * \frac{L_{FW} - D_{FW}}{L_{FW}} * \frac{1}{q^{YUD - YFW}} \quad (18)$$

R_{OR} : 원 교량의 잔존가치
 R_{EW} : 응급공사가 종료된 교량의 잔존가치
 R_{FW} : 후속공사가 종료된 교량의 잔존가치

L_{OR} , L_{EW} , L_{FW} : 각 교량의 예상 총 사용기간
 D_{OR} , D_{EW} , D_{FW} : 각 교량의 평가기간까지의 잔존기간
 $q^{YUD - YBY}$: 기저년도부터 평가기간까지의 이자율
 $q^{YUD - YEW}$: 응급공사 종료년도부터 평가기간까지의 이자율
 $q^{YUD - YFW}$: 후속공사 종료년도부터 평가기간까지의 이자율

5. 경제성 평가 시스템 구성

교량유지관리를 위해 제시된 대안(보수·보강 또는 교체)의 경제성 계산 프로세스는 그림 4와 같다.

기본정보 단계에서는 교량의 초기공사비, 준공년도, 잔존내용연수 등의 기본정보와 대안별 직접공사비와 간접공사비 정보를 수집한다. 대안별 응급공사 종류가 보수·보강인지 교체인지를 확인한 후 응급공사에 대한 공사비, 유지관리비, 잔존가치를 계산한다. 후속공사가 제안되어 있을 경우에는 후속공사에 필요한 공사비, 유지관리비, 잔존가치를 계산한다. 각 대안별로 누적된 비용을 가지고 타 대안과 비교 후 최우안을 선택한다.

표 9는 공사비, 유지관리비, 잔존가치 계산에 사용되는 식

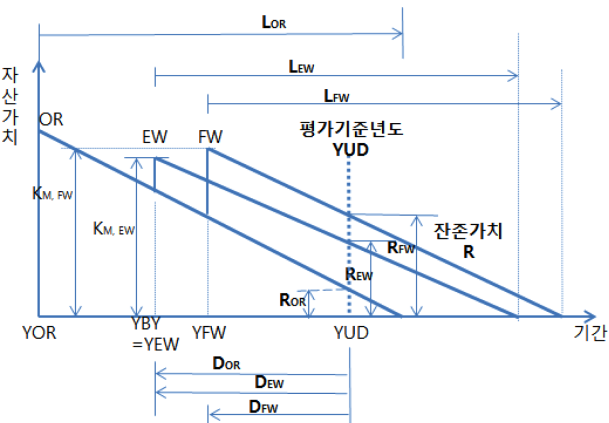


그림 4. 잔존가치(R) 개념과 변수

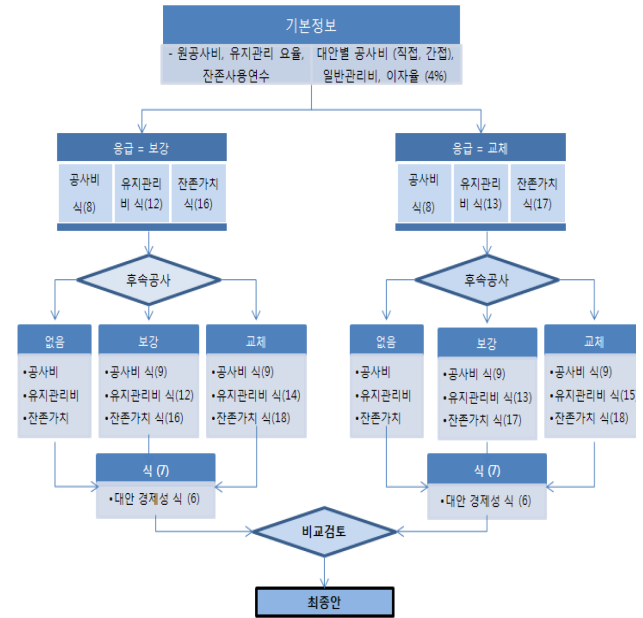


그림 5. 경제성 계산 프로세스

표 9. 유지관리 대안조합별 적용계산식

응급 - 후속	공사비	유지관리비	잔존가치
보강 - 없음	식 (8)	식 (12)	식 (16)
보강 - 보강	식 (8) + 식 (9)	식 (12)	식 (16)
보강 - 교체	식 (8) + 식 (9)	식 (14)	식 (18)
교체 - 없음	식 (8)	식 (13)	식 (17)
교체 - 보강	식 (8) + 식 (9)	식 (13)	식 (17)
교체 - 교체	식 (8) + 식 (9)	식 (15)	식 (18)

보강은 보수와 보강을 의미한다.

을 유형별로 정리해 놓은 것이다. 응급공사로 교체공사를 한 후, 후속공사가 없는 경우에는 공사비에 식 (8), 유지관리비에 식 (13), 잔존가치에 식 (17)을 사용하여 계산할 것을 제시해 주고 있다.

6. 평가시스템 점검 및 분석

5장에서 제안한 경제성 평가시스템을 점검해 보기 위해 전문가의 도움을 구해 적용사례를 구성해 보았다. 표 10에 제시된 사례는 현존 교량이 아닌 시스템 점검을 위해 구성한 것이다. 아래는 구성조건에 대한 설명이다.

하부구조는 철근콘크리트 구조이고 상부는 강합성 구조이다. 1978년 준공된 이래 부실한 유지관리로 차감내용연수가 콘크리트 구조물의 경우는 40년 강구조물의 경우는 30년 정도로 추정된다. 교량의 상태를 진단한 결과 3가지 유지관리 대안이 제시되었다.

대안 1은 상부와 하부를 모두 교체하는 것이다. 상부와 하부구조물 교체에 들어가는 비용은 직접공사비와 간접공사비로 나누어 표 10에 정리하였다. 대안 2는 하부를 보강하고 상부만 교체해서 사용하다가 2058년에 교체를 하는 안이고, 대안 3은 상부와 하부 구조물 모두 보강해서 사용하다가 2040년에 모두 교체를 하는 안이다. 평가기간은 2080년으로 하였고 구조형식별 내용연수와 유지관리요율은 독일의 감가상각 규정에 제시된 요율을 사용하였다.

표 10. 평가시스템 점검 대안

	대안 1		대안 2		대안 3	
기저년도	2010		2010		2010	
후속공사종료년도			2058		2040	
평가기간	2080		2080		2080	
준공년도	1978		1978		1978	
구조물분류	하부	상부	하부	상부	하부	상부
응급공사(EW)	교체	교체	보강	교체	보강	보강
후속공사(FW)			교체		교체	교체
구조형식	철콘	강합성	철콘	강합성	철콘	강합성
내용연수(년)	110	70	110	70	110	70
차감내용연수(추정,년)			-40		-40	-30
EW잔존내용연수(년)	110	70	70	70	70	60
FW잔존내용연수(년)			110	70	110	70
유지관리요율						
원교량	0.5	1.1	0.5	1.1	0.5	1.1
EW	0.5	1.1	0.5	1.1	0.5	1.1
FW			0.5	1.1	0.5	1.1
초기건설비용(억원)	18	67	18	67	18	67
응급공사(EW)						
직접공사비(억원)	73.4	267.5	31.5	267.5	31.5	178.5
간접공사비(억원)	7.1	22.5	5.87	22.5	5.87	21.7
후속공사(FW)						
직접공사비(억원)	0	0	73.4	267.5	73.4	267.5
간접공사비(억원)	0	0	7.1	22.5	7.1	22.5

그림 5는 대안 1의 하부구조물에 대한 부분으로 독자의 이해를 돕기 위해 구성한 것이다. 원 교량(OR)의 자산가치 하락과 응급공사(EW)가 완료된 후 변화된 자산가치($K_{M,EW}$)를 볼 수 있다. 대안에 대한 평가를 하고자 하는 기준년도인 기저년도(2010)는 응급공사가 완료된 시점(YEW=2010)이고 평가기간(YUD=2080)까지의 잔존기간(D_{EW})은 70년이 남

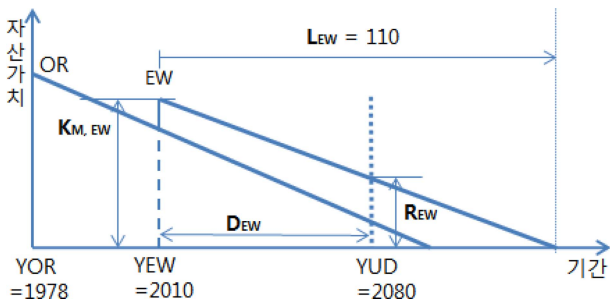


그림 6. 대안 1 하부구조물

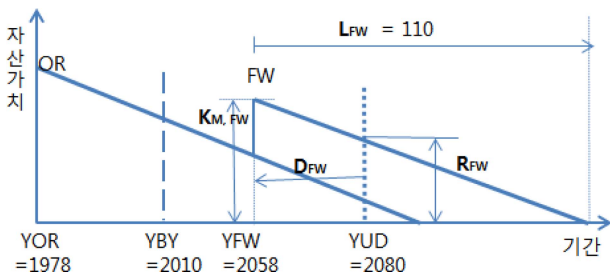


그림 7. 대안 2 하부구조물

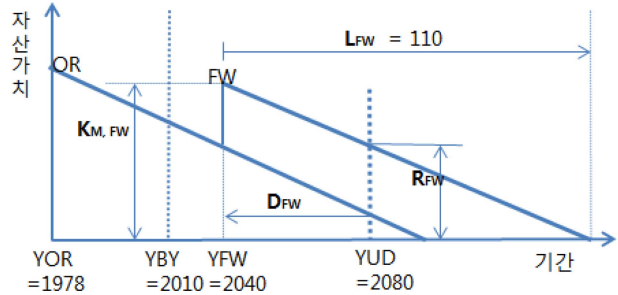


그림 8. 대안 3 하부구조물

아있음을 확인할 수 있다.

교체된 구조물의 기대수명인 110년은 평가기간을 넘어서기 때문에 2080년에는 구조물 잔존가치(R_{EW})가 남아 있는 것을 볼 수 있다. 그림 6과 그림 7은 대안 2와 대안 3의 하부구조물에 대한 것이다. 후속공사(FW)로 교체가 이루어진 시점에서 잔존기간과 잔존가치가 변화되는 것을 확인할 수 있다.

3가지 유지관리 대안에 대한 경제성 계산 결과를 표 11에 정리하였다. 이를 항목별로 살펴보면 다음과 같다.

공사비용은 직접공사비와 간접공사비를 더한 후 회계기준에 의한 일반관리비 요율(표 7)을 추가한 것이다. 대안 1의 하부구조물과 상부구조물의 응급공사비는 식 (8)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$(73.4+7.1)*1.05=84.525$$

$$(267.5+22.5)*=305.5$$

대안 2와 3의 응급공사비도 동일한 식을 사용하여 구한 후 계산결과를 표 11에 포함시켜 정리하였다. 후속공사비에는, 미래의 가치를 기저년도 기준의 가치로 변환해야 하기 때문에, 해당기간만큼 역 이율을 곱하게 된다.

대안 2의 하부구조물과 상부구조물의 후속공사비는 먼저 이자율(4%)을 계산한 후, 식 (9)를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$q = 1 + \frac{4}{100} = 1.04$$

$$((73.4+7.1)*1.05)*\frac{1}{1.04^{2058-2010}} = 84.525*\frac{1}{1.04^{48}} = 12.864$$

$$((267.5+22.5)*1.05)*\frac{1}{1.04^{48}} = 46.343$$

대안 3의 후속공사비도 동일한 방법을 사용하여 계산한 후 그 결과를 표 11에 포함시켜 정리하였다.

유지관리 비용은 4.2장에 설명한 바와 같이 직접공사비와 일반관리비만을 대상으로 하였다. 평가기간 동안 발생한 유지관리 비용을 기저년도 기준으로 변환하기 위해서는 연금 현재가치 계수가 사용된다. 대안 1, 2, 3 모두 기저년도부터 평가기간까지 70년이 남아 있고, 대안 2의 경우 후속공사까지 48년, 대안 3의 경우 후속공사까지 30년의 기간이 존재하는데, 평가를 위해서는 이 기간에 발생하는 유지관리 비용들을 기저년도 기준으로 변환해야 한다. 식 (5)를 사용하여 4% 이자($z=4\%$, $q=1.04$)일 때 70년, 48년, 30년에 대해($n=70$, $n=48$, $n=30$) 연금현재가치계수를 구해보면 다음과 같다.

표 11. 경제성 계산 결과

	대안 1		대안 2		대안 3	
	하부	상부	하부	상부	하부	상부
공사비용						
응급공사비 (5% 일반관리비포함)	84.525	304.500	39.239	304.500	39.239	210.210
후속공사비 (5% 일반관리비포함)	0.000	0.000	12.864	46.343	26.061	93.883
공사비합계	84.525	304.500	52.103	350.843	65.299	304.093
Σ	389.025		402.946		369.392	
유지관리비용						
보수공사만 실행	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
응급공사로 교체만	8.586	68.838	0.000	0.000	0.000	0.000
후속공사로 교체만	0.000	0.000	8.511	0.000	8.527	69.443
응급 교체 / 후속 교체	0.000	0.000	0.000	68.838	0.000	0.000
유지관리비용 합계	8.586	68.838	8.511	68.838	8.527	69.443
Σ	77.424		77.349		77.970	
잔존가치						
보수공사만 실행	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
응급 교체 후 후속 보수보강	1.714	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
후속공사로 교체 (응급교체 포함)	0.000	0.000	3.771	11.780	3.000	7.362
잔존가치합계	1.714	0	3.771	11.780	3.000	7.362
Σ	1.714		15.551		10.362	
구조물비용	91.397	373.338	56.843	407.902	70.826	366.174
비용총액	464.735		464.745		437.000	

$$r_{70} = \frac{1.04^{70} - 1}{1.04^{70}(1.04 - 1)} = 23.39451498$$

$$r_{48} = \frac{1.04^{48} - 1}{1.04^{48}(1.04 - 1)} = 21.19513088$$

$$r_{30} = \frac{1.04^{30} - 1}{1.04^{30}(1.04 - 1)} = 17.2920333$$

대안 1의 유지관리 비용은 응급공사로 교체만 한 경우에 해당되기 때문에 식 (12)를 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$YUD - YBY = 2080 - 2010 = 70$$

$$84.525 * \frac{0.5}{100} * r_{70} = 8.568$$

$$304.5 * \frac{0.5}{100} * r_{70} = 68.838$$

대안 2는 하부를 보강하고 상부만 교체해서 사용하다가 2058년에 교체를 하는 안이다. 보강 후 교체되는 하부구조물의 유지관리비는 식 (14)를 사용하여 구하고, 교체된 상부에 대한 유지관리비용은 식 (15)를 사용하여 구한다.

$$\left(18 * \frac{115.1}{28.5}\right) * \frac{0.5}{100} * r_{2058-2010} + 73.4 * \frac{0.5}{100} * (r_{2080-2010} - r_{2058-2010})$$

$$= 8.511046273$$

$$267.5 * \frac{1.1}{100} * r_{2058-2010} + 267.5 * \frac{1.1}{100} * (r_{2080-2010} - r_{2058-2010})$$

$$s = 68.83836033$$

대안 3의 유지관리비는 모두 보강 후 교체되는 관계로 식

(14)를 사용하여 계산 한 후 그 결과를 표 11에 포함시켜 정리하였다.

구조물의 잔존가치는 잔존기간에 대한 이자율을 곱하여 계산하였다. 대안 1의 상부구조물은 2080년에 70년의 수명을 다하게 되어 잔존가치가 0이 된다. 하부구조물 잔존가치는 응급공사를 통해 새롭게 시작된 것이므로 식 (17)을 사용하여 구하면 된다.

$$73.4 * \frac{110-70}{110} * \frac{1}{1.04^{70}} = 1.714074189$$

대안 2의 잔존가치를 하부구조물과 상부구조물에 대해 구하면 다음과 같다($D_{FW}=22$)

$$73.4 * \frac{110-22}{110} * \frac{1}{1.04^{70}} = 3.770963215$$

$$267.5 * \frac{70-22}{70} * \frac{1}{1.04^{70}} = 11.77967295$$

대안 3의 잔존가치를 상부구조물과 하부구조물에 대해 구해보면 다음과 같다($D_{FW}=40$)

$$73.4 * \frac{110-40}{110} * \frac{1}{1.04^{70}} = 2.99962983$$

$$267.5 * \frac{70-40}{70} * \frac{1}{1.04^{70}} = 7.362295592$$

각 대안의 구조물별 총 가치는 식 (7)에 의해 계산된다. 대안 1 하부구조물의 가치는

$$84.525 + 8.586 - 1.714 = 91.397 \text{ (억원)}$$

이 된다. 동일한 방법으로 각 대안들의 평가가치를 계산하여 표 11에 포함시켜 정리하였다.

각 대안들의 가치총액은 대안 1의 경우 464.735(억원) 대안 2의 경우 464.745(억원) 대안 3의 경우 437(억원)으로 계산되었다. 이 가운데 가장 경제적인 대안은 우선 보수·보강 공사를 하고 2040년에 교체공사를 하는 제 3안이다.

상부만 교체하고 일정기간 사용 후에 교체공사를 제안한 대안 2는 응급공사로 모두 교체를 제안한 대안 1과 가치총액에서 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 보수·보강된 하부구조물을 교체시기까지 관리하는데 필요한 노력을 생각하면 두 대안간의 선택은 분명하게 대안 1로 결정지어질 수 있다.

7. 결 론

교량은 사회간접자본에 해당되는 시설물이다. 본 연구에서는 교량 유지관리 대안들에 대한 경제성 평가방법을 제안하고, 이를 검증해 보았다. 각 대안들을 동일시점 기준으로 평가하기 위해 기저년도와 평가년도 개념을 도입하여 적용하였으며, 각 비용발생시기에 따라 이자율이나 할인율을 적용하였다. 본 연구에 사용된 개념들은 경영학 분야에서 개발된 것 이지만, 교량 유지관리 분야에 적용해 보기 위해 세법, 예규, 요율, 감가상각기간 등에 대한 검토를 수행하였다.

본 연구에서는 유지관리 대안의 평가대상을 공사비용에 국한하지 않고, 평가기간을 정하여 유지관리 대안으로 인해 발생하는 관리비용 및 잔존가치까지 함께 평가하는 방법을 제안하였다. 직접공사비와 연금현재가치계수를 통해 유지관리 비용산정과 평가방법을 제시하였고, 기저년도를 기준으로 하는 잔존가치 산정방법을 제시하였다. 또한, 경제성 계산시스템을 제안하였고 검증을 통해 계산방법과 그 결과를 분석하여 제시하였다. 제안한 시스템은 실무에 적용할 수 있을 것으로 판단되나, 사용자 편의를 위한 프로그램 추가개발이 필요하다.

연구결과 유지관리 대안의 직접공사비, 유지관리 요율, 내용연수 등이 경제성 평가계산의 중요요소로 나타나, 국내 현실에 맞는 유지관리 요율과 내용연수의 개발이 시급하다고 판단된다.

유지관리 대안의 경제성 검토는 수치화 할 수 있는 경제 정보를 대상으로 수행되지만, 대안의 최종 결정에는 보다 많은 요소들이 고려되어야 한다. 예를 들어 대안이 포함하고 있는 환경이나 교통 관련 요소들, 주요 손상인자에 대한 분석과 해결방법, 시공성 입증자료 등은 비경제적인 요소이지만 최종 결정에 고려되어야 할 사항이다. 향후 비경제적인 요소의 평가방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 2012년도 광주대학교 대학연구비의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- 강창희 외(2004) LCC기법을 이용한 PSCI형 교량의 경제성분석에 관한 사례연구, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권 6D호, pp. 91-99.
- 법제처(2012) **법인세법 시행령**, 법제처.
- 안장원 외(2000) Life Cycle Cost 기법을 이용한 교량의 경제성분석 및 성능 평가방법론에 관한 연구, **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 299-302
- 이경동 외(2003) 손상된 RC교량의 유지관리 및 보수보강을 위한 전문가 시스템개발, **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 756-759.
- 이영대 외(2001) 교량의 생애비용분석을 이용한 경제성 평가에 관한 연구, **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 1-4.
- 유일근(2002) **최신 경제성공학**, 형설출판사.
- 조효남 외(2004) 강교 유지관리 단계의 생애주기비용 모델 개발, **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 1935-1940.
- 천왕현 외(2005) LCC분석을 이용한 교량 유지관리수준에 관한 연구, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제25권 1-D호, pp. 101-107.
- 최길대 외(2002) 교량유지관리체계에 수명주기비용 분석기법의 적용, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제22권 1-A호, pp. 193-200.
- 한국 감정원(1999) **유형고정자산 내용년수표**, 한국감정원.
- 한국건설기술연구원(1999) **98 교량관리체계(BMS) 개선에 관한 연구**, 건설교통부.
- BMV-Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadt- entwicklung) (2007) *Richtlinien fr die Erhaltung von Ingenieurbauten*, RI-ERH-ING, Verkehrsblatt Verlag.
- BMV-Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadt- entwicklung) (2007) *Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlich- keitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/ Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken*, RI-WI-BRÜ, Verkehrsblatt Verlag
- BMV-Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen) (2004) *Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerk- sprüfungen nach DIN 1076*, RI-EBW-PRÜF, www.sib-bauwerke.de
- BMV-Bundesministerium für Verkehr) (1988) *Richtlinien für die Berechnung der Ablösungsbeträge der Erhaltungskosten für Brücken, Straßen, Wege und andere Ingenieurbauwerke*, Verkehrsblatt-Dokument Nr. B 6306.
- Schelle (1992) *Wirtschaftlichkeitsrechnungen für die Angebotswertung im Bauwesen*, Werner Verlag.
- Warnecke, Bullinger etc. (1990) *Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure*, Carl Hanser Verlag München Wien, pp. 95-102.

(접수일: 2012.5.13/심사일: 2012.5.17/심사완료일: 2012.5.21)