

# 고속도로 교량의 유지관리목표 및 세부전략

박 래 선	한국도로공사 구조물처 처장
이 상 순	한국도로공사 구조물처 과장
이 성 수	한국도로공사 구조물처 과장
서 상 길	한국도로공사 구조물처 대리

## 1. 서론

교량은 완공 후 시간이 경과함에 따라 차량하중, 기후적인 요인 등에 의해서 열화 및 손상을 받게 되고 그 기능이 점점 저하된다. 설계시 목표했던 내용년수 또는 공용년수 동안 시설물을 사용하기 위하여 안정성, 사용성 및 내구성을 확보하기 위한 적절한 유지관리(점검, 진단, 보수, 보강, 개량 등)가 필요하다. 이러한 일련의 유지관리를 효율적으로 수행하고 교량의 내구수명을 연장하기 위해서는 합리적이고 체계적인 유지관리목표 및 세부전략이 요구된다.

본 검토에서는 고속도로 교량에 대하여 노선, 상부구조형식, 설계하중, 종별로 상태등급에 따른 건전지수(Health Index)를 파악하고, 공용수명을 50년 이상으로 확보하기 위한 교량 유지관리목표 및 세부전략을 수립하였다. 그리고 생애주기비용(Life Cycle Cost)을 분석하여 현행유지관리 수준을 예방적 유지관리(Preventive Maintenance)로 전환함으로써 기대되는 경제적인 효과를 분석하였다.

## 2. 교량 상태 등급 분석

교량 상태등급 분류에 따라 <표 1>과 같이 건전지수를 정의하면, 상태등급에 따른 노선별 건전지수는 [그림 1]과 <표 2>와 같다. 건전지수가 높을수록 교량의 상태가 양호한 것을 의미한다. 노선별 건전지수를 살펴볼 때, 울산선 교량의 건전지수가 가장 낮고 그 다음으로 남해지선, 호남지선, 88선 순으로 건전지수가 낮게 나타났다.

50년의 평균 공용수명을 확보하기 위하여 요구되는 건전지수를 목표건전지수라고 정의하고 현재건전지수와 목표건전지수의 비를 유지관리만족도(maintenance satisfaction index)라고 할 때, 노선별 상태등급에 따른 유지관리만족도는 [그림 2]와 같으며, 경인선, 남해지선, 구마선이 유지관리만족도가 낮은 것으로 나타났다.

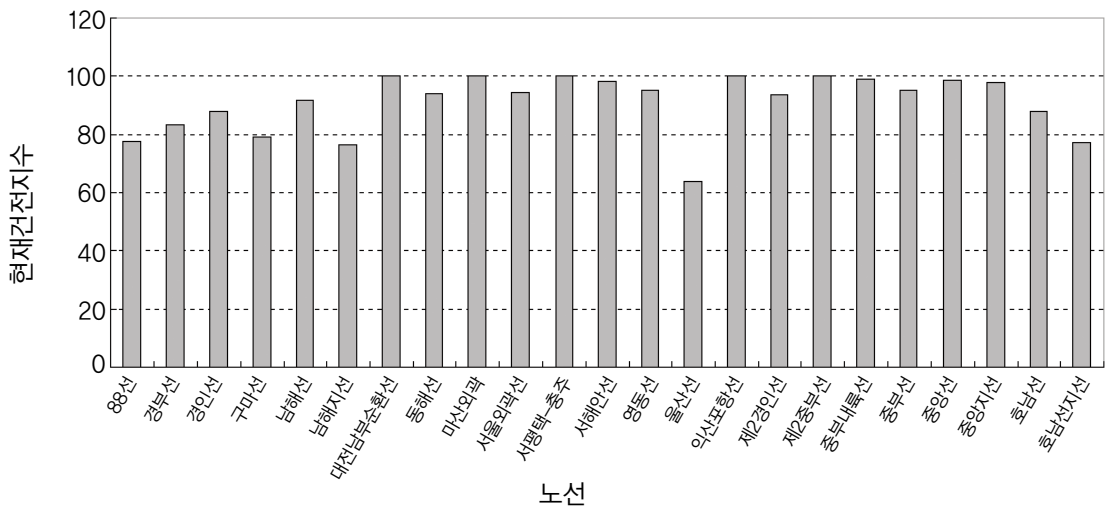
2003년 현재 고속도로 교량은 총 5,244개소이며, 1종 교량이 648개소, 2종 교량이 926개

<표 1> 상태등급별 건전지수

상태등급	상 태	건전지수
A	문제점이 없는 최상의 상태	100
B	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태	80
C	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태	60
D	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태	40
E	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태	20

교, 기타교량이 3,670개소이다. 전체교량 중에서 상태등급이 B, C인 교량이 각각 1,127개교(21.5%)와 334개교(6.4%)이며 나머지 교량은 모두 상태등급이 A이다. 교량 종별 상태등급에

따른 건전지수를 파악하면 1종 시설물이 기타시설물보다 건전지수는 높지만, 유지관리만족도는 종별 구분 없이 비슷한 것으로 나타났다. <표 4>는 상부구조형식별 상태등급에 따른 건전지수와



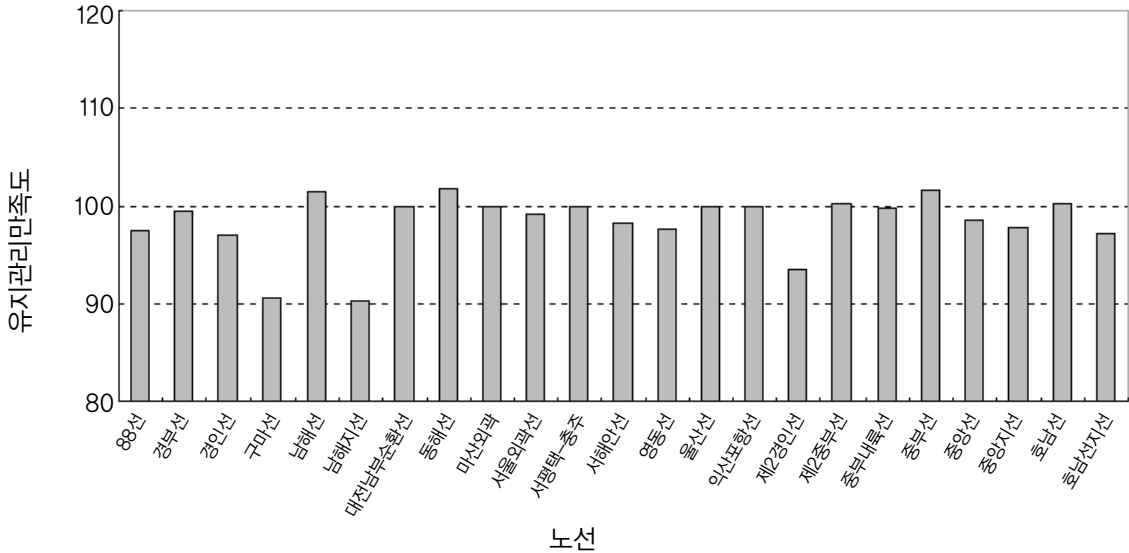
[그림 1] 노선별 건전지수

&lt;표 2&gt; 노선별 상태등급에 따른 건전지수

노 선	합 계	상태등급			현재 건전지수	목표 건전지수	유지관리 만족도(%)
		A	B	C			
88선	128	8	96	24	77.50	79.53	97.4
경부선	594	250	187	157	83.13	83.60	99.4
경인선	66	30	32	4	87.88	90.61	97.0
구마선	46	12	20	14	79.13	87.39	90.5
남해선	358	224	119	15	91.68	90.45	101.4
남해지선	39	8	16	15	76.41	84.62	90.3
대전남부순환선	42	42			100.00	100.00	100.0
동해선	77	56	19	2	94.03	92.47	101.7
마산외곽	31	31			100.00	100.00	100.0
서울외곽선	330	236	94		94.30	95.03	99.2
서평택-충주	97	97			100.00	100.00	100.0
서해안선	882	805	77		98.25	100.00	98.3
영동선	525	394	130	1	94.97	97.33	97.6
울산선	22		4	18	63.64	63.64	100.0
익산포항선	9	9	9		100.00	100.00	100.0
제2경인선	104	70	34		93.46	100.00	93.5
제2중부선	70	70			100.00	99.71	100.3
중부내륙선	238	231	4	3	99.16	99.41	99.7
중부선	600	458	142		95.27	93.80	101.6
중앙선	586	545	41		98.60	100.00	98.6
중앙지선	27	24	3		97.78	100.00	97.8
호남선	283	154	92	40	87.97	87.69	100.3
호남선지선	87	29	17	41	77.24	79.54	97.1
합 계	5,244	3,783	1,127	334			

유지관리만족도를 나타낸 것이다. 노후교량이 많은 STI, RCS, RCT 형식이 건전지수가 낮았으며, 유지관리만족도는 강교가 프리스트레스트

콘크리트 교량이나 철근콘크리트 교량에 비하여 다소 낮은 것으로 나타났다.



[그림 2] 노선별 상태등급에 따른 유지관리만족도

<표 3> 종별 상태등급에 따른 건전지수

종 별	합 계	상태등급			현재 건전지수	목표 건전지수	유지관리 만족도(%)
		A	B	C			
1종	648	557	80	11	96.85	98.43	98.4
2종	926	690	205	31	95.25	95.25	98.2
기 타	3,670	2,536	842	292	92.98	92.98	99.2

### 3. 유지관리 세부 목표 설정

공용년수별 상태등급 분포를 조사한 결과 A 등급은 공용년수의 평균이 3.6년이고 표준편차가 3.4년, B등급은 평균이 13.2년, 표준편차는 6.7년이며, C등급은 평균 27.4년, 표준편차는 7.5년이다. 상태등급이 C에서 D로 변경시 개축한다고 보았을 때, 평균수명은 32.9년이다. 실

제, 최근 3년간 고속도로 개축교량의 평균은 <표 6>에서와 같이 27.6년임을 감안할 때, 상태등급에 의한 수명의 추정은 비교적 합리적인 것으로 판단되며 현행유지관리체계 하에서 고속도로 교량의 평균수명은 약 30년으로 추정된다. 이는 세법상의 평균수명 40년(30년~50년) 및 <표 7>에 나타난 OECD 국가들의 평균공용수명(50년~100년)에 비해 적은 값이다.

<표 4> 상부구조형식별 상태등급에 따른 건전지수

상부형식	합 계	상태등급			현재 건전지수	목표 건전지수	유지관리 만족도(%)
		A	B	C			
강교 소계	1,306	989	252	65	94.15	95.42	98.7
STI	77	19	14	44	73.51	70.39	104.4
STB	896	750	138	8	96.56	98.06	98.5
SPG	86	46	30	10	88.37	91.40	96.7
PF	247	174	70	3	93.85	95.06	98.7
PSC 소계	1,675	1,247	323	105	93.64	94.42	99.2
PSCB	183	134	45	4	94.21	96.17	98.0
PSCI	1,389	1,032	256	101	93.41	93.95	99.4
PSCS	85	78	7		98.35	98.59	99.8
PSCH	18	3	15		83.33	93.33	89.3
RC 소계	2,163	1,492	519	152	92.39	92.94	99.4
RA	1,684	1,265	357	62	94.29	94.66	99.6
RCH	133	66	67		89.92	92.63	97.1
RCS	309	149	89	71	85.05	85.76	99.2
RCT	29	6	6	17	72.41	71.12	101.0
RCB	8	6		2	90.00	90.00	100.0
기타소계	100	55	33	12	88.60	94.20	94.1
합계	5,244	3,783	1,127	334			

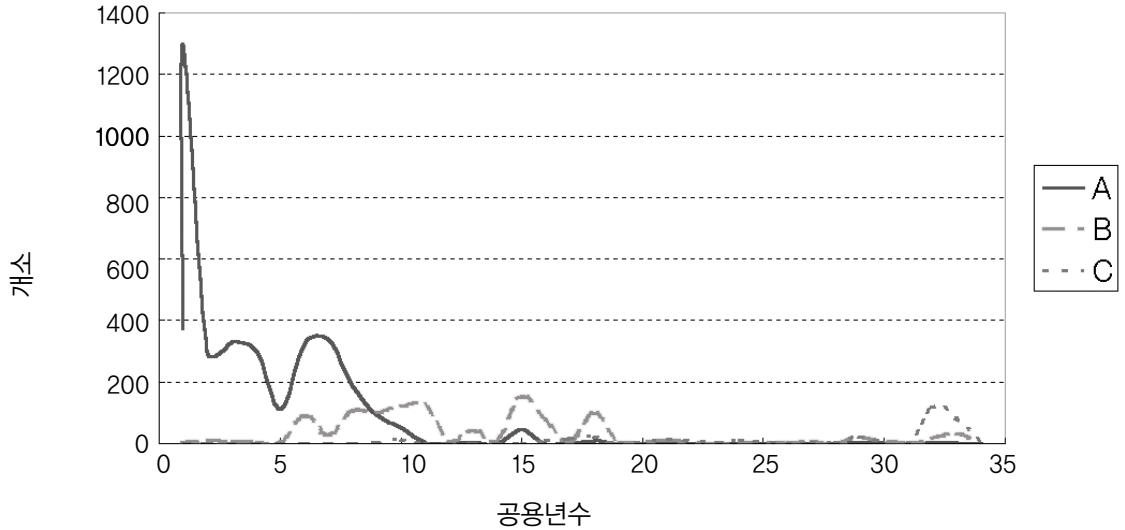
교량 구조물의 수명을 50년 이상으로 연장하기 위해서는 보다 체계적이고 적극적인 예방적 유지관리가 필요하며, 체계적인 유지관리를 위해서는 교량 공용년수별 상태등급 목표를 설정하여 관리할 필요가 있다. 본 검토에서는 six sigma기법을 적용하여 다음과 같이 교량관리목표를 설정하였다.

(1) 공용년수가 10년 이하인 교량은 상태등급

이 평균 A등급 이상이 되도록 관리하여야 한다.

(2) 공용년수가 25년 이하인 교량은 상태등급이 평균 B등급 이상이 되도록 관리하여야 한다.

(3) 공용년수가 40년 이하인 교량은 상태등급이 평균 C등급 이상이 되도록 관리하여야 한다.



[그림 3] 교량 상태등급 분포

<표 5> 상태등급별 현행 및 목표 공용년수

상태등급	현행		m+2σ	목 표
	평균	표준편차		
A	3.6	3.4	10.4	10
B	13.2	6.7	26.5	25
C	27.4	7.5	42.3	40
D(추정)	38.5	-	58.1	-
수명추정	32.9	-	50.2	50

<표 6> 최근 3년간 개축교량 평균 공용년수

평 균	STB	RC	PSC	목 표
27.6	27.0	28.6	27.15	

(4) 상기의 조건을 만족하지 못하는 교량이  
2004년도에는 전체교량의 8.4%(2.9  
Sigma Level), 2005년도에는 8.0%,

2025년도에는 0.4%(4.0 Sigma Level)  
를 초과하지 않도록 관리해야 한다.

<표 7> OECD 국가 평균 교량 공용수명

상태등급	기준 기간	평균수명(자승오차) (년)			
		강 교	콘크리트		
			RC	PSC	기타
영국	1977~1985	68(18)	72(17)	42(11)	-
덴마크	1976~1988	-	-	-	76(26)
스위스	1980~1988	-	-	-	95(31)
일본	1967~1976	47(17)	47(15)	21(4)	-
일본	1977~1986	50(17)	57(19)	35(9)	-
스웨덴	1984~1988	76(21)	-	-	73(17)
핀란드	1988	75(26)	-	-	86(21)

#### 4. 유지관리 세부 목표 달성을 위한 전략

전술한 목표를 효율적으로 시행하기 위해서는 제도적인 장치가 마련되어야 한다.

첫째로 “유지관리만족도 관리”가 필요하다. 앞서 “교량상태등급 분석”에서 살펴본 바와 같이 신설노선이면서도 유지관리만족도가 낮은 경우가 있고, 준공 된지 오래된 노후구간이 유지관리만족도가 높은 경우도 있었다. 따라서, 지역본부별 노선별구조물의 현재건전지수를 평가하여 합리적인 목표건전지수를 설정하고, 이에 따른 유지관리만족도를 평가하여 일정수준 이상의 유지관리만족도가 달성되도록 관리하는 것이다.

둘째로 “상태등급 조정 승인제도”가 필요하다. 현재 구조물의 상태등급 조정은 1, 2종 시설물의 경우 한국시설안전기술공단 및 외부안전진단전문기관에 의하여 이루어지고 있으며, 기타 시설물의 경우에는 자체 유지관리조직의 구조물

담당자에 의해 상태등급조정이 이루어진다. 따라서, 기타시설물의 경우에는 1, 2종 시설물에 비하여 객관성이 부분적으로 결여될 수 있으며, 등급조정도 구조물담당자의 자의적인 판단에 의존하는 부분이 있다. 따라서, 이를 보완하기 위해서는 “상태등급 조정 승인제도”가 필요하다. 이는 구조물담당자의 주관적인 판단에 상태등급을 결정짓는 현행제도를 보완하고, 부서장의 구조물에 대한 관심도 재고 및 효율적인 관리를 도모하기 위한 제도로서 이를 위하여 년도별 상태등급 변동 사항과 사유를 보고하고 이를 상급기관에서 승인을 하는 제도적 장치가 필요하다.

셋째로 “예방적 유지관리(Preventive Maintenance)체계의 정착”이 필요하다. 현재 대부분의 유지관리는 결함이 심한 교량 또는 손상이 큰 부재 위주로 보수·보강이 이루어지고 있다. 예방적 유지관리는 구조물에 심각한 손상이 발생되지 않도록 하거나, 구조물의 내구성 저

하를 지연시키는 유지관리 활동을 의미한다. 예방적 유지관리는 손상이 발생된 경우에 손상을 보수·보강하거나, 손상이 확대되지 않도록 하는 활동뿐만 아니라 이러한 손상의 발생을 지연 또는 방지하는 활동을 포함한다. 교량 구조물의 내구성을 증진시키기 위해서는 예방적 유지관리 활동을 적극적으로 발굴 시행하고 현재 사후 유지관리 체계에서 예방적 유지관리 체계로의 시스템 변화가 필요하다. 또한 예방적 유지관리 예산의 확보가 필요하다. 예산에 있어서는 구조물 사후

유지관리(Demanded Maintenance)예산과 예방적 유지관리(Preventive Maintenance)예산을 분리하여 관리하고, 예방적 유지관리예산으로 전체 구조물유지관리 예산의 일정비율이상 투입될 수 있도록 제도적 장치를 마련하여야 한다.

마지막으로 “구조물 유지관리 조직의 확충 및 전문화”이다. 구조물 유지관리 종사자에 대한 정기적인 교육과 함께 책임과 권한을 위임하여 구조물 유지관리에 최선을 기할 수 있도록 하여야 한다.

<표 8> 교량 유지관리수준과 수명

유지관리수준	정 의	비 고
현행 유지관리수준 (current maintenance)	- 사후유지관리 수준(demanded maintenance) - 현행 우리공사의 유지관리 수준 - 최근 개축 교량의 평균수명 : 27.6년	
필요 유지관리수준 (required maintenance)	- 예방적 유지관리 수준(preventive maintenance) - OECD권고 적정 유지관리 예산 투입 - 교량의 평균수명 : 50년	

<표 9> 교량 생애주기비용 구성항목과 산정방법

구성항목	세부항목	비용산정방식	비 고
초기투자비	시공비	고속도로건설 평균단가(설계처) 적용	
	기획, 설계비, 감리감독비	건설공사비 비율에 의해 추정	
유지관리비	점검, 진단, 일반관리비	진단비용 : 예산집행실적으로부터 추정 점검 및 일반관리비 : 조직 및 임금 고려 추정	
	유지보수비	예산집행실적으로 분석	
	사용자 비용	본 검토에서는 고려하지 않음	
	개축비	개축공사비 분석으로 추정	



<표 10> 고속도로 교량의 생애주기 비용

LCC 구성항목		불변비용(천원/m <sup>2</sup> )		할인비용(천원/m <sup>2</sup> )	
		현행 LCC	필요 LCC	현행 LCC	필요 LCC
수 명		27.6	50	27.6	50
초기 투자비	시공비	1,509	1,509	1,509	1,509
	기획, 설계비, 감리감독비	102	102	102	102
유지 관리비	점검, 진단, 일반관리비	76	1,167	17	267
	유지보수비	338		78	
개축비		6,851	3,060	953	267
LCC 합계		8,876	5,838	2,659	2,145

※ 필요 LCC에서 유지관리비용은 OECD에서 권고하는 1회 개축비의 0.5% 적용

### 5. 유지관리 수준에 따른 LCC 분석

현행유지관리 수준을 예방적 유지관리(Preventive Maintenance)로 전환함으로써 기대되는 경제적인 효과를 파악하기 위해 생애주기비용(Life Cycle Cost)을 분석하였다.

<표 10>에서 보는 바와 같이 교량 유지관리수준을 높임으로써 연간 약 1,744억원의 비용절감 효과가 기대되며(연간 교량단위면적당 약 22.4천원의 비용절감효과), 현재 고속도로 교량의 유지관리비용은 전체 생애주기비용의 약 3.4%로 매우 작다. 따라서, 생애주기비용을 절감하기 위해서는 OECD권고 수준으로 유지관리예산을 확충하고 예방적 유지관리가 이루어 질 수 있도록 조직, 교육, 시스템 등의 지속적인 보완이 필요한 것으로 판단된다.

### 6. 결 론

구조물 외관조사 상태등급에 따른 건전지수, 유지관리만족도 평가를 통한 공용수명 분석으로 유지관리 목표 및 세부전략을 수립하였고, 생애주기비용분석을 통하여 예방적유지관리체계에 따른 경제성 평가를 하였으며 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 현행유지관리 체계 하에서 고속도로 교량의 평균수명은 상태등급의 분포 및 최근 3년간 개축교량의 수명을 기초로 추정할 때 약 27.6년~32.9년 정도이며, 이는 세법상의 평균수명 40년 및 OECD 국가들의 평균수명에 비하여 작은 값이다.
- (2) 본 검토에서는 교량 수명을 50년 이상 확보하기 위한 세부 목표와 전략을 다음과 같이 설정하였다.

## □ 세부목표

- 공용년수가 10년 이하인 교량은 상태등급이 평균 A등급 이상이 되도록 관리
- 공용년수가 25년 이하인 교량은 상태등급이 평균 B등급 이상이 되도록 관리
- 공용년수가 40년 이하인 교량은 상태등급이 평균 C등급 이상이 되도록 관리
- 상기의 조건을 만족하지 못하는 교량이 2004년도에는 전체교량의 8.4%(2.9 Sigma Level), 2005년도에는 8.0%, 2025년도에는 0.4%(4.0 Sigma Level)를 초과하지 않도록 관리

## □ 세부전략

- 유지관리만족도 관리
- 현행 유지관리를 예방적 유지관리로 전환
- 유지관리 조직의 확충 및 전문화

(3) LCC분석 결과 현행 유지관리체계를 예방적 유지관리 체계로 전환하여 교량수명을 50년이상 확보하면 연간 약 1,744억원의 비용절감효과가 있는 것으로 평가되었다.

## 참 고 문 헌

1. FHWA, "Bridge Maintenance Training Manual", 1994.
2. 최길대, "수명주기비용분석기법을 적용한 교량유지관리방안에 관한 연구", 박사학위 논문, 중앙대학교, 2001.
3. 한국도로공사, "고속도로 LCC 분석기법 잠정 지침(안)", 2001.
4. 한국도로공사, "고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용(LCC)분석 연구", 2002.
5. 건설교통부, 한국시설안전기술공단, "교량의 LCC 분석모델 개발 및 DB 구축방안연구", 2002.
6. 한국시설안전기술공단, "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침", 2003.
7. 건설교통부, 한국시설안전기술공단, "도로교의 공용수명 연장방안연구", 2000.