

# 고속철도 강교량의 부식 피로신뢰성 기반 생애주기비용 분석

## Corrosion Fatigue Reliability-Based Life Cycle Cost Analysis of High-Speed Railway Steel Bridges

조효남<sup>†</sup> · 전용민<sup>\*</sup> · 신종완<sup>\*\*</sup> · 윤만근<sup>\*\*\*</sup>

Hyo-Nam Cho · Hong-Min Jeon · Jong-Wan Sun · Man-Keun Youn

**Abstract** As it recently appears that LCC (Life Cycle Cost) analysis may be considered as an essential method for economic evaluation of infrastructures. Many researches have been made to assess LCC of each facility based on reasonable methods. However, expected maintenance repair cost must be reasonably estimated to enhance the reliability of LCC analysis through systematic and rational methods. This study is intended to propose a rational approach to reliability-based LCC analysis of high-speed railway steel bridges considering lifetime corrosion and fatigue damage. However in Korea, since high speed railway steel bridges are only recently constructed, no direct statistical data are available for the account of the maintenance cost and thus their maintenance characteristics are not clear yet. In this paper, for the assessment of expected maintenance/repair cost, the fatigue system reliability analysis incorporating the corrosion effect is proposed by considering the corrosion and fatigue damage using measured data of high speed railway steel bridges. A model proposed by Rahgozar, at al for fatigue notch factor considering the corrosion effect is used in order to incorporate the corrosion effect into the fatigue strength reduction and S-N curve. Finally, the effectiveness of LCC model proposed for high-speed railway steel bridges is demonstrated by a numerical example.

**Keywords** : System Reliability, LCC, S-N Curve, High Speed Railway Steel Bridges

**요 지** 최근 생애주기비용 분석이 사회기반 시설물 경제성 평가 분야의 필수적 방법으로 대두됨에 따라 체계적이고 합리적인 방법으로 각 시설물의 생애주기비용을 산정하기 위한 노력이 진행되고 있다. 합리적인 생애주기비용 분석을 위해서는 초기비용 뿐만 아니라 유지관리 비용의 예측이 필요하나 국내에서는 고속철도 구간에 강교량을 가설한지 얼마 되지 않았기 때문에 이에 대한 유지관리 특성 등을 파악하고 있지 못한 실정이다. 이에 본 연구에서는 고속철도 소수주형교의 계측데이터와 Rahgozar 등이 제안한 부식열화를 고려한 피로강도감소계수 및 Miner 손상누적법칙을 이용하여 강교량의 주된 열화의 요인이 되는 부식과 피로의 손상을 고려한 체계신뢰성해석을 실시하였다. 이 체계신뢰성 해석 결과를 바탕으로 고속철도 소수주형교의 설계단계 생애주기비용 분석 모델을 제안하였다.

**주 요 어** : 체계신뢰성, 생애주기비용, S-N 곡선, 고속철도 강교량

### 1. 서 론

환경문제 및 지역 간 국가 간 불류수송의 중요성이 대두되면서 지난 2004년 경부고속철도 개통을 시작으로 대구-부산

간 고속철도 건설과 호남고속철도 건설을 위한 기본설계가 활발히 진행되고 있다.

하지만 고속철도를 개통한지가 얼마 되지 않았기 때문에, 고속철도교량의 과거 유지보수 이력에 대한 자료 및 전문가의 경험이 부족하여 유지관리 특성을 제대로 파악하고 있지 못한 실정이다. 그리고 강교량의 주된 열화 요인으로 알려진 부식이나 피로에 대한 기존의 평가 모델은 부식과 피로의 열화를 동시에 반영하지 않는 연구가 대부분이며, 특히 생애주기비용 분석 모델을 제시한 경우는 거의 없는 실정이다.

† 책임저자 : 정회원, 한양대학교 건설환경시스템공학과 교수  
E-mail : ryfid@hanyang.ac.kr  
TEL : (031)400-4027 FAX : (031)406-5660

\* 비회원, 금호건설 기술연구소 사원

\*\* 비회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 비회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정, 삼성물산 토목사업본부장

따라서 본 연구에서는 고속철도 강교량의 설계단계 경제성을 합리적이고 체계적으로 평가하기 위하여, 체계신뢰성을 해석을 기반으로 하여 고속철도 강교 구간의 주된 열화 요인인 부식과 피로를 동시에 고려한 생애주기비용 분석 모델을 제안하였다. 이를 위해서 Miner 선형 피해 법칙과 Rahgozar et al.[7]이 제안한 부식열화를 고려한 피로강도감소계수를 활용한 부식 피로한계상태함수를 제시하였다. 피로한계상태함수와 수집된 계측데이터를 활용하여 체계신뢰성해석을 수행하였으며, 이를 바탕으로 고속철도 강교의 생애주기비용 모델을 제안하였다.

## 2. 부식 피로 신뢰성 지수의 산정

### 2.1 S-N 곡선

피로시험을 통하여 시험편이 파단할 때까지의 반복횟수  $N$  과 응력범위  $\Delta\sigma$ 의 관계를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $C$ 는 설계 피로강도,  $m$ 은 S-N선도의 기울기,  $\Delta\sigma_{ri}$ 는 응력 범위이며,  $N_i$ 는 응력범위  $\Delta\sigma_{ri}$ 에 대한 부재의 피로수명이다.

$$\ln N_i = \ln C - m \ln \Delta\sigma_{ri} \quad \text{or} \quad \Delta\sigma_{ri}^m N_i = C \quad (1)$$

### 2.2 등가 응력 범위

Miner가 제안한 피로손상법칙에 따라  $n_i/N_i$ 로 표현되는 피로손상 증분의 선형 합이 1이 될 때 부재가 피로파괴 한다고 가정하면, 피로파괴가 발생하는 파괴조건은 식 (2)와 같다.

$$D_f = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = 1.0 \quad (2)$$

여기서  $D_f$ 는 누적손상도,  $N_i$ ,  $n_i$ 는 각각 응력수준  $\sigma_i$ 에 해당하는 피로수명 및 반복횟수를 의미한다.

식 (1)과 유사하게 변동 응력 범위의 전체 반복 횟수, 즉  $N = \sum_{i=1}^k n_i$ 에서 피로 파괴하는 일정응력범위(등가 응력 범위)  $\Delta\sigma_{r,eq}$ 는 식 (3)으로 정의할 수 있다.

$$\Delta\sigma_{r,eq}^m N = C \quad (3)$$

식 (1)과 식 (3)에서  $C$ 를 소거하고  $N_i$ 를 식 (2)에 대입하면 식 (4)와 같은 등가응력범위  $\Delta\sigma_{r,eq}$  산정식을 얻을 수 있다.

$$\Delta\sigma_{r,eq} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^k n_i \Delta\sigma_{ri}^m}{N} \right]^{1/m} \quad (4)$$

### 2.3 부식열화에 따른 피로강도감소

강교의 부식이 문제가 되는 주된 이유는 부식으로 인한 부재의 단면감소가 불러오는 휨이나 전단에 대한 저항능력의 감소보다는 부식에 의한 부재의 부분적인 손상으로 인해 발생하는 국부적인 손상과 그로 인한 응력집중이다. 시간의 흐름에 따른 부식 효과를 고려하기 위하여 본 논문에서는 식 (5)와 같이 Rahgozar et al.[7]이 제안한 평균부식깊이( $d_c$ )에 따른 피로강도감소계수  $K_{fc}$ 를 사용하였으며, 시간에 따른 평균부식 깊이는 Jiang and Staehle[5]가 제안한 식 (6)을 사용하였다.

$$K_{fc} = 1 + 0.2d_c \quad (5)$$

$$d_c(t) = at^b \quad (6)$$

여기서  $t$ 는 강재의 노출시간(년)이고  $a$ 와  $b$ 는 환경적인 요인에 따른 변수를 의미하며 ASTM Specification G50에 따른 표준시험을 통해서 얻어진 확률변수를 사용하였다[6].

Table 1. Statistical parameters for  $a$  and  $b$

Parameter	Carbon Steel		Weather Steel		
	a(10 <sup>-6</sup> m)	b	a(10 <sup>-6</sup> m)	b	
Rural Environment	Mean	34.0	0.65	33.3	0.498
	COV	0.09	0.10	0.34	0.09
	COC	-	-	-0.05	-
Urban Environment	Mean	80.2	0.593	50.7	0.567
	COV	0.42	0.40	0.30	0.37
	COC	0.68	-	0.19	-
Marine Environment	Mean	70.6	0.789	40.2	0.577
	COV	0.6	0.49	0.22	0.10
	COC	-0.31	-	-0.45	-

cov: Coefficient of variation, coc: coefficient of correlation

### 2.4 부식 피로 한계상태함수

Miner Rule에 의하면 부식 피로에 대한 한계상태식은 식 (7)으로 표현이 가능하며, 시간에 따른 부식열화를 고려한 피로강도감소계수와 등가응력을 적용하면 한계상태식은 식 (8)와 같다.

$$g() = \Delta - \frac{N \Delta\sigma_{r,eq}^m}{C} \quad (7)$$

$$g() = \Delta - \frac{N(\Delta\sigma_{r,eq} K_{fc})^m}{C} \quad (8)$$

식 (8)의 한계상태 식에 포함되어 있는 불확실변량  $K_{fc}$ ,

$\Delta\sigma_{r,eq}$ ,  $C'$  을 고려한 피로/부식 피로 신뢰성해석을 위하여, 본 논문에서는 가장 일반적인 사용되는 모의실험 기법인 MCS (Monte Carlo Simulation)를 이용하였으며, 사용한 Sample 수는 1,000,000회이다.

### 3. 계측 데이터의 활용

실질적인 피로 신뢰성 해석을 위하여 실제 경부고속철도 소수주형교의 계측데이터의 응력이력곡선 자료를 활용하여 등가응력을 산정하였다. 계측 대상교량의 제원은 Table 2에 나타내었으며 계측위치는 Fig. 1과 같이 경간의 중앙부와 최대 모멘트부 그리고 지점부 단면의 상하부플랜지이며 위치별 응력이력곡선은 예는 Fig. 2-4와 같다.

Table 2. Bridge Property

항목	내용
교량 형식	소수주형교(복선형)
교량 연장	2@55m = 100m
교량 폭	14.0m
주형 높이	4.3m
가로보 간격	6.3m
주부재 재료	SM520(주거더), SM490(가로보)
콘크리트 바닥판	C400
설계 하중	HL-25(HL표준열차하중)

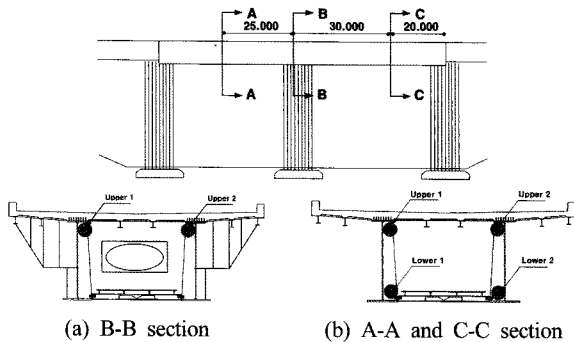


Fig. 1. Bridge's Measured Locations

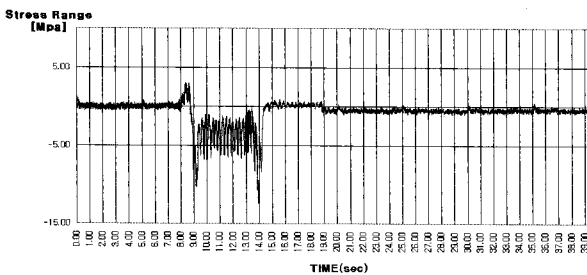


Fig. 2. Stress Record Curve of Mid span Upper Flange (300km/hr)

일반적으로 널리 사용되는 Rainflow counting 기법을 사용하여 전체 응력범위를 20등분하여 계측자료의 응력이력곡선의 응력범위의 각 위치별 빈도수를 산출하였으며 그 예는 Fig. 5-7과 같다.

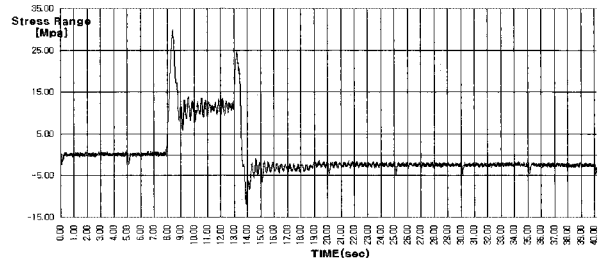


Fig. 3. Stress Record Curve of Mid span Lower Flange (300km/hr)

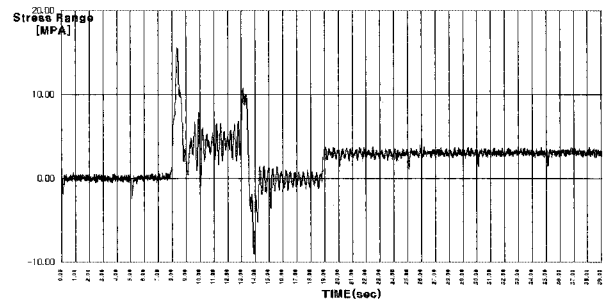


Fig. 4. Stress Record Curve of Support Upper Flange (300km/hr)

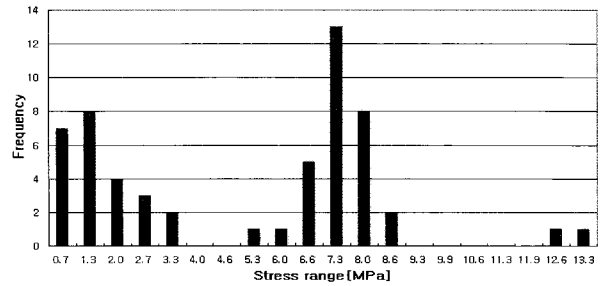


Fig. 5. Frequency of Upper Flange at Mid span

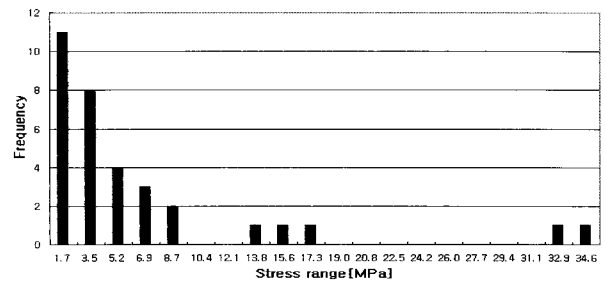


Fig. 6. Frequency of Lower Flange at Mid span

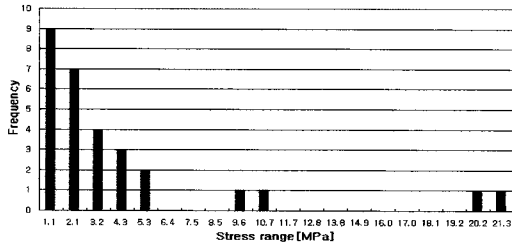


Fig. 7. Frequency of Upper Flange at Support

### 4. 체계신뢰성 해석

#### 4.1 개요

정정 구조계를 제외하고는 대개의 구조계는 단 하나의 구성부재의 파괴로 인하여 파괴되거나 붕괴되는 일은 극히 드물다. 일반적으로 부정정 구조물의 파괴는 구조계를 구성하는 여러 요소(부재, 연결부, 상세부위 등)의 점진적 또는 축차적으로 파괴되는 결과로 일어난다. 따라서 많은 구성요소를 가진 구조계의 파괴는 분명 구조계를 구성하는 요소들의 파괴특성과 종류에 좌우될 것이다. 본 논문에서는 구조계를 구성하는 구성요소의 파괴와 구조계의 파괴모드 사이의 관계를 직렬체계(series system)로 구성하였다. 즉, 교량의 위험부재를 경간의 중앙부(A-A)와 최대 모멘트부(C-C) 그리고 지점부(C-C)로 선정하고 각 부재별 요소신뢰성 해석 결과를 직렬체계로 구성하고, 다시 위험 부재별 해석 결과를 직렬체계로 구성하였다. 요소신뢰성은 식 (7)과 (8)에 주어진 한계상태방정식과 Table 1과 3에 주어진 통계모수를 이용해 위치별로 계산하였으며, 식 (9)의 uni-modal bounds를 이용하여 직렬체계의 체계신뢰성을 산정하였다. 여기서  $P_F$ 는 각 위치별 요소의 파괴확률이다.

$$\max_i P_{Fi} \leq P_F \leq 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_{Fi}) \quad (9)$$

#### 4.2 해석조건

사용된 재료와 손상정도의 통계적 확률 특성치 중 기율은 AASHTO LRFD 시방서에서 제안한 값을 사용하였고, 피로강도계수 및 누적손상지수는 Wirsching[8, 9]이 제안한 값을 변수 특성치를 사용하였으며, 이를 Table 3에 나타내었다.

#### 4.3 유지보수 모델

고속철도 강교량의 부식, 부식-피로 기반 생애주기비용 분석을 위해 필요한 유지보수 시나리오 모델을 개발하기 위해 본 논문에서는 구조물의 성능에 따라 유지보수 적용시점이

Table 3. Statistical Characteristics of Variables

변수	S-N커브 기울기 (m)	피로강도계수 (C)	누적손상지수 ( $\Delta$ )
Distribution	상수	대수정규	대수정규
Mean	3.0	$3.61 \times 10^{11}$	1.0
COV	-	0.45	0.30
Reference	AASHTO LRFD[3]	Wirsching[8]	Wirsching[9]

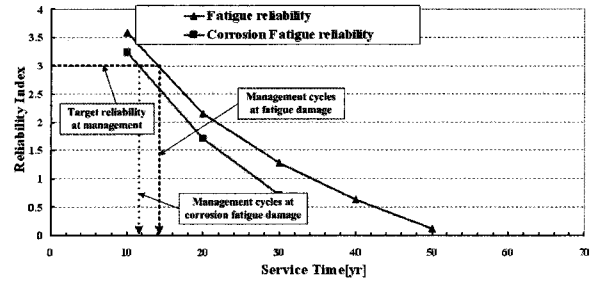


Fig. 8. System Reliability index

결정되는 성능제어 모델을 적용하였다. 이 경우 유지보수는 구조물의 성능이 사용자가 정한 조건에 도달한 경우 수행되는 것으로 가정된다.

일반적으로 유지보수는 구조물의 일부 요소 보다는 전체 성능이 목표 성능에 미치지 못하는 경우에 수행되며, 교량의 부식-피로 손상으로 인한 유지보수도 각 부재별 손상이 발생할 때 마다 유지보수를 하는 것이 아니라 전체 구조물 손상정도가 설계 목표치에 미치지 못할 때 수행하는 것이 타당하다고 판단되어, 요소 신뢰성이 아닌 체계신뢰성 해석을 통해서 목표 신뢰성 지수를 초과하는 시점의 유지보수주기를 산정하였다.

본 논문에서는 피로/부식 피로 손상에 따른 유지보수시기를 체계신뢰성이 목표 신뢰성 지수 3.0에 미치지 못하는 시점으로 가정하고 Category 조건, 사용 Steel 조건, 환경조건을 고려한 보수 주기를 산정하였다. Fig. 8는 보수 주기를 산정한 대표적인 사례이며, Table 4와 5는 각각 부식을 고려/미고려한 경우의 교량의 보수주기를 나타낸다.

Table 4와 5를 비교해보면 피로손상만 고려했을 때보다 부식열화를 고려한 피로손상에 대한 유지보수주기가 더 짧은 것을 알 수 있다. 유지관리를 줄이기 위해서는 Category를 A등급에 가깝게 설계 및 시공하여야 하며, 모든 조건에서 무도장 강재가 일반 탄소강에 비해 월등히 유리한 것은 아니므로 조사되었다. Fig. 9와 10을 보면 도심지의 경우 무도장 강재를 사용하는 것이 그렇지 않은 경우에 비해 유지보수 주기를 최대 2.25배 줄일 수 있으나, 초기비용이 많이 소요되는

Table 4. Maintenance period considering corrosion and fatigue

Category	종류	환경조건	유지보수 주기	유지보수 횟수
B	Carbon Steel	Rural	87	1
B	Carbon Steel	Urban	8	12
B	Carbon Steel	Marine	5	22
B	Weather Steel	Rural	104	1
B	Weather Steel	Urban	18	5
B	Weather Steel	Marine	95	1
C	Carbon Steel	Rural	36	3
C	Carbon Steel	Urban	7	14
C	Carbon Steel	Marine	4	24
C	Weather Steel	Rural	43	2
C	Weather Steel	Urban	15	7
C	Weather Steel	Marine	39	3
D	Carbon Steel	Rural	21	5
D	Carbon Steel	Urban	6	4
D	Carbon Steel	Marine	4	6
D	Weather Steel	Rural	22	4
D	Weather Steel	Urban	12	4
D	Weather Steel	Marine	21	4
E	Carbon Steel	Rural	11	9
E	Carbon Steel	Urban	5	9
E	Carbon Steel	Marine	4	10
E	Weather Steel	Rural	7	9
E	Weather Steel	Urban	8	9
E	Weather Steel	Marine	8	8

Table 5. Maintenance period considering fatigue

Category	종류	유지보수 주기	유지보수 횟수
B	Carbon Steel	115.0	무보수
B	Weather Steel	138.2	무보수
C	Carbon Steel	47.5	2
C	Weather Steel	46.4	2
D	Carbon Steel	24.4	4
D	Weather Steel	24.2	4
E	Carbon Steel	11.8	8
E	Weather Steel	11.8	8

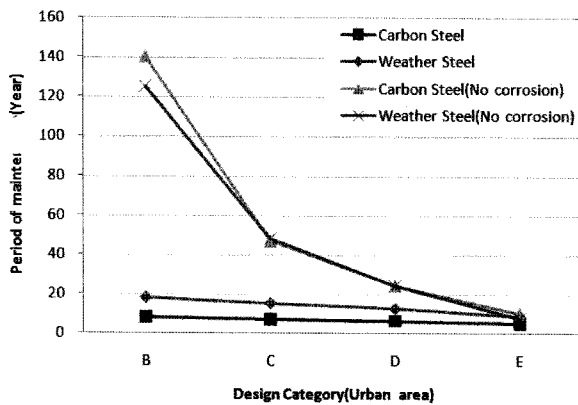


Fig. 9. Maintenance period(Urban area)

무도장 강재의 특성을 볼 때 효과가 거의 없다 할 수 있다. 반면에 해안지역의 무도장강재를 사용하는 것이 그렇지 않은

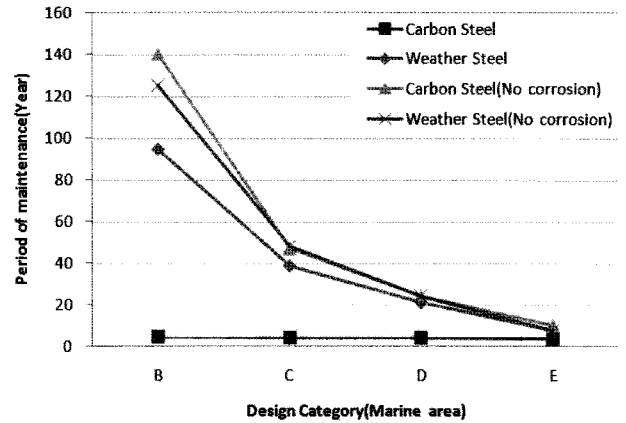


Fig. 10. Maintenance period(Marine area)

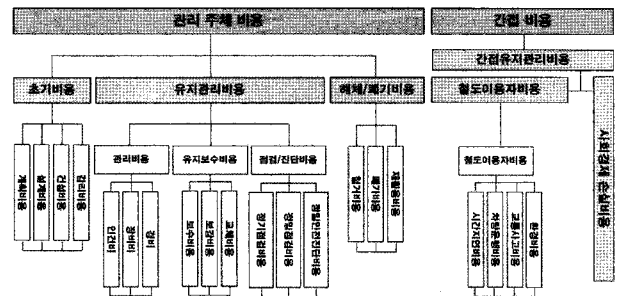


Fig. 11. Cost classification for LCC analysis

경우에 비해 유지보수횟수 측면에서 최대 20배 유리한 것을 알 수 있다.

### 5. LCC 분석

현재까지 철도교량과 관련된 LCC분석의 명확한 비용분류 체계에 대한 자료가 없기 때문에 도로교량의 비용분류체계를 기준으로 철도교량의 비용분류체계를 재구성 하였다. 철도교량의 비용분류체계는 Fig. 11에서와 같이 크게 관리주체가 부담하는 비용인 초기비용, 유지관리비용, 해체폐기비용과 간접 비용으로 분류된다. 여기서 철도 교량의 간접비는 철도유지 보수중에 발생하는 철도의 시간지연비용(time delay cost), 철도운영비용(railway operating cost) 등과 같은 철도이용자비용(railway user cost)과 이로 인해 발생하는 사회-경제적인 손실(socio-economic losses)의 합계로 분류될 수 있다. 그러나 철도교의 유지보수는 열차통행에 지장을 주지 않는 심야에 수행되거나 열차통행에 영향을 미치지 않도록 보수 수행하기 때문에 간접비용이 발생하지 않는 것으로 가정할 수 있다. 생애주기비용 분석을 위한 기본 조건인 대상교량의 공용수명과 할인율은 각각 100년과 4%를 사용하였다.

### 5.1 LCC 정식화

철도교량의 공용기간동안 발생하는 총 생애주기비용을 식 (10)과 같이 할인율을 고려하여 정식화 하였다.

여기서  $C_{TOT}$ 는 총 생애주기비용 이며  $C_{INP}$ ,  $C_{MAI}$ ,  $C_{DIS}$ 는 각각 초기비용, 유지관리비용, 해체폐기비용이며  $q$ 는 할인율,  $T$ 는 교량의 기대수명이다.

$$E[C_{TOT}(X, T)] = C_{INP}(X, t) + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+q)^t} \{E[C_{MAI}(X, t)] + E[C_{DIS}(X, t)]\} \quad (10)$$

그 중 초기비용은 식 (11)과 같이 정식화 할 수 있다.

$$C_{INP}(\bar{X}) = C_{IP}(\bar{X}) + C_{ID}(\bar{X}) + C_{IC}(\bar{X}) + C_{IT}(\bar{X}) \quad (11)$$

여기서,  $C_{ID}$  = 계획비,  $C_{IP}$  = 설계비,  $C_{IC}$  = 시공비,  $C_{IT}$  = 감리비를 의미한다.

교량의 유지관리 비용은 관리비, 점검비, 유지보수비로 구성되며 이를 정식화 하면 식 (12)와 같다.

$$C_{MAI}(X, t) = C_{PMAI}(X, t) + \sum_{k=1}^K [C_{INS}^k(X, t) + C_{EMAI}^k(X, t)] \quad (12)$$

여기서,  $C_{PMAI}$ =관리비,  $C_{INS}$ =점검비,  $C_{EMAI}$  = 유지보수비이다.

해체폐기비용은 철거비용, 재활용비용, 폐기비용으로 구성되며 이를 정식화 하면 식 (13)과 같다.

$$C_{DIS}(X, t) = \sum_{k=1}^K [C_{DSP}^k(X, t) + C_{REC}^k(X, t) + C_{DUS}^k(X, t)] \quad (13)$$

여기서,  $C_{DSP}$ = 철거비용,  $C_{REC}$ = 재활용비용,  $C_{DUS}$  = 폐기비용이다.

### 5.2 LCC 분석

#### 5.2.1 초기비용

시공비는 과거 예산서, 설계사 자료 및 문헌자료를 종합적으로 고려해 추정하였으며, 자세한 설명은 철도 LCC 보고서 [2]를 참조할 수 있다. 그 중 상부공은 고속철도 소수주형교의 m당 건설단가로 산정하였으며 하부공은 교대와 교각의 기당 단가를 사용하였다. 또한 하부기초의 말뚝공사는 강관말뚝으로 가정하여 분석하였으며 제시된 값 중 최소비용을 사용하였다. 계획비용, 설계비용, 감리비용은 엔지니어링 사업대가 요율을 이용하여 시공비용에 대한 비율로 결정하였다.

Table 6. Construction cost of high speed railway bridge

구성항목	소수주형 상부	교대	교각	강관파일 말뚝 (Ø508mm)
규격	m당	기	기	기
단가(천원)	20,536 ~ 42,594	237,072 ~ 410,865	118,906	306 ~ 371

Table 7. Ratio to construction cost(%)

구 분	계획비	설계비	감리비
시공비에 대한 비율	1.3	2.6	1.45

#### 5.2.2 유지관리비용

유지관리비용은 관리비용, 점검/진단비용과 보수 및 교체에 소요되는 유지보수비용으로 구성된다. 관리비용은 일반적으로 연간 공사비의 1%를 책정하며, 점검/진단 비용은 시설 안전기술공단[1] 기준을 사용하였다.

유지보수비용의 경우 일반철도교와 고속철도교의 차이가 없을 것으로 가정하고, 국내 일반 강철도교량의 교량이력카드와 정밀안전진단보고서를 이용하여 산정된 결과를 적용하였으며, 사용된 값은 Table 8과 같다.

#### 5.2.3 해체폐기비용

해체폐기 비용은 Table 8과 같이 철거비, 재활용비, 폐기비용으로 분류되고 철도 LCC 보고서[2]의 자료를 바탕으로 단위면적당 비용으로 산출하였다.

Table 8. Maintenance cost

손상내역	공법	조치율 (%)	단가(원)
도장손상	도장	30.98	50,000 /m <sup>2</sup>
볼트손상	볼트교체	1.55	20,000 /EA
강재균열	용접보수공법	1.94	17,000 /EA
	stop hole 설치	0.31	100,000 /EA
	가우징후 재용접	0.2	200,000 /m <sup>2</sup>
	강관보강공법	0.01	300,000 /m <sup>2</sup>
2차부재손상	거šet판교체	3.37	300,000 /EA
	브레이싱교체	1.67	216,000 /EA
	연결판교체	6.31	300,000 /EA

Table 9. Disposal cost [won/m<sup>2</sup>]

교량형식	해체비 (A)	폐기비 (B)	재활용비 (C)	해체폐기비용 (A+B-C)
steel girder	682,575	23,328	43,022	662,881

### 5.3 LCC 분석 결과

Table 10을 보면, 부식과 피로손상을 동시에 고려한 생애주기비용이 피로만을 고려한 비용보다 더 크게 발생함을 확인할 수 있다. 이는 부식과 피로를 동시에 고려하였을 경우가 피로손상만 고려하였을 때 보다 유지보수주기가 짧고 보수횟수가 많아 발생한 것으로 판단된다. 또한 공용수명동안 발생하는 총 생애주기비용에 비해 초기비용이 약 50%를 차지함을 확인할 수 있으며 할인율을 고려한 해체폐기비용은 전체 비용에 비해 아주 낮은 비율을 차지한 것을 확인할 수 있다.

Table 10. Total Life Cycle Cost [thousand won]

구분	부식피로손상	피로손상
초기비용	3,401,732	3,401,732
유지관리비용	관리비	44,630
	점검비	446,296
	유지보수비	939,745
해체폐기비용	3,499	3,499
합 계	4,835,901	4,669,486

## 5. 결론

본 논문에서는 고속철도 강교량의 피로와 부식을 동시에 고려할 수 있는 한계상태방정식을 제안하였으며, 체계신뢰성 해석을 이용하여 교량의 부식과 피로로 인한 유지보수 손상 시기를 결정할 수 있는 해석 방법 및 결과를 제시하였다.

본 논문에서 제안한 고속철도 강교량의 부식피로 신뢰성기반 생애주기비용 분석 모델은 설계단계에서의 교량의 경제성 평가에 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 고속철도교량의 기존 유지보수 이력 자료가 부족하고, 유지보수비용을 산정하기 위한 전문가의 판단에 근거 역시 미약하여 피로와 부식 열화로 인한 유지보수비용을 결정하기가 어려운 경우에 교량 가설환경, 사용한 강종, 설계 Category에 따른 유지보수 주기를 이용한다면, 합리적으로 생애주기비용분석을 수행할 수

있을 것으로 판단된다. 또한 베이지안 기법을 이용한다면, 본 논문에서 제안된 주기는 점검 및 진단을 통해 획득한 자료를 이용하여 갱신될 수 있을 것이며, 이를 위해 향후 체계적인 데이터베이스 개발에 관한 연구가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 한국철도시설공단의 “철도교량의 설계단계 생애주기비용분석 시스템개발” 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 건설교통부/한국시설안전기술공단(2003), “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”(교량).
2. 철도시설공단, 철도교량 설계단계 생애주기비용(LCC)분석 시스템 개발 연구, 2007.
3. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2007), American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C.
4. Barsom, J. M. and Rolfe, S. T. (1999). Fracture and Fatigue Control in Structures: Applications of Fracture Mechanics, 3rd Edition, Butterworth -Heinemann, Massachusetts, USA.
5. Jiang, X. C. and Stachle, R. W. (1997), “On the activation energy in the chemical-mechanical correlation model”, Corrosion, Vol.53, No.11, pp.869-879.
6. Kayser, J. R. (1988), The effects of corrosion on the reliability of steel girder bridges, PhD thesis, University of Michigan, USA
7. Rahgozar, R., Khalaghi, A. R. and Javanmardi, R. (2006), “Fatigue notch factor in steel bridges due to corrosion”, 7th International Congress on Civil Engineering, Tehran, Iran, on-line paper.
8. Wirsching, P. H. (1984). “Fatigue Reliability for Offshore Structures.” Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.110, No.10, pp.2340-2356.
9. Wirsching, P. H. and Chen, Y. N. (1987). “Fatigue Design Criteria for TLP Tendons.” Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.113, No.7, pp.1398-1414.

(2008년 1월 8일 논문접수, 2008년 2월 15일 심사완료)