

R.C 박스거더교의 체계신뢰성해석 및 안전도평가

Assessment of System Reliability and Capacity-Rating of Concrete Box-Girder Highway Bridges

조효남*

이승재**

임종권***

ABSTRACT

This paper develops practical and realistic reliability models and methods for the evaluation of system reliability and system reliability-based rating of R.C box-girder bridge superstructures.

The precise prediction of reserved carrying capacity of bridge as a system is extremely difficult especially when the bridges are highly redundant and significantly deteriorated or damaged. This paper proposes a new approach for the evaluation of reserved system carrying capacity of bridges in terms of equivalent system-strength, which may be defined as a bridge system-strength corresponding to the system reliability of the bridge. This can be derived from an inverse process based on the concept of FOSM form of system reliability index.

The strength limit state models for R.C box-girder bridges suggested in the paper are based on the basic bending and shear strength. And the system reliability problem of box-girder superstructure is formulated as parallel-series models obtained from the FMA(Failure Mode Approach) based on major failure mechanisms or critical failure states of each girder. AFOSM and IST(Importance Sampling Technique) simulation algorithm is used for the reliability analysis of the proposed models.

1. 서론

R.C 박스거더교는 상판이나 격벽으로 인하여 횡방향 하중분배, 여유성(Redundancy)이 우수하며 또한 편심하중에 대해 효과적으로 저항할 수 있기 때문에 이와 같은 교차의 여유성을 가진 교량상부구조의 잔존내하력을 합리적으로 예측하기 위해서는 시스템 성능과 체계신뢰성에 기초한 내하력 및 안전도평가가 매우 중요하다.

최근 들어, 요소수준보다는 시스템수준의 신뢰성이 강조되면서 일반거더교량에 대한 실제적인 체계신뢰성모델 및 방법이 제안된 바 있다[Ang/ Bennett, 1986; Ellingwood et al., 1980; Frangopol /Curley, 1987; Melchers, 1989]. 또한 본 연구자를 통하여 신뢰성에 기초한 안전도 및 내하력 평가에 대한 실제적인 접근이 이루어진 바 있다[Cho and Ang, 1989, Cho/Shin, 1989].

본 논문은 기설 RC 박스거더교의 체계신뢰성 평가를 위한 실제적이고 합리적인 신뢰성 모델 및 방법을 제안하고 이에 기초한 내하력 평가방법을 제안하며 노후손상된 기설 RC 박스거더교에 적용하므로써 제안된 체계신뢰성

해석모델 및 방법의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 한계상태모형

2.1 요소한계상태모형

본 논문에서 제안한 RC박스거더교의 강도한계상태모형은 휨 및 전단강도에 기초하여 설정하였다.

즉, 거더교량에 대한 선형강도한계상태함수는 휨 또는 전단파괴에 대하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$g(\cdot) = S_R - (S_D + S_L) \quad (1)$$

여기서, S_R = 휨 또는 전단강도, S_D , S_L = 작용모멘트 또는 전단력, 이때, 실저항 S_R 과 실하중효과인 S_D , S_L 은 노후손상계수 D_F 와 교량의 실용담비인 K 를 명시적으로 포함시킨 항으로 표현할 수 있다[Moses, 1989; 조효남 외, 1989].

2.2 시스템 한계상태모형

박스거더교의 복합적 파괴기구에 기초한 체계신뢰성해석을 위해 다음과 같은 한계상태방정식을 사용하였다.

$$g_i(\cdot) = \sum C_{ij} S_{Rij} - \sum (b_{Dik} S_{Dik} + b_{Lik} S_{Lik}) \quad (2)$$

* 한양대학교 토목공학과 교수

** 한양대학교 토목공학과 강사

*** 한양대학교 산업과학연구소 연구원

여기서, S_{Rij} 는 i 번째 파괴기구에서의 j 번째 파괴단면의 실저항모멘트, S_{Dik} , S_{Lik} 는 i 번째 파괴기구의 k 번째의 작용하중효과, 그리고 C_{ij} , b_{Dik} , b_{Lik} 는 붕괴모드를 정의하는 계수를 나타낸다.

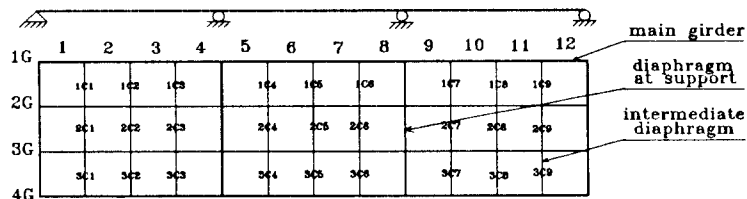
한편, 신뢰성모델은 요소파괴특성이 취성인지 연성인지에 따라 좌우되는데, 실제의 거동은 완전취성도 완전연성도 아닌 이들의 중간 형태이기 때문에 본 연구에서는 RC 요소의 파괴를 잔존강도를 가진 반취성 또는 반연성으로 가정하였다. 전술한 저항 및 하중효과에 있어서 기본랜덤변량의 모든 불확실량은 주로 문헌[Cho et al, 1989]의 자료로부터 획득하였다.

3. 체계신뢰성해석

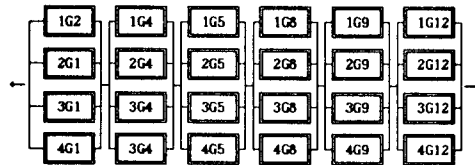
기설교량의 신뢰성평가는 대부분의 경우 여러가지 불확실량, 신뢰성 해석 및 수치해석에 관련된 오차 등으로 인하여 매우 어려운

문제이기 때문에 신뢰성해석 모델링은 교량의 안전도를 평가하기 위한 근사적이면서도 실용적인 방법으로 개발되는 것이 바람직하다. 가로보, 보강재, 격벽 그리고 상판 등을 포함하는 교차의 여유성을 가지는 교량의 상부구조는 어느 한개의 요소 및 부재가 파괴된다하더라도 전체 시스템이 파괴되는 경우는 극히 드물며, 따라서 교량의 시스템 파괴확률은 분명히 요소 파괴확률과는 다르게 된다. 이러한 기설교량 상부구조의 시스템 파괴는 시스템 한계상태로서 정의될 수 있는데 이때 시스템파괴 또는 시스템저항은 이론이나 실제적인 방법에 기초하여 다양하게 표현할 수 있다.

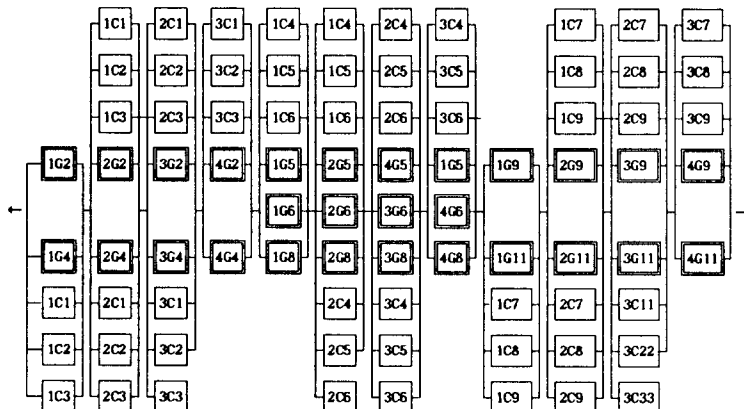
본 논문에서는 RC 박스거더교의 상부구조 시스템모델링을 주요파괴기구에 기초한 FMA (Failure Mode Approach)로 부터 얻어진 직-병렬 혼합모델로서 정식화하였다.



(a) 교량 모델



(b) 전단파괴상태에 대한 시스템 모델링



(c) 휨파괴상태에 대한 시스템모델링(System 3)

그림 1. 체계신뢰성해석모델링

즉 휨파괴모드의 경우, 그림 1에서 보는 바와 같이, 각 거더의 시스템파괴상태는 상판과 격벽의 효과를 고려하거나 고려하지 않은 상태에서 주요거더의 붕괴기구로서 가정하였으며, 전단파괴모드의 경우에는 지점부 단면에 있어서 웨브전체의 전단파괴로서 정의하였다. 또한 요소신뢰성수준에서 각 거더의 하중효과는 RC박스거더교의 격자모델의 선형탄성 해석으로부터 구하였다.

본 논문에서는, 요소신뢰성해석에 AFOSM 알고리즘[Ellingwood et al., 1980], 체계신뢰성해석에는 본 연구자에 의해 개발된 IST 알고리즘[Cho/Kim, 1991]을 사용하였다.

4. 체계신뢰성에 기초한 등가시스템저항강도

본 논문은 RC 박스거더교와 같은 교차의 응용성을 가지는 교량의 보유안전율을 보다 합리적으로 평가하기 위해 β -평가기준으로서 체계신뢰성지수에 기초한 새로운 저항강도 평가방법을 제안하였다. 즉, 이는 체계신뢰성지수의 FOSM의 형태에서 유도된 등가시스템저항강도로서 보다 실제적이고 합리적인 극한시스템저항강도(P_{ns})와 내하율(RF)을 구하는 접근방식이다.

체계신뢰성지수 β_s 는 개념적으로 FOSM 형태의 ln-ln 모델로부터 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$\beta_s = \frac{\ln(\overline{R_s} / \overline{Q_s})}{\sqrt{\Omega_{R_s}^2 + \Omega_{Q_s}^2}} \quad (3)$$

여기서, $\overline{R_s}$ = 평균시스템저항; $\overline{Q_s}$ = 평균시스템 하중효과; Ω_{R_s} , Ω_{Q_s} = 시스템저항과 하중효과의 변동계수; $\overline{Q_s}$ = 공칭평가하중 P_n 과 단위평균하중효과 $\overline{q_s}$ 로 표현되는 시스템 평균하중효과 ($\overline{Q_s} = \overline{q_s} P_n$)를 나타내며 식(5)는 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$P_{ns} = \frac{\overline{R_s}}{\overline{Q_s}} \text{EXP}(-\beta_s \sqrt{\Omega_{R_s}^2 + \Omega_{Q_s}^2}) \\ = \frac{q_s}{Z_m} \text{EXP}(-\beta_s \Omega_s) \quad (4)$$

여기서, Z_m 은 시스템 평균저항($\overline{R_s} / \overline{q_s}$), Ω_s 는 시스템 불확실량을 개념적으로 각각 내포하고 있는 매개변수이다.

그림 2에서 보는 바와 같이 P_{ns} 과 β_s 와 의 관계식은 식(4)에 의해 지수함수 형태로 표현됨을 알 수 있다. 미지의 매개변수 Z_m , Ω_s 는 상하 두개의 평가하중에 대응하는 체계신뢰성지수로 정해지는 두개의 평가점 (P_{R1} , β_{s1}), (P_{R2} , β_{s2})를 식(4)에 대입하므로써 얻어질 수 있다. 즉, 식(4)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{R1} = Z_m \text{EXP}(-\Omega_s) \beta_{s1} \quad (5a)$$

$$P_{R2} = Z_m \text{EXP}(-\Omega_s) \beta_{s2} \quad (5b)$$

식 5(a)과 5(b)를 식(4)에 대입하여 풀면

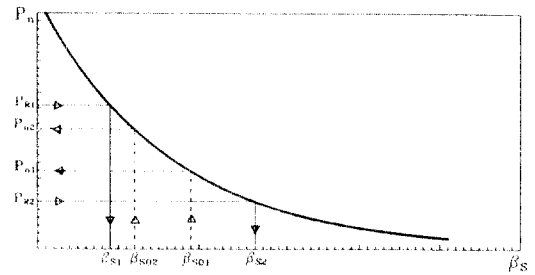


그림 2. β_s vs. P_{ns}

$\Delta \beta = \beta_{s1} - \beta_{s2}$ 라고 했을 때, 매개변수 Z_m , Ω_s 는 다음과 같이 표현된다.

$$Z_m = \left(\frac{P_{R1}^{\beta_{s1}}}{P_{R2}^{\beta_{s2}}} \right)^{1/\Delta \beta} \quad (8)$$

$$\Omega_s = \frac{1}{\Delta \beta} \ln \left(\frac{P_{R1}}{P_{R2}} \right) \quad (9)$$

최종적으로, 식(6)과 식(7)을 식(4)에 대입하여 정리하면 등가시스템저항강도 P_{ns} 는 다음과 같이 표현된다.

$$P_{ns} = \frac{P_{R2}^{\Delta \beta_1 / \Delta \beta}}{P_{R1}^{\Delta \beta_2 / \Delta \beta}} \quad (8)$$

여기서, P_{R1} , P_{R2} = 평가하중; $\Delta \beta_1 = \beta_{s1} - \beta_{so}$; $\Delta \beta_2 = \beta_{s2} - \beta_{so}$, 여기서, β_{s1} , β_{s2} = 각각 P_{R1} , P_{R2} 에 따른 체계신뢰성지수 β_{sys} ; β_{so} = 목표신뢰성지수를 나타낸다.

본 연구에서 제안하는 체계신뢰성에 기초한 등가시스템저항강도 평가방법은, 새로운 개념으로서, 두개의 평가하중 각각에 대한 체계신뢰성지수만 구하게 되면 실제적인 극한시스템저항강도 P_{ns} 를 공용내하율(SLR, $\beta_{so1}=3.0$)과 최대과하중내하율(MOR, $\beta_{so2}=2.5$)에 대해서 식(8) 또는 그림 2를 사용하여 손쉽게 구할 수 있는 매우 유용한 방법이라고 생각된다.

5. 시스템 응용성 및 보유저항강도

상자형교와 같이 교차의 응용성을 가지는 구조물에 대해서는, 단 한개의 부재나 요소의 파괴가 전체 구조물의 파괴를 유발하는 것이 아니며 따라서 구조물의 극한내하력은 일반적으로 최초 부재의 파괴하중보다 더 크다. 그러므로 구조 응용성은 일반적으로 어떤 한 구조 부재의 부분적 또는 전체적인 파괴가 이루어진 경우, 구조물이 시스템 자체로서 파괴에 저항할 수 있는 능력, 즉 시스템으로서의 보유안전율 및 저항강도의 정도를 나타내는 척도로서 정의될 수 있는데, 부정정성(Indeterminacy)의 정도 뿐만 아니라 개별 부재의 후파

괴거동, 부재강도 및 하중, 부재강도 사이의 상호관계, 각 부재의 신뢰성수준에 따라 좌우된다[Kritzler/Mohammadi, 1992].

5.1 확률적 시스템 여유성 및 보유안전율

시스템 여유성 또는 보유안전율을 표현하기 위한 몇가지 방법이 몇몇 연구자들[Frangopol/Curley, 1989; Moses/Fu, 1989]들에 의해 제안된 바 있으나, 본 연구에서는 신뢰성지수에 의하여 확률적 시스템 여유성과 보유안전율을 다음과 같이 정의하였다.

$$PSRF = \beta_s / \beta_i \quad (9a)$$

$$PSReF = \beta_s / \beta_e \quad (9b)$$

여기서, PSRF(Probabilistic System Redundancy Factor)=확률적 시스템 여유성 계수; PSReF(Probabilistic System Reserve Factor) = 확률적 시스템 보유안전율 계수; β_s =체계신뢰성지수; β_i = 초기파괴요소의 체계신뢰성지수; β_e =요소신뢰성지수를 나타낸다.

5.2 확정적 시스템 여유성 및 보유저항강도

등가시스템저항강도 P_{ns} 의 함으로 극한시스템저항강도가 구해지면 확정적 시스템 여유성 및 보유저항강도는 상술한 확률적 방법과 마찬가지로 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$DSRF = P_{ns} / P_{ni} \quad (2a)$$

$$DSReF = P_{ns} / P_{ne} \quad (2b)$$

여기서, DSRF(Deterministic System Redundancy Factor) = 확정적 시스템 여유성 계수; DSReF(Deterministic System Reserve Factor) = 확정적 시스템 보유저항강도 계수; P_{ns} = 체계신뢰성지수에 상응하는 공칭시스템저항강도; P_{ni} = 초기파괴요소의 신뢰성지수에 상응하는 초기파괴의 공칭저항강도.

6. 적용에 및 고찰

6.1 적용교량

기설 RC 박스거더교의 체계신뢰성에 기초한 내하력평가를 위한 체계신뢰성 모델 및 방법을 그림 3에서 보는 바와 같이 하동과 다압의 국도 2호선상에 위치한 섬진강을 가로지르는 3연속 RC박스거더교인 섬진교에 대하여 적용하였다. 이 교량은 공용기간이 7년 밖에 되지 않았음에도 불구하고 설계상의 오류와 시공불량 등으로 인하여 그림 4에서 보는 바와 같이 박스의 전단면에 걸쳐 심각한 휨 및 전단균열이 발생하여 열화손상이 심각한 상태에 있던 교량으로서 최근 교체시공중이다.

이 교량에 대해서는 본 연구자에 의해 체계적인 외관조사, 비파괴시험 및 정·동적 재

하시험을 통한 광범위한 안전진단이 수행된 바 있는데 측정데이터 및 내하력 평가자료를 교량의 일반사항과 함께 표 1에 정리하였다.

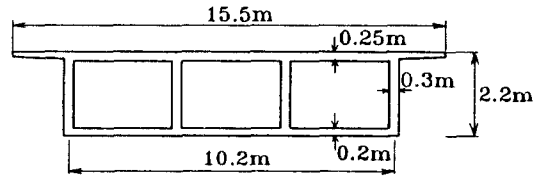


그림 3. 적용교량의 횡단면도

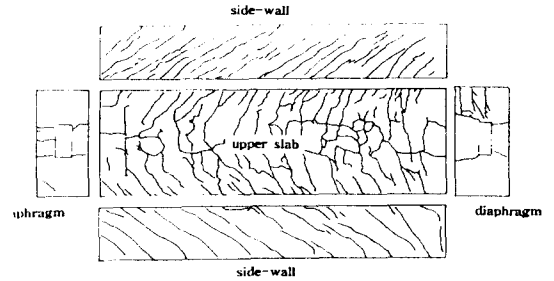


그림 4. 균열도

표 1. 교량의 일반사항 및 측정데이터

형식	3연속 RC 박스거더 + 4-연속 강상형 + 3연속 RC 박스거더 (3@34 + 4@54 + 3@34)
설계하중	DB-24
웹 간격	3.4 m
콘크리트 압축강도	180 kg/cm ²
콘크리트 탄성계수	150000 kg/cm ²
철근의 항복강도	4000 kg/cm ²
철근의 탄성계수	2040000 kg/cm ²
$\sigma_{test} / \sigma_{cal}$	0.77
충격계수	1.23
손상계수	0.70

6.2 체계신뢰성 해석

섬진교의 체계신뢰성 해석결과를 요소신뢰성 해석결과와 비교하여 표 2에 요약하여 나타내었다. 표 2로 부터, 전단강도한계상태의 경우 요소신뢰성지수와 체계신뢰성지수가 각각 1.34와 1.80, 휨의 경우 각각 2.46과 3.00~

표 2. 신뢰성해석결과

전단 / 휨		신뢰성지수(β)	
전단	초기파괴요소신뢰성	1.30	
	요소신뢰성	1.34	
	체계신뢰성	1.80	
휨	초기파괴요소신뢰성	2.43	
	요소신뢰성	2.46	
	체계신뢰성	Sys. 1 *	3.00
		Sys. 2 **	3.11
		Sys. 3 ***	5.88

* 거더 1개 파괴시 시스템파괴(격벽, 상판 미고려)

** 인접거더 2개 파괴시 시스템파괴(격벽, 상판 미고려)

*** 거더 1개 파괴시 시스템파괴(격벽, 상판 고려)

5.88로서, 예상했던 바와 같이, 요소신뢰성지수와 체계신뢰성지수와는 상당한 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

더우기, 격벽의 효과를 고려한 시스템모델(Sys. 3)의 체계신뢰성지수는 5.88 으로서 격벽을 무시한 시스템모델(Sys. 1, 2)보다 매우 높은 결과 대략 3.0~3.11를 얻었는데 이는 상판과 격벽이 시스템 안전율에 상당한 기여를 하고 있음을 나타내는 것이다.

6.3 등가시스템저항강도

우선 대상교량의 요소수준에 대한 저항강도 평가결과를 표 3에 정리하였다. 재래적인 WSR 에 의한 내하력 평가결과, 휨강도한계상태의 경우 RF가 -0.49로서 신뢰성에 기초한 LRFR(RF=0.85)이나 재래적인 LFR 방법(RF=1.31)보다 다소 낮은 결과를 나타내고 있다.

표 3. 개별 요소수준의 내하력평가

Codified Capacity Rating		Bending		Shear	
		$P_{ne}(t)$	RF	$P_{ne}(t)$	RF
LRFR	SLR	36.7	0.85		-0.10
	MOR	59.2	1.37		
WSR			-0.49		
LFR (AASHTO)	IR*	56.6	1.31	40.6	0.94
	OR**	94.2	2.18	67.8	1.57

* Inventory Rating
** Operating Rating

표 4에서는 등가시스템저항강도 평가개념 및 검증을 위하여 이들 요소의 내하력평가에 적용한 LRFR 내하력 및 등가요소저항강도 평가결과를 비교, 정리하였다. SLR에 대하여 각각 RF가 0.85, 0.68으로서 두 평가방법에 의한 결과가 거의 유사함을 알 수 있는데 이는 본 논문에서 제안한 등가시스템저항강도 평가방법이 매우 합리적임을 나타내는 것이다.

표 5에는 등가 요소/시스템 저항강도 평가결과를 제시하였다. SLR에 대하여 각각 RF가 0.68, 1.00으로서 두 평가방법에 의한 결과가 상당히 다를 수 있는데 이는 대상교량과 같이 고차의 의 여유성을 가지는 RC 박스거더교의 경우에는 시스템수준에서 평가된 교량의 보유저항강도가 요소수준에서 평가된 것과는 상당히 차이가 있음을 의미하는 것이다.

표 4. Codified(LRFR) vs. 등가요소저항강도

Codified/Equivalent Element Strength		Bending		Shear	
		P_{ne} , P_{ns}	RF	P_{ne} , P_{ns}	RF
Codified (LRFR)	SLR	36.7	0.85		-0.10
	MOR	59.2	1.37		
Equivalent Element Strength	SLR	29.3	0.68	4.9	0.11
	MOR	41.1	0.97	9.5	0.22

따라서 본 논문에서 새로이 제안하고 있는 체계신뢰성에 기초하여 유도한 등가시스템저항강도 평가방법이 기설교량의 실제적인 시스템 여유성과 보유내하력의 평가에 성공적으로 적용할 수 있는 매우 합리적인 방법임을 알 수 있다.

표 5. 등가 요소/시스템 저항강도

등가 요소/ 시스템 저항강도		섬전교(RC상차형)			
		Bending		Shear	
		P_{ne} , P_{ns}	RF	P_{ne} , P_{ns}	RF
Element reliability -based	SLR	29.3	0.68	4.9	0.11
	MOR	41.1	0.97	9.5	0.22
System reliability -based	SLR	43.2	1.00	16.1	0.37
	MOR	85.7	1.98	24.3	0.56

6.4 시스템 여유성 및 보유안전율/저항강도

체계신뢰성에 기초한 시스템 여유성 및 교량의 보유안전율/저항강도의 평가결과를 표 5에 정리하였다. 확률적 및 확정적 시스템 여유성 및 보유안전율/저항강도에 있어서 PSReF/PSRF, DSReF/DSRF가 각각 1.21~2.98의 넓은 범위에 걸쳐 나타났다. 이것은 상판, 가로보, 격벽 그리고 기타 2차부재 등이 시스템 여유성에 상당히 기여하고 있음을 분명히 보여주는 결과이다. 그러므로 본 논문의 적용교량과 같이 고차의 여유성을 가지는 교량에 대해서는 실보유안전율 및 내하력을 평가하는데 있어 체계신뢰성에 기초한 방법이 필수적임을 나타내는 것이다.

표 6. 시스템 여유성 및 보유안전율/ 저항강도

시스템여유성 및 보유안전율/저항강도	정의	휨	전단
PSRF	β_s / β_i	1.23	1.38
PSReF	β_s / β_e	1.21	1.34
DSRF	P_{ns} / P_{ni}	2.98	2.57
DSReF	P_{ns} / P_{ne}	2.09	2.56

6. 결 론

본 논문의 연구결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 논문에서는 기설 R.C 박스거더교에 대해서 휨과 전단을 모두 고려할 수 있는 실용적인 체계신뢰성 해석모형과 해석기법 그리고 체계신뢰성에 기초한 안전도 및 내하력 평가방법을 제안하였다.
2. R.C 박스거더교에서는 상판 및 격벽 등으로 인한 높은 여유성으로 인해 체계신뢰성지수와 요소신뢰성지수 사이에는 상당한 차이가 남을 확인할 수 있었으며, 따라서 기설 R.C 박스거더교의 실제적인 시스템

안전을 및 시스템 내하력평가에서 이러한
여용성에 대한 고려가 매우 중요함을 알
수 있었다.

3. 본 논문에서 제안한 체계신뢰성에 기초한
내하력 평가방법은 노후손상된 R.C 박스
거더교량의 보수 및 복구, 유지관리에 대
한 최적의 결정사항을 위하여 기본이 되는
실제적인 내하력평가에 있어 매우 효율적
으로 사용될 수 있다고 사료된다.

참고문헌

Ang, A. H-S. and Bennett, R. M.
(1986), "Formulations of Structural
System Reliability," Jour. of structural
Eng., ASCE, Vol. 112, No. 11, Nov., pp.
1135-1151.

Ang, A. H-S. and Cho, H. N.
(1989), "Reliability Assessment and
Reliability-Based Rating of Existing Road
Bridges," 5th Int. Conf. on STRUCTURAL
SAFETY AND RELIABILITY (ICOSSAR
'89), San Francisco, Calif., USA, pp.
2235-2238.

Cho, H. N., Lee, S. J. and Kang, K. K. (1992),
"Assessment of System Reliability and
Capacity-Rating of Composite Steel Box-
Girder Highway Bridges," 2nd Japan-Korea
Joint Seminar on Steel Bridges, Tokyo, Japan,
July 20-21, pp. 243-254.

Cho, H. N. and Kim, I. S. (1991),
"Importance Sampling Technique for the
Practical System Reliability Analysis of
Bridge," Proc. of the US-Korea- Japan
Trilateral Seminar, Honolulu, pp. 87-100.

Ellingwood, B., Galambos, T. V.,
MacGregor, J. C. and Cornell, C. A.
(1980), "Development of a Probability-
Based Load Criterion for the American
National Standard A58," National Bureau
of Standard SP-577, Washington D.C.

Frangopol, D. M. and Curley, J. P. (1987),
"Effects of Damage and Redundancy on
Structural Reliability," Jour. of Structural
Eng., ASCE, Vol. 113, No. 7, July, pp.
1533-1549.

Frangopol, D. M. and Nakib, R. (1989),
"Redundancy Evaluation of Steel Girder
Bridges," 5th Int. Conf. on STRUCTURAL
SAFETY AND RELIABILITY (ICOSSAR
'89), San Francisco, Calif., USA, pp.
2172-2178.

Kritzler, R.W. and Mohammadi (1992),
"Probabilistic Evaluation of Redundancy of
Bridge Structures", 6th ASCE Specialty
Conf. on Probabilistic Mechanics and
Structural and Geotechnical Reliability,
Denver, Colorado, July 8-10, pp.156-159.

Melchers, R.E. (1989), "Importance
Sampling in Structural System,"
Structural Safety, Vol.7, pp.247-254.

Moses, F. (1982), "System Reliability
Developments in Structural Engineering,"
Structural Safety, Vol. 1, pp. 3-13.

Moses, F. and Fu, G. (1989),
"Probabilistic Concepts of Redundancy
and Damage Tolerability," 5th Int. Conf.
on STRUCTURAL SAFETY AND
RELIABILITY (ICOSSAR' 89), San
Francisco, Calif., USA, pp. 967-974.

Nowak, A.S. and Tabsh, S.W. (1991),
"Reliability of Highway Girder Bridge,"
Jour. of Structural Eng., ASCE, Vol.117,
No.8, pp. 2372-2388

Shin, J.C., Cho, H-N. and Chang, D.I.
(1989), "A Practical Reliability-Based
Capacity Rating of Existing Road
Bridges," Jour. of Structural Eng., JSCE,
Vol.5, No.2, pp.245-254.

Cho, H.N., Lee, S.J. and Kang, K.K.
(1992), "Assessment of System Reliability
and Capacity-Rating of Composite Steel
Box-Girder Highway Bridges," 2nd
Japan-Korea Joint Seminar on Steel
Bridges, Tokyo, Japan, July 20-21, pp.
243-254.