

## 총기대비용최소화에 의한 R.C부재의 안전도 평가 Safety Assessment of Reinforced Concrete Members by Expected Total Cost Minimization

이 증 빈\*                  손 용 우\*\*                  박 주 원\*\*\*  
Lee, cheung-bin          Sohn, young-woo          Park, ju-won

### ABSTRACT

One of the main objectives of the study is to propose a practical and realistic reliability analysis by ETCM(Expected Total Cost Minimization). This study is intended to propose the safety assesment and capacity rating of existing reinforced concrete members by evaluating the safety evaluation index, that is RF(Rating Factor) from the results of the field test and inspection for 5 reinforced concrete bridges. ETCM method is used for the reliability analysis of the proposed models. The proposed reliability model and method are applied the safety assesment and system factors of reinforced concrete members.

### 1. 서론

최근에 철근콘크리트구조물의 설계에 합리적인 안전성과 경제성 및 사용성 사이에 균형을 이루어야 할 필요성에 대한 지대한 관심이 집중되고 있다. 그 동안의 철근콘크리트구조물 설계는 안전율의 설정이 반 경험적으로 이루어져 구조물에 작용하는 하중과 저항능력도 설계도에 명시된 값을 그대로 확정론적으로 이용하여 설계해 왔다. 그러나 실제 현장에서 시공되는 콘크리트 강도는 설계기준강도와 다를 뿐 아니라 철근강도 즉 부재단면치수도 실제적으로 변동성을 갖게 된다. 따라서 이로 인한 각 인자의 불확실성을 합리적으로 고려하지 않고는 구조물의 정확한 안전도의 확보가 불가능하고 공칭공용기간(50년)내에 내하력과 내구성의 손상으로 불확실한 상황에서 시공, 파괴시의 복구, 유지관리등의 기대비용의 증가로 비효율적인 설계가 되어 왔다. 이와 같은 철근콘크리트 부재 단면의 손상정도에 따른 안전도 평가의 문제는 최근들어 전 세계적으로 부각되고 있는 현실로 신뢰성 해석방법이 도입되고 있지만, 이 방법은 단일부재 및 재료의 강도와 하중특성만으로 일률적인 안전성을 확보한것으로서 변수요인에 따라 상당히 높은 신뢰성지수가 산재하므로 경제적인 측면에서 적합한 신뢰성수준의 선택이 필요하다. 즉, 낮은 신뢰성 수준인 경우 과다한 건설 비용이 요구되는 불합리한 점이 있다.

따라서 본 연구에서는 사회·경제성 원리를 이용한 Level-IV법인 총 기대비용 최소화 기법으로 저항-하중계수를 산정하여 현행시방서의 강도설계기준과 비교분석하고 철근콘크리트 구조부재 저항능력 (저항계수)에 손상정도에 따른 시스템계수를 도입하여 상부구조물 손상상태에 따른 안전평가지수를 개발하고자 한다.

\* 순천공업전문대학 토목과 교수(공학박사)

\*\* 순천공업전문대학 토목과 시간강사

\*\*\* 순천공업전문대학 토목과 조교

## 2. 최적신뢰성 및 안전도평가

### 2.1 총기대비비용최소화에 의한 최적신뢰성 평가

구조물의 신뢰성평가는 일반적으로 저항 및 하중에 관련된 여러가지 불확실량에 대한 오차와 신뢰성해석모델링 및 수치해석에 수반되는 오차등으로 인하여 복잡하고 어려운 문제이므로 가장 효과적인 최적신뢰성모델링은 근사적이며 실용적인방법으로 개발되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 구조물의 역학적 안전성과 사회성·경제성을 동시에 고려한 통계적의사결정이론에 기초한 총기대비비용최소화원칙을 이용한 최적신뢰성해석 방법으로 간단한 형태로 파괴손실비용정도( $\tau$ ), 안전도의 증가에 따른 초기비용의 증가율( $\nu$ ) 및 증가곡선형( $n$ )의 3가지 함수로 나타내면 다음과 같이 된다.<sup>1)</sup>

$$C_T = C_0 (1 + k\beta^n) \{ 1 + \Phi(-\beta) \tau \} \quad (1a)$$

$$\text{여기서, } k = (\nu - 1) / \beta_0^n \quad (1b)$$

$$\nu = C_B / C_0 = \lambda(\beta_0) = 1 + m(n_0 - 1) \quad (1c)$$

$$m = 1 / [ 1 + a n_s \{ (1/b) - 1 \} ] \quad (1d)$$

단,  $C_0$ :  $\beta = 0$  일때의 초기비용

$C_B$ :  $\beta$  일때의 초기비용

$a$ :  $n_0 / n'$  = 중앙안전율 / 공칭안전율

$n_s$ : 현행설계의 공칭안전율

$\tau$ :  $C_F / C_I$  = 파괴손실비용 / 초기비용

이때 식(1c)의  $\nu$ 는 MFOSM, AFOSM법의 중앙안전율  $n_0$ 의 함수이며, 저항 및 하중효과의 평균-공칭비를 이용하면  $n'$ 와  $n_0$ 의 관계로부터 구해진다.<sup>2),3)</sup>

따라서 최적신뢰성평가에 필요한 최적신뢰성해석에는 다양한 수치해석방법이 사용될 수 있지만 본 연구에서는 조합하중하의 R.C 부재의 한계상태방정식을 양함수의 형태로 변환시켜서 Rackwitz-Fiessler의 근사확률분포법 알고리즘<sup>2),3)</sup>을 사용하여 총기대비비용최소화에 의한 최적신뢰성해석법을 요약하면 다음과 같이 된다.

단계 1. 근사확률분포법 알고리즘으로부터  $\phi, \gamma_i$ 를 계산한다.

단계 2. 단계 1로부터 중앙안전율  $n_0$ 를 계산하여 식(1b), 식(1c)의  $k, \nu$ 치를 산정한다.

단계 3. 무차원화시킨 총기대비비용 식(1a)을 반복시행하여 최적신뢰성지수  $\beta_{opt}$ 을 계산한다.

(허용치에 수렴할 때까지 반복시행)

한편 최적신뢰성해석 알고리즘을 이용하여 총기대비비용최소화에 의한 최적신뢰성규준  $\phi, \gamma_i$ 값의 산정을 요약하면 다음과 같다.

단계 1. 파괴비용의 정도( $\tau$ )에 따른 최적신뢰성지수  $\beta_{opt}$ 을 결정한다.

단계 2. 최적신뢰성해석 알고리즘의 단계 1로부터  $\phi, \gamma_i$ 값을 계산한다.

### 2.2 총기대비비용최소화에 의한 안전도 평가

현재 R.C구조물은 구조물의 상태에 따라 손상(Deterioration)정도가 다르고 또한 발생하는 하중효과가 다르기 때문에 현재 시행되고 있는 R.C구조물의 내하력 평가방법에 의해서는 이들 효과를 합리적으로 고려하기가 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 R.C상부구조물을 손상정도에 따라 분류하고 추가적인 인자로 현장측정(Field Measurement), 조사빈도(Inspection Frequency), 유지보수(Preventive Maintenance)등을 고려하여, 이들 범주에 속하는 R.C구조단면 저항에 따른 저항감소계수를 결정하게 된다. 그러나 R.C구조물의 저항감소계수에 대한 국내연구자료를 R.C구조물 내하력 평가에 직접 적용하기에는 아직 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 NBIF<sup>7)</sup>에서의 저항편중계수, 변동계수와 목표신뢰성지수대신에 파괴손실비용

의 초기비용에 대한 비  $\tau=C_F/C_I$ 와 최적신뢰성지수에 의하여 R.C구조물의 손상상태에 따라서 저항감소계수와 시스템계수를 결정하게 된다.

이와같이 노후 R.C구조물이 안전성을 확보하려면 R.C구조단면의 저항과 사하중및 활하중으로 발생하는 응력사이에서 식(2)과 같은 관계식이 성립하여야 한다. 즉 R.C구조단면이 받을수 있는 저항값의 손상에 따른 감소계수를 곱하여 얻은 현재 R.C 구조단면의 저항값이 사하중과 활하중에 각각 하중계수를 곱하여 얻은 그 R.C구조물이 받아야 하는 응력값보다 커야한다는 것이다. 따라서 하중-저항계수법에 의한 노후 R.C구조물의 안전도평가는 먼저 현재 R.C구조단면이 받을수 있는 저항에서 사하중에 의한 응력을 빼서 그 단면이 받을수 있는 활하중에 대한 최대 저항값을 계산하고, 이를 활하중에 의한 응력으로 나누어 그 계수를 산정하는 법으로 안전평가 지수 즉, 내하율(RF:Rating Factor)은 식(3)과 같이 된다.<sup>7)</sup>

$$\phi R_n > \gamma_D D + \gamma_L L \text{ ----- (2)}$$

$$RF = \frac{\phi R_n - \gamma_D D}{\gamma_L L} \text{ ----- (3a)}$$

$$\phi = \phi_s * \phi_n \text{ ----- (3b)}$$

- 여기서,  $R_n$  = 공칭저항
- $D$  = 부재단면의 자중으로 인한 사하중 효과
- $L$  = 부재단면에 발생하는 공칭 활하중 효과
- $\gamma_D$  = 사하중계수
- $\gamma_L$  = 활하중계수
- $\phi$  = 단면의 손상을 고려한 저항감소계수
- $\phi_n$  = 현행 시방서의 저항계수
- $\phi_s$  = 시스템 계수

### 3.R.C부재의 한계상태모형

#### 3.1 한계상태방정식

R.C구조물의 신뢰도에서 저항 R과 하중작용력  $S_i$ 에 의해 정의되는 안전여유로 나타내는 한계 상태함수  $G(X)$ 는 다음과 같이 결과변수 R,  $S_i$ 의 선형함수로 나타낼 수 있다.<sup>3),4)</sup>

$$G(R, S_i) = R - \sum S_i \text{ ----- (4)}$$

한편, 실저항 R은 노후손상계수  $D_F$ 들 도입하여 식(2)과 같이 표현 할 수 있다.

$$R = R_n D_F N_R \text{ ----- (5)}$$

여기서  $R_n$  = 실공칭재료강도;  $D_F$  = 노후손상계수 ;  $N_R = R_n$ ,  $D_F$ 추정에 관련된 불확실량을 내포하는 랜덤변량(=MFPPD); 이때, M = 재료강도관련랜덤변량; F = 제작시공관련랜덤변량; P = 해석과 모델링 관련 랜덤변량; D = 노후손상추정관련랜덤변량을 나타낸다.

#### 3.2 통계적 불확실량

철근콘크리트구조물에 대한 저항 및 하중관련 랜덤변량들의 불확실량을 합리적으로 추정하는 것이 매우 중요한 문제이다. 따라서 통계적불확실량에는 구조안전도에 영향을 미칠 수 있는 모든 것, 즉 표본자료의 통계적해석에 관한 변동량 뿐 만 아니라 모델링오차, 불확실한 정보로 인한 오차등이 있다. 그러나 재료강도와 하중변수를 제외하고는 관련 데이터의 부족으로 인하여 본 연구에서는 국내외 관련 문헌(2),3)을 종합판단 하여 통계적불확실량을 추정하였으며 이를 표-1.에 정리하였다.

표-1. 저항 및 하중 통계치

		불 확 실 량			평 균 - 공 칭 비		
		$\Omega_R$	$\Omega_{SD}$	$\Omega_{SL}$	$R/R_n$	$D/D_n$	$L/L_n$
웬	보	0.16	0.10	0.26	1.12	1.05	1.20
	슬래브	0.16	0.24	0.35	1.12	1.05	1.20
	확대기초	0.18	0.10	0.26	1.12	1.05	1.20
전 단	보	0.17	0.10	0.26	1.09	1.05	1.20
	슬래브	0.17	0.24	0.35	1.09	1.05	1.20
	확대기초	0.19	0.10	0.26	1.09	1.05	1.20
압 축	띠기둥	0.17	0.10	0.26	1.05	1.05	1.20
	나선기둥	0.17	0.10	0.26	1.05	1.05	1.20

#### 4. 해석계산 및 고찰

##### 4.1 현행 강도설계규준의 최적신뢰성 검정

철근콘크리트구조물의 안전도평가에 대한 최적신뢰성검정을 하기위해 표-1의 수치들 사용하여 현행 철근콘크리트(R.C)설계규준의 최적신뢰성지수  $\beta_{opt}$ 를 D+L 하중조합의 경우 각부재별로 파괴손실비용의 초기비용에 대한 비  $\tau=C_F/C_I$ 에 따라 계산한 것이 표-2.와 같이 된다.

표-2,  $\tau$ 에 따른 R.C부재의 최적신뢰성지수( $\beta_{opt}$ )

		3	5	10	25	50	100	250	500	1000	R.C부재	
$\beta_{opt}$	웬	2.2865	2.4747	2.7148	3.0094	3.2179	3.4157	3.6631	3.8408	3.9863	보	
		2.1733	2.3698	2.6196	2.9248	3.1399	3.3431	3.5972	3.7795	3.9257	슬래브	
		2.2283	2.4206	2.6656	2.9656	3.1774	3.3780	3.6283	3.8087	3.9558	확대기초	
	전 단	2.5178	2.6915	2.9147	3.1906	3.3869	3.5740	3.8093	3.9793	4.1067	보	
		2.4155	2.5954	2.8256	3.1092	3.3106	3.5024	3.7428	3.9156	4.0525	슬래브	
		2.4651	2.6420	2.8687	3.1485	3.3470	3.5368	3.7748	3.9464	4.0789	확대기초	
	압 축	2.9801	3.1317	3.2661	3.5741	3.7512	3.9211	4.1358	4.2429	4.3952	띠기둥	
		2.9578	3.1101	3.3079	3.5552	3.7330	3.9037	4.1194	4.2268	4.3798	나선기둥	

이는 R.C구조부재의 실제상태에 대한 통계적불확실량은 엄밀하게 추정하고 R.C구조물의 재하 실험결과를 사용하여 정해지는 한계상태모형으로 계산된 값이다. 이러한 통계적자료는 앞으로 저항 및 하중에 관한 조사연구가 발전되고 통계자료가 누적됨에 따라 수정보완 될 수 있을 것으로 사료되며 표-2.에서 제시한  $\beta_{opt}$ 는 어디까지나 현 단계에서 최선 추정치로서의 의미를 갖는다.

#### 4.2 최적목표신뢰성지수의 선정

신뢰성방법에 의해 구조물의 설계규준이나 안전도평가를 제시 할 때 합리적이고 적절한 목표신뢰성지수의 선정이 요구된다. 최적목표신뢰성지수의 합리적인 선택방법은 많은 연구에도 불구하고 선택기준에 대한 합리적 근거의 결핍으로 인하여 아직 정립되지 못한 상태로 기존시방서의 안전수준의 적합화, 사회·경제적기준에 의한 접근법, 총기대비용의 최소화기법판단 및 경험에 의한 직접방법등, 몇가지 방법들이 보편적으로 사용되고 있는 실정이다.<sup>2)</sup>

총기대비용최소화에 의한 최적신뢰성지수( $\beta_{opt}$ )는 CIRIA Report63'<sup>5)</sup>에서는 사회·경제적기준에 의한 접근법으로  $\tau=C_F/C_I$ 의 함수, 즉  $\tau=35\sim75$ (보요소),  $\tau=350\sim700$ (기둥요소)도  $\beta_{opt}$ 를 선정하고 있고, Yamamoto'<sup>6)</sup>는 인간오차(Human error)를 포함하여  $\tau=10\sim100$ 정도의  $\beta_{opt}$ 를 강도설계규준의 신뢰성검정에 선정하고 있다. 그리고 Kanda-Ellingwood'<sup>6)</sup>는 건물과 교량구조물의  $\beta_{opt}$ 를  $\tau=15\sim50$  정도에서 선정하고 있다.

전절 4.1의 현행 USD의 최적신뢰성검정시에 분석한 표-2.와 같이 현행 R.C구조의 통상 하중비  $\rho=L/D=0.5\sim1.0$ 사이에 목표신뢰성지수  $\beta_o$ 를 선정하고 있는데 R.C보(빔)  $\beta_o=3.0$ , R.C보(전단)의  $\beta_o=3.2$ , R.C기둥의  $\beta_o=3$ (띠기둥),  $\beta_o=3.5$ (나선기둥)로 하고 있는 실정므로 본연구에서는 표-3.와 같이 R.C구조부재의 최적목표신뢰성지수  $\beta_{opt}$ 를 채택함이 바람직하다고 본다.

표-3.  $\tau$ 에 따른 R.C구조부재의  $\beta_o$ 와  $\phi_n$  값

	빔			전 단			압 축		비 고
	보	슬래브	확대기초	보	슬래브	확대기초	띠기둥	나선기둥	
$\tau$	10	5	5	50	25	25	50	25	
$\beta_o$	2.71	2.37	2.42	3.38	3.11	3.15	3.75	3.30	
$\phi_n$	0.85	0.85	0.85	0.70	0.70	0.70	0.65	0.70	

따라서 본 연구에서 제시한 총기대비용최소화에 의해 각 R.C구조부재별 최적목표신뢰성지수  $\beta_{opt}$ 를 산정하여 현시방서 1.2D+1.8L하중조합(교량: 1.2D+2.0L)으로 표-3의 공칭저항계수를 결정한다. 이 공칭저항계수는 현실을 고려한 공통하중계수를 결정한다음 등가신뢰성을 갖는 각 R.C구조요소별  $\phi_n$ 값을 계산하여 안전도 평가시 편리한 값으로 제안한 것이다.

#### 4.3 총기대비용최소화에 의한 안전도평가규준

지금까지의 안전도평가(내하력평가)방법에는 허용응력법에 의한 WSR(Working Stress Rating) 방법과 AASHTO에서 사용하는 LFR(Load Factor Rating)방법, 그리고 NCHRP에서 연구된 신뢰성 이론에 입각한 LRFR(Load and Resistance Factor Rating)방법등이 있다.<sup>3), 4), 7)</sup>

본 연구에서 제시한 총기대비용최소화에 의한 내하력평가는 기설 R.C구조물의 내하력을 계산 하기에 앞서 노후손상된 R.C구조부재의 최적신뢰성지수에 적합한 저항감소계수와 시스템계수를 추정함으로써, 이를 이용하여 R.C구조물의 건전도의 확인 및 보수, 복구등의 유지관리대책 수립에 관한 판정규준을 사용하고자 하는 것이다.(그림.1~4참조)

표-4.는 R.C구조물의 안전도평가의 시스템계수를 구하기 위해  $\tau$ 에 따른 단면손상을 고려한 저항감소계수( $\phi$ )를 보정기법<sup>3)</sup>에 의해 1.2D+1.8L의 통일하중조합으로 계산 한 것이다.

표-4.에서와 같이 NBIF에서 제안한 안전도평가의  $\phi$ 값과 본 연구의  $\tau$ 에 따른  $\phi$ 값을 비교하여 보면, 약간의 차이가 있지만 전체평균적으로 거의 비슷한 값을 나타내고 있다.

표-4.  $\tau$ 에 따른 단면손상을 고려한 저항감소계수( $\phi$ )

NBIF	상태	양 호			경미한단면손상			심한단면손상			R.C구조부재	
	$\phi$	0.94			0.84	0.76	0.67	0.60	0.54			
	$\gamma$	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
본 연 구	$\tau$	3	5	10	25	50	100	250	500	1000		
	$\phi$	0.90	0.87	0.83	0.78	0.75	0.72	0.69	0.66	0.64	보	웬
		0.88	0.82	0.77	0.72	0.69	0.66	0.62	0.59	0.58	슬래브	
		0.91	0.85	0.80	0.75	0.72	0.69	0.65	0.63	0.61	확대기초	
	$\phi$	0.86	0.82	0.78	0.74	0.71	0.68	0.65	0.63	0.61	보	전단
		0.79	0.76	0.72	0.68	0.64	0.62	0.59	0.56	0.54	슬래브	
		0.82	0.79	0.75	0.70	0.67	0.65	0.61	0.59	0.57	확대기초	압축
		0.76	0.74	0.72	0.68	0.66	0.63	0.61	0.59	0.57	피기둥	
	0.77	0.75	0.72	0.68	0.66	0.64	0.61	0.60	0.58	나선기둥		

표-5.  $\tau$ 에 따른 시스템계수( $\phi_s$ )에 의한 판정규준

문헌 (8)	손상 정도	경미 손상	보통손상		심한손상		안전손상 (수명손재)		안전손상 (수명상실)		R.C구조부재	
	$\phi_s$	1.1	1.0		0.9		0.8		0.7			
	$\beta_s$	2.0	2.5		3.0		3.5		4.0			
본 연 구	$\tau$	3	5	10	25	50	100	250	500	1000		
	$\phi_s$	1.06	1.02	0.98	0.92	0.88	0.85	0.81	0.78	0.76	보	웬
		1.03	0.95	0.91	0.85	0.81	0.77	0.73	0.69	0.68	슬래브	
		1.06	0.99	0.94	0.88	0.85	0.81	0.77	0.74	0.72	확대기초	
	$\phi_s$	1.21	1.16	1.11	1.05	1.00	0.97	0.93	0.89	0.87	보	전단
		1.13	1.09	1.03	0.96	0.92	0.88	0.84	0.81	0.78	슬래브	
		1.17	1.13	1.07	1.00	0.96	0.92	0.87	0.84	0.82	확대기초	압축
		1.18	1.15	1.10	1.05	1.01	0.97	0.93	0.91	0.88	피기둥	
	1.10	1.07	1.03	0.97	0.94	0.91	0.87	0.85	0.82	나선기둥		
	구조 상태	맹 우 호	양 호		보 통		불 량		맹 우 호			
유지 관리	정 기 적 인 정 류 안 조 사			유 보 지 수		보 보 수 강		주요부 구 및 대 치				
RF	1.00			0.75		0.57				안전성 지수		

따라서 Galambos<sup>8)</sup>의 목표신뢰성지수에 따른 시스템계수( $\phi_s$ )로 손상의 정도를 판정하고 있는 것과 마찬가지로  $\tau$ 에 따른 시스템계수들 R.C구조부재별로 구분하여 구조상태, 유지관리상태, 안전평가지수(RF)의 등급으로 하면 총기대비용최소화에 의한 안전도평가(내하력평가 :ETCMR) 규준은 표-5.와 같이 제시 할 수 있다. 이상과 같은 ETCMR규준은 어디까지나 잠정적인 제안규준으로 종래 WSR, LFR, LFRF 및 안정성지수판정방법과 병행하여 사용하므로써 ETCMR의 내하력판정규준으로서의 문제점을 보완하고 그 차이점을 고찰하고자 하는 것이며 R.C구조물에 대한 확률모형이 개발되고 통계적불확실량에 대한 자료가 보완 될 때, 이에 따라 재보정하므로써 수정, 보완할 필요가 있다.

#### 4.4 적용에 및 고찰

본 논문에서 수치해석의 대상으로한 R.C힘부재는 이리국토관리청에서 교량안전도평가<sup>4)</sup>를 실시한 입교, 서시교, 목리교, 함평교, 학야교의 5개교량을 적용했다. 대상 힘부재의 안전평가방정식에서 사용되는 현행시방서의 저항계수 $\phi'$ , 사하중계수 $\gamma_D$ , 및 활하중계수 $\gamma_L$ 는 현행도로교시방서에 규정된  $\phi'=0.85$ ,  $\gamma_D=1.2$ ,  $\gamma_L=2.0$ 을 사용 하였다. 이때 R.C힘부재에 대한 최적목표신뢰성지수  $\beta_{opt}$ 는 문헌 3)과 같이 공용내하중(SLR)의  $\beta_o=3.0$ 을 선택하였다.

표-6. 내하력평가 결과 비교

	공 칭 값				R F				비 고
	M <sub>n</sub>	D <sub>n</sub>	L <sub>n</sub>	D <sub>f</sub>	WSR	LRFR	본 연구		
							$\tau=25$	$\tau=50$	
입 교	194.5	60.00	82.60	0.80	0.21	0.45	0.48	0.44	
서시교	263.4	37.26	33.19	0.41	0.98	1.54	2.43	2.29	
목리교	216.7	41.78	97.27	0.90	0.80	0.89	0.61	0.58	
함평교	130.0	42.77	31.08	0.73	0.11	0.59	0.81	0.74	
학야교(신교)	198.0	38.34	44.93	0.85	1.32	1.52	1.29	1.21	

표-6에서는 기존의 WSR과 LRFD규준식과 총기대비용최소화에 기초한  $\tau$ 에 따른 시스템계수에 의한 내하력평가결과를 비교하여 제시하였다. 먼저 규준식 WSR과 LRFR을 비교하면 후자가 조금 더 높게 평가됨을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서 가장 중점적으로 다루고 있는 총기대비용최소화에 기초한 등가내하력 평가결과와 LRFR방법을 비교해 보면 LRFR방법의 RF가 0.48(입교), 1.54(서시교), 0.89(목리교), 0.59(함평교), 1.52(학야교)으로서 약간 높게 되지만 거의 유사한 값을 나타냄을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 제안하고 있는 평가방법이 규준식인 LRFR과는 달리 R.C구조물의 실제 상태에 따라 추정되는  $\tau$ 에 따른  $\beta_{opt}$ 에 대응하는 내하력을 직접 구할 수 있는 방법이라는 점을 고려하면 사회·경제적 측면까지 반영되기 때문에 합리적이고 타당한 내하력평가 방법임을 나타내는 결과라고 할 수 있다.

## 5. 결론

- 1) 본 연구에서는 총기대비용최소화에 의한 철근콘크리트구조부재의 내하력 및 안전도를 평가함에 있어 기존의 재래적인 평가방법과는 달리 구조신뢰성에 의한 안전성과 사회·경제성을 동시에 고려한 평가방법으로 보다 합리적이고 체계적인 방법을 제안하였다.
- 2) 본 연구에서는 확률론적 신뢰성최적화모형을 토대로 각종 통계적 불확실함을 합리적으로 반영하고, 파괴손실비용을 초기비용에 대한 비에 따른 적절한 최적신뢰성지수와 보정기법을 사용하여 총기대비용최소화 판정규준(ETCM)을 제시하였으며, 이 방법은 고려하는 모든 하중조건에 대해서 거의 일정한 신뢰도를 갖는 합리적인 방법이라 사료된다.
- 3) 기존 철근콘크리트구조부재의 안전도평가에 있어서 현장시험 및 측정데이터의 신뢰도가 안전도평가지수에 미치는 영향은 크며 따라서 충분한 측정데이터의 확보를 위한 통계적인 데이터의 정리가 요구된다.

참 고 문 헌

- 1) 이증빈, 신형우, "총기대비용 최소화원칙에 의한 최적신뢰성지수", 한국전산구조공학회 학술발표논문집, 제6권, 제2집, 1993. 10, pp. 216~223.
- 2) 조효남, 장동일, 신재철, "확률이론에 기초한 철근콘크리트강도설계기준", 대한토목학회논문집, 제6권, 제4호, 1986, 12, pp. 53~60.
- 3) 건설부, "교량안전도 평가 및 내하급수판정 시스템개발", 1990. 9.
- 4) 이리국토관리청, "교량안전평가보고서", 1993. 4.
- 5) "Rationalisation of Safety and Serviceability Factors in Structural Codes", CIRIA Report No. 63, London, 1997.
- 6) Ellingwood, B, and Kanda, J, "Formulation of Load Factors Based on Optimum Reliability", Structural Safety, 9, Elsevier, 1991, pp. 197~210.
- 7) NCHRP, "Strength Evaluation of Existing Reinforced Concrete Bridges", Report No. 292, 1987.
- 8) Galambos, T.V, "System Reliability and Structural Design", Structural Safety, 7, Elsevier, 1990, pp. 101~108.

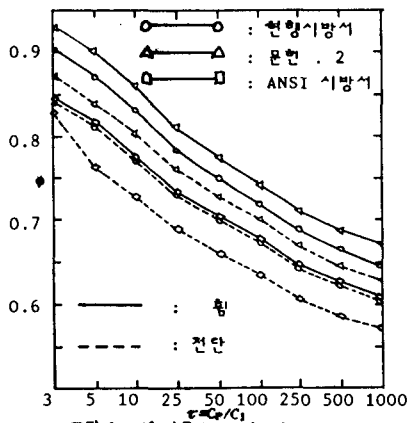


그림. 1 표 1에 따른 R.C.보의 안전도 비교

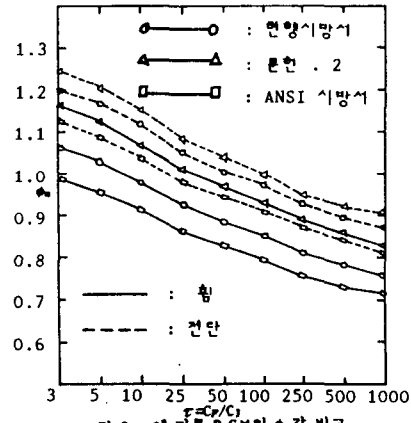


그림. 2 표 2에 따른 R.C.보의 안전도 비교

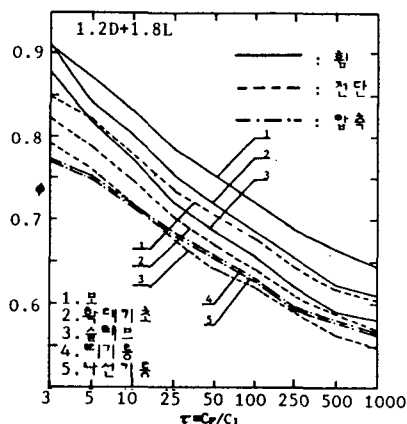


그림. 3 표 3에 따른 R.C.구조부재의 안전도 비교

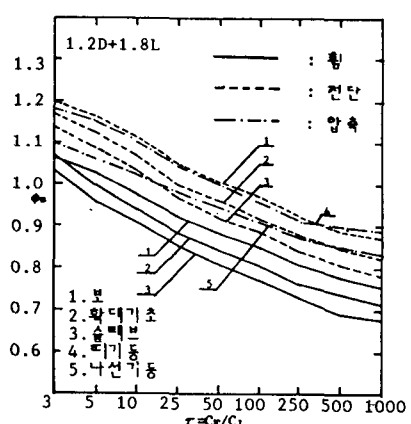


그림. 4 표 4에 따른 R.C.구조부재의 안전도 비교