

현장계측결과를 이용한 강거더교의 확률적 저항모델

Probability Based Resistance Model of Steel Girder Bridges Based on Field Testing

엄 준 식*

Eom, Jun-Sik

Abstract

Underestimation of the capacity can have serious economic consequences, as deficient bridges must be posted, repaired or replaced. Accurate prediction of bridge behavior may allow for more bridges to remain in service with or without minor repairs. The presented research is focused on the reliability evaluation of the actual load carrying capacity of existing bridges based on the field testing. Reliability analysis is performed on 17 previously tested bridges. Bridges are first evaluated based on the code specified values and design resistance. However, after the field testing program, it is possible to apply the experimental results into the bridge reliability evaluation procedures. The girder distribution factors obtained from the tests are also applied in the reliability calculation. The results indicate that the reliability indices of selected bridges can be significantly increased due to the reduction of uncertainties without sacrificing the safety of structures, by including the result of field measurement data into calculation.

요 지

현존하는 교량의 실제적인 거동에 대한 보다 정확한 예측방법의 개발은 보수보강이 필요한 교량에 예산이 집중될 수 있도록 하여 교량운영의 경제성 및 안전성 측면에서 매우 중요하다. 특히 교량의 형태와 설치 지역의 활하중의 특성을 고려하며 활하중에 교량이 반응하는 실제적인 거동을 파악하여 실제적인 교량의 내하력 평가 이외에도 평가대상 교량의 선정 및 평가의 우선순위를 결정하여 교량의 유지 보수에 사용되는 예산의 보다 효율적인 집행을 가능하게 할 수 있다. 이 연구에서는 교량 현장실험에서 얻어지는 결과를 신뢰성 해석에 반영하여 보다 실제적인 교량 안전성 평가의 방법론을 연구하였다. 17개의 강거더 교량에 대해 기존의 교량 실험 결과를 토대로 교량의 내하력을 평가하기 위하여 2단계의 신뢰성 해석을 수행하였다. 우선 대상교량에 대해 설계에 사용된 계수 및 공칭강도를 이용하여 신뢰성 해석을 수행하였으며 2단계 신뢰성 해석에서는 교량 실험 결과를 신뢰성 해석에 포함하였다. 해석 결과를 비교해 본 결과 교량실험을 통한 각종 구조적 계수의 불확실성 제거를 통해 교량의 안전성을 저해하지 않고도 대상 교량의 신뢰성이 대폭 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

Keywords : Field testing, Live-load distribution, Structural reliability

핵심 용어 : 현장계측, 활하중분배, 구조신뢰성해석

* 정희원, 상지대학교 건설시스템공학과 교수, 공학박사

E-mail : eomj@sangji.ac.kr 033-730-0478

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 2008년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

현존하는 많은 교량구조물은 오랜 사용기간을 거치면서 필연적으로 구조적인 노화현상을 겪는다. 또한 급격한 경제 성장기를 거치면서 교량을 통과하는 활하중의 크기가 대폭 증가하는 추세로서 많은 노후 교량 구조물의 설계 기준 하중이 더 이상 현재의 기준을 만족하지 못하는 경우가 많은 실정이다.

미국의 경우 연방도로국(FHWA)의 통계에 따르면 현재 사용 중인 약 60만개의 교량 중 약 30퍼센트의 교량이 기능적, 또는 구조적으로 문제가 있는 것으로 파악되고 있다. 하중의 증가 추세의 예를 들어보면 1950년대 미시간주에서 측정된 최대 활하중(GVW)의 크기가 500kN이었던 반면에 45년 후인 1995년의 경우 1,110kN이 관측되기도 하였다.(Laman 1995) 따라서 현재 사용 중인 교량이 과연 실제 교통 활하중에 대하여 안전한지를 평가하는 교량안전진단은 매우 중요한 역할을 한다. 교량 평가에서 부실 교량으로 판정된 교량은 하중의 재하가 제한되거나 또는 교체/보수되어야 하기 때문에 교량의내하력에 대한 과소 평가는 중대한 경제적 손실을 가져올 수 있다.

활하중에 의한 실제적인 교량의 거동에 대한 이해는 정확한 교량의 내하력을 산정하는데 매우 중요하며 경제적인 교량의 관리와 보수 계획을 수립하는데 도움을 준다. 따라서 이 연구의 목적은 실제 존재하는 강 거더 교량에 대한 현장 실험 결과를 사용하여 교량 내하력에 대한 보다 실제적인 신뢰성을 평가하는 것이다.

기존의 교량 평가방법은 공칭강도와 공칭하중을 사용하는 방법이 주로 사용되어졌다. 이 방법은 강도감소계수와 하중계수를 이용하여 구조물의 안전성을 결정론적(Deterministic)으로 평가하는 방법이다. 그러나 이 방법은 단순화 및 이상화된 가정을 사용하므로서 현실을 정확하게 반영하지 못하고 필요이상으로 보수적인 판정결과를 보인다는 결점이 있다.(Bakht 1992) 특히 구조물의 강도를 결정짓는 대부분의 요소들이 확률변수이고 또한 활하중 자체가 확률적인 변수이기 때문에 확률이론에 근거한 교량평가방법이 실제 교량의 거동을 더 정확하게 반영해 줄 수 있다. 따라서 이 연구에서는 사용 중인 교량 구조물에 대한 재하

실험 결과에 확률론적인 방법을 적용하여 보다 실제적인 구조물의 저항 모델(Resistance Model)을 구축하고자 한다. 이러한 확률적 저항 모델은 결정론적 해석 방법에 내포되어 있는 불확실성을 제거하여 보다 현실적이고 정확한 구조물 내하력 계산을 가능하도록 할 수 있다.

2. 저항 모델(Resistance Model)

2.1. 대상 교량

구조해석의 정확성을 검증하고 보다 실제적 거동을 반영하는 저항 모델을 구축하기 위해 기존 현장 실험의 결과(Eom 2001)를 이용하였다. 선정된 교량은 일반적인 교량에 대한 대표성을 가지기 위해 지간 10-40m 이내인 단순교로서 사각이 30° 이내의 교량을 선정하여 신뢰성 해석을 수행하였다. 선정된 교량에 대한 주요 제원은 Table 1에 수록되어 있다.

2.2. 계측을 통한 교량의 실제 내하력 산정

이 연구에서는 현장실험에서 얻어진 결과와 구조해석을 통해 얻어진 결과를 비교하여 일반적 교량에대해

Table 1 Selected Bridges for Reliability Analysis

No.	Span (m)	No of Girders	Girder spacing(m)	Year Con.	Skew	ADT
1	9.9	12	1.36	1922	10	5,000
2	10.6	10	1.4	1948	15	3,300
3	10.6	9	1.57	1949	0	4,000
4	11.7	10	1.42	1929	0	4,900
5	13.7	10	1.32	1935	30	970
6	13.7	9	1.46	1939	20	12,000
7	15.2	9	1.57	1947	0	2,500
8	16.7	8	1.79	1953	10	4,400
9	16.8	11	1.44	1932	0	13,000
10	18.8	6	1.9	1965	11	3,500
11	20.4	7	1.44	1933	0	9,600
12	21.3	11	1.37	1936	0	5,600
13	22.8	9	1.22	1928	0	3,500
14	26.4	10	1.37	1932	0	4,200
15	29.8	5	2.82	1970	0	800
16	38.4	7	2.21	1972	0	2,000
17	42.6	6	2.85	1986	0	12,000

확률적인 의미가 있는 편이계수(Bias Factor)와 변동 계수(Coefficient of Variation)을 계산하였다. 현장 실험 시 선형탄성적인 거동을 가정하였을 때 강거더교 하부플랜지의 변형율은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\epsilon_c = \frac{M_T}{SE} \quad (1)$$

여기서, M_T 은 재하 하중으로 발생한 최대 모멘트이고 S 는 단면계수, E 는 탄성계수, 그리고 ϵ_c 는 해석적으로 얻어진 변형율의 예상 값이다. 그러나 Bakht (1992)의 연구 결과에는 대부분의 교량 현장 실험 결과는 해석적으로 얻어진 변형률이 실험에서 얻어진 변형율보다 큰 경우가 일반적이며 따라서 실제 교량의 내하력은 구조해석을 통해 얻어지는 내하력보다 훨씬 큰 경우가 대부분이라는 연구결과를 제시하였으며 그 이유로서 이상화된 구조해석에 포함되지 않은 많은 부수적인 구조적인 효과, 예를 들어 교량받침의 의도되지 않은 마찰력 및 회전저항, 보도 및 난간의 구조적 효과, 비합성형교의 의도되지 않은 합성효과 등의 이유를 제시하였다.

Lichtenstein(1995)는 이러한 해석과 실험결과의 차이를 비교하기 위해 실제단면계수(Apprent Section Modulus, Sapparent)를 제안하였다. Sapparent는 계측된 휨모멘트에 근거하여 계산되며 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$S_{\text{apparent}} = \frac{M_T}{\epsilon_T E} \quad (2)$$

여기서 ϵ_T 는 계측에서 얻어진 변형율, M_T 는 재하 하중과 계측된 휨분배계수를 토대로 구조해석을 통해 얻어진 휨모멘트, 그리고 E 는 탄성계수이다. 각각의 교량에 대해 이론적 단면계수 S 를 계산하였으며 그 결과는 Table 2에 정리되어 있다. Bakht(1992)의 연구와 같이 대부분의 경우 비합성형교는 거더와 콘크리트 슬래브의 화학적, 기계적 결합에 의해 합성형교의 형태로 거동한다는 가정하에 비합성형교에 대해서는 비합성 단면의 단면계수와 합성단면을 가정한 단면계

Table 2 Section Moduli Calculated for Tested Bridges

교량 번호	단면계수 S ($\times 10^6 \text{mm}^3$)		ϵ_c ($\times 10^{-6}$)	ϵ_T ($\times 10^{-6}$)	실제 단면계수 S_{apparent} ($\times 10^6 \text{mm}^3$)
	합성형	비합성			
1	6.3	4.5	386	102	16.9
2	11.0	7.9	245	86	22.5
3	5.2	2.9	240	70	9.8
4	7.3	4.8	371	107	16.7
5	6.9	4.0	310	88	14.2
6	12.5		263	162	20.3
7	14.3		310	207	21.4
8	17.5		220	96	40.1
9	24.5		511	348	36.1
10	14.5		276	120	33.2
11	21.0		196	115	35.8
12	9.0	6.6	239	130	16.5
13	4.5	3.1	357	137	8.2
14	10.9		227	130	19.0
15	46.1		208	150	63.9
16	6.2	4.4	256	115	9.8
17	48.2		249	194	62.0

수가 동시에 Table 2에 정리되어 있다. 구조해석의 결과인 ϵ_c 는 각 거더에 작용한 모멘트의 크기를 정확하게 반영하기 위해 재하하중과 계측된 휨분배계수를 이용하여 계산되었으며 그 결과는 계측된 변형율인 ϵ_T 와 Table 2에 비교되어 있다. 실험과 구조해석의 결과 실제단면계수 S_{apparent} 가 계산되었으며 이론적 단면계수 S 와 Table 2에 비교되어 있다. 또한 그림1에서는 실제단면계수와 이론적단면계수의 비율을 교량의 길이를 기준으로 비교하였다. 예상한 바와 같이 이론적 단면계수 S 와 실제 단면계수 S_{apparent} 에는 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

교량번호 1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 16은 비합성형 교로 건설되었다. 그러나 Schultz et al(1995)는 여러 비합성형교에 대한 반복적 실험을 통해 강거더와 콘크리트 슬래브 사이에 전단연결재가 없는 경우라 하더라도 대부분의 경우 강거더와 콘크리트 슬래브 경계면의 화학적 그리고 기계적 결합이 그 위치에서 사하중과 활하중에 의해 발생하는 전단력에 저항하는데 충분하다는 연구결과를 제시하였다. 따라서, 이 연구에서는 비록 대상교량이 비합성형교로 설계되었다 하더라도 합성형교로 거동한다고 가정하였다.

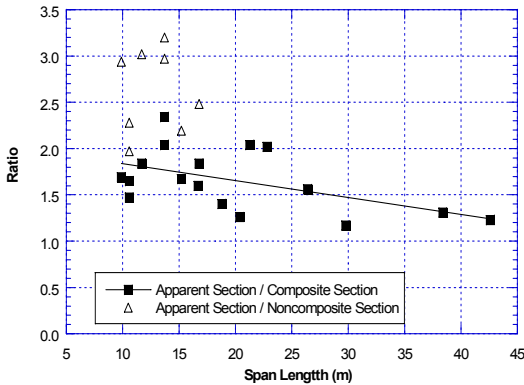


Fig. 1 Ratio, Apparent Section Modulus/Calculated Section Modulus Vs. Span Length

2.3. 횡방향분배계수의 확률적 모델 산정

강거더교의 각 거더에 작용하는 활하중을 결정하기 위해서는 횡방향분배계수(Girder Distribution Factor, GDF)가 결정되어야 한다. AASHTO Standard (2004)에서는 횡방향 분배계수가 거더 횡간격의 함수로 구성되어 있으며 휨모멘트의 경우, 2차선 이상의 강거더교와 P.S콘크리트거더교에 대해 다음과 같이 규정되어 있다.

$$GDF = \frac{S}{3.36} \quad (3)$$

또한, AASHTO LRFD 시방서(2008)에서는 횡방향 분배계수가 거더간격, 교량지간, 강성계수, 사교의 각도 등의 여러 변수를 고려하여 2차선 이상 거더교의 내부거더의 휨모멘트 분배에 대해 아래와 같이 규정되어 있다.

$$GDF = 0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{L t_s^3}\right)^{0.1} \quad (4)$$

Nowak(1998, 2000, 2001)은 현재 사용되고 있는 횡방향분배계수가 매우 보수적이라는 연구결과를 제시하였다. 이 연구에서는 17개의 대상교량에 대해 실험적으로 얻어진 횡분배계수와 ASHTO Standard

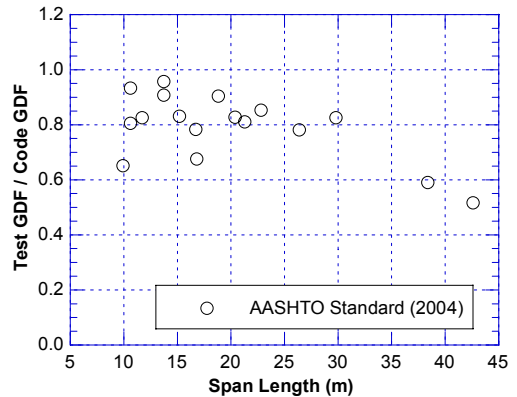


Fig. 2 Ratio, Test / AASHTO Standard GDF(2004)

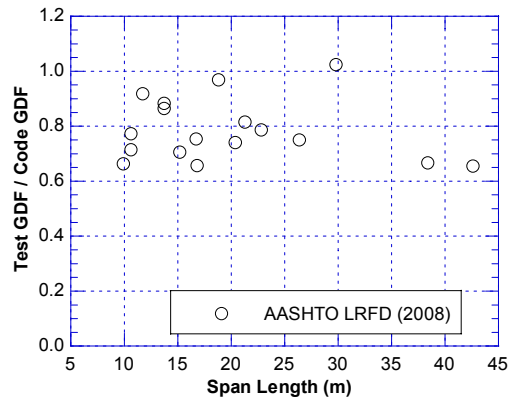


Fig. 3 Ratio, Test / AASHTO LRFD GDF(2008)

와 LRFD Code에서 제시하고 있는 횡분배계수를 비교하였으며 그 결과는 Fig. 2와 Fig. 3에 나타나 있다.

Fig. 2에서 AASHTO Standard에서 제시된 결과와 실험값을 비교해 보면 교량의 지간이 커짐에 따라 AASHTO 값이 매우 보수적으로 변함을 알 수 있다. 또한 Fig. 3에서 AASHTO LRFD에 규정된 횡방향 분배계수는 AASHTO Standard의 비교결과와 같은 지간에 따른 오차는 없으나 그럼에도 불구하고 각 경우에 대해 편차가 매우 크며 실험치와 일관된 결과를 보여주지 못함을 알 수 있다. 이러한 결과는 곧 시방서에 규정된 횡분배계수를 이용하여 현존 교량에 대한 평가를 하는 것은 교량의 실제내하력을 평가하는데 있어 심각한 오차를 초래할 수 있다는 것을 보여준다. 이 연구에서는 17개의 대상 교량의 횡방향분배계수에

Table 3 Bias Factor and C.O.V. for the Ratios of Test GDF's to Code Specified GDF's

GDF Ratio	Bias Factor	Coefficient of Variation
Test / AASHTO Standard(1996)	0.79	0.152
Test / AASHTO LRFD(1998)	0.78	0.142

대해 통계분석을 하였으며 그 결과는 아래의 Table 3에 정리되어 있다.

Table 3의 결과에 따르면 실험값과 AASHTO 기준의 횡분배계수를 비교하였을 때 설계기준의 횡분배계수를 따르는 경우 각 거더에 작용하는 활하중에 의한 휨모멘트를 평균 20 퍼센트 이상 과대평가 하고 있다는 사실을 알 수 있으며 또한 변동계수가 14퍼센트 이상되어 대상교량에 대해 일관성 있는 결과를 보여주지 못한다는 사실을 알 수 있다.

2.4. 전통적인 AASHTO 내하율 산정방법

현재 사용되고 있는 교량은 정기적으로 안전평가를 받고 있으며 이 때 사용되는 교량 평가법은 시방서에 규정되어 있는 각종 설계 계수 및 교량의 설계 단면계수에 따라 내하율산정방법을 통해 평가되는 것이 일반적이다. 내하율 산정방법에는 허용응력법에 의한 방법, 강도설계법에 의한 방법, 그리고 하중저항계수법에 의한 방법이 있다. 허용응력법에 의한 내하율 산정방법은 아래와 같은 방법으로 계산된다.

$$RF = \frac{\sigma_a - \sigma_D}{\sigma_L (1 + I)} \quad (5)$$

여기서 σ_a 는 재료의 허용응력, σ_D 는 고정하중에 의한 응력, σ_L 는 설계활하중, 그리고 I 는 충격계수이다. 강도설계법에서는 내하율을 아래와 같이 규정하며

$$RF = \frac{\phi M_n - \gamma_D M_D}{\gamma_L M_L (1 + I)} \quad (6)$$

여기서 ϕM_n 는 극한 저항 모멘트, M_D 는 사하중 모멘트, M_L 은 활하중 모멘트, 그리고 γ_D 는 사하중계수

Table 4 Comparison of Rating Factors, Allowable Stress Method Vs. Load Factor Method

Bridge ID	Rating Factor	
	Allowable stress	Load Factor
1	0.60	0.99
2	0.72	1.21
3	0.41	0.99
4	0.59	1.06
5	0.37	0.86
6	0.93	1.89
7	1.14	2.05
8	1.30	2.56
9	0.52	0.93
10	1.20	2.12
11	1.17	1.97
12	0.89	1.27
13	0.90	1.27
14	1.38	2.19
15	1.13	1.65
16	1.15	1.37
17	0.44	1.02

(1.30), γ_L 은 활하중계수(2.15)이며 I 는 충격계수이다. 대상교량에 대해 허용응력법 및 강도설계법을 적용하여 내하율을 계산하였으며 그 결과는 아래 Table 4에 제시되었다. 여기서 사용된 각종계수는 AASHTO Standard 설계기준에서 규정된 값들을 사용하였다.

3. 구조신뢰성 해석

현재 사용되고 있는 교량 평가법은 시방서에 규정되어 있는 각종 설계 계수 및 교량의 설계 단면계수를 통한 내하율 산정방법이다. 그러나 설계기준에서 제시한 횡방향분배계수의 예, 그리고 설계단면계수와 실제 단면계수의 비교에서 볼수 있듯이 이러한 방법은 경우에 따라 매우 보수적인 결과를 제공할 수 있으며 극단적인 경우 현재의 교통을 담당하는데 문제가 없는 교량도 보수적 기준에 따라 철거되고 재시공되는 결과를 낳을 가능성이 있다. 따라서 이 연구에서는 교량의 안전성을 확률적으로 제시하는 방법의 개발을 위해 구조신뢰성 해석을 수행하였다. 먼저 설계단면계수 및 설계기준에서 제시된 횡분배계수를 이용한 신뢰성해석이 수행되었으며 이결과는 실험에서 얻어진 실제단면계수, 그리고 실험에서 얻어진 횡분배계수를 이용한 보다 실제적인 구조신뢰성해석의 결과와 비교되었다.

3.1. 신뢰성 이론

구조물의 신뢰성은 구조물 부재의 저항모델(R)과 하중모델(Q)을 비교하여 R-Q를 안전의 여유치로 고려하며 저항모델과 하중모델의 확률적 성질을 고려하여 R-Q가 0보다 작을 확률을 계산하며 이 확률을 구조물이 파괴될 확률로 계산하는 방법이 일반적이다. 한계상태는 R-Q=0 인 경우로 구조물 파괴의 경계선을 의미하며 여기서의 파괴는 구조물에 대한 응력한계 초과, 처짐한계 초과, 균열폭, 부식등으로 구조물의 정상적 사용이 불가능한 상태를 의미한다. 한계상태는 강도 한계상태(Ultimate Limit State), 사용성한계상태(Service Limit State), 그리고 피로한계상태(Fatigue Limit State) 등으로 나눌 수 있으며 이 연구에서는 강도한계상태 중 휨모멘트를 신뢰성해석의 주요한 대상으로 사용하였다.

구조물의 파괴 확률(Probability of Failure, P_F)는 아래와 같은 식으로 계산될 수 있다.

$$P_F = P(Z = (R - Q) < 0) = \int_{-\infty}^0 f_z(Z) dz \quad (7)$$

그러나 식(7)의 직접적 계산이 현실적으로 어려워 여러 신뢰성이론이 개발되었으며 이 연구에서는 신뢰성 해석방법으로 그 중 Racwitz와 Fiessler(1978)이 개발한 비정규분포를 정규분포로 근사해석한 방법을 사용하였다. 이 방법은 기존의 FOSM (First-Order Second Moment) 방법의 비선형확률분포에 대한 오차를 최소화하는 방법으로 최적의 파괴경계(Failure Boundary)를 얻기 위한 반복해법이다.

3.2. 신뢰성 해석 결과

이 연구에서는 대상 교량에 대해 기존의 교량 실험 결과를 토대로 교량의 내하력을 평가하기 위하여 2단계의 신뢰성 해석을 수행하였다. 우선 대상교량에 대해 설계에 사용된 계수 및 공칭강도를 이용하여 신뢰성 해석을 수행하였으며 2단계 신뢰성 해석에서는 교량 실험 결과를 신뢰성 해석에 포함하였다. 그 결과는 아래의 Table 5에 정리되어 있다.

Table 5 Reliability Indices For Tested Bridges Based On Apparent Section Modulus

Bridge ID	AASHTO Standard (2002) GDF	AASHTO LRFD (1998) GDF	Test GDF	Test GDF
	Comp	Comp	Comp	Apparent Section
1	4.64	4.06	4.68	12.55
2	5.46	5.31	7.23	13.28
3	7.02	7.1	9.04	14.31
4	5.21	5.06	5.53	12.23
5	5.75	6.32	6.54	12.43
6	7.24	6.56	8.94	12.32
7	7.94	8.34	8.19	9.28
8	9.39	8.95	9.91	13.98
9	3.19	4.27	4.04	5.6
10	8.27	8.29	9.09	13.76
11	7.89	7.66	8.92	11.16
12	6.08	5.08	6.89	11.75
13	6.77	5.52	6.86	11.49
14	8.45	8.21	9.6	11.74
15	6.06	6.65	8.23	9.76
16	8.11	7.26	9.07	12.8
17	3.93	5.31	6.46	6.91

AASHTO LRFD 설계법에서는 교량의 휨거동에 대해 목표 신뢰성계수 (Target Reliability Index)를 약 3.5로 제시하고 있다. 이 신뢰성 계수는 파괴확률로 환산할 때 0.0233 퍼센트의 파괴확률을 가지고 있다.

Table 5와 Fig. 4를 고려하여 전통적인 허용응력법을 이용한 내하율 결과, 그리고 강도설계법에 의한 결과를 신뢰성해석의 결과와 비교하였으며 그 결과는 Fig. 4에 나타나 있다. 이 결과는 교량의 설계단면계수 및 설계활하중계수를 이용한 것이다. Fig. 4에서 신뢰성계수와 내하율을 비교하면 허용응력법에 의한 내하율은 매우 보수적임을 알 수 있다. 선형 추세선을 비교해 보면 허용응력 내하율의 경우 최소 기준인 1과 신뢰성계수 6.5가 대응된다는 사실을 알 수 있다. 신뢰성계수 6.5는 파괴확률 0.402×10^{-10} 에 대응되는 값으로 LRFD의 기준으로 본다면 과도하게 보수적이라는 것을 알 수 있다. 이에 반해 강도설계법에 의한 내하율은 추세선의 비교에 따라 최소 기준 1이 신뢰성계수의 3.5에 근접한 것을 볼 수 있다.

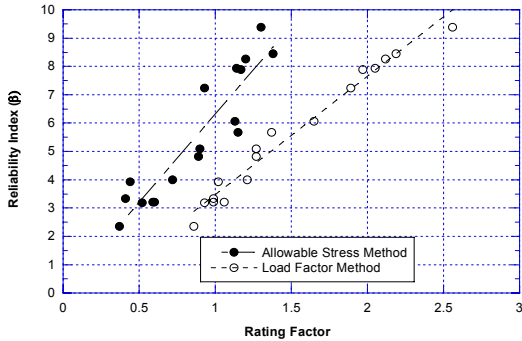


Fig. 4 Comparison of Reliability Indices with Rating Factors, Based on AASHTO Standard (2004) GDF's and DLF's

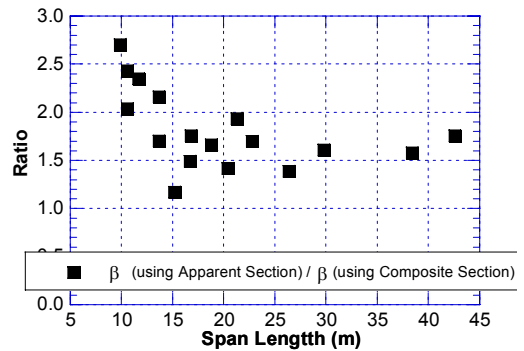


Fig. 6 Comparison of Reliability Indices based on Actual Section Moduli

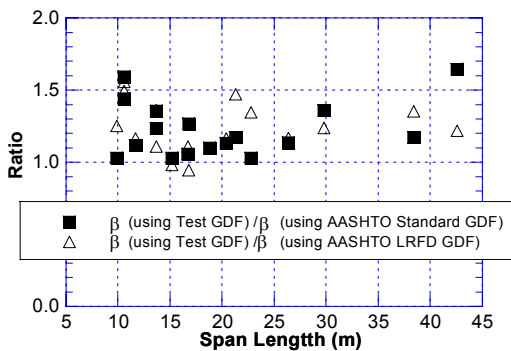


Fig. 5 Comparison of Reliability Indices based on Actual GDF's

따라서 강도설계법에 의한 내하율 산정이 보다 바람직하다는 결론을 내릴 수 있다.

보다 실제적인 신뢰성계수를 얻기 위해 계측실험에서 얻어진 결과를 신뢰성 해석에 도입하였다. 실험에서 얻어진 횡방향분배계수를 도입한 결과 신뢰성계수는 매우 증가한 것을 Fig. 5에서 볼 수 있다.

실제단면계수와 실험에서 얻어진 실제 횡방향분배계수를 모두 신뢰성해석에 도입한 결과 Fig. 6와 같은 신뢰성의 대폭 증대를 보인다. 이 결과는 실제 교량은 설계기준에 따른 내하율에 의한 평가방법보다 매우 큰 내하력을 가지고 있다는 것을 보여준다. 특히 단기간 교량에 대해 대폭적인 신뢰성계수의 향상을 볼 수 있다. 이는 단기간교량이 일반적인 구조해석에서 반영되지 않는 변수들, 예를 들어 마찰 및 회전저항에 의한

교량 지점의 이론과 다른 거동, 그리고 비구조적 부재의 구조적 거동에 좀 더 많이 영향을 받는다고 해석할 수 있다.

4. 결론

보다 정확한 교량의 거동에 대한 이해는 경제적인 이유, 그리고 안전성 제고를 위해 반드시 필요하다. 교량 내하력에 대한 보수적 평가는 극단적인 경우 현재 통행에 적합한 교량에 대한 불필요한 보수보강의 결과를 낳을 수 있다. 이 연구에서는 교량에 대해 경제적이고 또한 안전성을 보장할 수 있는 방법에 대해 중점을 두었다. 교량은 일반적으로 결정론적인 방법으로 내하율을 토대로 내하력 평가를 받는다. 이 연구에서는 허용응력법에 의한 내하율은 신뢰성 측면을 고려했을 때 과도하게 보수적이라는 결과를 얻었다. 강도설계법에 의한 내하율 평가 결과는 AASHTO LRFD에서 타겟으로 하는 신뢰성 수준을 적절하게 유지하였다. 따라서 내하율을 이용한 교량 평가에 있어서는 강도설계법을 사용하는 것이 경제적인 측면과 안전의 측면에서 유리하다고 결론내릴 수 있다.

교량은 안전성평가시에 일반적으로 설계기준에서 주어진 계수들을 이용하여 평가된다. 그러나 교량 재하 실험 이후에는 실험에서 얻어진 결과를 안전성 평가에 도입하는 것이 가능하다. 실제단면계수의 개념, 그리고 실험에서 얻어진 횡분배계수를 사용함으로써 교량의 신뢰성이 대폭 증가하였다. 이는 교량의 실제적 내

하력 산정에 있어 불확실성을 제거함으로써 안전성을 저하하지 않고도 교량의 실제적 거동에 대한 정확한 예측이 가능하다는 것을 의미한다. 특히 내하율이 1에 근접한 교량의 경우 횡분배계수에 대한 계측실험이나 구조해석을 통해 보다 정확한 내하율을 산정함으로써 교량의 신뢰성을 향상 시킬 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 상지대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Laman, Jeffrey A., Fatigue Load Models for Girder Bridges. Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan. 1995.
2. Bakht, B., and Jaeger, L.G., "Ultimate Load Test of Slab-on-Girder Bridge." Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No 6, 1992, pp. 1608-1624.
3. Eom, J. and Nowak, A.S., "Live Load Distribution for Steel Girder Bridges", ASCE Journal of Bridge Engineering, Vol. 6, No. 6, 2001, pp. 489-497.
4. Lichtenstein, A.G., "Bridge Rating Through Nondestructive Load Testing," NCHRP report No. 12-28(13), 1993, A, June Schultz J.L., Commander B., Goble G.G., Frangpol D.M., "Efficient Field Testing and Load Rating of Short and Medium Span Bridges," Structural Engineering Review, Vol. 7, No 3, 1995, pp. 181-194.
5. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2008.
6. AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2004.
7. Nowak, A.S. and Kim, S., "Development of a Guide for Evaluation of Existing Bridges, Part I." UMCEE 98-12, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
8. Nowak, A.S. and Eom, J., "Verification of Girder Distribution Factors for Existing Bridges." UMCEE 00-10, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
9. Rackwitz, R., and Fiessler, B., "Structural Reliability under Combined Random Load Sequences." Computer and Structures, Vol. 9, 1978, pp. 489-494.

(접수일자 : 2008년 4월 28일)

(심사완료일자 : 2008년 6월 24일)