

응력보정계수의 적용에 따른 내하력의 변화

조 연 우
조선대학교, 토목공학과

Changes in the Load Carrying Capacity According to Application of the Stress Modification Factor

Cho Yeon-Woo

Department of Civil Engineering, Chosun University, Korea
(Received : May. 19, 2016 Revised : Jun. 17, 2016, Accepted : Jun. 21, 2016)

Abstract : Although the structural analysis has to describe behavior characteristics similar to actual behaviors of structures, they may not happen because of behavior characteristics of the support, its modeling methods, errors in loading tests, and change in strength and rigidity based on sectional damage. In this study, the result of evaluating the load carrying capacity by applying the behavior from buckling equations and resistance moments showed that up to 50% less than conventional methods. When the load carrying capacity of bridges is evaluated by the existing method the results vary among engineers due to lack of guidelines for evaluation such as the application of stress modification factor. This study was conducted as an effort to solve this problem through active research.

Keyword : Load Carrying Capacity, Stress Modification Factor, Behavior, Buckling Equations, Resistance Moments

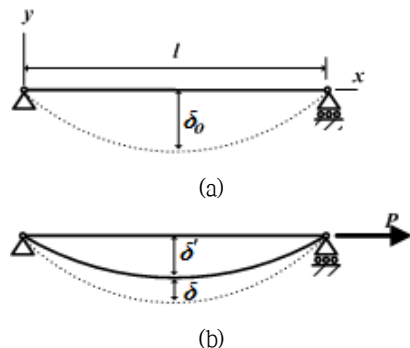
1. 서론

공용중인 교량의 사용성과 안전성을 확보하기 위하여 실시하는 유지관리중 내하력의 평가는 조사, 재료 시험, 재하시험 및 구조해석 결과를 바탕으로 기술자의 공학적인 판단에 의하여 결정되어지는 항목이다. 내하력의 영향요소 중 응력보정계수는 기본내하력에 곱해지는 값으로 공용내하력에 미치는 영향이 매우 크다. 응력보정계수의 구성요소인 응답비는 시험차량의 재하위치와 측정위치, 단면성질, 재료강도, 지지조건 등에 따라 편차를 보이게 된다. 일반적으로 구조물을 탄성체로 전제하여 처짐 또는 응력비를 단순히 적용하게 되는데 이는 구조물의 거동특성을 고려하지 않은 획일적인 내하력의 평가가 될 수 있으며, 교량받침이 설치되지 않았거나 손상이 극심한 경우에는 해석모델과 유사한 거동을 하지 않아 응답비가 크게 되어 예상

치 못한 결과가 도출될 가능성이 크다.

2. 초기처짐을 갖는 좌굴방정식을 이용한 거동특성 분석

2.1 기본방정식



†Corresponding Author

성명 : 조 연 우
소속 : 조선대학교 토목공학과
전화 : 062-230-7083
E-mail : ywcho@chosun.ac.kr

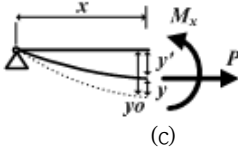


Figure 1. Deformation of the member having an initial deflections.

Figure 1의 (a)와 같이 구조해석에 의한 처짐량 δ_o 를 초기처짐으로 간주하고 축방향력을 작용시켜 δ 라는 좌굴처짐을 생성시켜 실제 거동에 의한 처짐량 δ' 을 구하였다. 실측에 의한 처짐이 계산에 의한 처짐보다 더 큰 경우에는 Figure 1의 (b)에 나타난 바와 같이 축방향 인장력이 발생하는 것으로 부터 좌굴방정식을 적용하였으며 실측에 의한 처짐이 더 큰 경우에는 축방향 압축력을 고려하도록 하였다. 좌굴방정식을 고려한 탄성곡선방정식은 다음과 같다.

$$y = y_o \left(-\tan \frac{kl}{2} \cdot \sin kx - \cos kx + 1 \right) \quad (1)$$

여기서, $k = \sqrt{\frac{P}{EI}}$

지간 중앙을 대상으로 좌굴방정식을 적용하였다면 탄성곡선방정식으로 부터 축방향력을 다음과 같이 산정한다.

$$x = \frac{l}{2} \text{로부터}$$

$$\cos \frac{kl}{2} = \frac{1}{1 - \frac{y}{y_o}} \quad (2)$$

위와 같이 얻어진 축방향력은 단일 보요소에 대한 축방향력으로서 구조물의 실제 모델과는 다소의 차이가 있으므로 횡분배의 영향을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 실무에서 손 쉽게 적용하기 위하여 유한요소법에 기반한 구조해석프로그램을 이용하여 횡분배계수를 산정하여 각 주형에 발생하는 축방향력에 적용하였다. 가령, 4개의 주형을 가진 교량구조물에서는 4×4 의 횡분배를 Matrix를 얻을 수 있다.

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서, K_{ij} : 하중분담을 매트릭스
 i : 분담을 측정위치
 j : 하중 재하위치

횡분배를 고려한 축방향력(P^*)은 단일 보요소의 축방향력(P)과 유한요소법에 의한 횡분배율(K)로 부터 식(4)과 같이 구한다.

$$\{P^*\} = [K] \{P\} \quad (4)$$

식(5)와 같이 횡분배의 영향을 고려한 축방향력과 처짐량의 차이로 부터 지점에 발생한 휨모멘트를 구하여 구조해석의 작용하중으로 추가 작용시킴으로서 실제와 유사한 거동특성을 발생시켰다.

$$M_x = -P^* \cdot y = -P^* (y_o - y') \quad (5)$$

2.2 내하력 평가

상기의 연구결과는 시험하중을 대상으로 계산된 모멘트로서 설계 활하중을 대상으로 평가하는 내하력에 대해서는 별도의 과정이 요구되어진다. 시험하중과 DB하중의 크기 및 재하위치가 다소 상이하나 교량의 내하력평가는 탄성거동을 전제로 이루어 지므로 본 연구에서는 하중의 크기만을 고려하여 DB하중에 대한 지점의 휨모멘트를 산정하였다. 좌굴방정식에 의하여 구해진 지점의 휨모멘트(M_l)와 중앙부의 최대휨모멘트(M_{lmax})의 비로 부터 얻어진 모멘트비 계수(α)에 설계 활하중에 의한 최대휨모멘트를 곱하므로써 지점에 재하시킬 설계모멘트를 구하였다.

$$\alpha = \frac{|-M_l|}{|M_{lmax}|} \quad (6)$$

기존의 내하력평가와 같이 재료강도와 강도감소계수를 고려하고 설계 활하중에 의한 휨모멘트를 산정할 때 구조해석에 의하여 구해진 재하하중에 의한 모멘트와 좌굴방정식에 의한 부모멘트의 합을 사용하므로써 응력보정계수에서 처짐항을 제거하고 충격치만을 고려한 보정계수를 사용하였다.

$$\text{내하율 (RF)} = \frac{\phi M_n - \gamma_d \cdot M_d}{\gamma_l \cdot M_l (1+i)} \quad (7)$$

$$\text{보정계수 (Ks)} = \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} \quad (8)$$

$$\text{공용내하력 (P)} = Ks \times RF \times P_r \quad (9)$$

이때, ϕM_n 는 극한저항모멘트 ($\phi : 0.85$), M_d 는 실측에 의한 고정하중모멘트이며, $M_l(1+i)$ 는 충격치를 포함한 활하중에 의한 모멘트로서 M_l 은 다음과 같이 구한다.

$$M_l = (1 - \alpha) M_{DB-max} \quad (10)$$

3. 지점의 저항모멘트를 이용한 거동특성 분석

3.1 저항모멘트

실제 처짐과 구조해석에 의한 처짐의 차이를 그림 2와 같이 지점의 모멘트하중에 의한 처짐으로 간주하여 식 (11)과 같이 모멘트하중을 구할 수 있다.

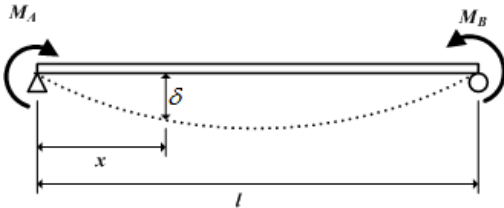


Figure 2. Simple Beam Under Moment Loads

$$\delta = \frac{x}{6EI} [M_A(2l-x)(l-x) + M_B(l^2-x^2)] \quad (11)$$

여기서, δ 는 해석에 의한 처짐-실험에 의한 처짐이고, M_A, M_B 는 단순지점 A와 B에 작용시킨 모멘트하중이다. 그런데 실제구조물의 모멘트(M_g)는 단일보와 달리 횡하중분배(K)를 고려하여 식(12)와 같이 지점모멘트를 구한다.

$$\{M_g\} = [K]^{-1}\{M_s\} \quad (12)$$

3.2 내하력 산정

재하차량에 의한 받침의 거동특성을 고려하여 구한 지점모멘트는 재하차량에 의한 값으로서 내하력을 산정하기 위해서 재하하중에 의한 지점모멘트를 DB하중에 의한 지점모멘트로 환산하기 위하여 모멘트비 계수 α 를 산정한다.

$$\alpha = M_h/M_f \quad (13)$$

재하차량에 의한 지점모멘트를 DB하중에 의한 지점모멘트로 환산하는데 모멘트비계수 α 와 양단고정에서 DB하중에 의한 지점모멘트 $M_{DB(f)}$ 로부터 내하력산정에 이용할 $M_{DB(h)}$ 을 산정한다.

$$M_{DB(h)} = \alpha \cdot M_{DB(f)} \quad (14)$$

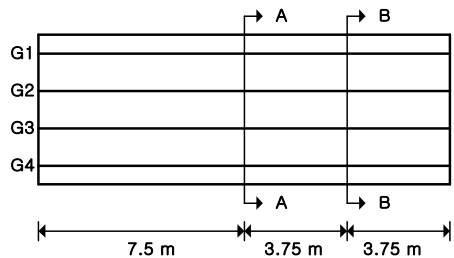
DB하중과 $M_{DB(h)}$ 를 고려하여 설계모멘트 강도를 산정하고, 강도설계법에 의하여 내하율 RF를 구하여 기본 내하력을 산정한다. 지점모멘트 산정을 통하여 처짐에 대한 보정을 선행하였으므로 식(15)와 같이 충격에 의한 보정계수만을 고려하여 내하력을 산정한다.

$$K_s = \frac{1+i_{cal}}{1+i_{mea}} \quad (15)$$

4. 현장실험 및 적용

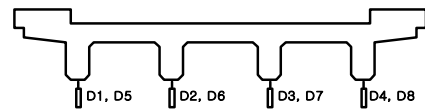
4.1 현장실험

본 교량은 준공 후 15년이 경과한 4경간 단순지점의 철근콘크리트 T형교이다. 총폭은 7.7m, 교장 60m(4@15m)이며 받침이 설치되지 않은 상태이다. 재하시험을 위하여 변위계는 지간중앙부와 지간중앙으로부터 3.75m 떨어진 곳의 주형 하단에 부착하였다. 재하차량은 거동특성의 신뢰도 향상을 위하여 중륵을 지간 중앙에 위치시켜 재하시험을 실시하였다.

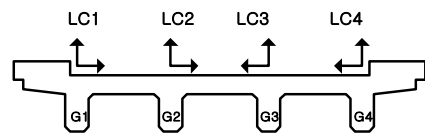


(a) Plan

A, B 단면



(b) Cross Section



(c) Loading Cases

Fig. 4 Load test

Table 1. Specifications of Test Vehicle(kN)

| Load(kN) | | | |
|--------------|---------------|-------------|-------|
| Front Wheels | Middle Wheels | Rear Wheels | Total |
| 51.2 | 114.6 | 105.0 | 270.8 |

4.2 좌굴방정식을 이용한 내하력 평가

정적재하시험에 의한 처짐량과 좌굴방정식으로 부터 구한 축방향력과 모멘트에 모멘트비계수를 적용하여 구한 활하중모멘트를 고려하여 내하력을 평가하였다.

Table 2. Deflections(mm)

| | | Deflections(mm) | | | |
|-----|----------------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | D1-G1 | D2-G2 | D3-G3 | D4-G4 |
| LC1 | δ_{cal} | 2.897 | 2.154 | 1.330 | 0.587 |
| | δ_{mea} | 1.853 | 1.283 | 0.985 | 0.413 |
| LC2 | δ_{cal} | 1.635 | 1.850 | 1.850 | 1.635 |
| | δ_{mea} | 1.095 | 1.133 | 1.368 | 1.093 |
| LC3 | δ_{cal} | 1.635 | 1.850 | 1.850 | 1.635 |
| | δ_{mea} | 1.104 | 1.128 | 1.380 | 1.118 |
| LC4 | δ_{cal} | 0.587 | 1.330 | 2.154 | 2.897 |
| | δ_{mea} | 0.405 | 0.848 | 1.466 | 2.131 |

Table 3. Axial Forces Using Buckling Equations(kN)

| | | y_o (mm) | y' (mm) | $y = y_o - y'$ | P (kN) | P^* (kN) |
|-----|----|------------|-----------|----------------|----------|------------|
| LC1 | G1 | 2.897 | 1.853 | 1.044 | 48,130 | 51,780 |
| | G2 | 2.154 | 1.283 | 0.871 | 57,130 | 46,460 |
| | G3 | 1.330 | 0.985 | 0.345 | 30,850 | 39,320 |
| | G4 | 0.587 | 0.413 | 0.174 | 36,720 | 34,380 |
| LC2 | G1 | 1.635 | 1.095 | 0.540 | 42,560 | 45,580 |
| | G2 | 1.850 | 1.133 | 0.717 | 53,590 | 43,700 |
| | G3 | 1.850 | 1.368 | 0.482 | 31,010 | 40,380 |
| | G4 | 1.635 | 1.093 | 0.542 | 42,800 | 39,460 |
| LC3 | G1 | 1.635 | 1.104 | 0.531 | 41,590 | 43,270 |
| | G2 | 1.850 | 1.128 | 0.722 | 54,140 | 44,160 |
| | G3 | 1.850 | 1.380 | 0.470 | 30,090 | 44,110 |
| | G4 | 1.635 | 1.118 | 0.517 | 54,290 | 47,710 |
| LC4 | G1 | 0.587 | 0.405 | 0.182 | 39,000 | 43,560 |
| | G2 | 1.330 | 0.848 | 0.482 | 48,520 | 41,860 |
| | G3 | 2.154 | 1.466 | 0.688 | 40,630 | 38,610 |
| | G4 | 2.897 | 2.131 | 0.766 | 31,600 | 34,830 |

처짐과 좌굴방정식을 이용하여 구해진 축방향력은 복수의 부재로 구성된 구조형식으로 인하여 횡분배가 발생되며, 식(16)에 보인 바와 같이 하중분배의 영향을 고려하여 설계활하중에 의한 휨모멘트를 구하였다.

$$K = \begin{bmatrix} 0.73 & 0.35 & 0.07 & -0.15 \\ 0.35 & 0.36 & 0.21 & 0.07 \\ 0.07 & 0.21 & 0.36 & 0.35 \\ -0.15 & 0.07 & 0.35 & 0.73 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Table 4. Bending Moments from Design Load(kN · m)

| | | M_{max} | $-P^* \cdot y$ | α | M_{DB} | M_l |
|------|-----------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| LC 1 | G1 | 36.39 | -5.41 | 0.149 | 34.98 | 29.77 |
| | G2 | 26.83 | -4.05 | 0.151 | 26.06 | 22.12 |
| | G3 | 16.25 | -1.36 | 0.084 | 26.06 | 23.87 |
| | G4 | 6.70 | -0.60 | 0.090 | 34.98 | 31.83 |
| LC 2 | G1 | 19.76 | -2.46 | 0.124 | 34.98 | 30.64 |
| | G2 | 23.32 | -3.13 | 0.134 | 26.06 | 22.57 |
| | G3 | 23.32 | -1.95 | 0.084 | 26.06 | 23.87 |
| | G4 | 19.76 | -2.14 | 0.108 | 34.98 | 31.20 |
| LC 3 | G1 | 19.76 | -2.30 | 0.116 | 34.98 | 30.92 |
| | G2 | 23.32 | -3.19 | 0.137 | 26.06 | 22.49 |
| | G3 | 23.32 | -2.07 | 0.089 | 26.06 | 23.74 |
| | G4 | 19.76 | -2.47 | 0.125 | 34.98 | 30.61 |
| LC 4 | G1 | 6.70 | -0.79 | 0.118 | 34.98 | 30.85 |
| | G2 | 16.25 | -2.02 | 0.124 | 26.06 | 22.83 |
| | G3 | 26.83 | -2.66 | 0.099 | 26.06 | 23.48 |
| | G4 | 36.39 | -2.67 | 0.073 | 34.98 | 32.43 |

좌굴방정식을 이용하여 내외측 거더의 내하력을 평가한 결과 내측에서 횡분배의 영향으로 기본 내하력을 이 작은 것으로 나타났다.

Table 5. Carrying Capacity Using Buckling Equations

| | Outer Girder | Inside Girder |
|--------------|--------------|---------------|
| M_n (kN·m) | 169.99 | 169.99 |
| M_d (kN·m) | 90.76 | 91.21 |
| M_l (kN·m) | 23.87 | 32.43 |
| RF | 0.406 | 0.292 |
| K_s | 0.942 | 0.966 |
| DB | 6.88 | 5.08 |

4.3 지점의 저항모멘트를 이용한 내하력 평가

재하시험에 의한 처짐과 구조해석에 의한 계산처짐으로부터 단일보요소의 지점모멘트 M_A 및 M_B 를 구한 후 횡하중 분배를 고려하여 각 주형의 지점모멘트를 구하였다. Table 6은 변위계를 설치한 각 위치에서의 처짐량을 나타내었다.

Table 6. Deflections(mm)

| | | LC1 | LC2 | LC3 |
|----|----------------|------|------|------|
| D1 | δ_{mea} | 1.85 | 1.09 | 0.41 |
| | δ_{cal} | 2.90 | 1.63 | 0.59 |
| D2 | δ_{mea} | 1.28 | 1.13 | 0.85 |
| | δ_{cal} | 2.15 | 1.85 | 1.33 |
| D3 | δ_{mea} | 0.99 | 1.37 | 1.47 |
| | δ_{cal} | 1.33 | 1.85 | 2.15 |
| D4 | δ_{mea} | 0.41 | 1.10 | 2.13 |
| | δ_{cal} | 0.59 | 1.63 | 2.90 |
| D5 | δ_{mea} | 1.31 | 0.78 | 0.29 |
| | δ_{cal} | 2.00 | 1.15 | 0.42 |
| D6 | δ_{mea} | 0.91 | 0.81 | 0.60 |
| | δ_{cal} | 1.48 | 1.27 | 0.93 |
| D7 | δ_{mea} | 0.70 | 0.86 | 0.95 |
| | δ_{cal} | 0.93 | 1.27 | 1.48 |
| D8 | δ_{mea} | 0.28 | 0.72 | 1.35 |
| | δ_{cal} | 0.42 | 1.15 | 2.00 |

$$\Delta\delta_{(x=7.5)} = 0.0537 M_A + 0.0537 M_B \quad (17)$$

$$\Delta\delta_{(x=11.25)} = 0.0336 M_A + 0.0470 M_B$$

$$K = \begin{bmatrix} 0.966 & 0.020 & 0.007 & 0.007 \\ 0.023 & 0.955 & 0.018 & 0.004 \\ 0.004 & 0.018 & 0.955 & 0.023 \\ 0.007 & 0.007 & 0.020 & 0.966 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Table 7. Resistance Moments Using Test Load(kN · m)

| | | LC1 | LC2 | LC3 |
|----|-----|--------|--------|--------|
| G1 | MA1 | -17.34 | -7.49 | -2.44 |
| | MB1 | -2.44 | -2.45 | -0.68 |
| G2 | MA2 | -13.80 | -13.09 | -7.07 |
| | MB2 | -2.50 | -0.44 | -1.96 |
| G3 | MA3 | -5.17 | -0.50 | -5.41 |
| | MB3 | -1.10 | -8.36 | -7.40 |
| G4 | MA4 | -1.15 | -2.40 | -1.35 |
| | MB4 | -1.82 | -7.57 | -13.12 |

모멘트비 계수를 이용하여 재하시험에 의한 재단모멘트를 설계활하중에 의한 모멘트로 변환한 후 내하력을 평가하였다.

Table 8. Factors of Moments Ratio α

| | | LC1 | LC2 | LC3 |
|----|---------------|-------|------|--------|
| G1 | α_{A1} | 0.71 | 0.76 | -11.62 |
| | α_{B1} | 0.10 | 0.25 | -3.2 |
| G2 | α_{A2} | 0.85 | 0.92 | 0.90 |
| | α_{B2} | 0.15 | 0.03 | 0.25 |
| G3 | α_{A3} | 0.66 | 0.04 | 0.33 |
| | α_{B3} | 0.14 | 0.58 | 0.45 |
| G4 | α_{A4} | -5.48 | 0.24 | 0.06 |
| | α_{B4} | -8.67 | 0.77 | 0.54 |

Table 9. Resistance Moments Using Design Load(kN · m)

| 구분 | | DB1 | DB2 | DB3 |
|----|-----------------|--------|--------|--------|
| G1 | M _{A1} | -20.80 | -7.69 | -4.42 |
| | M _{B1} | -2.15 | -2.17 | -0.58 |
| G2 | M _{A1} | -17.32 | -17.16 | -7.53 |
| | M _{B1} | -2.22 | -0.39 | -1.71 |
| G3 | M _{A1} | -5.51 | -0.65 | -6.79 |
| | M _{B1} | -0.96 | -7.36 | -6.56 |
| G4 | M _{A4} | -2.08 | -2.46 | -1.61 |
| | M _{B4} | -1.56 | -6.69 | -11.57 |

Table 10. Carrying Capacity Using Resistance Moments

| | Outer Girder | Inside Girder |
|--------------|--------------|---------------|
| M_n (kN·m) | 170.0 | 170.0 |
| M_d (kN·m) | 90.8 | 91.2 |
| M_l (kN·m) | 26.0 | 16.9 |
| RF | 0.372 | 0.560 |
| K_s | 0.942 | 0.966 |
| DB | 6.3 | 9.7 |

4.4 내하력 평가방법에 따른 비교

기존방법에 의한 내하력과 비교하여 본 연구에서 제시한 두가지의 내하력은 최대 50%가량 적은 것으로 평가되었다. 이는 응력보정계수중 처짐요소는 각각의 방법을 통하여 구조재해석 과정에서 이미 적용하였으므로 충격계수 관련요소만을 보정한 결과인 것으로 판단된다.

Table 11. Comparison of the Load Carrying Capacity each way

| | Outer Girder | | | Inside Girder | | |
|--------------------|--------------|----------|--------|---------------|----------|--------|
| | Current | Burkling | Moment | Current | Burkling | Moment |
| $M_n (kN \cdot m)$ | 170.0 | 170.0 | 170.0 | 170.0 | 170.0 | 170.0 |
| $M_d (kN \cdot m)$ | 90.8 | 90.8 | 90.8 | 91.2 | 91.2 | 91.2 |
| $M_l (kN \cdot m)$ | 35.2 | 23.9 | 26.0 | 22.5 | 32.4 | 16.9 |
| RF | 0.282 | 0.406 | 0.372 | 0.431 | 0.292 | 0.560 |
| K_s | 1.474 | 0.942 | 0.942 | 1.295 | 0.966 | 0.966 |
| DB | 7.5 | 6.88 | 6.3 | 10.0 | 5.08 | 9.7 |

5. 결론

초기 결함을 갖는 구조부재에서 좌굴방정식을 이용하는 방법과 지점의 구속을 통한 지점모멘트를 이용하는 방법을 통하여 실제거동과 유사한 거동특성을 나타내는데 기초하여 공용중인 교량의 내하력을 평가하였다. 이에 따르면 기존방법에 의한 내하력과 비교하여 본 연구에서 제시한 두가지 방법에 의한 내하력은 최대 50%가량 적은 것으로 평가되었다. 이는 응력보정계수중 처짐요소는 각각의 방법을 통하여 구조재해석 과정에서 이미 적용하였으므로 충격계수 관련요소만을 보정한 결과인 것으로 판단된다.

구조물의 응답, 하중재하 위치, 단면강성의 선정과 같은 부분에서 응력보정계수의 적용상 어려움이 야기될 소지가 있으므로 설계활하중에 의한 휨모멘트, 내하율 및 응력보정계수를 확립적이지 않은 다양한 방법을 통하여 산정하므로써 공용중인 교량의 내하력 평가에 신뢰성을 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Choi, J. G., Kang, J. H., “Decision of Resonable Response Adjustment Factor Using the Load Affected Band Matrix”, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.2008 No.10, 3317-3320 (2008)
2. Gu, B. G., Shin, J. I., “An Improvement for Determining Response Modification Factor in Bridge Load Rating”, Journal of Korean Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.5 No.1, 169-175 (2001)
3. Kim, S. W., Ahn, G. H., “A Study on the Problems and Improvement of Safety and Maintenance Management”, Journal of Korean Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.13 No.4, 101-106 (2009)
4. Yang, S. h., “Evaluation of Load Carrying Capacity in Considering the Constraints of

- Supports”, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.10 No.2, 15-21 (2010)
5. Yang, S. h., “Load Carrying Capacity Assessment of Bridges with Elastic Supports”, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.24 No.5, 595-603 (2012)
6. Park, H. S., Park, G. T., “An Experimental Study on Characteristic Analysis of Deflection Response of RC Structures susing Measured Strain”, Journal of Korean Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.5 No.17, 173-180 (2001)
7. Oh, B. H., Kim, K. S., “An Improved Method for the Evaluation of Load Carrying Capacity of Existing Bridges”, Journal of Korean Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.1 No.1, 53-64 (1997)
8. Oh, B. H., Kim, K. S., “Verification of Load Test Of Bridge For Rational Evaluation of Bride Structures”, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.1996 No.1, 505-508 (1996)