

RC보의 극한 내하력 평가

Assessment of the Ultimate Load-Carrying Capacity of RC Beams

윤석구* 김은겸** 설대호***

Youn, Seok Goo Kim, Eun Kyum Seol, Dae Ho

ABSTRACT

Three RC beams are fabricated and tested to assess the ultimate load-carrying capacity. Depending on the crackings, the flexural stiffness of the RC beams are changed. However, these variations of the flexural stiffness do not influenced on the ultimate load-carrying capacity of the tested beams. Based on the behaviors of RC beams, the validation of the current assessment codes to discussed.

1. 서론

현행 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따른(건설교통부, 2000) 공용 내하력 평가 방법을 살펴보면 내하율 RF를 허용응력법 또는 강도설계법에 따라 구한 후 응답보정계수 k_s 를 곱하여 산정하는 방식임을 알 수 있다. 여기서 응답 보정계수 k_s 는 재하실험을 통해 처짐과 변형률등을 측정하여 산정하는데 통상 재하하중의 크기가 구조물의 극한 강도보다 매우 작기 때문에 구조물이 탄성범위 내에서 거동하는 상태를 토대로 적용하게 된다. 구조물이 탄성범위 내에서 거동하기 때문에 주로 구조물 강성의 크기에 크게 영향을 받으며 강성변화에 따라 구조물의 처짐과 변형을 수치도 변화하게 된다. 즉 구조물의 강성이 작아지면 응답보정계수가 작아지고 이에 따라 공용내하력도 감소되는 관계를 보인다. 하지만 구조물의 내하력 또는 극한강도는 구조물의 강성과 관련된 사항이 아니라 구조물의 극한하중 저항능력으로부터 산출되는 개념이기 때문에 현행 공용내하력 평가식은 상기한 기본 개념에 위배되는 내용을 포함하고 있다. 따라서 본 연구에서는 RC보에 대한 휨 실험을 통해 현행 내하력 평가 방법의 문제점을 고찰해보았다.

2. 현행 내하력 평가 방법

2.1 허용응력법에 의한 공용내하력 평가

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

*정회원, 서울산업대학교 토목공학과 조교수
**정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수
***정회원, 서울산업대학교 토목공학과 석사과정

$$\text{내하율(RF)} = \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)} \quad (1)$$

여기서, f_a = 실측 허용응력, f_d = 실측 고정하중에 의한 응력, f_l = 설계활하중(도로교의 경우 DB 또는 DL하중, 철도교의 경우 LS하중)에 의한 응력, i = 충격계수는 도로교 표준시방서에서 제시한 설계 충격계수를 적용한다.

허용응력법에 의한 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{공용내하력 } P = K_s \times RF \times P_r \quad (2)$$

$$K_s = \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} \quad \text{또는,} \quad \frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} \quad (3)$$

여기서, $i_{\text{계산}}$ = 도로교의 경우 도로교표준시방서, 철도교의 경우 철도건설 공사 표준시방서에 의한 충격계수, $i_{\text{실측}}$ = 동적재하시험으로부터 평가된 최대충격계수, P_r = 설계활하중(도로교의 경우 DB 또는 DL하중, 철도교의 경우 LS하중), $\delta_{\text{계산}}(\delta_{\text{실측}})$ = 이론적인 처짐량 (실측 처짐량), $\epsilon_{\text{계산}}(\epsilon_{\text{실측}})$ = 이론적인 처짐량 (실측 변형률)를 적용한다.

2.2 강도 설계법에 의한 공용내하력 평가

강도 설계법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{내하율(RF)} = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l(1+i)} \quad (4)$$

여기서, ϕM_n = 극한저항모멘트 (강구조물 $\phi = 1$, RC, PC 구조물의 휨부재 $\phi = 0.85$), M_d = 실측 고정하중 모멘트, M_l = 설계활하중(도로교의 경우 DB 또는 DL하중, 철도교의 경우 LS하중)에 의한 휨모멘트, γ_l = 활하중계수 = 2.15, γ_d = 고정하중계수 = 1.3, i = 도로교 표준시방서에서 제시한 설계 충격계수를 적용한다.

강도설계법에 의한 교량부재의 공용내하력은 허용응력법에 의한 공용내하력 평가시 사용되는 식 (2)와 동일하다.

2. 실험

본 연구에 적용하기 위해 실험체는 길이 2m의 RC보 3개를 제작하였다. 이 실험체들은 콘크리트 압축강도 이외의 모든 조건이 동일하며 실험체의 콘크리트 압축강도(재령 28일)를 각각의 부재에 대해 공시체 3개씩을 측정, 평균하여 표 1에 나타내었다. 실험체의 상세는 그림 1과 그림 2에 보이는 바와 같으며 하중 재하에는 200ton UTM을 이용하였다. 하중 스텝은 P_{σ} (균열하중)을 기준으로 $1.0P_{\sigma}$, $1.3P_{\sigma}$, $2.0P_{\sigma}$, $3.0P_{\sigma}$ 의 하중을 각각 단계별로 3회씩 반복 재하하였다.

표 1 재료 강도 (MPa)

실험체명	RC-1	RC-2	RC-3
28일 콘크리트 강도	30	30	23

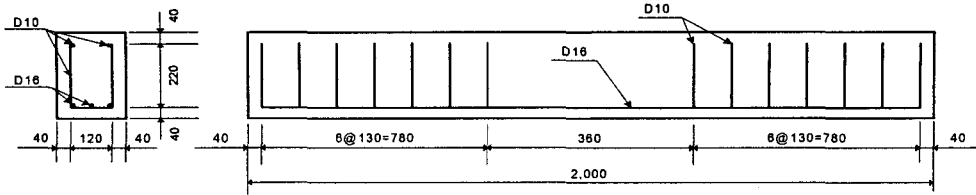


그림 1 실험 부재 단면

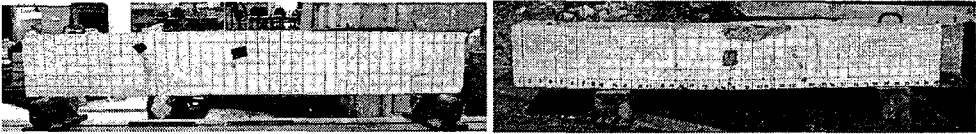


그림 2. 실험체 사진

3. 실험결과 및 분석

RC-1, RC-2, RC-3로부터 측정된 인장철근 변형률과 비균열단면(state1), 균열단면(state2), tension-stiffening을 고려한 균열단면을 사용한 변형률 계산치를 비교하여 볼 수 있도록 각각의 부재 별로 도시하였다. 그림 3 에서 실험치의 그래프는 균열하중보다 큰 하중이 재하된 이후부터 잔류 변형이 커지며, 따라서 실험체가 균열하중을 초과하는 하중을 받게 될 때 비균열 단면(state1) 상태의 계산치와 실험치의 차가 커진다. 일단 균열이 발생한 이후에는 tension stiffening을 고려한 하중-변형률 그래프와 유사하게 나타난다. 그림 5에서는 하중 단계별 잔류 변형률을 제거하여 그 기울기를 비교하였다. 기울기는 부재의 단면에 균열이 진행될수록 완만해져 그 기울기가 균열 단면(state2)상태에서의

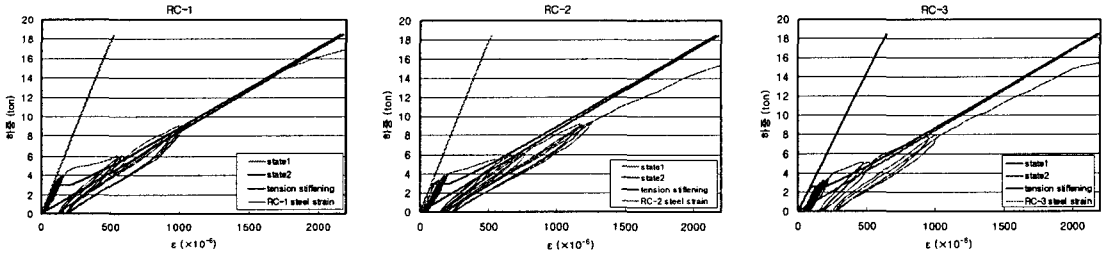


그림 3 tension stiffening을 고려한 하중-변형률 그래프와 strain gage 실측치 비교

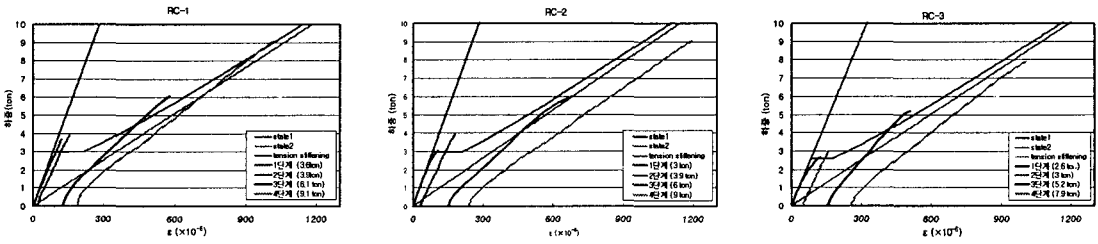


그림 4 하중 단계별 변형률

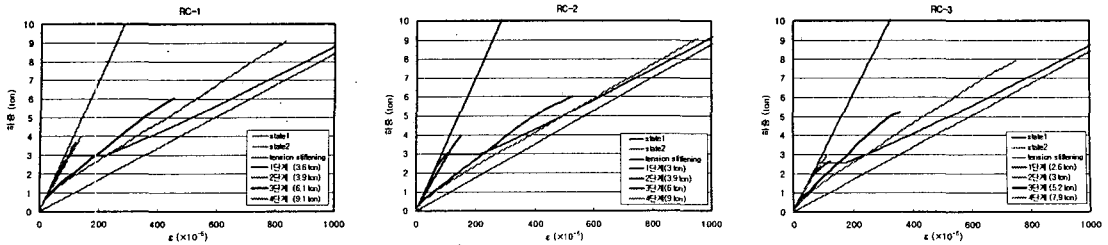


그림 5 하중 단계별 변형률 (잔류 변형률 소거)

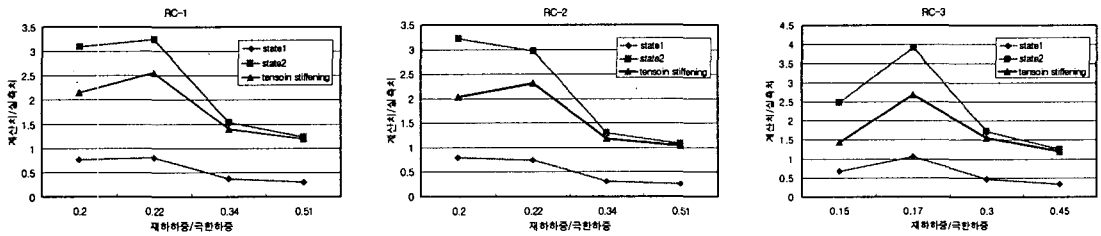


그림 6 응력비교

기울기에 가까워짐을 알 수 있다. 그림 6에서 변형률의 실측치와 계산치의 비를 그래프로 살펴보면 비균열 상태에서는 state1(비균열단면)의 값이 실측치에 근접한 값을 보이고 있으며, 균열이 발생한 이후에는 계산치와 실측치가 차이를 보이다 state2(균열단면)와 tension stiffening의 값이 실측치에 가까워짐을 알 수 있다.

4. 결론

RC 구조물의 극한 내하력은 구조물의 단면강성과 균열 발생에 따른 잔류 응력 변화, 재하하중의 크기에 의해 영향을 받는다. 따라서 극한 내하력 평가시 이러한 사항들이 고려되어야 하며 현행 내하력 평가식의 수정이 필요하다고 판단된다. 또한 RC 구조물의 극한 내하력 평가시 육안조사가 가능하고 해석가능한 RC구조물의 경우 재하시험을 이용한 내하력 평가를 수행할 필요가 없으나 과도한 처짐, 균열, 손상이 발생한 경우 또는 해석이 어려운 경우 재하시험을 수행할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 사회기반시설물 중점 연구단의 지원에 의해 수행 되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2005) 도로설계기준, 한국도로교통협회
2. 김동용, 경갑수, 전준창, 이희현, 장동일(1999) "실측자료의 통계분석에 기초한 도로교 내하력 평가 방법의 개선방안" 토목학회 논문집 제 19권 I-6호 1999년 11월 pp.847~857
3. A Ghali, R Favre and M Elbadry, "Concrete Structures Stresses and Deformation - third edition"