

# RC 보 부재의 잔존 전단강도 평가

## Residual Shear Strength Evaluation for RC Beam Member

명근학\*            이창신\*\*            김대중\*\*\*            모귀석\*\*\*\*            김우\*\*\*\*\*  
Myung, Gun Hak   Rhee, Chang Shin   Kim, Dae Joong   Mo, Gui Suk   Kim, Woo

### ABSTRACT

Recently, the deterioration of concrete structures have been increased by the damage from salt, carbonization, freezing & thawing and the others. Reinforcement corrosion is the principal cause of deterioration of reinforced concrete. Unfortunately, full bond is assumed in all existing shear models, a condition which is often not fulfilled when assessing damaged structures. It is therefore very important to increase the understanding of how reduced bond influences the load carrying capacity particularly for shear. Therefore in this study an equation is proposed to evaluate the residual shear strength considered deterioration.

### 1. 서론

사용수명 동안에 구조물의 현재 상태를 파악하고 필요할 경우 보수·보강을 실시하고자 하는 일련의 과정을 안전진단 및 평가라 한다. 교량의 경우 기간장과 형태에 따라 의무 진단기간과 그 내용이 규정되어 있다. 그러나 안전도 평가 기준은 아직 합리적이지 못하고, 교량의 현재 상태를 판단하는 근거 또한 이론적으로 정립되지 못한 상태이다.

구조물은 인간의 필요에 의하여 설계·시공되므로 구조물이 완성된 후, 사용자가 안전하고 쾌적하게 이용할 수 있는 기능 및 성능을 유지하여야 한다. 그러나 대부분의 구조물은 사용기간 동안 끊임없이 반복되는 하중작용과 주변 환경에 의하여 구성 재료가 열화(deterioration) 또는 손상되므로 최적 조건 하에서도 설계시의 성능을 점차적으로 상실하여 간다. 구조물에 발생하는 각종 열화 현상과 손상은 구조물의 기능 및 목표성능 등의 감소를 수반하므로 손상 정도에 따라서는 인명과 재산을 위협하는 대형 붕괴사고의 원인이 되기도 한다. 또한 미비한 내하력 평가방법으로 구조물의 잔존강도가 과소하게 평가된다면 충분한 내하력을 갖고 있는데도 철거하거나 보강하여 사회적, 경제적 손실을 가져오게 된다. 따라서 구조물의 잔존강도를 평가하기 위한 합리적인 평가 기법의 개발이 시급한 실정이다.

이 연구에서는 구조물이 열화하여 부착손실이 발생한 경우 부착손실길이에 따른 전단강도 변화를 분석한 후 잔존전단강도(residual shear strength) 평가 모델을 제안하여, 구조물의 합리적인 내하력평가의 기초자료로 활용하고자 한다.

\*정회원, 전남대학교 토목공학과 석사과정

\*\*정회원, 전남대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\*정회원, 전남도립 남도대학 토목환경과 부교수

\*\*\*\*정회원, 대불대학교 토목환경공학과 교수

\*\*\*\*\*정회원, 전남대학교 건설지구환경공학부 교수

## 2. 전단내하력의 성능저하 원인 분석

### 2.1 철근콘크리트 열화기구

콘크리트 구조물은 열화 환경에 노출되어 있다. 열화 환경에 노출된 콘크리트 구조물은 전반적으로 강도가 저하된다. 열화 환경조건의 극심한 정도와 철근콘크리트의 재료특성에 따라 강도 감소의 크기가 좌우된다. 염소이온, 황산, 이산화탄소 등과 같은 화학성분, 습도 및 극한온도의 반복이 콘크리트 구조물의 강도 감소에 영향을 미치는 가장 보편적인 열화 인자들이다. 열화에 따른 구조 부재의 강도 감소 원인은 콘크리트와 철근의 단면적 손실을 들 수 있다. 열화에 의한 콘크리트와 철근의 단면적 손실에 기인한 부재강도 손실은 내하력 평가시점에서 현장 조사한 실측 자료를 이용하여 고려할 수 있다.

### 2.2 부착 손실에 의한 전단 내하력 성능변화

공용중인 철근콘크리트 구조물은 주변 환경의 영향으로 열화하는데, 철근 부식이 열화의 가장 주된 요인이다. 부식에 의해 부착이 손실된 철근은 더 이상 콘크리트와 일체 거동하는 복합체 역할을 하지 못하게 되어, 철근콘크리트의 기본 가정이 달라져 구조부재의 거동은 변하게 될 것이다.

철근콘크리트 보의 전단강도는 균열이 발생하지 않은 부분의 콘크리트의 전단저항, 균열면의 골재 맞물림에 의한 저항, 주철근의 다월작용(dowel action)에 의한 저항 및 균열면과 교차된 스테럽에 의한 저항의 합으로 본다. 이러한 관점에서 보면, 부착이 손실되면 균열 폭이 증대되어 골재 맞물림 저항을 감소시키고, 콘크리트 덮개의 수평 조깅은 다월작용에 의한 저항을 콘크리트 덮개의 탈락은 스테럽을 노출시켜 스테럽의 전단저항을 감소시키므로 철근콘크리트 보의 전단강도는 감소할 것으로 판단된다.

## 3. RC 보 부재의 잔존 전단강도 평가 모델

### 3.1 열화를 고려한 RC 보의 전단강도

이 연구에서는 공용개시후  $t_i$ 년이 경과한 RC 보 부재의 잔존전단강도를 식 (1)과 같이 제안하였다.

$$V_{r,t_i} = k_b \cdot V_{n,t_i} \quad (1)$$

여기서  $V_{r,t_i}$  :  $t_i$ 년이 경과한 잔존 전단강도

$V_{n,t_i}$  : 열화를 고려한 콘크리트구조설계기준에 의한 전단강도

$$V_{n,t_i} = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck} b_w d} + \frac{A_v f_y d}{s}$$

$b_w$ ,  $d$  및  $A_v$ 는 공용개시 후  $t_i$ 년이 경과한 내하력 평가 시점에서 열화에 의한 콘크리트와 철근의 단면적 손실이 고려된 현장 조사를 통하여 얻은 자료값 사용.

$f_{ck}$ 와  $f_y$ 는 평가 시점의 현장 조사 자료 또는 설계도서의 값을 사용.

$k_b$  : 부착손실 영향 계수

앞 절에서 분석한 바와 같이 열화에 의한 콘크리트와 철근의 단면적 손실에 기인한 강도 감소는 식 (1)의  $V_{n,t_i}$  항에서, 부착 손실에 의한 구조 거동의 변화에 기인한 부재강도의 변화는 식 (1)의  $k_b$  항에서 고려하였다. 부착손실에 의한 구조 거동의 변화에 대한 부착손실 영향 계수  $k_b$ 는 유한요소해석을 통하여 정량화 하였다.

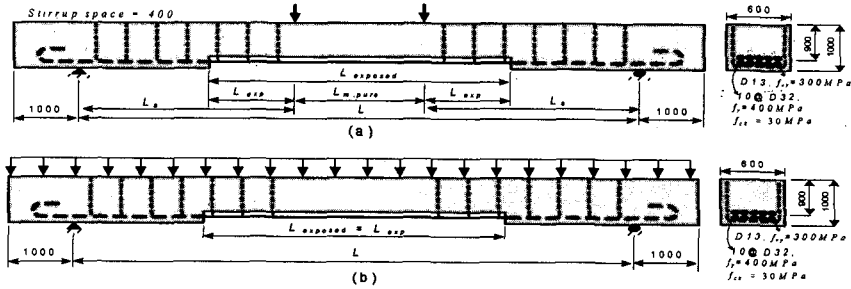


그림 1 유한요소 해석 모델링 제원

### 3.2 부착손실 영향계수 $k_b$

전단철근이 있는 prototype 크기를 갖는 RC 보에 대해서 부착손실길이( $L_{exposed}$ ), 노출된 주철근비( $A_{s,exp}/A_s$ ), 하중 재하점의 간격(순수휨모멘트구간;  $L_{m,pure}$ ), 하중의 형태(2점재하 집중하중, 등분포하중)를 주변수로 하여 유한요소해석을 수행하였다. 이때 부착손실길이 변수는  $L_{exposed}/L$ 을 0, 20, 40, 60 및 80%로 변화시켰으며,  $A_{s,exp}/A_s$ 는 50%와 100%로 변화시켰다. 집중하중일 때는  $a/d$ 가 3과 6으로, 등분포하중일 때는  $L/d$ 를 6, 7, 8, 10, 12로 변화시켜 분석하였다. 해석보의 제원은 그림 1과 같다.

부착손실에 따른 유한요소 해석결과를 그림 2에 나타냈다. 그림 2(a)와 (b)에서 알 수 있듯이, 주철근의 손실량( $A_{s,exp}/A_s$ )이 50%일 때는 강도감소가 거의 없다. 반면에 그림 2(c)와 (d)에 보인 바와 같이,  $A_{s,exp}/A_s$ 가 100%일 때는 부착손실길이에 따라 강도감소 현상이 나타났다. 등분포하중이 작용하는 경우인 그림 2(c)를 살펴보면,  $L/d=6$ 인 짧은 보는 부착손실이 발생하여도 전단강도의 변화가 거의 없다.  $L/d>6$ 인 보는 부착손실길이( $L_{exp}/L$ )가 20%일 때까지는 전단강도의 변화가 없었으며,  $L_{exp}/L>20\%$ 이면 전단강도가 감소하는 경향을 나타냈다. 그림 2(d)의 집중하중의 경우에도 비슷한 경향이였다.

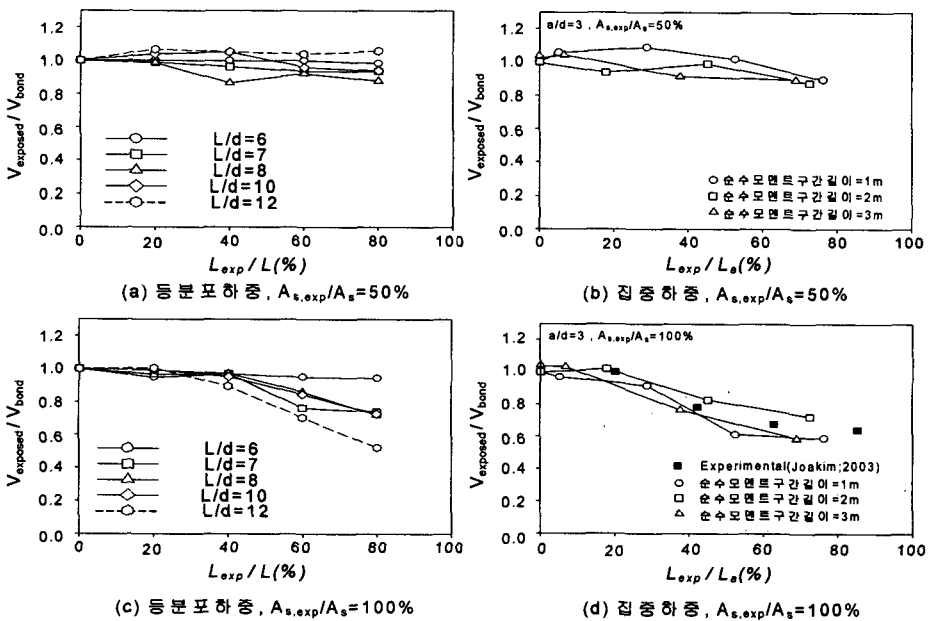


그림 2 부착손실에 따른 전단강도의 변화

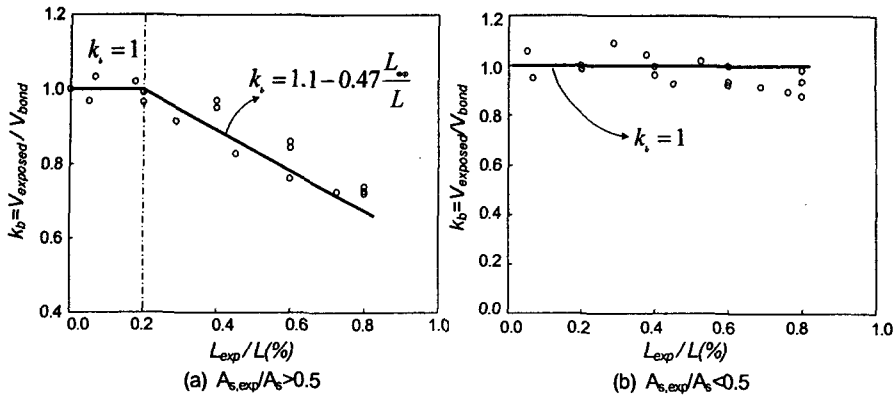


그림 5 부착손실 영향계수  $k_b$

Joakim(2003)의 비부착실험에 따른 전단강도변화 실험자료를 그림 2(d)에 도시하였다. 실험결과와 해석결과는 비교적 일치하는 것으로 나타났다.

유한요소해석 결과에 기초하면, 주철근의 노출량( $L_{exp}/L$  및  $A_{s,exp}/A_s$ )이 부착손실 영향계수  $k_b$ 에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 RC보 부재의 부착손실 영향계수  $k_b$ 를 주철근의 노출량에 따라 그림 3과 같이 정량화하였다.

#### 4. 결론

이 연구에서는 열화에 의한 콘크리트와 철근의 단면적 손실과 부착 손실을 전단내하력 성능 저하 주요 요인으로 규명하였고, 공용중인 콘크리트 구조물의 전단내하력 평가를 위한 기초자료로 활용하고자 철근 부식에 의한 부착 손실 등의 열화가 고려된 RC 보 부재의 간존전단강도 평가 모델을 정량적으로 제안하였다.

#### 감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Cairns, J. and Zhao, Z., "Structural Behaviour of Concrete Beams with Exposed Reinforcement," *Proceeding Institution of Civil Engineer: Structures & Buildings*, V. 99, May 1993, pp.141-154.
2. Kani, G. N. J., "The Riddle of Shear and Its Solution," *ACI Structural Journal*, V. 64, No. 4, Apr. 1964, pp.441-467.
3. Joakim, J. and Sven, T., "Behavior of Reinforced Concrete Beams with Loss of Bond at Longitudinal Reinforcement," *ASCE Journal of structural Engineering*, V.129, No.10, Oct. 2003, pp.1376-1383.