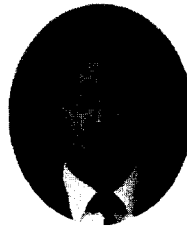

손상상태를 고려한 부재의 보강설계법 개발

A Development on Method of Strengthening Design
for the Different Status of Damages



한 만 엽*

Han, Man-Yop



이 성 준**

Lee, Sung-Joon

ABSTRACT

Recently, many strengthening methods are developed to repair damaged structures, when the original structure is under loading, which causes the difference of initial stresses between original member and bonded material. However, current design method or theory, which mostly depends on ultimately strength design, cannot account the difference of initial stresses between members, and it disregards the reduction of nominal strength.

In this study, a new strengthening design theory and the amount of strengthening which can account the difference of initial stresses are developed, and applied to the case when a structure in service is repaired. The results show that the amount of strengthening material depends on the status of damages of structure, and the nominal strength is reduced depending on the degree of damages.

Keywords : amount of strengthening, structure, nominal strength

* 정회원, 아주대학교 토목공학과 교수
** 정회원, 아주대학교 토목공학과 석사과정

·본 논문에 대한 토의를 2000년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2000년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

손상된 철근콘크리트 부재에 강판이나 탄소섬유 등과 같은 보강재를 접착하여 휨부재를 보강하는 방법은 내하력, 내구성, 시공성, 경제성 등이 우수하여 그 사용량이 급격히 증대되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 보강공법의 해석과 설계에 사용되는 체계적인 보강설계법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

실 구조물이 보강될 경우에는 이미 응력이 작용하고 있는 구조물과 응력이 작용하지 않는 새로 부착된 보강재의 초기 응력이 서로 차이가 나기 때문에 이런 초기응력의 차이가 설계에 반영되어야만 한다. 초기 변형률의 차이가 있는 상태에서 합성된 부재는 초기 변형률의 차이가 없는 상태에서 합성된 부재에 비하여 보강후 내하력이 감소되기 때문에 이런 초기 응력의 차이가 보강설계에 반영되어야만 한다.

그러나 현재의 보강설계법은 이런 점이 고려되지 않고 있으므로, 기존의 보강설계법으로 보강량을 산정하게 되면, 보강후 내하력이 모자라거나, 내하력이 모자라는 것을 우려하여 과도한 안전율을 산정하게 되는 문제점이 있다. 이 때문에 현재 사용되고 있는 보강설계법은 구조물의 안전도를 적절히 확보하지 못하거나, 경제적으로 상당한 손실을 발생시킬 수 있는 요인을 내포하고 있다.

이러한 문제점을 지적하고 이를 해결하기 위한 연구가 최근 한만엽, 이원창^(1,2) 등에 의하여 발표된 적이 있다. 그러나 이 논문에서는 보강된 부재의 하중 처짐 곡선을 구하는 프로그램을 개발한 것이기 때문에 실무에서 보강설계에 사용하기에는 불평하다는 문제점이 있었다. 따라서 본 논문에서는 현장에서 사용할 수 있는 보강량을 산정하는 간편한 보강설계식을 제시하는데 그 목적이 있다.

그러므로 본 논문에서는 기존 부재의 철근과 콘크리트의 응력상태에 따른 단계별 보강량설계식을 개발하여 기존 부재의 손상 상태에 따른 부재의 보강설계를 단계별로 제시하고, 제시된 설계법에 의해 부재의 보강량을 산정하였다.

2. 소요보강 모멘트

2.1 설계오류·시공오차에 의한 보강(SD1)

구조물의 설계 오류나 시공상 오차에 의한 경우의 보강(SD1: Strengthening Design Case 1)일 때는 다음 식에 의해서 소요 보강모멘트를 구할 수 있다.

$$\phi(M_n + M_{rep}) \geq M_u \quad (1)$$

M_n : 보강전 원 부재의 공칭모멘트

M_{rep} : 보강재에 의한 보강모멘트

M_u : 부재가 받을 수 있는 소요 모멘트

2.2 내하력 증가를 위한 보강(SD2)

내하력 증가를 위한 보강(SD2: Strengthening Design Case 2)일 경우 보의 공칭모멘트는 보강후의 산정된 모멘트에서 보강전 부재의 모멘트를 뺀 것으로 그 모멘트가 대상 구조물의 활하중 모멘트보다 커야 하므로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\phi(M_n' - M_{rep}) \geq \gamma_l(M_l^T - M_l^P) \quad (2)$$

M_n' : 보강후 부재의 공칭모멘트

M_l^T : 목표 활하중모멘트

M_l^P : 현재 활하중모멘트

γ_l : 활하중계수

2.3 손상된 보의 보강(SD3)

콘크리트 구조물의 노후화에 따라 손상된 경우에 보강(SD3: Strengthening Design Case 3)하고자 하는 경우는 소요보강모멘트를 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\phi(M_n^B + M_{rep}) \geq M_u \quad (3)$$

M_n^B : 보강전 손상된 부재의 공칭모멘트

손상된 보를 보강하여 내하력을 회복시키고자 하는 경우에는 먼저 안전진단이 수행되어 내하력 계수(RF)가 결정된다. 따라서 주어진 단면에 의한 부재의 공칭모멘트 M_n 과 보강 전 손상된 부재의 공칭모멘트 M_n^B 는 다음 식과 같은 관계가 있다.

$$\begin{aligned} M_n &= \gamma_d M_d + \gamma_l M_l \\ M_n^B &= \gamma_d M_d + \gamma_l M_l \cdot RF \end{aligned} \quad (4)$$

손상되지 않은 부재의 보강 전후의 모멘트와 손상된 부재의 보강 전후의 모멘트의 증가율은 서로 비례하므로, 따라서 손상되지 않은 부재의 공칭모멘트와 손상된 부재의 공칭모멘트의 비인 손상계수(DF)는 다음과 같다.

$$DF = \frac{M_n^B}{M_n'} = \frac{M_n^B}{M_n} \quad (5)$$

M_n^B : 보강후 손상된 부재의 공칭모멘트

식 (4)를 식(5)에 대입하여 정리하면 DF는 다음과 같다.

$$DF = 1 - \gamma(1 - RF) \frac{M_l}{M_n} \quad (6)$$

3. 구성요소의 모델

본 연구에서는 인장축 콘크리트에서 발생하는 인장력은 무시한다는 가정하에, 콘크리트의 압축 모델과 철근의 인장모델을 제시하여 보강설계법을 제시하였다.

3.1 콘크리트의 압축모델

본 연구에서 사용된 압축 콘크리트의 모델은 Fig. 1에 제시된 바대로 현재 가장 널리 사용되고 있는 Hognestad⁽⁵⁾에 의해 제시된 모델식을 사용하였다. 파괴시의 응력은 최대응력으로부터 0.15 f_{ck} 가 감소되었을 때 파괴되는 것으로 가정하였으며, 파괴시 변형을 ϵ_{cu} 는 0.003로 가정하였

다. 응력곡선은 응력 증가시 곡선과 감소시 곡선으로 구분하여 다음과 같은 2가지의 모델식으로 가정하였다.

$$\text{구간 I : } f_c = f_{ck} \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad (7)$$

$$\text{구간 II : } f_c = f_{ck} \left(1 - \frac{0.15}{\epsilon_{cu} - \epsilon_0} (\epsilon_c - \epsilon_0) \right) \quad (8)$$

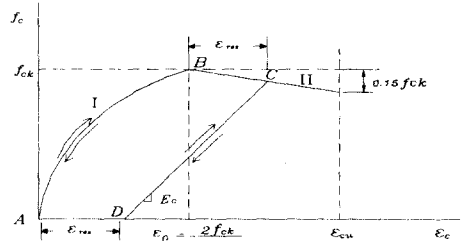


Fig. 1 Compressive model of concrete material

3.2 철근의 인장모델

철근의 구성 모델은 Fig. 2에 제시되어 있다. 하중 제거시 철근 재료의 응력 변형률 선도의 거동도 같은 그림에 설명하였다. 철근이 항복응력 f_y 에 도달하기 전에 하중이 제거된 경우에는 잔류변형을 남기지 않고 A점으로 되돌아간다. 그러나 항복응력 f_y 를 지난 후 임의의 지점 C에서 하중이 제거가 된 경우에는 잔류변형 ϵ_{res} 을 남기며 D점으로 이동하는 것으로 가정하였다. A점과 D점사이의 잔류변형 ϵ_{res} 는 항복점 B를 지나서 하중이 제거되기 시작할 때까지 발생한 추가적인 변형률 ϵ_{res} 과 같은 것으로 가정하였다.

$$\text{구간 I : } f_s = E_s \epsilon_s \quad (9)$$

$$\text{구간 II : } f_s = E_u (\epsilon_s - \epsilon_y) + f_y \quad (10)$$

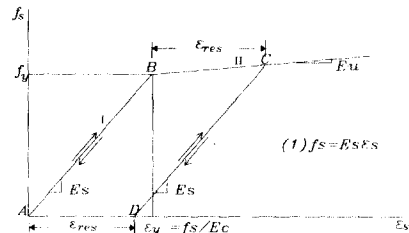


Fig. 2 Modeling of steel rebar

본 연구에서는 $E_u = 0.001E_s$ 로 가정하였다. 하중이 증가하다가 하중이 B점을 지나서 증가하다가 임의의 C점에서 하중이 제거가 된다면 철근은 잔류변형 ϵ_{res} 를 남기고 기울기 E_s 인 직선 CD를 따라 D점으로 되돌아오는 것으로 가정하였다. 또한, D점에서 다시 하중을 가하게 된다면 철근탄성계수와 같은 기울기로 증가한 후 다시 C점에 도달한 후 하중이 증가함에 따라서 (2)번 구간과 같이 거동하는 것으로 가정하였다.

4. 부재의 상태에 따른 보강설계식

4.1 사용전 보강설계(SL0)

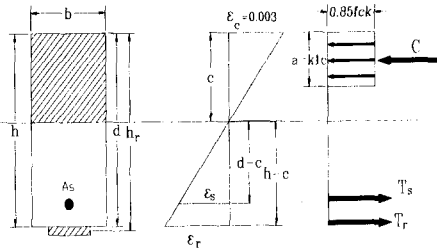


Fig. 3 Stress-strain relationship for repair before use

사용전 보강을 하는 경우(SL0: Strengthening Level 0)는 실험실에서 보강효과를 검증하기 위하여 시편을 제작하는 경우에 해당된다. 이 경우에는 원부재와 보강재의 응력이 똑같이 "0"에서 시작하므로 이에 해당되는 해석 및 설계식이 필요하다.

4.1.1 보강량 산정

콘크리트의 압축력 C는 다음과 같다.

$$C = 0.85 f_{ck} ab \quad (11)$$

철근의 인장력과 보강재의 인장력을 합친 총인장력 T는 다음과 같다. 여기서 콘크리트의 인장력은 무시한다.

$$T_t = T_s + T_r = A_s f_y + A_r f_r \quad (12)$$

평형조건에 의해

$$0.85 \times f_{ck} \times a \times b = A_s \times f_y + A_r \times f_r$$

$$a = \frac{A_s \times f_y + A_r \times f_r}{0.85 \times f_{ck} \times b} \quad (13)$$

실험부재의 보강설계는 SD1에 해당되므로 이 경우의 보강량은 다음에 다시 설명하겠다.

4.1.2 보강후 공칭모멘트

공칭모멘트를 구하여 보면

$$M_n = f_y A_s (d - \frac{a}{2}) + f_r A_r (h_r - \frac{a}{2}) \quad (14)$$

4.2 철근항복전 보강설계(SL1)

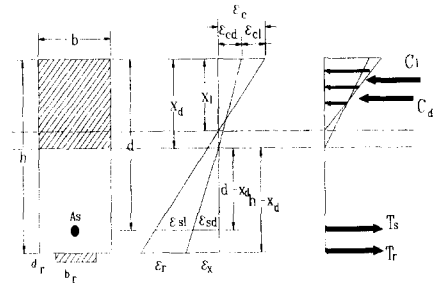


Fig. 4 Stress-strain relationship for field case 1

손상이 적은 경우, 즉 아직 철근이 항복응력에 도달하지 않은 경우(SL1: Strengthening Level 1)에 보강하는 경우이다. 보강재를 부착할 때 콘크리트와 철근이 모두 최대응력에 도달하기 이전이므로 $f_c < f_{ck}$, $f_s < f_y$ 상태인 보를 대상으로 보강량을 설계하도록 하였다.

4.2.1 보강량 산정

실구조물에서 보강을 할 경우에는 기존 구조물에 사하중이 작용하는 상태에서 보강이 이루어지므로 보강재 부착시에 원 부재는 사하중에 의한 응력이 작용하는 상태이며 보강재는 응력이 "0"인 상태이다. 따라서 보강재에 작용하는 응력은 활하중의 크기에 해당하는 만큼만 발생하게 된다.

따라서, 중립축 x_d 는 보강재를 부착하기 전에 사하중만을 받고 있는 상태에서의 중립축이며, 중

립축 x_l 는 보강재가 부착된 후 하중이 증가하여 인장철근이 항복할 때의 중립축이다.

활하중이나 기타 보강재 부착시의 하중상태보다 하중이 증가 할 때부터 변형률이 증가하기 시작한다. 그러므로 위의 그림에서 보듯이 ϵ_{sd} 를 이용하여 ϵ_x 을 구하여야 한다. 삼각형 닳음비를 이용하면 다음과 같다.

$$\frac{\epsilon_x}{h-x_d} = \frac{\epsilon_{sd}}{d-x_d}$$

$$\epsilon_x = \frac{\epsilon_{sd}(h-x_d)}{d-x_d} \quad (15)$$

또한 삼각형 닳음비를 이용하여 ϵ_r 을 다음식으로 유도할 수 있다.

$$\frac{\epsilon_x + \epsilon_r}{h-x_l} = \frac{\epsilon_y}{d-x_l}$$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_y(h-x_l)}{d-x_l} - \frac{\epsilon_{sd}(h-x_d)}{d-x_d} \quad (16)$$

구조물의 설계의 오류나 시공상의 오차에 의한 경우(SD1)의 보강일 때는 식 (1)에 의해서 소요 보강모멘트를 구할 수 있다.

$$\phi(M_n + M_{rep}) \geq M_u$$

$$= \phi[A_s \epsilon_y E_s (d - \alpha x_l) + A_r \epsilon_r E_r (h_r - \alpha x_l)]$$

그러므로 SD1의 보강일 경우에 보강량 A_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \frac{M_u - \phi A_s \epsilon_y E_s (d - \alpha x_l)}{\phi \epsilon_r E_r (h_r - \alpha x_l)} \quad (17)$$

내하력 증가를 위한 보강일 경우(SD2)의 보의 공칭모멘트는 보강후의 재산정된 중립축을 적용하여 산정한 모멘트 분량에서 보강전 부재의 모멘트를 뺀 것으로 그 모멘트 분량이 대상구조물의 활하중모멘트보다 커야 하므로 식 (2)와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\phi(M_n' - M_n) = \phi M_{rep} \geq \gamma_l (M_l^T - M_l^P)$$

$$= \phi [A_r \epsilon_r E_r (h_r - \alpha x_l)]$$

그러므로 SD2인 경우의 보강량 A_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \frac{\gamma_l (M_l^T - M_l^P)}{\phi \epsilon_r E_r (h_r - \alpha x_l)} \quad (18)$$

콘크리트 구조물의 노후화에 따라 손상된 경우(SD3)에 보강을 하는 경우는 소요보강모멘트를 다음과 같은 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$\phi(M_n^B + M_{rep}) \geq M_u$$

$$= \phi [DF \cdot A_s \epsilon_y E_s (d - \alpha x_l) + A_r \epsilon_r E_r (h_r - \alpha x_l)]$$

그러므로 SD3인 경우의 보강량 A_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \frac{M_u - \phi A_s \epsilon_y E_s (d - \alpha x_l) \cdot DF}{\phi \epsilon_r E_r (h_r - \alpha x_l)} \quad (19)$$

4.2.2 보강후 공칭모멘트

철근항복전 단계의 보강인 경우에 위의 산정식으로 산정된 보강재가 부착된 후의 거동을 살펴보기로 하겠다. 보강재가 부착되기 되기 전의 거동은 무보강보의 거동과 같으나, 보강재가 부착된 후의 거동은 다음과 같다.

보강재가 부착된 후 임의의 외력 모멘트를 받을 때 평형조건을 사용한 방정식은 다음과 같다.

$$0.85 f_{ck} a b = A_s f_y + A_r f_r$$

위의 식을 a 에 대해서 정리하면 다음과 같다.

$$a = \frac{A_s f_y + A_r f_r}{0.85 f_{ck} b}$$

보강한 후의 공칭모멘트를 구하여 보면

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_r f_r \left(h_r - \frac{a}{2} \right) \quad (20)$$

4.3 철근항복후 보강설계(SL2)

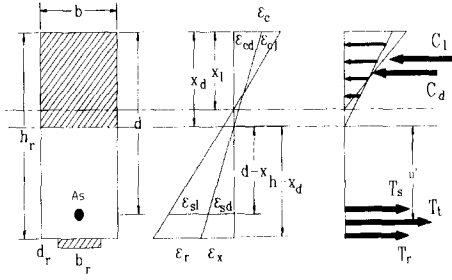


Fig. 5 Stress-strain relationship for field case 2

보강대상 부재가 $f_c < f_{ck}$, $f_s > f_y$ 인 응력상태를 겪었던 부재를 대상으로하는 철근항복후의 보강인 경우(SL2: Strengthening Level 2)의 보강량 산정을 살펴보기로 하겠다.

4.3.1 철근 잔류변형률의 해석개념

인장축 철근에 임의의 잔류 변형률 ϵ_{res} 가 발생한다면 철근의 구성모델은 다음과 같이 생각할 수 있다.

여기서 새로운 항복변형률 ϵ_y' 는 다음과 같다.

$$\epsilon_y' = \frac{f_y + (E_s \epsilon_{res} - E_u \epsilon_y)}{E_s - E_u} \quad (21)$$

1) $\epsilon_s < \epsilon_y'$ 일때

$$f_s = E_s(\epsilon_s - \epsilon_{res})$$

2) $\epsilon_s > \epsilon_y'$ 일때

$$f_s = f_y + E_u(\epsilon_s - \epsilon_y')$$

여기서 $\epsilon_s < \epsilon_y'$ 일때는 항복전 관계식이며, $\epsilon_s > \epsilon_y'$ 일때는 항복후 관계식이 된다. 또한 잔류 변형이 발생한 후에는 잔류변형이 없을때보다 항복 응력이 증가하는 것을 알 수 있다. 잔류변형이 없을 때는 항복변형률 ϵ_y 일 때 항복응력 f_y 에 도달하지만 ϵ_{res} 의 잔류변형이 발생한 후에는 $f_y + \Delta f$ 만큼 증가한다. Δf 는 다음과 같이 $\Delta f = E_u \epsilon_{res}$ 이다.

그러므로 철근항복 후 보강단계에서의 해석과정에서는 $\epsilon_s < \epsilon_y'$ 일때와 $\epsilon_s > \epsilon_y'$ 일때의 공식을 사

용하여야 되며, 또한 항복응력은 $f_y + \Delta f$ 를 사용하여야 한다. $f_y + \Delta f$ 를 경화항복하중이라고 하겠으며 f_y' 로 표현하도록 하겠다.

사하중과 활하중이 동시에 작용하여 항복응력 이상을 받고있는 상태에서의 인장축 철근의 변형률이 ϵ_{d+l} 이라면 ϵ_{res} 는 다음과 같다.

$$\epsilon_{res} = \epsilon_{d+l} - \epsilon_y$$

4.3.2 보강량 산정

설계상 결함이 있거나 시공오차에 의한 보강(SD1)일 경우에 보강량 A_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \frac{M_u - \phi A_s \epsilon_y' E_s (d - a x_l)}{\phi \epsilon_r E_r (h_r - a x_l)} \quad (22)$$

내하력증대를 위한 보강(SD2)일 경우에 보강량 A_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \frac{\gamma_l (M_l^T - M_l^F)}{\phi \epsilon_r E_r (h_r - a x_l)} \quad (23)$$

콘크리트 구조물이 손상된 경우(SD3)에 보강일 때 보강량 A_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \frac{M_u - \phi A_s \epsilon_y' E_s (d - a x_l) \cdot DF}{\phi \epsilon_r E_r (h_r - a x_l)} \quad (24)$$

4.3.3 보강후 공칭모멘트

철근항복후 단계의 보강인 경우에 위의 산정식으로 산정된 보강재가 부착된 후의 공칭모멘트를 살펴 보기로 하겠다. 보강재가 부착되기 되기 전의 거동은 무보강보의 거동과 같으나, 보강재가 부착된 후의 공칭모멘트는 다음과 같다.

보강재가 부착된 후 임의의 외력 모멘트를 받을 때 평형조건을 사용한 방정식은 다음과 같다.

$$0.85 f_{ck} a b = A_s f_y' + A_r f_r$$

위의 식을 a 에 대해서 정리하면 다음과 같다.

$$a = \frac{A_s f_y' + A_r f_r}{0.85 f_{ck} b}$$

보강한 후의 공칭모멘트를 구하여 보면

$$M_n = A_s f_y' \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_r f_r \left(h_r - \frac{a}{2} \right) \quad (25)$$

4.4 손상이 심한 단계의 보강설계(SL3)

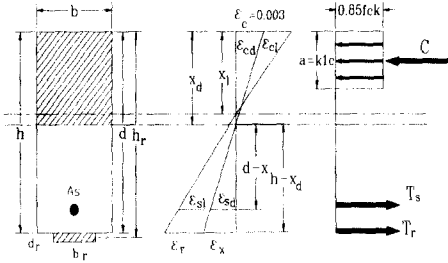


Fig. 6 Stress-strain relationship for field case 3

보강대상 부재가 $f_c > f_{ck}$, $f_s > f_y$ 인 상태의 응력상태를 겪었던 보를 대상으로 하는 손상이 심한 단계의 보강(SL3: Strengthening Level 3)인 경우의 보강량 산정을 살펴보기로 하겠다.

4.4.1 콘크리트 잔류변형률의 해석개념

만약 잔류변형률이 $\epsilon_{res\ c}$ 만큼 발생한다면 콘크리트의 최대응력은 다음과 같은 크기만큼 감소하게 됨을 알 수 있다.

$$\Delta f_{max} = \frac{0.15}{\epsilon_{cu} - \epsilon_0} \epsilon_{res\ c}$$

또한 콘크리트의 구성모델과 같이 잔류변형 $\epsilon_{res\ c}$ 이 발생하였을 경우에는 응력과 변형률 관계가 다음식과 같이 된다. 콘크리트 구성요소의 정의에 따라 만약 잔류변형률이 $\epsilon_{res\ c}$ 만큼 발생한 후 콘크리트의 응력과 변형률의 관계식은 다음과 같이 계산될 수 있다. 1) f_{ck}' 도달 전 관계식이며 2) f_{ck}' 도달 후 관계식이다. 여기서 새로운 항복변형률 ϵ_o' 는 다음과 같다.

$$\epsilon_o' = \frac{f_{ck} \left(1 - \frac{0.15}{\epsilon_{cu} - \epsilon_0} \epsilon_o \right) + E_c \epsilon_{res\ c}}{\left(E_c + f_{ck}' \frac{0.15}{\epsilon_{cu} - \epsilon_0} \right)} \quad (26)$$

1) $\epsilon_c < \epsilon_o'$ 일때

$$f_c = E_c \epsilon_c - E_c \epsilon_{res\ c}$$

2) $\epsilon_c > \epsilon_o'$ 일때

$$f_c = f_{ck} - 0.15 \frac{f_{ck}}{0.003 - \epsilon_0} (\epsilon_c - \epsilon_o)$$

$$= f_{ck} \left(1 - \frac{0.15}{\epsilon_{cu} - \epsilon_0} (\epsilon_c - \epsilon_o) \right)$$

손상이 심한 단계에서의 해석과정에서는 f_{ck} 대신에 $f_{ck} - \Delta f_{max}$ 를 사용하여야 하며 새로운 압축 콘크리트의 최대응력 $f_{ck} - \Delta f_{max}$ 를 f_{ck}' 로 나타내도록 하겠다. $\epsilon_{res\ c}$ 를 구하는 방법은 다음과 같다. 사하중과 활하중이 동시에 작용하여 압축 콘크리트가 최대응력 이상을 받고있는 상태에서의 콘크리트 변형률이 ϵ_{d+1} 이라면 $\epsilon_{res\ c}$ 는 다음과 같다.

$$\epsilon_{res\ c} = \epsilon_{d+1} - \epsilon_o$$

4.4.2 보강량 산정

보강재가 부착된 후 임의의 외력 모멘트를 받을 때 평형조건을 사용한 방정식은 다음과 같다.

$$0.85 f_{ck}' a b = A_s f_y'$$

위의 식을 a 에 대해서 정리하면 다음과 같다.

$$a = \frac{A_s f_y'}{0.85 f_{ck}' b}$$

실제상 결합이 있거나 시공오차에 의한 보강일 경우에 보강량 A_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \frac{M_u - \phi A_s \epsilon_y' E_s (d - a/2)}{\phi \epsilon_r E_r (h_r - a/2)} \quad (27)$$

내하력증대를 위한 보강일 경우에 보강량 A_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \frac{\gamma_l (M_l^T - M_l^P)}{\phi \epsilon_r E_r (h_r - a/2)} \quad (28)$$

콘크리트 구조물이 손상된 경우에 보강일 때

보강량 A_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_r = \frac{M_u - \phi A_s \epsilon_y' E_s (d - a/2) \cdot DF}{\phi \epsilon_r E_r (h_r - a/2)} \quad (29)$$

4.4.3 보강후 공칭모멘트

보강후의 증립축에 대한 평형방정식은

$$a = \frac{A_s f_y' + A_r f_r}{0.85 f_{ck}' b}$$

보강한 후의 공칭모멘트를 구하여 보면

$$M_n = A_s f_y' \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_r f_r \left(h_r - \frac{a}{2} \right) \quad (30)$$

5. 보강설계식 비교

보강설계식에 의해서 부재의 손상상태와 보강시점에 따라 각각의 보강량과 공칭모멘트를 산출한 결과를 비교하였다.

5.1 설계오류에 의한 보강량 비교

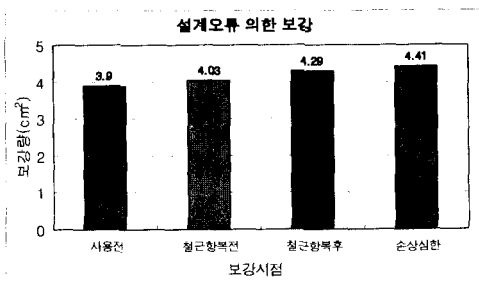


Fig. 7 Comparison of strengthening on design error

사용중보강 단계에서 설계오류에 의한 보강일 때 동일한 공칭모멘트하에서 사용전 보강은 보강량이 3.9cm^2 이고, 철근항복전 보강은 4.03cm^2 , 3.2%의 보강량을 증가 시켜야 되고, 철근항복후 보강은 4.29cm^2 , 9.1%의 보강량을 증가 시켜야 된다. 그리고 손상이 심한 보강일 때 4.41cm^2 , 14.3%의 보강량을 증가 시켜야 된다

5.2 내하력 증대를 위한 보강량 비교

사용중보강 단계에서 내하력증대를 위한 보강

일 때 동일한 공칭모멘트하에서 사용전 보강은 보강량이 3.9cm^2 이고, 철근항복전 보강 4.55cm^2 , 14.3%의 보강량을 증가 시켜야 되고, 철근항복후 보강은 4.60cm^2 , 15.2%의 보강량을 증가 시켜야 된다. 그리고 손상이 심한 보강일 때 5.11cm^2 , 23.7%의 보강량을 증가 시켜야 된다

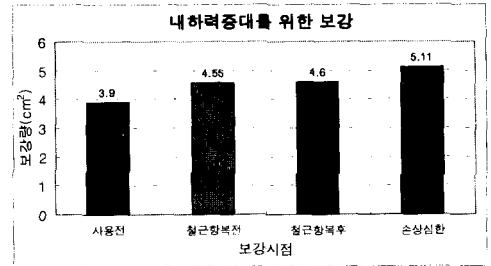


Fig. 8 Comparison of strengthening load carrying capacity

5.3 손상된 보의 보강량 비교

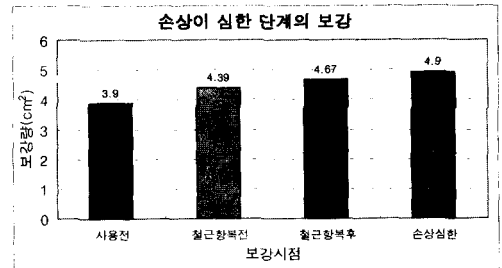


Fig. 9 Comparison of strengthening on heavy damages

사용중보강 단계에서 손상된 보의 보강일 때 동일한 공칭모멘트하에서 사용전 보강은 보강량 3.9cm^2 이고, 철근항복전 보강 4.39cm^2 , 11.2%의 보강량을 증가 시켜야 되고, 철근항복후 보강은 4.67cm^2 , 16.5%의 보강량을 증가 시켜야 된다. 그리고 손상이 심한 보강일 때 4.90cm^2 , 20.4%의 보강량을 증가 시켜야 된다

사용중보강 단계에서 각각의 손상 상태별로 산출된 보강량은 서로 다르게 산출되었고 그것은 압축측 콘크리트와 인장된 철근의 항복에 의한 잔류 변형률에 의한 것이라고 사료되어진다.

6. 결 론

본 논문에서는 새로운 보강설계식에 의해 산정된 보강시점에 따라 사용전 보강부재와 사용중 보강부재의 보강량을 산출하여 비교하여 보았다.

- 1) 설계오류·시공오차에 의한 보강과 내하력을 증가시킬 필요가 있는 부재의 보강 그리고 손상에 의하여 내하력이 저하된 구조물의 보강등의 보강 목적을 구분하여 소요보강모멘트를 산출하는 설계 방법을 제시하였다.
- 2) 사용전 보강한 경우의 보강설계식과 사용중 보강한 경우의 보강설계식을 개발하여 그 차이를 분석한 결과, 보강재의 보강 시점과 보강 대상부재가 받고 있는 초기 사하중의 크기에 따라서 보강설계 결과가 달라지는 것을 알 수 있다.
- 3) 동일한 공칭모멘트를 가지기 위해서는 보강량을 산정할 때 사용전 보강일때에 비해 설계오류에 의한 보강일 경우 철근항복 전 보강인 경우 3.2%, 철근항복 후 보강인 경우 9.1%, 손상이 심한 보강인 경우 11.6%의 보강량을 증가 시켜 주어야 한다.

- 4) 보강량을 산정할 때 부재의 보강시점과 손상상태에 따라 각각의 보강량은 각각 다르게 적용시켜 주어야 된다고 사료된다.

참고문헌

1. 한만엽, 이원창, "사용중 보강되는 부재의 보강설계법 연구", 한국 콘크리트 학회지, Vol.11 No.3, 1999년 6월, pp. 13~21.
2. 한만엽, 이원창, "구조물의 손상상태에 따른 보강설계법 연구", 한국 콘크리트 학회지, Vol.11 No.3, 1999년 6월, pp. 35~45.
3. R. N. Swamy, R. Johns, J. W. Bloxham, "Structural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plates." The Structural Engineering, Vol.65A, No.2, February 1987., pp. 59-87.
4. Eivind Hognestad, Norman W. Hanson, "Concrete stress Distribution Ultimate Strength Design", ACI Journal, Vol.52, No.4, December 1955., pp. 475-479.
5. Swamy R. N., B. Hobbs and M. Roberts, "Structural Behavior of Externally Bonded, Steel Plated RC Beams after Long-Term Exposure", The Structural Engineering, Vol.73, No.12 August, 1995., pp. 255~261.

요 약

최근에는 손상된 구조물을 보강하는 다양한 보강공법들이 연구, 개발되고 있다. 이러한 부착식 보강 공법에서는 원부재가 하중을 받는 상태에서 보강재가 부착되므로 원부재와 보강재의 초기 응력에 차이가 나게 된다. 그러나 현재의 보강 설계식이나 이론은 기존의 설계법에 의거하여 이러한 각 구조요소의 초기 응력의 차이를 고려하지 못하고 있다. 본 논문에서는 이렇게 사용중인 구조물을 보강하는 경우, 발생하는 초기 응력의 차이를 고려한 보강 설계식을 개발하여 부재의 손상상태에 따라 보강량을 구하였다. 이러한 연구결과 보강량은 보강시 부재의 손상상태에 따라 달라지며, 공칭내하력도 손상정도에 따라 감소되는 것으로 나타났다.

(접수일자 : 1999. 11. 3.)