

초기변형률을 고려한 철근콘크리트 보의 강판휨보강 효과에 관한 실험적 연구

An experimental study on the effect of flexural strengthening with steel plate considering initial strain in reinforcement concrete beams

김종옥* 김진무** 장화균*** 원영술**** 주경재*****
Kim, Jong-Ok Kim, Jin-Mu Jang, Hwa-Kyun Won, Young-Sul Joo, Kyung-Jai

Abstract

When RC beams are strengthened for flexure with steel plate, reinforced member has initial strain due to the dead load and is subject to partial damage. Strain of steel strengthening is zero at initial state. The effect of strengthening flexural member might be influenced by the quantity of initial strain. In this study, when RC beams are strengthened for flexure with steel plate, its behavior is experimentally compared for the reinforcement efficiency of members due to the existence of different levels of initial strain. It is confirmed that reinforcement efficiency varies depending on the difference of initial strain.

keywords : initial strain, reinforcement efficiency

1. 서 론

콘크리트 구조물은 설계도서의 누락, 시공 또는 사용중의 과다하중, 처짐, 콘크리트의 중성화에 의한 철근의 부식과 강도저하 등 여러가지 요인에 의하여 손상을 입거나 노후화되며, 이러한 구조체의 보수·보강을 필요로 하는 경우가 증가하고 있다. 현재 연구되고 실행되어지는 보수·보강방법 중 가장 많이 사용되어지고 있는 방법은 균열부위를 에폭시 등의 합성수지로

보수한 후 필요내력에 도달하도록 계산된 강판을 부착하는 방법이라 할 수 있으며, 실제 구조물에 이러한 보수·보강공법을 적용하기 위한 보강설계를 할 경우 대상 부재에는 손상상태에 따른 진류변형이나 고정하중에 의한 변형등 초기변형이 작용되고 있는 상태이며, 보강설계시 이미 변형이 발생된 부재와 변형이 없는 새로이 부착된 보강재의 초기 변형률의 차이에 의한 보강부재의 구조적인 거동을 해석하여 부재 설계시 고려하여야 한다.

* 건국대 건축과 박사과정 수료

** 예우구조 소장, 공학박사

*** 동원대 건축과 조교수, 공학박사

**** 한울구조 대표이사, 공학박사

***** 건국대 건축과 명예교수, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 5월 31일까지 학회로 보내 주시면 2001년 6월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

따라서 본 연구는 철근콘크리트 보 부재를 대상으로 강판 휩보강시 초기변형률의 차이에 의한 보강부재의 보강효율을 실험적으로 비교·분석하여 보강설계시의 기초자료로서 제시하는데 목적이 있다.

2. 이론해석

본 연구에서는 초기변형률을 고려한 경우의 보강이론식을 정립하였으며, 해석을 위한 가정조건은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 인장강도는 무시한다.
- 2) 콘크리트는 압축변형률이 0.003에 도달했을 때 파괴된다.
- 3) 압축측 콘크리트의 응력분포는 $0.85 f_{ck}$ 의 등가 직사각형 응력블럭으로 대처하고, 압축연단으로부터의 거리 a 를 $a = \beta_1 \cdot c$ 로 한다.

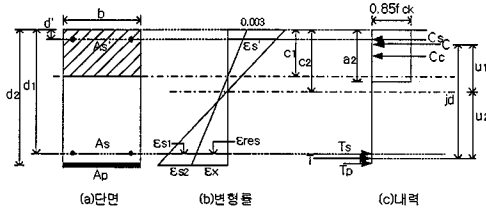


Fig. 1 초기변형률을 고려한 경우의 보강 후 복근직사각형 보의 변형률 및 응력

보강재 정착시 인장 철근에는 손상상태에 따른 잔류 변형률이나 고정하중에 의한 변형률 등의 초기변형률 ϵ_{res} 가 작용하는 상태이며, 세로이 정착된 보강재는 변형률이 0인 상태이므로 보강부재의 내력 계산시 보강재의 변형률은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 ϵ_x 만큼 감소된 ϵ_{c2} 의 값으로 계산하여야 하며, 삼각형 닦음 비를 이용하여 ϵ_{c2} 와 $\epsilon_s (= \epsilon_{c1} + \epsilon_{res})$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\epsilon_{c2} = \epsilon_s \frac{d_2 - c_2}{d_1 - c_2} - \epsilon_{res} \frac{d_2 - c_1}{d_1 - c_1} \quad (1)$$

$$\epsilon_s = (\epsilon_{c2} + \epsilon_{res} \frac{d_2 - c_1}{d_1 - c_1}) \cdot (\frac{d_1 - c_2}{d_2 - c_2}) \quad (2)$$

균형보 이론을 적용하여 ϵ_{c2} 와 ϵ_s 를 계산하기 위한 보강전·후의 중립축거리 c_1 과 c_2 를 구하면 다음과 같다.

$$c_1 = \frac{6000}{(6000 + f_y)} \times d_1 \quad (3)$$

$$c_2 = \frac{6000}{(6000 + f_{y1})} \times d_3 \quad (4)$$

보강후 인장철근과 보강재와의 합력을 f_{y1} , 압축측 연단에서 합력의 응력 중심까지의 거리를 d_3 라 하면 (단 $f_y > f_{yp}$)

$$d_3 = \frac{(6000 + f_y) \times d_1 + (6000 + f_{yp}) \times d_2}{(2 \times 6000 + f_y + f_{yp})} \quad (5)$$

$$f_{y1} = \frac{(f_y - f_{yp})(d_2 - d_3)}{d_2 - d_1} + f_{yp} \quad (6)$$

인장철근과 보강재에 항복이 발생한 후에도 변형률은 전단면에 걸쳐 선형분포를 유지하나 응력의 크기는 항복강도를 초과하지 못하므로 모멘트 강도 계산에 사용되는 응력은 각 부재의 항복강도를 기준으로 구하며 보강설계식은 초기변형률의 크기에 따라 다음의 3가지 경우로 구분한다.

- 1) 인장철근과 보강강판이 동시에 항복할 경우
보강시 작용되는 초기변형률이 식(7)의 기준변형률과 같을 경우 ($\epsilon_{res} = \epsilon_{bres}$)
- 2) 인장철근보다 보강강판이 먼저 항복할 경우
보강시 작용되는 초기변형률이 식(7)의 기준변형률보다 작을 경우 ($\epsilon_{res} < \epsilon_{bres}$)
- 3) 인장철근이 보강강판보다 먼저 항복할 경우
보강시 작용되는 초기변형률이 식(7)의 기준변형률보다 클 경우 ($\epsilon_{res} > \epsilon_{bres}$)

위 3가지 경우의 판단기준이 되는 변형률 ϵ_{brcs} 는 식 (7)과 같으며, "1) 인장철근과 보강강판이 동시에 항복할 경우"의 보강효율($= \frac{\text{보강후 } \phi M_n}{\text{보강전 } \phi M_n}$)은 인장철근과 보강강판의 응력을 항복응력인 f_y 와 f_{yp} 로 계산하게 되므로 최대효율이 되며 초기변형률을 고려하지 않고 계산하는 경우와 같게 된다.

$$\epsilon_{brcs} = (\epsilon_y \frac{d_2 - c_2}{d_1 - c_2} - \epsilon_{yp}) \cdot (\frac{d_1 - c_1}{d_2 - c_1}) \quad (7)$$

ϵ_{brcs} : 인장철근과 보강강판이 동시에 항복 하는 경우의 변형률

ϵ_y : 인장철근의 항복강도시 변형률(f_y/E_s)

ϵ_{yp} : 보강강판의 항복강도시 변형률(f_{yp}/E_s)

2), 3)의 경우 보강 후 모멘트는 초기변형률을 고려하지 않은 경우의 일반적인 보강설계식에 인장철근이나 보강강판의 응력을 항복응력이 아닌 Table 1의 각 경우별 응력값으로 변경하여 산정하게 되므로 보강효율은 1)의 경우에 비하여 감소하게 된다.

Table 1 보강설계식의 경우별 적용응력

조건 \ 응력	동시항복 ($\epsilon_{res} = \epsilon_{brcs}$)	보강강판항복 ($\epsilon_{res} < \epsilon_{brcs}$)	인장철근항복 ($\epsilon_{res} > \epsilon_{brcs}$)
철근의 응력	f_y	f_s	f_y
강판의 응력	f_{yp}	f_{yp}	f_{yp}

f_y : 인장철근의 항복강도

f_{yp} : 보강강판의 항복강도

f_s : 사용하중 작용시 계산된 인장철근의 응력

$$(\ = \epsilon_s \cdot E_s)$$

f_{yp} : 사용하중 작용시 계산된 보강강판의 응력

$$(\ = \epsilon_{sp} \cdot E_s)$$

3. 실험

3.1 사용재료의 역학적 성질

시험체에 사용된 콘크리트는 슬럼프값 12cm, 설계기준강도 240kgf/cm²인 레미콘을 사용하여 타설하고 젖은 모포를 사용하여 기건상태에서 습윤 양생시켰으며, KS F 2403에 따라 제작한 공시체의 콘크리트 압축강도 시험결과는 Table 2와 같다.

Table 2 콘크리트의 압축시험 결과

제형 (일)	슬럼프 (cm)	평균압축강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 ($\times 10^4$ kgf/cm ²)
28	11.7	229.4	2.33

철근은 SD40 (KS D 3504), 강판은 일반구조용 압연강재 SS400 (KS D 3503)을 사용하였고, 강판의 인장강도 시험은 KS D 0801의 제5호 시험편으로 t=2.0mm와 3.6mm 시험편을 각각 3개씩 제작하여, KS B 0802에 의거하여 시험하였으며 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 3 강재의 인장시험 결과

시험편명	f_s (kgf/cm ²)	f_{ms} (kgf/cm ²)	ϵ ($\times 10^{-6}$)	E (tf/cm ²)	E_b (%)	
시험철편	3125	3996	1838	1700	23.1	
시험철근	D10	3729	6012	1774	2102	15.94
	D13	4170	6884	2018	2070	17.26

f_s : 항복강도, f_{ms} : 인장강도, ϵ : 항복변형률
E : 탄성계수, E_b : 연신률

에폭시 수지는 국내산 건식저점도 주입제(BG-200)를 사용하였으며 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4 에폭시 수지의 물리적 성질

점도 (cp)	비중	인장강도 (kgf/cm ²)	굴곡강도 (kgf/cm ²)	압축강도 (kgf/cm ²)	인장전단 접착강도 (kgf/cm ²)
100	1.07	458	643	146	111

3.2 실험계획 및 시험체종류

1) 실험계획

각 시험체의 실험은 보수·보강실험의 특성상 보강전의 보 실험과 보강작업 후 일정기간 보수·보강 재료의 양생을 거친 후 보수·보강 시험체를 재실험하는 과정으로 다음과 같이 3단계로 나누어 진행하였다.

(1) 1단계

콘크리트 타설 후 28일 이상이 경과된 후 보강되지 않은 기준 시험체를 파괴시까지 가력하여 균열의 진행 및 파괴성상을 관찰하고, 2~3단계의 실험 및 분석을 위한 기초자료로 정리한다.

(2) 2단계

1단계 실험결과를 근거로 인장축 철근의 진류변형을 유도하기 위하여 기준시험체 항복하중의 100%, 110%, 120%의 3가지 경우로 6개의 시험체를 사전 가력한 후 진류변형을 측정을 위하여 가력하중을 제거하고 JASS 5의 재하실험법에6 근거하여 1시간 이상이 지난 후의 중앙부 잔류처짐과 인장철근에 매립 부착된 철근용 게이지의 변형률을 측정 한 후, 에폭시 수지를 사용하여 균열을 보수하고 진류변형률이 0인 사전가력이 없는 2개의 시험체와 함께 강관으로 보강한다.

(3) 3단계

2단계에서 보수·보강된 8개의 시험체를 파괴시 까지 가력하여 균열의 진행 및 파괴성상을 관찰한다.

2) 시험체 제작 및 종류

시험체의 단면은 15cm×20cm, 지점간 거리는 $l = 210\text{cm}$ 로 계획하였고, 인장철근비와 압축철근비는 1.03%이다. 지점에서의 부착파괴를 방지하기 위하여 10cm 씩 돌출시켜 시험체의 전체길이는 230cm로 하였으며, 각 주근의 단부에는 혹크를 두었으며 하부 인장철근 단부를 연장하여 상부철근 단부에 용접하였

다. 전단보강근은 보의 전단파괴방지를 고려하여 폐쇄형으로 D10 철근을 보의 양쪽 지지점에서 각각 가력 지점까지 10cm간격, 중앙부 70cm구간은 17.5cm 간격으로 동일하게 배근하였으며 지점 바깥쪽도 동일하게 배근하였다.

보강강관은 $t=2.0\text{mm}$ 와 3.6mm 를 선택하였으며 보강후 철근비($= \frac{A_s + A_p}{b \times d_g}$)는 최대철근비 3.03% 보다 적은 2.02%와 2.9%이다.

시험체의 종류 및 단면은 Table 5, Fig 2와 같다.

Table 5 시험체 일람표

시험체명	보강 강관		보강 강관비 (%)	사전가력하중 기준시험체 항복하중 (%)
	두께 (mm)	단면적 (cm ²)		
N0	-	-	-	-
R20-0	2.0	3.0	1.10	0
R20-1				100
R20-2				110
R20-3				120
R36-0	3.6	5.4	1.95	0
R36-1				100
R36-2				110
R36-3				120

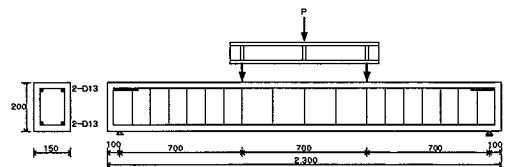
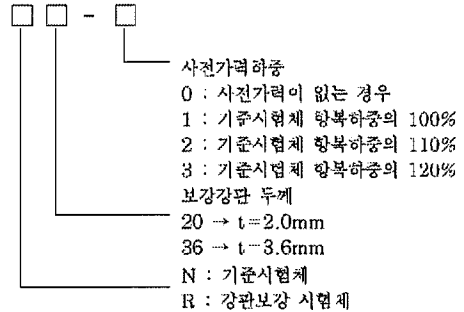


Fig. 2 시험체 상세 및 가력위치

3.3 측정위치 및 방법

1) 측정위치

Fig. 3과 같이 변위와 변형률을 측정하기 위하여 양단부, 가력점 및 시험체 중앙부와 단부 측면에 변위계(LVDT)를 설치하고, 스트레인 게이지 (S.G)를 부착하였다.

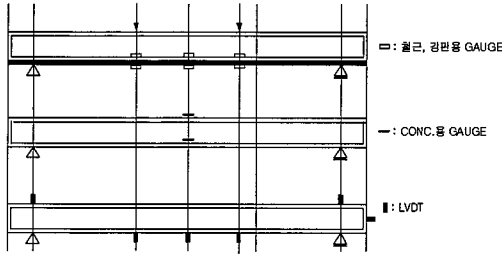


Fig. 3 시험체의 측정위치

2) 가력 및 측정방법

실험에 사용된 가력기구는 II형강을 사용하여 100tf 하중에 안전하도록 설계되었고, 시험체의 지지단은 이상화된 단순보 상태를 유지하기 위하여 한쪽은 회전단, 다른 한쪽은 이동단으로 만들어 Fig. 4와 같이 대칭으로 2점 단조 가력하였다. 가력하중의 측정은 유압잭의 버리에 하중계(load cell)를 부착하여 자동변형도 측정기(TDS-302)로 측정값을 기록하였다.

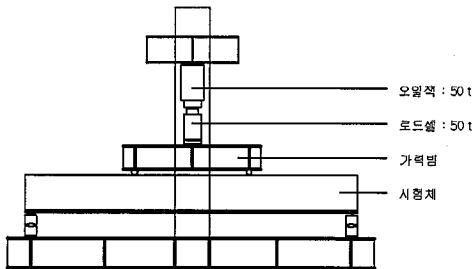


Fig. 4 가력기구

이론적으로 보강후 모멘트를 구하기 위하여 사전가력시 측정된 잔류변형률은 Table 6과 같다. 식(7)로 구한 시험체의 ϵ_{bres} 값은 ϵ_y 의 약 82%로 산정되어 ϕM_n 을 구하는 이론식은 보강강판이 먼저 항복하는 경우로 계산하였다.

Table 6 시험체별 사전가력 결과

시험체명	사전가력하중 기준시험체 항복하중(%)	최대 처짐 (mm)	잔류 처짐 (mm)	ϵ_{res} (μ)	ϵ_{res} / ϵ_y (%)
R20-1	100	7.09	0.65	176	8.8
R20-2	110	8.35	1.13	266	13.3
R20-3	120	9.31	2.02	391	19.6
R36-1	100	7.84	1.63	266	13.3
R36-2	110	8.26	1.92	319	16.0
R36 3	120	10.01	2.55	709	35.5

4. 실험결과 및 분석

4.1 파괴형상

1) NO 시험체

초기균열은 미세하게 1.35tf에서 중앙하부에서 나타나기 시작하여 상부로 진행하였고, 2.0tf 내외에서 가력점부위의 하부에 균열이 나타나기 시작하여 상부로 진행되었다. 최대 5.86tf에서 보의 최대내력에 도달한 것으로 확인되었다.

2) R20 계열 시험체

R20-0 시험체의 초기균열은 2.6tf에서 가력점부근에서 발생하여 점차적으로 균열이 확산되어갔다. 최대 하중 10.16tf을 지난 직후 상부면에 수직으로 균열이 발생하였고 7.75tf(중앙부처짐:52.7mm)에서 강판이 탈락하였다.

R20-1 시험체의 초기 균열은 4.8tf에서 가력점과 지지사이에서 발생하였고, 최대하중 9.95tf을 지난 직후 상부면 정중앙에서 균열이 나타나면서 강판이 70cm정도 탈락하였다.

R20-2 시험체의 초기 균열은 3.46tf에서 중앙부와 가력점사이에서 발생하였다. 상부균열은 최대하중 9.31tf을 지나서 9.61tf(중앙부처짐:28.9mm)에서 가력점부근에서 발생하여 점차적으로 콘크리트가 압괴하였다. 강판탈락은 9.06tf(중앙부처짐:32.4mm)에서 중앙부와 가력점사이 60cm정도 탈락하였다.

R20-3 시험체의 초기 균열은 7.2tf에서 중앙부와 가력점 사이에서 발생하였고 인장측 철근과 보강강판

의 변형률이 항복강도시의 변형률을 지난 이후 상부 콘크리트에 균열이 발생하여 최대하중 10.28tf(중앙부처짐:37.0mm)에서 콘크리트가 파괴되었다. 강판은 중앙부에서 약간 치우쳐서 40cm정도 탈락하였다.

R20 계열 시험체 대부분은 최대하중을 지나서 상부 균열이 발생하였다. 또한 강판탈락은 주로 중앙부에서 40~70cm 쪽으로 발생하였다.

3) R36 계열 시험체

R36-0 시험체의 초기 균열은 3.6tf에서 가력점부근에서 발생하였다. 최대하중은 11.66tf으로 상부균열과 파괴가 일어나지 않고 7.55tf(중앙부처짐:16.88mm)에서 강판이 단부쪽에서 73cm정도 탈락하였다.

R36-1 시험체의 초기 균열이 4.5tf에서 가력점부근에서 발생하였다. 최대하중은 10.86tf이다.

R36-2 시험체의 초기 균열이 2.9tf에서 가력점과 중앙부사이에서 발생하여 최대하중 12.41tf을 지나 12.15tf(중앙부처짐:25.7mm)에서 상부균열과 68cm정도의 강판탈락이 발생하였다.

R36-3 시험체의 초기 균열이 3.0tf에서 가력점과 지점사이에서 발생하였다. 최대하중은 13.58tf이다.

대부분의 R36 계열 시험체는 초기균열이 2.9 ~ 4.5tf에서 가력점부근에서 발생하였고 단부에서 강판이 65~73cm정도 탈락하였다. R36-0과 R36-1은 비슷한 양상을 나타내었고 R36 계열 중 R36-3이 최대하중 13.58tf을 갖는다.

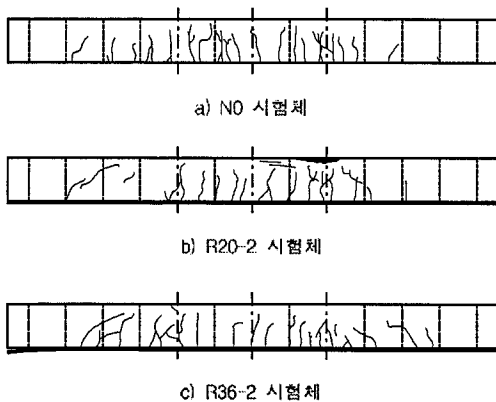


Fig. 5 시험체의 파괴 형상

4.2 하중-변위

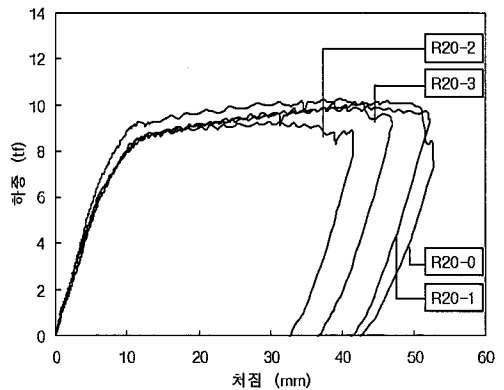
실험을 통하여 얻어진 값들을 비교·분석하기 위하여 항복하중(P_y)은 초기강성구배의 직선과 초기강성구배의 1/3되는 직선을 평행이동시켜 접선이 교차하는 점으로 구하고, 이 때의 처짐을 항복하중시 처짐(δ_y)으로 정리하였다.⁽⁶⁾ 이를 적용하여 Table 7에 실험결과를 정리하였다.

Table 7 실험결과

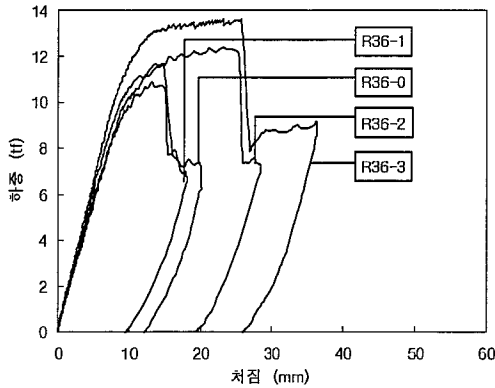
시험체명	P_y (tf)	P_{max} (tf)	P_y/P_{max}	δ_y (mm)
N0	4.00	5.86	0.68	6.00
R20-0	7.39	10.13	0.73	6.38
R20-1	7.81	9.95	0.78	7.97
R20-2	7.91	9.30	0.85	8.26
R20-3	8.43	10.18	0.83	7.68
R36-0	10.3	11.66	0.90	8.70
R36-1	10.25	10.86	0.94	8.55
R36-2	10.7	12.41	0.86	8.26
R36-3	12.17	13.58	0.90	8.70

P_y : 항복하중, P_{max} : 최대하중, δ_y : 항복하중시 처짐

Fig. 6은 보강강판의 두께 및 사전가력 크기에 따른 계열별 하중과 중앙부의 수직처짐을 토대로 하중-처짐 곡선을 보여주는 것으로, R20계열과 R36계열 시험체 모두 사전가력하중이 클수록 항복하중은 증가하였다.



(a) R20 계열



(b) R36 계열

Fig. 6 하중-처짐 곡선

R20계열과 R36계열의 파괴형태를 비교한 결과 R20계열은 전체적으로 항복하중을 지나 소성역에서 비교적 완만한 하중의 감소를 보이며 연성적 파괴형태를 보였으나 R36계열은 R20계열에 비하여 항복하중을 지나 소성역에 접어들면서 급격한 하중의 감소를 나타내는 취성적 파괴형태를 보였다.

4.4 분석 및 고찰

1) 이론식과 실험식의 비교

Table 8 및 Fig. 7은 실험체의 휨내력을 보여주는 것으로 실험데이터의 항복하중(P_y) 및 최대하중(P_{max})으로 구한 모멘트를 이론해석으로 구한 모멘트(ϕM_n)와 비교하였다.

이론해석의 모멘트비에 대한 항복하중시 모멘트비($M_y/\phi M_n$)는 R20계열은 1.22~1.26, R36계열은 1.06~1.18로 실험치가 이론치를 상회하는 것으로 나타났다.

기준시험체(N0)에 대한 이론치와 실험치의 보강효율은 이론치의 경우 시험체의 조건이 보강강판이 먼저 항복강도에 도달하는 경우($\epsilon_{res} < \epsilon_{bres}$)의 범위에 해당하므로 인장철근과 보강강판이 동시에 항복강도에 도달하게 되는 경우($\epsilon_{res} = \epsilon_{bres}$)의 보강효율을 초과하지 않는 범위내에서 사전가력하중이 커질수록 보강효

율은 증가하게 되며, 실험치로 확인하여 본 결과 R20계열은 1.85~2.11, R36계열은 2.56~3.04로 사전가력 값이 클수록 증가하여 이론치와 유사한 성향을 나타내었다.

Table 8 이론치와 실험치의 휨내력 비교

시험계명	이론치			실험치			실험치/이론치
	ϕM_n (tf·m)	ϕM_{n1} (tf·m)	ϕM_n (tf·m)	M_y (tf·m)	M_{max} (tf·m)	M_y M_{y0}	
N0	1.41	1.41	1.00	1.40	2.05	1.00	1.00
R20-0	2.12	2.82	1.50	2.59	3.55	1.85	1.22
R20-1	2.22		1.57	2.73	3.48	1.95	1.23
R20-2	2.27		1.61	2.77	3.26	1.98	1.22
R20-3	2.35		1.67	2.95	3.56	2.11	1.26
R36-0	3.24	3.88	2.30	3.61	4.08	2.58	1.11
R36-1	3.38		2.40	3.59	3.80	2.56	1.06
R36-2	3.41		2.42	3.75	4.34	2.68	1.10
R36-3	3.61		2.56	4.26	4.75	3.04	1.18

ϕM_n : 보강강판이 먼저 항복하는 경우의 모멘트

ϕM_{n1} : 인장철근과 보강강판이 동시에 항복하는 경우의 모멘트

ϕM_{n0} : N0시험체의 모멘트

M_{y0} : N0시험체의 M_y

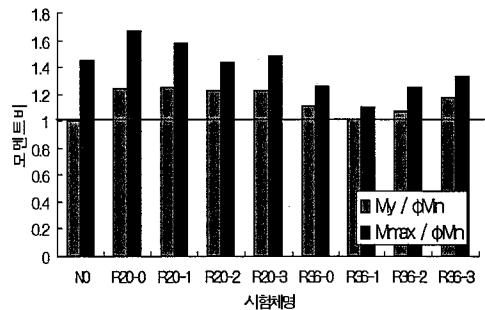


Fig. 7 이론치에 대한 실험치의 휨내력 비교

2) 잔류변형률에 따른 휨내력 분석

잔류변형률의 변화에 따른 시험체의 항복시 모멘트(M_y)와 항복시의 처짐(δ_y)을 잔류변형률의 값이 0인 경우와 비교하여 Table 9와 Fig. 8에 나타내었다.

잔류변형이 발생한 경우의 모멘트와 처짐을 잔류변형률의 값이 0인 경우의 모멘트와 처짐으로 비교하여

본 결과, 잔류변형률이 커질수록 모멘트비(M_y/M_{yR0})는 R20계열은 1.05~1.14, R36계열은 0.98~1.16으로 증가하였으며, 처짐비(δ_y/δ_{yR0})는 잔류변형률의 크기와 관계없이 계열별로 유사한 비율로 나타났다.

Table 9 사전가력 하중의 변화에 따른 휨내력 비교

시험체명	사전가력하중 기준시험체 함복하중(%)	모멘트		처짐	
		M_y / M_{yR0}	M_{max} / M_{maxR0}	δ_y	δ_y / δ_{yR0}
R20-0	0	1.0	1.0	6.38	1.0
R20-1	100	1.05	0.98	7.97	1.25
R20-2	110	1.07	0.92	8.26	1.29
R20-3	120	1.14	1.0	7.68	1.20
R36-0	0	1.0	1.0	8.70	1.0
R36-1	100	0.98	0.93	8.55	0.98
R36-2	110	1.02	1.06	8.26	0.95
R36-3	120	1.16	1.16	8.70	1.0

M_{yR0} : R20계열에서는 R20-0시험체의 M_y 값
R36계열에서는 R36-0시험체의 M_y 값

M_{maxR0} : R20계열에서는 R20-0시험체의 M_{max} 값
R36계열에서는 R36-0시험체의 M_{max} 값

δ_{yR0} : R20계열에서는 R20-0시험체의 δ_y 값
R36계열에서는 R36-0시험체의 δ_y 값

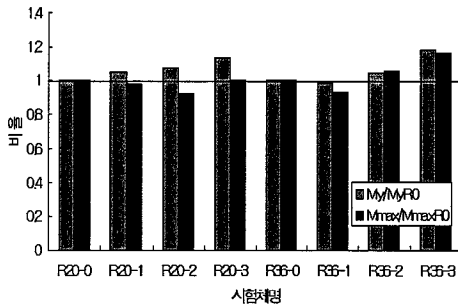


Fig. 8 잔류변형률에 따른 휨내력 비교

3) 보강량에 따른 휨내력 분석

보강량이 R20계열에 비하여 1.8배로 증가된 R36계열이 이론치의 경우 1.50~1.54, 실험치의 경우 1.32~1.44로 휨보강 효과가 적게 증가하여 보강효과는 보강량의 증가와 일치하지 않는 것으로 나타났다.

Table 10 보강량에 따른 휨내력 비교

사전가력 하중(%)	이론치	실험치		실험치/이론치
	$\frac{\phi M_{nR}}{\phi M_{n0}}$	$\frac{M_{yR}}{M_{y0}}$	$\frac{M_{maxR}}{M_{max0}}$	$\frac{M_{yR}/M_{y0}}{\phi M_{nR}/\phi M_{n0}}$
0	1.53	1.39	1.15	0.91
100	1.52	1.32	1.09	0.87
110	1.50	1.35	1.33	0.90
120	1.54	1.44	1.33	0.94

ϕM_{n20} : R20계열의 ϕM_n

ϕM_{n36} : R36계열의 ϕM_n

M_{y20} : R20계열의 M_y

M_{y36} : R36계열의 M_y

M_{max20} : R20계열의 M_{max}

M_{max36} : R36계열의 M_{max}

5. 결론

철근콘크리트 보의 보강시 초기변형률의 차이에 따른 강판 휨보강 실험을 통하여 나타난 결과는 다음과 같다.

- 1) 사전가력에 의한 잔류변형률 값이 보강강판이 먼저 항복강도에 도달하게 되는 범위($\epsilon_{res} < \epsilon_{bres}$)인 이론식으로 계산된 시험체의 보강효율은 잔류변형률 값이 커질수록 증가하게 된다.
- 2) 잔류변형률의 변화에 따른 휨내력 분석 결과 R20계열과 R36계열 모두 사전가력 하중이 클수록 항복하중은 증가하였으며, 기준 시험체(N0)에 대한 보강효율($M_y/\phi M_{y0}$)은 R20계열은 1.85~2.11, R36계열은 2.56~3.04로 증가하여 사전가력 값이 클수록 증가하는 이론치와 같은 양상을 보였다.
- 3) 이론식의 휨내력 산정 결과는 실험치가 이론치에 비하여 R20계열은 1.22~1.26, R36계열은 1.06~1.18로 크게 나타나 이론식의 적용 가능성을 보여주었으며, 보강량에 따른 휨내력 분석 결과 R20계열에 비하여 R36계열이 1.32~1.44로 휨보강 효과가 적게 증가하여 보강효과는 보강량의 증가와 일치하지 않는 것으로 나타났다.

이상의 결과와 같이 철근콘크리트 보의 강판 휨 보강시 작용되고 있는 초기변형률의 차이에 따라 보강효과의 변화가 나타나므로, 보강량은 대상부재의 보강시 작용되고 있는 초기변형률에 의하여 선정되어야 한다.

참 고 문 헌

1. 하기주외4, "철근콘크리트 보의 보수보강에 따른 구조성능 평가", 대한건축학회논문집 13권4호, 1997.4
2. 김지영외 5, "강판보강된 철근콘크리트보의 휨거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술발표논문집 17권2호, 1997.10
3. 홍기섭외4, "강판접착으로 인장보강된 철근콘크리트보의 거동", 대한건축학회논문집 11권8호, 1995.8
4. 장화균, "강판으로 보강된 철근콘크리트 보의 내력 및 변형에 관한 연구", 건국대학교, 1995.2
5. 안형준, 문대섭, "각형강판기둥-H형강보 집합부에 관한 실험적 연구", 한국강구조학회지 4권4호, 1992.9
6. 한국콘크리트학회, "포스코내 철근콘크리트 구조물의 안전진단 및 보수보강 지침서(안)", 1994.12
7. 대한건축학회, "콘크리트 구조물의 보수보강", 1997.
8. Scordelis, Alexander C. and Lin, C.S., "Nonlinear Analysis of R.C Shells of General Form", Proceeding ASCE vol. 101 DT3 Mar. 1975, pp.523~538
9. Philip A. Ritchie, David A. Thomas, Le-Wu Lu, and Guy M. Connelly, "External Reinforcement of Concrete Beams Using Fiber Reinforcement Plastics", ACI Structural Journal, July-August 1991.
10. Deric John Oehlers and John Paul Moran, "Premature Failure of Externally Plated Reinforced Concrete Beams", ASCE vol 116 No.4 April 1990, pp.987~993

(접수일자 : 2000년 8월 1일)