

포스트 텐션 공법으로 보강된 SC 합성보의 휨 거동

Flexural Behavior of Steel-Concrete Composite Beams Strengthened by Post Tension Method

류수현¹⁾

김희철^{2)*}

Ryu, Soo Hyun

Kim, Heui Cheol

Abstract

This study has attempted to suggest a proper reinforcement method by strengthening unbonded post-tensioning through height of an anchorage hole, form of a saddle, and loading time point as parameters and evaluating the reinforcement method through a bending experiment. The result of this experiment indicated effects of reinforcement since the maximum strength ratio (the ratio of an experimental value to theoretical value) of SC composite beams before prestressed was 0.97 and after prestress were 1.00~1.21. As a result of analysis on displacement and strain, irrespective of height of an anchorage hole and loading time point, the D120-series specimen where an anchorage hole was installed on the neutral axis after reinforcement showed that its deflection continuously increased without sudden load reduction after maximum load and it stably behaved with relatively low strain of each part. In terms of reinforcement effects, the maximum strength of SCR-UD120 specimen prestressed after pre-loading was increased 1.72 times comparing to SC composite beams so SCR-UD120 specimen prestressed after pre-loading was shown to be the best.

Keywords : Steel Concrete Composite Beam, Unbonded, Post Tension, Strengthening Effect

1. 서론

모든 구조물은 시간이 경과함에 따라 내구성과 내력이 감소하므로 구조물의 수명 또한 그에 따른 영향을 받게 된다. 현존하는 국내 구조물의 상당수가 준공한지 이미 오랜 시간이 경과했으며 유지 및 관리 소홀로 인하여 구조물 자체의 내력이 상당히 저하된 것들이 많은 실정이다. 또한 보강공사에 대한 개념이 소홀히 간주되어 최근 까지 구조체에 대한 보강이 아닌 보수위주의 공사들이 이루어져 왔고, 지금도 일부에서는 아무런 구조검토나 산출 근거 없이 기존 구조체에 대한 보강공사가 이루어지고 있다(민락기 오창열, 1996). 최근 구조물의 유지 관리 분야에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있으며 유지관리업 무 중의 하나인 리모델링, 건축물의 용도변경 등 여러 사유에 의하여 구조물의 보수보강이 필요하게 되었다(한병찬 등, 2004). 이로 인해 구조물의 보강에 대한 연구는 활발하게 진행되어 왔으며 그 결과 강판접착에 의한 보강, 탄소섬유시트 부착에 의한 보강, 단면증설보강, 프리스트레스 포스트텐션 공법에 의한 보강 등이 연구되어 사

용되고 있다(안상호 등, 1997). 포스트 텐션 공법을 제외하고는 대부분이 기존 구조체의 손상복원 없이 보강하는 수동적 보강 방법인 반면 포스트텐션 공법은 기존 구조체의 변형이나 응력을 복원시켜 보강하는 능동적 보강 방법이다. 또한 포스트 텐션 공법은 긴장재에 의해 발생된 역모멘트로 구조물에 발생하는 모멘트의 크기를 줄여 외력에 대해 효과적으로 저항하는 공법으로 시공 및 유지 관리가 용이하며 보강에 대한 검증이 확실한 장점이 있다. 따라서 본 연구는 거푸집 대용 뿐 아니라 전단 및 휨내력 향상에 효과가 있고 연성 향상에도 효과가 있는 강판을 사용한 SC(Steel Concrete : 이하 SC) 합성보(류수현 안형준, 2005)에 외부 포스트텐션 보강 공법을 적용하여 보강공법의 적용 가능성을 확인하고 향후 연구에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 포스트텐션으로 보강된 SC합성보의 휨내력 산정

포스트텐션을 도입한 보를 설계하는 경우 단계별 응력 변화는 크게 세 단계로 나눈다. 탄성범위에서 보에 긴장

1) 정회원, 삼육대학교 건축학과 부교수

2) 정회원, 충청대 건축인테리어학부 겸임교수

* Corresponding author : khckyh@naver.com 02-3399-1850

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2010년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

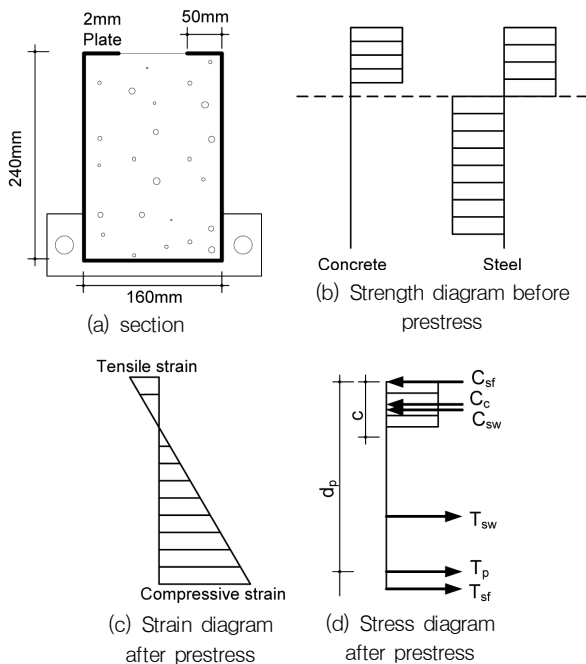


Fig. 1 Strength and strain of SC composite beam strengthened by post tension

력만 작용하는 경우와 외부하중에 의해 추가 긴장력이 발생하는 경우, 외부하중만 작용하는 경우 등이다. 최종응력은 각 단계를 조합하여 콘크리트 슬래브와 강재 상·하부 및 측면의 응력을 산정한다. 단 최종응력은 강재 또는 콘크리트의 허용응력보다 작아야 한다. Fig. 1(a)는 SC합성보의 단면을 나타내며 (b)는 SC합성보의 보강 전 콘크리트와 강재의 응력상태, (c)는 긴장력을 재하했을 때의 변형률, (d)는 보강 후 가력 시 응력상태를 나타낸 그림이다.

다음 식(1)은 KBC2009에 정의된 비부착 긴장부재를 가진 휨부재의 설계휨강도 계산시 긴장재에 발생하는 응력 산정식으로 보깊이와 경간의 비가 35이하일 경우에 사용되며 식(1)의 결과를 이용하여 식(2)의 T_p 를 산정한다. 식(2)는 포스트텐션으로 보강된 SC보의 소성휨강도를 산정한 식으로 Fig. 1(d)에서 보의 압축연단에 대한 모멘트를 산정한 결과이다. 이때 SC보의 중립축은 SC보의 소성휨강도를 산정한 류수현(2005) 등의 연구를 참조하여 강재와 콘크리트가 완전전단연결되어 소성거동하는 경우의 중립축으로 산정하였다.

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_{ck}}{100\rho_p} \quad (1)$$

여기서, $f_{ps} \leq f_{py}$, 또는 $(f_{pe} + 420)$ MPa 이하

f_{ps} : 공칭강도가 발휘될때 프리스트레스강재의 인장응력(MPa)

f_{py} : 긴장재의 설계기준 항복강도(MPa)

f_{pe} : 긴장재의 유효프리스트레스응력(MPa)

ρ_p : 프리스트레스트 보강재비 $A_{ps}/(b \cdot d_p)$

$$M_n = -C_c \times \frac{0.85c}{2} - C_{sw} \times \frac{c}{2} + T_{sw} \times \left(h - \frac{h-c}{2} \right) + T_{sf} \times h + T_p \times h_p \quad (2)$$

여기서, C_c : 콘크리트의 압축력

C_{sf} : 압축측 플랜지 강판의 압축력

C_{sw} : 압축측 웹 영역 강판의 압축력

T_{sf} : 인장측 플랜지 강판의 인장력

T_{sw} : 인장측 웹 영역 강판의 인장력

T_p : 긴장재의 인장력

c : 압축측연단에서 중립축까지 거리

h : SC합성보 전체 높이

d_p : 압축측연단에서 긴장재까지 거리

3. 실험계획

3.1 실험체 계획

본 연구에 사용된 실험체는 기존 제안(류수현 안형준, 2005)을 참고하여 절곡된 강재에 콘크리트를 타설한 SC합성보를 기본 실험체로 하였다. SC합성보에 새들의 형태, 정착구의 높이, 가력시점 등을 변수로 포스트텐션 보강 하여 보강된 SC합성보의 강성, 강도, 연성 등을 평가 보강법의 적절성을 파악하고자 계획하였다. 적절한 프리스트레스의 적용 방법을 파악하기 위하여 새들의 형태 3가지를 변수로 하였으며 새들이 없는 형태(D0)와 2개의 새들을 설치한 U형(모멘트도에 대응하는 배치) 1개를 설치한 V형(최대처짐에 대응하는 배치)으로 하였다. 적절한 정착구의 높이를 파악하기 위하여 정착구의 높이를 변수로 하였으며 여기서 정착구의 높이는 보 단면 하부에서 긴장재까지 거리이고 Fig. 2(b)에 d_o 로 표시되었다. 계산을 통해 보강 전 중립축(160mm)과 상부(240mm), 보강 후(120mm) 중립축으로 설정하였다. 또한 보강시점의 영향을 파악하기 위하여 초기가력의 유무를 변수로 하였으며 선 가력 일 경우(SCR계열)는 실험체를 항복하중까지 가력하고 포스트텐션 보강 후 추가 가력하였고 선 보강일 경우(SCRP계열)는 포스트텐션 보강 후 가력하였다. 초기 프리스트레스 값은 콘크리트의 압축응력을 감안하여 100kN으로 결정하였다. 보강 전 실험체는 Fig. 2와 같이 B×H(160×240)에 2.0mm 강판으로 보강된 SC합성보이다. 보강 실험체는 SC 합성보 단부의 하부에 정착구를 설치한 D0 실험체 2개와 정착구의 높이와 새들의 위치, 가력시점에 따른 U형 실험체 6개, V형 실험체 3개로 총

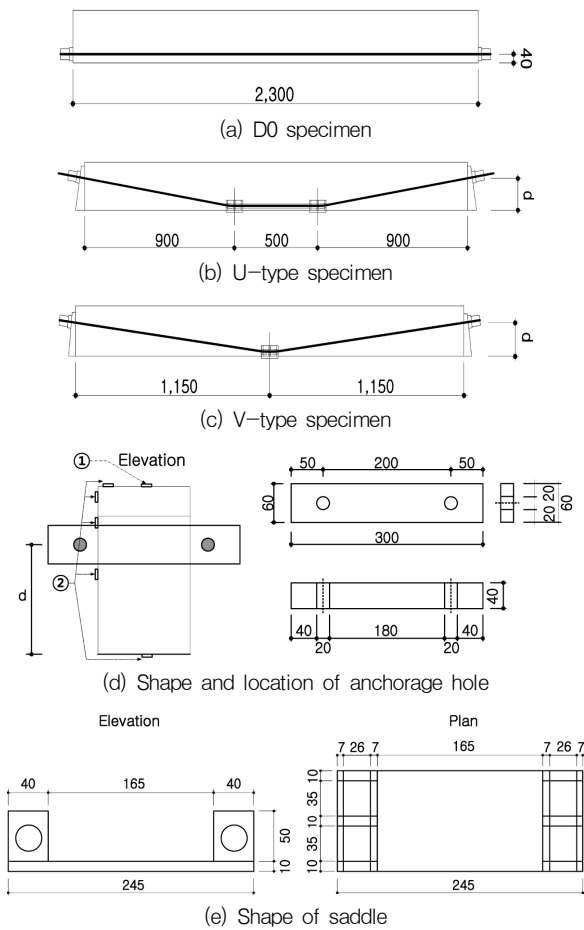


Fig. 2 Geometry of test specimens

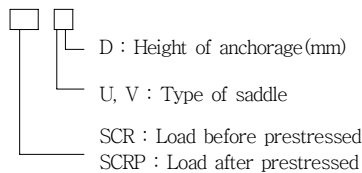


Table 1 Parameters of specimen

Type	Specimen	Height of anchorage (mm)
No prestressed	SC	-
Load before prestressed	SCR-D0	40
	SCR-UD120	120
	SCR-UD160	160
	SCR-UD240	240
	SCR-VD120	120
	SCR-VD160	160
Load after prestressed	SCR P-D0	40
	SCR P-UD120	120
	SCR P-UD160	160

11개를 제작하였다. 실험체의 길이는 2300mm이고, 보의 유효 지점간 거리는 2100mm으로 하였다.

3.2 가력 및 측정방법

실험은 490kN 용량의 만능시험기(UTM)를 이용하여 중력방향으로 2점 집중하중을 재하 하였다. 변위를 측정하기 위하여 보의 중앙하부 좌우에 각각 1개의 변위계(LVDT)를 설치하였다. 스트레인게이지는 상부 콘크리트, 강재 상부면, 강재 측면 보강 전 중립축 위치와 보의 중앙, 강재 하부 와 긴장재에 각각 부착하여 보의 각 부분에 대한 변형률을 조사하였다. Fig. 2(d)에서 ①은 콘크리트 게이지위치, ②는 강재게이지 위치이다. Fig. 3은 실험체 가력장치의 위치를 나타낸 그림이며 단위는 mm이다.

3.3 재료 실험

합성보의 제작에 사용된 SS400강재의 역학적 성능을 파악하기 위해 KS B 0801의 금속재료 인장시험편 규정에 따라 인장시험편을 제작하여 KS B 0802의 금속재료 인장시험방법에 따라 시험을 수행하였고 Table 2에 결과를 나타냈다.

Table 3은 긴장재로 사용된 와이어의 시험값이다. 긴장재의 공칭단면적, 인장강도 및 연신율의 값은 긴장재를

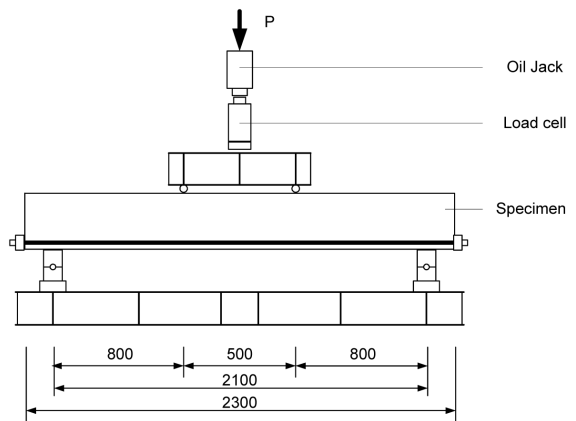


Fig. 3 Test setup

Table 2 Properties of steel

Specimen	Yielding strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Yielding Ratio(%) (Yielding strength / Tensile strength)
No. 1	304	438	31.1	69.4
No. 2	320.7	461	32.7	69.6
No. 3	312.7	451	32.6	69.3
No. 4	315.9	457	33.4	69.1
No. 5	309.6	448	32.5	69.1
Average	312.6	451	32.5	69.3

Table 3 Tendon properties

Diameter (mm ²)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
138.7	1917	9.1

Table 4 Concrete properties

f_{ck} (MPa)	Days	Slump (mm)	f_{cu} (28) (MPa)
21	28	120	22.9

f_{ck} : 콘크리트 설계기준강도

f_{cu} (28): 제령28일 콘크리트 압축강도

제작 설치한 VSL Korea(주)에서 제공한 값을 사용하였다.

합성보에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 21MPa로 계획하여 공시체를 제작하였고 실험체와 동일한 조건으로 양생하였다. KS F 2403에 따라 제작한 공시체의 콘크리트 압축강도 시험결과는 Table 4와 같다.

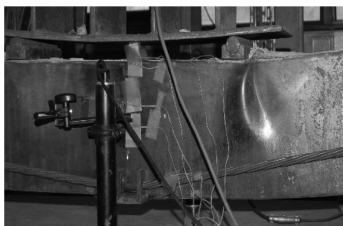
4. 실험결과

4.1 파괴성상

Photo 1은 포스트텐션 보강 후 파괴된 실험체의 사진이다. SCR-D0실험체는 최대하중 전에 하부 강재가 항복하여 소성영역에 도달하였으며 항복하중 이후 강재측면에서 국부좌굴 현상이 발생하였고 이후 소성고원(yield plateau)현상이 나타나지 않고 지속적인 내력 저하 현상이 나타났다. SCR-U형 및 V형 실험체는 가력점 하부의 국부좌굴 발생과 함께 콘크리트의 가력점 하부 균열이 확대되면서 최대내력에 도달한 후 최종적으로 가력점 상부의 콘크리트 압괴로 하중이 점차 감소되어 가력이 종료되었다.



(a) U-type specimen



(b) V-type specimen

Photo 1 Failure configuration

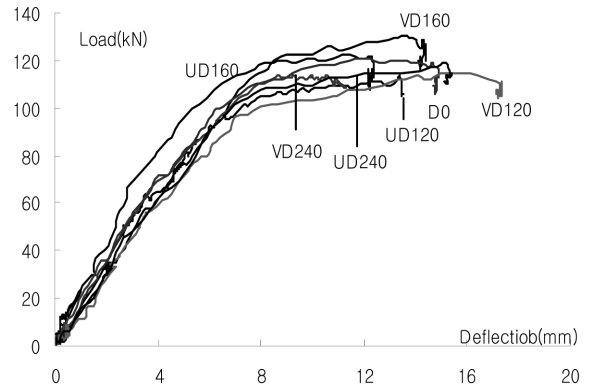
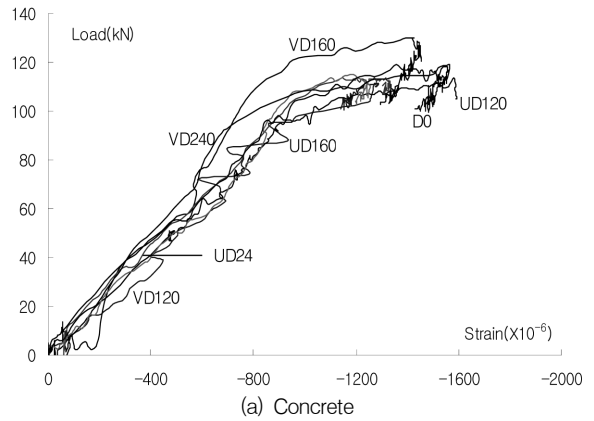
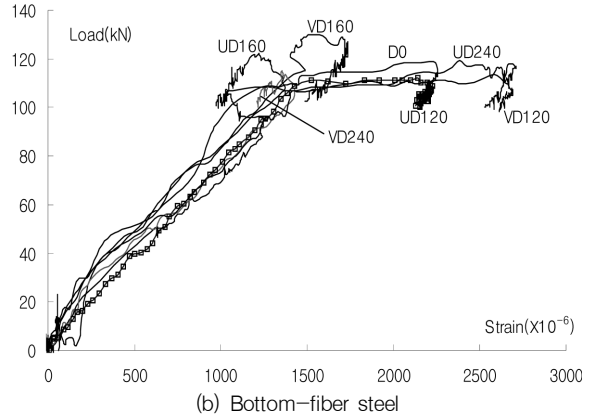


Fig. 4 Load-deflection curve before prestress



(a) Concrete



(b) Bottom-fiber steel

Fig. 5 Load-strain curve before prestress

4.2 보강 전 SC보의 거동

4.2.1 보강 전 하중-변위

Fig. 4와 같이 보강 전 SC합성보의 하중-변형 곡선은 같은 단면형상과 재료의 조건으로 인해 거의 유사한 하중-변형 곡선이 나타났다. 하중 120kN 근처에서 강성이 현저하게 저하하고 있으며 그 이후 하중의 증가 없이 변위만 증가하고 있어 소성변형이 더 증가하기 전 가력을 중지하고 변수에 따른 프리스트레스를 보강을 실시하여 다음 단계의 실험을 진행하였다.

4.2.2 보강 전 하중-변형률

Fig. 5에 보강 전 SC보의 콘크리트 및 강재하부의 하중-변형률 양상을 나타냈다.

소성변화가 시작할 때 실험체 보 상부의 콘크리트(Fig. 2(d)의 ①게이지) 변형률이 $1800(\times 10^{-6})$ 을 초과하지 않아 콘크리트가 파괴에 이르지 않음을 알 수 있었다. 하부강재 변형률은 $1500(\times 10^{-6})$ 을 초과하였으며 실험체에 과도한 소성변형이 발생하기 전에 가력을 종료하였다.

4.3 보강 후 하중-변위

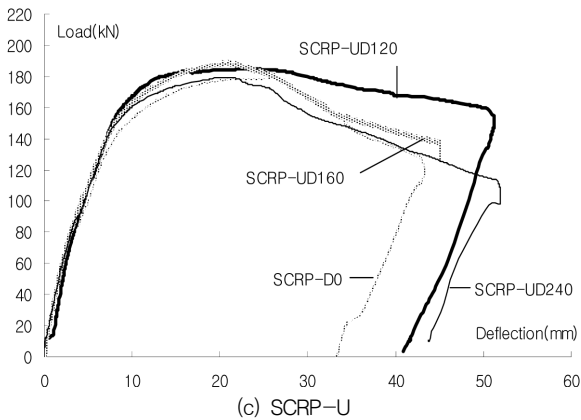
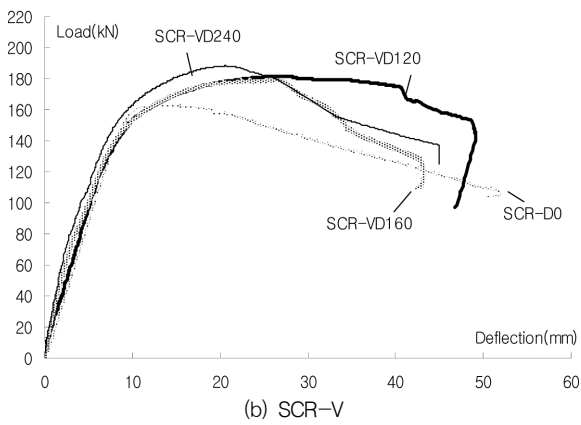
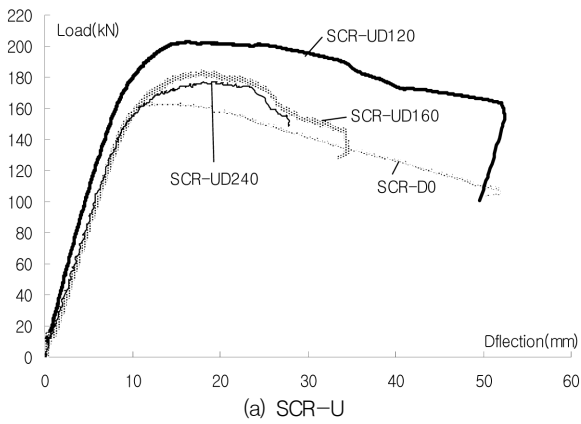


Fig. 6 Load-deflection curve after prestress

Fig. 6에 계열별 보강 후 하중-변위관계를 나타냈다. 새들이 설치되지 않은 D0실험체는 내력이 상대적으로 낮고 최대하중이후 변위가 증가할수록 내력이 지속적으로 감소하는 양상을 나타냈다. 가력 후 보강한 SCR-U계열에서는 정착구의 높이가 120mm일 경우 가장 큰 내력과 변위를 나타냈고 정착구의 높이가 160mm와 240mm인 실험체는 유사한 양상이 나타났으며 최대하중이후 지속적으로 하중을 유지하지 못하고 하중저하 현상이 나타났다. V계열에서는 정착구의 높이와 관계없이 유사한 내력 양상을 보이고 있으며 정착구의 높이가 120mm인 실험

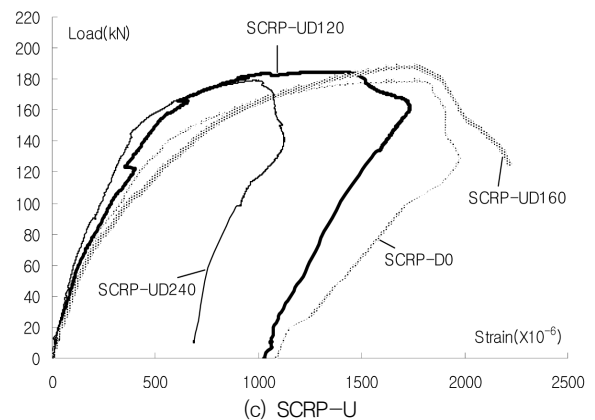
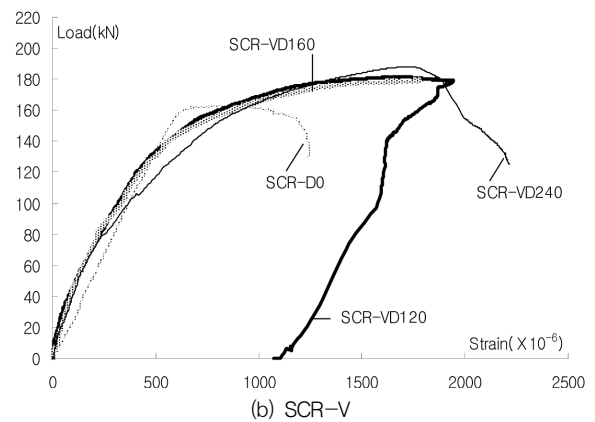
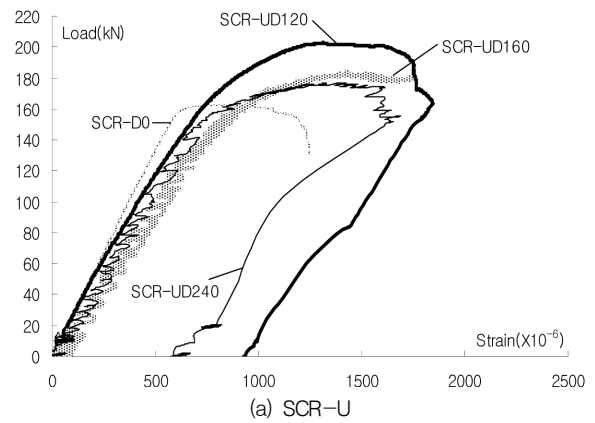


Fig. 7 Tendon Load-strain curve

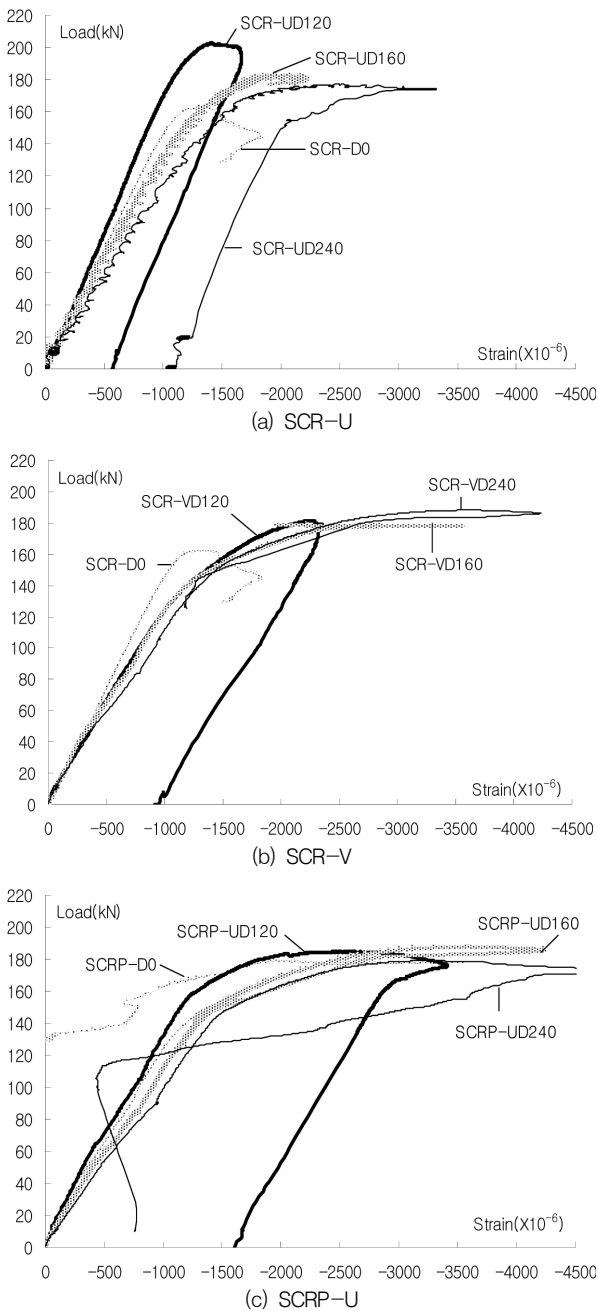


Fig. 8 Upper concrete Load-strain curve

체가 최대하중 이후 급격한 내력감소 없이 변위가 증가하는 안정적인 거동을 나타냈다. V계열에 비해 U계열이 상대적으로 적은 변위에서 최대하중에 도달하였으며 특히 정착구의 높이가 120mm, 160mm일 경우 그 차가 크게 발생하였다. 보강 후 가력한 SRCP-U계열에서는 최대내력의 차는 크지 않았으나 D120실험체를 제외한 실험체는 최대내력 후 변위가 증가하면서 비교적 급격한 내력감소가 나타났다.

4.4 보강 후 하중-변형률

4.4.1 보강 후 긴장재의 하중-변형률

Fig. 7에 계열별 긴장재의 하중-변형률 관계를 나타냈다. 가력 후 보강한 U, V계열의 경우 정착구의 높이와 관계없이 유사한 하중-변형률 양상을 나타냈으며 DO계열만 낮은 변형률이 나타났다. 보강 후 가력한 SCR-P-U계열의 경우 새들의 유무와 긴장재의 높이에 따라 상이한 변형률 양상을 나타냈으며 UD240실험체가 가장 낮은 변형률을 UD160실험체가 최대내력에서 가장 큰 변형률을 나타냈다.

보강시점에 따라 비교하면 선 가력인 경우 DO실험체의 변형률이 저조했으며 U, V계열은 유사한 양상을 나타냈으나 선 보강한 경우는 DO실험체의 긴장재가 비교적 큰 변형률을 나타냈고 특히 D160의 변형률이 크게 나타났다.

4.4.2 보강 후 상부 콘크리트의 하중-변형률

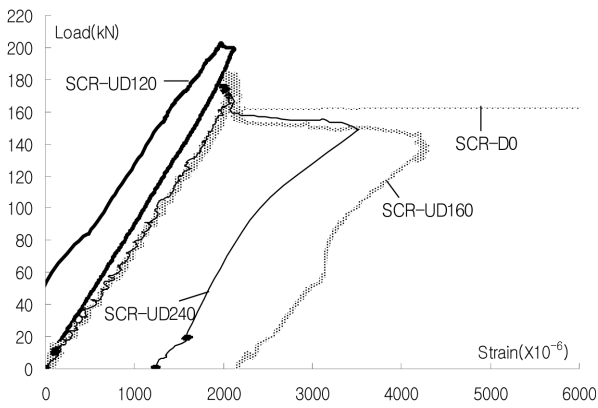
Fig. 8에 계열별 상부 콘크리트의 하중-변형률 관계를 나타냈다. 새들을 설치할 경우 모든 계열에서 정착구의 높이가 높을수록 동일하중에서 큰 변형률을 나타내어 보강 후 중립축(120mm)에 보강을 실시하면 압축측 콘크리트의 부담을 경감시킬 수 있는 것으로 판단된다. 변형률 양상의 크기는 SCR-P-U, SCR-V, SCR-U 순으로 큰 것으로 나타났다. 보강 시점에 관계없이 새들을 장착하지 않은 DO 실험체의 변형률은 비교적 적게 나타났으며 SCR-P-UD120실험체는 변형률이 SCR-P-D0실험체 보다 작게 나타났다.

4.4.3 보강 후 강제 하부의 하중-변형률

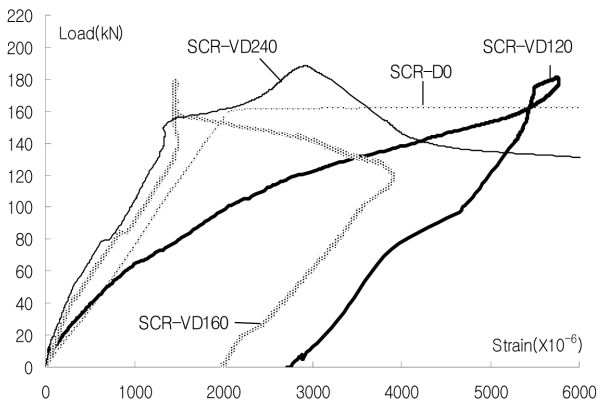
Fig. 9에 강제하부의 하중-변형률 곡선을 나타냈다. SCR-D0 실험체는 최대 하중에 도달할 때까지 탄성변형을 보이고 최대하중 이후 소성거동하며 다른 실험체보다 변형률이 크게 나타났으며 이는 보 중앙부 새들이 없기 때문에 가력에 따른 변위의 증가로 긴장재의 긴장성능이 떨어져서 인장측 강재의 변형률이 크게 나타난 것으로 판단된다.

U계열 실험체의 경우 선 보강 또는 선 가력한 UD120 실험체 모두 다른 실험체에 비해 항복 변형률 이하의 작은 변형률을 나타냈고 V계열 실험체에서는 반대로 최대 내력시 VD120실험체의 변형률이 크게 나타났다.

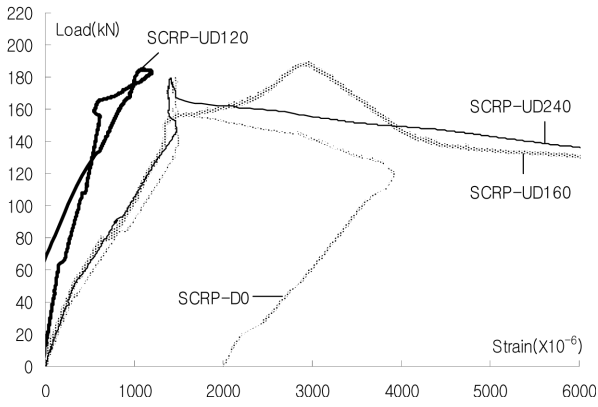
각 부분의 변형률을 분석하면 정착구의 높이나 가력시점과 관계없이 U계열에서는 UD120실험체가 보강에 의해 가장 작은 변형률을 나타내며 안정적으로 거동하고 있음을 확인했으며 V계열에서도 강제하부를 제외하면 U계열과 동일한 양상을 나타냈다.



(a) SCR-U



(b) SCR-V



(c) SCR-P-U

Fig. 9 Bottom-fiber steel load-strain curve

5. 고찰 및 분석

5.1 이론값과 실험값의 비교

Table 5에 최대내력 시 실험값과 이론값을 비교하였으며 포스트텐션으로 보강된 SC보의 이론값은 2장에 제안한 소성휨강도를 산정식을 이용하여 계산하였다.

보강 전 가력한 SC보의 최대내력과 이론값의 비가 평균 0.97로 나타났으며 이는 압축 강재의 국부좌굴 영향으로 실험체가 완전 소성거동하지 못한 결과로 판단된다.

Table 5 Comparison of Maximum strength

Specimen	P _{max}		Test Theory
	Test (kN)	Theory (kN)	
SC	121.60	124.50	0.97
SCR-D0	163.00	162.75	1.00
SCR-UD120	202.80	167.67	1.21
SCR-UD160	183.10	169.09	1.08
SCR-UD240	177.10	171.38	1.03
SCR-VD120	181.40	166.24	1.09
SCR-VD160	179.10	167.79	1.07
SCR-VD240	188.30	169.69	1.11
SCR-P-D0	179.10	162.75	1.10
SCR-P-UD120	184.70	167.67	1.10
SCR-P-UD160	188.30	169.09	1.11
SCR-P-UD240	179.40	171.38	1.05

보강하여 프리스트레스를 가한 실험체는 실험값 대 이론값의 비가 1.00~1.21로 나타났다. 양 단부에 정착구를 설치한 보강 후 SC합성보는 정착구의 긴장재가 강재와 콘크리트의 일체화에 영향을 미쳐서 합성보의 휨성능이 증가한 것으로 판단된다. D0 실험체는 1.00을 나타냈으며 SCR-U계열에서는 D120 실험체가 가장 큰 1.21을 나타냈고 SCR-V계열에서는 D240 실험체가 1.10, SCR-P-U계열에서는 D160 실험체가 1.11을 나타냈다. 정착구의 높이에 따른 일정한 양상을 보이지 않는 것으로 나타났으며 모든 실험체가 1.00 이상의 실험값/이론값을 나타내 최대 내력측면에서의 포스트텐션 보강의 적절성을 확인하였다.

5.2 초기강성 및 연성 평가

Table 6에 각 실험체별 초기강성, 내력비, 연성지수 및 에너지 소산율 등을 분석하여 나타냈다. 초기강성은 항복하중에 대한 항복변위의 비로 정의 하였으며 내력비는 최대하중에 대한 항복하중의 비로 정의하였다. 실험체의 연성능력을 나타내는 연성지수는 최대하중 시 변위에 대한 항복변위의 비로 정의되며 실험체의 에너지소산율(D)는 최대하중시의 에너지(E_D)에 대한 항복하중시의 에너지(E_y)의 비율이다. 여기서 에너지는 하중-변위곡선의 면적을 나타낸다. 항복내력의 산정은 Fig. 10과 같이 김상모, 김규석(2003)이 제안한 방법을 사용하였다. 최대하중점을 연장하는 수평선과 하중-변위 곡선상 최대내력 60% 강성의 연장선이 만나는 점의 변위가 항복변위이며 이때 항복변위를 수직 연장하여 하중-변위곡선과 만나는 점에서의 하중이 항복하중이다.

보강 전 실험체의 초기강성은 14.05kN/mm로 나타났으며 내력비는 1.15로 나타났다. 보강 후 모든 실험체의 초기강성은 보강 전에 비해 증가한 것으로 나타났으며 정착구의 높이에 따른 일정한 증감 양상은 나타나지 않았고 V계열보다 U계열이 큰 초기강성을 나타냈다. SCR-UD120

Table 6 Summary of test result

Specimen	Yielding strength				Maximum strength		$\frac{P_{max}}{P_y}$	$\frac{\delta_{max}}{\delta_y}$	ED (kN · mm)	D
	P_y (kN)	δ_y (mm)	초기강성 (kN/mm)	$\frac{P_y}{\delta_y}$	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)				
SC(average)	106.0	7.4	14.05		121.6	12.8	1.15	-	-	-
SCR-D0	148.1	8.7	17.01		163.0	14.0	1.10	1.61	1491.4	2.26
SCR-UD120	172.8	9.2	18.78		202.8	16.6	1.17	1.80	2315.7	2.62
SCR-UD160	154.7	9.4	16.46		183.1	17.4	1.18	1.85	2089.8	2.94
SCR-UD240	153.9	9.8	15.71		177.1	19.3	1.15	1.97	2416.0	3.01
SCR-VD120	144.7	9.0	16.08		181.4	27.6	1.25	3.07	3878.7	5.28
SCR-VD160	145.2	8.7	16.68		179.1	26.3	1.23	3.02	3748.0	5.03
SCR-VD240	152.4	8.5	17.93		188.3	20.6	1.24	2.42	2918.6	3.75
SCR-P-D0	147.8	9.2	16.07		179.1	26.3	1.21	2.86	3751.8	4.57
SCR-P-UD120	156.5	8.4	18.60		184.7	24.5	1.18	2.92	3612.2	4.98
SCR-P-UD160	154.6	8.6	17.98		188.3	20.6	1.22	2.40	2730.6	3.44
SCR-P-UD240	152.0	8.4	18.10		179.4	21.0	1.18	2.50	2896.5	3.89

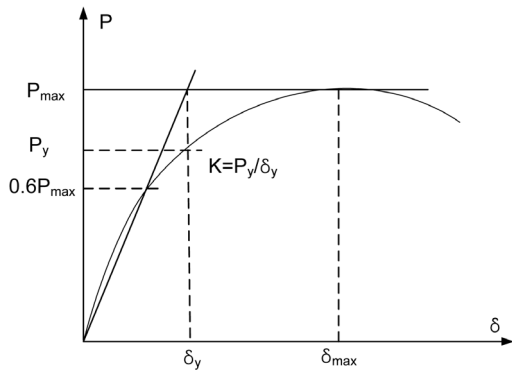


Fig. 10 Yielding strength

실험체가 가장 큰 초기강성 향상을 나타냈으며 전체적으로 선보강한 SCR-P-U계열실험체가 초기강성이 크게 나타났다. δ_y 는 보강 후 1.14~1.32배 증가하였고 선가력한 SCR-U계열보다 선보강한 SCR-P-U계열이 작게 나타났다. 내력비는 SCR-D0 실험체만 1.10으로 SC실험체 보다 작았으며, 선가력하였을 경우 U형 실험체는 1.15~1.18, V형 실험체는 1.23~1.25로 나타나 내력비 측면에서는 V형 실험체가 유리한 것으로 판단된다. U계열의 경우는 가력시점과 상관없이 유사한 양상을 나타냈다.

Fig. 11은 각 실험체의 에너지와 내력비이다. 정착구의 높이가 동일할 경우 모든 실험체에서 V계열 P-U계열 U계열 순으로 높은 에너지와 내력비를 나타냈고 정착구의 높이에 따른 일정한 양상은 나타나지 않았다. 전체적으로는 내력비가 증가할수록 에너지도 증가하는 양상이지만 U계열은 내력비와 에너지가 미소하게 반비례하는 양상을 나타냈다.

Fig. 12는 에너지소산율과 연성지수이다. 변형능력이 증가할수록 에너지소산율도 비례적으로 증가하는 정비례의 관계를 보이고 있다. 에너지소산율과 연성지수도 에너지와 내력비와 마찬가지로 V계열 P-U계열 U계열 순으로 높게 나타났으며 정착구의 높이에 따른 일정한 양상은 나타나지 않았다. 분석결과 내력비, 에너지, 연성지수, 에너지소산율 등은 V계열 실험체가 U계열 실험체에 비해 크게 나타나 보다 안정적인 것으로 나타났으며 가력시점에 따라 비교하면 보강 후 가력한 P-U계열이 보강 전 선가력한 U계열에 비해 크게 나타났다.

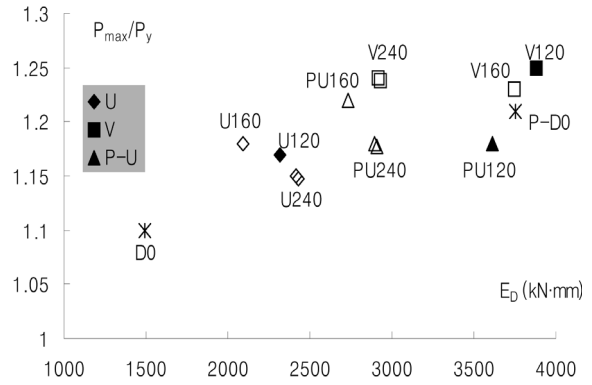


Fig. 11 Energy and strength ratio

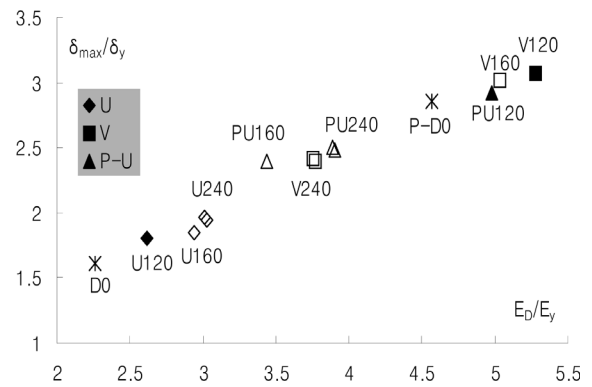


Fig. 12 Energy dissipation and ductility index

지와 내력비와 마찬가지로 V계열 P-U계열 U계열 순으로 높게 나타났으며 정착구의 높이에 따른 일정한 양상은 나타나지 않았다. 분석결과 내력비, 에너지, 연성지수, 에너지소산율 등은 V계열 실험체가 U계열 실험체에 비해 크게 나타나 보다 안정적인 것으로 나타났으며 가력시점에 따라 비교하면 보강 후 가력한 P-U계열이 보강 전 선가력한 U계열에 비해 크게 나타났다.

Table 7 Reinforcement Efficiency

Specimen	P_y (kN)		Initial stiffness P_y/δ_y (kN/mm)		P_{max} (kN)	
	Test Result	SCR/SC	Test Result	SCR/SC	Test Result	SCR/SC
SC(보강 전)	106.0	1.00	14.05	1.00	118.0	1.00
SCR-D0	148.1	1.40	17.01	1.21	163.0	1.38
SCR-UD120	172.8	1.63	18.78	1.34	202.8	1.72
SCR-UD160	154.7	1.46	16.46	1.17	183.1	1.55
SCR-UD240	153.9	1.45	15.71	1.12	177.1	1.50
SCR-VD120	144.7	1.37	16.08	1.14	181.4	1.54
SCR-VD160	145.2	1.37	16.68	1.19	179.1	1.52
SCR-VD240	152.4	1.44	17.93	1.28	188.3	1.60
SCR-P-D0	147.8	1.39	16.07	1.14	179.1	1.52
SCR-P-UD120	156.5	1.48	18.60	1.32	184.7	1.56
SCR-P-UD160	154.6	1.46	17.98	1.28	188.3	1.60
SCR-P-UD240	152.0	1.43	18.10	1.29	179.4	1.52

5.3 보강 효과

Table 7에는 보강전 SC실험체를 기준으로 프리스트레스로 보강한 실험체들의 P_y , 초기강성, P_{max} 의 보강효과를 비교하여 나타냈다.

항복하중의 보강 효과는 1.40에서 1.63사이에 분포하였고 D0계열과 VD120, VD160실험체가 특히 저조하였다. 전체적으로 P-U계열과 U계열이 유사하게 나타났으며 V계열의 보강효과가 비교적 저조한 것으로 나타났다. 초기강성의 보강효과는 1.12에서 1.34사이에 분포하였으며 전체적으로 선보강후 가력한 P-U계열실험체가 가장 크게 나타났으며 U계열과 V계열은 유사한 양상을 나타냈고 SCR-UD120실험체가 가장 크게 나타났다.

최대내력의 보강효과는 최소인 D0실험체 1.38 최대인 SCR-UD120실험체 1.72를 제외하면 모두 1.5-1.6사이에 분포하며 이론적으로 예측했던 내력의 증가를 나타내 포스트텐션 공법의 보강효과를 확인하였다. 선 가력하여 보강할 경우 보강 후 중립축에 정착구를 설치한 SCR-UD120실험체가 초기강성, 최대내력의 향상이 가장 크게 나타났으나 선 보강 후 가력한 SCR-P계열 실험체의 경우 정착구 높이에 따른 큰 차이가 나타나지 않았다.

6. 결론

본 연구는 포스트텐션 공법을 SC합성보에 대해 적용하여 검토한 기초적 연구이며 가력 시점, 새들 형태, 정착구 위치 등을 변수로 하여 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 실험결과 최대내력의 실험값/이론값 비는 보강 전

SC합성보가 0.97로 실험값이 이론값보다 낮게 나타났으나, 보강 후 합성보는 1.00-1.21로 나타났으며 SC합성보와 비교한 보강효과는 최소인 SCR-D0실험체 1.38 최대인 SCR-UD120실험체 1.72를 제외하면 모두 1.5-1.6 사이에 분포하여 최대내력측면에서의 포스트텐션 보강의 적절성을 확인하였다.

2) 계열별 하중-변위 분석결과 정착구의 위치가 보강 후 중립축인 120mm일 경우 최대하중 이후 급격한 내력 감소 없이 변위가 증가하는 안정적인 거동을 나타냈으나 정착구의 위치가 다른 경우 변위가 증가하면 내력이 비교적 급격하게 감소하는 양상을 나타냈다.

3) 가력시점에 따른 분석결과 선 보강 후 가력한 SCR-P 계열 실험체가 선 가력 후 보강한 SCR실험체에 비해 초기 강성, 내력비, 연성지수, 에너지 소산율이 우수한 것으로 나타났다.

4) 새들을 생략한 D0실험체는 선 가력할 경우 특히 저조한 보강효과를 나타냈으며 선 가력한 V계열이 U계열에 비해 우수한 연성능력 및 에너지 소산율을 나타냈으나 초기강성은 낮게 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 삼육대학교 학술연구비 지원에 의하여 쓰여진 것임.

참고문헌

1. 김상모, 김규석 “T형 합성보의 내력 평가에 관한 연구”, 한국강구조학회논문집, 제15권 4호, 2003, pp. 467-474.
2. 김상철, 김상모, 김성배, 서동기, 김규석 “단순지지 T형 합성보의 휨거동에 관한 실험적 연구”, 한국강구조학회논문집, 제16권 2호, 2004, pp. 225-233.
3. 김성배, 김도훈, 서동기, 김상모, 이창남, 김상섭 “포스트텐션으로 보강한 합성보의 내력평가에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제20권 1호, 2004, pp. 59-66.
4. 민락기, 오창렬 “포스트 텐서닝을 이용한 기존 구조물 보강”, 콘크리트 학회지 기술기사, 제8권 4호, 1996, pp. 65-75.
5. 류수현, 안형준 “장방형 SC보의 휨 내력에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 제21권 9호, 2005, pp. 55-61.
6. 안상호, 박성수 “프리스트레스를 받는 유공H형강보에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제13권 2호, 1997, pp. 199-207.
7. 한병찬, 윤현도, 박완신, 황선경, 임재형, 문정호 “철근콘크리트 연속보에서 부분프리스트레스 도입에 의한 휨보강 효과에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 1호, 2004, pp. 31-34.
8. Hamid S., Pedro A., Balal M. A. “Experimental Study of Prestressed Composite Beams”, ASCE., Vol. 115, No. 9, 1989, pp. 2348-2363.
9. Hamid S., Pedro A., Balal M. A. “Analytical Study of Prestressed Composite Beams”, ASCE., Vol. 115, No. 9, 1989, pp. 2364-2381.

(접수일자 : 2009년 7월 17일)
(1차수정일자 : 2010년 1월 25일)
(심사완료일자 : 2010년 3월 16일)

요 지

본 논문은 SC합성보에 정착구의 높이, 새들의 형태, 가력시점을 변수로 하여 비부착 포스트텐션 보강을 하고 휨실험을 통해 보강방법을 평가하여 적절한 보강방법을 제시하고자 하였다. 실험결과 보강 전 SC합성보의 최대내력은 실험값/이론값이 0.97로 나타났으나 보강 후는 1.00~1.21로 나타나 보강효과를 확인할 수 있었다. 변위 및 변형률 분석결과 정착구의 높이 및 가력시점에 상관없이 보강 후 중립축에 정착구를 설치한 D120계열 실험체가 최대하중이후 급격한 하중저하 없이 변위가 지속적으로 증가하며 각 부분의 변형률도 비교적 적게 나타나는 안정적인 거동을 했다. 보강효과면에서 선 가력 후 보강한 SCR-UD120실험체가 보강 전 SC합성보에 비해 최대내력이 1.72배 증가하여 가장 우수한 것으로 나타났다.

핵심 용어 : SC합성보, 비부착, 포스트텐션, 보강효과
