비부착 포스트텐션 SC합성보의 휨내력에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Flexural Strength of SC Composite Beams Enforced by Unbonded Post Tension

김 희 철[1] · 안 형 준[2] · 류 수 현[3]†

Kim, Heui Cheol *Ahn, Hyung Joon* *Ryu, Soo Hyun*

요 약 : 본 논문은 기존 SC합성보에 비부착 긴장재의 정착위치와 도입된 긴장량을 변수로하여 포스트텐션 공법으로 휨보강을 실시한 실험체의 보강성능을 평가하여 적절한 휨보강 방법을 제시하고자 하였다. 실험은 각 유형별 실험체를 항복하중까지 가력하고 항복 이후 비부착 포스트텐션 보강을 실시 추가 가력하여 보강성능을 조사하였다. 실험결과 보강된 SC합성보는 보강전에 비해 향상된 항복내력 및 초기강성을 나타냈으며 최대내력의 실험값/이론값은 보강 후 0.95~1.13으로 나타났다. 보강 전 중립축과 그 상부에 정착구를 설치한 실험체(D160, 240계열)는 최대내력에서 긴장력의 차이에 따른 변화는 거의 없고 오히려 긴장력이 증가하면 연성이 감소하였으며 보강 후 중립축에 경착구를 설치한 실험체(D120계열)는 긴장력이 증가하면 최대내력이 증가하고 또한 연성도 증가하여 보강 후 중립축에 대한 적절한 긴장력 보강이 매우 유효함을 알 수 있었다.

ABSTRACT : This study aims to suggest an appropriate flexural reinforcement technique by evaluating the reinforcement capacity of specimens that underwent flexural reinforcement according to the post-tension method with the anchoring position of an unbonded tension member on the conventional SC composite beam and the applied tension level as variables. For the experiment, up to a predetermined yield load was applied to each type of specimen and then, unbounded post-tensioning was additionally conducted to examine its reinforcement capacity. The analysis of the said experiment showed that the post-reinforced SC composite beam was characterized by significantly improved yield stress and initial stiffness, compared with the pre-reinforced one and the experimental measurements/theoretical values of maximum stress ranged from 0.95 to 1.13 following reinforcement. There was little or no change depending on the maximum stress and tension in the specimen (D160, Class 240) whose neutral axis and upper part had anchoring devices mounted prior to reinforcement. Rather, the ductility decreased with the increasing tension. On the contrary, in the case of the other specimen (Class D120) whose neutral axis had anchoring devices mounted after reinforcement, both the maximum stress and ductility increased with increasing tension, which indicates that the latter tension reinforcement was reasonably appropriate and effective for the neutral axis reinforcement.

핵 심 용 어 : 비부착 포스트 텐션, SC보, 합성구조, 휨내력

KEYWORDS : Unbonded Post Tension, SC Beam, Composite Structure, Flexural Strength

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건물이 노후화가 진행되면서 구조물의 유지관리 분야에 대한 관심이 점차 높아지고 있으며 이에따라 건축물의 리모델링과 재건축에 대한 수요가 점차 증가하고 있다(김성배 등, 2004). 구조물의 노후와 또는 사용하중의 변화 등으로 인해 보강이 필요할 수 있으며 이에 따른 유지 관리시 필요한 보강 방법으로는 에폭시를 주입하는 주입법과 강판을 이용한 강판 압착 보강법, 섬유를 이용한 섬유부착 보강법 및 프리스트레스 보강법 등이 있다. 그 중 포스트텐션 외부 보강법은 손상된 부재를 원상으로 회복시키고 철판이나 탄소섬유 접착공법보다 공기가 빠르며 보강 후 신뢰성이 높은 보강방법(신경재 등, 2005)이다. 또한 SC(Steel Concrete, 이하 SC)합성보(류수현 등, 2005)의 경우 보 외부가 강판으로 이루어져 있어 포스트텐션

1) 건국대학교 건축공학과, 공학박사(kimhc@khu.ac.kr)

2) 건국대학교 건축공학부 교수(ahnhyung@kunkuk.ac.kr)

3) 교신저자, 삼육대학교 건축학과 교수

(Tel. 02-3399-1850, Fax. 02-3399-1857, Email : ryu129@hanmail.net)

본 논문에 대한 토의를 2009년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

공법에 사용되는 새들(긴장재 고정대, 이하 새들)의 설치와 부착이 용이한 장점이 있다.

따라서 본 연구는 휨내력과 연성능력의 향상에 효과가 있는 SC합성보에 긴장재를 정착시켜 단부의 정착구 높이와 긴장재에 도입된 긴장력의 크기를 주요 실험변수로 하여 휨성능을 실시하여 적용 가능성을 확인하고 향후 포스트 텐션이 적용된 SC보에 관한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 포스트 텐션으로 보강된 합성보의 이론적 해석

포스트 텐션은 큰 인장응력이 발생하는 부위에 와이어를 이용하여 역으로 압축응력을 도입하여 인장응력을 상쇄시켜 부재의 경제성을 도모하는 공법이다. 포스트텐션을 이용한 보강은 프리스트레스 공법의 한 분야로 장스팬 구조에 유리한 공법이다.

포스트텐션을 도입한 보를 설계하는 경우 단계별 응력변화는 크게 세 단계로 나눈다. 탄성범위에서 보에 긴장력만 작용하는 경우와 외부하중에 의해 추가 긴장력이 발생 하는 경우, 외부하중만 작용하는 경우 등이다. 최종응력은 각 단계를 조합하여 콘크리트 슬래브 및 강재 상·하부 플랜지의 응력을 구한 값이 된다. 단 최종응력은 강재 또는 콘크리트의 허용응력보다 작아야 하며, 이 때의 응력변화는 그림 1(b), (c)와 같다.

그림 1(a)은 SC합성보의 단면을 나타내고 있고, 단위는 mm이다. (b)는 SC합성보의 보강 전 콘크리트와 강재의 응력상태, (c)는 긴장재에 긴장력을 재하했을 때의 변형도, (d)는 보강 후 가력 시 응력상태를 나타낸 그림이다.

다음 식 (1)은 비부착 긴장재에 긴장력을 적용했을 때 긴장재에 발생하는 응력으로 보깊이와 경간의 비가 35이하인 경우에 사용되며 KBC2005에 정의되어 있고 압축철근 또는 인장철근이 함께 배근된 보의 긴장재 극한 시 응력을 나타낸 식이다. 본 SC합성보는 인장·압축철근을 외부강판으로 대체하여 적용하였다. 식 (1)의 결과를 이용하여 식 (2)의 T_p를 산정한다. 식 (2)는 보강된 SC보의 휨내력을 산정한 식으로 그림 1(d)에서 보의 압축연단에 대한 모멘트를 산정한 결과이다. T_s, C_c, C_s는 SC보의 휨내력을 산정한 류수현(2005) 등의 연구를 참조하여 산정하였다.

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

여기서 $f_{ps} \le f_{py}$, 또는 $(f_{pe}+400)$ N/mm^2 이하

f_{ps} : 프리스트레스 응력(MPa)

f_{py} : 긴장재의 항복응력(MPa)

f_{pe} : 프리스트레싱 긴장재의 유효응력(MPa)

ρ_p : 강선철근비 $A_{sp}/(b \cdot d_p)$

$$M = -C_c \cdot \frac{a}{2} - C_s \cdot d' + T_s \cdot d + T_p \cdot d_p \quad (2)$$

여기서 C_c, C_s : 콘크리트와 압축측 강판의 압축력

T_s : 인장측 강판의 인장력

T_P : 긴장재의 인장력 ($T_P = A_P \cdot f_{ps}$)

d', d = 압축단에서 압축,인장강판 중심까지 거리 (mm)

d_p = 압축연단부터 긴장재 중심까지의 거리 (mm)

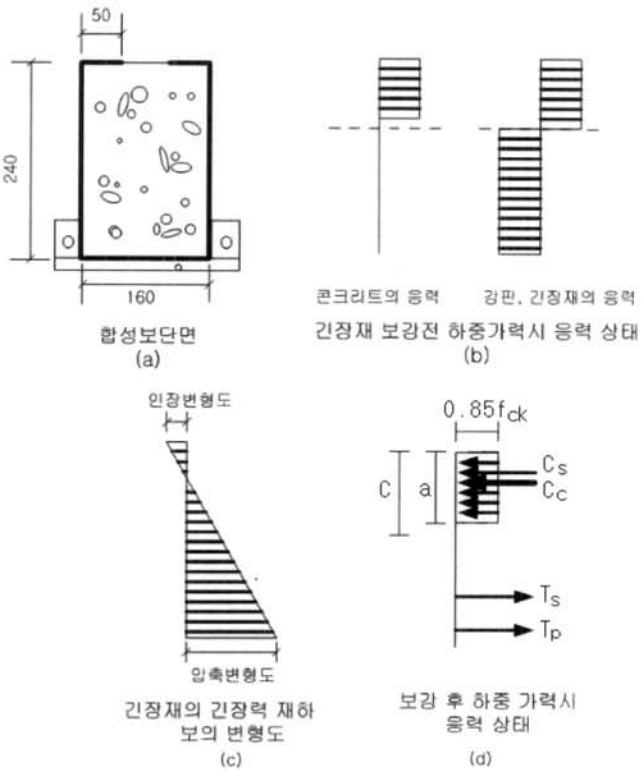


그림 1. 포스트텐션으로 보강된 합성보의 응력변화

3. 실험

3.1 실험 개요

본 연구에서는 보강 전 실험체를 항복하중까지 가력하여 1차실험을 실시하였고 정착구의 높이와 도입된 장력의 크기를 변수로 보강한 후 2차 실험을 실시하여 보강된 보의 파괴모드, 강도성능 증대효과 및 변형성능을 조사하고 보강을 통한 SC합성보의 휨성능 개선여부를 분석하였다.

3.2 실험체 제작 및 실험 계획

실험은 SC합성보를 대상으로 실험체를 제작하여 보강 전·후와 보강형태에 따른 휨거동을 비교 분석하였고, 보강방법은 단부 정착구의 위치와 도입 장력의 크기를 변수로 하였다.

표 1은 인장재의 단부 정착위치와 와이어 텐션량을 변수로 한 실험체 일람표이다. 표 1에서 정착구의 높이는 보 인장 하부에서 긴장재 중심까지 거리이며, 그림 2(d)에 표시되었다. 와이어 텐션량은 와이어에 도입된 긴장력으로 각 실험체는 2개의 와이어로 장력을 도입하였다. 정착구의 높이는 단면에 발생되는 모멘트의 위치를 기준으로 하여 보강전 중립축인 곳과 보강 후 중립축인 곳에 정착구를 설치하였다.

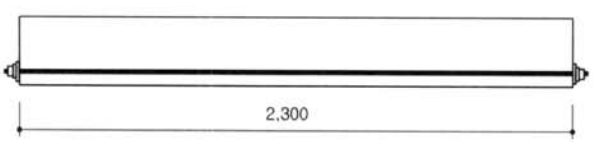
보강 전 실험체는 그림 1(a)와 같이 B×H(160mm × 240mm)단면의 두께 2.2mm 외부 강판으로 보강된 SC 합성보이다.

보강 실험체는 와이어, 정착구, 새들 등으로 구성된 외부 보강부를 갖는 실험체로 SC 합성보 단부 하부에 정착구를 설치한 D0 실험체 1개와 정착구의 높이를 변화시키면서 도입된 장력의 크기가 100kN인 WT100형 실험체 3개, 60kN인 WT60형 실험체 3개로 총 7개를 제작하였다. 실험체의 길이는 2,300mm이고, 보의 유효 지점간 거리는 2,100mm로 하였다.

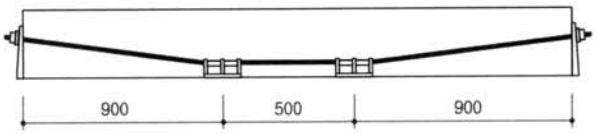
표 1. 실험체의 종류

구 분	실험체 명	정착구 높이(mm)	와이어 텐션량(kN)
보강전	SC	-	-
보강후	SCR- D0WT100	40	100
	SCR-D120WT100	120	100
	SCR-D160WT100	160	100
	SCR-D240WT100	240	100
	SCR-D120WT 60	120	60
	SCR-D160WT 60	160	60
	SCR-D240WT 60	240	60

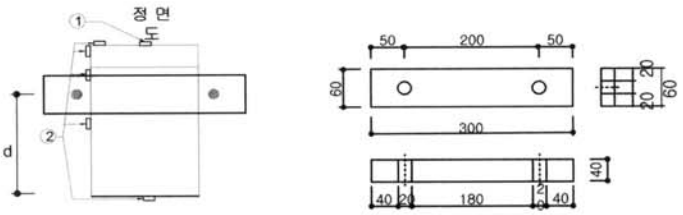
SCR : 보강된 SC 합성보
D000 : 보 단부의 하부에서 정착된 긴장재까지 거리(mm)
WT000 : 긴장재에 도입된 장력의 크기



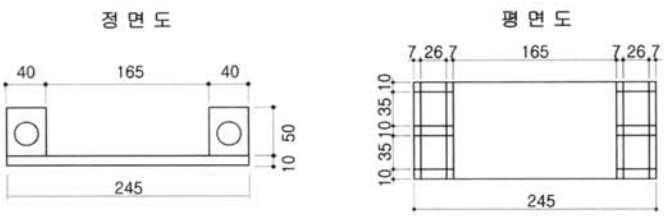
(a) D0 실험체



(b) 새들장착 실험체



(c) 정착구의 위치와 형태 및 게이지 부착 위치



(d) 새들의 형태

그림 2. 실험체 형상

그림 2(c)의 ①은 콘크리트 게이지의 부착위치이고, ②는 철근용 스트레인게이지의 부착위치이다. 긴장재에 부착된 게이지는 보 중앙부에 설치하였다. 그림 2에서의 단위는 mm이다.

그림 3. 실험 사진

3.3 가력 및 측정방법

실험체의 지지점은 단순보 상태를 유지하기 위하여 한쪽은 회전지점, 다른 한쪽은 이동지점으로 만들었으며, 유압잭의 두부에 하중계를 부착하여 자동변형도 측정기(TDS-601A)로 측정값을 기록하였다.

실험체의 가력은 2점가력 하였으며 변위를 측정하기 위하여 보의 중앙 하부 좌우에 각각 1개의 변위계(LVDT)를 설치하였다. 스트레인게이지는 중앙 상부 콘크리트와 강판, 보강 전 중

립축과 보강 후 중립축인 보 측면 강판, 그리고 보 하부 강판과 긴장재에 부착하여 보의 변형도를 조사하였다.

그림 4는 실험체 가력장치의 위치 및 실험체 설치를 나타낸 그림이다.

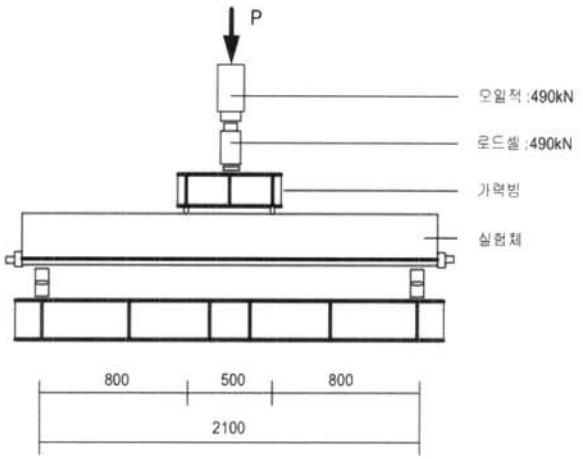


그림 4. D0 실험체 설치도

3.4 사용 재료의 역학적 성질

3.4.1 콘크리트의 압축강도 시험

실험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도가 21MPa인 레미콘을 사용하여 실험체와 동일한 조건으로 양생하였다. 콘크리트의 사용재료, 배합비 및 압축강도 시험결과는 표 2, 표 3과 같다.

표 2. 콘크리트의 사용재료 및 배합비

설계 기준강도 (MPa)	W/C (%)	슬럼프 (mm)	배합중량(kg/m^3)					
			물	시멘트	플라이 애쉬	잔 골재	굵은 골재	혼화제
21	52	120	179	299	45	812	977	2.7

표 3. 콘크리트의 압축강도시험 결과

설계기준강도 (MPa)	재령 (일)	슬럼프 (mm)	평균압축강도 (MPa)
21	28	120	22.9

3.4.2 강재의 인장강도 시험

강재의 기계적 성질을 파악하기 위해 시험편을 만들어 인장강도시험을 실시하였다. 강판은 총 5개의 시험편을 제작 시험하였다. 표 4는 긴장재로 사용된 와이어의 실험값이며 표 5는 강재의 재료 실험값을 나타냈다.

표 4. 긴장재 시험 결과

종 류	공칭단면적 (mm^2)	인장 강도 (MPa)	연신율 (%)
강 연 선	138.7	1917	9

표 5. 강재의 인장시험 결과

시험편명	항복 강도 (MPa)	인장 강도 (MPa)	연신율 (%)	항복비 (항복강도/인장강도)
No. 1	304.0	438	31	0.69
No. 2	320.7	461	33	0.70
No. 3	312.7	451	33	0.69
No. 4	315.9	457	33	0.69
No. 5	309.6	448	33	0.69
평 균	312.6	451	33	0.69

4. 실험 결과

4.1 파괴성상

(a) 실험체 측면 (b) 실험체 상부

그림 5. 파괴 후 실험체

그림 5는 포스트텐션 보강 후 파괴된 실험체의 그림이다. D0실험체는 최대하중 전에 하부 강판이 항복하여 소성영역에 도달하였으며 최대하중 부근에서 압축측 상부와 측면의 강판에 국부좌굴 현상이 발생하였고 이후 소성경화역이 나타나지 않고 지속적인 내력 저하 현상이 나타났다. 기타 모든 실험체는 최대 하중 부근에서 가력점의 측면강판에 국부좌굴이 발생한 이후 변위가 증가함에 따라 가력점 부근에서 상부콘크리트가 압축을 받아 파괴되었고 D0실험체에 비해 양호한 소성경화역이 나타났다.

4.2 하중-변위 및 각부분의 하중-변형도 관계 곡선

4.2.1 프리스트레스 보강 전 실험체의 하중-변위 곡선

보강 전 SC합성보의 하중-변위 곡선은 같은 단면과 재료의 조건으로 인해 거의 유사한 하중-변위 곡선이 나타나고 있다.

실험 결과 120kN 내외에서 강성이 현저하게 저하하고 있으며 그 이후 하중의 증가 없이 변위만 증가하고 있어 재료의 소성변형이 더 증가하기 전 가력을 중지하고 실험체별로 정해진 프리스트레스를 도입하였다. 그림 6은 보강 전 항복시 까지 각 실험체의 하중-변위 곡선이다.

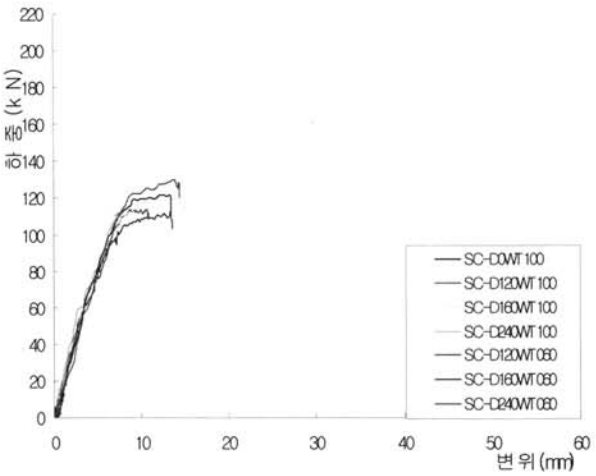
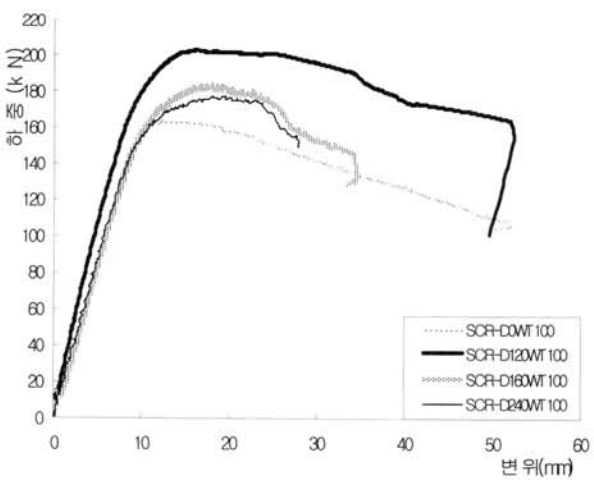


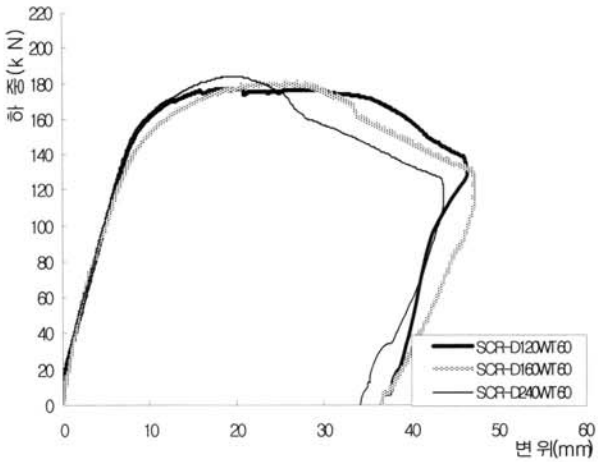
그림 6. 보강전 SC합성보의 하중-변위 관계

4.2.2 프리스트레스 보강 후 실험체의 하중-변위 곡선

그림 7은 보강 후 긴장력에 따른 하중-변위 곡선이다. D0 실험체는 콘크리트 항복 후 지속적인 하중 감소현상을 보이는데 이는 중앙부에 새들이 없어 보의 휨파괴시 긴장재의 인장효과가 다른 실험체에 비해 떨어짐을 나타내고 있다. WT100 계열에서는 정착구의 높이가 120인 실험체가 내력 및 연성이 가장 우수하게 나타났으며 정착구의 높이가 높아질수록 최대내력 및 연성이 감소하였다. WT60 계열은 정착구의 높이와 최대내력 및 연성이 유사하게 나타나 저 긴장 상태에서는 정착구의 높이 영향이 적음을 나타내고 있다.



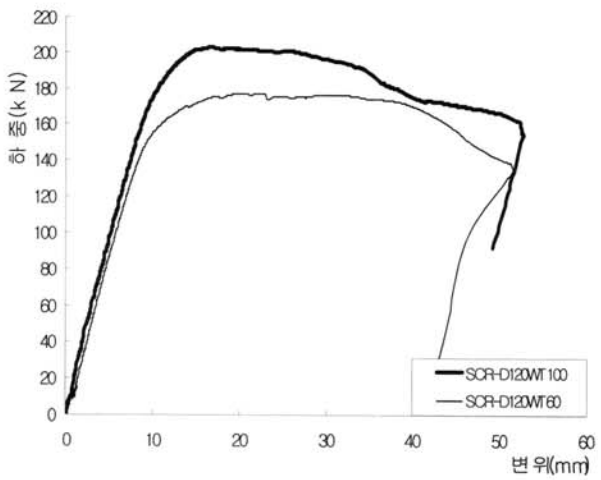
(a) WT100형 실험체



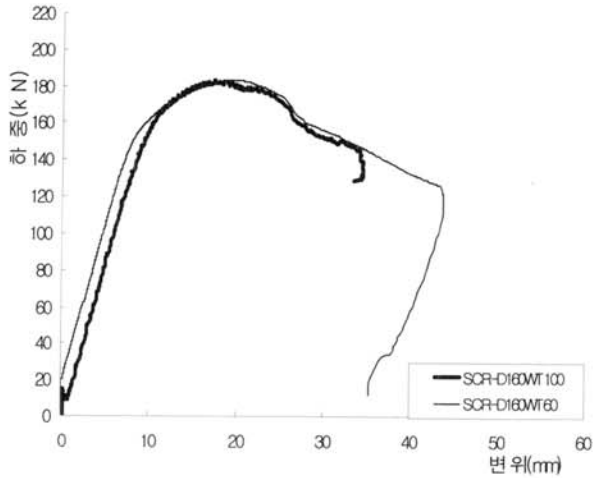
(b) WT60형 실험체

그림 7. 보강 후 긴장력에 따른 합성보의 하중-변위 관계

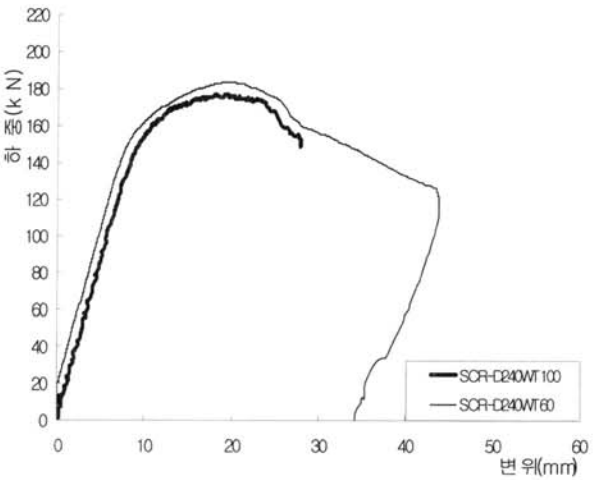
그림8은 정착구 높이별 하중-변위 곡선이다. D120 실험체는 보강 후의 중립축에 정착구를 설치한 실험체로 가장 우수한 보강 성능을 보이고 있으며 최대하중 이후의 거동도 하중의 감소량도 매우 적게 나타나는 소성경화역이 나타냈고 이는 가력하중과 모멘트의 발생형태에 대해 가장 이상적으로 새들과 정착구가 설치되어 있어 다른 형태에 비해 저항능력이 우수하게 나타난 것으로 판단된다. D120WT100에 비해 D120WT60 실험체는 처짐은 유사하나 최대하중이 적게 나타났다. D160 실험체는 보강전 중립축에 정착구를 정착한 실험체로 변위 20mm 전후로 최대하중에 도달하였으며 최대하중 이후 소성경화역을 나타내지 못하고 하중이 지속적으로 감소하는 경향을 나타냈다. D160 실험체와 마찬가지로 최대하중 이후 소성경화역을 나타내지 못하고 하중이 지속적으로 감소하는 경향을 나타냈다.



(a) D120 계열 실험체

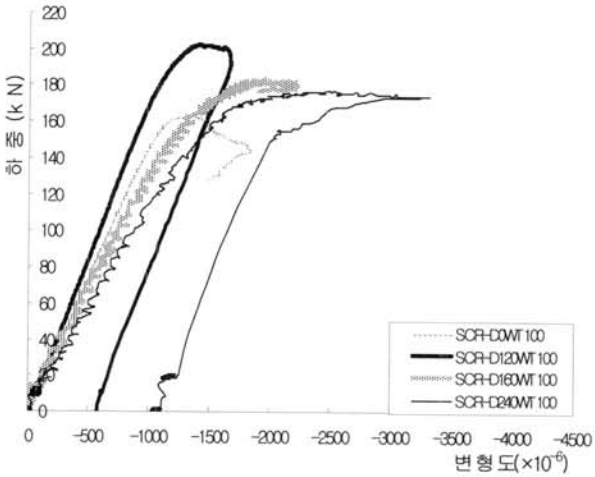


(b) D160 계열 실험체

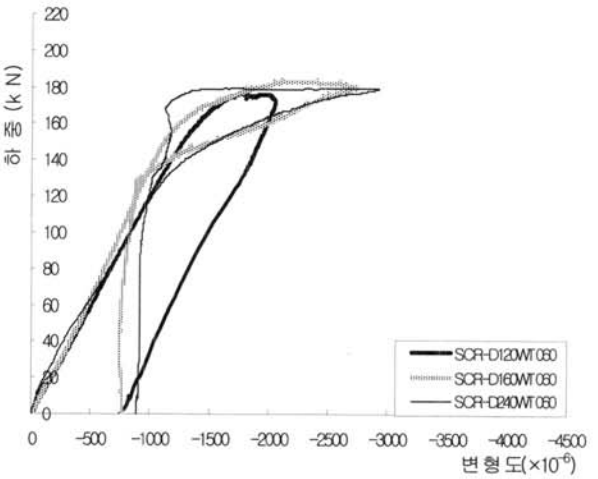


(c) D240 계열 실험체

그림 8. 정착구 높이별 하중-변위



(a) WT100형 실험체



(b) WT60형 실험체

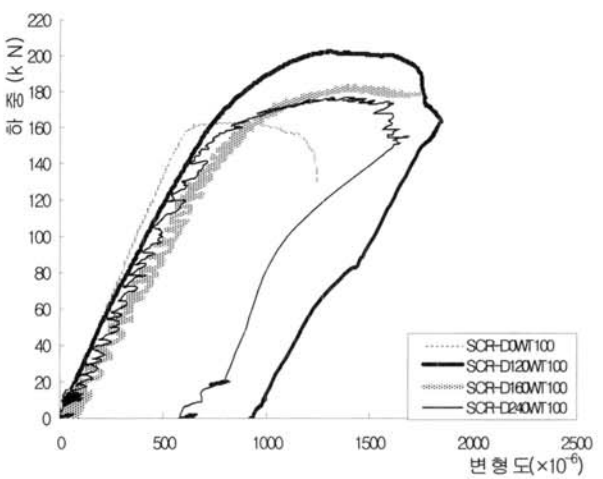
그림 9. SC합성보 콘크리트 상부 하중-변형도

보강 전 중립축과 그 상부에 새들을 설치한 실험체(D160, 240계열)는 최대내력에서 긴장력의 차이에 따른 변화는 거의 없고 오히려 긴장력이 증가하면 연성이 감소하였으며 보강 후 중립축에 새들을 설치한 실험체(D120계열)는 긴장력이 증가하면 최대내력이 증가하고 또한 연성도 증가하여 보강 후 중립축에 대한 적절한 긴장력 보강이 매우 유효함을 알 수 있다.

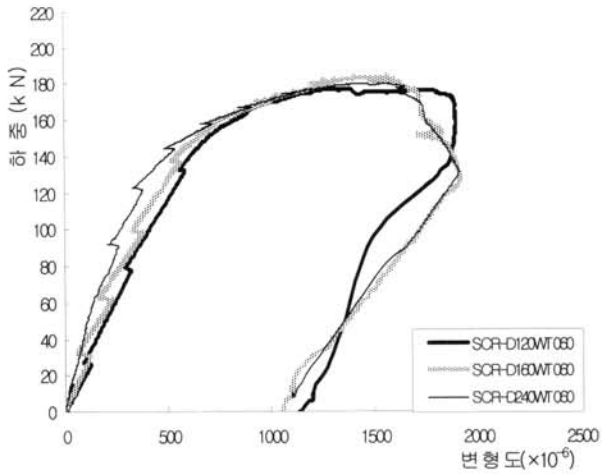
4.2.3 보강 후 SC합성보 콘크리트 상부의 하중-변형도

그림 9은 콘크리트 상부 중앙의 하중-변형도 곡선이다. SCR-D0WT100 실험체는 변형도 1000($\times 10^{-6}$) 부근에서 최대내력에 도달하였으며 2000을 넘지 못하였다. WT100 계열 및 WT60 계열 모두 정착구의 위치가 높아질수록 콘크리트의 변형도가 더 크게 나타났으며 이는 프리스트레스에 의한 사전 인장변형량이 큰 정착구가 높은 위치의 실험체들에 큰 압축변형도가 발생한 것으로 판단된다.

4.2.4 보강 후 SC합성보 긴장재의 하중-변형도



(a) WT100형 실험체



(b) WT60형 실험체

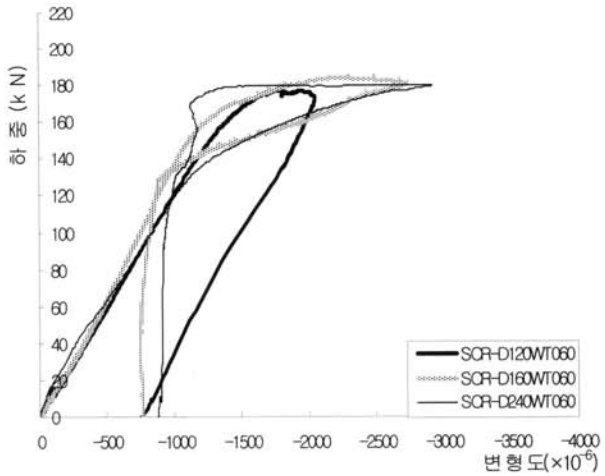
그림 10. SC합성보 긴장재 하중-변형도

그림 10은 긴장재의 하중-변형도 곡선을 나타낸 그림이다.

D0WT100 실험체의 경우 다른 실험체보다 적은 변형도를 나타내고 있는데 이것은 다른 실험체와는 달리 보 중앙부에 긴장재의 거동을 제어하는 새들이 설치되지 않아 변형도가 작게 나타난 것으로 판단된다. 하중-변위 곡선과 유사한 양상을 나타내 WT100형은 정착구의 높이가 낮을수록 큰 양상을 WT60형은 모두 유사한 양상을 나타내고 있으며 변형도는 1500 전후에서 최대내력을 나타내고 있다.

4.2.5 보강 후 SC합성보 상부 강판의 하중-변형도

그림 11은 SC합성보의 상부 강판에서 하중-변형도를 나타낸 그림이다. 상부 강판의 변형도는 압축을 받는 구간으로 게이지 부착 위치에 따라 국부좌굴의 영향을 받을 수 있는 구간이다.



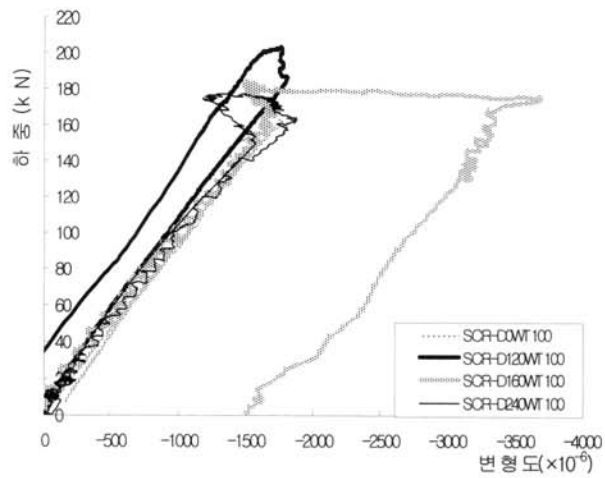
(b) WT60형 실험체

그림 11. SC합성보 상부 강판 하중-변형도

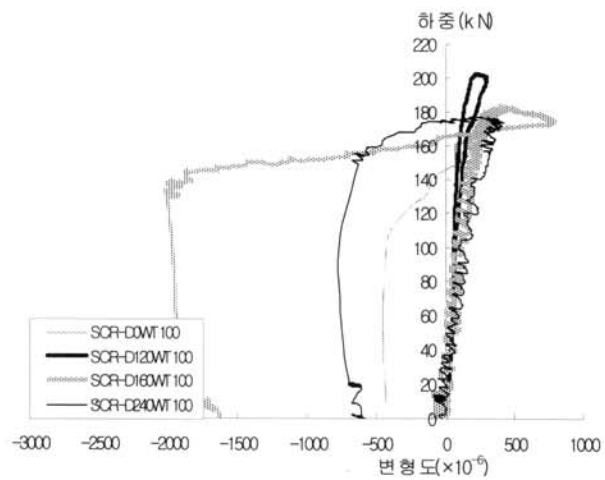
D0 실험체의 변형도는 최대하중 시 항복변형도에 도달하였으며 D120 계열의 실험체는 항복하중 이후 변형도의 변화가 없이 하중만 증가하다 하중을 제거할 때 변형도가 감소되는 탄성변형도를 보이고 있다. D160 계열의 실험체는 항복하중 이후 변형도가 급격한 증가를 보이고 있으며 국부좌굴없이 충분한 내력을 발휘하고 있다. D240 계열에서 WT100 실험체는 국부좌굴의 영향을 받았고 WT60 실험체는 변형도가 지속적으로 증가하였다.

4.2.6 보강 후 SC합성보의 측면 중앙 하중-변형도

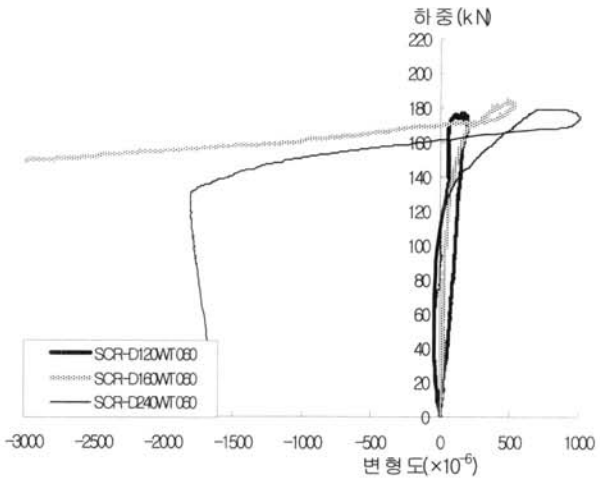
그림 12는 SC합성보 측면 중앙부의 하중-변형도를 나타낸 그림이다. SC합성보의 중앙부는 최대하중 시 까지 변형도의 크기가 500이하인 인장영역에 위치하고 있으며 정착구의 높이가 120인 실험체들을 제외한 모든 실험체들이 변곡하여 지속적으로 압축변형도가 증가하는 양상을 나타냈다.



(a) WT100형 실험체

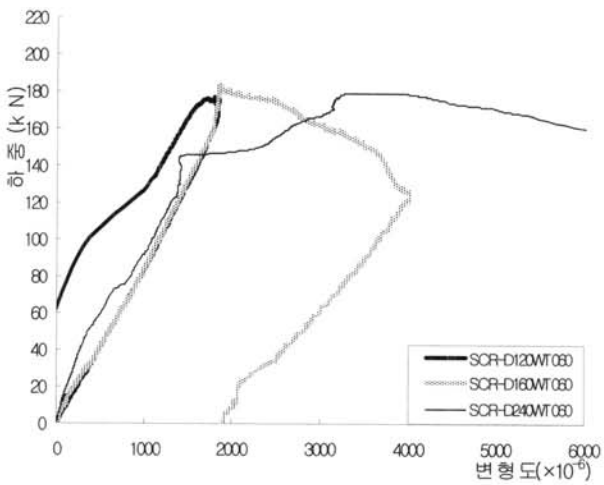


(a) WT100형 실험체



(b) WT60형 실험체

그림 12. SC합성보 측면 중앙 하중-변형도



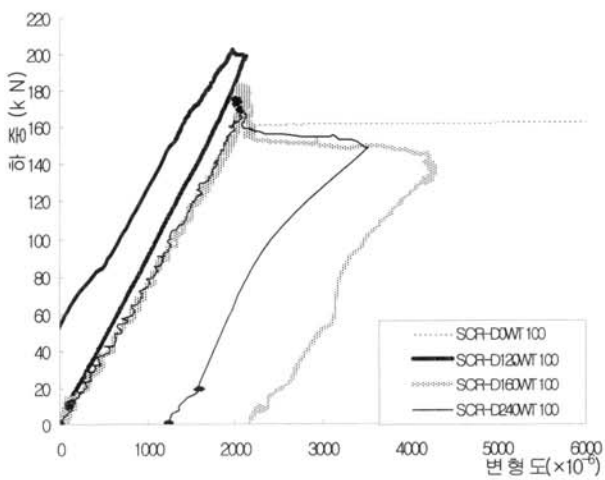
(b) WT060형 실험체

그림 13. SC합성보 하부 강판 하중-변형도

이는 실험체가 탄성역을 초과하여 소성영역에 진입 중립축의 위치가 이동한 결과로 판단된다. D0 및 정착구의 높이가 D120인 실험체는 항복변형도에 이르지 못하였으며 이에 따라 실험체가 충분한 소성변형을 나타내지 못한 것을 확인 할 수 있다.

4.2.7 보강 후 SC합성보 하부 강판 하중-변형도

그림 13은 SC합성보 하부 강판의 하중-변형도를 나타낸 그림이다. 모든 실험체 하부 강판은 최대내력에 도달할때 변형도도 증가하여 항복변형도를 초과하였으며 하부 강판이 충분히 내력증가에 기여하고 있음을 나타내고 있다. D120 계열 실험체는 다른 실험체와 다르게 최대하중 이후 변형도가 감소하는 현상을 나타냈다. D120계열 실험체의 각 부분의 변형도는 긴 장재를 재외한 모든 부분에서 다른 실험체에 비하여 적게 나타났다.



(a) WT100형 실험체

4.3 분석 및 고찰

4.3.1 이론값과 실험값의 비교

표 6은 최대내력 시 실험값과 이론값의 비교이다. 이론값은 강판과 콘크리트가 완전 합성되며 단면이 완전 소성 거동 하는 것으로 가정하여 산정한 것으로 식 (1)에 의한 f_{ps} 값을 적용시켜 식 (2)의 값으로 계산하였다.

표 6. 실험치와 이론치의 비교

실험체명	최대내력(kN)		실험치/이론치
	실험치	이론치	
SC	118.00	131.67	0.90
SCR-D0WT100	163.00	172.36	0.95
SCR-D120WT100	202.80	179.80	1.13
SCR-D160WT100	183.10	182.21	1.00
SCR-D240WT100	177.10	186.73	0.95
SCR-D120WT60	176.90	176.82	1.00
SCR-D160WT60	183.70	178.27	1.03
SCR-D240WT60	179.50	181.06	0.99

보강 전 가력한 SC보들의 평균 최대내력과 이론값의 비가 0.9로 나타났으며 이는 압축 강판의 국부좌굴의 영향으로 실험체가 완전 소성거동 하지 못한 것으로 판단된다. 보강하여 프리스트래스를 가한 실험체는 실험값대 이론값의 비가 0.95-1.13의 분포를 나타냈다. D0 실험체는 0.95를 나타냈으며 WT100계열에서는 D120실험체가 1.13을 나타내 실험값이 이론값을 상회하여 나타났으며 WT60 계열에서는 D160 실험체가 1.03을 나타냈다. 정착구의 높이에 따른 일정한 양

상을 보이지 않는 것으로 나타났으며 D0와 SCR-D240 WT100 실험체를 제외한 모들 실험체가 99% 이상의 실험값 이론값비를 나타내 보강 후 실험체들의 성능이 개선된 것으로 판단된다.

4.3.2 보강 효과

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

표 7. 보강 효과

실험체명	P_y(kN)		초기 강성 (kN/mm)	$\frac{P_y}{\delta_y}$	P_{max} (kN)	
	실험치	$\frac{SCR}{SC}$	실험치	$\frac{SCR}{SC}$	실험치	$\frac{SCR}{SC}$
SC(보강전)	106.0	1.00	14.05	1.00	118.0	1.00
SCR-D0 WT100	148.1	1.40	17.01	1.21	163.0	1.38
SCR-D120 WT100	172.8	1.63	18.78	1.34	202.8	1.72
SCR-D160 WT100	154.7	1.46	16.46	1.17	183.1	1.55
SCR-D240 WT100	153.9	1.45	15.71	1.12	177.1	1.50
SCR-D120 WT060	156.0	1.47	17.14	1.22	176.9	1.50
SCR-D160 WT060	159.9	1.51	16.83	1.20	183.7	1.56
SCR-D240 WT060	149.3	1.41	15.72	1.12	179.5	1.52

항복하중은 보강 효과가 1.40에서 1.63사이에 분포하였고 SCR-D0WT100, D240실험체들이 특히 저조하였다. 초기강성은 1.12에서 1.34사이에 분포하였으며 항복하중에 비해 편차가 크게 나타났고 D240실험체들이 가장 저조하였다. 최대하중은 1.38에서 1.72사이에 분포하였으며 D0실험체의 보강효과가 가장 저조하였다. SCR-D120WT100실험체가 모든 항목에서 가장 우수한 보강 효과를 나타냈다.

4.3.3 초기강성 및 내력비와 연성 비교

실험과 해석을 통해서 얻어진 값들을 비교 분석하기 위한 항복내력의 산정방법은 참고문헌(이용택 등, 2002)에서 제안한 방법을 사용하였다. 항복변위는 최대내력과 최대내력의 60%인 강성을 연결하여 만나는 점을 항복변위로 산정하였고, 이때의 내력을 항복내력으로 정의하였다. 또한 실험체는 더 이상의 가력이 불가능할 때까지 가력하거나 최대내력의 80% 이하로 저하 시까지 가력하는 것을 원칙으로 하였다.

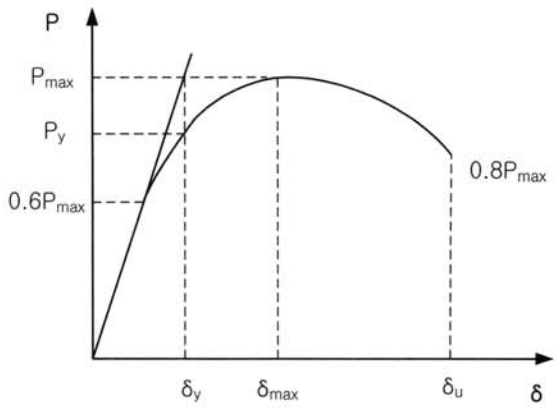


그림 13. 항복내력 산정방법

표 8에 각 실험체별 항복하중, 초기강성, 내력비 및 변위-연성비를 산정하여 나타냈다. 초기강성은 항복하중에 대한 항복변위의 비로 정의 하였으며 내력비는 최대하중과 항복하중의 비로 정의하였다. 변위-연성비는 항복변위와 최대내력의 80%에 해당하는 강도에서 평가한 최대변위의 비로 정의 되며 연성능력을 나타낸다.

표 8 보강 전,후 실험체 초기강성 및 연성분석

실험체명	항복하중			최대하중		내력비	δ_u	변위 연성비
	P_y (kN)	δ_y (mm)	초기 강성 (kN/mm) $\frac{P_y}{\delta_y}$	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	$\frac{P_{max}}{P_y}$		$\frac{\delta_u}{\delta_y}$
SC(보강전)	106.0	7.4	14.05	118.0	12.8	1.11	-	-
SCR-D0 WT100	148.1	8.7	17.01	163.0	14.0	1.10	39.2	4.51
SCR-D120 WT100	172.8	9.2	18.78	202.8	16.6	1.17	51.9	5.64
SCR-D160 WT100	154.7	9.4	16.46	183.1	17.1	1.18	42.1	4.48
SCR-D240 WT100	153.9	9.8	15.71	177.1	19.3	1.15	36.4	3.71
SCR-D120 WT060	156.0	9.2	17.14	176.9	20.7	1.13	44.8	4.80
SCR-D160 WT060	159.9	9.4	17.01	183.7	19.6	1.15	37.6	3.96
SCR-D240 WT060	149.3	9.5	15.72	179.5	23.4	1.20	39.1	4.12

보강전 실험체의 경우 초기강성은 14.05로 나타났으며 내력비는 1.11로 나타났다. 보강 후 실험체인 SCR-D0WT100 실

험체의 초기강성은 17.01, SCR-D120WT100 실험체의 초기강성은 18.78, SCR-D160WT100 실험체의 초기강성은 16.46, SCR-D240WT100 실험체의 초기강성은 15.71, SCR-D120WT60 실험체의 초기강성은 17.14, SCR-D160WT60 실험체의 초기강성은 17.01, SCR-D240WT60 실험체의 초기강성은 15.72로 나타났다.

SCR-D120WT100 실험체의 초기강성은 보강 전 실험체의 1.34배, 보강 후 SCR-D0WT100 실험체의 1.05배의 강성을 나타내고 있으며 정착구의 높이가 240인 D240 실험체의 초기강성은 비교적 낮게 나타났다. δ_y는 보강 후가 보강 전보다 1.15~1.32배 증가하였다. 내력비는 SCR-D0WT100 실험체는 1.10, WT100 계열 실험체의 경우 1.15~1.18로 나타나고 있으며, WT60 계열 실험체의 내력비는 1.13~1.20으로 나타나 안전성이 향상된 것으로 판단된다. 변위 연성비는 SCR-D120WT1
00 실험체가 5.64, SCR-D120WT60 실험체가 4.80으로 나타나 다른 계열 실험체에 비해 연성능력이 우수한 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 포스트텐션 공법을 SC합성보에 대해 적용하여 검토한 기초적 연구이며 이론값과 실험값을 비교 분석하여 얻은 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 최대내력의 실험값/이론값이 보강전은 0.9 보강 후는 0.95~1.13으로 나타나 보강후 실험체의 성능이 향상된 것으로 판단된다. D0WT100 실험체와 SCR-D240WT100 실험체를 제외한 모든 실험체가 0.99 이상을 나타냈다.

(2) 보강 전 중립축과 그 상부에 정착구를 설치한 실험체(D160, 240계열)는 최대내력에서 긴장력의 차이에 따른 변화는 거의 없고 오히려 긴장력이 증가하면 연성이 감소하였으며 보강 후 중립축에 정착구를 설치한 실험체(D120계열)는 긴장력이 증가하면 최대내력이 증가하고 또한 연성도 증가하여 보강 후 중립축에 대한 적절한 긴장력 보강이 매우 유효함을 알 수 있다.

(3) WT100 계열에서는 정착구의 높이가 120인 실험체가 최대내력 및 연성이 가장 우수하게 나타났으며 정착구의 높이가 높아질수록 최대내력 및 연성이 감소하였으나 WT60 계열은 정착구의 높이와 최대내력 및 연성이 정착구의 높이와 상관없이 유사하게 나타나 저 긴장상태에서는 정착구의 높이의 영향이 적은 것으로 판단되다.

(4) 실험결과 보강된 실험체의 연성은 D120계열의 실험체가 가장 높고 그 다음 D160 계열의 실험체, 그리고 D240 계열의 실험체가 가장 낮은 값이 나온 것으로 보아 정착구의 높이가 높을수록 연성능력이 저하되는 것으로 나타났다.

(5) 보강효과면에서 보강 후 중립축에 정착구를 설치하여 긴장력을 강화시킨 SCR- D120WT100 실험체가 초기강성, 최대내력 연성이 가장 우수한 것으로 나타나 정착구의 위치에 따른 긴장력의 조절이 비부착 포스트텐션 합성보의 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문의 교신저자는 2009년도 삼육대학교 학술연구비 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김성배, 김도훈, 서동기, 김상모, 이창남, 김상섭(2004) 포스트텐션으로 보강한 합성보의 내력평가에 관한 연구, **대한건축학회논문집 구조계**, 20권 1호, pp.59-66

류수현, 안형준(2005)장방형 SC보의 휨 내력에 관한 실험적 연구, **대한건축학회 논문집 구조계**, 제21권, 제9호, pp. 55-63.

박승규, 이상윤(2004) 합성섬유로프 인장재로 보강된 RC보의 휨거동. **대한건축학회논문집 구조계**, 20권 8호. pp. 19-26

이용택, 나정민, 김승호, 이리형(2002) 탄소섬유시트로 전단보강된 철근콘크리트 기둥의 거동, **대한건축학회 논문집 구조계**, 대한건축학회, 제18권, 제4호, pp.19-26

한병찬, 윤현도, 박완신, 황선경, 임재형, 문정호(2004) 철근콘크리트 연속보에서 부분프리스트레스 도입에 의한 휨보강 효과에 관한 연구, **대한건축학회 학술발표논문집**, 제24권 제1호, pp.31-34

건설교통부 고시, 건축구조설계규준(KBC2005)

Hamid Saadatmanesh, Pedro Albrecht, Balal M.(1989) Ayyub. Experimental Study of Prestressed Composite Beams. ASCE. Vol. 115, No. 9. pp. 2248-2363.

Hamid Saadatmanesh, Pedro Albrecht, Balal M. Ayyub. (1989) Experimental Study of Prestressed Composite Beams. ASCE. Vol. 115, No. 9. pp. 2264-2381.

(접수일자 : 2008. 4. 1 / 심사일 2008. 5. 6 / 게재확정일 2009. 2. 17)