

철근콘크리트보의 전단내력보강공법에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Rehabilitation Techniques of R/C Shear Member

문희중* 이영재* 유성훈* 김종구** 정란***
Moon, Hee-Jeung Lee, Young-Jae Yoo, Seong-Hoon Kim, Joong-Koo Chung, Lan

ABSTRACT

In this study, the behavior of R/C beam strengthened with carbon fiber laminate(C.F.L) is analyzed from the test results. The purpose of this study is to evaluate the shearing rehabilitation effects of R/C beam with C.F.L. Test parameters are the thickness of C.F.L and existence of stirrups.

Test results show that the shear capacity of specimen without stirrups was increased and shear capacity of specimen with stirrups was not increased due to the insufficient fabrication of specimen and curing.

key words : carbon fiber laminate, rehabilitation

1. 서론

최근 국내에서 잇따르고 있는 철근콘크리트 구조물의 대형 사고로 인하여 철근콘크리트 구조물의 안정성 및 보수·보강에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이에 따른 체계적인 연구 또한 절실히 요구되고 있다. 현재 국내에서는 현장 적용을 목적으로 구조물의 보수·보강 재료와 공법에 관한 실험 및 연구^{1),2),3)}가 각종 연구소에서 진행되고 있으나, 아직은 초기 단계에 머물러 있는 상태이며, 특히 전단보강에 대한 국내의 연구현황은 미비한 상태로 머물고 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 철근콘크리트 부재의 전단 내력을 보강하는데 있어 에폭시 접착 탄소섬유 쉬트공법을 적용하여 그에 따른 보강효과를 실험적으로 비교 분석함으로써 보강방법의 개선방향 제시와 실제 구조물에 적용하기 위한 기초자료를 제공하고자 하는데 있다.

2. 실험계획

2.1 연구의 범위

- (1) 보강판의 두께에 대한 비교 : 두께 0.4mm, 이방향 - 두께 0.8mm, 이방향
- (2) 스티럽의 전단보강 유무에 따른 보강효과
: 스티럽의 전단보강 有, 두께 0.4mm, 이방향 - 스티럽의 전단보강 無, 두께 0.4mm, 이방향
스티럽의 전단보강 有, 두께 0.8mm, 이방향 - 스티럽의 전단보강 無, 두께 0.8mm, 이방향
- (3) 보수·보강된 시험체의 구조성능 검토

2.2 시험체 계획 및 제작

시험체는 연구의 목적을 위하여 다음 그림1과 같이 설계하였으며, 각각의 시험체 변수별 상세는 표 1과 같다. 시험체는 총12개를 각 변수에 하나씩 계획하였으며, 시험체는 전단력에 의해 최대내력에 도

* 정회원, 단국대학교 대학원 건축공학과 석사과정
** 정회원, 한국안전진단 기술연구소 소장, 공학박사
*** 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 연구담당이사

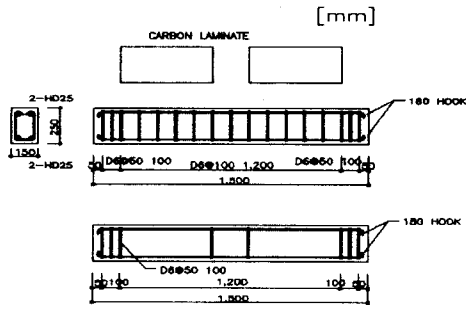


그림1 전단보강 시험체

배근된 시험체의 경우 스트립의 배근은 중앙부 구간(1.2m)에는 D6을 100mm 간격으로 배근하였고, 양 단부 구간(10cm)은 D6을 50mm간격으로 배근하였다. 보 층이 15cm, 25cm인 시험체는 스트리럽근을 배근하지 않았으며, 층이 25cm인 시험체와 동일하게 제작하였다.

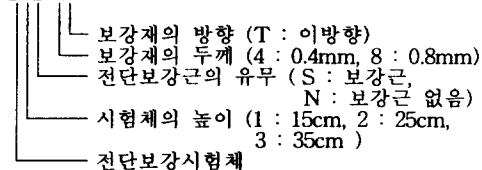
2.3 사용재료

전단보강시험체는 예상압축강도 210kg/cm²으로 레미콘 타설하였으며, 타설 후 시험체는 탈형강도(f'c=120kg/cm²)가 발현될 때까지 증기양생하였고, 이후에는 상온을 유지하도록 하였다. 취급강도(f'c=170kg/cm²)가 발현될 때까지 공장에서 대기양생하였으며, 시험체를 보강하였다. 또한, 공시체는 타설 당시 KS F 2405에 따라서 지름 10cm, 높이 20cm의 원주형 공시체 20개를 제작하였으며, 실험전까지 시험체와 동일한 조건으로 양생하였다. 공시체의 압축강도 실험결과 콘크리트의 28일 평균 압축강도는 193.67kg/cm² 이었다. 철근은 KS B 0801에 의해서 시편을 각각 5개씩 제작하여 인장강도 실험을 하였다. 사용된 콘크리트 배합표 및 28일 압축강도 실험결과와 철근의 인장강도 실험결과, 보수재료 및 보강재의 역학적 성질은 표2와 같다.

표1 전단보강 시험체 변수별 시험체 상세

시험체명	시험체 높이 (cm)	라미네이트 두께* (mm)	보강재 방향	비 고
S2N	25cm	—	—	무보강 시험체
S2N-4T		0.4mm	이방향	
S2N-8T		0.8mm	이방향	
S2S		—	—	무보강 시험체
S2S-4T		0.4mm	이방향	
S2S-8T		0.8mm	이방향	
S3N	35cm	—	—	무보강 시험체
S3N-4T		0.4mm	이방향	
S3N-8T		0.8mm	이방향	
S1N	15cm	—	—	무보강 시험체
S1N-4T		0.4mm	이방향	
S1N-8T		0.8mm	이방향	

S2S-4T



* 탄소섬유 라미네이트 두께 - 0.4mm : 400g/m², 0.8mm : 800g/m²

달하도록 설계하였고, 실험구간의 전단스팬비(a/d)는 2.27, 2.19, 2.5로 각각의 시험체에 적용시켰다.

철근콘크리트보 부재의 전단효과를 파악하기 위하여 휨파괴가 선행되지 않도록 주근의 인장철근비를 각각 3.07%, 5.63%, 2.11%로 설계하였으며, 전단보강근이 있는 시험체의 전단보강근비는 0.26%로 설계하였다. 전단보강 시험체의 보폭은 15cm로 통일시켰고, 층을 15cm, 25cm, 35cm로 3가지 유형을 제작하였으며, 그에 따른 시험체의 길이는 각각 110cm, 150cm, 190cm로 하였다. 기본이 되는 층이 25cm인 시험체의 배근은 인장근, 압축근 모두 2HD-25를 배근하였으며, 스트립이

표2(a) 콘크리트 배합표

배합중량(kg/m ³)				혼화재 (kg/m ³)	배합강도 (kg/cm ²)	W/C (%)	슬럼프 (cm)
물	시멘트	모래	자갈				
201	335	847	942	0.67	210	60	12

표2(b) 전단 시험체 콘크리트 28일 압축강도 실험결과

지름 (cm)	높이 (cm)	단면적 (cm ²)	평균 파괴하중 (ton)	평균 압축강도 (kg/cm ²)
10	20	78.54	15.21	193.67

표2(c) 보강재의 특성

종 류	인장강도 (kg/cm ²)	설계탄성률 (kg/cm ²)	비 고
탄소섬유	4×10 ⁴	2.7×10 ⁶	TZ-307
탄소섬유판	1.95×10 ⁴	1.55×10 ⁶	TZ-307사용

표2(d) 철근의 인장강도 실험결과

철근의 종류	항복강도 (kg/cm ²)	탄성 계수	최대 인장 강도(kg/cm ²)	철근의 사용위치
D6	3132	1.5×10 ⁶	5629	보강시험체의 스트리럽
HD25	4159	1.6×10 ⁶	6329	보강시험체의 상·하부주근

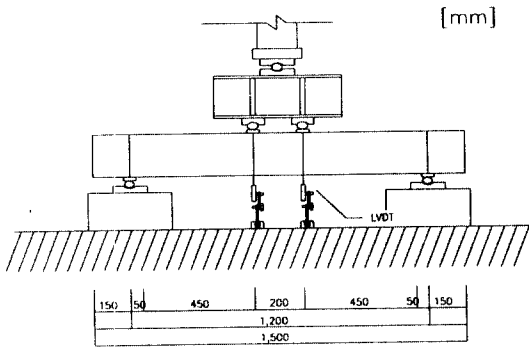
2.4 시험체의 보강

보강판의 시공 이전에 시험체에 대한 초기 하중재하는 없었으며, 각각의 시험체는 에폭시모르터를 이용하여 접착하는 압착공법을 사용하였다. 보강판과 시험체간의 접착효과를 높이기 위하여 사포로 보강판의 접착면을 거칠게 처리하였으며, 시험체의 하지처리시 콘크리트 표면의 핀홀등을 에폭시모르터를 사용하여 처리하였으나, 그라인더를 이용한 먼처리 및 CHIPPING작업은 실시하지 않았다. 보강면의 산정은 전단력 측정구간 전체를 대상으로 하는 것을 원칙으로 하였다. 시험체의 총이 25cm인 시험체(S2N계열, S2S계열)는 보강판을 50cm×25cm로 재단하였고, 에폭시 모르터를 일정두께(2mm)로 바른 후 시험체의 변수에 따라 변화를 주어 압착하였다. 이때 접착효과를 높이기 위해 보강판에도 에폭시모르터를 바른 후 시공하였다. 또한, 총이 35cm인 시험체(S3N계열)는 보강판을 70cm×35cm, 총이 15cm인 시험체(S1N계열)는 보강판을 30cm×15cm로 총이 25cm인 시험체와 동일하게 시공하였다. 보강작업은 겨울철에 이뤄졌으며, 보강 작업 후 양생은 7~10일 이상을 원칙으로 하였고, 0℃ 이하로 떨어지지 않도록 보강시험체를 보온 양생하였다.

3. 실험 및 실험결과

3.1 시험체 설치 및 가력

시험체를 설치할 양단의 힌지는 일정한 지간거리(S2N계열 및 S2S계열 : 1.2m, S3N계열 : 1.6m, S1N계열 : 0.8m)를 유지할 수 있도록 계획하였고, 시험체의 전단력 측정구간은 시험체의 변수에 따라



다르게 하였다(S2N계열 및 S2S계열 : 50cm, S3N계열 : 70cm, S1N계열 : 30cm). 시험체의 가력 및 처짐량 측정위치는 그림2에서 보는 바와 같이 시험체위에 중앙에서 양쪽으로 10cm 씩 떨어진 곳에 힌지를 설치하고, 그 위에 보강된 H-200×200 형강을 올려 놓고 실시하였다. 시험체를 가력하는 동안 시험체에 편심이 발생하지 않도록 가력중심은 추를 이용하여 유지하였으며, 시험체의 수평은 수평기를 이용하여 수평을 유지하였다. 변위의 측정은 시험체의 중앙에서 좌우로 10cm 떨어진 위치에 변위측정기를 각각 설치하여 중앙부의 처짐을 측정하였다. 이때 변위측정기는 보강판위에 철물을 설치하여 측정하였으며,

그림2 전단보강 시험체의 설치상황 (TEST SET-UP)

전단스팬비 내에서 측정이 가능하도록 설치하였다. 하중의 가력은 시험체 예상항복하중의 75%에서 부터 변위제어방식(Displacement Control)에 의해 하중을 가력하였고, 최대하중 이후 급격한 파괴에 일으키는 전단시험체의 특성을 고려하여 시험체의 전단파괴 이후에는 가력을 중지하였다.

3.3 실험결과

모든 시험체는 초기에 시험체의 중앙부에서 휨 균열이 선행하였으며, 이후에 시험체의 단부쪽에서 시작된 사인장균열이 발생한 후 급격하게 전단파괴되었다. 스티럽으로 보강하지 않은 무보강시험체(S2N)의 경우에는 전형적인 전단파괴 양상을 보여주었으며, 최대하중 도달 이후에 급격하게 파괴되는 취성파괴 양상을 보여주었다. 전단보강근비가 0.26%인 무보강시험체(S2S)는 최초의 사인장균열 발생이후 전단보강근의 전단저항으로 계속적인 하중의 증가가 나타났으며, 전단보강근의 항복이후 전단파괴되었다.

시험체의 총에 따른 사인장균열의 수는 총이 가장 작은 S1N 시험체가 가장 많았으며, S2N, S3N 시험체의 순으로 사인장균열의 수는 줄어들었다. 또한, 보강시험체는 무보강 시험체보다 균열의 수가 감소하였음을 실험종료 후 확인할 수 있었다. 무보강시험체의 최대하중시 처짐량은 S2S 시험체가 가장 컸고, S3N, S2N, S1N순으로 나타났으며, 보강시험체 전체는 기준 시험체보다 처짐량의 감소를 나타내었다.

표3 전단보강 시험체 실험결과

시험체명	최대하중 (ton)	최대하중시 처짐량(mm)		보강재 박리하중 (ton)	최대전단력 (ton)	최대하중시 전단응력 (kg/cm ²)
		중앙부 오른쪽	중앙부 왼쪽			
S2N	19.66	6.97	6.64	—	9.83	29.79
S2N-4T	18.90	3.03	3.03	18.80	9.45	28.48
S2N-8T	20.99	4.89	4.10	19.48	10.50	31.81
S2S	22.58	6.57	8.93	—	11.29	34.22
S2S-4T	29.46	4.45	4.34	29.47	14.73	44.65
S2S-8T	25.88	3.57	2.92	25.89	12.94	39.22
S3N	20.82	6.80	7.65	—	10.41	21.68
S3N-4T	24.99	4.09	6.75	24.99	12.50	26.03
S3N-8T	26.84	4.85	6.63	26.84	13.42	27.95
S1N	14.70	6.54	6.91	—	7.35	40.82
S1N-4T	15.04	4.38	6.14	14.92	7.52	41.78
S1N-8T	13.36	2.70	4.58	13.36	6.68	37.11

이방향 보강판으로 보강된 시험체에서는 보강판의 파단이 아닌 보강판의 박리로 인한 파괴를 나타내었고, 보강시험체에서는 중앙부 균열을 제외한 보강면으로 둘러싸인 면에서의 균열은 실험중에 찾기 힘들었으며, 시험체의 전단파괴 후 보강판을 제거하여 균열을 관찰할 수가 있었다. 보강량의 증가에 따른 내력의 증가는 S2S계열과 S3N계열에서 나타났으며, 전체 시험체에 적용시킬 수 있을 정도로는 나타나지 않았다. 전체 시험체의 실험결과는 표3과 같다.

4. 분석 및 고찰

4.1 파괴형상

본 실험에서는 전형적인 사인장균열에 의한 파괴가 이루어졌으며, 충분한 압축철근의 배근으로 시험체 상부면에서의 압축파괴는 없었다. 스티럽을 이용하여 전단보강한 시험체의 파괴양상은 위에서 설명한 전단보강되지 않은 보의 파괴양상과 같았으나, 사인장 균열의 수가 감소하였고, 사인장 균열의 발생 후에도 전단보강근이 항복할때까지 지속적인 하중의 증가를 보여주다가 파괴되었다. 이에 따른 하중의 증가와 처짐량의 증가가 나타났다. 이방향 탄소섬유판으로 보강한 시험체에서는 보강판의 파단에 의한 파괴는 없었으며, 탄소섬유판이 콘크리트 표면과 부착한 상태로 파괴되는 형상과 탄소섬유판의 판분리로 파괴되는 형상을 보여주었다. 이는 콘크리트면과 탄소섬유판의 접착정도에 의한 현상이었으며, 콘크리트 표면과 부착한 상태로 파괴된 시험체는 S2N-4T, S2N-8T, S2S-4T, S2S-8T, S3N-4T, S3N-8T였으며, 이중 S2N-4T 시험체는 기준 시험체보다도 최대 하중 및 전단응력이 낮았고, S2S-8T 시험체는 최대 하중 및 전단응력이 기준 시험체보다는 높게 나타났지만, 보강량에 따른 보강효과와 증가는 S2S계열의 다른 시험체보다 낮게 나타났다.

4.2 보강량에 따른 보강효과

(1) S2N 계열

전단보강근이 없고 보침이 25cm인 S2N 계열의 하중-처짐곡선은 그림3에서 보는바와 같이 나타났으며, 시험체 변수에 따른 최대하중의 차이가 눈에 띄게 나타나지 않음을 알수가 있다. S2N-4T 시험체에서의 최대하중은 오히려 기준시험체보다 감소하였고, S2N-8T 시험체에서의 최대하중만이 약간의 증가를 나타냈다. 시험체의 초기강성은 S2N 시험체와 S2N-8T 시험체가 비슷하게 나타났고, S2N-4T 시험체의 초기강성은 기준 시험체인 S2N 시험체보다 떨어지는 것을 알수 있다. 13ton이후의 처짐량은 S2N · S2N-4T · S2N-8T 시험체순으로 많았으며, 이는 강성의 크기가 이와 반대의 순서를 가짐을 나타낸다. 최대하중시의 처짐량은 S2N-4T, S2N-8T, S2N 시험체순으로 많았으며, 보강한 시험체의 처

짐량은무보강시험체보다 작았고, 이에따른 파괴양상은 더욱 급진적으로 나타났다.

(2) S2S 계열

전단보강근이 있고 보침이 25cm인 S2S 계열의 하중-처짐곡선은 그림4에서 보는바와 같이 나타났으며, 기준 시험체의 전단응력에 대한 전단보강 시험체 각각의 보강 효과는 30.5%(S2S-4T), 14.6% (S2S-8T)로 나타났다. S2S-4T 시험체와 S2S-8T 시험체의 초기강성은 비슷하며, S2S 시험체의 초기강성보다 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 22ton이후에 S2S-8T 시험체의 강성은 S2S-4T 시험체의 강성보다 작게 나왔으며, 이후의 최대하중 또한 낮게 나왔고, 처짐량 역시 적게 나오며 급작스런 파괴를 나타냈다. S2S-4T 시험체의 최대하중보다 S2S-8T 시험체의 최대하중이 낮게 나온 것으로 미루어 보아 보강판과 콘크리트면의 접착이 불량하였음을 알 수 있다.

(3) S1N 계열

전단보강근이 없고 보침이 15cm인 S1N 계열의 하중-처짐곡선은 그림5에서 보는바와 같이 나타났으며, 기준 시험체의 전단응력에 대한 전단보강 시험체 각각의 보강 효과는 2.4%(S1N-4T), -9.1%(S1N-8T)로 나타났다. 초기 강성에서는 S1N-4T 시험체가 S1N 시험체보다 작게 나왔으나, 8ton이후의 하중에서는 오히려 S1N-4T 시험체의 강성이 S1N 시험체의 강성보다 크게 나왔다. S1N-8T 시험체는 초기강성 뿐만 아니라 이후의 강성에서도 S1N 시험체와 S1N-4T 시험체보다 크게 나왔으나, 13ton부근에서 급작스럽게 파괴된 것으로 보아 현장 시공중의 부주의로 인하여 보강판과 콘크리트면 사이에 채워져 있던 공기 때문에 시험체가 낼수 있는 최대하중까지 가지않고 파괴됐음을 알 수 있다.

(4) S3N 계열

전단보강근이 없고 보침이 35cm인 S3N 계열의 하중-처짐곡선은 그림6에서 보는바와 같이 나타났으며, 기준 시험체의 전단응력에 대한 전단보강 시험체 각각의 보강 효과는 20.1%(S3N-4T), 29%(S3N-8T)로 나타났다. 초기 강성은 S3N, S3N-4T, S3N-8T 시험체의 순서로 높게 나왔으며, 전단균열로 인하여 그래프의 기울기가 바뀌는 지점 이후에는 무보강시험체인 S3N의 기울기가 완만하게 이어지는 것으로 보아 보강시험체에서의 파괴는 무보강시험체에서의 파괴보다 급진적으로 나타남을 보여주었다.

무보강시험체보다 최대하중이 높게 나온 보강시험체는 S2N-8T, S2S-4T, S2S-8T, S3N-4T, S3N-8T, S1N-4T이었고, 이를 다시 보강효과의 순서에 따라 보면 S1N-4T, S2N-8T, S2S-8T, S3N-4T, S3N-8T, S2S-4T의 순서가 된다

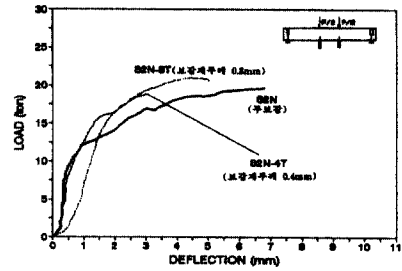


그림3 전단보강근이 없는 S2N(보침 25cm) 계열의 하중-처짐곡선

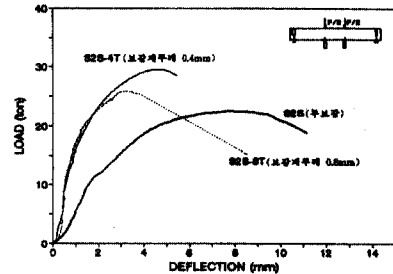


그림4 전단보강근이 있는 S2S(보침 25cm) 계열의 하중-처짐곡선

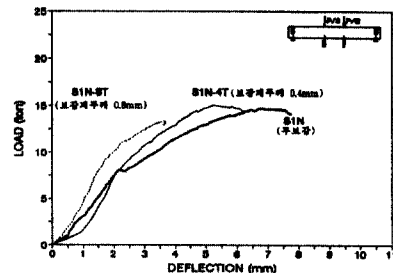


그림5 전단보강근이 없는 S1N(보침 15cm) 계열의 하중-처짐곡선

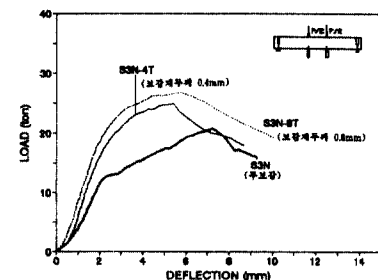


그림6 전단보강근이 없는 S3N(보침 35cm) 계열의 하중-처짐곡선

이중에서 보강판과 콘크리트면의 접착에 문제가 있었던 S2S-8T 시험체만 제외하면, 보강량에 따른 보강효과는, 전단보강 스티럽이 있는 시험체는 전단보강 스티럽이 없는 시험체보다 보강효과가 높게 나왔으며, 콘크리트의 층이 크면 클수록 보강효과는 크게 나왔다. 하지만, S2N-4T, S1N-8T 시험체의 경우에는 기준시험체보다 최대하중이 적게 나왔으며, S2N-8T, S1N-4T 시험체의 보강효과는 매우 작은 양이었고, S2S-8T 시험체는 예외적인 결과가 나왔기 때문에 전체 시험체에 적용시킬수는 없다. 그림7은 무보강 기준시험체의 전단내력에 대하여 전단보강 시험체의 전단보강 효과를 나타낸 것으로 전단보강제의 시공시 공기등을 제거하는 과정에서 보강재 접착에 실패한 S2N-4T, S2N-8T, S1N-8T 시험체의 값은 비교대상에서 제외하였다.

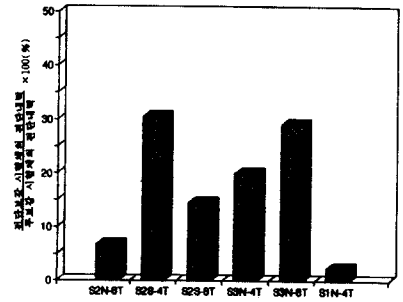


그림7 무보강 기준시험체에 대한 전단보강 시험체의 전단보강효과 비교

5. 결론

철근콘크리트 보의 전단 보강 효과를 파악하기 위하여 탄소섬유판으로 보강한 전단시험체의 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 전단보강근이 없는 S3N계열(보층이 35cm)에서는 보강량에 따라 대략 20~29% 정도의 전단내력의 향상을 나타내었다.

(2) 전단보강근이 있거나(S2S계열 시험체), 전단보강근이 없는 시험체 중 보층이 15cm(S1N계열 시험체), 25cm(S2N계열 시험체)는 뚜렷한 전단보강 효과를 나타내지 않았다. 이는 보강 및 양생이 동계에 이루어진 관계로 시험체의 양생에 문제가 있었기 때문으로 판단된다.

(3) 탄소섬유판으로 측면 보강된 전단시험체의 파괴양상은 콘크리트면과 탄소섬유판의 접착정도에 따른 판분리와 부착파괴의 형태로 나타났다. 콘크리트면과 탄소섬유판의 부착파괴에 의한 대부분의 시험체에서 전단능력의 향상을 가져 왔지만, 전체 시험체에 적용시킬 수는 없었다.

이 실험연구에서는 탄소섬유판의 전단보강 효과를 뚜렷이 규명하지 못하였다. 탄소섬유판을 이용, 전단보강 효과를 얻기 위한 기초 자료 수집을 위해서는 탄소섬유판과 콘크리트면의 접착방법 개선(콘크리트면의 처리방법의 개선, 프라이머 도포작업, CHIPPING작업 및 양생조건)을 위한 연구와 탄소섬유판의 박리 및 면접착파괴에 의한 탄소섬유판과 콘크리트면의 부착강도에 관한 실험의 보다 깊은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 신원건축환경기술연구소의 연구비 지원으로 수행된 연구로써 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 윤성원, 홍영균, "탄소섬유 Sheet를 이용한 콘크리트 구조물의 보강", 콘크리트학회지
- 2) 신영수, 홍기섭, 최완철, 홍영균, "탄소섬유쉬트로 밀면 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동", 대한건축학회논문집 11권 8호 통권 82호, 1995. 8
- 3) 신종욱 "보강재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단내력에 관한 실험적 연구", 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 1996. 12
- 4) Deuring M., "CFRP Laminates in the Construction Industry", EMPA Research Report, Feb. 1994