

炭素纖維시트에 의한 콘크리트 보의 힘補强效果에 관한 實驗研究

An Experimental Study on Flexural Performance of Repaired R/C Beams with CFS

이리형*
Lee, Li-Hyung

이용택**
Lee, Yong-Taek

김승훈***
Kim, Seong-Hun

강윤구****
Kang, Yoon-Koo

Abstract

An experimental investigation was conducted to examine the feasibility of Carbon Fiber Sheet(CFS), a kind of high strength fiber, for a repair and reinforcement method of concrete structures. The experimental program included tests of flexural beams different in wrapping method and amount of CFS. The beams were subjected to monotonic loading.

Although the flexural strength for concrete members increases with wrapping methods of CFS, the reduction factor due to the distribution, amount, bond of CFS should be completely examined. This study approached the effectiveness and application of CFS, along with reinforcement effects of CFS on reinforced concrete beams through tests.

Test results indicated that the increase in the number of CFS layer caused the increase in strength of beams in strength.

1. 서 론

콘크리트 구조물은 설계 시공되어 사용하는 중 구조체에 하자가 발생되어 보수·보강하는 건물의 수가 날로 증가하고 있으며, 이와 같은 하자는 설계 또는 시공 중에 예측하지 못하거나 소홀히 생각했던 것들이 복합적인 원인으로 작용하여 발생하게 된다. 다시말하면, 콘크리트의 낮은 인장강도, 건조

* 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

** 정회원, 충남산업대학교 건축공학과 전임강사

*** 한양대학교 건축공학과 박사과정

**** 한양대학교 건축공학과 석사과정

수축 및 크리이프, 진동, 건물의 노후화, 과다하중, 강도저하 등이 원인이 되어 콘크리트건물에 균열, 변형, 강도저하 등을 일으켜 보강을 필요로 하게 된다.

기존 콘크리트건물의 보강재로는 철근, PC강재, 강판 등이 널리 이용되고 있으나, 최근에는 철근이나 강재의 대체보강재로서 탄소섬유시트(Carbon Fiber Sheet), 아라미드(Aramid), 글라스(Glass) 섬유 등 복합신소재(FRP)가 등장하여 주목을 받고 있다. 이 중, 탄소섬유시트의 기계적 성질은 비교적 강재와 유사한 성질을 가지고 있으면서, 내식성, 비자성, 경량 등의 강재에 없는 특성도 가지고 있기 때문에 최근 선진외국에서는 건축물이나 토목구조물에 적용을 위한 실험을 통하여 부분적으로 실제 적용하고 있는 실정이다. 그러나, 탄소섬유시트로 보강된 콘크리트 부재의 보강효과에 대한 실험연구가 아직 초기단계에 있으며, 그 역학적 특성을 파악하는 것은 실제 적용에 선행하여 해결하여야 할 시급한 과제이다. 또한, 이와 같은 보강재를 사용하여 기존 콘크리트 구조물을 보강할 때, 합리적인 설계 지침이 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기존 콘크리트 구조물의 보수 보강재료로서 고분자 수지 및 복합재료의 하나인 탄소섬유시트를 이용한 보의 휨보강 효과에 대하여 실험을 통하여 검토하고, 나아가 우리나라 실정에 맞는 보강 설계법을 개발하여 실제 구조물에 적용할 수 있는 자료를 확보하는데 그 연구목적이 있다.

2. 실험

2.1 시험체 계획

시험체는 탄소섬유시트의 휨 보강효과를 파악하기 위하여 보강재(강판, CFS), 보강량, 그리고 보강형태와 콘크리트의 강도별로 시험체를 제작하였으며, 표 3에 시험체의 특성을 나타내었고, 그림 1에 시험체 형상 및 배근 상황을 나타내었다. 시험체는 15cm×25cm×200cm, 유효층(d=22cm), 인장철근(2-D13), 압축철근(2-D10) "극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계 기준"에 따라 설계하였으며, 전단파괴를 방지하기 위하여 D10 철근을 10cm간격으로 배근하였다.

2.2 사용재료

실험에 사용한 탄소섬유시트는 표 1과 같으며, 탄소섬유시트의 접착에는 에폭시 수지를 이용하였다. 시험체 제작에 사용된 콘크리트는 강도 210kg/cm²과 150kg/cm²를 사용하였고, 철근의 재료시험 결과는 표 2와 같다.

표 1 보강재의 특성

종류	인장강도 (kg/cm ²)	설계탄성계수 (×10 ⁴ kg/cm ²)	파단변형 (×10 ⁻³)	밀도 (g/cm ³)
중탄성 CF	25,000	2.4	10417	1.82
강판	3,200	1.8	1780	7.86

표 2 철근의 인장강도 시험결과

종류	탄성계수 (t/cm ²)	항복강도 (t/cm ²)	항복변형률 (×10 ⁻³)	인장강도 (t/cm ²)
HD10	1,880	3.83	0.0020	5.44
HD13	2,030	4.66	0.0028	7.70

2.3 실험방법

시험체의 설치상황은 그림 2와 같으며, 그림에서 보는 것과 같이 시험체는 단순보형으로 설치하여

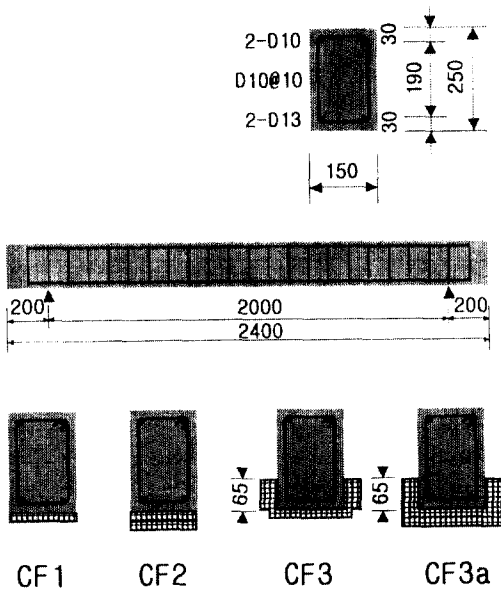


그림 1 시험체의 배근 및 형상

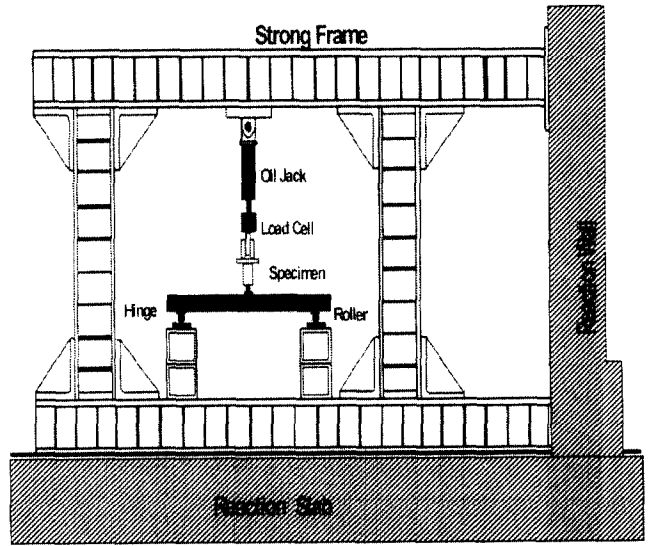


그림 2 시험체의 설치상황

하중은 스패ん중양부에 1점 가력하였다. 또한, 시험체의 중양부에 다이얼 게이지(Dial Gage)를 설치하여 중양부의 처짐을 측정하였다.

균열도입은 시험체 중양부 변위가 스패ん의 1/100이 될 때까지 하중을 가력한 후, 실험을 중지하고 하중을 제거하여 균열부위를 에폭시로 충전하고, 탄소섬유시트로 계획된 변수에 따라, 길이 1.8m로 보강하여 충분히 경화시킨 후, 실험을 다시 실시하였다

3. 실험결과 및 고찰

3.1 파괴 형상

표 3에는 각 시험체의 강도와 파괴양상이 나타나 있다. 기준 시험체인 BNCR2 시험체는 전형적인 휨인장 파괴를 보였으며, 탄소섬유시트를 1점 또는 2점을 보강한 시험체인 BNCR2-CF1, BCR2-CF1, BCR2-CF2, BCR1-CF1, BCR1-CF2의 경우에는 지간중양의 탄소섬유시트의 파단을 보이다가 단부에서 탄소섬유시트의 박리로 시험체가 최종 파괴되었다. 그러나 탄소섬유의 접착면적이 넓은 BCR2-CF3, BCR2-CF3a, BCR1-CF3 시험체는 단부의 탄소섬유시트의 박리에 의한 파괴보다는 중양의 탄소섬유시트의 파단으로 파괴되었다. 강판으로 보강한 경우(BNCR2-S1, BCR2-S2)에는 인장부분에 부착한 강판(2.3mm)이 보와 함께 늘어나다가 중양부 콘크리트의 압축되어 압괴가 일어나 최종 파괴가 되었으나, 인장부분에 유연도가 두께 4.1mm의 강판으로 보강한 시험체(BNCR2-S1, BCR2-S1, BCR1-S1)는 강판이 시험체와 같이 거동하지 않고 강판단부가 먼저 콘크리트와 떨어져나가 파괴가 된다.

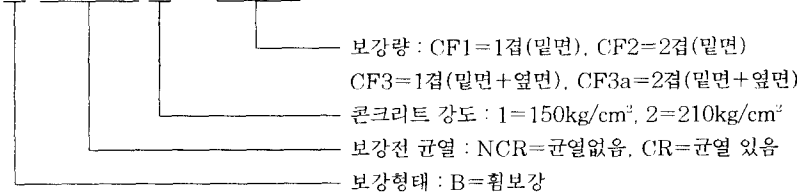
3.2 비교분석

그림 3에서는 기준시험체와 탄소섬유시트의 보강량에 따른 비교 그래프로서 탄소섬유시트의 양이

표 3 실험체 일람표 및 실험 결과

실험체명	실험변수 (보강두께)	초기균열하중		항복 하중	최대 하중	파괴현상
		보강전	보강후			
BNCR2	기준시험체	1.8	-	5.1	6.4	지간중앙 휨인장 파괴
BNCR2-CF1	밑면(1)	-	2.0	5.8	7.4	단부의 CFS 박리+지간중앙 CFS 파단
BCR2-CF1	밑면(1)	1.6	1.2	6.0	7.6	단부의 CFS 박리+지간중앙 CFS 파단
BCR2-CF2	밑면(2)	1.3	1.7	6.3	8.9	단부의 CFS 박리+지간중앙 CFS 파단
BCR2-CF3	밑면(1)-측면(2)	1.6	1.9	6.6	9.0	지간중앙 CFS 파단
BCR2-CF3a	밑면(2)-측면(2)	1.1	2.7	6.6	9.8	지간중앙 CFS 파단
BNCR2-S1	밑면(1)	-	3.2	8.5	9.5	지간중앙 휨인장 파괴
BNCR2-S2	밑면(2)	-	4.7	4.1	11.0	단부 강판 박리
BCR2-S1	밑면(1)	0.9	3.9	8.6	10.0	지간중앙 휨인장 파괴
BCR2-S2	밑면(2)	1.1	3.8	10.7	10.8	단부 강판 박리
BCR1-CF1	밑면(1)	1.1	2.0	6.0	7.3	단부의 CFS 박리 + 지간중앙 CFS 파단
BCR1-CF2	밑면(2)	1.1	1.8	6.0	8.2	단부의 CFS 박리 + 지간중앙 CFS 파단
BCR1-CF3	밑면(1)-측면(2)	1.0	2.7	6.4	9.1	지간중앙 CFS 파단
BCR1-S1	밑면(1)	1.2	3.7	6.2	9.1	지간중앙 콘크리트 압괴

* B N C R 2 - C F 3



증가함에 따라 내력이 증가함을 알 수 있다. 그러나 최대강도 이후에 탄소섬유시트의 단부 박리 또는 중앙부 파단으로 내력이 급격히 떨어짐을 알 수 있다. BCR2-CF3의 경우에는 BCR2-CF2 보다 보강량이 적었으나 부착면적이 넓어 최대강도가 더 높게 측정되었다. 이것은 보의 휨보강효과에서 부착력 또한 중요한 요인이라는 것을 알 수 있다. 물론 보강량과 부착면적이 가장 높은 시험체인 BCR2-CF3a가 최대로 내력이 증가하였다.

그림 4에서는 강판보강효과와 탄소섬유시트의 보강효과를 비교하기 위한 그래프이다. 최대강도는 강판 두께 4.1mm를 인장부분에 보강한 시험체(BCR2-S2)가 제일 높게 나타났으나, 전술한 바와 같이 강판이 단부에서 박리 되면서 내력이 급격히 감소하였다. 그러나, 2.3mm의 강판을 보강한 시험체인 BCR2-S1 시험체는 내력도 증가하고 연성도 어느 정도 확보하고 있다. 이는 강판의 두께가 두꺼울수록 최대강도는 향상되나 그에 반하여 최대강도 이후 내력이 급격히 떨어져 연성이 떨어지는 것으로 나타났다.

그림 5는 콘크리트의 강도별 보강효과를 본 것으로 콘크리트의 강도가 다르더라도 보강량이 같은 것끼리 비슷한 거동을 보인다. 이는 보강재의 양이 콘크리트의 강도보다도 탄소섬유시트의 강도가 부재에 보다 많은 영향을 미치는 요인이라 사료된다.

그림 6에서 보는 것과 같이 무균열 보강 시험체의 경우에도 강판보강 시험체가 강도 및 연성 면에서 제일 높게 나타났으나 강판의 두께가 두꺼운 시험체인 BNCR2-S2시험체의 경우는 앞의 경우와 같이 최대강도는 높게 나왔으나 최대강도이후 내력이 급격히 떨어지는 것을 관찰할 수 있다.

4. 결 론

이상의 제한된 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탄소섬유시트로 보강함으로써 보의 내력을 향상시킬 수 있으며, 그 효과는 보강층수를 증가시킴에 따라 더욱 향상시킬 수 있다.
- 2) 탄소섬유시트를 보의 측면에 부착하면, 부착면적이 확장됨으로써 휨내력 향상에 유효한 보강방법이라 사료된다.
- 3) 보강전에 비하여 보강후의 강성이 약간 저하되지만, 균열발생후의 강성은 상승한다. 또한, 최대하중도 보강전보다 높게 나타났으며, 강성 및 내력에 대한 보강효과가 큰 것으로 확인되었다.

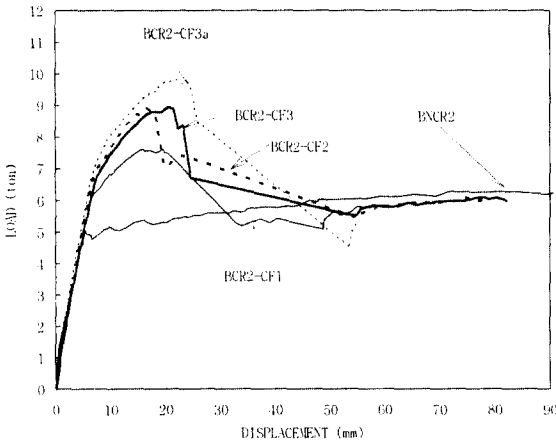


그림 3 보강효과 비교(1)

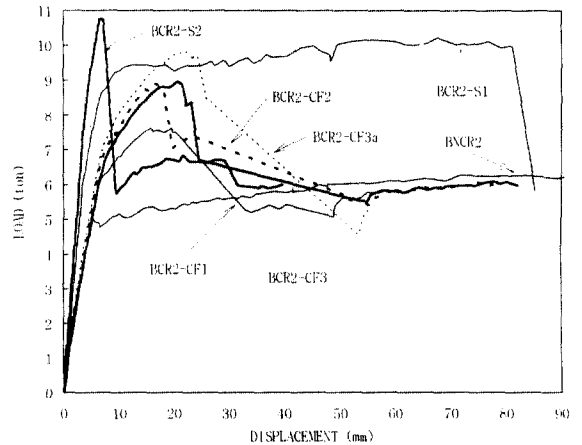


그림 4 보강효과 비교(2)

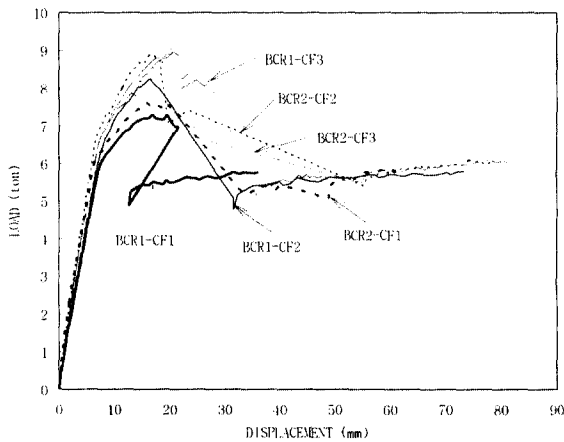


그림 5 보강효과 비교(3)

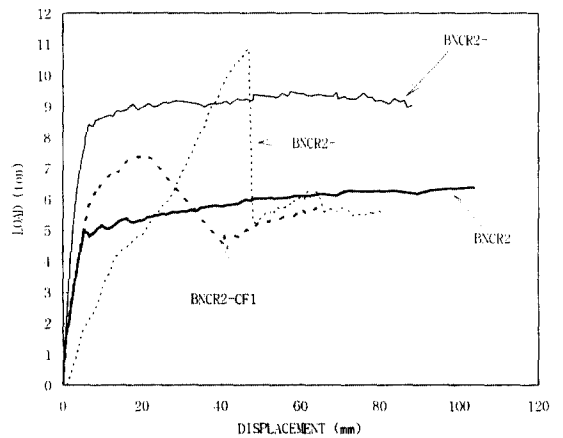


그림 6 보강효과 비교(4)

참 고 문 헌

1. 홍상균, 박기철, 정현수, "보강재를 사용한 철근 콘크리트 보의 내력보강에 관한 실험적 연구", 한국 콘크리트 학회 학술발표 논문집, 1996, 가을, pp. 495-500
2. 류해준, 김병국, 홍기섭, 홍영균, 신영수, 최완철, "에폭시접착 보강 철근콘크리트보의 구조성능에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 1994, 10, pp.458-590
3. 홍영균, 최완철, 홍기섭, 신영수, 김유식, 류해준, "에폭시 접착강판으로 보강된 철근콘크리트보의 구조적 거동에 관한 연구", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 1994, 5, pp.25-29
4. 홍영균, 최완철, 홍기섭, 신영수, 정일영, 류해준, "에폭시 보강된 콘크리트 접합계면의 접착성능", 사단법인 대한건축학회 학술발표논문집, 제14권, 제1호, 1994, 4, pp.423-426
5. 극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준 및 해설, 건설부, 1990
6. Philip A.Ritchie, David A.Thomas, Le-Wu Lu, and Guy M.Connelly, "External Reinforcement of Concrete Beams Using Fiber Reinforced Plastics", ACI Structural Journal, July-August, 1991, pp.490-500
7. 池田尚治 "途中定着部を有する既設鐵筋コンクリート部材のシート狀連續炭素纖維によるせん斷補強效果", 콘크리트工學年次論文集, Vol.15, No.2, 1993.
8. 宇治公陸, "シート狀連續炭素纖維補強材を用いた既設鐵筋コンクリート部材のせん斷耐力向上效果に関する研究", 콘크리트工學年次論文集, 第3巻, 第2號, 1992.7.