

탄소격자섬유로 보강한 RC보의 휨거동에 관한 실험적연구

An Experimental Study on the Flexural Behavior of RC beams Strengthened by CFRP-Grid

조 병 완* 김 영 진** 태 기 호***
Jo, Byung Wan Kim, Young Jin Tae, Ghi Ho

ABSTRACT

Flexural tests on 3.0m reinforced concrete beams with epoxy and anchor bolt bonded CFRP-Grid reported in these tests. The selected experimental variables are concrete compressive strength, strengthening length and strengthening method. The effects of these variables in overall behavior are discussed.

The results generally shown that the main flexural mode of strengthened beams is separation failure. The strengthening of the chipping by the tensile bar is really necessary in order to prevent CFRP-Grid from rip-off failure.

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 시공후 시간이 지남에 따라 여러가지요인, 즉 재료적, 시공적, 환경적, 구조적요인에 의해 성능저하가 나타난다. 이러한 구조물들은 시공직후의 구조내력의 저하가 가장 큰 문제점이 되고, 따라서 꾸준한 유지관리를 통해 강성을 유지시켜 줌으로서 공용기간동안 안전성을 만족시키는 것이 요구된다. 해양구조물의 경우 컨테이너, 화물과 같은 상재하중과 선박에 의한 접안·견인력, 대형크레인하중, 파랑과 조류에 의한 동적하중, 염해에 의한 철근부식의 영향을 끊임없이 받아 구조물의 성능저하현상이 가속화되어 보수나 보강을 해야 하는 사례가 늘어나고 있다. 이러한 이유로 해서 해양구조물, 특히 항만구조물에서는 탄소섬유나 강판의 우수한 성능에도 불구하고 항만특성상 항상 바다와 접해있는 관계로 보수·보강시 어려움이 많은 실정이다. 특히 잔교식 부두나 돌핀식 부두는 해수와 직접 접해있는 관계로 염분과 해수로 인하여 강판이나 Sheet의 경우 강도나 접착성이 떨어지는 문제점이 있다. 이러한 어려움에 따라 개발된 격자형 연속섬유 보강재는 내방식성이 우수하고 가벼워 강도가 크다고 하는 특성이 있고 무엇보다도 강재에 비해 탄성계수가 작아 일본에서는 프리스트레스 콘크리트의 긴장재로서의 사용이 진행되고 있으며, 철근과의 정착이 양호하기 때문에 철근 대

* 정희원, 한양대학교 지구환경건설공학부 교수, 공학박사

** 한양대학교 토목공학과 박사과정

*** 한양대학교 토목공학과 석사과정

체 재료로 이용하고 있는 실정이다.⁽¹⁾

본 연구에서는 격자형 탄소섬유에 관한 문헌이 미비한 관계로 기존의 보강자료를 토대로 격자섬유의 휨거동을 조사할 수 있는 실험을 수행하였으며,^(2,3) 보강시험체는 미리 손상된 보로 가정하여 철근 덮개 5cm를 결손시키고 보강후 보수재료로 마감하였다. 각 실험변수에 따른 보의 거동을 연구함으로써 보강효과 및 그 특성을 분석하였다. 실험변수로는 설계강도, 보강길이, 보강재량, 보강재료가 있으며 rip-off파괴를 방지하기 위해 철근깊이 까지 쪼아내기(Chipping)후 보강을 실시하였다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

본 실험에서 사용된 콘크리트는 설계강도가 각각 210/280/350kg/cm²으로 설계된 레미콘 제품을 사용하였으며, 슬럼프는 15cm, 굵은골재 최대치수는 13mm이다. 철근의 항복응력은 4000kg/cm²인 철근을 사용하였으며, 탄소격자섬유는 탄소섬유 원사를 가공하여 격자형태로 만든 공장규격제품인 C6를 사용하였다. 사용재료의 역학적 성질을 다음 표 1에 나타내었으며, 참고로 그림 1에 격자섬유를 나타내었다.

표 1 사용된 재료의 역학적 성질

물성	항복강도 (kg/cm ²)	압축강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)
콘크리트	-	436	35	2.49×10^5
철근	4000	-	6700	2.04×10^6
CFRP-Grid	1000000	-	12000	1×10^6

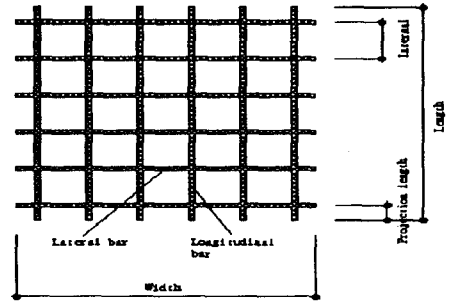


그림 1 그림 2.1 격자형 탄소섬유

2.2 실험변수

본 연구에서 사용된 실험변수로는 설계강도, 보강길이, 보강재량, 보강재료 및 철근덮개 까지 취평 여부를 고려하여 시험체를 제작하였다. 실험변수 및 실험결과를 다음 표 2에 나타내었다.

표 2 실험변수 및 실험결과

시험체 명	설계강도 (kg/cm ²)	보강재료	보강길이 (L)	초기균열하중 (ton)	항복하중 (ton)	파괴하중 (ton)	파괴형태
const1	210	-	-	3.0	11.73	12.1	휨 파괴
1B-L-E2		격자섬유	L	4.3	12.82	15.03	휨 계면박리파괴
1B-L-2M-E2		격자섬유	0.8L	3.6	12.36	14.5	휨 계면박리파괴
1B-L-1.5M-E2		격자섬유	0.6L	3.6	11.76	14.2	휨 계면박리파괴
1B-L-S13		철근	L	3.5	15.86	16.5	휨 파괴
const3	280	-	-	3.3	11.97	13.3	휨 파괴
2B-L-E2		격자섬유	L	4.0	12.55	16.08	휨 계면박리파괴
2B-L-S13		철근	L	4.5	13.65	17.3	휨 파괴
const4	350	-	-	3.6	12.2	13.6	휨 파괴
3B-L-E2		격자섬유	L	3.5	12.55	17.68	휨 계면박리파괴
3B-L-S13		철근	L	5.0	16.82	19.3	휨 파괴

2.3 시험체 제작

철근콘크리트 보 시험체는 단면치수 20×30cm, 인장철근 2-D22, 압축철근 2-D16 순지간 길이 2.8m, 총길이 3.0m로 설계·제작하였으며, 시험체의 전단파괴를 최소화하기 위하여 전단철근인 스트립 D13을 10cm간격으로 설치하였다. 탄소격자섬유 보강시험체는 미리 손상된 보로 가정하여 철근뒀개 5cm를 결손시키고 보강후 보수재료로 마감하였다. 보강한 보강재는 CFRP-Grid를 사용해 보강하였으며, 보강길이는 순지간(L)에 대하여 0.6L, 0.8L, L의 비율로 보강하였다.

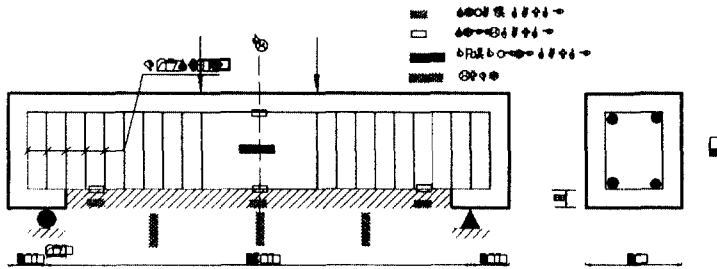


그림 2 시험체 형상 및 제원

2.4 하중재하 및 측정방법

본 실험에서의 하중재하는 100t 규모의 만능시험기를 사용하여 4점 휨재하방법을 적용하였으며, 철근의 항복여부를 판단하기 위해 타설전 2개씩 인장, 압축철근에 설치하였으며 보강재의 변형율을 측정하기 위해 변형율게이지를 설치하였다. 하중재하방법은 초기에 0.5ton 간격으로 재하하였으며 최대하중 근처에서는 중앙부의 처짐을 0.1mm간격으로 일정하게 증가시키는 변위제어방식으로 가력하였다. 이와같이 측정된 데이터는 TDS 601A로 받아드려 컴퓨터를 이용하여 정리하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 파괴양상

실험결과 무보강의 경우 전형적인 휨파괴의 양상으로서 3.0~3.6ton에서 각각 설계강도에 따라 초기균열이 발생하였으며 하중이 증가하면서 균열폭의 확대와 하중가력점 방향으로 확대되었다. 보강시험체의 경우, 초기균열은 보강길이에 따라 약간씩 차이가 있었으며, 0.6L, 0.8L로 보강한 시험체의 경우 보수재와 콘크리트 계면에서 균열의 진전으로 계면박리파괴가 발생하였다. 전지간을 보강한 시험체의 경우 보강단면의 공칭강도를 발휘하고 충분한 연성거동을 보였다.

3.2 하중-처짐

탄소격자섬유로 보강한 시험체의 실험변수별 하중-처짐 관계를 그림 3~6에 나타내었다. 보강길에 무관하게 철근이 항복한 후 일정한 처짐이 증가한 후 보강재가 파단되는 취성거동을 잘 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 철근 추가보강한 경우 그림 3에서 알수 있듯이 상대적으로 비교해볼때 격자섬유보강이 처짐과 균열제어 성능면에서 뛰어난 사실을 알 수 있다.

3.3 보강길이의 영향 분석

보수후 CFRP-Grid로 보강한 RC보의 경우 보강길이에 상관없이 거의 동일한 보강효과를 나타냈지만 보강길이가 0.6L로 보강했을 경우 10%정도의 보강효과가 감소함을 알 수 있었으며 보수계면에서 균열이 성장하여 계면파괴됨과 동시에 휨파괴의 양상을 보였다.[그림 4 참조]. 그러나 강판이나 탄소섬유sheet에서 문제가 되었던 단부에서 발생하는 rip-off파괴는 일어나지 않았다.⁴⁾[그림 5참조]. 그 이유는 아마도 격자섬유 보강시 접착제의 사용을 피하고 앵커볼트로 고정하였기 때문에, 보강방법상 철근 깊이 까지 취핑 후 보강하는 방법을 취하였기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 보강길을 전지간에 대하여 일정길이 이하로 보강하여도 탄소격자섬유의 경우, 단부의 응력집중으로 문제가되는 rip-off 파괴를 방지할 수 있는 것으로 나타났다.

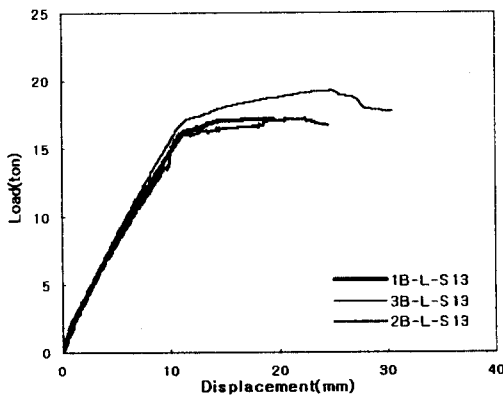


그림 3 하중-처짐 곡선 (추가철근 보강)

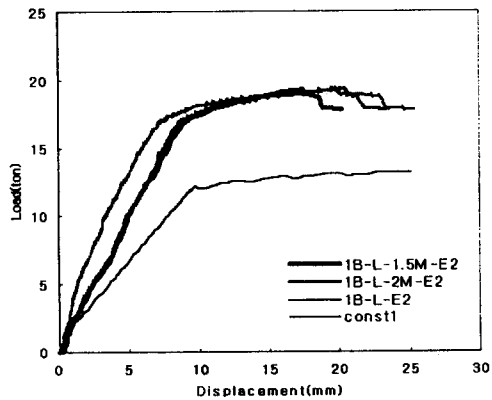


그림 4 하중-처짐 곡선 (보강길이별)

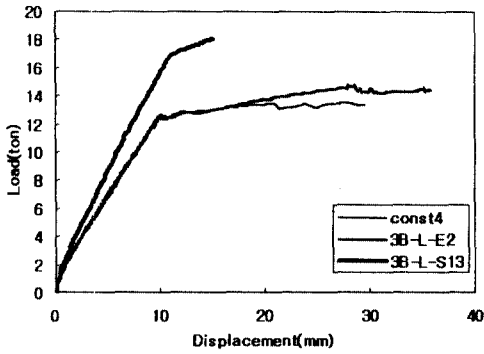


그림 5 하중-처짐곡선 (보강방법별)

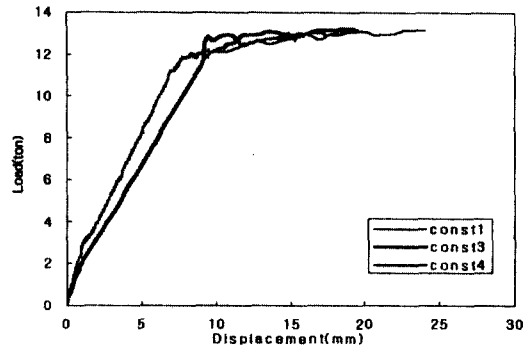


그림 6 하중-처짐곡선 (설계강도별)

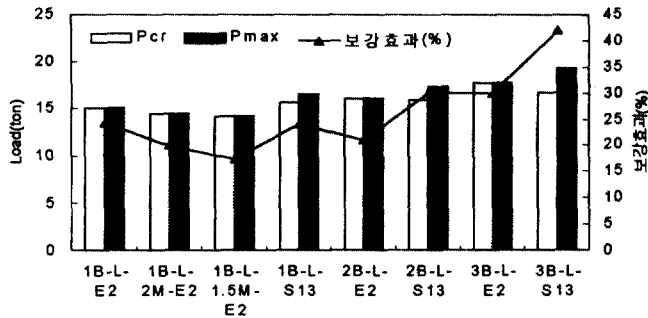


그림 7 실험변수별 보강효과

4. 결론

본 연구를 통해서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. CFRP-Grid 로 보강한 철근콘크리트 보의 경우 각 변수별로 20%~30%정도의 향상을 보였다. 이것은 기대되던 효과에는 미치지 못했지만 보강으로 인하여 주철근 항복 후 강성이 향상되었다. 그러나 탄소격자섬유의 경우 C6를 철근공칭단면으로 환산해보면 0.175cm²로써 D6철근에 가깝다고 말할 수 있다. 따라서 상대적으로 비교해보면 20%~30%의 효과는 상당한 효과를 기대할 수 있다고 말할 수 있겠다.
2. 보수재 타설시 면처리 여부가 보수재의 보수성능을 향상시킨다는 사실을 다시 확인할 수 있었으며,^(5,6) 구조물의 내력을 손상시키지 않는 범위에서 탄소격자섬유로 보강을 할 경우, 인장철근 부분까지 쪼아내기(chipping)를 실시한 후 보강을 해주는 것이 보강효과증진의 측면에서 반드시 필요하다.
3. 휨 실험결과 주된 파괴형태는 휨에 의한 철근항복후 보강재의 취성파괴로 나타났으며, 보강길이나 설계강도에는 큰영향을 미치지 않는것으로 나타났다. 보강길이가 0.6L인 경우, 철근과의 일체성 확보로 인해 rip-off 파괴를 피할수 있었다. 따라서 취성파괴를 피하기 위해서는 일정간격의 앵커볼트를 보강재와 콘크리트에 연결하거나, 철근과의 정착을 확실히 해주는 것이 필요하다고 생각한다.

참고문헌

1. Ritchie, P. A. et. al., " Flexural Behavior and Design of Reinforced Concrete Using FRP Rods" Journal of Structural Engineering ASCE, Vol. 119 No.11, Nov. 1993 pp 3344-3359
2. Sasahara, Wakui, "Flexural Behavior of RC beams externally reinforced by carbon or polyamide fiber, Part 1. "Experimental study on flexural behavior of simple beams" Architectural Institute of Japan, Vol. C, 1986, pp 435-436
3. Sharif, A. et. al., "Strengthening of Initially Loadsed Reinforced Concrete Beams Using FRP Plate." , ACI Structural Journal, V. 91, No. 2, Mar-Apr, 1994 pp 160-168
4. 심중성 외 2명, "손상된 R/C보의 보강후 피로거동에 관한 실험적연구", 대한토목학회 논문집, 제16권, 제 I-2호 1996. 3, pp 135-142
5. 최완철 외 3명, "에폭시접착 강판보강 철근콘크리트보의 역학적거동에 관한 연구", 숭실대학교 생산기술연구소, 1994. 10.
6. 문도영, "보수후 GFRP로 보강된 RC보의 휨거동에 관한 실험 및 해석적 연구" 한양대학교 공학석사학위논문 1998.6