세라믹메탈재를 적용한 RC보의 보강공법에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Strengthening Method of RC Beam Using Ceramic Metal

심 낙 훈* 박 영 석**

Shim, Nak-Hoon Park, Young-Suk

Abstract

The objective of the present study is to understand the strengthening effects of reinforced concrete beam applied the reinforced plates, expended metal and carbon fiber grid with the ceramic metal. In the present study, the bending tests are performed to understand the increasing effects of stiffness and ductility for the strengthening RC beam. Also, the important purpose of the structural tests is to understand the adhesion performance of the ceramic metal. It is expected the present experimental observations as a valuable source in suggestion improved the strengthening method more than this method by analysis of the failure mode for the specimens.

요 지

본 연구에서는 강화보드, 익스팬디드 메탈 그리고, 탄소섬유그리드의 세 가지 보강재와 덮개 콘크리트 대용의 세라믹메탈재를 사용하여 RC보의 인장측을 보강한 경우에 그 보강효과를 파악하기 위한 구조실험을 수행하였다. 구조실험을 통하여 RC보 구조물에서 세라믹메탈재의 부착성능을 평가하였고, 각 보강방법에 대한 강성 증가 효과와 항복 후의 연성 증진 효과를 파악하였다. 그리고, 각 시험체의 실험 결과에 대한 비교를 통하여 더 나은 보강효과를 발휘할 수 있는 방안을 제시하였다.

Keywords : Ceramic Metal, Strengthening Plate, Expended Metal, Carbon Fiber Grid

핵심 용어 : 세라믹메탈, 강화보드, 익스팬디드메탈, 탄소섬유그리드

* 정회원, (주)도우엔지니어즈 기술연구소 과장

** 정회원, 명지대학교 토목환경공학과 교수

E-mail : nhshim71@netffice.com 019-436-8386

•본 논문에 대한 토의를 2004년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2005년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

오늘날의 산업발전과 더불어 물류 수송에 따른 차량 중량과 교통량이 증가하면서 기존의 노후화된 교량에 대한 신설 및 보수·보강 방안이 큰 관심사로 대두되었다. 이에 기존 교량을 철거하고 신설하기 보다는 보수·보강하여 내구성을 확보하고 사용성을 증대시키는 것이 사회적, 경제적으로 더 바람직하다는 인식이 확산됨에 따라 기존 구조물의 대부분을 차지하는 철근콘크리트 구조물의 보수·보강방법이 큰 관심사로 대두되었으며, 지금까지 많은 보수·보강공법이 개발되어 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 지금까지 철근콘크리트 보에서 거의 사용하지 않았던 세라믹메탈재를 사용하여 보강재료를 보의 인장부에 완전히 부착함으로써 기존의 유사한 보강공법에서 큰 문제점으로 지적된 이질재료간의 부착문제를 해결하고 내구성도 향상시킬 수 있도록 하였다.[(1)(2)]

철근콘크리트 교량의 보강공법으로 초창기에 개발된 대표적인 보강공법인 강판을 이용한 보강공법은 부식의 우려가 있으며, 보강 이후의 손상 징후가 강판에 가려 육안으로 확인되지 않으므로 손상상태를 육안으로 확인할 수 없다. 그리고, 아라미드섬유, 유리섬유, 탄소섬유 시트(sheet)를 부착하는 보강공법은 흡수성이 높거나 알칼리에 약하다는 단점뿐만 아니라 시트재료이기 때문에 내부 누수 시 탈락현상이 발생한다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 탄소섬유그리드를 RC보의 인장측에 고정시킨 후에 폴리머모르터를 덧씌워서 부착시키는 공법에 대한 연구가 진행된 바 있다. 이 연구에서도 신·구 콘크리트의 부착 문제가 중요한 변수로 취급되었으며, 이 공법을 적용할 경우에 만족할 만한 보강효과를 얻기 위해서는 신·구 콘크리트 사이의 미끄러짐(slip)을 방지할 수 있도록 구 콘크리트와 덮개 모르터의 부착강도가 무엇보다도 중요한 것으로 나타났다.[(2)]

본 연구에서는 이러한 문제점에 착안하여 구 콘크리트와의 부착성능이 우수한 세라믹메탈재를 덮개 콘크리트 대용으로 사용하였으며, 사용된 주 보강재료에 따라 다음과 같이 3가지로 구분하였다. 첫째, 주 재료로 익스팬디드메탈(expended metal)을 사용하고 덮개 콘크리트 대용으로 세라믹메탈재를 사용한 경우이다. 익스팬디드메탈은 안전 보호망, 건물 칸막이 등으로 사용되는 격자형의 재료로서 가볍고 견고하며 콘크리트와의 접착이 양호하다는 장점이 있으며 강도가 높고 탄력성이 양호하다. 둘째, 탄소섬유그리드와 세라믹메탈재를 사용하여 보강한 경우이다. 탄소섬유그리드는 고성능 연속섬유를 사용하여 격자 모양으로 만들었기 때문에 철근보다 뛰어난 인장강도를 가지며, 격자 교차부의 강도가 상당히 높다. 셋째, 강화보드를 RC보 제작 시에 인장부의 거푸집 내측에 설치하여 콘크리트와 일체화한 경우이며, 이 방법은 공용중인 구조물의 보강보다는 구조물 제작 시에 시공하여 콘크리트 보 등의 인장부에 발생하는 균열을 사전에 방지하고 철근노출 등으로 인한 철근부식을 방지할 수 있으며 내구성을 향상 시킬 수 있는 특징을 지니고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 세 가지의 보강방법에 대한 보강효과를 파악하기 위하여 무보강 시험체 및 보강 시험체에 대한 휨실험을 수행하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

Table 1은 RC보 시험체를 제작하는데 사용한 철근 및 콘크리트의 재료 물성치를 나타낸 것이고, Table 2와 Table 3은 각각 주 보강재료인 익스펜디드메탈과 탄소섬유그리드의 물성치를 나타낸 것이다.

Table 1 RC ! 시험체의 사용재료 물성치

	호칭	단위 중량 (kN/m)	공칭 지름 (m)	공칭 단면적 (m^2)	비고
철근	D29	0.005	0.0286	6.424	인장측
	D13	0.995	12.7	1.267	압축측 스트럽
콘크리트	설계기준강도 fck = 24MPa				

Table 2 익스팬디드메탈의 물성치

호 칭	그물눈 치수(mm)		스트랜드 치수(mm)		연신율 (%)	단위무게 (kN/m^2)
	SW	LW	T	W		
XS32	12	30.5	1.6	2.0	3.00	41.7

Table 3 탄소섬유그리드의 물성치

타입	섬유	수지	비중	인장강도 (MPa)	영계수 (MPa)
C	탄소 섬유	비닐 에스테르	1.42	1,200	1.0×105

2.2 실험방법

본 연구에서는 2.1절에 설명한 주 보강재료와 세라믹메탈재를 조합하여 철근 콘크리트 보의 인장측(하면)을 보강한 경우의 보강효과를 파악하기 위하여 먼저, 폭 40cm, 높이 50cm, 길이 560cm의 RC보를 총 4개 제작하여 무보강 기준 시험체 및 보강 시험체에 대하여 휨실험을 수행하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 측정시스템의 개요도를 나타낸 것이고, Photo 1은 휨실험 전경을 나타낸 것이다. 본 실험에서는 보의 지간 중앙에서 좌우로 각각 67.5cm 떨어진 위치에 하중이

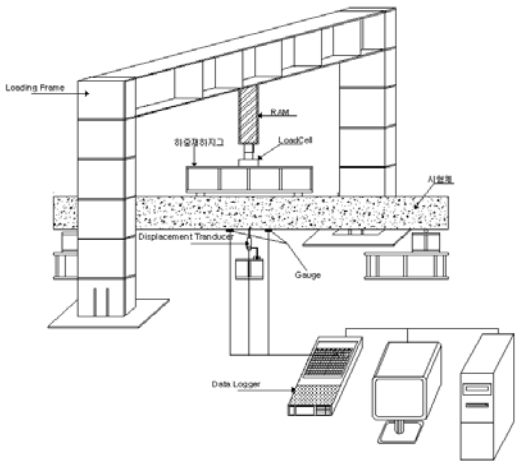


Fig. 1 휨실험 개요도

Photo 1 RC 보의 휨실험 전경

작용하도록 하였으며 재하속도는 약 3kN/sec씩 일정하게 파괴하중까지 증가시켰다. 그리고, 본 실험에서는 보의 지간 중앙부 하단에 수직처짐을 측정하기 위한 변위계를 설치하였으며, 시험체 제작 시 설치한 인장철근의 변형률을 측정하였다. 또한, 하중 단계별로 균열형상을 육안으로 관찰하면서 실험을 수행하였다.

3. 시험체 제원 및 센서 부착위치

3.1 시험체 제원

본 연구의 휨실험을 위하여 총 4개의 RC보 시험체를 제작하였으며 보강 전 시험체의 단면제원을 Fig. 2에 나타내었다.

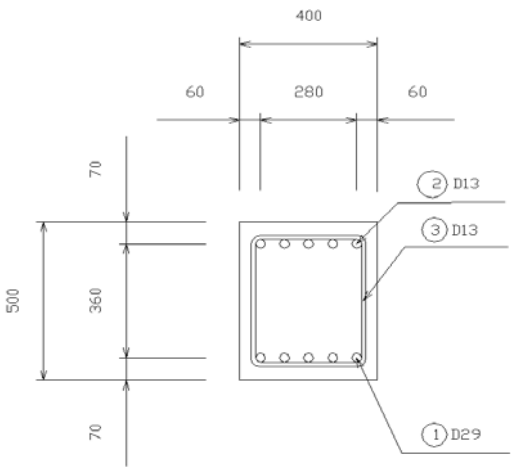


Fig. 2 RC 보 무보강 시험체의 단면제원

3.2 센서 부착위치

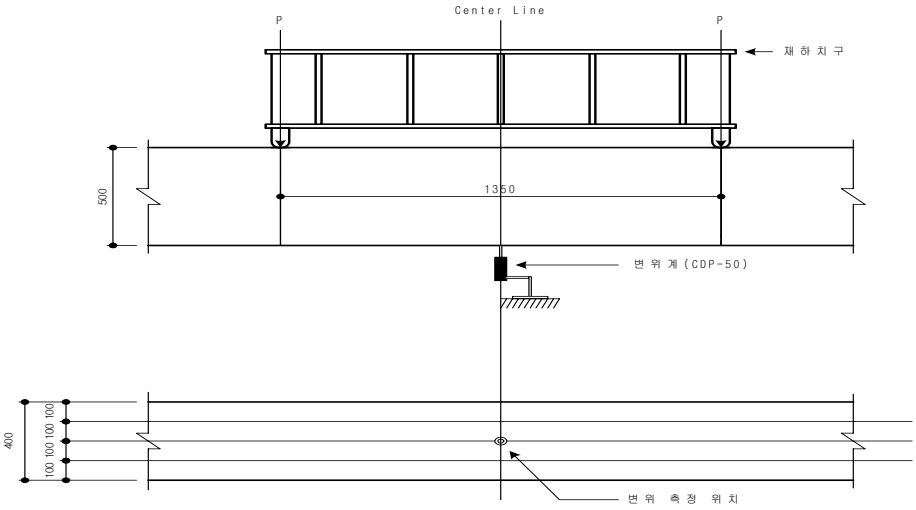


Fig. 3 수직처짐 측정을 위한 변위계 설치 위치

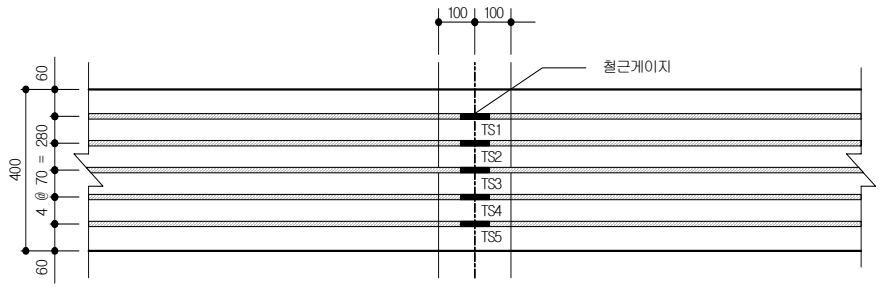


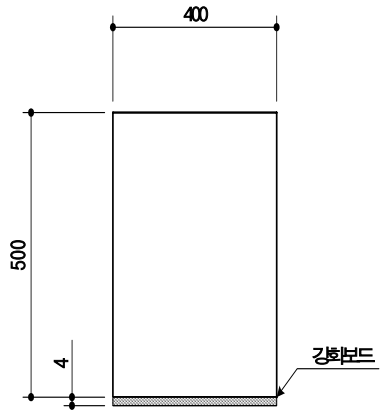
Fig. 4 인장철근 게이지 부착 위치

4. 시험체 보강방법

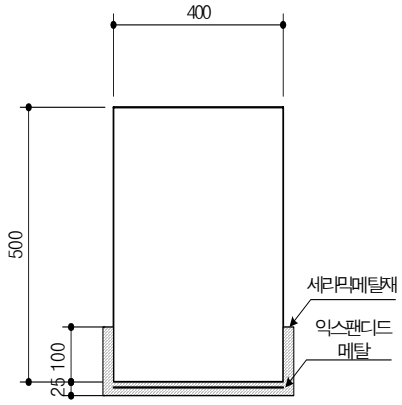
본 연구에서는 3장의 시험체를 이용하여 Table 4와 같이 3가지 방법으로 보강하였으며 보강방법에 따른 보강단면을 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5(a)의 #B2 시험체는 RC보 시험체 제작 시에 인장측의 지간을 3등분하여 강화보드를 각각 거푸집 내측에 설치하고 콘크리트를 타설하여 일체가 되도록 보강한 시험체이다. Fig. 5(b)의 #B3 시험체는 지간 중앙에서 양쪽으로 각각 2m 위치까지 폭 40cm, 길이 1.5m의 익스팬디드메탈 3장을 겹쳐서 앵커볼트로 RC보에 고정한 후에 적당한 공간을 두고 보강단면 외부에 거푸집을 설치하고 세라믹매탈재를 주입하여 보강한 시험체이다. Fig. 5(c)의 #B4 시험체도 #B3 시험체와 같은 방법으로 제작되었으며, 익스팬디드메탈 대신 탄소섬유그리드를 사용하여 제작한 것이다.

Table 4 시험체의 분류

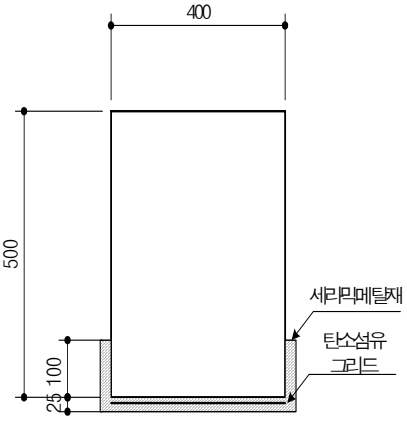
시험체 NO.	보강재료	덮개 콘크리트
#B1	무보강	-
#B2	강화보드	-
#B3	익스팬디드메탈 (expended metal)	세라믹메탈재
#B4	탄소섬유그리드 (NEFMAC)	



(a) #B2 시험체



(b) #B3 시험체



(c) #B4 시험체

Fig. 5 보강 시험체 단면

5. 실험결과 및 분석

5.1 #B1 시험체

무보강 RC보 시험체를 이용하여 휨실험을 실시한 결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 6의 하중-변위 선도와 Fig. 7의 인장철근 하중-변형률 선도에서 항복하중은 약 330kN을 나타내었으며, 이 때의 수직처짐은 23㎜이다. 참고로, 허용응력설계법으로 계산한 항복하중은 약 180kN이고, 초기균열이 발생하는 하중은 약 65kN 이다.[2]

Fig. 7에서 인장철근의 항복 변형률은 약 2300 μ ε 으로 철근의 공칭 항복 변형률보다 크게 나타났으며, 모든 인장철근이 동시에 항복되지 않은 것은 하중작용 시 발생한 편재하 때문인 것으로 판단된다.

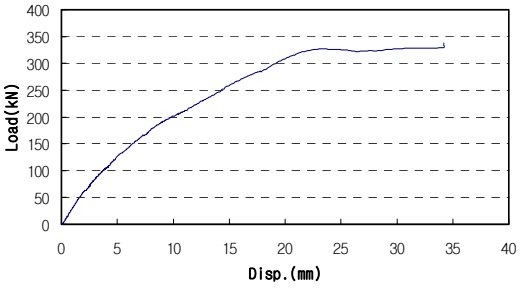


Fig. 6 - (#B1)

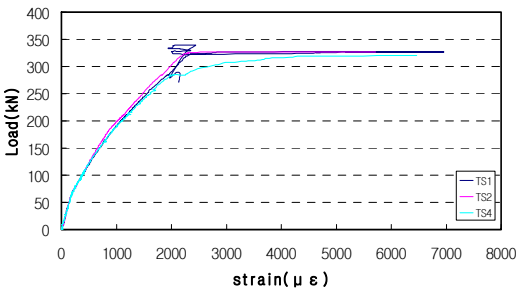


Fig. 7 - (#B1)

5.2 #B2 시험체

철근콘크리트 보 시험체의 인장측 전면에 강화보드를 부착하여 보강한 시험체 #B2의 실험결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 이때의 항복하중은 500kN이며 무보강 기준 시험체(#B1)에 비해 약 52% 증가하였다. 그리고, 강화보드는 전 길이에 걸쳐 일체형이 아니라 3등분하여 부착하였기 때문에 강화보드의 연결부에서 인장파괴가 발생하는 모드로 나타났다. 따라서, 공장제작 및 운반 등의 한계를 극복하면서 강화보드를 RC보의 전 지간에 걸쳐 일체로 보강할 수 있다면 더 큰 보강효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

5.3 #B3 시험체

격자형의 익스팬디드메탈을 앵커볼트를 사용하여 임시로 정착하고 세라믹메탈재를 덮개콘크리트 대용으로 사용한 시험체 #B3의 실험결과를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 이때의 항복강도는 무보강 기준 시험체(#B1)에 비해 약 73% 증가한 570kN을 나타냈으며 상당히 큰 보강효과를 나타냈다. 이 경우의 파괴양상은 초기에 인장측의 세라믹메탈재 표면에 균열이 발생하여 균열폭이 점차 증가하다가 최종적으로 익스팬디드메탈이 끊어지는 양상으로 나타났다. 따라서, 이와 같은 큰 보강효과를 발휘 할 수 있는 것은 이질 재료를 사용한 경우에 문제가 되었던 두 재료간의 부착성 문제를 해결할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다.

5.4 #B4 시험체

탄소섬유그리드와 앵커볼트를 사용하여 시험체의 인장측에 정착한 후에 #B3 시험체와 같이 세라믹메탈재를 덮개 콘크리트 대용으로 사용하여 보강한 #B4 시험체의 휨실험 결과를 Fig. 12와 Fig. 13에 나타내었다. 항복강도는 기준 시험체에 비해 약 76% 증가한 550kN을 나타냈으며, 파괴 양상은 #B3와 같이 최종적

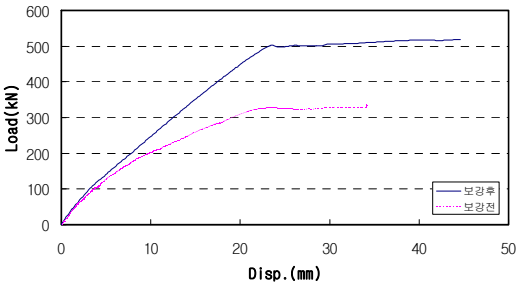


Fig. 8 - (#B2)

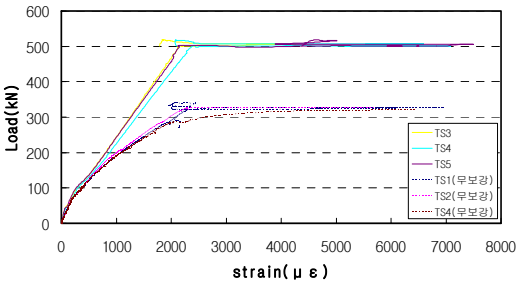


Fig. 9 - (#B2)

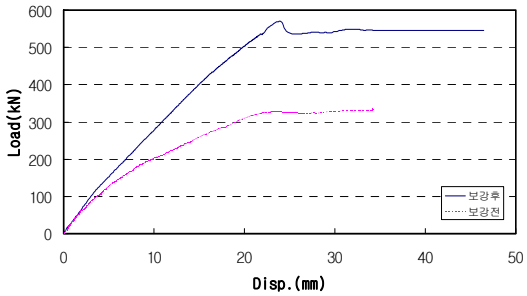


Fig. 10 - (#B3)

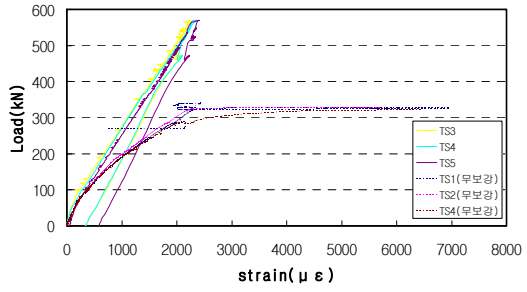


Fig. 11 - (#B3)

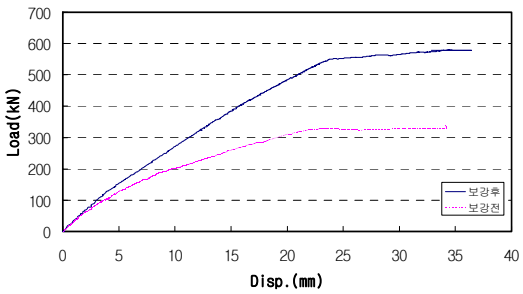


Fig. 12 - (#B4)

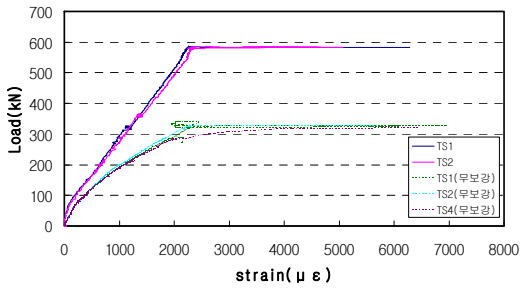


Fig. 13 - (#B4)

으로 탄소섬유그리드가 끊어지는 양상으로 나타났다.

그리고, 이 경우에도 구 콘크리트와 세라믹메탈재의 부착성에 문제가 없었기 때문에 상당한 보강효과를 발휘할 수 있었던 것으로 판단된다. Fig. 12의 하중-변위 선도를 살펴보면, 시험체의 항복 이후부터 파괴하중(약 600kN)까지의 증가율이 다른 경우보다 더 크다는 것을 알 수 있다. 이는 탄소섬유그리드의 인장강도가 다른 재료보다 상대적으로 더 크기 때문에 이러한 강도증진 효과를 발휘하는 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 강화보드만을 사용한 경우와 익스팬디드메탈 또는 탄소섬유그리드를 주 보강재로 사용하고 세라믹메탈재를 덮개 콘크리트 대용으로 사용하여 보강한 세 가지 보강방법의 보강효과를 파악하기 위하여 실물 크기의 RC보 시험체를 제작하여 휨 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 강화보드를 사용하여 보강한 시험체(#B2)는 공장제작 및 운반의 제약조건 때문에 RC보의 전 지간에 걸쳐 일체로 보강하지 못하고 3등분하여 보강했음에도 불구하고 상당히 큰 보강효과(약 52%)를 나타냈다. 따라서, 위의 제약조건을 극복할 수 있는 일체형의 강화보드를 사용하여 시공할 경우에 연결부의 파괴를 방지할 수 있을 뿐만 아니라 더 큰 보강효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 강화보드와 RC 보의 부착성능에 있어서도 큰 효과를 발휘하는 것으로 나타났다.
2) 익스팬디드메탈 또는 탄소섬유그리드를 주 보강재로 사용하고 세라믹메탈재를 덮개 콘크리트 대용으로 사용하여 보강한 경우에도 상당히 큰 보강효과를 나타냈다. 이처럼 큰 보강효과를 발휘할 수 있는 것은 주 보강재의 강도보다는 구 콘크리트와 완전히 부착하여 주 보강재를 지탱해줄 수 있는 덮개 콘크리트 대용의 세라믹메탈재가 우수한 부착성능을 발휘하여 재료분리가 발생하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.
3) 탄소섬유그리드와 세라믹메탈재를 사용하여 보강한 시험체의 경우에는 다른 보강 시험체에 비해 항복하중이 더 높거나 같은 수준이며, 항복하중 이후부터 파괴하중에 도달할 때까지의 하중 증가율이 더 크게 나타났다. 이는 탄소섬유그리드의 인장강도가 다른 재료에 비해 크기 때문에 더 높은 강도증진 효과를 발휘한 것으로 판단되며, 이 보강방법이 본 연구에서 사용한 방법 중에 가장 양호한 보강방법임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 2001년 건설핵심기술연구개발사업으로 이루어진 것으로, 본 연구를 지원해 주신 한국건설교통기술평가원 및 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, “세라믹메탈재를 적용한 수중콘크리트 구조물의 보수·보강공법 개발”, 2002.
2. 심낙훈, 김정재, 박영석, “탄소섬유그리드를 이용한 RC보의 보강효과에 관한 실험적 연구”, 한국구조물진단학회, 2002. 7.
3. 한국콘크리트학회, “철근콘크리트 구조설계 매뉴얼”, 1995.
4. 한국콘크리트학회, “콘크리트표준시방서”, 1999.
5. Edward G. Nawy, "Reinforced Concrete", Prentice Hall.
6. John L. Clrakc, Alternative Materials for the Reinforcement and Prestressi-ng of Concrete", Blackie Academic & Professional.
7. Ritchie, P. A. et. al., "Flexural Beha-vior and Design of Reinforced Concr-ete Using FRP Roads", Joural of Structural Engineering ASCE, Vol.119 No.11, Nov.1993 pp.3344-3359.

(접수일자 : 2004년 3월 22일)