탄소섬유메쉬와 모르터로 전단 보강된 RC보의 거동에 관한 연구

Structural Behavior of Reinforced Concrete Beam Strengthened in Shear by Carbon Fiber Mesh and Mortar

서 수 연* 윤 승 조* 이 우 진** 이 종 규***

Seo, Soo-Yeon Yoon, Seung-Joe Lee, Woo-Jin Lee, Jong-Kyu

Abstract

The purpose of this study is to investigate shear strengthening effects and behaviour of RC beams strengthened in shear by Carbon Fiber Mesh(CFM) and mortar for fixing CFM to concrete. Test parameters in experiment are shear span-to-depth ratio, layout of CFM and number of clip. From the test, it was shown that the governing failure patten was the bond failure between cover mortar and RC beam initiated at about 60% of maximum strength. And the strength of CFM was developed up to 19.6% of it's maximum tensile strength when the specimen reached to failure. The most effective enhancement using CFM and mortar were to attach CFM diagonally to concrete in a/d of 1.0 and increase the number of cilps in a/d of 1.5, respectively.

요 지

본 연구의 목적은 CFM으로 전단 보강된 보의 실험으로 CFM의 전단 보강 효과를 평가하는 것으로서, 실험 변수는 메쉬의 배치 방향, 정착 클립의 개수, 전단 스팬비이다. 실험에서, 전체적으로 모르터와 RC보에서의 부착 파괴는 가력 초기부터 발생하여 최대 내력의 약 60% 정도에서 완전히 파괴되었으며, 전단 내력에 대한 CFM의 기여도는 CFM 최대 인장 강도의 약 19.6%인 것으로 나타났다. 또한 전단 스팬비가 1.0인 경우 대각선 방향으로 메쉬를 배치할 때 전단 보강 효과가 높은 것으로 나타났으나, 1.5인 시험체의 경우, 정착 클립의 개수가 많을 경우 보강 효과가 높은 것으로 나타났다.

Keywords : Shear strengthening, Carbon Fiber Mesh(CFM), Mortar

핵심 용어 : 전단 보강, 탄소섬유메쉬, 모르터

* 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수

** 정회원, 충주대학교 건축공학과 시간 강사

*** 학생회원, 충주대학교 건축공학과 석사과정

E-mail : syseo@chungju.ac.kr 043-841-5211

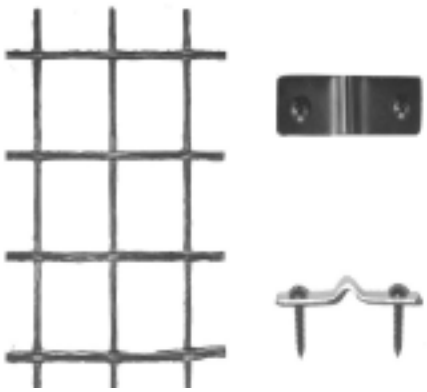
• 본 논문에 대한 토의를 2004년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2004년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 기존 건축물에 대한 Remodeling 및 용도 변경이 많이 행해지고 있다. 이러한 노후화된 기존 건축물에 대해 요구되는 안전성과 사용성을 높일 목적으로 많은 보강 방법이 행해지고 있으나, 현재 가장 널리 사용되는 보강 방법은 부착식 보강 방법으로 강판 보강, FRP계 신소재(탄소 섬유, 아라미드 섬유, 유리 섬유 등)를 이용한 보강 방법이다. 이러한 부착식 보강 방법은 보강재인 강판과 FRP계 신소재의 재료적인 높은 성능을 기존 구조체에 부여함으로써 건축물의 성능을 높이게 된다. 하지만 이러한 여러 보강 방법에서 보강재가 기존 구조체에 대해 밀착이 완전히 이루어지지 않거나, 사용성에 있어 외기의 영향으로 인한 조기 부식과 박리 등이 발생할 가능성이 높다, 특히 화재 발생 시 보호 피복의 부재로 보강재의 조기 파괴 우려가 큰 문제점으로 지적되고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위해 개발된 것이 Hy-Grid CFM (Hybrid Grid Carbon Fiber Mesh, 이하 CFM이라 함)이다. 이 공법에서, 탄소 섬유 메쉬(CFM) 탄소섬유를 기본으로 제작된 Mesh로 기존 구조체에 정착 철물에 의한 정착되며 그 위를 보강 모르터로 마감함으로써, CFM의 정착 성능을 향상시키고 내구, 내화성을 증대시킬 수 있다. 그러므로 보강 모르터(피복)에 의해 CFS나 강판 보강에 있어 문제가 되는 외기 영향의 차단과 화재로부터 보호할 수 있으며, 또한 모재 콘크리트 균열 발생 시 육안으로 확인할 수 있는 장점이 있다. 또한 CFM은 신축 구조체에서 철근 대용으로 사용될 수 있다.[4] 이러한 CFM을 보강재로 사용하기에는 보강방법과 보강효과 등에 대한 실험 및 설계 자료가 필요하지만, 최근까지 CFM의 보강 성능과 사용성에 대한 자료는 극히 미미한 실정이다.

이에 본 연구는 기존 연구[2,3,4,5]를 바탕으로 전단 스팬비를 1.0과 1.5로 하고, CFM의 전단 보강에 있어 배치 방향, 정착 클립의 개수를 변수로 실험을 실시하여 CFM의 보강 효과를 분석하고자 한다.



(a) CFM (b) Clip set

Fig. 1 CFM과 Clip set

2. 실험 개요

2.1 시험체 제작 및 보강 형태

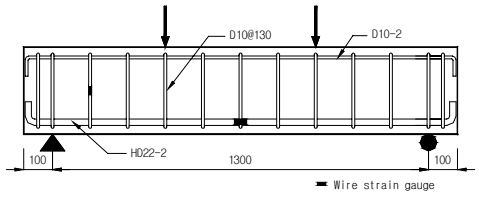
본 연구에 사용된 시험체 형상은 Fig. 2에, 시험체의 보강 상세는 Table 1에 나타내었다. 시험체의 전단 보강은 Fig. 1(a)와 같은 직경 유효 단면적 4.5mm 원형 탄소 섬유로 구성된 CFM과 모르터를 이용한 측면 보강 방법으로써 CFM은 해당 보강 면적에 맞게 전동 절단기로 절단하여 사용하였다.

Table 1 시험체 일람표

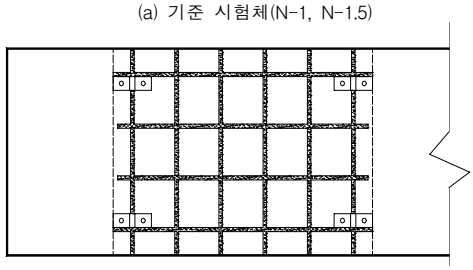
시험체	a/d	메쉬 방향	정착 클립 개수 및 위치	모르터 (mm)
N-1	1.0	-	-	-
HI-1-4	1.0	수평	4개(각 모서리)	30
HI-1-8	1.0	수평	8개(수직 메쉬 상·하부)	30
DI-1-4	1.0	대각	4개(각 모서리)	30
N-1.5	1.5	-	-	-
HI-1.5-4	1.5	수평	4개(각 모서리)	30
HI-1.5-12	1.5	수평	12개(수직 메쉬 상·하부)	30
DI-1.5-4	1.5	대각	4개(각 모서리)	30

HI-1-4
- 정착 클립 개수
- 전단 스팬비(1.0, 1.5)
- CFM의 배치 방향 및 보강 형태 (N: 무보강, HI: 수평 측면, DI:대각 측면)

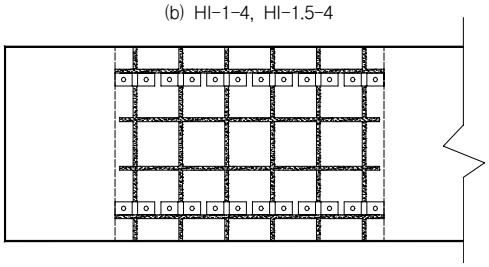
CFM의 부착은 전동 드릴로 기준 시험체를 천공한 후 25×φ4.5mm 규격의 나사못을 전동 드릴로 박아 고정하였다. 고정에 사용된 정착 클립은 Fig. 1(b)와 같으며 규격은 20×65×1.5mm이다. CFM 정착 전 보강 구역은 조면 처리를 실시하여 부착 성능이 향상되도록 하였으며, CFM 정착 후 물:초속경 모르터의 중량 혼합비(1:5.5)로 배합된 모르터를 보강면에 물을 적신 후 두께 30mm로 마감하였다.



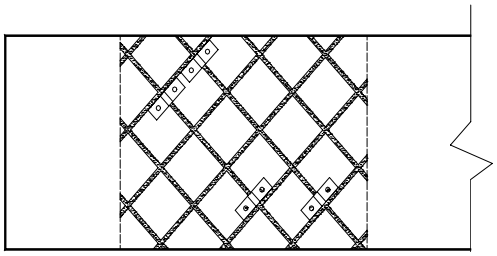
(a) 기준 시험체(N-1, N-1.5)



(b) HI-1-4, HI-1.5-4



(c) HI-1-8, HI-1.5-12



(d) DI-1-4, DI-1.5-4

Fig. 2 기준 시험체 및 보강 상세

2.2 사용 재료

시험체에 사용된 CFM, 정착 클립, 무수축 모르터, 철근, 콘크리트에 대한 재료 시험을 실시하였으며 이들 시험에 대한 결과는 Table 2 및 Table3과 같다.

Table 2 보강 모르터 및 콘크리트

구분	규 격 (cm)	재령 (일)	압축 강도 (MPa)
콘크리트	φ10×20	28	24
보강 모르터	□5×5×5	20	34

Table 3 철근 및 보강재

호 칭	항복 강도 (MPa)	인장 강도 (MPa)	연신율 (%)
D10	374	561	26
D22	442	611	24
CFM	-	883	1.6
정착 클립	245	333	-

2.3 실험 방법

Fig. 3는 CFM으로 전단 보강된 시험체의 전단 보강 성능을 평가하기 위한 실험의 설치 상황을 나타낸 것으로, 전단 스팬비에 따라 2점 가력을 적용했으며, 시험체의 변위와 철근의 변형은 LVDT와 W·S·G로 측정하였다. 그리고 실험 중 측정된 데이터는 Data Logger(TDS-602)에 의해 획득하였다.

Fig. 3 시험체 설치 상황

3. 실험 결과 및 분석

3.1 보강 효과

3.1.1 a/d=1.0 시험체

전단 스팬비가 1.0인 시험체의 하중-변위 곡석은 Fig. 4와 같다. 무보강 시험체 N-1에 대한 보강 시험체의 곡선은 전체적으로 비슷한 양상을 보이나, 최대 내력에서 대각선 방향 보강 시험체 DI- 1-4는 무보강 시험체에 대해 약 1.12배의 내력 증가를 보이고 있다. 그리고 기본적 보강 시험체인 HI-1-4 시험체와 정착 철물의 개수를 증가시킨 HI-1-8 시험체는 각각 1.03, 1.10으로 낮은 보강 효과를 나타내었다. 보강 시험체의 강성은 Table 4에 나타낸 바와 같이 정착 클립의 개수가 증가된 HI-1-8 시험체에 비해 기본적 보강을 실시한 HI-1-4 시험체가 가장 높은 강성 증가를 나타내었다. 즉, 정착 클립의 증가는 결과적으로 내력의 증가와 안정적인 전단 거동에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 모든 시험체는 초기 휨 균열에서 점차적으로 전단 균열로 전이되는 최종 전단 파괴로 이어졌다. 또한 보강 모르터의 경우 낮은 하중에서 모재와 모르터의 경계면에서 균열이 발생되어 계속적인 증가를 보였으며, 전단 균열이 발생하고 난 다음 급속한 부착 파괴가 이루어졌다.

보강 시험체의 연성은 Table 4에 나타낸 바와같이 모든 시험체가 기준 시험체에 미달되는 것으로 나타나 보강 효과의 증진과 연성의 증진을 동시에 얻을 수 있는 연구가 필요한 것으로 사료된다.

3.1.2 a/d=1.5 시험체

전단 스팬비가 1.5인 보강 시험체의 하중-변위 곡선은 Fig. 5와 같다. 기본적 보강을 실시한 HI-1.5-4 시험체의 경우 내력 증가는 기준 시험체에 비해 1.07배를 나타내어 다소 낮은 증가를 나타내었으며, HI-1.5-12

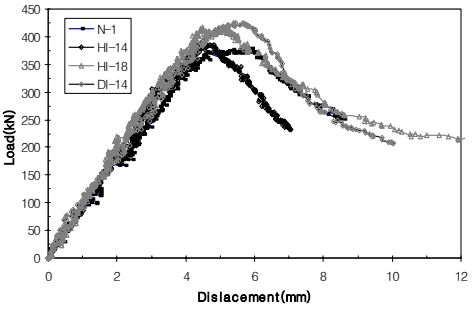


Fig. 4 a/d 1.0 시험체의 하중-변위 관계

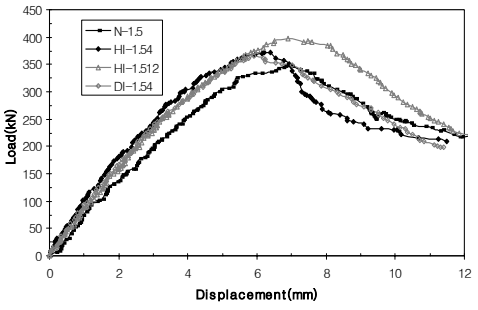


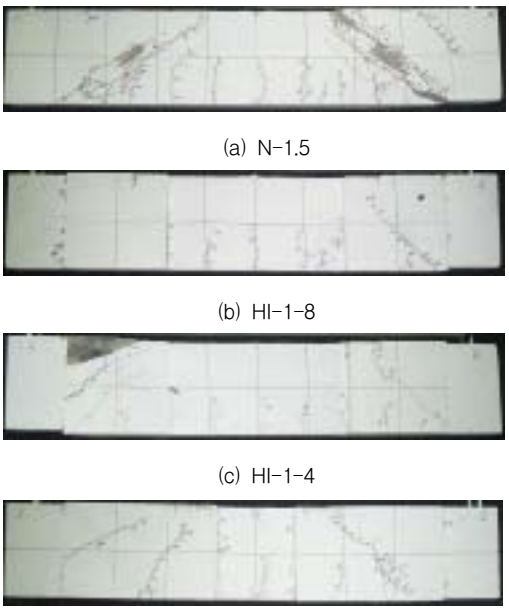
Fig. 5 a/d 1.5 시험체의 하중-변위 관계

Table 4 실험 결과

시험체명	하중(kN)				처짐(mm)		δ2/δ1	강성비	파괴 양상
	초기 휨균열	초기 전단 균열	Pmax	항복강도 (0.85max)	0.85max (δ1)	Pmax (δ2)			
N-1	59.8	156.8	370.5	314.9	3.70	5.92	1.60	1.00	S
HI-1-4	79.4	210.8	383.3	325.8	3.84	4.55	1.18	1.51	B・S
HI-1-8	101.9	230.4	406.8	345.7	3.76	4.50	1.20	1.18	B・S
DI-1-4	85.3	215.6	416.6	354.1	4.04	5.68	1.41	1.20	B・S
N-1.5	29.4	101.9	340.2	289.1	4.75	6.98	1.47	1.00	S
HI-1.5-4	58.8	176.4	364.7	309.9	4.22	6.22	1.47	1.42	B・S
HI-1.5-12	68.6	294.1	389.2	330.8	4.92	6.90	1.40	1.16	B・S
DI-1,5-4	46.1	264.7	357.8	304.1	4.44	6.12	1.38	1.21	B・S

* S : 전단 파괴 B・S : 보강 모르터의 부착 파괴 후 모재 전단 파괴

시험체와 DI-1.5-4 시험체의 내력 증가비는 각각 1.14와 1.05를 나타내 정착 클립수가 많을 경우 보강 효과가 높다는 것을 알 수 있다. 전단 스팬비가 1.0인 시험체와 비교에서 CFM의 대각 배치는 1.0일 경우, 즉 전단 지배일 때 내력 증가 부분에서 효과가 있으나, 1.5인 전단과 휨이 동시 작용할 때는 그다지 큰 효과가 없는 것으로 판단된다. 보강 시험체의 강성 비교에서 정착 클립이 증가한 HI-1.5-12 시험체보다 기본적 보강 시험체인 HI-1.5-4 시험체가 가장 높은 증가를 나타내었다. 이 결과는 a/d가 1.0 시험체와 같은 경향을 나타내는 것으로 정착 클립의 증가는 강성의 증가에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 또한 휨 균열을 시작으로 점차 전단 균열로 전이되어 파괴되는 양상을 나타내었으며, 측면 보강 모르터의 부착 파괴는 초기 전단 균열이 발생하기 이전 경계면을 따라 균열이 발생하여 하중이 증가함에 따라 부착 파괴가 더욱 활발해졌다. 이러한 보강 모르터의 조기 부착 파괴로 인해 부착에 의한 전단 내력 기여도는 거의 없었으며, 단지 정착 클립에 정착된 탄소 섬유 메쉬에 의한 내력 증가로 결과에서 보듯이 보강 효과가 낮은 것으로 나타났다.



(a) N-1.5

(b) HI-1-8

(c) HI-1-4

(d) HI-1.5-4

Fig. 6 최종 파괴 사진

3.2 보강 모르터의 일체 거동

Fig. 7는 보강 시험체에서 기존 콘크리트와 보강 모르터의 일체성 및 부착 파괴 거동을 알아보기 위해 기존 콘크리트 표면과 보강 모르터 표면에 부착한 게이지의 위치를 나타내며, Fig. 8은 측정된 하중-변형도 곡선을 나타낸다.

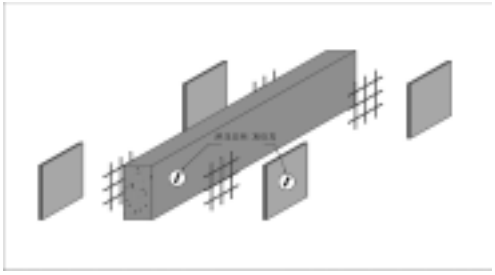
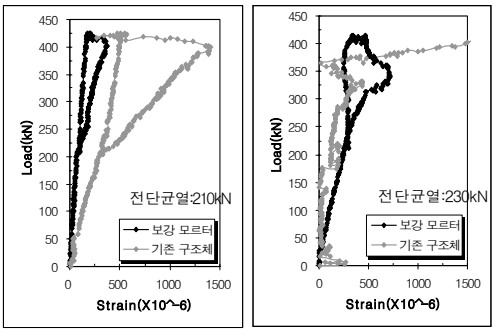
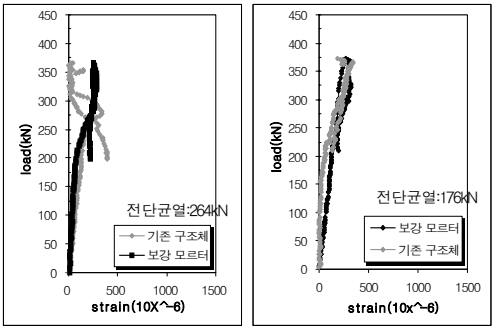


Fig. 7 게이지 부착 위치



(a) DI-1-4 (b) HI-1-8



(c) DI-1.5-4 (d) HI-1.5-4

Fig. 8 보강 모르터와 기존 구조체의 변형률 비교

Fig. 8에서 나타난 바와 같이 모든 시험체는 가력 시작 후 부분적인 부착 파괴가 진행되었으며, 전단 균열발생 이후 급격한 변형률의 차이를 보이는 것으로 보아 전단 균열 이후 완전한 부착 파괴가 발생되는 것으로 판단된다. 전단 균열 발생시점을 완전 부착 파괴의 기준으로 잡을 경우 최대 내력의 평균 60%정도인 것으로 나타나 최대 내력에 도달하기 이전 부착은 모두 파괴되어 전단내력 증가에 아무런 기여를 하지 않는 것으로 나타났다.

부착 파괴가 발생되고 난 후 전단 내력의 기여는 정착 클립에 의해 정착된 CFM에 의해 내력 증가가 된 것으로 판단된다. 전단 스팬비가 1.0인 시험체의 경우 전단 균열이 발생된 이후 큰 차이의 변형률을 나타내는 반면, 보강 면적이 넓은 1.5시험체는 전단 균열시 1.0 시험체 보다는 적은 변형률의 차이를 보이고 있다. Fig. 6에서 나타나듯이 무보강 시험체의 표면은 많은 균열이 발생하였지만, 부착 파괴를 일으킨 보강 시험체의 표면은 중앙부의 휨 균열과 보강 모르터 표면에 아주 작은 균열만이 형성되었다. 그러므로 기존 구조체의 변형에 동반된 거동을 할 수 있는 보강 모르터의 재료와 부착력 개선이 요구된다.

3.3 CFM의 기여도

보강재인 CFM의 전단 내력 기여도를 평가하기 위해 무보강 시험체의 전단 내력을 기준으로 보강 시험체의 증가된 전단 내력을 산정하였으며, 이를 보강된 CFM의 변형률을 사용하여 기여도를 산정하였다. 본 연구의 전단 보강에 사용된 CFM의 전단내력에 대한 기여도는 Table 5과 같다.

Table 5 시험체별 CFM 기여도

시험체	하중 (kN)		CFM의 변형률 ($\times 10^{-6}$)	CFM의 효율(%)
	증가 내력	CFM 기여분		
HI-1-4	12.7	12.2	1560	27.7
HI-1-8	23.5	23.0	1170	20.8
DI-1-4	46.1	44.6	3778	67.1
HI-1.5-4	24.5	24.1	1346	24.2
HI-1.5-12	49.0	16.3	347	6.2
DI-1.5-4	17.6	9.5	302	5.4

보강 시험체의 증분 내력은 12.7~49.9kN의 분포로 CFM의 기여도 계산에서는 보강 모르터의 효과를 완전히 배제하였으며, CFM의 변형률은 수직과 수평 메쉬에 부착된 strain gauge에 의해 측정된 변형률 중 큰 값을 적용하였다. 결과에서 CFM의 인장강도(평균 883MPa))에 대한 보강 효율은 최대치와 최저치를 제외하고 평균 19.6%로 나타났다. 전단 스팬비가 1.0인 시험체에 있어서 변형률에 따른 CFM의 기여도가 보강에 적용된 CFM의 단면적에 대해 근접한 수치를 나타내었으나, 1.5인 시험체는 측정된 변형률이 너무 작아 많은 차이가 발생하였다. 이는 wire strain gauge의 부착 파괴, 보강 모르터의 조기 부착 파괴와 정착 클립의 정착부 파괴에 의한 CFM의 변형률 감소로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 CFM으로 전단 보강된 RC보의 실험을 수행하였으며, 실험 변수에 따라 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 정착 클립수가 많을 경우 전단 스팬비에 관계없이 좋은 내력 증가를 나타내며 안정적인 거동을 하였다. 그러나 CFM의 배치가 대각일 경우 전단에 지배되는 a/d=1.0 계열에서는 효과가 있었으나, 휨과 전단이 동시 작용되는 a/d=1.5 계열에서는 효과가 없는 것으로 나타났다.
2) 보강 모르터의 부착 파괴는 가력 초기부터 발생되어 전단 균열이 발생된 이후 완전한 부착 파괴를 일으켰으며, 이러한 완전 부착 파괴의 시점은 최대 내력의 평균 60%정도인 것으로 나타났다.
3) CFM의 전단 내력에 대한 기여도는 CFM이 가지는 평균 인장 강도의 19.6%정도로 나타나 낮은 효과를 나타내어 전단보강 효과 증진을 위한 방안 연구가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2003년 충주대학교 교내 학술연구과제 지원과 (주)건융건설의 재료지원에 의해 수행된 연구로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이종규, 이우진, 서수연, 윤승조, “탄소 섬유 메쉬를 이용한 RC보의 전단 보강에 관한 연구”, 한국 도시방재학회 학술발표대회 논문집, 2003, 3, pp.411-416.
2. 서수연, 윤현도, 김태용, 김동휘, “복합 섬유메쉬 하이그리드를 이용한 철근콘크리트 구조물 보강”, 한국구조물진단학회, 제7권 제3호, 2003. 7, pp. 61-66.
3. 김성진, 최석원, 오재혁, 성수용, 한병찬, 윤현도, 서수연, 김태용, “탄소 섬유 메쉬(CFM)로 보강한 콘크리트 보의 휨 거동”, 한국 구조물 진단학회 학술발표 논문집, 제6권 제2호, 2002, 11, pp.445-450.
4. 심낙훈, 김정재, 박영석, “탄소 섬유 그리드를 이용한 RC 보의 보강 효과에 관한 실험적 연구”, 한국 구조물 진단 학회, 제6권 제4호, 2002, pp.107-118.
5. 백영수, “탄소 섬유 쉬트로 보강된 철근 콘크리트 보의 전단 내력 평가”, 석사 학위 논문, 광운 대학교, 2000.
6. 건설 교통부 “콘크리트 구조 설계 기준”, 1999.
7. Sandro Dei Poli. et al, “Cover and Stirrup Effects on the Shear Response of Dowel Bar Embedded in Concrete”, ACI Structural Journal, V.90, No.4, July-August, 1993, pp.441-450.
8. A. Koray Tureyen et al, ″Shear Tests of FRP-Reinforced Concrete Beams without Stirrups″, ACI Structural Journal, V.99, No.4, July-August, 2002, pp.427-434.
9. Mariano Valle. et al, ″Behavior of Fiber Reinforced High-Strength Concrete under Direct Shear″, ACI Structural Journal, V.90, No.2, March-April, 1993, pp.122-133.

(접수일자 : 2003년 12월 3일)