

# 정착 앵커를 이용한 FRP-Rod 보수 RC 보의 거동

Behaviors of RC Beams Repaired with FRP-Rod by Use of Anchoring Pin

김 충 호\*                  장 희 석\*\*                  고 신 웅\*\*\*  
Kim, Chung Ho          Jang, Hee Suk          Ko, Sin Woong

## Abstract

It is difficult for existing beams to ensure the sufficient embedding depth due to constructional cause. Owing to these problems, currently FRP-Rod embedding repair method run parallel with a section increasing method in many case. In this study, anchor pin was adopted to solving the problems of the sliding of FRP-Rod and the unified behaviors of the repaired beam without increasing the section. In the experiments, split failure of covering concrete and slippage of the FRP-Rod were not occurred. it was confirmed that FRP-Rod shown the integrate behaviors with RC beam till the repaired beams destroyed.

## 요 지

공용 중인 보는 시공상의 원인으로 충분한 매입깊이를 확보하기 어렵다. 이러한 문제점 때문에 현재의 FRP-Rod 매입공법은 단면증설 공법과 병행해서 실시하는 경우가 많다. 본 연구에서는 단면증설 없이 FRP-Rod의 활동 및 보강보의 일체성 문제를 해결하기 위하여 앵커핀이 채택되었다. 실험에서 피복 콘크리트의 할렬파괴와 FRP-Rod의 활동현상은 발생하지 않았으며, FRP-Rod는 보수보가 파괴 될 때까지 RC보와 일체 거동을 하는 것이 확인되었다.

**Keywords :** Anchor pin, Embedding depth, FRP-Rod, Integrate behavior

**핵심 용어 :** 앵커핀, 매입깊이, FRP Rod, 일체거동

\* 경성대학교 건설환경공학부 교수, 공학박사

\*\* 부경대학교 건설공학부 교수, 공학박사

\*\*\* 경성대학교 토목공학과 대학원 공학석사

E-mail : chkim@ks.ac.kr 051-620-4751

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2008년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

FRP-Rod 매입공법은 외부 부착 공법이 갖고 있는 정착 및 부착력의 부족과 미관 훼손, 보강재의 손상<sup>(1)-(3)</sup> 등의 난제들을 해결하는 장점을 갖고 있지만, FRP-Rod 매입시공에서 충분한 매입깊이가 필요하고, 매입된 FRP-Rod와 모재간의 일체성 확보를 위한 고기능의 채움용 특수 모르타르가 요구된다.<sup>(4)-(9)</sup>

그러나 실제로 보강되는 보는 시공상의 오차로 인해 철근뒹개가 일정하지도 충분하지도 않는 경우가 많다. 이 경우 매입깊이의 미확보에 의해 FRP-Rod의 활동, 되메움 모르타르의 균열로 모재와 일체성이 상실되어 보강효과가 상실된다.

지금까지의 연구들의 대부분은 FRP-Rod의 부착길이와 부착형태, 표면형태, 제작 방법에 따른 부착성능 규명에 집중되고 있을 뿐, 손상된 보강보의 재하조건, 손상정도, 매입깊이 등의 상태를 실제적으로 모의하여 연구된 논문은 없다.<sup>(10)</sup>

본 연구에서는 사용되는 실제의 보에서 발생하는 균열과 손상을 모의하기 위해 실험보 항복변위의 75%에 해당하는 하중의 사전가력으로 균열을 발생시킨 후, FRP-Rod 매입으로 보강하였다. 보강보에 재하속도를 달리하는 반복하중 재하실험을 수행하였다. 또한 보강보에서 발생 가능한 매입깊이의 부족을 고려하여 FRP-Rod와 RC 보를 anchor pin으로 고정하였다.

이와 같이 행해진 실험에서 사전균열의 성장, 확대, 전파 특성 및 재하속도에 따른 보강보의 거동, 파괴특성 등을 규명하였다. 한편 본 연구에서 제안된 앵커 핀 정착공법이 보강보와 FRP-Rod간의 일체성 확보에 큰 효과가 있는지도 확인하였다.

## 2. 보강보의 실험

### 2.1 실험보의 형상 및 재료특성

시험체 제작에 사용된 각종 재료의 특성을 정리하면 Table 1과 같다. 또한 실험에 사용된 철근 콘크리트 보의 형상은 Fig. 1과 같이 높이 0.25m, 폭 0.15m, 길이 2.4m의 직사각형보이고, SD35의 철근을 인장

Table 1 실험보 및 보강재의 재료특성

구성재료	재료특성	
	콘크리트	압축강도
철근	항복강도	350 (MPa)
	인장강도	2,352 (MPa)
	인장탄성 계수	$1.2 \times 10^5$ (MPa)
FRP-Rod	파단변형률	$11475 \times 10^{-6}$
	부착강도	2.0 (MPa)
G & W 모르타르	압축탄성계수	$1.08 \times 10^4$ (MPa)

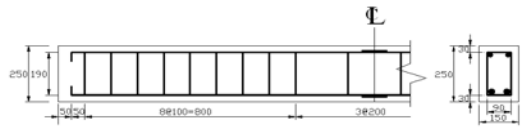
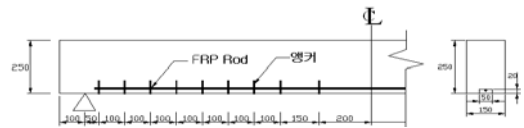


Fig. 1 실험보의 형상

부에 2-D13, 압축부에 2-D10을 배근하였다.

### 2.2 FRP-Rod 매입 보강

FRP-Rod를 매입하기 위하여 Fig. 2와 같이 폭 50mm, 깊이 20mm의  $\cap$ -형 홈을 판 후,  $\phi 6$  mm FRP-Rod를 시판되는 알루미늄앵커 핀으로 고정하고 가넷 혼입 모르타르로서 충전하였다.



(a) FRP-Rod의 설치 형상



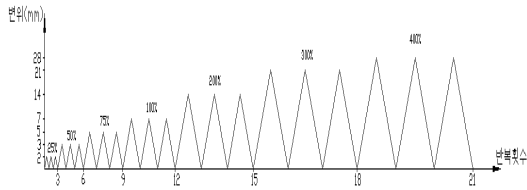
(b) 앵커 핀 설치



(c) 가넷 혼입 몰탈 타설  
Fig. 2 FRP-Rod보강보 제작

### 2.3 하중가력 및 측정

250KN 용량의 가력기(MTS)를 사용하여 변위제어 방식으로 4점 휨 실험을 실시하였다. 재하속도(2, 20, 50 mm/min), 균열유무 등이 실험변수로 적용되었다. 반복하중의 재하 형태는 Fig. 3(a)와 같이 재하



(a) 반복하중 재하형태



(b) 재하 및 측정 장치 배열

Fig. 3 하중재하방법(변위제어)및 실험설비

Table 2 실험체 명칭 일람표

실험체명	보강방법	재하형식	보의상태	재하속도 (mm/min)
STS02	무보강	단조증가	건전보	2
RTS02	무보강	반복	건전보	2
RTC02	무보강	반복	손상보	2
RTR02	보강	반복	손상보	2
RTR20,				20
RTR50				50

형태 결정을 위한 단조증가 재하 실험(STS02 실험체)에서 획득한 항복변위(6.84mm)의 25%, 50%, 75%, 100%, 200%, 300%의 변위를 각각 3회씩 재하 하였다.

실험의 측정은 보 중앙부의 인장 및 압축 철근, 압축 측 콘크리트, FRP-Rod 에 변형률 게이지를 설치하여 Data-logger로서 변형률을 측정하고, 보의 중앙부 처짐은 LVDT를 사용하였다. 재하프레임 및 측정 장치의 배치는 Fig. 3(b)와 같다.

실험의 신뢰성을 높이기 위하여 각각의 실험변수 당 3개씩의 실험을 실시하였다. Table 2는 실험체의 종류에 따라 분류된 실험체 명칭과 실험체의 구분 조건을 나타낸 것이다.

Table 3. 균열확대 및 항복시의 하중 및 변형률

구분	균열확대				항복			
	하중 (KN)	처짐 (mm)	인장(Rod) 변형률( $\times 10^{-6}$ )	압축변형률 ( $\times 10^{-6}$ )	하중 (KN)	처짐 (mm)	인장(Rod) 변형률( $\times 10^{-6}$ )	압축변형률 ( $\times 10^{-6}$ )
STS02(ave.)	18.13	1.08	-	-	49.55	6.84	-	-
RTS02-1	18.34	1.16	74.29	-195.24	52.2	6.96	out	-674.29
RTS02-2	18.07	1.2	144.76	-144.76	47.96	6.84	out	-590.48
RTS02-3	17.9	1.06	36.19	-191.43	49.98	6.86	out	-733.33
RTC02-1	2.48	0.3	12.38	-2.86	49.13	6.86	out	-302.86
RTC02-2	2.83	0.4	541.90	-29.52	46.56	5.92	out	-658.10
RTC02-3	3.1	0.36	8.571	-42.86	47.24	6	out	-626.67
RTR02-1	2.74	0.36	58.10	-29.52	52.65	6.5	2480.95	-771.43
RTR02-2	2.30	0.22	293.33	-39.05	54.49	6.82	3184.76	-692.38
RTR02-3	2.03	0.28	out	-32.38	50.4	6.36	out	-579.05
RTR20-1	2.55	0.34	out	-121.91	52.91	7.3	out	-910.48
RTR20-2	2.45	0.66	out	-26.67	54.56	6.6	out	-741.9
RTR20-3	2.3	0.36	77.14	-76.19	56.13	7.32	2688.57	-788.57
RTR50-1	2.07	0.22	144.769	-45.714	54.84	6.18	2386.66	-812.38
RTR50-2	1.44	0.2	out	-23.81	53.97	6.7	out	-644.76
RTR50-3	1.9	0.28	80.95	-21.91	56.43	6.88	out	-425.71

Table 4 하중 재하단계별 변형률

구분 처짐	RTR02			RTR20			RTR50		
	하중 (KN)	인장(Rod) 변형률( $\times 10^{-6}$ )	압축변형률 ( $\times 10^{-6}$ )	하중 (KN)	인장(Rod) 변형률( $\times 10^{-6}$ )	압축변형률 ( $\times 10^{-6}$ )	하중 (KN)	인장(Rod) 변형률( $\times 10^{-6}$ )	압축변형률 ( $\times 10^{-6}$ )
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	10	678.09	-119.05	8	179.99	-100.95	11.79	314.29	-128.57
5	25.48	1478.09	-324.76	24.18	756.19	-267.62	26.67	800.00	-292.38
7.5	42.09	2182.86	-520.96	40.80	1451.43	-499.05	43.96	1523.81	-521.90
10	54.49	3184.76	-692.38	54.56	2859.05	-741.90	54.05	2740.00	-819.05
20	68.61	8970.47	-1271.43	65.12	7570.47	-1266.67	68.28	8315.23	-1675.24
30	78.09	12655.23	-1578.09	53.49	out	-1210.47	78.40	out	-2222.85
40	71.82	14081.89	-1598.09	43.82	out	-1007.62	69.22	out	-411.43

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 하중-처짐 곡선

균열확대가 시작되고 항복이 발생하는 시점의 하중, 처짐, 변형률을 정리한 것이 Table 3이다. 또한, FRP-Rod 보강보의 처짐별 하중과 변형률을 정리한 것이 Table 4이다. Fig. 4는 사전균열이 보의 강도에 미치는 영향과 FRP-Rod의 보강성능을 확인하기 위하여 재하속도 2mm/min.에 대한 각 시험체들의 하중-처짐 곡선의 포락선을 비교한 것이다. Fig. 4에서 RTR보가 보강하지 않은 두 개의 RTS, RTC보에 비하여 항복하중, 최대하중, 파단강도 등이 모두 크고, 연성거동이 우수한 것을 알 수 있다.

사전균열이 있는 RTC보의 경우, 사전균열이 없는 RTS보와 비교하면, 항복하중의 크기와 처짐은 비슷하

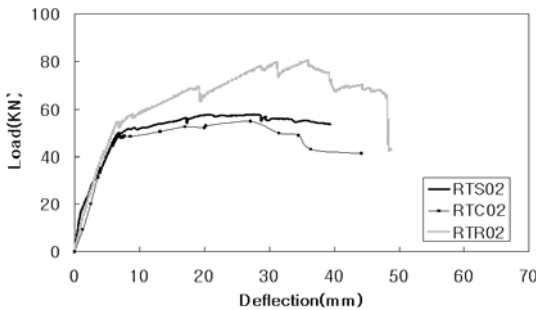


Fig. 4 재하형태에 따른 하중-처짐 포락곡선

게 나타나고 있지만 항복 이후의 연성구간에서 강도의 크기에서 RTS 보에 미치지 못함을 알 수 있다. 이를 통해 보강전의 사전 균열이 시험체의 항복강도에 미치는 영향은 미미하고, 항복 이후의 연성구간에서의 강도에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

#### 3.2 모멘트-곡률 곡선

##### 3.2.1 균열 및 보강영향

Fig. 5는 재하속도 2mm/min.에 대하여 각 시험체의 모멘트-곡률의 포락곡선을 나타낸 것이다. 사전균열이 있는 RTC02 시험체의 초기곡률이 건전보인 RTS02 보에 비해 매우 저하되는 것을 알 수 있다. 그러나 RTR02 보강보의 경우 하중-처짐 거동은 RTS02 건전보와 유사하였다. 이를 통해 사전균열이 보의 초기강성에 큰 영향을 미치며, 이를 보강함으로써 강성손실을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

##### 3.2.2 재하속도의 영향

Fig. 6은 재하속도에 따른 RTR 보의 모멘트-곡률 포락곡선을 도시한 것이다. 낮은 재하속도에서 곡률이 작고, 높은 재하속도에서 곡률이 크다. 또한 재하속도가 큰 RTR20, RTR50 시험체의 거동은 거의 유사함을 알 수 있다. 이것은 재하속도가 크면 초기강성의 손실이 크지만, 일정 이상의 재하속도를 초과하면 곡률거동은 거의 유사함을 나타내는 것이다.

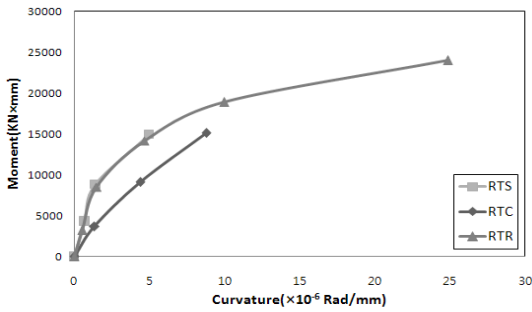


Fig. 5 시험체별 모멘트-곡률 포락곡선

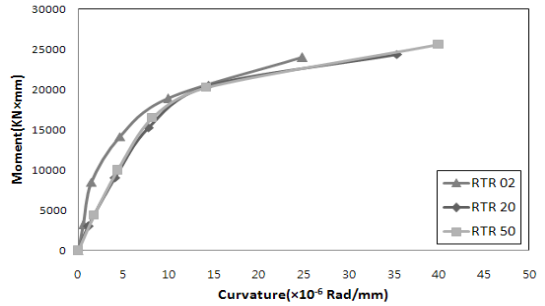


Fig. 6 재하속도에 따른 RTR 보의 모멘트-곡률 포락곡선

### 3.3 강성도 저하 특성

Fig. 7은 시험체의 강성도 저하곡선을 나타낸 것이다. 건전보인 RTS 보는 재하 초기에 강성도의 저하가 적고, 사전균열을 가진 RTC 보는 초기의 강성이 급격히 감소하는 것을 나타낸다. 또한 보강보인 RTR 보는 초기강성의 저하를 상당히 억제하는 것도 알 수 있다. 각 실험체는 공통적으로 초기균열과 항복직후 균열에서 강성도 저하가 급격히 발생하고, 항복이후의 저하량은 미미하여 파단 시 까지 거의 일정한 값을 유지한다.

### 3.4 에너지 소산 특성

Fig. 8은 각 시험체의 변위별 에너지 소산량을 도시한 것이다. 시험체 모두 STS02 실험체의 항복변위인 6.84mm 까지는 적은 량의 에너지 소산량을 보이다가 항복 이후 큰 폭의 에너지 소산능력이 있음을 나타내고 있다.

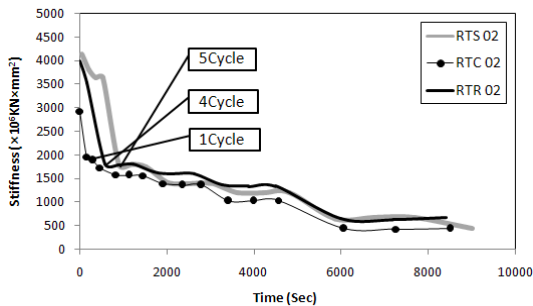
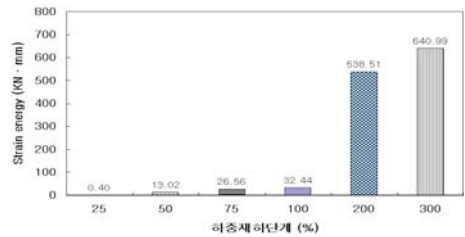
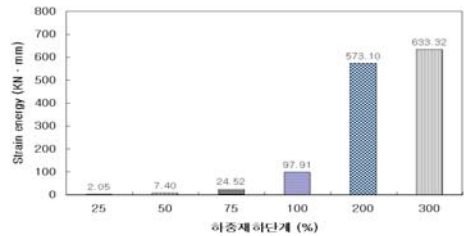


Fig. 7 강성도 저하 포락곡선

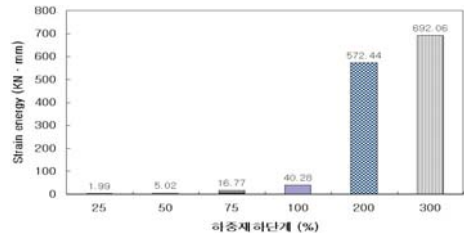
이는 에너지 소산용량의 대부분이 비탄성변위에 의한 것이며, 항복 이후의 구조물의 연성이 외부의 에너지를 소산함을 나타낸다. 또한 RTR 보와 RTC 보의 비교에서 보강보의 소산능력이 큼을 알 수 있다.



(a) RTS02



(b) RTC02



(c) RTR02

Fig. 8 시험체의 에너지 소산량

### 3.5 파괴 형상

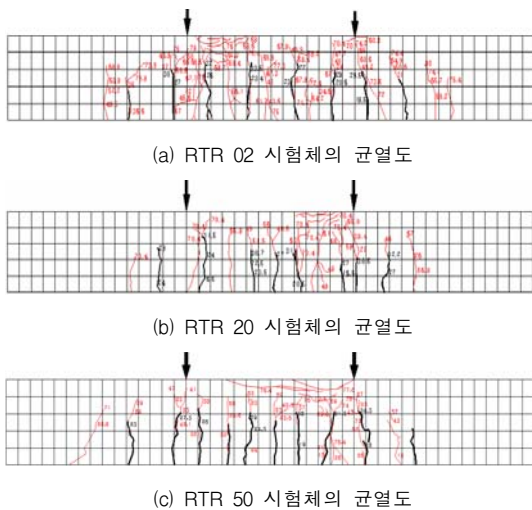
Fig. 9의 (a)는 파괴시의 바닥면의 형상이고 (b)는 보강보 파괴시의 FRP-Rod의 파괴형상이다. FRP-Rod가 파괴될 때 까지 매입부 충전 모르타르 면이 먼저 파괴 되는 현상은 발생 되지 않았다. 앵커 핀으로 FRP-Rod를 RC 보에 정착시킴으로서, FRP-Rod의 활동이 방지되었음을 알 수 있다.



(a) 바닥면 파괴형상 (b) FRP-Rod 파괴형상  
Fig. 9 FRP-Rod 보강보의 파괴형상

### 3.6 균열의 발생, 전파 및 파괴양상

Fig. 10은 시험보의 균열의 발생, 성장, 전파 및 파괴 양상을 재하 속도별로 비교한 것이다. 재하점 직하부의 사전균열이 확대, 성장함에 따라 처짐이 증가하고, 성장된 균열이 압축부의 횡균열로 전파되어 보가 파괴에 이른다.



(a) RTR 02 시험체의 균열도  
(b) RTR 20 시험체의 균열도  
(c) RTR 50 시험체의 균열도  
Fig. 10 FRP-Rod 보강보의 균열도

그리고 재하속도가 빠를수록 사전균열의 성장속도는 빠른 반면에 추가되는 균열의 수는 작아지는 것을 관측하였다. 한편, 파괴시의 처짐이 충분하므로 연성과 파괴로서 외부부착 보강공법에서 우려되는 취성파괴의 위험은 없는 것으로 판단된다.

## 4. 결론

사전가력에 의해 발생된 균열로 손상이 모의된 RC 보를 FRP-Rod로 매입 보강하여, 반복하중 재하실험을 수행하였다. 실험을 통해서 사전균열, 재하속도, 앵커 핀 보강 등이 보강보의 성능에 미치는 영향을 관측하고 고찰하였다. 본 연구에서 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) FRP-Rod 보강이 항복강도의 증가효과에는 적고, 최대강도의 증가효과에는 큰 영향을 미쳤다. 또한 보강효과는 항복 이 후의 거동에만 발현되는 것이 확인되었다.
- 2) 보강보의 모멘트-곡률 거동은 손상이 없는 건전보의 거동과 유사하였다. 따라서 FRP-Rod매입 보강은 손상된 보의 휨 성능을 손상 전으로 회복시키는 효과가 있음을 알 수 있다.
- 3) 각 시험체 모두 초기균열과 항복직후 균열에서 강성도 저하가 급격히 발생하고, 반복횟수의 증가와 더불어 저하량은 적다. 잔류 강성도는 보강보가 가장 큰 값을 유지하였다.
- 4) 시험체 모두 항복변위 이전까지는 적은량의 에너지 소산량을 보이다가 항복 이후 큰 폭의 에너지 소산능력을 나타내는 전형적인 연성파괴 거동을 하였다. 따라서 보강보의 파괴거동은 연성적임을 확인할 수 있다.
- 5) 보강보의 최종파괴 양상은 재하점 직하부에 존재하는 사전균열이 확대, 성장함에 따라 강성도 저하에 의한 처짐이 증가하고, 성장된 균열이 압축부의 횡균열로 연결되어 보가 파괴에 도달하는 양상을 나타내었다.
- 6) 본 실험에서 정착용 앵커를 설치함으로써, 매입깊이의 확보를 위한 피복의 추가 없이도 FRP-Rod의 활동에 의한 보강력의 상실과 매입 모르타르의

할렬 파단 등은 발생하지 않았다. 따라서 앵커의 설치로 FRP-Rod의 완전한 정착을 유도할 수 있음을 확인 하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설 교통부 지역 특성화 연구 개발 사업의 연구비 지원(과제 번호 C105E1020001-06E020200210)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 이우철, "탄소섬유시트로 보강된 RC 보의 휨거동 특성에 관한 연구", 부산대학교 대학원 박사학위논문, 2005, 2.
2. 조백순 외 2명, "FRP 시스템 보강 철근콘크리트 구조부재의 휨성능", 2005년도 대한토목학회 정기 학술 발표회 논문집, 2005,
3. 황태일, "RC 보에 부착된 섬유시트의 파단변형률 평가에 관한 실험적 연구", 경성대학교 대학원 석사학위 논문, 2003, 2
4. 노경배, "FRP Bar 콘크리트보의 전단 특성", 부경대학교 대학원 박사학위 논문, 2006, 2.
5. 남정훈 외 4명, "가넷 코팅한 FRP-Rod와 고성능 폴리머모르타르로 보강된 철근콘크리트 보의 보강설계", 2004년도 대한토목학회 정기학술발표회 논문집, 2004.
6. 문도영 외 2명, "이형 리브를 갖는 GFRP 보강근의 부착성능에 관한 실험적 연구", 대한토목학회 논문집, 제25권, 제5A호, 2005. 9, pp. 719-727.
7. 정상모 외 4명, "FRP보강근을 이용한 표면 매립 및 단면 확대공법의 실험적 성능 평가", 2003년도 한국 콘크리트 학회 가을 학술발표회 논문집, 2003.
8. 윤손중 외 3명, "유리섬유 보강 플라스틱 보강근 다발로 보강된 콘크리트 보의 휨거동", 대한토목학회 논문집, 제23권, 제6A호, 2003. 11, pp. 1067-1075.
9. 종필, 박찬기, "콘크리트 보강용 FRP 보강근의 수분 민감성 및 열화특성", 대한토목학회 논문집, 제24권, 제2A호, 2004. 3, pp. 381~390.
10. 김충호, 고신웅, "사전균열로 손상된 RC 보의 탄소 섬유시트 보수 후의 균열성장 및 박락거동", 한국구조물진단학회지, 제10권, 제5호, 2006. 9, pp. 121-128.

(접수일자 : 2007년 4월 18일)