

탄소섬유 보강 중에 반복하중을 받은 RC보의 보강효과에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Strengthening Effect of RC Beam
subjected to Repeated Loading during CFS Strengthening Process

장 희 석* 김 희 성**

Jang, Hee-Suk Kim, Hee-Sung

Abstract

When RC structures are repaired or strengthened using FRP, it is required to cure for some period under certain air temperature and then it is hopeful to avoid detrimental action caused by external vibration sources during that period. Therefore, an effect of repeated loading during Carbon Fiber Sheet(CFS) strengthening process on the strengthening efficiency is studied through an experiment for a number of RC beams. Experimental results showed that the curing time of 24 hours without any repeated loading after CFS attachment were recommended for 1 ply strengthening, and 12 hours for 2 plies strengthening.

요 지

RC 구조물에 대하여 FRP로 보수·보강 작업시, 주변 온도에 따른 일정기간의 양생을 필요로 하며 또한 양생과정 중 외부의 진동원으로부터 유해한 작용을 받는 것을 피하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 탄소섬유시트(CFS)로 보강되는 RC 구조물에 대하여, CFS 양생과정 중 작용하는 반복하중이 보강성능에 미치는 영향을 일련의 보 실험을 통하여 분석하였다. 실험결과, CFS 1겹 보강의 경우에는 CFS 부착 후 24시간, 2겹 보강의 경우에는 12시간동안 외부로부터의 반복하중을 차단하는 것이 필요한 것으로 판단되었다.

Keywords : Carbon Fiber Sheet, Repair·Strengthening, Repeated Loading, Strengthening Effect

핵심 용어 : 탄소섬유, 보수·보강, 반복하중, 보강효과

* 부경대학교 건설공학부 교수, 공학박사

** 동서대학교 건설공학부 전임강사, 공학박사

E-mail : janghs@pknu.ac.kr 051-620-1446

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2006년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

철근 콘크리트 구조물의 내구성과 안전성을 저하시키는 노화 및 손상은 각종 보수·보강 기술의 발전에 의하여 획기적으로 개선이 되고 있다. 근래에는 비부식성, 고강도, 경량이며 또한 시공성과 운반 측면에서 유리한 FRP(Fiber Reinforced Polymer or Plastic) 재료를 Plate 혹은 Sheet 형태로 가공하여 구조물의 보수·보강에 많이 이용하고 있다.

RC 구조물에 대하여 FRP로 보수·보강 작업시, 주변 온도에 따른 일정기간의 양생을 필요로 하며 또한 양생과정 중 외부의 진동원으로부터 유해한 작용을 받는 것을 피하는 것이 바람직하다. 그러나 예를 들어 FRP로 교량 혹은 건축물의 슬래브를 보강하는 경우 차량 통행이나 슬래브 상부의 이동하중에 의한 영향 등과 같이, FRP로 구조물 보강시에 외부 하중의 영향을 피할 수 없는 경우가 대부분이다.

이와 같이 FRP 양생 도중이라도 사용하중을 받고 있는 경우가 대부분이지만 기존의 연구(김성도 등, 2003 : 박성수 등, 2003 : 홍건호 등, 2003 : 황진석 1998, : Masoud 등, 2001 : Papakonstantinou 등, 2001) 들은 보강효과에 대해서만 관심이 집중되어 왔다. 따라

서 시공 과정에서 생길 수 있는 이러한 영향을 고려하는 즉, FRP 양생 중 사용하중이 보강 효과에 미치는 영향에 관한 연구(Carolin 등, 2002)는 현재까지 극히 미미하다고 판단되었다. 그 결과 현장에서 FRP로 보수·보강을 하는 경우에 반복하중의 영향에 대해서는 의구심을 가진 상태에서 시공이 되고 있는 것이 현실적이다.

따라서 본 연구에서는 탄소섬유쉬트(Carbon Fiber Sheet : CFS)로 보강되는 RC 구조물에 대하여, CFS 양생과정 중 작용하는 반복하중이 보강성능에 미치는 영향을 일련의 보 실험을 통하여 분석하고, 이 결과를 기초로 하여 안전시공 및 품질향상에 기여할 수 있는 자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험

본 연구에서는 실험변수로서 CFS 보강 겹수 및 CFS 보강 후 반복하중의 가력시작시간을 택하였다. 시험체로서 Fig. 1과 같이 단면 15cm×25cm, 길이 240cm의 철근 콘크리트 보 시험체를 사용하였으며, 2-D13의 인장철근, 2-D10의 압축철근, D10의 전단 철근(전단지간 10cm 간격, 순수 휨구간 20cm 간격)

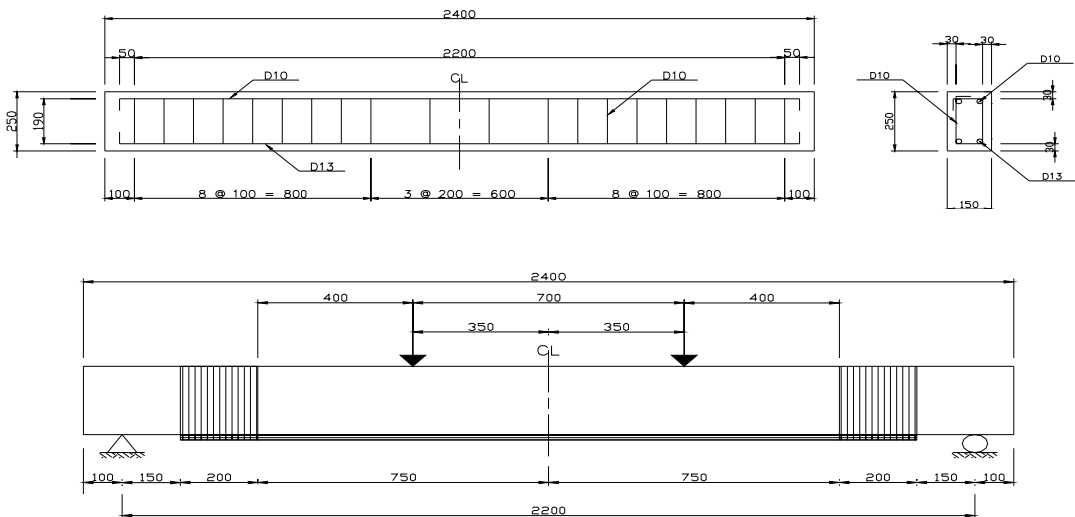


Fig. 1 보 시험체의 형상 및 치수 (단위 : mm)

을 배근하였다. 사용된 탄소섬유는 보 하부에 폭 13cm, 길이 190cm로 부착하였으며, CFS의 단부탈락에 대비하여 지점으로부터 15cm 떨어진 위치에 20cm 폭으로 보의 높이까지 CFS로 U형 형태 단부보강을 실시하였다.

실험에 사용된 시험체는 CFS로 보강을 하지 않은 기준보(S-1-CON, S-2-CON), CFS로 보강은 하였으나 반복하중을 받지 않은 보(S-1-NF, S-2-NF), CFS 보강 후 반복하중의 최초 작용시간을 즉시, 3시간 후, 6시간 후, 12시간 후, 24시간 후, 36시간 후로 구분한 총 15개로 구성하였다. CFS 부착후 반복하중 가력시작시간에 따른 보강효과를 분석하기 위하여 상기와 같이 구분하였다.

시험체의 형상 및 치수는 Fig. 1과 같으며, Table 1에 시험체들의 자세한 설명을 나타내었다.

CFS 양생기간은 CFS 부착 후 양생온도 15°C 이상을 유지한 상태에서 반복하중 가력시간을 포함하여 7일간으로 하였다. 본 실험은 시험체에 부착된 CFS의 양생기간 때문에 전체적으로 장기간이 소요되었는데,

Table 1 시험체 구분

시험체 명	CFS 보강 겹수	반복하중 가력시작시간 (CFS 부착후)	반복하중 가력시간 (hrs)
S-1-CON	-	-	-
S-1-NF	1	-	-
S-1-00	1	즉시	168
S-1-03	1	3시간 후	165
S-1-06	1	6시간 후	162
S-1-12	1	12시간 후	156
S-1-24	1	24시간 후	144
S-1-36	1	36시간 후	132
S-2-CON	-	-	-
S-2-NF	2	-	-
S-2-00	2	즉시	168
S-2-03	2	3시간 후	165
S-2-06	2	6시간 후	162
S-2-12	2	12시간 후	156
S-2-24	2	24시간 후	144

데, 동절기에는 히터를 사용하여 실험실의 실내 온도를 상승시켜 요구되는 온도를 유지하였다.

사용된 콘크리트와 철근 및 CFS의 물리적 성질은 Table 2와 같다. 이 표에서 콘크리트의 압축강도와 탄성계수는 2종류의 값이 표시되었는데, 이는 CFS 1겹 보강시와 2겹 보강시에 사용된 철근콘크리트보가 동시에 제작되지 않은 이유 때문이다.

재하실험은 MTS사의 250kN Actuator와 가력보를 사용한 4점 재하로 실시하였으며, 사용된 반복하중의 주기는 실험 전에 실시한 교통량 조사 자료를 참고하여 0.1Hz(Fig. 2)로 하였다. 반복하중의 최대하중 값은 기준보의 파괴실험결과 얻어진 항복하중의 50%, 최소하중은 최대하중 값의 10%로 하였다. 반복하중 가력 종료 후, 1mm/min의 변위 제어로 파괴시까지 가력하였으며 항복하중, 최대하중 및 각 하중 상태에서의 처짐을 측정하였다.

Table 2 사용재료의 물리적 특성치

재 료	물리적 특성치	
	콘 크 리 트	압축강도(MPa)
탄성계수(MPa)		2.43×10^4 2.37×10^4
철 근	항복강도(MPa)	300
	탄성계수(MPa)	2.00×10^5
CFS	인장강도(MPa)	3,550
	탄성계수(MPa)	2.35×10^5
	파단변형률(%)	1.5
	두 겹(mm)	0.165

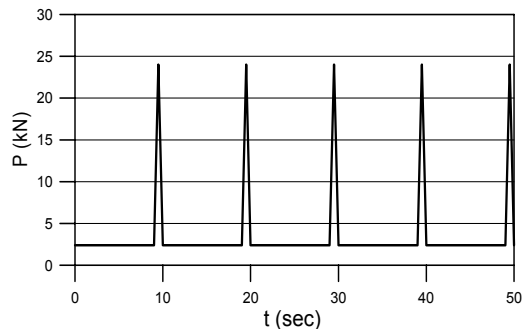


Fig. 2 반복하중 재하과정

3. 시험결과 및 고찰

실험결과로 얻어진 각 시험체들의 항복하중, 최대하중 및 각 하중에서의 처짐, 보강효과, 그리고 항복하중과 최대하중에서의 처짐값의 비교로부터 계산된 연성지수를 Table 3에 나타내었고, 하중-처짐 곡선은 CFS 보강 접수별로 Fig. 3에 각각 나타내었다.

시험체들의 파괴양상은 실험 도중 CFS의 섬유가 파열되는 소리가 몇 차례 나타났으나 급작스런 파괴 또는 단부박리에 의한 파괴현상은 발생하지 않았으며, 대부분이 탄소섬유의 계면박리 및 부분적인 파단과 가력점 하부에서부터 발생하기 시작한 균열 및 압축측 콘크리트의 압괴에 의한 파괴를 보여주었다.

반복하중 가력시작시간에 따른 항복하중 및 최대하중의 변화는 CFS 양생 중 작용하는 반복하중을 받은 시험체라도 기준시험체(S-1-CON 및 S-2-CON)에 비하여 항복하중의 증가(1겹 보강시 12~29%, 2겹 보강시 42%~66%) 및 최대하중의 증가(1겹 보강시

27~44%, 2겹 보강시 65%~76%)를 나타내었다.

그러나 양생 도중 반복하중의 작용이 없었던 시험체(S-1-NF 및 S-2-NF)를 기준으로 하여 비교하면 보강효과는 대부분 감소(항복하중은 1겹 보강시 최고 13% 감소, 2겹 보강시 최고 5% 감소, 최대하중은 1겹 보강시 최고 16% 감소, 2겹 보강시 최고 4% 감소)하는 것으로 나타났으며, 1겹 보강시에 보강효과가 2겹 보강에 비하여 상대적으로 더 감소하는 것을 알 수 있었다. 2겹 보강의 경우에는 반복하중 가력시작시간이 증가함에 따라 보강효과가 오히려 증가하는 경향도 일부 보여주었다.

1겹 보강시에 S-1-NF 시험체의 항복하중을 기준으로 하는 경우, S-1-24 시험체의 항복하중은 2% 이내의 하중 감소를 나타내고 있으며, S-1-36의 경우는 오히려 1%의 증가를 보여주고 있다. 따라서 하중 감소의 영향을 실무적으로 항복하중에 대하여 고려하기로 한다면 CFS로 철근 콘크리트구조물을 보수 및 보강작업을 행한 후에 약 24시간 정도의 반복하중 또는

Table 3 반복하중 가력시작시간에 따른 시험결과

시험체명	항 복 하 중				최 대 하 중				연성 지수
	하중 (kN)	처짐 (mm)	보강효과		하중 (kN)	처짐 (mm)	보강효과		
			CON 기준	NF 기준			CON 기준	NF 기준	
S-1-CON	48.0	11.00	1.00	-	61.0	43.60	1.00	-	3.96
S-1-NF	61.7	12.24	1.29	1.00	91.6	39.26	1.50	1.00	3.21
S-1-00	55.3	9.72	1.15	0.90	77.2	29.27	1.27	0.84	3.01
S-1-03	55.5	9.28	1.16	0.90	80.7	29.88	1.32	0.88	3.22
S-1-06	54.7	10.49	1.14	0.89	79.5	31.67	1.30	0.87	3.02
S-1-12	53.1	10.81	1.12	0.87	78.6	32.37	1.29	0.86	2.99
S-1-24	60.5	9.36	1.26	0.98	83.8	32.05	1.37	0.92	3.42
S-1-36	62.1	15.84	1.29	1.01	88.1	39.30	1.44	0.96	2.48
S-2-CON	53.0	15.10	1.00	-	61.5	35.38	1.00	-	2.34
S-2-NF	79.5	15.51	1.50	1.00	105.2	29.72	1.71	1.00	1.92
S-2-00	75.2	13.61	1.42	0.95	103.7	30.77	1.69	0.99	2.26
S-2-03	77.1	12.81	1.46	0.97	101.9	24.32	1.66	0.97	1.90
S-2-06	81.7	13.34	1.54	1.03	104.3	25.15	1.70	0.99	1.89
S-2-12	88.1	14.84	1.66	1.11	101.3	23.05	1.65	0.96	1.55
S-2-24	82.3	12.80	1.55	1.04	108.1	23.68	1.76	1.03	1.85

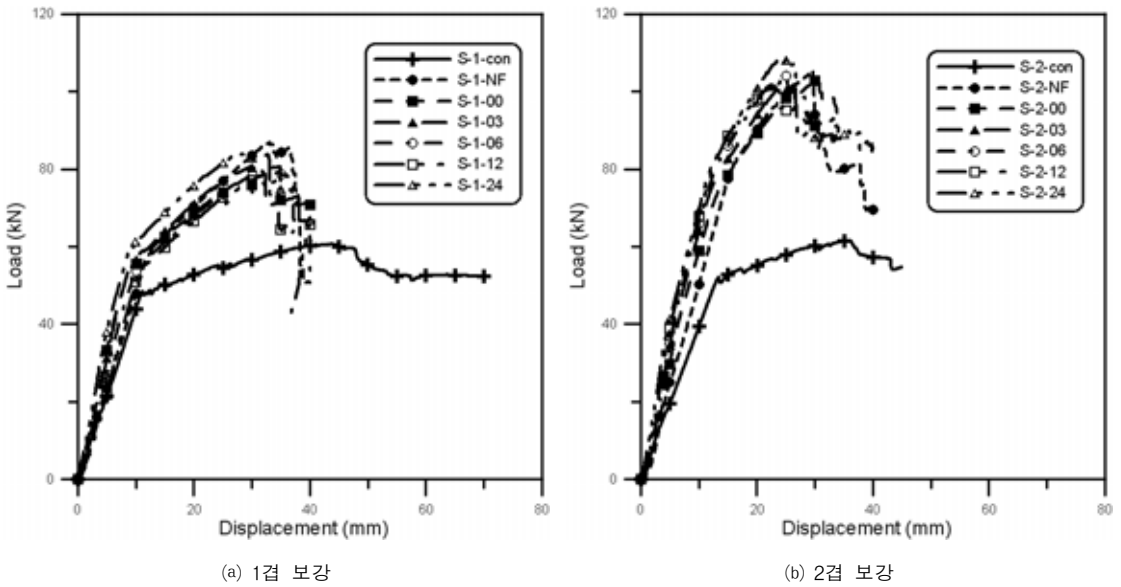


Fig. 3 보강 겹수에 따른 하중-처짐 곡선

진동요인을 차단하는 양생기간이 필요함을 알 수 있다.

2겹 보강시는 S-2-NF 시험체의 항복하중을 기준으로 하는 경우 CFS 부착 후 즉시 와 3시간 후 반복하중을 받는 경우에 각각 5% 및 3%의 감소를 나타내었을 뿐 다른 경우에는 오히려 증가함을 보여주었다. 최대하중도 유사한 경향을 보여주고 있다. 이와 같이 2겹 보강시의 거동이 1겹 보강시와 다른 것은 2겹 보강시는 보강의 효과가 커서 1겹 보강시 작용시켰던 하중으로는 반복하중 가력시작시간에 영향을 받지 않았던 것으로 분석해볼 수 있다. 따라서 2겹 보강시에는 36시간 후의 반복하중 가력시작시간 시험체(S-2-36)

의 시험을 생략하였다.

2겹 보강시 반복하중의 작용에 따른 하중 감소비가 1겹 보강에 비하여 상대적으로 작게 나온 점을 감안하여, 여분의 시험체를 이용하여 2겹 보강을 하고 반복하중의 크기를 기준시험체(S-2-CON) 항복하중의 75% 및 100%로 증가시켜 추가실험을 실시하였다. CFS 부착 후 즉시 반복하중을 가한 경우와 CFS 부착 후 12시간 및 24시간 지나서 반복하중을 가하기 시작한 경우에 대하여 실시하였으며, 시험체 명에 대한 설명을 Table 4에 그리고 시험결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 4 반복하중 크기 변화에 따른 추가 시험체 구분

시험체명	CFS 보강겹수	반복하중 가력시작시간 (CFS 부착후)	반복하중 가력시간 (hrs)	반복하중 크기 (S-2-CON 항복하중의)
S-2-00-75	2	즉 시	168	75%
S-2-12-75	2	12시간 후	156	75%
S-2-24-75	2	24시간 후	144	75%
S-2-00-100	2	즉 시	168	100%
S-2-12-100	2	12시간 후	156	100%
S-2-24-100	2	24시간 후	144	100%

Table 5 반복하중 크기 변화에 따른 시험결과

시험체명	항복하중				최대하중				연성지수
	하중 (kN)	처짐 (mm)	보강효과		하중 (kN)	처짐 (mm)	보강효과		
			CON 기준	NF 기준			CON 기준	NF 기준	
S-2-CON	53.0	15.10	1.00	-	61.5	35.38	1.00	-	2.34
S-2-NF	79.5	15.51	1.50	1.00	105.2	29.72	1.71	1.00	1.92
S-2-00-75	71.0	9.48	1.34	0.89	112.3	30.75	1.83	1.07	3.24
S-2-12-75	77.1	11.41	1.45	0.97	109.0	25.95	1.77	1.04	2.27
S-2-24-75	79.0	11.38	1.49	0.99	109.1	23.44	1.77	1.04	2.06
S-2-00-100	66.0	11.17	1.25	0.83	102.6	29.35	1.67	0.98	2.63
S-2-12-100	83.0	9.76	1.57	1.04	115.0	24.11	1.87	1.09	2.47
S-2-24-100	83.1	11.51	1.57	1.05	110.3	25.23	1.79	1.05	2.19

시험결과, CFS 부착 후 즉시 반복하중을 받은 S-2-00-75 시험체의 항복하중은 S-2-NF 시험체의 항복하중을 기준으로 할 때 11%의 감소를 가져왔으나 S-2-12-75 및 S-2-24-75의 경우는 1~3%의 감소를 보여주었다. 최대하중 값은 모두 S-2-NF 시험체보다 증가하였다. S-2-00-100 시험체는 S-2-NF 시험체에 비하여 17%의 항복하중 감소를 나타내었으나, S-2-12-100 및 S-2-24-100 시험체의 경우는 항복하중이 오히려 증가함을 보여주었다. 최대하중도 S-2-NF 시험체의 값과 유사하거나 증가함을 보여주

었다.

2겹 보강의 경우에 S-2-NF 시험체의 항복하중에 대한 시험체들의 항복하중 크기 비를 반복하중의 크기 비와 반복하중 가력시작시간에 따라 나타내면 Fig. 4와 같다.

Fig. 4로부터 2겹 보강의 경우에 반복하중 가력시작시간이 12시간 이후이면 반복하중의 크기에 관계없이 S-2-NF 시험체의 항복하중과 유사하거나 그 이상의 값을 갖게 되는 것을 알 수 있다.

4. 결론

탄소섬유쉬트(CFS)로 보강되는 RC 구조물에서 CFS 양생 초기에 작용하는 반복하중이 보강성능에 미치는 영향을 조사하기 위한 본 연구에서, 일련의 보 시험체에 대하여 휨 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) CFS 양생 도중 반복하중을 받은 시험체라도 보강되지 않은 기준시험체에 비하여 항복하중 및 최대하중의 증가를 나타내었다.
- 2) CFS 양생 도중 반복하중의 작용이 없었던 시험체를 기준으로 반복하중을 받은 시험체의 항복하중 및 최대하중을 비교할 경우, 보강효과는 대부분 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) CFS로 철근콘크리트 구조물을 보수·보강하는 경우에 하중보강효과를 실무적으로 고려할 수 있는

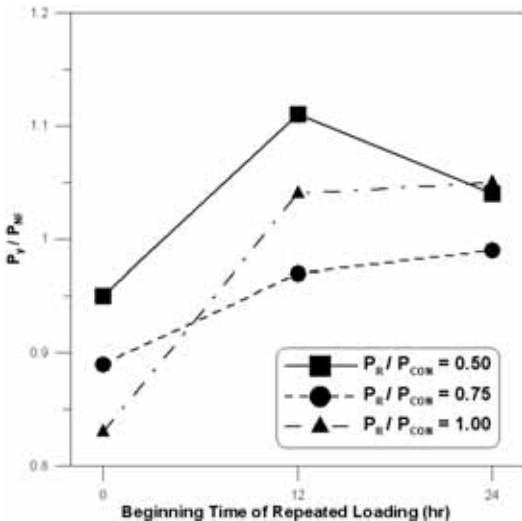


Fig. 4 항복하중 크기 비

항복하중의 감소에 대하여 분석해보면, 1겹 보강의 경우에 24시간 지나서 반복하중을 받는다면 항복하중 감소량은 2% 이내이므로, CFS 부착 후 약 24시간 정도의 반복하중 및 진동요인을 차단하는 양생기간이 필요하다고 판단된다.

- 4) 2겹 보강의 경우에는 반복하중 가력시작시간이 CFS 부착 후 12시간 이후이면 반복하중의 크기에 관계 없이 반복하중 작용을 받지 않은 시험체의 항복하중과 유사하거나 그 이상의 값을 갖게 되는 것을 알 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2003학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김성도, 황태일, "RC보에 부착된 섬유시트의 파단변형률 평가에 관한 실험적 연구", 한국구조물진단학회 논문집, 제7권 제3호, 2003, pp.157~165.
2. 박성수, 조수제, "CFS로 보강된 RC보의 가력상태에 따

른 휨파괴 거동", 한국구조물진단학회 논문집, 제7권 제3호, 2003, pp.223~230.

3. 홍건호, 신영수, "RC 구조물에 적용된 부착식 휨보강공법의 보강성능평가", 콘크리트학회 논문집, 제15권 제1호, 2003, pp. 78~86.
4. 황진석, "탄소섬유슈트 보강 보의 실험 및 해석적 연구", 한국구조물진단학회 논문집, 제2권 제 4호, 1998, pp. 177~185.
5. Carolin,A., Hejll,A. and Taljsten,B. "Behavior of concrete beams strengthened with CFRP and loaded in fatigue during the strengthening process", Third International Conference on Composites in Infrastructure, Univ. of Arizona, SanFrancisco, California, Jun 10-12, 2002.
6. Masoud,S., Soudki,K. and Topper,Y. "CFRP strengthened and corroded RC beams under monotonic and fatigue loads", Journal of Composites for Construction, Vol.5, No.4, 2001, pp.228-236.
7. Papakonstantinou,C.G., Petrou,M.F. and Harries, K.A. "Fatigue behavior of RC beams strengthened with GFRP sheets", Journal of Composites for Construction, Vol.5, No.4, 2001, pp.246-253.

(접수일자 : 2005년 8월 18일)