

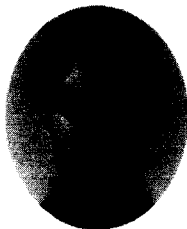
재하상태에서 보강된 철근 콘크리트보의 보강 재료에 따른 구조적 거동

Structural Behavior of Pre-loaded RC Beams Strengthened by
SP, CFS, and CFL.



정란*

Chung, Lan



이영재**

Lee, Young-Jea



문희중**

Moon, Heui-Jeung



이경언***

Lee, kyung-Un



정상진*

Jung, Sang-Jin

ABSTRACT

In recent years, strengthening by steel plate, carbon fiber sheets, and carbon fiber laminate is spotlighted in order to repair and rehabilitation of R/C structures. In this study, 3 methods of rehabilitation technique were analyzed from the test results. Test parameters were the width of cracks, the method of repair and rehabilitation, the magnitude of pre-load. Deflections, failure loads, strains of reinforcing bar, strains of carbon fiber sheet, carbon fiber laminate and steel plate were measured during the tests. The primary purpose of this research was to analyze the failure mode and structural behavior of strengthened RC beams with/without superimposed pre-load. Test results should that no significant difference was observed between with pre-loaded specimens and no loaded specimens during rehabilitation.

Keywords : repair, rehabilitation, steel plate, carbon fiber sheet, carbon fiber laminate, pre-load, deflection, failure mode, failure load

* 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수

** 정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정

*** 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 6월 30일까지 학회로 보내
주시면 1999년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 과도한 하중과 유지관리 소홀 등 여러 가지 이유로 보수·보강을 필요로 하는 경우가 많다. 이에 대해 국내에서는 철근콘크리트구조체의 보강방법으로 강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판이 널리 사용되고 있다. 탄소섬유쉬트와 탄소섬유판은 매우 큰 인장강도를 가지고 있어서 강판보다 효율성이 높을 뿐만 아니라 운반 및 취급이 용이하여 최근에 일반화되어 가고 있는 추세이다. 하지만 국내에서는 이들의 사용에 대한 적용 기준과 상호평가가 미흡한 실정이다.

또한 처짐과 균열이 발생한 부재의 보수·보강에 대한 연구가 부족하고 미세균열에 대한 보수의 효율성 여부와 균열의 크기에 따른 여러재료의 보강효과에 대한 연구가 충분하지 않다.⁽³⁾

본 연구에서는 부재에 발생한 미세균열에 대한 보수의 효율성과 강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판을 보강재료로 사용하여 보수·보강을 시행, 보강재의 종류에 따른 보강효과 비교와 부재의 구조적 거동을 파악하고자 한다. 또한 하중을 재하한 상태에서 보수·보강을 시행하여 실제 건물에 적용될 때의 보강성능을 평가함으로써 보다 효율적인 보강재료의 선정과 보수·보강의 효과를 검토하는데 연구의 목적이 있다.

2. 실험

2.1 실험 계획

시험체는 변수에 따라 13개를 제작하였으며 시험체의 크기는 폭 30cm, 춤 50cm, 길이 3.4m다. 철근배근의 경우 압축근은 3-D19, 주근은 2-D19, 스티럽은 단부(한쪽 125cm)의 경 D10@110, 중앙부위(110cm)의 경우 D10@220 제작하였다. 보강재는 시험체의 하부에 부착하였고 보강재의 중앙부에 스트레인이지를 부착하여 보강재의 변형률을 측정하였다. 시험체의 형상 및 배근은 Fig.1과 같다. 보강은 최대철근비 이하로 보강이 되도록 설계하였다. 또한 탄소섬유쉬트, 강판, 탄소섬유판의 보강량을 같게 하기 위하

여 강판은 두께 4.5mm, 탄소섬유쉬트는 3ply, 탄소섬유판은 두께 0.6mm를 사용하였다.⁽²⁾

강판의 경우 부재의 단부에 앵커볼트를 사용하여 보강재를 고정시킨 후 에폭시를 주입하여 콘크리트와 부착시켰다.

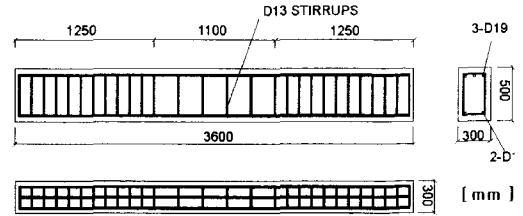


Fig.6 Details of test beam

2.2 사용재료

이 시험체의 제작에 사용된 재료의 역학적 특성은 Table 1~Table 3에서 보는 바와 같다.

Table 1 Mix design of concrete

Concrete strength (kg/cm ²)	W/C (%)	S/A (%)	unit weight (kg/cm ³)			Slump (cm)
			cement	sand	gravel	
329	45	41	349	765	1109	8

Table 2 Mechanical properties of steel plate

steel plate	yield strength (kg/cm ²)	tensile strength (kg/cm ²)	modulus of elasticity (kg/cm ²)
SS41	2380	3400	2.1×10 ⁶

Table 3 Mechanical properties of C.F.L and C.F.S

material	tensile strength (kg/cm ²)	modulus of elasticity (kg/cm ²)	yield strain
C.F.S (Carbon Fiber Sheet)	43600	2.45×10 ⁶	0.0126
C.F.L (Carbon Fiber Laminate)	19500	1.55×10 ⁶	0.015

2.3 실험 변수

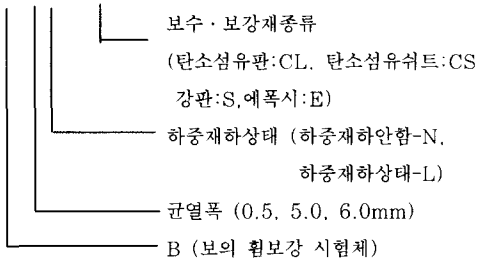
각 시험체의 변수는 실험의 목적에 따라 균열의 폭, 보강재료, 보수시의 하중재하 상태로 설정

하였다. 이러한 변수에 따른 부재의 최대내력과 파괴형상 등을 비교하여 보수·보강의 효과를 평가하고자 한다. 각 시험체에 따른 분류는 Table 4와 같다.

Table 4 Details of test beams

beam	crack width (mm)	materials of rehabilitation	condition of load during repair and rehabilitation
BN	0.0	-	-
B05N-S	0.5	Steel Plate	Unloading
B05N-CS	0.5	Carbon Fiber Sheet	Unloading
B05N-CL	0.5	Carbon Fiber Laminate	Unloading
B50N-S	5.0	Steel Plate	Unloading
B50N-CS	5.0	Carbon Fiber Sheet	Unloading
B50N-CL	5.0	Carbon Fiber Laminate	Unloading
B60L-S	6.0	Steel Plate	Loading
B60L-CS	6.0	Carbon Fiber Sheet	Loading
B60L-CL	6.0	Carbon Fiber Laminate	Loading
B-E1	0.3	Epoxy	-
B-E2	0.3	Epoxy	-
B-E3	0.3	Epoxy	-

B 0 5 L - CL



2.4 실험 방법

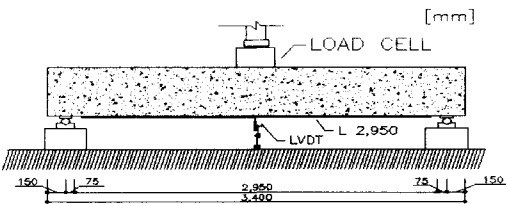


Fig.2 Test Set-Up

실험은 시험체를 수평으로 놓고 용량 100ton의 가력기를 사용하였으며 시험체와 가력기 사이에 로드셀을 설치하여 하중을 측정하였다. 시험체의 중앙부위에 전자식 변위측정기를 설치하여 처짐을 측정하였고 UCAM 5BT를 이용하여 자료를 취득하였다. 시험체의 설치는 Fig.2와 같다.

3. 실험결과 및 고찰

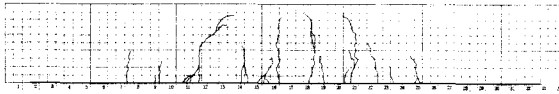
3.1 파괴양상

Table 5 Yield pattern

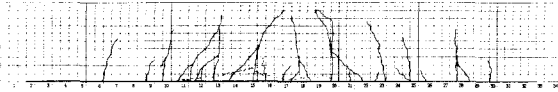
시험체명	파괴양상	비 고
B05N-S	①+⑤+⑥	① 보강재의 박리 ② 피복이 떨어져 나감 ③ 압축부위 콘크리트의 파괴 ④ 보강재의 접촉불량 ⑤ 인장철근의 항복 ⑥ 보수용 에폭시주입의 불량 ⑦ 전단 균열의 발생
B05N-CS	①+⑤+⑥	
B05N-CL	①+⑤+⑥	
B50N-S	①+④+⑤	
B50N-CS	①+⑤	
B50N-CL	①+⑤	
B60L-S	①+②+⑤+⑥+⑦	
B60L-CS	①+②+⑤	
B60L-CL	①+②+③+④+⑤	
B-E1	②+③+⑤	
B-E2	②+③+⑤+⑥	
B-E3	②+③+⑤	

이 실험에서는 파괴양상들이 복합적으로 나타나 파괴에 도달하였다. Table 5에서 보여지듯 보수·보강을 시행한 시험체의 경우 대부분 보강재의 인장파괴 양상을 보이다가 보강재가 파단에 이르기 전에 인장측 콘크리트가 파괴 되면서 단부 쪽의 보강재가 박리되는 양상을 보였다. 모든 보강시험체들은 Fig.3에서 보는 바와 같이 대부분 휨파괴 양상을 보이고 있으나 B60L-S의 경우 단부에서 전단 균열이 발생하였다. 보수용 에폭시의 주입이 제대로 이루어지지 않은 B05N-S의 경우 에폭시를 주입한 곳에서 다시 집중적으로 균열이 발생하였다. 보수시험체들은 기준시험체와 비교하여 최대내력과 연성의 측면에서는 회복효과를 보였으나 파괴양상은 압축측 콘크리트의 압축파괴와 피복이 떨어져 나가는 파괴양상을 보였다.

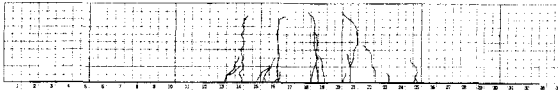
B05N-CL



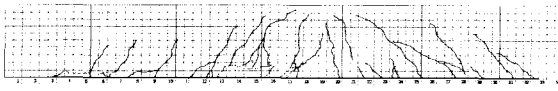
B05N-CS



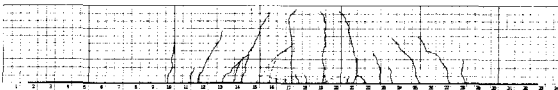
B05N-S



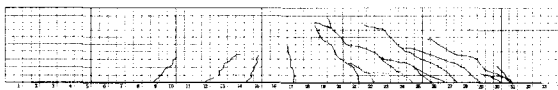
B50N-CL



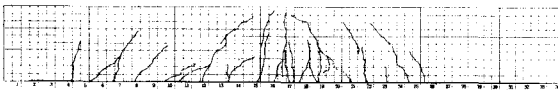
B50N-CS



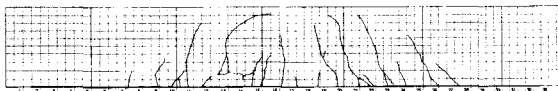
B50N-S



B60L-CL



B60L-CS



B60L-S

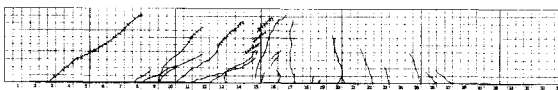


Fig.3 Crack patten of beams

3.2 최대하중

0.3mm의 균열을 발생시킨 후 에폭시로 보수를 시행한 B-E계열의 시험체들은 무보강 시험체인 BN과 거의 비슷한 내력과 연성을 나타내었다.

Table 6은 보수·보강 시험체들의 파괴하중을 표로 제시한 값이다. 보강시험체는 변수에 따라 무보강 시험체 보다 1.78~2.26배의 내력증가 보여주었다. 그러나 최대하중에 대한 예상하중의 비교는 강판으로 보강을 한 경우 B05N-S를 제외한 나머지 시험체와 탄소섬유판으로 보강한 경우 예상하중의 1.0 이상으로 나타났다.^(5,6) 이론값 보강재를 철근으로 환산하여 최대 모멘트를 계산하였다.

Table 6 Test results

Beams	Failure loads of beams (ton)		A/B
	Experimental (A)	Theoretical (B)	
BN	15.0	-	1.00
B05N-CL	32.5	24.2	1.34
B05N-CS	26.6	25.1	1.06
B05N-S	27.0	25.5	1.06
B50N-CL	32.8	24.2	1.35
B50N-CS	29.0	25.1	1.16
B50N-S	31.6	25.5	1.24
B60L-CL	30.9	24.2	1.27
B60L-CS	29.1	25.1	1.16
B60L-S	33.9	25.5	1.33
B-E1	15.2	-	1.02
B-E2	15.6	-	1.05
B-E3	16.3	-	1.09

전단 마찰계수를 0.6으로 제안하여 설정한 이론식의 다음과 같다.

$$M_u = \left\{ T_s \left(h_s - \frac{a}{2} \right) \right\} + \mu \times \left\{ T_p \left(h_p - \frac{a}{2} \right) \right\}$$

T_s : $A_s \times f_y$ (인장철근량×철근의 인장강도)

T_p : $A_p \times f_p$ (보강량×보강재의 인장강도)

h_s : 단면의 유효층

h_p : 층(Depth)

μ : 전단마찰계수

3.3 균열폭 영향

보의 휨보강시험체의 경우 0.5, 5.0, 6.0mm 균열을 부재에 발생시킨 후 B60L계열 시험체는 가력상태에서 그외 시험체는 하중을 제거한 상태에서 보수와 탄소섬유판, 탄소섬유쉬트, 강판으로 각각 보강을 시행하여 재시험을 실시, 균열폭에 따른 내력의 차이를 비교해 보았다. 실험결과 각 변수에 따른 하중-처짐곡선은 Fig.4와 같으며, 변수별 처짐량의 차이는 Table 7에 나타나 있다.

Table 7 Effect of crack width

Beam	Crack width (mm)	Max load (ton)	Deflector (mm)
BN	-	15.0	45.7
B05N-S	0.5	27.0	5.9
B05N-CS		26.6	19.5
B05N-CL		32.5	31.3
B50N-S	5.0	31.6	7.9
B50N-CS		29.0	22.5
B50N-CL		32.8	35.1
B60L-S	6.0	33.9	6.0
B60L-CS		29.1	20.3
B60L-CL		30.9	8.7

전체적으로 볼 때 거의 비슷한 내력을 보여주고 있으나 균열이 큰 부재가 대체로 내력이 약간 크게 나타났다. 특히 0.5mm의 균열폭을 가진 시험체의 경우 내력이 5.0, 6.0mm의 균열폭을 가진 시험체보다 내력이 적게 나타나는데 이는 보수를 함에 있어서 에폭시 주입의 용이함이 영향을 미쳤던 것으로 판단된다. 0.5mm의 미세한 균열에 대한 에폭시의 주입은 시공상의 어려움과 중앙부에 발생한 0.5mm이하의 균열을 발견하기가 어려웠고, 같은 압력으로 에폭시를 주입했을 때에 작은폭의 균열에 비해 큰폭의 균열에 에폭시 주입이 용이했으므로 내력에 차이를 보였던 것으로 사료된다. 이 시험체들의 초기균열의 발생은 에폭시의 주입 부위에서 발생하였고, 실험 후 확인결

과 에폭시의 주입이 제대로 이루어지지 않았다. 시험체의 미세균열에 대한 보수에 세심한 주의가 필요한 것으로 사료된다.

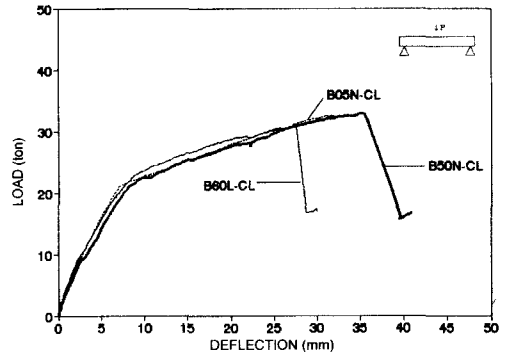


Fig.4 (a) Effect of crack width (C.F.L)

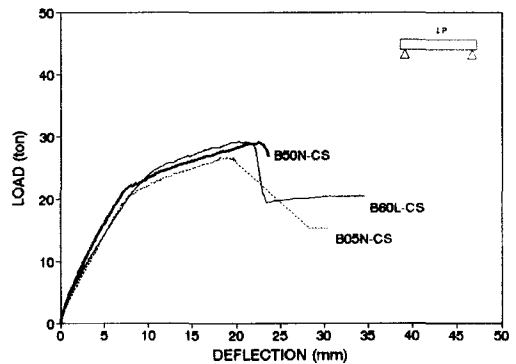


Fig.4 (b) Effect of crack width (C.F.S)

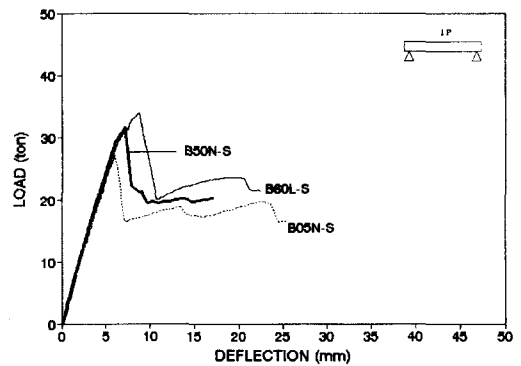


Fig.4 (c) Effect of crack width (Steel plate)

3.4 재하 상태 영향

본 연구에서는 하중을 재하한 상태와 제거한 상태에서 각각 보수·보강을 실시하고 보수·보강된 시험체의 구조적인 거동을 서로 비교하였다. Fig.5에서 보는 바와 같이 탄소섬유판을 사용해서 보강한 B50N-CL 및 B60L-CL의 경우, 하중이 제거된 상태에서 보강한 B60L-CL이 하중을 재하한 상태에서 보강한 B50N-CL 보다 내력이 작았고 파괴하중에서의 변위량도 작았다. 그러나 탄소섬유슈트르 보강한 시험체는 그러한 경향을 거의 보이지 않고 있으며 강판으로 보강한 시험체는 오히려 그 반대의 경향을 보이고 있다. 전체적으로 보아 무보강시험체의 내력인 15.0ton 보다 대략 1.78~2.26배로 증진된 26.6~33.9ton정도의 최대 내력을 보여주고 있어 보강효과는 확실한 것으로 판단되나 보강시의 하중 유·무에 따른 내력차가 약 2ton 정도로 무보강시험체의 10% 내외 이므로 하중을 제거한 후 보강을 하거나 재하된 상태에서 보강을 하여도 내력에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.

그러나 Fig.5 (a)에서 보는 바와 같이 재하상태에서 보강한 B60L-CL 시험체는 하중을 제거한 상태에서 보강한 B50N-CL 시험체와 비교하여 10mm 정도 작은 처짐 상태에서 탄소섬유판의 박리가 발생하였다. 이는 하중을 제거할 때 탄성범위(10mm정도) 원상복귀 되어 B60L-CL 시험체보다 변형 능력을 더 유지할 수 있었던 것으로 판단된다.

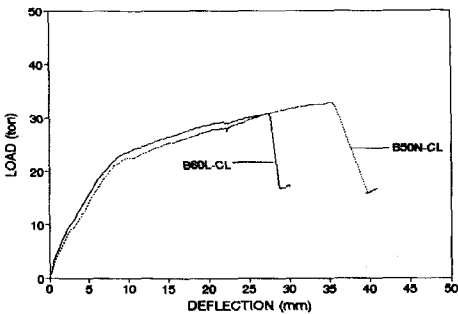


Fig.5 (a) Effect of load condition (C.F.L)

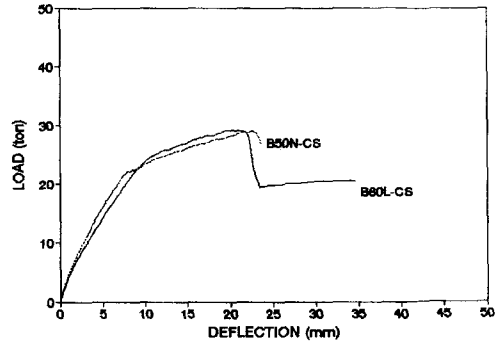


Fig.5 (b) Effect of load condition (C.F.S)

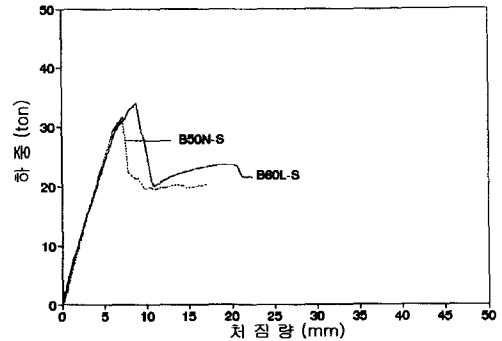


Fig.5 (c) Effect of load condition (steel)

3.5 보강재 영향

보강재의 종류에 따른 보와 슬래브의 하중-처짐곡선은 Fig.6과 같이 보강재의 종류에 따라서 탄소섬유판으로 보강된 시험체가 폭 0.5mm의 균열에서는 강판보다 1.2배, 탄소섬유슈트 보다는 1.22배의 큰 보강 내력을 보여주었다. 또한 강판으로 보강된 시험체는 탄소섬유슈트르 보강된 시험체의 내력과 거의 비슷한 크기를 보여주었다. 특히 전체적으로 강판 보강시험체의 처짐량이 현저하게 작게 나타났는데 이는 양쪽 단부의 앵커에 의한 구속력에 기인한 것으로 보인다. 같은 폭의 균열을 발생시킨 시험체에 서로 다른 종류의 보강재를 부착시킨 경우와 내력상으로는 큰차이를 보이지 않고 있다. 그러나 강판으로 보강시킨

시험체 B05N-S, B50N-S, B60L-S는 하중초기 단계에서 강판접착 에폭시의 부착성능이 충분치 않아 강판이 시험체의 콘크리트면에서 쉽게 박리되었다. 이로 인하여 탄소섬유쉬트나 탄소섬유판으로 보강시킨 시험체보다 에너지 흡수 능력이 현저히 감소되었다.

탄소섬유쉬트와 탄소섬유판의 하중-처짐곡선은 비슷한 거동을 보이거나 탄소섬유판이 더 큰 연성구간을 보이고 있다. 변형률에서도 탄소섬유판의 경우가 탄소섬유쉬트보다 파괴점에 근접하였다. 탄소섬유쉬트와 탄소섬유판의 물성은 비슷하기 때문에 재료적인 차이보다는 접착제의 성능에서 차이를 보이고 있는 것으로 판단된다. 또 시공상의 에폭시주입과 보강재의 부착방법에 따라서 부착강도 변화에 의한 부재 성능이 크게 좌우되므로 시공에 특별한 주의가 요망된다.

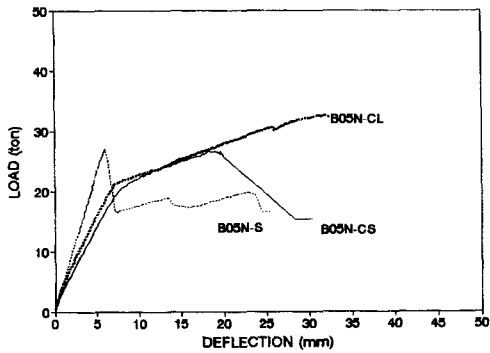


Fig.6 (a) Effect of crack length 0.5mm

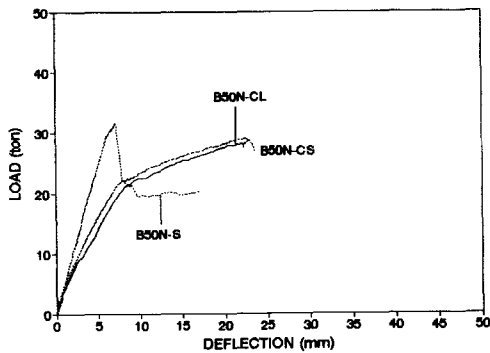


Fig.6 (b) Effect of crack length 5.0mm

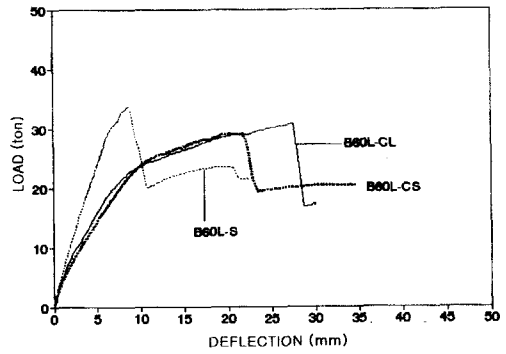


Fig.6 (c) Effect of crack length 6.0mm

4. 결론

철근콘크리트 보를 강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판등으로 보강한 시험체의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존 보강재료인 강재와 신재료인 탄소섬유판 및 탄소섬유쉬트로 보강한 시험체의 경우 무보강인 경우에 비하여, 146.2~186 정도의 내력증대 효과를 나타내었다.
- (2) 보강이 수행될 당시 하중의 재하상태에 의한 보강효과를 고찰한 결과, 하중이 재하된 상태에서 보수·보강하거나 하중을 제거한 후에 보수·보강을 수행하여도 내력에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 다만 재하상태에서 보수·보강한 시험체의 변형능력은 하중을 제거한 상태에서 보강한 시험체 보다 변형 능력이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.
- (3) 보강재의 종류에 따른 보강효과를 고찰한 결과 강판으로 보강시킨 시험체 B05N-S, B50N-S, B60L-S는 하중초기 단계에서 에폭시의 부착성능이 충분치 않아 강판이 시험체의 콘크리트면에서 쉽게 박리되어 이후 탄소섬유쉬트나 탄소섬유판으로 보강시킨 시험체보다 에너지 흡수 능력이 급격히 감소되었다. 충분한 연성구간을 가지기

위하여 앵커에 의한 보강재 단부의 구속이 필요할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구의 결과에 의하면 신재료인 탄소섬유를 사용하여 휨재를 보강하는 방안은 강재를 사용하여 보강하는 방법보다 여러 가지 측면에서 효과적인 것으로 판단되었다. 그러나 보강재와 콘크리트의 접착제와 내화성능에 관한 보다 많은 연구를 통하여 이를 활성화 하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 한국대학교의 연구비지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 심종성, 배인환, "강판 및 탄소섬유로 보강된 철근 콘크리트 보에 대한 해석적 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 1997.12. PP125~134

2. "탄소섬유쉬트 보강공법", T. S. BOND 건설공업, 1994

3. 건설교통부, "철근콘크리트 구조물의 균열 평가 및 제어대책에 관한연구", 1996

4. G. J. Al-Sulaimani, M. H. Baluch, "Flexural Behavior of Beams with External Steel Plates", ACI Structural Journal V.91, No.1, January-February 1995, pp 14~pp 22

5. Sharif "Strengthening of initially load reinforced concrete beams using FRP plates", ACI Structural Journal, march-april 1994

6. Y. N. Ziraba "Guidelines toward the design reinforced concrete beams with external plates" ACI Structural Journal, november-december 1994

7. Alfarabi Sharif, G.J. Sulaimani, "Strengthening of Initially Loaded R/C B Using FRP Plates", ACI Structural Journal No.2, March-April 1994, pp 160~pp 168

요 약

철근콘크리트 구조물은 과도한 하중과 유지관리의 소홀 등 여러 가지 이유로 보수·보강을 필요로 하는 경우가 많다. 이에 대해 국내에서는 철근콘크리트구조체의 보강방법으로 강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판을 사용하고 있다. 그러나 이들 보강재료의 성능에 대하여 신뢰할 만한 연구 결과가 아직까지 충분치 않은 실정이다.

본 연구는 보강재의 종류, 균열폭, 하중의 재하상태를 변수로 보강된 철근콘크리트보의 거동을 규명하고자 하였다. 보수시험체의 경우 기준시험체와 내력과 연성은 비슷한 거동을 나타냈으나 파괴형상은 인장부위 콘크리트의 탈락과 지압파괴가 발생하였다. 보강시험체의 경우, 보강의 효과는 뚜렷이 나타났으나 보강재의 물성을 100% 발휘하지는 못하였다. 탄소섬유쉬트의 경우 접착제의 성능이 완벽하지 않아 최대 내력시의 변형률이 파단시의 변형률과 비교하여 66%정도로 나타났다. 또한 보강시의 균열폭과 하중의 유·무는 부재의 내력과 거동에 영향을 거의 미치지 않는 것으로 나타났다.

(접수일자 : 1998.9.17)