

보수·보강된 철근콘크리트 보의 휨 및 전단 거동에 관한 연구

A Study on the Flexural and Shear Behavior of Repaired and Rehabilitated RC Beams

김 태 봉* · 이 재 범** · 류 택 은**

T.B. Kim · J.B. Yi · T.E. Ryu

(1999년 1월 16일 접수, 1999년 2월 26일 채택)

ABSTRACT

This study presents test results of RC beams strengthened by steel plates, carbon fiber sheets(CFS) and aramid fiber sheets(AFS) for increasing flexural and shear resistance. The test was performed with different parameters including the type of strengthening materials, flexural-strengthening methods and shear-strengthening methods.

In case of flexural test, RC beams are initially loaded to 70% of the ultimate flexural capacity and in case of shear test loaded to 60 or 80 percent of the ultimate shear capacity and subsequently reinforced with steel plates, CFS and AFS. Experimental data on strength, steel strain, deflection, and mode of failure of the reinforced beams were obtained, and comparisons between the different shear reinforced schemes and the non-strengthened control beams were made.

The test results showed that damaged RC beams strengthened by steel plates, CFS and AFS have more improved the flexural and shear capacity. For the beams with external reinforcement by steel plates, aramid fiber sheets and carbon fiber sheets increases in ultimate strength of 4 to 21, 17 to 43 and 26 to 36 percent were respectively achieved. Initial load had small effect on strength after reinforcement, but an important influence on deflection. One sheet reinforced was stronger than two sheets reinforced but less deflected than two sheets reinforced.

* 대덕대학 산업응용계열 안전공학전공, 조교수

** 충북대학교 토목공학과, 박사과정

1. 서 론

콘크리트 구조물은 그 자체가 취성 재료이기 때문에 균열을 피할 수 없다^{1,2)}. 따라서, 균열에 대한 효과적인 대책이 설계과정에 반영되어야 하며³⁻⁶⁾, 이미 균열이 발생한 구조물에 대해서는 효과적이고 시공성이 용이한 보수·보강대책을 수립하여, 구조물의 잔존수명기간 동안 충분히 그 기능을 발휘할 수 있도록 하여야 할 것이다⁷⁻¹⁰⁾.

본 연구에서는 노후화된 구조물을 효과적으로 보강할 수 있는 방법에 대해 휨 및 전단거동을 중심으로 그 특성을 규명하고자 하였다. 연구에 채택된 재료로는, 접착제에 에폭시 보수재료를 선정하였으며, 현재 구조물의 인장 및 압축부위 또는 전단부위에 전반적으로 적용이 가능한 강판압착공법 및 시공의 간편성과 보강된 부재 단면의 최소화로 최근에 각광을 받고 있는 탄소섬유시트 및 아라미드섬유 시트 접착공법의 보수·보강효과를 실험을 통하여 보강성능을 평가하고, 상호 비교·분석함으로써 합리적인 보수·보강을 위한 공법 선택의 폭을 넓히고, 이에 따른 철근 콘크리트 구조물의 성능개선과 함께 구조물의 안전을 도모함은 물론 경제적 손실을 절감할 수 있도록 올바른 보강 재료의 선택과 적절한 보수 보강 방법을 위한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 보수·보강 실험

2.1 실험 재료

본 실험에 사용된 콘크리트는 비중이 3.14인 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 최대치수 32mm인 부순돌(쇄석)을 사용하였다.

Table 1 Mixing proportion of concrete

Specified compressive strength (kgf/cm ²)	Aggre. max. size (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kgf/m ³)					
						Water	Cement	Fine aggre.	Coarse aggregate		AE agents (gf)
									19mm	32mm	
240	32	15	4.0	47	44	168	357	779	457	567	536

또한 본 실험에서 사용된 모든 철근은 SD40의 D16과 D10을 사용하였다.

보강에 사용된 강판은 SS400인 두께 2mm의 강판을 사용하였으며, 앵커 볼트는 Hilti HSA 스타드 앵커 M8×75를 사용하였다. 강판과 콘크리트 사이의 접착은 주재와 경화제를 2:1의 비율로 섞은 접착제를 사용하여 압입하는 방식을 채택하였다.

보강재인 탄소섬유시트는 일본 Mitsubishi Chemical Co.의 제품인 Replark™ Sheet (MRK-M2-20)를 사용하였으며, 아라미드 섬유시트는 국내 C社의 제품인 Power Sheet® 350 Cross를 사용하였다.

Table 2 Properties of fiber sheet

Type of fiber sheet	Item	Fiber areal weight (g/m ²)	Fiber density (g/m ³)	Thickness for design (mm)	Tensile Strength (kgf/cm ²)	Elastic Modulus (kgf/cm ²)
Carbon fiber sheet		200	1.82	0.111	25,000	2.4×10 ⁶
Aramid fiber sheet		300	1.44	0.121	35,000	1.25×10 ⁶

2.2 실험방법

2.2.1 휨보강 시험

① 시험체의 제작

휨 시험체는 15×20cm, 순지간 180cm, 지간 200cm의 복철근 직사각형보로 제작하였다. 배근도는 Fig. 1에 나타내었으며, 철근 게이지는 방수게이지를 사용하여 주철근의 중앙에 2개와 한쪽의 중앙에서 양쪽으로 15cm 떨어진 지점에 각각 1개씩, 총 4개를 부착하였으며, 콘크리트 게이지는 부재의 중앙에, 하부로부터 1, 5, 10, 15, 19cm 지점에 총 5개를 부착하였다.

② 선행(1차) 하중의 재하(premature loading)

기준시험체(control beam)의 최대과피하중의

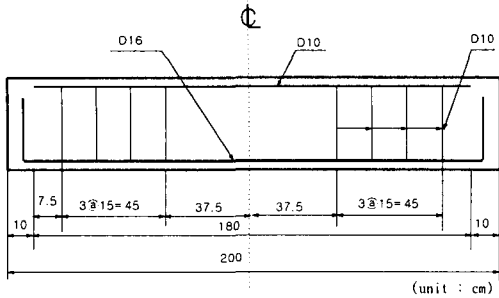


Fig. 1 Reinforcement and dimensions of beam section

70%에 해당하는 선행하중을 재하하여 손상 혹은 균열을 발생시킴과 동시에 선행하중하의 처짐과 선행하중 제거시의 잔류처짐, 인장철근의 변형 등을 측정하였다.

하중재하에 사용된 시험기는 일본 Shimadzu 사(社)의 UTM(만능시험기)을 이용하여 4점 재하방법으로 실험을 실시하였으며, 처짐은 부재 중앙의 하부에 LVDT 1개를 설치하며, 스트레인 게이지의 측정값과 함께 데이터 로거(data logger)에 저장하였다.

③ 휨시험체의 보강

무보강 시험체에 대하여 70%(6.6 ton)의 선행하중을 재하하여 4점 휨실험을 실시하고, 손상된 시험체에 대하여 각 보강재의 보수·보강을 실시하는데, 시공의 정밀성과 안정성을 높이기 위하여 전문시공업체가 직접 보강을 하도록 하였다. 시험체의 총 보강 Type은 4개로 분류하였다.

보강은 구조적인 측면에서 휨보강과, 전단과 피를 방지하기 위한 전단보강도 함께 실시하였다. 재료적인 측면에서 강판접착보강과 탄소섬유시트보강, 그리고 아라미드섬유시트 보강이며, 탄소섬유시트 보강 시에는 앵커 볼트는 시공하지 않았다.

2.2.2 전단보강 시험

① 시험체의 제작

인장철근은 D16 철근을 140cm로 배근하고 압축철근은 D10 철근을 140cm로 배근하여 폭 15 cm, 높이 20cm, 길이 160cm인 보 부재를 제작하였다. 전단보강을 효과적으로 알아보기 위하여 전단철근은 전단부 중앙에 D10철근을 한 개

씩 배근하여 전단거동을 분석하고자 하였다.

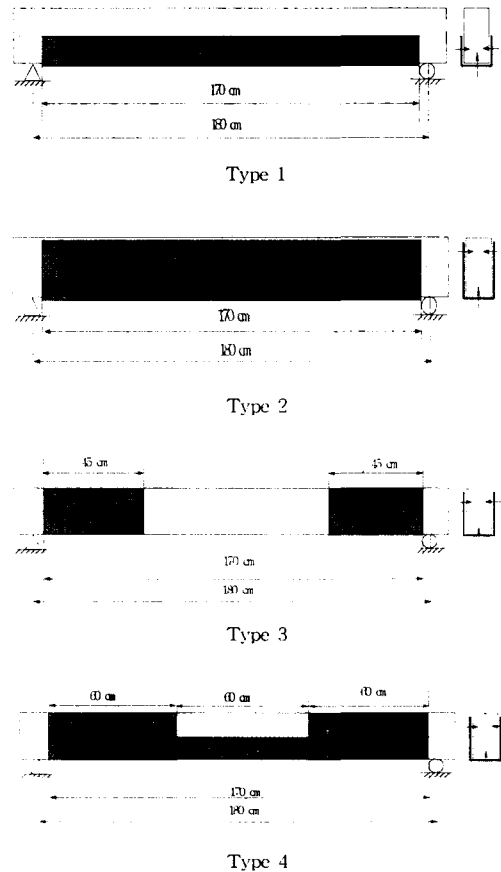


Fig. 2 Various strengthening type for flexural beam

철근의 조립 및 게이지의 부착위치는 Fig. 3과 같고, 철근의 변형을 측정하기 위하여 인장철근의 중앙부위에 각각 한 개씩 게이지를 부착하였고, 전단부위의 스테럽의 변형을 측정하기 위하여 스테럽에 한 개씩 게이지를 부착하였다.

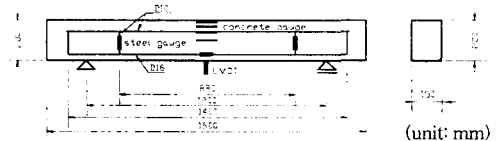


Fig. 3 Details of test beam and location of measurement gauges

Table 3 Classification of types and strengthened materials

Strengthening types	Strengthened materials	Designation
Control beams		F-Cont
Type 1	Steel plate	F-Type1-St
	Carbon fiber sheet	F-Type1-C
	Aramid fiber sheet	F-Type1-A
Type 2	Steel plate	F-Type2-St
	Carbon fiber sheet	F-Type2-C
	Aramid fiber sheet	F-Type2-A
Type 3	Steel plate	F-Type3-St
	Carbon fiber sheet	F-Type3-C
	Aramid fiber sheet	F-Type3-A
Type 4	Steel plate	F-Type4-St
	Carbon fiber sheet	F-Type4-C
	Aramid fiber sheet	F-Type4-A

Table 4 Classification of shear reinforced beams

Classification		Initial load	Number of sheets
Control beams	CONT-1	Ultimate load	~
	CONT-2	Ultimate load	~
	CONT-3	Ultimate load	~
Aramid fiber sheets	A-60-1	60%	1
	A-60-2	60%	2
	A-80-1	80%	1
	A-80-2	80%	2
Carbon fiber sheets	CF-60-1	60%	1
	CF-60-2	60%	2
	CF-80-1	80%	1
	CF-80-2	80%	2
Steel plate	S-60-1	60%	1
	S-60-2	60%	2
	S-80-1	80%	1
	S-80-2	80%	2

A: Aramid fiber sheets, CF: Carbon fiber sheets,

S: Steel plate, 60: 60 percents of ultimate load,

80: 80 percents of ultimate load

1: one sheet reinforcement, 2: two sheets reinforcement

콘크리트의 변형을 측정하기 위하여 보의 중앙 부위에 상부에서 1, 2, 3, 4cm 간격으로 4개의 콘크리트 게이지를 부착시켰다. 또한, 부재의 처짐을 측정하기 위하여 부재의 중앙하부에 LV-

DT를 설치하였다.

② 전단시험체의 보강

보강 전과 후에 시험체의 전단 성능평가를 위한 기초실험 부재와, 이와 동일한 재원을 갖는 보강부재로 분류하였다. 보강부재는 보강재의 종류, 초기 재하 하중 및 보강판의 수에 따라 Table 4와 같이 분류하였다.

초기 재하 하중에 의해 손상된 부재에 대한 보강은 아라미드섬유시트, 탄소섬유시트 및 강판으로 보강을 하였으며, 보강재료에 대한 특성을 서로 비교 분석하기 위하여 각각의 재료에 대하여 보강방법을 동일하게 설계하였다.

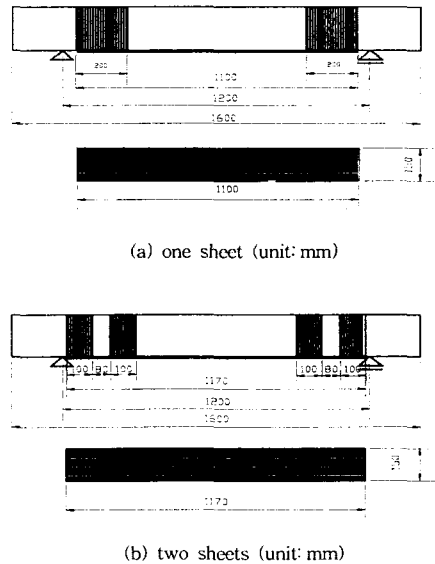


Fig. 4 Strengthening schemes for shear damaged beams

각각의 재료에 대하여 전단 보강 폭은 부재의 높이와 동일하게 20cm로 보강을 한 경우와 10cm씩 두 장으로 나누어 보강한 경우에 대하여 서로 보강효과를 비교하였다. 한 장으로 보강한 경우는 전단 중앙부분에 보강을 하였으며, 두 장으로 나누어 보강한 경우는 전단 중앙부분의 간격을 부재의 유효높이의 반을 띄워 양쪽으로 보강을 하였다. 또한, 초기 재하 하중을 파괴 하중의 60%와 80%로 구분하여 위에서와 같이 두가지 방법으로 보강하였다. 보강에 대한 설계

는 Fig. 4와 같다.

하중 재하시 보강재료의 거동을 분석하기 위하여 전단 보강재료의 중앙과 부재 밑면에 보강한 판의 중앙부분에 스트레인 게이지를 부착하여 하중의 증가에 따라 인장 및 스테러업 철근의 변형과 보강재료의 변형을 비교 분석하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 휨보강 시험체

3.1.1 기준시험체 결과

본 실험에서는 휨인장 보강실험에 앞서 보강 전후의 보강성능을 비교 평가하기 위하여 기준 시험체 1개를 제작하여, 파괴실험을 수행하였으며, Fig. 5에 최종 파괴형상을 나타내었다. 기준 시험체의 파괴하중은 약 9ton이었고, 인장철근의 항복하중은 8.4ton이었다. 외관상의 파괴양상이 최종적으로는 압축파괴 형태였으나, 8.5ton에서 인장철근이 항복한 후 변형이 증가하여 결국 압축부 파괴가 발생한 것으로 사료된다.

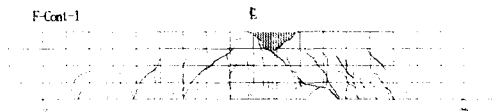


Fig. 5 Crack patterns and failure mode of control beam

3.1.2 선행하중 및 2차하중 재하 결과

선행하중의 크기를 6.2ton으로 설정하였다. 보강 전 선행하중 재하시의 측정 결과를 보면, 잔류 처짐은 탄성 이론적으로는 영(0)이 되어야 하지만 실제로는 약 1.00mm정도의 잔류 처짐이 발생하였다. 하지만 이는 하중제거 후 즉시 측정된 값으로써 보강 후 하중 재(再)재하시까지의 기간동안 다소의 회복이 있었을 것으로 판단된다. 균열은 약 10개 내외로서 대부분 약 10cm (h/2)까지 진행되었으며, 최대균열폭은 약 0.2~0.3mm이었다. 휨내력의 증가는 강판보강시험체에서는 단부 파괴가 발생한 1, 2를 제외하더라도 약 30%, CFS보강 시험체에서는 Type 1과 2가 서로 같은 효과를 보였으며 이어서 4, 3의 순서로 강도가 증진하였으며, 약 20~30%의 보

강효과를 보였다. AFS보강 시험체에서 Type 4, 1과 2는 서로 같으며, 그 다음이 3의 순서로 강도가 증진하였으며, 약 10~20%의 보강효과를 보였다.

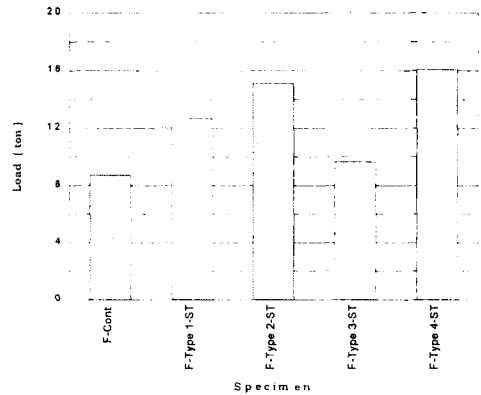


Fig. 6 Failure load due to type of strengthened with steel plate

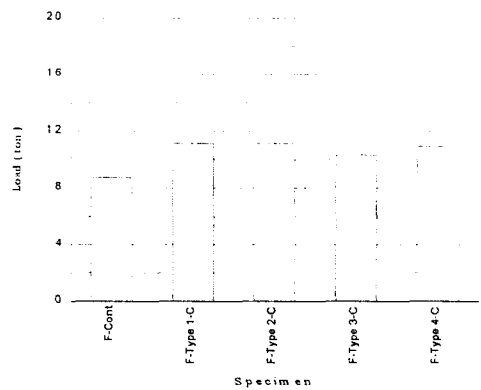


Fig. 7 Failure load due to type of strengthened with CFS

3.1.3 하중-처짐, 하중-변형을 관계

Table 5는 보강재에 따른 처짐제어 효과를 백분율로 나타낸 것이다. 최대처짐은 최대하중 발생시점을 기준으로 하였으며, 기준시험체와 비교를 통하여 보강재에 따른 처짐의 제어효과를 보였다. Fig. 9~Fig. 11은 보강 시험체의 중앙에서 측정된 값으로 하중-처짐 관계를 그래프를 나타낸 것이다. 강판보강시험체는 단부 파괴가 발생한 1, 2를 제외하더라도 약 30%, CFS보

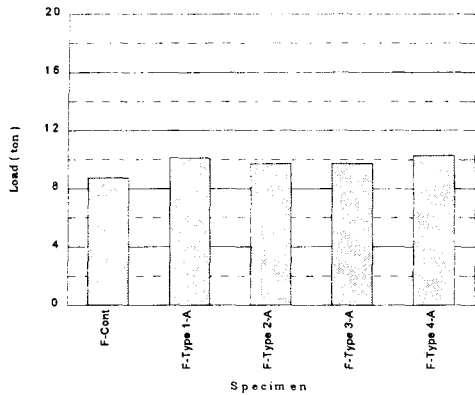


Fig. 8 Failure load due to type of strengthened with AFS

강 시험체에서는 Type 4, 2, 3, 1의 순서로 약 10% 이내의 처짐제어효과를 보였으나, Type 1의 경우는 8% 정도의 처짐증가가 발생하였다. AFS보강 시험체에서는 Type 2, 4, 3, 1의 순서로 약 10% 이내의 처짐제어효과를 보였다. 인장철근의 변형제어효과는 최대하중 재하시점을 정점으로 하여, 최대하중(100%)을 기준으로 하면, 기준시험체와 비교하여 강판보강시험체는 모두 $2,000\mu$ 으로서 1/13.5로 감소하였으며, CFS보강 시험체에서는 Type 2는 약 $3,000\mu$, Type 3은 약 $9,000\mu$ 정도, Type 4는 약 $4,000\mu$ 정도의 변형제어효과를 보인 것으로 분석된다. AFS보강 시험체에서는 Type 1이 약 $8,000\mu$, Type 2가 약 $3,000\mu$, Type 3에서 $4,000\mu$ 정도의 변형제어효과가 있었다. CFS보강 시험체 Type1과 AFS보강 시험체 Type 4의 경우에는 박리 등의 이유로 변형제어효과를 발휘하지 못하였다.

Table 5 Displacement control effect [mm (%)]

Specimen Type	Control beam	Steel plate reinforcement	Carbon fiber sheet reinforcement	Aramid fiber sheet reinforcement
1	17.48 (100%)	8.11(46%)	18.81(108%)	17.21(98%)
2		7.60(43%)	15.96(91%)	14.65(84%)
3		13.00(74%)	16.05(92%)	16.63(95%)
4		11.99(69%)	15.79(90%)	16.46(94%)

3.1.4 파괴 및 균열양상

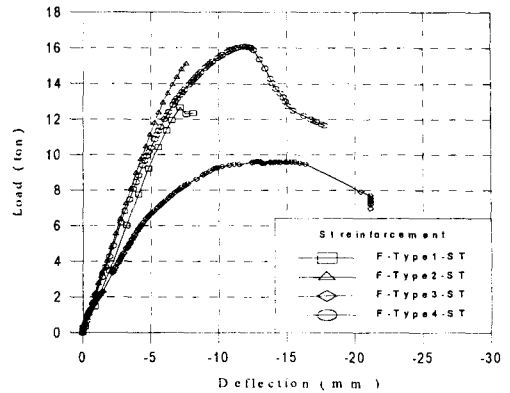


Fig. 9 Load-displacement curves for the beam strengthened by steel plate

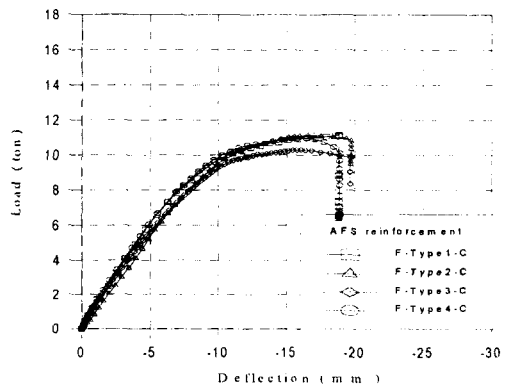


Fig. 10 Load-displacement curves for the beam strengthened by CFS

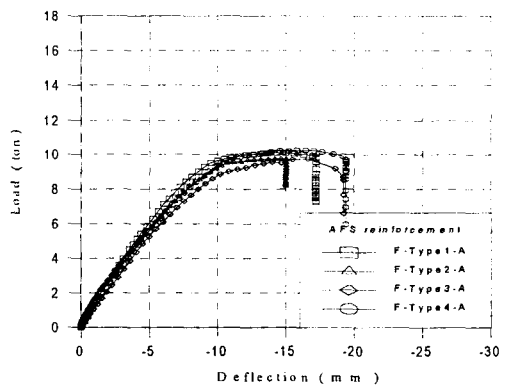


Fig. 11 Load-displacement curves for the beam strengthened by AFS

기준시험체의 경우 인장철근의 항복에 이은 압축파괴의 양상을 보이는 반면, 보강시험체의 경우 대부분이 강판이 콘크리트를 물고 떨어지거나, 보강재와 콘크리트 사이의 박리로 인한 파괴가 지배적이다. 이는 좌우측의 보강재 변형이 초기에는 인장으로 진행되다가 강판이 박리되면서 압축을 받는 경우로, Fig. 12~Fig. 14에서 확인할 수 있으며, 이는 보강 전후의 균열양상을 나타낸 것이며, 각 Type의 그림 중 위의 그림은 선행하중 재하 후의 균열형상이고, 밑의 그림은 보강 후 파괴시험의 결과를 나타낸 것이다.

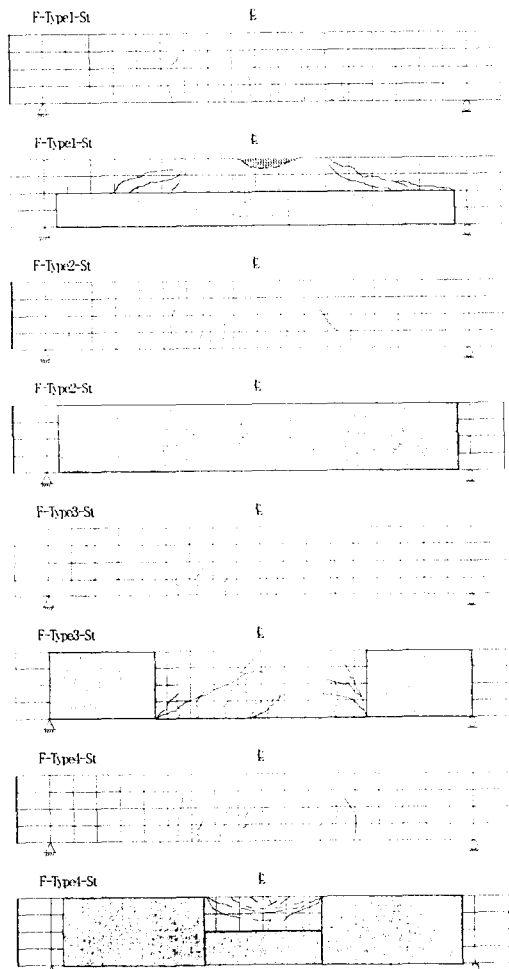


Fig. 12 Crack patterns in beams strengthened by steel plate

대부분의 시험체에서 하중 재하점 사이의 구간에서 새로운 균열의 발생은 확인되지만, 선행 하중 재하시 발생한 휨인장 균열의 발전은 거의 없는 것으로 나타났다.

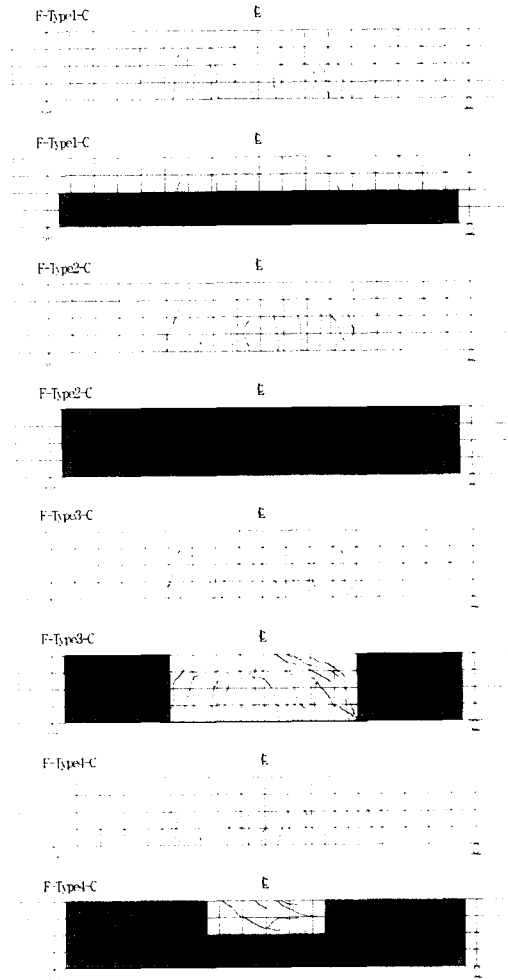


Fig. 13 Crack patterns in beams strengthened by carbon fiber sheet

3.3 전단보강 시험체

3.3.1 기준시험체 결과

기초실험 부재의 실험결과 초기 균열은 4.5 ton을 전후로 하중 재하점 사이에서 휨 균열이 먼저 발생하였으며, 하중이 점점 증가함에 따라

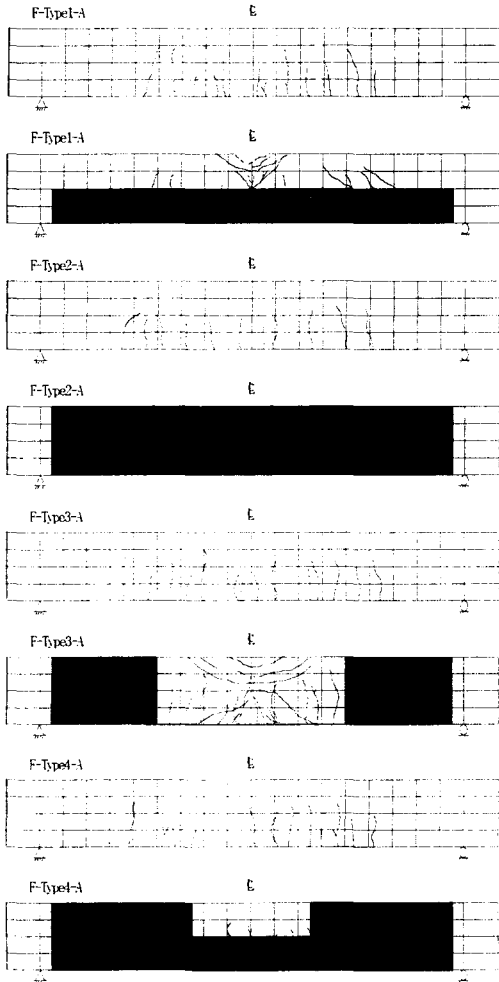


Fig. 14 Crack patterns in beams strengthened by aramid fiber sheet

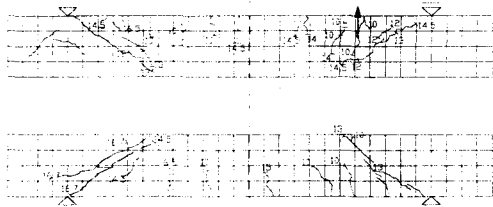


Fig. 15 Crack patterns with control beam

8ton에서 10ton 사이에서 부재의 지점 부분에서

전단균열이 발생하였으며 전단균열이 성장하여 최종적으로는 휨 전단파괴가 되었다. 기초실험 부재의 균열은 Fig. 15와 같다. 또한, 보강실험을 하기 위한 시험체에 초기하중을 가하였을 경우 극한하중의 60% 재하시의 균열은 Fig. 16과 같고, 극한 하중의 80%를 가했을 경우 부재의 균열은 Fig. 17과 같다.

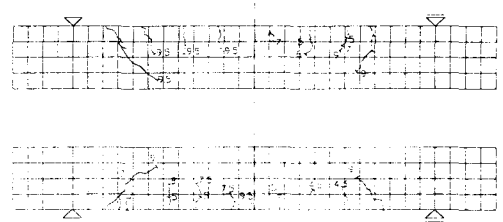


Fig. 16 Crack patterns under 60% ultimate load

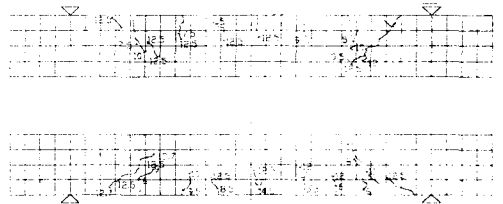


Fig. 17 Crack patterns under 80% ultimate load

3.3.2 보강부재의 전단내력

본 연구에 사용된 무보강 시험체에 대한 휨 전단실험 초기균열은 하중재하점과 부재의 중앙 부위에서 휨균열이 먼저 발생하였으며, 이때 전단내력은 2ton정도이다. 하중을 점점 증가하여 전단내력이 4ton을 전후로 하여 사인장 균열이 발생하였다. 부재는 사인장균열의 발달에 의하여 파괴되었으며, 이때 최대전단내력은 7.72ton이다.

보강한 시험체의 전단내력은 최소 4%~47%의 증가를 보였다. 탄소섬유시트로 보강한 경우에 26%~47%의 전단내력증가를 보였으며, 강판으로 보강한 경우에는 4%~21%의 전단내력증가를 보였고, 아라미드섬유시트로 보강한 경우에는 20%~43%의 전단내력 증가를 보였다.

기초실험 부재 및 보강시험체에 대한 실험결과는 Table 6과 같고, Fig. 18에 전단내력을 비

교하였다.

Table 6 Ultimate shear strength for each beams

	Control beam (ton)	Strengthened beam (ton)	Increase ratio	Failure mode**
Cont-1	7.85	-	0	D
Cont-2	8.24	-	0	D
Cont-3	7.06	-	0	D
A-60-1	7.72*	9.23	1.20	D
A-60-2		9.68	1.25	D
A-80-1		11.05	1.43	F
A-80-2		9.00	1.17	D
CF-60-1	7.72*	11.34	1.47	F
CF-60-2		10.53	1.36	D
CF-80-1		10.27	1.33	D
CF-80-2		9.70	1.26	D
S-60-1	7.72*	9.19	1.19	D
S-60-2		8.0	1.04	D
S-80-1		9.33	1.21	D
S-80-2		8.16	1.06	D

* Average shear strength of control beams, Cont-1, Cont-2, and Cont-3.

** D: Diagonal tension crack,

F: Flexural by curshing of concrete

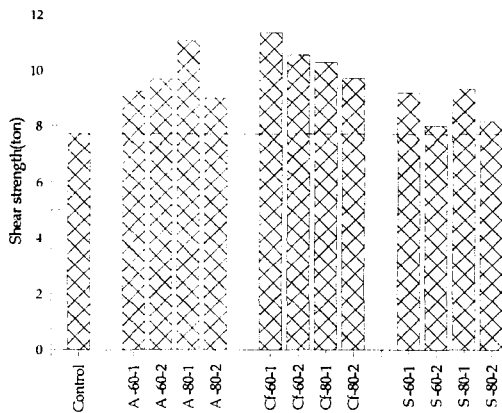


Fig. 18 Shear failure load due to type and strengthening materials

① 초기 재하하중에 따른 전단내력

보강용 시험체에 가한 초기 재하 하중에 따른 전단내력의 증가는 아라미드섬유시트와 강판

으로 보강한 경우에는 거의 차이를 보이지 않았으나, 탄소섬유시트로 보강을 했을 경우에는 초기재하하중을 60% 재하했을 경우에 80% 재하했을 경우보다 12%정도 전단내력이 크게 나타남을 알 수 있었다.

아라미드섬유시트 및 강판으로 보강한 부재의 내력증가가 일정하지 않고 초기재하하중에 따른 내력증가가 없는 것은 보강판의 부착시에 앵커볼트의 시공을 위한 구멍을 천공할 때 초기 하중 이상의 손상을 부재에 입히고, 앵커볼트의 불규칙한 시공에 의한 것으로 보인다.

② 보강방법에 따른 전단내력

아라미드섬유시트 보강의 경우에는 한 장으로 보강한 경우가 두 장으로 보강한 경우보다 초기재하하중을 60%재하한 경우에 5%정도의 내력감소를 보였으나, 80%재하한 경우에 26%의 내력증가를 보였으며, 탄소섬유시트보강의 경우에는 한 장으로 보강한 부재가 두 장으로 보강한 부재보다 초기재하하중에 따라 60%재하한 경우에 11%, 초기재하하중을 80%재하한 경우에는 7%의 내력증가를 보여 평균 9%정도의 내력증가를 나타내었으며, 강판보강의 경우에 초기 하중에 따라 한 장으로 보강한 경우에 15%정도의 내력증가를 보였다.

따라서, 보강판의 보강방법에 따른 내력증가는 한 장으로 보강한 부재가 두 장으로 보강한 부재보다 내력증가의 효과가 큰 것으로 나타났다.

3.3.3 보강부재의 하중-처짐

기초실험부재 및 보강부재에 대한 실험결과, 기초실험부재의 사인장 균열에 의한 전단 파괴시 처짐은 평균 6.7mm를 일으켰다.

기초실험부재의 하중 처짐곡선은 Fig. 19와 같다.

① 아라미드섬유시트 보강부재의 처짐

초기하중을 60%재하한 경우가 80%재하한 경우보다 보강 후의 처짐은 25%정도 처짐이 작게 발생하였다. 그러나, 한 장으로 보강한 경우에는 두 장으로 보강한 경우보다 36%정도 더 처짐이 발생하였다. 즉, 초기하중에 따른 강도 증가효과는 미약한 반면 처짐은 초기하중이 클수록 크게 나타났으며, 보강방법에서 한 장으로 보강한 경

위에 두 장으로 보강한 경우보다 저항강도는 약간 증가하지만 처짐은 더 많이 일어남을 알 수 있었다.

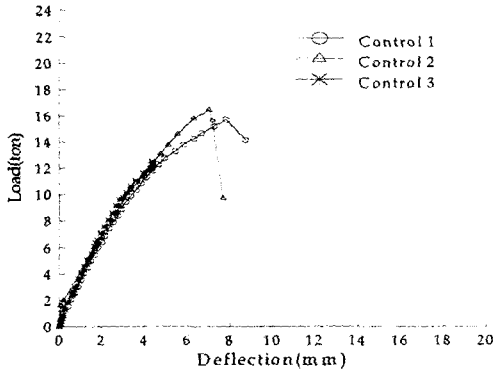


Fig. 19 Load-deflection curves of control beams

아라미드섬유시트의 하중-처짐곡선은 Fig. 20과 같다.

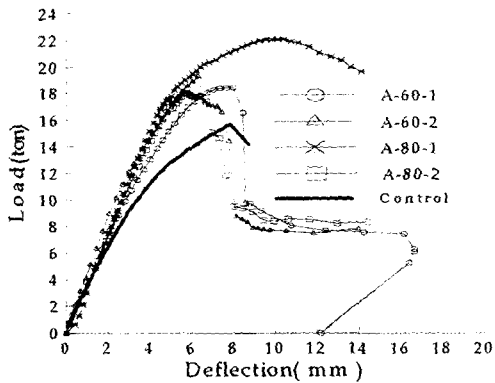


Fig. 20 Load-deflection curves strengthened with aramid fiber sheets

② 탄소섬유시트 보강부재의 처짐

탄소섬유시트로 보강한 부재의 처짐은 초기하중을 60% 재하한 경우가 80% 재하한 경우보다 23%정도 처짐이 작게 발생하여 아라미드섬유시트와 같은 경향을 보임을 알 수 있었다.

보강방법에 따른 처짐은 보강시트를 한 장으로 보강한 경우가 두 장으로 나누어 보강한 경우보다 15%정도 더 처짐이 발생하였다.

탄소섬유시트로 보강한 경우에도 아라미드섬유시트로 보강한 것과 마찬가지로 초기하중에 따라서 전단내력면에서는 큰 영향은 없으나 처짐은 초기하중이 클수록 많이 처짐을 알 수 있었다.

보강방법에서도 한 장으로 보강한 경우가 두 장으로 보강한 경우보다 저항강도는 약간 증가하지만 처짐은 더욱 크게 발생함을 알 수 있었다.

탄소섬유시트의 하중-처짐곡선은 Fig. 21과 같다.

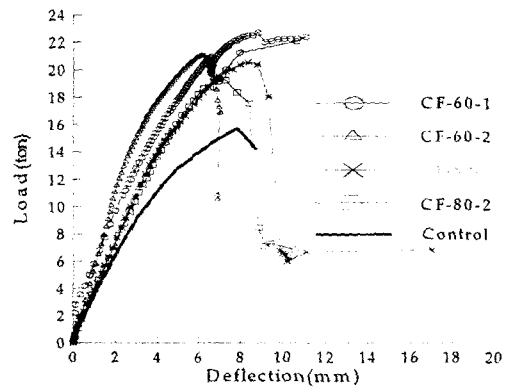


Fig. 21 Load-deflection curves strengthened with carbon fiber sheets

③ 강판 보강부재의 처짐

강판으로 보강한 경우에도 처짐에 있어서는 초기하중을 60% 재하하였을 때보다 80% 재하하였을 경우가 19%정도 더 많이 처짐을 알 수 있었다. 보강방법에 따라 강판을 한 장으로 보강한 경우가 두 장으로 나누어 보강한 경우보다 40%정도 더 처짐이 발생하였다. 강판으로 보강한 경우에 강도의 증가는 다른 재료로 보강한 경우보다 효과가 작지만 처짐은 훨씬 작게 일어남을 알 수 있었다.

강판으로 보강한 부재의 하중-처짐은 Fig. 22와 같다.

3.3.4 균열 및 파괴형상

① 보강재료에 따른 파괴형상

아라미드섬유시트로 보강한 부재는 보강시트

의 파단이나 보강시트 사이로 사인장 균열에 의한 부재의 파괴가 일어났고, 또는 사인장 균열면에 박힌 앵커볼트가 뽑힘과 동시에 보강시트의 박리에 의하여 부재가 파괴되었다.

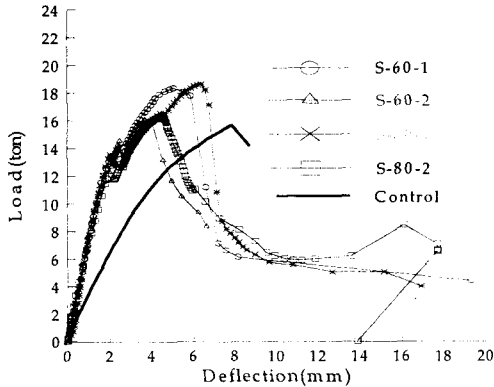


Fig. 22 Load-deflection curves strengthened with steel plate

탄소섬유시트로 보강한 경우에는 사인장 균열면 상부의 보강시트가 콘크리트와 박리됨으로 부재가 파괴되거나 부재 밀면의 모서리에서 보강시트의 파단에 의해 부재가 파괴되었다.

강판으로 보강시에는 하중 재하점에서 콘크리트의 압축파괴가 일어났고, 강판의 정착에 사용한 앵커볼트가 콘크리트를 물고 일어남과 동시에 사인장 균열에 의하여 부재가 파괴되었다.

② 보강방법에 따른 파괴 형상

보강을 한 장으로 하였을 경우에는 보강재가 분리되거나 콘크리트의 압축파괴로 인하여 부재가 파괴되는 것을 알 수 있었다. 앵커볼트를 시공하였을 경우에는 앵커볼트가 콘크리트를 물고 일어남으로 인하여 보강시트가 분리되므로 사인장 균열에 의하여 부재가 파괴되었다. 사인장 균열면에 시공한 앵커볼트가 쉽게 분리되어 효과가 작은 것으로 나타났다. 앵커볼트를 시공하지 않았을 경우에는 사인장 균열면 상부의 보강시트가 부재와 분리되었고, 사인장 균열에 의하여 부재가 파괴되었다.

보강재를 두 장으로 나누어 보강을 한 경우에는 보강재 사이로 사인장균열이 발달하였고, 부재가 파괴시에는 밀면의 모서리 부분에서 보

강시트가 파단되었다.

부재가 파괴시에 보강시트의 파단보다 콘크리트와의 박리에 의한 파괴가 많은 것으로 보아 보강효과는 콘크리트의 강도와도 밀접한 관계가 있고, 또한 보강시트를 정착시키는 방법이 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

시험체에 가한 초기재하 하중에 따른 보강시험체의 파괴 형상에는 별다른 차이가 없음을 알 수 있었다.

4. 결 론

- 1) 강판보강 시험체의 경우 최대파괴하중과 휨모멘트 강도는 보강하지 않은 시험체와 비교하여 약 1.1~1.85배, CFS로 보강한 시험체는 약 1.2~1.3배, AFS로 보강한 시험체는 약 1.1~1.2배 향상되었으며, 전면보강시험체의 효과가 가장 크게 나타났다.
- 2) CFS로 보강한 시험체의 휨내력은 약 0.50~0.73 t·m가 증가하였으며, AFS로 보강한 시험체는 약 0.30~0.46 t·m가 증가하였는데, 이는 모재와의 박리 등의 이유로 충분한 휨내력을 발현하지는 않았지만, 연성의 증가에는 매우 효과적인 보강방법으로 판단된다.
- 3) 강판보강시험체의 인장철근 변형제어효과는 최대하중(100%)을 기준으로 10,000 μ 이상, CFS와 AFS로 보강한 시험체는 3,000~9,000 μ 정도이며, 전면보강 시험체의 인장철근 변형제어효과가 가장 우수한 것으로 판단된다.
- 4) 아라미드섬유시트로 보강한 보는 무보강 보에 비하여 26%의 전단내력 증가를 보였고, 탄소섬유시트로 보강한 보는 무보강 보에 비하여 33%의 전단내력 증가를 보였으며, 강판으로 보강한 보는 무보강 보에 비하여 12%의 전단내력 증가를 보였다.
- 5) 시험체에 재하한 초기 재하 하중에 따른 전단내력은 앵커볼트를 사용하여 보강시트를 정착시킨 아라미드섬유시트와 강판의 경우에는 거의 차이를 보이지 않았으며, 앵커볼트를 사용하지 않은 탄소섬유시트로 보강한 경우에 초기 재하 하중이 작은 경우에 전단내력이 크게 나타났다. 처짐은 초기 재하 하중이

작을수록 작게 발생하였다.

- 6) 보강방법에 따른 전단내력은 한 장으로 보강한 경우가 두 장으로 보강한 경우보다 전단내력이 크게 나타났으며, 처짐은 두 장으로 보강한 경우에 작게 일어남을 알 수 있었다.
- 7) 연구결과 구조물의 노후도가 작을 때 보강하는 것이 좋으며, 콘크리트의 강도가 약할 경우에는 앵커볼트를 시공할 때 콘크리트에 손상을 증가시켜 앵커볼트의 효과를 충분히 발휘하지 못하므로 앵커볼트 시공에 주의해야 한다.
- 8) 보강부재의 파괴양상은 대부분의 경우 취성 파괴의 경향이 두드러지게 나타나며, 파괴원인은 대부분 인장측 보강재 단부의 박리가 원인이라고 판단되며, 이러한 박리는 파괴점 부근에서 발생한다는 것을 알 수 있었다.

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모 과제 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- 1) 심중성, "콘크리트구조물의 보수·보강기법의 최신 연구 동향", 한국콘크리트학회지, 제7권 6호, pp. 64~73, 1995.
- 2) Oehlers, D.J., and Moran, J.P., "Premature Failure of Externally Reinforced Concrete Beams", Journal of Structural Engineering, Vol. 116, No. 4, pp. 978~995, 1990.

- 3) Oehlers, D.J., "Reinforced Concrete Beams with Plates Glued to Their Soffits", Journal of Structural Engineering, Vol. 117, No. 11, pp. 2023~2038, 1991.
- 4) Saadatmanesh, H., and Ehsani, M.R., "RC Beams with GFRP Plates 1: Experimental Study", Journal of Structural Engineering, Vol. 117, No. 11, pp. 3417~3433, 1991.
- 5) An, W., and Saadatmanesh, H., "RC Beams Strengthened with FRP Plates 2: Analysis and Parametric Study", Journal of Structural Engineering, Vol. 117, No. 11, pp. 3434~3455, 1991.
- 6) Nanni, A., "Properties of Aramid-Fiber Reinforced Concrete and SIFCON", Journal of Material in Civil Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 1~15, 1992.
- 7) Aberdeen's Concrete Construction Magazine, "Concrete Repair", Concrete Construction Publications Inc., Vol. 1, pp. 1~4, 1992.
- 8) ACI, "ACI Manual of Concrete Inspection", ACI Committee 311, ACI, pp. 190~197, 1992.
- 9) ACI, "Concrete Repair Basics Seminar Course Manual SCM-24(91)", ACI, 1991.
- 10) ACI, "Repair and Rehabilitation of Concrete Structures Seminar Course Manual SCM-16(87)", ACI, 1987.