

탄소 및 아라미드 섬유시트로 보강된 철근콘크리트 보의 휨 성능평가 실험

구 봉 근* 김 태 봉** 김 창 운*** 이 재 범****

* 충북대학교 공대 토목공학과 교수, 공박 ** 충남전문대학 산업안전과 조교수, 공박
 *** 충북대학교 토목공학과 박사과정 **** 충북대학교 토목공학과 석사과정

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

본 연구에서는 노후화된 구조물을 효과적으로 보강할 수 있는 방법에 대해 휨 거동을 중심으로 그 성능을 규명하고자 하였다. 연구에 채택된 보강재료로는 현재 시공의 간편성과 보강된 부재 단면의 최소화로 최근에 각광을 받고 있는 섬유접착 보강재료 중에서 탄소섬유쉬트(CFS)와 아라미드섬유쉬트(AFS) 접착공법을 선택하였으며, 현재 상용중인 보강단면을 채택하여 보수·보강을 실시하였다. 그리고, 보강효과를 실험을 통하여 비교·분석함으로써 합리적인 보수·보강공법을 위한 선택의 폭을 넓히고, 현재 활발히 진행중인 국내 보수·보강의 체계화를 위한 기초적인 자료를 얻고자 한다.

2. 보수 보강실험

2.1 사용재료

실험에서 사용된 모든 철근은 KS D 3504, 통칭 SD40을 사용하였으며, 콘크리트는 비중이 3.14인 1종 보통포틀랜드시멘트와 최대치수 32mm인 부순돌(쇄석)을 사용하였고 설계기준강도는 210kgf/cm²이 되도록 설계하였다.

탄소섬유시트(CFS)는 일본 Mitsubishi Chemical Corporation 社의 제품인 ReplarkTM Sheet를 사용하였으며, 아라미드 섬유시트(AFS)는 국내 C 社의 제품인 Power Sheet[®]를 사용하였으며, 재료특성은 Table 2.1에 나타내었다.

Table 2.1 Properties of reinforcing materials

Item	Tensile strength (kgf/cm ²)	Elastic modulus (×10 ⁶ kgf/cm ²)	Failure strain (×10 ⁶)	Density (g/cm ³)
Carbon firer sheet	25,000	2.4	10,417	1.82
Aramid firer sheet	22,500	1.19	18,908	1.44

2.2 시험체의 제작

15×20cm, 순지간 180 cm의 복철근 직사각형보로 제작하였으며, 4점재하방식으로 하중 6 ton에 견딜 수 있도록 제작하였다.

배근도는 Fig. 2.1에 나타내었으며, 철근 게이지의 부착위치는 Fig. 2.2에 나타내었다. 철근 게이지는 방수게이지를 사용하여 주철근의 중앙과, 중앙에서 양쪽으로 15cm 떨어진 지점에 총 4개를 부착하였으며, 콘크리트 게이지는 부재의 중앙에, 하부로부터 1, 5, 10, 15, 19cm 지점에 총 5개를 부착하였다.

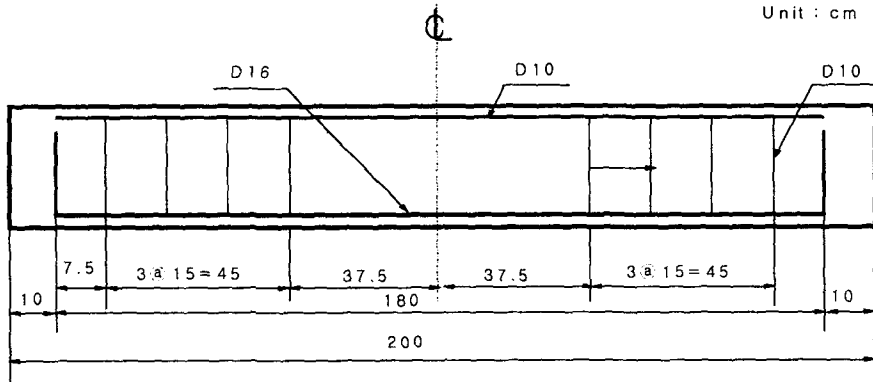


Fig. 2.1 Reinforcement and demensions of beam section



Fig. 2.2 Bonded position of steel strain gauge

2.3 시험체의 명칭과 보강

1) 시험체의 명칭

무보강 시험체에 대하여 70%의 선행하중을 재하하여 4점 휨실험을 실시하고, 손상된 시험체에 대하여 각 보강재의 보수·보강을 실시하며, 총 보강 Type은 4개로 분류하였다.

2) 보강 방법

Type I에서는, 바닥면에 부재길이 방향으로 170cm, 부재측면에는 높이 10cm(h/2)로 보강하였으며, Type II에서는, 바닥면에 부재길이방향으로 170 cm, 부재측면에 20cm(h) 높이로 보강하였다. Type III는, 바닥면에 부재길이방향으로 170cm, 양측면에는 20cm×45cm의 크기로 전단보강하였으며, Type IV는, 하면 170cm, 측면은 양측면에 20cm(h) 중앙부에는 10cm(h/4), 길이는 60cm로서 양쪽에 부착하였다. 단, CFS 접착공법에는 앵커볼트를 시공하지 않았다.

Table 2.2 Classification of specimens by reinforcing type and materials

Reinforcement	Reinforcing types	Reinforcing materials	Specimen
Flexural reinforcement control beams			F-Cont-1
F	Type I	C	F-Type I -C1
		A	F-Type I -A1
	Type II	C	F-Type II -C2
		A	F-Type II -A2
	Type III	C	F-Type III -C3
		A	F-Type III -A3
	Type IV	C	F-Type IV -C4
		A	F-Type IV -A4
Flexure		C : carbon A : aramid	specimen : 9

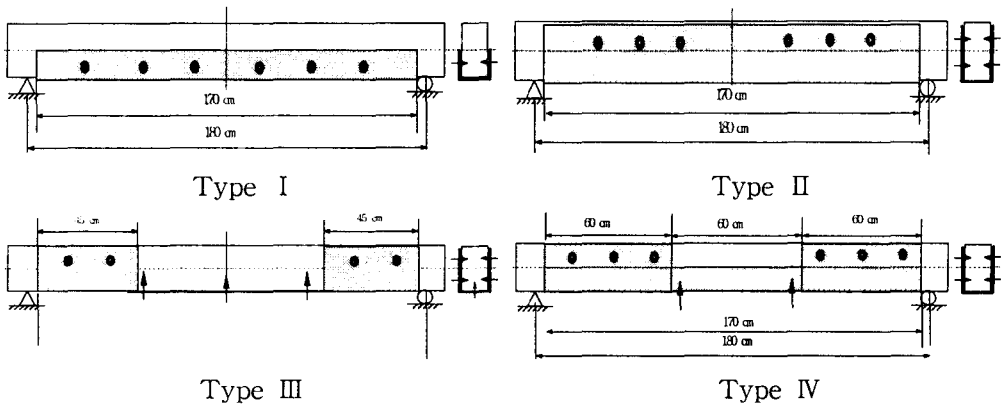


Fig. 2.3 Reinforcement Type

2.4 실험 방법

하중재하에 사용된 시험기는 일본 Shimadza 사(社)의 UTM(만능시험기)을 이용하여 4점 재하방법으로 실험을 실시하였으며, 처짐은 부재 중앙의 하부에 LVDT 1개를 설치하여 측정하였다. 선행하중을 결정하기 위해 기준시험체(control beam)를 완전 파괴에 이를 때까지 하중을 재하하여 부재의 극한강도를 측정하였다. 최대하중의 70%를 선행하중으로 재하하여, 부재에 손상을 가하였다. 손상된 시험체를 보강형태(Type I ~ IV)에 따라 보수보강을 실시한 후 마지막으로 완전파괴에 이를 때까지 하중을 재하하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험결과

1) 파괴양상 및 파괴하중

선행하중 재하결과 대부분 휨인장 균열이 10cm(h/2)까지 진행되었으며 이때의

최대 균열폭은 약 0.2~0.3mm 정도였으며, 잔류처짐은 하중제거 직후에 측정된 것으로서 최종 재하시험까지의 기간 동안 어느 정도의 회복이 있었을 것으로 판단된다. 기준시험체의 경우 인장철근의 항복에 이은 압축파괴의 양상을 보이며, 보강시험체의 경우 콘크리트를 물고 떨어지는, 보강재와 콘크리트 사이의 박리로 인한 파괴가 지배적이었다.

2) 하중-처짐, 하중-변형률관계

Fig. 3.3는 보강시험체의 중앙에서 측정한 값으로 하중-처짐관계를 그래프로 나타낸 것이며, Fig. 3.4은 보강시험체에서 인장부 중앙과 인장부 좌우측의 하중 재하점 하부에서의 하중-보강재 변형률관계를 그래프로 나타낸 것이다.

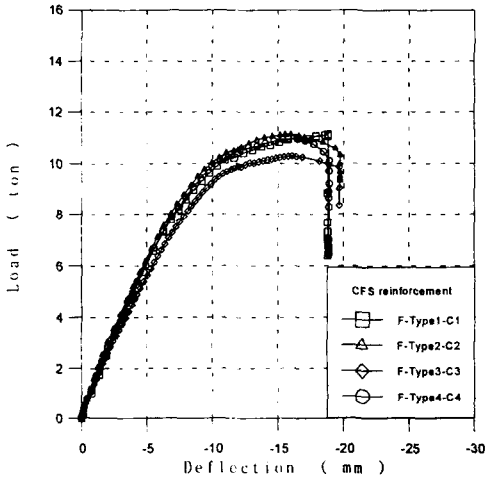


Fig. 3.3 Load-deflection curves of the beam reinforced with CFS

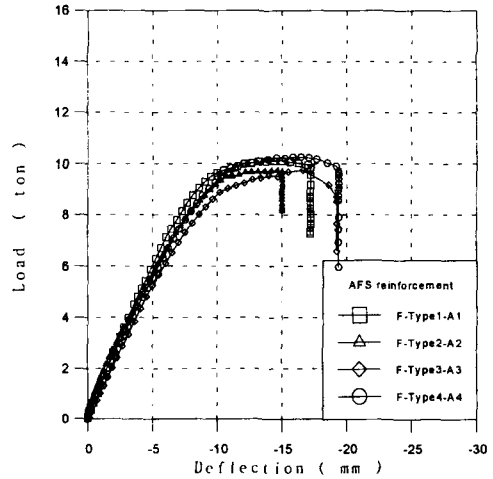


Fig. 3.4 Load-deflection curves of the beam reinforced with AFS

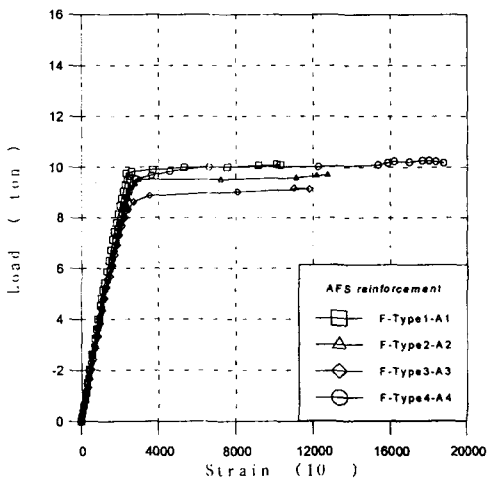


Fig. 3.5 Load-strain curves of the re-bar reinforced with AFS

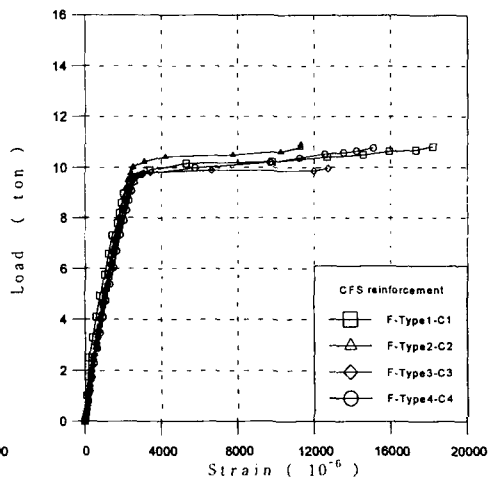


Fig. 3.6 Load-strain curves for the re-bar reinforced with CFS

3.2 실험결과분석

1) 최대하중과 휨내력의 증가

CFS보강 시험체에서는 Type I 과 II가 서로 같은 효과를 보였으며 이어서 IV, III의 순서로 강도가 증진하였으며, 약 20~30%의 보강효과를 보였다. AFS보강 시험체에서 Type IV, I 과 II는 서로 같으며, 그 다음이 III의 순서로 강도가 증진하였으며, 약 10~20%의 보강효과를 보였다.

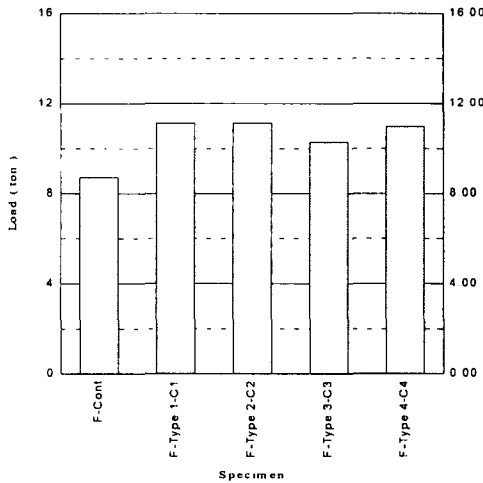


Fig. 3.7 Strength increase of RC-beam reinforced with CFS

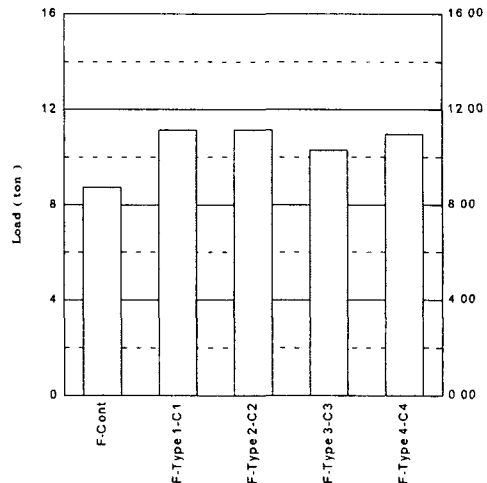


Fig. 3.8 Strength increase of RC-beam reinforced with AFS

2) 하중-최대처짐관계

Table 3.3는 보강재에 따른 처짐제어 효과를 백분율로 나타낸 것이다. 최대처짐은 최대하중 발생시점을 기준으로 하였으며, 기준시험체와 비교를 통하여 보강재에 따른 처짐의 제어효과를 분석하였다. CFS보강 시험체에서는 Type IV, II, III, I의 순서로 약 10% 이내의 처짐제어효과를 보였으나, Type I의 경우는 8% 정도의 처짐증가가 발생하였다. AFS보강 시험체에서는 Type II, IV, III, I의 순서로 약 10% 이내의 처짐제어효과를 보였다.

Table 3.3 Displacement control effect by AFS reinforcement

[Unit : mm(%)]

Specimen Type	Control beam	Carbon fiber sheet reinforcement	Aramid fiber sheet reinforcement
I	17.48(100%)	18.81(108%)	17.21(98%)
II		15.96(91%)	14.65(84%)
III		16.05(92%)	16.63(95%)
IV		15.79(90%)	16.46(94%)

3) 하중-변형률관계

CFS와 AFS보강에 따른 인장철근의 변형제어효과는 최대하중 재하시점을 정점으로 하여, 최대하중(100%)을 기준으로 하면, 기준시험체와 비교하여 CFS보강 시험체에서는 Type II 는 약 $3,000 \times 10^{-6}$, Type III는 약 $9,000 \times 10^{-6}$ 정도, Type IV는 약 $4,000 \times 10^{-6}$ 정도의 변형제어효과를 보인것으로 분석된다. AFS보강 시험체에서는 Type I 이 약 $8,000 \times 10^{-6}$, Type II가 약 $3,000 \times 10^{-6}$, Type III에서 $4,000 \times 10^{-6}$ 정도의 변형제어효과가 있었다. CFS보강 시험체 Type I 과 AFS보강시험체 Type IV의 경우에는 박리 등의 이유로 변형제어효과를 발휘하지 못하였다.

4. 결론

균열이 발생한 철근 콘크리트 보부재의 보강을 위한 실내실험으로서, CFS와 AFS로 보강된 부재에 대한 휨실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) CFS로 보강한 시험체의 최대과괴하중과 휨모멘트강도는 보강하지 않은 시험체와 비교하여 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 발휘하지는 않았지만, 연성의 증가에는 매우 효과적인 보강방법으로 판단된다.
- (3) CFS와 AFS로 보강한 시험체의 처짐제어효과는 모두 약 10% 정도로서, 전면보강 시험체의 처짐제어효과가 가장 우수한 것으로 판단된다.
- (4) CFS와 AFS로 보강한 시험체의 인장철근 변형제어효과는 최대하중(100%)을 기준으로 $3,000 \sim 9,000 \times 10^{-6}$ 정도이며, 전면보강 시험체의 인장철근 변형제어 효과가 가장 우수한 것으로 판단된다.

이상과 같이 CFS 및 AFS로 보강한 실험체에 대한 보강효과를 파악하였으나, 측면보강에 대한 확실하고 정립된 보강이론으로, 보강재의 량과 보강 위치와 단면적을 구체적으로 정량화할 수 있는 실험과 연구가 지속적으로 요구된다.

5. 참고문헌

1. Nanni, A., "Properties of Aramid-Fiber Reinforced Concrete and SIFCON" , *The Journal of Material in Civil Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp.1~15, 1992.
2. Emmons, P. H., "Concrete Repair and Maintenance Illustrated : Problem Analysis, Repair Strategy, Techniques" , R. S. Means Company, Inc., pp.187~238, 1994.