

섬유시트로 보강된 철근콘크리트 기둥의 압축강도 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Compressive Strength Characteristics of Reinforced Concrete Columns Strengthened with Fiber Sheets

김정섭* 최진석** 조철희** 고송균***
Kim, Jeong-Sup Choi, Jin-Seok Cho, Cheoi-Hee Go, Song-Kyoon

Abstract

Test specimen test was performed using concrete reinforced with fiber sheet and the test variables were based on the kinds of fiber and the number of reinforcement layers. Using steel-concrete reinforced with fiber sheet, compression tests were performed and the test variables were the kinds of fiber, number reinforcement layers and reinforcement layer order. The following results were obtained:

- 1) It was demonstrated that compressive strength of the test specimen reinforced during test specimen test and member test increased as the number of reinforcement layers increased.
- 2) It was shown that non-reinforced test, specimen were destroyed during the member tests, but the specimen reinforced with CFS destroyed and the GFS-reinforced specimen and composite reinforced specimen showed ductile destruction.
- 3) As a result of tests on kinds of reinforcement fiber, it was demonstrated that CFS-reinforced test specimen had higher compressive strength in a 공시체 test. In the member test, 2ply-and 3ply-GFS reinforced specimens except 1plied one had higher compressive strength. It was because partial destruction occurred due to the rate of height/section.
- 4) For layer strength order, compared with test specimen reinforced only with a single reinforced material, test specimen reinforced with CFS and GFS, and test specimen reinforced with CFS first showed better results in compressive strength and ductility judgement.

키워드 : 탄소섬유시트, 유리섬유시트, 압축강도, 연성능력, 적층복합보강

Keyword : Carbon Fiber Sheet, Glass Fiber Sheet, Compressive Strength, ductility, Composite layerstrengthen

1. 서론

1.1 연구의 배경

철근콘크리트 구조물은 시공상의 품질문제, 사용환경 및 하중조건의 변화 등에 의해 그 성능이 저하된다. 구조물에 발생한 성능저하 현상에 대하여는 적절한 보수보강 등의 유지관리를 통하여 구조물의 안전성 및 내구성을 확보하여야 한다.

우리나라의 경우, 경제 성장기에 지어진 구조물의 사용기간이 공사관리의 미비와 한정된 공사비로 인하여 20~30년 경과되면서 노후화 되고, 최근 구조물의 리모델링(Remodeling) 및 유지관리에 대한 관심이 고조됨에 따라 보수보강 공사가 급격히 증가하고 있는 실정이다.

본 실험에 사용한 탄소섬유시트(Carbon Fiber Sheet 이하 CFS)와 유리섬유시트(Glass Fiber Sheet 이하 GFS)는 구조성능 및 내구성능이 저하된 구조부재의 콘크리트 표면에 시트

를 에폭시수지(Epoxy Resin)로 붙여 내력의 증대, 인성의 향상 등을 목적으로 사용하는 보강공법이다.

이러한 공법은 시공이 간편하고, 기존 부재와의 일체성을 확보할 수 있는 장점이 있어 현재 이러한 복합 신소재를 실제 건축물이나 토목 구조물에 적용하기 위한 실험연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다.

그러나 이러한 섬유계 보강재는 시공지침이나 명확한 기준 등이 제정되어 있지 않기 때문에 보강재의 제품설명서나 제작회사의 시공지침 등에 의존하여 보강공사를 수행하고 있는 실정이다.

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 사용이 일반화 및 증가되고 있는 CFS와 GFS로 보강한 압축부재 실험을 통해 내력성능 및 구조적 특성을 파악함으로써 섬유시트를 실제 구조물에 보강적용 시 필요한 기초자료를 제공하는데 연구의 목적이 있다.

* 정회원, 조선대 건축학부 교수, 공학박사

** 정회원, 조선대 대학원 박사과정

*** 정회원, 조선대 대학원 박사과정 수료

2. 실험 개요 및 계획

2.1 일반사항

본 연구에서는 CFS와 GFS로 보강된 철근콘크리트 기둥의 최대내력특성 및 변형능력 등을 평가하고 보강재의 종류, 보강량 등에 따른 보강효과를 검토하기 위하여, 철근콘크리트 기둥 실험체에 대한 중심축 재하 실험을 실시한다.

실험에 앞서 실험에 사용된 재료의 기계적 특성을 파악하기 위하여 재료시험을 실시하며, 본실험은 공시체실험과 부재실험으로 구분하여 진행한다.

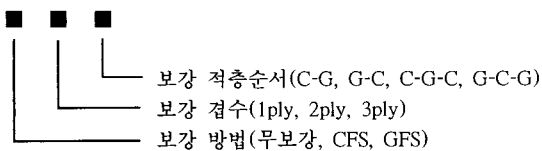
재료시험은 본 실험에 사용된 재료인 콘크리트, 철근 등의 재료적인 물성을 시험하기 위하여 KS규격에 의해 만능재료시험기(Universal Testing Machine, U.T.M)를 사용하여 시험을 실시한다.

공시체 실험체는 $\phi 15 \times 30$ cm의 표준형 공시체이며 섬유 종류와 보강 겹수를 변수로 하여 기준실험체인 무보강 콘크리트 실험체 3개, CFS로 1ply, 2ply, 3ply 보강한 실험체 각 3개, 그리고 GFS로 1ply, 2ply, 3ply 보강한 실험체 각 3개로 총 21개를 제작하여 실험체의 압축강도 특성에 관하여 실험하였다.

부재실험체는 철근콘크리트 극한강도설계법으로 동일하게 설계하였고, 실험체 크기는 $\phi 12.5 \times 125$ cm, $A_g = 122.7 \text{ cm}^2$ 이며, 각 실험체는 초기에 하중제어 방식으로 가력하고 항복 이후에 변위제어방식으로 가력하여 각각의 변수에 따른 압축파괴 특성을 비교·검토하였다.

표 1. 실험변수 및 부재실험체 수량

실험체명	보강겹수	수량	실험체명	보강겹수	수량
CFS	1ply	2	GFS	1ply	2
	2ply	2		2ply	2
	3ply	2		3ply	2
CFS-GFS	2ply	2	GFS-CFS	2ply	2
CFS-GFS-CFS 복합	3ply	2	GFS-CFS-GFS 복합	3ply	2
무보강	-	2	총 22EA		



주) CFS : 탄소섬유시트보강 실험체, GFS : 유리섬유시트보강 실험체

2.2 실험계획

1) 시멘트

시멘트는 KS L 5201(포틀랜드시멘트)에 적합한 제품을 사용하였으며, 화학적 성분 및 비중은 표 2와 같다.

표 2. 시멘트의 화학적 성분 및 비중

구분	화 학 성 분 (%)							비중
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	
보통 포틀랜드 시멘트	21.9	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15

2) 골재

골재는 KS F 2502(골재의 채가름실험 방법)에 적합한 골재를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 골재의 물리적 성질

골재종류	최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적 중량 (kg/m ³)
잔골재	5	2.61	1.05	2.69	1,653
굵은골재	20	2.67	1.24	6.83	1,550

3) 보강재의 물성

실험체의 보강을 위해 국내 H사에서 생산되는 탄소섬유, 유리섬유, 에폭시 레진이 사용되었으며, 각각의 물리적인 특성은 표 4, 표 5와 같다.

표 4. 보강섬유시트의 물리적 특성

종류	중량 (g/cm ²)	두께 (mm)	설계강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (kgf/cm ²)	파단시변형률 (%)
CFS	200	0.11	35,500	2.35×10 ⁶	1.5
GFS	920	1.30	5,600	2.52×10 ⁵	2.0

표 5. 에폭시 레진(epoxy resin)의 물리적 특성

종류	적용 온도 (°C)	가사 시간 (min)	양생 시간 (hrs)	경화 시간 (day)	주제:경화제 (중량비)	25°C배합 후 점도 (Ns/m ²)
Primer (PR67)	15~25	50	9	-	2 : 1	400
Top Coat (LR67)	15~25	50	-	7	2 : 1	4,000

4) 콘크리트

콘크리트는 설계기준강도 240kgf/cm²로 KS F 2402(포틀랜드시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)의 규격에 의하여 슬럼프를 확인한 후 부어넣기 하였으며, 부어넣기와 동시에 표준형 공시체를 제작하였고, 배합표는 표 6과 같다.

표 6. 콘크리트 배합표

W/C비 (%)	콘크리트 배합량(kg/m ³)				슬럼프 (cm)	공기량 (%)
	시멘트	물	잔골재	굵은골재		
45	356	160	780	1,036	12	4±1

5) 실험체 제작

(1) 공시체 실험

실험체는 표준형 공시체를 제작하였으며, 표면 그라인딩 작업 후 보강 공정에 따라 시트를 부착하였다. 보강은 가력시 가력판과의 직접적인 접촉에 의한 shear brush failure를 방지하기 위하여 실험체의 양 끝단에서 2.5cm 간격을 두고 보강하였다.

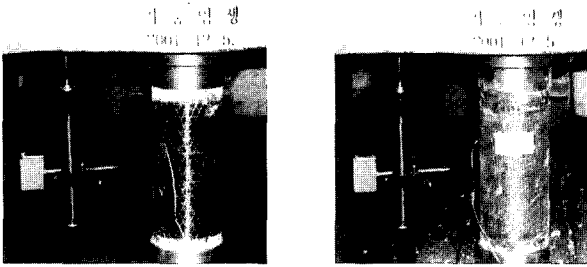
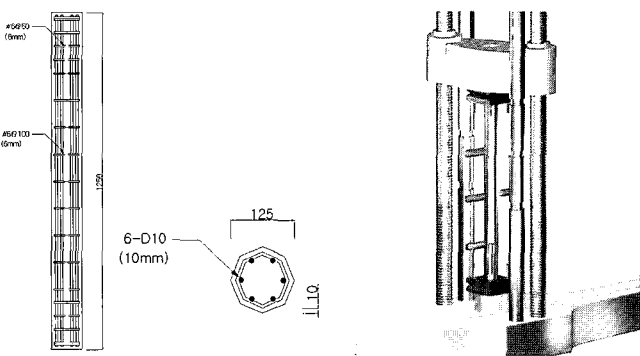


사진 1. 공시체 실험 설치

(2) 부재 실험

실험체에 사용된 철근은 주근 6-D10(Ast=5.68cm²), 띠철근은 #6 철선을 보강비에 따라 배근하여 가능한 실제 부재와 동일한 조건하에서 축소된 실험체를 제작하였다. 양 단부 200mm의 구간은 띠철근을 50mm 간격으로 배근하고, CFS로 3ply 보강하여 단부 파괴를 방지하였다. 주철근의 변형률을 측정하기 위하여 주근의 중앙에 전기저항 변형 게이지를 설치하였고, 방수테이프로 방수(防水)처리 하였다. 거푸집은 PVC PIPE VG1 125(내경 ϕ 125)를 사용하여 제작하였다. 콘크리트는 손비빔 하여 부어넣기한 후 콘크리트의 습윤상태를 유지하면서 양생하였고, 28일 양생 후 패어 내기와 이물질 제거하였으며, 제작된 기둥 실험체는 보수보강 전문업체에서 공정에 따라 보강하였다.



(a) 상세도 (b) 설치

그림 1. 부재실험체 상세도 및 설치

2.3 실험방법

본실험은 100tonf의 U.T.M 실험실에서 행하였으며, 무보강 실험체를 기준 실험체로 완전 파괴될 때까지 가력하여 최대하중을 기준실험체의 최대내력으로 결정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공시체 실험결과

1) CFS 보강 실험체

각 실험체별 압축응력 실험결과, 모든 실험체는 보강접수가 증가함에 따라 최대응력이 증가하는 것으로 나타났으며, 파괴시 폭발음과 함께 보강재의 갑작스런 파단에 의한 취성적인 파괴양상을 보였다. CFS 보강 실험체의 압축응력 실험 결과는 표 6과 같다.

표 6. 공시체실험 CFS 보강 실험체 압축응력 측정결과

실험체명	최대 하중 (kgf)	최대 하중			
		응력 (kgf/cm ²)	평균응력 (kgf/cm ²)	변형률	평균 변형률
N-1	43,200	244.47	198.06	-	-
N-2	31,400	177.69			
N-3	30,400	172.03			
C1P-1	52,050	294.55	310.92	0.0051	0.0060
C1P-2	53,990	305.53		0.0052	
C1P-3	58,790	332.69		0.0079	
C2P-1	68,560	387.98	445.53	0.0149	0.0150
C2P-2	79,870	451.98		0.0152	
C2P-3	87,760	496.63		0.0148	
C3P-1	98,430	557.01	544.02	0.0141	0.0152
C3P-2	99,190	561.32		0.0182	
C3P-3	90,780	513.72		0.0132	

CFS 보강 실험체의 보강접수에 따른 최대응력의 증가율은 기준 실험체에 비해 1ply일 때 56.98%, 2ply일 때 124.95%, 3ply일 때 174.67%가 각각 증가하고, 부착에 의해 일체화된 CFS 보강 실험체의 변형률은 가력하중이 증가함에 따라 최대 응력까지 점진적으로 증가하였으며, 2ply, 3ply 보강에서는 비슷하게 나타났다.

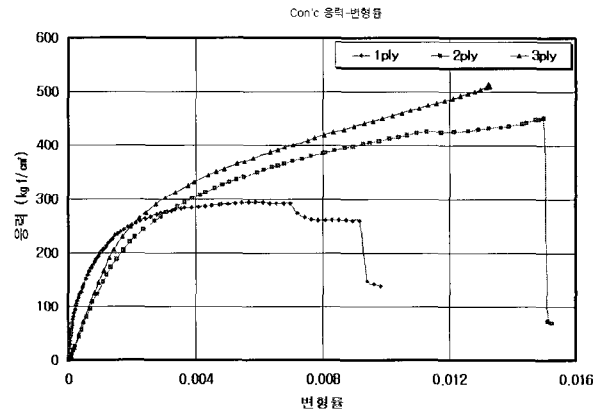


그림 2. 공시체실험 CFS 보강 실험체 보강접수별 응력·변형률

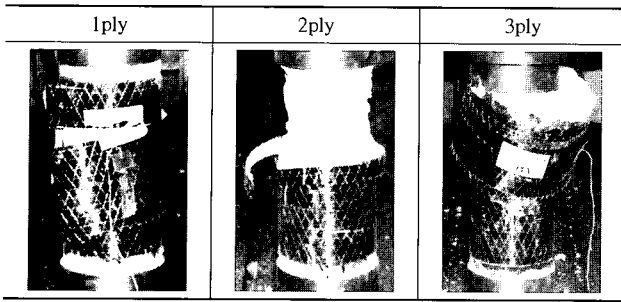


사진 2. 공시체실험 CFS 보강 실험체 파괴상황

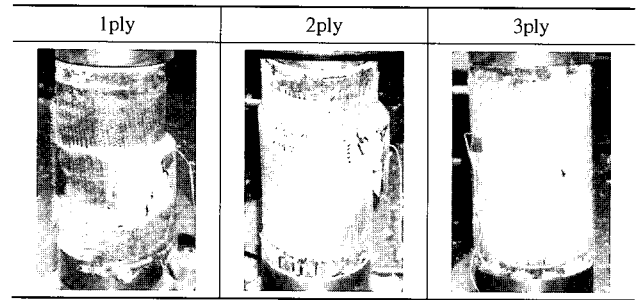


사진 3. 공시체실험 GFS 보강 실험체 파괴상황

2) GFS 보강 실험체

각 실험체별 압축응력 실험결과, CFS 보강 실험체와 마찬가지로 보강접수가 증가함에 따라 최대응력이 증가하는 것으로 나타났으며, 연성적인 파괴양상을 보였다. GFS 보강 실험체의 압축응력 실험결과는 표 7과 같다.

표 7. 공시체실험 GFS 보강 실험체 압축응력 측정결과

실험체명	최대하중 (kgf)	최대 하중			평균 변형률
		응력 (kgf/cm ²)	평균응력 (kgf/cm ²)	변형률	
G1P-1	55,230	312.55	300.04	0.0036	0.0046
G1P-2	55,250	312.66		0.0058	
G1P-3	48,580	274.91		0.0045	
G2P-1	76,730	434.21	359.06	0.0061	0.0047
G2P-2	58,520	331.16		0.0036	
G2P-3	55,100	311.81		0.0045	
G3P-1	84,720	479.43	489.18	0.0089	0.0092
G3P-2	82,860	468.90		0.0092	
G3P-3	91,750	519.21		0.0095	

GFS 보강 실험체의 보강접수에 따른 최대응력의 증가율은 기준실험체인에 비해 1ply일 때 51.49%, 2ply일 때 81.29%, 3ply일 때 146.99%가 각각 증가하였고, GFS 보강 실험체에서 변형률은 CFS 보강 실험체에 비해 전반적으로 작게 나타났다.

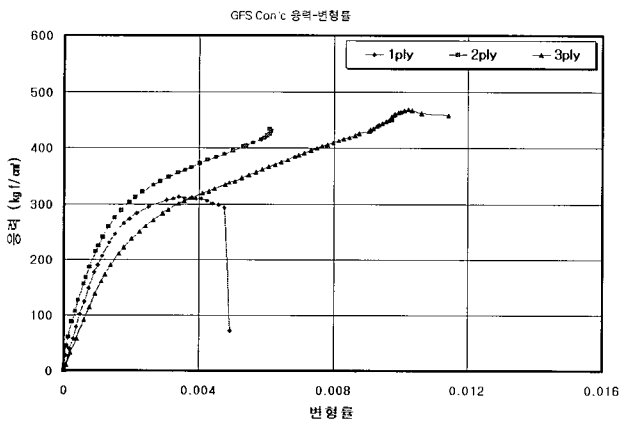


그림 3. 공시체실험 GFS 보강 실험체 보강접수별 응력·변형률

3) 보강재 종류별 압축응력

보강재 종류별로 보강접수에 따른 최대응력의 증가율은 CFS 보강 실험체가 GFS보강 실험체보다 1ply일 때 3.63%, 2ply일 때 24.08%, 3ply일 때 11.21%로 CFS 보강 실험체가 높은 압축응력을 나타내었다.

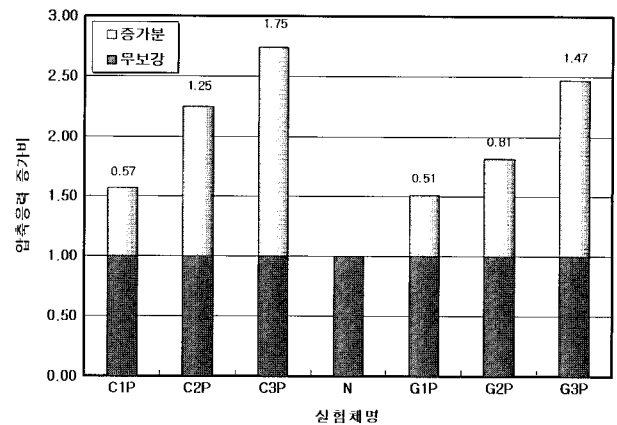


그림 4. 공시체실험 각 실험체별 압축응력 증가비

3.2 부재실험 결과

1) CFS 보강 실험체

CFS로 보강된 실험체의 압축응력 실험결과, 모든 실험체는 보강접수가 증가함에 따라 최대응력이 증가하였으며, 상당한 인성을 보인 후 파괴시 폭발음과 함께 보강재의 갑작스런 파단에 의한 취성적인 파괴양상을 나타내었다. CFS 보강 실험체의 압축응력 실험결과는 표 8과 같다.

표 8. 부재실험 CFS 보강 실험체 압축응력 측정결과

실험체명	최대하중 (kgf)	최대 하중	
		응력 (kgf/cm ²)	변형률
C-N	30,640	243.80	0.0013
C-C1P	35,940	272.84	0.0047
C-C2P	38,880	284.08	0.0030
C-C3P	47,420	354.48	0.0020

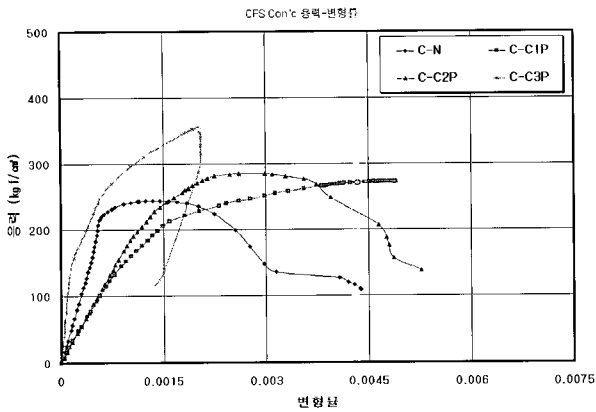
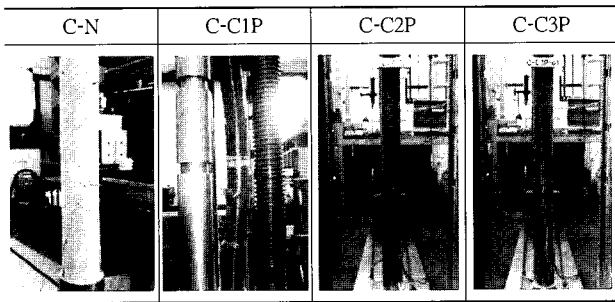


그림 5. 부재실험 CFS 보강 실험체 보강겹수별 응력·변형률

CFS 보강 실험체의 보강겹수에 따른 최대응력의 증가율은 기준 실험체에 비해 1ply일 때 11.91%, 2ply일 때 16.52%, 3ply일 때 45.40%가 각각 증가하였다. 부착에 의해 일체화된 CFS 보강 실험체의 변형률은 무보강 실험체에 비해 상당한 증가를 보였으며, 특히 1ply 보강일 때의 변형률은 무보강에 비해 3.62배나 큰 값을 보였다.

사진 4. 부재실험 CFS 보강 실험체 파괴상황



2) GFS 보강 실험체

GFS로 보강된 실험체의 압축응력 실험결과, CFS 보강과 마찬가지로 보강겹수가 증가함에 따라 최대응력 또한 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 공시체 실험과는 달리 GFS 보강 실험체의 최대응력이 CFS 보강 실험체의 최대응력을 상회하는 것으로 나타났다. 파괴에 있어서는 전반적으로 연성적인 파괴성향을 보였다. GFS 보강 실험체의 압축응력 실험결과는 표 9와 같다.

표 9. 부재실험 GFS 보강 실험체 압축응력 측정결과

실험체명	최대하중 (kgf)	최대 하중	
		응력 (kgf/cm ²)	변형률
C-N	30,640	243.80	0.0013
C-G1P	35,300	270.10	0.0015
C-G2P	51,790	396.27	0.0040
C-G3P	57,360	432.13	0.0025

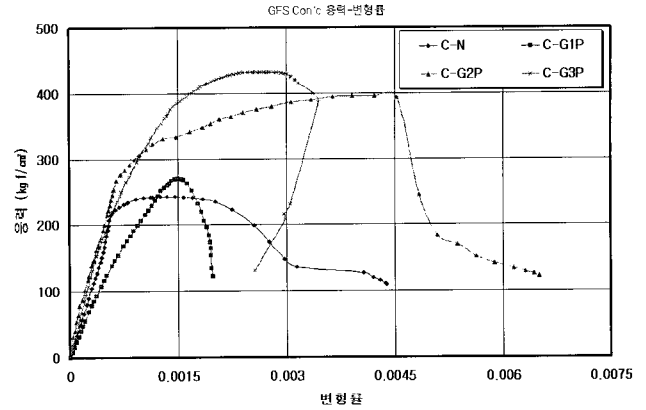


그림 6. 부재실험 GFS 보강 실험체 보강겹수별 응력·변형률

GFS 보강 실험체의 보강겹수에 따른 최대응력의 증가율은 기준 실험체에 비해 1ply일 때 10.79%, 2ply일 때 62.54%, 3ply일 때 77.25%가 각각 증가하였다. 변형률은 CFS 보강과 마찬가지로 무보강에 비해 더 높은 값을 보였으며, 2ply 보강인 경우에는 무보강에 비해 3.08배 더 높은 값을 나타냈다.

사진 5. 부재실험 GFS 보강 실험체 파괴상황

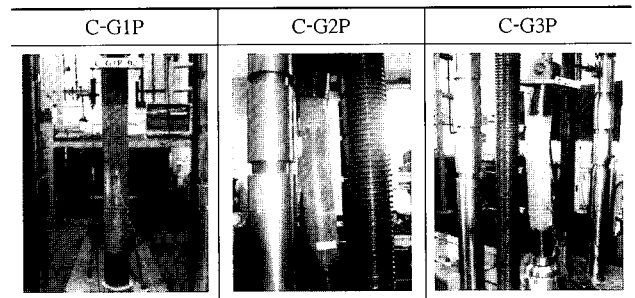
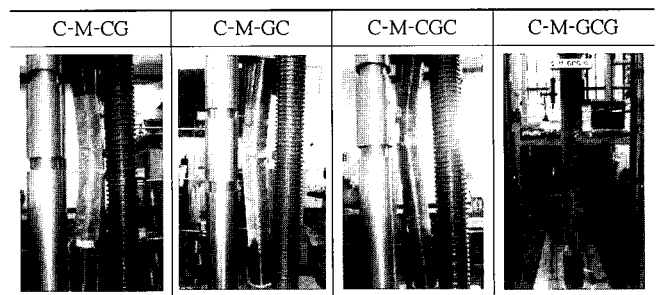


사진 6. 부재실험 복합재료 보강 실험체 파괴상황



3) 복합재료 보강 실험체

각 실험체별 압축응력 실험결과, C-M-GCG 실험체를 제외한 모든 실험체에서 보강겹수가 증가함에 따라 최대응력 또한 증가하는 것으로 나타났으며, 파괴시 전반적으로 연성적인 거동을 보였다. 복합재료 보강 실험체의 압축응력 실험결과는 표 10과 같다.

표 10. 부재실험 복합재료 보강 실험체 압축응력 측정결과

실험체명	최대하중 (kgf)	최대 하중	
		응력 (kgf/cm ²)	변형률
C-M-CG	58,190	435.04	0.0017
C-M-GC	55,430	420.88	0.0040
C-M-CGC	64,470	478.36	0.0015
C-M-GCG	52,980	402.23	0.0018

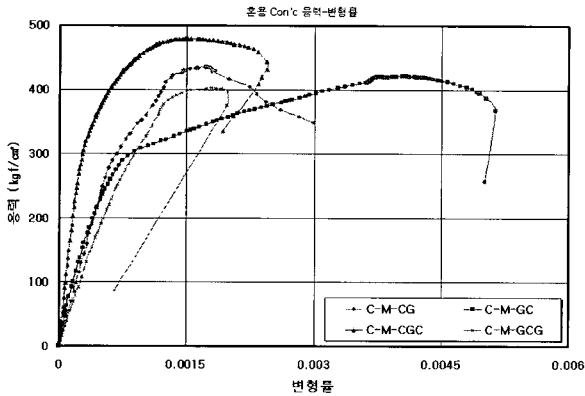


그림 7. 부재실험 복합재료 보강 실험체 응력-변형률

복합재료 보강 실험체의 보강겹수에 따른 최대응력의 증가율은 기준실험체인 C-N 실험체에 비해 C-M-CG 실험체는 78.44%, C-M-GC 실험체는 72.63%, C-M-CGC 실험체는 96.21%, C-M-GCG 실험체는 64.98%가 각각 증가하였다. 변형률에 있어서는 전반적으로 비슷한 값을 나타냈으나, C-M-GC 실험체는 무보강 실험체에 비해 3.08배 더 높은 값을 나타냈다.

부재실험체에서 기준실험체인 C-N 실험체의 최대응력을 기준으로 한 각 실험체의 압축응력 증가비를 나타낸 그래프는 그림 8과 같다.

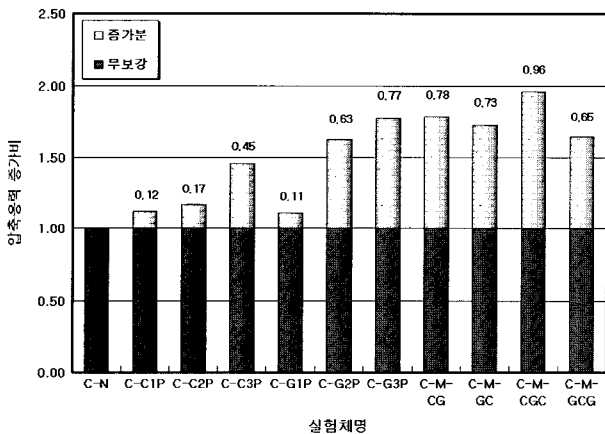


그림 8. 부재실험 각 실험체별 압축응력 증가비

3.3 보강재료 및 보강형태별 보강효과

1) 보강재료에 따른 보강효과

보강 실험체는 무보강 실험체보다 높은 압축응력을 보였으며, 1ply보강일 때는 CFS 보강 실험체가 GFS 보강 실험체에 비해 1.01% 더 높은 압축응력을 보였으나 2ply, 3ply 보강 일

때는 GFS 보강 실험체가 CFS 보강 실험체에 비해 각각 39.49%, 21.91% 더 높은 압축응력을 보여, 1ply 보강일 때를 제외하고는 공시체실험에서의 결과값과 상이한 값을 보였다. 이는 높이/단면비의 영향으로 인해 길이가 길어짐에 따라 국부적인 파괴가 발생할 가능성이 크고, 또한 GFS의 연신율이 2.0%인데 비해 CFS의 연신율은 1.5% 국부적으로 취약한 곳의 과도한 변형을 저항할 능력이 부족하기 때문인 것으로 판단된다.

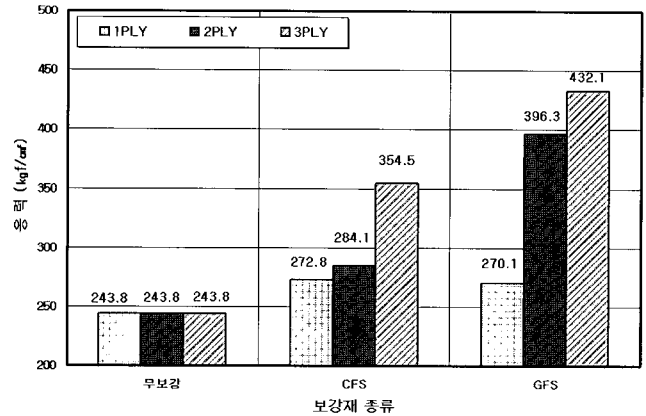


그림 9. 부재실험 보강재 종류별 압축응력

2) 보강형태에 따른 보강효과

(1) 2ply 실험체

순수하게 한가지 보강재료만으로 2ply 보강된 실험체와, CFS와 GFS로 복합하여 보강한 실험체를 비교한 결과, 단일 재료만으로 보강된 실험체보다는 복합재료로 보강된 실험체의 최대응력이 더 높게 나타났다. 2ply보강 실험체의 압축응력 실험결과는 표 11 및 그림 10과 같다.

표 11. 부재실험 2ply 보강 실험체 압축응력 측정결과

실험체명	최대하중 (kgf)	최대 하중	
		응력 (kgf/cm ²)	변형률
C-C2P	38,880	284.08	0.0030
C-G2P	51,790	396.27	0.0040
C-M-CG	58,190	435.04	0.0017
C-M-GC	55,430	420.88	0.0040

압축응력 증가율은 단일보강재료로 보강된 실험체 중 높은 압축응력을 보인 C-G2P 실험체를 기준으로 C-M-CG 실험체는 9.78%, C-M-GC 실험체는 6.21%로 각각 더 높은 압축응력을 보였다. 복합재료로 보강된 실험체중 적층순서에 따른 압축응력은 CFS를 먼저 보강한 C-M-CG 실험체가 GFS를 먼저 보강한 C-M-GC 실험체에 비해 3.36% 더 높은 압축응력을 나타냈다. 최대응력일 때의 변형률은 C-M-CG 실험체를 제외한 모든 실험체가 비슷한 값을 보였다.

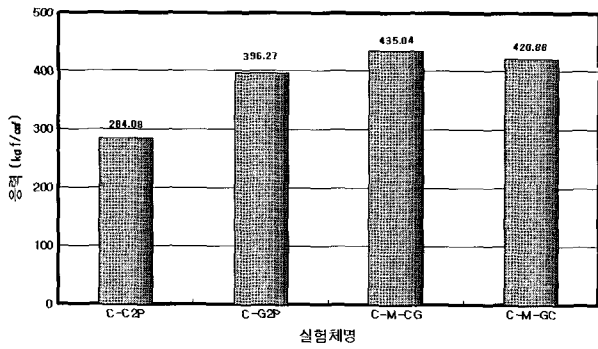


그림 10. 부재실험 2ply 보강 실험체 압축응력

(2) 3ply 실험체

3ply 보강 실험체를 비교한 결과, 2ply 실험체와 마찬가지로 단일재료만으로 보강된 실험체보다는 CFS와 GFS를 복합하여 보강한 실험체의 최대응력이 더 높게 나타났다. 3ply 보강 실험체의 압축응력 실험결과는 표 12 및 그림 11과 같다.

표 12. 부재실험 3ply 보강 실험체 압축응력 측정결과

실험체명	최대하중 (kgf)	최대 하중	
		응력 (kgf/cm²)	변형률
C-C3P	47,420	354.48	0.0020
C-G3P	57,360	432.13	0.0025
C-M-CGC	64,470	478.36	0.0015
C-M-GCG	52,980	402.23	0.0018

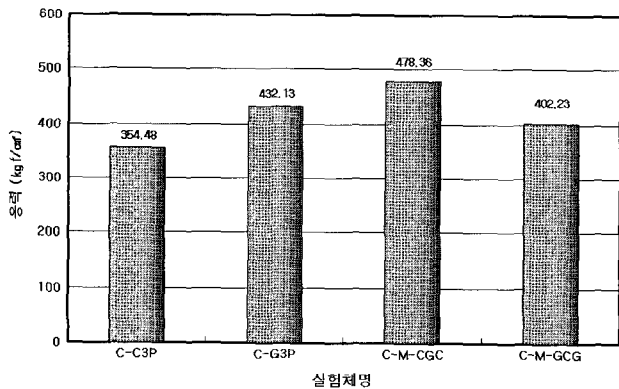


그림 11. 부재실험 3ply 보강 실험체 압축응력

압축응력 증가율은 단일보강재료로 보강된 실험체 중 높은 압축응력을 보인 C-G3P 실험체에 비해 CFS와 GFS를 복합하여 보강한 C-M-CGC 실험체가 100.7% 더 높은 압축응력을 보였다. 복합재료로 보강된 실험체 중 적층 순서에 따른 압축응력은 CFS를 먼저 보강한 C-M-CGC 실험체가 GFS를 먼저 보강한 C-M-GCG 실험체에 비해 8.93% 더 높은 압축응력을 나타냈다.

CFS와 GFS를 복합하여 보강한 실험체 중 C-M-GCG 실험체의 압축응력이 낮게 나타난 이유는 CFS가 최대 변형률까지 도달하기 전에 접침 부위에서 박리가 발생하였거나, CFS의 전단면이 골고루 팽창하여 충분한 횡 구속압을 발휘하기 전

에 국부적으로 취약한 부분에서 파괴가 발생되어 예상 응력 및 연성에 이르지 못하게 되는 premature failure 현상 때문인 것으로 판단된다. 최대응력일 때의 변형률은 단일재료로 보강된 실험체가 다소 높게 나타나긴 했으나, 별다른 차이를 보이지는 않았다.

3.4 보강재료 및 보강형태별 연성능력

구조물의 연성은 예상치 못한 과하중 등에 대해 안전성의 관점에서 매우 중요한 요인이 된다. 일반적으로 연성지수 (Ductility Factor)는 항복변위 (δy)와 파괴시 변위 (δcu)의 비로 평가된다.

ACI Committee 363에서는 (1)과 같이 연성계수를 정의하고 있다.

$$\mu_{cu} = \delta_{cu} / \delta_y \dots\dots\dots(1)$$

여기서, μ_{cu} : 부재 파괴 기준의 연성계수

δ_{cu} : 부재 파괴시의 변위

δ_y : 부재 항복시의 변위

또한 구조물은 견딜 수 있는 최대응력을 더 이상 지지할 수 없을 때 파괴된다고 하는 파괴의 정의에 따라 (2)와 같이 평가하기도 한다.

$$\mu_{max} = \delta_{max} / \delta_y \dots\dots\dots(2)$$

여기서, μ_{max} : 최대응력 기준의 연성계수

δ_{max} : 최대응력에 대응하는 부재의 변위

본 연구에서는 최대응력일 때의 변위 (δ_{max})와 최대응력의 85%로 저감된 상태의 변위 (δ_{test})의 비를 연성계수로 평가하였다.

1) 보강재료에 따른 연성능력

보강재료에 따른 실험체의 연성비를 평가하여 나타낸 결과는 표 13 및 그림 12와 같다.

표 13. 부재실험 보강재 종류별 연성비

실험체명	최대응력		최대응력의 85%		연성비 μ_{test}	무보강 기준 증가비
	σ_{max} (kgf/cm²)	δ_{max} (mm)	σ_{test} (kgf/cm²)	δ_{test} (mm)		
C-N	243.80	4.13	207.23	7.15	1.73	1.00
C-C1P	272.84	6.94	231.91	19.39	2.79	1.61
C-C2P	284.08	0.38	241.47	1.11	2.92	1.69
C-C3P	354.48	0.90	301.31	2.17	2.41	1.39
C-G1P	270.10	1.48	229.59	2.73	1.85	1.07
C-G2P	396.27	0.06	336.83	0.17	2.76	1.60
C-G3P	432.13	6.47	367.31	17.98	2.78	1.61

단일재료로 보강된 실험체의 연성능력을 평가한 결과, 무보강 실험체인 C-N 실험체는 1.73, C-C1P 실험체는 2.79, C-G1P 실험체는 1.85로 나타나, 1ply 보강일 때는 CFS로 보강된 실험체가 GFS로 보강된 실험체에 비해 50.81% 높은 연

성비를 나타내었으며, 전반적으로 CFS로 보강된 실험체가 GFS로 보강된 실험체보다 더 높은 연성비를 나타내었다. 3ply 보강일 때 C-C3P 실험체의 연성비가 낮게 나타난 것은 premature failure 현상으로 인해 국부적으로 취약한 부분에서 파괴가 발생되어 예상응력 및 연성에 이르지 못하였기 때문으로 판단된다.

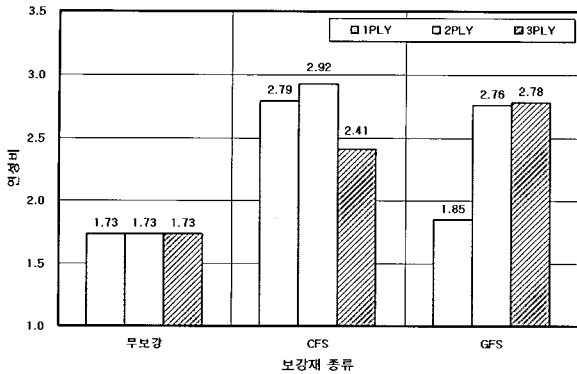


그림 12. 부재실험 보강재 종류별 연성비

2) 보강형태에 따른 연성능력

(1) 2ply 실험체

2ply로 보강된 실험체의 연성비를 평가하여 나타낸 결과는 표 14 및 그림 13과 같다.

표 14. 부재실험 2ply 보강 실험체 연성비

실험체명	최대응력		최대응력 85%		연성비	무보강 기준 증가비
	σ_{max} (kgf/cm ²)	δ_{max} (mm)	σ_{test} (kgf/cm ²)	δ_{test} (mm)		
C-C2P	284.08	0.38	241.47	1.11	2.92	1.19
C-G2P	396.27	0.06	336.83	0.17	2.76	1.09
C-M-CG	435.04	6.98	396.78	22.08	3.16	1.49
C-M-GC	420.88	5.88	357.75	17.29	2.94	1.21

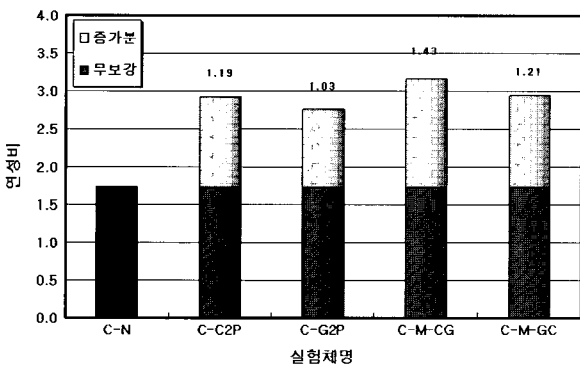


그림 13. 부재실험 2ply 보강 실험체 연성비

단일보강재료만으로 보강된 실험체 중 더 높은 값을 나타낸 C-C2P를 기준으로 볼 때, C-M-CG 실험체는 8.2%, C-M-GC 실험체는 0.68% 더 높은 연성비를 나타내어 단일보강재료만으로 보강된 실험체에 비해 CFS와 GFS로 복합 보강된 실험체의 연성비가 더 높게 나타났다.

이는 에폭시 레진으로 섬유시트를 보강함에 있어 두 가지의 섬유시트가 어느 정도 일체화를 이루어 두 보강재료의 서로 다른 물성이 상호보완적으로 작용하였기 때문이라고 추측된다.

복합재료로 보강된 실험체중 적층순서에 따른 연성비는 CFS를 먼저 보강한 C-M-CG 실험체가 GFS를 먼저 보강한 C-M-GC 실험체에 비해 7.48% 더 높은 연성비를 나타냈다.

(2) 3ply 실험체

3ply로 보강된 실험체의 연성비를 평가하여 나타낸 결과는 표 15 및 그림 14와 같다.

표 15. 부재실험 3ply 보강 실험체 연성비

실험체명	최대응력		최대응력의 85%		연성비	무보강 기준 증가비
	σ_{max} (kgf/cm ²)	δ_{max} (mm)	σ_{test} (kgf/cm ²)	δ_{test} (mm)		
C-C3P	354.48	0.90	301.31	2.17	2.41	0.68
C-G3P	432.13	6.47	367.31	17.98	2.78	1.05
C-M-CGC	478.36	7.38	406.61	24.26	3.29	1.56
C-M-GCG	402.23	-	341.90	-	-	-

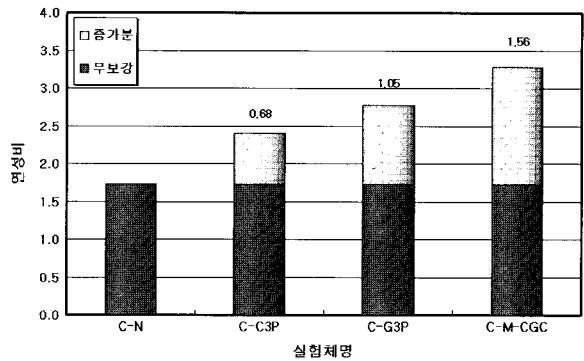


그림 14. 부재실험 3ply 보강 실험체 연성비

단일보강재료만으로 보강된 실험체 중 더 높은 연성비를 나타낸 C-G3P 실험체에 비해 CFS와 GFS를 복합하여 보강한 C-M-CGC 실험체가 18.35% 높은 연성비를 나타냈다. CFS와 GFS를 복합하여 보강한 실험체 중 C-M-GCG 실험체는 변위 측정의 미비로 인하여 연성비를 평가하지 못하였다.

4. 결 론

섬유시트로 보강한 콘크리트를 사용해 섬유의 종류와 보강 겹수를 변수로 공시체실험과, 섬유시트로 보강한 철근콘크리트를 사용해 섬유의 종류와 보강겹수, 보강적층순서를 변수로 압축부재 실험결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공시체실험과 부재실험에서 보강된 실험체는 보강겹수가 증가함에 따라 압축강도 또한 증가하는 것을 확인하였으며, 섬유시트의 효율적인 사용을 위해서는 2ply 이상을 보강하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- 2) 부재실험에서 무보강 실험체는 파괴의 양상을 보였으나, 공시체는 연성적인 휨파괴의 양상을 보였으며, CFS로 보강된 실험체는 취성적인 파괴, GFS로 보강된 실험체와 복합 보강된 실험체는 연성적인 파괴양상을 나타냈다.
- 3) 보강섬유 종류별 실험결과, 공시체실험에서는 CFS 보강 실험체가 GFS 보강 실험체보다 높은 압축강도를 나타내었으나, 부재실험에서는 1ply 보강을 제외한 2ply, 3ply 보강에서 GFS 보강 실험체의 압축강도가 더 높게 나타났다. 이는 높이/단면비로 인한 국부적인 파괴 발생의 영향 때문인 것으로 판단되며, 향후 연구에 있어 중요한 변수로 작용할 것으로 판단된다.
- 4) 보강적층순서에서는 단일보강재료만으로 보강된 실험체에 비해 CFS와 GFS로 복합 보강된 실험체와, CFS를 먼저 보강한 실험체가 압축강도 및 연성능력 평가에서 더 우수한 결과를 나타내었다.
- 5) 압축부재에 섬유시트를 2ply 이상 보강시 CFS와 GFS의 순으로 적층복합 보강하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구에 사용된 재료는 (주)한국카본의 지원을 받았으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

1. 이용택의 3인, “탄소섬유시트로 전단보강된 철근콘크리트 기둥의 거동” 『대한건축학회논문집』 제18권 4호, 2002. 4.
2. 신성우외 3인, “탄소섬유시트로 보강된 RC 기둥의 횡구속 효과” 『한국구조물진단학회 학술발표논문집』 제5권 2호, 2001. 11.
3. 황진석, “탄소섬유시트로 횡구속된 콘크리트 공시체의 응력도-변형도 특성” 『대한건축학회논문집』 제17권 9호, 2001. 9.
4. 김석호외 4인, “단면형과 적층각의 변화에 따른 CFS보강 콘크리트 공시체의 압축거동” 『한국콘크리트학회 학술발표논문집』 제13권 1호, 2001. 5.
5. Yung C. Wang and Jose I. Restrepo, "Investigation of Concentrically Loaded Reinforced Concrete Columns Confined with Glass Fiber-Reinforced Polymer Jackets", ACI. Structural Journal, pp.377~385. May-June, 2001.
6. Amir Mirmiran and Mohsen Shahawy, "Model of Concrete Columns Confined by Fiber Composites", ASCE, pp.583~590. May, 1997.
7. Hideo Katsumata and Yoshiro Kobatake, "Retrofit of Existing Reinforced Concrete Columns Using Carbon Fibers", Non-Metallic(FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Proceedings of the Third International Symposium Vol. 1, pp. 555-562, 1997.