

# 개선된 유리강화섬유를 활용한 구조물 성능보강

## Seismic Performance of Columns Using Improved GFRP



장준호(Chun-Ho Chang) 이사 | 계명대학교 토목공학과 | 부교수 | chunho@kmu.ac.kr

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 시공, 환경 또는 구조적인 요인들에 의해 시간이 경과하면서 내력저하 등 여러 구조적인 성능저하의 문제점이 발생하고 있다. 이에 섬유보강은 구조물의 구조성능 및 내구성능이 저하된 구조부재의 콘크리트 표면에 붙여 내력 증대 및 인성 향상을 목적으로 현재 사용되고 있다. 섬유보강재 중 유리섬유는 탄소섬유가격의 1/3정도의 경제성과 높은 연성도를 기대할 수 있지만 탄소섬유보다 낮은 인장강도로 인해 보강재로서의 사용비중이 미미한 실정이다. 이에 기존 유리섬유의 인장응력범위를 뛰어 넘어 탄소섬유의 인장강도에 근접한 향상된 유리섬유 소재인 Superex가 개발 되어 이를 활용한 기둥의 보강 효과를 입증하고자 한다.

본 연구에서는 사용이 증가되고 있는 섬유보강에 관한 실험을 실시하여 일반적인 유리섬유매트(Woven mat) 및 Carbon Mat, Superex로 보강한 공시체 실험을 통해 내력성능 및 구조적 거동특성을 파악함으로써 Superex를 실제 구조물에 적용 시

요한 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다.

### 2. 실험계획 및 방법

기존의 유리섬유 및 탄소섬유시트와 Superex로 보강된 콘크리트 압축시험용 공시체의 강도별 최대 내력 및 보강섬유변형률을 평가하여 보강재의 종류에 따른 보강효과 및 섬유의 연성을 검토하기로 하였다. 섬유보강 시험체를 제작하기 위해 먼저 콘크리트 공시체를 제작하였다. 본 실험에서 사용된 공시체제조는 KS F 2403 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법<sup>3)</sup>을 기준으로 실행하였고 지름 100mm × 높이 200mm의 원주형 공시체의 제원으로 제작하였으며 T사 레미콘의 콘크리트를 사용하였다. 타설 후 24시간 후에 탈형하여 20~22℃의 온도를 유지시키며 수중양생을 시켰다. 실험 전에 콘크리트 연마기를 사용하여 공시체 상하면의 편심을 최소화 하였다. 이 실험체는 재령28일 강도로 표 1은 콘크리트 배합표를 나타낸 것이다.

표 1. 콘크리트 배합설계

구 분	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (mm)	공기량 범위 (%)	물 · 시멘트 비 W/C (%)	잔골재율 S/A (%)
24	25	650 ± 50	3.0 ± 1.0	21	40.7
27	25	650 ± 50	3.0 ± 1.0	23.8	42
65	25	150 ± 25	4.5 ± 1.5	50	42.3
80	25	150 ± 25	4.5 ± 1.5	57	46.9

표 2. 섬유시트의 재료특성

	E-Glass (Woven)	Superex	Carbon (CFRP)
설계인장강도 (MPa)	2,100~2,300	3,050~3,400	2,800
설계탄성계수 (GPa)	78~80	89~91	240
파단변형률(%)	2.9	3.8	1.75

표 3. 실험체 제원

	NON REINFORCEMENT	Superex	Woven Mat	Carbon Mat
24MPa	SN24	SH24	SW24	SC24
27MPa	SN27	SH27	SW27	SC27
65MPa	SN65	SH65	SW65	SC65
80MPa	SN80	SH80	SW80	SC80

(S: Specimen, N: Non reinforcement, H: Superex, W: Woven mat, C: Carbon mat, 24, 27, 65, 80: 압축강도)

섬유는 총 3종류로 보강효과의 차이를 구분하기 위하여 직조방식이 다른 Woven mat, Superex 및 Carbon mat를 선택 하였으며 1겹 시트보강으로써 겹침길이를 50mm로 하였고 수지대비 경화제비율은 기존연구에 의한 최적 배합량인 1%<sup>5)</sup>로 정하였다. 섬유시트 보강방법은 다음과 같이 실시한 후 5일의 경화 기간을 가진 뒤 실험 하였다. 먼저 부착 콘크리트 표면의 열화층(풍화, 레이턴스, 박리 모르타, 페인트, 오염물질 등)을 완전히 제거한 후 연마에 의한 미립분은 압축공기로 제거하고 충분히 건조시켰다. 섬유 적층을 위해 섬유시트를 절단하고 에폭시수지로 도포한 후 시트를 시험체에 부착하였다. 경화 후 섬유 적층 시 발생한 공기체 상, 하면의 수지 경화물 및 섬유 잔재는 연마기를 이용하여 표면처리 하였다. 실험을 수행하기 직전에는 압축하중 증가에 따른 섬유의 횡방향 변형률을 측정하기 위해 시험체 중앙부에 축방향과 수평방향으로

복합소재용 게이지를 부착하였다.

본 실험은 S사의 5MN 콘크리트 압축 시험기를 사용하여 0.5N/mm<sup>2</sup>/sec<sup>3)</sup>의 속도로 측정하였으며 완전 파괴될 때까지 가력하여 최대하중을 실험체의 최대 내력으로 정하고 최대응력에서의 변위를 최대 변위로 정하였으며 게이지에 의한 섬유의 변형률은 무선계측기를 사용하여 컴퓨터 자동데이터 수집 프로그램을 이용하여 변형률을 획득하였다.

### 3. 실험결과

각 실험체별 압축응력 실험결과, 보강섬유의 종류에 따라 응력범위가 다르게 나타났고 파괴 시 각기 다른 파괴양상을 보였다.

표 4. 실험결과

실험체명	최대 하중 (MPa)	하중 증가율 (%)	축변형량 (mm)	섬유 변형률	
				축방향 변형률	횡방향 변형률
SN24	17.43	-	0.92	-	-
SH24	51.78	196.96%	10.46	-0.0203	0.0174
SW24	24.81	42.25%	4.27	-0.0051	0.0179
SC24	28.55	63.65%	2.54	-0.0075	0.0054
SN27	19.7	-	1.10	-	-
SH27	55.15	179.8%	6.76	-0.0195	0.0176
SW27	27.18	37.85%	2.84	-0.0284	0.0187
SC27	31.82	61.44%	3.26	-0.0028	0.005
SN65	74.4	-	1.34	-	-
SH65	106.23	42.78%	4.36	-0.0214	0.01
SW65	77.34	3.95%	1.47	-0.001	0.0012
SC65	85.62	15.08%	1.93	-0.0035	0.0028
SN80	86.5	-	1.32	-	-
SH80	107.03	23.73%	4.61	-0.0037	0.0075
SW80	81.69	-	1.89	-0.0031	0.0176
SC80	92.6	7.05%	2.31	-0.0039	0.001

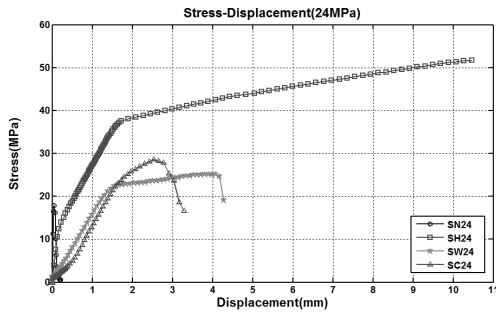


그림 1. 24MPa Stress-Displacement

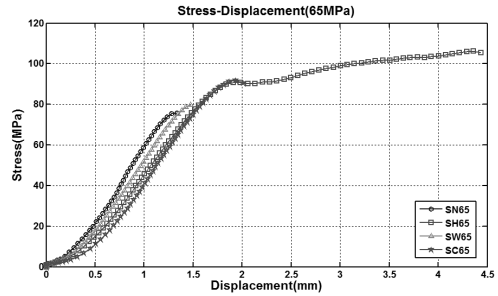


그림 3. 65MPa Stress-Displacement

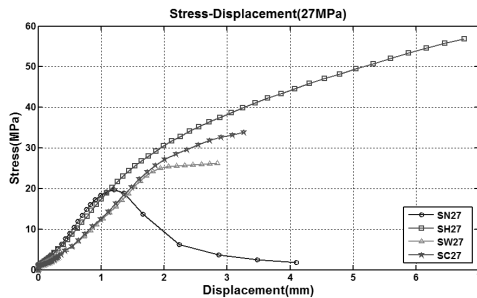


그림 2. 27MPa Stress-Displacement

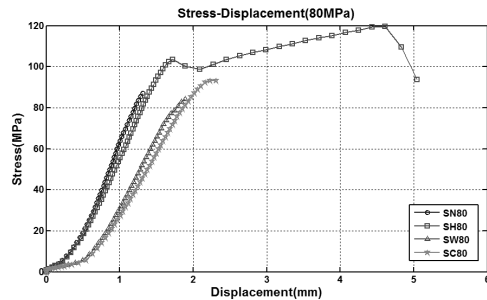


그림 4. 80MPa Stress-Displacement

콘크리트 강도별 응력-변형률 곡선을 그림 1~그림 4에 나타내었다. 무보강 공시체의 전형적인 파괴형상과는 달리 보강 공시체의 대부분은 중앙부 근처의 폭 2~3cm의 국부적인 시트 파단이 발생하면서 파괴되었는데 콘크리트압축강도가 높은 시험체의 경우 강력한 폭발음과 함께 시트의 파단이 급작스럽게 발생하여 파괴시점을 예측하기 힘들었다. 그림 1에서 Superex 섬유로 황보강된 시험체 SH24의 압축강도의 경우 무보강 시험체 대비 최대 2.97배였고 SC24 시험체의 경우 최대 1.64배의 보강효과를 나타내었다. 축방향 최대 변형량은 SH24의 경우 무보강 대비 최대 11.37배로 나타나, 압축강도와 축방향 연성도를 크게 증가시키는 것으로 나타났으며 그림 1~그림 4에서 시험체의 압축강도가 증가할수록 보강효율이 크게 감소함을 보이고 있다. 이는 콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 심부콘크리트에 발생하는 미소균열이 감소하여 섬유에 의해서 가해지는 수동적인 구속압이 감소하기 때문이라 여겨진다.

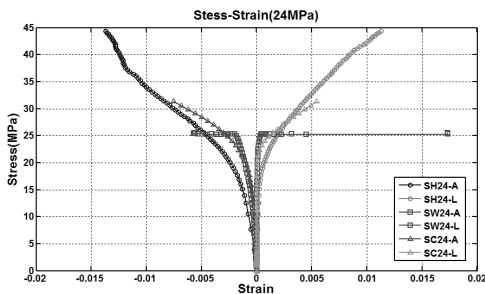


그림 5. 24MPa Stress-Strain Curve

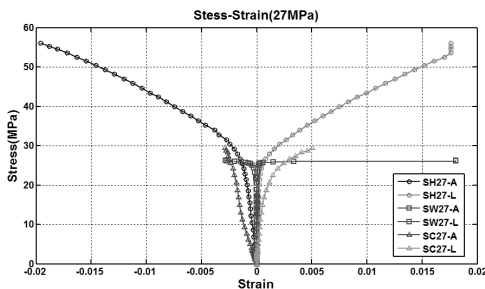


그림 6. 27MPa Stress-Strain Curve

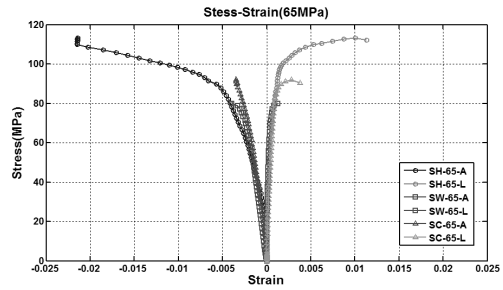


그림 7. 65MPa Stress-Strain Curve

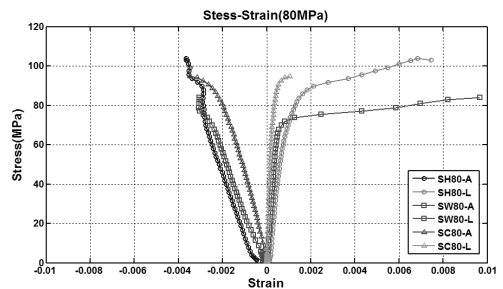


그림 8. 80MPa Stress-Strain Curve

섬유에 의한 횡구속효과를 평가하기 위해 시험체의 축변형률-횡변형률 관계를 분석하였다. 그림에서 하중재하방향을 기준으로 축변형률을 음(-), 횡변형률을 양(+)으로 정의하였고 그림 5~그림 8에 나타난 응력은 파괴시까지 콘크리트 전단면이 동일한 응력상태에 있다고 가정하여 계산하였다. 그림 5~그림 8에서 섬유의 종류 및 콘크리트 압축강도에 따른 변형률에 큰 차이가 있음을 알 수 있었다. 그림 5에서 Superex로 보강된 SH24의 파괴 시 축변형률과 횡변형률은 각각 -0.0203과 0.0174를 나타내고 있는 반면 Carbon mat로 보강된 SC24 시험체의 경우 축변형률과 횡변형률이 각각 -0.0075와 0.0054로써 Superex로 보강된 SH24시험체의 연성거동을 확인할 수 있었으며 SH80시험체의 축변형률 횡변형률은 각각 -0.0037과 0.0075로써 콘크리트의 압축강도가 높아질수록 연성이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론 및 고찰

본 연구를 통해서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 시험체의 비교 결과 Superex로 보강된 시험체의 경우 무보강 대비 최대 196.96%의 하중증가를 보여 최대 63.65%의 강도증진을 보인 Carbon mat에 의한 구속효과보다 월등하게 우수함을 알 수 있었다.
2. 보강재의 횡구속 작용에 의하여 콘크리트의 압축강도와 축방향 연성도를 크게 증가시켰으며 압축강도가 증가할수록 섬유보강에 따른 하중 증가율이 점차적으로 줄어들음을 확인할 수 있었다.
3. 섬유의 Stress-Strain 곡선에서 Superex보강 시험체의 경우 가장 월등한 연성 효과를 확인 할 수 있었고 콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 섬유에 의한 횡구속 효과가 크게 감소하는 결과를 나타내었다.

#### 참고문헌

1. Hosotani, M., Kawashima, K., and Hoshikuma, J. (1998) a Stress-strain Model for Concrete cylinders confined by Carbon Fiber Sheets, *Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, JSCE*, Vol. 39, No. 592.
2. 한국표준협회(2005) 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법(KS F 2403). 서울: 동 협회.
3. 한국표준협회(2005) 콘크리트의 압축 강도 시험 방법(KS F 2405). 서울: 동 협회.
4. 한상훈, 홍기남(2007) 탄소섬유시트로 구속된 원형 RC기둥의 일축압축 거동, *구조물진단학회지*, 제11권, 제2호, pp.125-133.
5. 장광석(2008) 분사식 FRP공법을 이용한 구조물 보강성능평가, *계명대 대학원* 2008. 10, pp. 32-36, 70.