

CFRC의 휨 특성 및 내구성에 관한 실험적 연구

권 순 옥
〈한일시멘트(주) 대전연구소〉

1. 서 론

1824년 영국의 Aspdin이 포틀랜드 시멘트를 발명한 이래 시멘트 복합재(모르타, 콘크리트)는 압축강도가 크고 내구성이 높은 구조재료로서 장족의 발전을 거듭해왔지만 취성재료(brittle material)이고 인장, 휨 및 충격강도가 약한 결점이 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 섬유보강 시멘트 복합재가 이용되고 있으며 대표적인 종류는 SFRC(강섬유보강 콘크리트; Steel Fiber Reinforced Concrete), GFRC(유리섬유보강 시멘트; Glass Fiber Reinforced Cement), CFRC(탄소섬유보강 콘크리트; Carbon Fiber Reinforced Cement Composite), AFRC(아라미드섬유보강 콘크리트; Aramid Fiber Reinforced Concrete) 등이 있다.

탄소섬유는 인장강도가 Pitch제의 경우 7,800~11,000 kg/cm², PAN제는 20,000~35,000 kg/cm²로 일반구조물 강재의 인장강도에 비해서 각각 2~3 배, 5~7 배의 강도가 있고 또한 탄성계수도*시멘트 복합재의 섬유로서 충분한 특성을 지니고 있다. 따라서 본 연구는 건설용 부재료의 응용을 목적으로 탄소섬유를 3차원 랜덤 배열보강한 경우의 CFRC 휨특성 및 내구성을 고찰하였다.

2. 실험내용과 방법

2.1 사용재료

2.1.1 탄소섬유

본 시험에 사용된 탄소섬유는 Pitch계 탄소섬유(3, 6, 10, 25 mm)를 사용하였으며 그 물리적 특성은 <표-1>과 같다.

탄소섬유의 물리적 특성

<표-1>

Fiber Diameter (10 ⁻³ mm)	Specific Gravity	Tensile Strength (Kg/cm ²)	Modulus of Elasticity (10 ⁵ Kg/cm ²)	Elongation (%)
14.5	1.63	7,800	3.8	2.1

2.1.2 시멘트

보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 그 품질은 <표-2>와 같다.

시멘트의 품질

<표-2>

Specific Gravity	Blaine (cm ² /g)	Setting Time		Comp. Strength (Kg/cm ²)		
		Initial	Final	3 d	7 d	28 d
3.15	3,220	4:10	7:10	188	242	336

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MaO (%)	SO ₃ (%)	Ig loss (%)
21.32	5.43	3.39	62.53	2.62	2.31	1.22

2.1.3 골재

골재는 주문진 표준사 및 규석분말 2종류(0.088~0.074 mm; 0.044 mm under)를 사용하였다.

2.1.4 혼화제

고유동화제는 나프탈렌 설폰산염계인 Mighty 150을 사용하였고 증점제는 Methyl Cellulose (점도 4,000 cps)를 사용하였다.

2.2 배합

CFRC 배합은 <표-3>과 같다. 믹싱은 용량 30ℓ의 섬유분산용 Omni-Mixer를 사용하였으며 Fiber의 균등분산을 위하여 약 10분간 혼합하였다.

CFRC의 조합

<표-3>

W/C (%)	S/C	Unit Weight (Kg/m ³)				
		W	C	S	S.P	M.C
110	0.75	645	586	440	5.8	2.6

2.3 실험종류 및 목적

1) 골재를 표준사와 규석분말 2종류를 사용하여 CFRC에 적합한 골재를 찾는 것을 목표로 한다.

2) CF 길이를 3, 6, 10, 25 mm로 변화시켜 CF 길이와 휨강도와의 관계를 밝혀낸다.

3) CF Vol (%)을 0, 2, 3, 4, 5%로 하여 CF 혼입율에 CFRC의 휨강도 및 하중-처짐 곡선에 대해 알아본다.

4) 휨강도 공시체 (b×d×L cm)를 5×1×25, 4×4×16, 5×5×20, 10×10×40, 15×15×55를 제작하여 공시체 크기에 따른 CFRC 부재의 설계확립을 위한 기초자료를 얻는 것을 목적으로 한다.

5) CFRC의 내구성을 파악할 목적으로 CFRC의 동결융해저항성 시험을 행한다.

2.4 양생방법과 시험재령

CFRC의 양생은 공시체 성형후 24시간에 탈형하여 23±2℃의 수조에서 수중 양생하여 재령 28일에서 시험을 행하였다.

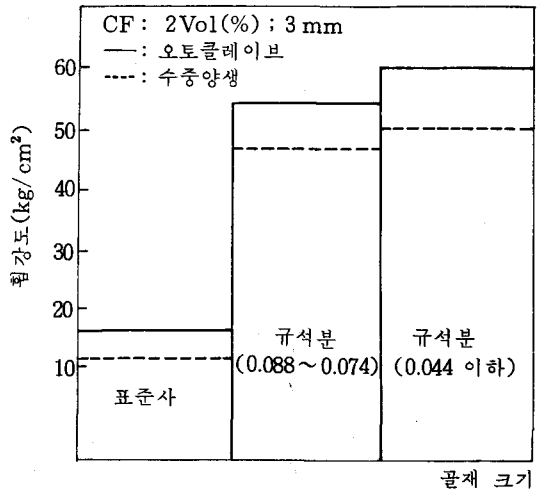
또한 최고온도 180℃(10 kg/cm²)의 조건에서 5시간 오토클레이브 양생을 행하였다.

3. 시험결과

3.1 골재의 입경에 따른 휨강도

골재를 주문진 표준사 및 규석분말 2종류 (0.088~0.074 mm, 0.044 mm under)를 각각 사용하여 실험한 결과 CFRC의 휨강도는 골재의 입경이 작아짐에 따라 증가하는 경향이 있었다. 이것은 CF의 평균입경이 14.5 μm 정도이므로 시멘트와의 부착시 상당량의 작은 간극이 CFRC 중에 존재하게 되어 이것에 미세입경의 작은 골재가 혼입되면 간극을 잘 충전하여 매트릭스가 치밀화하고 CF의 부착 성능이 향상되어 강도증진에 효과적인 것으로 생각된다.

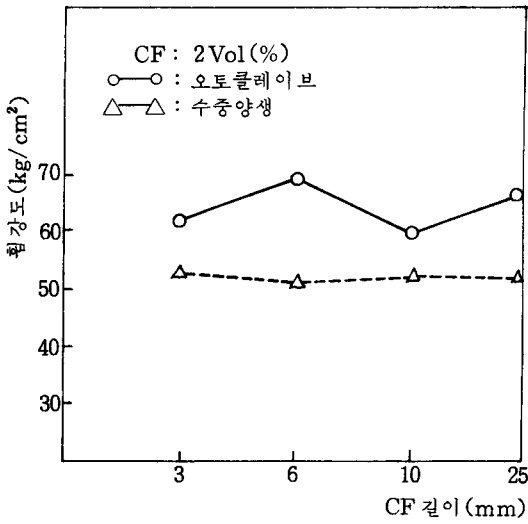
그러므로 CFRC의 제조시 CF를 균일하게 분산시키고 강도증진을 하는 최적 입경으로는 규석분말(0.044 mm under)의 골재가 좋을 것으로 판단된다. 이후 3.2~3.5 시험은 규석분말(0.044 mm)를 사용하여 시험한 결과이다.



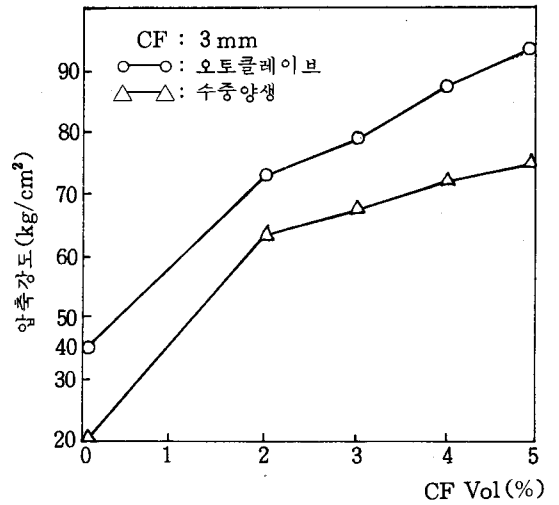
<그림-1> 골재 크기와 휨강도와의 관계

3.2 CF의 길이에 따른 휨강도

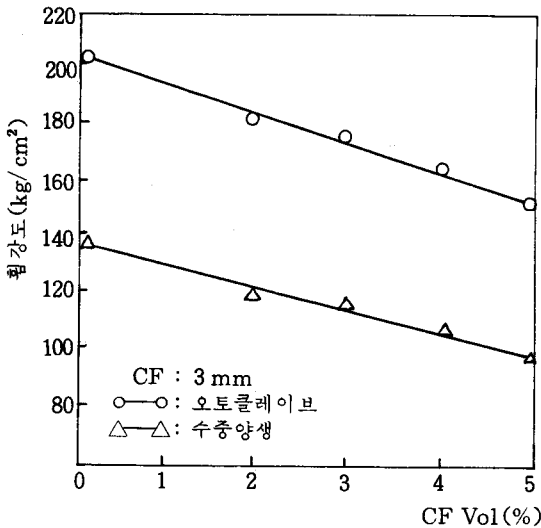
Omni-Mixer의 최대속도(rpm 360)로 혼합한 선배합공법의 경우 CF 길이(3~25 mm)가 휨강도에 큰 영향이 없는 결과를 나타냈다.



<그림-2> CF 길이와 휨강도와의 관계



<그림-4> CF 혼입율과 휨강도와의 관계

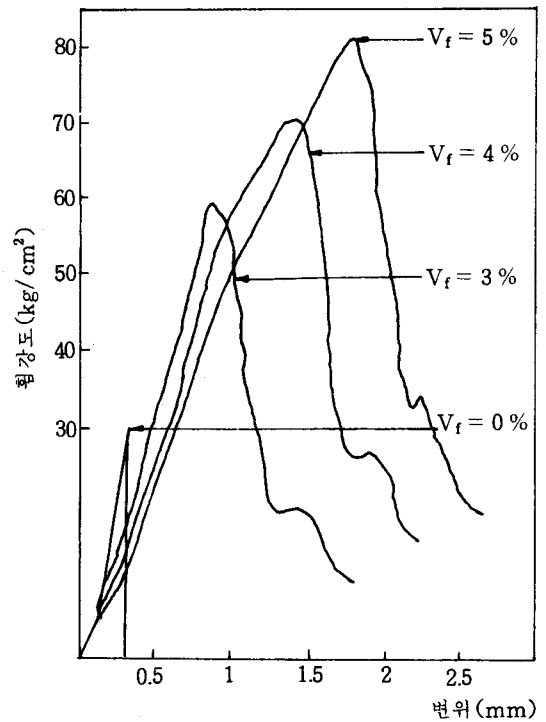


<그림-3> CF 혼입율과 압축강도와의 관계

3.3 CF 혼입율에 따른 압축 및 휨강도와 휨 변형 특성

CF 혼입율의 증가에 따라 압축강도는 저하하는 경향을 보였는데 이것은 섬유혼입율의 증가에 따른 연행공기량의 증대에 의한 것으로 판단된다.

또한 CF 혼입율의 증가에 따라 휨강도는 현저히 증가하는 경향을 보였으며 수중양생의 경



<그림-5> 휨응력과 변위와의 관계

우는 강도증대율이 $V_f = 5\%$ 의 CFRC가 $V_f = 0$ 보다 3.2 배, 오토클레이브 양생은 2.4 배 증가하였다.

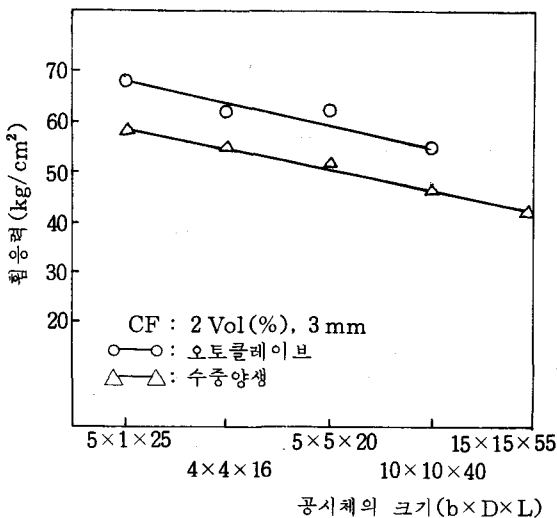
그리고 <그림-5>는 휨응력과 변형율과의 관계를 나타낸 것으로 CF 혼입율의 증가에 따라

휨변형응력은 크게 증대하고 파괴하중에 달한 후에도 급격한 파괴를 초래하지 않았는데 이것으로부터 CF의 사용은 복합재의 휨응력 및 변형성능의 개선에 좋을 것으로 생각된다.

3.4 공시체 크기에 따른 휨강도

본 시험은 CFRC 부재의 설계확립을 위한 기초자료로서 공시체 크기에 따른 휨강도를 검토하기 위해 공시체의 크기($b \times d \times L$ cm)를 $5 \times 1 \times 25$, $4 \times 4 \times 16$, $5 \times 5 \times 20$, $10 \times 10 \times 40$, $15 \times 15 \times 55$ 로 하여 중앙집중재하 방식에 의해 공시체 전단 스패의 길이(a)와 공시체 두께(D)의 비 $a/D=1.25$ 로 하여 시험하였다.

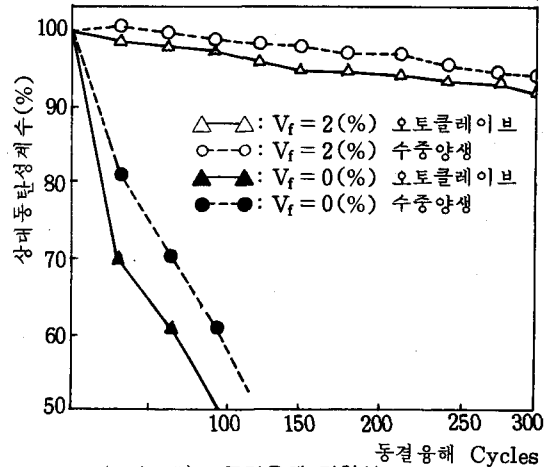
시험결과 공시체 스패와 휨강도의 관계는 스패를 길게 하면 CFRC의 휨강도는 점차 저하하는 경향이 있어 소형 공시체에 의한 data를 대형부재에 적용하는 데에는 주의가 요망됨을 알 수 있었다.



〈그림-6〉 공시체 크기와 휨강도와의 관계

3.5 CFRC의 동결융해 저항성

CFRC의 동결융해 저항성은 $V_f=0$ 보다 동결융해 저항성이 우수하여 동결융해 300 cycle에서 질량감소 5% 이하, 상대동탄성계수 90% 이상의 동결융해 저항성을 나타내어 CFRC의 동결융해 저항성이 양호함을 확인하였다.



〈그림-7〉 동결융해 저항성

4. 결론

본 연구는 CFRC의 휨특성 및 내구성을 검토하기 위한 실험연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CFRC의 휨강도는 골재의 입경이 작아짐에 따라 증가하는 경향이 있었다. 그러므로 CFRC의 제조시 CF를 균일하게 분산시키고 강도를 증진시키는 최적 입경으로는 규석분말(0.044 mm 이하)의 골재가 좋을 것으로 판단된다.

2. CF 길이(3~25 mm)에 따른 휨강도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3. CF 혼입율(본 실험 2~5%) 증가에 따라 압축강도는 약간 저하하는 경향을 보였으며 CFRC의 휨강도는 현저히 증가하는 경향을 보였다. 또한 휨응력 및 변형성능의 개선에도 유효하였다.

4. 공시체 스패와 휨강도의 관계는 스패를 길게 하면 CFRC의 휨강도는 점차 저하하는 경향이 있어 소형 공시체에 의한 data를 대형부재에 적용하는 데에는 주의가 요망됨을 알 수 있었다.

5. CFRC의 동결융해 저항성은 동결융해 300 cycle에서 질량감소 5% 이하 상대동탄성계수 90% 이상의 동결융해 저항성을 나타내어 CFRC 동결융해 저항성이 양호함을 확인하였다.