

# 炭素纖維 補強 시멘트複合體의 工學的 特性에 關한 實驗的 研究

Experimental Study on the Engineering Properties  
of Carbon Fiber Reinforced Cement Composites

朴 承 範

Seung Bum Park

## ABSTRACT

In order to discuss the engineering properties of carbon fiber reinforced cement composites with silica fume and silica powder, experimental studies on the CFRC were carried out.

The types of fiber used which are in CFRC are PAN-based carbon fiber and Pitch-based carbon fiber. To examine the effects of types, Lengths, contents of carbon fibers and matrices, their properties of fresh and hardened CFRC were tested :

According to the test results, the process technology of lightweight CFRC is developed and their optimum mix proportions are successfully proposed. Also, it can be concluded that the reinforcement of carbon fiber is considerably effective in improving tensile strength, flexural strength, toughness and loss of shrinkage of CFRC compared with conventional mortar.

## I. 序 論

시멘트계 매트릭스에 강섬유, 유리섬유, 폴리머 섬유, 탄소섬유, 폴리프로필렌계섬유, 등과 같은 강화소재와의 복합화에 의하여 이들 시멘트계 매트릭스의 취성적 성질을 개선하려는 시도가 오래전부터 행해져 왔으며<sup>(1-9)</sup>, 새로운 성능을 갖는 섬유보강 시멘트·콘크리트의 개발, 실용화에 눈부신 발전을 거듭하고 있으나 이들에 대한 건축·토목재료로서의 요구도 고도화·다양화 되고 있다. 이들 섬유상의 복합강화 소재중 탄소섬

유는 역학적 특성, 내열성 및 화학적 안정성 등이 유리섬유, 내알칼리섬유, 강섬유 등에 비하여 월등하고 이들 섬유에는 없는 밸런스 성능을 갖고 있어 시멘트·콘크리트의 보강섬유로써 국내외에서 많은 주목과 각광을 받으면서 경량·고강도 및 고내구성의 신뢰성이 높은 건축재료로서의 연구개발이 이루어지고 있다<sup>(10-23)</sup>.

탄소섬유 보강 시멘트 복합체에 관한 연구는 1970년대 초부터 Ali, M.A.<sup>(10)</sup>, Waller, J.A.<sup>(11)</sup>, Sarker, S.<sup>(12)</sup>, Fowler, D.R.<sup>(14)</sup> 등에 의해 고탄성의 PAN계 탄소섬유 보강 시멘트 복합체 (이

\* 忠南大學校 工科大學 土木工學科 教授

● 1989.9.2접수 본 논문에 대한 토론을 1990.3.31까지 본학회에 보내주시면 1990. 6월호에 그 결과를 게재해 드립니다.

하 CFRC로 칭함)에 대한 연구가 수행된 바 있고, 1980년대 초부터 Gunasekaran, M.<sup>(15)</sup>, Akihana, s.<sup>(17)</sup>, Ohama, Y.<sup>(18)</sup>, Park, S.B.<sup>(20,21)</sup> 등에 의해 저탄성의 Pitch계 탄소섬유를 사용한 CFRC의 개발연구가 수행되었으며, 최근 일본 Kajima건설회사는 Iraq바그다드시의 Al Shaheed Monument 건설(경량의장 장착면적 10,000 m<sup>2</sup>)과 Tokyo의 ARK 37층 빌딩에 CFRC적용에 의한 4,000ton의 철골량 절감을 비롯해 다방면으로 용도전개를 서두르고 있는 실정이다. CFRC는 우수한 물리적·역학적 성능은 물론 내풍성, 수밀성, 내구성이 양호하고 미관이 좋으며 사-프하면서 슬랜더한 구조부재를 제작할 수 있고, 중량의 대폭경감으로 공기를 크게 단축시킬수 있는 등 많은 장점이 있어 미국, 서독, 캐나다 및 일본 등지에서는 건설용 첨단 신소재로서의 연구개발을 서두르고 있다.

우리나라의 경우도, 제철화학등에서 연간 200ton규모의 탄소섬유가 생산되기 시작하였고, 매년 10,000 B.P.D.S.의 석유핏치와 400,000tan의 콜탈핏치가 부산되고 있음을 감안할 때, 이런 저렴한 부산물에 의한 부가가치가 높은 선진국 수준의 CFRC의 연구개발 및 응용은 관련산업에의 파급효과는 물론 수입대체 및 에너지 절약에 크게 기여할 것이다.

따라서 본 연구에서는 고성능 CFRC의 개발 및 응용을 위하여 수행한 조강 시멘트 및 PAN계 탄소섬유와 Pitch계 탄소섬유 그리고 골재의 종류에 따른 CFRC의 배합, 믹싱, 제조 및 성형, 물리적·역학적 성능에 관한 연구결과를 단계적으로 보고한다.

## 2. 試驗 概要

### 2.1 使用材料

(1) 탄소섬유 ; 제철화학(주)제품의 PAN계 탄소섬유 및 Kureha(주)제품의 Pitch계 탄소섬유(섬유길이 : 3, 6, 10, 12mm)를 사용하였으며, 그 물성은 Table 1 과 같다.

Table 1. Properties of Carbon Fiber

Type of Fiber	Fiber Diameter (10 <sup>-3</sup> mm)	Specific Gravity	Tensile Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Modulus of Elasticity (10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
Pitch-based Carbon Fiber	14.5	1.63	7,800	3.8	2.1
Pan-based Carbon Fiber	6.8	1.78	35,000	23.0	1.6

(2) 시멘트 및 골재 : 시멘트는 S사 제품의 조강포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 그 품질은 Table 2와 같다. 골재는 S광업 제품의 Silica Powder를 사용하였고, 이와 비교·고찰을 위하여 남아프리카 A사 제품의 초미분말의 Silica Fume를 사용하였으며, 그 품질은 Table 3과 같다.

Table 2. Properties of Early Strength Portland Cement

Spec. Gravity	Blaine's (cm <sup>2</sup> /g)	Setting Time		Compressive Strength (kg/cm <sup>2</sup> )				
		Initial (hr. : min)	Final (hr. : min)	1 ds.	3 ds.	7 ds.	28 ds.	
3.14	4,500	3 : 20	5 : 20	197	338	373	448	
SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	Mgo (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Ig. loss (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)
19.2	5.9	2.8	61.7	3.6	4.2	1.37	1.08	0.15

Table 3. Properties of Aggregates

Name of Aggregate	Chemical Components (%)			Physical Properties	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Specific Gravity, 20°C	Particle Size
Silica Powder	99.7	0.01	0.01	2.60	Less than 0.15mm (Average 7.1μm)
Silica Fume	92.0	1.5	1.2	2.10	Average 0.15μm

(3) 혼화제 : 고유동화제는 나프탈렌 설폰산염계 고축합물인 일본 K사 제품의 Mighty150을 사용하였고, M사 제품의 Methyl Cellulose(점도 4,000cps, 용해성 : 열수분산) 그리고 R사 제품의 Antifoam (Active defoamer : 30%, 비중 : 1.0)을 사용하였다.

### 2.2 配合 및 試驗方法

(1) 시멘트 매트릭스의 배합은 Table 4와 같이 하였고, 믹싱은 용량 30ℓ의 섬유분산용 Omni-

Mixer를 사용하였으며, 비빔시간은 시멘트 및 Silica를 혼합한 후 물과 고유동화제를 넣고 3분간 비빔후 탄소섬유를 3분간 투입하여 2분간 혼합하였다.

Table 4. Mix Proportions of Cement Matrices for CFRC

W/C(%)	S/C	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )					
		Water	Cement	Silica	S. P.	M. C.	Antifoam
30*	0.40	388	1,295	518	77.8	--	--
30**	0.40	375	1,250	500	75.0	--	--
53*	0.50	509	961	480	9.6	4.8	--
113*	0.70	658	582	408	--	2.9	5.8

Note : \*Silica Powder, \*\*Silica Fume  
S. P. : Superplasticizer M.C. : Methylene-Cellulose, S/C : Aggregate/Cement ratio

(2)공시체의 성형 및 시험방법

압축 및 인장강도 그리고 단위용적중량 시험은 KSL 5104, 5105 및 KSF 2409에 준하였고, 시험기는 100ton UTM 및 10ton Instron만능시험기를 사용하였으며, 직접인장변형 측정용 공시체는 Fig. 1과 같이 하여 공시체 중앙의 양면에 30mm 와이어 스트레인 게이지를 침부하여 하중-변형 곡선을 X-Y 레코더로 구하였다.

한편, 휨시험은 4×4×16cm 공시체를 제조하여 Instron 만능시험기를 사용하여 크로스베드 속도 5.5mm/min로 중앙집중재하 방식으로 휨시험을 행하고 이때의 하중-처짐 곡선을 레코더로 구하였다.

(3)양생방법 및 시험재령

공중양생은 공시체 성형후 24시간 후에 탈형하여 21±3°C, PH60%의 항온항습조에서 양생한 후 재령7일에서 시험을 행하였다. 오토클레브 양생은 공시체 성형후 24시간에 탈형하여 상기

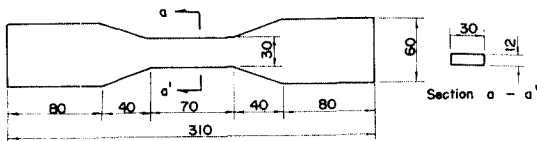


Fig. 1. Shapes and Dimensions of Test Specimens for Direct Tensile Strength

조건실에서 1일간 양생후 최고온도 185°C (10kg/cm<sup>2</sup>)의 조건에서 5시간의 오토클레브 양생을 행하였다.

3. 試驗結果에 대한 考察

3.1 굳지 않은 CFRC의 物性

탄소섬유 혼입율과 탄소섬유 보강 시멘트 매트릭스의 Flow값과의 관계는 Fig. 2에 나타낸 바와 같고, Silica의 종류에도 불구하고 탄소섬유 혼입율 증가에 수반하여 Flow값은 저하하는 경향을 나타내었다. 이것은 탄소섬유 혼입율 증가에 따라 그 비표면적이 현저히 증대하고 혼입수가 그 표면에 부착하기 때문에 워커빌리티의 저하를 초래하기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 그 저하정도는 사용 실리카의 성질에 따라 현저한 차이를 나타내어 실리카흙을 사용한 CFRC의 경우, 섬유혼입율의 증가에 수반한 Flow값

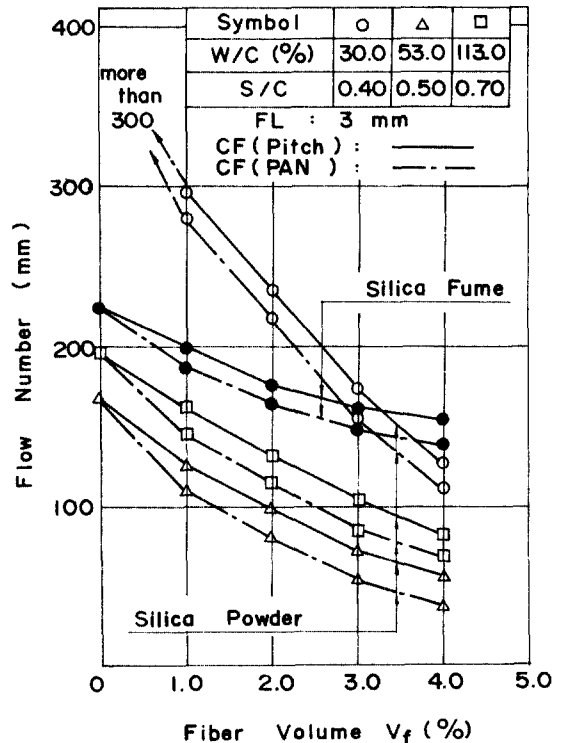


Fig. 2. Relationship between Fiber Volume and Flow

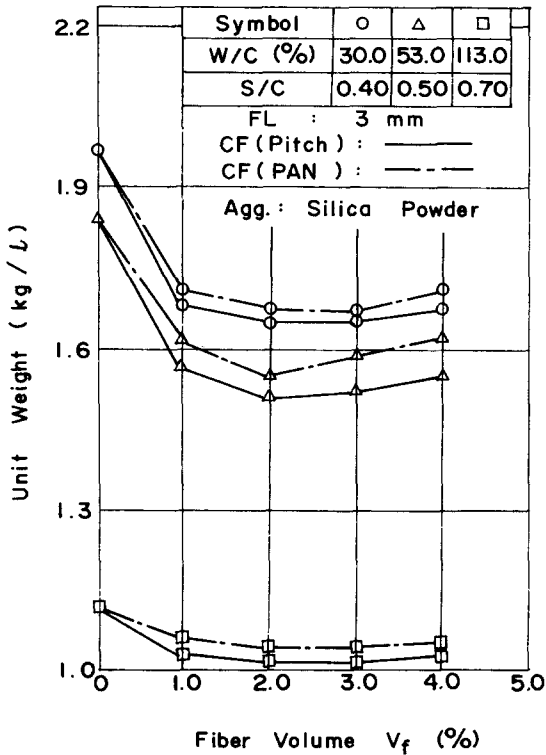


Fig. 3 Relationship between Fiber Volume and Unit Weight

의 저하율이 매우 적는데 비하여 다른 Silica Powder를 첨가하고 CF혼입을 5% 이상으로 한 CFRC는 믹싱후의 상태가 불량하고 Fiber-ball이 발생하였으나, 실리카흙을 사용한 경우는 섬유유 균등분산 및 유동성과 성형성이 양호하여 워커빌리티 향상 및 섬유유 분산재로서 효과가 있는 것으로 생각된다.

또한 골재로 Silica Powder를 사용한 경우 섬유 혼입율과 단위용적질량과의 관계는 Fig. 3에 나타낸 바와 같고, 섬유혼입량( $V_f$ )=3%까지는 현저한 질량감소현상을 보였고 그 이상의 혼입율의 경우는 오히려 다소 증가하는 경향을 나타내었으며, PAN계 탄소섬유를 사용한 경우가 Pitch계 탄소섬유를 사용한 경우에 비하여 약간 높은 경향을 나타내었다.

한편, 5호 규사(0.3~1.2mm)이상의 골재를 사용하면 워커빌리티 성능이 급격히 저하하고, 기공발생이 현저하며, 섬유와의 접착이 불량하여 CFRC의 제조 성형이 어려웠으며, 따라서 최적

입경은 200 $\mu$ m이하 정도의 미세 입경의 골재사용이 효과적인 것으로 판단된다.

즉, 실험에 사용한 시멘트의 평균 입경은 약20  $\mu$ m 정도이고, 탄소섬유의 평균 입경은 11 $\mu$ m 정도이므로 상당량의 작은 간극이 CFRC중에 존재하게 되며 이것에 미세입경의 작은 골재가 혼입되면 간극을 잘 충전하게 되어 매트릭스가 치밀화하게 됨과 아울러 탄소섬유에 대한 부착성능이 향상되어 강도증진에 효과적인 것으로 생각된다.

### 3.2 CFRC의 氣乾比重( $\rho$ ) 및 壓縮強度

미립의 Silica Powder를 사용한 탄소섬유 혼입율에 따른 CFRC의 기건비중은 Fig.4와 같고,  $W/C=30\%$ ,  $S/C=0.40$ 인 경우  $V_f=1.0\sim 5.0\%$ 에서  $\rho=1.25\sim 1.47$ ,  $W/C=53\%$ ,  $S/C=0.50$ 인 경우  $V_f=1.0\sim 5.0\%$ 에서  $\rho=1.18\sim 1.41$ ,  $W/C=113\%$ ,  $S/C=0.70$ 인 경우  $V_f=1.0\sim 5.0\%$ 에서  $\rho=1.0\sim 1.12$ 로 되었으며, 오토클레브 양생의 경우 공중양생

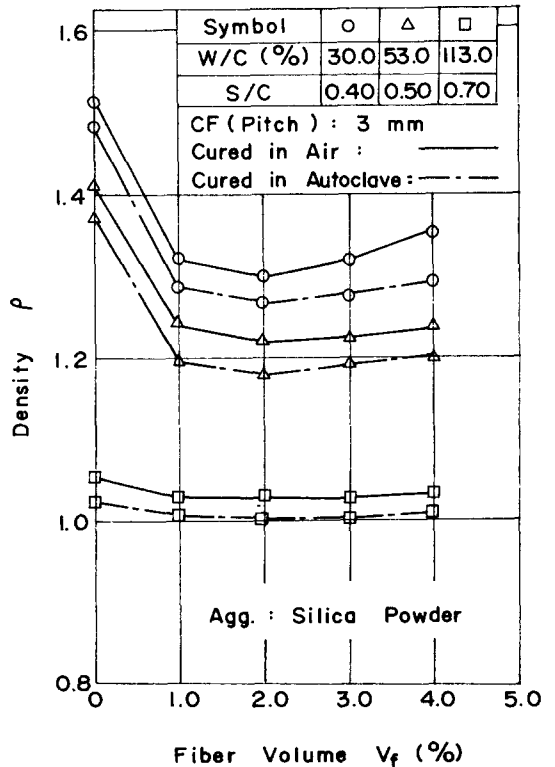


Fig. 4. Relationship between Fiber Volume and Density

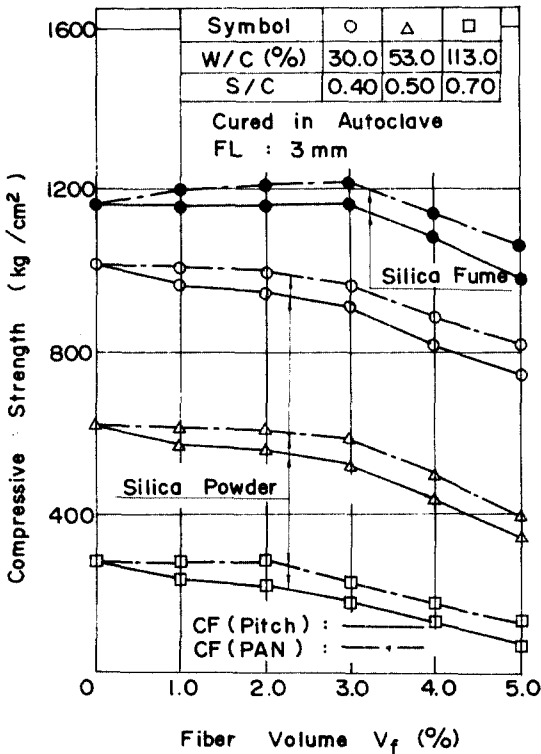


Fig. 5. Relationship between Fiber Volume and Compressive Strength

의 경우에 비하여 다소 현저한 경량화 경향을 나타내었다.

한편, Fig. 5는 탄소섬유 혼입율에 따른 압축강도의 시험결과로, 시리카의 차이에도 불구하고 탄소섬유혼입율의 증가에 수반하여 전반적으로 압축강도는 약간 저하하는 경향이 있으나, Silica Fume을 사용한 CFRC의 압축강도는  $w/c=30\%$ ,  $s/c=0.40$ 의 경우  $1,000\text{kg/cm}^2$ 이상의 고강도를 나타내었으며, 이는 매트릭스중에 공극이 입경  $0.15\mu\text{m}$  정도의 초미분말의 시리카분말에 의해 충전되어 조적이 밀실화되고 오토클래브 양생에 의한 반응성생물에 의한 것으로 추정된다.

또한, 압축강도는 오토클래브 양생의 경우가 공중양생의 경우보다 다소 높은 경향을 보였고, 섬유혼입율 증가에 따른 압축강도의 저하 경향은 기공증대 및 다짐불량등에 기인한 것으로 적정량의 고유동화제, 증점제 및 소포제의 혼용이 필요한 것으로 판단된다.

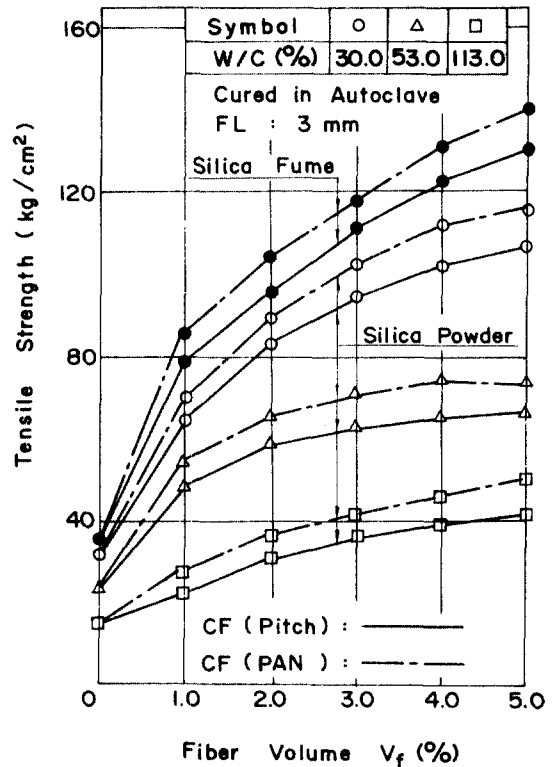


Fig. 6. Relationship between Fiber Volume and Tensile Strength

### 3.3 CFRC의 引張強度 및 變形特性

Fig. 6은 탄소섬유 혼입율과 CFRC의 인장강도의 관계를 나타낸 것으로, 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 CFRC의 인장강도는 거의 직선적으로 증대하는 경향을 나타내었고,  $w/c=30\%$ ,  $s/c=0.4$ , Silica Fume을 사용하고 혼입율  $V_f=5.0\%$ 인 경우의 인장강도는  $V_f=0\%$ 인 경우에 비하여 약3~4배에 달한다. 또한 전반적으로 PAN계 탄소섬유를 사용한 경우가 Pitch계 탄소섬유를 사용한 경우보다, 그리고 시리카흙의 경우가 시리카 분말을 사용한 경우보다 인장강도가 높게 나타났다.

한편, Fig. 7은 CFRC의 인장응력-변형을 곡선을 나타낸 것이고, 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 CFRC의 신장능력은 증가하는 경향이 있다. 그러나 섬유혼입율  $V_f=0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0\%$ 로 증가함에 따라 그 탄성계수는  $3.29, 3.22, 2.96, 2.75, 2.64, 2.56(\times 10^5\text{kg/cm}^2)$ 으로 되어 다

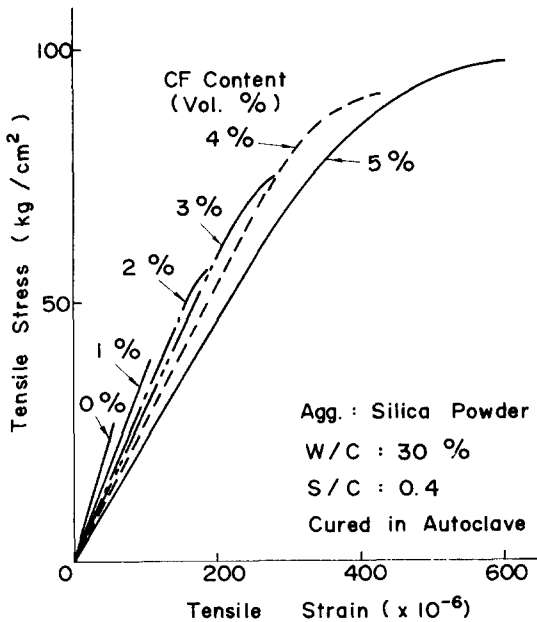


Fig. 7. Tensile Stress - Strain Curves for CFRC with Pitch derived CF length of 3 mm

소 저하하는 경향을 나타내었다. 이것은 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 비빔할 때 연행공기량이 증가하기 때문인 것으로 생각되고, 일반적으로 CFRC의 인장강도 및 신장능력은 휨강도 및 휨인성의 경우와 같이 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 현저히 개선되었다.

### 3.4 CFRC의 휨強度 및 變形特性

CF단섬유 혼입율과 휨강도와와의 관계는 Fig. 8에 나타낸 바와 같다.

탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 CFRC의 휨강도는 실리카의 종류에 관계없이 전반적으로 현저히 증가하는 경향을 나타내었으나, 섬유혼입율  $V_f=3.0\%$  이상에서는 강도증가율이 둔화되거나 다소 저하하는 경향을 나타내었다.

또한 사용CF 및 실리카흙의 종류에 따라 휨강도는 현저한 차이를 나타내어  $w/c=30\%$ ,  $s/c=0.4$ ,  $V_f=3.0\%$ 인 경우 실리카흙을 사용한 CFRC에 비하여 1.2배로 되고  $V_f=5.0\%$ 인 경우의 휨강도는 탄소섬유를 혼입하지 않은 시멘트 매트릭스의 3배에 달하였다. 이것은 실리카흙에 의

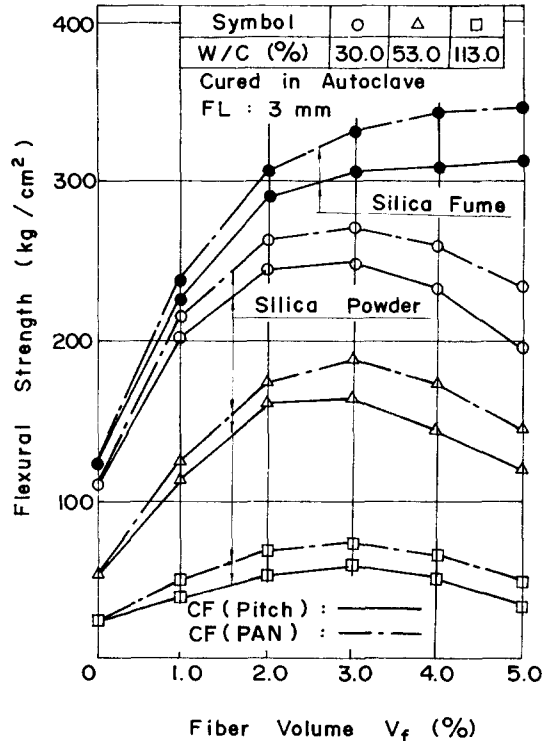


Fig. 8. Relationship between Fiber Volume and Flexural Strength

해 CF의 분산성이 개선됨과 동시에 초미분발의 실리카가 시멘트 매트릭스 부착력을 향상시키고 그 보강효과를 증진하기 때문인 것으로 생각되며, Silica Powder의 경우 Silica Fume에 비하여 휨강도는 현저히 저하하는 경향을 나타내었는데 이는 섬유혼입율의 증가에 따라 탄소섬유의 분산성 및 워커빌리티가 현저히 저하함에 기인하는 것으로 생각된다.

한편, Fig. 9는 CFRC를 믹싱하여  $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm}$  형틀에 충전한 후 다시 가압하여 재령 1주 및 4주의 강도를 측정하고, 탄소섬유의 길이를 3, 6, 10, 12mm로 하여 휨강도의 변화를 측정하여 성형압력이 0.1, 30, 60, 90kg/cm<sup>2</sup>의 중에서 성형압력이 높을수록 휨강도는 다소 증가하는 경향을 보였고, 섬유길이는 3~6mm의 범위에서 10~12mm의 경우에 비하여 약간 증가하는 경향을 보였으며, 이는 3~6mm의 경우가 섬유분산성이 우수하기 때문인 것으로 판단된다.

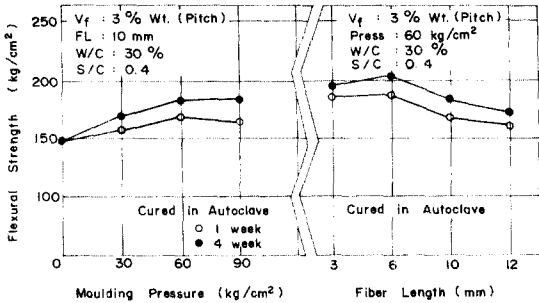


Fig 9 . Relationship between Flexural Strength and Fiber Length

또한, Fig.10은 CFRC의 하중-처짐 곡선을 나타낸 것으로, 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 휨 변형성은 현저히 개선됨을 알 수 있고, 휨강도와 같이 섬유길이 3mm의 것이 10mm의 것을 사용한 경우보다 양호하였고, 공중양생의 경우가 오토클래브 양생을 행한 경우에 비하여 우수한 변형특성을 나타내었다. 이러한 현상은 오토클래브 양생의 경우 매트릭스 자체가 고강도화됨과 함께 섬유와 매트릭스의 부착력이 현저히 증대하여 섬유가 매트릭스로부터 인발이 감소하고 파단섬유가 증가하기 때문인 것으로 추정된다.

다.

### 3.5 CFRC의 乾燥收縮

PAN계 및 Pitch계 탄소섬유에 의한 CFRC 제품을 제조함에 있어, 이들 제품의 변형, 비틀림 및 곡률변화등이 생기면 구조적·미관상의 문제가 발생하게 되므로, 이들 CFRC의 건조수축변화를 최소화할 양생방법의 채용이 중요하게 된다.

Fig. 11은 탈형직후를 건조수축측정의 기점으로 한 경우 오토클래브 양생, 수중양생, 공중양생의 3가지 조건에 대한 재령 6개월까지의 건조수축변화를 측정한 것이다. 여기서 오토클래브 양생의 경우는 공중양생 공시체에 비하여 재령 6개월에서의 길이변화율이 약 1/4정도, 그리고 수중양생(재령7일까지 20°C 수중양생후 23±2°C, 60±5%RH 조건하에서 공중양생)에 비하여 약 1/6 정도로 작았고, 탈형 2주로부터 재령6개월까지의 길이변화가 ±4×10<sup>-4</sup>정도로 다른 양생방법에 비하여 크게 안정된 양상을 보여 CFRC의 건조수축을 최소화하기 위하여는 오토클래브 양

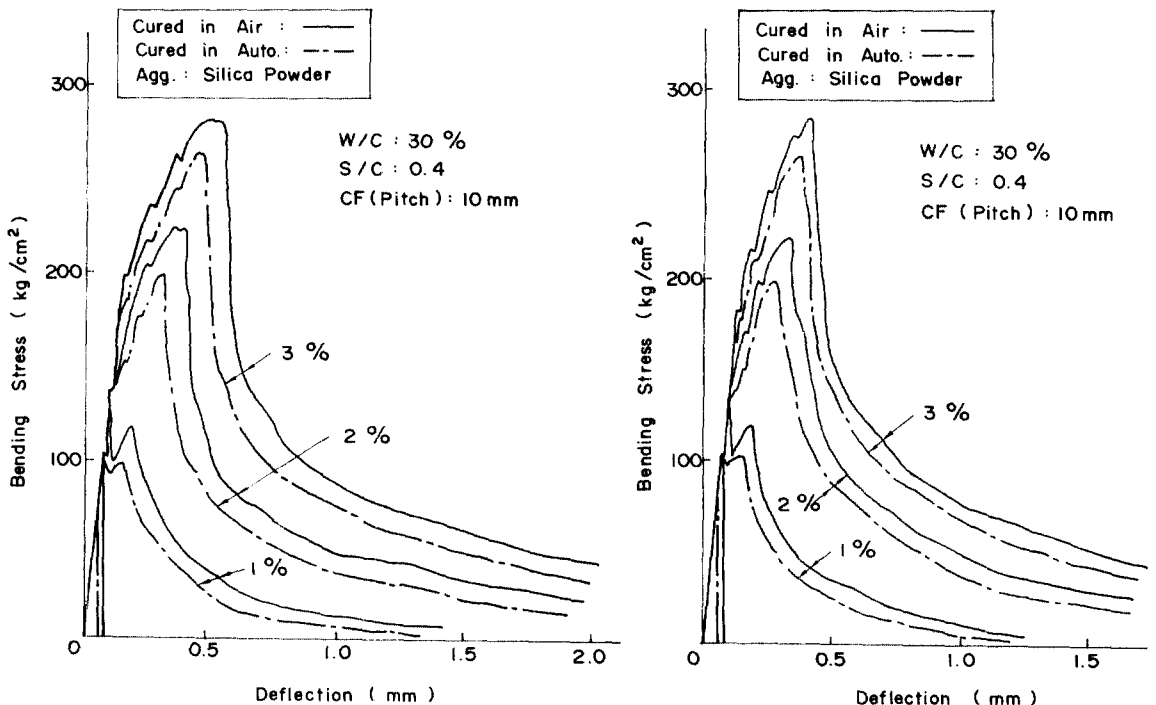


Fig. 10. Bending Stress - Deflection Curves for Autoclaved CFRC

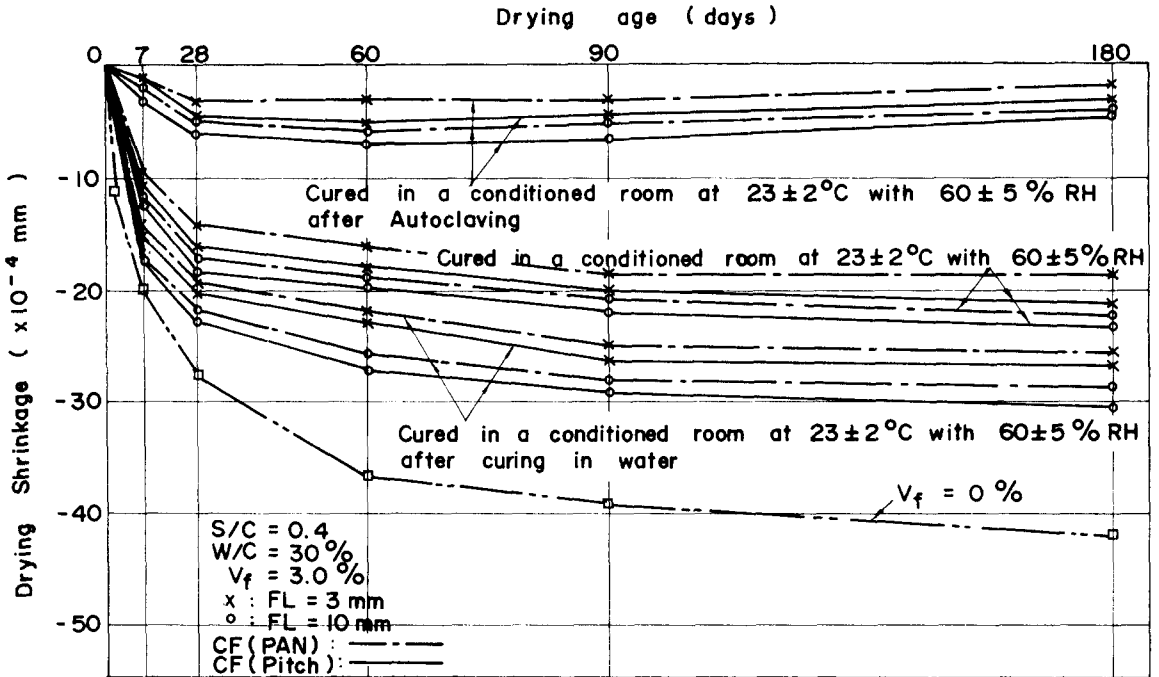


Fig. 11 Comparison of Drying Shrinkage of CFRC

생이 요망된다. 또한 길이에 의한 영향은 CF10mm에 비하여 3mm의 경우가 수축저감 효과가 다소 우수한 경향을 보였고, 또한 전반적으로 건조재령의 증가에 수반하여 건조수축은 증가하나 오토클레브 양생 CFRC는 건조수축이 양생 거의 끝나고 그 후의 변화는 매우 작았다.

한편, 탈형직후를 기준으로 한 경우 건조재령의 증가에 따른 CFRC의 중량변화율은 오토클레브 양생에 의해 약간 증가하나 그 후 건조재령과 함께 다소 감소하는 경향을 나타내었으나, 본 연구에서는 CFRC의 건조수축과 중량변화사이의 상관성은 인정되지 않았으며, CF의 종류에 따른 영향은 PAN계 탄소섬유를 사용한 경우가 Pitch계 탄소섬유를 사용한 경우에 비하여 다소 수축저감효과가 큰 양상을 나타내었다.

#### IV. 結 論

탄소섬유 보강 시멘트 복합체의 제조성형, 제강도, 응력-변형 및 건조수축 등 공학적 특성은 섬유관계요인, 매트릭스 관계요인, 믹싱관계

요인에 크게 영향을 받고, 또한 양생조건에도 상당한 영향을 받음이 확인되었으며, 본 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 사용실리카의 종류에 불구하고 탄소섬유 혼입율의 증가에 수반하여 Flow값은 거의 직선적으로 저하하고, Silica Fume을 사용한 경우 Silica Powder를 사용한 경우에 비하여 유동성과 섬유 분산성 그리고 증점효과가 양호하였으며, 섬유혼입량 3%까지는 현저한 질량감소현상을 나타내었으나 그 이상의 혼입율에서는 다소 증가하였고, PAN계 탄소섬유를 사용한 경우가 Pitch계 탄소섬유를 사용한 경우보다 약간 높은 경향을 나타내었다.

(2) CFRC의 기건비중은 물·시멘트비가 클수록 감소하는 경향을 보였고, 오토클레브 양생의 경우가 공중양생의 경우보다 경량화 경향을 보였으며, 압축강도는 전반적으로 동등수준이거나 감소하는 경향을 나타내었고, Silica Fume을 사용한 경우가 Silica Powder를 사용한 경우보다 우수하였다.

(3) 탄소섬유 혼입율의 증가에 따라 CFRC의



인장강도는 혼입율 약5%까지는 시리카의 종류에 불구하고 거의 적선적으로 증대하는 경향을 보였고, 초미립의 실리카흙을 사용한 경우가 실리카분말을 사용한 경우보다 다소 높게 나타내었다. 또한 섬유혼입율의 증가에 따라 그 신장능력도 증가하는 경향을 보였고, 인장탄성계수는 다소 감소하는 경향을 보였으며, 이는 비빔할 때 섬유혼입율 증가에 수반하여 연행공기의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

(4)CFRC의 휨강도는 섬유혼입율의 증가에 수반하여 현저히 증가하고, 특히 실리카흙을 사용한 경우는  $w/c=30\%$ ,  $s_4=0.4\%$ ,  $V_f=5.0\%$ 인 경우 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 약 3배 이상의 휨강도를 나타내었으며, 실리카분말에 비하여 현저히 큰 영향을 나타내었다. 또한, 성형압력이 0.1, 30, 60, 90kg/cm<sup>2</sup> 범위에서 성형압력이 높을수록 다소 증가하는 경향을 보이고, 섬유길이 3, 6mm를 사용한 경우가 10, 12mm를 사용한 경우보다 약간 증가하는 경향을 보였다.

(5)탄소섬유 혼입율 증가에 수반하여 CFRC의 휨변형성능은 현저히 개선되며, 섬유길이 3mm를 사용한 경우가 10mm를 사용한 경우보다, 그리고 공중양생의 경우가 오토클래브 양생의 경우보다 우수한 휨인성을 나타내었고, 이는 오토클래브 양생시 매트릭스의 고강도화에 따른 부착력 증대로 섬유의 인발이 감소하기 때문으로 생각된다.

(6)건조수축변화는 오토클래브 양생의 경우 재령6개월에서 공중양생의 경우에 비해 약 $1/4$ , 수중양생의 경우보다  $1/6$ 정도로 작고, 또한 PAN계 탄소섬유의 경우가 Pitch계 탄소섬유의 경우보다 작았으며, 또한 섬유길이 3mm의 경우가10mm보다 약간 작았다. 따라서 CFRC에 의한 박판제품 등의 2차제품제조시 건조수축을 최소화하기 위하여 오토클래브 양생이 매우 중요한 것으로 생각된다.

## 參 考 文 獻

1. Goldfein, S., "Fibrous Reinforcement for Portland Cement", Modern Plastics, Vol.42, No.8, 1965, pp.156~160
2. Grimer, F.J. and Ali, M.A., "The Strengths of Cements Reinforced with Glass Fibers", Magazine Concrete Research, Vol.21, No.66, 1969, pp.23~30
3. Nielson, L.E. and Chen, P.E., "Young's Modulus of Composite Filled with Randomly Oriented Fibers", J. Materials, Vol.3, No.2, 1968, pp. 352~358
4. Swamy, R.N. and Mangat, P.S., "The Mechanics of Fiber Reinforcement of Cement Matrices", ACI J. SP-44, Detroit, 1974, pp.1~28
5. Aveston, J., Mercer, R.A., and Sillwood, J.M., "The Mechanism of Fiber Reinforcement of Cement and Concrete, Part I", SI No. 90/11/98, Division of Inorganic and Metallic Structure, National Physical Laboratory, Jan. 1975, pp. 1~102
6. Hannant, D.J., "Fibers Other than Asbestos, Glass, Polypropylene, and Steel", Fibre Cements and Fibre Concretes, John Wiley and Sons, Chichester, 1978, pp. 146~156
7. Sarker, S. and Bailey, M.B., "Structural Properties of Carbon Fibre Reinforced Cement", RILEM Symposium, 1975, Fibre Reinforced Cement and Concrete Construction Press, pp. 361~371
8. Naaman, A.E., Shah, S.P. and Thorne, J. L., "Some Developments in Polypropylene Fibers ACI Publication SP-81, 1981, pp. 373~396
9. Naraynam, R. and Darwish, Y.S., "Use of Steel Fiber as Shear Reinforcement", ACI Structural J., May June 1987, pp. 216~227
10. Ali, M.A., Majumdar, A.J., and Rayment, D.L., "Carbon Fiber Reinforced Cement", Ce-

ment and Concrete Research, Vol.2, 1972, pp. 201~212

11. Waller, J.A., "Carbon Fiber Cement Composites", Civil Engineering and Public Works Review, Vol.67, No.789, Apr. 1972, pp. 357~371

12. Sarker, S. and Baily, M.A., "Structural Properties of Carbon Fibre Reinforced Cement", Fibre-Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, 1975, London, Vol. 1, pp. 361~371

13. Aveston, J., Cooper, G.A., and Kelly, A., "Single and Multiple Fracture", Proc. of Conf. on the Properties of Fiber Composites, National Physical Laboratory, Surry, England, 1972, pp. 15~26

14. Fowler, D.R., "Carbon Fiber Cement", Civil Engineering, No.817, Sept. 1974, pp. 34~37

15. Gunasekaran, M., "Carbon Fiber Reinforced Polymer Concrete", Proc. of the 3<sup>rd</sup> International Congress on Polymers in Concrete, Vol.1, College of Eng., Nihon Univ., Koriyama, Japan, 1982, pp. 567~571

16. Briggs, A., "Carbon Fiber-Reinforced Cement", J. of Materials Science, Vol.12, No. 2, 1977, pp. 384~404

17. Akihama, S., Suenaga, T. and Nakagawa, H., "Carbon Fiber Reinforced Concrete", Concrete International-Design & Construction,

Vol.10, No.1, Jan., 1988, pp. 40~47

18. Ohama, Y., "Durability and Long-Term Performance of FRC", Proc. of the International Symposium on Fiber Reinforced Concrete, Dec. 16~19, 1987, pp. 5.3~5.16

19. Zheung, O. and Chung, D.D.L., "Carbon Fiber Reinforced Cement Composites Improved by Using Chemical Agents", Cement and Concrete Research, Vol.19, No.1, 1989, pp. 25~41

20. Seung-Bum Park and Bo-Sung Rhee, "Experimental Study on the Development and Application of CFRC of High Strength", J. of Korean Society of Composite Materials, Vol.1, No.1, 1988, pp. 34~42

21. Seung-Bum Park, Bo-Sung Rhee and Hae-Young Kim, "Rheological Behavior of Cement-Slurry Suspended With Short Carbon Fibre", J. of Korean Society of Composite Materials, Vol.1, No.1, 1988, pp. 61~66

22. Pal, S., and Saha, S., "Stress Relaxation and Creep Behaviour of Normal and Carbon Fiber Reinforced Acrylic Bone Cement", Biomaterials, Vol.3, No.2, Apr. 1982, pp. 93~96

23. Shirakawa, K. and Nakagawa, K., "Factors Affecting Flexural Strength of Carbon Fibre Reinforced Cement Composites", Proc. of the JCI 4th Conf., 1982, pp. 153