

# 산업부산물을 사용한 강섬유보강 콘크리트의 장기변형 특성에 관한 연구( I )

## A Study on the Long-term Deformation of Steel Fiber Reinforced Concrete Utilizing By-Products of Industry

박승범\*      김의성\*\*      윤의식\*\*\*      홍석주\*\*\*\*  
Park, Seung Bum      Kim, Eu Sung      Yoon, Eui Sik      Hong, Seok Joo

---

### Abstract

Shrinkage and creep are the fundamental properties of concrete. These long term deformations can be seen as bothersome(increased deflection) or can be seen as reduction of compressive stress of prestressed concrete. Steel fibers advance the mechanical properties of concrete: tensile strength, ductility, flexural strength, fracture toughness, and post-cracking resistance, etc... Silica fume is pozzolanic material which combines with hydrated lime to generate silicate materials which increase the compressive strength and reduce somewhat the creep of concrete.

This paper is the result of the long-term deformation by silica fume and steel fibers with varying percentages

---

### 1. 서 론

최근 국내의 각종 산업발전 및 건설기술의 발달에 따른 구조물의 대형화 및 고층화에 수반하여 콘크리트 부재가 좀더 세장됨에 따라 콘크리트의 취성개선은 물론, 구조물의 균열발생 및 변형 등 악영향을 미치는 건조수축 및 크리프 등의 장기변형 특성을 개선한 고강도·고인성이면서 치수안정성 및 신뢰성이 우수한 고성능·고품질의 콘크리트의 개발이 크게 요구되고 있다. 그동안의 많은 연구결과에

---

\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 동부건설(주) 기술연구소장

\*\*\* 정회원, 한국원자력 안전기술원

\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 박사과정

의하면 콘크리트용 보강재로 강섬유를 보강한 강섬유보강 콘크리트(SFRC)는 휨강도 및 인장강도는 물론, 균열구속능력, 에너지흡수능력 등이 현저히 개선된다고 알려지고 있으나, 연구보고는 거의 없어 그 특성에 대해서는 명확히 구명되지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 산업부산물의 유효이용과 강섬유보강 콘크리트의 경제적인 제조를 목적으로 강도 및 수밀성 증진에 대단히 효과적인 것으로 알려진 초미립의 포졸란재료인 실리카흙을 사용한 강섬유보강 콘크리트의 건조수축 및 크리프 특성에 관한 실험연구를 행하였다.

## 2. 사용재료 및 시험방법

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

시멘트는 국내 D사 제품의 제 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 그 물성은 표 1에 나타난 바와 같다.

#### 2.1.2 골재

잔골재는 비중 2.59, 조립률 2.68인 충남 금강 상류에서 채취한 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 충남 금산 H사 제품의 최대치수 19mm, 비중이 2.65, 조립률 7.01인 부순돌을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 다음 표 2와 같다.

#### 2.1.3 혼화재료

혼화제로서 실리카흙은 남아프리카 Anglo Alpha Co. 제품의 초미분말의 제품을 사용하였으며, 혼화제로서 고성능 감수제는 일본 K사 제품의 나프탈렌 설폰산염 고축합물계 Mighty 150을 사용하였으며, 그 물리적 특성은 각각 표 3 및 4와 같다.

#### 2.1.4 강섬유

강섬유는 Belgium의 B사 제품의  $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ 의 양단Hook형 강섬유를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 5에 나타난 바와 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

물리적 성질								
비 중	비표면적 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	88 $\mu$ on Residue	Soundness	용결시간(min)		압축강도( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )		
				초결	종결	3 일	7 일	28 일
3.14	3,315	0.2	0.03	225	410	216	320	406

표 2 골재의 물리적 성질

골재종류	최대치수 (mm)	F.M	비 중	흡수율 (%)	단위중량 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )
잔골재	-	2.68	2.59	1.40	1.65
굵은골재	20	7.01	2.65	1.32	1.67

표 3 혼화재(실리카흙)의 화학·물리적성질

Chemical Components(%)					Physical Properties		
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Ig. loss	Specific Gravity	Blaine's (cm <sup>2</sup> /g)	Particle Size(Aver.)
92.5	1.68	2.51	0.56	0.31	2.21	263,000	1.36 μ

표 4 혼화제의 물리적 성질

Admixture	Appearance	Specific Gravity	pH	Solid Contents (%)
Mighty-150	Dark Brown Liquid	1.20	7~9	41~45

표 5 사용된 강섬유의 물리적 성질

강섬유 종류	길이 (mm)	직경 (mm)	Aspect Ratio (l/d)	인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )
Hooked-collated	30	0.5	60	약 110	2.1×10 <sup>6</sup>

## 2.2 배합 및 시험방법

### 2.2.1 실리카흙을 사용한 SFRC의 배합 및 믹싱

믹싱은 강섬유의 랜덤한 균등분산과 밀실한 콘크리트의 제조를 위하여 일본 C사 제품의 섬유분산용 Omni-mixer(용량 30 l)를 사용하였고, 믹싱은 재료분리 및 Fiber-ball이 발생하지 않도록 먼저 잔 골재와 굵은골재를 혼합하고 일정한 속도로 믹서에 강섬유를 투입하여 혼합한 다음 시멘트, 혼화재와 물을 투입한 후 혼화제는 후 첨가하였다. 실리카흙을 사용한 SFRC의 제조를 위하여 배합은 강섬유 혼입률별, 시멘트 중량에 대한 실리카흙의 치환률별로 표 6과 같이 배합하였다.

### 2.2.2 시험방법

#### (1) 압축강도, 휨강도 및 정탄성계수 측정

압축강도는 KSF 2405에 준하여 φ10×20cm의 원주 공시체를 제작하여 23±2℃의 수중양생 후 재령 28일에 측정하였으며, 휨강도는 JCI-SF4의 섬유보강 콘크리트의 휨강도 및 휨인성 시험방법에 준하여 15×15×55cm의 보공시체를 제작하여 재령 28일에서 시험하였으며, 탄성계수는 공시체의 측면에 68mm의 스트레인 게이지를 설치하여, 최대응력의 40% 수준에서 할선탄성계수를 구하였다.

#### (2) 건조수축 변형측정

건조수축은 10×10×40cm의 공시체를 동일한 조건으로 3개 이상을 제조해 KS F 2424의 콤파레터법에 준하여 탈형직후를 기준으로 하여 길이변화를 측정하였다.

#### (3) 압축크리프 변형측정

압축크리프 시험은 KS F 2453에 준하여 φ15×30cm의 원주공시체 내부에 Brass Insert를 매입하여 제작하였다. 24시간후 탈형하여 7일간 수중양생을 실시한 후 23±2℃, 50±4% R.H 조건 의 항온항습기에서 양생한 다음 재령 28일에 압축강도를 측정하고 재하직전에 변형측정을 하였다.

표 6 실리카흙을 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 배합

Mix. No.	슬럼프	W/B* (%)	혼입율 (Vol.%)	S/a (%)	단위중량 (kg/cm <sup>3</sup> )					
					시멘트	물	잔골재	굵은골재	강섬유	실리카흙
Plain	8±1	45	0	43	360	162	772	1047	0	0
S-0-5	8±1	45	0	43	342	162	769	1043	0	18
S-0-10					324	162	766	4040	0	36
S-0-15					306	162	764	1036	0	54
S-0.5-0					360	162	766	1039	39.25	0
S-0.5-5	8±1	45	0.5	43	342	162	763	1036	39.25	18
S-0.5-10					324	162	761	1032	39.25	36
S-0.5-15					306	162	758	1028	39.25	54
S-1.0-0					360	162	761	1032	78.5	0
S-1.0-5	8±1	45	1.0	43	342	162	758	1028	78.5	18
S-1.0-10					324	162	755	1032	78.5	36
S-1.0-15					306	162	752	1028	78.5	54
S-1.5-0					360	162	755	1024	117.75	0
S-1.5-5	8±1	45	1.5	43	342	162	752	1021	117.75	18
S-1.5-10					324	162	750	1017	117.75	36
S-1.5-15					306	162	747	1013	117.75	54

[Note] \* B : 결합제로서 시멘트+실리카흙

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 압축강도, 휨강도 및 정탄성계수

표 7 실리카흙을 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 압축강도, 휨강도 및 정탄성계수

Mix. No.	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	평균압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	0.4fc (kg/cm <sup>2</sup> )	휨강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )
Plain	297	309	124	34.1	2.58
S-0.5-0	308			39.1	2.67
S-1.0-0	312			45.7	2.74
S-1.5-0	317			49.9	2.79
S-0-5	312	328	131	35.4	-2.62
S-0.5-5	326			42.4	2.71
S-1.0-5	334			46.1	2.79
S-1.5-5	338			50.2	2.74
S-0-10	343	364	146	35.3	2.84
S-0.5-10	360			44.5	2.82
S-1.0-10	372			48.3	2.83
S-1.5-10	381			50.9	2.83
S-0-15	360	383	153	40.5	2.82
S-0.5-15	379			48.5	2.78
S-1.0-15	394			50.2	2.81
S-1.5-15	398			51.4	2.79

실리카흙을 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 기본적인 역학적 특성의 파악 및 압축크리프 재하하중을 산정하기 위한 압축강도, 휨강도 및 정탄성계수 시험결과는 표 7에 나타난 바와 같다.

### 3.2 건조수축

실리카흙을 사용한 강섬유보강 콘크리트의 건조수축 측정결과는 다음 그림 1~4와 같다.

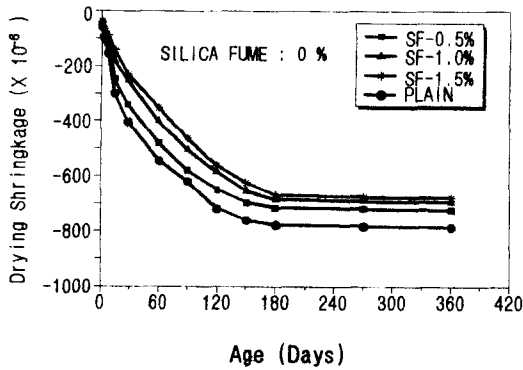


그림 1 강섬유 혼입률에 따른 건조수축변형

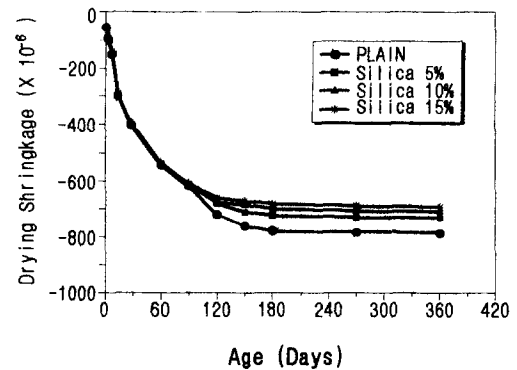


그림 2 실리카흙 혼입률에 따른 건조수축변형

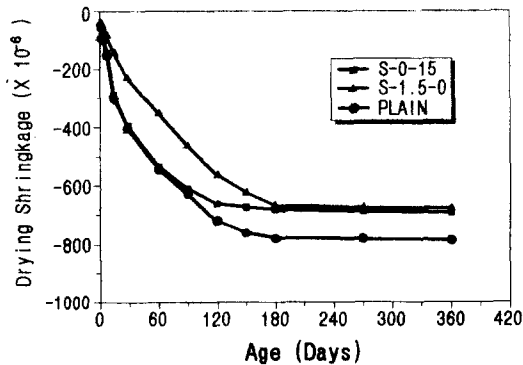


그림 3 건조수축 변형특성

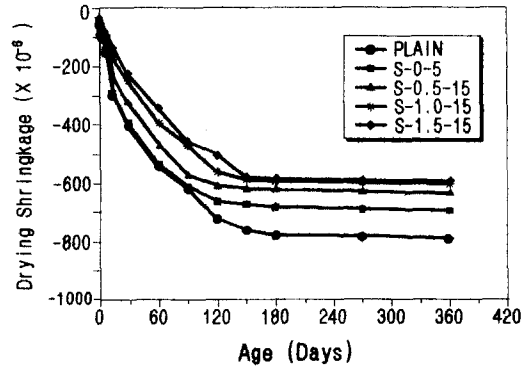


그림 4 건조수축 변형특성

실리카흙을 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 건조수축은 실리카흙 및 강섬유의 혼입률에 의해 많은 영향을 받는 것으로 나타나 전반적으로 실리카흙 및 강섬유 혼입률의 증대에 따라 건조수축은 감소하는 경향을 나타내었다.

실리카흙의 혼입률을 5, 10, 15% 증가시켰을 경우 보통 콘크리트에 비해 SFRC의 건조수축은 7, 10, 12% 정도 감소하였으며, 이는 수화생성물인  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 실리카흙과의 작용에 의해 콘크리트 매트릭스가 밀실하게 되었기 때문인 것으로 판단된다.

또한 강섬유의 혼입률이 0, 0.5, 1.0%로 증가함에 따라 보통 콘크리트에 비해 SFRC의 건조수축이 9, 12, 14% 정도 감소하였으며, 이는 강섬유의 혼입에 의해 콘크리트 매트릭스 내에서 응력분산 및 변형억제효과를 나타내었기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.3 크리프

크리프는 시멘트의 종류, 물·시멘트비, 잔골재율 및 온·습도조건, 하중조건에 따라 크게 영향을 받기 때문에 본 실험에서는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물·시멘트비, 잔골재율 및 재하조건을 고정시켜 실리카흙 및 강섬유의 혼입별로 크리프에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

실리카흙을 사용한 강섬유보강 콘크리트의 크리프 변형측정결과는 그림 5~8과 같다.

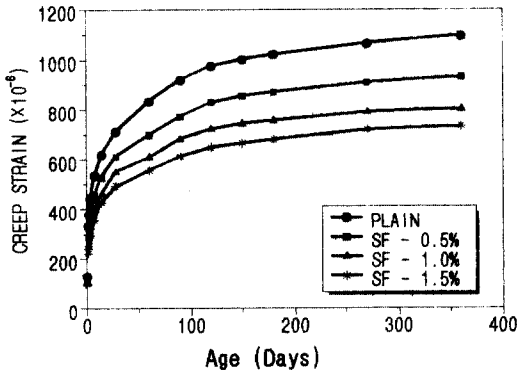


그림 5 강섬유 혼입률에 따른 크리프변형

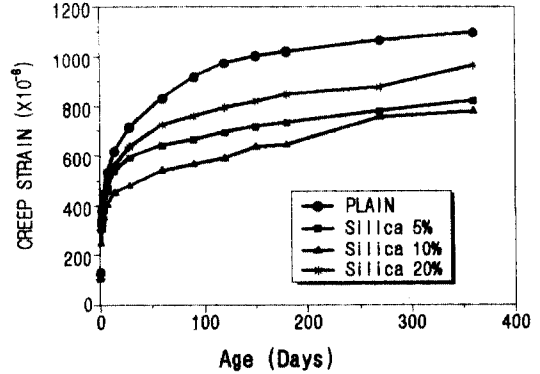


그림 6 실리카흙 혼입률에 따른 크리프변형

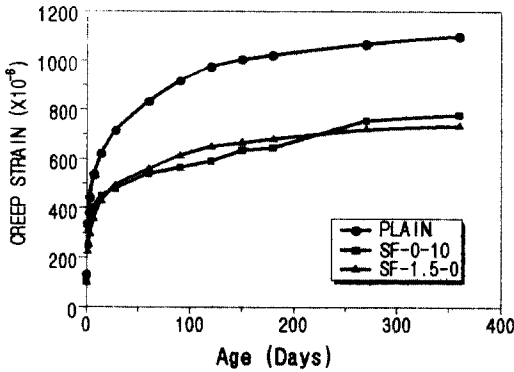


그림 7 크리프 변형특성

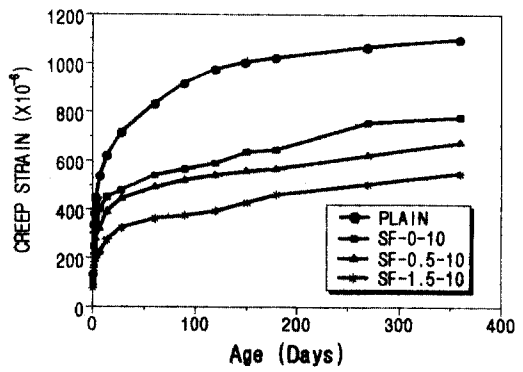


그림 8 크리프 변형특성

강섬유보강 콘크리트의 크리프는 동일한 물·시멘트비의 경우 강섬유의 종류, 매트릭스 요인, 믹싱 방법, 배합조건 등에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려지고 있는데 본 실험에서는 강섬유 혼입률이 0, 0.5, 1.0%로 증가함에 따라 보통 콘크리트에 비해 크리프 변형량은 각각 15, 27, 33% 정도 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 수용성 아교로 접착된 양단 Hook형 강섬유가 믹싱시 콘크리트 매트릭스내에 균등분산이 잘 되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 실리카흙의 혼입률을 5, 10, 15% 증가됨에 따라 크리프는 보통 콘크리트에 비해 25, 29, 12% 정도 감소하였으며, 이는 초미립자의 실리카흙을 첨가함으로써 골재상호간의 결합 및 골재와 강섬유의 결합력을 증대시켜 크리프 감소에 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 15% 혼입시는 크리프 변형이 5% 혼입시 보다도 증가되는 것으로 나타났으며, 그 원인에 대해서는 보다 깊은 연구가 필요한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

- 1) 실리카흙을 사용한 강섬유보강 콘크리트의 압축강도 및 휨강도는 전반적으로 강섬유 혼입률 및 실리카흙의 혼입률 증대에 따라 현저히 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 실리카흙을 사용한 강섬유보강 콘크리트의 건조수축은 전반적으로 강섬유의 혼입률 및 실리카흙의 혼입률이 증가할수록 보통콘크리트에 비해 현저히 저감되었다.
- 3) 실리카흙을 사용한 강섬유보강 콘크리트의 크리프 변형은 강섬유의 혼입률이 증가할수록 다소 저감되는 것으로 나타났으며, 또한 실리카흙의 혼입에 의해서는 혼입률을 10%까지 증가시켰을 경우는 크리프변형이 감소하였으나, 15% 혼입시는 크리프변형이 오히려 커지는 현상을 나타내었다.
- 4) 건조수축과 크리프변형을 최대로 억제하기 위해서는 적당한 양의 강섬유를 혼입하는 것이 효과적임이 입증되었으며, 실리카흙의 경우에는 10%정도까지 혼입하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 충남대학교와 동부건설(주) 기술연구소 공동으로 수행된 건교부 '96 건설기술연구개발사업의 연구내용중 일부임을 밝히며, 본 연구를 위하여 협조하여 주신 관계당국과 여러분께 깊은 감사를 드립니다

#### 참 고 문 헌

1. Ohama, Y., "Durability and Long Term Performance of FRC", Proc. of the International Symposium of FRC, 1987.12 pp.5.3-5.16
2. Park, S.B., "Development and Applications of Fiber Reinforced Concrete", J. of KCI, Vol.2, No.1, 1990 pp.11-19
3. Park, S.B., Yoon, E.S., "A Study on the Durability of CFRC", Proc. of KCI, Ann. Conf., 1989.11 pp.31-34
4. A.M. Neville, "Creep of Plain and Structural Concrete", Construction Press, London and New York, 1982
5. S.B.Park, B.S.Rhee, and E.S.Yoon, "An Experimental Study on the Drying Shrinkage and Freeze-Thaw Durability of CFRC", J. of KSCM, Vol.2, No.1, 1989 pp. 62-68