

鋼纖維補強 콘크리트의 耐久性 및 乾燥收縮變形特性에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on the Durability and Drying Shrinkage of Steel Fiber Reinforced Concrete

朴承範* 尹義植** 洪錫周*** 朴炳哲***
Park, Seung Bum Yoon, Eui Sik Hong, Seok Joo Park, Byung Cheol

ABSTRACT

In order to develop and apply high-performance steel fiber reinforced concrete (SFRC), the effects of steel fibers on durability and long-term deformation of SFRC due to various mixing conditions have been studied.

As the test result show, the manufacturing process technology of industrial SFRC is developed. And the durability of SFRC such as freeze-thaw, resistance abrasion resistance are significantly improved, the drying shrinkage of SFRC, is remarkably decreased by increasing the steel fiber contents than plain concrete

1. 서론

최근 급속한 산업발전에 따라 건설구조물은 대형화·다양화 되고 있으나, 여기에 다량 사용되고 있는 콘크리트는 본질적으로 취성적 성질을 가지고 있으므로 이러한 문제점을 개선함은 물론, 역학적성능 및 내구성의 향상, 안정성 및 신뢰성을 확보할 수 있는 대책이 증대한 과제로 대두되고 있다. 미국, 일본 및 영국, 프랑스, 독일 등의 유럽선진국에서는 이미 1970년대의 오일쇼크를 기점으로 콘크리트의 구조체로서 건설용 신소재인 강섬유를 이용한 강섬유보강 콘크리트(SFRC)에 관한 활발한 연구개발이 이루어져 SFRC의 매카니즘 및 물성에 관해서는 이미 괄목한 성과를 거두고 있는 SFRC는 보통콘크리트의 취성적 성질

을 개선함과 아울러 균열구속성능, 에너지흡수 능력, 내폭성 및 내진성이 월등히 우수한 것으로 나타나 각종 토목·건축구조물의 구조 및 비구조요소에 적극 활용되고 있는 실정이다. 그리고 우리나라에서도 최근 이들 섬유보강콘크리트에 관한 관심과 필요성이 증대되고 있으나, 그 실용화를 위한 개발·응용실적이 대단히 미진한 실정으로서, 부존자원이 부족한 우리나라로서는 이러한 자원절약 및 에너지 절약형의 고성능 섬유보강콘크리트의 개발·활용이 크게 요망되고 있다. 따라서 본 연구는 미국, 일본 및 유럽선진국 수준의 고성능 SFRC의 개발·응용을 위한 연구의 일환으로 아직까지 완전히 규명되지 않은 SFRC의 내동해성, 내마모성 및 건조수축변형특성을 검토하기 위한 실험적 연구를 수행하였다.

* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 충남대학교 토목공학과 강사

*** 정회원, 충남대학교 대학원 석사과정

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

(1) 시멘트 : 시멘트는 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 그 화학조성 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical compositions and physical properties of ordinary portland cement

Chemical Composition (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. loss	Total
21.1	6.7	2.9	61.7	3.1	2.0	0.17	0.84	1.5	100.0

Physical Properties					
Specific Gravity	Blaine's (cm ² /g)	88μ on Residue	Soundness	Setting Time	
3.14	3350	0.2	0.03	Initial	
				Final	
				2:50	7:10

(2) 골재 : 잔골재는 금강상류에서 채취한 강모래를 사용하였고, 굵은 골재는 최대치수 25mm의 부순돌을 사용하였으며, 각각 그 물성 및 입도 곡선은 Table 2, 3 및 Fig.1에 나타난 바와 같다.

Table 2. Physical Properties of Fine Aggregate

Absorption (%)	Unit Weight (kg/l)	Specific Gravity	Inorganic Material			
1.23	1,650	2.60	Accept			
Grading (Passing %)						
4.76 (mm)	2.38 (mm)	1.19 (mm)	0.59 (mm)	0.03 (mm)	0.15 (mm)	F.M.
100	94.6	80.4	54.5	21.4	6.2	
						2.65

Table 3. Physical Properties of Coarse Aggregate

Absorption (%)	Unit Weight (kg/l)	Specific Gravity	Loss of Abrasion (%)	F.M.	Grading (Passing %)
					19 mm
1.32	1.67	2.65	18.9	6.75	68

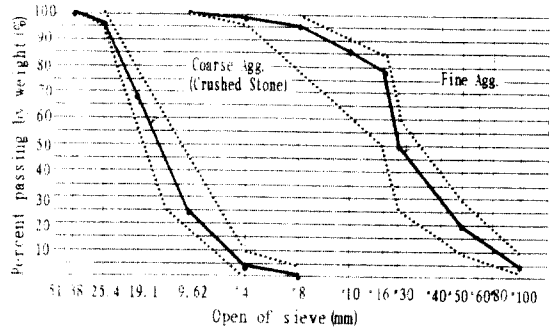


Fig. 1. Gradation Curve of Aggregates

(3) 강섬유 : 일본 T사 제품의 치수 0.5×0.5×30mm (b×t×L)인 스트레이트 형태의 강섬유를 사용하였으며, 그 성분 및 물성은 Table 4와 같다.

Table 4. Chemical Components and Physical Properties of Steel Fiber

C	Mn	P	S	Tensile Strength (kg/mm ²)	Young's Modulus (kg/cm ²)	Specific Gravity
0.05	0.31	0.0013	0.0016	32	2.1×10 ⁶ (kg/cm ²)	7.85

(4) 혼화제 : AE감수제는 국내 M사 제품의 표준형 Pozzolith No. 84-k를 사용하였고, 고강도화를 위한 고성능 감수제로는 일본 K사의 Might-150을 사용하였다.

2.2的配合 및 試驗方法

(1) SFRC의 배합 및 믹싱

강섬유보강 콘크리트의 제조를 위한 배합조건별 배합은 목표슬럼프값 8±1cm가 되도록 시험 배합을 통하여 Table 5와 같이 하였다.

Table 5. Mix Proportions of SFRC

W/C (%)	SF (vol. %)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)				
			W	C	S	G	SF
50	0	39.3	167	334	700.7	1105.4	-
	0.5	44.3	177	354	765.4	982.8	39.3
	1.0	49.3	187	374	824.5	869.5	78.5
	1.5	54.3	197	394	878.1	754.7	117.8
	2.0	59.3	207	414	926.1	649.2	157.0

한편, 믹싱은 강섬유의 랜덤 균등분산과 밀실

한 콘크리트의 제조를 위하여 일본 C사제품의 섬유분산용 Omni-mixer(용량 30ℓ)를 사용하였고, 재료는 먼저 잔골재와 굵은골재를 혼합하고 일정한 속도로 믹서에 강섬유를 투입하여 혼합한 다음 시멘트와 물을 투입하고 혼합하였다.

(2) 시험방법

SFRC의 내동해성을 파악하기 위하여 배합조건 별로 ASTM C 666-2 및 KS F 2456에 준하여 -18℃~+10℃에서 1일 6~8사이클로 1000사이클까지 1차공명수의 변화를 조사함과 아울러 표면상태를 측정하였고, 내마모성을 조사하기 위하여 골재시험용 Los Angeles 시험기에 0.3~5mm의 건조한 모래 90kg 및 15×15×15cm의 입방공시체를 넣어 매분 30회씩 회전시켜 6000회까지 그 손실중량을 측정하였으며, SFRC의 건조수축변형 특성을 조사하기 위하여 10×10×40cm의 공시체를 제조해 ASTM C 157 및 KS F 2424의 콤퍼레터법에 준하여 탈형직후를 기준으로 하여 길이 변화를 측정하였다.

3. 試驗結果 및 考察

3.1 SFRC의 凍結融解抵抗性

AE 감수제 C×0.25% 첨가한 경우와 AE감수제를 사용하지 않은 경우의 SFRC의 동결융해저항성 시험결과는 Fig.2에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, 전반적으로 강섬유를 혼입함에 따라 동결융해저항성은 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 AE감수제를 사용하지 않은 경우에는 강섬유의 혼입을 증가에 따른 균일한 양상은 나타나지 않아 강섬유의 혼입효과가 거의 없는 것으로 판단되지만, AE감수제를 사용한 SFRC의 경우 공기량이 5~6% 정도로 되면 강섬유의 혼입효과가 큰 것으로 나타나 상대동탄성계수가 60%정도까지 저하하는데 소요되는 동결융해 사이클은 베이스 콘크리트의 경우 약 500 사이클이 소요되었는데 비하여 강섬유를 복합체중의 절대용적비 1% 혼입시에는 약 900사이클이 소요되었으며, 2%혼입시에는 1000사이클에서도 상대동탄성계수가 약 20%정도밖에 저하하지 않았다.

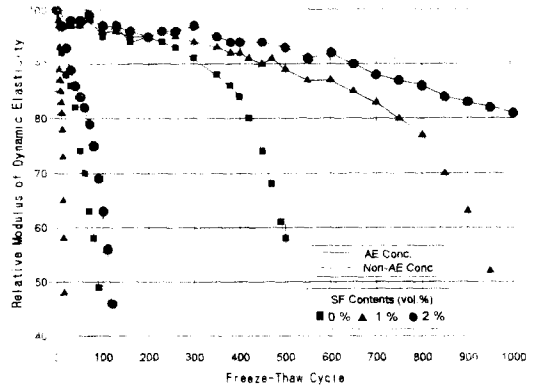


Fig. 2 Freeze-Thaw Resistance of SFRC

3.2 SFRC의 耐磨耗性

SFRC의 마모저항성 시험결과는 Table 6 및 Fig.3에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, 보통콘크리트에 비하여 SFRC의 경우가 회전수가 증가함에 따른 중량손실율은 현저히 작게 나타났으며, 강섬유혼입을 증대에 따라 이러한 경향은 더욱 현저하게 나타나 SFRC의 내마모성이 우수함을 확인할 수 있었다. 따라서 SFRC는 고속의 유수 및 조류, 모래와 자갈을 함유한 유수는 물론 기계적마찰을 받는 토목구조물에 적용시 내구성증진에 큰 효과가 있는 것으로 판단된다.

Table 6. Weight loss Ratio SFRC by Abrasion-Resistance Test

Mix No.	SF (vol. %)	Cycle Number of Revolution						
		0	1000	2000	3000	4000	5000	6000
1	0	0	-0.72	-1.14	-1.54	-2.18	-2.92	-3.64
2	0.5	0	-0.66	-1.06	-1.44	-2.02	-2.72	-3.38
3	1.0	0	-0.46	-0.86	-1.22	-1.72	-2.20	-2.82
4	1.5	0	-0.44	-0.80	-1.14	-1.58	-2.10	-2.66
5	2.0	0	-0.42	-0.76	-1.10	-1.50	-1.98	-2.56

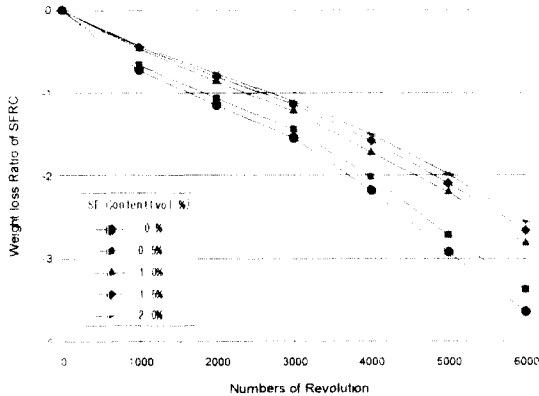


Fig. 3 Abrasion-Resistance of SFRC

3.3 SFRC의 乾燥收縮變形特性

시멘트콘크리트는 건조에 의해 수축을 일으키므로 균열 및 크리프의 원인이 된다. SFRC의 재령별 건조수축 시험결과는 Fig. 4에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면 동일배합조건에서 단위시멘트량이 증대됨에도 불구하고 강섬유의 혼입을 증가에 따라 건조수축은 현저히 저감되는 경향을 나타내었다. 이는 SFRC의 경우 강섬유의 효과에 의해 콘크리트 매트릭스의 변형역제효과가 있기 때문으로써, 시멘트 매트릭스에 적정량의 강섬유를 혼입함은 건조수축저감을 위하여 대단히 효과적인 것으로 판단된다.

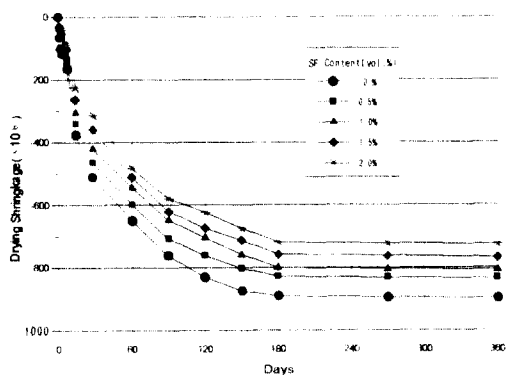


Fig. 4. Drying Shrinkage of SFRC

4. 결론

SFRC의 제조·응용을 위한 내구성 및 장기변형 특성에 관한 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) SFRC의 내동해성은 AE감수제를 사용함으로써 AE감수제를 사용하지 않은 경우에 비하여 현저히 개선되었다. 또한 AE감수제를 사용한 SFRC의 내동해성은 연행공기량이 5~6% 정도로 되면 강섬유의 혼입을 증가에 따라 보통 콘크리트에 비하여 현저히 개선되었으나, AE감수제를 사용하지 않은 경우에는 강섬유의 혼입효과는 거의 없는 것으로 나타났다.

(2) 보통콘크리트에 비하여 SFRC는 Los Angeles 시험기의 회전수가 증가함에 따라 중량손실율은 현저히 저감되는 것으로 나타났으며, 강섬유 혼입을 증대에 따라 SFRC의 내마모성은 현저히 개선되는 것으로 나타났다.

(3) 동일배합조건에서 SFRC의 건조수축은 보통콘크리트의 경우에 비하여 강섬유혼입을 증대에 따라 현저히 저감되는 경향을 나타내어 강섬유의 혼입이 건조수축에 효과적인 것으로 판단된다.

(4) SFRC는 보통콘크리트에 비하여 내동해성, 내마모성은 물론 건조수축과 같은 장기변형능의 개선에 대단히 효과적인 것임을 확인하였으며, 앞으로 포장용, 터널·여수로, 법면등의 라이닝, RC부재대체의 2차제품, RC와 병용한 내진벽, 기계기초, 기둥은 물론 셸구조물, 내폭·내진구조물 등에서의 적극적인 활용이 기대된다.

參 考 文 獻

1. Romualdi, J.P., Batson, G.B., "Mechanics of Crack Arrest in Concrete", Proc. of ASCE, Vol.89, No.EM 3, pp.147~168, 1963.6
2. Park, S.B., Yoon, E.S., "A Study on the Durability of CFRC", Proc. of KCI, Ann. Conf., pp.31~34, 1989.11
3. Neville, A.M., "Creep of Concrete : Plain, Reinforced, and Prestressed", North-Holland Pub. Co., Amsterdam, 1970
4. 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, pp.62-68, 1989