

강섬유보강 콘크리트의 개발 및 응용에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Development and Application of Steel Fiber Reinforced Concrete

김무한*

김진만*

남상일**

Kim, Moo Han Kim, Jin Man Nam, Sang Ill

요 약

본 연구는 강섬유보강 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 미치는 강섬유 길이의 영향과 실리카흄 및 플라이애시와 같은 콘크리트용 혼화재의 첨가에 의한 영향을 실험적으로 고찰한 것으로서 본 연구 결과 낮은 물결합재비를 채용하고 고성능감수제를 사용함으로써 슬럼프 10(cm)의 유동성과 600 (kgf/cm²) 이상의 28일 압축강도를 갖는 강섬유보강콘크리트의 제조가 가능하였으며, 실리카흄의 사용은 강섬유보강콘크리트의 시공성 및 공학적 특성 개선에 유효한 인자로 나타났으며, 또한 강섬유보강콘크리트의 인장강도는 보통콘크리트에 비하여 높게 나타나 강섬유가 콘크리트의 인성증진에 기여하는 것으로 나타났다.

Abstract

The purpose of this study is to investigate and analyze the effect of length of steel fiber and concrete admixture such as silica fume and fly ash on the workability and engineering properties of steel fiber reinforced concrete (SFRC). As the results the follows are found. First, it is possible to make steel fiber reinforced concrete having the consistency of 10cm slump and 28 days compressive strength of 600 kgf/cm² by adopting low water binder ratios and using superplasticizer. Second, the compressive and tensile strength of SFRC containing silica fume and fly ash is lower than those of plain concrete in the age before 28 days, but higher in the age after 28 days. Finally, tensile strength of SFRC is higher than that of plain concrete, and so adding the steel fibers in concrete increases the toughness.

Keywords : steel fiber, steel fiber reinforced concrete, SFRC, length of steel fiber, admixture, silica fume, fly ash, consistency, superplasticizer, water binder ratio

1. 서 론

1980년대 이후 주택건설의 확대와 사회간접시설의 확충으로 국내 GNP에서 건설업이 차지하는 비중이 급속도로 증가하여 현재에는 GNP의 10

(%)를 점유할 정도로 양적 팽창을 하였음에도 불구하고 국내 건설기술의 기반은 매우 취약한 상태에 머물러 있지만, 90년대에 이르러 신다자간 무역협정(UR)으로 인한 국내 건설시장의 개방이 임박하고 있다. 이에 따라 기술 및 자본력이 우수한

* 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사
** 정회원, 충남대 건축공학과 대학원, 박사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 1994년 6월호에 토의회담을 게재하겠습니다.

선진외국과 경쟁하기 위해서는 기술개발을 통한 건설산업의 경쟁력 확보가 중요한 과제로 등장하게 되었으며, 이에 콘크리트 산업의 신기술 개발 측면에서 콘크리트 매트릭스 내에 강섬유를 균일하게 분산시켜 제조한 강섬유보강콘크리트에 관한 연구가 활성화 되고 있다. 또한, 고층RC조 건축물의 시공 예가 증가함에 따라 콘크리트의 건축적인 성능 및 공학적 특성의 개선으로 고층RC조의 각 부재를 최소화하고 스패의 길이를 크게 하여 기둥 1분당 부하면적을 증가시켜 평면계획을 자유롭게 하는 등 우수한 콘크리트 구조물의 시공과 거주환경의 개선을 도모할 수 있는 강섬유보강콘크리트의 개발과 그 이용의 적용성과 더불어 제조시스템의 확립이 요구되고 있다.⁽¹⁻⁶⁾

강섬유보강콘크리트는 보통콘크리트(plain concrete)에 비하여 충격강도가 매우 크고 휨강도, 피로강도 및 파괴에 대한 저항능력이 증가하는 등 많은 장점이 있으나 시공성이 저하되고 재료의 분리가 생길 위험성이 높은 등 실제 시공에는 어려움도 있다. 강섬유보강 콘크리트의 제 특성은 사용하는 강섬유의 형상 및 치수, 재질 등 강섬유 자체의 특성과 골재의 종류 및 크기, 물시멘트비, 세골재 및 혼화재료 등에 의해서 지배되나 이 경우 강섬유가 콘크리트 매트릭스 중에 균일하게 분산되는 것이 전제조건으로 요구된다. 특히, 콘크리트 중에 강섬유가 서로 엉켜 괴상(塊狀)으로 된 소위 화이버볼(fiber ball)이 생기면 강섬유 혼입의 효과가 현저하게 저하하게 된다. 따라서 강섬유보강콘크리트의 재료선정, 조합결정 및 제조 시공에 있어서 화이버볼을 형성시키지 않고 매트릭스내에 강섬유가 균일하게 분산하도록 하는 것이 중요한 요건이다. 실제 시공에 있어서 이러한 조건을 만족시키지 못하는 강섬유보강콘크리트는 실험실에서 아무리 우수한 특성이 얻어졌다 하더라도 실제 응용하고 적용할 수 없게 된다.

이에 본 연구는 현재 건설재료 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 콘크리트의 국제경쟁력 확보를 위한 연구의 일환으로 철강제품의 일종인 강섬유(steel fiber)를 콘크리트 매트릭스내에 균일하게 분산시킨 강섬유보강콘크리트의 개발 및 활

용을 위한 실험적 연구로서 강섬유의 길이가 강섬유보강콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 미치는 영향을 알아보고, 또한 강섬유보강콘크리트의 유동화 성능 개선 및 고강도화를 위하여 고성능감수제, 실리카흄 및 플라이애시 등의 혼화재료를 혼입하여 강섬유보강콘크리트의 작업성과 시공성 및 공학적 특성을 향상시켜 강섬유보강콘크리트의 현장적용 가능성을 실험 실증적으로 비교 검토하고자 한 것이다.

2. 연구계획과 연구방법

2.1 실험계획

강섬유를 혼입한 강섬유보강콘크리트의 시공성 및 압축강도 등의 제공학적 특성을 비교·검토하고 구명하기 위한 본 연구는 Table 1과 같이 물결합재비 30(%)의 보통콘크리트와 강섬유보강콘크리트를 제작하였으며, 강섬유보강콘크리트는 강섬유 혼입율을 1(%)로 고정하고, 강섬유의 길이를 20(mm), 30(mm), 40(mm)의 3수준으로하여 각각 실리카흄(Silica Fume)과 플라이애시(Fly Ash)를 혼입한 콘크리트와 혼화제를 혼입하지 않은 콘크리트를 제작하여 각 요인별로 시공성 및 공학적 특성을 비교·검토 하였다. 또한 시공성 및 공학적 특성을 비교·검토하기 위한 측정항목은 굳지않은 콘크리트에서는 비빔온도, 단위용적중량, 공기량, 슬럼프, 플로우, 다짐계수치(CF)이고 굳은콘크리트에서는 압축강도, 할열인상강도

Table 1 Experimental factors and levels

Factor	Level			
W/B(°/wt)	30			
Addition Rates of Steel Fiber(°/vℓ)	0	1		
Length of Steel Fiber(mm)	--	20	30	40
Substituted Proportion of Admixture(%)	0	0	SF30	FA10
Addition Rates of Superplasticizer(%)	1.0	1.0	1.6	1.2

주) W/B : Water binder ratio

SF : Silica Fume, FA : Fly Ash

(이하 인장강도로 약기함), 동탄성계수 및 정탄성계수, 초음파속도 및 슈미트해머에 의한 반발도로 하였다.

본 실험에 사용된 강섬유는 Table 2와 같이 3종류를 사용하였고, 사용재료의 물성은 Table 3과 같다.

Table 2 Shapes and sizes of steel fiber

Type	Aspect ratio	Size	Shape of section
shearing steel fiber	36	0.5×0.5×20	square
	55	0.5×0.5×30	
	73	0.5×0.5×40	

Table 3 Properties of materials

Cement	specific gravity : 3.12 Type III
Fly Ash	specific gravity : 2.2 Blaine's Value : 4,050 (cm ² /g) lg. loss : 3.5 (%)
Silica Fume	specific gravity : 2.1 Blaine's Value : 200,000 (cm ² /g)
Steel Fiber	aspect ratios : 36, 55, 73 specific gravity : 7.85
Sand	specific gravity : 2.64 FM : 2.56 percentage of water absorption : 1.65(%) max. size : 5(mm)
Gravel	specific gravity : 2.59 FM 6.78 percentage of water absorption : 1.65(%) max. size : 20(mm)
Superplasticizer	specific gravity : 1.10 main component : sulfonated naphthalene formaldehyde condensate

2.2 콘크리트의 조합, 공시체의 제작 및 각종 시험방법

콘크리트의 조합설계는 일본건축학회의 「스틸화이버 기술의 현상」의 참고조합표를 기초로 하여 시험비법을 행한후 Table 4와 같이 결정하였다.¹¹ 콘크리트의 비법은 조골재→혼화재료→시멘트→세골재→물의 순으로 100(ℓ) 강제식 팬형 믹서에 투입한후 2분 동안 비법을 하여 제조한 베이스콘크리트에 목표슬럼프 18±2(cm)를 얻기 위한 소정량의 고성능감수제를 첨가하여 1분 동안 비벼 유동화콘크리트를 제조한 후 2분 동안 믹서를 회전시키면서 강섬유를 혼입하는 방법을 사용하였다.

공시체는 콘크리트의 비법직후 $\phi 10 \times 20$ cm 및 $\phi 15 \times 30$ cm의 강제형 실린더 몰드로 제작하여 소정의 재령까지 20±3℃의 수중에서 양생을 행하였고, 본실험에 사용된 각종 시험은 콘크리트의 각종 시험규준에 준하여 실시하였다.^(6, 8)

3. 실험결과와 분석 및 검토

3.1 굳지않은 콘크리트의 성상 및 검토

굳지않은 콘크리트의 시험결과를 나타낸 Table 5 및 혼화재료의 종류별 강섬유보강콘크리트의 강섬유 길이와 단위용적중량의 관계를 나타낸 Fig. 1에 의하면, 혼화재를 혼입하지 않은 강섬유 보강콘크리트의 경우 보통콘크리트와 비교하여 큰 차이를 보이지 않고 있으나, 실리카흙 및 플라이애시를 혼입한 강섬유보강콘크리트의 단위용적중량은 보통콘크리트에 비하여 상대적으로 감소하고

Table 4 Mix proportion of plain and steel fiber reinforced concrete

W/B (°/wt)	addition rates of Steel Fiber(%)	length of steel fiber (mm)	substituted proportion of admixture (°/wt)	addition rates of SP (%)	Unit Volume Content (ℓ /m ³)						
					water	cement	silica fume	fly ash	sand	gravel	steel fiber
30	0	-	0	1.0	195	206	0	0	206	383	0
			0	1.0						373	
	1	30	SF30	1.6	190	140	87	0	200	363	10
			FA10	1.2	193	183	0	31	204	369	

Table 5 Test results of fresh concrete

W/B (%)	addition rated Steel Fiber (%)	length of steel fiber (mm)	substituted proportion of admixture (% / wt)	air content (%)	temperature (°C)	unit weight (kg / ℓ)	slump(cm)		flow (cm)	compacting factor
							before*	after**		
30	0	0	0	1.9	16	2.40	18.5	—	43.5	0.99
			0	1.1	16	2.41	20.0	12.0	38.4	0.94
	1	20	SF30	1.4	15	2.38	20.0	15.5	39.0	0.98
			FA10	2.1	16	2.39	20.0	10.5	37.5	0.96
		30	0	1.1	15	2.41	20.5	10.0	37.6	0.95
			SF30	1.8	15	2.35	21.0	13.0	39.0	0.96
			FA10	2.2	16	2.37	19.5	8.0	37.0	0.94
			0	1.2	15	2.40	21.0	6.0	36.5	0.92
	40	SF30	1.5	14	2.34	21.0	10.0	38.5	0.95	
		FA10	1.7	14	2.37	21.0	4.0	34.8	0.89	

* slump of concrete before adding the steel fiber

** slump of concrete after adding the steel fiber

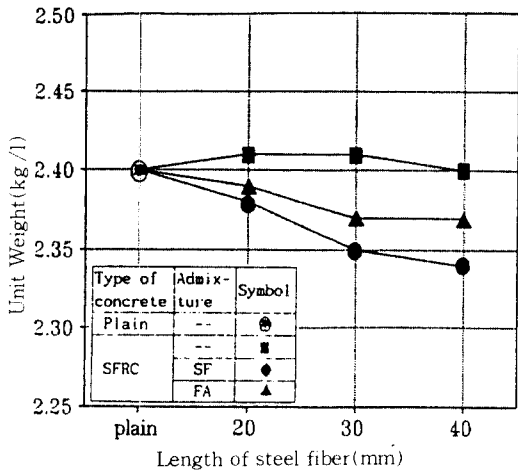


Fig. 1 Relationship between unit weight and length of steel fiber for kind of admixture

크리트가 실리카흙을 혼입한 경우보다 상대적으로 공기량의 연행이 큰 경향을 보여주고 있다.

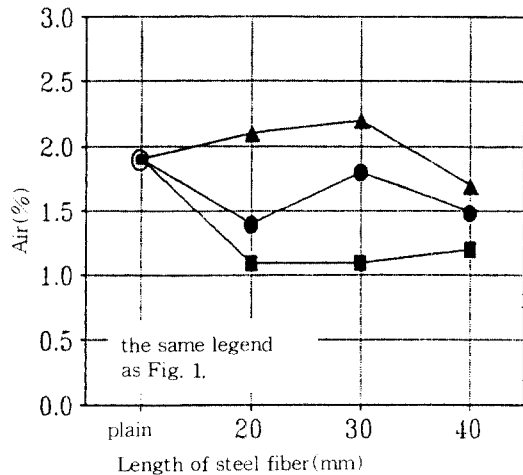


Fig. 2 Relationship between air content and length of steel fiber for kinds of admixtures

있고 그 감소율은 강섬유 길이가 길어질수록 크며, 또한 실리카흙을 혼입한 경우가 더욱 크게 나타나고 있다. 이러한 경향은 혼입된 실리카흙 및 플라이애시의 비중이 작은 것과 강섬유보강콘크리트의 유동성 저하에 의한 다짐불량에 그 원인이 있는 것으로 사료된다.

강섬유보강콘크리트의 강섬유 길이 및 혼화제 종류별 공기량의 변화를 도시한 Fig. 2에 의하면, 혼화제를 혼입하지 않은 강섬유보강콘크리트가 보통콘크리트보다 상대적으로 적은 공기량의 연행을 보이고, 플라이애시를 혼입한 강섬유보강콘

Fig. 3은 강섬유 길이 및 혼화제 종류별 강섬유의 첨가에 의한 슬럼프의 변화를 나타낸 것으로 강섬유 길이가 길어짐에 따라 슬럼프 저하가 큰 것으로 나타나고 있으며, 특히 플라이애시를 혼입한 경우에는 혼화제를 혼입하지 않은 경우와 실리카흙을 혼입한 경우에 비하여 그 저하의 정도가 크게 나타나고 있어 강섬유보강콘크리트에 플라이애시를 적용함에 있어서 플라이애시의 생성 및

제조조건, 분말도, 입자현상, 표면상태 등에 유의해야 할 것으로 사료된다. 그러나 실리카흙을 혼입한 강섬유보강콘크리트에서는 혼화재를 혼입하지 않은 강섬유보강콘크리트보다 슬럼프치가 높게 나타나고 있으며, 강섬유 길이 40(mm)에 있어서도 10(cm)의 상대적으로 양호한 슬럼프치를 보여주고 있다. 이와같은 현상은 시멘트 보다 비중이 낮은 실리카흙을 시멘트에 대한 중량비로 치환함으로써 결과적으로 결합재의 양이 증가한 것과 실리카흙의 높은 분말도에 의한 점성증가에 기인된 결과로 사료나 이에대하여는 미시적인 관점에서 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 Fig. 4, 5에 나타난 바와같이 강섬유 길이 및 혼화재 종류별 강섬유보강콘크리트의 플로우치 및 다짐계수치의 변화에서도 슬럼프와 유사한 경향을 보여주고 있다.

강섬유보강콘크리트의 경우 강섬유를 혼입하면 콘크리트의 콘시스턴시가 저하하는 것은 강섬유 혼입시 강섬유 표면에 시멘트 페이스트가 부착됨으로써 콘크리트의 유동성을 부여하는 시멘트 페이스트의 양이 감소하는 점과 강섬유 자체가 굳지 않은 콘크리트의 변형, 유동성을 구속하기 때문에 나타난 결과로서 강섬유의 길이가 길수록 콘시스턴시의 저하가 크게 나타났으며, 또한 강섬유의 혼입율이 증가하면 이 경향은 더욱 현저할 것으로 사료된다.^(5,9)

그러므로 강섬유보강 콘크리트에서 워커빌리티를 확보하기 위해서는 강섬유의 길이를 줄이는 것

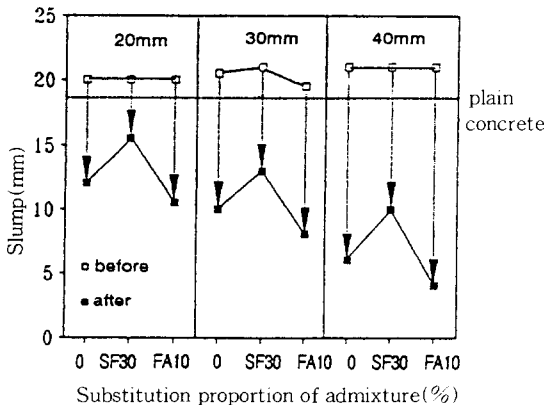


Fig. 3 Slump loss by addition of steel fiber

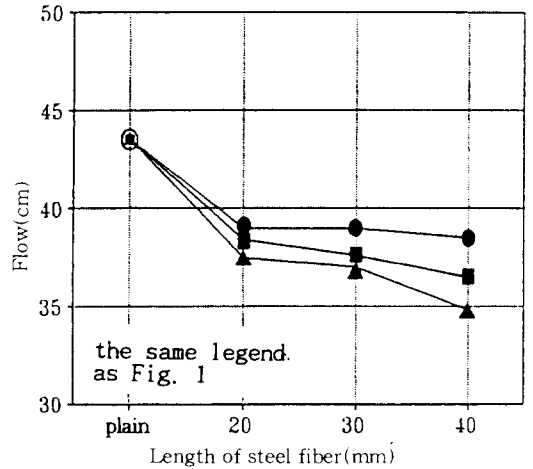


Fig. 4 Relationship between flow and length of steel fiber for kind of admixture

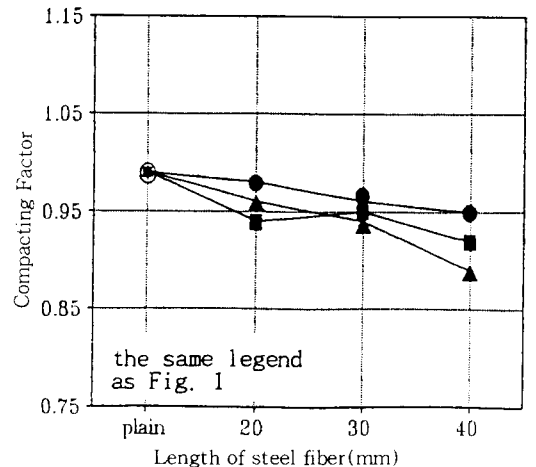


Fig. 5 Relationship between compacting factor and length of steel fiber for kind of admixture

이(세장비를 작게하는 것) 유리할 것으로 사료되며, 실리카흙의 사용은 워커빌리티의 개선에 유리하지만, 플라이애시의 사용은 콘시스턴시를 악화시켜 소요의 워커빌리티를 확보하기 위해서도 고성능감수제의 첨가량을 증가시켜야 할 것으로 사료된다.

3.2 굳은콘크리트의 공학적 특성 분석 및 검토

굳은콘크리트의 각종 공학적 특성의 시험결과를 나타낸 Table 6과 압축강도에 미치는 강섬유의

Table 6 Test results of hardened concrete

W/B(°/wt)		30										
Addition rates of Steel Fiber (%)		0		1								
Length of Steel Fiber (mm)		0		20		30			40			
Substitution Proportion of Admixture(°/wt)		0		SiF30	FA10	0	SiF30	FA10	0	SiF30	FA10	
Addition Rates of SP (%)		1.0		1.0	1.6	1.2	1.0	1.6	1.2	1.0	1.6	1.2
Unit Weight (kg / ℓ)	7d	2.43	2.50	2.43	2.48	2.48	2.42	2.44	2.49	2.44	2.45	
	28d	2.42	2.49	2.46	2.45	2.49	2.42	2.45	2.46	2.44	2.48	
	60d	2.43	2.51	2.45	2.46	2.48	2.43	2.46	2.51	2.42	2.46	
	90d	2.40	2.43	2.40	2.41	2.44	2.40	2.41	2.46	2.48	2.42	
	180d	2.43	2.46	2.39	2.42	2.49	2.43	2.44	2.47	2.39	2.44	
Compressive Strength (kg / cm ²)	7d	524	580	487	543	557	432	527	574	489	544	
	28d	596	692	654	639	668	625	621	667	600	588	
	60d	619	704	742	689	691	724	659	697	713	660	
	90d	658	702	766	714	708	759	723	750	767	698	
	180d	662	718	766	747	732	787	726	764	803	749	
Percentage of compressive strength* (%)	7d	88	84	74	85	83	69	85	86	82	93	
	28d	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	60d	104	102	113	108	103	116	106	104	119	112	
	90d	110	101	117	112	106	121	116	112	128	119	
	180d	111	104	117	117	110	126	117	115	134	127	
Splitting Tensile Strength (kg/cm ²)	7d	40	44	41	45	46	44	41	51	45	44	
	28d	43	45	45	46	48	48	45	52	48	52	
	60d	44	50	48	48	50	54	50	53	50	56	
	90d	44	52	52	51	52	56	50	53	53	56	
	180d	45	53	56	54	53	58	52	55	56	58	
Brittleness Factors	7d	13.1	13.1	11.9	12.1	12.1	9.8	12.9	11.3	10.9	12.4	
	28d	13.9	15.4	14.5	13.9	13.9	13.0	13.8	12.8	12.5	11.3	
	60d	14.1	14.1	15.5	14.4	13.8	13.4	13.2	13.2	14.3	11.8	
	90d	15.0	13.5	14.7	14.0	13.9	13.6	14.5	14.2	14.5	12.5	
	180d	14.7	13.5	13.7	13.8	13.8	13.6	14.0	14.0	14.3	12.9	
Dynamic Modulus of Elasticity (x10 ⁵ kg/cm ²)	7d	3.72	3.92	3.43	3.70	3.71	3.41	3.55	3.72	3.42	3.69	
	28d	3.95	4.22	3.91	4.04	4.07	3.78	3.93	3.97	3.71	3.97	
	60d	4.05	4.31	4.07	4.13	4.17	3.94	4.00	4.16	3.89	4.14	
	90d	4.15	4.24	3.99	4.17	4.16	3.98	4.14	4.22	3.94	4.11	
	180d	4.07	4.21	3.93	4.00	4.24	3.99	4.01	4.10	3.89	4.02	
Static Modulus of Elasticity (x10 ⁵ kg/cm ²)	7d	2.70	3.02	2.59	2.55	2.83	2.60	2.45	2.63	2.39	2.51	
	28d	2.79	3.15	2.82	2.94	2.86	2.82	2.80	2.78	2.61	2.62	
	60d	2.95	3.16	2.89	3.03	3.11	2.99	2.98	3.10	2.85	2.98	
	90d	3.27	3.38	3.10	3.27	3.33	3.38	3.10	3.27	3.11	3.33	
	180d	3.27	3.42	3.22	3.25	3.35	3.33	3.15	3.21	3.12	3.22	
Ultra Sonic Pulse Velocity (km/sec)	7d	4.41	4.35	4.12	4.19	4.24	4.16	4.22	4.31	4.19	4.26	
	28d	4.45	4.42	4.26	4.39	4.28	4.21	4.43	4.34	4.24	4.40	
	60d	4.56	4.59	4.51	4.57	4.57	4.39	4.58	4.48	4.44	4.67	
	90d	4.49	4.57	4.43	4.49	4.46	4.42	4.48	4.58	4.38	4.54	
	180d	4.57	4.58	4.47	4.46	4.50	4.47	4.52	4.55	4.48	4.59	
Rebound Numbers	7d	40	41	39	40	40	38	39	41	38	40	
	28d	42	45	44	44	43	42	42	43	40	40	
	60d	44	46	46	44	45	46	45	46	46	45	
	90d	44	47	47	45	45	48	47	49	48	47	
	180d	45	47	48	46	47	49	47	49	50	48	

* Percentage of each age compressive strength by 28 days compressive strength

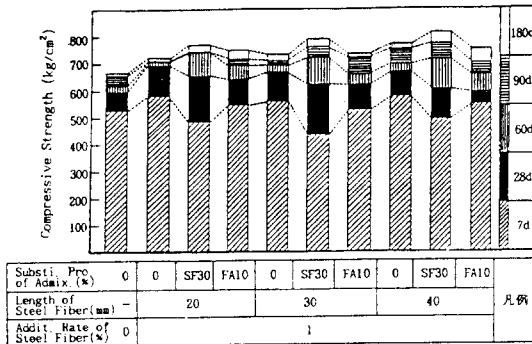


Fig. 6 Effect of length of steel fiber and kind of admixture on compressive strength

길이 및 혼화재료의 종류의 영향을 나타낸 Fig. 6에서 알 수 있는 바와같이 본 실험에서 재령 28일 압축강도는 588-692(kgf/cm²)의 수준을 보이고 있어 강섬유보강 콘크리트의 고강도화가 가능함을 알 수 있다. 또한 강섬유보강 콘크리트의 압축강도는 재령 28일 이후 보통콘크리트보다 높게 나타나 강섬유의 혼입은 콘크리트의 압축강도 증진에 유리한 것으로 나타났으며, 특히 실리카흄을 사용한 강섬유보강 콘크리트는 다른 조건의 조합보다 강도 발현이 높아 실리카흄의 사용은 강섬유보강 콘크리트의 시공성의 개선뿐만 아니라 압축강도의 증진에도 기여하는 것으로 나타났다. 한편, 강섬유 길이의 변화에 따른 압축강도의 뚜렷한 변화는 보이지 않고 있다.

재령 28일 강도에 대한 재령 7일의 강도비율은 실리카흄을 사용한 경우를 제외하면 82-93(%)의 수준으로 조강화하는 경향을 보이고 있으나 실리카흄의 경우에는 69-83(%)의 수준을 보이고 있어 재령 7일까지는 실리카흄의 사용에 의한 강도의 증진 효과는 없는 것으로 나타나고 있다. 그러나 실리카흄을 사용한 강섬유보강 콘크리트는 재령 28일 이후 계속적인 강도 증진을 보여 재령 180일에는 28일 강도보다 17-34(%)의 강도증진을 보이고 있다.

플라이애시를 사용한 경우는 재령 28일까지는 혼화재를 사용하지 않은 강섬유보강 콘크리트에 비하여 약간 낮은 수준의 강도를 보이고 있으나 28일 이후에는 강도 발현이 높아 거의 동등한 수준의 압축강도를 보이고 있어 플라이애시의 사용

은 강섬유보강 콘크리트의 경제성 측면에서 사용이 고려될 수 있을 것으로 사료된다.

인장강도의 발현성상을 살펴보면 압축강도의 경우와 유사하게 강섬유의 길이에 따른 영향은 나타나지 않고 있으며, 혼화재중 실리카흄을 사용한 경우가 다른 조합보다 인장강도의 발현이 높게 나타나고 있다. 압축강도와 인장강도의 관계는 Fig. 8에서 알 수 있는 바와같이 압축강도가 증가할수록 인장강도도 증가하나 인장강도의 증가율은 감소하고 있어 인장강도는 압축강도의 평방근식으로 표현할 수 있다. 보통콘크리트에 비하여 강섬유보강콘크리트는 동일한 압축강도에서 약 5(kgf/cm²) 정도의 인장강도를 더 발현하고 있고 ACI식 및 일본 재료학회식보다도 높은 인장강도를 보이고 있어 강섬유가 콘크리트의 인장강도를

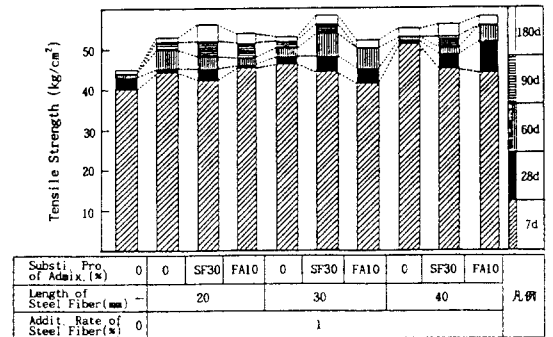


Fig. 7 Effect of length of steel fiber and kind of admixture on tensile strength

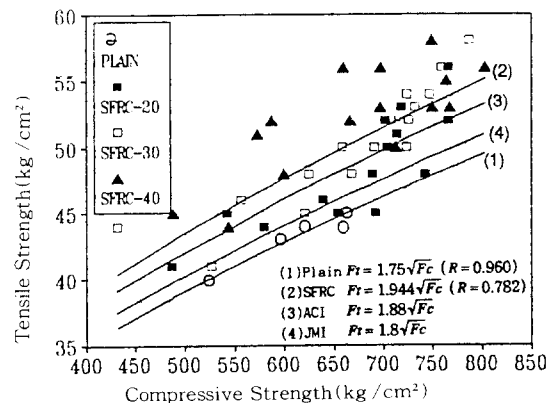


Fig. 8 Relationship between compressive strength and tensile strength

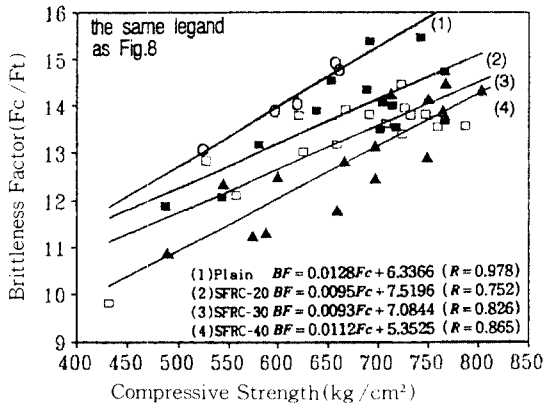


Fig. 9 Relationship between compressive strength and brittleness factors

증진시키는 것으로 나타났다⁽¹⁰⁾. 또한 취도계수를 살펴보면 Fig. 9에서 알 수 있는 바와 같이 플레인 콘크리트보다 강섬유보강콘크리트가 낮은 취도계수를 보이고 있으며, 강섬유를 혼입한 경우에는 강섬유의 길이가 길수록 취도계수가 감소하고 있다.

Fig. 10은 압축강도와 정탄성계수의 관계를 나타낸 것으로 본실험 결과는 국내의 기준, ACI의 기준 및 일본의 Tomosawa씨의 제안식에 비하여 동일 압축강도에서 낮은 탄성계수치를 보이고 있으며, 보통콘크리트의 경우에는 압축강도의 증가에 따라 그 차이가 줄어들어 압축강도가 700 (kgf/cm²) 이상으로 되면 ACI식⁽¹⁰⁾ 및

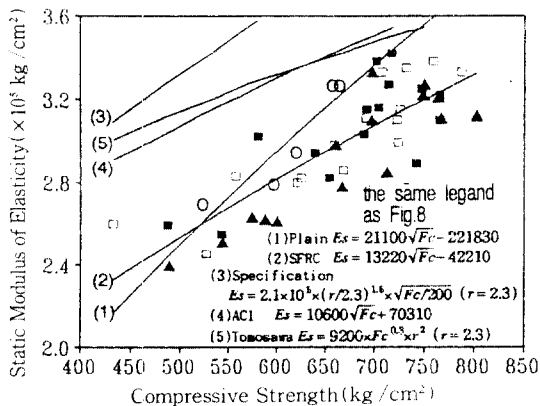


Fig. 10 Relationship between compressive strength and static modulus of elasticity

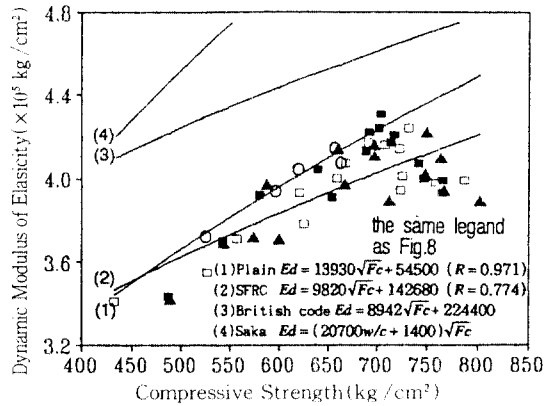


Fig. 11 Relationship between compressive strength and dynamic modulus of elasticity

Tomosawa씨의 제안식⁽¹¹⁾과 동일한 수준의 탄성계수치를 보이고 있으나 강섬유보강콘크리트의 경우에는 강도가 증가하여도 그 차이는 줄어들지 않고 있는데, 이는 본실험에서 표면에凹凸이 없는 강섬유를 사용함으로써 강섬유와 콘크리트의 부착력이 낮기 때문에 낮은 응력에서도 콘크리트와 강섬유의 경계면에 균열이 발생하였기 때문에 나타난 현상으로 사료된다. 또한 Fig. 11에 나타난 바와 같이 동탄성계수의 경우에도 각 기준식에 비하여 본실험식이 낮은 값을 보이고 있어 탄성계수에 대하여는 좀 더 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.⁽¹²⁻¹⁵⁾

Fig. 12는 초음파속도와 압축강도의 관계를 나타낸 것으로 동일한 압축강도에서 강섬유보강콘크리트가 플레인콘크리트보다 낮은 초음파속도를 보이고 있는데 이는 강섬유의 혼입에 의하여 콘크리트 내부의 불연속면을 증가시켰기 때문에 나타난 현상으로 판단되며, 초음파속도에 의한 콘크리트의 압축강도 추정시 강섬유의 혼입에 따른 보정값을 설정하여야 할 것으로 사료된다. 반발도와 압축강도의 관계를 살펴보면 Fig.13과 같이 강섬유 및 혼화재료의 첨가에 따른 특이한 현상은 보이지 않고 있으며, 반발도에 의한 압축강도 추정의 정도가 높게 나타나고 있다.

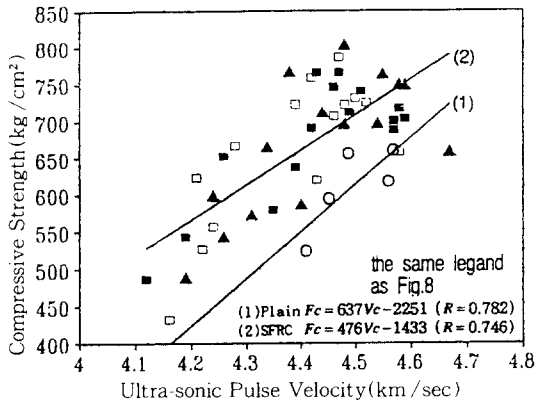


Fig. 12 Relationship between ultra-sonic pulse velocity and compressive strength

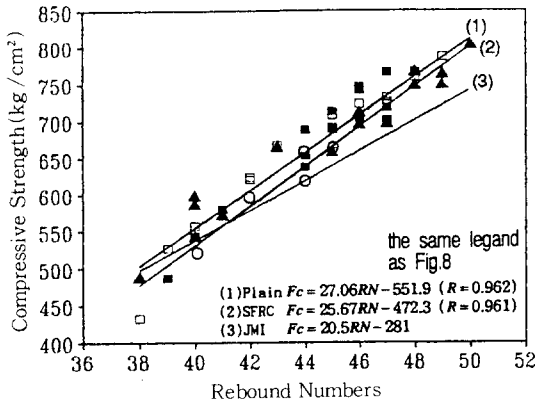


Fig. 13 Relationship between rebound numbers and compressive strength

4. 결 론

강섬유보강콘크리트의 개발 및 활용을 위한 연구의 일환으로 실리카흙 및 플라이애시를 사용한 강섬유보강콘크리트의 시공성 및 재 공학적 특성을 실험실증적으로 비교검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 강섬유보강콘크리트에서도 물결합재비를 낮추고 고성능감수제, 실리카흙 및 플라이애시를 사용함으로써 슬럼프 10(cm) 수준의 콘시스턴시를 확보하고 28일 압축강도 600(kgf/cm²) 이상을 발휘하는 고강도의 강섬유보강콘크리트를 제조하

는 것이 가능하였다.

(2) 강섬유의 길이가 증가할수록 강섬유보강콘크리트의 콘시스턴시는 급격히 저하하였으나 압축강도는 동등한 수준을 유지하고 인성은 약간 증가하고 있다.

(3) 강섬유보강 콘크리트에 실리카흙을 사용하는 것은 콘시스턴시를 개선하고 재령 28일 이후의 압축강도를 증진시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 플라이애시의 사용은 28일 압축강도의 감소는 없었으나 콘시스턴시를 약간 악화시키는 것으로 나타났다.

(4) 강섬유보강 콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 동일 압축강도에서 약 5(kgf/cm²)의 인장강도를 더 발휘하고 있어 강섬유의 사용은 콘크리트의 인성 증진에 기여하는 것으로 나타났고, 탄성계수치는 국내의 현행 시방 및 국외의 규준에 비하여 낮은 수준을 보이고 있으며, 비파괴시험 측정치중 반발도가 압축강도 추정시 정도가 높은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 포항종합제철 주식회사의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 日本建築學會, 스틸강섬유콘크리트의 技術의 現狀, 丸善, pp.7-64, 119-156, 1984.
2. 中川威雄: 콘크리트 補強用 鋼纖維의 種類와 製造, 콘크리트 工學, Vol.15, No.3, 1977.3.
3. 小林一輔 監修: 스틸강섬유, 鋼材俱樂部 鐵鋼製品 普及委員會, 1977.7.
4. ACI Committee, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, Journal of ACI, Vol.70, pp.725-729, 1973.
5. S.P.Shah: Fiber-reinforced Concretes, a review of capabilities, Concrete Construction, pp. 261-262, March 1981
6. 金武漢: 構造材料實驗方法論, 學文社, pp.194-270, 1990.

7. 박승범, 조영찬 ; 강섬유보강플라이애쉬 폴리에스터 수지복합체의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 콘크리트 학회지 , Vol.5, No.4, pp. 156-166, 1993.
8. 日本建築學會, 建築工事標準仕様書 同解説 (JASS 5 鐵筋コンクリート 工事), 丸善, pp. 145-536, 1986.
9. S.P Shah ; Fiber Reinforced Concrete Properties, ACI Journal, pp. 126-136, Feb, 1971.
10. ACI Committee 363 : State-of-the-Art Report on High Strength Concrete, Joun. of ACI, Vol. 81, No. 4, pp.383-389, July~Aug. 1984.
11. 友澤史紀, 野口貴文, 小野山貴造 ; 高強度・超高強度コンクリートの基礎的力學特性に関する調査, 日本建築學會大會學術講演梗概集 A (中國), pp. 497-498, 1990.10.
12. 金武漢ほか ; 高強度流動化コンクリートの施工性と工學的特性に関する實驗的研究, 콘크리트工學 年次論文報告集, 第12卷 第1號, pp. 269-274, 1990.
13. V.M. Malhotra, ; Fly ash, Silica Fume, Slag and the Mineral By-Products in Concrete, ACI Publication, SP-79, 1983.
14. 友澤史紀, 赤石博, 田中齊 ; スチールファイバーコンクリート用 ファイバーの補強性能, 日本建築學會大會學術梗概集(東北), pp. 37-38, 1982.10.

(집수일자 : 1993. 12. 20)