

鋼纖維補強 실리카·흙 콘크리트의 施工性 및 工學的特性에 관한 基礎的 研究

A Fundamental Study on the Workability and Engineering Properties of Steel-Fiber Reinforced Silica Fume Concrete

○ 權 寧 瑾* 金 武 漢**
Kwon, Young Jin Kim, Moo Han

ABSTRACT

Recently, the multistory building construction of reinforced concrete has increased year by year, trended to be high-rise in the view of effective land use planning, costing down of building construction and residential conditions. For this urgent need in construction industry, research and development of workability and engineering properties of high strength concrete has been closed up as one of the big world-wide problems to be solved reasonably.

It is aim of this study to provide the fundamental data the workability and engineering properties of steel-fiber reinforced high strength concrete containing silica-fume and fly-ash comparing with plain concrete for the practical use and research data accumulation in the side of development of new material in the building construction.

1. 序 論

최근 토지의 유효이용, 거주성, 건축코스트의 저감이라는 측면에서 RC조 고층건축물의 건설계획이 증가하여 RC조는 해를 거듭할수록 초고층화의 경향을 보이고 있어, 콘크리트의 강도에 있어서 더욱 고강도특성을 필요로 할뿐만 아니라 고성능감수제등만을 이용한 현장치기콘크리트 고강도화의 범위에도 한계가 보여지고 있으므로, 최근 화제가 되고있는 초미분말 실리카·흙을 이용한 고강도콘크리트의 제조 및 개발이 세계적인 큰 관심사로 등장하고 있으며 또한 이러한 고강도콘크리트의 靱性(toughness)을 증가시킬 필요가 짚증 되고 있다.¹⁾²⁾³⁾

본 연구는 실리카흙 및 플라이애시와 고성능감수제의 동시사용에 의해 콘크리트의 유동화성능을 증진시켜 시공성 및 작업성, 고강도특성을 비롯한 공학적 특성을 개선함과 동시에 스틸화이버(steel-fiber)의 혼입에 의한 고강도콘크리트의 脆性의 改善을 실증적으로 비교·분석하여 신소재개발의 측면에서 실리카·흙을 혼입한 高強度콘크리트의 施工性과 工學的特性을 실험실증적으로 구명하는데 그 연구 목적이 있다.

2. 實驗計劃 및 實驗方法

2.1 實驗概要 및 使用材料

실리카흙 및 플라이애시를 혼입한 강섬유보강 콘크리트(이하 SFRC로 略記)의 제공학적 특성을 플레인콘크리트(이하 PLC로 略記)와 비교·검토하고 구명하기 위한 본실험의 요인과 수준은 표1과 같고,

표2는 본실험에 사용된 시멘트, 실리카흙(CSF), 플라이애시(FA), 강섬유(SF), 골재 및 고성능감수제(SP제)등의 사용재료의 특성을 나타낸 것이다.

2.2 콘크리트의 調合·供試體의 製作 및 各種試驗方法

콘크리트의 조합설계는 대한건축학회 「건축공사 표준시방서」 및 일본건축학회 「콘크리트 조합설계·

표1. 실험의 요인과 수준

요 인		수 준
물 결합재비 (° / wt)		30
강섬유혼입율 (° / vl)		0 , 1
강섬유길이 (mm)		20, 30, 40
혼화재혼입율 (%)		0, FA10, SF30
SP제 첨가율 (%)		1.0, 1.2, 1.6
목표슬럼프 (cm)		10 , 18
측 정 항목	아직문지 않은 콘크리트의 시험	슬럼프, 플로우, 다짐계수, 공기량, 비빔온도, 단위용적중량
	경화콘크리트의 시험	단위용적중량, 압축강도, 인장강도, 동탄성계수, 정탄성계수, 반발도, 응력-변형곡선
재 령 (일)		7, 28, 60, 90, 180

표2. 사용재료의 성질

시멘트	조강포틀랜드시멘트, 비중3.12
실리카흙	비중 2.2, SiO ₂ 78.9%
플라이애시	비중 2.1, SiO ₂ 63.6%
강섬유	비중 7.85, 아스펙트비36,55,73의 전단화이버
세 골재	강모래, 비중2.64, 흡수율1.11, FM 2.56
조 골재	강자갈, 비중2.59, 흡수율1.65, FM 6.78
고성능감수제	주성분 Synthetic polymers, 비중1.10

* 충남대 건축공학과·박사과정 ** 정회원·충남대 건축공학과 교수·공박

조합관리·품질검사지침안·동해설」의 참고조합표를 기초로 하여 시험비빔을 행한후 표3과 같이 결정하였으며, 목표슬럼프를 18cm로 하여 실리카·흙 및 플라이애시 혼입에 따라 SP제를 첨가하여 소요의 콘시스턴시를 조절한 후 강섬유를 혼입하였다.

콘크리트의 비빔은 조골재-혼화재-시멘트-세골재-물의 순으로 100l 강제식 믹서에 투입후 3분 비빔(1분비빔-1분휴지-2분비빔)을 채용하였고 1분 휴지기간동안 SP제를 첨가하여 슬럼프 18cm의 콘크리트를 제작한 후, 강섬유를 혼입해 가면서 다시 2분간 재비빔을 행하였다. 비빔후의 콘크리트는 압축강도, 탄성계수등 제특성시험용 10φ×20cm 및 반발도시험용 15φ×30cm의 실린더물체로 제작하여 소정의 재령까지 수중표준양생을 행하였다. 또한 본실험에 사용된 각종 시험방법은 각 규준에 준하여 행하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3. 1 아직근지 않은 콘크리트의 시험결과 및 분석

3. 1. 1 SFRC의 강섬유길이별 단위용적중량 및 공기량의 변화검토

그림1은 SFRC의 강섬유길이별 공기량의 변화를 도시한것으로 1~2%의 범위에서 PLC와 유사한 경향을 보여주고 있어 혼화재 및 강섬유길이에 따른 유의할만한 영향은 없는것으로 보이며, 그림2는 각요인 및 수준별 단위

용적중량의 변화를 도시한것으로 혼화재를 혼입하지 않은 SFRC의 경우에는 PLC에 비교하여 큰 변화를 보이지 않고 있으나 혼화재를 혼입한 경우에는 PLC에 비교하여 저하하고 있고, 그저하율 또한 강섬유길이가 클수록 더욱크게 나타나고 있으며 특히 실리카흙의 경우가 상대적으로 크게 저하하고 있다. 이러한 경향은 혼입된 실리카흙 및 플라이애시의 낮은 비중에 기인하는 것으로 생각되며 또한 강섬유콘크리트의 유동성의 저하와도 관련이 있는 것으로 생각된다.

3. 1. 2 SFRC의 강섬유길이별 콘시스턴시의 변화검토

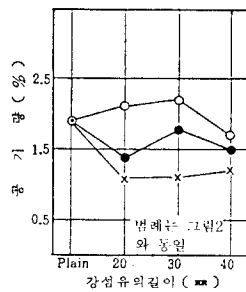


그림1. 혼화재종류 및 강섬유길이에 따른 SFRC의 공기량의 변화

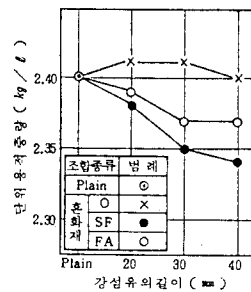


그림2. 혼화재종류 및 강섬유길이에 따른 SFRC의 단위용적중량의 변화

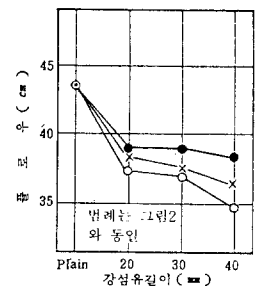


그림3. 혼화재종류 및 강섬유길이에 따른 SFRC의 플로우치의 변화

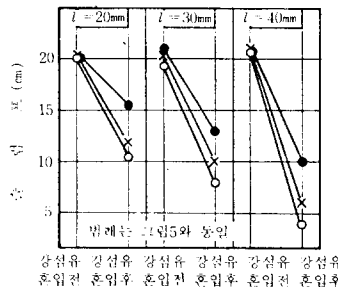


그림4. 혼화재종류 및 강섬유길이에 따른 SFRC의 슬럼프치의 변화

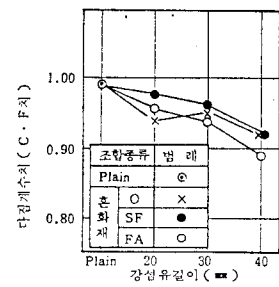


그림5. 혼화재종류 및 강섬유길이에 따른 SFRC의 다짐계수의 변화

표3. 콘크리트의 조합과 아직근지않은 콘크리트의 시험결과

불결합재 비혼입율 (%) (w/v)	강섬유 혼입율 (%) (v/v)	강섬유 길이 (mm)	혼화재 혼입율 (%)	SP제 첨가율 (%)	단위용적중량 (kg/m³)	절대용적 (l/m³)				공기량 (%)	비빔온도 (°C)	단위용적중량 (kg/l)	슬럼프(cm)		플로우 (cm)	다짐계수 (C·F)	
						시멘트	혼화재	보래	자갈				SF혼입전	SF혼입후			
30	0	0	0	1.0	195	206	0	206	383	0	1.9	16	2.40	18.5	—	43.5	0.99
						206	0	206	373	1.1	16	2.41	20.0	12.0	38.4	0.94	
		20	CSF30	1.6	190	140	87	200	363	1.4	15	238	20.0	15.5	39.0	0.98	
				FA10	1.2	193	183	31	204	369	2.1	16	239	20.0	10.5	37.5	0.96
			30	CSF30	1.0	195	206	0	206	373	1.1	15	2.41	20.5	10.0	37.6	0.95
					FA10	1.6	190	140	87	200	363	1.8	15	2.35	21.0	13.0	39.0
	40	0	1.0	195	206	0	206	373	1.2	16	2.37	19.5	8.0	37.0	0.94		
									1.2	15	2.40	21.0	6.0	36.5	0.92		
		CSF30	1.6	190	140	87	200	363	1.5	14	2.34	21.0	10.0	38.5	0.95		
									1.2	14	2.37	21.0	4.0	34.8	0.89		

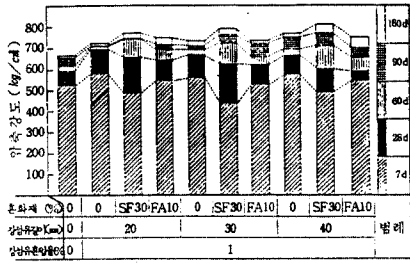


그림6. 강섬유길이 및 혼화재종류별 재령에 따른 압축강도의 변화

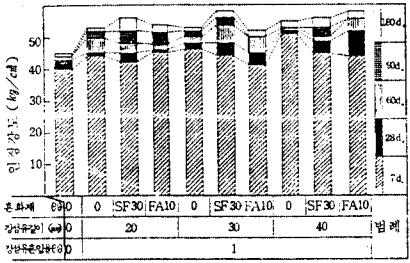


그림7. 강섬유길이 및 혼화재종류별 재령에 따른 인장강도의 변화

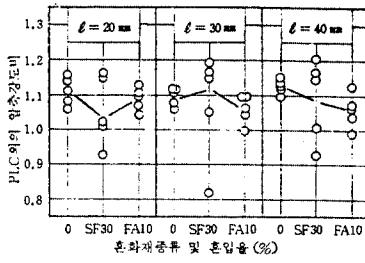


그림8. 혼화재종류 및 혼입율에 따른 강섬유길이별 PLC와의 압축강도비

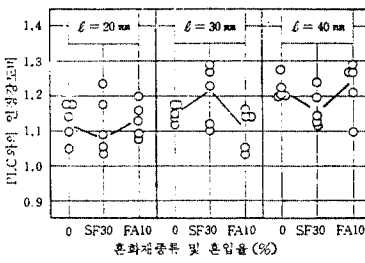


그림9. 혼화재종류 및 혼입율에 따른 강섬유길이별 PLC와의 인장강도비

표4. 경화콘크리트의 시험결과 종류

		30											
		0			1			2			3		
		0			20			30			40		
		0			FA10			SF30			FA10		
		0			1.6			1.2			1.0		
		1.0			1.6			1.2			1.0		
단위용적중량 (kg / l)	7d	2.43	2.50	2.32	2.42	2.48	2.42	2.44	2.49	2.44	2.45	2.48	
	28d	2.42	2.19	2.46	2.45	2.49	2.42	2.45	2.46	2.41	2.48	2.48	
	60d	2.43	2.51	2.45	2.46	2.48	2.43	2.46	2.51	2.42	2.46	2.46	
	90d	2.10	2.13	2.10	2.11	2.11	2.14	2.10	2.41	2.46	2.48	2.42	
	180d	2.13	2.16	2.39	2.42	2.49	2.43	2.44	2.47	2.39	2.44	2.44	
압축강도 (kg / cm²)	7d	521	580	487	513	557	432	527	574	482	544	544	
	28d	596	692	654	639	668	625	621	667	630	588	588	
	60d	619	704	742	689	691	724	659	697	713	660	660	
	90d	658	702	786	714	708	759	723	750	767	698	698	
	180d	662	718	766	747	732	787	726	764	803	749	749	
압축강도 발현비율 (28일기준, %)	7d	88	84	74	85	83	69	85	86	82	93	93	
	28d	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	60d	104	102	113	108	103	116	100	104	119	112	112	
	90d	110	101	117	112	106	121	116	112	128	119	119	
	180d	111	104	117	117	110	126	117	115	134	127	127	
인장강도 (kg / cm²)	7d	40	44	41	45	46	44	41	51	45	44	44	
	28d	43	45	45	46	48	48	45	52	48	52	52	
	60d	44	50	48	48	50	54	50	53	50	56	56	
	90d	44	52	52	51	52	56	50	53	53	56	56	
	180d	45	53	56	54	53	58	52	55	56	58	58	
인장강도와 압축강도비 (Fr / Fc)	7d	1 / 13	1 / 13	1 / 12	1 / 12	1 / 12	1 / 10	1 / 13	1 / 11	1 / 11	1 / 12	1 / 12	
	28d	1 / 14	1 / 15	1 / 15	1 / 14	1 / 14	1 / 13	1 / 14	1 / 13	1 / 13	1 / 13	1 / 11	
	60d	1 / 14	1 / 14	1 / 15	1 / 14	1 / 14	1 / 13	1 / 13	1 / 13	1 / 14	1 / 12	1 / 12	
	90d	1 / 16	1 / 14	1 / 15	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 11	1 / 12	
	180d	1 / 15	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 14	1 / 13	
동탄성계수 (×10⁻⁴ / kg / cm²)	7d	3.72	3.92	3.43	3.70	3.71	3.41	3.55	3.72	3.42	3.69	3.69	
	28d	3.95	4.22	3.91	4.04	4.07	3.78	3.93	3.97	3.71	3.97	3.97	
	60d	4.05	4.31	4.07	4.13	4.17	3.94	4.00	4.16	3.89	4.14	4.14	
	90d	4.15	4.24	3.99	4.17	4.16	3.96	4.14	4.22	3.94	4.11	4.11	
	180d	4.07	4.21	3.93	4.00	4.24	3.99	4.01	4.19	3.89	4.02	4.02	
정탄성계수 (×10⁻⁴ / cm)	7d	2.70	3.02	2.59	2.55	2.63	2.00	2.15	2.63	2.39	2.52	2.52	
	28d	2.79	3.15	2.82	2.94	2.86	2.87	2.80	2.76	2.81	2.82	2.82	
	60d	2.95	3.16	2.89	3.03	3.11	2.99	2.98	3.10	2.85	2.95	2.95	
	90d	3.27	3.38	3.10	3.27	3.33	3.38	3.10	3.27	3.11	3.33	3.33	
	180d	3.27	3.12	3.22	3.25	3.33	3.33	3.15	3.21	3.12	3.22	3.22	
소수확속도 (cm / sec)	7d	4.41	4.53	4.12	4.19	4.24	4.16	4.22	4.31	4.19	4.26	4.26	
	28d	4.45	4.42	4.26	4.39	4.28	4.37	4.31	4.31	4.24	4.40	4.40	
	60d	4.56	4.59	4.51	4.57	4.57	4.30	4.58	4.48	4.44	4.57	4.57	
	90d	4.49	4.57	4.43	4.49	4.46	4.42	4.48	4.58	4.48	4.54	4.54	
	180d	4.57	4.58	4.17	4.46	4.50	4.47	4.52	4.55	4.48	4.49	4.49	
반발도 (R.N.)	7d	40	41	39	40	40	38	39	41	38	40	40	
	28d	42	45	41	44	43	42	42	43	40	40	40	
	60d	44	46	46	44	45	46	45	46	46	46	46	
	90d	44	47	47	45	45	48	47	48	48	47	47	
	180d	45	47	48	46	47	49	47	49	50	48	48	

그림4는 혼화재종류 및 강섬유길이별 슬럼프치의 변화를 도시한 것으로 대체적으로 강섬유길이 커짐에 따라 슬럼프저하가 큰 것으로 나타나고 있으며 특히 플라이애시 콘크리트에 있어서는 그 저하의 정도가 더욱 크게 나타나고 있어 SFRC에의 플라이애시의 적용에 있어서 유의하여야 할 사항으로 생각된다. 그러나 실리카흙 콘크리트에 있어서는 혼화재를 첨가하지 않은 SFRC보다도 슬럼프치가 높게 나타나고 있으며 강섬유 길이 40mm에 있어서도 10cm의 양호한 슬럼프치를 보여 주고 있으며 그림3과 그림5의 SFRC의 강섬유길이별 플로우치 및 다짐계수의 변화에서도 이와 유사한 경향을 보여주고 있어 강섬유보강 실리카·흙 콘크리트는 SP제의 적절한 사용으로 시공성 및 작업성이 양호한 콘크리트제작의 가능성을 시사하고 있다.²³⁾

강섬유를 혼입하면 콘크리트의 유동성은 저하되며 그 저하의 정도는 강섬유가 길수록 커지는 것은 강섬유혼입시 강섬유표면에 시멘트 페이스트가 부착됨으로서 콘크리트에 유동성을 부여하는 시멘트페이스트의 양이 감소하는 점과 강섬유자체가 아직굳지않은 콘크리트의 변형, 유동을 구속하는 것에 의한 결과로 생각되며, 따라서 강섬유의 혼입율이 클수록, 강섬유의 길이 및 아스펙트가 클수록 콘시스턴시의 저하가 예상되어지나 보다 심도있는 연구가 필요하다고 사료된다.⁴⁾

3. 2 경화콘크리트의 시험결과 및 고찰

3. 2. 1 혼화재종류 및 강섬유길이별 재령에 따른 압축강도 및 인장강도 발현검토

경화콘크리트의 시험결과를 나타낸 표4와 강섬유길이 및 혼화재종류에 따른 재령별 압축강도의 변화를 나타낸 그림6 및 SFRC의 압축강도를 PLC와의 비강도로 도시한 그림8에 의하면 대체적으로 재령 7일의 강도 발현이 현격히 높게 나타나 재령 28일 강도의 70~93%를 발현하는 조강화경향을 보이거나 재령이 증진함에 따라

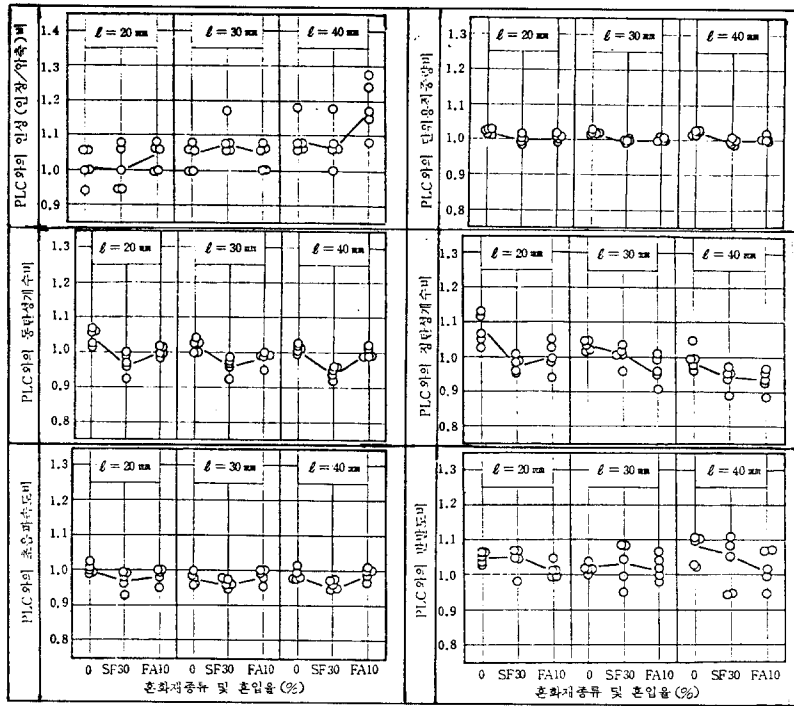


그림10. 혼화재종류 및 혼입율에 따른 강섬유길이별 PLC와 비교한 SFRC의 인성, 단위 용적중량, 동탄성계수, 정탄성계수, 초음파속도 및 반발도의 제특성의 변화

강도증진의 비율은 급격히 둔화하고 있다.

혼화재를 첨가하지 않은 SFRC는 PLC와 비교하여 전재령에 걸쳐서 약 10% 증가하고 있으나 강섬유길이에 대한 압축강도 증진의 비율은 거의 유사한 수준을 보이고 있다. 또한 실리카흙 및 플라이애시를 혼입한 SFRC에 있어서, 플라이애시의 경우에는 전반적으로 혼화재를 첨가하지 않은 SFRC와 유사한 강도 발현을 보이고 있으나 재령 90일 이후에 있어서의 강도발현율이 PLC보다 상대적으로 큰 특징을 보이고 있으며 이러한 경향은 실리카흙을 혼입한 SFRC에 있어서 더욱 현저하게 나타나고 있다. 즉 재령 7일의 초기강도의 경우, 강섬유길이에 관계없이 혼화재를 첨가하지 않은 SFRC의 압축강도보다 약 100 kg/cm²저하하는 경향이며 이러한 결과는 PLC보다도 낮은 경향이나 재령이 증가함에 따라 PLC 및 혼화재를 첨가하지 않은 SFRC보다 높은 강도증진을 보여 재령 180일의 경우, 강섬유길이 20, 30, 40mm 각각 766, 787, 803kg/cm²의 높은 압축강도를 보이고 있으며 180일 이후에도 더욱 강도증진이 계속될 것으로 예상됨에 따라 실리카흙 및 플라이애시를 SFRC에 적절히 혼입하면 혼화재의 포조란반응으로 인한 간극의 충진이 향상되고 매트릭스가 치밀하게 됨과 아울러 강섬유에 대한 부착성능이 향상되어 보강효과가 우수한 SFRC제작의 가능성을 시사하고 있다.²⁸⁾

강섬유길이 및 혼화재종류에 따른 재령별 인장강도의 변화를 도시한 그림7과 PLC와 비교한 그림9에 의하면 재령 7일 이후의 인장강도 증진이 급격히 둔화되고 이러한 경향은 PLC에서 더욱 현저함을 알 수 있으며, 또한 SFRC의 인장강도는 강섬유길이가 증대함에 따라 증가하고 있음을 나타내 주고 있다.

또한 본 실험에서 압축강도에 대한 인장강도의 비율은 표4에 나타난바와 같이 PLC는 1/13~1/16, SFRC를 1/12~1/14로 보통강도 콘크리트의 1/9~1/13보다 적은 값을 보이고 있으며 PLC와의 인성비(인장/압축비)를 도시한 그림10에 의하면 SFRC의 인성은 PLC보다 높으며 이러

한 경향은 강섬유길이가 증가함에 따라 더욱 크게 나타나고 있어 강섬유길이는 콘크리트의 인장강도 및 인성증진에 매우 유효한 인자로 생각되며 이러한 결과는 일반적으로 SFRC의 인장강도는 계면전단 응력도, 섬유혼입율, 아스펙트비 등에 큰 영향을 받으며 강섬유길이가 클수록 휨강도 및 인성에 대한 보강효과를 증진시킨다고 하는 연구보고와 일련의 관련성이 있다고 생각된다.⁴⁾⁶⁾⁶⁾

3. 2. 2 강섬유길이 및 혼화재종류별 단위용적중량, 동탄성계수, 정탄성계수, 초음파속도 및 반발도의 변화

그림10은 혼화재종류 및 혼입율에 따른 강섬유길이별 PLC와 비교한 SFRC의 단위용적중량, 동탄성계수, 정탄성계수, 초음파속도 및 반발도 등의 제특성치를 도시한 것으로 단위용적중량의 경우, 대체적으로 혼화재를 혼입하지 않은 SFRC에 있어서는 PLC에 비하여 약간 증가하는 경향을 보였으나 혼화재를 혼입한 SFRC는 PLC와 동일한 수준을 보이고 있으며 섬유길이에 따른 중량의 변화는 보이지 않고 있다. 또한 동탄성계수의 경우, 혼화재를 혼입하지 않은 SFRC에서는 PLC에 비하여 약간 증가하는 경향이 있으나 혼화재혼입 SFRC의 경우에는 강섬유길이에 관계없이 동일수준이거나 약간 저하하는

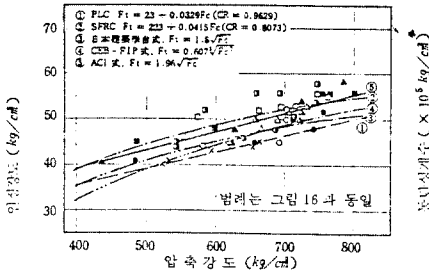


그림11. 압축강도와 인장강도의 관계

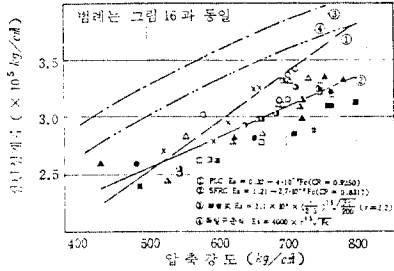


그림13. 압축강도와 정탄성계수의 관계

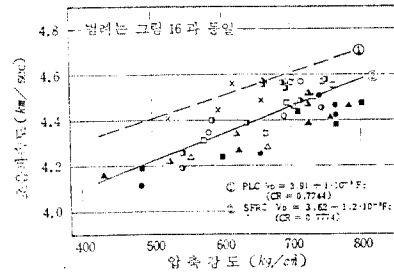


그림15. 압축강도와 초음파속도의 관계

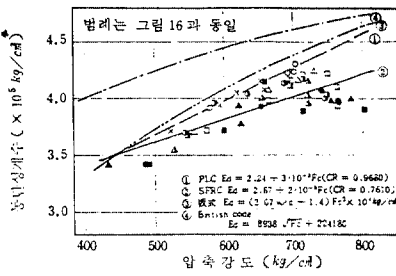


그림12. 압축강도와 동탄성계수의 관계

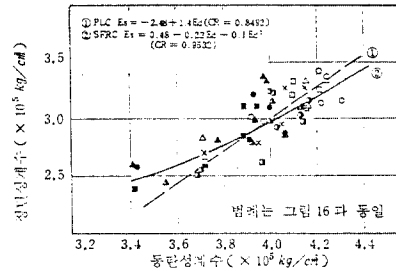


그림14. 동탄성계수와 정탄성계수의 관계

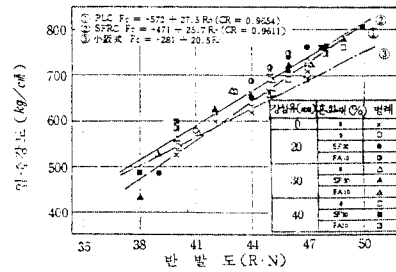


그림16. 반발도와 압축강도의 관계

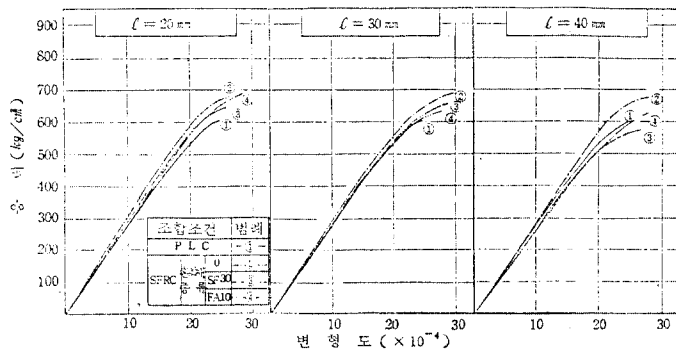


그림17. SFRC의 응력-변형도 곡선(재령 28일)

경향을 보이고 있으며, 또한 정탄성계수에 있어서도 동일한 경향으로 혼화제 특히 실리카 흙을 혼입한 SFRC의 정탄성계수는 강섬유길이가 커짐에 따라 대체적으로 저하하는 경향을 보여 주고 있다. 이러한 경향은 통상의 SFRC의 특성과는 상이한 현상으로 실리카흙을 혼입한 콘크리트는 시멘트케이스트의 양이 많기 때문에 동일 압축강도에 있어서 정탄성계수는 무혼입의 경우보다 저하한다는 연구보

고와 밀접한 관련이 있을 것으로 사료되며 이러한 결과는 기보에서도 논한바 있다.

또한 그림10은 SFRC의 초음파속도를 PLC와 비교하여 도시한 것으로 강섬유길이 및 혼화제혼입에 따른 특정한 경향은 보이지 않고, 대체적으로 PLC에 비해 저하하는 경향을 보여 강섬유혼입에 따른 강도증진을 고려하면 초음파속도법에 의한 SFRC의 강도추정시 추정정도가 상당히 저하될 것으로 예측되며, 이러한 예측의 저하는 강섬유를 혼입함에 따라 시공성 및 작업성의 저하로 미소공극 및 미세균열의 증대와 아울러 랜덤하게 配向된 강섬유의 영향에 의한 결과로 생각되며 강섬유의 혼입을 및 배향과 혼화제의 종류 및 혼입율등의 영향요인에 관한 명쾌한 구명이 요구되고 있음을 시사해 주고 있다. 반면 반발도의 경우에는 대체적으로 PLC보다 높게 나타나고 있고 증가율 또한 압축강도 증진율과 유사한 수준을 보여 주고 있어, 초음파속도법과는 달리 SFRC의 압축강도 추정시 반발도법이 높은 신뢰도를 보일 것으로 예상된다.

3. 2. 3 실리카·흙 및 플라이애시를 혼입한 SFRC의 공학적특성 및 검토

그림11은 압축강도와 인장강도의 관계를 도시한 것으로 동일 압축강도에서 SFRC가 PLC보다 높은 인장강도를 보이

고 있고 이러한 경향은 강섬유길이가 커짐에 따라 증가하는 경향이며 특히 플라이애시를 혼입한 SFRC에서 더욱 높은 인장강도를 발현하고 있다. 또한 인장강도와 압축강도의 관계는 1차 직선식으로 나타나고 있으며, PLC의 경우는 일본건축학회 및 CEB-FIP식에 근접하고 있으나 SFRC의 경우에는 ACI식과 유사한 수준을 보여 주고 있다.

그림12은 동탄성계수와 압축강도, 그림13은 정탄성계수와 압축강도, 그림14는 정탄성계수와 동탄성

계수의 관계를 각각 도시한 것으로 정탄성계수와 동탄성계수의 상호간에는 밀접한 관련을 보이고 있으며 동탄성계수와 압축강도의 경우, PLC에서는 坂의 식과 유사하나 전반적으로 British Code 보다 현격히 저하하고 있으며 특히 혼화재를 혼입한 SFRC의 저하율이 PLC보다 더욱 크게 나타나고 있다. 이러한 결과는 정탄성계수에서도 동일한 경향으로 일본과 대한건축학회식 및 독일규준식과는 큰 차이를 보여주고 있어 SFRC의 고강도특성에 따른 현행규준식의 적용성검토와 아울러 혼화재를 혼입한 SFRC의 탄성계수특성에 관한 심도있는 연구의 필요성을 제시하여 주고 있다.³⁾

그림15는 초음파속도와 압축강도의 관계를 도시한것으로 전반적으로 SFRC가 PLC보다 낮은 음속을 보이고 특히 혼화재를 혼입한 SFRC의 음속의 저하가 더욱 현저하여 초음파속도법에 의한 SFRC의 강도추정정도를 높이기 위해서는 진술한 바와 같이 강섬유 및 혼화재혼입율 등에 관한 요인분석을 통한 다중상관을 이용한 강도추정법이 보다 효율적일 것으로 사료되며 그림16의 반발도법의 경우에는 높은 강도추정정도를 보이고 있으며 본실험식은 小阪의 실험식과 유사한 1차식으로 나타나고 있다.

그림17은 재령28일에 있어서의 SFRC의 응력-변형곡선을 강섬유길이별로 PLC와 비교하여 나타낸것으로 500kg/cm²이상의 고강도콘크리트는 초기경사가 가파르고 직선에 가까운 기동을 보이고 있으나 강섬유의 혼입에 의해 인성이 증진되고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

실리카흙 및 플라이애시를 혼입한 SFRC의 施工性 및 工學的特性에 관한 연구의 일환으로 각 실험요인 및 수준을 설정하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실리카·흙 및 플라이애시를 혼입한 SFRC의 아직 굳지 않은 상태에서의 단위용적중량은 PLC에 비하여 저하하고 있으며 이러한 경향은 강섬유길이가 길수록 현저하나, 공기량은 혼화재종류 및 강섬유길이에 따른 특정한 경향은 보이지 않고 있다.
- 2) 실리카·흙 및 플라이애시 공히 콘크리트에 혼입됨으로서 PLC와 동일 수준의 콘시스템시를 얻기위한 SP제의 양은 증가하고 있으며, 강섬유보강 실리카흙 콘크리트의 경우 SP제의 적절한 사용으로 시공성이 양호한 콘크리트의 제작이 가능하였다.
- 3) SFRC는 PLC에 비하여 약 10%높은 압축강도를 발현하고 강섬유길이에 대한 차이는 크지않은

것으로 나타나고 있으며, 실리카흙을 혼입한 SFRC는 초기재령에서는 혼화재를 혼입하지 않은 SFRC에 비해 강도저하율이 현저한 반면 재령이 증가함에 따라 높은 강도를 발현하여 재령 180일에서 압축강도 766~803kg/cm²의 고강도콘크리트의 제작이 가능하였다.

4) SFRC의 인장강도는 강섬유길이가 커짐에 따라 증가하여 강섬유 40mm의 경우 PLC에 비하여 약 15%의 인장강도와 약 20%의 인성(인장강도/압축강도)의 증진을 보이고 있어 강섬유길이는 콘크리트의 인장 및 인성증진에 유효한 인자로 사료되며, 또한 SFRC의 인장강도와 압축강도는 1차식으로 나타낼 수 있으며 ACI식과 유사한 수준을 보여주고 있다.

5) 혼화재를 혼입한 SFRC의 탄성계수는 강섬유길이가 커짐에 따라 PLC보다 저하하는 경향이며, 특히 정탄성계수의 경우가 더욱 현저하여 SFRC의 고강도특성에 따른 현행규준식의 적용성검토와 아울러 혼화재를 혼입한 SFRC의 탄성계수특성에 관한 심도있는 연구의 필요성을 시사하고 있다.

6) SFRC의 압축강도추정시 초음파속도법보다는 반발도법이 더욱 높은 추정정도를 보일것으로 예상되며 SFRC의 응력-변형곡선은 강섬유의 혼입에 의해 PLC에 비하여 인성의 증진이 상당한 것으로 나타나고 있다.

參 考 文 獻

1. ACI Committee 544, Fiber Reinforced Concrete, Part III, pp.233~397
2. 河野 清ほか, 鋼纖維補強コンクリートに對する産業副産物の利用, 第6回コンクリート工學年次學術講演會論文集, 1984, pp.109~112
3. 岡本公夫ほか, シリカフューム, アラム系礦物, フライアツシュを用いた超高强度 コンクリート, セメント・コンクリート, No.480, 1987, pp.59~71
4. 日本建築學會, スチールファイバ-コンクリート技術の現状, 1988, pp.7~54
5. D. J. Hannant., Fiber Cement and Fiber Concrete, John wiley and sons, 1978, pp.73~107
6. S. P. Shah, Fiber Reinforced Concrete Properties, ACI Journal, Feb. 1971, pp.126~135
7. 長瀧重義, シリカフュームとコンクリート, 콘크리트工學, vol.33, No.5, 1985, pp.5~15
8. 權寧雄·金武漢, 실리카흙을 混入한 高强度콘크리트의 施工性 및 工學的特性에 관한 基礎的研究, 한국콘크리트학회학술발표논문집, 제2권제1호, pp.29~34