

실리카·흙을 混入한 高强度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 Silica - Fume High Strength Concrete.

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

ABSTRACT

Energy crises and availability have funded extensive research and numerous conferences. So, the idea of adding slags and pozzolans such as flyash to portland cement or portland cement concrete is widely practiced because it helps to reduce cost and conserve energy, resources and the environment. Recently, Silicafume which is the industrial by-product of electric arc furnaces is also widely studied for achieving high strength concrete.

It is the aim of this study to provide the fundamental data on the workability and engineering proper of high strength concrete containing flyash and silica fume comparing with plain concrete for the practical use and research data accumulation of a new technique for achieving high strength concrete.

1. 序 論

최근 토지의 유효이용, 거주성, 건축코스트의 저감이라는 측면에서 RC조 고층건축물의 건설계획이 증가하여 RC조는 해를 거듭할수록 초고층화의 경향을 보이고 있어 콘크리트강도에 있어서 더욱 고강도 특성을 필요로 할뿐만 아니라 高性能減水劑等만을 이용한 현장치기콘크리트 고강도화의 범위에도 한계가 보여지고 있으므로 최근 화제가 되고 있는 초미분말 실리카·흙을 이용한 고강도콘크리트의 제조 및 개발이 세계적인 큰 관심사로 등장하여, 1982년의 「실리카·흙에 관한 세미나」와 1983년의 「산업부산물의 콘크리트의 이용에 관한 국제회의」를 통하여 콘크리트 성능향상의 현저한 효과가 인정되었다.¹⁾

이러한 실리카·흙을 콘크리트에 혼입하는 경우 콘크리트의 材料分離에 대한 抵抗性, 水密性, 耐久性을 증가시키고 특히 高强度콘크리트 제작시 우수한 성능의 혼화재료로서 주목되고 있다.¹⁾²⁾³⁾

본 연구는 자원절약 및 고강도·고품질콘크리트의 개발이라는 측면에서 실리카·흙 및 플라이애시를 혼입한 고강도콘크리트의 개발과 그 적용가능성 및 공학적특성을 실증적으로 구명하는데 그 연구목적이 있다.

2. 實驗計劃 및 實驗方法

2.1 實驗概要 및 使用材料

실리카·흙 및 플라이애시를 혼입한 고강도 콘크리트의 시공성 및 강도특성을 비롯한 제공학적 특성을 비교·검토하고 구명하기위한 본 실험요인 및 수준은 표 1과 같고, 사용된 실리카·흙 및 플라이애시의 성분분석결과는 표 2와 같다. 또한 실리카·흙 및 플라이

애시 혼입시 유동성증진을 위해 표 3과 같은 고성능감수제 (SP제로 약함)를 사용하였으며, 골재 및 시멘트의 물리적 성질은 표 4 및 표 5와 같다.

2.2 콘크리트의 調合·供試體의 製作 및 各種 試驗方法

콘크리트의 조합설계는 대한건축학회 「건축공사표준시방서」 및 일본건축학회 「콘크리트 조합설계·조

표 1. 실험의 요인과 수준

요 인		수 준	
불결합재비 (%wt)		30	
혼화재 종류		Silica Fume	Fly Ash
		SF/C+SF	FA/C+FA
혼화재 혼입율 (%wt)		0, 10, 20, 30	
SP제 첨가율 (%)		1.0, 1.2, 1.4, 1.6	
목표 슬럼프 (cm)		18	
측 정	아직 굳지 않은 콘크리트의 시험	슬럼프, 플로우, 다짐계수, 공기량, 비빔온도, 단위용적중량	
	재 령 (일)	7, 28, 60, 90, 180	
항 목	경화콘크리트의 시험	단위용적중량, 압축강도, 인장강도, 동탄성계수, 정탄성계수, 반발도, 응력-변형곡선	

표 2. 실리카·흙 및 플라이애시의 성분분석결과

혼화재 (산업부산물)의 종류	주 성 분 (%)						비중
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Mn	
플라이애시 (FA)	63.55	1.20	28.5	4.20	0.76	—	2.1
실리카 흙 (SF)	78.90	0.45	1.17	10.36	1	1.4	2.2

표 3. 고성능감수제의 물리적 성질

SP제 종류	유형	색상	주 성분	특성	P.H	비중
Rheobuild-716	액상	흑색	Synthetic Polymers	없음	—	1.10

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

표 4. 골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	조립율 (F.M)	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/ℓ)	비고
강모래	5	2.56	2.64	1.11	60	1.573	심천산
강자갈	20	6.78	2.59	1.65	64	1.643	심천산

표 5. 시멘트의 물리적 성질

종류	비중	분말도 (cm/g)		응결 (h-m)		안정성	압축강도 (kg/cm ²)		
		조결	중결	조결	중결		3일	7일	28일
표준 시멘트	3.12	4,700	3-30	6-10	양호	310	380	450	

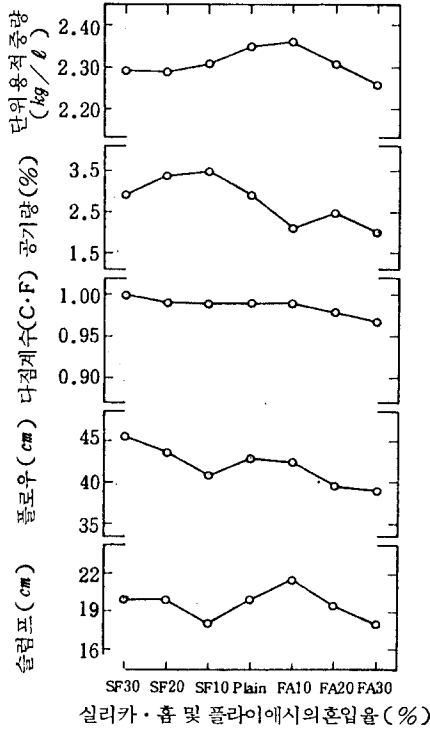


그림 1. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율에 따른 아직 굳지 않은 콘크리트의 제물성 변화

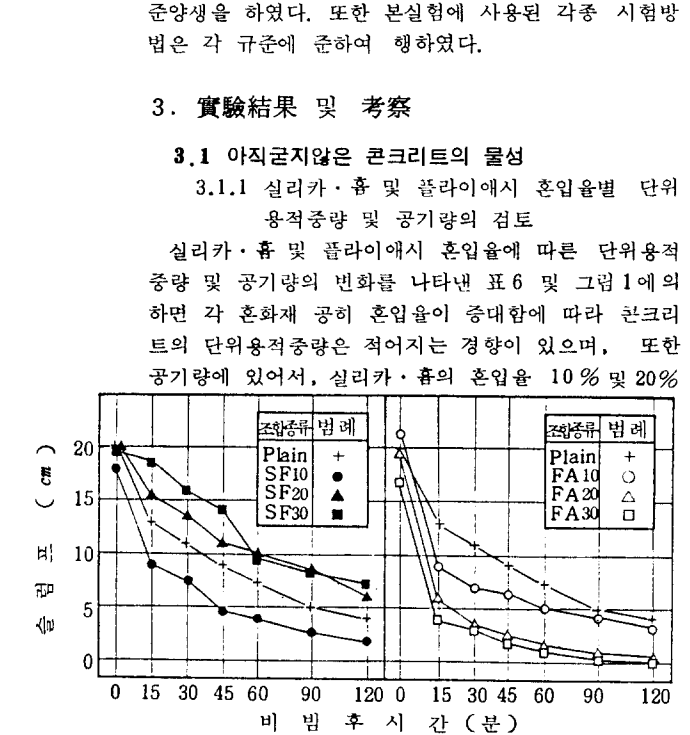


그림 2. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 슬럼프치의 경시변화

합관리·품질검사지침안·동해설」의 참고조합표를 기초로 하여 시험비빔을 행한후 표 6 과 같이 결정하였으며, 목표슬럼프를 18 cm로 하여 실리카·흙 및 플라이애시 혼입에 따라 SP제를 첨가하여 소요의 콘시스템을 조절하였다.

콘크리트의 비빔은 조골재-혼화재(산업부산물)-시멘트-세골재-물의 순으로 100ℓ 강제식 믹서에 투입후, 3분비빔(1분비빔-1분휴지-2분비빔)을 채용하였고 비빔후의 콘크리트는 압축강도, 탄성계수 등 제특성시험용 10φ×20cm 및 반발도시험용 15φ×30cm의 실린더물드로 제작하여 소정의 재령까지 수중표준양생을 하였다. 또한 본실험에 사용된 각종 시험방법은 각 규준에 준하여 행하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 아직 굳지 않은 콘크리트의 물성

3.1.1 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 단위용적중량 및 공기량의 검토

실리카·흙 및 플라이애시 혼입율에 따른 단위용적중량 및 공기량의 변화를 나타낸 표 6 및 그림 1에 의하면 각 혼화재 공히 혼입율이 증대함에 따라 콘크리트의 단위용적중량은 적어지는 경향이 있으며, 또한 공기량에 있어서, 실리카·흙의 혼입율 10% 및 20%

표 6. 콘크리트의 조합과 아직 굳지 않은 콘크리트의 물성

조합 종류	물결합재 비 (%)	Si C+S FA C+FA (%)	SP제 첨가율 (%)	목 표 슬럼프 (cm)	세 골 재 율 (%vol)	단 위 수 량 (kg/m ³)	절대용적 (ℓ/m ³)				단위용적중량 (kg/ℓ)	공기량 (%)	비빔 온도 (°C)	다짐 계수 (C.F)	플로우치 (cm)	슬럼프의 경시변화 (cm)							
							시멘트	혼화재	모래	자갈						0	15	30	45	60	90	120	
Plain		0	0			195	206	0	206	383	2.35	2.9	28	0.99	43	20	13	11	9	7.3	5	4	
SF 10		10	1.2			193	183	30	204	380	2.31	3.5	28	0.99	41	18	9	6.5	4.5	4.0	2.8	2.0	
SF 20		20	1.4			192	162	58	202	376	2.29	3.4	28	0.99	43.5	20	15.5	13.5	11	10	8.5	6.0	
SF 30	30	30	1.6	18	35	190	140	87	200	373	2.29	2.9	29	1.00	45.5	20	18.5	16	14	9.6	8.2	7.0	
FA 10		10	1.2			193	183	31	204	379	2.36	2.1	29	0.99	42.5	21.5	7.5	20	6.4	6.3	4.0	3.0	
FA 20		20	1.4			191	161	61	202	375	2.31	2.5	29	0.90	39.5	19.5	5.5	3.3	2.5	1.8	1.0	0.7	
FA 30		30	1.6			189	140	90	200	371	2.26	2.0	29	0.97	39.0	17.0	3.2	3.0	2.0	1.5	0.5	0.5	

의 경우에는 플레인콘크리트보다 높은 공기연행을 보여주고 있으나 혼입율이 증가할수록 혼화재의 종류에 관계없이 공기량이 저하하고 있어 소요의공기량을 확보하기 위해서는 AE제의 양도 증가되어야 한다는 것을 나타내 주고 있다.⁽⁴⁾⁵⁾

3.1.2. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 초기슬럼프, 플로우, 다짐계수의 검토

실리카·흙 및 플라이애시 혼입율에 따른 초기슬럼프, 플로우, 다짐계수를 나타낸 표 6 및 그림 1에 의하면 혼화재의 종류에 관계없이 소요의 콘시스턴스를 얻기 위해서는 혼화재의 혼입율이 커질수록 더욱 많은 SP제가 요구되고 있음을 알수있다.

이러한 경향은 실리카·흙은 초미립자 이므로 소요의 슬럼프를 얻기 위해서는 SP제를 사용하면 단위수량의 증대를 더폭적으로 저감할 수 있다는 연구 보고를⁽⁴⁾⁵⁾⁷⁾ 재확인하여 주고 있으나 플라이애시의 경우, 소요의 콘시스턴스를 얻는데 필요한 단위수량은 적게 되고 혼입율이 증가함에 따라 직선적으로 감소한다는 기존의 플라이애시특성⁷⁾과는 상이한 현상으로 유연탄플라이애시 콘크리트에 있어서는 무연탄플라이애시 콘크리트와는 달리 소요의 콘시스턴스를 유지하는데 필요한 단위수량은 증가되고 이러한 경향은 분말도의 차이, 완전한 구형입자의 다소 및 입자표면상태등에 따라 큰차이가 있다는 보고⁶⁾와 일련의 상관성이 있다고 생각된다.

3.1.3. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 슬럼프치의 경시 변화 검토

표 6 및 그림 2는 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 슬럼프치의 경시변화를 나타내 주는것으로 플라이애시의 경우, 슬럼프프로스가 플레인콘크리트에 비해 크게 나타나고 있고, 이러한 경향은 플라이애시 혼입율이 크게 될수록 현저하게 나타나고 있으며 특히 높은 점성으로 인해 초기슬럼프프로스가 급격하게 저하되고 있어 시공성

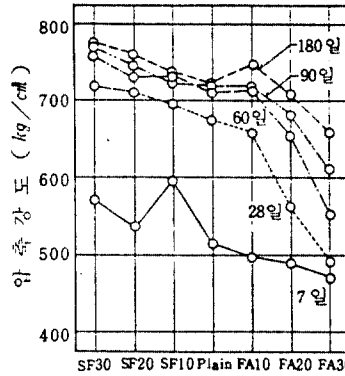


그림 3. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 압축강도의 변화

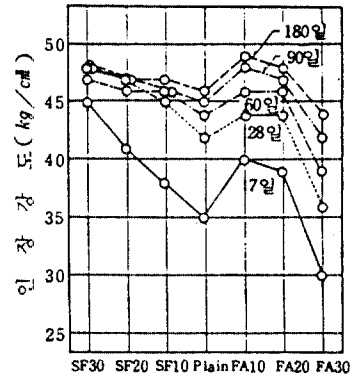


그림 4. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 인장강도의 변화

표 7. 경화콘크리트의 시험결과

물결합재비(%wt)	30						
	혼화재종류	Plain	Silica fume			Fly ash	
혼화재첨가율(%wt)	0	10	20	30	10	20	30
SP제첨가율(%)	1.0	1.2	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6
단위용적중량 (kg/ℓ)	7d.	2.37	2.35	2.31	2.32	2.35	2.31
	28d.	2.38	2.35	2.34	2.33	2.37	2.32
	60d.	2.44	2.39	2.37	2.38	2.43	2.37
	90d.	2.42	2.40	2.40	2.37	2.44	2.39
	180d.	2.44	2.39	2.38	2.36	2.43	2.40
압축강도 (kg/cm²)	7d.	527	597	538	573	497	471
	28d.	678	692	712	720	659	493
	60d.	711	733	732	760	714	555
	90d.	720	722	746	772	720	613
	180d.	724	736	762	776	749	659
압축강도발현비율 (28일기준, %)	7d.	78	86	76	80	75	96
	28d.	100	100	100	100	100	100
	60d.	105	106	103	106	108	113
	90d.	106	104	105	107	109	122
	180d.	107	106	107	108	114	134
인장강도 (kg/cm²)	7d.	35	38	41	45	40	30
	28d.	42	45	47	48	44	36
	60d.	44	46	46	47	46	39
	90d.	45	46	47	48	48	42
	180d.	46	47	47	48	49	44
압축강도와 인장강도의비 (F _c /F _t)	7d.	1/15	1/16	1/13	1/13	1/12	1/16
	28d.	1/16	1/15	1/15	1/15	1/15	1/13
	60d.	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/14
	90d.	1/16	1/16	1/16	1/16	1/15	1/15
	180d.	1/16	1/16	1/16	1/16	1/15	1/15
동탄성계수 (×10 ⁶ kg/cm²)	7d.	3.64	3.43	3.41	3.44	3.49	3.13
	28d.	3.77	3.72	3.60	3.53	3.73	3.49
	60d.	3.90	3.83	3.69	3.65	3.97	3.71
	90d.	4.00	3.80	3.69	3.60	3.94	3.80
	180d.	4.03	3.81	3.67	3.66	4.06	3.84
정탄성계수 (×10 ⁶ kg/cm²)	7d.	2.45	2.60	2.48	2.49	2.29	2.29
	28d.	2.90	2.71	2.60	2.58	2.69	2.39
	60d.	2.95	2.74	2.65	2.70	2.95	2.54
	90d.	3.05	2.84	2.80	2.72	3.00	2.90
	180d.	3.11	2.95	2.90	2.84	3.07	2.89
반발도 (R·N)	7d.	40	40	38	40	39	34
	28d.	44	45	46	46	43	39
	60d.	47	47	48	48	46	41
	90d.	48	47	49	50	48	43
	180d.	48	48	50	50	48	44

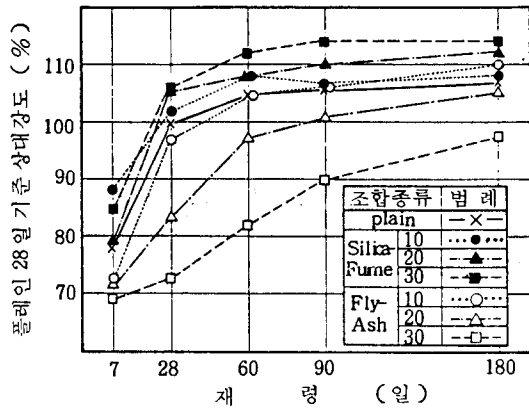


그림 5. 플레인콘크리트의 재령 28일을 기준으로한 각조합조건별 재령에 따른 상대강도의 변화

및 작업성에 큰문제가 있음을 알수 있으나 실리카·흙의 경우에는 슬립프로스가 플레인콘크리트와 유사한 경향이며 혼입율이 증대함에 따라 오히려 슬립프로스가 다소 둔화되는 경향을 보여주고 있어 SP제와의 적절한 혼용으로 시공성 및 작업성이 양호한 콘크리트제작의 가능성을 시사하고 있다.

3.2 硬化콘크리트의 特性

3.2.1 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별재령에 따른 압축강도 및 인장강도 발현경도

경화콘크리트의 시험결과를 나타낸 표 7 과 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 압축강도의 변화를 도시한 그림 3, 플레인콘크리트의 재령 28일을 기준으로한 상대강도를 도시한 그림 5 및 플레인콘크리트와 혼화제혼입콘크리트와의 압축강도발현특성을 종합적으로 비교한 그림 6에 의하면 재령 7일의 경우, 실리카·흙의 혼입율이 커질수록 플레인콘크리트보다 높게 발현되고 있으나 플라이애시는 반대로 저하하고 있으며 이러한 경향은 재령 28일에 있어서 더욱 현저하여 SF 30 조합의 경우, 플레인콘크리트에 비하여 42 kg/cm^2 (6%) 증진되는데 비하여 FA 30 조합의 경우에는 185 kg/cm^2 (27%) 저하하고 있어 큰차이를 보이고 있다. 그러나 재령 60일 이후, SF의 경우에는 급격하게 강도증진이 둔화되고 있으나 FA는 계속적으로 높이 증진하여 재령 180일의 FA 20은 플레인수준의 강도발현을 보이고 있고 FA 10의 경우에는 플레인보다 25 kg/cm^2 높은 749 kg/cm^2 를 발현하여 SF 30의 776 kg/cm^2 와의 차이도 크게 나타나지 않고 있어 초기성상과는 현격한 차이를 보여주고 있으며, 이러한 경향은 그림 4의 인장강도에 있어서 더욱 현저하게 나타나고 있다. 즉 재령 7일 및 28일에서는 대체적으로 압축강도의 성상과 유사한 경향이나 재령 60일 이후 재령이 증가함에 따라 SF의 경우에는 인장강도의 증진이 거의 나타나지 않고 있으나 FA에 있어서는 재령 180일까지 계속 증진되어 FA

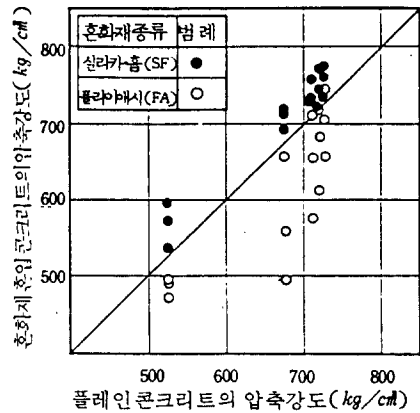


그림 6. 플레인콘크리트와 혼화제 혼입콘크리트와의 압축강도의 관계

의 경우, 적절히 혼입하면 콘크리트의 인장강도 증진에 매우 유리한 혼화제로 생각되어지나 보다 광범위한 연구의 필요성을 시사하여 주고 있다.

이러한 경향을 종합적으로 고찰하면 실리카·흙의 주성분인 실리카는 비정질의 초미립자임으로 수화활성이 크고 플라이애시에 비하여 조기에 포조란 반응이 나타났기 때문으로 생각되며 플라이애시의 경우에 있어서는 양생온도가 높을수록 강도증진에 미치는 영향이 커질것으로 예상되며 따라서 고온으로 양생할 경우에 나타나는 장기강도증진의 저하를 억제시킬수 있을 것으로 사료된다.⁴⁾⁵⁾⁷⁾⁸⁾

3.2.2 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 단위용적중량 및 반발도의 검토

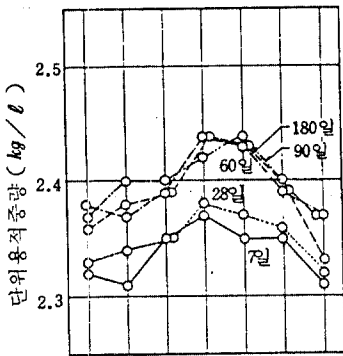
그림 7은 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 단위용적중량의 변화를 도시한 것으로 실리카·흙 및 플라이애시를 혼입함에 따라 플레인콘크리트에 비하여 저하하고 있으며 이러한 경향은 혼입율이 증대함에 따라 더욱 크게 나타나고 있어 실리카·흙 및 플라이애시의 낮은 비중에 기인하는 현상으로 생각된다.⁸⁾

그림 8은 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 반발도의 변화를 도시한것으로 대체적으로 압축강도성상과 유사하게 나타나고 있어 혼화제첨가로 인한 유의할만한 영향은 없는 것으로 판단된다.

3.2.3 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 동탄성계수 및 정탄성계수의 검토

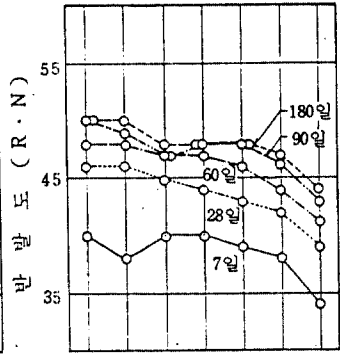
그림 9와 그림 10은 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 동탄성계수 및 정탄성계수의 변화를 각각 도시한 것으로 일반적으로 혼화제를 혼입한 콘크리트가 플레인콘크리트에 비하여 동탄성계수·정탄성계수 모두 저하하는 경향을 보이며, 그 저하율 또한 혼화제의 혼입량이 많을수록 더욱 크게 나타나고 있다.

이러한 경향은 콘크리트의 탄성계수와 압축강도와 의 일반적인 통념과는 상이한 현상으로 그림 11에 나타난 바와같이 콘크리트의 탄성계수는 단위용적중량



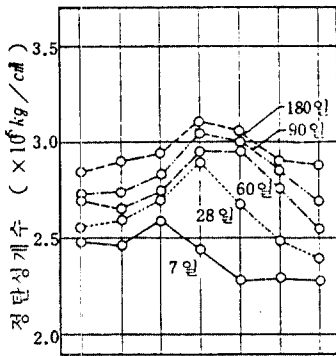
실리카·흙 및 플라이애시 혼입율에 따른 단위용적중량의 변화

그림 7. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 단위용적중량의 변화



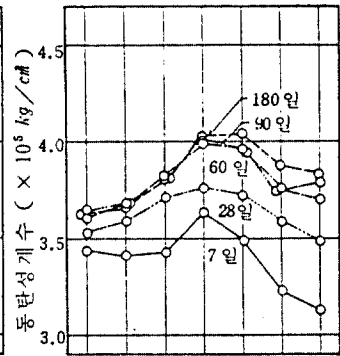
실리카·흙 및 플라이애시 혼입율에 따른 반발도의 변화

그림 8. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 반발도의 변화



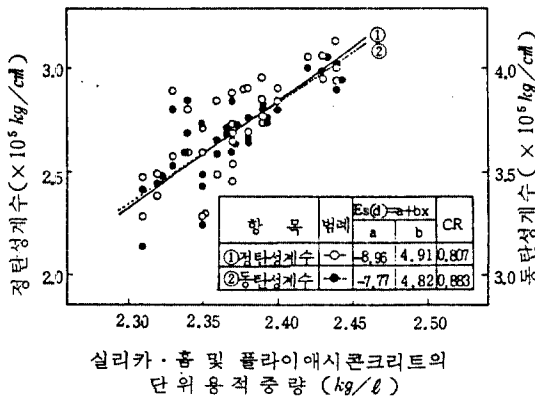
실리카·흙 및 플라이애시 혼입율에 따른 정탄성계수의 변화

그림 9. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 정탄성계수의 변화



실리카·흙 및 플라이애시 혼입율에 따른 동탄성계수의 변화

그림 10. 실리카·흙 및 플라이애시 혼입율별 재령에 따른 동탄성계수의 변화



실리카·흙 및 플라이애시 콘크리트의 단위용적중량과 정탄성계수 및 동탄성계수와의 관계

그림 11. 실리카·흙 및 플라이애시 콘크리트의 단위용적중량과 정탄성계수 및 동탄성계수와의 관계

과 밀접한 관련이 있는 것으로 보여지고 있어, 혼화재첨가로 인한 단위용적중량이 저하함에 기인한 현상으로 생각되어지나 보다 심도있는 연구의 필요성을 제기하여 주었다.⁴⁾⁸⁾

3.2.4 실리카·흙 및 플라이애시를 혼입한 고강도콘크리트의 제공학적 특성의 상호관계 검토

그림 12는 압축강도와 인장강도의 관계를 나타낸 것으로 콘크리트의 인장강도는 압축강도가 증가함에 따라 증가하나 압축강도가 700 kg/cm² 이상일 경우에는 정체되는 경향을 보여주고 있으며, 인장강도/압축강도의 관계는 표 7에서 보는바와같이 플레인콘크리트 1/15 ~ 1/16, 실리카·흙콘크리트 1/13 ~ 1/16, 플라이애시콘크리트 1/12 ~ 1/16로 보통콘크리트의 1/9 ~ 1/13과는 큰 차이를 보이고 있다.⁷⁾⁸⁾ 또한 압축강도와 인장강도의 실험식은 $F_t = 1.8\sqrt{F_c}$ 와 $1.6\sqrt{F_c}$ 사이에 위치하고 있음을 알수 있다.

그림 13와 14는 압축강도와 동탄성계수 및 압축강도와 정탄성계수를 각각 도시한 것으로 일반적으로 혼화재를 혼입한 콘크리트가 플레인 콘크리트에 비하여 저하하는 경향이며, 이러한 경향은 실리카·흙의 경우에 있어서 더욱 큰것으로 나타나고 있어 산업부산물을 콘크리트혼화재로서 첨가시, 콘크리트의 역학적인 특성에 관한 보다 다각적인 측면에서의 광범위한 연구가 요망되고 있음을 시사하여 주고 있다.

그림 15는 반발도와 압축강도의 관계를 도시한 것으로 높은 강도추정도를 보임에 따라 혼화재첨가에 따른 강도추정시 반발도법이 유효할것으로 생각되며 본실험식은 小阪⁹⁾의 실험식과 유사한 수준을 보이고 있다.

4. 結 論

실리카·흙 및 플라이애시를 혼입한 고강도 콘크리트의 시공성 및 공학적특성에 관한 연구의 일환으로 각실험요인 및 수준을 선정하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 혼화제의 혼입율이 증가함에 따라 콘크리트의 단위용적중량은 저하하고 있으며 또한 공기량이 감소하는 경향이 있어 소정의 공기량을 확보하기 위해서는 보조적으로 AE제를 사용하는 것이 좋을것으로 생각된다.

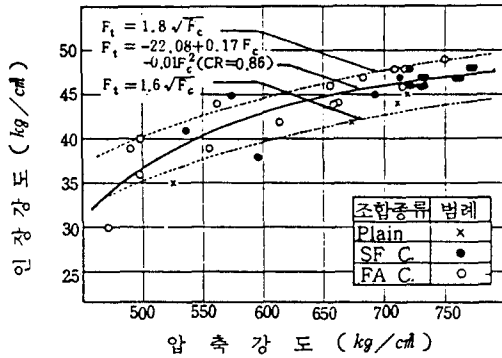


그림 12. 압축강도와 인장강도와의 관계

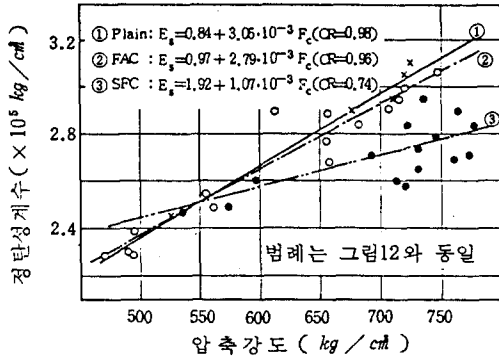


그림 14. 압축강도와 정탄성계수의 관계

2) 혼화제종류에 관계없이 혼입율이 증가함에 따라 동일슬럼프를 얻기위한 SP제의 양은 증가되고 있으며, 실리카·흙의 경우 플라이애시와는 달리 SP제의 적절한 사용으로 시공성이 양호한 콘크리트의 제작이 가능하였다.

3) 실리카·흙 및 플라이애시를 콘크리트혼화제로서 첨가한 결과 실리카·흙의 경우에는 혼입율이 클수록, 플라이애시에 있어서는 혼입율이 적을수록, 높은 압축 및 인장강도를 발현하여 재령 180일의 압축강도의 경우 SF30 및 FA10 각각 776, 749kg/cm²의 고강도콘크리트의 제작이 가능하였으며 모두 플레인콘크리트에 비하여 높게 나타나고 있다.

4) 혼화제를 혼입한 고강도콘크리트의 경우, 압축강도에 대한 인장강도의 비율은 대체적으로 1/12~1/16로 보통강도콘크리트에 비하여 적은 값을 보이고 있으며 또한 압축강도증진에 따라 작아지는 경향을 보이고 있으며 특히 플라이애시의 경우, 장기에 걸쳐 인장강도에 유리한 혼화제로 생각된다.

5) 혼화제를 혼입한 콘크리트의 경우, 혼입량이 증대함에 따라 단위용적중량은 플레인콘크리트에 비하여 크게 저하하고 있으며 이러한 경향이 동탄성계수 및 정탄성계수의 저하에 영향을 미치고 있으며, 또한 혼화제 첨가에 따른 강도추정시 반발도법이 유효한 것으로 나

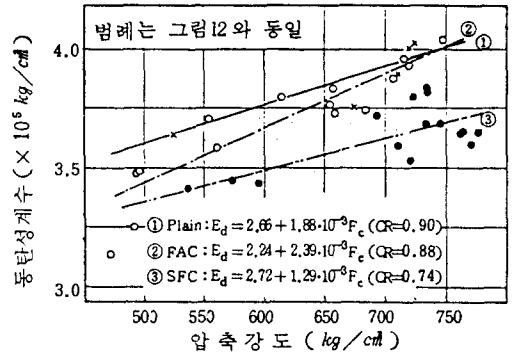


그림 13. 압축강도와 동탄성계수와의 관계

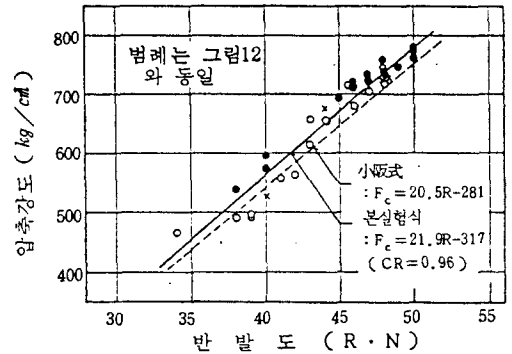


그림 15. 반발도와 압축강도의 관계

타나고 있다.

參 考 文 獻

1. 日本セメント協會, シリカフュームを用いたコンクリート, セメント・コンクリート, No. 480, Feb., 1987, pp. 41-47.
2. Malhotra, V.M., Fly Ash, Silica-Fume, Slag & Other Mineral By-Products in Concrete, ACI Publication, SP-79, Vol. 1, 2, 1983.
3. 金武漢外, 실리카·흙을 혼합한 고강도콘크리트의 施工性 및 力學的 特性에 관한 基礎的研究(I), 大韓建築學會 學術發表論文集 제 9 권 제 2 호, 1989.10 pp. 631-634.
4. 長滝重義, シリカフュームとコンクリート, 콘크리트工學, Vol. 33, No. 5, May. 1985, pp. 5-15.
5. Malhotra, V.M., Silica Fume Concrete Properties Application and Limitation, Concrete International, Vol. 5, No. 5, 1983, pp. 42-46.
6. 한전기술연구원, 콘크리트혼화제로서의 석탄회이 공방안 연구, 1989. 4
7. 岡本公未ほか, 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強度コンクリート, セメント・コンクリート, No. 482, 1987, pp. 59-71
8. 三浦律彦, シリカフュームを混入した高強度コンクリートの基礎性狀, 콘크리트工學論文報告集, 第9卷, pp. 45-50
9. 日本建築學會, 콘크리트強度推定のための非破壊試驗法マニュアル, 昭 58, pp. 18-52.