

실리카흙 혼합 高強度 콘크리트의 基礎物性에 관한 研究

A Study on the Fundamental Properties of High-Strength Concrete using Silica Fume

문 한 영* 김 진 철**
Moon Han-young Kim Jin-chul

ABSTRACT

For the purpose of improving the compressive strength of concrete, the high strength concrete which have the compressive strength about 800kg/cm² were made by using silica fume and high range water reducing admixture on reducing the water-cement ratio. But the facts that the slump loss of high strength concrete was high and the tensile strength and elastic modulus were not improved enough are indicated to problems which must be solved.

1. 서론

콘크리트를 고강도화 하기 위한 연구와 노력은 콘크리트 기술자의 오랜 숙원이라해도 과언이 아닐듯 싶다. 콘크리트를 고강도화 하므로써 콘크리트구조물에 많은 장점이 있음은 주지하는 바와 같으며, 이미 많은 문헌들에서도 지적한 바 있다.¹⁾

본 논문에서는 실리카성분이 90% 이상이며, 평균입경이 0.1 μ m 정도의 초미립분말인 실리카흙을 고성능감수제와 함께 콘크리트용 혼화재료로서 사용함으로써 micro filler 효과와 실리카흙의 포졸란 반응으로 시멘트 수화생성물인 시멘트겔사이의 불연속영역을 감소시켜 주므로써 고품질, 고강도 콘크리트를 제조하기 위한 기초 실험을 실시하였다

2. 실험개요

2-1. 사용재료

(1) 시멘트 및 실리카흙 : 시멘트 및 실리카흙의 화학성분 및 물리적성질은 표.1과 같으며, 실리카흙은 노르웨이산 Elkem microsilica이다.

표.1 시멘트 및 실리카흙의 화학성분 및 물리적 성질

항목 종류	화 학 성 분 (%)							비중	비표면적 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	f _{SS}		
시멘트	20.8	6.3	3.2	62.	3.3	2.3	1.0	3.12	3200
실리카흙	91.2	1.3	0.8	0.7	0.3	-	2.3	2.51	204700

(2) 골재 : 굵은골재는 최대치수 19mm의 부순돌을 사용하였으며, 잔골재는 한강산 강모래로서 물리적성질은 표.2와 같다.

표.2 골재의 물리적 성질

항목 종류	G _{max} (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	유기 염분물	단위용적중량 (kg/m ³)	실적율 (%)
굵은골재	19	2.63	1.40	6.75	-	1521	58.0
강모래	-	2.60	1.35	2.21	양호	1620	61.8

(3) 고성능감수제 : 나프탈린 슬폰산 포르말린 고축합물이 주성분이고 비중 1.2, PH 9인 고성능감수제를 사용하였다.

2-2 실험방법

(1) 압축강도 : ϕ 10x20cm 원주형 공시체를 제조한 후 표준양생하여 KS F 2505의 규정에 따라 강도시험을 실시하였다.

(2) 콘크리트의 응결시험 : 고강도용 굳지 않은 콘크리트를 No.4체로 쳐서 모르타시료를 준비하여, KS F 2436의 관입저항침에 의하여 응결시간을 측정하였다.

* 한양대학교 토목공학과 교수

** 한양대학교 대학원 석사과정

(3) 슬럼프 손실시험 : 실리카흄을 혼합한 고강도용 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 손실량을 알아보기 위하여, 강제식 믹서에서 믹싱한 굳지않은 콘크리트를 가경식 믹서에 옮겨 2rpm으로 회전시키면서 90분동안 5단계로 슬럼프 시험을 실시하였다.

(4) 믹싱방법 : 용량 50ℓ의 강제식 믹서(60rpm)를 사용하였으며 시멘트, 실리카흄 및 잔골재를 먼저 투입하여 30초간 dry 믹싱한후 물과 고성능감수제의 1/2을 투입하면서 1분간 믹싱하고, 굽은골재 투입후 30초간 믹싱, 나머지 고성능감수제를 투입하면서 30초간 믹싱하였다. 총 믹싱소요시간은 3분 30초가 소요되었다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 실리카흄 혼합 콘크리트의 응결

물결합재비 30%, 슬럼프 12 ± 1 cm, 실리카흄 혼합률 0.10 및 20% (이때 고성능감수제의 사용량은 0.63, 0.71 및 1.17%) 인 굳지않은 콘크리트의 응결시간을 알아보기 위하여 No.4체로 굽은골재를 제거하고 모르타르시료의 관입저항이 $35\text{kg}/\text{cm}^2$, $280\text{kg}/\text{cm}^2$ 가 될때까지의 소요시간을 각각 측정하여 초결시간과 종결시간으로 정리한 것이 그림.1이다.

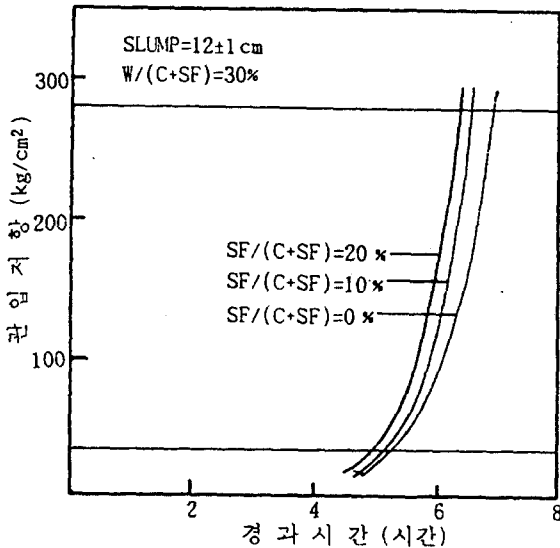


그림. 1 콘크리트의 응결시간

이그림에서 3종류의 콘크리트의 응결시간

이 약간 상이함을 알 수 있다. 다시말해서 실리카흄을 혼합하는데 따라 초결시간과 종결시간이 다 같이 빨라지고 있으며 실리카흄 혼합률 20%의 경우는 종결시간이 약 50분정도 빨라지는 결과를 나타내었다. 이러한 실험결과는 Almedia, Goncalves씨가 발표한 실리카흄을 혼합한 고강도 콘크리트의 응결시간에 관한 실험결과²⁾와 거의 유사함을 알 수 있으나 실리카흄을 혼합함으로써 응결시간이 빨라지는 원인에 대해서는 아직 명확한 답을 얻지 못했다.

3-2 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 손실

실리카흄을 혼합한 고강도 콘크리트의 시공성과 관련되는 자료를 얻기위한 목적으로 실시한 믹싱후 경과시간별 슬럼프 값을 정리한 것이 그림.2이다.

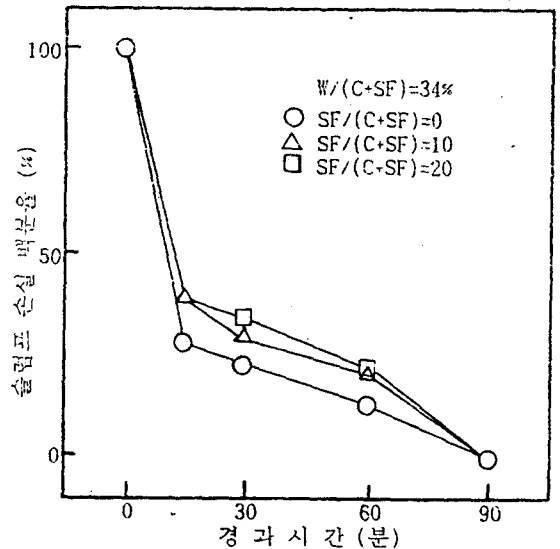


그림. 2 경과시간에 따른 슬럼프의 변화

물결합재비 34%, 목표슬럼프 18 ± 1.5 cm, 실리카흄 혼합률 0.10 및 20%, 고성능감수제의 사용량 0.5, 0.73 및 1.1%로 혼합한 고강도 콘크리트의 믹싱후 90분간의 슬럼프의 변화를 손실백분율로 나타내었다.

이 그림에서 알 수 있듯이 실리카흄의 혼합률에 따라 약간 상이하긴 하지만, 3종류의 콘크리트가 경과시간 15분만에 약 60% 이상의 급격한 슬럼프 손실을 나타내었으며 경과시간 90분에는 슬럼프가 0에 도달하는 결과로 나타났다.

고성능감수제를 사용한 고강도콘크리트의

믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 손실문제가 아직도 충분히 해결되지 않고 있는 문제점으로 지적되어 왔으나³⁻⁶⁾, 실리카흙 혼합 고강도 콘크리트의 경우에도 예외가 아님을 알 수 있었으며 슬럼프 손실에 대한 대책이 요망된다.

3-3. 경화한 콘크리트의 강도에 대한 고찰
 실리카흙 혼합물 0, 10 및 20%, 단위시멘트량 500 및 600 kg, 물결합재비 26, 30 및 34%인 고강도용 콘크리트의 9배합에 대하여 압축강도, 인장강도 및 탄성계수를 측정하는 것이 표.3 이다.

먼저 실리카흙 혼합물에 따른 콘크리트의 강도를 재령별로 정리한 것이 그림.3이다.
 이 그림에서 실리카흙 20% 혼합한 콘크리트의 압축강도는 재령 3일 이후 포졸란반응이 활발히 진행되어 재령 28일에 702 kg/cm², 재령 91일에 765 kg/cm²의 큰 강도를 나타냄으로서 보통 콘크리트보다 약 20% 정도 강도가 증진되었으며, 실리카흙의 혼합이 강도를 증진시키는데 유효함을 알 수 있다.
 실리카흙을 20% 혼합한 고강도 콘크리트의 결합재-물비와 강도와의 관계를 알아보기 위하여 결합재-물비 2.9, 3.3 및 3.8의

표. 3 콘크리트의 압축강도 인장강도 및 탄성계수

단위시멘트량	SF (C+SF)	W (C+SF)	압축강도(kg/cm ²)					인장강도(kg/cm ²)					탄성계수 (x10 ⁵ kg/cm ²)
			1	3	7	28	91	1	3	7	28	91	
600	0	30	303	421	-	520	607	27	40	-	46	52	3.7
	10	30	274	492	-	694	725	32	42	-	55	56	4.2
	20	30	259	500	-	702	765	29	37	-	52	54	4.2
500	0	30	244	402	425	508	-	21	34	37	42	-	3.6
	10	30	251	465	567	647	-	31	46	47	52	-	3.7
	20	30	250	481	596	656	-	31	46	47	51	-	3.8
600	20	26	314	543	569	725	-	34	43	48	53	-	4.3
	30	30	259	500	-	702	765	29	37	-	52	54	4.2
	34	34	222	452	472	587	-	21	38	45	48	-	4.0

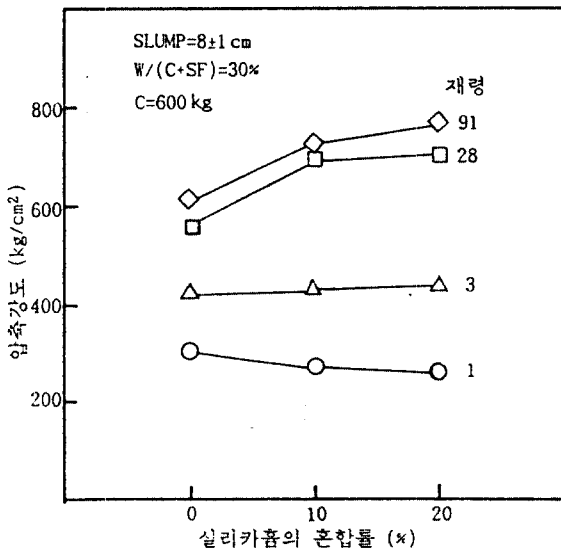


그림. 3 실리카흙의 혼합물과 압축강도와의 관계

3종류에 대한 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이 그림.4이다. 이 그림에서 실리카흙을 혼합한 고강도 콘크리트의 경우에도 결합재-물비와 압축강도와의 사이에는 재령에 관계없이 보통 콘크리트와 비슷한 관계가 있음을 알 수 있다.

실리카흙을 혼합한 콘크리트의 고강도를 얻기위해서 필요로 하는 단위시멘트량을 알아보기 위하여 단위시멘트량 500 및 600 kg의 두 종류를 선택하여 강도시험을 실시한 결과가 그림.5이다. 이 그림에서 실리카흙 혼합물 10 및 20%의 재령 3일의 강도를 제외하고는 단위시멘트량 600에서 압축강도의 최대치를 나타내었다.

고성능감수제를 사용한 일반적인 고강도 콘크리트의 경우에도 단위시멘트량 600에서 700 kg 정도에서 강도의 최대치를 나타내는

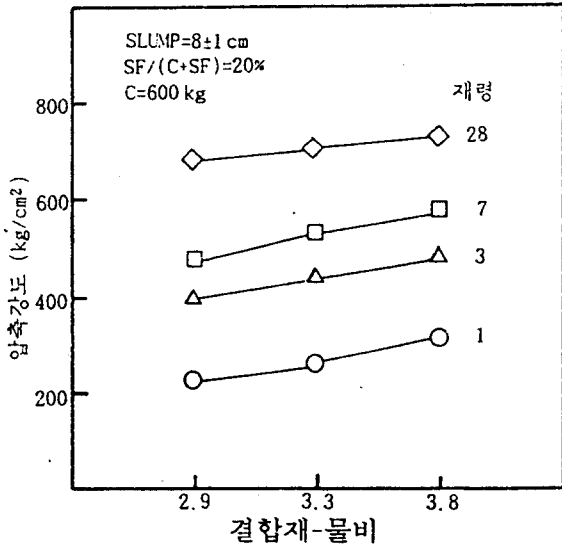


그림. 4 결합재-물비와 압축강도와의 관계

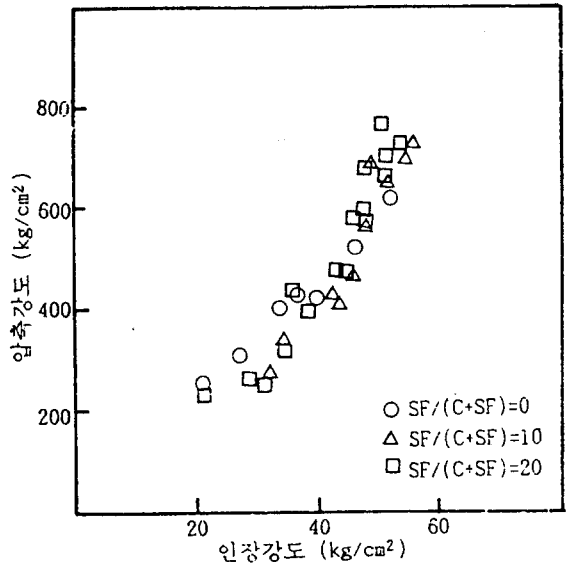


그림. 6 압축강도와 인장강도와의 관계

로 매우 크게 나타났다.

$$\sigma_{c0} = 11.6\sigma_t - 4.6 \quad (r=0.99)$$

$$\sigma_{c10} = 18.5\sigma_t - 318.5 \quad (r=0.99)$$

$$\sigma_{c20} = 17.0\sigma_t - 210.1 \quad (r=0.95)$$

σ_c/σ_t 의 비는 보통 콘크리트와 비슷한 10-12 정도를 나타내었다.

끝으로 실리카흄 혼합률 0, 10 및 20%로 변화시킨 단위시멘트량 500 및 600 kg의 고강도 콘크리트의 재령 28일에서의 정탄성계수와 압축강도를 나타낸 것이 그림.7이다.

이 그림에서 단위시멘트량 600 kg, 실리

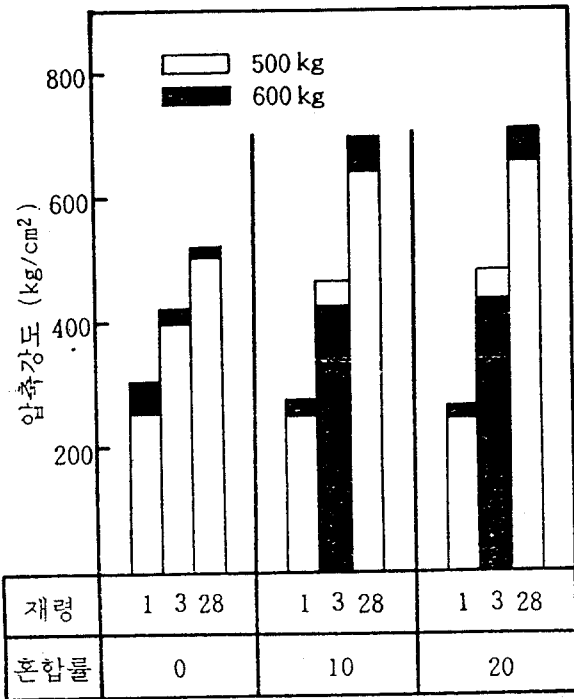


그림. 5 단위시멘트량에 따른 압축강도 결과와 유사함을 알 수 있었다. (7-9)

이번에는 실리카흄을 혼합한 고강도 콘크리트의 압축강도와 인장강도 사이에 어떤 관계가 있는지 알아보기 위하여 실시한 실험결과를 정리한 것이 그림.6이다 이 그림에서 실리카흄의 혼합률에 따른 상관관계식은 다음과 같으며, 상관계수도 0.95 이상으

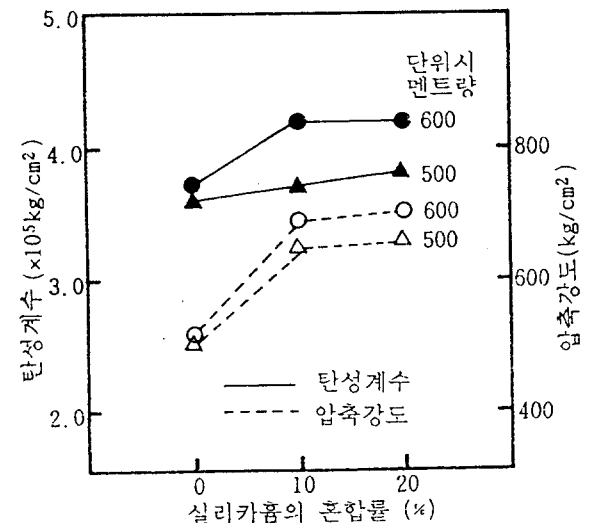


그림. 7 실리카흄 혼합률과 탄성계수와의 관계

카흠 20%로 혼합한 콘크리트의 압축강도가 가장 크며, 정탄성계수도 압축강도가 클수록 크게 나타났다. 정탄성계수의 최대치는 $4.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 정도임을 알 수 있으며 이 값은 ACI에서 제안한 식에 의해 구한 값과 거의 동일하거나 약간 낮은 값에 해당됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

(1) 실리카흠을 혼합한 굳지않은 콘크리트의 응결시간을 측정된 결과 실리카흠의 혼합률에 따라 초결시간과 종결시간이 다같이 빨라지는 결과를 나타내었다.

(2) 실리카흠을 혼합한 굳지않은 고강도 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 변화를 측정된 결과 보통의 고강도 콘크리트와 비슷한 슬럼프 손실량을 나타내는 문제점이 있으므로 적절한 대책이 요망되었다.

(3) 실리카흠을 20% 혼합한 고강도 콘크리트의 재령 91일의 압축강도가 765 kg/cm^2 정도의 고강도를 나타내었으나, 인장강도와 탄성계수 값은 크게 개선되지 않았다. 압축강도와 인장강도 사이에는 보통 콘크리트와 비슷한 상관관계를 나타내었다.

(4) 실리카흠을 혼합한 고강도 콘크리트의 경우 결합재-물비와 압축강도 사이에는 보통콘크리트와 비슷한 경향의 직선적인 관계를 확인할 수 있었으며, 고강도를 얻기 위하여 단위시멘트량은 600 kg 정도가 적절함을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) 文 翰 英 ; 콘크리트공학강좌(I) 콘크리트 고강도화와의 한계, 대한토목학회지 제 26권 제 5호 1978년 12월
- (2) I.R.de Almedia, A.F.Goncalves ; Properties of Freshly Mixed, High Strength Concrete , Properties of Fresh Concrete, Published Chapman and Hall pp227-234, 1990
- (3) 長瀧重義 ; 高性能減水劑を添加したコンクリートのスランプロス, セメント・コンクリート No.416, 1981.10 pp28-33
- (4) 岸谷孝一 ; 流動化コンクリートのレオロジーとスランプロス, セメント・コンクリート No.421 1982 pp20-26
- (5) 服部健一 ; スランプロスのメカニズムおよびその對策, 材料29 No.318 1980
- (6) C.L. Hwang and F. Young ; Factors affecting slump loss in superplasticized Concrete, 2nd International Conference on Superplasticizers in Canada, 1981.6
- (7) 文 翰 英 ; 콘크리트공학강좌(II) 콘크리트의 고강도발현 메카니즘과 제조, 대한토목학회지 제 27권 제 1호 1979.2 pp44-52
- (8) 長瀧重義 ; 高強度コンクリートの諸性質 콘크리트工学 Vol.14 No.3 1976
- (9) 長瀧重義, 今井實 ; 高強度コンクリートに關する 2,3の實驗, 土木學會 第 27回 年次學術講演集