

# 고강도콘크리트의 제물성 향상을 위한 연구

문 한 영\* 김 기 형\*\* 문 대 중\*\*\*

Moon, Han Young Kim, Ki Hyoung Moon, Dae Joong

## Abstract

To improve the qualities of high strength mortar and concrete with high range water reducing admixture, silica fume and gypsum is applied. The flow loss of mortar is reduced and the compressive strength of mortar and concrete is improved by silica fume. And the silica fume is effective for decreasing the temperature of high strength concrete. In addition to, the strength of high strength concrete is more improved by the gypsum.

## 1. 서론

최근 콘크리트의 성질이 매우 다양화, 고성능화 됨에 따라 콘크리트의 강도를 크게 향상시킨 고강도콘크리트의 유동성 및 내구성을 개선하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. (1-5) 고강도용 콘크리트는 슬럼프 손실이 크고 (6-7) 단위시멘트량이 많기 때문에 수화열로 인한 콘크리트의 온도가 크게 상승하는 점 (8-9) 과 같은 품질, 시공상의 문제점에 대한 충분한 대책이 수립되지 않고 있는 실정이다.

본 논문에서는 고강도용 모르터 및 콘크리트의 유동성 손실, 수화열에 따른 온도상승을 억제 및 강도를 개선시키기 위하여 실리카흙의 혼합률과 석고량을 변화시키고, 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 혼화재로 사용하여 고강도용 콘크리트의 제물성 향상을 위하여 실시한 실험 결과에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험개요

### 2-1. 사용재료

(1) 시멘트 및 혼화재 : 시멘트는 보통포틀랜드시멘트이며 혼화재는 실리카흙, 고로슬래그 미분말 및 플라이 애쉬로서 화학성분 및 물리적 성질은 표.1과 같다.

(2) 석고 : 요업용으로 사용되는 석고(이하 공업용 석고라 함)로서 화학성분은 표.2와 같다.

표.2 공업용 석고의 화학성분

C	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SO <sub>3</sub>
6.00	0.11	0.001	0.0001	0.0001	38.5	55.1

\* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 여주전문대학 토목과 교수

\*\*\* 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

표.1 시멘트 및 혼화제의 화학성분 및 물리적 성질

항목 종류	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Ig. loss (%)	비중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
시멘트 (OPC)	21.59	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
플라이애쉬 (FA)	68.00	25.00	2.85	2.00	0.90	-	3.47	2.15	4,546
슬래그분말 (GS)	31.12	14.24	0.51	41.40	6.14	4.36	0.63	2.80	4,880
실리카흙 (SF)	90.00	1.50	3.00	2.00	0.30	-	3.00	2.33	204,700

(3) 골재 : 굵은 골재는 최대치수가 19mm인 부순돌이며, 잔골재는 한강산 강모래로서 물리적 성질은 표.3과 같다.

표.3 골재의 물리적 성질

항 목	비중	흡수율 (%)	조립률	유기 불순물	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적률 (%)
잔 골 재	2.60	2.00	2.67	양호	1,620	62.3
굵은골재	2.67	1.13	7.00	-	1,725	66.1

(4) 고성능감수제(HRWR) : 나프탈린 술폰산 포르말린 고축합물이 주성분이며 비중이 1.19-1.21인 고성능감수제를 사용하였다.

## 2-2. 실험방법

(1) 모르터의 플로우 시험 : 잔골재에 대한 시멘트의 중량비가 1이고 플로우 값이 210±5mm인 모르터를 경과시간 120분 까지 30분 간격으로 KS L 5105에 의하여 플로우 값을 측정하였다.

(2) 콘크리트의 슬럼프 시험 : 굳지않은 고강도용 콘크리트를 강제식 믹서로 제조한 후 가경식 믹서로 옮겨 2rpm 속도로 회전하면서

90분까지 30분 간격으로 KS F 2402에 의하여 슬럼프 값을 측정하였다.

(3) 콘크리트의 온도측정 시험 : 믹싱후 경과시간에 따른 콘크리트의 온도변화를 알아보기 위하여 25x25x25cm의 스티로폴 용기에 콘크리트를 채우고 T type thermocouple을 매립하여 2시간 간격으로 48시간 동안 콘크리트의 온도를 측정하였다.

(4) 강도 시험 : 모르터는 5x5x5cm의 입방체로, 콘크리트는 Ø10x20cm의 원주형공시체로 제조하여 각각 KS L 5105와 KS F 2405에 의하여 압축강도를 측정하였다.

## 3. 실험결과에 대한 고찰

### 3-1. 고강도용 모르터의 플로우

고성능감수제를 사용한 고강도용 모르터의 플로우 손실을 저감하기 위하여 실리카흙 혼합 모르터에 석고를 0, 2 및 4% 첨가하여 제조한 후 경과시간에 따라 플로우 값을 측정하여 믹싱 직후의 플로우 값에 대한 플로우 손실률로 정리한 것이 그림.1이다.

그림.1 실리카흙과 석고를 혼합한 고강도용 모르터의 플로우 손실률(S/C=1)

실리카흙의 혼합률이 증가함에 따라 플로우 손실이 저감하며, 실리카흙 10% 혼합모르터의 경우 석고를 2, 4% 첨가함에 따라 경과시간 120분에서 각각 5%, 2%의 플로우 손실이 저감하였다. 모르터의 플로우 손실이 저감되는 원인은 실리카흙 입자가 보수성이 크고 시멘트 입자사이의 마찰을 감소시키는 윤활작용을 하는 효과<sup>(10-11)</sup> 때문이라고 생각되며 석고는 시멘트 중 C<sub>3</sub>A의 급격한 수화반응을 억제하므로써<sup>(12)</sup> 플로우 손실을 줄이는데 유효하였다고 생각된다.

### 3-2. 고강도모르터의 강도향상 방안

고강도모르터의 강도를 향상시키기 위하여 공업용 석고를 시멘트 중량에 0, 1, 3 및 5%로 첨가한 모르터의 재령별 압축강도를 정리한 것이 그림.2이다.

그림.2 석고를 첨가한 모르터의 압축강도(S/C=2)

석고를 첨가한 모르터의 압축강도가 크게 향상되며 석고를 3% 첨가할 때 압축강도가 가장 크게 나타났다. 그래서 본 실험에서는 석고 첨가량을 3%로 정하여 콘크리트 실험을 하였다.

다음은 석고가 혼화재를 사용한 고강도용 모르터의 압축강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 플라이애쉬 30%, 고로슬래그 미분말 50% 2및 실리카흙 20% 혼합모르터에 석고를 0 및 2% 첨가하여 제조한 모르터의 압축강도를 정리한 것이 그림 .3이다.

그림.3 혼화재를 사용한 모르터의 압축강도

모르터의 종류에 따라 차이는 있으나 석고를 첨가한 모르터가 첨가하지 않은 모르터에 비하여 재령 28일 압축강도가 약 2-5% 정도 증가됨

을 알 수 있으며 실리카흙 20% 혼합 모르터는 재령 91일 압축강도가 약 900kg/cm<sup>2</sup> 정도의 고강도를 나타냈다. 이는 미세한 실리카흙 입자가 시멘트 입자 사이의 충전성이 좋고 포졸란 반응성<sup>(13)</sup>이 크기 때문이라 생각되며, 석고가 시멘트 경화체의 초기강도를 증가시키는 효과<sup>(12)</sup> 때문이라 생각된다.

### 3-3. 고강도용 콘크리트의 슬럼프 특성

고성능감수제를 사용한 고강도용 콘크리트의 슬럼프 손실에 실리카흙 및 석고가 미치는 영향을 알아보기 위하여 실리카흙을 0, 10 및 20% 혼합하고 석고를 0, 3% 첨가한 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 값을 측정하여 정리한 것이 그림.4이다.

그림.4 고강도용 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 값

석고를 첨가하지 않은 보통콘크리트가 경과시간 30분에서 약 50%정도, 경과시간 90분에서 약 85% 정도의 큰 슬럼프 손실을 나타내며 실리카흙 10% 혼합 콘크리트가 슬럼프 손실이 가장 크게 나타났다. 한편 그림.1에서 석고를 첨가한 고강도용 모르터의 플로우 손실이 저감되는 효과가 있었으나, 콘크리트의 슬럼프 손실률은 모르터와 달리 오히려 커지는 문제점이 나타났다. 그러니까 석고의 첨가가 결합재량이 지나치게 크고 물-결합재비가 작은 고강도콘크리트의 슬럼프 손실률을 줄이는데는 큰 효과가 없었다.

### 3-4. 고강도용 콘크리트의 온도변화 특성

단위시멘트량이 큰 고강도콘크리트는 높은 수화열 때문에 콘크리트 구조물에 미치는 영향이 매우 크다.<sup>(8-9)</sup> 고강도용 콘크리트의 경과시

간에 따른 온도변화를 알아보기 위하여 결합재량을 3종류로 변화시키고 실리카흙 혼합물 10%, 물-결합재비 23%로 제조한 콘크리트의 온도를 경과시간 48시간 까지 측정하여 정리한 것이 그림.5이다.

그림.5 경과시간에 따른 고강도용 콘크리트의 온도변화

이 그림에서 콘크리트의 최대온도는 믹싱 후 20시간 이전에 나타났으며, 단위 결합재량에 따라 초기온도와 최대온도의 차이는 약 30°C 정도로 크게 다르지는 않으나, 초기온도의 차이에 따라 최대온도에 도달하는 시간과 최대온도가 약간 차이가 있었다.

다음은 콘크리트의 강도를 한층 더 향상시키기 위한 방안으로 석고를 첨가한 고강도 콘크리트의 온도변화를 알아보기 위하여 석고를 3% 첨가한 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 온도 변화를 측정하여 정리한 것이 그림.6이다.

그림.6 석고를 첨가한 실리카흙 혼합 콘크리트의 온도변화

석고를 첨가하므로써 콘크리트의 온도가 약간 상승하고 있음을 알 수 있으나 실리카흙을 10, 20% 혼합함에 따라 최대온도가 약 10°C 저감되었다. 석고를 첨가한 콘크리트의 온도가 크게 나타난 원인은 석고가 믹싱후 10-20시간에서 시멘트의 수화반응을 촉진하므로써<sup>(12)</sup> 온도가 증가하였다고 생각되며 실리카흙을 혼합하므로써 어느정도 온도상승을 억제할 수 있었다.

### 3-5. 고강도콘크리트의 강도향상 방안

결합재량 및 실리카흙 혼합률에 따른 콘크리트의 압축강도를 알아보기 위하여 결합재량을

3종류로 하고 물-결합재비를 23%로 하여 제조한 실리카흙 혼합 콘크리트의 재령별 압축강도를 정리한 것이 그림.7이다.

그림.7 결합재량에 따른 고강도콘크리트의 압축강도

이 그림에서 결합재량이 750kg일 때 압축강도가 가장 크게 나타나고 있으며 실리카흙 20% 혼합 콘크리트가 강도향상에 매우 유리함을 알 수 있다.

이번에는 고강도콘크리트의 강도를 향상시키기 위한 방안으로 석고를 첨가한 콘크리트의 압축강도를 정리한 것이 그림.8이다.

그림.8 석고를 첨가한 실리카흙 혼합 콘크리트의 압축강도

석고를 첨가하고 실리카흙 혼합률이 증가함에 따라 콘크리트의 압축강도가 향상됨을 알 수 있으며 실리카흙 20% 혼합한 콘크리트의 경우 재령 28일 및 91일에서 압축강도가 1,058kg/cm<sup>2</sup> 및 1,170kg/cm<sup>2</sup>의 고강도를 나타냈다.

그림.9는 그림.8에서 석고와 실리카흙을 혼합하지 않은 보통콘크리트의 압축강도를 100으로 했을 때 석고와 실리카흙 혼합한 콘크리트의 압축강도를 압축강도비로 정리한 것이다.

그림.9 석고 및 실리카흙 혼합 콘크리트의 압축강도비

실리카흙을 혼합하므로써 압축강도가 크게 향상되었음을 알 수 있으며 특히 석고를 첨가한 실리카흙 20% 혼합한 콘크리트는 보통콘크리트보다 재령 28일에서 약 35% 정도 강도가 향상되었음을 알 수 있다. 강도 증가 원인으로 는 석고가 시멘트의 수화반응을 촉진하여 시멘

트경화체 조직을 치밀하게 하며, 또한 실리카 크게 증가되는 문제점이 있었다. 흙의 마이크로 필러효과 때문이라 생각된다.

끝으로 고강도용 콘크리트가 온도가 높고 슬럼프 손실이 큰 점 등을 개선하기 위한 방안으로 실리카흙 10% 혼합한 콘크리트에 고로슬래그 미분말과 플라이 애쉬를 혼합하여 제조한 콘크리트의 압축강도를 정리한 것이 그림.10이다.

(4) 실리카흙 혼합 고강도콘크리트의 제 성능을 개선할 목적으로 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 혼합한 결과, 압축강도는 혼합물에 따라 약간 상이하였으나 보통 고강도콘크리트 보다 얼마간 작게 나타났다.

그림.10 혼화재를 혼합한 고강도콘크리트의 압축강도

고로슬래그 미분말 및 플라이 애쉬를 실리카흙과 혼합하여 제조한 콘크리트의 압축강도는 실리카흙 혼합 콘크리트에 비하여 재령 91일 까지의 압축강도가 얼마간 작게 나타났으나, 장기강도의 증진효과나 수화열의 억제 및 유동성 손실을 줄이는데 유효할 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

(1) 고성능감수제와 실리카흙을 혼합한 고강도모르터 및 콘크리트의 유동성 손실을 줄이기 위하여 석고를 첨가함으로써 모르터의 플로우 손실을 줄이는데 효과가 있었으나, 콘크리트의 슬럼프 손실을 줄이는데는 큰 효과가 없었다.

(2) 고강도모르터의 강도를 향상시키기 위하여 석고를 2% 첨가함으로써 모르터의 강도가 약간 향상되었으며, 실리카흙 20%, 석고 3%를 혼합한 콘크리트의 경우 재령 91일 압축강도가 1,170kg/cm<sup>2</sup> 정도 되는 고강도를 얻었다.

(3) 고강도용 콘크리트 시험체의 최대온도는 믹싱후 20시간 이전에 나타났으며, 실리카흙을 혼합함으로써 얼마간 온도를 낮출 수 있었으나, 석고를 첨가함으로써 콘크리트의 온도가

#### 참 고 문 헌

1. 一 瀬 賢 一, “高強度コンクリートの製造”, 콘크리트工學, Vol.32, No.7, 1994.7.
2. J.J. Schemmel and M.L. Leming, “High performance Concrete for Highway Application : Field Results”, High Performance Concrete in Severe Environments, ACI SP-140, 1993.
3. Stella L. Marusin, “Chloride Ion Penetration in Conventional Concrete and Concrete Containing Condensed Silica Fume”, Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, ACI, SP 91-55, 1986, pp.1119-1133.
4. J.M. Shilstone, “High Performance Concrete Mixtures for Durability”, High Performance Concrete in Severe Environments, ACI SP-140, 1993.
5. E.Hanna, Rheological Behavior of Portland Cement in the Presence of a Superplasticizer, “Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete.” Proceedings Third International Conference, Ottawa, Canada, 1989, pp.171-187
6. V. Penttala, Possibilities of Increasing the Workability Time of High

7. K. Mitsui 외 3명, "Properties of High-Strength Concrete with Silica Fume Using High-Range Water Reducer of Slump Retaining Type", Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Proceedings Third International Conference, Ottawa, Canada, 1989.
8. 谷口裕史 외 3名, "高强度콘크리트의強度および斷熱溫度上昇に及ぼす各種材料の影響", 콘크리트工學年次論文報告集, 日本콘크리트工學協會, Vol 12-1, 1990, pp.31-36.
9. J. Le Bris 외 4명, "High Performance Concretes in the Elorn Bridge", High Performance Concrete in Severe Environments, ACI, SP 140-4, 1992, pp.73-93.
10. P.K.Mehta 외 4명, "Cement Replacement Materials", concrete technology and design, vol.3, pp.134-170.
11. Thomas Telford London, FIP Commission on Concrete, "Condensed Silica Fume in Concrete", State of the Art Report, 1988.
12. H.F.W. Taylor, "Cement Chemistry", AP, 1990, pp.234-236.
13. Xiaofeng Cong 외 3명, "Role of Silica Fume in Compressive Strength of Cement Paste, Mortar, and Concrete", ACI Materials Journal, V.89, No.4, July-August 1992, pp.375-387.

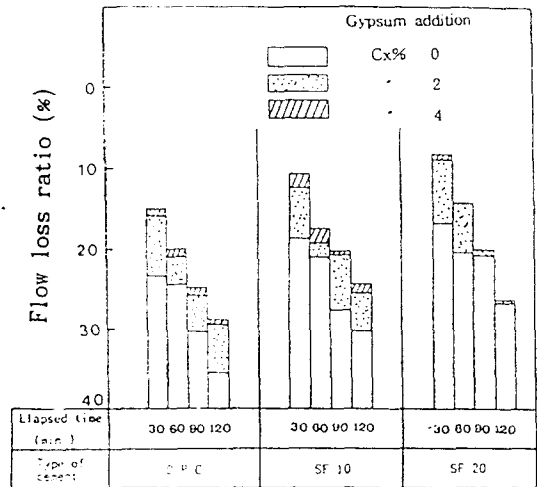


그림.1 실리카흙과 석고를 혼합한 고강도용 모르터의 플로우 손실률(S/C=1)

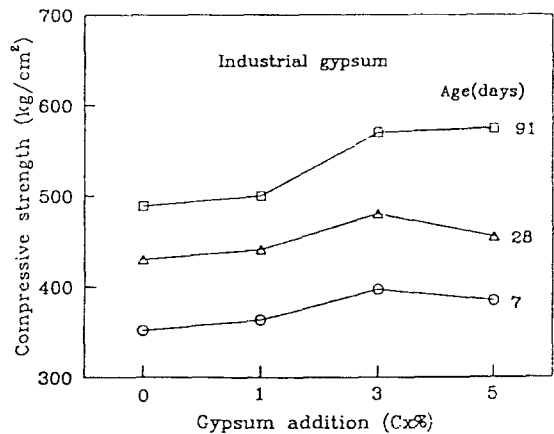


그림.2 석고를 첨가한 모르터의 압축강도(S/C=2)

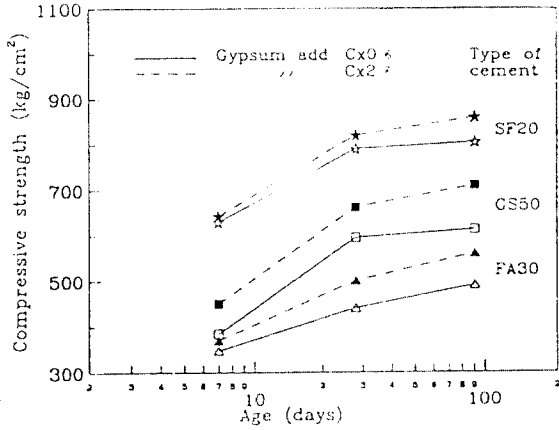


그림.3 혼화재를 사용한 모르타의 압축강도

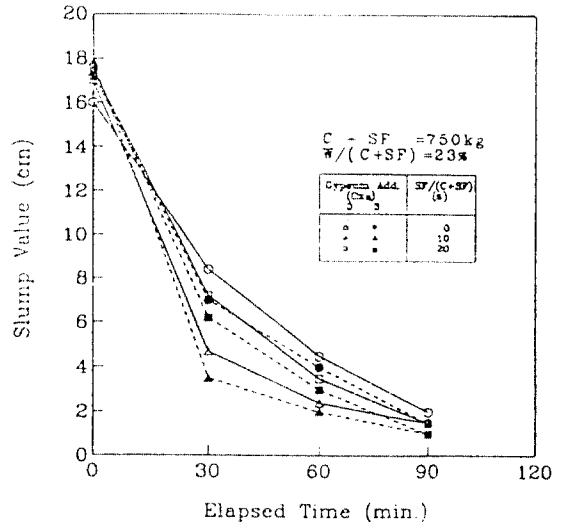


그림.4 고강도용 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 값

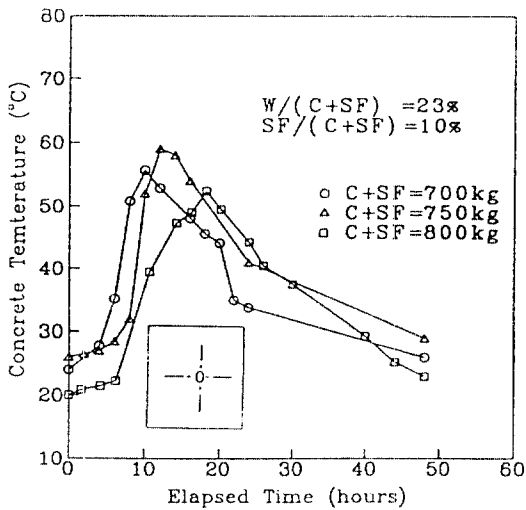


그림.5 경과시간에 따른 고강도용 콘크리트의 온도변화

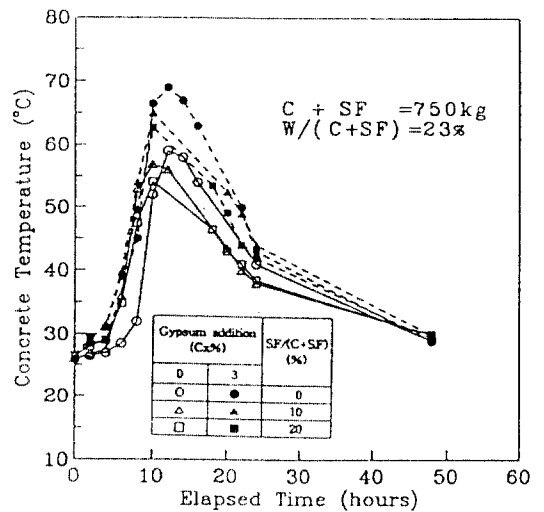


그림.6 석고를 첨가한 실리카흙 혼합 콘크리트의 온도변화

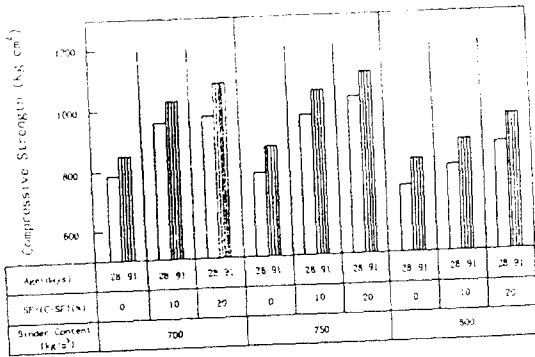


그림.7 결합재량에 따른 고강도콘크리트의 압축강도

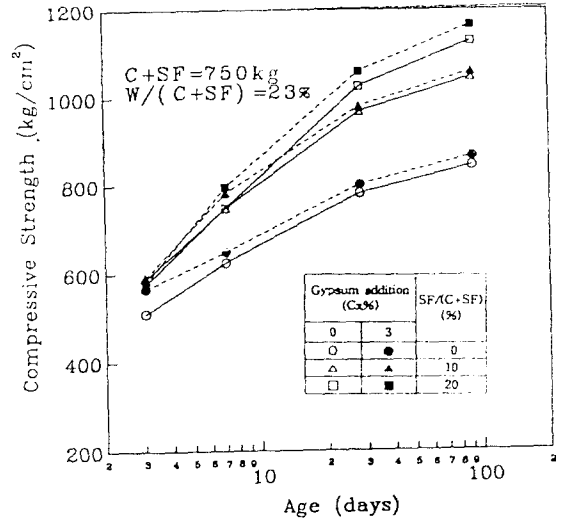


그림.8 석고를 첨가한 실리카흙 혼합 콘크리트의 압축강도

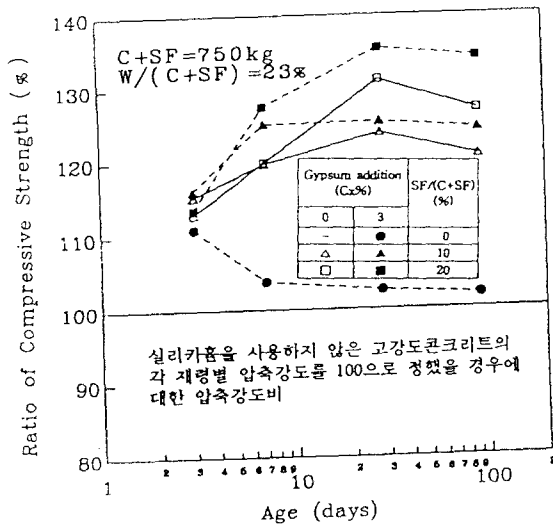


그림.9 석고 및 실리카흙 혼합 콘크리트의 압축강도비

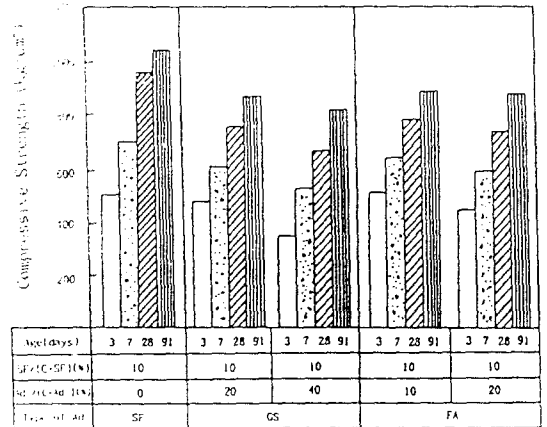


그림.10 혼화제를 혼합한 고강도콘크리트의 압축강도