

混和材를 사용한 高強度 콘크리트의 品質改善에 관한 實驗的 研究

An Experimental Study on The Quality Improvement of High Strength Concrete using Mineral Admixtures

○ 權 寧 鎭* 朴 呈 國* 李 補 根** 朴 七 林***
KWON, YEONG-HO PARK, JEONG-GUG LEE, BO-KEUN PARK, CHIL-LIM

ABSTRACT

The purpose of this study is to provide a firm base for the quality improvement of high strength concrete and the development of ultra high strength concrete as well as enviromental conservation and utilization of byproducts from industrial processing such as Fly ash and Silica fume.

A comprehensive experimental study was performed to investigate the effects on the quality improvement of high strength concrete using mineral admixtures.

As results, 400~500kg/cm² compressive strength and excellent flowability can be obtained if fly ash is replaced with cement in the range of 30%. In case of using powder type silica fume, 600~700kg/cm² compressive strength is showed and 600~800kg/cm² compressive strength can be obtained with liquid type silica fume. But it is necessary to increase dosage of high range water reducer for flowability using powder type silica fume. Especially, higher strength concrete can be obtained when maximum size of coarse aggregate is lower than 25mm.

I. 序 論

1.1 研究目的

본 연구에 앞서 수행한 "500kg/cm² 고강도 콘크리트의 實用化 研究"⁽¹⁾는 포틀랜드 1종 보통시멘트와 現場材料 및 高性能 減水劑를 사용한 것으로 이 연구의 결과를 바탕으로 초고강도 콘크리트의 개발이라는 측면과 콘크리트의 품질개선의 측면에서 산업폐기물인 FLY-ASH(이하 FA), SILICA FUME(이하 SF)의 사용방안에 대해 연구를 수행하였다.

이미 미국, 일본, 캐나다 및 노르웨이등에

서는 이러한 산업폐기물의 재사용 및 초고강도 콘크리트 실용화 연구가 수행되어 왔으며, 일부 실용화의 단계에 와 있다.⁽²⁾ 이러한 경향은 혼화재가 갖는 이점을 건설분야에 적용함으로써 더욱 발전되고 있는 추세이다.⁽³⁾

물론 SF과 같은 혼화재는 대부분 수입품에 의존하고 있는 실정이며, FA의 경우 국내 화력발전소에서 연간 生産量이 증가되고 있으나 품질이 균일하지 못한 실정이다. 다행스럽게도 韓國電力公社는 자원재활용 차원에서 FA의 건설자재 수급방안을 마련하여 93년도부터 삼천포 화력발전소에 FA 가공공장을 건설할 예정이며, 향후 충남 태안, 경남 하동 화력발전소에도 확대 건설할 계획에 있기 때문에 이러한 연구가 더 활발히 추진될 것으로 기대된다.

*정회원 (株)大宇건설기술연구소 연구원

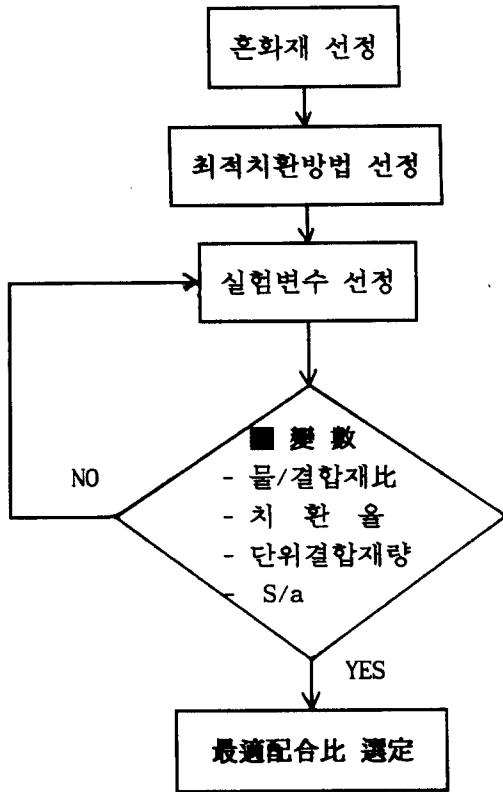
**정회원 (株)大宇건설기술연구소선임연구원

***정회원 (株)大宇건설기술연구소 소장

이에 본 연구에서는 산업폐기물을 이용한 초고강도 콘크리트 開發 및 품질향상을 위한 室內實驗을 수행한 후 그 특성을 비교·분석하여 현장실험을 위한 基本資料를 확보하고자 한다.

1.2 研究方法 및 範圍

본 연구의 실내실험은 『표 1』과 같은 FLOW에 의해 수행하였다.



『표 1』 室內 實驗 FLOW

『표 1』과 같은 FLOW를 수행하여 도출된 최적배합비로 배합방법 및 배합시간, 그리고 운반시간에 따른 경시변화와 수화열 측정 및 장기재령별 코아강도를 비교·검토하였다.

II. 實驗概要

2.1 材料選定 實驗

2.1.1 시멘트

본 연구에서 선정한 시멘트는 내수용 보통 포틀랜드 시멘트(TYPE I)로 품질시험 결과는 『표 2』와 같다.

『표 2』 시멘트 품질시험 결과

특성	비중	분말도 (cm^2/g)	압축강도 (kg/cm^2)		
			3 日	7 日	28 日
축정값	3.12	3,200	165	227	309

2.1.2 骨 材

굵은골재는 25mm 채석, 잔골재는 한강산 강 모래를 사용하였으며, 품질시험결과는 『표 3』과 같다.

『표 3』 골재의 품질시험 결과

구 분	잔골재	굵은골재
비 중	2.58	2.69
조 립 율	3.20	6.80
흡수율(%)	1.18	0.58
마모율(%)	-	21.0
실적율(%)	63.0	58.7
편평지수(F. I)	-	0.132
세장지수(E. I)	-	0.357
단위용적중량 (kg/m^3)	1,628	1,578

2.1.3 混和劑

본 연구에 사용된 혼화제는 高性能 減水劑 (DAREX SUPER-20), 減水劑(HICOL-K)이다.

2.1.4 混和材

본 연구에 사용된 혼화제는 국내산 FA와 수입품 분말 Micro SF 및 액상SF인 FORCE-10000이며, 그 특성은 『표 4』와 같다.

『표 4』 혼화재의 화학적성분 및 물리적특성

구분	화학적 성분 (%)					물리적 특성	
	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss	비중	분말도 cm ² /g
FA	89.8	0.3	0.2	1.0	4.5	2.23	3200
분말SF	94.7	0.6	0.7	-	2.3	2.38	192400
액상SF	97.6	0.8	0.3	-	2.1	2.27	200000

2.2 實驗方法

2.2.1 混和材 特性 實驗

FA와 SF의 단위수량비 및 압축강도 시험을 KS L 5402에 따라 실시하였으며, 순수 시멘트 모르타르와 FA 및 SF를 각각 첨가한 모르타르의 특성을 비교, 분석하였다.

『표 5』 혼화재별 배합 실험변수

구분	FLY	SILICA FUME	
	ASH	분 말	액 상
단위수량(W) (kg/m ³)	150~170 (3 CASE)	120~160 (5 CASE)	150~160 (2 CASE)
물/결합재비 (%)	25~36 (4 CASE)	25~36 (5 CASE)	22~33 (5 CASE)
잔 골 재 율 (%)	35~40 (3 CASE)	35~40 (3 CASE)	35~40 (3 CASE)
고성능 감수제 (결합재×%)	0.5~1.8	1.0~2.2	0.8~1.6
혼화재 치환율 (시멘트×%)	0 ~ 50 (6 CASE)	0 ~ 30 (4 CASE)	0 ~ 20 (3 CASE)

2.2.2 混和材 置換方法

혼화재의 치환방법에 따른 특성은 본 연구의 결과(4)에 따라 시멘트의 증량비 치환을 기본으로 하였다.

2.2.3 配合變數

혼화재별 배합변수는 『표 5』와 같으며 각 변수조합에 따른 슬럼프, 공기량, FLOW 값 및 재령별 콘크리트 강도를 비교, 분석하였다.

Ⅲ. 實驗結果 및 考察

3.1 混和材 特性 實驗結果

KS L 5402에 따라 FA와 SF의 단위수량비 및 압축강도비 시험결과는 『표 6』과 같다.

『표 6』 혼화재 특성 시험결과

구분	단위재료량(g)			FLOW (cm)	수량 비 (%)	강도 비 (%)
	C	S	혼화재			
표 준	500	1225	-	21.5	100	100
FA	500	1115	110	20.0	102	117
분말 SF	500	1115	110	21.5	121	141
액상 SF	500	1115	110	21.5	87.8	179

『표 6』에서 보듯이 압축강도비는 모든 혼화재가 KS 기준(100% 이상)을 만족한 것으로 나타났다. 그러나 단위수량비의 경우 분말 SF는 다른 혼화재에 비해 KS기준(105% 이하)에 못 미치는 결과를 나타내었다. 따라서 분말 SF를 사용할 경우 동일 유동성을 확보하기 위해서는 단위수량이나 고성능 감수제의 첨가량을 증가시켜야 한다.

3.2 배합변수에 따른 實驗結果

3.2.1 잔골재율(S/a)에 따른 結果分析

슬럼프의 경우는 대체로 잔골재율이 38%,

40%의 경우가 양호한 것으로 나타났으며 35%의 경우에는 材料分離 경향을 보여 주었다.

강도특성은 혼화재의 치환율에 따라 약간의 차이가 있지만 낮은 물/결합재비(27~30%) 범위에서는 잔골재율이 38%인 경우가 압축강도 및 인장강도에서 크게 측정되었으며, 높은 물/결합재비(33~36%) 범위에서는 잔골재율이 40%의 경우가 압축강도 측면에서 가장 크게 측정되었다. 따라서 본 연구에 있어서는 시공성 및 강도특성을 고려하여 잔골재율을 38% 범위로 한정시키고자 한다.

3.2.2 물/결합재비에 따른 結果分析

일반적으로 콘크리트의 강도, 내구성, 수밀성등에 가장 큰 관계가 있는 것은 물/시멘트비와 단위수량으로 볼 수 있다. 그러나 혼화재를 치환할 경우에는 시멘트와 혼화재를 結合材로 보고 물/결합재비의 개념으로 이해하여야 할 것이다.

3.2.2.1 FA 콘크리트

FA는 모르타르 시험에서 나타난 바와같이 유동성 측면에서는 매우 우수하여 流動化 슬럼프를 얻기위한 고성능 감수제의 첨가량을 대폭 줄일수 있었다. 그러나 단위수량이 일정할 때 물/결합재비에 따라 나타나는 콘크리트의 압축강도는 『그림 1』에서 보는바와 같

이 차이를 나타냈다.

『그림 1』에서 보듯이 물/결합재비에 따른 강도특성은 30~33%에서 변곡점이 존재하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 치환율에 따라 유사한 경향을 보여주었다.

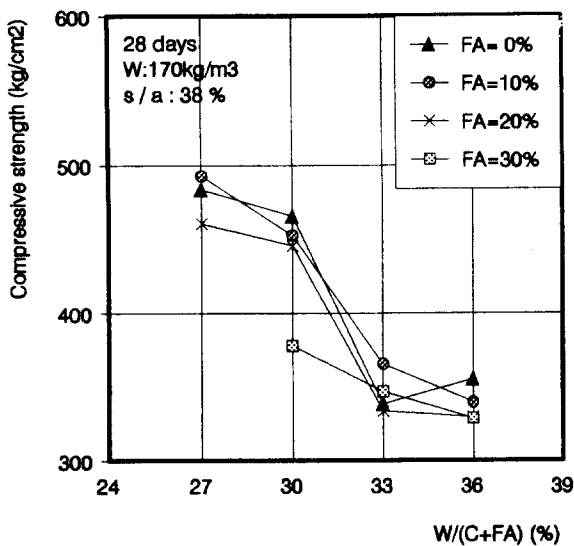
3.2.2.2 분말 SF 콘크리트

분말 SF를 치환한 콘크리트의 경우 물/결합재비에 따른 슬럼프, 공기량 등은 큰 차이가 없으나, SF의 치환율이 증가할수록 특히 10% 이상에서 슬럼프 저하가 크게 나타났다. 이는 SF 粒子가 比表面積이 매우 크기 때문에 단위수량과 반응하는 표면적이 증가될 뿐 아니라 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘과 초기 단기간에 반응하여 Gel 狀의 물질을 생성하기 때문에 슬럼프의 발현성이 매우 악화되어 슬럼프손실이 크게 나타나는 것으로 사료된다. (5)

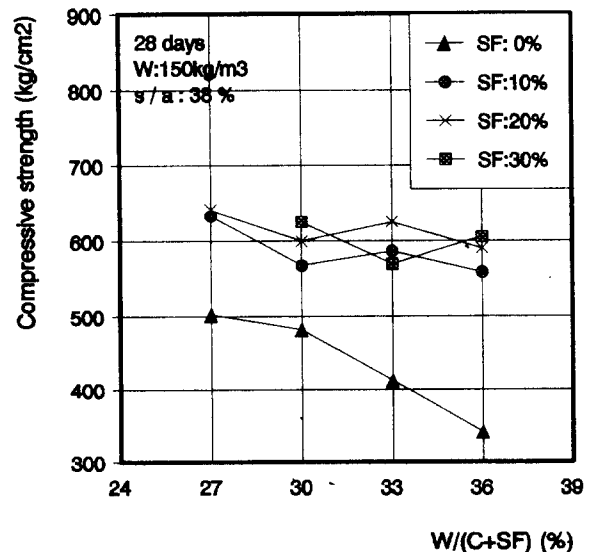
그러기 때문에 동일 슬럼프를 얻기 위해서는 단위수량을 증가시키거나 고성능 감수제의 첨가량을 증가시켜야 한다. (6) 따라서 물/결합재비 평가는 강도발현의 결과로 평가하는 것이 바람직할 것이다.

『그림 2』는 분말 SF의 물/결합재비에 따른 강도특성을 나타낸 것이다.

『그림 2』에서 보듯이 SF를 無添加한 경우와 비교할 때 SF를 치환한 콘크리트의 물/결



『그림 1』 물/결합재비에 따른 強度(FA, W=170)



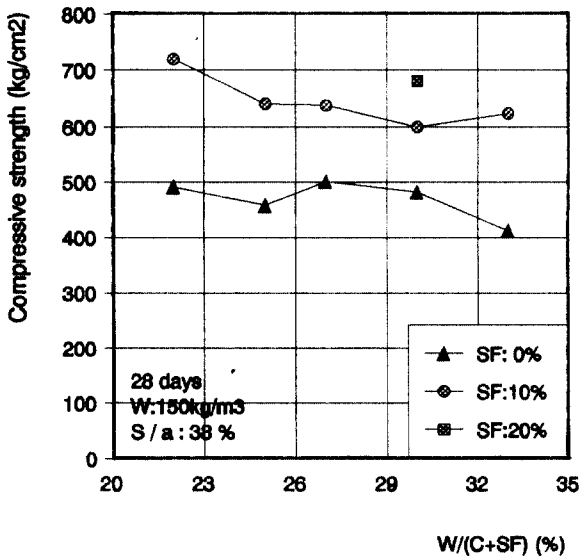
『그림 2』 물/결합재비에 따른 강도(SF, W=150)

합재비에 따른 강도발현은 크게 나타나지 않았다.

3.2.2.3 액상 SF 콘크리트

액상 SF 콘크리트는 모르타르 시험에서 나타난 결과와 마찬가지로 無置換 한 것보다 동일조건에서 유동성 효과가 큰 것으로 나타났다. 따라서 액상 SF를 사용할 경우, 요구되는 슬럼프를 얻는데 필요한 고성능 감수제의 첨가량을 줄일 수 있었다.

『그림 3』은 액상 SF의 물/결합재비에 따른 강도특성을 나타낸 것이다.



『그림 3』 물/결합재비에 따른 강도(SF, W=150)

『그림 3』에서 보듯이 10%로 치환한 경우 물/결합재비가 감소할수록 강도발현은 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. 28일에 대한 7일 압축강도비로 볼 때, 83~91% 범위로 고강도 콘크리트의 특징인 초기 강도발현이 매우 클 수 있다.

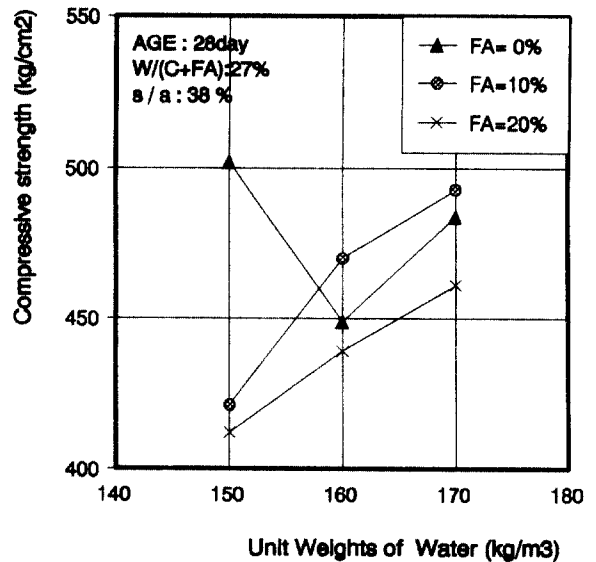
3.2.3 단위수량에 따른 결과분석

동일 물/결합재비에서 단위수량의 변동은 결국 單位 結合材量의 변수 개념으로 볼 수 있으며, 본 실험에서는 시공성이나 강도특성에서 비교적 개념상 조정이 용이한 단위수량으로 비교하였다.

3.2.3.1 FA 콘크리트

물/결합재비가 27%일 때 단위수량이 감소할수록 동일 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제의 첨가량은 증가하였다. 이러한 경향은 동일 물/결합재비에서 볼 때, 단위수량의 감소가 결국 단위 결합재의 감소를 의미하기 때문에 결합재의 一對一 對應에는 변화가 없으나 단위수량이 감소할수록 단위체적당 골재의 체적이 증가하는 결과가 되며, 이러한 체적변화에 요구되는 絶對 水量의 변동이 슬럼프에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

『그림 4』는 동일 물/결합재비에서 단위수량에 따른 강도특성을 나타낸 것이다.



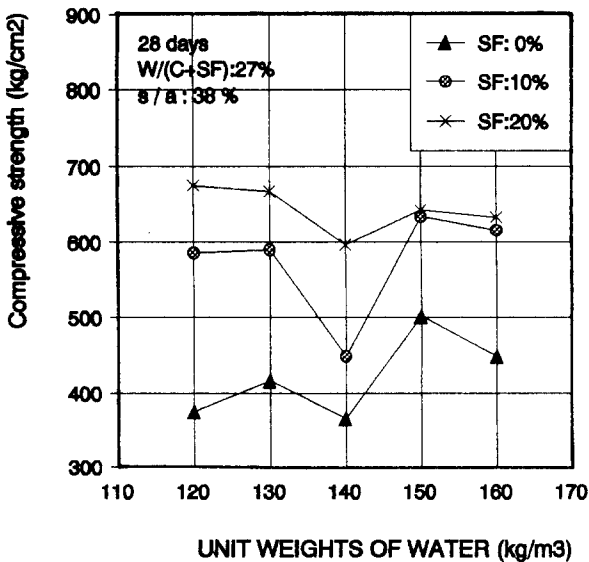
『그림 4』 단위수량에 따른 강도(FA)

『그림 4』에서 보듯이 FA가 0%인 경우를 제외하면 단위수량이 클수록 28일 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 물/결합재비가 동일한 27%의 범위에서 단위수량이 증가함에 따라 單位 結合材의 양이 증가하여 결국 전체 체적에서 페이스트가 차지하는 비율이 증가할수록 강도가 증가하는 것으로 사료된다.

3.2.3.2 분말 SF 콘크리트

단위수량이 증가할수록 동일 고성능 감수제 첨가량의 범위에서 비교해 보면 슬럼프 및 FLOW가 증가됨을 알 수 있다. 이는 동일 물/

결합재비에서 단위수량이 증가함에 따라 증가하는 결합재량에 비해하기 때문에 결국 단위 콘크리트 체적당 수량을 접하는 골재의 체적이 감소하기 때문으로 사료된다. 물론 SF의 치환율이 증가하면 고성능 감수제의 첨가량을 증가시키거나 단위수량을 증대시켜야 한다는 것도 유사한 경향을 보였다. 물/결합재비가 27%일 때, 단위수량에 따른 강도특성은 『그림 5』와 같다.



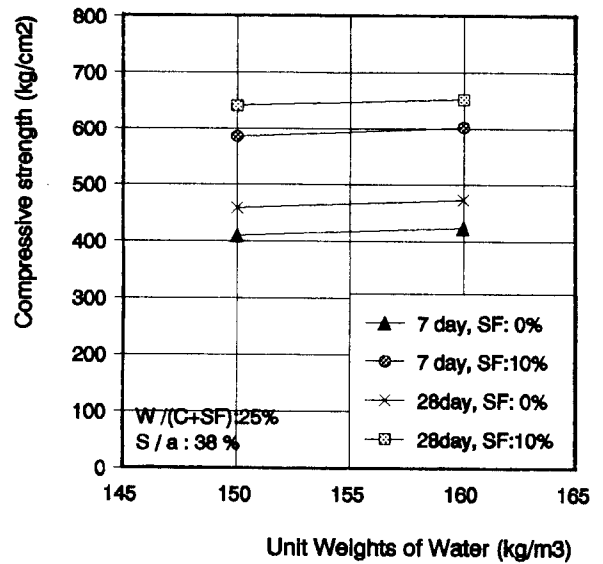
『그림 5』 단위수량에 따른 강도 (S/F)

『그림 5』에서 보듯이 최적 치환율을 10% 정도로 잡았을 때 단위수량이 150 kg/cm³인 경우가 가장 우수한 강도발현을 보여 주었다. 이러한 경향은 단위 체적당 차지하는 각 재료의 구성비에 따른 臨界點이 존재하는 것으로 사료되며, 향후 이에 대한 Mechanism상의 연구가 필요한 것으로 본다.

3.2.3.3 액상 SF 콘크리트

『그림 6』에서 보듯이 물/결합재비가 25%일 때, SF를 無添加한 배합은 단위수량이 증가할수록 소요 슬럼프 및 플로우를 얻는데 필요한 고성능 감수제의 첨가량이 감소한 반면, 10% 치환한 콘크리트는 단위수량에 따라 큰 차이를 보이지는 않았다.

이는 시멘트 입자에 비해 SF 입자의 比表面



『그림 6』 단위수량에 따른 강도 (SF)

積이 크기 때문에 단위수량을 흡착하는 표면적이 증가되며, 또한 액상 SF의 분산성능이 단위수량의 효과보다 더 크기 때문으로 사료된다. 또한 SF를 10% 치환한 것과 0% 치환한 것을 비교해 볼 때, 동일 슬럼프를 얻기 위한 고성능 감수제의 첨가량은 오히려 감소하는 것으로 나타나 액상 SF 사용시 유동성 확보에는 매우 유리한 것으로 나타났다.

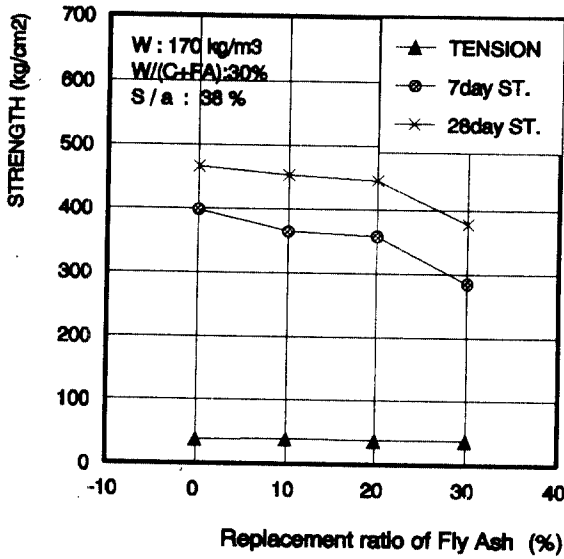
동일 물/결합재비에서 단위수량에 따른 강도의 차이가 크게 나지는 않았지만, 오히려 단위수량이 160kg/m³인 경우가 150 kg/m³인 것보다 약간 크게 측정되었다. 이러한 경향은 粉級 SF 콘크리트에서 나타난 것처럼 單位結合材量의 증가로 인한 강도증진으로 사료된다.

3.2.4 置換率에 따른 結果分析

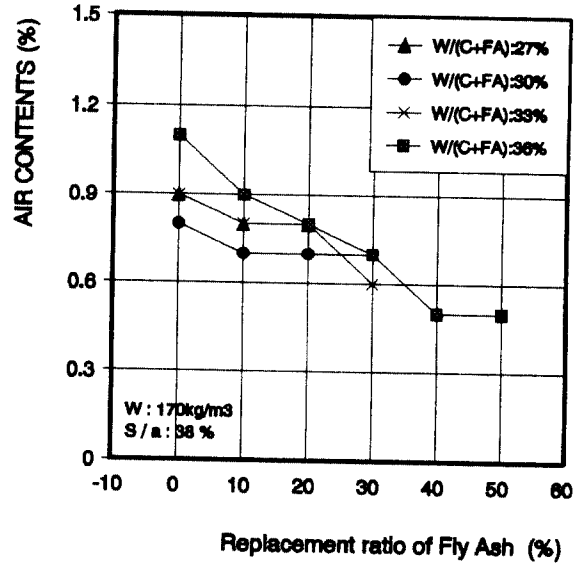
3.2.4.1 FA 콘크리트

1) 強度特性

본 연구를 수행한 결과를 비교·분석하였을 때, 일반적으로 FA의 치환율이 증가할수록 초기강도(7일, 28일)는 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 시멘트 수화물과 FA의 실리카 성분이 반응하는 포졸란 반응이 후기 재



『그림 7』 치환율에 따른 강도(FA)



『그림 8』 치환율에 따른 공기량(FA)

령에서 일어나기 때문인 것으로 사료된다. (7)
 (8) 물/결합재비와 단위수량에 따른 결과물 토대로 비교·분석하였을 때, FA 콘크리트에서 가장 적합한 것으로 나타난 물/결합재비 30%, 단위수량이 170 kg/m³인 경우의 FA 치환율에 따른 콘크리트의 특성을 비교하면 『그림 7』과 같다.

『그림 7』에서 보듯이 일반적으로 FA의 치환율이 클수록 강도발현이 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 치환율에 따른 초기 재형의 강도감소율을 비교해 볼 때 치환율 20%까지는 서서히 감소하지만, 30%에서는 강도 감소율이 커지는 것으로 나타났다.

따라서 향후 FA 치환시 20%까지는 유동성과 강도발현을 만족하는 범위로 생각되며, 그 이상의 FA를 치환한 경우 초기에 요구되는 강도와 응결시간을 고려하여 시험배합으로 결정하는 것이 바람직하다.

2) 空氣量

치환율에 따른 공기량의 변화는 FA의 분말도, 미연탄소 함유량, 화학성분등의 영향이 크다. 본 연구에서는 동일한 FA를 사용하여 치환율에 따른 空氣量을 비교·분석하였다. 『그림 8』은 단위수량이 170kg/m³일 때, 각 물/결합재비에 대한 FA 치환율에 따른 공기량의

변화를 나타낸 것이다.

『그림 8』에서 보듯이 FA의 치환율이 증가할수록 공기량이 감소한다는 것을 알 수 있다.

일반적으로 FA를 부분치환한 콘크리트는 공기량이 감소하게 된다. 이것은 FA에 포함된 탄소함유량 때문이다. 炭素는 석탄의 不完全燃燒에 의해 생성되어 배합시 공기연행체를 흡착하는 성질을 갖고 있다. 또한 有機物, 強熱減量이 증가할수록 소성 콘크리트 상태에서 공기손실이 크며, FA의 알칼리 함유량이 크면 공기손실은 줄어든다. C FA는 F FA에 비해 공기량과 공극의 크기가 안정한 것으로 측정되는데, 이는 F FA에 有機物과 不燃燒 炭素가 남아 있기 때문이다. (9)

국내에서 생산되는 FA는 ASTM에서 규정한 분류 가운데 F Type에 속하기 때문에 공기량의 감소는 필연적인 것으로 사료된다. 따라서 내구성 등의 요구로 공기연행체를 사용할 경우 단위 AE제량은 FA의 혼입율이 증가할수록 증가되기 때문에 AE제 그 자체가 콘크리트의 성질에 미치는 惡影響의 有·無가 문제로 된다

3) 凝結時間

FA를 부분치환한 콘크리트의 응결시간은 FA를 사용하지 않은 콘크리트에 비해 응결시간이 지연되며, 또한 FA치환율이 증가할수록 지

연시간은 길어지게 된다. (10) 본 연구를 수행하면서 FA의 凝結遲延을 비교해 보면, FA 20% 치환까지는 종래의 방법과 별 차이없이 공시체 제작후 1일 氣乾 양생하여 공시체를 탈형할 수가 있었으나 FA 30% 이상 치환을 할 경우에는 응결 지연 시간이 20~30% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

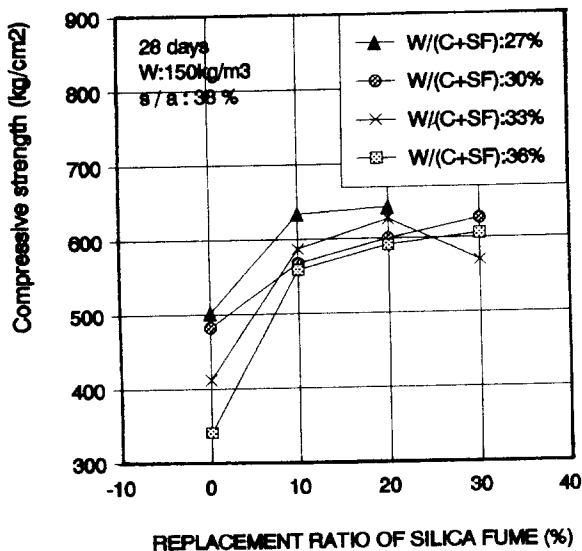
따라서 FA를 30% 이상 치환하여 구조물에 시공하였을 경우 응결 지연에 따른 초기 재령의 強度發現과 거푸집 除去時期를 함께 고려해야 할 것이다.

3.2.4.2 분말 SF 콘크리트

1) 強度特性

분말 SF의 치환율이 증가할수록 일반적으로 강도증진은 커지지만 강도증진비는 크게 증가하지 않는다. 본 실험에서는 치환율을 0~30% 까지 하였을 때 강도특성에 미치는 영향을 비교·분석하였다.

단위수량이 150kg/m³일 때, 각각의 물/결합재비에 따른 재령별 SF의 치환율에 따른 압축강도는 『그림 9』와 같다.



『그림 9』 치환율에 따른 강도특성 (SF)

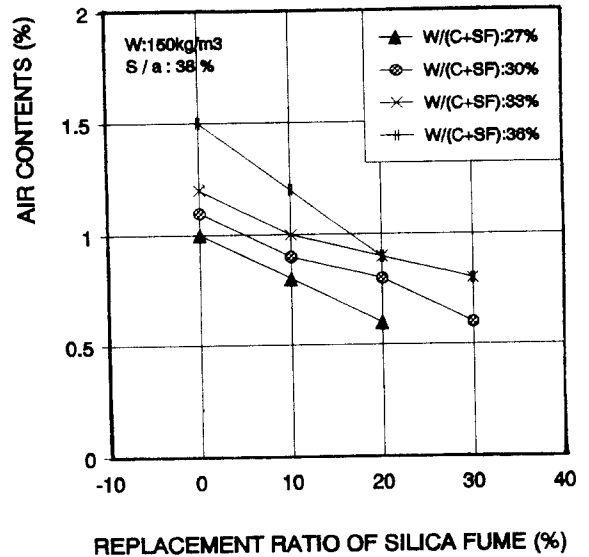
『그림 9』에서 보듯이 치환율이 증가할수록 압축강도가 큰 것으로 나타났다. 그러나 분말 SF의 효율적인 치환율을 고려한다면 각각의

치환율에 대한 강도증가비를 비교해 볼 때 10% 치환이 가장 효과적인 범위로 사료된다.

특히 국내 실정상 SF의 가격을 고려할 때, 경제적인 범위로 산정할 필요가 있을 것이다.

2) 空氣量

분말 SF도 비표면적이 매우 크고, 미연탄소 성분을 포함하고 있기 때문에 보통 콘크리트에 비해 공기량을 흡착하는 성질이 있다. 『그림 10』은 단위수량이 150kg/m³일 때, 치환율에 따른 공기량의 변화를 각각의 물/결합재비에 대해 나타낸 것이다.



『그림 10』 치환율에 따른 공기량(S/F)

『그림 10』에서 보듯이 SF의 치환율이 증가할수록 공기량이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 SF의 치환율이 클수록 공기량을 흡착할 수 있는 미연탄소 성분이 증가하기 때문으로 사료된다. 이러한 경향은 시멘트의 종류, 단위시멘트량, 고성능 감수제의 有·無, 그리고 SF의 종류에 따라 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 특히 동일 단위수량에서 물/결합재비에 따른 공기량의 변화를 고려하면 물/결합재비가 감소할수록 공기량이 감소하는 것으로 나타났다.

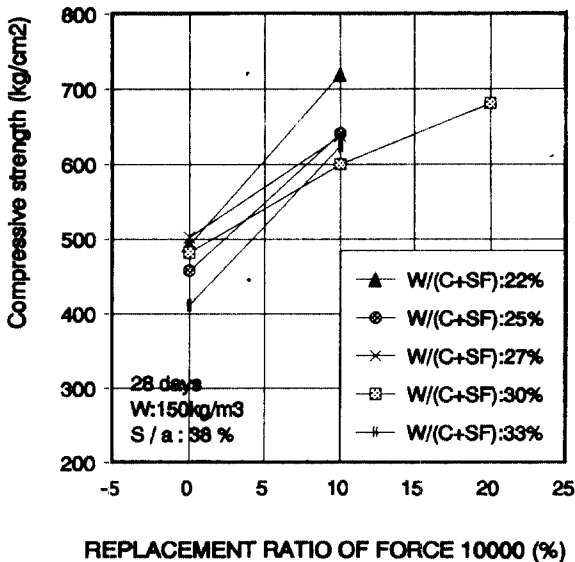
이는 SF의 치환율과 함께 단위시멘트량을 포함한 結合材의 량에 따라 차이가 크다는 것

을 의미한다. 물론 SF의 입자가 콘크리트의 특성에 미치는 영향으로 微細粒子의 충전성이나 포졸란 반응성 등에 의해 乾燥收縮의 저감, 水密性 등에 우수한 특성을 갖고 있기 때문에 내구성에 별 문제가 없지만 구조물의 조건에 따라 일정 공기량의 함유가 요구될 때는 공기연행제를 사용하는 경우도 발생할 수 있다.

3.2.4.3 액상 SF 콘크리트

1) 強度 特性

SF의 상태가 粉級과 液狀에 따라 차이도 있으며 화학조성이나 물리적 특성, 즉 비중이나 분말도의 영향을 많이 받게 된다. SF의 선정 시험에서 볼 때 액상과 분말은 化學成分과 比重, 粉末度, 壓縮強度比 및 單位水量比가 다르기 때문에 강도 발현성에도 차이가 있을 것이다. 『그림 11』은 단위수량이 150kg/m³일 때 액상 SF의 치환율에 따른 각 변수별 강도특성을 나타낸 것이다.



『그림 11』 치환율에 따른 강도 특성 (SF)

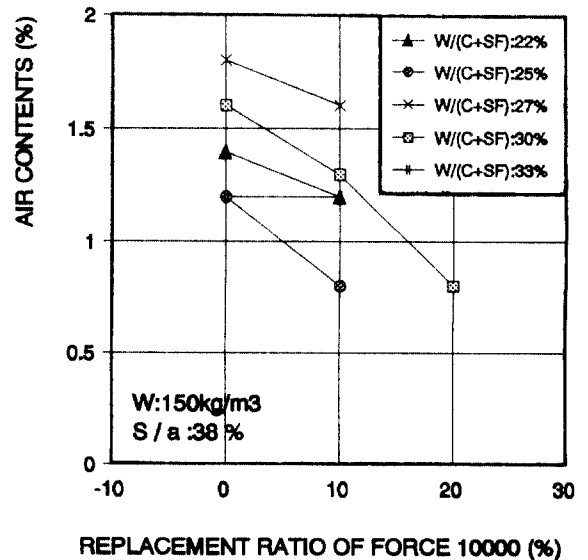
『그림 11』에서 보듯이 재령 28일의 압축강도는 SF 10% 치환에 따른 강도 증가비가 40~46%로 크게 증진되었다. 또한 재령별 강도 발현성을 비교해 볼 때, 28일에 대한 7일 압축강도비는 83~91%를 나타내므로 고강도 콘크리트의 초기 재령에서 강도 발현이 높다는 것을 알 수 있다.

리트의 초기 재령에서 강도 발현이 높다는 것을 알 수 있다.

2) 空氣量 特性

SF 콘크리트의 공기량은 시멘트 종류, 단위 시멘트량, SF의 종류 및 미연탄소의 함유량, 비표면적등에 영향을 받는다.

액상 SF을 치환한 콘크리트의 치환율에 따른 공기량의 변화는 『그림 12』와 같다.



『그림 12』 치환율에 따른 공기량 (SF)

『그림 12』에서 보듯이 대부분의 경우 SF의 치환율이 증가할수록 공기량이 감소하였다.

SF 콘크리트의 경우 Micro filler 효과와 포졸란 반응에 의해 큰 공극이 감소하고 미세 공극이 많아져 경계면에서 결합재와 골재간의 부착력이 증대될 뿐 아니라 結合材間에 수밀성이 증대되기 때문에 凍結融解 저항에 우수한 것으로 나타났다. 그러나 동결융해의 우려나 환경조건에 따라 공기연행을 시킬 필요가 있을 경우에는 ACI 및 CAN/CSA에서 권장하고 있는 바와 같이 적당량의 AE제를 사용할 수 있을 것이다.

IV. 結 論

혼화재를 사용한 고강도 콘크리트의 품질개

선 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 혼화재를 첨가한 모르타르 시험결과 압축강도비는 모든 혼화재가 기준을 만족하고 있으나, 단위수량비 실험결과 분말 SF의 경우 유동성을 확보하기 위한 방안이 필요하다.
- ② 국내산 FA는 고강도 콘크리트 생산보다 치환율 30% 범위에서 300~500kg/cm² 콘크리트 품질개선이나 경제적 배합을 위해 사용 되는 것이 바람직하다.
- ③ 분말 SF를 치환한 콘크리트는 물/결합재비 27% 전후에서 가장 효율적인 강도발현을 나타냈으며 강도증가 효율면에서 볼 때, 치환율 10%로 600~700kg/cm² 고강도 콘크리트를 생산하는 것이 바람직하다.
- ④ 액상 SF를 사용한 콘크리트는 유동성 개선에 매우 효과가 크기 때문에 물/결합재비가 22~25% 범위에서 10% 치환율로 700kg/cm² 이상의 초고강도 콘크리트 생산에 적합하다. 또한 굵은골재의 최대크기를 25mm이하로 사용할 경우 그 이상의 강도발현에 매우 효율적일 것으로 사료된다.
- ⑤ 모든 혼화재는 치환율이 증가할수록 공기함유량이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 실리카질 혼화재에 함유된 未燃炭素로 인한 공기흡착의 영향으로 사료된다.
- ⑥ 혼화재의 가격을 고려하여 국내산 FA의 품질을 향상시키는 방안이 요구되며, 또한 현장 실용화를 위하여 B/P에 혼화재 투입을 위한 부대설비의 투자도 요구되고 있다.
- ⑦ 향후 고강도 콘크리트 실용화 및 초고강도 콘크리트 개발을 위해 學·研·産의 공동연구와 정부의 지원정책이 함께 이루어 져야 할 것이다.

<참고문헌>

1. 박철립, 조철근, 양은익, 장승규, 권영호, "現場 打設 高強度 콘크리트의 施工性 및 強度特性에 관한 實驗的 研究", 한국콘크리트학회논문집, Vol. 3, No. 2, 1991, pp. 97-104.
2. Dunstan, M.R.H., "Rolled Concrete for

Dams-A Laboratory Study of High FLY ASH Concrete", Technical Note No.105, Construction Industry Research and Information Association, London, 1981, pp.96

3. 柿崎正義他 : 建築物へのフライアッシュの利用(含原子力), 石炭灰處理システムと有効利用技術『フジテクノシステム』1981年
4. 권영호, 박정국, 안재현, 박철립, "濕和材의 置換方法에 따른 高強度 콘크리트의 실험적 연구", 한국콘크리트학회, 가을 학술 발표회 논문집, 제4권2호, 1992. pp.5~10
5. Aitcin, P.C., Pinsonneault, P., and Rau, G. "The Use of Condensed Silica Fume in Concrete," Proceedings, Materials Research Society Annual Meeting, Boston, Nov. 1981, pp.316~325
6. Sellevold, E.J., and Radjy, F.F. "Condensed Silica Fume(Microsilica) in Concrete : Water Demand and Strength Development," Proceedings, First International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Other Mineral Byproducts in Concrete, Montebello, Canada, Editor: Malhotra, V.M., ACI SP-79, Vol. 2, July-Aug. 1983, pp.677~694
7. Helmuth, Richard, FLY ASH in Cement and Concrete, Portland Cement Association, Skokie, 1987, 203pp.
8. Malhotra, V.M., "Supplementary Cementing Materials Concrete", CANMET, 1987, 428pp.
9. John W. Brook, Reynold A. Berkey, and Hamid Farzam, "A Non-Chloride Accelerating Admixture for class CF FLY ASH", Concrete International, October, 1990, pp. 51~54
10. M. Berra, G. Ferrara, "The Effect of Fly ash from Mixed Combustion(Coal/Fuel Oil Ash) on the Chemical and Physical Properties of Cement Ash Mixes," ACI International Conference on Mineral Admixtures in Concrete, Spain. 21~25/4/1986