

실리카 흙 및 플라이 애쉬를 사용한 고강도 콘크리트에 관한 연구

(혼화재가 조기강도에 미치는 영향 I)

박 기 철

〈중앙대 박사과정, 원광대 강사〉

정 현 수

〈중앙대 교수, 공학박사〉

1. 서 론

산업부산물인 실리카 흙(Silica Fume)과 플라이 애쉬(Fly Ash)를 이용하여 고강도 콘크리트를 만드는 연구가 선진국에서는 활발하게 진행되고 있으나, 국내 상황은 아주 미미한 실정이다. 실리카 흙은 평균 粒徑이 0.02~0.54 μm 로 대단히 작고 이산화규소(SiO_2) 함유율이 90% 이상을 차지하고 있으며, 시멘트의 수와에 의해서 생성되는 수산화 칼슘($\text{CA}(\text{OH})_2$)과 실리카가 Pozzolanic reaction을 일으켜서 내부조직을 밀실하게 하기 때문에 콘크리트의 수密性, 耐久性을 개선하고 콘크리트 強度를 증진시킨다.

본 연구에서는 混和材로써 실리카 흙과 플라이 애쉬를 사용하고, 混和劑로써 나프타린계의 고성능 감수제를 이용하여 콘크리트의 28일 압축강도가 1000 kg/cm^2 정도의 초고강도 콘크리트를 얻는데 그 목적이 있다.

2. 실험 개요

2.1 실험 계획

국내외적으로 발표한 기존 논문의 실험결과

를 분석해서 콘크리트 강도를 더 높일 수 있는 방향으로 실험변수를 설정하였다. 실험조건에 따라 변수들이 다양하게 변하기 때문에 본실험에서는 세골재율 35%, 단위 시멘트량은 650 kg/cm^3 로 고정시키고 혼화재는 실리카 흙을 플라이 애쉬 양보다 많이 혼입하였을 때 강도증진을 보였기 때문에 실리카 흙은 시멘트량의 10, 20%로 했으며 플라이 애쉬는 5, 10%로 실리카 흙보다 적게 배합했다.

본 실험에서는 물·결합재비(결합재=시멘트 + 실리카 흙, 플라이 애쉬)와 혼화재의 양을 변수로 해서 4개의 serise로 하였다. 먼저 논문(I)에서는 실리카 흙과 플라이 애쉬가 조기강도에 미치는 영향에 대해서 중점적으로 서술하겠으며, 논문(II)에서는 28일 강도를 포함하여 특히 물·결합재비가 낮은 범위에서 혼화재가 콘크리트 압축강도에 미치는 연구결과를 발표할 예정이다.

본 실험에 사용한 실리카 흙 및 플라이 애쉬의 요인 및 수준을 < 표 1 >에 나타냈다. 표에 나타난 실리카 흙 및 플라이 애쉬, 고성능 감수제의 혼입율은 시멘트에 대한 비율이다.

콘크리트 압축강도에 영향을 주는 가장 중요한 인자는 물·결합재비이다.

<표 1> 요인 및 수준

요 인	수 준
물 결합재비 (%)	18, 21, 25, 32,
실리카흙 혼입율 (%)	0, 10, 20,
플라이 애쉬 혼입율 (%)	0, 5, 10,
실리카흙+플라이 애쉬 혼입율 (%)	15, 30
고성능 감수제 첨가율 (%)	0.3~1.2
목 표 슬 럼 프	15cm

본 연구에서는 수화작용에 필요한 최소 물·결합재비인 18% 정도에서 32%까지 4단계로 배합했고, 슬럼프값을 15cm로 목표하여 고성능 감수제의 양을 조절하였다.

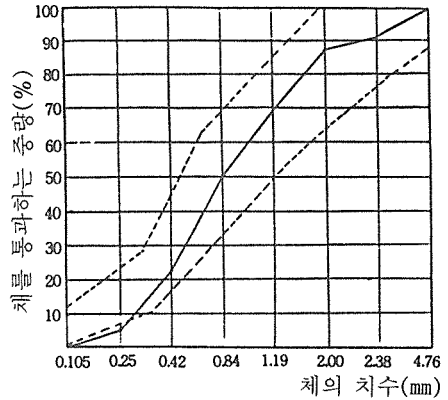
물·결합재비가 21%일때에 감수제량을 1.2% 첨가하여 슬럼프 경시 변화를 측정하였다.

2.2 사용 재료

실험에 사용한 실리카흙은 네덜란드산인 Elkem Microsilica 이고, 무연탄 연소시 분출된재인 플라이 애쉬는 충남 서천화력 발전소에서 기증 받은 것을 사용하였다. <표 2>는 실험에 사용한 실리카 흙 및 플라이 애쉬의 화학 성분을 나타낸다.

<표 3>은 고성능 감수제인 Mighty150의 화학적 성질을 나타내었다.

(그림 1)은 細骨材의 粒度分布를 나타냈다. 세 골재는 입진강산이며 조립율은 2.76이고, 최대 치수가 10mm인 쇄석을 사용하였다.



(그림 1) 細骨材의 粒度分布

<표 4>는 콘크리트 배합표를 나타냈다. 공시체명에 나타낸 A는 물·결합재비가 18%이며 S는 실리카흙, F는 플라이 애쉬를 각각 나타낸다. 그 다음 숫자는 혼화재 비율을 표시한 것이다. S10은 실리카흙 10%를 나타내며, SF15는 실리카흙과 플라이 애쉬를 각각 10%, 5%를 모두 합한 15%의 혼화재를 나타낸다.

2.3 실험 방법

콘크리트 강도는 비빔방법에 따라 다소 차이가 있다는 기초 논문 보고서가 나와 있다.¹⁾ 본 실험에서는 기존 논문에서 압축강도를 가장 크게 얻은 방법을 선택하였다.

콘크리트 비빔은 100ℓ 용량의 강제식 믹서를 사용하여 (그림 2)에 나타낸 방법으로 실시했다.

<표 2> 실리카 흙과 플라이 애쉬의 화학적 성질

종 류	화 학 성 분 (%)								비중
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃	
실 리 카 흙	94	0.7	0.3	0.4	0.5	1.3	1.5	—	2.2
플 라이 애 쉬	60.86	22.51	5.19	0.28	0.32	5.87	1.19	0.37	2.1
시 멘 트(1종)	20.9	6.0	3.2	62.6	—	—	3.3	2.3	3.15

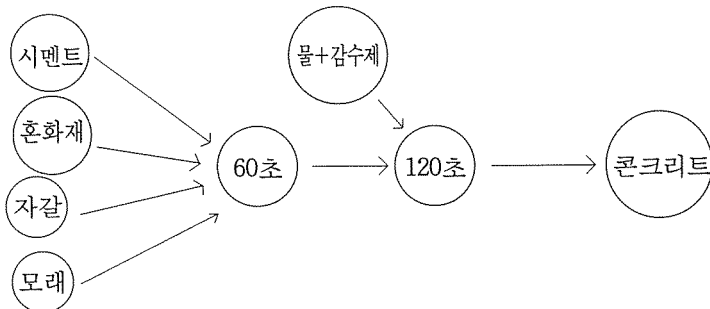
<표 3> 감수제의 화학적 성질

구 분	주 성 분	고형분(g/ℓ)	비중(20℃)	PH	외 관	표준사용량
MT 150	나프타린 슬폰 산염 포르말린 축합물	480	1.2	10±1	흑갈색	c×1.5-1%

< 표 4 > 콘크리트 배합표

공시체명	물·결합재비 W/(C+Ad) ^{b)} (%)	세골재율 (%)	감수제 첨가율 (%)	실리카흙 혼입율 (%)	플라이애쉬 혼입율 (%)	단위량 (kg/m ³)						슬럼프 치(cm)
						물 W	시멘트 C	실리카흙 S	플라이애쉬 F	모래 S	자갈 G	
A-S-0	18	35	0.9	0	0	117	650	0	0	618	1148	19
A-S-10	18	35	1	10	0	117	585	65	0	610	1133	18
A-S-20	18	35	1.2	20	0	117	520	130	0	602	1118	16
A-F-5	18	35	1	—	5	117	617.5	0	32.5	614	1139	17
A-F-10	18	35	1	—	10	117	585	0	65	609	1131	15
A-SF-15	18	35	1.2	10	5	117	552.5	65	32.5	605	1124	15
A-SF-30	18	35	1.2	20	10	117	455	130	65	592	1100	14
B-S-0	25	35	0.6	0	0	162.5	650	0	0	576	1070	16
B-S-10	25	35	0.65	10	0	162.5	585	65	0	568	1055	17
B-S-20	25	35	0.8	20	0	162.5	520	130	0	560	1039	14
B-F-5	25	35	0.7	0	5	162.5	617.5	0	32.5	571	1061	16
B-F-10	25	35	0.8	0	10	162.5	585	0	65	567	1052	15
B-SF-15	25	35	1.2	10	5	162.5	522.5	65	32.5	563	1046	15
B-SF-30	25	35	1.2	20	10	162.5	455	130	65	592	1021	14
C-S-0	32	35	0.3	0	0	208	650	0	0	534	992	20
C-S-10	32	35	0.3	10	0	208	585	65	0	526	976	19
C-S-20	32	35	0.6	20	0	208	520	130	0	517	961	18
C-F-5	32	35	0.5	0	5	208	617.5	0	32.5	529	983	17
C-F-10	32	35	0.5	0	10	208	585	0	65	524	974	15
C-SF-15	32	35	1	10	5	208	552.5	65	32.5	521	967	16
C-SF-30	32	35	1	20	10	208	455	130	65	508	943	15
D-S ₁ -0	21	35	1.2	0	0	136.5	650	0	0	600	1115	18
D-S ₂ -0	21	35	1.2	0	0	136.5	650	0	0	600	1115	17
D-S ₁ -20	21	35	1.2	20	0	136.5	520	130	0	584	1084	18
D-S ₂ -20	21	35	1.2	20	0	136.5	520	130	0	584	1084	16
D-F ₁ -10	21	35	1.2	0	10	136.5	585	0	65	591	1097	15
D-F ₂ -10	21	35	1.2	0	10	136.5	585	0	65	591	1097	16

- 1) Ad: 혼화재(실리카 흙, 플라이 애쉬)
 2) 슬럼프치: 실험시 측정된 실측치이다.



(그림 2) 비빔 방법

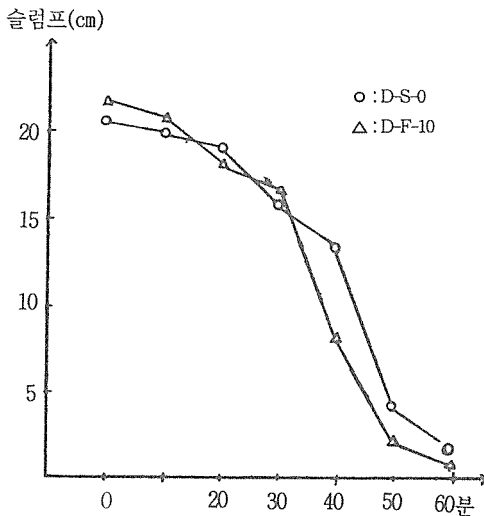
<표 5> 7일 강도의 실험 결과

공시체명	7일강도(kg/cm ²)	공시체명	7일강도(kg/cm ²)	공시체명	7일강도(kg/cm ²)	공시체명	7일강도(kg/cm ²)
A-S-0	454	B-S-0	455	C-S-0	480	D-S-0	488
A-S-10	550	B-S-10	628	C-S-10	566	D-S-10	512
A-S-20	610	B-S-20	580	C-S-20	567	D-S-20	564
A-F-5	499	B-F-5	517	C-F-5	469	C-S-20	605
A-F-10	474	B-F-10	521	C-F-10	494	D-F-10	570
A-SF-15	659	B-SF-15	550	C-SF-15	589	D-F-10	545
A-SF-30	675	B-SF-20	562	C-SF-30	484		

콘크리트 압축강도는 7일 강도를 측정 했으며 또한 28일, 90일, 120일 강도를 측정할 예정이다. 양생은 26°C에서 수중양생하였다.

3. 실험결과 및 고찰

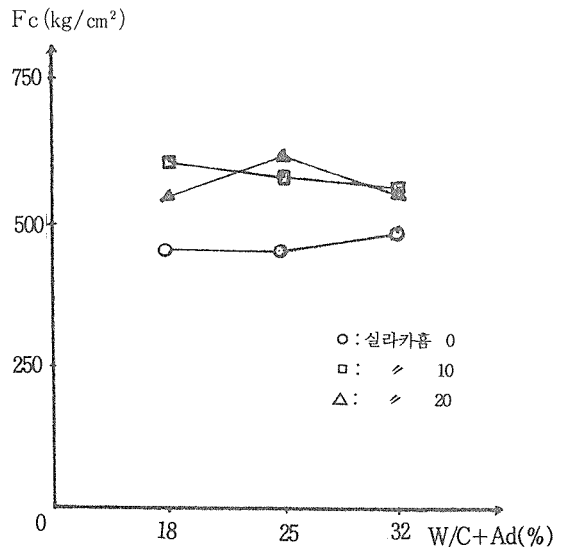
감수제 첨가율은 물·결합재비가 적을 수록, 혼화제 첨가율이 클 수록 목표 슬럼프를 얻기 위해 많은 양의 감수제를 필요로 했다. 그러나 감수제 첨가율이 1.2%를 넘는 공시체는 없었다. <표 5>는 7일 압축강도를 나타낸 결과표이며, 각 실험값은 3개의 공시체를 실험해서 얻은 평균값이다.



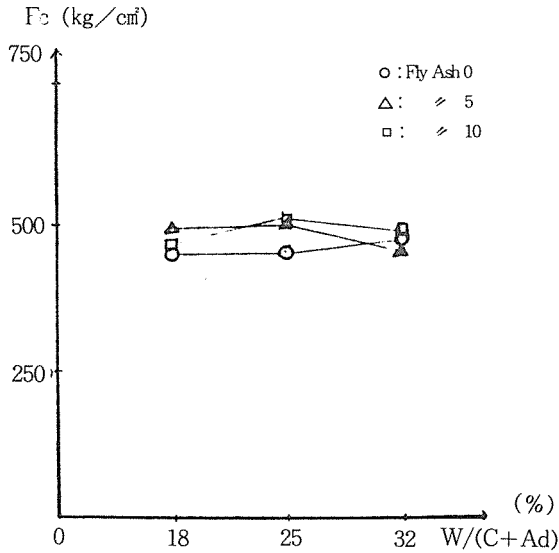
(그림 3) 슬럼프 값의 경시 변화

D series에서는 물·결합재비 21%, 감수제 1.2% 일때 슬럼프 값의 경시 변화를 측정 하였으며, (그림 3)에 결과를 나타냈다. 플라이 애쉬를 10% 첨가한 공시체와 플레인 콘크리트인 경우 큰 차이를 보이고 있지 않으나 혼화제를 첨가한 공시체는 30분 경과후에 급격한 슬럼프로스를 보여주고 있으며, 플레인 콘크리트인 경우는 40분 이후에 급격한 저하를 보이고 있다.

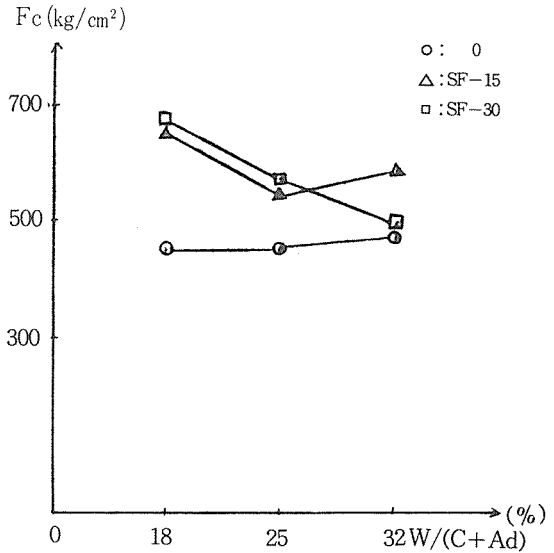
(그림 4)는 실리카 흙을 사용한 실험결과로써 7일 압축강도와 물·결합재비와의 관계를 나타낸 것이다. 혼화제를 사용한 공시체가 혼화제를 사용하지 않은 공시체보다 전반적으로 압축강도가 약 26% 정도 크게 나타났다. 물·결합재비 18, 25, 32(%)별로 압축강도 증가율을 보면 28, 32, 18%로써 물·결합재비가 낮은 공



(그림 4) 물·결합재비와 콘크리트 강도의 관계(실리카 흙)



(그림 5) 물·결합재비와 콘크리트 강도와와의 관계(플라이 애쉬)



(그림 6) 물·결합재비와 콘크리트 강도와와의 관계(SF)

시체 쪽이 큰 증가율을 보였다.

콘크리트 7일 압축강도는 실리카 흙 10% 혼입한 Bserise 공시체가 628kg/cm²로 가장 큰 값을 보이고 있으며, 그 다음은 실리카 흙 20% 혼입한 Aserise 공시체가 610kg/cm²를 나타내고 있다.

(그림 5)는 물·결합재비와 플라이 애쉬 함량이 콘크리트 7일 강도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 물·결합재비가 32%인 경우 압축강도는 혼화재를 사용하지 않을 경우와 거의 같은 값을 나타내고 있다. 물·결합재비가 25%인 경우에는 플라이 애쉬를 사용했을 때가 약 14%로 가장 크게 증가 했으며, 이때의 압축강도는 521kg/cm²이고, 플라이 애쉬에 의한 강도변화는 큰 차이를 보이고 있지 않다.

(그림 6)은 실리카 흙과 플라이 애쉬를 2:1의 비율로 혼입하여 실험한 결과이다.

지금까지 다른 공시체에 비해 가장 큰 압축강도를 보이고 있다. 물·결합재비가 18%인 경우에 혼화재를 사용하지 않은 공시체 보다 압축강도가 48%정도 크게 나타났다. 7일 강도에 있어서 가장 큰 압축강도를 보인 것은 물·결합재비가 18%일 때 혼화재로써 실리카 흙 20%, 플라이 애쉬 10%를 혼입했을 경우 675kg/cm²

cm²를 보였다.

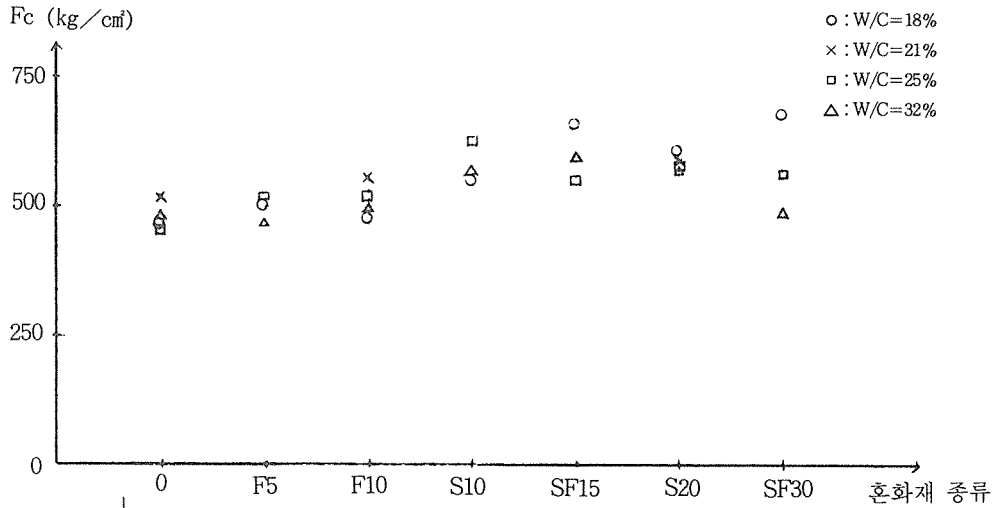
(그림 7)은 모든 공시체의 7일 압축강도를 나타낸 것이다. 혼화재를 사용하지 않은 경우에 7일 강도에 있어서 물·시멘트비에 의한 차이는 크게 나타나고 있지 않다. 또한 플라이 애쉬와 실리카 흙을 각각 사용한 것보다 실리카 흙과 플라이 애쉬를 섞은 공시체가 압축강도 증진에 큰 효과를 보이고 있다.

(그림 8)은 혼화재를 사용하지 않은 공시체의 압축강도에 대한 혼화재를 첨가한 공시체의 압축강도 증가비를 혼화재 종류 및 혼입량에 따라 그림으로 나타낸 것이다. 물·결합재비가 낮을 때 혼화재량이 많을수록 압축강도 증가 폭이 큰것을 알 수 있다.

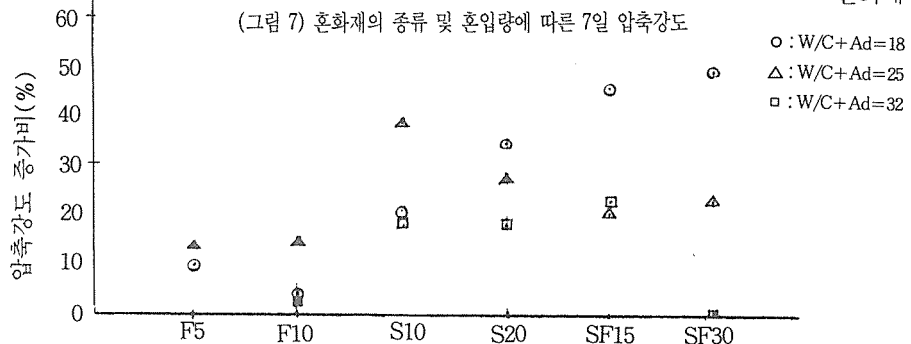
4. 결 론

본 실험은 세골재율 35%, 단위시멘트량 650 kg/m³, 물·결합재비가 18~32%인 경우에 실리카 흙과 플라이 애쉬의 첨가량을 변화시켜 이 혼화재가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 파악하기 위한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 7일 조기압축강도는 실리카 흙과 플라이



(그림 7) 혼화재의 종류 및 혼입량에 따른 7일 압축강도



(그림 8) 혼화재의 종류 및 혼입량이 따른 압축강도 증가비

애쉬를 2:1비율로 섞어서 사용했을 때가 각각 사용했을 때보다 높은 압축강도를 보였다.

2) 혼화재를 사용하지 않은 공시체보다 혼화재를 사용한 공시체의 7일 압축강도 증가율은 물·결합재비가 적을 수록, 혼화재의 첨가량이 많을 수록 크게 나타났다. 물·결합재비가 18%로 가장 낮을때 혼화재의 첨가량이 많을 수록 조기강도를 크게 나타냈다.

3) 실리카 흙미은 20%와 플라이 애쉬 10%를 섞어 배합한 공시체가 675kg/cm²로 가장 큰 조기 압축강도를 나타냈다.

* 본 연구에 실리카 흙을 제공해 주신 제공해 주신 동양 마이티 박철규씨, 대표골재를 원우 무역 김종찬 부장님 감사제를 제공해 주신 동양 마이티 대표 박철규씨, 골재를 제공해 주신 신성 레미콘 주식회사 한충현 감사, 플라이 애쉬를 제공해 주신 서천화력 발전소 환경과장 지문창 씨 등에게 감사의 뜻을 포함합니다.

참 고 문 헌

1. 永島幸夫와 2명, シリカフェームを用いた超高強度コンクリートの 研究, 일본건축학회대회 강연집, 1989, 10,
2. Tarun R.Naik and Bruce W.Rammen, High-strength Concrete Containing Large Quantities of Fly Ash, ACI MATERIAL Journal, March-April, 1989.
3. 小林 英博外 2명, シリカフェームを利用したコンクリートの早強た關する 研究, 일본 건축학회 대회 강연집, 1989, 10
4. 中川 雄外 2명, 超高強度 콘크리트의 實用性と品質の基礎檢討, 일본건축학회대회강연집, 1989, 10
5. 河野清外 2명, シリカフェームを用いた高強度オートクレーブ養生コンクリートの 研究, 제 43회 시멘트기술대회강연집.