

# 3성분계 혼화재료로 사용한 콘크리트 특성

## (Properties of Concrete Containing third binary mineral Admixture)

조 일 호\*      양 재 성\*\*      김 진 희\*\*

Cho, Il Ho      Young, Jae Sung      Kim, Jin Hee

---

### ABSTRACT

This study was performed to evaluate the characteristics of workability and strength of the concrete containing mineral admixtures such as flyash, blast furnace slag, zeolite powder.

As a result, considering their workability and strength, the optimum replacement ratio of them to plain concrete were obtained for each ternary admixture.

This increased compressive strength was ascribed to both the closer packing of fine particles and pozzolan reactivity of powders. This work showed that could be effectively utilized as a blending material without any decrease in the strength of early hydration stage.

On the other hand, we found that the compressive strength at early ages ternary ordinary and high strength concrete until 7days was small, but that ternary concrete at 28days was highly increased about 31% and 15% extent.

---

### 1. 서론

최근 환경문제에 대한 관심 고조 및 규제강화, 천연자원 고갈, 매립지 부족 등에 의한 매립비용 상승 등으로 산업부산물 처리에 애로사항이 많은 실정이다. 이러한 산업부산물은 환경오염을 유발시키고 처리에 소요되는 비용이 만만치 않으며 또한 재활용 방안이 극히 제한되어 있기 때문에 해결해야 할 과제로 남아있다. 이와같은 산업부산물을 해결하기 위하여 각종 단체, 연구기관, 산학연 등을 통하여 주로 일부 산업부산물은 콘크리트 분야에 적용되고 있으나 극히 미진한 편이다. 또한, 각 건설현장에서는 작업성이 적절하여 시공하기 쉬우며 초기강도가 확보된 고품질 콘크리트를 선호하고 있다. 이같은 사회환경 측면에서 고객 요구품질에 부응하는 고품질 콘크리트를 제조하기 위해서는 혼화재료의 사용이 필수적임은 물론 그 대상 구조물에 따라 강도, 시공성, 내구성 등에 적합한 콘크리트를 경제적으로 제조하여 고객만족을 극대화 시키는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 화력발전소의 산업부산물로 발생하는 플라이애쉬, 제철소에서 발생하는 잠재수경성이 있는 고로슬래그 분말, 포졸란 작용이 있는 제올라이트계 분말 등을 사용하여 실내실험에서 도출된 최적배합조건을 대상으로 현장시공 및 품질관리를 실시하고 이를 통해 콘크리트의 혼화재료로서 현장 실용화 가능성을 제시하고자 한다.

---

\*정회원, 동양시멘트(주)양산사업소 품질관리실장

\*\*정회원, 동양시멘트(주)양산사업소 품질관리실

\*\*정회원, 동양시멘트(주)양산사업소 품질관리실

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험조건 및 변수

본 실험에서는 산업부산물의 치환율에 따른 콘크리트 특성을 알아보기 위하여 단위시멘트량 5~40%를 치환하여 굳지않은 콘크리트 슬럼프, 공기량 변화, 온도 등을 측정하였으며 표준 수중양생 재령 3일, 7일, 28일에 대하여 콘크리트 압축강도를 측정하였다.

표 1. 실험조건 및 변수

요인	W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	산업부산물			감수제 (%)	공기연행제 (%)	목표슬럼프 (cm)
				플라이애쉬	슬래그분말	제올라이트계			
수준	45~68	46~50	166~199	0~40	0~40	0~40	0.2~0.6	0.01~0.025	15±2.5

### 2.2 사용재료

#### 가. 시멘트

당사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 시멘트 품질은 표 2와 같다.

표 2. 시멘트의 품질

(unit : wt%)

구성화합물(wt %)									비중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig. Loss		
20.91	3.11	5.49	62.58	3.61	2.42	0.06	1.01	0.91	3.14	3,475

#### 나. 혼화제

화학혼화제는 리그닌계 표준형 일반 감수제와 빈졸레진계 공기연행제 및 나프탈렌계 표준형 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 그 물성은 표 3과 같다.

표 3. 화학혼화제의 물성

시료명	물성	주성분	비중	고형분(%)	pH	색상
감수제(표준형)		리그닌계	1.186	16.0	1.186	암갈색
공기연행제		빈졸레진	1.07	43.0	-	암갈색
고성능AE감수제		나프탈렌계	1.185	42.0	-	암갈색

#### 다. 배합수 : 상수도수 사용

#### 라. 골재

당 사업소에서 사용중인 굵은골재 및 잔골재는 레미콘 제조에 사용되는 것으로 표면건조포화상태로 하여 실험에 사용하였다.

표 4. 사용골재의 시험결과

항목 종류	비중	조립율 (F.M.)	잔입자 (%)	단위용중 (kg/m <sup>3</sup> )	실적율 (%)
혼합쇄석 25mm	2.60	6.69	0.35	1,500	57.5
혼합사	2.58	2.60	2.20	1,470	58.3

마. 혼화재

혼화재는 고로슬래그 미분말, 제올라이트계 및 플라이애쉬 3종류로서 플라이애쉬는 국내에서 입수가 가능하고 물류비용이 저렴한 유연탄 플라이애쉬(삼천포 화력발전소산)를, 제올라이트계는 산업폐기물로서 분쇄된 것을, 고로슬래그 미분말은 유리질의 급냉슬래그를 곱게 분쇄하여 만든 것을 사용하였으며 그 품질은 표 4~6과 같다.

표 4. 플라이애쉬의 화학조성 및 물리적 성질

(unit : wt%)

구성화합물(wt %)									비중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig. Loss		
57.41	6.46	28.99	7.92	1.44	0.087	0.413	0.665	5.09	2.20	3,260

표 5. 제올라이트계 분말의 화학조성 및 물리적 성질

(unit : wt%)

구성화합물(wt %)									비중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig. Loss		
55.6	1.22	36.05	0.062	0.774	0.024	0.234	0.066	1.38	2.64	5,850

표 6. 고로슬래그 미분말의 화학조성 및 물리적 성질

(unit : wt%)

구성화합물(wt %)								비중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	염기도	Ig. Loss		
26.16	2.172	8.422	47.477	6.51	2.55	1.83	0.62	2.93	4,797

☞ 비표면적 값은 입도분석기에 의한 측정값

2.3 배합설계

일반 레미콘 배합으로 시험비비를 실시하여 호칭강도 240kg/cm<sup>2</sup>을 목표로 시적 배합설계를 하였으며, 슬럼프 15±2.5cm, 굵은골재 최대치수는 25mm를 사용하였다. 3성분계 혼화재료로 사용한 콘크리트는 동일한 배합비를 사용하였으며 표 7의 배합설계표와 같이 단위시멘트량을 3성분계로 일정량 치환하여 배합하였다.

표 7. 콘크리트 배합설계표

기 호	Gmax (mm)	W/B (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )						혼화제(g)		
				W	결합재량				S	G	AD	AE
					C	SP	FA	ZP				
NPC	25	53.1	48	187	352				837	900	0.012	1.056
CF					334		18		827	889		
CZ					334			18	829	891		
CS					282	70			807	868		
CFZ					310		23	19	815	876		
CFS					310	23	19		816	877		
CZS					313	19		19	820	881		

☞ NPC:보통, CF:플라이애쉬, ZP:제올라이트계 분말, CS:고로슬래그 분말

## 2.4 시험방법

### 2.4.1 수화열 측정

미소수화열량계(Conduction calorimeter)는 시멘트와 물을 혼합하여 수화반응이 진행되는 동안 수화반응 환경을 일정한 온도로 유지하면서 발생하는 수화열을 감지하여 각 시각에서의 발생 수화열 및 누적발생열량을 표시하는 장치로 본 실험에서는 물/결합재비를 50%로 하여 물 40g과 결합재 20g을 23℃환경에서 반응시켜 72시간 까지의 수화발생량을 측정하였다.

### 2.4.2 주사전자현미경 관찰

혼합재료의 입자형태를 관찰하기 위하여 주사전자현미경(SEM)으로 생성광물상을 관찰하였다

### 2.4.3 슬럼프시험

슬럼프시험은 콘크리트의 반죽질기를 측정하기 위하여 보통콘크리트 및 3성분계 콘크리트를 중심으로 KS F 2402에 의해 슬럼프값을 측정하였다.

### 2.4.4 공기량시험

굳지않은 콘크리트의 공기량은 콘크리트의 워커빌리티, 강도, 내구성 등에 큰 영향을 미치므로 KS F 2421에 의해 공기량을 측정하였다.

### 2.4.5 슬럼프손실시험

굳지않은 콘크리트의 슬럼프손실을 알아보기 위하여 보통콘크리트 및 3성분계 콘크리트를 중심으로 KS F 2402에 의해 경과시간에 따른 슬럼프값을 측정하였다.

### 2.4.6 압축강도시험

3성분계 혼화재료로 혼합한 콘크리트의 최적 혼입율을 결정하기 위하여 현재 출하되고 있는 대표적 규격 25-240-15을 중심으로 각 혼화제를 혼합한 콘크리트의 강도특성을 분석키 위한 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 따라 각 재령별(3, 7, 28일)로 하였다.

## 3. 결과분석 및 고찰

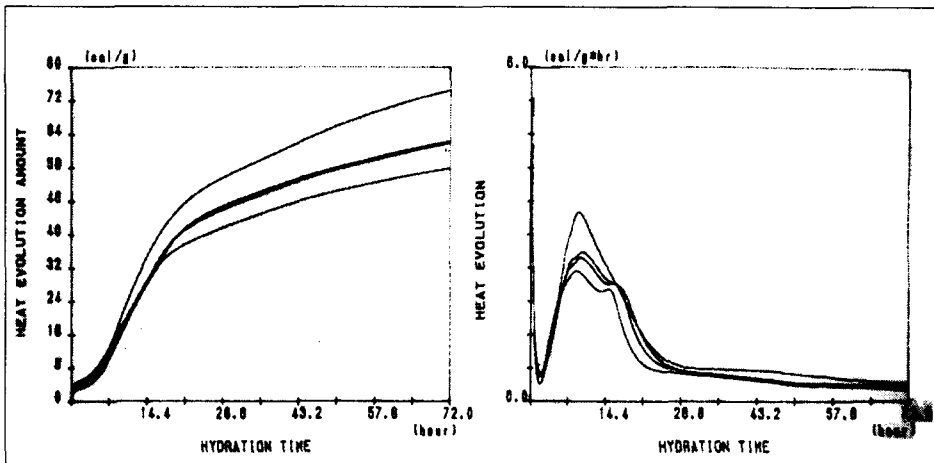
### 3.1 수화열 측정

미소수화열량계(Conduction calorimeter)로 측정한 각 혼합재료의 수화발열 특성을 보통 포틀랜드 시멘트, 플라이 애쉬, 고로슬래그 미분말과 제올라이트계 분말로써 비교하여 나타내면 표 8 및 그림 1과

같다. 여기서 보는 바와 같이 72시간 까지 측정된 보통 포틀랜드 시멘트와 각 혼화재료의 수화발열량은 거의 동일한 결과를 보였으며, 각 혼화재료를 혼합한 경우의 수화발열량의 약 2/3정도로 나타났다.

표 8. 각종 시멘트의 72시간 동안의 수화발열량(23℃ 환경)

혼화재료 종류	누적수화발열량(cal/g/72hr)
OPC	79.5
OPC+SP	62.0
OPC+ZP	78.6
OPC+FA	78.3
OPC+FA+ZP	75.0
OPC+FA+SP	56.0
OPC+SP+ZP	55.0



(1) 누적수화발열량

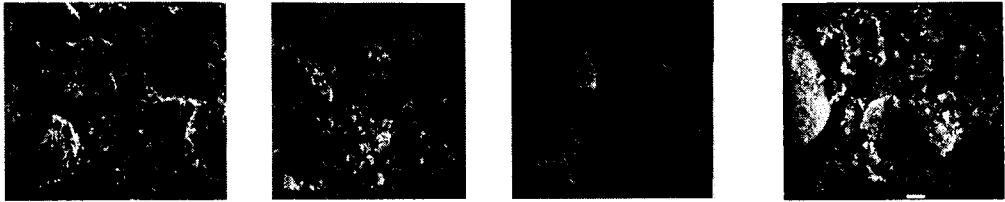
(2) 수화발열량

그림 1. 미소수화열량계에 의한 시멘트 수화발열량(23℃,72시간)

### 3.2 주사전자현미경 관찰

사진 1은 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 촬영한 보통 포틀랜드 시멘트, 플라이애쉬, 3성분계 혼합재 및 제올라이트계 분말의 입자형태인데 형태학상 제올라이트계 분말은 플라이애쉬에 비하여 입자가 작아지고 모가나 있어 페이스트나 몰탈의 유동성 관점에서 상대적으로 불리하다는 것을 알 수 있었으며, 입자내부에 공극이 많기 때문에 물과 혼합시 입자 내부로 물을 많이 흡수할 것으로 보인다. 또한, 고로슬래그 미분말은  $C_2S$ 와  $C_4AF$ 로 구성되어 있고, 플라이애쉬 및 제올라이트 분말은 알루미늄 규산염(alumino silicate)광물로서 mullite와 석영(quartz)으로 구성되어 있으며 그 입자의 형상은 완전한 구형이었다.<sup>1)</sup> 이와 같은 혼합재의 입자모양이 구형의 미분말 형태로서 굳지 않은 콘크리트 속에서 마찰저항을 줄이고 ball bearing 작용을 하여 콘크리트의 워커빌리티를 증가시키고, 또 골재사이의 공극을 충전시켜 주는 등 콘크리트의 제성질을 향상시키는 주 요인이 된다고 생각된다.

사진 1. 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 촬영한 입자형태



(보통시멘트)

(플라이애쉬)

(3성분계 혼합재)

(제올라이트계)

### 3.3 굳지않은 콘크리트의 성질

그림 2에서 보듯이 3성분계 혼합재를 사용한 콘크리트 슬럼프는 보통 콘크리트에 비해 동등 이상으로 측정되었으며 대체로 고로슬래그 미분말 혼입 3성분계 슬럼프는 다소 크게 나타났다. 또한 공기량은 3성분계 혼합재를 사용한 배합에서는 약간씩 적어지는 것으로 측정되었다.

대부분 각 건설현장 콘크리트 공급은 레미콘에 거의 의존하고 있으므로 교통혼잡으로 인한 길 막힘이 없어야만 레미콘이 원활하게 공급되며 나아가 좋은 품질의 콘크리트를 확보할 수 있다. 그러나 현실적으로 어려운 교통여건 탓으로 레미콘이 적시에 공급되지 못하는 경우 콘크리트 유동성 손실(Slump Loss)이 불가피하며 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실을 최소화 하기위한 대책이 수립되고 있으나 크게 실효를 거두지 못하는 실정이다. 그래서 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실을 줄이기 위한 방안으로 3성분계 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프값을 측정하여 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 보듯이 슬럼프값은 시간이 경과하는데 따라 크게 떨어지고 있음을 알 수 있으며, 이때 보통 콘크리트의 슬럼프 손실은 혼화재를 혼합한 콘크리트와 비교해서 월등히 크게 나타났다. 이상으로 3성분계 콘크리트가 보통콘크리트 보다는 경과시간 30분에서 약 15%, 60분에서 약 18%정도 슬럼프 손실을 줄이는데 큰 효과가 있음을 알 수 있다.

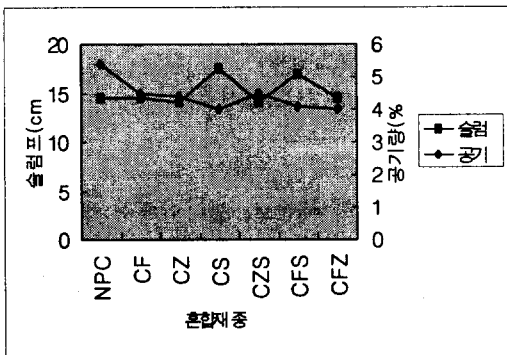


그림 2. 슬럼프 및 공기량

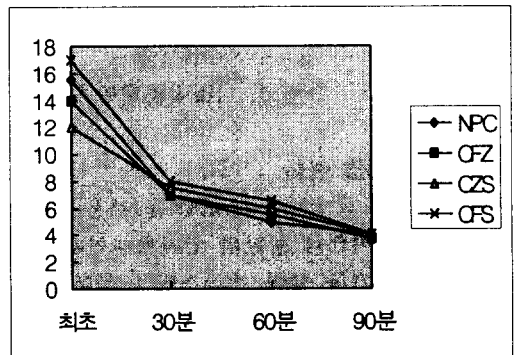


그림 3. 경과시간에 따른 슬럼프 손실

### 3.4 각 혼화재 혼입율에 따른 강도특성

각 혼화재의 혼입율에 따른 압축강도 증가율은 그림 4와 같다.

플라이애쉬와 제올라이트계 분말, 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트(CFZ, CFS) 경우는

보통콘크리트 보다 초기강도에서 약 5~10% 정도 낮게 나타났으며, 28일 압축강도에서는 보통 콘크리트와 동등이상으로 나타났다. 그러나 고로슬래그 미분말과 제올라이트계 분말(CZS)를 혼용한 콘크리트 경우, 초기강도에서는 보통 콘크리트와 동등하게 나타났으나 28일 압축강도에서는 약 24%정도 높게 나타났다. 이것은 제올라이트계 분말의 구성성분중 일부가 자극제로서의 슬래그에 OH<sup>-</sup>를 흡착시켜 유리구조를 파괴 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO의 용출을 촉진시키므로 액상중의 각 이온농도가 높아져 C-S-H계의 수화생성물이 더욱 높아지기 때문에 경화체가 치밀하게 되는 효과를 가져와 강도증진이 높아진 것으로 본다. 또한 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액을 물에 용해시켜 사용하면 초기강도 효과를 높일 수 있다.

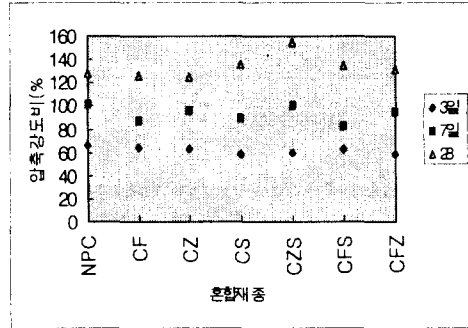


그림 4. 혼합재별 강도 증가율

#### 4. 제조상의 유의점

반죽시 투입수순은 보통의 콘크리트와 동일하게 한다.

Mixer내의 코팅은 기존 보통레미콘 혼련시 보다 잘 발생되므로 코팅제거 주기를 빨리해주는 것이 믹서효율을 높이는데 유리하며, Mixer내에 삼각대를 설치하여 분말자체의 분산성을 높여줄 수 있으며, 1Batch당 3.5m<sup>3</sup> 비빔시에는 믹싱타임 시간을 약 35초 정도, 2m<sup>3</sup>비빔시에는 약 27초 정도 하면 레미콘 반죽질기 상태가 양호하게 나타나 믹싱효율이 적당하다고 사료된다.

#### 5. 결 론

본 실험 결과 3성분계 혼화재료를 혼합치환하는 경우 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시멘트를 3성분계 분말로 일정량 치환함에 따라 슬럼프는 보통 콘크리트에 비해 동등 이상이며 치환율이 증가할수록 큰 것으로 측정되었고 공기량은 치환율이 증가할수록 감소하였다.
- (2) 3성분계를 사용한 콘크리트의 압축강도는 치환율이 증가할수록 초기강도(3, 7일)에서는 감소하는 경향을 보였으나, 재령 28일에서는 약 40~80%까지 강도증진을 보여 장기강도 효과가 있음을 알 수 있다.
- (3) 3성분계를 사용할 경우 굳지않은 콘크리트의 성질 및 초기강도 특성으로 볼 때 약 5~15% 수준이며, 경화콘크리트의 강도특성만 고려하면 장기강도 측면에서는 20~30%까지 사용하여도 무방할 것으로 본다.
- (4) 분산성을 높여 초기강도 증진을 위하여 고성능 AE감수제 및 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액을 사용하면 3성분계 혼합재를 40%까지는 사용하여도 무방할 것으로 본다.

#### 참 고 문 헌

1. 小玉他, "高爐スラグ 微粉末お用いたコンクリートの 諸性質", セ 技年報(昭53)
2. V.M.Malhotra, "Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzalans in Concrete", Proceedings Fourth International Conference, ACI, SP-13, Istanbul, Turkey(1992)