

# 주물공장에서 배출되는 플라이애시를 이용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구 (I)

## An Experimental Study on the Characteristics of Concrete using Casting Foundry Fly Ash (I)

진치섭\*    엄장섭\*\*    이홍주\*\*\*    김희성\*\*\*\*    정달영\*\*\*\*\*    신동익\*\*\*\*\*    이영호\*\*\*\*\*  
Jin, Chi Sub    Eom, Jang Sub    Lee, Hong Ju    Kim, Hee Sung    Jung, Dal Yung    Shin, Dong Ick    Lee, Yung Ho

### ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the raising of strength of concrete and workability using casting foundry fly ash. First, we conducted analysis of chemical components of fly ash. Then, we tested uniaxial strength of concrete at ages of 3, 7, and 28 days. As a result, we found that the strength of concrete using casting foundry fly ash is raised up 16% than plain concrete when the fly ash is added 0.6% of weight of cement.

### 1. 서    론

급속한 산업화와 인구증가 및 대량소비에 따른 폐기물에 의하여 초래되는 지구환경오염은 국내외 할 것 없이 심각한 사회문제로 대두되고 있다.

그리하여 이 문제에 대한 연구보고는 여러 곳에서 발표되고 있고, 그 중에서 1972년 「로마클럽」이 발표한 「성장의 한계」에서 지적한 공업화의 진행, 인구증가, 영양부족의 확대, 천연자원의 고갈, 환경악화 등을 매개변수로 하여 세계모형을 작성, 시뮬레이션을 실시한 결과 기술발전예 따라 다르나, 일반적인 시나리오로 상정한다면 자원고갈 및 환경악화에 의하여 지구는 파국을 맞게 될 것으로 경고하고 있다.

이에 대한 해결방법의 하나로 자원의 순환이용 즉 「자

원 리사이클링」을 들 수 있는데, 폐기물은 놓여져 있는 시간과 공간에 따라 폐기물이 될 수도 있고 가용자재로 될 수도 있다. 이것은 폐기물의 재이용을 위한 사회시스템의 구축이 필요함을 암시한다고 볼 수 있겠다.

형태가 복잡한 금속구조물이나 기계부품은 주조법에 의하여 제조된다. 이러한 주물공정에서의 부산물로 C, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 주성분인 플라이애시(Fly ash)가 생성된다. 따라서 화력발전소에서 포집되는 플라이애시를 재사용하는 것처럼 주물공장에서 발생하는 폐기물 중 플라이애시를 새로운 건설재료로 개발하여 재사용하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 주물공장의 폐기물인 플라이애시를 제 처리과정을 거쳐 콘크리트의 혼화재료로 사용할 수 있을 것인가의 여부를 실험적으로 규명하는 것이다. 이런 목적을 위하여 경남 진해시 남양동 소재 (주)영화금속에서 플라이애시를 채취하였고 이를 이용하여 실험을 행하였다. 영화금속에서 배출되는 플라이애시의 양은 1일 200 kg에 달하며 전국적으로 산재한 주물공장에서 배출되는 양을 고려하면 과히 엄청난 양이 될 것이다. 이를 지금까지는 매립에만 의존하는 실정이나 이를 제처리하여 고성능 시멘트 혼화재료

- \* 부산대학교 토목공학과 교수, 공학박사, 정회원
- \*\* 창신전문대학 토목과 조교수, 공학박사
- \*\*\* 부산대학교 대학원 박사과정
- \*\*\*\* 부산대학교 대학원 박사과정, 정회원
- \*\*\*\*\* 부산대학교 대학원 석사과정

로 사용한다면 자원재활용적인 측면에서도 유익하며, 심각하게 대두되고 있는 환경문제에도 일익을 할 수 있으리라 본다.

## 2. 플라이애시의 성질

플라이애시(Fly ash)란 화산재와 성질이 같은 물질로서 매우 미세한 분말상태이며 주성분은 규사이고 입자모양은 구형이다. 천연 포졸란과 같은 특성을 가지므로 인공 포졸란 또는 현대적인 화산재라고도 불리운다.

### 2.1 플라이애시의 물리적 성질

플라이애시는 주로 다공성 구형입자로 구성되어 있으며 입자의 크기는 집진기 종류나 발전소 가동상태에 따라 다른 데 일반적으로 입자크기의 범위는 1  $\mu\text{m}$ ~100  $\mu\text{m}$  정도이다.

플라이애시의 색깔은 연한 황색으로부터 회색, 검정색에 이르기까지 다양한 색깔을 띠고 있으며 석탄의 종류와 품질 및 발전기의 가동상태에 따라 달라진다.

플라이애시의 분말도는 포졸란 활성도와 콘크리트의 워커빌리티(Workability)에 영향을 주므로 매우 중요하며, KSL 5405에서는 분말도를 비표면적(2,400  $\text{cm}^2/\text{g}$  이상)으로 규제하고 있고 미국 ASTM C618에서는 44  $\mu\text{m}$ 체 잔유량(34% 이하)으로 규제하고 있으며 일본 JIS 6201에서는 44  $\mu\text{m}$ 체 잔유량(34% 이하)과 비표면적(2,700  $\text{cm}^2/\text{g}$  이상)으로 동시에 규제하고 있다.

무연탄 플라이애시의 비중은 2.0~2.2 범위이고 평균 2.1이다. 비중이 플라이애시의 특성에 미치는 영향은 불확실하지만 화학성분이 동일한 경우 비중이 가벼우면 분말도가 거칠고 Cement에 혼합할 경우 소기의 강도가 안 나온다. 최근 유연탄 화력발전소에서 나오는 플라이애시는 보령이 2.35, 삼천포가 2.23으로 무연탄의 비중보다 다소 무겁다.

### 2.2 플라이애시의 화학적 성질

플라이애시의 물리적 성질이 콘크리트에 미치는 영향은 굳지 않은 콘크리트에서 현저한 반면, 화학성분은 콘크리트의 강도와 화학저항성 등 굳은 콘크리트의 성질에 더욱 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

플라이애시 중의 가용성  $\text{SiO}_2$ 는 시멘트 수화시 생성되는 수산화칼슘[Ca(OH)<sub>2</sub>]과 상온에서 서서히 화합하여 불용

성의 안정된 규산칼슘( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )을 생성시켜 장기적으로 콘크리트의 압축강도를 증진시킨다.

그러므로 플라이애시에 대한 초기 ASTM 규정에서는  $\text{SiO}_2$  최소치를 40%로 규제하였으나 현재는 KS와 ASTM 모두  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  함유량의 최소치를 70%로 규제하고 있다.

플라이애시에 함유된 산화마그네슘은 콘크리트 내에서 반응하여 수산화마그네슘이 생성되어 콘크리트의 팽창 및 균열을 야기하므로 이를 방지하기 위하여 대부분의 규정에서는 그 최대함량을 50% 이하로 제한하고 있다.

무수황산은 콘크리트내에서 황산염( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  혹은  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )이 되고, 다시 시멘트에 있는 알루미늄산염( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ )을 생성한다. 이것은 반응물보다 체적이 커서 콘크리트의 팽창을 일으켜 콘크리트의 균열의 원인이 된다고 한다. 그러므로 KSL 5405에서는  $\text{SO}_3$  최대함량은 3%로 규제하고 있으며 ASTM C618에서는 5%로 규제하고 있다.

골재중의 반응성 규소(Si) 성분은 시멘트에 함유되어 있는 알칼리와 반응하여 골재의 팽창을 일으켜 콘크리트 균열의 원인이 되므로 KSL 5405에서는 알칼리( $\text{Na}_2\text{O}$ 로서) 함량을 최대 1.5%로 규제하고 있다.

경화한 콘크리트는 시멘트의 수화에 의해 생성되는 수산화칼슘[Ca(OH)<sub>2</sub>] 때문에 강한 알칼리성을 나타낸다. 경화한 콘크리트는 표면에서 공기중의 탄산가스의 작용을 받아 수산화칼슘이 서서히 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )으로 된다. 즉,  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 로 되어 알칼리성을 잃게 된다.

그런데 플라이애시를 사용하게 되면 칼슘이온( $\text{Ca}^{++}$ )이 플라이애시중의  $\text{SiO}_2$ 와 결합하는 포졸란 반응에 의해서 알칼리성이 저하되며 이에 따라 콘크리트의 중성화가 촉진되리라 여려를 할 수 있다.

그러나 아직까지는 이것은 여러가지 논의가 있으며 현재까지는 양질의 플라이애시를 적당하게 사용하면 그다지 문제가 발생하지 않는 것으로 알려져 있다.

## 3. 플라이애시 사용의 우수성

플라이애시는 최초에는 단순한 산업폐기물로만 생각되었으나 콘크리트 기술자들의 연구 성과에 의하여 플라이애시가 혼화재료로서 우수한 복합 효과를 가진 것이 인정되면서 콘크리트의 성질을 개선하는 한 수단으로 유효하게 이용되었다.

콘크리트 생산자, 기술자, 건축가, 기술개발자, 토건업자 모두는 사업의 품질확보와 경제성 때문에 플라이애시 사용에 적극적인 관심을 보이고 있다.

레미콘 생산자는 다음과 같은 이유로 플라이애시를 콘크리트 생산에 사용한다. 즉, 모래에 비해 크기가 아주 작으므로 펌프성과 마감성이 좋고, 수요자가 예측할 수 있는 품질이 일정한 제품을 공급할 수 있으며, 혼합의 유연성이 광범위하여 100 psi의 Liquid Soil에서부터 8000 psi 고강도 콘크리트까지 한 배치플랜트에서 생산이 가능하다. 또한, 유동성이 좋아 배치플랜트 마모를 현저하게 감소시키며 고객의 요구에 의한 주문생산이 가능하여 제품의 경쟁력을 높여 준다.

기술자와 건축가들이 평가한 플라이애시의 장점으로는 다음과 같다. 즉, 고객에게 보다 우수하고 강도가 뛰어난 콘크리트를 공급할 수 있고, 고강도 콘크리트를 생산할 수 있어 얇은 단면의 시공을 가능케 하며, 설계의 유연성이 뛰어나 곡면이나 아치등 원하는 건축적인 효과를 쉽게 낼 수 있다. 또한, 콘크리트의 경년강도를 증가시켜 구조물의 보증을 확실히 할 수 있고, 콘크리트 품질을 향상시켜 건축자재의 내구성을 증가시키며 미려한 콘크리트면을 만들 수 있어 미적효과를 좋게 한다.

설계자, 계약자, 발주자에게 플라이애시는 다음과 같은 이점을 준다. 즉, 플라이애시를 함유한 콘크리트는 작업성이 좋아 시공의 속도를 빠르게 하여 투자비회수 기간을 단축시키며 보다 창조적인 설계를 할 수 있고 충분한 강도를 유지할 수 있어 건물유지보수비를 장기간에 걸쳐 낮게 한다.

플라이애시를 시멘트와 섞으므로 압축강도 증가, 작업성 향상, 내구성 증대, 수밀성 감소, Cement/Aggregate 반응 감소, 휨강도 증가등 많은 장점을 갖게 한다.

한편, 플라이애시의 사용상 주의사항을 들어보면 다음과 같다.

플라이애시는 보존중에 입자가 응집하여 고결하는 경우가 생기므로 저장에 유의하여야 하며, 플라이애시는 함유 탄소분의 일부가 AE제를 흡착하는 성질을 가지고 있어 소요의 공기량을 얻기 위해서는 AE제의 양이 상당히 많이 요구되는 경우가 있으므로 주의를 요한다. 또한, 플라이애시는 부산물이기 때문에 제조공장, 시기 등에 따라 품질상의 변동이 생기기 쉬우므로 사용시 유의하여 품질을 확인해야 한다.

### 3.1 플라이애시가 콘크리트에 미치는 영향

플라이애시는 고품질의 구조물 콘크리트에 부가비용을 들이지 않고도 많은 이점을 준다.

#### (1) 압축강도

규격에서는 일반적으로 28일 강도를 요구하는 데 플라이애시 콘크리트에서는 28일 이전 초기강도에서는 일반 시멘트보다 약간 낮으나 28일부터 그 이후는 압축강도가 일반 콘크리트에 비해 훨씬 높게 된다.

#### (2) 믹스내에서의 플라이애시의 유향작용

플라이애시의 둥근 입자는 콘크리트내에서 유향작용을 하여 물을 적게 소모할 뿐만 아니라 동일 슬럼프일 때 작업성을 향상시킨다.

#### (3) 믹스 선정

일반적인 콘크리트믹스와 같이 실험실에서의 실험과 현장에서의 성능을 바탕으로 플라이애시의 양을 결정한다. 구조물 콘크리트의 성능을 최대로하기 위해서는 현장의 재료를 시험하여 이에 따른 최적 플라이애시 배합량을 구하는 것이 좋다.

#### (4) 내구성의 증대

플라이애시에 의한 포졸란 활동은 밀도를 증가시키고 삼투성을 감소시키는 등 콘크리트 성질을 개선한다. 다시 말하면 부식성 물질의 침투를 느리게 하거나 중지시켜 콘크리트의 내구성을 증가한다. 포졸란 활동은 시멘트의 알칼리와 화학적 결합을 하여 골재와 재반응을 막아 콘크리트 내부팽창을 방지한다. 시멘트량이 감소된 만큼 수화열이 감소하여 거대 구조물 콘크리트에 적용시 많은 장점이 있다. 온도상승을 적게하면 그만큼 열수축도 감소하게 되어 열에 의한 균열도 방지한다. 구조물 콘크리트가 얼고 녹을때 생기는 내압에 의해 거대구조물은 쉽게 파괴된다. 플라이애시 콘크리트믹스는 삼투성이 적고 밀도가 높으며 고강도이기 때문에 녹을때 생기는 응력에 대한 저항력이 대단히 크므로 구조물의 수명을 증대시킨다.

## 3.2 워커빌리티와 플라이애시

콘크리트에서 작업성은 비록 규격에는 나와 있지 않으나 대단히 중요한 특성이다. 워커빌리티란 콘크리트에서 취급, 타설과 마감이 용이함을 말한다.

린믹스(Lean Mix)나 골재의 품질이 좋지않은 경우에 플라이애시를 사용하면 반죽(Paste)의 체적이 증가하고 밀도를 개선하여 작업성 향상으로 콘크리트의 강도가 증가할 뿐만 아니라 치밀한 조직을 갖게 된다. 고품질의 플라이애

시를 적당량 사용하면 다음과 같은 이점이 있다.

- ① 플라이애시의 구형입자는 워커빌리티를 좋게 하여 콘크리트의 타설(Placing)을 쉽게 한다.
- ② 플라이애시가 갖는 볼베어링 작용은 콘크리트에 유연성을 주어 물의 요구량을 상당히 줄이며 슬럼프의 최하부까지 유동할 수 있게 한다.
- ③ 플라이애시 콘크리트는 응집력이 강하여 Bleeding과 Segregation을 줄이게 된다.
- ④ 작업성의 향상은 마감과 성형을 보다 정확하게 할 수 있다.
- ⑤ 작업성이 좋으므로 거친 모래도 효과적으로 이용할 수 있게 된다.

### 3.3 탄소성분이 플라이애시 콘크리트에 미치는 영향

플라이애시의 성분 중에 탄소는 콘크리트에 대단히 해로운 물질이다. ASTM의 사양에는 플라이애시 중 탄소성분의 최대치는 12%로 규정되어 있지만 미국 북서지역의 포졸란 회사는 탄소성분을 1%까지 낮추어 생산하고 있는 곳도 있다. 탄소성분이 콘크리트에 미치는 영향은 다음과 같다.

#### (1) 공기연행

탄소는 콘크리트내에 적절한 기공을 형성하기 위해 첨가하는 유기물 첨가제와 반응하므로 일정한 성능을 위해서는 많은 양의 첨가제를 사용해야 한다. 만일 탄소가 일정하지 않고 변하게 되면 첨가제의 양을 예측할 수 없게 된다. 이 경우 콘크리트는 공기가 부족하든지 아니면 과다하게 되어 압축강도를 저하시킨다.

#### (2) 외관

탄소는 무게가 가볍고 색깔은 검은 색이다. 무게가 가볍기 때문에 블리딩과 진동에 의해서 탄소가 표면으로 모이게 된다. 탄소의 검은 입자는 콘크리트의 밝은 색과 대조되어 미관에 좋지 않다. 어떤 경우는 콘크리트 표면에 반점을 만들기도 하여 미관이 중요시 되는 건축물에 나쁜 영향을 미치기도 한다.

#### (3) 혼화제

탄소가 유기 혼화제를 흡수하므로 그 만큼 더 혼화제를 많이 사용하게 되어 경비상승의 요인이 된다.

#### (4) 단위수량

탄소성분이 적고 품질이 좋은 플라이애시는 단위수량이 적게 되는 데 탄소함량이 많을수록 물이 더 많이 필요로 하게 된다.

## 4. 실험계획 및 방법

혼화재료의 효과는 시멘트나 골재의 품질, 배합, 온도에 의하여 매우 달라지는 경향이 있으므로 중요한 구조물에 새로운 혼화재료를 사용하고자 할 때는 시험 또는 충분한 검토를 거쳐 성능상의 효과를 확인한 다음에 사용해야 한다.

### 4.1 플라이애시 성분 분석

주물공정의 부산물로 생성되는 플라이애시의 화학적 성분 분석을 한국화학시험연구원에 의뢰하였다. 시험방법은 KS E 3806-91에 준하였다.

성분 시험 결과 일반 석탄화력발전소에서 나오는 플라이애시 및 고로슬래그와는 다소 성분의 차이가 있었으며, 자세한 화학적 성분은 <표 4-1>과 같다.

< 표 4 - 1 > 플라이애시의 화학적 성분

성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	계
함량1 (%)	50.10	12.7	3.12	3.01	2.57	1.93	0.79	74.22
함량2 (%)	67.50	17.11	4.21	4.06	3.46	2.60	1.06	100.00

- 함량 1 ; 탄소성분 및 물의 양을 포함한 중량을 100으로 보았을 때.
- 함량 2 ; 탄소성분 및 물의 양을 제외한 중량을 100으로 보았을 때.

시험 결과로부터 손실분인 25.78%는 소성과정중에 연소되는 탄소성분 및 수분으로 판단된다.

### 4.2 플라이애시 소성

채취한 플라이애시 중의 탄소성분은 콘크리트 중의 공기량에 영향을 미쳐 압축강도를 저하시키며, 검은 색깔을 띠며 무게가 가벼워 블리딩 및 진동에 의해 탄소가 표면으로 모여 콘크리트 표면에 반점을 만들기도 하여 미관을 해치고, 유기혼화제를 흡수하므로 그 만큼 더 혼화제를 많이 사용하게 되어 경비상승의 요인이 되고 탄소 함량이 많을수록 사용 수량을 증가시키는 등 콘크리트에 대단히 해

로운 물질이다.

따라서 채취한 플라이애시를 회전로에서 가열속도 5°C/min.로 500°C~600°C에서 3시간동안 충분히 소성하여 이러한 탄소성분을 제거하도록 하였다.

### 4.3 배합설계

경제성, 강도, 내구성을 위한 적절한 플라이애시의 배합은 대단히 중요하다. 따라서, 플라이애시의 적정 첨가량을 결정하기 위한 파라미터를 설정하였고, 슬럼프 8 cm와 18 cm에 대한 2가지 배합을 Mix Series로 선택하였다. 콘크리트의 설계기준강도는  $\sigma_{ck} = 210 \text{ kg/cm}^2$ 로 정하였다. 단위시멘트량은, 슬럼프가 8 cm의 콘크리트에는  $300 \text{ kg/m}^3$ , 슬럼프가 18 cm의 콘크리트에는  $320 \text{ kg/m}^3$ 으로 한다. 단위수량은 혼화재료를 첨가하지 않은 기준 콘크리트의 혼합시 슬럼프가  $8 \pm 1 \text{ cm}$ 와  $18 \pm 1 \text{ cm}$ 가 되는 양으로 정하였다. 기준 콘크리트의 공기량은 2.0% 이하로 하였다. 잔골재율은 기준 콘크리트에 대하여는 양호한 워커빌리티를 얻을 수 있는 수치로 하였다.

굵은골재는 시험에 사용되는 공시체의 크기와 강도를 고려하여 최대입경 13mm의 쇄석골재를 사용하였으며 비중은 2.70이다. 잔골재의 비중과 조립률은 각각 2.63과 3.39이다. 시멘트는 S사 제품의 제 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

플라이애시가 콘크리트의 압축강도 증진에 미치는 영향을 실험적으로 검토하기 위하여 플라이애시를 첨가하지 않은 콘크리트 공시체와 회전로에서 소성한 플라이애시와 소성하지 않은 플라이애시를 시멘트 중량의 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% 첨가한 콘크리트 공시체를 각각 제작하여 재령 3일, 7일, 28일 일축압축강도를 측정하여 콘크리트의 강도를 비교한다.

배합조건 및 사용 재료량은 <표 4-2>와 같다.

< 표 4 - 2 > 배합조건 및 사용 재료량

Mix Series	$G_{max}$ (mm)	slump의 범위 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)
A	13	$8 \pm 1$	2.0	55	52.5
B	13	$18 \pm 1$	2.0	60	53.5

Mix Series	단 위 량 ( $\text{kg/m}^3$ )				혼 화 재 료	
	W	C	S	G	사용량 ( $\text{g/m}^3$ )	혼화재료/시멘트비 (%)
A	165	300	994	923	0	0.0
					600	0.2
					1200	0.4
					1800	0.6
					2400	0.8
					3000	1.0
B	192	320	967	863	0	0.0
					640	0.2
					1280	0.4
					1920	0.6
					2560	0.8
					3200	1.0

### 4.4 실험방법

믹서는 공칭용량 60 리터(liter)의 강제식 믹서를 사용하였으며 비빔은 굵은골재, 잔골재, 시멘트의 순서로 투입하여 1분간 건비빔하여 시멘트로 골재를 감싸게 한 다음 물을 부어 2분 이상 충분히 비벼 콘크리트를 제작하였다. 플라이애시를 첨가하는 경우 비비기 전 물에 혼입하여 충분히 용해시킨 후 믹서에 투입하여 콘크리트를 제작하였다.

압축강도 시험용 공시체는  $\Phi 10 \times 20 \text{ cm}$  원주형 물드를 사용하여 붓다짐 방법으로 KS F 2403 '시험실에서 콘크리트의 압축 및 휨강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법'에 따라 제작하였다. 공시체는 제작 후 즉시 비닐로 덮어 수분의 증발을 방지하였으며, 24시간만에 탈형하여 시험시까지 수중양생하였다.

압축강도 실험방법은 KS F 2405 '콘크리트의 압축강도 시험 방법'에 따라 행하였다. 슬럼프 실험은 비빔 즉시 실시하였으며, 압축강도 실험은 3일, 7일, 28일 각 재령별로 5개의 공시체를 기본으로 실시하였다. 이 때 실험에 사용된 기기는 용량 200 ton인 UTM이며, Ccapping 재료로는 모르터를 사용하였다.

### 5. 실험결과

본 연구에서 지금까지 행한 각 Case별 일축압축강도 측정 시험 결과를 정리하면 <표 5-1>~<표 5-3> 및 <그림 5-1>~<그림 5-5>와 같다.

< 표 5 - 3 > 슬럼프 및 공기량

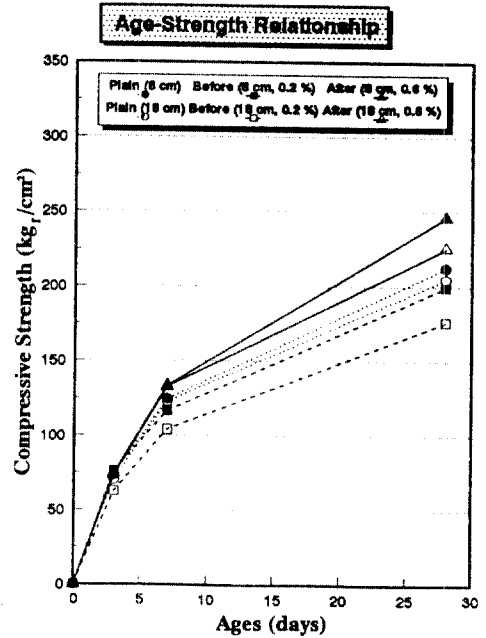
Mix Series	구 분	혼화재 첨가율 (%)	Case No.	Slump (cm)	공기량 (%)
A	Base Concrete	0.0	1	7.5	1.9
	Before Burning	0.2	2	7.0	1.6
	After Burning	0.6	7	8.5	3.1
B	Base Concrete	0.0	10	18.5	1.7
	Before Burning	0.2	11	17.5	1.2
	After Burning	0.6	16	19.5	3.0

< 표 5 - 1 > 콘크리트 일축압축강도

Mix Series	구 분	혼화재 첨가율 (%)	일축압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )			Case No.	
			재령 3일	재령 7일	재령 28일		
A	Base Concrete	0.0	73.47	124.36	212.85	1	
		Before Burning	0.2	75.95	116.60	199.58	2
			0.6	55.08	88.83	146.15	3
	After Burning	1.0	62.84	97.03	153.81	4	
		0.2	59.33	94.85	167.46	5	
		0.4	72.28	130.17	234.10	6	
	After Burning	0.6	74.39	133.44	246.35	7	
		0.8	69.75	123.19	220.06	8	
		1.0	62.41	117.07	188.84	9	
B	Base Concrete	0.0	70.31	122.70	205.01	10	
		Before Burning	0.2	62.57	103.96	176.28	11
			0.6	49.36	72.56	133.54	12
	After Burning	1.0	52.88	86.12	149.69	13	
		0.2	53.10	87.85	153.70	14	
		0.4	69.03	123.39	208.05	15	
	After Burning	0.6	72.83	132.59	225.62	16	
		0.8	64.29	112.95	200.45	17	
		1.0	58.64	96.24	162.91	18	

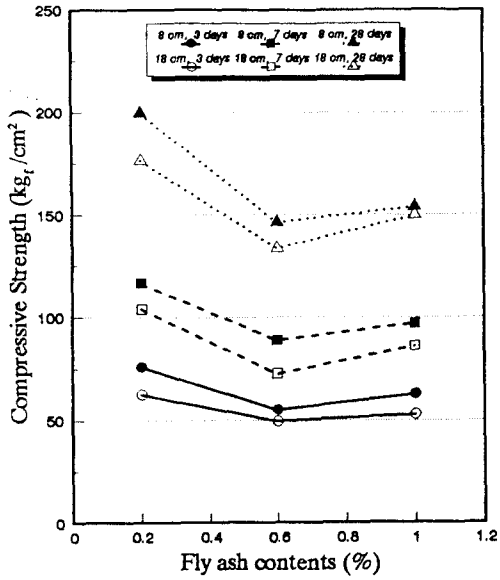
< 표 5 - 3 > 각 재령별 Base Concrete 기준 콘크리트 일축압축강도비

Mix Series	구 분	혼화재 첨가율 (%)	일축압축강도비 (%)			Case No.	
			재령 3일	재령 7일	재령 28일		
A	Base Concrete	0.0	100.00	100.00	100.00	1	
		Before Burning	0.2	103.38	93.76	93.77	2
			0.6	74.97	71.43	68.66	3
	After Burning	1.0	85.53	78.02	72.26	4	
		0.2	80.75	76.27	78.68	5	
		0.4	98.38	104.67	109.98	6	
	After Burning	0.6	101.25	107.30	115.74	7	
		0.8	94.94	99.06	103.39	8	
		1.0	84.95	94.14	88.72	9	
B	Base Concrete	0.0	100.00	100.00	100.00	10	
		Before Burning	0.2	88.99	84.73	85.99	11
			0.6	70.20	59.14	65.14	12
	After Burning	1.0	75.21	70.19	73.02	13	
		0.2	75.52	71.60	74.97	14	
		0.4	98.18	100.56	101.48	15	
	After Burning	0.6	103.58	108.06	110.05	16	
		0.8	91.44	92.05	97.78	17	
		1.0	83.40	78.44	79.46	18	



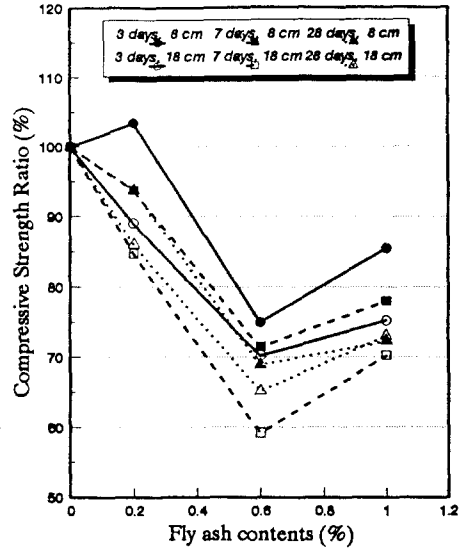
< 그림 5 - 1 > 재령에 대한 일축압축강도

**Before Burning**



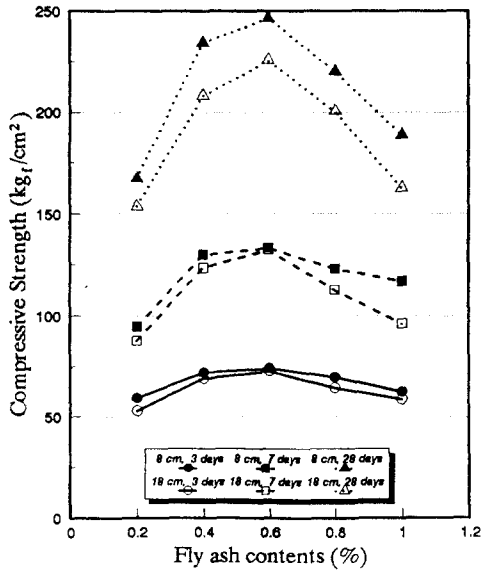
< 그림 5 - 2 > 소성전 혼화제 첨가율에 대한 일축압축강도

**Before Burning**



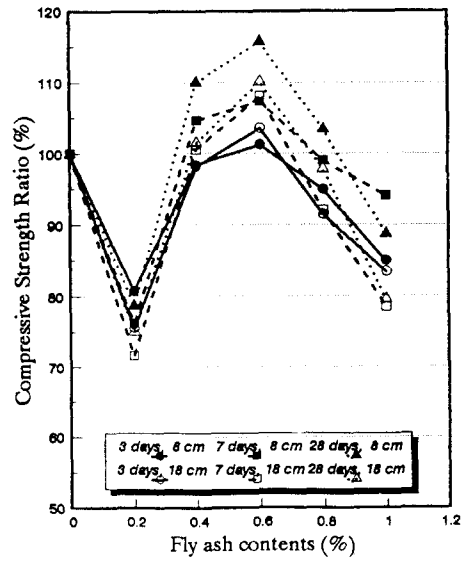
< 그림 5 - 4 > 혼화제 사용량과 재령에 따른 콘크리트 강도비와의 관계(소성전)

**After Burning**



< 그림 5 - 3 > 소성후 혼화제 첨가율에 대한 일축압축강도

**After Burning**



< 그림 5 - 5 > 혼화제 사용량과 재령에 따른 콘크리트 강도비와의 관계(소성후)

## 6. 결 론

본 연구에서 실시한 실험으로부터 압축강도 및 워커빌리티 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 혼화재 첨가율에 따른 강도특성으로부터 소성전 혼화재는 함유된 탄소성분으로 인하여 기준콘크리트보다 낮은 강도특성을 나타내며, 소성한 혼화재는 슬럼프 8 cm 콘크리트에서는 시멘트 중량의 0.6%를 첨가할 때 16%의 강도증진을 나타내었다. 슬럼프 18 cm 콘크리트에서도 역시 0.6%를 첨가할 때 10%의 강도증진을 나타냄을 알 수 있다. 따라서, 플라이애시 중 유해성분인 탄소성분을 제거하기 위하여 반드시 소성과정을 거쳐야 하며, 강도증진을 위한 적당한 첨가율은 시멘트 중량의 0.4%~0.6%인 것을 알 수 있다.

(2) 제형에 따른 강도특성으로부터 기준콘크리트에 비하여 플라이애시를 첨가한 콘크리트의 3일 이전의 초기 강도는 낮으나 일한 플라이애시에는 달리 7일 이후부터는 기준 콘크리트보다 높은 강도를 나타내고 있어, 장기강도는 상당히 증가하리라 예측할 수 있다.

(3) 슬럼프 및 공기량 실험에 의해 워커빌리티의 영향을 파악한 결과, 기준 콘크리트에 비하여 소성전 혼화재를 첨가한 경우 슬럼프 및 공기량이 모두 감소하였으나, 소성한 혼화재를 첨가한 경우 슬럼프가 다소 증가하여 워커빌리티가 향상됨을 알 수 있다.

(4) 본 연구 결과에서는 소성한 혼화재를 첨가한 경우의 일축압축강도가 소성전 혼화재를 첨가한 경우 및 기준 콘크리트보다 대체적으로 높게 나타났다. 소성전 혼화재를 첨가하여 콘크리트를 제작하는 경우 플라이애시의 채취 시기, 장소, 보관 방법 및 보관 상태 등에 따라 상당한 성분 차이가 있으며, 수분 함유량에서도 많은 차이가 있어 일률적인 성분을 기대하기가 힘들고 콘크리트 강도발현에 유해한 탄소 성분을 함유하고 있기 때문에, 콘크리트의 강도가 비교적 낮게 나온 것이라 판단할 수 있다. 따라서, 일률적인 성분 보장 및 제품의 신뢰성 차원에서, 소성한 혼화재를 첨가하여 콘크리트를 제작하는 것이 보다 타당하다고 할 수 있다.

(5) 전국적으로 산재되어 있는 주물공장에서 배출되는 플라이애시는 채취장소 및 시기에 따라 상당한 성분의 차이를 나타낼 수 있다. 따라서, 여러 장소에서 장기간에 걸쳐 채취한 플라이애시를 다양한 소성방법, 가열속도, 소

성온도, 소성시간, 혼화재 첨가율에 대하여 앞으로 많은 연구와 실험이 필요하다고 생각된다.

(6) 차후의 연구과제로서 플라이애시를 콘크리트 제품에 활용하는 방안으로 시멘트벽돌과 시멘트블럭을 제조할 때 시멘트 대용자재로 사용하여, 종래 땅속에 매립하던 폐기물을 유효하게 활용하도록 하는 연구를 진행중에 있다. 시멘트벽돌 및 블럭을 제조할 때, 주물공장 폐기물인 플라이애시를 시멘트 대용자재로 사용하고자 하는 바, 양생방법에 따른 플라이애시 적정 사용량을 도출하도록 하는 것이 연구목표이다.

## 감사의 글

본 연구는 '93 산·학·연 공동기술개발 지역컨소시엄'의 연구비 지원으로 수행된 것으로 대왕콘크리트 공업사 및 (주)영화금속, 컨소시엄 관계기관께 감사드린다.

## 참고 문헌

1. A.M.Neville, 'Properties of Concrete', Pitman, 1981.
2. P.K.Mehta & P.J.M.Monteiro, 'Concrete ; Structure, Properties, and Materials', Prentice Hall, 1993.
3. Portland Cement Association, 'Principles of Quality Concrete', John Wiley & Sons, 1975.
4. M.Y.H.Bangash, 'Concrete', Elsevier, 1989.
5. 진치섭, '콘크리트 및 구조시험', 제일문화사, 1986.
6. 문한영, '건설재료학', 동명사, 1984.
7. 한국전력공사, '식탄화 ; 이용가치와 재활용 기술', 1994.
8. 대한토목학회, '콘크리트 표준시방서', 1989.
9. 한국공업표준협회, '한국공업표준규격(Korean Industrial Standard)', 1984.