

# C급 플라이애쉬 콘크리트의 장기특성에 관한 연구

## THE STUDY ON LONG-TERMS PROPERTIES OF CONCRETE USING C CLASS FLY ASH

○ 李 相 洙<sup>1)</sup> 元 澈<sup>1)</sup> 權 寧 鎬<sup>2)</sup> 安 宰 鉉<sup>3)</sup> 朴 沘 林<sup>4)</sup>  
LEE, SANG-SOO      WON, CHEOL      KWON, YEONG-HO      AHN, JAE-HYEN      PARK, CHIL-LIM

### ABSTRACT

The primary purpose of this study is to investigate reusal techniques of by-product produced the combined heat power plant in the construction field, which may contribute to the savings of construction materials and the conservation of environment. This study is compared and evaluated by testing the chemical resistance, adiabatic temperature rising test, creep and drying shrinkage.

As the result of the study, the following conclusions are derived :

(1) hydration heat of the fly ash concrete is less than the plain concrete in adiabatic temperature rising test, (2) the fly ash concrete (FA 30%) is similar to the plain concrete in the chemical resistance, (3) the fly ash concrete (FA 10, 30%) is similar to the plain concrete in drying shrinkage, but the fly ash concrete (FA 50%) is highly increased, (4) the fly ash concrete (FA 30%) is less than the plain concrete in creep test.

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

최근 고도의 경제성장에 따른 산업폐기물의 발생은 양적으로 증대되고, 질적으로도 다양화되어 중대한 사회적 문제로 대두되고 있는 실정이다. 특히, 울산 및 반월공업단지내에서는 유연탄을 주원료로 하는 열병합발전소의 설비확장에 따른 가동율 증가로 인해서 막대한 양의 석탄재가 발생되고 있기 때문에, 이에 대한 처리문제가 해결해야 할 당면과제로 직면하고 있다.

향후, 대기오염에 대한 Green Round가 설정될 경우에는 화력발전소보다 열병합발전소의 신·증설이 증대될 것으로 예상되며, 열병합발전소에서 생성되는 석탄재의 양도 증대될 것으로 전망된다.

한편, 資源節約과 再活用 促進에 관한 法律(제9조)에 따라 석탄재의 재활용 비율을 년도

별로 증가하도록 규정하고 있기 때문에 이에 대한 활용 및 대처방안이 필요하다.

따라서, 산업폐기물을 建設産業의 콘크리트용 재료로서 재활용화하는 方案으로 콘크리트의 배합조건 및 강도특성 연구를 수행하였으며, 장기특성에 관한 연구를 통해 사용 가능성 및 방안을 제시할 필요가 있다.

### 1.2 연구목적 및 범위

본 研究의 目的은 실험을 통해 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬를 建設産業에 재활용하는 방안을 확보하기 위한 것으로 콘크리트의 장기거동을 규명하고자 한다.

시멘트의 代替材로서 플라이애쉬를 활용하게 된다면 환경문제 및 현재의 처리비용, 재료절감 등을 통해 경제성을 확보할 수 있을 것이며, 향후 건설재료의 개발에 기여할 것으로 사료된다.

이러한 연구를 위해 울산석유화학공단내 열병합발전소에서 생성되는 C급 플라이애쉬(ASTM C 618의 기준<sup>1)</sup>에 따라)를 대상으로 콘크리트의 水和特性을 파악하기 위한 단일

<sup>1)</sup> 정회원, (株)大宇建設技術研究所 主任研究員  
<sup>2)</sup> 정회원, (株)大宇建設技術研究所 前任研究員  
<sup>3)</sup> 정회원, (株)大宇建設技術研究所 責任研究員  
<sup>4)</sup> 정회원, (株)大宇建設技術研究所 所長, 工博

온도 상승시험과 콘크리트의 長期擧動을 규명하기 위한 내약품성 시험, 건조수축 및 크리프 측정을 시험변수에 따라 비교·분석하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 실험변수 및 범위

열병합발전소에서 생성되는 C급 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 水和特性 및 長期擧動 特性에 대한 실험변수 및 범위는 [표 1]과 같다.

[표 1] 실험요인 및 수준

시험항목	W/B비(%)	FA치환율(%)	비 고
단열온도 상승시험	40, 50, 60	0, 10, 30, 50	-
건조수축	40	0, 10, 30, 50	KS F 2424
내약품성 크리프		0, 30	JIS 원안법 KS F 2453

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 단열온도 상승시험

콘크리트의 단열온도 상승값을 측정하기 위한 시험장치는 직접시험법으로 완전단열된 입방시험장치에 각각의 배합조건에 따른 콘크리트를 일정용량(8ℓ)으로 충전한 후 재령별 중심부의 온도를 측정하였다.

온도센서에 의해 측정된 값은 컴퓨터에 데이터로 입력되어 단열온도 상승값을 바로 출력할 수 있다.

한편, 콘크리트의 초기 온도는 水和發熱 特性에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 따른 오차를 최소화하기 위하여, 콘크리트의 초기온도를  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 조정하였다. 단열온도 상승시험 변수는 물/결합제비(40, 50, 60%) 및 C급 플라이애쉬의 치환율(0, 10, 30, 50%)을 대상으로 선정하였다.

#### 2.2.2 내약품성 시험

내약품성 시험은 ASTM C 267-82 및 JIS 原案法<sup>2)</sup>에 따라 실시하였으며, 공시체의 치수

는 한변이 2cm인 입방체로, 이때 물/시멘트비는 50%로 일정하게 하였으며, 사용된 약품은 염산(HCl), 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), 황산마그네슘( $\text{MgSO}_4$ ), 황산나트륨( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ),  $\text{H}_2\text{O}$  등을 선정하여 실험을 실시하였다. 이때 사용된 약품의 농도는 [표 2]와 같다.<sup>2)</sup>

[표 2] 표준시험액과 pH조정액

시 약 (규준)	농도 (질량%)	조정액 (용적비)	측정 pH
HCl (JIS K 8180)	2	1N (1 : 11)	0.86
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (JIS K 8951)	5	1N (1 : 35)	0.27
$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (JIS K 8986)	10	1N	7.3
$\text{MgSO}_4$ (JIS K 8995)	10	1N	5.0

또한, 시험용액의 온도는  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하였으며, pH조정은 2~3일 간격으로 측정하여 오차가 생길 경우에는 全量을 교환하도록 하였다.

#### 2.2.3 건조수축시험

건조수축 시험방법은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법)을 기준으로 ASTM C 596에 규정된 방법을 병행하여 실시하였다. 콘크리트의 건조수축에 의한 길이변화율은 고정식 Dial Strain Gauge를 이용하여 재령별로 측정하며, 다음 식에 의해 산출하였다.

$$dl = [(X_{01} - X_{02}) - (X_{11} - X_{12})] \times 10^{-3}(\text{mm})$$

$$\text{건조수축율} = dl/L_0(\text{mm/mm})$$

여기서,  $X_{01}$  : 기점에서의 시험체 측정값,  
 $X_{02}$  : 각 시험재령에서의 측정값  
 $X_{11}$  : 기점에서의 표준자 측정값  
 $X_{12}$  : 각 시험재령의 표준자 측정값  
 $L_0$  : 기준길이

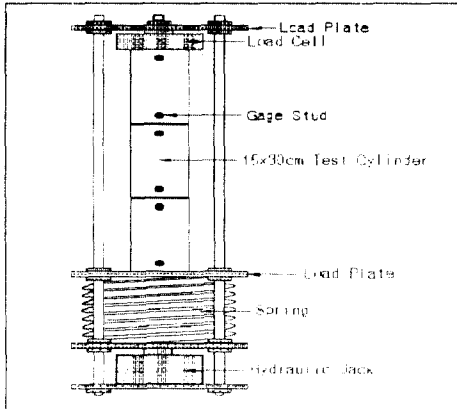
본 시험에 사용한 공시체는 7일동안 습윤양생을 한 후, 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도 60±

5%의 항온항습실에서 실험을 실시하였다.

### 2.2.4 크리프시험

크리프 시험방법은 KS F 2453(콘크리트의 크리프 시험방법) 및 ASTM C 512(Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression)의 규준에 의해 실시하였다.

시험이 종료될 때까지 항온항습실의 온도는  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  를 유지하였으며, 재하하중의 측정은 50t용량의 Load Cell을 이용하여 [그림 1]에 나타난 크리프 시험장치에 설치하여 계속 유지되도록 하였다. 시험기간중에 하중값이 초기 재하하중의 2%이상 오차가 생길 경우에는 이를 보정하도록 하였다.



[그림 1] 콘크리트의 크리프 시험장치

크리프 변형도를 측정하기 위해 ASTM C 341(Standard Test Method for Length Change of Drilled Specimens of Cement Mortar and Concrete)의 규정에 따라 게이지 용량이 200mm, 정밀도 1/500mm인 모아식 스트레인 게이지를 사용하였으며, 시편의 길이 방향으로 게이지 스타드를 200mm간격으로 한 시편당 2개씩 매립하였다.

한편, 기본 크리프를 측정하기 위하여 공시체를 플라스틱 필름으로 봉합하여 외기와외의 수분이동을 차단하였으며, 시험기간동안  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도를 유지하였다.

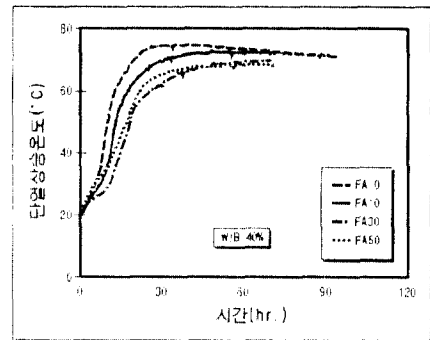
크리프는 하중 재하초기에 가장 변화가 민

감하기 때문에, 재하직후에는 2~6시간 간격으로, 처음 1일은 2회, 처음 1주일간은 매일, 처음 1개월간은 매주, 1년까지는 매달 1회 간격으로 변형을 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

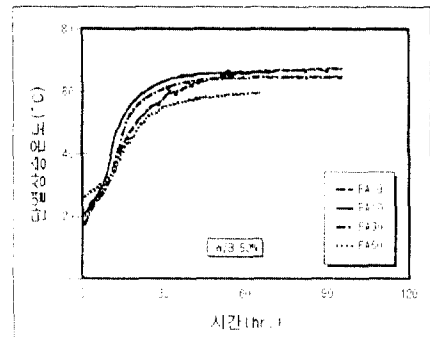
### 3.1 단열온도 상승특성

물/결합재비가 40%인 시험체에 대한 플라이애쉬 치환율별 단열온도 상승특성의 결과는 [그림 2]와 같다.

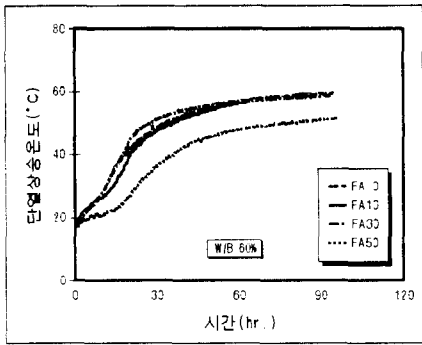


[그림 2] 단열온도 상승곡선(W/B비 40%)

물/결합재비 40%인 콘크리트에서 단열온도 상승곡선은 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 낮게 측정되었다. 물론, 단열온도 상승곡선의 기울기도 치환율이 증가할수록 낮게 나타나는 경향을 보였다. 물/결합재비가 50 및 60%인 콘크리트의 단열온도 상승곡선은 각각 [그림 3] 및 [그림 4]에 나타난 바와 같다.



[그림 3] 단열온도 상승곡선(W/B비 50%)



[그림 4] 단열온도 상승곡선(W/B비 60%)

물/결합재비에 관계없이 플라이애쉬의 치환율이 증가할 수록 단열온도 상승기울기가 낮게 측정되었는데, 이는 F급 플라이애쉬와 마찬가지로 C급 플라이애쉬를 사용하면 수화열저감효과가 있다는 것을 알 수 있다.

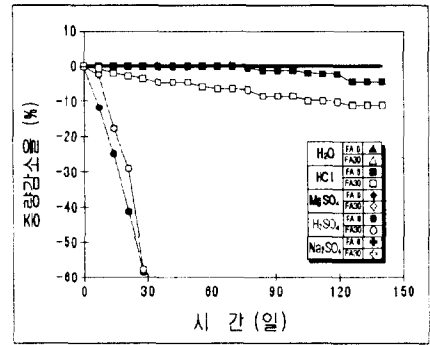
그러나, 물/결합재비에 따른 상승곡선은 매우 상이하게 나타났다. 즉, 물/결합재비가 증가할 수록 단열온도 상승값은 감소되고, 상승기울기도 완만해 지는 경향을 나타내었다.

이는 일정한 단위수량(175kg/m<sup>3</sup>)에 대해 물/결합재비가 증가할 수록 단위결합재량이 감소하게 되고 동일한 치환율에서도 단위시멘트량이 감소하기 때문에, 시멘트 절대량의 감소에 따른 수화발열량 및 상승속도가 감소하게 된 것으로 사료된다.

### 3.2 내약품특성

플라이애쉬를 치환하지 않은 시험체와 30%를 치환한 시험체를 제작하여, 각각의 시약에 침식시킨 후 재령별 측정된 시험체의 중량감소율은 [그림 5]와 같다.

실험결과, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 HCl를 시액으로 사용한 용액에 침식시킨 시험체는 침식재령 초기부터 중량감소를 나타내었으며, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 침식시킨 공시체는 재령 3주의 중량감소율이 50%에 도달할 정도로 침식을 많이 받는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 플라이애쉬의 치환에 관계없이 측정된 것으로, 강알칼리성인 시멘트 수화물과 강산성인 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 HCl의 화학작용에 의한 것으로 사료된다.

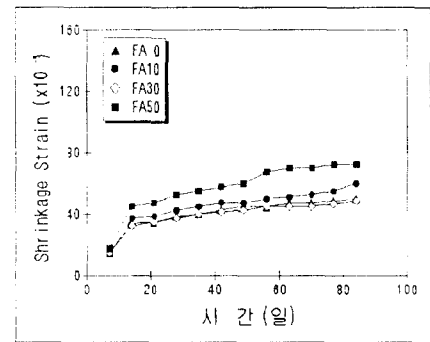


[그림 5] 침식재령과 중량변화율과의 관계

한편, HCl에 침식시킨 경우, 플라이애쉬를 30% 치환한 시험체의 중량감소율이 치환하지 않은 시험체보다 약간 높은 것으로 나타났으며, 그 밖의 용액에 침식시킨 시험체는 플라이애쉬 치환여부에 관계없이 중량감소가 일어나지 않았다.

### 3.3 건조수축특성

건조수축에 따른 특성을 측정하기 위한 콘크리트의 길이변화 시험결과는 [그림 6]과 같다.



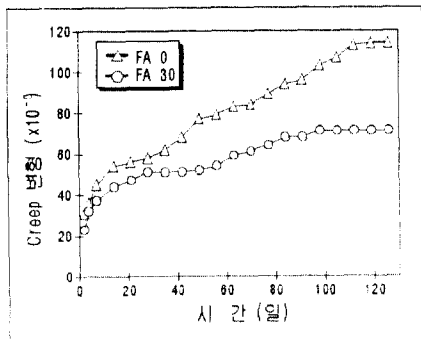
[그림 6] 콘크리트의 건조수축 특성

[그림 6]에 나타난 바와 같이 플라이애쉬를 10, 30%치환한 콘크리트는 플라이애쉬를 치환하지 않은 콘크리트와 유사한 경향을 나타내고 있는 반면에, 플라이애쉬 치환율이 50%로 높은 경우에는 치환하지 않은 콘크리트에 비해 높은 수축변형량을 나타내었다.

이는 단위수량이 일정할 경우, 플라이애쉬 치환율이 증가함에 따라 결합재-페이스트의 체적이 상대적으로 증가하기 때문에 건조수축이 증가한 것으로 사료된다. 그러나, 양질의 플라이애쉬를 사용하면 동일 유동성을 얻기 위한 단위수량을 줄일 수 있기 때문에 건조수축의 제어는 가능할 것이다. 본 연구의 결과로 볼 때, 플라이애쉬의 치환율을 30% 정도로 선정하는 것이 바람직할 것이다.

### 3.4 크리프특성

물/결합재비 40%에서 플라이애쉬를 치환하지 않은 시험체와 30% 치환한 시험체의 크리프 변형을 재령별로 측정된 결과는 [그림 7]과 같다.



[그림 7] 콘크리트의 크리프 변형

실험결과, 플라이애쉬를 30% 치환한 콘크리트의 크리프 변형은 플라이애쉬를 치환하지 않은 콘크리트보다 작은 것으로 나타났다. C급 플라이애쉬를 사용한 기존의 연구<sup>(3)(4)</sup>에서도 유사한 결과를 보였다. 재령강도의 40%를 가압한 조건에서 강도와와의 관계를 명확하게 규명하기 어렵지만<sup>(5)(6)</sup>, 플라이애쉬 30%를 치환한 콘크리트의 크리프 변형은 큰 문제가 없을 것으로 사료된다.

### 4. 결 론

C급 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 장기 특성 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) C급 플라이애쉬를 치환한 콘크리트의 단

열온도 상승은 치환율이 증가할 수록 감소하였으며, 물/결합재비가 클 수록 감소하는 경향을 나타내었다.

- (2) 내약품성 시험 결과, 플라이애쉬 치환율에 관계없이 우수한 것으로 나타났다.
- (3) C급 플라이애쉬를 치환한 콘크리트의 건조수축은 50%를 치환한 경우를 제외하면, 치환하지 않은 콘크리트와 거의 유사하다.
- (4) 크리프의 변형은 플라이애쉬를 30% 치환한 콘크리트가 치환하지 않은 콘크리트보다 작게 나타났다.

### 《감사의 글》

본 연구는 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬를 활용하기 위한 연구로써 울산석유화학지원(주)의 수탁과제로 수행된 것이며, 서현민 팀장님을 비롯한 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 《참고문헌》

- (1) ASTM C 618, "Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete"
- (2) JIS 原案, セメントペーストの溶液浸せきによる耐藥品性試験方法(案), 콘크리트工學, Vol.23, No.3, 1985, pp.63~64
- (3) Ghosh, R.S., Timuk, J., "Creep of Fly Ash Concrete" ACI Journal, Vol.78, No.5, September-October, 1981, pp.351~357
- (4) K. Wesche., P. L. Owens, "Fly Ash in Concrete (Properties and performance)", RILEM, 1991
- (5) 朴泚林 외, "열병합발전소 플라이애쉬의 특성 및 活用方案에 관한 實驗的 研究", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제6권2호. 1994.11. pp.211~216
- (6) 朴泚林 외, "열병합발전소 플라이애쉬의品質 및 콘크리트의 力學的 特性", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제7권2호. 1995.11. pp.69~74