

# 플라이애쉬 사용에 따른 콘크리트 품질변화에 관한 실험적 연구

## An experimental study on quality change of concrete according to fly ash using

○ 박 일 용<sup>\*</sup>      백 민 수<sup>\*\*</sup>      손 종 규<sup>\*\*\*</sup>  
Park, Il Yong      Paik, Min Su      Shon, Jong Kyu  
최 수<sup>\*\*\*\*</sup>      정 상 진<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Choi, Soo      Jung, Sang Jin

### Abstract

The purpose of this study is to offer foundmental information of fly ash concrete for field application. Through before study of fly ash concrete, various properties were checked. but when fly ash was added In concrete, entrained air quantity was decreased as fly ash substitution is increased in fresh concrete. so entrained air(below AE) quantity and a kind of AE according to fly ash substitution was tested basic properties. Also water-reducing efficiency was tested. And hydration heat according to fly ash substitution was tested by KR-100. As result of test, according to fly ash substitution increase, entrained air quantity is increase for target entrained air quantity, water-reducing efficiency and hydration heat are positive.

### 1. 서 론

최근 들어 플라이애쉬를 콘크리트용 혼화재로 사용할 경우 콘크리트의 품질성능 향상은 물론 경제성 측면에서도 상당한 이점이 있는 것으로 알려지면서, 레미콘업체 및 일반건설업체를 중심으로 플라이애쉬 콘크리트의 사용이 지속적으로 증가하는 추세에 있다. 그러나 플라이애쉬는 사용된 원탄의 종류 및 발전소의 연소장치 등에 따라 품질편차가 매우 크게 되므로 콘크리트에 혼입하여 사용할 경우 초기강도 저하 및 미연탄소분에 의한 AE제 흡착 등 콘크리트의 내구성능을 크게 저하시킬 수 있는 등 몇가

- \*    정회원, 단국대 대학원 석사과정
- \*\*   정회원, 단국대 대학원 박사과정
- \*\*\* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원
- \*\*\*\* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 과장
- \*\*\*\*\* 정회원, 단국대 건축공학과 부교수, 공학박사

지 제한적 요소를 내포하고 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 플라이애쉬의 치환율과 AE제의 종류와 사용량에 따른 기초물성과 플라이애쉬의 혼입에 따른 단위수량의 변화를 파악하고, 플라이애쉬의 장점인 수화열 저감효과 등에 대하여 고찰함으로써 플라이애쉬 콘크리트의 배합방법에 대한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트

시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 S사의 제1종 시멘트(보통포틀랜드시멘트)를 사용하였으며, 그 물리·화학적 조성은 표1과 같다.

표1 시멘트의 물리·화학적 특성

성분	Ig-loss	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
구성비율(%)	1.0	21.1	2.9	62.5	3.3	2.2	6.5
비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정성	용결시간		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
			초 결	중 결	3일	7일	28일
3.15	2,900	양호	4h	6h	198	272	389

\* S사의 시험결과표

#### (2) 플라이애쉬

본 실험에서 사용한 플라이애쉬는 보령 화력발전소에서 생산되어 정제 과정을 거친 유연탄 플라이애쉬로서 그 품질시험 결과는 표2와 같다.

표2 플라이애쉬의 물리·화학적 특성

생산지 (시험기호)	강열 감량 (%)	단위 수량비 (%)	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	비중	압축 강도비 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	습분 (%)
보령(Fb)	4.72	99	3,427	2.19	93	47.6	0.14
보령(Fb <sub>1</sub> )	3.75	100	3,084	2.14	95	59.7	0.11
KS 규격	5 이하	102 이하	2,400 이상	1.95 이상	6 이상	45 이상	1 이하

#### (3) 골재

본 실험에서 사용한 골재는 모두 북한강산으로 잔골재는 최대크기를 5mm이하로 입도 조정하였으며, 굵은 골재는 최대 치수 25mm이하를 사용하였다. 굵은 골재는 배합하기 1일전에 물을 가하여 표면 건조 내부포수 상태인 재료를 사용하였으며, 굵은 골재 및 잔골재의 품질시험결과는 표 3에 나타내었다.

표3. 골재의 품질시험 결과

구분	생산지	표준 비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적율 (%)	조립율 (F.M)
잔골재	북한강	2.57	0.98	1,590	61.2	2.87
굵은골재		2.62	1.8	1,596	61.04	6.3

(4) 혼화제

플라이애쉬 치환율에 따른 공기연행제의 사용량 변화 실험에는 국내 D사, S사, E사에서 생산되는 고성능 감수제 및 AE제 분리형을 선정하였고 그 물성은 표4와 같다.

표4 혼화제

제조 회사	유형	주성분	소요량	색상	비고
국내 D사	감수제	나프탈린변성 고중합 폴리머	0.5-1.0	암갈색	-
	AE제	-	-	암갈색	20배 희석
국내 S사	감수제	리그닌 주제	0.3-0.4	암갈색	-
	AE제	-	0.2-0.5	연황색	10배 희석
국내 E사	감수제	나프탈렌 축합물	0.5-1.0	암갈색	-
	AE제	-	0.2-0.4	암갈색	10배 희석

2.2 실험개요

(1) 배합

W/B비 50%, 플라이애쉬의 강열감량은 4.72로 하였으며, 플라이애쉬는 총 결합재의 중량에서 각각 0, 5, 10, 15, 20%를 대체하여 사용하도록 배합계획을 세웠으며 본 실험의 배합계획표는 표5에 나타내었다.

표5 배합계획표

시험체기호	W/B (%)	혼입률 (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	F/A	S	Ag.
Fb-W5-R00	50	0	170	340	-	701	1072
Fb-W5-R05		5	170	323	17	701	1072
Fb-W5-R10		10	170	306	34	701	1072
Fb-W5-R15		15	170	289	51	701	1072
Fb-W5-R20		20	170	272	68	701	1072

(2) 실험방법

플라이애쉬 사용에 의한 AE제의 사용량 변화를 고찰하기 위하여 콘크리트용 혼화제로 국내에서 생산·시판되고 있는 3개사 제품의 감수제 및 AE제 분리형을 사용하여 목표 공기량(4.5±1.5%)을 얻는데 필요한 AE제의 사용량 변화 실험을 실시하였다. 또한, 배합설계를 25(굵은골재 최대치수)-240(설계기준강도)-15(슬럼프)로 하여 콘크리트를 제조할 경우 플라이애쉬의 혼입에 의한 단위수량 변화를 고찰하였다. 또한 플라이애쉬 혼입에 의한 콘크리트의 수화열 변화특성을 규명하기 위해 플라이애쉬 혼입률을 0, 10, 20, 30%로 변화시켜 50cm×50cm×50cm의 시험체를 제작한 후 시험체의 중앙부 및

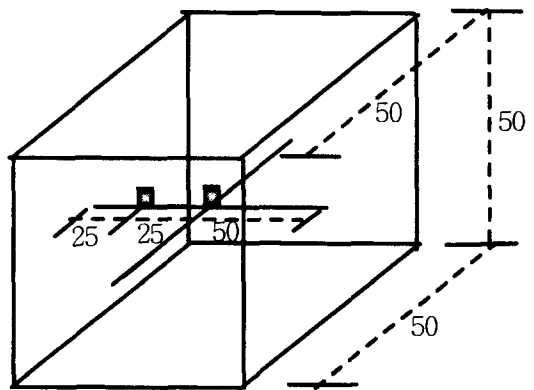


그림1 수화열 측정용 시험체 및 센서 매입 위치(cm)

표면부에서 발생하는 수화열을 측정하였다. 콘크리트 타설전에 미리 측정부위에 센서를 매입하고 시험체는 15cm두께의 단열재로 전면을 감싸서 외부와의 열교환을 차단하였다. 결과의 측정은 타설직후부터 10일동안 20±2℃의 양생 온도에서 KR-100을 사용하여 2시간 간격으로 콘크리트의 수화온도 변화를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### (1) AE제의 종류 및 사용량 변화

표6에 AE제의 종류와 플라이애쉬 혼입에 따른 사용량을, 그림 2에 플라이애쉬 혼입률에 따른 사용량 변화 시험결과를 나타내었다. 그림2에 나타난 것처럼 플라이애쉬의 혼입률이 증가할수록 목표 공기량을 얻는데 필요한 AE제의 사용량은 점차 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

특히, 플라이애쉬를 혼입하지 않은 콘크리트의 배합시 D사 제품의 경우 0.03%만으로 목표 공기량에

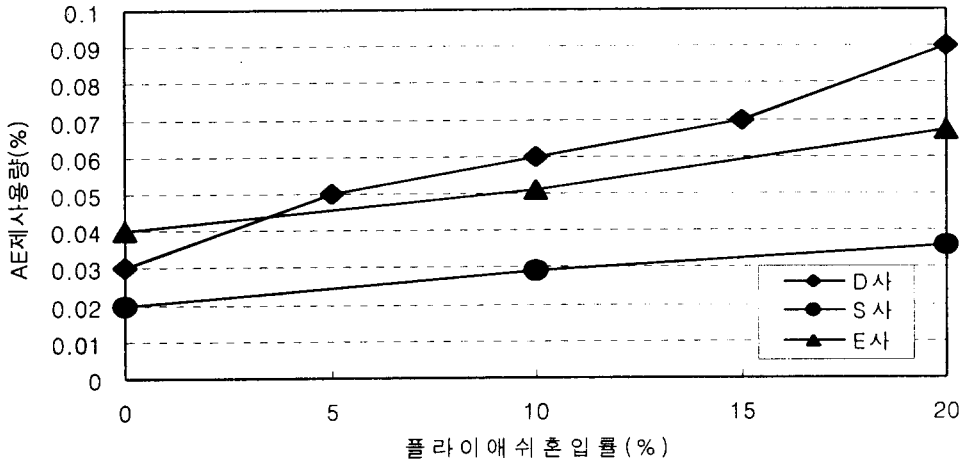


그림2 목표 공기량 확보를 위한 AE제의 사용량 변화

표6 AE제 종류 및 플라이애쉬 혼입에 따른 사용량 변화

제조 회사	플라이애쉬 혼입률 (%)	감수제 (% (%, 결합재 중량비))	AE제 (% (%, 결합재 중량비))	공기량 (%)	비고
D사	0	0.8	0.03	4.5	20배 희석
	5	0.8	0.05	4.2	
	10	0.8	0.06	4.3	
	15	0.8	0.07	4.3	
	20	0.8	0.09	4.1	
S사	0	0.8	0.2	4.5	10배 희석
	10	0.8	0.29	4.5	
	20	0.8	0.36	4.7	
E사	0	0.8	0.4	4.5	10배 희석
	10	0.8	0.51	4.4	
	20	0.8	0.67	4.5	

도달하였으나 플라이애쉬의 혼입률이 10%, 20%로 증가함에 따라 AE제 사용량 또한 0.06, 0.09%로 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 실험에 사용된 제품 모두에서 유사한 경향을 보이고 있으며, 플라이애쉬 사용에 따른 AE제의 사용량은 약 2~3배까지 증가하는 것으로 나타났다.

(2) 플라이애쉬 혼입에 따른 단위수량의 변화

플라이애쉬 혼입에 따른 단위수량의 변화의 실험결과를 그림3에 나타내었다. 그림과 나타난 것처럼 플라이애쉬의 혼입률이 증가함에 따라 목표 슬럼프를 얻기 위한 플라이애쉬 콘크리트의 단위수량은 대체적으로 감소하는 경향을 나타냈으며, 플라이애쉬 10% 혼입시 일반콘크리트보다 3.5kg/m<sup>3</sup>, 20% 혼입시 5kg/m<sup>3</sup>의 단위수량이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 미세한 플라이애쉬 입자가 구형의 형상으로 되어있어 굳지 않은 콘크리트 속에서 불-베어링 역할을 하기 때문으로 판단된다.

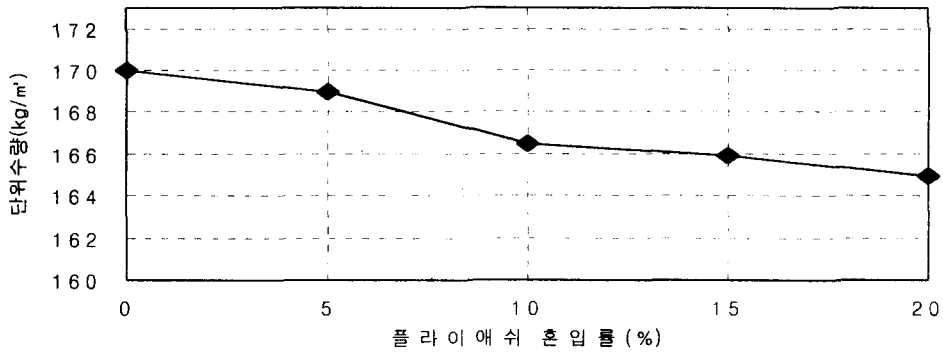


그림3 플라이애쉬 혼입에 따른 단위수량 변화

한편, 플라이애쉬의 사용에 따른 콘크리트의 단위수량 감소는 블리딩 감소 및 W/C비 유지를 위한 시멘트 사용량의 감소로 이어져 경제성뿐만 아니라 콘크리트의 건조수축에 의한 균열을 억제하는 효과까지도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 콘크리트의 수화열

콘크리트 내부 온도에 의한 수화열 측정결과를 그림4에 나타내었다. 그림에 나타난 것처럼 플라이애쉬의 혼입률이 증가할수록 초기 온도상승은 감소하였으며, 온도상승곡선의 기울기도 감소하였다.

또한, 플라이애쉬 혼입률에 따른 콘크리트 내부의 수화열을 측정된 결과 플라이애쉬를 사용하지 않은 콘크리트와 플라이애쉬를 10% 혼입하여 제작한 콘크리트의 온도상승 곡선은 거의 유사한 경향을 보였으며, 플라이애쉬 혼입에 따른 수화열의 감소는 거의 나타나지 않았다.

그러나, 플라이애쉬를 20~30% 혼입한 경우 콘크리트 내부의 수화열은 급격히 감소하였으며, 이러한 현상은 플라이애쉬의 혼입량이 증가할수록 더욱 커지는 것으로 나타났다. 또한 각각의 콘크리트 부재에서 수화온도가 최고점에 도달한 이후부터 온도변화는 플라이애쉬가 혼입되지 않은 시험체의 경우 온도가 급격히 떨어지는 현상을 보인 반면 플라이애쉬가 혼입된 경우에는 완만한 온도 하강곡선 기울기를 보였으며, 플라이애쉬의 혼입률이 증가할수록 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이러한 현상은 콘크리트에 플라이애쉬의 혼입률이 증가함에 따라 그만큼 시멘트의 양이 줄어들게 됨으로서 콘크리트의 반응속도는 늦어지게 되고 플라이애쉬의 포졸란 반응은 비교적 장기에 걸쳐 완만하게 진행되므로 초기의 시멘트 수화 발열을 억제하게 된다. 그러므로 플라이애쉬는 콘크리트의 수화열을 감소시켜 온도상승을

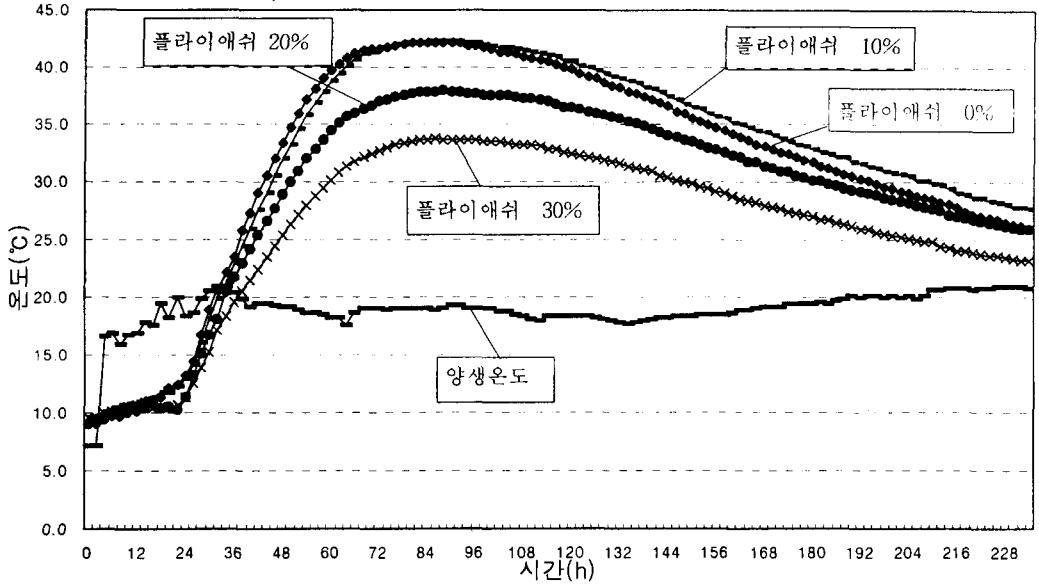


그림 4 플라이애쉬 혼입에 따른 콘크리트 내부온도 분포

억제함으로서 발열저감 효과를 나타내게 되는 것이다. 그러나 플라이애쉬가 혼입됨으로 인해 일반 콘크리트 구조물에서 이러한 수화발열 저감 효과를 극대화하기 위해서는 본 연구실험 결과 플라이애쉬를 20%이상 사용해야 하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 플라이애쉬 콘크리트의 품질변화 시험결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 플라이애쉬의 혼입에 따른 AE제의 종류 및 사용량 변화 시험결과 AE제의 성분에 관계없이 플라이애쉬의 혼입률이 증가함에 따라 AE제량도 증가하는 것으로 나타났다.
- (2) 플라이애쉬 10% 혼입시 플라이애쉬를 혼입하지 않은 콘크리트보다 3.5kg/m<sup>3</sup>, 20% 혼입시 5kg/m<sup>3</sup>의 단위수량이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 단위수량 감소는 블리딩 감소 및 W/C비 유지를 위한 시멘트 사용량의 감소로 이어져 경제성뿐만 아니라 콘크리트의 건조수축에 의한 균열억제효과 까지도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.
- (3) 플라이애쉬 콘크리트부재 내부의 수화열을 측정된 결과 플라이애쉬 혼입률이 증가할수록 초기온도 상승은 감소하였으며, 온도상승곡선의 기울기도 감소하였다.

#### 참고문헌

- (1) 飛板基夫·貞野孝次·白岩昌幸：空氣連行性に及ぼす石炭灰の物性に關する檢査，セセメント・コンクリート 논문집 No 51.
- (2) 牧野貞之의 3人：フライアッシュを用いたマスコンクリートの諸性状に關する檢査，コンクリート工學年次論文報告集 Vol.20
- (3) 増田和機の 3人：フライアッシュコンクリートの空氣連行性と耐東海性，コンクリート工學年次論文報告集 Vol. 9