

# 플라이애쉬 혼입 콘크리트의 적용성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Application of Fly Ash in Concrete

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 basic information of fly ash concrete for field application. Through before study and fly ash in mortar, various properties as fly ash ratio in concrete were checked. according to the experimental result, slump was increased and entrained air quantity was decreased as fly ash ratio is increased in fresh concrete. In hardened concrete, strength development of plain concrete(W/B 50%)was slower than water-reduced concrete(W/B 40%) at early age. Especially water-reduced concrete was remarkably faster than no fly ash in concrete. Moduls of stastic elasticity and stress-strain relationship of fly ash in concrete nearly were effect on no fly ash concrete.

---

### 1. 서 론

최근의 급속한 경제발전과 더불어 전력수요가 꾸준히 증가하여 왔고, 1970년대 초의 오일 파동 이후, 석탄에 대한 에너지 비중이 높아지면서 화력발전소가 증가하게 되었다. 따라서 화력발전소의 산업폐기물인 석탄회(Fly Ash)의 발생량은 1996년말 300만톤을 넘게되었으며 2005년중에는 600만톤을 상회할 것으로 예상되기 때문에 부존자원이 거의 없는 우리나라로서는 플라이애쉬가 귀중한 자원으로 평가되고 있다. 해외 선진국에서는 산업부산물인 플라이애쉬를 건축,토목재료 콘크리트분야등의 산업용재로 활용하기 위한 연구개발 및 응용이 30여년전 부터 활발히 진행되어 현재까지 많은 성과를 거두어 왔고 그 재활용 비율 또한 우리나라와는 비교가 안될 만큼 높은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 플라이애쉬를 일반 시멘트 몰탈에 혼입함으로써 변화하는 제반특성을 실험,실증적으로 규명하기 위한 것으로서 플라이애쉬 혼입량, 강열감량, 생산지등의 실험변수에 의한 플라이애쉬 혼입 모르타의 유동

---

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

성을 비롯한 제반 역학적 특성을 일반 콘크리트와 비교·분석하고 이를 토대로 플라이애쉬 콘크리트 조시 각종 실험변수 선정 및 적정강도 대비 최적 혼입율을 도출함으로써 플라이애쉬 콘크리트의 품질 특성 규명 및 실용화를 위한 기초자료로 이용될 수 있도록 하는데 연구 목적이 있다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트

시멘트는 국내 S사에서 생산된 것으로서 KS L 5201규정에 적합한 보통 포틀랜드 시멘트로 그 물리적 성질과 화학적 조성은 표 1 과 같다

표 1 시멘트의 물리적, 화학적조성

화학적성질	성 분	강열감량(LOI)	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
물리적성질	비 중	분말도(cm <sup>3</sup> /g)	안 정 성	응 결 시 간		압 축 강 도(kg/cm <sup>2</sup> )		
	3.15	2,900	양 호	초 결	종 결	3일	7일	28일
				4h	6h	198	272	389

\* S사의 시험결과표

#### (2) 골재

골재는 미사리산으로 세골재는 최대직경 5mm이하의 것을 사용하였고, 조골재는 최대직경 25mm 이하의 것을 사용하였으며 각각의 물리적 특성에 관한 시험결과는 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

골재종류	생 산 지	최대치수 (mm)	표 건 비 중	흡 수 율(%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	실 적 율(%)	조 립 율(%)
세 골 재	미 사 리	5.0	2.57	0.98	1,590	61.2	2.87
조 골 재		25	2.62	1.8	1,596	61.04	6.3

#### (3) 플라이애쉬

본 연구에서 사용한 플라이애쉬는 보령산으로 KS L 5405규정에 적합한 것이며 그 물리적 특성은 표 3 과 같다.

표 3 플라이애쉬의 물리적 특성

생 산 지 (시험기호)	강열감량(%)	단위수량비(%)	분말도(cm <sup>3</sup> /g)	비 중	SiO <sub>2</sub>	압축강도비	습분(%)
보령(Fb)	3.75	100	3,206	2.18	59.7	95	0.11
보령(Fb <sub>2</sub> )	4.72	99	3,201	2.21	47.6	93	0.14
KS규격	5이하	102이하	2,400이상	1.95이상	45이상	60이상	1이하

#### (4) 혼화제

본 실험에서 사용한 혼화제는 배합조건에서 목표 슬럼프와 공기량을 얻기 위한 것으로 국내D사의 고성능 AE 감수제 표준형으로 액상은 암갈색이고 주성분은 나프타와 리그닌이다.

### 2.2 시험방법

플라이애쉬 혼입율에 따른 콘크리트의 물리적 특성을 평가하기 위하여 굳지않은 콘크리트에서 KS

F 2402, 2409에 의한 슬럼프 및 공기량을 측정하였고, 경화콘크리트에서는 KS F 2405에 의한 압축강도시험, KS F 2408에 의한 휨강도 시험, KS F 2423에 의한 인장강도시험을 실시하였다. 정탄성계수는 시컨트 모듈러스(Secant Modulus)에 의하여 콤프레소메타(Compresso Meter)를 이용하여 측정하였다.

### 2.3 공시체의 제작 및 양생

각 공시체의 제작은 KS F 2403에 의거하여 KS F 8009에 규정된 강세혼합믹서를 이용하여 실시하였다. 플라이애쉬 혼입은 시멘트에 대한 중량 백분을 0-20%로 치환하였다. 배합표를 표 4 에 나타내었다. 압축,인장강도 공시체의 제작에는  $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 몰드를 사용하였고 휨강도는  $15 \times 15 \times 55\text{cm}$ 의 몰드를 사용하였으며 제작된 공시체는 소정의 재령까지 표준수중양생을 실시하였다.

표 4 배합표

시험체명	W/B(%)	S/A(%)	Ratio(%)	단위용적중량(kg/m <sup>3</sup> )					
				Cement	FA	Sand	Ag.	Water	Admix
Fb-W5-R00	50	40	0	340	-	701	1072	170	1.87
Fb-W5-R05			5	323	17	701	1072	170	1.87
Fb-W5-R10			10	306	34	701	1072	170	1.87
Fb-W5-R15			15	289	51	701	1072	170	1.87
Fb-W5-R20			20	272	68	701	1072	170	1.87
Fb <sub>1</sub> -W5-R00	50	40	0	340	-	701	1072	170	1.87
Fb <sub>1</sub> -W5-R10			10	306	34	701	1072	170	1.87
Fb <sub>1</sub> -W5-R20			20	272	68	701	1072	170	1.87
Fb-W4-R00	40	40	0	425	-	673	1030	170	2.76
Fb-W4-R10			10	383	42	673	1030	170	2.76
Fb-W4-R20			20	340	85	673	1030	170	2.76

## 3 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지 않은 플라이애쉬 혼입 콘크리트의 슬럼프 측정결과

표 5 에 의하면 대체적으로 플라이애쉬의 혼입율이 증가할수록 플로우값이 증가하는 결과를 나타내고 있으며 특히, 플라이애쉬를 15%대체한 모르타의 경우 플라이애쉬를 혼입하지 않은 것보다 약10%의 유동성이 증진되는 결과를 보였다.

표 5 플라이애쉬 함량에 따른 슬럼프 측정결과 (단위:cm)

구분	R00	R05	R10	R15	R20
Fb	16.5	17.5	19.0	18.0	13.2
Fb <sub>1</sub>	17.5	-	18.7	19.1	17.0

### 3.2 플라이애쉬 혼입 콘크리트의 공기량 측정결과

KS F 2409에 의한 방법으로 공기량을 측정한 결과를 표 6 에 나타내었다. 표에 의하면 플라이애쉬의 혼입율이 증가할수록 공기량은 감소하는 값을 나타내고 있으며 10%이상의 혼입에서는 15%이상의 공기량 손실이 나타났다. 따라서 플라이애쉬 혼입율이 증가할수록 더 많은 양의 공기 연행제가 필요한 것으로 나타났다.

표 6 플라이애쉬 함량에 따른 콘크리트의 공기량

(단위:%)

구분	R00	R05	R10	R15	R20
Fb	3.3	3.2	2.8	2.8	2.72
Fb <sub>1</sub>	4.7	-	4.7	-	5.5

3.3 압축강도, 인장강도 및 휨강도 시험결과

플라이애쉬 혼입 콘크리트 시험체에 대한 압축강도의 시험결과를 표 7에 나타내었다. 표에 의하면 플라이애쉬 혼입을 15%인 시험체가 강도발현이 높게 나타났으며, W/B비가 낮은 콘크리트가 더 높은 강도발현을 나타내었다. 혼입률에 따른 강도발현성상을 그림 1, 그림 2에 나타내었다. 그림에 의하면 플라이애쉬의 혼입율이 높을수록 초기재령에서의 압축강도는 일반 콘크리트에 비해 대체적으로 감소하는 경향을 보이고 있으나, 재령 14일 이후부터는 강도증진이 두드러지기 시작해 재령 28일의 경우 플라이애쉬의 혼입율에 따른 뚜렷한 강도증진을 보이고 있다. W/B비에 따른 강도발현성상에서는 W/B비가 작을수록 더 큰 강도의 증진을 나타내어 W/B비 40% 시험체의 경우 재령 28일의 강도는 모든 혼입률에서 플레인 콘크리트보다 높은 강도를 나타내었다. 특히 혼입을 15%에서 가장 높은 강도발현을 보였으며 단위시멘트량에 따른 최적의 포졸란 활성반응이 일어나기 위해서는 플라이애쉬 혼입량을 적절한 범위에서 조절해야 할 필요가 있음을 나타내고 있다. 강열감량에 따른 압축강도의 변화를

표 6 압축강도 및 인장강도·휨강도 실험결과

구분	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )			인장강도(kg/cm <sup>2</sup> )		휨강도(kg/cm <sup>2</sup> )
	7일	14일	28일	7일	28일	28일
Fb-W5-R00	218(100)	261(100)	266(100)	23	29	37
Fb-W5-R05	194(89)	241(92)	255(96)	22	27	36
Fb-W5-R10	194(89)	236(90)	260(98)	22	29	38
Fb-W5-R15	201(92)	242(93)	276(104)	21	23	33
Fb-W5-R20	146(67)	193(74)	217(82)	17	18	32
Fb <sub>1</sub> -W5-R10	180(83)	212(81)	241(90)	22	25	-
Fb <sub>1</sub> -W5-R20	137(63)	181(69)	220(83)	17	19	-
Fb-W4-R00	233(100)	270(100)	281(100)	23	29	-
Fb-W4-R10	233(100)	275(102)	304(108)	23	28	-
Fb-W4-R15	214(92)	266(99)	317(113)	21	28	-
Fb-W4-R20	144(62)	240(89)	285(101)	28	24	-

\*( ) : 일반 콘크리트의 강도를 100으로 한 압축강도비

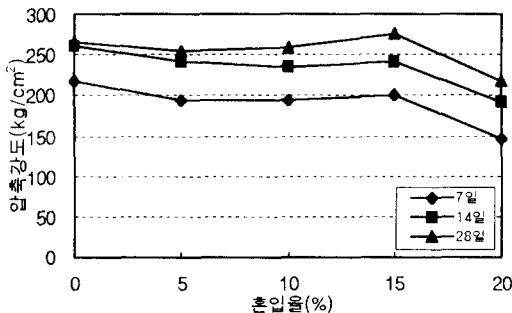


그림 1 W/B비 50%의 압축강도성상

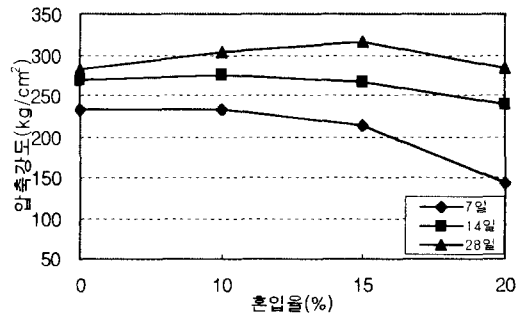


그림 2 W/B비 40%의 압축강도성상

그림 4에 나타내었다. 그림 4에 따르면 강열감량이 3.75%인 시험체의 압축강도가 4.72%인 시험체보다 평균 9%정도 높게 나타나고 있다. 그림 5에 플라이애쉬 혼입율에 따른 인장강도와 압축강도의 관계를 나타내었고, 그림 6에 플라이애쉬 혼입율에 따른 휨강도와 압축강도와의 관계를 나타내었다. 그림에 따르면 인장강도는 압축강도의 1/9~1/12으로 나타났고, 휨강도는 압축강도의 1/8~1/9로 나타났으나, 인장강도, 휨강도 모두 압축강도 발현과는 상관 관계가 거의 없는 것으로 사료된다.

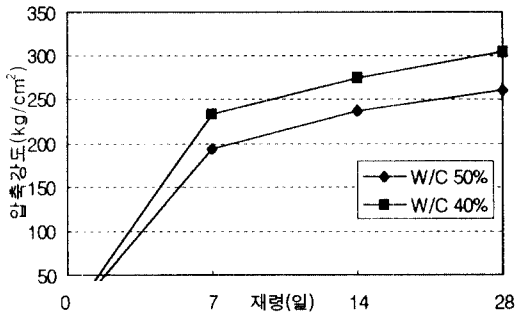


그림 3 W/B비에 따른 압축강도의 변화(혼입율10%)

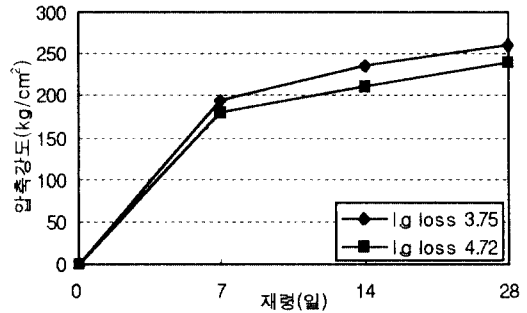


그림 4 강열감량에 따른 압축강도의 변화(혼입율10%)

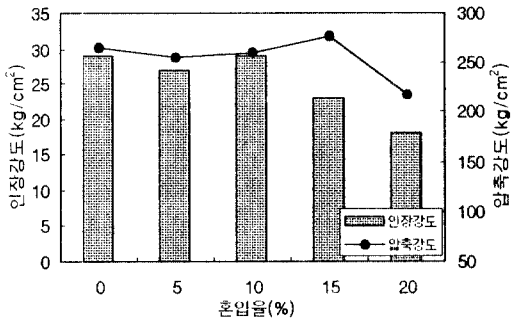


그림 5 플라이애쉬 혼입율과 인장강도와의 관계

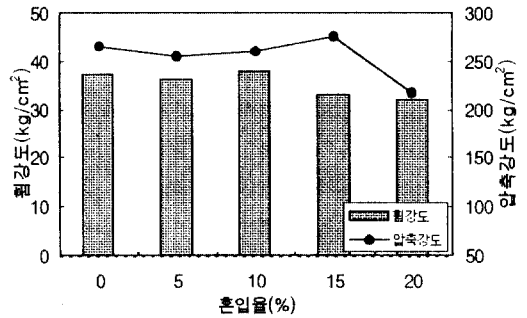


그림 6 플라이애쉬 혼입율과 휨강도와의 관계

### 3.4 정탄성계수 시험 결과

KS F 2438에 의한 방법으로 콘크리트의 탄성계수를 측정한 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림에 따르면 탄성계수는 압축강도에 따라 변동특성을 보이고 있으며 플라이애쉬의 혼입량에 따라 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

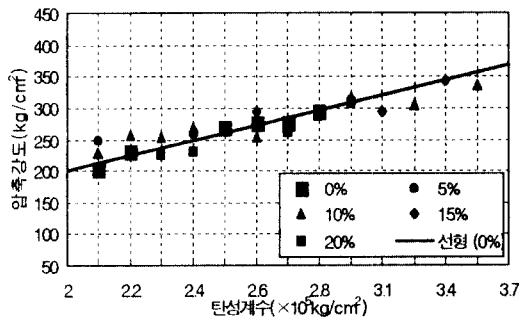


그림 7 플라이애쉬 함량에 따른 탄성계수

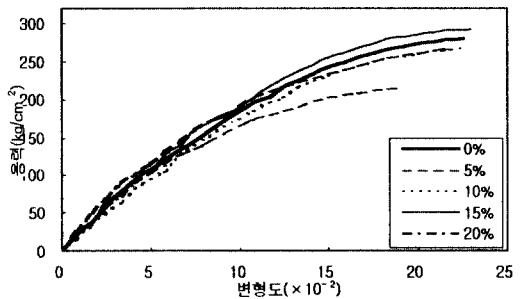


그림 8 플라이애쉬 함량에 따른 용력-변형도 관계

### 3.5 응력-변형도 관계

플라이애쉬 콘크리트의 응력-변형도 관계를 그림 8 에 나타 내었다. 그림에 따르면 플라이애쉬 혼입율 15%까지는 플레인 콘크리트와 큰 차이는 없는 것으로 나타났고 20%의 혼입율에서는 약 5%정도 낮게 나타났다.

## 4. 결론

본 연구에서는 플라이애쉬에 대한 기존의 연구자료를 분석하고 모르타 시험결과를 바탕으로 플라이애쉬 혼입율에 대한 콘크리트의 물성에 대한 실험 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 플라이애쉬 함량에 따른 콘크리트의 슬럼프 측정결과 플라이애쉬 함량이 증가할수록 유동성이 증진되어 슬럼프 값이 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 플라이애쉬 함량에 따른 공기량 측정결과 플라이애쉬의 함량이 증가할수록 공기량은 감소하는 경향을 나타냈고 혼입율 10%이상에서는 약 15%정도의 공기량이 손실되는 것으로 나타났다. 따라서 소요 공기량을 확보하기 위해서는 더 많은 공기연행제가 필요한 것으로 나타났다.
- 3) 경화된 콘크리트의 제강도 측정결과 압축강도는 W/B 50%의 콘크리트의 경우 플라이애쉬를 혼입하지 않은 콘크리트에 비해 조기재령에서 강도발현이 늦게 나타났고, W/B 40%의 콘크리트의 경우는 조기재령에서도 강도발현이 상당히 높은 것으로 나타났다. 특히, W/B 40%의 경우는 재령 28일에서 혼입율과 강열감량의 차이에 관계없이 플레인보다 높게 나타났고 혼입율 15%에서 가장 높은 강도 발현 결과를 나타냈다. 인장강도와 휨강도의 강도발현 성상은 압축강도 발현과는 거의 상관 관계가 없는 것으로 나타났다. 또 강열감량이 콘크리트의 압축강도에 미치는 시험결과 강도가 저하되는 것으로 나타났는데 강열감량 1%에 대해 압축강도는 약 9%정도의 강도 차이가 나타나는 것으로 나타났다.
- 4) 탄성계수 측정결과 플라이애쉬 혼입율이 콘크리트에 미치는 영향은 플라이애쉬를 혼입하지 않은 콘크리트에 비해서 그다지 크지 않는 것으로 나타났고 정탄성계수에 따른 응력-변형의 관계를 측정 한 결과 혼입율 15%까지는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났고, 20%의 혼입율에서는 플레인 콘크리트보다 약 5%정도 낮게 나타났다.

## 참고문헌

1. M. Alsali, V. Sivasundram and V. M. Malholtra, Fly Ash in Concrete CANMET.MSL.94-15. Canada.1992
2. M.K.Gopalan, Nucleation and pozzolanic Factor in Strength Development of Class F Fly Ash Concrete. ACI Material Journal. V.90, No,2 March-April 1993.
3. A.M.Neville, "Properties of Concrete", 4th Edition, Longman, 1995
4. 한국 콘크리트학회, "최신 콘크리트 공학".1995
5. 고탐량 플라이애쉬 콘크리트의 개발 및 실용화 연구(I), 기초전력 공학 공동 연구소. 1997. 12