

# 플라이애쉬를 다량 치환한 콘크리트의 초기강도성상에 관한 실험적 연구

## The Experimental Study on Early Strength Properties of High Volume Fly-Ash Concrete

이 동 하\* 김 상 미\*\* 강 태 경\*\*\* 백 민 수\*\*\* 이 영 도\*\*\*\* 정 상 진\*\*\*\*\*  
Dong-Ha Lee Sang-Mi Kim Tae-Kyung Kang Min-Su Paik Young-Do Lee Sang-Jin Jung

### Abstract

To study of binder and fine aggregate a lot of replacement fly-ash concrete, initial characteristics, standard environment of curing temperature 20°C, hot-weather environment of curing temperature 35°C. Fresh concrete tested slump, air content and Hardening concrete valuated setting period of form, day of age 1, 3, 5, 7, 10, 28 compression strength in sealing curing. Purpose of study is consultation materials in field that variety of fly-ash replacement concrete mix proportion comparison and valuation.

(1) Experiment result age 28day compression strength more higher plan concrete then standard environment in curing temperature 20°C, most strength F43 is hot-weather environment in curing temperature 35°C replacement binder 25%, fine aggregate 15%.

(2) Hot-weather environment replacement a mount of fly-ash is a same of plan concrete setting period of form. Age 28day compression strength replacement a mount of fly-ash more hot-weather concrete then plan concrete.

### 1. 서론

국가경제의 발전과 산업구조의 고도화에 따라 우리나라의 전력사용량은 해마다 급증하고 있으며, 전력생산 체계의 다변화와 함께 화력발전의 수요도 점차 증가하는 추세에 있다. 석탄화력 발전소의 증가에 따라 산업부산물인 석탄회 발생량도 점차 증가하는 추세에 있다. 그러나 국내의 경우 화력발전소에서 발생하는 이들 석탄회의 일부분만이 재활용되고 있으며 대부분은 매립을 통하여 폐기처분되고 있어 선진외국의 50~70%이상 재활용하는 것과 비교할 때 자원이 부족한 우리나라의 실정으로서 매우 안타까운 일이 아닐 수 없다. 따라서, 대량으로 발생하고 있는 석탄회를 유효한 자원으로 재활용하고 환경문제를 해결하기 위해서는 석탄회의 대량사용이 가능한 분야에 대한 다양하고도 적극적인 용도 개발이 필요한 실정이다. 석탄회 중 플라이애쉬는 콘크리트용 혼화재로 사용할 경우 작업성 개선 및 수밀성 증진을 통한 내구성 향상이 가능하고, 수화열 저감을 통한 콘크리트의 균열 감소 및 장기강도 증진 등의 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 에너지 소비제품인 시멘트를 대체함으로써

\* 정회원, 단국대 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 단국대 대학원 박사과정

\*\*\* 정회원, 단국대 대학원 박사수료

\*\*\*\* 정회원, 경동대 건축공학과 교수

\*\*\*\*\* 정회원, 단국대 건축공학과 교수

써 경제적 장점이 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 플라이애쉬의 다량 치환을 위하여 콘크리트 배합시 결합재 및 잔골재의 일부분을 동시에 치환하는 배합을 사용하여 실험을 실시하였다. 양생은 봉합양생을 실시하였고, 양생환경을 20℃ 표준환경과 35℃ 서중환경하에서 양생을 실시하였다. 봉합양생의 경우 현장에 타설된 거푸집 안의 콘크리트와 가장 유사한 양생방법으로써 시험체의 강도발현을 검토 및 플라이애쉬 치환에 따른 측면 거푸집 존치기간의 결정과 검토를 하여 본 실험의 결과를 일반건설현장의 실무에 활용될 수 있는 참고자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 실험의 배합은 물결합재비를 45%, 50%의 2수준으로 하였고, 플라이애쉬의 치환율은 0, 30, 31, 32, 40, 41, 42, 43%의 8수준으로 하였으며, 양생온도를 20℃, 35℃의 2수준으로 하였다. 굳지 않은 콘크리트 실험으로는 슬럼프, 공기량시험을 실시하였고, 경화 콘크리트의 실험으로는 봉합양생한 공시체를 재령 1, 3, 5, 7, 10, 28일으로 하여 압축강도를 측정하였다. 또한, 혼화제의 경우 AE감수제와 AE제를 사용하였으며, 목표 슬럼프 18cm±2cm로 설정하였고, 목표 공기량 4.5±1.5%로 설정하였다.

본 실험의 실험인자, 수준 및 측정항목은 표 1과 같다.

표 1 실험인자와 수준 및 측정항목

구 분	W/B (%)	양생온도 (℃)	치환율 (%)	측정항목	
				굳지 않은 콘크리트	경화 콘크리트
인 자	45, 50	20, 35	0,30,31,32 40,41,42,43	슬럼프, 공기량	압축강도 (봉합양생)
수 준	2	2	8	-	1, 3, 5, 7, 10, 28

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트

본 실험에서 시멘트는 국내산 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

#### 2.2.2 골재

잔골재의 경우 북한강산으로서 최대치수를 5mm이하로 사용하였고, 굵은 골재의 경우 광주석산 쇄석으로 최대치수 25mm이하로 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

구분	비중	흡수율(%)	조립율(%)	단위용적중량(kg/m <sup>3</sup> )	실적율(%)
잔골재	2.60	0.98	2.87	1,590	61.2
굵은골재	2.62	1.8	6.3	1,596	61.04

#### 2.2.3 플라이애쉬

플라이애쉬의 경우 보령 화력발전소에서 생산·정제 과정을 거친 유연탄 플라이애쉬를 사용하였고, 그 품질 특성은 표 3과 같다.

표 3 플라이애쉬의 물리·화학적 특성

	강열감량 (%)	단위수량비 (%)	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	비 중	압축강도비 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	습 분 (%)
보령산	3.75	100	3,084	2.11	95	59.7	0.11
KS 규격	5이하	102이하	2,400이상	1.95이상	60이상	45이상	1이하

### 2.2.4 혼화제

혼화제는 국내에서 시판·사용되고 있는 J사의 AE감수제 표준형 및 AE제를 사용하였다.

### 2.3 배합계획

본 연구에서는 플라이애쉬를 시멘트의 30, 40% 치환을 하였다. 플라이애쉬 치환 방법은 시멘트 치환과 시멘트와 잔골재 동시치환을 하였다. 시험체번호 F31, F32의 경우 잔골재에 대한 5%, 10%를 치환하여 물 결합재비가 감소하는 것을 알 수 있다. 40% 치환 시험체에서도 같은 방법으로 치환하므로써 시험체 번호가 증가함에 따라 물결합재비가 역시 감소하는 것을 알 수 있다. 본 연구에 사용된 배합은 표 4와 같다.

표 4 배합표

시험체명	W/C (%)	W/B (%)	S/A (%)	FA치환율 (%)		단위용적중량(kg/m <sup>3</sup> )						
				C	S	W	C	FA	S	G	AD1	AD2
W45-F00	45.0	45.0	41.0	0	0	180	400	0	696	1009	1.2	0.08
W45-F30	64.3	45.0	41.0	30	0	180	280	120	676	980	1	0.24
W45-F31	60.0	42.9	40.1	25	5	180	300	120	655	985	1	0.28
W45-F32	56.3	40.9	39.2	20	10	180	320	120	633	990	1	0.32
W45-F40	75.0	45.0	41.0	40	0	180	240	160	670	971	1	0.28
W45-F41	69.2	42.9	40.1	35	5	180	260	160	648	976	1	0.32
W45-F42	64.3	40.9	39.1	30	10	180	280	160	626	980	1	0.36
W45-F43	60.0	39.1	38.2	25	15	180	300	160	605	985	1	0.36
W50-F00	50.0	50.0	43.0	0	0	180	360	0	744	994	1.08	0.072
W50-F30	71.4	50.0	43.0	30	0	180	252	108	726	969	0.9	0.216
W50-F31	66.7	47.6	42.3	25	5	180	270	108	707	973	0.9	0.252
W50-F32	62.5	45.2	41.5	20	10	180	288	108	688	977	0.9	0.288
W50-F40	83.3	50.0	43.0	40	0	180	216	144	719	961	0.9	0.252
W50-F41	76.9	47.6	42.2	35	5	180	234	144	700	965	0.9	0.288
W50-F42	71.4	45.2	41.5	30	10	180	252	144	681	969	0.9	0.324
W50-F43	66.7	43.5	40.7	25	15	180	270	144	662	973	0.9	0.324

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 굳지 않은 콘크리트 실험결과

#### 3.1.1 슬럼프 및 공기량

본 연구에서의 슬럼프 및 공기량은 각 배합별로 혼화제의 적절한 혼입으로 목표슬럼프인 18±2cm와 목표공기량 4.5±1.5%를 전부 만족하는 것으로 나타났다.

### 3.2 경화 콘크리트 실험결과

콘크리트의 실험결과를 표 5에 나타냈다.

표 5 콘크리트 실험결과

단위 : kg/cm<sup>2</sup>

시험체명	양생 온도 (°C)	굳지 않은 콘크리트		경화콘크리트						시험체명	양생 온도 (°C)	굳지 않은 콘크리트		경화콘크리트					
		슬럼프 (mm)	공기량 (%)	1	3	5	7	10	28			슬럼프 (mm)	공기량 (%)	1	3	5	7	10	28
W45-F00-T20	20	165	4.0	65	151	207	234	243	292	W45-F00-T35	35	164	4.1	101	213	245	268	285	294
W45-F30-T20	20	180	3.3	28	90	115	145	168	230	W45-F30-T35	35	183	3.5	40	114	141	164	181	226
W45-F31-T20	20	174	3.6	48	99	131	161	185	237	W45-F31-T35	35	180	3.8	63	129	162	177	194	254
W45-F32-T20	20	168	3.4	54	115	152	178	204	277	W45-F32-T35	35	175	3.5	80	155	205	220	235	285
W45-F40-T20	20	190	3.7	21	79	108	123	148	203	W45-F40-T35	35	191	3.6	37	105	128	144	162	212
W45-F41-T20	20	175	3.3	37	87	113	131	158	210	W45-F41-T35	35	171	3.6	43	115	139	161	178	240
W45-F42-T20	20	165	3.6	47	94	138	158	184	241	W45-F42-T35	35	175	3.7	50	129	164	188	204	246
W45-F43-T20	20	162	3.1	58	132	169	188	215	280	W45-F43-T35	35	164	3.2	63	179	223	240	255	309
W50-F00-T20	20	183	4.0	60	121	180	210	226	262	W50-F00-T35	35	183	3.7	63	164	215	227	234	244
W50-F30-T20	20	200	3.1	24	59	85	115	131	178	W50-F30-T35	35	188	3.3	33	99	131	149	163	205
W50-F31-T20	20	183	3.4	38	87	119	148	173	217	W50-F31-T35	35	188	3.4	33	117	158	174	191	220
W50-F32-T20	20	186	3.4	49	98	148	171	198	239	W50-F32-T35	35	183	3.2	41	128	168	190	205	251
W50-F40-T20	20	195	3.5	26	55	79	96	113	158	W50-F40-T35	35	197	3.3	30	91	114	125	142	189
W50-F41-T20	20	193	3.2	27	67	91	111	129	166	W50-F41-T35	35	195	3.4	33	103	127	139	155	213
W50-F42-T20	20	180	3.4	33	80	122	138	158	215	W50-F42-T35	35	175	3.6	35	121	142	155	171	223
W50-F43-T20	20	184	3.4	42	87	131	158	180	238	W50-F43-T35	35	174	3.3	50	137	169	205	223	253

#### 3.2.1 양생온도 20°C 표준환경에서의 강도특성

W/B 45%의 경우 재령 28일 압축강도는 플레인 콘크리트가 가장 높게 나타났으며, 시멘트를 플라이애쉬로 치환한 경우 플라이애쉬의 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 강도가 저하하는 것으로 나타났다. 초기강도의 경우에는 플레인의 강도가 현저히 높지만 재령일수가 지날수록 강도차가 줄어드는 것으로 나타났다. 플라이애쉬의 일부분을 잔골재로 치환한 시험체의 경우는 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 강도도 증가하는 것으로 나타났다

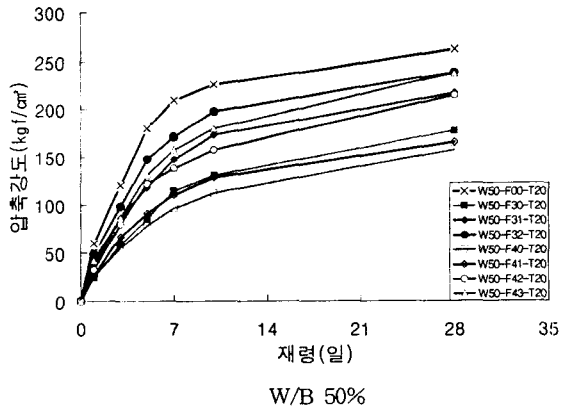
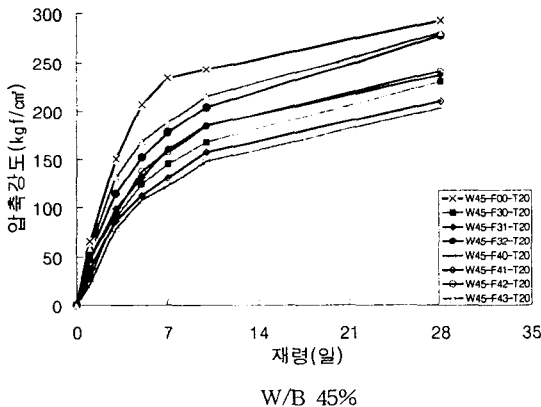


그림 1 봉함양생 압축강도(20°C)

며, 특히 플라이애쉬 30%중 10%를 잔골재로 치환한 F32시험체와 플라이애쉬 40%중 15%를 잔골재로 치환한 F43시험체의 경우 다량의 플라이애쉬 치환에도 불구하고 플레인 콘크리트강도의 90%이상의 강도를 발현하는 것으로 나타났다. 이는 잔골재의 일부를 플라이애쉬로 치환함에 따라 전체적인 결합재의 양이 늘어나 강도가 증가한 것으로 판단된다. 위와 같은 경향은 물결합재비 50% 시험체에서도 유사하게 나타났다.

### 3.2.2 양생온도 35℃ 서중환경에서의 강도특성

양생온도 35℃에서의 강도발현특성은 시멘트를 플라이애쉬로 치환한 경우 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 콘크리트의 강도가 저하하는 것으로 나타났다. 특히 초기강도의 경우 치환율이 증가할수록 강도의 저하가 크게 나타났으나 플라이애쉬를 치환한 시험체의 경우 재령이 경과할수록 강도의 증진성이 높아져 재령 28일에서는 강도의 저하폭이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 플라이애쉬를 잔골재로 치환한 시험체의 경우는 20℃양생환경에서와 같이 잔골재의 치환량이 증가함에 따라 강도도 증가하는 것으로 나타났으나 강도의 증가량이 더 큰 것으로 나타났다. 재령별 강도를 살펴보면 재령 초기의 경우 플레인 콘크리트가 가장 높은 강도발현을 보였으나, 재령 7일 이후 높은 강도 증진을 나타낸 배합F43 및 배합F32가 재령28일에 가서는 플레인 콘크리트와 유사하거나 더 높은 강도를 발현한 것으로 나타났다. 이는 초기강도의 경우 단위시멘트량이 많은 플레인 시험체가 플라이애쉬를 혼입한 시험체에 비하여 높은 강도발현을 하였으나, 고온에서의 급격한 수화반응 이후 재령이 경과할수록 강도의 증가량이 저하하는데 비하여 배합F43 시험의 경우 잔골재로 치환된 플라이애쉬로 인한 전체 결합재량의 증가에 따라 지속적인 강도발현을 하여 재령 28일에서는 플레인 시험체보다 높은 강도발현을 이룬 것으로 판단된다.

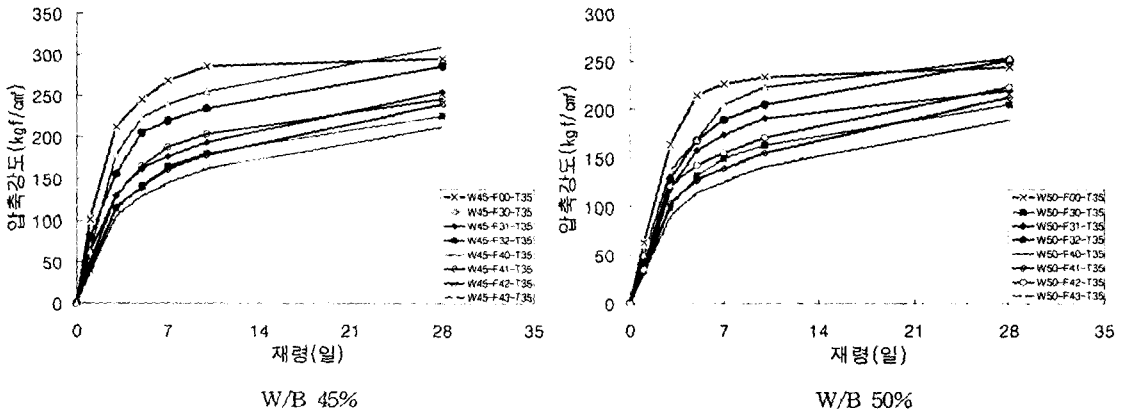


그림 2 봉합양생 압축강도(35℃)

### 3.2.3 거푸집 존치기간에 관한 고찰

측면 거푸집 존치기간의 종료가 되는 강도인 압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup>에 도달재령을 표 6에 나타내었다. 표에 의하면 양생온도가 높을수록 존치기간이 단축되는 것으로 나타났다. 플라이애쉬 치환율에 따른 거푸집 존치기간의 경우 시멘트를 플라이애쉬로 치환한 경우는 플라이애쉬 치환율이 낮을수록, 같은 양의 플라이애쉬를 치환한 경우는 잔골재의 치환이 높을수록 상강도에 도달하는 재령이 짧아지는 것으로 나타났다. 양생온도 35℃에서는 플라이애쉬 치환을 증가에 따른 압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup>에 도달재령이 크게 증가하지 않음을 알 수 있다. 특히 F32 및 F43과 시험체와 같이 플라이애쉬의 일부분을 잔골재로 치환한 배합의 경우 재령28일 압축강도 또한 플레인 콘크리트의 재령 28일과 유사한 강도발현을 하는 것으로 나타나, 플라이애쉬를 대량사용시 잔골재의 일부를 플라이애쉬로 치환한 콘크리트의 경우 서중 콘크리트에 활용되는 것이 유효할 것으로 판단된다.

표 6 압축강도 50kg/cm<sup>2</sup> 도달재령

단위 : 일

시험체명	FA치환율 (%)		양생온도(℃)		시험체명	FA치환율 (%)		양생온도(℃)	
	C	S	20℃	35℃		C	S	20℃	35℃
W45-F00	0	0	1	1	W50-F00	0	0	1	1
W45-F10	10	0	1	1	W50-F10	10	0	1	1
W45-F20	20	0	2	1	W50-F20	20	0	1.5	1.5
W45-F30	30	0	2	1.5	W50-F30	30	0	2.5	2
W45-F31	25	5	1.5	1	W50-F31	25	5	2	2
W45-F32	20	10	1	1	W50-F32	20	10	1.5	1.5
W45-F40	40	0	2.5	1.5	W50-F40	40	0	2.5	2
W45-F41	35	5	2	1.5	W50-F41	35	5	2	2
W45-F42	30	10	1.5	1	W50-F42	30	10	2	1.5
W45-F43	25	15	1	1	W50-F43	25	15	1.5	1

#### 4. 결론

플라이애쉬를 다량 치환한 콘크리트를 초기강도성상에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 양생온도 20℃ 표준환경에서는 플레인 콘크리트가 가장 높은 강도를 나타냈다. 같은 양의 플라이애쉬 치환 시험체는 잔골재 치환율이 증가할수록 강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 배합F32와 배합F43 시험체의 경우 플라이애쉬 치환율이 높음에도 불구하고 잔골재 대체율이 높음으로서 결합재량이 증가함에 따라 높은 강도발현을 하는 것으로 나타났다.

(2) 양생온도 35℃ 서중환경의 경우 배합F43이 재령 28일에서 가장 높은 강도를 나타내었다. 초기강도의 경우 재령 10일까지는 플레인이 가장 높은 강도발현을 보였으나, 재령 28일의 경우 플레인보다 배합F32 및 F43이 더 높은 강도발현을 하는 것으로 나타났다. 이는 초기에는 단위시멘트량이 많은 플레인 콘크리트가 높은 강도를 나타내고 있으나 재령이 경과함에 따라 결합재량이 높은 배합32 및 43이 지속적인 강도 발현을 하여 강도가 증가하는 것으로 판단된다.

(3) 플라이애쉬 치환율에 따른 거푸집 존치기간은 플라이애쉬를 시멘트 치환시 플라이애쉬 치환율이 낮을수록 거푸집 존치기간이 짧아지며, 같은량의 플라이애쉬를 치환한 경우는 잔골재의 치환이 높을수록 거푸집 탈형강도에 도달하는 재령이 짧아지는 것으로 나타났다. 그러나 양생온도 35℃에서는 플라이애쉬의 치환량이 증가하여도 거푸집 존치일수에 변화가 매우 적은 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. 정상진 외, 「플라이애쉬를 다량 함유한 콘크리트의 관한 실험적 연구」, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제 13권 제 2호 2001.11.
2. 정상진 외, 「플라이애쉬를 다량 치환한 콘크리트의 양생온도에 따른 강도특성에 관한 연구」, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제 11권 제 1호 2002.5.
3. 牧野貞之, 「フライアッシュを用いたマスコンクリートの諸性状に関する検討」, 콘크리트工學年次論文報告集 Vol.20.