

고강도 플라이애쉬 콘크리트의 장기 강도 특성에 관한 연구

The Long-Term Strength and the Workability of High-Strength Fly Ash Concrete

김진근* 박연동** 성근열***
Kim, Jin Keun Park, Yon Dong Sung, Keun Yeol

요약

플라이애쉬를 혼입한 고강도 콘크리트의 초기 및 장기 강도 특성과 작업성 특성에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 강도 수준이 다른 6종류의 기본 배합을 선정하고 각 기본 배합에 대하여 플라이애쉬 첨가량을 0, 10, 20, 30%로 변화시켜 가면서 그 특성을 실험하였다. 또한, 고강도 플라이애쉬 콘크리트의 슬럼프 감소현상을 분석하기 위하여 4종류의 배합을 추가하여 실험하였다. 연구 결과, 제2종 포틀랜드 시멘트를 사용한 경우, 플라이애쉬를 10% 혼입한 콘크리트는 대부분 28일 이전에 일반 콘크리트보다 높은 강도를 발현하였다. 또한, 플라이애쉬 첨가량이 증가함에 따라 보통강도 콘크리트의 슬럼프값은 감소하였으며, 고강도 콘크리트의 슬럼프값을 일정하게 유지시키기 위해서는 더 많은 양의 고유동화제가 사용되었다.

Abstract

An investigation for the short-term and long-term compressive strength and workability characteristics for the high strength fly ash concrete was carried out when fly ash was used in high strength concrete. Selected test variables were compressive strength with 6 levels(2 levels of normal strength and 4 levels of high strength) and fly ash contents with 4 levels(0, 10, 20, 30%). For the evaluation of slump loss, four other mixes were added. As the result, the concrete containing 10% fly ash developed higher strength before 28 days than that of control concrete. With increasing of fly ash content, the slump of normal strength concrete was gradually decreased and quantity of superplasticizer for high strength concrete was also increased to keep constant slump.

1. 서론

화력발전소의 석탄의 연소 과정에서 발생하는 플라이애쉬는 산업폐기물로서 막대한 처리 비용과 함께 매립장의 부족 등 여러가지 문제점을 야기시키고 있어 외국의 경

우, 플라이애쉬를 콘크리트의 혼합재료로 사용함으로써 원가절감과 더불어 콘크리트의 성질을 향상시키는데 이용하고 있다.

플라이애쉬를 콘크리트에 처음으로 사용한 것은 1937년 R.E.Davis 등⁽¹⁾이었으며, 1948년도에 U.S. Bureau

* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 부교수

** 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 박사과정

*** 정회원, 선경건설 토목설계부

of Reclamation에서 Hungry Horse 댐의 건설에 실제적으로 이용하였다.⁽²⁾

1970년대에 들어서서 원유가 상승 등으로 인한 석탄화력발전소의 증설로 플라이애쉬의 생산량이 급격한 증가를 보이고 있는데, 미국의 경우, 1985년도의 연간 플라이애쉬 생산량 6900만톤의 27%가 유효 이용되었으며, 일본의 경우, 1984년도의 연간 플라이애쉬 생산량 382만톤의 42%가 유효 이용되었다.⁽³⁾ 그러나 국내의 경우, 발생되는 플라이애쉬의 양이 약 200만톤에 달함에도 불구하고 그 대부분이 폐기물로서 처리되고 10% 정도만이 레미콘, 벽돌 제조, 도로 포장 등에 이용되고 있는 형편이다. 또한, 건설 분야에서 고강도 콘크리트의 개발 및 실용화를 위해서 플라이애쉬의 사용에 대한 연구가 필요하나, 아직은 그에 대한 연구가 미비한 실정이며,^{(4)~(6)} 시공실적 또한 거의 없는 형편이다.

일반적으로, 플라이애쉬를 콘크리트의 혼합재료로 사용하게 되면 작업성 향상, 수화열의 감소, 장기 강도의 증진, 내구성 향상 등 콘크리트의 품질을 개선하는데 여러 가지 장점을 지니고 있어 근래에 와서 고강도 콘크리트 제조시의 필수적인 구성 재료로 고려되고 있다.⁽⁷⁾

따라서, 본 연구에서는 국산 플라이애쉬를 혼합재료로 사용한 고강도 콘크리트의 초기 및 장기 강도 특성, 작업성 특성 등을 실험을 통하여 분석함으로써 플라이애쉬의 유효 이용이라는 측면과 고강도 콘크리트의 실용화에 기여하고자 한다. 이를 위해 강도 수준이 다른 6종류의 고강도 및 보통강도 콘크리트 기본 배합을 선정하고 플라이애쉬를 첨가하여 재령에 따른 강도 및 작업성 특성을 실험하였다.

2. 실험

2.1 실험 계획

강도 수준에 따른 고강도 플라이애쉬 콘크리트의 강도 및 작업성 특성을 분석하기 위하여 4종류의 고강도 콘크리트 기본 배합 및 2종류의 보통강도 콘크리트 기본 배합을 선정하였으며, 각 기본 배합의 배합비는 적절한 강도 수준과 작업성을 확보할 수 있도록 단위시멘트량 및 물-시멘트비를 조합하여 결정하였다. 잔골재율은 단위시멘트량의 증가에 따라 점진적으로 감소시켰다.

플라이애쉬 첨가량에 따른 특성을 분석하기 위하여, 단위시멘트량의 10, 20, 30%를 중량비로 플라이애쉬로 대체하여 플라이애쉬 콘크리트를 제조하였으며, 플라이애

쉬 대체에 따른 압축강도의 증가를 분석하기 위하여 3, 7, 28일의 초기 재령은 물론, 90, 180, 365일의 장기 재령의 압축강도를 실험변수로 추가하였다.

Table 1에 나타나 있는 배합비 A, B는 고강도 콘크리트와 강도 특성을 비교하기 위한 단위시멘트량 330kg/m³과 350kg/m³의 보통강도 콘크리트의 배합비이며, C, D, E, F는 단위시멘트량 420kg/m³, 480kg/m³, 520kg/m³, 600kg/m³의 고강도 콘크리트의 배합비이다. 각 배합의 물-시멘트비(W/(C+F))는 60%, 55%, 40%, 35%, 32%, 27%이며, 고강도 콘크리트의 슬럼프값은 고유동화제를 사용하여 20±3cm가 되도록 조절하였다.

고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비하여 슬럼프값을 확보하기 어려울 뿐만 아니라 급격한 슬럼프 감소(slump loss) 현상 때문에 실제 시공에 많은 어려움이 있다. 그러므로 고강도 콘크리트의 실용화를 위해서는 강도 확보 및 품질 보장과 더불어 충분한 작업성을 확보하는 방안이 연구되어야 한다. 본 연구에서는 플라이애쉬 첨가 유무에 따른 고강도 콘크리트 슬럼프 감소 현상을 분석하기 위하여 단위시멘트량 550kg/m³, 물-시멘트비(W/(C+F)) 30%의 배합을 추가하여 실험하였다. 각 배합의 자세한 배합비와 슬럼프값은 Table 1과 같다.

2.2 실험 재료

2.2.1 시멘트

고강도 콘크리트를 효율적으로 제조하기 위해서는 양질의 시멘트를 사용하여야 한다. 고강도 콘크리트 제조에는 주로 1종 포틀랜드 시멘트가 사용되고 있으나, 국내에서 생산되는 1종 포틀랜드 시멘트는 고강도 발현에 문제점이 있다고 보고되고 있다.⁽⁸⁾

본 연구에서는 국내에서 생산되는 시멘트 중 비교적 고강도 발현에 적합한 것으로 알려진 S사 제품의 수출용 2종 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.2.2 플라이애쉬

플라이애쉬의 품질은 원탄의 종류, 연소 상태, 보일러의 형식 등에 따라 다르고 변동이 심하기 때문에 고강도 콘크리트의 혼합재료로 사용함에 있어 양질의 것을 사용하여야 한다. 고강도 콘크리트 제조에 가장 적합한 플라이애쉬는 강연감량(loss on ignition)이 3%를 넘지 않음

Table 1. Mix Proportions and Slump

번호	단 위 중 량 (kg/m ³)					혼화제 (%)	Slump (cm)
	시멘트	Fly Ash	물	잔골재	굵은골재		
A-0	330	0	198	788	963	0	7.4
A-1	297	33	198	781	955	0	4.9
A-2	264	66	198	775	947	0	5.3
A-3	231	99	198	768	938	0	5.0
B-0	350	0	193	787	962	0	5.5
B-1	315	35	193	780	953	0	3.8
B-2	280	70	193	773	945	0	3.5
B-3	254	100	193	766	936	0	3.4
C-0	420	0	168	703	1054	1.2	20.9
C-1	378	42	168	696	1044	1.2	18.2
C-2	336	84	168	688	1032	1.5	19.7
C-3	294	126	168	680	1020	1.7	18.9
D-0	480	0	168	683	1025	1.5	19.3
D-1	432	48	168	675	1012	1.5	21.8
D-2	384	96	168	666	999	1.5	19.0
D-3	336	144	168	657	986	1.8	17.9
E-0	520	0	166	638	1042	1.8	21.5
E-1	468	52	166	629	1027	1.8	21.6
E-2	416	104	166	621	1013	2.0	21.4
E-3	364	156	166	612	998	2.3	20.7
F-0	600	0	162	569	1056	2.0	21.7
F-1	540	60	162	560	1039	2.0	17.9
F-2	480	120	162	550	1022	2.3	17.5
F-3	420	180	162	541	1005	3.0	17.1
G-1	550	0	165	581	1078	2.0	22.7
G-2	550	0	165	581	1078	1.7+0.3	23.4
G-3	495	55	165	572	1063	2.0	21.8
G-4	495	55	165	572	1063	1.7+0.3	22.1

* 지연감수제(ASTM C 494 Type D)

Table 2. Physical Properties of Cement

시멘트 종류	비 중	분말도 (cm ² /g)	응결(시간:분)			압축강도(Mpa)		
			초결	종결	7일	7일	28일	
Type II	3.15	3700	4:10	6:15	24.5	31.4	42.1	

며, 분말도가 높고 원탄의 품질이 균일한 것이다.⁽⁸⁾

본 연구에서는 국내에서 생산되는 플라이애쉬 중 콘크리트용 혼합재료로 가장 적합하다고 알려진 보령화력발전소산 플라이애쉬를 사용하였다. 이 플라이애쉬는 사용탄종이 전량 외국에서 수입한 유연탄이며, 그 품질은 강열감량이 조금 높은 것을 제외하고는 KS L 5405의 품질 규격을 만족시키고, ASTM C618-80 F급의 규격을 만족시킨다. 본 실험에서 사용한 플라이애쉬의 화학적, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Chemical Composition and Physical Properties of Fly Ash

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	강열감량 (%)	비 중	분말도 (cm ² /g)
55.1	34.9	3.7	3.6	1.2	0.44	0.73	6.8	2.06	3318

2.2.3 골재

본 연구에 사용된 잔골재는 금강 유역의 대평리산 강모래이며, 굵은골재는 최대크기 13mm의 쇄석을 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4. Physical Properties of Aggregates

종 류	최대크기 (mm)	비 중	흡수율 (%)	조립율 (F.M.)
잔 골 재		2.58	1.61	2.89
굵은골재	13	2.66	0.96	6.38

2.2.4 혼화제

고강도 콘크리트의 기본 배합은 낮은 물-시멘트로 인해 작업성이 불량하므로 적절한 작업성을 확보하기 위해서는 감수제 개통의 혼화제를 사용하여야 한다.

본 실험에서는 고강도 플라이애쉬 콘크리트의 슬럼프값을 일정하게 유지하기 위하여 콘크리트의 제 성질에 해로운 영향을 끼치지 않으면서 종래의 감수제에 비하여 그 효과가 탁월한 ASTM C 494 Type F로 규정된 나프탈린계의 고유동화제를 사용하였다. 또한, 시간에 따른 슬럼프 감소 현상을 관찰하기 위하여 고유동화제와 함께 ASTM C 494 Type D로 규정된 지연감수제를 G 배합 (Table 1 참조)에 대하여 사용하였다. 혼화제의 성분 및 성상은 Table 5와 같다.

Table 5. Chemical Admixtures

규 격	형 태	재 조	성 분	비 중	표준사용량(%)
ASTM Type F	액 상	암갈색	naphthalene polymers	1.21	0.4~3.0
ASTM Type D	액 상	암갈색	hydroxylated organic compounds	1.24	0.2~0.5

2.3 공시체 제작 및 양생 방법

콘크리트의 비빔에 사용된 믹서는 공칭용량 80리터의 강제식 믹서이며, 비빔은 재료를 굵은골재, 잔골재, 시멘트의 순으로 투입하여 1분간 긴비빔한 다음, 고유동화제만을 사용한 경우에는 물과 고유동화제를 동시에 첨가하여 4분간 비비 콘크리트를 제조하였으며, 지연제를 병용

한 경우에는 지연제를 혼입한 물을 부어 1분간 비빈 후 고유동화제를 첨가하여 3분간 비벼 콘크리트를 제조하였다. 골재는 표면건조포화상태(SSD)로 사용하였으며, 굵은 골재는 실험전에 물로 씻어 불순물을 제거하였다.

압축강도 시험용 공시체는 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 물드를 사용하여 붓다짐 방법으로 제작하였다. 공시체는 제작 후 즉시 비닐을 덮어 수분의 증발을 방지하였으며, 항온항습실($20 \pm 3^\circ\text{C}$, $98 \pm 1\%$ R.H.)에서 24~48시간 성형한 후 탈형하였다.

양생은 재령 28일까지 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도로 수증양생을 하였으며, 그 이후에는 습윤양생을 실시하였다.

2.4 실험 방법

압축강도 실험은 KS F 2405의 콘크리트 압축강도 실험 방법에 따라 실시하였으며, 슬럼프 실험은 KS F 2402에 따라 실시하였다. 압축강도 실험은 3일, 7일, 28일, 90일, 180일, 365일 각 재령별로 3개의 공시체를 기본으로 하여 실시하였다. 이때, 실험에 사용된 기기는 100톤 용량의 만능재료시험기(U.T.M.)이며, 캡핑(capping) 재료는 고강도 콘크리트 압축강도 실험에 적합한 유황혼합물을 사용하였다. 실험시의 하중속도는 초당 0.3~0.4MPa이었다.

3. 실험 결과 및 고찰

Table 6은 배합 조건에 따른 각 재령별 압축강도를 나타내고 있으며, Table 7은 고강도 플라이애쉬 콘크리트의 작업성 확보여부를 알아보기 위한 시간에 따른 슬럼프 값의 변화를 나타내고 있다.

3.1 재령에 따른 강도 증진

플라이애쉬 콘크리트의 압축강도는 초기 재령에서 일반 콘크리트보다 낮지만 장기 재령에서는 현저하게 증가한다. 플라이애쉬 콘크리트의 장기 강도 증진 현상은 일반적으로 2~3개월부터 시작되고, 3개월 이후부터는 현저하게 나타난다. 그러나 장기 재령 강도의 증진율은 플라이애쉬의 품질, 시멘트의 종류, 플라이애쉬의 혼합율, 양생 방법 등에 따라 다르게 나타난다.

Fig.1은 재령에 따른 플라이애쉬 및 일반 콘크리트의 압축강도 발현 정도를 도시한 것이다. 플라이애쉬의 대체량이 10%인 경우, 단위시멘트량이 520kg/m^3 , 600kg/m^3

Table 6. Compressive Strength

번호	압축강도 (MPa)					
	3일	7일	28일	90일	180일	365일
A-0	15.4	23.6	32.9	38.6	41.6	42.5
A-1	13.1	21.8	33.8	40.3	45.4	47.6
A-2	10.2	18.0	28.0	37.2	41.6	44.8
A-3	7.16	13.5	25.0	36.0	40.1	43.2
B-0	18.7	26.6	36.1	40.2	46.3	46.5
B-1	16.0	25.4	38.3	45.8	49.6	51.8
B-2	14.6	22.6	33.8	43.5	50.0	52.1
B-3	12.7	18.3	30.9	39.3	47.0	48.2
C-0	34.0	43.6	49.7	56.3	60.4	61.9
C-1	31.5	42.1	50.3	57.5	62.8	66.5
C-2	29.4	38.0	48.0	56.5	61.4	65.4
C-3	24.2	33.7	42.8	53.5	57.6	61.3
D-0	45.0	49.1	56.3	59.7	66.6	68.8
D-1	39.5	50.2	55.7	64.3	72.4	74.8
D-2	34.1	44.9	56.0	61.3	71.4	75.3
D-3	27.0	39.1	51.8	59.5	68.9	73.9
E-0	45.9	52.2	62.1	63.3	71.2	71.4
E-1	43.4	51.9	61.7	65.3	75.4	77.6
E-2	39.6	46.6	58.6	66.1	78.1	78.9
E-3	28.8	36.5	44.2	57.7	67.5	72.8
F-0	56.5	61.2	71.8	73.8	82.0	83.4
F-1	49.9	56.6	67.7	75.4	85.2	87.4
F-2	44.0	50.5	65.0	72.8	81.3	85.2
F-3	34.5	40.0	51.9	60.4	70.8	78.6
G-1	51.5	56.3	66.9	-	-	-
G-2	47.0	57.6	68.5	-	-	-
G-3	51.3	54.9	65.5	-	-	-
G-4	46.8	54.9	66.5	-	-	-

Table 7. Slump Loss with Time

번호	슬럼프 (cm)				
	즉시	20분	40분	60분	80분
G-1	22.7	23.0	22.5	20.0	18.1
G-2	23.4	23.1	20.7	17.7	15.6
G-3	21.8	21.7	19.0	17.3	12.3
G-4	22.1	21.1	20.1	13.1	8.0

인 배합을 제외하고는 재령 28일 이전에 일반 콘크리트보다 높은 강도를 발현하였으며, 단위시멘트량이 520kg/m^3 , 600kg/m^3 인 배합의 경우는 재령 28일과 90일 사이에서 강도 역전이 이루어졌다. 플라이애쉬의 대체량이 20%인 경우, 강도 역전은 주로 재령 28일과 90일 사이에서 발생하였다. 플라이애쉬 대체량이 30%인 경우는 재령 90일 이후에 강도 역전이 이루어졌으며, 단위시멘트량이 600kg/m^3 인 배합의 경우는 재령 365일까지도 강도 역전이

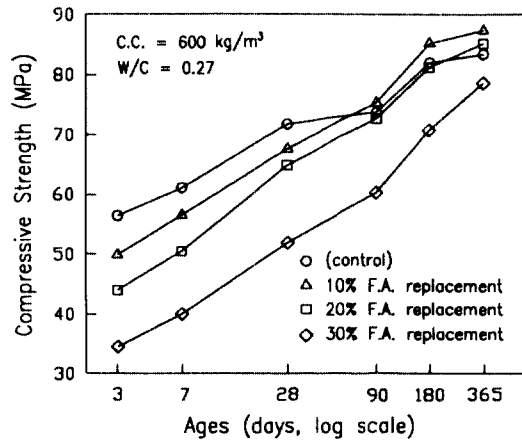
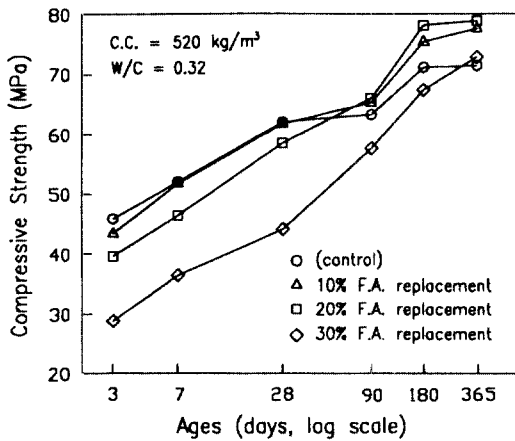
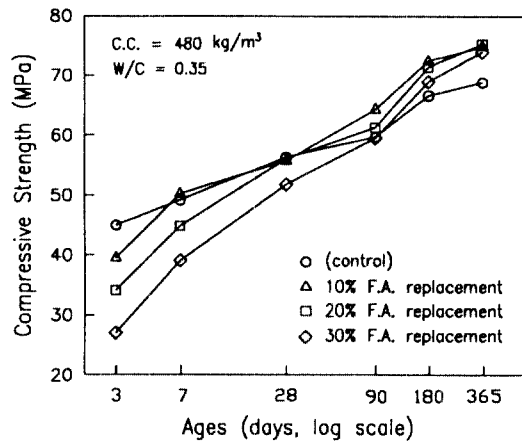
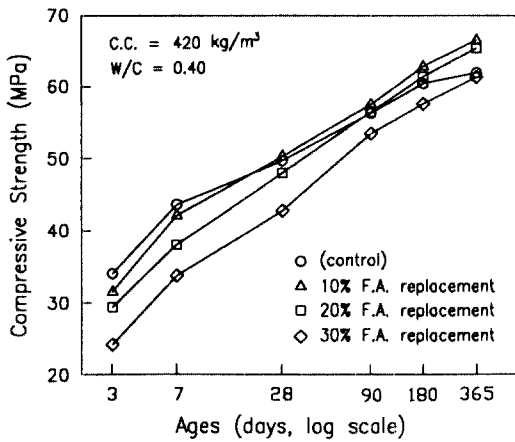
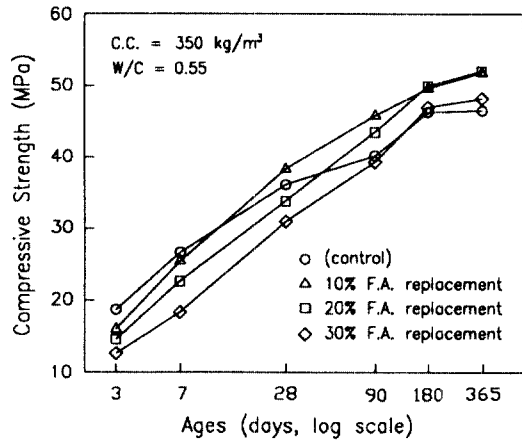
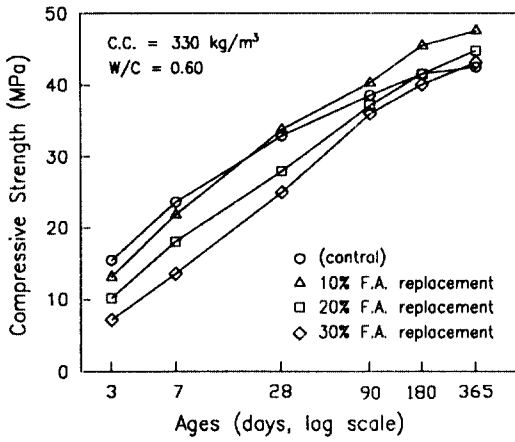


Fig. 1. Strength Development with Age

이루어지지 않았다. 이와 같은 결과는 ASTM C 618-80의 F급 규격을 만족시키는 플라이애쉬를 사용한 콘크리트는 일반 콘크리트에 비하여 초기 재령에서는 낮은 강도를 보이다가 재령 90~180일 이후에 높은 강도를 발현한다는 일반적인 사실⁽⁷⁾과는 달리 단위시멘트량에 대한 플라이애쉬의 대체량이 많지 않을 경우 재령 28일 이전에 강도 역진이 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나, 플라이애쉬의 대체량이 증가함에 따라 플라이애쉬 콘크리트가 일반 콘크리트보다 높은 강도를 발현하게 되는 재령은 늦어진다. 또한, 다른 배합들이 플라이애쉬 대체량의 증가에 따른 강도의 감소가 점진적인데 반하여, 상대적으로 부배합인 단위시멘트량 520kg/m³, 600kg/m³ 배합의 경우, 플라이애쉬 대체량이 30%에 이르게 되면 강도의 감소가 급격해진다. 이와 같은 현상은 단위시멘트량이 증가함에 따라 즉, 콘크리트의 배합이 고강도화 되어감에 따라 실제로 대체하여 사용할 수 있는 플라이애쉬의 양이 감소함을 나타낸다고 할 수 있겠다.

3.2 플라이애쉬 첨가량에 따른 강도 증진

Fig.2.는 28일 재령의 강도를 100%로 나타내었을 때 3, 7, 90, 180, 365일 재령의 28일 재령에 대한 압축강도비를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 플라이애쉬 대체량이 증가함에 따라 초기 재령의 압축강도비는 낮아지고 있으나 장기 재령의 압축강도비는 점진적으로 증가하고 있어 플라이애쉬의 대체량이 증가할수록 장기 재령에 대한 압축강도의 증진효과가 큼을 알 수 있다.

또한, 플라이애쉬 대체량이 30%인 단위시멘트량 520kg/m³, 600kg/m³ 배합의 경우, 재령 28일까지의 강도 증진에 비하여 재령 90일 이후의 강도 증진이 상대적으로 큼을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 단위시멘트량이 많은 고강도 배합에 높은 비율의 플라이애쉬를 대체할 경우, 플라이애쉬에 의한 강도 증진 효과가 다른 배합에 비하여 상대적으로 늦게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3.3 작업성 특성

Fig.3은 플라이애쉬 대체량의 변화에 따라 고강도 플라이애쉬 콘크리트의 슬럼프값을 20±3cm로 조절하기 위하여 첨가된 고유동화제의 양을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 플라이애쉬 대체량이 증가함에 따라 동일 슬럼프값을 유지하기 위하여 요구되는 고유동화제의 양이 증가하고 있다. 또한 Table 1에 나타나 있듯이 보통

강도 콘크리트의 슬럼프값도 플라이애쉬 대체량이 증가함에 따라 감소하고 있다.

Fig.4는 단위시멘트량 550kg/m³, 물-시멘트비 30%의 배합에 플라이애쉬의 대체량을 10%로 하였을 때, 압축강도 및 시간의 경과에 따른 슬럼프 감소를 일반 콘크리트 및 플라이애쉬 콘크리트에 대하여 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 플라이애쉬 콘크리트의 시간의 경과에 따른 슬럼프 감소는 비빔 후 40분까지는 일반 콘크리트의 슬럼프 감소와 비슷하였으나, 비빔 후 80분이 경과하였을 때는 일반 콘크리트보다 약 40%가 더 감소하여 시간의 경과에 따른 슬럼프 감소가 급격함을 알 수 있다.

위와 같은 결과는 플라이애쉬를 사용하면 콘크리트의 작업성을 개선시킬 수 있다는 외국의 연구 결과⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾와는 달리 플라이애쉬의 첨가로 오히려 작업성이 악화됨을 보여주고 있다. 이는 국산 유연탄 플라이애쉬의 경우 증수현상이 나타난다는 한국전력공사 기술연구원의 보고서⁽⁹⁾ 및 서⁽¹⁰⁾의 연구 결과와 일치하고 있다. 이같은 증수현상이 나타나는 이유는 유연탄 플라이애쉬의 입자 표면에 요철이 많아 입자의 형상이 거칠고 입자 내부에 공극이 많아 시멘트풀의 유동성을 악화시키기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 플라이애쉬를 고강도 콘크리트용 혼합재료로 사용할 경우에는 현상 타설시까지 충분한 작업성을 확보할 수 있도록 고유동화제 및 지연제 사용에 따른 슬럼프 감소 현상 등에 대한 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

제2종 포틀랜드 시멘트를 사용한 고강도 플라이애쉬 콘크리트의 각종 배합비에 따른 압축강도 및 작업성 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 플라이애쉬의 대체량이 10%인 플라이애쉬 콘크리트의 경우 주로 재령 28일 이전에 일반 콘크리트보다 높은 강도를 발현하였다. 그러나 플라이애쉬 대체량이 증가함에 따라 강도 역진 재령은 지연되었다.
- 2) 플라이애쉬 대체량이 30%인 경우, 상대적으로 부배합인 단위시멘트량 520kg/m³, 600kg/m³ 배합은 다른 배합에 비하여 더 급격한 강도 감소를 보여주었다.
- 3) 플라이애쉬 대체량이 증가할수록 플라이애쉬의 장기

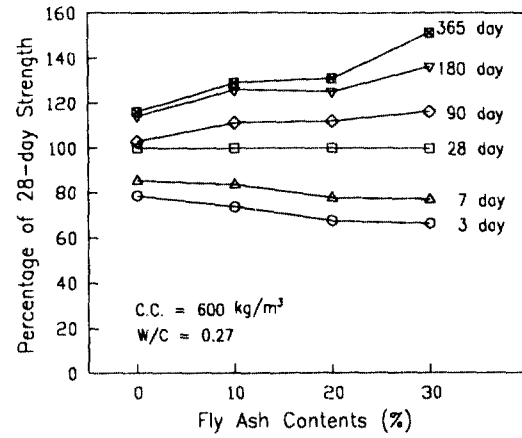
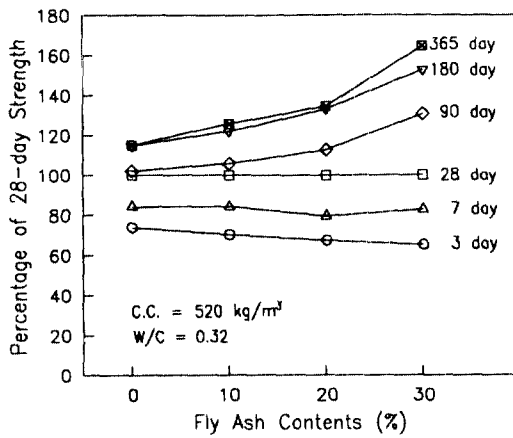
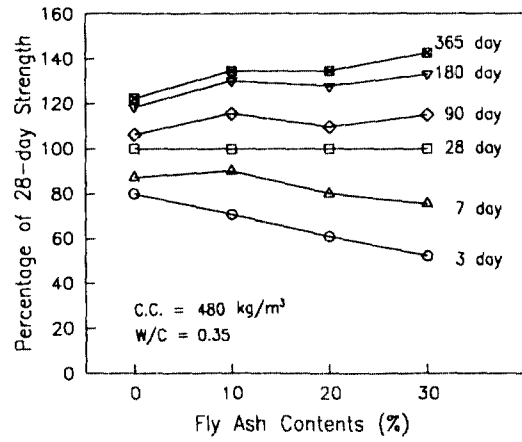
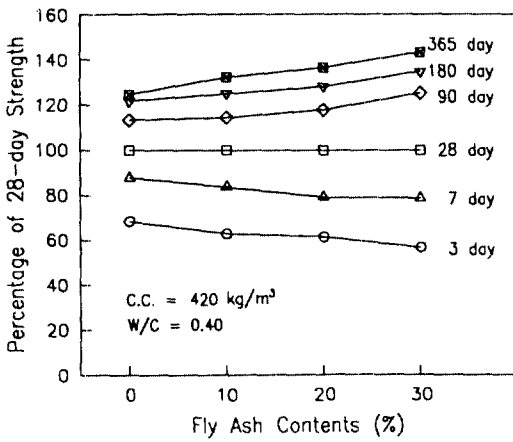
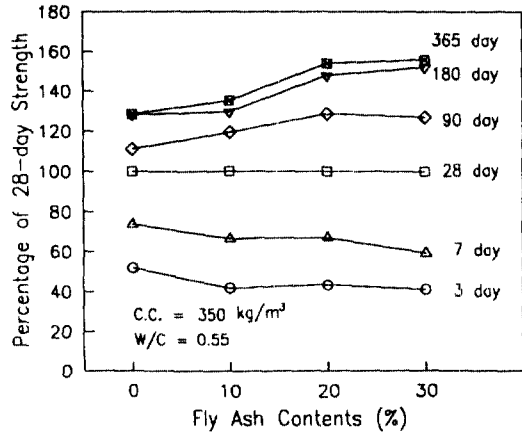
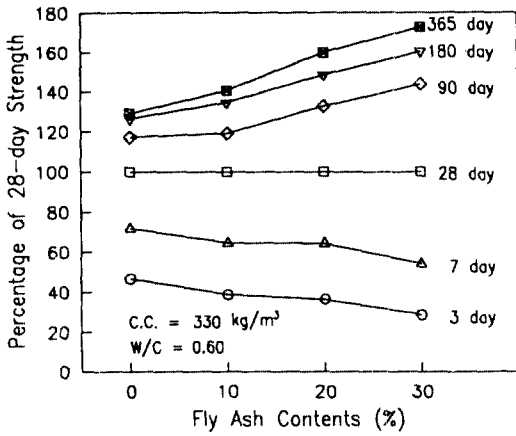


Fig. 2. Rate of Strength Gain with Fly Ash Content

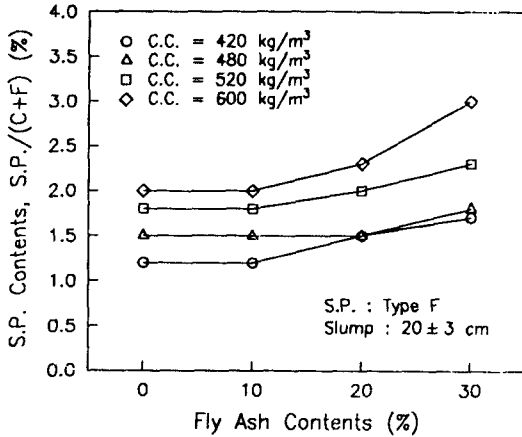


Fig. 3. Quantity of Superplasticizer to Maintain the Slump at 20 ± 3 cm

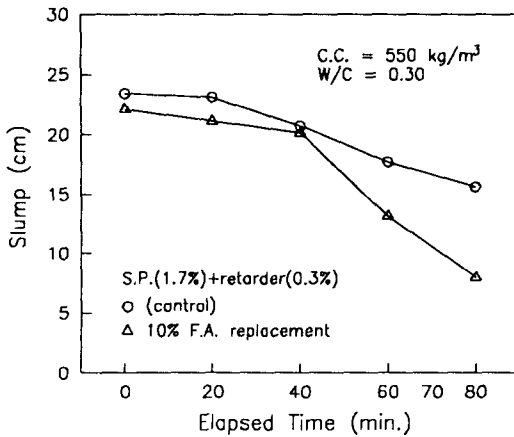
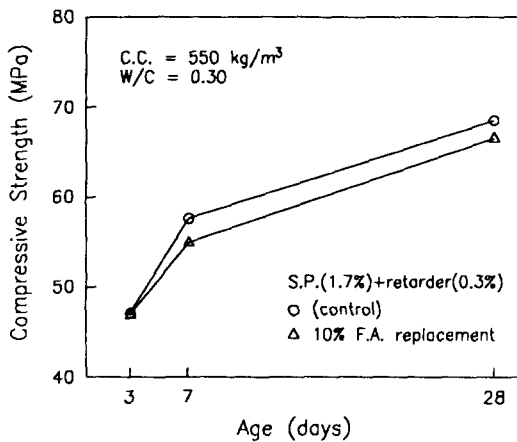


Fig. 4. Compressive Strength and Slump Loss

- 재령에 대한 압축강도의 증진효과가 컸다.
- 4) 플라이애쉬 대체량이 증가함에 따라 동일 슬럼프값을 유지시키기 위한 고유동화제의 사용량이 증가하였고, 대체량이 10%인 고강도 플라이애쉬 콘크리트의 시간에 따른 슬럼프 감소는 비빔 후 40분까지는 일반 콘크리트와 비슷하였으나, 비빔 후 80분이 경과하였을 때는 일반 콘크리트보다 약 40%가 더 감소하여 고강도 플라이애쉬 콘크리트의 작업성을 확보하기 위해서는 고유동화제 및 지연제 사용 등에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.
 - 5) 초기 강도의 감소 및 작업성의 악화로 인하여 고강도 콘크리트에는 단위시멘트량의 약 10% 정도까지 플라이애쉬로 대체하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 단위시멘트량이 500 kg/m^3 이하인 배합에서는 약 20%까지도 대체하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.
 - 6) 고강도 콘크리트의 혼합재료로서 플라이애쉬를 사용할 경우 좋은 품질의 플라이애쉬 확보가 필수적이므로 플라이애쉬에 대한 적절한 품질관리가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 1990년도 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업에 의하여 연구되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. ACI Committee 226, "Use of Fly Ash in Concrete," (ACI 226.3R-87), American Concrete Institute, Detroit, 1987. 29 pp.
2. Helmuth, R., "Fly Ash in Cement and Concrete," Portland Cement Association, 203 pp.
3. 최종범 외 14인, "콘크리트 혼합재료로서의 식탄회 이용방안 연구," 한국전력공사 기술연구원, 1989.4. 249 pp.
4. 김진근, 김상식, 오병환, 신성우, "고강도, 유동화 및 섬유 콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구," 과학기술처, 1990.6. 306 pp.
5. 서정우, "플라이애쉬를 혼합재로 사용한 콘크리트의 실용화를 위한 연구," 박사학위논문, 한양대학교 토목

- 공학파, 1988, 102 pp.
6. 오병환, 고재균, "플라이애쉬 콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 관한 연구," 콘크리트학회 논문집, 제3권, 제2호, 1991, pp.87~95.
 7. Malhotra, V.M., "Supplementary Cementing Materials for Concrete," CANMET, 1987, 428 pp.
 8. Peterman, M.B, Carrasquillo, R.L., "Production of High Strength Concrete," Noyes Publications, 1986, 278 pp.
 9. Haque, M.N., Langan, B.W., Ward, M.A., "High Fly Ash Concrete," ACI J., Proceedings, Vol.81, No.1, 1984, pp.54~60.
 10. Ravina, D., "Slump Loss of Fly Ash Concrete," Concrete International, April, 1984, pp.35~39.
 11. Hobbs, D.W., "Influence of Fly Ash Upon the Workability and Early Strength of Concrete," ACI SP-79, Editor, V.M. Malhotra, 1983, pp.765~784.

(접수일자: 1991. 10. 18)