

콘크리트의 플라이애쉬 사용에 따른 품질변화 시험

송 석 희
(三표산업(주) 품질관리과장)

1. 국내의 플라이애쉬의 사용내역

우리나라에서 플라이애쉬가 생산되기는 1930년 당인리 화력발전소의 준공으로 시작되었으나 1930년 까지는 전량이 무연탄 플라이애쉬로서 미연탄소의 함량과 알칼리 성분 함량이 많아 콘크리트용 혼화재로 사용이 어려워 매립용으로 대부분이 사용되었으며 일부 소량이 발전소 인근 시멘트 공장의 부원료(영월 화력발전소)로 기와나 벽돌공장의 2차 제품에 사용되어 오다가 1984년 유연탄 화력발전소가 가동되어 상대적으로 양질의 플라이애쉬가 발생되면서 충주 다목적댐 잠실수중보와 같은 수리 구조물등에 시멘트의 혼화재로서 처음 사용되었다.

국내 콘크리트 혼화재로서 플라이애쉬 이용에 관한 본격적인 연구는 산업기지개발공사에서 “플라이애쉬 콘크리트 연구보고서”라는 제목으로 발표되었고, 이듬해 1986년 3월에 삼표산업(주)에서 플라이애쉬를 혼합한 콘크리트에 대한 품질 및 제조설비의 검토를 마치고 시제품이 나왔다.

그후 플라이애쉬 품질의 불균일성 때문에 혼화재로서의 사용에 논란이 많았으나 1991년 10월 호주와의 기술제휴로 정제설비를 갖추고 1992년 10월 플라이애쉬에 대한 K.S를

특하므로써 콘크리트 혼화재로서의 사용에 제반여건이 형성되었다고 할 수 있다. 플라이애쉬는 우리나라에서도 화력발전소의 증설 가동으로 매년 상당량이 생산되고 있다. 이것은 산업폐기물이기 때문에 사용하지 않을 경우 폐기 처분해야 하는 많은 어려움을 안고 있다.

따라서 우리나라에서도 플라이애쉬에 대한 품질개선과 이용확대에 대한 연구개발이 꾸준히 이루어져 유럽 선진국처럼 산업 폐기물의 효과적인 이용 및 자원절약이라는 관점에서 다루어져야 할 것이다.

2. 플라이애쉬 이용

분 야	세 부 이 용 기 술
시멘트	시멘트 제조용, 시멘트 혼화재, 콘크리트 혼화재
토 목 건 축 재 료	아스팔트 율러, 포장재, 노반재, 노상재, 되메움재, 광산충전재, 지반 안정재, 성토매립재, 골재, 인공경량골재, 경량콘크리트, 기와 및 세라믹, 단열재, 벽돌, 블럭, 그라우트제, 솟크리트
기 타	비료, 토양개량제, 인공어초, 유기물회수 (Conosphere, 기타성분), 고무 플라스틱 충전재, 탈황 탈소제, 신경화제

2) 플라이애쉬 콘크리트의 적용대상 구조물

구분	장점	혼합율	
토목공사	도로포장	팽창 및 수축이작다. 장기 휨강도가 크다.	20%
	매스콘크리트 구조물	작업성이 좋다. 수화열이 낮다. 장기강도크다.	30%
	해수 및 화학작용을 받는 구조물	내해수성 및 화학저항성이 크다.	30%
	프리캐스트 공법	주입능력이 우수(필수적)	30~50%
	그라우트 공법	수축이 적고 작은간극에 주입용이	30~50%
건축공사	기둥·보	작업성이 좋은 콘크리트가 얻어진다.	10~15%
	기초 Slab	경량콘크리트 쉐석콘크리트의 작업성 개선.	10~15%
	레미콘	슬럼프 손실이 적고 운반거리를 길게한다.	5~10%
기타	시멘트	치밀한 콘크리트가 얻어지고 마감성이 좋다.	30%
	2차 제품	인공어초, 흡착제·비료	5~15%

3. 플라이애쉬 사용에 따른 Con'C품질변화

1) 시험항목 및 시험방법

구분	항목	시험방법	비고	
1. 원재료	1) 시멘트	분말도	KSL 5106	
		응결시간	KSL 5103	
		비중	KSL 5110	
		압축강도	KSL 5105	
	2) 사용수	PH CL		
3) 혼화제	감수율 블리이딩량의 비 응결시간의 차 압축강도 비	KSF 2560		
		KSF 2560 5.7.2항 5.7.5항		
4) FLY-ASH	분말도 압축강도 강열감량 습분	KSF 5405		
5) 골재	입도 비중 및 흡수율 단위용적 중량 씻기 손실량	KSF 2502 KSF 2505		
		KSF 2503 KSF 2504		
		KSF 2505		
		KSF 2511		

구 분		항 목	시 험 방 법	비 고
	1) 골 재	점토 덩어리 유기 불순물 연화물 함유량 안정성 마모감량	KSF 2512 KSF 2510 KSF 2515 KSF 2507 KSF 2508	
2. 물 탈		압축강도	KSL 5105	
3. 콘크리트		공기량 슬럼프 압축강도	KSF 2421 KSF 2402 KSF 2404	

2) 사용재료 분석

(1) 시멘트

구분	항목	강 열 감 량 (%)	분 말 도 (cm ² /g)	비 중	응결시간		압축강도 (kg/cm ²)			제 조 사	종 류
					초 결	중 결	σ_3	σ_7	σ_{28}		
측 정 치	1.1	3320	3150	273	6 : 50	205	277	353	쌍 용	보통 포틀랜드 1종	
KS규격	3.0 이하	2800 이상	3.05 이상	60분 이상	10H 이하	130 이상	200 이상	290 이상			

(2) 사용수

구 분	PH	CI	종 류	비 고
측 정 치	6.2		지하수	
K.S 규 칙	1.85-8.5	150PPM이하		

(3) 혼화제(AE감수제 표준형 리그닌계)

구분	항목	비 중	감 수 율 (%)	블리이딩비 (%)	응결시간		압축강도 (kg/cm ²)			비 고
					초 결	중 결	σ_3	σ_7	σ_{28}	
측 정 치	1.21	13.0	60.2	+20	+30	118	114	115		
KS규격	-	10이상	70이하	기준 +90~-60		115 이상	110 이상	110 이상		

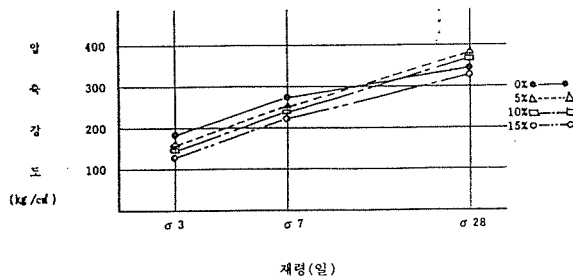
(4) FLY-ASH(유연탄:보령화력)

구분 \ 항목	비 중	강 열 감 량 (%)	분말도	습 분	단위수량비 (%)	압축강도비 (%)	산 지	비 고
측 정 치	2.16	3.1	3440	0.3	101	101	보 령	
KS규격	1.95 이상	5.0 이하	2400 이상	1.0 이하	102 이하	60 이상	-	

3) 몰탈 시험결과

재령별 ($\sigma 3$, $\sigma 7$, $\sigma 28$) 몰탈의 압축강도 시험결과는 F/A 혼합을 5%, 10%, 15% 첨가하여 결과는 아래와 같다.

구분 \ 항목	FLOW 치	응결시간		압축강도 (kg/cm ²)			비 고	
		초 결	종 결	$\sigma 3$	$\sigma 7$	$\sigma 28$		
F/A 첨가량	0%	112	265	6 : 40	186	268	357	
	5%	110	270	7 : 00	172	254	372	
	10%	113	280	7 : 15	166	243	364	
	15%	112	285	7 : 35	154	237	341	



MORTAR 압축강도

그림에서와 같이 시멘트 MORTAR의 압축강도는 FLY-ASH의 혼합율이 증가할수록 초기 강도가 저하되는 것으로 나타나고 있지만 28일 강도에서의 5%, 10%에서는 압축강도가 상승됨을 알 수 있다.

4) 콘크리트 시험결과

(1) 콘크리트 배합1(중량치환 방법)

항목 F/A 비율(%)	골재 치수 (mm)	호칭 강도 (kg/cm ²)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/C (%)	단위재료량 (kg/m ³)						
						W	C	F/A	S	G	ADL	AD2
0	25	210	12	53.5	45.0	171	320	-	818	1019	0.96	0.54
5	"	"	"	"	"	"	304	16	819	1020	"	0.64
8	"	"	"	"	"	"	294	26	818	1019	"	0.80
12	"	"	"	"	"	"	282	38	815	831	"	0.96

(2) 콘크리트 배합 2(첨가방법)

항목 F/A 비율(%)	골재 치수 (mm)	호칭 강도 (kg/cm ²)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/C (%)	단위재료량 (kg/m ³)						
						W	C	F/A	S	G	ADI	AD2
0	25	210	12	53.5	45.0	171	320	-	818	1019	0.96	0.54
5	"	"	"	"	"	"	"	16	795	1031	"	0.64
8	"	"	"	"	"	"	"	26	772	1043	"	0.80
12	"	"	"	"	"	"	"	38	748	1052	"	0.96

1) 석탄재 이용분야(FLY -ASH포함)

(3) 단위수량

플라이애쉬는 입자모양이 구형이므로 시멘트와 혼합하여 사용할 경우 마찰저항을 감소시켜 콘크리트의 유동성을 증가시키므로 콘크

표 1

사용량	감수비(%)	슬럼프(cm)	비고
0	1.00	12.5	
5	1.02	12.7	
8	1.04	12.9	
12	1.07	13.0	

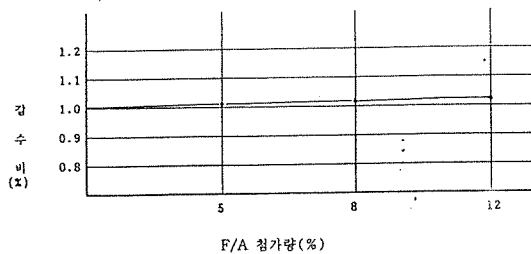


그림 F/A 첨가량(%)

리트의 단위수량이 감소하게 된다.

(4) 공기량

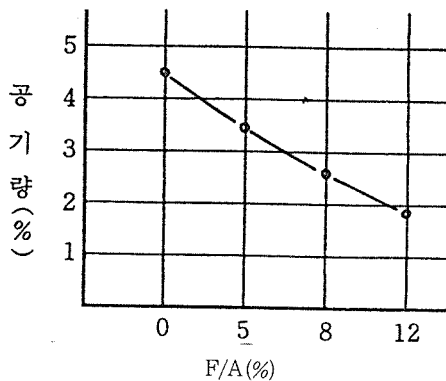
공기량은 콘크리트의 WORKABILITY를 개선하게되며 공기량이 증가되면 강도가 떨어지고 품질의 균질성이 나빠지는 경향이 있다.

그러므로 소요의 작업성을 얻는 범위에서는 공기량이 적은 것이 좋다.

공기량의 변동 요인으로 시멘트의 분말도·단위수량·시멘트량·포조란의 종류·골재의 종류·믹싱시간·슬럼프·온도등 여러 요인에 의하여 변화하며 플라이애쉬를 사용할 경우에도 공기량에 영향을 미치고 있으며 그 요인은 미연탄소량에 의하여 공기량을 흡착하게 되어 AE제량을 증가시켜야 하므로 AE제 사용량

표 2

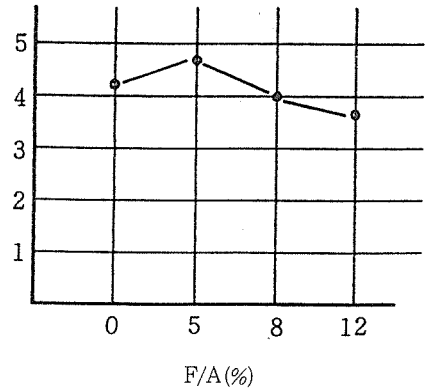
사용량 (%)	공기량(%)			비고
	AE제 동일사용	AE제 증가사용	AE제 사용량	
0	4.5	4.2	0.54	
5	3.5	4.7	0.64	+18.5%
8	2.7	4.0	0.80	+48.1%
12	1.9	3.7	0.96	+77.8%



AE제량 일정

을 증가시켜 시험하였다.

(5) 압축강도



AE제량 증가

플라이애쉬를 다른 비율로 치환 및 첨가시험을 실시하여 콘크리트 강도에 미치는 영향을 검토하기 위하여 재령(σ3, σ7, σ28)별로

표 1:

구분	항목	공기량(%)								비고
		치환				첨가				
		σ3	σ7	σ28	σ42	σ3	σ7	σ28	σ42	
플라이애쉬(%)	PLAIN	121	182	270	318	124	188	276	312	
	5	118	174	281	323	118	190	301	338	
	8	111	167	273	338	115	182	288	353	
	12	100	154	257	325	108	163	278	345	

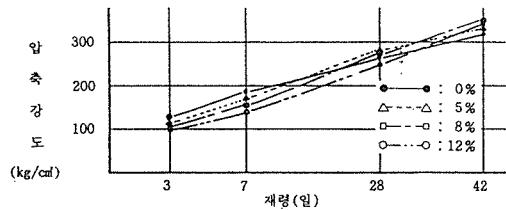


그림 4 치환

측정 비교하였으며 그 결과는 다음과 같다.

플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 초기강도는 보통 콘크리트보다 작았으나 재령 28일 강

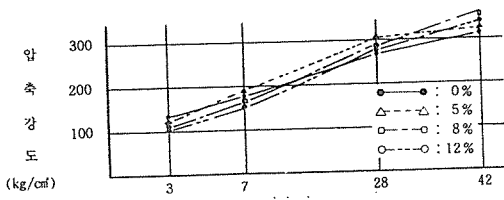


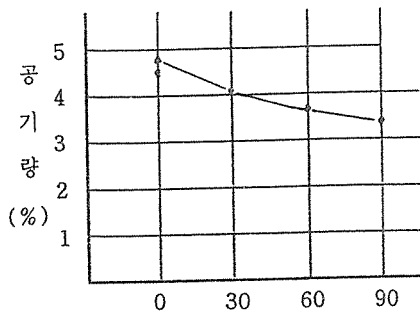
그림 2 첨가

도 부터는 플라이애쉬의 혼합율에 따라서 보통 콘크리트의 압축강도보다 크게 나타난다.

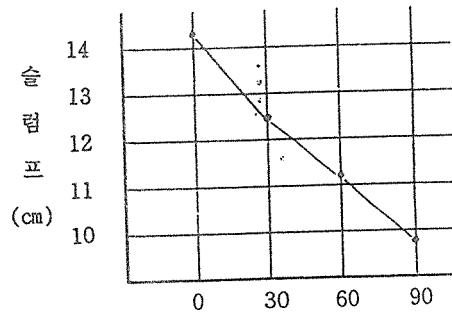
이러한 경향은 “플라이애쉬의 포졸란 반응에 의한 장기강도의 증진이 크다”는 연구와 같은 결과로 생각되며 <표 1> 및 <그림 1, 2>에서 보는 바와같이 치환할 경우 42일 강도에서 보통콘크리트보다 강도가 증진되었고 첨가할 경우는 첨가량의 증진에 따라 28일 강도에서 보통콘크리트 보다 증진되었음을 알 수 있

5) 시간 경과에 따른 공기량 및 슬럼프의 변화시험

항목 회수	공기량 (%)				슬럼프 (%)				비고
	0분	30분	60분	90분	0분	30분	60분	90분	
1	4.8	3.9	3.5	3.2	14.0	12.3	11.5	10.0	* FLY-ASH 첨가 시험(8%) * 종류: 동남 Febcrete(0.3%)
2	4.7	4.0	3.8	3.3	14.5	12.1	11.2	10.2	
3	4.8	4.1	3.5	3.5	14.0	12.5	10.5	8.8	
4	5.0	4.2	4.0	3.5	14.5	12.7	11.5	10.3	
평균	4.8	4.1	3.7	3.4	14.3	12.4	11.2	9.8	



경과시간(분)



경과시간(분)

다.

플라이애쉬 사용에 대한 공기량 관리방법으로는 콘크리트에 연행시킨 공기량은 플라이애쉬의 미연탄소(기타 분말도, 시멘트종류, W/C)가 AE제를 흡착하므로써 플라이애쉬량이 증가할수록 공기량은 감소하게 된다.

이러한 공기량의 흡착은 30분에서 공기량이 감소됨을 알 수 있다.

AE제 사용량이 많은 경우에는 플라이애쉬 입자가 포화 흡착에 도달하는 속도가 빨라져 포화에 도달하게되면 콘크리트 공기량의 변화가 거의 없는 안전상태로 유지되는 것으로 나타났다으며 이현상은 콘크리트 슬럼프값 측정결과에서도 공기량의 경우와 비슷하게 슬럼프 손실이 약간 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4. FLY-ASH장·단점 및 사용시 고려사항

장 점	단 점
1. 재령에 따른 강도증진 : 28일을 기점으로 3~6개월사이 현저한 강도 증가	1. 초기강도 약간저하(28일 이전)
2. 건조수축의 감소 : 수화열 감소에 따른 효과	2. 미연 탄소분배에 의한 공기량 감소(강열감량 일정하게 유지)
3. 화학적 내구성 증대	
4. 콘크리트 철근부식성 억제	
5. 작업성 증대 : Ball-Bearing 역할로 유동성 개선	
6. 알칼리 골재반응 억제 : SiO ₂ 성분에 의해 시멘트의 CaO와 화학반응 골재 알칼리 반응 차단	
7. 크랙방지 효과 : 건조수축 감소, 감소효과	
8. 블리딩 및 레이탄스 감소 : 마감성 좋음	

1) 장·단점 비교

항 목	조 치	비 고
IG-LOSS 일정 관리	강열감량이 증가할때는 적정 공기량을 연행 시키기 위해 AE제 사용량을 증가시킨다.	IG-LOS 기준치 이하관리
혼화제 적정관리 방안 선택	AE제별도관리:AE제 계량기를 별도 설치 및 적정 공기량 유지를 위한 AE제 추가투입	
FLY-ASH 입도를 정기적으로 점검	F/A의 입도는 시멘트의 수화반응과 작업성에 영향을 미침(45 μ m이하가 80%이상)	
계절에 따른 배합비 사용	동절기에는 사용비를 조절	

2) 고려할 사항

5. 결 론

본 연구는 국내의 보령화력에서 발생하는 석탄재를 Separating System에 의해 정제하여 KS 수준을 유지할 수 있는 플라이애쉬를 레미콘 제조에 사용되는 시멘트의 치환재로서 사용할 경우 콘크리트에 미치는 특성에 대하여 시험분석하였으며, 이를 기초로 플라이애쉬 배합 레미콘의 특성과 이용 전망에 대해서 연구하였다.

1) 플라이애쉬 배합 레미콘의 특성

- (1) 보령 유연탄 플라이애쉬는 KS규격을 만족하고 있으며 이는 콘크리트에 투입 시멘트의 치환재료 8%까지 사용하여도 콘크리트의 소요성능을 확보할 수 있다. (치환율 8%일때 28일 강도는 보통 콘크리트에 비해 101%증가 되었고 공기

- 량은 $4 \pm 1\%$ 범위를 확보할 수 있었다.)
- (2) 보령 플라이애쉬는 2~3%의 감수효과가 있었다.
 - (3) 위에서 언급한 바와 같이 보령 유연탄 정제 플라이애쉬는 포졸란 활성도(96%)가 좋아 기존배합에서 시멘트의 일정량을 치환 사용하는 것이 가능하다.
(예 : 시멘트 중량의 10%까지)

2) 이용전망

- (1) 국내 레미콘 업계의 제조 가공기술 축적으로 정확한 계량오차 관리가 가능하고 품질관리 체계가 일정수준으로 도달하여 있으므로 각 레미콘 제조업체나 관련단체가 플라이애쉬 배합레미콘에 대한 적극적인 홍보활동을 통하여 소비자의 거부감을 해소한다면 플라이애쉬가 갖고 있는 장점

으로 보아 그 사용량이 선진국에 이를 것으로 사료된다.

- (2) 더불어 플라이애쉬의 품질수준 균일화를 위해서 플라이애쉬 제조업자를 지원 육성한다면 이용 전망은 더욱 밝아질 것이다.

6. 레미콘 제조시플라이애쉬 투입 설비 개요

1) 계량오차 조절방법

- (1) 계량기 계량방식 : 누적계량-계별개량
- (2) 라운드 게이트 방식(1단계어) - R/F + B/F VALVE(2단 제어).
- (3) 90%, 100% 개념도입

2) 플라이애쉬 투입설비 LINE

