

國內 Fly Ash콘크리트의 特性 및 利用展望

李 章 和

(韓國建設技術研究院 先任研究員)

目 次

1. 序 論
2. Fly Ash의 物理的, 化學的 諸性質
3. Fly Ash 콘크리트의 特性
4. Fly Ash의 利用展望
5. 結 論

1. 서 론

최근 석탄화력 발전이 상승세를 가짐에 따라 부산물인 석탄재의 발생량은 세계적으로 증가일로에 있다. 따라서 각국은 석탄재를 유효하게 이용하기 위해 이용기술의 개발을 장려하고 국가적 차원에서 연구투자를 추진하고 있다.

국내의 경우는 1984년 이후 외국산 유연탄을 수입하여 상업발전을 하게 되면서부터 석탄재의 처리 및 이용에 대해서 과거와는 다른 새로운 시각을 갖게 되었다.

석탄재의 일반적인 발생실태를 볼 때 국내산 무연탄의 경우 원탄의 약 45%, 수입 유연탄의 경우 약 15%가 석탄재로 발생되어, 1986년 국내의 석탄재 발생량은 약 170만톤에 달한다. 이러한 발생 석탄재의 약 80%를 플라이애쉬가 차지하며 플라이애쉬를 콘크리트 혼화재로 사용할 경우 이용 가능량이 막대하고 경제적 이점과 일부 콘크리트 물성개선의 효과도 얻을 수 있어 외국에서는 콘크리트혼화재로서의 이

용이 가장 보편화 되어 있다.

이에 본 연구에서는 콘크리트 혼화재로서 플라이애쉬를 혼합 사용할 경우를 고려하여 플라이애쉬 콘크리트의 특성을 비교 분석하고 이용 전망에 대해서 고찰하고자 한다.

2. 플라이애쉬의 물리적, 화학적 제성질

2.1 플라이애쉬의 물리적 성질

(1) 비 중

플라이애쉬의 비중은 1.8~2.3 정도의 범위로 시멘트 비중의 약 2/3 정도이고, 철분의 함량이 많을수록 비중은 커진다. 또 플라이애쉬는 광물 질이면서도 비중이 작은 것은 어느 정도 플라이애쉬 입자가 중공화되어 있을 것으로 판단된다.

(2) 분말도

플라이애쉬의 분말도는 SiO_2 함유량과 함께

포조란 활성을 지배하는 중요 인자이고 콘크리트 워커빌리티에도 큰 영향을 미친다. 일반적으로 분말도가 클수록 콘크리트의 강도나 내구성이 향상되지만 그 값에는 한계치가 있다.

(3) 입자형상

플라이애쉬의 형상은 기본적으로 구형이고 다른 포조란재에서는 볼 수 없는 고유의 특징이다. 이것은 플라이애쉬가 Ball Bearing 작용을 하여 콘크리트의 유동성을 증가시키고, 또 골재사이의 공극을 충전시켜 주는 등 콘크리트의 제성질을 향상시키는 주요 원인이 되고 있다.

(4) 입경 및 입도

플라이애쉬의 입도분포 1-100 μ m의 범위에 있고 그 평균 입경은 20~30 μ m로 거의 시멘트 입경과 비슷하다.

(5) 색깔

플라이애쉬의 색깔은 그 화학성분, 물리적 성질, 생성조건 등에 따라 다르고 담황색으로부터 암갈색에 이르기 까지 다양한 색깔을 띠고 있다.

(6) Cenosphere

Cenosphere는 플라이애쉬가 Slurry상으로 회사장에 폐기처분 되어 침전될 때 위 부분으로 떠오르는 물질을 말하며 Floater라고도 부른다.

Cenosphere의 발생과정은 잘 알려져 있지 않지만 주로 석탄의 품질에 관련되는 것으로 생각되고, 이들의 건조밀도는 250kg/m³, 입경은 50~125 μ m 정도이다. Cenosphere와 플라이애쉬의 가장 큰 차이점은 플라이애쉬 입자 내부가 대부분 밀실한데 반해 Cenosphere는 입자 내부가 중공으로 되어 있다는 것이다. 또 콘크리트 배합시에 있어서 이 Cenosphere는 AE제의 효과를 감소시키는 작용을 한다고 알려져 있다.

2.2 플라이애쉬의 화학적 성질

(1) 화학적 구성광물

플라이애쉬에 함유된 화학 주성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등이고, 또 미연탄소를 수% 함유한다. 이들의 존재비율은 전자는 탄질, 후자는

보일러나 연소온도에 따라 영향을 받는다. 또 플라이애쉬의 구성광물은 Mullite, Quartz, Magnetite를 함유한 유리질이고, 산화칼슘이나 석고도 존재한다.

(2) 포조란 활성

플라이애쉬를 시멘트에 함유할 경우, 시멘트의 수화에 의해 발생하는 칼슘이온(Ca²⁺)과 플라이애쉬에서 용출되는 SiO₃⁻나 Al₂O₄⁻이 반응하여 칼슘실리케이트 수화물(CSH)이나 칼슘알루미네이트 수화물(CAH)를 생성하고 장기간에 걸쳐 고화되어 강도를 발현한다. 이 경우 포조란 활성도는 압축강도비로 표시하지만, 플라이애쉬의 종류에 따라 현저한 차이가 있다.

(3) 강열감량(Loss On Ignition)

플라이애쉬에 존재하는 미연분의 양은 플라이애쉬의 품질이나 연소조건등에 따라 다르지만 일반적으로 2~10% 정도이다.

이 미연탄소는 보통 흑색이고 함유량이 많아 질수록 플라이애쉬는 시멘트 색에서 회색으로 되고, 콘크리트의 외관을 검게 하며, 또 혼화제의 효과를 감소시키는 등의 차이점을 가지고 있다. 따라서 콘크리트 혼화재용 플라이애쉬는 될 수 있는 한 낮은 강열감량치가 요구되고 그 한계치는 KS 규격(KS L5405)에서는 5%이하, ASTM C-618에서는 6%(C급) 및 12%(F급), BS 3892에서는 7%(A급) 및 12%(B급) 이하로 규정되어 있다

(4) pH치

플라이애쉬의 pH치는 8-13의 범위에 있고, 콘크리트 혼화재로 사용될 때 플라이애쉬의 pH치는 콘크리트의 중성화에 영향을 미친다. 따라서 시멘트의 pH치가 12전후 이므로 플라이애쉬의 pH치는 큰 값이 좋다.

3. 플라이애쉬 콘크리트의 특성

3.1 시험개요

본 연구에서는 수행한 시험은 우선 KS규격

(KSF4049, KSL5405)을 만족하는 유연탄 및 무연탄 플라이애쉬에 대해서 콘크리트의 혼화재로서의 성능을 분석하는데 중점을 두었으며 시험항목 및 개요는 <표 1>과 같다.

3.2 시험결과 분석

3.2.1 기본재료 시험결과

본 연구에서 대상으로 한 플라이애쉬는 발전 상태가 안정되어 품질상태가 양호한 보령화력

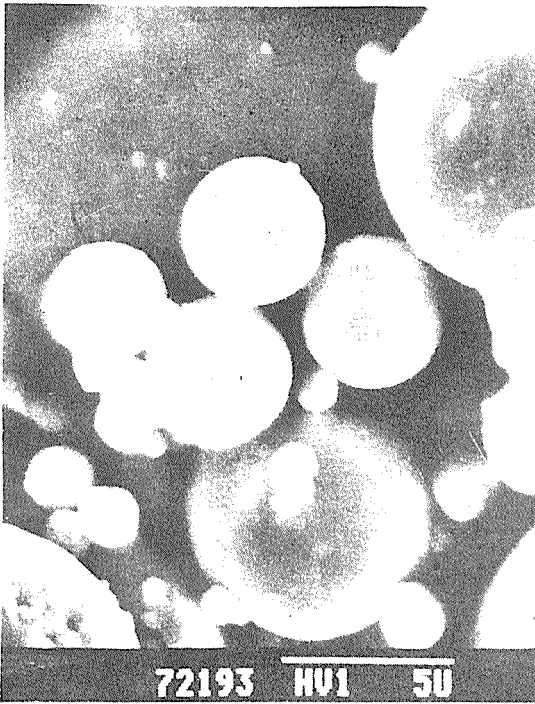
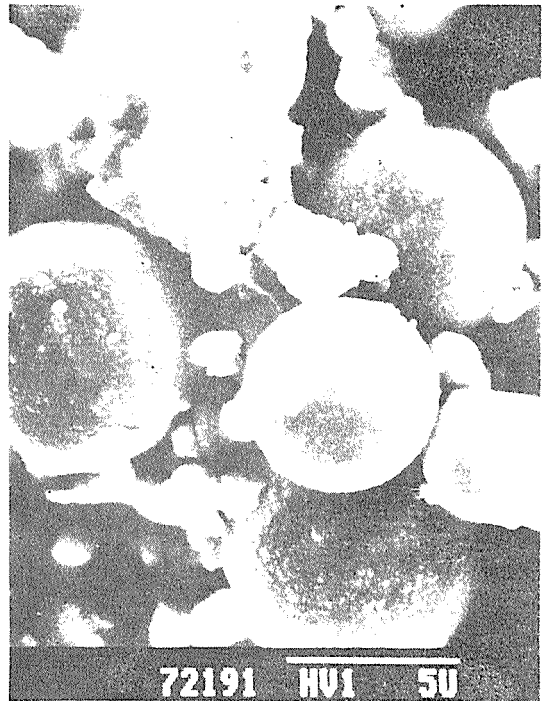


사진 1. 무연탄 플라이애쉬 입자



〈사진 2〉 유연탄 플라이애쉬 입자

〈표 3-1〉 시험항목 및 개요

대상 구분		시험 항목	비 고
기본재료 시험	플라이애쉬	비중, 성분분석, 강열감량, 습분, 분말도, 응결시간, 포조란 활성도, pH	<ul style="list-style-type: none"> •유연탄 플라이애쉬 •무연탄 플라이애쉬 •쌍용양회 1종시멘트 •한강미시리산 골재
	시멘트	비중, 분말도, 습분, 강열감량, 응결시간	
	골재	비중, 체분석, 표면수량, 조립율	
모르터 시험		압축 및 인장강도, 투수시험, 수화열 시험	
균지않은 콘크리트 시험		슬럼프, 공기연행, AE계 사용량	
균은 콘크리트 시험		압축 및 휨강도 발현특성(장기재령), 동결융해 저항성 시험, 길이변화시험	

〈표 2〉 플라이애쉬의 품질 시험표

항 목		FA 종류	유연탄 FA	무연탄 FA	KSL 5405 (KSF 4049)	비 고
화 학 성 분	SiO ₂	(%)	62.83	61.57	} 70 이상	
	Al ₂ O ₃	(%)	20.67	20.30		
	Fe ₂ O ₃	(%)	9.02	4.60		
	CaO	(%)	2.56	0.54		
	MgO	(%)	1.33	1.11	5.0 이하	
	Na ₂ O	(%)	0.27	0.40	1.5 이하	
	K ₂ O	(%)	0.85	4.55	-	
	SO ₃	(%)	Tr	0.55	5.0 이하	
	습윤	(%)	0.14	0.38	1.0 이하	
	강열감량	(%)	3.91	4.12	5.0 이하	
물 리 적 성 질	분말도 (cm ² /g)		3192	2532	(2400 이상)	
	포조란활성도 (%)		95.95	85.82	85 이상	
	소요수량 (%)		104.3	100	105 이하	
	건조수축률 (28일, %)				0.03 이하	
비중		2.15	2.25	-		

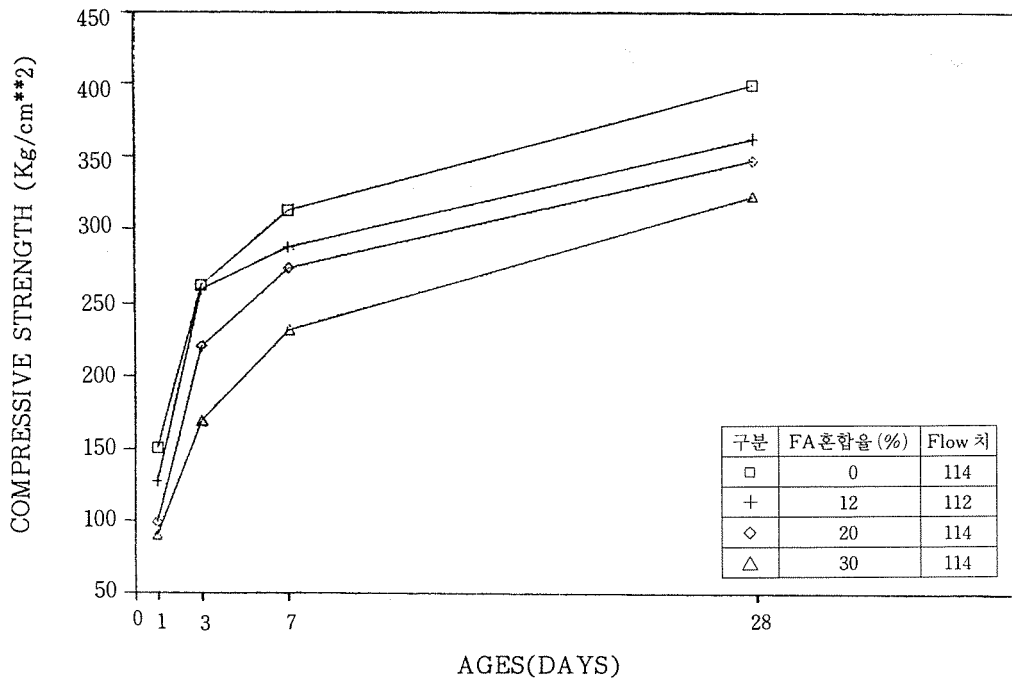


그림 - 1 모르터 압축시험 결과 (AFA)

의 유연탄 플라이애쉬(Bituminous Fly Ash, BFA) 및 서천화력의 무연탄 플라이애쉬(Anthracite Fly Ash, AFA) 각 1종이며 (사진 1, 2 참조) 이에 대한 품질 및 기본재료 시험결과는 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 선정된 시료는 규격을 만족하는 것이며, 국내 플라이 애쉬의 품질상 대부분의 문제점은 분말도, 강열감량 및 소요수량의 측면에서 변동성이 문제되고 있다.

3. 2. 2. 모르터 시험결과

(1) 압축 및 인장강도

재령별(1, 3, 7, 28일) 모르터의 압축 및 인장강도 시험결과는 <그림 1>-<그림 4>와 같다. 28일 압축강도에 있어서 플라이애쉬 혼합률 10%, 20%, 30%에 대해서 볼 때 무연탄의 경우는 플라이애쉬 무혼합의 경우와 비교하여 각각 91%, 87% 81%의 강도가 발현되었고 유연탄의 경우는 각각 106%, 92%, 88%가 발현되었다. 모르

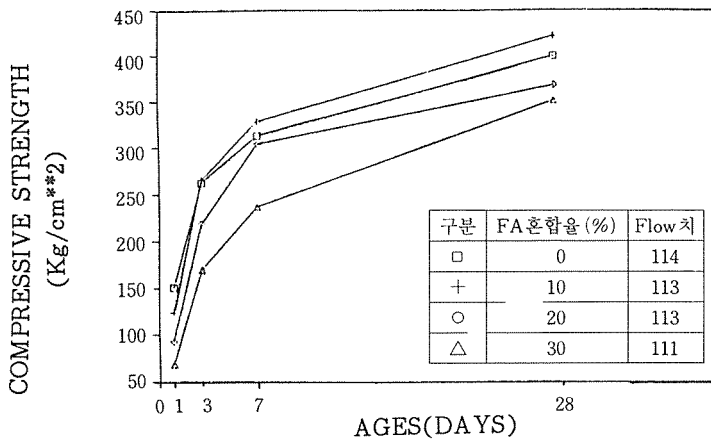


그림 -2 모르터 압축시험 결과 (BFA)

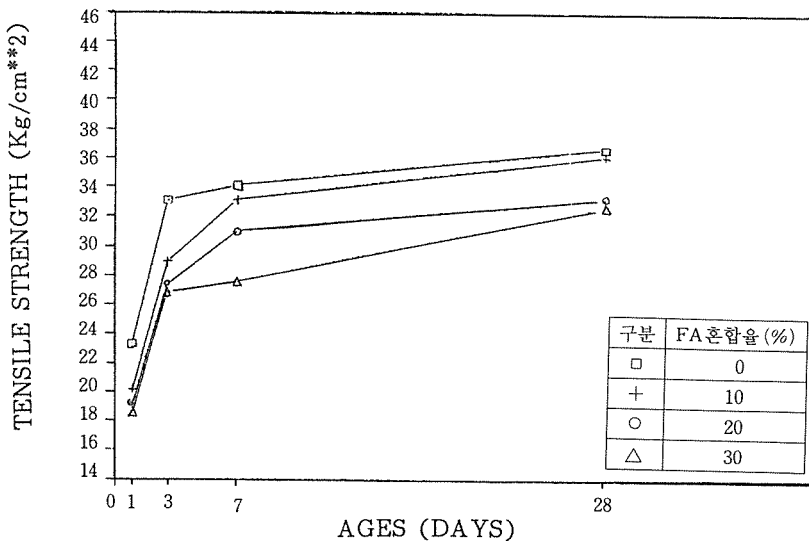


그림 -3 모르터 인장시험 결과 (AFA)

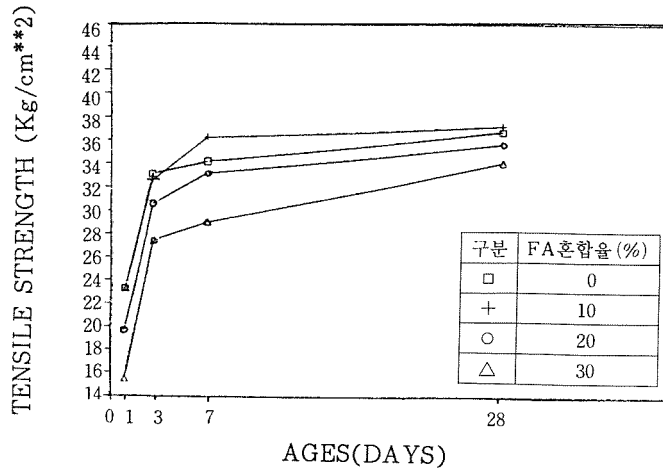


그림 - 4 모르터 인장시험 결과 (BFA)

터 인장강도에 있어서도 이와 유사한 경향을 나타내며 이는 유연탄 플라이애쉬의 경우 포조란활성도가 좋아(96%) 28일 강도에서 무혼합시의 강도를 초과하고 있다.

(2) 모르터 투수시험

시험장비 여건 및 규격시험 관련상 콘크리트 투수시험을 수행하는 대신 모르터 투수시험을 KSF2451에 따라 수행하였으며 시험결과는 <표 3>과 같다.

(3) 수화열 시험

시멘트에 플라이애쉬를 혼합하여 7일간 표준양생한 시편에 대한 수화열 시험은 현재 수행

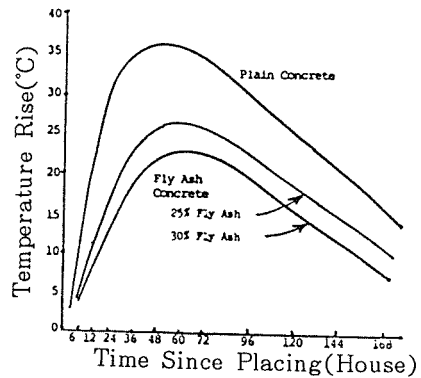


그림 - 5 Variation of temperature with time at the center of 15m³ concrete blocks (Samarin, Munn, and Ashby 1983)

<표 3> 모르터 투수시험 결과

구 분	Flow 치		흡 수 율 (10 ⁻³)	
			기 준 양 생	기 준양생후 (대기중 7개월)
시멘트 100%	160		6.0458 (100)	7.4250 (100)
시멘트 90% + FA 10%	AFA	160	6.2456 (103.3)	6.6679 (103.2)
	BFA	162	3.7858 (62.6)	2.3628 (31.8)
시멘트 80% + FA 20%	AFA	165	10.0228 (165.8)	9.9196 (133.6)
	BFA	163	4.1324 (68.4)	3.1256 (42.1)
시멘트 70% + FA 30%	AFA	165	13.5883 (224.8)	13.1865 (177.6)
	BFA	160	4.9456 (81.8)	3.2605 (43.9)

* 기준양생 : 온도 20±2°C, 습도 80% 이상에서 19일 양생

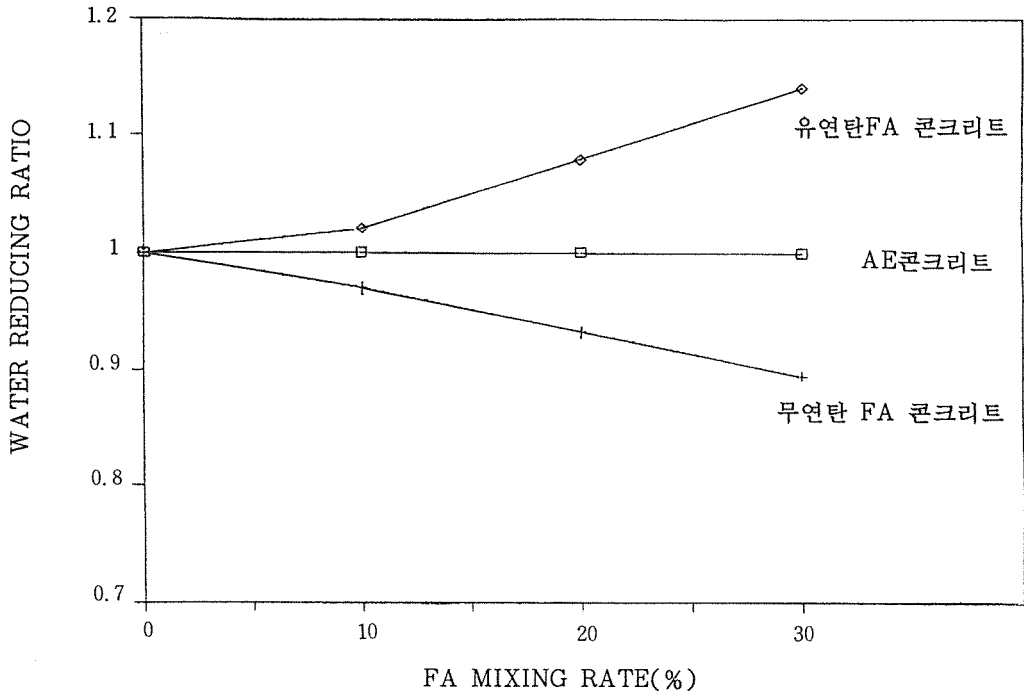


그림 -6 플라이애쉬 혼합률과 감수비와의 관계

중에 있으며 수화반응에 의해 나타나는 결과로서 플라이애쉬 콘크리트의 단열상승 온도에 대한 외국의 실험결과는 <그림 5>와 같다.

3.2.3 굳지 않은 콘크리트

(1) 소요수량 시험

플라이애쉬는 입자모양이 구형 미분상태로서 콘크리트에 시멘트의 일부로 사용될 경우 마찰저항을 줄이고 Ball Bearing 역할을 하여 일반

적으로 소요수량을 감소시킨다. 플라이애쉬를 혼합한 경우 단위수량을 감소시키는 정도는 입자의 형상과 분말도 및 혼합률에 따라 다르다. 본 연구에서 사용한 플라이애쉬의 단위수량 감소율은 <그림 6>과 같다.

<그림 6>과 같은 결과는 유연탄 입자가 무연탄 입자보다 미세하고 입자표면에 요철이 많아 비표면적이 크며 내부에 공극을 함유한 정도의

<표 4> 플라이애쉬 혼합률에 따른 AE 제 사용량

구 분	FA 혼합률 (%)	AE 제 사용량 (%)	비 고
보통 (AE) 콘크리트	0	$C \times 0.01$	AE 제의 종류 : SIKA AER S lump 범위 : $2.5 \pm 0.5 \text{cm}$ 공기량의 범위 : $4.5 \pm 0.5 \%$ $W / (C + F) = 42 \%$ $s/a = 37 \%$ $G_{max} = 25 \text{mm}$
AFA 콘크리트	10	$(C + F) \times 0.03$	
	20	$(C + F) \times 0.040$	
	30	$(C + F) \times 0.045$	
BFA 콘크리트	10	$(C + F) \times 0.015$	
	20	$(C + F) \times 0.025$	
	30	$(C + F) \times 0.04$	

차이 때문인 것으로 사료된다.

(2) 공기연행 시험

일반적으로 플라이애쉬를 사용할 경우는 강열감량과 혼합률에 비례하여 AE제 사용량이 증가된다. <표 4>에서도 플라이애쉬의 혼합률에 따라 AE제 사용량이 증가되고 있다. 최근 플라이애쉬는 일반 콘크리트용 혼화제는 물론 특수 콘크리트용 혼화재로도 이용됨에 따라 강열감량 즉 미연소 탄소의 양이 증가하여도 공기연행을 저해시키지 않는 AE제가 개발되어 있다.

(3) 응결시간 시험

시멘트에 플라이애쉬를 혼합한 경우의 응결 시험결과는 <표 5>와 같다.

<표 5>에 나타난바와 같이 플라이애쉬 혼합

(표 5) 시멘트 및 플라이애쉬 혼합시의 응결시간

구 분		FA 혼합률 (%)		
		10	20	30
AFA	초결(시-분)	3-35	4-49	5-23
	종결(시-분)	4-41	5-47	6-53
BFA	초결(시-분)	4-42	5-10	5-12
	종결(시-분)	5-42	6-15	6-27
시멘트		초 결 : 1-35 종 결 : 3-32		

률이 증가함에 따라 응결시간이 지연되고 있으며 이는 시멘트의 수화작용에 의해 방출되는 Ca(OH)₂의 양에 관계되고 미연탄소의 양이 많을 수록 응결시간이 더 지연되는 것으로 알려져

(표 6) 콘크리트 성능시험용 배합표

구 분		W/(C+F)	s/a (%)	단 위 량 (kg/m ³)						비 고
				W	C	F	S	G	혼화제 (SIKA)	
AE 콘크리트	압축	42	37	174.2	414.7	-	630.1	1089.3	C × 0.01%	· 설계기준강도 : $\sigma_{28} = 280 \text{ kg/cm}^2$ · 슬럼프 범위 : $2.5 \pm 0.5 \text{ cm}$ · 공기량 범위 : 4-5% · Gmax = 25mm
	휨	42	37	"	"	-	"	"	"	
무FA	압축	42	37	169.2	362.7	40.3	638.5	1103.9	(C+F) × 0.03%	
	휨	42	37	"	"	"	"	"	"	
10%	압축	42	37	162.6	309.8	77.4	649.8	1123.4	(C+F) × 0.045%	
	휨	42	37	"	"	"	"	"	(C+F) × 0.035%	
20%	압축	42	37	155.9	259.8	113.3	661.3	1143.3	(C+F) × 0.045%	
	휨	42	37	"	"	"	"	"	(C+F) × 0.05%	
유FA	압축	42	37	177.7	380.8	42.3	624.1	1078.9	(C+F) × 0.015%	
	휨	42	37	"	"	"	"	"	"	
10%	압축	42	37	187.9	357.8	89.5	606.8	1048.9	(C+F) × 0.025%	
	휨	42	37	"	"	"	"	"	"	
20%	압축	42	37	198.8	331.4	142.0	588.1	1016.7	(C+F) 0.04%	
	휨	42	37	"	"	"	"	"	"	

있다. 또한 석탄을 Oil과 혼소시킨 경우 플라이애쉬에 포함된 바나듐(V_2O_5)이 응결을 지연시킨다는 보고가 있다. 응결시간 지연은 초기 수화반응의 지연으로 수화열이 감소되어 콘크리트 내부의 온도차로 인한 균열을 줄이는 효과를 가질 수 있으며 레미콘의 운반거리에 따른 슬럼프 손실이 적어지는 이점이 있다.

3.2.4 굳은 콘크리트의 특성

굳은 콘크리트의 특성에 대하여 현재까지 분석된 내용중 재령별 강도발현 특성, 동결융해 저항성 및 길이변화 시험에 대해 간략히 그래프로 도시하여 기술하고자 하며 성능시험용 배합표는 <표 6>과 같다.

(2) 재령별 강도발현 특성

<표 6>의 배합에 대해 콘크리트의 재령별 압축강도 시험결과를 그래프로 표시하면 <그림 7> <그림 8> <그림 9> <그림 10>과 같다.

그림에서 재령에 따른 압축강도의 발현상태를 비교해 보면 무연탄 플라이애쉬의 경우 재령 60-80일 정도에서 플라이애쉬를 혼합하지 않은 경우의 강도를 초과 발현하고, 유연탄의 경우는 재령 28-40일이 지나면 초과 발현되고 있다. 휨강도의 경우 압축강도의 경향과 다르게 나타나고 있어 확인시험을 통해 원인을 분석중에 있다. 플라이애쉬와 시멘트를 혼합했을 경우의 장기재령별 강도발현 상태에 대한 외국 실험결과를 보면 <그림 11>과 같다.

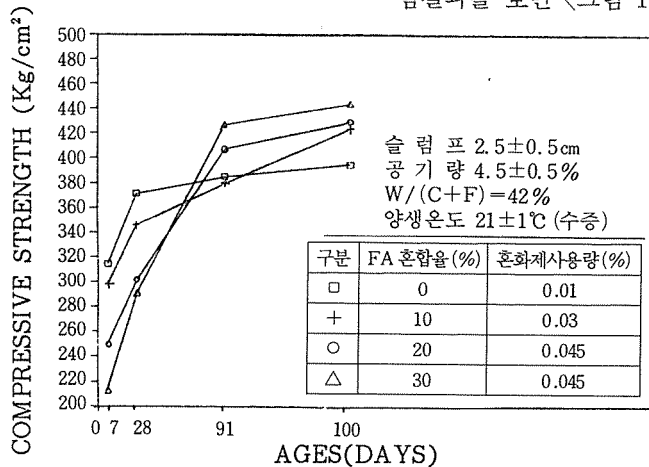


그림 - 장기재령 압축강도 시험 (AFA)

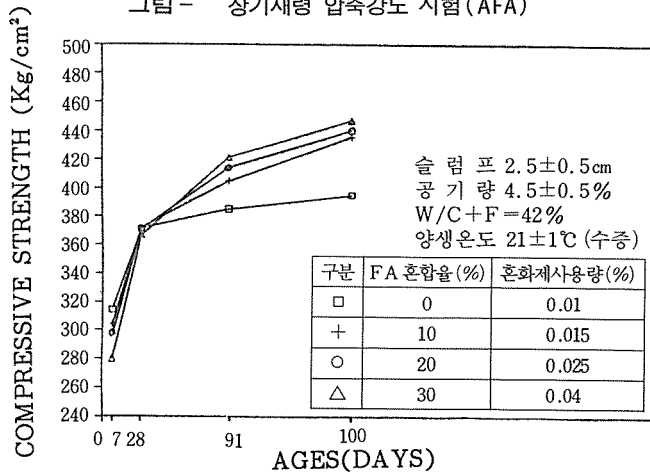


그림 -8 장기재령 압축강도 시험 (BFA)

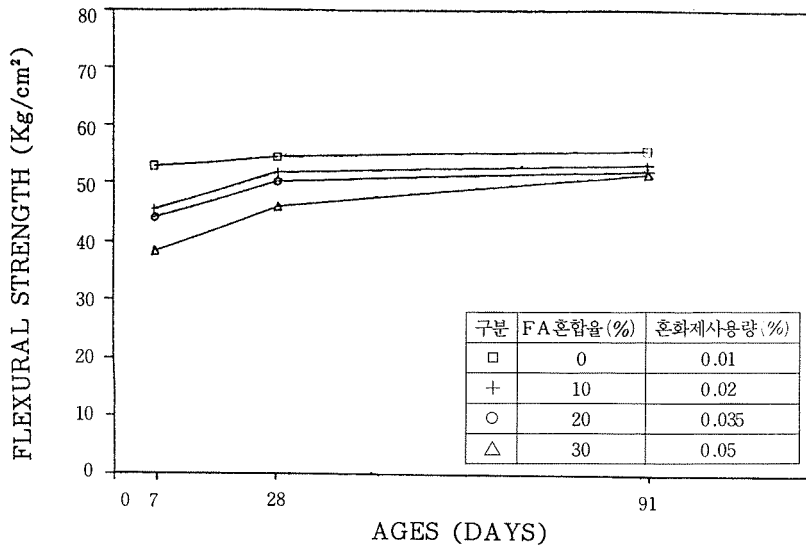


그림 -9 장기재령 휨강도 시험(AFA)

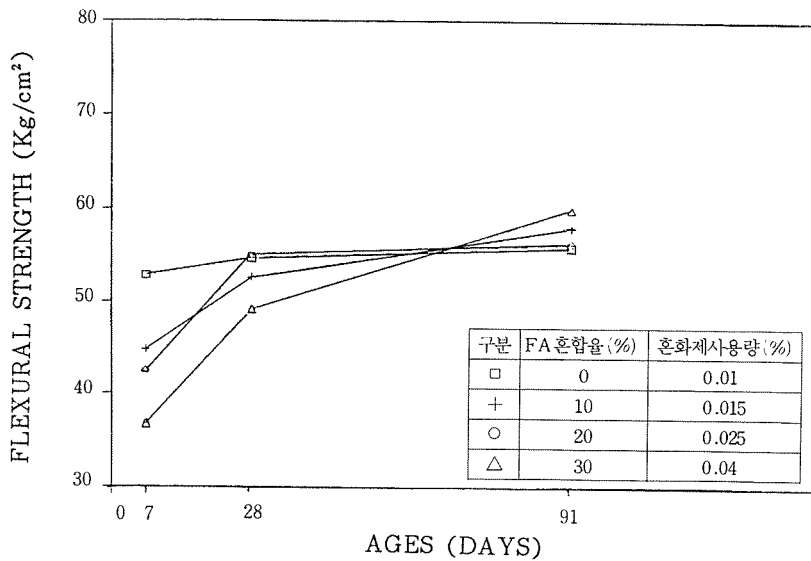


그림 -10 장기재령 휨강도 시험(BFA)

(2) 동결융해 저항성

콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 콘크리트 내부 공극의 구조, 골재의 상태, 재령, 수화도, 시멘트 페이스트의 강도, 콘크리트의 습윤 조건 등에 따라 달라진다. 플라이애쉬를 혼합한 콘크리트는 강도가 서서히 발현되기 때문에 초기 재령에서는 다소 불리하지만 적정량의 공기량을

가지고 충분한 강도가 발현되었을 경우에는 플라이애쉬의 유무에 크게 관계되지 않는다. <그림 12>은 KSF2456(ASTM C666)에 따라 (14일 표준양생) 동결융해 시험을 한 결과로서 플라이애쉬 30%를 혼합한 콘크리트가 강도발현이 느린 관례로 동탄성계수 감소율이 크다.

<그림 13>은 외국의 실험자료로서 양생조건

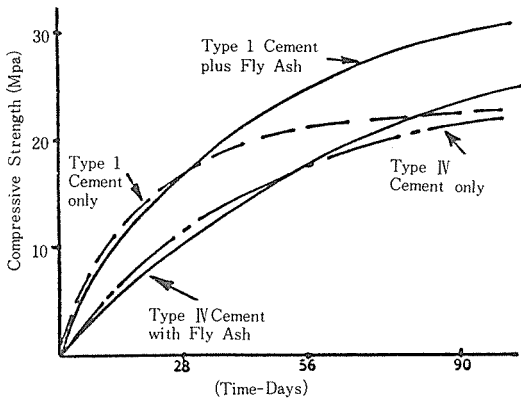


그림 -11 Rate of strength gain for different cementitious materials: Class F fly ash (Samarin, Munn, and Ashby 1983)

에 따른 동결융해 저항성은 콘크리트의 강도가 충분히 발현될 수 있는 재령의 경우 플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 동결융해 저항성이 혼합되지 않은 경우보다 커지는 것으로 나타났다.

(3) 건조수축

콘크리트의 건조수축에 영향을 미치는 요인은 페이스트의 체적, 수량, 시멘트의 양 및 종류, 골재의 형태 등이다. 플라이애쉬를 혼합한 경우 수량이 일정하면 페이스트의 체적이 증가하여 건조수축이 다소 커질 수 있다. 그러나 문헌상으로는 여러가지 경우 플라이애쉬를 혼합할 때 건조수축량이 감소되는 것으로 보고되고 있다.

<그림 14>는 KSF2424의 다이얼게이지 방법에 따라 행한 26주간의 길이변화 시험결과로서

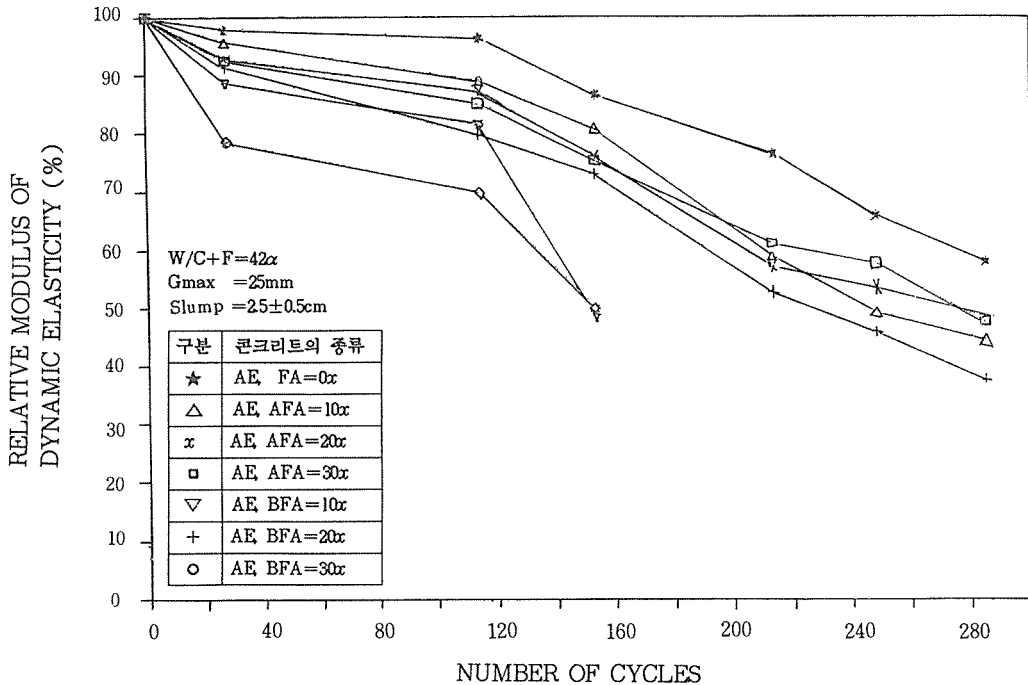


그림 - 12 KSF 2456 에 따른 동결융해 시험결과

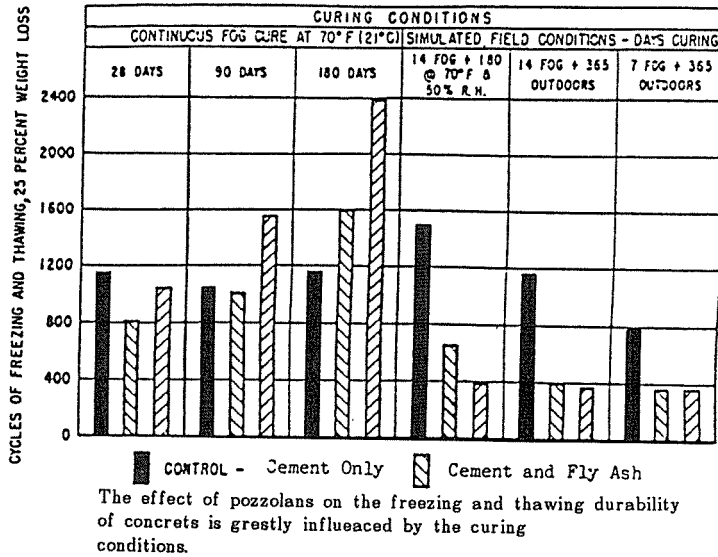


그림-13 Importance of extent of curing to durability of concrete with fly ash (Elfert 1973)

대체로 초기재령에서는 플라이애쉬를 혼합한 경우의 길이변화율이 혼합하지 않은 경우보다 크며 재령이 경과할수록 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 길이변화율이 감소하는 경향을 나타내고 있다.

4. 플라이애쉬의 이용전망

4.1 개요

앞에서 국내의 화력발전소에서 발생하는 유연탄 플라이애쉬 및 무연탄 플라이애쉬 각 1종을 콘크리트의 혼화재로 사용한 경우의 각종 성능에 대해서 분석하였다. 플라이애쉬를 콘크리트의 혼화재로 사용하는데 대해서 일본의 경우 미가공 이용의 개념으로, 미국의 경우 Medium Technology Type으로 구분하여 이용기술을 개발하고 있다.

본고에서는 기수행한 시험결과를 바탕으로 하여 플라이애쉬를 콘크리트 혼화재로 이용할

때의 국내 플라이애쉬의 이용전망에 대해서 고찰해 보고자 한다.

4.2 국내석탄재의 발생량 전망

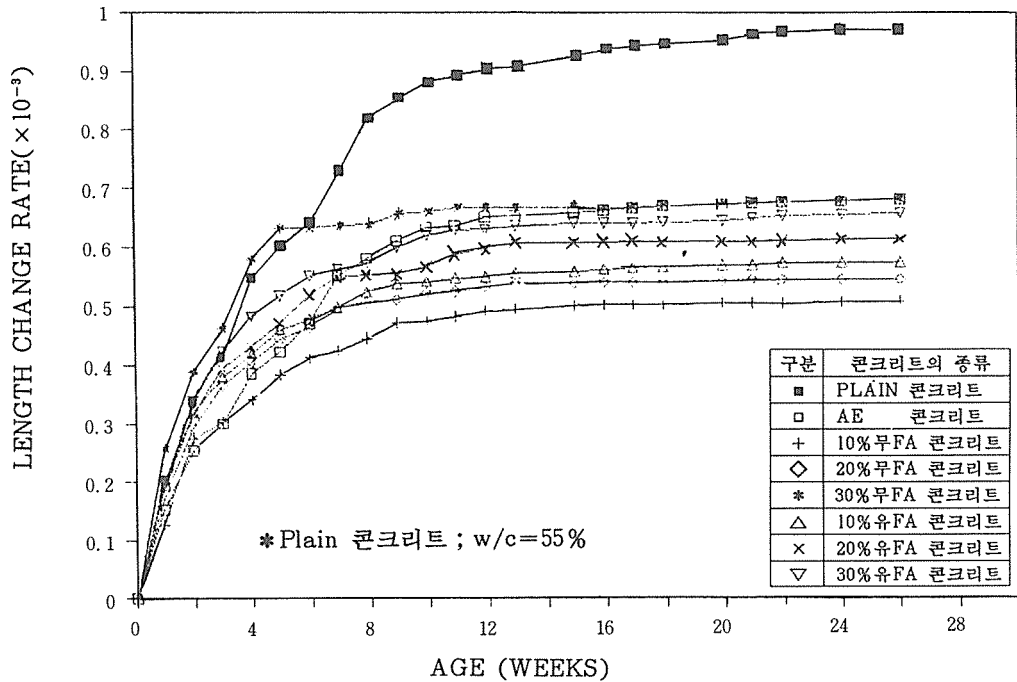
국내의 발전용 석탄의 총소비량에 대한 석탄재의 발생량을 유연탄 및 무연탄 각각에 대한 발생률을 근거로 하여 추정하면 <표 7>과 같다.

4.3 혼화재로서의 이용 가능량

현재 국내의 상황에서 플라이애쉬를 혼화재로 이용할 대상을 대별하면

- (1) 레미콘용
- (2) 콘크리트 도로포장용
- (3) 매스 콘크리트용

을 들 수 있으며 이중 레미콘용 및 콘크리트 도로포장용 이용가능량에 대해 최근의 시멘트와 레미콘 생산실적 동향 및 지역별 도로포장 현황 등에 근거하여 추정하면 <표 8> 및 <표 9>와 같다.



〈그림 12〉 KSF 2456에 따른 등결융해 시험결과

4.4 플라이애쉬에 이용가격 분석

플라이애쉬를 효율하게 이용함에 있어 가장 중요한 제한사항은

- (1) 저장시설
- (2) 품질의 변동성
- (3) 거리에 따른 운반비

등 세가지로 요약할 수 있으며 기존의 저장시설에서 KS 규격을 만족하는 플라이애쉬를 이용한다고 가정할 때 경제성은 운반 부대비용에 좌우될 것으로 판단되어 이에 따른 플라이애쉬의 이용가격을 분석하기 위해 조사한 벌크트럭의 거리별 운반비 경향은 〈표 10〉과 같다.

〈표 10〉의 운반비를 토대로 플라이애쉬의 이용가격을 분석하면 〈표 11〉과 같다.

4.5 플라이애쉬 사용시의 경제성

콘크리트 혼화제로 플라이애쉬를 사용할 경

우 왕복운반 거리가 450km이내이면 플라이애쉬의 이용가격은 톤당 15,000원 이내로 분석되었다. 실제로 레미콘 분야는 플라이애쉬를 이용하는 데 있어 상당히 유리한 위치에 있는 것으로 판단된다. 엄밀한 의미에서는 기존 배합과 본 연구상의 배합에 대해 재료비를 비교하는 것이 곤란하다. 그러나 배합조건이 유사한(28일 설계기준 강도 210kg/cm², 슬럼프 : 12cm, 굵은 골재 최대치수 25mm) 배합에 대해 개략적으로 비교해 본 결과 기존배합에서 시멘트 중량의 5%를 플라이애쉬로 대체할 경우 레미콘 1m³ 당 약400원이 절감되는 것으로 나타났다. 대체율을 높일 경우에는 기존의 배합을 조정해야 하는데 20%를 대체하면 약 1400원의 재료비가 줄어든다. 실제로 시멘트 중량의 5% 정도를 플라이애쉬로 대체할 경우는 품질관리상의 어려움도 거의 없는 것으로 조사되었다. 물론 이러한 배합

〈표 7〉 석탄재 발생량 전망

(단위 : 천톤)

구분 \ 년도	1986	1991	1996	2001	비 고
석탄소비량(수요)	7,942	8,090	19,096	31,480	1986년 유효이용율 5.14%
석탄재 발생량	1,780	1,827	3,387	5,153	

〈표 8〉 레미콘용 플라이애쉬 이용가능량 추정

구 분	1984	1985	1986	1987	비 고
시멘트 생산량(톤) (국내 소비량)	20,358,740 (18,506,172)	20,498,373 (18,976,265)	23,325,377 (20,387,363)	25,661,794 (22,755,184)	
레미콘 생산량(m ³)	18,154,157	23,983,363	27,542,395	33,752,626	년간 3000만 m ³ 생산 기준
플라이애쉬 이용 가능량 추정 (년간)	-년간 레미콘 생산량 기준 : 3000만 m ³ 적용 -레미콘 1m ³ 당 시멘트 사용량 기준 : 310kg 가정 -플라이애쉬 혼합률 : 시멘트 중량의 5% 대치 경우 -이용가능량 : 3000만 m ³ × 0.05 = 46.5만톤				

〈표 9〉 도로포장 현황에 따른 이용 가능량

구 분	총도로연장 (m)	포 장 (m) (포장율, %)	미포장 (%)	미 개 통	비 고
도로포장현황	53,753,721	29,071,029 (54.2)	23,769,493	813,199	1986. 12. 31 현재 기준 최근 4년간 평균포장율 : 4.63%
플라이애쉬 이용가능량추정 (년간)	-콘크리트와 아스팔트중 콘크리트 포장률을 30%로 가정 -년간 포장률 : 4.63% 적용 -평균포장폭 : 8m 가정 -포장두께 : 30cm 가정 -플라이애쉬 혼합률 : 시멘트중량의 15% 적용시 -이용가능량 : 53,653,721m ³ × 0.0463 × 0.3 × 8m × 0.3m × 0.15 × 0.32 (톤/m ³) = 8.6만톤				
농어촌 도로 중장기 계획에 따른 이용 가능량 추정치 : 연간 1.2만톤					
계 : 9.8만톤					

을 실제 적용할 경우 실험자료가 보장되고 다양한 자료가 축적되어야 하겠지만 5%정도를 대체하는 것은 현재 상태에서도 사용자에게는 충분히 경제성이 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

국내의 보령화력발전소 및 서천화력발전소에

서 발생하는 FA를 연구대상으로 하여 수행한 플라이애쉬 콘크리트 특성과 이용전망에 대해 요약하면 아래와 같다.

1) 플라이애쉬 콘크리트의 특성

- (1) 국내의 석탄화력발전소에서도 KS 규격을 만족하는 플라이애쉬가 발생되고 있으며 플라이애쉬 콘크리트의 소요성능도 확보할 수 있다.

〈표 10〉 벌크트럭 거리별 운반비 경향

왕복거리(km)	1일회전수	월수송량(톤)	원주행거리(km)	톤당운반비(원)	비 고
50	4.5	1575	5625	1942	· 운반비는 유티비, 수선비, 운반용역비, 경비, 감가상각비 및 지급이자 가 포함된 원가 · 1988. 1 기준 시중 조사 자료
100	3.0	1050	7500	3233	
150	2.2	770	8250	4502	
200	1.7	595	8500	5741	
250	1.4	490	8750	7098	
300	1.2	420	9000	8363	
350	1.0	350	8750	9753	
400	0.9	315	9000	10960	
450	0.8	280	9000	12258	
500	0.8	262	9375	13105	

〈표 11〉 플라이애쉬 이용가격 분석치

구 간	추정왕복거리(km)	운 반 비(원/톤)	FA 판매가(원/톤)	이용가격(원/톤)	비 고
보령화력-서울	400	10,960	2,505	13,465	· 발전소에서 수 요자가 직접 수송시 가격 · 이용가격기준 : 15000 원/톤
서천화력-서울	440	12,258	1,234	13,492	
보령화력-X	100	3,233	2,505	5,738	
서천화력-X	100	3,233	1,234	4,467	

(2) 배합시 서천무연탄 FA는 감수효과를 나타내고 보령유연탄 FA는 증수효과를 나타낸다.

(3) 보령유연탄 FA는 수밀성을 좋게하고(특수율이 적음) 장기강도 증진률이 서천무연탄 FA보다 좋다.

(4) 보령유연탄 FA는 포조란 활성도가 좋아(96%) 기존배합에서 시멘트의 일정량을 대체사용하는 것이 가능하다(예 : 시멘트중량의 5%).

2) 이용전망

(1) 왕복운반거리 450km 이내에서는 이용가격이 저렴하여 이용상 경제성이 있으며 레미콘 분야의 이용과 도로포장에의 이용이 가장 용이할 것으로 판단된다.

(2) 우리나라는 석탄화력발전소의 위치나 지역별 분포상태로 보아 왕복운반거리 450km 이내에서 대부분의 FA를

이용할 수 있으며, FA의 품질이 만족되면 이용전망은 밝다고 사료된다.

〈참 고 문 헌〉

1. 한국건설기술연구원, 콘크리트 혼화재로서의 석탄회 이용방안 연구, 제 4,5분기 보고서, 1988. 6.
2. ACI Committee 226, Use of Fly Ash in Concrete. ACI Materials Journal, Vol. 84, No. 5 pp. 381-409.
3. T. D. Larson, "Air Entrainment and Durability Aspects of Fly Ash Concrete", Proceedings, ASTM, 64, 1964.
4. International Symposium the Use of PEA in Concrete, 14-16 April 1982.
5. Ash Tech '84, Second International Conference on Ash Technology and Marketing,

- Barbican Centre, London September 16th-21st 1984.
6. PFA Utilization, Central Electricity Generating Board, British.
 7. M. Berra-G. Ferrara, The Effect of FlyAsh from Mixed Combustion(Coal/Fuel Oil Ash) on the Chemical and Physical Properties of Cement-Ash Mixes. 2nd CANMET/ACI International Conference on Mineral Admixtures in Concrete Madrid, Spain 21-25/41, 1986.
 8. 長岡誠一, フライアッシュの作用, セメントコンクリート, No.491, p. 34~35 Jan. 1988.
 9. 第一回 アッシュ情報 ワーキンググループ會談資料, 昭和60年 11月6日
 10. 電力土木技術協會(社), 石炭灰 の 有効利用 特集號, 電力土木, No.204, 1986. 9.
 11. 田中弘文, 石炭灰有効利用 の 最近の狀況, 化學と工業, 第37卷, 第12號, 1984.
 12. 土木學會フライアッシュ小委員會, 各種 フライアッシュの共通試驗報告, 土木學會論文集, 第68號, 別(1-1)

콘크리트 品質問題의 類型과 對策

韓國레미콘工業協會가 콘크리트의 實務的인 技術內容을 수록한 「콘크리트 品質問題의 類型과 對策」을 發刊하여 관련업체에 實費로 판매합니다.

崔在眞博士(檀國大 土木工學科 강사)가 編著한 「콘크리트 品質問題의 類型과 對策」은 현장에서 부딪치고 있는 主要 콘크리트 品質問題 및 그 事例, 부록으로 品質問題와 相關한 試驗方法을 평이한 文체로 알기쉽게 기술했습니다.

菊版 292페이지, 미색모조지, 호화양장으로 발간, 이미 전국 相關업체에 보급하여 레미콘 技術 관계자 및 技術士 資格試驗을 대비한 참고서로도 커다란 환영을 받고 있습니다.

購入을 원하시는 분은 普及價 5,000원을 보내시면 즉시 우송(우송료 협회부담)하여 드립니다.

연락처 : 서울 江南區 驛三洞 832-2(友德빌딩 8층)

韓國레미콘工業協會 企劃課

566-7162, 7164