

# 열병합발전소 플라이애쉬의 품질특성 및 활용방안

(THE PROPERTIES & APPLICATION FOR FLY ASH  
OF COMBINED HEAT POWER PLANT)

朴 沘 林

〈(주) 대우건설기술연구소 소장, 공학박사〉

## 1. 서 론

### 1. 1 연구배경

최근들어 공업단지내 입주업체 공장의 신·증설 및 가동을 증가로 안정적인 증기 및 전기를 저렴한 가격으로 공급하기 위하여 유연탄을 주원료로 하는 열병합발전소가 울산, 인천, 반월 등지에서 단계적으로 건설되고 있다.

이러한 열병합발전소의 건설은 입주업체의 중·장기적인 추가수요에 대처능력 및 국제 경쟁력 제고에 기여할 목적으로 향후에도 열병합발전소 설비확장 종합계획에 의거하여 계속적으로 늘어날 것으로 전망된다.

그러나 화력발전소와 마찬가지로 열병합발전소의 연소 보일러에서 생성되는 애쉬의 처리문제가 해결해야 할 당면과제로 대두되고 있는 실정이다. 특히 『資源節約과 再活用 促進에 관한 法律(제30조)』은 산업부산물인 석탄재를 년도별

재활용 계획에 의거하여 '98년부터 발생량의 35% 이상을 재활용하도록 규정하였으며, 년도별 재활용 비율은 '95년까지 15%, '97년까지 25%로 증가시켰다.

이에 따라 향후 열병합발전소를 건설하기 위한 전제조건으로 애쉬를 재활용할 수 있는 설비를 갖추어야 할 뿐만 아니라, 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬를 건설산업에 사용할 수 있는지를 검토·분석하고 규명할 필요가 있다.

### 1. 2 연구목적 및 범위

본 연구의 목적은 실험을 통해 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬를 건설산업에 재활용하는 방안을 확보하는 것이며, 이를 통해 자원재활용은 물론 환경보존, 경제성, 신재료의 개발측면에서도 보다 유용한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

이러한 연구를 위해 울산석유화학 공단내 열

병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬를 대상으로 화학적·물리적 특성을 분석하였으며, 콘크리트에 사용할 수 있는 가능성을 검토하기 위하여 배합조건별 치환율을 선정하여 각각의 변수에 대한 流動性 및 強度發現 性狀을 비교·분석하였다.

따라서 본 연구는 플라이애쉬의 화학적·물리적 특성과 콘크리트 강도발현 및 유동성을 비롯하여 콘크리트의 내구성능 측면에 국한되며, 향후 장기강도, 수화열, 경시변화와 건조수축, 크리프와 같은 장기거동에 대한 역학적 특성에 대해 연구할 예정이다.

## 2. 실험개요

### 2. 1 사용재료의 특성

시멘트는 T사의 내수용 보통 포틀랜드 시멘트로 품질시험 결과는 [표 1]과 같다.

굵은골재는 균산産 25mm 쇄석을, 잔골재는 강모래를 사용하였으며, 골재의 품질시험 결과는 [표 2]와 같다.

[표 1] 시멘트의 품질시험 결과

분말도 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	비 중	안정도 (%)	압축강도( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )		
			3일	7일	28일
3.031	3.12	0.4	180	278	381

[표 2] 골재의 품질시험결과

특 성	잔 골 재	굵은골재
비중	2.60	2.67
조립율(%)	2.47	6.42
마모율(%)	-	22.0
흡수율(%)	1.24	0.81
단위중량( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1,550	1,540

고성능 감수제는 국내에서 시판되는 나프탈렌계 DAREX SUPER-20을 사용하였다.

### 2. 2 열병합 발전소 플라이애쉬 특성

#### 2. 2. 1 연소방식 및 발생량

울산 열병합발전소의 발전설비는 유연탄 유동층 연소보일러와 복수터빈 발전기 및 관련 부속설비로 구성되어 있으며, 플라이애쉬가 생성되는 연소방식 및 규모는 [표 3]과 같다.

열병합발전소 연소방식은 유동매체(sand)와 연료를 유동화시키면서 연소하게 된다. 이때 연소실에서 석회석( $\text{CaCO}_3$ )을 주입시키므로 연소중에 발생하는  $\text{SO}_x$ 와 반응시켜  $\text{CaSO}_4$ 를 생성·제거하는 탈황설비를 갖추고 있다. 이러한 脫黃設備 및 재처리를 하지않고 원탄을 사용하는 방식은 열병합발전소의 장점으로 꼽을 수 있다.

[표 3] 플라이애쉬의 연소방식 및 발생량

연 소 방 식			발생량( $\text{ton}/\text{년}$ )	
유동매체	연소온도	Coal Size	Fly Ash	Bottom Ash
Sand	800 ~950 $^{\circ}\text{C}$	15mm Under	35,000	4,000

울산 열병합발전소의 연소보일러에서 생성되는 애쉬는 석탄 사용량의 10% 정도이며, 이중 건설 재료로 사용가능한 플라이애쉬는 약 90%이다.

현재 플라이애쉬 처리비는 2만원/ton 정도로 소요되지만, 향후 건설재료로 플라이애쉬가 활용된다면 처리비 절감은 물론 시멘트 代替材로 인한 경제성 확보 및 환경보존, 자원 재활용의 측면에서 큰 의의가 있을 것으로 사료된다.

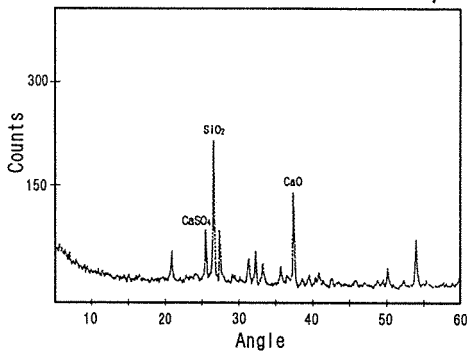
#### 2. 2. 2 플라이애쉬의 화학적 특성

본 연구에서 사용된 울산 열병합 및 보령 화력발전소의 플라이애쉬의 화학적 성분을 분석한(X선 형광분석) 결과는 [표 4]와 같다.

[표 4]에서 보듯이 울산 열병합발전소의 플라이애쉬는 포졸란 반응성 광물인 실리카( $\text{SiO}_2$ ) 및 알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )의 함량이 화력발전소의 플라이애쉬(보령) 및 KS L 5405에 규정된 값보

[표 4] 플라이애쉬의 화학적 성분

종류 \ 화학성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
열병합 발전소(1)	40.0	15.7	8.94	27.0	1.17	0.34	0.80	5.50
열병합 발전소(2)	39.5	15.3	8.46	27.0	1.27	0.39	0.68	6.82
열병합 발전소(3)	32.9	13.8	11.8	27.8	1.32	0.61	0.62	5.88
보령 화력발전소	62.8	20.7	9.0	2.56	1.33	0.27	0.85	tr
KS L 5405(F급)	70 이상			-	5.0 이하	1.5 이하	-	5.0 이하
ASTM C 618(C급)	50 이상			-	-	-	-	-



[그림 1] 열병합발전소 플라이애쉬의 X선 회절분석

다 낮으나, 유리석회(CaO) 및 무수석고(CaSO<sub>4</sub>)의 함량은 높게 측정되었다. 이러한 결과는 X선 회절분석 결과를 나타내는 [그림 1]에서와 같이 실리카(SiO<sub>2</sub>) 및 유리석회(CaO)의 피크강도가 높게 나타나는 것으로도 알 수 있다.

일반적으로 F급 플라이애쉬는 SiO<sub>2</sub>가 많고 CaO가 5% 이하로 적기 때문에 自硬性이 없을 뿐 아니라 유기물 및 불연탄소가 남아 있는 반면에, C급 플라이애쉬는 CaO가 15~30%로 많고 SiO<sub>2</sub>가 상대적으로 적기때문에 시멘트와 유사한 水硬性을 나타낸다.<sup>(1)</sup>

이러한 화학성분의 차이는 수화반응 및 포졸란 반응에서 서로 다른 메카니즘을 갖게 된다. 국내의 화력발전소에서 생성되는 플라이애쉬의 대부분은 F급에 속하지만, 열병합발전소의 플라이애쉬는 화학성분에 따른 분류기준에서 볼

때, C급에 가깝다고 할 수 있다.<sup>(6)</sup>

따라서 콘크리트에 사용할 경우, 강도특성 및 耐久性·耐化學性·透水性·膨脹性 등의 특성을 시험으로 규명하는 것이 필요하다.

### 2. 2. 3 플라이애쉬의 물리적 특성

열병합 및 화력발전소의 플라이애쉬의 물리적 특성은 [표 5]와 같다.

[표 5]에서 보듯이 열병합발전소 플라이애쉬

[표 5] 플라이애쉬의 물리적 특성

종류 \ 화학성분	비중	분말도 (㎎/g)	습분 (%)	강열감량
열병합 발전소	2.75	2,113	0.10	4.67
보령 화력 발전소	2.15	3,200	0.14	3.91
KS L 5405	1.95* 이상	2,400* 이상	1.0 이하	6.0% 이하

\*JIS A 6201 규준임

는 比重이 높고, 粉末도가 낮은 것으로 측정되었다.

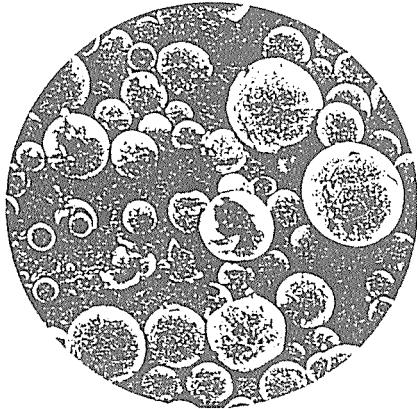
일반적으로 비중이 높다는 것은 입자의 細粒을 나타내는 것이며, Fe 함유량이 클수록 증가된다.<sup>(7)</sup> 특히 화력발전소의 플라이애쉬는 연소시 높은 온도로 인하여 입자가 中孔化되었기 때문이며, 이에 따라 열병합발전소의 플라이애쉬가 구형이 아니라는 것과 연관지어 비중의 차이를 해석할 수 있을 것이다. 또한 습분 및 강열감량은 KS 규정에 적합한 것으로 나타났다.

### 2. 2. 4 플라이애쉬의 입형 및 색상

울산 열병합발전소 및 보령 화력발전소의 플라이애쉬 입형은 각각 [그림 2], [그림 3]과 같다.

열병합발전소의 플라이애쉬는 화력발전소의 플라이애쉬에 비해 불규칙한 입자의 형상을 띄고 있는데, 일반적으로 이러한 차이는 석탄의 연소 온도에 의한 것으로 연소온도가 낮으면 강열감량이 증가하고 입형의 구형율이 낮아지게 된다.

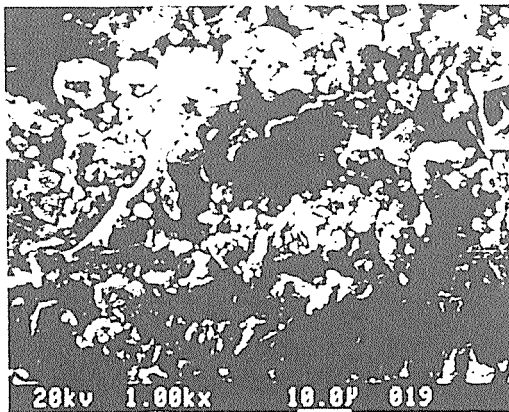
화력발전소의 경우, 석탄의 연소온도가 1,000~1,500℃ 정도로 용융상태에서 플라이애



[그림 2] 열병합발전소 플라이애쉬의 입형

쉬가 구형으로 생성되는 반면, 앞에서 언급한 바와 같이 열병합발전소의 경우에는 脫磺反應을 촉진시키기 위하여 연소온도를 800~950℃ 범위로 조정하기 때문에 플라이애쉬의 입형이 용융상태에 도달하지 못하고 생성되어 불규칙한 것으로 사료된다.

이러한 결과에서 볼 때, 열병합발전소의 플라이애쉬를 콘크리트에 사용할 경우에 기대되는 구형입자의 Ball Bearing 효과는 크지 않을 것



[그림 3] 화력발전소 플라이애쉬의 입형

으로 예상된다. 따라서 콘크리트에 사용할 경우, 시공성 확보 및 블리딩, 재료분리 등에 주의해야 할 것으로 사료된다.

열병합발전소의 플라이애쉬는 입도분포가

1~100 $\mu$ m의 범위에 있으며, 평균입경은 30~40 $\mu$ m로 거의 시멘트 입경과 유사하다. 색상은 화력발전소의 플라이애쉬가 회색인데 비해 열병합발전소의 플라이애쉬는 갈색에 가깝다. 이러한 차이는 화학성분 비율 및 연소온도의 차이로 사료된다.

## 2. 3 실험방법 및 변수

### 2. 3. 1 실험방법

열병합발전소 플라이애쉬의 단위수량비 및 압축강도비를 측정하기 위하여 KS L 5402에 따른 플로우 값과 모르타르 시험체를 제작하여 그 특성을 비교하였다. 또한 콘크리트 시험배합에서의 플라이애쉬 치환방법은 콘크리트 특성 및 경제적 배합에 적합한 것으로 나타난 시멘트 중량비(內劑: Replacement Method)<sup>(2)</sup>로 결정하였고, 슬럼프, 공기량 및 재령별 압축강도를 검토하도록 하였으며, 향후 徑時變化, 水和熱, 乾燥收縮 및 크리프 등을 실험할 예정이다.

고성능 감수제의 첨가량은 목표 슬럼프(18 $\pm$ 2cm)를 얻는 범위에서 결정하였으며, 콘크리트 배합방법은 선-모르타르 방법을 선택하였고, 배합 시간은 전체 3분으로 하였다.

### 2. 3. 2 실험변수

열병합발전소 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 실험변수는 [표 6]과 같다.

물/결합재비는 40%, 45%, 50%, 55%.

[표 6] 콘크리트 배합을 위한 실험변수

W/B* (%)	S/a (%)	단 위 시멘트량 (kg/cm <sup>3</sup> )	플라이애쉬 치환율(C%)	고성능 감수제	목 표 슬럼프
40~60	41~47	290~450	0, 10, 30, 50	0.2~2%	18 $\pm$ 2cm

\*여기는 B는 결합재(시멘트+플라이애쉬)를 말함.

60% 5종류로 정하였고, 플라이애쉬 치환율은 시멘트의 중량비로 0%, 10%, 30%, 50% 4종류를 변수로 선정하였으며 상세 배합표는 [표 7]과 같다.

[표 7] 콘크리트 배합조건

구 분 시험체명	배합조건		단위 재료량(kg/m³)				
	W/B (%)	S/a (%)	C	W	S	G	FA
FA-40-0	40	41	438	175	712	1.055	0
FA-40-10			394		707	1.047	44
FA-40-30			327		694	1.028	131
FA-40-50			219		697	1.028	219
FA-45-0			389		728	1.073	0
FA-45-10	45	41	350	723	1.071	39	
FA-45-30			272	720	1.063	117	
FA-45-50			195	715	1.055	195	
FA-50-0			350	775	1.057	0	
FA-50-10	50	43	315	775	1.055	35	
FA-50-30			245	770	1.047	105	
FA-50-50			175	764	1.041	175	
FA-55-0	55	45	318	824	1.034	0	
FA-55-10			286	821	1.031	32	
FA-55-30			223	818	1.026	95	
FA-55-50			159	813	1.021	159	
FA-60-0			292	861	996	0	
FA-60-10	60	47	263	858	993	29	
FA-60-30			204	863	1.001	88	
FA-60-50			146	861	999	146	

[표 8] 모르타르의 특성실험 비교(각국 기준별)

특 성 종 류	단위재료량(g)			Flow (cm)	강도비(%)		단 위 수량비 (%)
	C	S	FA		7일	28일	
KS	382.5	1.250	127.5	14.8	85	113	105
ASTM	400	1.375	100	11.8	75	84	103
ISO	400	1.500	100	19.2	98	106	111
KS CODE	510	1.250	247*	-	-	min.60	max.102
ASTM CODE	500	1.375	242*	-	min.75	min.75	max.105
ISO CODE	500	1.500	250*	-	min.60	min.70	max.102

\*단위수량

일한 플로우 얻기 위한 단위수량비는 각각의 Code에 따라 차이를 나타내고 있다. 이는 각 Code에 따른 배합조건이 동일하지 않는 이유도 있지만, 전반적으로 단위수량비가 크게 나타나는 것은 플라이애쉬의 입형이 구형상태가 아니고 불규칙한 형상을 갖고 있기 때문에 Ball Bearing 효과를 나타내지 못한 것으로 사료된다.<sup>(8), (9), (10)</sup>

따라서 유동성 확보를 위하여 고성능감수제의 첨가량 증가 또는 단위수량의 증가를 고려해야 한다.

### 3. 2 굳지않은 콘크리트 특성

#### 3. 2. 1 슬럼프

각각의 콘크리트 배합에서 플라이애쉬의 치환율 및 물/결합재비에 따른 슬럼프, 공기량 실험 결과는 [표 9]와 같다.

플라이애쉬 치환율에 따른 목표 슬럼프(18±2cm)의 확보는 치환율이 증가할수록 고성능 감수제의 첨가량이 증가한다는 것을 알 수 있다.

또한, 플라이애쉬의 치환율이 증가함에 따라 점성의 증가로 인하여 재료분리 저항성이 증가되고 충전성 및 유동성을 개선할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 특성을 갖는 콘크리트는 슬럼프 값으로 유동성을 나타내는 것보다 점성과 항복값을 비교할 수 있는 슬럼프 플로우, 유동속도, 간극통과성 등의 시험으로 평가하는 것이 바람직하다.

따라서 향후 콘크리트의 다짐성능을 개선할

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3. 1 모르타르 시험결과

플라이애쉬의 물리적 특성 및 콘크리트에 대한 사용성을 검토하기 위하여 각국의 기준에 규정된 방법으로 단위수량비 및 압축강도비를 측정 한 결과는 [표 8]과 같다.

열병합발전소 플라이애쉬의 모르타르 특성에 대한 실험결과를 보면, 각각의 Code에서 규정하고 있는 압축강도비 결과는 허용 기준 값을 모두 만족하고 있다. 이는 시멘트와 같은 수경성 물질의 특성과 포졸란 활용도의 차이로 우수한 강도 특성을 갖기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 동

[표 9] 굳지않은 콘크리트 특성

구 분 시험체명	배합조건		고성능 감수제 (C×%)	콘크리트 특성	
	W/B (%)	S/a (%)		슬럼프 (cm)	공기량 (%)
FA-40-0	40	41	0.8	7.0	1.35
FA-40-10			0.9	17.5	1.1
FA-40-30			1.1	18.5	0.9
FA-40-50			1.8	20.0	0.85
FA-45-0	45	41	1.0	17.5	1.9
FA-45-10			1.0	19.0	1.4
FA-45-30			1.5	24.0	1.2
FA-45-50			2.0	21.0	1.0
FA-50-0	50	43	0.8	18.0	1.2
FA-50-10			0.9	19.5	1.2
FA-50-30			1.3	19.5	1.1
FA-50-50			1.8	17.5	1.0
FA-55-0	55	45	1.1	17.0	1.8
FA-55-10			1.1	18.0	1.3
FA-55-30			1.3	20.0	1.3
FA-55-50			1.6	19.0	1.5
FA-60-0	60	47	1.3	12.0	2.2
FA-60-10			1.1	7.0	2.5
FA-60-30			1.2	8.0	1.8
FA-60-50			1.8	8.0	1.8

[표 10] 콘크리트의 강도발현 특성

구 분 시험체명	배합조건		콘크리트 특성		
	W/B (%)	S/a (%)	7일	28일	강도비 (%)
FA-40-0	40	41	409	490	83
FA-40-10			370	448	83
FA-40-30			270	400	68
FA-40-50			218	361	60
FA-45-0	45	41	342	439	78
FA-45-10			309	418	74
FA-45-30			248	366	68
FA-45-50			188	281	67
FA-50-0	50	43	292	393	74
FA-50-10			279	388	72
FA-50-30			207	327	63
FA-50-50			169	290	58
FA-55-0	55	45	249	345	72
FA-55-10			207	332	62
FA-55-30			160	269	59
FA-55-50			113	216	52
FA-60-0	60	47	188	273	69
FA-60-10			192	275	70
FA-60-30			154	236	65
FA-60-50			90	153	59

수 있는 재료로써 고성능 콘크리트에 적용하는 방안을 강구하는 것도 유익할 것으로 사료된다.

한편, 플라이애쉬의 치환율(FA 50%)이 증가할수록 콘크리트의 응결시간이 증가하는 경향이 있기 때문에 현장품질관리 및 초기강도와 거푸집 제거시기를 함께 고려할 필요가 있다.

### 3. 2. 2 공기량

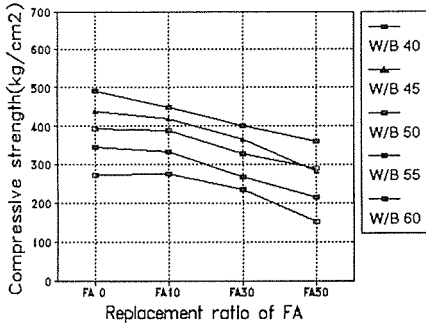
플라이애쉬 치환에 따른 공기량의 변화를 보면, 치환율이 증가할 수록 공기량이 감소되는 경향을 나타내고 있다. 이는 F급 또는 C급 플라이애쉬에 관계없이 발생하는 현상으로, 일반적으로 플라이애쉬를 시멘트에 부분치환한 콘크리트의 공기량은 감소한다. 이러한 경향은 플라

이애쉬에 포함된 탄소함유량 때문으로, 탄소는 석탄의 불완전 연소에 의해 생성되며 표면적이 높기 때문에 콘크리트를 배합할 때 空氣를 흡착하는 성질을 갖고 있다. 또한 플라이애쉬의 유기물, 강열감량이 증가할 수록 굳지않은 콘크리트 상태에서의 공기손실이 증가하며, 플라이애쉬의 알칼리 함유량이 크면 공기손실은 줄어든다. 따라서 향후 흡착시험 및 초기반응에 대해서도 규명할 필요가 있다.

## 3. 3 굳은 콘크리트 특성

3. 3. 1 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현 배합변수별 플라이애쉬의 치환율에 따른 강도

발현 특성은 [표 10]에 나타난 바와 같다.



[그림 4] 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현(28일)

[표 10]에서 보듯이 플라이애쉬 치환율이 증가할 수록 7일/28일 압축강도비는 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 시멘트 水和物인 수산화칼슘(CaOH<sub>2</sub>)이 플라이애쉬의 성분과 반응하는 포졸란 반응이 후기재령에 일어나기 때문에 나타나는 것으로, 초기강도 발현은 낮은 편이다.

플라이애쉬의 치환율에 따른 재령별 강도발현은 [그림 4]와 같다.

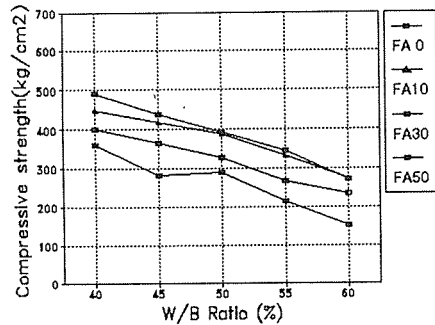
그림에서 보듯이 플라이애쉬의 치환율에 따른 강도발현은 물/결합재비에 따라 유의할 만한 차이를 나타내지는 않고 있다. 플라이애쉬 치환율이 10%일 경우 물/결합재비 40%를 제외하고는 강도감소가 거의 나타나지 않고 있으며, 플라이애쉬 치환율이 30%의 경우에는 40~60 kg/cm<sup>2</sup> 정도의 강도감소를 나타나고 있고, 그 이상의 치환율 범위에서는 전반적으로 直線的으로 강도가 감소하는 것으로 나타났다.

따라서 강도발현 측면에서 고려해 볼 때, 열병합발전소 플라이애쉬를 20~30%정도로 치환하여 일반 콘크리트를 생산하는 것은 가능할 것으로 사료된다.

### 3. 3. 2 물/결합재비에 따른 강도발현

재령별 물/결합재비에 따른 강도발현 특성은

[그림 5]와 같다.



[그림 5] 물/결합재비에 따른 강도발현(28일)

그림에서 보듯이 물/결합재비가 증가함에 따라 뚜렷한 강도감소를 나타내고 있으며 물/결합재비 40%, 플라이애쉬 치환율 30%이하에서 壓縮強度 400kg/cm<sup>2</sup>이상의 고강도 콘크리트를 생산하는 것이 가능하다. 또한 300kg/cm<sup>2</sup> 이하의 보통강도 콘크리트를 생산하기 위해서는 플라이애쉬 치환율을 최대한 늘리는 것이 經濟的으로 유리할 것으로 사료된다.

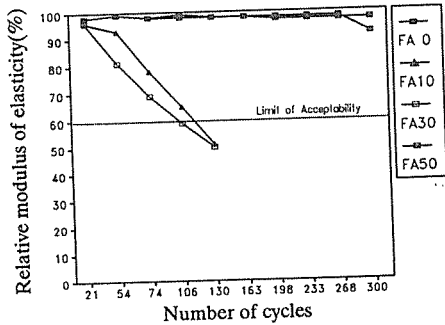
### 3. 3. 3 동결융해에 따른 내구성

凍結融解에 따른 耐久性 실험을 위한 시험체는 76×101×412mm로 시험체를 제작한 후 14일 동안 標準養生을 실시하였다. 그후 KS F 2456에 따른 동결융해 시험을 실시하였다.

동결융해 사이클은 일반적으로 2~4사이클이다. 본 연구에서는 1사이클을 3시간으로 하였으며, 凍結 및 融解溫度는 -18℃ 및 4℃로 하여 반복하도록 하였다.

동결융해에 따른 내구성 시험결과는 [그림 6]과 같다.

[그림 6]는 플라이애쉬 치환율에 따른 상대동탄성계수와 동결융해 사이클의 관계를 나타낸 것이다. 결과를 비교해 보면, 플라이애쉬의 치환율이 10%, 30%인 경우에 상대적으로 낮은 사이클에서 손상을 받고 있는 것으로 나타났으



[그림 6] 동결융해 사이클과 상대 동탄성계수와와의 관계 (비공기 연행)

며, 플라이애쉬의 치환율이 50%인 경우에는 耐久性指數가 증가하는 것을 보여주었다.

물론 계속적인 실험을 실시하여 일반적인 경향을 분석해야 하지만, 플라이애쉬의 사용이 동결 융해 저항성을 증가시킨다는 연구결과<sup>(7),(8)</sup>도 많이 있기 때문에 계속적인 연구가 필요하다. 그리고 공기연행제(AE)를 사용하는 방안도 함께 검토해야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

열병합발전소의 플라이애쉬의 재료특성 및 콘크리트의 기본특성 실험결과는 다음과 같다.

(1) 플라이애쉬는 脫磺反應으로 연소온도가 낮기 때문에, 유리석회(CaO) 및 무수석회(CaSO<sub>4</sub>)의 함량이 높다.

(2) 모르타르의 단위수량비가 다소 증가하는 경향이 있으나 압축강도비는 규준을 만족하였다. 또한 콘크리트의 流動性 및 充填性, 재료분리 저항성은 매우 우수하였다.

(3) 플라이애쉬 치환율 30%, 물/결합재비 40%범위에서 400kg/cm<sup>2</sup>이상의 고강도 콘크리트를 생산할 수 있으며, 300kg/cm<sup>2</sup>이하의 보통강도 콘크리트 생산은 치환율 50%와 물/결합재비를 상향조정으로 하는 것이 바람직하다.

(4) 내구성 실험 결과, 플라이애쉬의 치환율이 10%, 30%인 경우에 상대적으로 낮은 사이클에서 손상을 받고 있는 반면에 플라이애쉬의 치환율이 50%인 경우에는 耐久性指數가 증가하고 있어 향후 공기연행제(AE)를 사용하는 방안도 함께 검토해야 할 것이다.

(5) 향후 플라이애쉬 품질조정 및 장기특성, 수화열, 경시변화, 건조수축, 포졸란 활성도 및 크리프 등의 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

(1) John W. Brook, Renold A. Berkey, and Hamid Farzam, "A Non-Chloride Accelerating Admixture for class CF Fly Ash", Concrete international, October, 1990, pp. 51~54

(2) 朴泚林, 權寧鎬, "건축구조물에 고강도 콘크리트 현장적용-(株)大字진해현장-", 한국콘크리트학회지 제5권4호, 1993. 12, pp.54~65

(3) 吉越盛次, "混和材としてのフレイアッシュに関する研究", 『土木學會論文集第31號』, 1975年

(4) 山崎寛司, "鑛物質微分末がコンクリートの強度におよぼす效果に関する基礎研究", 『土木學會論文集』, 1982年

(5) 申成雨外 3人, "사무실 건축물에 플라이애쉬를 사용한 500kg/cm<sup>2</sup> 이상의 고강도 콘크리트 시공", 한국 콘크리트학회지 제5권2호, 1993. 6, pp. 83~93

(6) ASTM C 618, Standard Specification for FlyAsh and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete

(7) K. Wesche, "Fly Ash in Concrete-Properties and Performance-", RILEM, 1991

(8) Robert L. Yuan and James E. Cook, "Study of a Class C Fly Ash Concrete", ACI Special Publication No. 79, Detroit, 1983, pp. 1196

(9) ACI Committee 226, "Use of Fly Ash in Concrete", ACI Material Journal, September/October 1987, pp. 381~409

(10) 朴泚林外 4人, "열병합발전소 플라이애쉬의 특성 및 활용방안에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 춘계학술발표회 논문집 제15권 제1호(통권 제29집), 1995. 4. 29, pp.639~644