

# 열병합발전소 플라이애쉬의 특성 및 활용방안에 관한 실험적 연구

- 高强度 콘크리트를 中心으로 -

## AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE PROPERTIES & APPLICATION FOR FLY ASH OF COMBINED HEAT POWER PLANT

- FOCUSED HIGH STRENGTH CONCRETE -

○ 權 寧 鎬<sup>1)</sup>   白 明 鍾<sup>2)</sup>   李 輔 根<sup>3)</sup>   朴 沆 林<sup>4)</sup>  
KWON, YEONG-HO   BACK, MYUNG-JONG   LEE, BO-KEUN   PARK, CHIL-LIM

### ABSTRACT

This study dealt with the properties for fly ash of combined heat power plant and application for concrete industry. For this purpose, fly ash sampled Ulsan combined heat power plant and analyzed for physical and chemical properties. As analyzed results of fly ash, contents of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in the fly ash of Ulsan were less than those of Thermo-electric power plant(Boryung), but contents of CaO were ten times as much as those of Boryung. because of these differences, it is expected that pozzolanic activity of concrete using fly ash of Ulsan will be different from another fly ash. Concrete specimens were tested to evaluate concrete performance when 10 to 50 percent of the portland cement by weight in the concrete mix was replaced with fly ash of combined heat power plant. As test results, workability and consideration in the fresh concrete were increased and concrete strength was showed more than  $400\text{kg}/\text{cm}^2$  for the required age. this study would be provided valuable data for the practical utilization of fly ash(combined heat power plant).

In the future, properties of fly ash concrete including long term strength, elapsed time, pozzolanic activity, modulus of elasticity, sulfate resistance, shrinkage, freeze-thaw durability and so on will be studied

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

최근들어 공업단지내 입주업체 공장의 신·중설 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 해결해야할 당면과제로 직면해 있는 실정

이다. 특히 자원절약과 재활용 촉진에 관한 법률(제 30조)은 산업부산물인 석탄재를 년도별 재활용 계획에 따라 '98년부터 발생량의 35% 이상을 재활용하도록 규정하고 있다. 또한, 년도별 재활용 목표를 살펴보면 '95년까지는 15%, '97년까지 25%로 재활용 비율을 증가하도록 법령으로 규정하였다. 이에 따라 향후 열병합발전소를 건설하기 위한 전제조건으로 애쉬를 재활용할 수 있는 설비를 갖추지 않으면 안되는 실정이다.

따라서, 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬가 건설산업에 사용될 수 있는 품질을 확보하고 있는지를 검토·분석하고 콘크리트 분야에 사용이 가능한지를 규명할 필요가 있다.

### 1.2 연구목적 및 범위

본 연구에서는 실험을 통해 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬를 건설산업에 재활용하는 방안을 확보하는데 그 목적이 있다. 이러한 방안을 확보함으로써 자원 재활용은 물론 환경보존, 경제성, 신재료의 개발측면에서도 보다 유

1) 정희원 (주)대우건설기술연구소 주임연구원

2) 정희원 (주)대우건설기술연구소 연구원

3) 정희원 (주)대우건설기술연구소 선임연구원

4) 대의원 (주)대우건설기술연구소 소장(전무)

용한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 이러한 연구를 위해 울산석유화학 공단내 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬를 대상으로 화학적·물리적 특성을 분석하였으며, 콘크리트에 사용할 수 있는 가능성을 검토하기 위하여 배합조건별 치환율을 선정하여 각각의 변수에 대한 유동성 및 강도발현 성상을 비교·분석하였다.

따라서 본 연구는 플라이애쉬의 화학적·물리적 특성과 콘크리트 강도발현 및 유동성에 국한되며, 향후 장기강도, 수화열, 경시변화, 건조수축, 동결융해 저항성 및 내염해성, 그리고 포졸란 활성지수에 대해 연구할 예정이다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용된 일반재료의 특성

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

[표 1] 시멘트의 품질시험 결과

분말도 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	비중	안정도 (%)	압축강도( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )		
			3일	7일	28일
3,031	3.12	0.4	180	278	381

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

[표 2] 골재의 품질시험결과

특 성	잔 골 재	굵은골재
비 중	2.595	2.632
조 립 율(%)	3.21	6.55
마 모 율(%)	-	25.3
흡 수 율(%)	1.16	0.62
단위중량( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1,625	1,578

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.

열병합발전소의 연소방식은 유동매체(sand)와 연료를 유동화하면서 연소하게 된다. 이때 연소실에서 석회암을 주입시켜 주므로 연소중에 발생하는  $\text{SO}_x$ 와 반응시켜  $\text{CaSO}_4$ 를 생성·제거하는 탈황설비를 갖추고 있다. 이러한 탈황설비

및 재처리를 하지않고 원탄을 사용하는 방식은 열병합발전소의 장점으로 꼽을 수 있다.

[표 3] 플라이애쉬의 연소방식 및 발생량

연 소 방 식		발생량(ton/년)		
유동매체	연소온도	Coal Size	Fly Ash	Bottom Ash
Sand	800~950℃	15mm Under	35,000	4,000

따라서 연소온도의 범위는 이러한 탈황반응을 효율적으로 일어날 수 있도록 하기 위해 필요한 것이다. 울산 열병합발전소의 연소보일러에서 생성되는 애쉬는 석탄 사용량의 10% 정도이며, 이중 건설재료로 사용가능한 플라이애쉬는 약 90% 정도이다.

현재 플라이애쉬 처리비는 20,000원/ton 정도로 소요되지만, 향후 건설재료로 플라이애쉬가 활용된다면 처리비 절감은 물론 시멘트 대체재로 인한 경제성 확보 및 환경보존, 자원재활용의 측면에서 큰 의의가 있을 것으로 사료된다.

#### 2.2.2 플라이애쉬의 화학적 특성

본 연구에서 사용된 울산 열병합발전소의 플라이애쉬의 화학성분 분석(X선 형광분석) 결과는 [표 4]와 같다.

[표 4] 플라이애쉬의 화학적 성분

화학성분 종류	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$
울산 열병합 발전소	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	70 이상			-	5.0 이하	1.5 이하	-	5.0 이하

[표 4]에서 보듯이 울산 열병합발전소의 플라이애쉬는 포졸란반응성 광물인 실리카( $\text{SiO}_2$ ) 및 알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )의 함량이 화력발전소의 플라이애쉬(보령) 및 KS L 5405에 규정된 값보다 낮으나, 유리석회(CaO) 및 무수석고( $\text{CaSO}_4$ )의 함량은 높게 측정되었다. 이러한 결과는 X선 회절분석 결과에서도 유리석회의 피크강도가 높게 나타나므로 일치하였다.

일반적으로 F급 플라이애쉬는  $\text{SiO}_2$ 가 많고 CaO가 5% 이하로 적기 때문에 자경성이 없을 뿐만 아니라 유기물 및 불연탄소의 성분이 남아있게 되지만, C급 플라이애쉬는 CaO가 15~30%로 많고  $\text{SiO}_2$ 가 상대적으로 적기때문에 시멘트와 유사한 수경성을 나타낸다.<sup>(1)</sup>

이러한 화학성분의 차이는 수화반응 및 포졸란 반응에서 서로 다른 메커니즘을 갖게 된다.

국내의 화력발전소에서 생성되는 플라이애쉬의 대부분은 F급에 속하지만, 열병합발전소의 플라이애쉬는 화학성분에 따른 분류기준에서 볼 때 C급에 가깝다고 할 수 있다.

따라서 콘크리트에 사용할 경우, 강도특성 및 내구성·내화학적·투수성·팽창성 등과 같은 특성을 시험을 통해 규명하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

### 2.2.3 플라이애쉬의 물리적 특성

울산 열병합발전소의 플라이애쉬의 물리적 특성 및 강열감량은 [표 5]와 같다.

[표 5] 플라이애쉬의 물리적 특성

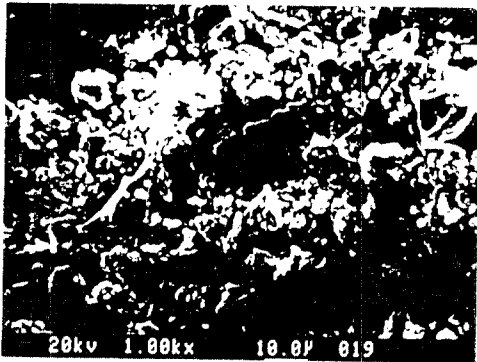
종류 \ 화학성분	비중	분말도 (㎠/g)	습분 (%)	강열감량
울산 열병합 발전소	2.75	2,113	0.10	4.67
보령 화력발전소	2.15	3,200	0.14	3.91
KS L 5405	1.95 이상	2,400 이상	1.0 이하	6.0% 이하

\* JIS A 6201 규준임

[표 5]에서 보듯이 열병합발전소의 플라이애쉬는 비중이 높고 분말도가 낮은 것으로 측정되었으며, 습분 및 강열감량은 KS 규정에 적합한 것으로 나타났다.

### 2.2.4 플라이애쉬의 입형 및 색상

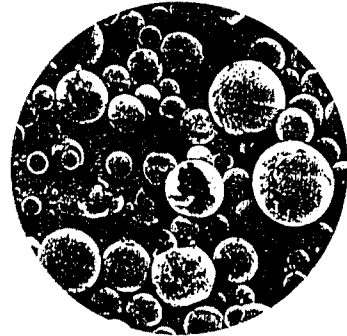
울산 열병합발전소 및 보령 화력발전소의 플라이애쉬의 입형은 각각 [그림 1], [그림 2]와 같다.



[그림 1] 열병합발전소 플라이애쉬의 입형

그림에서 보듯이 열병합발전소의 플라이애쉬는 화력발전소의 플라이애쉬에 비해 불규칙한 입자의 형상을 나타내었다. 일반적으로 이러한 차이는 석탄의 연소온도에 의한 것으로 연소온

도가 낮으면 강열감량이 증가하고 입형의 구형율이 낮아지게 된다.



[그림 2] 화력발전소 플라이애쉬의 입형

화력발전소의 경우, 석탄의 연소온도가 1,000~1,500℃ 정도로 용융상태에서 플라이애쉬가 구형으로 생성되는 반면, 앞에서 언급한 바와 같이 열병합발전소의 경우에는 탈황반응을 촉진하기 위하여 800~950℃ 범위에서 연소시키기 때문에 플라이애쉬의 입형이 용융상태에 도달하지 못하고 생성되기 때문으로 불규칙한 것으로 사료된다.

이러한 결과에서 볼 때, 열병합발전소의 플라이애쉬를 콘크리트에 사용할 경우에 기대되는 구형입자의 Ball Bearing 효과는 크지 않을 것으로 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 내부의 화학성분의 비율에 따라 나타나는 것으로 사료된다.

## 2.3 실험방법 및 변수

### 2.3.1 실험방법

열병합발전소 및 화력발전소 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(Replacement Method)<sup>(2)</sup>로 결정하였고, 굳지않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프, 플로우, 공기량을 측정하였다. 그리고 굳은 콘크리트의 특성은 재령별 압축강도 측정

으로 제한하였으나, 향후 포졸란 함성도, 경시 변화, 수화열, 건조수축, 내구성, 중성화 및 내화화성 등을 실험할 예정이다.

고성능 감수제의 첨가량은 목표 슬럼프(18±2 cm)를 얻는 범위에서 결정하였으며, 콘크리트 배합방법은 선-모르타르 방법을 선택하였으며, 배합시간은 전체 3분으로 하였다.

### 2.3.2 실험변수

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

[표 6] 콘크리트 배합을 위한 실험변수

W/B <sup>*</sup> (%)	S/a (%)	단 위 시멘트량	플라이애쉬 치환율(%)	고성능 감수제	목표 슬럼프
33~38	40	500 kg/cm <sup>3</sup>	0, 10, 30, 50	0.2~2%	18±2cm

\*여기서 B는 결합재(시멘트+플라이애쉬)를 말함

물/결합재비는 33%, 35%, 38% 3종류로 정하였고, 플라이애쉬의 치환율은 시멘트의 중량비로 0%, 10%, 30%, 50% 4종류를 변수로 선정하였으며 상세 배합표는 [표 7]과 같다.

[표 7] 콘크리트 배합을 위한 실험변수

구 분	배합조건		단위 재료량(kg/m <sup>3</sup> )				
	W/B (%)	S/a (%)	C	W	S	G	Fly Ash
FA-33-0	33	40	500	165	679	1,033	0
			450	165	672	1,023	50
			350	165	659	1,002	150
			-	-	-	-	-
FA-35-0	35	40	500	175	669	1,017	0
			450	175	662	1,007	50
			350	175	650	984	150
			250	175	636	963	250
FA-38-0	38	40	500	190	654	994	0
			450	190	647	984	50
			350	190	633	963	150
			250	190	619	941	250

양생조건은 표준양생을 기준으로 하였고, 비교실험을 위하여 고온양생을 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 모르타르 시험결과

열병합발전소 플라이애쉬의 재료특성을 비교하기 위하여 화력발전소 플라이애쉬와 함께 단위수량비 및 압축강도비를 측정된 결과는 [표 8]과 같다.

열병합발전소 플라이애쉬는 화력발전소 플라이애쉬와 비교해 볼 때, 압축강도비 및 단위수량비의 결과가 유사한 것으로 나타났다. 특히

동일한 플로우를 얻기 위한 단위수량비는 100%로 매우 양호하였으며, 이는 플라이애쉬의 입형이 불규칙한 상태에서 우려되는 유동성 저하 현상에 큰 문제가 없을 것으로 기대된다.<sup>(3)</sup>

[표 8] 모르타르의 특성실험 비교

특 성	단위재료량(g)			Flow (cm)	강도비 (%)		단 위 수량비 (%)
	시멘트	표준사	F/A		7일	28일	
울산 열병합 발전소	510	1125	125	21.0	91	118	100
보령 화력발전소	510	1125	125	21.0	-	117	102
표 준 모르타르	510	1250	-	21.0	100 이상	-	105 이하

또한 28일 열병합발전소의 플라이애쉬 모르타르 강도는 평균 448kg/cm<sup>2</sup>으로 매우 높게 나타났으며, 동일조건인 화력발전소 플라이애쉬보다 높게 나타났다. 향후 플라이애쉬의 포졸란 함성도 시험을 통해 규명해야 할 사항이지만 포졸란반응성 광물이 낮음에도 불구하고 높은 강도를 나타낸 것은 열병합발전소의 플라이애쉬의 포졸란 함성도가 높기 때문으로 사료된다.<sup>(4)</sup> 따라서 열병합발전소의 플라이애쉬를 고 강도 콘크리트 생산에 적용할 수 있는 가능성이 있음을 알 수 있다.

### 3.2 굳지않은 콘크리트 특성

#### 3.2.1 슬럼프 및 플로우

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

[표 9] 굳지않은 콘크리트 특성

구 분	배합조건		고성능 감수제 (C×%)	콘크리트 특성		
	W/B (%)	S/a (%)		슬럼프 (cm)	플로우 (cm)	공기량 (%)
FA-33-0	33	40	1.4	16.4	38.2	2.0
			1.6	18.1	46.6	1.8
			1.8	18.7	52.4	1.7
			-	-	-	-
FA-35-0	35	40	1.3	16.5	36.0	1.8
			1.5	18.2	45.1	1.6
			1.6	17.5	50.3	1.7
			1.8	25.0	62.4	1.5
FA-38-0	38	40	0.4	20.0	39.8	1.7
			0.5	20.0	46.5	1.8
			0.7	20.0	58.2	1.6
			1.4	21.4	60.3	1.4

플라이애쉬 치환율에 따른 목표 슬럼프(18±2 cm)의 확보는 치환율이 증가할 수록 고성능 감

수재의 첨가량이 증가한다는 것을 알 수 있다. 특히 모르타르의 단위수량비 시험결과와 함께 고려해 볼 때, 유동성에 대한 가능성은 문제가 없을 것으로 사료되며, 50%로 치환율을 증가시켜도 재료분리 현상은 나타나지 않았다.

또한, 플라이애쉬의 치환율이 증가함에 따라 점성의 증가로 인하여 재료분리 저항성이 증가되고 충전성이 개선되는 것으로 나타났기 때문에, 콘크리트의 다짐성능을 개선할 수 있는 재료로 고성능 콘크리트의 개발에 사용하는 방안을 검토해 볼 필요가 있을 것이다.

공기량의 변화를 보면 플라이애쉬의 치환율이 증가할 수록 감소하는 경향을 보였지만, 이러한 결과가 플라이애쉬의 미연탄소 성분에 의한 흡착효과로 보기에겐 어려우며, 향후 흡착시험 및 초기반응 대해서도 규명할 필요가 있다.

### 3.2.2 블리딩 및 응결시간

굳지않은 콘크리트에서 플라이애쉬 치환율에 관계없이 블리딩현상은 일어나지 않았다. 그러나 응결시간은 치환율 30~50%까지 큰 차이가 없으나, 50% 치환한 경우 30~50%정도 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 향후 구조물에 시공할 경우, 초기강도와 거푸집 제거시기를 고려한 조정방안을 검토해야 할 것이다.

## 3.3 굳은 콘크리트 특성

3.3.1 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현  
배합변수별 플라이애쉬의 치환율에 따른 강도발현 특성은 [표 10]에 나타난 바와 같다.

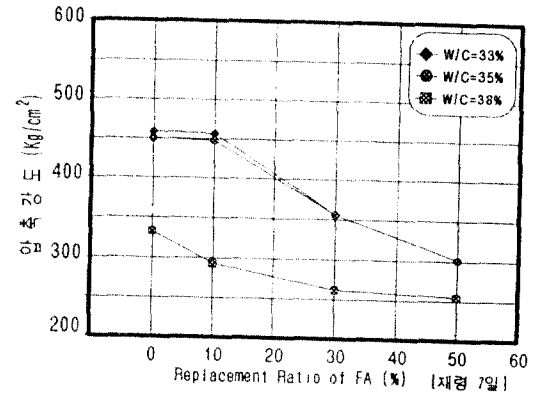
[표 10] 콘크리트의 강도발현 특성

구분 시험체명	배합조건		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
	W/B (%)	S/a (%)	7일	28일	강도비 (7일/28일)
FA-33-0	33	40	459.0	570.9	80.4 %
FA-33-10			456.9	567.3	80.5 %
FA-33-30			357.4	478.8	74.6 %
FA-33-50			-	-	-
FA-35-0	35	40	450.5	559.6	80.5 %
FA-35-10			448.1	556.7	80.5 %
FA-35-30			356.3	471.8	75.5 %
FA-35-50			301.1	405.9	74.2 %
FA-38-0	38	40	332.6	438.8	75.8 %
FA-38-10			292.5	397.7	73.5 %
FA-38-30			261.5	371.6	70.4 %
FA-38-50			254.8	361.8	70.4 %

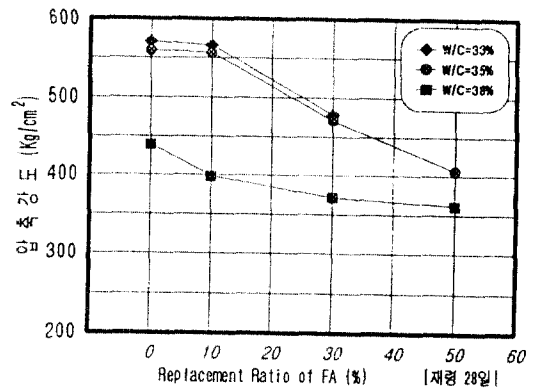
[표 10]에서 보듯이 플라이애쉬 치환율이 증가할 수록 7일/28일 압축강도비는 감소되는 것으로 나타났다. 이는 플라이애쉬의 포졸란 반응이 후기재령에 일어나기 때문에 초기강도 발

현이 치환하지 않은 콘크리트에 비해 낮게 나타남을 알 수 있다.

플라이애쉬의 치환율에 따른 재령별 강도발현은 [그림 3] 및 [그림 4]와 같다.



[그림 3] 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현(7일)



[그림 4] 플라이애쉬 치환율에 따른 강도발현(28일)

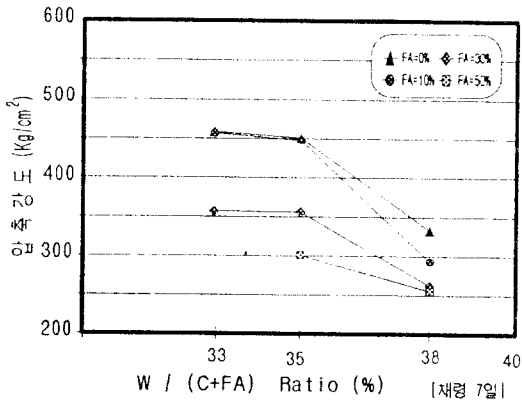
그림에서 보듯이 플라이애쉬의 치환율에 따른 강도발현은 물/결합재비에 따라 매우 큰 차이가 있다. 비교적 낮은 물/결합재비 범위인 33~35%에서는 플라이애쉬 치환율이 10%의 경우 강도감소가 거의 나타나지 않으나, 그 이상의 치환율 범위에서는 거의 직선적으로 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 물/결합재비가 비교적 높은 범위인 38%에서는 0%와 10%의 강도감소 효과가 큰 반면 그 이상의 치환율에서는 서서히 감소하는 것으로 나타났다. 물론 강도발현 측면에서 화력발전소의 플라이애쉬의 최적 치환율은 20% 정도라는 기존의 연구결과(2), (5)를 고려해 볼 때, 열병합발전소의 플라이애쉬를 20~30%정도로 치환하여 고강도 콘크리트를 생산하는 것은 가능할 것으로 사료된다.

또한 열병합발전소의 플라이애쉬를 치환한 콘

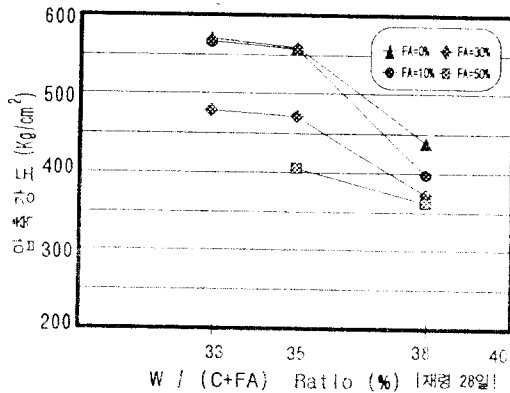
크리트가 더 우수한 강도발현을 보였는데, 이는 앞에서 분석한 결과로 보아 포졸란 반응을 일으키는 실리카 및 알루미늄의 함량이 화력발전소의 플라이애쉬보다 절대적으로 낮지만, 그 활성도는 매우 우수하기 때문으로 사료된다.

따라서 향후 플라이애쉬의 사용방안으로 포졸란 활성도에 대한 연구와 더불어 경제적 배합비에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

3.3.2 물/결합재비에 따른 강도발현  
재령별 물/결합재비에 따른 강도발현 특성은 각각 [그림 5] 및 [그림 6]과 같다.



[그림 5] 물/결합재비에 따른 강도발현(7일)



[그림 6] 물/결합재비에 따른 강도발현(28일)

그림에서 보듯이 물/결합재비에 따른 강도발현은 뚜렷한 차이를 나타내었다. 즉 물/결합재비가 33~35% 사이에서는 치환율에 관계없이 거의 유사한 수준의 강도발현을 나타내고 있지만, 물/결합재비 35~38% 사이에는 급격한 강도감소를 보이고 있다. 이는 동일한 결합재량에서 단위수량 및 결합재-페이스트의 변화에 따른 것으로 400kg/cm² 급 고강도 콘크리트를 생산하기 위해서는 물/결합재비를 35% 이하로,

플라이애쉬 치환율을 30% 정도로, 300kg/cm² 이하의 보통강도 콘크리트를 생산하기 위해서는 물/결합재비를 38% 및 약간 상향하는 범위에서 플라이애쉬 치환율을 최대한 늘리는 것이 경제적으로 유리할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

울산 열병합발전소의 플라이애쉬에 대한 재료 특성 및 콘크리트의 기본특성 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 플라이애쉬는 탈황반응 촉진으로 연소온도가 낮기 때문에, 화학성분중 유리석회(CaO) 및 무수석고(CaSO<sub>4</sub>)의 함량이 높다.
- ② 플라이애쉬는 입형이 불규칙하고 분말도가 낮기 때문에 입도조정 및 품질변동을 줄일 수 있는 설비가 필요하다.
- ③ 모르타르 실험결과, 단위수량비 및 압축강도비를 만족하였다.
- ④ 플라이애쉬 콘크리트의 유동성 및 충전성, 재료분리 저항성이 우수하다.
- ⑤ 치환율 30%, 물/결합재비 33~35% 범위에서 400kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트를 생산할 수 있으며, 300kg/cm² 이하의 보통강도 콘크리트 생산은 치환율 50%와 물/결합재비 상향조정으로 하는 것이 바람직하다.
- ⑦ 향후 플라이애쉬 품질조정 및 장기강도, 수화열, 경시변화, 건조수축, 내구성, 내화학적, 포졸란 활성도 등의 연구가 필요하다.

#### 《감사의 글》

본 연구에 협조해 주신 (株)大宇 울산열병합 조학현 소장님과 울산석유화학 서현민 과장님, 플라이애쉬의 품질분석을 위해 협조해 주신 東洋시멘트(株) 중앙연구소 고성능 콘크리트팀 관계자 여러분께 감사 드립니다.

#### 《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) 朴斗林, 權寧鎬, "건축구조물에 고강도 콘크리트 현장적용 - (주)대우 진해현장-", 한국콘크리트학회지 제5권4호, 1993.12, pp.54~65
- (3) 吉越盛次, "混和材としてのフライアッシュに関する研究", 『土木學會論文集第31號』, 1975년
- (4) 山崎寛司, "礦物質微粉末がコンクリートの強度におよぼす効果に関する基礎研究", 『土木學會論文集』, 1982년
- (5) 申成雨外 3人, "사무실 건축물에 플라이애쉬를 사용한 500kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트 시공", 한국콘크리트학회지 제5권2호, 1993.6, pp.83~93