

C급 플라이애쉬에 대한 KS규준 도입방안

A Scheme of Introducing Class C Fly Ash to the Korean industrial Standard

이상수*

권영호**

Lee, Sang Soo

Kwon, Yeong Ho

안재현***

김무한****

박철립*****

Ahn, Jae Hyun

Kim, Moo Han

Park, Chil Lim

ABSTRACT

Recently, discarding or reuse of fly ashes produced from combined heat power plant or thermal power plant as a by-product causes several problems. Especially, the fly ash from Ulsan Petrochemical Service Co. classified as class C is the first by-product to be reused or discarded.

For the reuse of the class C fly ash, it is necessary to prepare and provide domestic specifications because there is no specifications on the fly ash of class C from combined heat power plant. Therefore, this study dealt with a scheme of introducing class C fly ash to the Korean industrial standard.

1. 머리말

최근 정부의 에너지 공급원의 다변화 및 효율화 정책의 영향에 따라 화력발전소 외에 공업단지 및 인구밀집 주거단지내에 열병합발전소가 신설 또는 설비확장으로 인하여 발생하는 막대한 양의 산업부산물인 환경적인 측면뿐만 아니라 경제적인 면에서도 해결해야 할 당면과제로 대두되고 있다. 또한, 화력발전소에서 생성되는 플라이애쉬와 마찬가지로 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬에 대한 처리문제는 발전소의 운영 및 신규 증설에도 큰 영향을 미치기 때문에 이에 대한 처리방안이 요구되고

* 정회원, (주)대우건설 기술연구소 주임연구원

** 정회원, (주)대우건설 기술연구소 건축연구실장

*** 정회원, (주)대우건설 기술연구소 소장

**** 정회원, (주)대우건설 기술연구소 선임연구원

***** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수

있다.

특히, 통상산업부에서 제정한 "자원절약과 재활용 촉진에 관한 법률(제9조)"에 따르면, 산업부산물의 연도별 재활용율을 명문화하여 이를 정책적으로 권장하고 있기 때문에, 산업부산물이 배출되는 관련분야에서는 이에 대한 처리 및 재활용 방안을 모색해야 한다.

현재 국내에서 생성되는 화력발전소 플라이애쉬는 ASTM규준에 따라 분류하면¹⁾ F급에 속하며, KS규준도 F급 플라이애쉬의 품질성능을 규정하고 있다. 그러나, 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬는 C급 플라이애쉬로 분류할 수 있으며, 현재 KS규준에는 규정되어 있지 않은 상태이다. C급 플라이애쉬의 특성은 여러가지 시험을 통해 입증²⁾³⁾된 바 있기 때문에 국내에서 생성되는 C급 플라이애쉬를 건설산업에 재활용할 수 있는 제도적 장치가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 KS규준에 규정되지 않은 C급 플라이애쉬의 규준을 도입하기 위한 방안으로 열병합발전소에서 생성되는 C급 플라이애쉬에 대해 ASTM규준에 따라 화학성분 및 물리적 성질 등을 검토·분석하여, 향후 규준도입을 위한 자료를 제시하고자 한다.

표 1 플라이애쉬 품질규준 (ASTM C 618)

항 목	F급 규 준	N급 규 준	C급 규 준
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (%)	≥ 70	≥ 70	≥ 50
SO ₃ (%)	≤ 5.0	≤ 4.0	≤ 5.0
강 열 감 량 (%)	≤ 6.0	≤ 10.0	≤ 6.0
습 분 (%)	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 3.0
알칼리 Na ₂ O (%)	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.5
분말도(%: 45μm잔류)	≤ 34	≤ 34	≤ 34
단위수량비 (%)	≤ 105	≤ 115	≤ 105
강도활성지수(%) / 7일(28일)	≥ 75 (≥75)	≥ 75 (≥75)	≥ 75 (≥75)

2. 각국의 플라이애쉬 규준 검토 및 분석

2.1 ASTM 규준

1994년에 개정된 ASTM C 618은 표 1에서 나타난 바와 같이 플라이애쉬를 성분 및 특성에 따라 N급, C급, F급 플라이애쉬로 분류하고 있다.

2.2 JIS 규준

1996년에 개정된 플라이애쉬에 대한 규준(JIS A 6201)은 표 2와 같이 주로 F급 플라이애쉬에 국한되어 있다.²⁾ 따라서, C급 플라이애쉬의 경우에는 JIS규준을 준용할 수 없다.

2.3 KS 규준 (Korean industrial standard)

현재 국내의 플라이애쉬에 대한 규준은 표 2와 같이 KS L 5405에 규정되고 있다. 플라이애쉬 규준의 개정과정을 보면, 1987년도의 개정판에는 ASTM C 618규준에서 F급으로 분류되는 규준을 준용하였으나, 최근에 개정된 1992년 규준은 JIS A 6201규준을 준용하고 있다.

현행 KS규준도 JIS규준과 마찬가지로 C급 플라이애쉬에 대한 규준이 정립되어 있지 않기 때문에,

표 2 플라이애쉬 품질기준 비교 (JIS A 6201 및 KS L 5405)

항 목		JIS A 6201	항 목	KS L 5405
이산화규소(%)		≥ 45	이산화규소(%)	≥ 45
습 분(%)		≤ 1.0	습 분(%)	≤ 1.0
강 열 감 량(%)		≤ 5.0	강 열 감 량(%)	≤ 5.0
비 중		≥ 1.95	비 중	≥ 1.95
분말도	45 μ m 잔류 (%)	≤ 40	比表面積(cm ² /g)	≥ 2,400
	比表面積(cm ² /g)	≥ 2,400		
플로우비(%)		≥ 92	단위수량비(%)	≤ 102
활성도지수(%) / 28일(91일)		≥ 80 (≥ 90)	압축강도비(%) / 28일(91일)	≥ 60 (≥ 70)

향후 열병합발전소에서 생성되는 C급 플라이애쉬를 재활용하기 위해서는 새로운 기준도입이 필요한 실정이다.

3. C급 플라이애쉬의 특성 분석

3.1 화학적 성분

3.1.1 SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ 함유량

열병합발전소에서 생성되는 C급 플라이애쉬의 화학성분은 그림 1과 같이 산화물 함유량이 화력발전소의 F급 플라이애쉬보다 적다.

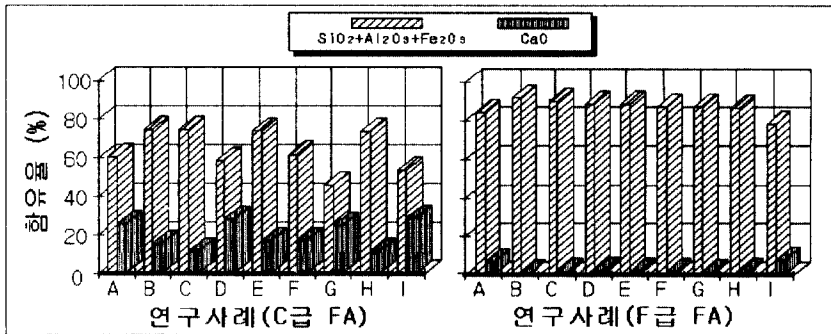


그림 1 플라이애쉬의 분류에 따른 화학조성

이는 열병합발전소의 연소온도 및 연소 시스템의 차이에 의한 것이며, 탈황반응을 위해 연소시에 Limestone을 첨가하기 때문에 CaO함량은 매우 높은 편이다.

또한, C급 플라이애쉬의 화학조성은 그림 2와 같이 삼각좌표를 이용하여 분석할 때, 고로슬래그 미분말 및 포틀랜드 시멘트의 화학조성에 가깝다는 것을 알 수 있다.

따라서, C급 플라이애쉬는 CaO함량이 높기 때

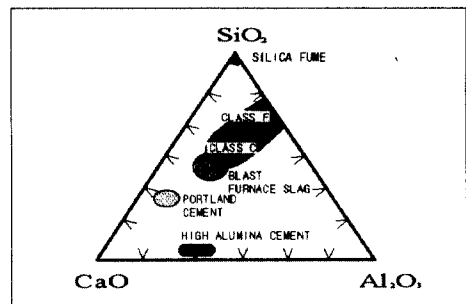


그림 2 삼각좌표에 따른 포졸란 물질의 화학조성

문에, 초기재령에서의 수화반응 및 장기재령에서의 포졸란 반응을 기대할 수 있다.

3.1.2 습 분

열병합발전소의 C급 플라이애쉬는 습분함유량이 1%내외로 이는 플라이애쉬를 저장 또는 운반하는 과정에서 함유된 것이다. 습분에 관한 각국의 규준은 1~3%로 규정하고 있기 때문에, 습분에 대한 문제는 없다.

3.1.3 강열감량

일반적으로 강열감량이 높다는 것은 플라이애쉬 성분중의 미연탄소분이 높다는 것으로 알고 있다. 이러한 미연탄소분은 굳지않은 콘크리트에서 AE제를 흡착하여 공기연행을 방해하는 작용을 하기 때문에, 내구성 확보를 위해 강열감량에 대한 품질을 규정하고 있다.

미연탄소는 흡광도 검량선에 의한 메틸렌블루 흡착량 시험⁽⁴⁾으로 측정하는데, 그림 3은 C급 플라이애쉬의 미연탄소분을 측정한 결과를 나타낸 것이다.

강열감량이 낮은 보통 포틀랜드 시멘트의 경우, 흡착농도가 15mg/l 이상으로 나타났으며, 평균 강열감량이 7%인 C급 플라이애쉬의 흡착농도는 오히려 낮게 측정되었다. 이는 강열감량은 미연탄소성분으로 동등하게 취급할 수 없다는 것을 의미하며, 향후 메틸렌블루 흡착농도로 콘크리트의 공기량 흡착관계를 규명하는 것이 바람직하다. 또한, 규준에도 흡착 시험으로 판정하는 방안이 필요할 것으로 사료된다.

국내에서 생성되는 대표적인 C급 및 F급 플라이애쉬의 화학성분은 표 3과 같다.

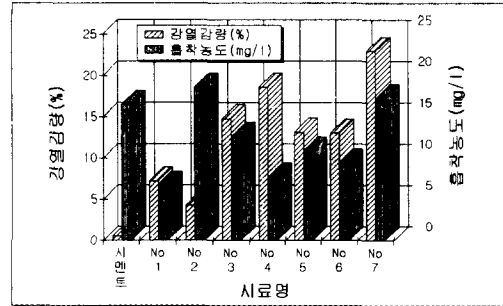


그림 3 강열감량과 메틸렌블루 흡착농도와의 관계

3.2 물리적 특성

3.2.1 비중 및 분말도

플라이애쉬의 비중은 철분의 함량이 클수록 증가하며, 탄소량이 증가하면 감소한다. 또한, C급 플라이애쉬의 구형율은 F급보다 낮기 때문에, 비중이 높은 편이다. 열병합발전소 C급 플라이애쉬의 비중은 약 2.4~2.8정도로 F급에 비해 높다.

표 3 플라이애쉬의 화학성분

구분 \ 화학성분(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	강열감량
울산 열병합발전소 (C급)	32.9	13.8	11.8	27.8	1.32	0.61	0.62	5.88	4.67
보령 화력발전소 (F급)	56.4	23.7	9.0	2.50	1.34	0.25	0.80	1.12	3.57
KS L 5405 (F급)	45이상	-	-	-	-	-	-	-	5.0이하
ASTM C 618 (C급)	-	50이상	-	-	-	1.5이하	-	5.0이하	6.0이하

플라이애쉬의 분말도는 2,360~6,430 cm^2/g 범위로 광범위하며, 열병합발전소 C급 플라이애쉬의 분말도는 평균 2,680 cm^2/g 으로 약간 낮은 값을 나타낸다. 이는 발전소의 연소온도 및 연소 시스템의 영향이며, 분말도가 콘크리트의 시공성 및 수밀성, 강도 등에 영향을 주기 때문에 KS규준에서는 2,400 cm^2/g 이상으로 규제하고 있다.

3.2.2 단위수량비 및 압축강도비

열병합발전소의 연소온도는 850 $^{\circ}\text{C}$ 로 화력발전소의 연소온도(약 1,100 $^{\circ}\text{C}$)보다 낮기 때문에, 생성되는 플라이애쉬의 입형이 불규칙하며 구형율이 낮아 단위수량비가 증가한다. 따라서, 콘크리트에 사용할 때, 단위수량을 조정하는 것이 필요하다. 그러나, C급 플라이애쉬에는 수경성 물질인 CaO함량이 높기 때문에, 초기 수화생성물이 증가되어 강도발현이 F급에 비해 높다.

따라서, 단위수량비 및 압축강도비를 적절히 조절하여 시멘트 대체재로 다량 혼입할 수 있기 때문에 High Volume Fly Ash로 사용할 수 있다.

표 4는 국내에서 생성되는 대표적인 C급 및 F급 플라이애쉬의 물리적 특성이며, 열병합발전소의 C급 플라이애쉬는 ASTM C 618규준을 만족하는 것으로 나타났다.

표 4 플라이애쉬의 물리적 특성

구 분	물리적 특성	비중	분말도 (cm^2/g)	습분 (%)	단 위 수량비 (%)	압 축 강도비 (%)	구속 수비
울산 열병합발전소 (C급)		2.69	2,470	0.10	103	113	1.10
보령 화력발전소 (F급)		2.21	3,158	0.19	99	95	1.03
KS L 5405 (F급)		1.95이상	2,400이상	1.0이하	102이하	60이상	초유동
ASTM C 618 (C급)		1.95이상	2,400이상	3.0이하	105이하	75이상	콘크리트

4. C급 플라이애쉬 규준의 필요성

울산 열병합발전소에서 생성되는 플라이애쉬는 분류상 C급에 속하며, 이를 사용한 콘크리트 실험결과³⁾, 콘크리트의 유동성, 충전성, 재료분리 저항성이 우수하며, 슬럼프 유지성능, 수화열 저감, 건조수축, 크리프, 동결융해 저항성 및 강도발현에 우수한 것으로 나타났기 때문에 이를 활용할 수 있는 제도적 장치가 필요하다.

특히, 건설시장 개방에 따른 국제 경쟁력 확보 및 신재료의 활용을 위해 C급 플라이애쉬에 관한 규정을 도입하고 산업부산물물을 재활용할 수 있도록 하는 적극적인 대응 자세가 필요하다. 특히, 동남아, 유럽, 미주 등지에서 포괄적으로 사용되고 ASTM규준을 근거로 C급 플라이애쉬의 규준을 도입하는 방안이 현재로서 가장 합리적인 것으로 사료된다.

일본의 JIS A 6201규준에도 C급 플라이애쉬에 관한 규정이 없기 때문에, 유사한 KS L 5405규준에도 없는 것이 당연한 것은 아니다. 따라서, 국내에서 생성되는 플라이애쉬의 활용범위를 넓히고 재활용 기술을 촉진시키기 위하여 C급 플라이애쉬에 관한 규준을 도입해야 할 것으로 본다. 특히, 정부

에서 정책적으로 자원 재활용을 권장하고 있는 상황과 Green Round체계의 출범을 앞두고 있는 국제적인 흐름을 고려할 때, KS규준에 반영하는 것이 절실한 실정이다.

5. C급 플라이애쉬에 대한 KS 규준(안)

향후, 공업단지 및 주거단지에 열병합발전소의 지속적인 신축 및 증축으로 인하여 막대한 양의 C급 플라이애쉬가 발생될 것으로 예상된다. 물론, 발생되는 플라이애쉬가 건설산업의 콘크리트 분야에 재활용되기 위해서는 품질확보 및 품질변동을 최소화시키는 방안이 필요하지만, 이는 기술적으로 해결해야 할 과제이며, 품질이 양호한 C급 플라이애쉬를 활용할 수 있는 방안이 필요하다. 특히, 콘크리트에 사용할 경우에 우수한 품질을 확보할 수 있는 C급 플라이애쉬가 국내 규준이 없어서 재활용하는데 어려움이 발생하는 것은 바람직하지 못한 것으로 사료된다.

따라서, 현재 KS에 규정되어 있는 F급 플라이애쉬의 규준은 현행대로 사용하고, KS규준에 없는 C급 플라이애쉬의 규준을 ASTM의 C급 플라이애쉬 규준에 준하여 도입하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 2년간의 C급 플라이애쉬에 대한 연구결과를 근거로 표 5과 같이 F급 및 C급 플라이애쉬를 모두 포함하는 플라이애쉬 규준(안)을 제시하고자 한다.

표 5 새로운 플라이애쉬의 규준(안)

항 목		규 준 (안)		플라이애쉬 구분	
				F급 플라이애쉬	C급 플라이애쉬
화 학 성 분	SiO ₂ (%)		45이상	-	
	SiO ₂ +Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ (%)		-	50이상	
	Na ₂ O (%)		-	1.5이하	
	습 분 (%)		1.0이하	3.0이하	
	강열감량 (%)		5.0이하	6.0이하	
물 리 적 성 질	비 중		1.95이상	1.95이상	
	분말도 비표면적(브레인:cm ² /g)		2,400이상	2,400이상	
	단위 수량비 (%)		102이하	105이하	
	압축강도비 (%)	7 일	-	75이상	
28 일		60이상	75이상		

6. 결 론

국내에서 생성되는 C급 플라이애쉬를 재활용하기 위한 연구로 2년간에 재료, 배합 및 시공에 관한 연구를 실시하였으며, 현장의 구조물에 타설하여 품질관리 성능을 확인한 바 있다. 계속적인 활용을 위해 KS규준을 검토하게 되었으며, 제도적인 뒷받침으로 KS규준 및 시공지침(안) 등이 보완된다면 산업부산물의 재이용 및 재활용에 대한 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대한다. 특히, 환경보전, 에너지 절감 및 경제성 측면에서 적극적인 대처방안이 필요하다.

참고 문헌

- (1) ASTM C 618, Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete.
- (2) EPRI CS-5116, "Classification of Fly Ash for Use in Cement and Concrete," Project 2422-10, Final Report., April, 1987
- (3) 울산석유화학지원(주), "열병합발전소의 플라이애쉬 활용방안에 관한 연구 보고서(1차 및 2차년도)", (주)대우건설 기술연구소, 1995년 및 1996년
- (4) 建設省建築研究所, "廢棄物の建設事業への再利用に技術關する研究『メチレンブルー-吸着量の試験方法』", 1986. 3, pp.177-178