



# 시멘트소성로에서 가연성 폐기물 사용에 따른 환경 및 제품에 미치는 영향

김 정 대 (한림성심대학 교수)

## 1. 배경 및 필요성

1990년대 중반까지 국내 시멘트산업은 대부분 천연 광물자원을 이용하여 시멘트를 제조하여 왔다. 그러나 점차 천연자원의 확보가 어려워지게 되었고, 최근에는 원료비용 및 연료비 상승으로 생산비용이 증가함에 따라 시멘트산업은 경제적 어려움에까지 직면하게 되었다. 이처럼 시멘트 생산에 필요한 원료 확보 및 연료비용 절감을 위한 대체자원의 필요성이 대두되면서 제철산업 부산물인 고로슬래그나 발전소 부산물인 석탄재 등은 원료로 재활용 하고, 폐타이어, 각종 산업폐기물 및 부산물 등은 보조연료로 재활용함으로써 천연자원의 절약과 에너지 절약, 원가절감 및 자원재활용에 크게 기여하고 있다. 그러나 지난 2005년 무렵 시멘트 제품 및 폐기물 재활용에 대한 일부의 유해성 논란이 확산되자 환경부에서는 시멘트사의 폐기물 재활용에 대해 관리를 강화하는 추세로 정책 방향을 설정하였다. 이에 따라 시멘트소성로에서 가연성 폐기물 및 제품을 보조연료로 사용할 경우 폐기물과 제품의 종류, 형태, 성형 여부 등에 따라 환경(대기배출물질) 및 시멘트 제품에 미치는 영향이 있는지에 대한 과학적이고 객관적인 조사가 필요하게 되었다.(<그림-1>)

본고에서는 시멘트소성로로 반입되는 가연성 폐

기물 고형연료의 종류, 형태의 현황을 파악하고, 시멘트소성로에서 가연성 폐기물을 보조연료로 사용하였을 때 시멘트의 제품 및 환경에 미치는 영향에 대해 검토하였다.

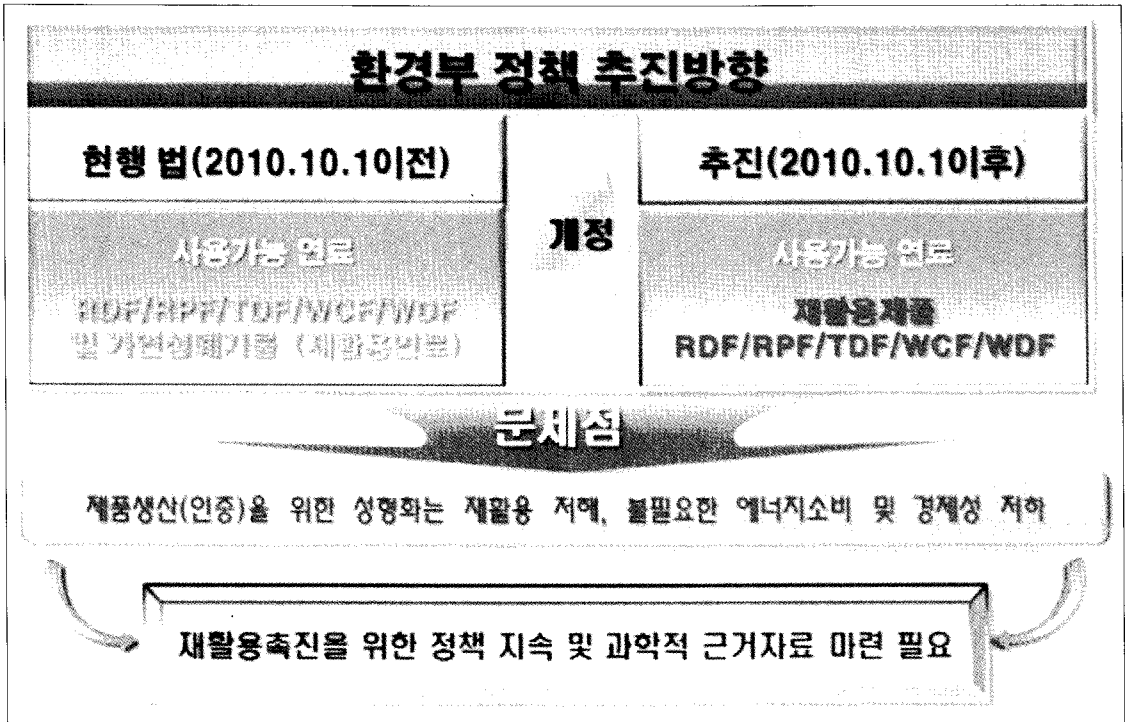
○ 시멘트소성로로 투입되는 가연성 폐기물 보조연료의 종류, 특성 및 성상 파악

○ 시멘트소성로에서 사용되는 가연성 폐기물 보조연료의 종류 및 형태(폐기물의 종류, 형태 등)에 따른 환경(대기배출가스) 및 생산제품에 미치는 영향

## 2. 시멘트의 원료 및 연료

시멘트 원료의 생산은 석회석을 주원료로 하며 점토, 규석 등 부원료를 시멘트 화학조성이 되도록 조합하여 건조, 미분쇄, 균일화 하는 과정이다. 시멘트 1톤의 제조에 필요한 원료는 대략 석회석(47~55% CaO) 1,100kg, 점토(45~78% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 10~26% SiO<sub>2</sub>, 3~9% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 200kg, 규석(77~96% SiO<sub>2</sub>)과 철광석(40~90% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 포함한 물질 등이다.

조합원료는 소성과정에서 화학적인 성분 변화를 거쳐 시멘트 반제품인 클링커가 된다. 이때 소성용 연료로 사용된 석탄과 폐기물의 회분도 클링커의 성분이 된다.



〈그림-1〉 연구 추진배경 및 필요성

시멘트 제조시 클링커 1톤의 소성에 필요한 에너지는 약 2,950MJ인데, 유연탄을 사용하는 것이 일반적이며, 그 외에도 석유코크스와 소량의 중유를 사용하고 있다. 최근에는 화석연료 매장량의 한계성과 경제성을 고려하여 새로운 대체에너지의 확보가 필수불가결한 요소가 되었다. 따라서 화석연료 대신 폐타이어, 폐목재, 재생유, 폐플라스틱 등 가연성 폐기물을 재활용하여 연료로서 사용하는 기술이 개발되고 있으며, 각각의 연료에 대하여 세분화 하면 다음과 같다.

#### 가. 화석연료

국내는 총 에너지의 90% 이상을 수입에 의존하고 있고, 국내 에너지 소비의 60% 이상을 차지하는 석유는 전량 수입하고 있다. 따라서 석유 한 방울 나지 않는 우리나라에서는 1997년에 242억달러 어치

의 에너지를 수입하였으며, 석탄수입 세계 2위, 석유수입 세계 4위라는 자랑스럽지 못한 기록을 가지고 있다. 또한 화석연료는 이를 사용함으로써 발생하는 배출가스 즉 분진, 일산화탄소, 이산화탄소, 황산화물, 질소산화물 등 인간에게 해로운 물질을 대기중으로 방출하는 단점이 있다.

#### 나. 재활용제품

재활용제품이란 가연성 폐기물을 일정한 품질 규격을 갖도록 가공한 것으로 우리나라의 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」에 따른 재활용 연료제품은 RPF, RDF, WDF, WCF, TDF 등이 있다. 해외에서는 폐기물을 가공한 고체연료를 일반적으로 RDF로 부르고 있으며, 우리나라의 경우에는 RDF에 대한 개념이 생산자책임재활용제도(EPR) 도입시 폐합성수지의 재활용 활성화를 위하여 도입한



〈표-1〉 시멘트소성로 부원료 및 보조연료 종류

구 분	성 분	산업부산물(폐기물) 종류
부 원 료	CaCO <sub>3</sub>	석회슬러지
	SiO <sub>2</sub>	주물사
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	경석, 광미
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	동슬래, 자로사이트, 괴타이트, 크린철, 제강슬래그, 전로슬래그, 회수슬래그, 아연슬래그, 분철, 제강철, 파이넥스철, 혼합철, 동슬러지, 제강슬러지
혼 합 재	CaO	고로슬래그, STS 슬래그
	SO <sub>3</sub>	탈황석고, 중화석고, 티탄석고
보조연료	발열량 이용	정제유
		재생유
		석유코크스
		합성수지류
		합성고무류
		RPF
		정제카본

자료 : 국립환경과학원(2006.9), 폐기물 소각시설로서의 시멘트소성로 관리기준 개선연구

RPF가 시작이며, 최근에는 생활계폐기물을 고품화한 제품인 RDF가 있으나 해외에서 부르는 RDF 개념과는 다소 차이가 있다. RDF가 화석연료 대체연료로서 일정 수준의 발열량을 가지고 폐기물을 재활용한다는 점에서 높이 평가할 수 있으나 생활폐기물의 상당량을 차지하는 음식물 쓰레기는 높은 수분을 함유하고 있어 연소의 효율을 떨어뜨리고 또한 고농도의 염소를 함유하고 있어 시멘트 품질에 악영향을 주기 때문에 염소 제거 및 수분함량을 낮추어야 하는 기술을 요한다.

## 다. 부산물 및 폐기물

시멘트 공정에서의 폐기물 이용은 크게 원료대체, 연료대체, 첨가제 및 응결지연제 대체 부문으로 구별할 수 있다. 시멘트 공정에 폐기물을 이용할 때 폐기물의 화학성분이 천연원료의 화학성분과 유사한 것은 원료로써 대체가 가능하며 발열량을 갖는 것은 연료대체, 그리고 시멘트의 물성을 유지 또는 증진시키는 역할을 할 수 있다면 첨가제 대체 또는 응결

지연제 대체가 가능하다.

현재 시멘트업계에서는 폐기물을 원료 및 연료로 다양하게 재활용하고 있다. 시멘트의 주요 성분인 CaO(석회석에 다량함유), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(점토에 다량함유), SiO<sub>2</sub>(규석에 다량함유), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 포함한 물질을 원료로 광범위하게 사용하고 있으며, 페타이어, 페플라 스틱 등을 유연탄의 대체연료로 사용하고 있다.

## 라. 시멘트소성로로의 폐기물 반입현황

〈표-1〉에 제시한 바와 같이 시멘트 소성로에서 폐기물은 보조연료, 부원료, 기타 혼합재로 사용되고 있다. 부원료는 시멘트 제품의 주성분을 가지고 있는 폐기물과 부산물을 이용하여 고가의 천연광물 사용을 줄이기 위해 사용하는 물질로서 성분에 따라 사용하는 물질의 종류가 다르다. 혼합재는 성분을 보충하기 위한 고로슬래그, STS슬래그가 사용되고, 성분을 보충하기 위한 탈황석고, 중화석고, 티탄석고 등이 사용된다. 보조연료는 시멘트소성로의 주열원인 유연탄의 사용량을 감소시켜 원가 절감을 하기

〈표-2〉 평가대상 시설 및 사용연료

대상시설	회수	사 용 연 료	시료명칭
A사	1차	Coal(유연탄)	A-1
	2차	Coal(유연탄)+RPF	A-2
	3차	Coal(유연탄)+폐합성수지	A-3
B사	4차	Coal(유연탄)+폐합성수지+폐목재+재생연료유+통타이어	B
C사	5차	Coal(유연탄)+칩타이어	C-1
	6차	Coal(유연탄)+통타이어	C-2

위해 사용하는 물질로서 폐기물 유래 제품(정제연료유, 재생연료유, RDF, RPF, WCF, TDF)과 가연성 폐기물(폐합성수지, 폐고무, 폐섬유, 폐목재 등)이 있다.

한국양회공업협회에서 집계한 자료에 의하면, 국내 시멘트소성로에 반입된 부산물 및 폐기물의 총량은 2003년 약 11.8백만톤에서 2007년 14.4백만톤으로 약 1.2배가 증가하였다.

### 3. 가연성 폐기물 보조연료 사용에 따른 환경 및 제품에 미치는 영향

#### 가. 분석개요 및 방법

시멘트소성로에 사용되는 보조연료의 종류에 따른 대기오염물질 발생량을 평가하기 위해 시멘트 A

사, B사, 그리고 C사에 대하여 대기오염물질을 평가하였다. 대상시설의 현장평가는 총 6회 실시하였으며, 〈표-2〉와 〈표-3〉에 나타난 바와 같이 3개의 공장에서 보조연료 사용조건을 달리하여 시험하였다.

본 연구에서의 주요 분석 대상은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 우선 가연성 폐기물 보조연료 사용에 따른 생산제품에 미치는 영향을 분석하기 위하여 보조연료(가연성 폐기물과 제품연료)를 분석하였고, 각 보조연료 사용에 따른 시멘트 생산제품(클링커)의 품질에 대하여 분석을 실시하였다. 다른 하나는 가연성 폐기물 보조연료의 사용에 따른 대기환경 영향을 분석하였다. 대기환경 영향은 악취, 가스상 물질, 입자상 물질, 다이옥신 등으로 세분화하여 분석하였다.

분석대상 연료 및 시멘트 제품에 대해서는 고품질 연료제품의 품질 및 등급기준 시험방법에 따라 시험분석하였고, 일부항목(6가 크롬)은 KS L 5221의 '시

〈표-3〉 주연료 및 보조연료 사용량

(단위 : ton/hr)

시료명칭	주연료	보 조 연 료						합계
	Coal	폐합성수지	RPF	폐목재	재생연료유	통타이어	칩타이어	
A-1	17.5							17.5
A-2	11.5		5.0					16.5
A-3	11.5	8.0						19.5
B	7.0	0.5		0.5	6.8	1.7		16.5
C-1	17.8						1.7	19.5
C-2	18.7					2.1		20.8



〈표-4〉 주연료 및 가연성 폐기물의 특성 분석결과

분석항목 분석물질	습윤저위 발열량 (kcal/kg)	수분	회분	염소	황분	Pb	Cd	T-Cr	Hg	As
		(wt%)				(mg/kg)				
유연탄	6,475.5	2.80	9.94	ND <sup>a)</sup>	1.32	2.05	ND	10.21	ND	ND
폐합성수지	9,175.6	10.65	6.33	0.26	0.02	82.49	ND	20.89	ND	ND
RPF	6,571.1	12.43	7.71	0.37	0.02	1.82	ND	3.93	ND	ND
재생연료유	10,513.7	4.30	0.13	0.01	1.23	ND	ND	1.38	ND	ND
폐목재	3,775.4	17.96	1.36	ND	0.01	4.00	ND	4.91	ND	ND
폐플라스틱	6,523.3	5.24	0.01	0.02	0.01	5.23	ND	3.62	ND	ND
페타이어	8,769.4	0.51	0.24	0.01	0.78	18.58	ND	3.33	ND	ND
WDF 기준 <sup>b)</sup>	3,500	-	-	2,000mg/kg	2.5	100.0	1.0	50.0	1.5	2.0
RPF 기준 <sup>c)</sup>	6,000	10.0	20.0	2.0	0.6	200.0	9.0	-	1.2	13.0
TDF 기준 <sup>c)</sup>	6,000		4.0	2.0	2.0					
WCF 기준 <sup>c)</sup>	3,500		8.0	0.3	1.2					

a) Not detected(불검출)

b) 「폐기물관리법」 시행규칙 [별표5] 폐기물의 수집·운반·보관·처리에 관한 구체적 기준 및 방법 중 재생연료유 재활용 기준

c) 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」 시행규칙 [별표7] 고행연료제품의 품질·등급기준:RDF, RPF, TDF, WCF에 관한 기준

먼트 중 6가 크롬의 정량 분석 방법'에 따라 실시하였다. 평가대상시설에서 발생하는 복합악취 및 대기 오염물질은 각각 악취 및 대기오염공정시험방법에 의거하여 시료채취 및 분석하였다.

## 나. 가연성 폐기물 및 고행연료 사용에 따른 생산제품에 미치는 영향 분석

### (1) 가연성 폐기물의 특성 분석결과

주연료 및 가연성 폐기물의 특성 분석결과를 〈표-4〉에 제시하였다. 습윤저위발열량은 유연탄이 6,475.5kcal/kg이었으며, 폐합성수지, 폐플라스틱 RPF는 6,523.3~9,175.6kcal/kg으로 고행연료제품인 RPF기준치인 6,000kcal/kg을 상회하는 것으로 나타났다. 이밖에 페타이어, 재생연료유, 폐목재의 습윤저위발열량도 TDF, WDF, WCF 품질기준을 모두 만족하였다.

폐합성수지와 RPF, 폐목재 세 종류에 대하여 수

분함량이 고행연료제품의 품질·등급기준치인 10%를 다소 초과하였다. 수분은 연소시 습윤저위발열량 등 연소특성에 영향을 미칠 수 있는 항목이다. 3개사에서 사용하고 있는 보조연료는 수분함량이 기준치를 다소 초과하였으나 이는 중금속이나 황과 같은 성분과 달리 운송 및 보관조건에 따라 쉽게 변동될 수 있는 성분이며, 소성시설에 보조연료를 사용하는 비율이 높지 않기 때문에 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

수분 이외의 황 및 중금속 등 모든 항목에 대하여서는 기준치를 모두 만족하였다. 유연탄 및 보조연료의 염소는 0~0.37%로 재생연료유 및 고행연료 제품 품질기준을 모두 만족시키고 있다. 황은 유연탄이 1.32wt%로 가장 높게 나타났으며 페타이어, 폐합성수지 등 보조연료는 모두 재생연료유 및 고행연료제품의 품질기준을 만족시켰다. 납(Pb)의 경우 비성형(Fluff)상태의 폐합성수지에서 82.49mg/kg으로 가장 높게 나타났으나, 고행연료제품의 기준치인 200.0mg/kg에는 크게 하회하였다. 페타이어, 유

〈표-5〉 생산제품(클링커) 분석결과

(단위 : mg/kg)

분석항목 제 품		Pb	Cd	T-Cr	Cr <sup>6+</sup>	Hg	Cu	As
		A사	A-1	ND <sup>a)</sup>	ND	69.33	8.7	ND
	A-2	ND	ND	69.83	6.3	ND	117.40	ND
	A-3	ND	ND	70.18	11.1	ND	111.78	ND
B사	B	ND	ND	66.07	5.7	ND	120.71	ND
C사	C-1	97.19	ND	52.00	6.6	ND	17.92	ND
	C-2	ND	ND	45.22	6.5	ND	ND	ND

a) Not detected(불검출)

연탄, 폐플라스틱, 폐목재, RPF 모두 기준치 이내의 농도를 나타내었다. 또한 액상연료인 재생연료유에서는 납(Pb)이 검출되지 않는 것으로 나타났고 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 그리고 비소(As)의 경우 투입되는 모든 연료 및 보조연료에서 검출되지 않았다.

크롬(Cr)은 재생연료유(WDF) 재활용 기준은 50 mg/kg이며, 고품연료제품의 품질·등급기준은 WC F의 경우에만 30mg/kg으로 규정되어 있다. 총 Cr의 경우 유연탄과 비성형(Fluff) 폐합성수지는 기준 이하의 값을 보였다. 이 외에 RPF, 폐플라스틱과 폐타이어는 비성형(Fluff) 폐합성수지 보다 낮은 약 3~4mg/kg을 나타내었다. 재생연료유와 폐목재의 총 Cr 역시 각각 기준치를 크게 하회하였다.

### (2) 생산제품(클링커) 분석결과

시멘트소성로에서 여러 가지 보조연료를 사용하여 생산된 클링커의 중금속 분석결과를 〈표-5〉에 나타내었다. Pb의 경우 칩타이어를 사용한 경우(C-1)에만 97.2mg/kg으로 검출되었을 뿐 다른 보조연

료를 사용한 경우에는 모두 검출되지 않았다. 총 Cr은 45~70mg/kg 정도가 검출되었으나 보조연료 종류에 따른 큰 차이는 나타나지 않았으며, Cr<sup>6+</sup>의 경우 5.7~11.1mg/kg의 범위를 나타내었으며, 총 Cr의 약 10~15% 정도를 차지하였다.

## 다. 가연성 폐기물 보조연료 사용에 따른 대기환경영향 및 다이옥신 분석

### (1) 약취

시멘트소성로 사업장 부지경계선에서의 배출허용기준과 유연탄 및 보조연료 사용에 따른 약취측정결과를 〈표-6〉, 〈표-7〉에 나타내었다. 소성로의 운전온도가 1,450℃ 이상의 고온이며, 1,000℃ 이상에서의 가스 체류시간이 5초 이상이기 때문에 약취유발 물질은 대부분 산화되어 유연탄 및 보조연료의 사용에 따른 시멘트소성로 부지경계선에서의 약취발생에 대한 문제는 전혀 없는 것으로 판단된다.

〈표-6〉 복합약취의 배출허용기준 및 엄격한 배출허용기준

구 분	배출허용기준(희석배수)		엄격한 배출허용기준의 범위(희석배수)	
	공 업 지 역	기 타 지 역	공 업 지 역	기 타 지 역
배출구	1,000 이하	500 이하	500~1,000	300~500
부지경계선	20 이하	15 이하	15~20	10~15



〈표-7〉 악취물질 측정결과

악취물질		시험결과					
항목명	단위	A사			B사	C사	
		A-1	A-2	A-3	B	C-1	C-2
복합악취	희석배수	3	3	3	3	3	3

(2) 대기오염물질

대기오염물질 분석은 가스상 대기오염물질과 입자상 대기오염물질, 그리고 다이옥신류 세 가지로 수행하였으며, 각각의 결과는 〈표-8〉, 〈표-9〉 및 〈표-10〉에 나타내었다.

유연탄과 RPF를 사용한 경우 염화수소 농도는 0.13ppm으로 유연탄과 비성형(Fluff) 형태의 폐합성수지를 사용한 경우의 1.20ppm 보다 낮은 농도를 나타내었으며, 두 경우 모두 시멘트 소성시설 기준

치인 15ppm(O<sub>2</sub> 13% 보정)을 만족시켰다. 황산화물은 비성형(Fluff) 폐합성수지, 폐목재, 재생연료유, 통타이어를 혼합사용한 경우에 기준치인 15ppm(O<sub>2</sub> 13% 보정)을 크게 하회하는 1.73ppm이 검출되었고, 기타 다른 조건에서는 모두 검출되지 않았다. 질소산화물에서는 주연료로 유연탄만을 사용한 경우에만 기준치를 다소 초과하였을 뿐 폐합성수지나 RPF, 폐목재, 타이어 등 보조연료를 혼합하여 사용한 경우에는 기준치를 모두 만족시켰다.

유연탄에 RPF를 사용한 경우와 비성형(Fluff)

〈표-8〉 가스상 대기오염물질 측정결과

시험항목	단위	시험결과(산소농도 13% 보정함)						소성로 기준치 (2010.1.1) <sup>a)</sup>	소각로 기준치 (2010.1.1) <sup>b)</sup>
		A사			B사	C사			
		A-1	A-2	A-3	B	C-1	C-2		
일산화탄소	ppm	248	1,066	806	343	545	461	-	50(12)
염화수소	ppm	0.65	0.13	1.20	1.73	0.53	0.60	15(13)	20(12)
황산화합물	ppm	ND <sup>c)</sup>	ND	ND	1.73	ND	ND	30(13)	30(12)
질소산화물	ppm	335	266	263	296	261	299	330(13)	70(12)
불소화합물	ppm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2(13)	2(12)
페놀화합물	ppm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10(모든)	10(모든)
암모니아	ppm	0.82	1.70	2.56	5.87	1.20	1.40	30(13)	30(12)
시아나화수소	ppm	ND	ND	1.2	2.2	9.5	8.0	10(모든)	10(모든)
벤젠화합물	ppm	0.04	0.03	0.06	0.16	0.05	0.07	20(모든)	20(모든)
브롬화합물	ppm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5(모든)	5(모든)
황화수소	ppm	0.78	0.23	0.16	0.09	0.53	0.40	2(13)	2(12)
포름알데하이드	ppm	0.21	0.25	0.09	1.04	0.01	0.05	10(모든)	10(모든)
이황화탄소	ppm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	30(모든)	30(모든)
비소화합물	ppm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.5(13)	0.5(12)

a) 크링커 생산량 20만톤/년 이상 시멘트 소성시설 대기배출허용기준  
 b) 2톤/hr 이상 소각시설 또는 소각보일러 대기배출허용기준  
 c) Not detected(불검출)

〈표-9〉 입자상 대기오염물질 측정결과

시험항목	단위	시험결과(산소농도 13% 보정함)						소성로 기준치 (2010.1.1) <sup>a)</sup>	소각로 기준치 (2010.1.1) <sup>b)</sup>
		A사			B사	C사			
		A-1	A-2	A-3	B	C-1	C-2		
먼지	mg/m <sup>3</sup>	1.65	2.70	2.26	4.31	3.15	3.22	40(13)	20(12)
수은화합물	mg/m <sup>3</sup>	ND <sup>c)</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	0.1(13)	0.1(12)
카드뮴화합물	mg/m <sup>3</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02(13)	0.02(12)
납화합물	mg/m <sup>3</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.2(13)	0.2(12)
크롬화합물	mg/m <sup>3</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.5(13)	0.5(12)
구리화합물	mg/m <sup>3</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10(모든)	10(모든)
아연화합물	mg/m <sup>3</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10(모든)	10(모든)
니켈화합물	mg/m <sup>3</sup>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	20(모든)	20(모든)
매연	도	1	1	1	1	1	1	2	2

- a) 크렁커 생산량 20만톤/년 이상 시멘트 소성시설 대기배출허용기준  
 b) 2톤/hr 이상 소각시설 또는 소각보일러 대기배출허용기준  
 c) Not detected(불검출)

〈표-10〉 연료 및 보조연료 사용에 따른 다이옥신 측정 결과

(단위 : ng-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

시료명	매체	다이옥신 농도	소성로 기준치 2009.1.1 이후 <sup>a)</sup>	소각시설 기준치(2008.12.31까지) <sup>b)</sup> (O <sub>2</sub> 12% 보정)		
				시설 용량	2001.1.1 이후 신설시설	기존시설
A-1	유연탄	ND <sup>c)</sup> (O <sub>2</sub> =13%)	0.1 (O <sub>2</sub> 13% 보정)	>4ton/hr	0.1	1
A-2	유연탄+RPF	0.035 (O <sub>2</sub> =13%)				
A-3	유연탄+합성수지	0.009 (O <sub>2</sub> =13%)				
B	유연탄+합성수지+ 재생연료유+페타이어	0.001 (O <sub>2</sub> =13%)		2~4ton/hr	1	5
C-1	유연탄+페타이어칩	ND (O <sub>2</sub> =13%)				
C-2	유연탄+페타이어	0.023 (O <sub>2</sub> =13%)				
				25kg/hr ~ 2ton/hr	5	10

- a) 잔류성유기오염물질 배출허용기준, 잔류성유기오염물질관리법시행규칙 [별표 3] 배출허용기준(2008. 1. 28 개정)  
 b) 폐기물관리법 제30조 3항, 동법 규칙 제24조 및 [별표 8]에 관한 사항  
 c) Not detected(불검출)

\* 다이옥신 농도는 국제독성등가 환산계수(I-TEF)로 환산한 농도(TEQ)를 말함

폐합성수지를 사용한 경우 질소산화물은 각각 266 ppm 과 263ppm으로 거의 차이가 없었다. 암모니아

는 RPF를 보조연료로 사용한 경우에는 1.70ppm으로 비성형(Fluff) 형태의 폐합성수지를 사용한 경우





의 2.56ppm 보다 다소 낮은 농도를 나타내었다. 시안화수소는 RPF를 보조연료로 사용한 경우에는 검출되지 않았고, 비성형(Fluff) 형태의 폐합성수지를 사용한 경우에는 1.20ppm이 검출되었으나 배출허용기준인 10ppm을 크게 하회하였다.

유연탄 및 보조연료 사용조건에 따른 황화수소의 배출농도는 0.23~0.53ppm으로 기준치를 만족시켰으며, 이밖에 벤젠화합물, 포름알데히드는 모든 조건에서 배출허용기준을 크게 하회하였다.

보조연료 사용에 따른 황산화합물, 불산화합물, 폐놀화합물, 브롬화합물, 이황화탄소, 비산화합물은 모든 조건에서 검출되지 않았다. 입자상 대기오염물질 중 먼지는 1.65~4.31mg/m<sup>3</sup>(O<sub>2</sub> 13% 보정)의 범위를 나타내어 대기배출허용기준인 30mg/m<sup>3</sup>를 크게 하회하였으며, 매연은 모두 1도를 나타내어 기준치인 2도를 만족시켰다. 기타 수은, 카드뮴, 납, 크롬, 구리, 아연, 니켈 화합물의 입자상 대기오염물질은 모든 조건에서 검출되지 않았다.

다이옥신 농도는 모든 조건에서 불검출~0.035ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>(O<sub>2</sub>:13%)의 범위를 나타내었으며, 다이옥신 농도 규제치인 0.1ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>(O<sub>2</sub>:13%)를 크게 하회하였다. RPF를 보조연료로 사용한 경우에는 0.035ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>(O<sub>2</sub>:13%)로 비성형(Fluff) 형태의 폐합성수지를 사용한 경우의 0.009ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>(O<sub>2</sub>:13%) 보다 높게 나타났다.

연구결과를 종합하면 현재 소성로에 투입되고 있는 보조연료는 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」의 고품질연료제품의 품질·등급기준과 「폐기물관리법」의 재생연료유 재활용 기준과 비교할 때 수분항목을 제외하고 모두 만족시키는 것으로 나타나는 큰 문제가 없었으며, 생산되는 시멘트 제품(클링커)도 문제가 없는 것으로 나타났다.

시멘트 3개사를 중심으로 유연탄 및 보조연료 사용에 따른 운전실태 조사를 종합하면 보조연료 사용 시에도 시멘트 소성시설의 대기오염배출기준을 모두 만족시키고 있는 것으로 나타났다. 또한 고품질연료제품 형태의 RPF와 비성형(Fluff) 형태의 폐기

물인 폐합성수지를 보조연료로 각각 사용한 경우를 중점적으로 살펴보면 대기오염배출기준 항목에 따라 측정값이 다양하게 나타나 특별한 경향을 찾기는 어려웠으며, 대기오염배출 특성에 있어서 차이가 거의 없는 것으로 조사되었다.

## 5. 결 론

현재 가연성 폐기물을 재활용 처리하여 생산되는 고품질연료 제품은 RDF, WDF, TDF, WCF, RPF 등이 있다. 그러나 이러한 고품질연료 제품에서 얻는 에너지는 가연성 폐기물의 연료화에 국한되고, 또한 고발열량의 가연성 폐기물만을 그 대상으로 하는 한계를 가지고 있다.

국내 시멘트업계는 1997년 이후부터 원료와 화석연료인 유연탄의 대체를 위하여 폐기물을 원료 및 연료로 사용하고 있다. 폐기물의 시멘트소성로 반입과 관련하여 유럽연합의 동향이 국내 제도개선 방향에 시사하는 바는 다음과 같다.

첫째, 시멘트소성로에서의 대체연료의 사용은 폐기물의 처리가 아닌 화석연료의 대체가 주목적이라고 볼 수 있으므로 폐기물 처리를 목적으로 한 소각시설과 동일한 기준을 시멘트소성로에 적용하는 것은 불합리하다고 판단된다.

둘째로 대기환경보전법의 대기배출허용기준과 폐기물관리법에서의 소각로와 시멘트소성로에 대한 분류를 유럽연합의 지침과 같이 소각로와 혼합소각로로 구분하여 대기배출 기준을 적용 할 필요성이 있다. 폐기물관리법에서 폐기물을 반입하는 시멘트소성로를 소각시설로 분류하기 때문에 두 범주간의 일부 모순이 있을 수 있기 때문이다.

또한, 개정 폐기물관리법의 운용 여하에 따라서는 지금까지 사용되어 오던 가연성 폐기물의 사용을 현저히 제한하게 될 가능성도 있는바, 그 경우 시멘트 생산비용이 증가하는 문제가 발생할 여지도 있다.

이러한 문제점에 대해 본고에서는 다음 두 가지의 검토방안이 필요하다고 제안한다. 첫번째는 제품형

태의 고형연료 사용 시와 비교하여 환경부하를 증가시키지 않는다는 전제하에 제품형태가 아닌 폐기물에 대해서도 연료로서 인정해주는 방안과, 두번째로는 폐기물 보조연료 사용에 따른 오염물질 배출에 대한 객관적인 측정 자료를 바탕으로, 사회적 합의를 이끌어내는 과정을 거쳐, 재활용제품으로 사용을 한정한다는 유예기간을 법규 개정시점까지 연장하는 방안이다.

이에 본 연구에서는 폐기물 보조연료 사용에 따른 오염물질 배출에 대한 객관적인 자료를 제공하기 위해 시멘트소성로의 기본 연료인 유연탄과 보조연료의 사용 조건에 따른 제품 및 환경에 미치는 영향에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 현재 시멘트사에서 사용하고 있는 보조연료를 분석한 결과, 고형연료 제품과 비성형(Fluff) 형태의 폐기물과 품질의 차이는 나타나지 않았다.

둘째, 여러 가지 형태의 연료를 사용하였을 때, 제품(클링커)에 대한 분석결과 폐합성수지의 가공형태와 보조연료의 성분에 따른 클링커 중의 중금속 함유량은 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

셋째, 유연탄 단독 사용과 유연탄 및 보조연료 사용조건에 따른 복합악취 회색배수는 공업지역 배출허용기준에 비하여 크게 낮게 나타났다.

넷째, 시멘트소성로에서의 보조연료 사용에 의한

대기환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 가스상 대기오염물질 중 질소산화물의 배출농도는 유연탄만을 사용한 경우 기준치를 1.5% 초과하였고, 오히려 폐합성수지나 RPF, 타이어 등의 보조연료를 혼합하여 사용한 경우는 기준치를 모두 만족시켰다.

다섯째, 입자상 대기오염물질 전 항목에 대하여 보조연료 사용시 관련기준을 모두 만족하였다. 먼지의 경우 대기배출허용기준을 크게 하회하였으며, 매연 또한 기준치 이내로 나타났다.

여섯째, 다이옥신은 2008년 이전까지 소각로 기준인 1.0ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>(O<sub>2</sub>:13%)을 모두 만족하였을 뿐만 아니라, 2008년 이후 10배 강화된 소성로 기준인 0.1ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>(O<sub>2</sub>:13%)에 대해서도 모든 조건에서 만족하였다.

결론적으로 본 연구결과, 시멘트소성로에서 폐기물인 비성형(Fluff) 형태의 폐합성수지와 고형연료 제품인 RPF를 보조연료로 투입하여 사용 영향을 평가한 결과 대기오염물질 배출특성과 제품에 대한 영향은 폐기물과 재활용제품 형태와는 무관한 것으로 조사되었다. 또한 제품인 RPF와 제품이 아닌 폐기물(폐합성수지, 폐목재, 폐타이어 등)을 보조연료로 각각 사용한 경우에 있어서도 대기오염배출기준 항목에 따라 측정값이 다양하게 나타나 특별한 경향을 찾기는 어려웠으며, 대기오염배출 특성에 있어서 차이가 거의 없는 것으로 조사되었다. ▲

## 시사 용어 해설

### ▶ 테일러준칙(Taylor's rule)

중앙은행이 금리를 결정할 때 경제성장률과 물가상승률에 맞춰 조정하는 것을 말한다. 이에 따라 중앙은행은 실제 경제성장률과 잠재 경제성장률의 차이인 GDP갭과 실제 물가상승률과 목표 물가상승률과의 차이인 인플레이션갭에 가중치를 부여해 금리를 조정한다. 미국 등 세계 대부분의 국가에서 통화정책의 기본 모델로 활용하고 있다.