

# 시멘트 산업에서의 산업폐부산물 재활용 선진 기술

이종필\* · 박춘근

<한국생산기술연구원>

## 1. 서 론

산업폐부산물은 발생원에 따라 다양하게 발생하고 있으며, 그 발생량도 산업이 고도화됨에 따라 증대되고 있는 실정이다. 산업 폐부산물은 대부분 매립 및 소각으로 처리되고 있는 실정이다. 그러나 매립 및 소각 처리는 매립지의 부족, 매립지 침출수, 소각에 의한 대기오염 및 다이옥신의 발생등으로 많은 문제점을 발생시키고 있다.

따라서 산업폐부산물을 매립 및 소각과 같은 단순한 처리 보다는 재활용에 의해 환경부하를 감소시키는 방안이 모색되어야만 한다.

시멘트 킬른은 산업 폐부산물을 처리하는데 있어 2차 오염물질을 전혀 배출하지 않는 매우 효과적인 처리 설비일뿐만 아니라 가장 안전하고 완벽한 폐기물 처리시설로 인식되고 있으며, 시멘트 소성로에 의한 폐자원의 재활용은 세계적으로 보편화되고 있는 실정이다.

산업폐부산물은 특성에 따라 가용성 및 불용성으로 구분되어 재활용 여부가 결정되어진다. 즉 산업폐부산물의 물리적, 화학적, 열적 특성에 따라 대체연료, 보조원료 및 회토류 금속의 회수 등의 방법으로 재활용될 수 있다.

시멘트 산업에서의 산업폐부산물의 재활용 비율은 점차 증가하고 있으며, 일본 태평양 시멘트는 2001년 시멘트 1톤 생산에 소요되는 폐기물의 양(폐기물원단위)이 280kg/톤-시멘트이며(국내 193.1kg/톤-시멘트), 2010년에는 400kg/톤-시멘트를 목표로 폐기물 재활용 정책을 적극적으로 수용하고 기술개발에 매진하고 있는 실정이다. 따라서 국내에서도 폐기물의 재활용 활성화

를 위해 부단한 기술개발이 필요한 실정이며, 이를 위하여 해외 시멘트 산업에서 산업폐부산물의 재활용에 대한 선진기술들을 소개하여 국내 산업에서 적용하는데 기초자료로 제공하고자 한다.

## 2. 산업폐부산물의 처리시설로서의 시멘트 산업의 특성

시멘트산업은 킬른을 이용하여 각종 산업폐부산물을 원료 및 연료로 재활용하고 있으며, 고로슬래그, Fly ash등을 시멘트 혼합재로서 활용함으로써 에너지절약, 원가절감 및 자원재활용에도 기여하고 있다.

최대온도 2,000 ℃로 피소성물을 1,450 ℃까지 상승시킬 수 있는 시멘트 소성로를 이용한 폐기물 처리는 기존의 폐기물 처리시설보다 우수한 성능을 가지고 있으며 약간의 설비만 보완하면 되므로 기존의 소각로와 비교해서 매우 경제적이다.

그리고 처리시 발생하는 재(Ash)는 시멘트의 원료로 사용되므로 오염물질의 발생이 없이 폐기물을 처리할 수 있다. 시멘트 킬른에 의한 폐기물의 처리시 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 기존 시설의 사용으로 NIMBY 현상으로 부터의 해방
- 대용량의 처리 능력
- 고온의 가스온도 및 긴 체류시간 (최대 2000℃, 5초이상의 체류시간)

- 충분한 산소분위기 및 난류의 형성  
(공기비 1.1 이상/난류로 완전연소)
- 중화 및 세정작용
- 2차 공해 발생하지 않음

따라서 이러한 장점들을 십분 활용하여 선진국에서는 80년대 후반부터, 시멘트 산업의 특성인 원료 및 연료의 대량 소비를 산업 폐부산물로 대체하여 가연성 폐부산물은 에너지원으로, 비 가연성 폐부산물은 시멘트 4대원소인 Calcium Oxide, Iron Oxide, Silicon Oxide 및 Aluminium Oxide의 원료로 사용하고자 하는 연구 개발을 수행하여 왔다. 이러한 연구결과 현재에는 유럽, 일본, 미국 등지의 시멘트 산업에서 이들 폐부산물의 재활용이 일반화 되어, 천연자원의 보호뿐만 아니라 2차 오염이 없는 산업 폐부산물의 처리 효과 까지 있기 때문에 정부차원에서

도 적극적인 지원을 하고 있는 실정이며, 향후 시멘트 산업이 환경산업으로 전환될 것으로 예상된다.

### 3. 해외 시멘트 업체의 재활용

#### 3.1 태평양 시멘트

태평양 시멘트는 2001년도 10개 시멘트 공장이 회사 내외부로부터 확보하여 재활용한 폐기물, 부산물은 658만톤이며, 이것은 전년도 보다 10만톤의 증가를 보였다. 이것으로 인하여 시멘트 1톤 생산하는데 재활용된 폐기물의 양 (폐기물 원단위)는 280kg/톤-시멘트로 증가되었다. 태평양시멘트에서는 석탄회 사용이 증가하였고, 천연 석고가 부산 석고로의 대체가 이루어지고 있으며, 도시쓰레기 소각회와 정수, 하수오니

<표 1> 태평양 시멘트의 폐기물 사용량 및 폐기물 원단위

	사용량(톤)			폐기물원단위 (kg/톤-시멘트)			
	'99	'2000	'2001	'99	'2000	'2001	
산업계 폐기물 및 부산물	폐유	17,821	47,854	50,870	0.7	2.0	2.2
	재생유	95,647	79,215	85,926	3.9	3.3	3.7
	폐백토	8,338	14,955	9,643	0.3	0.6	0.4
	페타이어	125,233	145,293	104,902	5.2	6.0	4.5
	고로슬래그	2,161,962	2,172,474	1,954,366	89.0	89.6	83.2
	전로슬래그	275,981	196,590	214,522	11.4	8.1	9.1
	비철광재	377,678	428,085	425,758	15.5	17.7	18.1
	주물사	112,250	142,748	139,229	4.6	5.9	5.9
	폐목재	95,484	12,389	0	3.9	0.5	0.0
	미연ash, 분진, 더스트	154,552	200,526	215,723	6.4	8.3	9.2
	석탄회	1,587,125	1,778,998	2,032,264	65.3	73.4	86.5
	오니,슬러지	339,223	270,179	255,769	14.3	11.1	10.9
	부산석고	686,523	719,440	705,571	28.3	29.7	30.0
	건설폐재	1,494	46	7,124	0.1	0.0	0.3
	폐플라스틱	21,705	46,114	71,969	0.9	1.9	3.1
	기타(원료계)	124,325	61,238	80,968	5.1	2.5	3.4
	기타(연료계)	0	14,238	19,220	0.0	0.6	0.8
소계	6,185,341	6,330,382	6,373,824	254.6	261.2	271.3	
생활계 폐기물	도시쓰레기 소각회	0	5,406	10,973	0.0	0.2	0.5
	정수,하수오니(소각회)	103,008	137,167	184,405	4.2	5.7	7.8
	RDF	4,595	4,556	4,070	0.2	0.2	0.2
	기타일반폐기물	-	-	5,678	0.0	0.0	0.2
	소계	107,603	147,129	205,126	4.4	6.1	8.7
합계	6,292,944	6,477,511	6,578,950	259.0	267.3	280.0	

등의 생활계 폐기물의 취급 요청에 적극적으로 대응하고 있다는 것이 태평양 시멘트의 특징이다. 이들 폐기물의 시멘트 자원화에 있어서 염소 제거라는 장애가 있지만 염소바이패스와 소각회 수세 기술의 개발로 극복하였다.

태평양 시멘트에서는 매립 처분장 고갈 등의 큰 문제점이 있지만 시멘트 산업과 같은 기존의 인프라를 활용한 폐기물 리사이클링이 순환형 사회 구축의 지름길임을 인식하고 2010년도까지 폐기물 원단위 400kg/톤-시멘트의 목표 달성이 가능하도록 기술적인 과제의 극복을 위해 노력함으로써 염소와 중금속을 분리, 제거·회수하는 기술을 실용화 수준까지 높이고, 현 상태에서는 처리가 곤란한 폐기물의 리사이클링에도 적용될 수 있을 것이라고 기대된다.

**(1) Solid Waste의 리사이클링**

태평양 시멘트는 사이타마현, 구마가야현과 협력하여 폐기물 소각로에서 발생하는 소각회와 잔재물을 시멘트 원료로 이용하기 위한 시스템을 1998년 개발하였다. 시스템 개발전에는 도시 소각회에 함유되어 있는 염소 성분이 너무 높아 시멘트 원료로 사용할 수 없었지만, 세척 공정을 이용함으로써 소각회내에 함유되어 있는 상당량의 염소를 제거할 수 있기 때문에 시멘트 원료로 사용하는 데에는 큰 문제가 되지 않게 되었다.

이 시스템을 통하여 태평양 시멘트는 예전에는 매립처리 되었던 소각회를 시멘트 원료로 매년 63,000톤 활용하고 있다. 또한 태평양 시멘트는 소각하지 않은 도시 고형 폐기물(Municipal Solid Waste, MSW)을 활용하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템에서 MSW는 rotary digester에 넣고 2~3일간 폭기 및 발효됨으로써 균질화 되어질뿐만 아니라 취급과 분류와 용이한 안정된 물질로 변화된다. 이러한 공정을 거친 폐기물은 시멘트 킬른에서 포틀랜드 시멘트 제조용 원료 및 연료로 이용되어진다. 이러한 설비는 Hidaka 시의 사이타마공장에 설치되었으며, 2001년 3월부터 시험 가동되어 매년 MSW 15,000 톤을 처리하고 있다.

그리고 대부분 매립 처리되고 있는 정수장 슬러지 및 하수 슬러지를 안정적이고 효과적인

처리로 시멘트 원료화 하기 위하여 다음과 같은 4가지의 처리기술을 개발하였다.

- Sewage sludge ash
- Super Lime System
- Truck Container Collection System
- N-Powder System

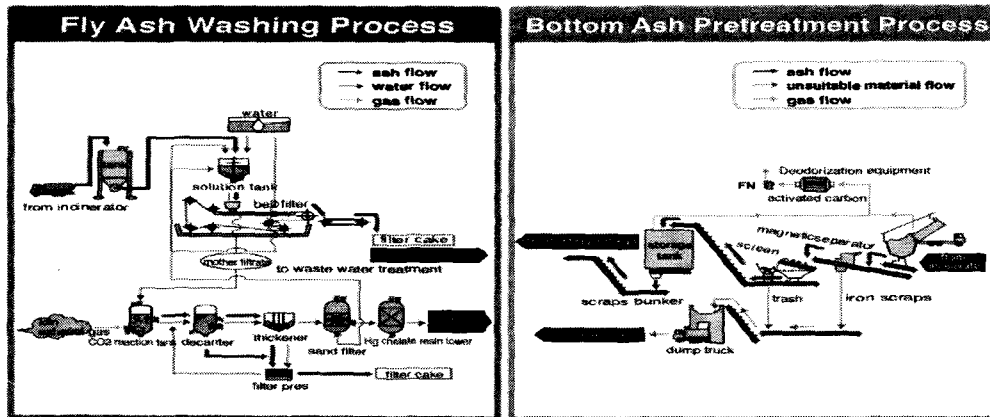
또한 시멘트 킬른의 보조 연료로서 페플라스틱과 페타이어를 사용하고 있다. 페플라스틱은 분쇄기(Shredder)를 이용하여 일정한 크기로 절단한 후 사용하고 있으며, 페플라스틱을 대량으로 처리하기 위해 페플라스틱 분쇄기의 용량을 증대시키고 있다. 페타이어는 고온의 킬른에 적용됨으로써 소각에 의한 대기 오염의 가능성을 제거하고, 타이어 내부에 함유되어 있는 금속 성분을 시멘트의 철질 원료도 이용되어 오염 물질이 전혀 발생되지 않기 때문에 보조연료로 사용되고 있다.

일본에서는 나무, 플라스틱 및 금속 성분으로 만들어진 폐 pachinko machine을 소각로에서 처리할 수 없어 많은 어려움을 겪어왔다. 그러나 태평양 시멘트는 pachinko machine 제조업체와 협력하여 pachinko machine을 효과적으로 처리할 수 있는 방법을 개발하였으며, 향후 그 처리능력을 증대시키고, slot machine등의 다른 제품의 처리에도 확대할 계획이다.

그리고 태평양 시멘트는 화력 발전소에서 발생하는 coal ash 를 선박등을 이용하여 시멘트 공장에 안정적으로 공급할 수 있는 시스템을 개발하는데 많은 노력을 기울여 왔다. 그러나 시멘트 대체 원료 이외의 보다 효과적이고 편리한 처분 방법을 개발하여 토목 및 건설 분야의 재료로서 활용할 수 있도록 “Ash Business Center”를 설립하였다.

현재 태평양 시멘트는 다음과 같은 Ash Center을 보유하고 있다.

- Fujiwara Ash Center (미에현 소재)
- COMRES CORPORATION Kinuura Ash Center (아이치현의 추부 발전소와의 joint venture)



<그림 1> 석탄 ash의 전처리 공정

- Kanto Ash Center  
(카나가와현, 2001년 4월 개원)  
⇒ FA Mortar, CA Concrete, Backfill 생산

태평양 시멘트는 후쿠오카현과 후쿠이현에 coal ash 혼합용 중간 처리 공장을 설립하여 보다 많은 coal ash를 체계적으로 사용할 계획을 수립하고 있다.

또한 상업 용지의 매입이나 재개발하기 이전에, 자본 투자자들은 대상 토지가 산업용으로 사용되어 왔던 사실을 근거로 대상 토지의 오염 정도가 어떠한지를 확인하고자 하는 인식이 점차 대두되고 있는 실정이다. 이러한 토지는 다이옥신, 중금속, 유기 용제 및 폐유등이 쉽게 검출되고 있다. 따라서 태평양 시멘트에서는 오염된 토양을 고온 처리를 하여 이러한 지역의 오염원이 제거 될 수 있도록 노력하고 있다.

## (2) 실증 플랜트 사례

「염소 함유 더스트 재자원화 실증 플랜트」는 재단법인 Clean Japan Center에서 완성하였고, 태평양 시멘트가 실증시험과 플랜트의 관리 운영을 담당하였다.

시멘트등을 제조하는 플랜트, 혹은 쓰레기 소각 처리 플랜트등에서 염소와 중금속이 반응하여 발생하는 염화물 및 염소 함유 더스트는 시멘트 고화등의 처리후 특별 관리되는 폐기물로 최종 처분되거나, 공정에 미량 재투입 시키는 경우가 많다.

이러한 상황에서 “염소 함유 더스트 재자원화 실증 플랜트”는 염소 함유 더스트중의 중금속 화합물을 추출하여, 소위 산원환원(山元還元) 시킨다. 이것에 의해 시멘트 제조 공정과 소각회를 처리하는 공정등에 있어서 염소 함유 더스트를 추출하는 설비와 함께 본 기술을 채용함으로써 최종 처분장의 환경 부하가 대폭 경감되는 동시에 자원의 유효 활용을 기대할 수 있다.

## 3.2 Mitsubishi Materials

Mitsubishi Materials은 비철 제련 및 시멘트 제조, 알루미늄 캔 및 환경 에너지 사업을 영위하고 있는 기업으로서 재자원화 가능성이 높은 폐기물등을 처리하는 양이 매년 증가하고 있다.

Mitsubishi Materials은 각 사업이 보유하고 있는 인프라 설비를 유기적으로 결합시킴으로써 재료측면에서의 zero emission을 구축해 나가고 있다. 또한 Mitsubishi Group의 각사와도 제휴하여 다양한 성상의 폐기물을 처리하는 환경사업의 확충에 노력을 기울이고 있으며, 환경부하의 저감과 환경보전을 목표로 하고 있다. 이를 위해 Mitsubishi Materials 에서는 시멘트 산업의 원료와 연료로서 석탄재와 고로슬래그, 하수슬러지, 페타이어, 그리고 기타 폐기물의 양을 효율적으로 처리할 수 있는 시스템의 개발에 노력하고 있으며, 일본내 6개 시멘트 공장에서 시멘트 제조시 원료로서 산업폐부산물을 연간 380만톤 처리하여 시멘트 1톤당 약 330kg을 처리하고 있다.

Mitsubishi Materials은 폐부산물의 시멘트산업 적용을 위한 많은 기술을 개발·적용하고 있다.

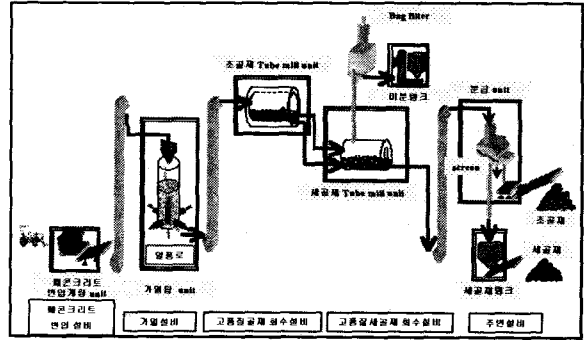
그 예로 하수슬러지를 적극 수용하여 시멘트 원료의 구성성분으로 이용하는 시스템을 일찍이 개발하였다. Mitsubishi Materials의 독특한 "Direct Injection System"은 하수 슬러지를 로터리 킬른안에 직접 주입하여 클링커를 제조하는 시스템으로서 CO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>가 최소한으로 배출되고, 어떠한 2차 산업 폐부산물도 발생되지 않기 때문에 친환경적이며 효과적인 system 이다.

이 시스템은 Kurosaki, Kita-Kyushu시와 Yokoze, Saitama 현에 있는 Mitsubishi Materials의 시멘트 공장에서 운영중에 있으며, 연간 8만 톤의 하수 슬러지를 재이용하고 있다. 더욱이 Kyushu 공장은 사회의 산업폐부산물 처리 수요에 대처하기 위해 2001년 6월에 Direct Injection System을 설치하였다.

그리고 보조원료로서 RDF와 페타이어를 재활용하여 사용하고 있다.

도시 쓰레기를 고품연료화한 RDF는 자원순환형 사회에 적합한 폐기물 처리법으로 이용되고 있다. Mitsubishi Materials은 1997년 1월 후쿠오카현에 RDF 제조를 위한 Kanda Eco Plant를 설립하였으며, 1998년 8월 모든 도시형 폐기물을 받아들여 RDF로 재생하였다. 이 공장의 특징은 쓰레기의 독특한 냄새가 전혀 없다는 것이다.

이 공장은 가동을 개시하여 2000년 9월 23,000톤의 쓰레기를 13,000톤의 RDF로 재생하기까지



<그림 3> 고품질 재생골재의 회수과정

아무런 문제없이 가동되고 있다. RDF로의 생산은 더 이상 소각로가 필요치 않게 되었으며, 이로 인해 소각로 가동시의 다이옥신과 소각회 처리 문제(매립등의 문제)도 해결되어졌다. 즉 RDF를 시멘트공장에 사용함으로써 소각회가 전혀 발생되지 않아 매립지 문제가 해결되었고, 쓰레기의 소각에 필요한 보조연료가 필요없기 때문에 CO<sub>2</sub> 배출 문제도 해결되었다. Mitsubishi Materials의 Kyushu Plant에서도 RDF를 사용함으로써 석탄소비를 상당량 절감시켰다.

페타이어는 원형 혹은 Chip 으로 만들어 연료로서 대량으로 유효 이용하고 있으며, 타이어의 스틸코드도 철질 원료로서 이용되고 있다.

또한 건설오니와 재생골재 회수 plant에 대한 기술도 개발하여 건설폐기물의 재활용에도 많은 노력을 기울이고 있다.

즉 건설오니를 시멘트의 원료로 이용하기 위한 설비를 개발하여 다음과 같이 재활용을 하고 있다.

<표 2> Mitsubishi Materials 의 자원화 폐기물의 종류

금속류	인듐, 귀금속류, 구리, 주석, 납 등
Cable류	구리선, 광파이버
광재	주물사, 고로슬래그, 동슬래그, 납함유 슬래그
Shredder Dust	자동차, 가전
슬러지, 오니류	귀금속함유오니, 주석함유오니, 하수오니, 정수오니, 건설오니 등
폐플라스틱류	쓰레기 고품화 연료, 섬유강화 플라스틱(FRP)
기타	알루미늄캔, 종이, 유리, 도자기, 폐목재, 고무, 폐액, 폐유, 페타이어, 폐배터리, 석탄회 등

- 저함수의 건설오니는 직접 시멘트 원료화한다.
- 고품수의 건설오니는 공장내의 고화설비를 거쳐 시멘트 원료화한다.
- 2차폐기물은 발생하지않으며, 대부분 시멘트화 된다.

또한 재생골재 회수 플랜트는 Mitsubishi Materials 독자적인 가열방식에 의해 콘크리트 폐기물로부터 보통골재와 동등한 품질의 재생골재를 만드는 시스템으로서 일본건축센터로부터 일본 최초로 건축구조용 재생골재로서 인정받았다.

### 3.3 宇部興産 (Ube)

Ube는 Ube group내에서 발생하는 산업폐부산물과 일반폐기물을 시멘트 공장으로 반입하여 시멘트 제조의 원료 및 연료로서 유효하게 이용하고 있다. 전체 원료의 32.2%에 상당하는 312

만톤과 전체 연료의 1.4%에 해당되는 1만 9천톤의 산업폐부산물을 이용하고 있다. Ube는 순환형 사회의 구축을 위하여 다음과 같이 group의 역할을 분담 및 제휴하여 시행해 나가고 있다.

- Group의 각 사업장은 먼저 폐기물의 발생을 억제하고, 발생된 폐기물은 각 사업장 자체에서 최대한 유효이용을 꾀한다.
- Group의 화학·수지부문, 건설자재부문(시멘트), 기계·금속성형부문, 에너지·환경부문의 사업과 기술의 특징을 살려 제휴하여 폐기물의 3R (Reduce, Recycle, Reuse)에 노력한다.
- 건설자재부문(시멘트)에서는 대량의 폐기물을 반입하여, 원료·연료로서 유효 이용하여 천연 자원의 절약을 도모하고 있다
- Ube는 Group 내에서 발생하는 폐기물은 가능한한 자체 처리를 기본으로 하지만 위탁처리를 할 경우 폐기물의 이동량, 선행등

<표 3> 일본 ASO 시멘트의 폐기물 사용 현황

구분	사용목적	사용량(톤/년)	특 성	
TAGAWA Plant (4,500ton/day)	폐산	공업용수대체	9,000	수분100%
	오니류	연료대체	13,000	발열량2,000~3,000kcal/kg / 수분 60~65%
	폐유	연료대체	8,000	발열량 4,500~5,500kcal/kg / 수분 20~30%
	Mud, Oil	조연제	250	발열량2,500~3,000kcal/kg / 수분 30%
	석탄회	점토질원료대체	21,000	발열량 0~1,000kcal/kg
	무기오니	점토질원료대체	110,000	발열량 ~1,000kcal/kg 수분 50~70%
	건설폐재	원료대체	110,000	CaO 15~20%, SiO <sub>2</sub> 40~50%
	주물사	규산질원료대체	5,000	SiO <sub>2</sub> 65~75%
	광재	철질원료대체	8,000	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50~55%
	소계		174,250	
KANDA Plant (3,500ton/day)	폐산, 폐알카리	원료건조기 온도조절	5,000	
	폐유	연료대체	5,000	
	폐백토	연료대체	33,500	
	페타이어	연료대체	10,000	
	폐플라스틱	연료대체	5,000	
	주물사	연료대체	45,000	
	미연재, 분진	연료대체	1,000	
	석탄재	연료대체	4,500	
	석탄재계	연료대체	4,500	
	오니, 슬러지	연료대체	15,000	
소계		129,000		

을 관리하기 위하여 산업폐부산물 관리표를 이용하여 최종 처분될때까지 철저히 감시를 한다.

### 3.4 일본 ASO 시멘트

일본 ASO 시멘트는 Tagawa 공장에서 연간 174,250톤을, Kanda 공장에서 연간 129,000톤의 산업폐부산물을 사용하고 있으며, 종류는 <표 3>에 나타내었으며, 산업폐부산물을 킬른 공정에 원활하게 사용하기 위하여 염소 바이패스 시스템을 설치하여 가동중에 있다.

### 3.5. Lafarge

Lafarge사에서 산업 폐부산물의 재활용 체계는 시멘트업체와 발생원 중간에 시멘트의 품질과 설계에 익숙한 전문가가 포진한 폐기물 재활용 업체를 선정하여 이 회사에서 시멘트 산업에 적용할 폐기물을 입수, 검수, 품질 관리하여 사용하고 있다. 특히, 이 회사의 검수가 있어야

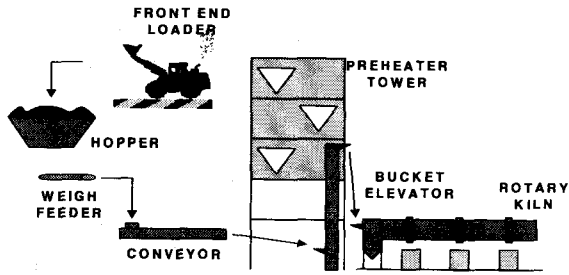
만 시멘트 회사에 들어올 수 있으며, 관리항목을 재활용 회사와 시멘트 회사에서 동시에 분석하여 시멘트의 원·연료로 활용할 수 있게 하고 있다. Lafarge는 그룹의 최고 경영회의에서 대체연료 및 원료의 사용에 우선순위를 두는 전략을 재확인하고 각 사업장별로 개발계획을 수립토록 하고 있으며, 다음과 같은 목표를 달성하기 위해 노력하고 있다.

- 그룹의 경쟁력 강화
- 화석연료 및 천연원료의 절감
- 유기성 폐기물의 안전 소각처리의 기대에 대한 부응

이를 위해 각 나라별로 Waste Project Manager를 두고 정보를 교류하고 있으며 사내에 Waste Data base를 구축할 예정이다. 장기적으로는 2010년 2,500,000톤의 CO<sub>2</sub>를 저감하며, 2,500,000톤의 폐기물을 처리할 목표를 세우고 있다. Lafarge는 46개국에 113개의 시멘트공장과 30개의 분쇄 공장을 보유하고 있다.

<표 4> Lafarge 의 폐부산물 사용 현황

공 장	폐부산물	용 도	비 고
Larfage cement, Malaysia	Palm kernel shell(biomass)	secondary fuel (precal. 직투)	전체 에너지 소비량의 10% 절감 CO2 방출저감(140,000톤/yr)
Larfage Cement, Iligan	Rice husks (biomass)	rotary dryer의 연료대체(원료건조용)	2백만리터의 bunker fuel oil 절감 CO2 방출저감
Hima Cement	Coffee husks	secondary fuel	에너지 비용 10% 절감
Larfage North America, Atlanta	Scrap Tires	alternative fuel	Tire 330,000 개 이용 NOx 배출 저감 (4.6%) 석탄사용량 절감 (4,500톤)
Larfage Ciments, La Malle Aso Cement	meat and bone meal	alternative fuel	2001년 5,000톤 사용(La Malle) 2003년(12,000톤 사용 계획(Aso) CO2 저감 / 에너지비용 절감
Larfage Ciments, La Couronne	Semi-solid wastes with sawdust	alternative fuel	2001년 이후 4,800톤의 waste 함유 sawdust 사용
Larfage Perlmoozer, Retznei	Plastics	alternative fuel	염소바이패스 시스템 설치 염소함유 Dust는 cement admixture로 활용 2003년 에너지 전체 소비량의 25% CO2 방출 저감



<그림 4> Cemstar Process의 공정도

### 3.6 TXI / Cemstar

미국의 철강 부산물의 슬래그 알갱이(18~22mm)를 시멘트 Kiln에 직투입하여 원료로 재 활용하는 기술을 Cemstar Process 로 명명하고 있다. 이것은 철강 공장에서 부산되는 철강 부산물을 100% 시멘트 원료로 재활용하는 것으로 현재 미국의 남서부지역에 확산되어 적용중에 있다.

Cemstar 슬래그의 화학조성은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 26.10%로, 국내의 제강슬래그보다 다소 낮은 수준으로 철질 보조원료로 사용가능한 원료이다.

Cemstar 슬래그로 제조한 시멘트의 분말도 변화로 Type I 시멘트와 같은 응결 및 압축강도를 충족시키며, Cemstar Process를 적용하여 생산되는 시멘트는 Type I/II 제품이다. Type I/II 시멘트는 현재 미주 수출용으로 동해지역에서 생산하고 있는 시멘트이다.

<표 5> Cemstar Slag 화학조성 및 국내 발생 Slag의 비교

슬래그	주요 화학성분 (%)				
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
Cemstar	13.93	6.89	26.10	34.90	6.99
POSCO	11.90	6.91	39.37	34.61	7.19

Cemstar Process 를 국내 적용할 경우 해양구조물이나 대형 구조물에 사용되는 Type II 시멘트의 대응으로 활용가능하며, 현재 동해 지역에서 미주 수출용으로 Type I/II 시멘트를 제조하여 판매하고 있어 수출용으로 생산하는 것이 가능해진다. 그러나 국내의 경우 발생하는 슬래그와 시멘트 공장과의 거리가 멀어 물류비용의 상승이 예상되어 Cemstar process와 같은 폐기물 재활용 Process 적용에는 정부의 지원책이나 폐기물 발생업체의 지원이 있어야 경제성이 있을 것으로 예상된다.

### 3.7. Holcim

Holcim사는 환경문제를 Group의 가장 중요한 전략으로 수립하여 실천하고 있으며, Kiln emission을 최소화하기 위해 새로운 high-tech filter system에 투자하고 있다.

Holcim사는 시멘트 제조공정에 대체원료 및

<표 6> Cemstar Process 적용 전후의 시멘트 재료의 품질변화

항목		Pre Cemstar		Post Cemstar
		Type I	Type I/II	Type I/II
Vicat Setting (min)	W/C(%)	25.8	24.8	26.0
	Initial	105	100	100
	Final	225	220	220
Flow (W/c=48.5%)		104	113	115
Compressive Strength (psi)	1 day	2,184	2,021	1,818
	3 days	3,819	3,576	3,493
	7 days	4,919	4,630	4,803
	28 days	6,133	6,216	6,560
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)		3,540	3,440	3,750



연료의 이용과 다른 산업에서 발생하는 폐기물의 재활용에 노력하고 있을 뿐만 아니라, 물류비의 절감을 위해서 육상 수송에서 철도 수송 및 해양 수송으로 운송 수단의 변화를 꾀하고 있다.

### 3.8 CEMEX

CEMEX사는 “In Harmony with Nature”라는 슬로건을 앞세워 천연자원과 에너지의 이용효율을 극대화시키기 위해 1994년 CEP(CEMEX Ecoefficiency Program)를 도입하였다. 이 program하에서 아래와 같은 활동을 통해 1999년 3,000만 달러의 절감 효과를 가져왔다.

- 제조공정, 채광, 새로운 설비 설계에 대한 기술 개발
- 재료의 재활용
- 시멘트와 같은 성질을 갖는 천연재료의 이용
- 대체연료 및 폐연료의 이용
- 환경 효율성에 대한 문화의 촉진

### 4. 결 론

시멘트 산업에서 산업폐부산물의 재활용을 위해 선진 각국의 시멘트 업체에서는 관련 기술의 개발과 적용에 적극적으로 대응하고 있음을 알 수 있다.

시멘트 산업에서의 산업폐부산물의 재활용은 단순히 원가 절감의 차원에서만이 아니라 폐자원의 사회 순환 시스템의 구축을 통한 환경부하의 저감에도 적극적으로 기여하고 있다.

이러한 추세에 따라 일본의 태평양 시멘트에서는 2010년 폐기물 원단위를 400kg/톤-시멘트를 목표로 폐부산물 재활용 기술 개발을 위해 매진하고 있듯이 국내 시멘트 산업에서도 폐부산물의 재활용을 위해 단순 적용기술 보다는 선진국에서와 같이, 보다 적극적으로 2차 오염이 없는 환경기술을 개발하여 향후 전개될 시멘트 산업의 미래기술로 선진 환경기술 개발에 적극적으로 연구개발을 수행할 필요가 있다. 또한 국가에서는 국내 시멘트 산업의 기반기술의 조기확보를 위하여 시멘트 산업의 의견을 수렴하여 지원체제를 수립하여 조기에 국내 사업의 선진환경산업으로의 전환에 종합적인 지원이 이루어져야 하겠다.

### < 참 고 문 헌 >

1. Enviromental Report, 태평양시멘트(주), 2001
2. Alternative Fuels and Raw Materials Industrial Directors Meeting, Lafarge, 2000. 10
3. Recycling Japan, 1997
4. Clean Japan, 1997, 10
5. セメントハンドブック, 社団法人セメント協會, 2000
6. 박춘근, 시멘트산업에서의 Recycling을 통한 Zero Emission 화, 세라미스트, 제5권 제 5호 pp. 7, 2002
7. Takashi Shimoda, A Mature Industry's Innovation Towards Industrial Ecology, Taiheiyo cement Corporation