

# 시멘트 산업의 환경친화산업으로의 전환 및 전망

김 환 (서울대학교 재료공학부 교수, 한국세라믹학회 회장)

## 1. 서 론

시멘트 산업은 주원료인 석회석과 점토 광물, 기타 물질 등을 혼합·분쇄하여 1,450°C 이상의 온도에서 소성한 후, 석고를 첨가한 후 밀에서 분쇄하여 시멘트를 생산하는 장치산업이다. 국내 시멘트 생산 규모는 약 5,000만톤 이상으로 국내산업에서 차지하는 비중이 약 5%임에도 불구하고 산업 분야에서 소외되어 왔던 것이 사실이다. 또한 시멘트는 화석연료를 사용하여 고온에서 제조되기 때문에 CO<sub>2</sub>(g)와 NO<sub>x</sub>가 다른 산업에 비하여 많이 배출되므로 대기오염의 미치는 영향이 큰 산업이다. 그러므로 선진국에서는 대기오염물질의 발생을 저감시키는 기술의 개발 뿐만 아니라 그리고 시멘트 설비가 폐기물 처리에 적합한 설비로 부각되면서 폐기물을 시멘트 원료 및 연료로 활용하는 연구가 상당히 진행되어 상용화 단계에 이르고 있다. 그러나 폐기물의 사용에 따른 시멘트 제조공정 및 품질상의 문제가 발생된다. 따라서 CO<sub>2</sub>(g) 및 NO<sub>x</sub>의 저감과 처리방안 및 폐기물을 시멘트 원료 및 연료로 활용할 수 있는 배기가스 저감기술과 원료 및 공정기술이 개발된다면 시멘트 산업이 환경친화산업으로의 중추적인 역할을 할 수 있는 제2의 전환시점이라고 볼 수 있다.

이에 따른 시멘트 제조공정에서 발생하는 대기오염물질의 저감 기술과 시멘트 제조 공정을 이용한 폐기물의 재활용에 따른 전처리(분급, 분리/선별 기술) 원료화 및 공정 기술을 확보해야만 한다.

## 2. 폐기물을 시멘트 산업으로의 활용

시멘트 제조공정은 타 산업의 공정과 비교하여 단순하고 연료를 많이 사용하는 에너지 다소비 산업이므로 시멘트를 제조할 때 CO<sub>2</sub>(g), NO<sub>x</sub>, 분진 등의 발생을 저감하는 대기오염 방지기술과 폐기물의 재활용을 위한 폐기물처리기술 그리고 주 에너지원으로 화석연료를 사용하므로 에너지를 절감하기 위한 공정을 개선하는 기술이 시멘트 산업에서의 환경친화기술로 볼 수 있겠다. 그러나 연료 및 원료를 절감하기 위한 핵심기술을 꾸준히 개발하여 왔음에도 불구하고, 아직 기술 개발이 미비한 수준으로 이들 기술이 개발된다면 시멘트 산업이 환경친화적 산업으로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

그러므로 21세기는 시멘트 산업의 역할을 충분히 인식하여 자원순환형 사회의 실현과 지구환경보전에 적극적으로 공헌할 필요가 있다. 자원순환형 사회의 실현을 위해서는 시멘트 산업에 있는 기술과 노하우를 바탕으로 폐기물의 단순한 재활용에 만족하지 않고 타산업과 연계하여 폐기물의 발생을 Zero화 할 수 있는 핵심 산업이 되어 성력화 및 최종처분장의 수명연장에 기여하여야 할 것이다. 또한 지구환경보전에 있어서는 종래부터 추진하고 있는 환경보전활동에 더해 사회 전체적으로 CO<sub>2</sub>(g) 배출억제에 관련된 연료대체 폐기물의 이용과 신기술, 설비의 도입 등에 의해 에너지를 더욱 가일층 추진하여, 지구온난화 방지에 노력해야 한다.

&lt;표-1&gt; 시멘트 산업의 대상 기술

분 야	대상 기술
에너지 절감	<ul style="list-style-type: none"> <li>저에너지 소비형 분쇄 및 소성 부문의 공정 및 설비개발</li> <li>저에너지형 시멘트 개발</li> </ul>
폐부산자원의 시멘트 원료·연료활용	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라이애쉬(Fly Ash), 슬래그(Slag) 등 기타 폐부산자원(원료 및 연료 활용)</li> <li>폐가연성 물질</li> </ul>
대기오염 방지	<ul style="list-style-type: none"> <li>NOx, 분진 저감 및 방지를 위한 공정 및 설비개발</li> </ul>
폐기물 처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>중금속 고화처리제 개발</li> <li>핵폐기물 처리제</li> <li>폐기물 소각</li> </ul>

현재 시멘트 산업이 환경친화적인 산업으로 전환하기 위해 필요한 시멘트 산업관련 당면 기술분야를 <표-1>에 나타내었다.

### 3. 시멘트 산업에서의 환경친화산업기술의 국내외 동향

#### 가. 에너지 절감 분야

시멘트 제조와 관련된 최신기술은 NSP형 키른, 열교환율이 높은 크링카 냉각기, 버너(Burner), 예열기(Cyclone Separator), 고효율 분급기 적용, 예비분쇄시스템 및 롤러밀(Roller mill)의 도입에 있다. 우리나라의 시멘트 산업은 '90년 이후 NSP형의 개조 및 신설을 통해 NSP화율이 일본의 83%보다 높은 90%수준에 있으며, 예열기의 고단화(4→5단)로 폐열은 발전용보다 원료의 예열용으로 활용되는 경우가 대부분이다.

그러나 에너지 효율을 극대화하기 위해서는 아직도 상존하고 있는 설비의 개조 여지가 남아 있으며, CO<sub>2</sub>(g)의 발생량이 적은 벨라이트(Belite) 시멘트와 일본의 경우처럼 생활폐기물 소각재 및 하수 슬러지 등을 원료로 Alinite계 시멘트를 제조할 필요성이 크다.

#### 나. 산업 폐부산자원의 시멘트 원료·연료 활용분야

##### (1) 국내현황

시멘트 키른 특성상 원료나 연료에 대량의 폐기물과 부산물의 이용이 가능한 특징을 가지고 있다. 이러한 시멘트 공정에서의 폐기물 재활용은 크게 원료대체, 연료대체, 첨가제 및 응결지연제 대체 부문으로 구별할 수 있다.

시멘트 공정에 폐기물을 재활용할 때 폐기물의 화학성분이 천연원료의 화학성분과 유사한 것은 원료대체가 가능하며, 발열량을 갖는 것은 연료대체, 그리고 시멘트의 물성을 유지 또는 증진시키는 역할을 할 수 있다면 첨가제 대체 또는 응결지연제 대체가 가능하다. 따라서 국내의 산업폐기물의 재활용 연구는 1980년 중반부터 일부 시멘트업체와 대학의 연구기관에서 연구가 진행 중에 왔으나 주로 고로 수쇄 슬래그나 석탄회를 이용하기 위한 기술을 개발해 왔다. 그러나 이들의 재활용율은 산업폐기물 발생량이 18%정도에 해당되며 50~60%정도를 재활용하는 선진국에 비해서는 아주 미비한 실정이다.

그리고 사용되고 있는 산업폐기물에 함유되어 있는 미량성분의 영향성 평가는 거의 연구가 진행되고 있지 않고 있어 향후 발생량이 증가될 것으로 예상되는 산업폐기물의 처리뿐만 아니라 국내외적인 환경적인 문제를 해결하기 위하여 폐기물의 재활용 확대를 위한 적극적인 제반 연구가 수행되어야 할 것이다.

선진국의 폐기물을 재활용하기 위해 추진되고 있는 최근 연구방향은 폐기물 중에 함유되어 있는 소량성분(MgO, SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, R<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> 등)과 미량성분(Cl, Zn, Cr, Mn, Sr, Ba, F, Cd, As, V, Pb, Cu, Hg, Sb 등) 등이 시멘트의 제조공정 및 품질에 미치는 영향에 관한 연구가 진행중이다. 즉, 시멘트 제조공정에서는 유해물질의 휘발성, 인체에 대한 유해성, 소성성 등이 주로 평가되고, 품질적인 측

면으로는 유해물질이 수화반응, 압축강도에 미치는 영향과 각종 유해물질의 용출특성 등을 평가하고 Alinite 등과 같은 환경부하저감형 시멘트의 개발에도 총력을 기울이고 있다.

우리나라의 경우도 기존에 확립된 시멘트 기술과 연계하여 선진국에서 기본적으로 개발하고 있는 폐기물을 연료, 원료, 첨가제 등으로 활용을 위한 요소기술을 빠른 시일 내에 개발하게 되면, 시멘트 분야에서 새로운 기술강국으로 자리잡을 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 일본 현황

일본의 경우 1970년대부터 대부분 시멘트 공장에서 산업폐기물을 시멘트의 부원료로의 사용 가능성을 연구하여, 현재는 부원료로서 산업폐기물을 사용한 시멘트 제조가 활성화되고 있어 각종 산업폐기물에 대한 활용기술이 상당한 수준이다.

태평양 시멘트의 경우 1978년 후지하라 공장에서 페타이어를 민관공동으로 재생이용법을 연구하여 시멘트의 소성연료로서 사용 성과가 있으며, 현재는 각 공장에서 페타이어, 폐유, 미연탄, 오니, 슬러지,

<표-3> 일본 태평양 시멘트사의 산업폐기물 활용현황(2001년)

구 분	종 류	사용량(천톤)	kg/t-cement
원료대체	폐주물사	116.7	4.8
	석 탄 회	1,535.2	63.2
	철질원료대체	123.9	5.1
	소 계	1,775.8	73.1
연료대체	페타이어(TDF)	132.0	5.4
	페플라스틱(PDF)	13.0	0.5
	폐유(WDF)	100.2	4.1
	소 계	245.2	10.0
첨가제 대체	고로슬래그	2,200.0	90.5
	제지소각재		
	탈황석고	700.0	28.8
	소 계	2,900.0	119.3
<합 계>		4,921.0	202.4

<표-4> 산업폐기물의 요구품질

구분	재활용 산업폐기물	사용량산업폐기물의 품질 및 물성	
원료대체	슬러지	수분 25%이하, R <sub>2</sub> O 1%이하	
	폐주물사	SiO <sub>2</sub> 75%이상, R <sub>2</sub> O 1%이하 수분 10%이하	
	알루미나슬러지 알루미나회분	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 60%이상, 염소 100ppm 이하 수분 70%이하	
	철 함유물	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 30%이상, 염소 100ppm 이하	
연료대체	고체연료	페타이어	자동차 타이어
		목재, 페플라스틱	염소 1000ppm 이하, 수분 10%이하
	액체연료	폐유	염소 1000ppm 이하, 수분 20%이하 발열량 3,000kcal/kg
		석유중유	수분 25% 이하, 발열량 3,000kcal/kg
기체연료	나프타		

비철광재, 주물사, 생활폐기물 소각재 등에 대한 활용 연구와 산업폐기물에 존재하는 미량성분(중금속류)이 시멘트의 제조공정 및 시멘트 제품의 물성에 미치는 영향에 대한 연구가 활발히 진행으로 2001년 현재 <표-3>에 나타난 정도의 각종 폐기물을 사용하고 있다.

뿐만 아니라 신규 폐기물 자원화와 관련하여 환경 관련 조직인 제로에미션 사업부를 설립하여 동경에서는 생활폐기물 소각재를 매립처분 대신에 에코시멘트의 제조원료로 사용하고 있다. 이외에도 화력발전소에서 발생하는 석탄회를 이용하여 고강도 인공 경량골재를 제조하는 기술을 확립하고, 페플라스틱을 시멘트 공장 내에서 파쇄기로 일정한 크기로 분쇄하여 시멘트의 소성 연료로 재자원화하거나 건설 현장에서 발생하는 폐석고보드를 무수석고로 제조하여 시멘트 원료, 토양개량재, 전자재 제품 등으로 재활용하고 있다.

다. 대기오염 방지 분야

시멘트 제조공정에서 배출되는 대기오염물질로는

CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, 분진 등이 대표적이다.

CO<sub>2</sub>는 연료 및 석회석의 열분해로 연소과정에서 발생하는 것으로 온실가스의 주범이다. 따라서 1970년대 중반부터 키른에서의 열 부담과 에너지 절감을 위해 선진국의 시멘트 회사들은 고유의 하소로 시스템을 개발하여 연료의 사용량을 줄여왔다.

NO<sub>x</sub>의 경우는 시멘트 크링카가 1,450°C라는 고온에 제조되기 때문에 공기 속의 질소(N<sub>2</sub>)가 산화되어 발생되기 때문에 선진국의 시멘트 회사들은 80년대 중반부터 이런 문제점을 인식하고 NO<sub>x</sub>를 저감할 수 있는 기술을 개발하기 시작했다. 현재 시멘트 공장에서 적용할 수 있는 대표적인 NO<sub>x</sub> 저감 방법으로는 SNCR의 적용, 저 NO<sub>x</sub>버너, 다단연소, 연소배기가스의 재순환 등이 있다. 국내의 경우는 NO<sub>x</sub>에 관한 문제를 소외시켜 왔었다. 그러나 환경에 대한 관심이 증가하면서 더 이상 NO<sub>x</sub>를 배출할 수 없는 실정이다.

분진의 경우는 시멘트 제조 공정에서 가장 관심을 가졌던 대기 오염물질로 많은 투자가 이루어졌다. 분진 제거 설비로는 전기 집진기, 여과포 집진기 등이 있고 집진 효율을 높이기 위해 전기 집진기를 여과포 집진기로 대체하는 중에 있다.

## 라. 폐기물 처리 기술 분야

### (1) 시멘트를 이용한 방사성 핵폐기물 고화처리

우리나라는 핵반응에 의한 원자력 발전의 비율이 매년 증가하고 있고 부수적으로 핵폐기물이 다량 배출되고 있다. 그러나 핵폐기물에 대한 체계적인 연구가 이루어지지 않고 있어 이의 처리기술 확립이 시급한 실정이다.

방사성 폐기물은 영구처분에 앞서 대부분 시멘트에 의해 안정한 고체 형태로 처분된다. 방사성 처분장의 안정성을 확보하기 위해서는 폐기물의 종류, 폐기물의 물리적·화학적 성질, 핵종 및 시멘트 고화체의 변화에 따른 시멘트 고화체의 특성 평가가 선행되어야 한다.

### (2) 유해 폐기물 고화처리재 개발

산업 고도화로 다양한 유해 산업 폐기물 발생이 증가하고 이의 처리문제가 심각함에 따라 보통시멘트 및 산업 폐부산자원을 활용한 특수 첨가재를 개발해 값싸고 효과가 뛰어난 고화체료를 개발하고 있다.

### (3) 유해 폐기물의 열처리 기술 개발

CFC, Dioxin 등의 유동성 물질과 도시 폐기물 등을 키른에서 열처리하여 분해하는 방법이 다른 방법에 비해 2차 오염원의 발생 문제와 처리비용 측면에서 유리하나, 선진국의 시멘트 공장에서 기술개발을 진행 중에 있다.

## 4. 시멘트 산업에서의 리사이클링 전망

국내 시멘트업계의 폐기물 재활용 추이 및 일본 등 외국 시멘트업계의 동향 등을 살펴볼 때, 향후에도 시멘트 산업에서의 폐기물 재활용은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 그러나 시멘트는 주로 구조물로 사용되기 때문에 시멘트의 품질 및 제조공정의 안정적 확보를 위해서는 현재로서 재활용 폐기물을 제한하거나 폐기물 종류 및 양을 제한할 수밖에 없는 것이 현실이다.

현재까지의 국내 시멘트업계에서의 재활용 기본 방향은 대량으로 발생하는 양질의 폐기물을 이용한 천연원료 또는 연료의 일부 대체 개념으로 진행되어 왔다. 그러나 향후 폐기물 재활용 기술의 발전을 토대로 현 상황에서 사용하기 어려운 유해성 폐기물, 품질변동이 큰 폐기물의 사용이 확대될 것으로 전망된다. 즉, 최근 일본에서는 원료 및 연료자원의 50% 이상을 폐기물로 이용하여 제조한 에코 시멘트의 개발에 성공하는 등 시멘트 산업이 리사이클링 및 환경산업의 중추적인 역할을 하고 있다. 국내 시멘트 업계에서도 시멘트 키른에서의 단순한 재활용에 만족하지 말고 현재 기술로 사용하기 어려운 폐기물의

〈표-5〉 폐기물의 특성

Form	Fume	Liquid	Sludge	Solid	Contaminated Solid
Particle Size	Finely Devided	Granular	Shredded	Bulk	Containerized
Water Content	Zero	High Moisture	Aqueous Solid		
Ash Content	0 ~ 30 %				
Fuel Value	550 ~ 11,000 kcal/kg				
Temperature Requirement	540 ~ 1,650 °C				
Chemical Composition	Oxides, Halogens, Heavy Metals				

재활용을 확대시켜 적용을 위해 국가에서 21세기 프론티어 연구개발사업에서 폐기물을 시멘트 원료로 재활용하는 연구가 진행되고 있는 것이 다행이지

만, 더욱더 이러한 리사이클링 자원의 유효이용 및 환경산업 진출을 통한 환경보전은, 기존 시멘트 산업의 한계성을 극복하고 지속 가능한 사회건설에 대

〈표-6〉 리사이클링시 문제점 및 대책

문 제 점	대 책
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 시멘트 공정 &amp; 품질 불안정                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순환물질 증가</li> <li>- 예열실 온도상승 및 적분</li> <li>- CO 발생</li> <li>- 미소성/yellow 크링카 발생</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐기물 리사이클링 기준 확립                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐기물 입하기준 (리사이클링 대상 폐기물의 제한)</li> <li>- 최적 배합 및 Module 선정 (실험실 &amp; 현장실험)</li> </ul> </li> <li>• 기존 공정의 최적화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐기물 중 순환물질 등 유해물질 제거 (By-pass 설비)</li> <li>- By-pass 설비 설계 및 발생 더스트 자원화 기술개발</li> <li>- 소성공정 운전의 표준화</li> <li>- 폐기물 특성에 따른 적정 투입위치 선정 및 균일투입 기술 확립</li> </ul> </li> <li>• 적정 크기 시스템 선택                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐기물 중에 순환물질 함량 많을 경우, 순환물질 거동에 덜 민감한 큰 시스템 선택</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 폐기물 품질 산포 큼                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 물리특성</li> <li>- 화학조성</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐기물 분석/평가기술 확립</li> <li>• 혼합기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 액상 중 고상물질 분쇄/서스펜션 기술</li> <li>- 유화기술</li> <li>- Coarse, Fine 입자 균일 혼합기술</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 연속 균일 투입 곤란                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고점도/점착성 폐기물</li> <li>- 투입 파이프 막힘</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최적의 공정/설비 기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적정 투입지점</li> <li>- 다종의 폐기물 균일 혼합, 저장 및 동시 투입기술</li> <li>- 수송/투입 라인의 적절한 재질 선정</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 환경 안정성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 배기가스의 무해화</li> <li>- 중금속 함량 및 용출</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배출가스 분해 및 정화처리를 위한 소성공정의 안정화</li> <li>• 배출가스 연속 감시설비 구축</li> <li>• 리사이클링 대상 폐기물 중 중금속 함량 제한</li> <li>• 환경안전 절차 확립</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 불류비가 큼                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다품종/소량운반</li> <li>- 시멘트공장 위치의 편중화</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수집/운반 체계 구축 및 중간처리 공장의 설치                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 경제규모의 불량 확보</li> <li>- 중간 집하/전처리</li> </ul> </li> </ul>

한 사회적 요구에 부응하는 것으로써, 이를 더욱 확대하기 위해서는 기업에게 적절한 이윤을 주고, 사회적 여건을 조성하는 정책수립 등 제반환경의 조성이 필요할 것이다.

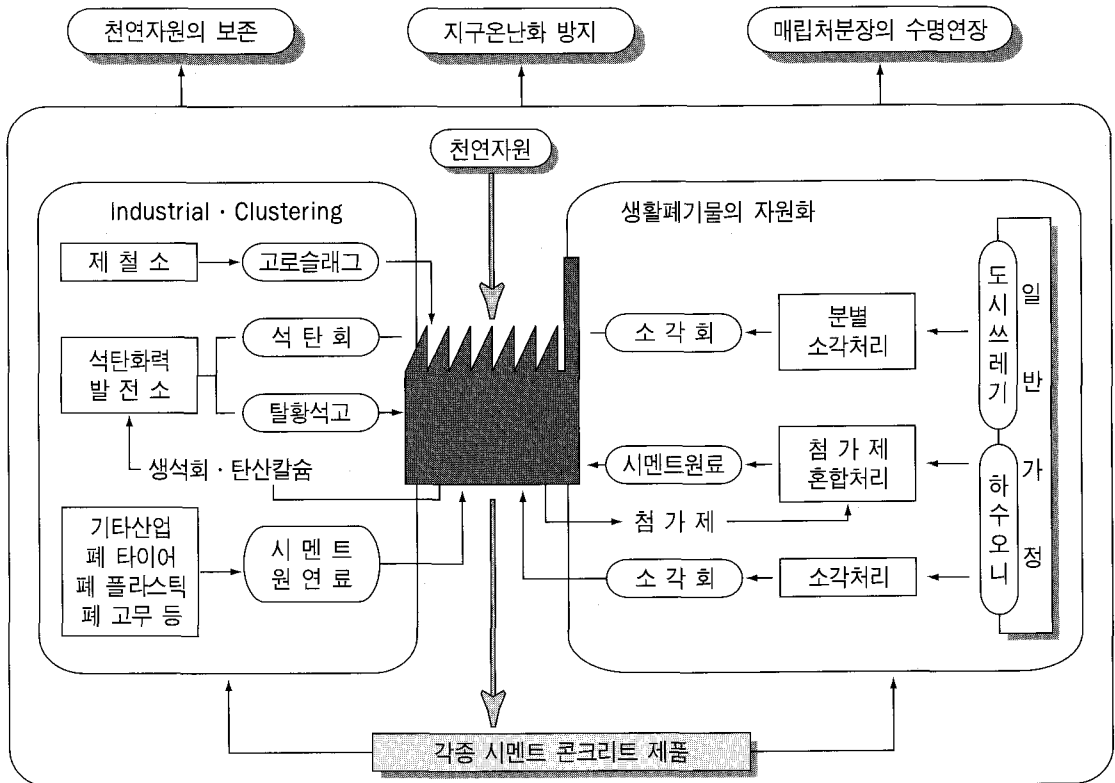
〈표-5〉에서와 같이 폐기물은 그 성상 및 화학조성 그리고 물리적, 열적 특성이 매우 광범위하게 분포되어 있다. 따라서 이들을 시멘트 공정에 그대로 적용하기는 매우 어려우며, 특히 시멘트 공정에서 요구하는 품질 및 공정관리의 관점에서 이들을 분리/선별하는 적절한 전처리기술이 필요하다. 전처리를 위해서는 시멘트 자원화 규격에 맞도록 자원화 대상 물질의 사전분석과 혼합하는 기술이 필요하며, 혼합시 응고현상이나 저 인화점 물질에 의한 폭발 등의 사고를 사전에 예측할 수 있어야 설비 및 인명 피해를

를 미연에 방지할 수 있다.

또한 재활용할 대상 폐기물을 기존의 원료 및 연료 라인에 투입하는 기술 및 설비도 필요한데, 이 분야의 핵심기술은 역시 정량공급 및 계량오차를 최소화하는 기술, 그리고 기존의 연료 및 원료와 연동하여 정밀하게 투입량을 제어하는 기술이며, 기존라인에의 투입지점도 최적으로 설계해야 하고 특히 단절됨이 없이 연속적으로 투입되도록 해야 한다. 시멘트 소성공정에서 재활용시 문제점 및 대책기술에 대한 내용을 요약하여 〈표-6〉에 정리하였다.

### 5. 시멘트 산업의 환경친화 추진분야

시멘트 산업에서 폐기물의 재활용을 촉진하기 위



〈그림-1〉 시멘트공장을 중심으로 한 자원순환형 시스템

<b>폐기물 처리</b>	<b>에너지절약·공정개선</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유독성 폐기물 소각처리 기술 개발</li> <li>· 유해 폐기물 고화처리 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 키른 개조(NSP)</li> <li>· 고효율 분쇄설비 개발</li> <li>· 오염방지기술</li> <li>· 에너지 절약기술 개발</li> </ul>
<b>폐기물 재활용</b>	<b>환경부하저감 시멘트</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 허용기준 개발</li> <li>· 활용기술 개발, 투자</li> <li>· 활용범위 확대</li> <li>· 전처리 기술 개발 (유해물질제거 기술)</li> <li>· 품질변화 분석 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 혼합시멘트의 확대</li> <li>· Belite계 저온소성시멘트</li> <li>· Alinite계 시멘트</li> <li>· 특수시멘트 개발</li> <li>· 신종시멘트 규격 개발</li> </ul>

〈그림-2〉 환경부하저감 기술개발 과제

해서는 〈그림-1〉과 같이 산업 폐부산자원의 활용 극대화, 생산공정개선, 에너지절약 기술개발, 환경관리 체제의 확립을 위한 환경친화적인 기술의 개발을 필요로 할 것으로 생각된다.

이러한 환경친화적인 기술개발이 이루어지면 자연에서 공급되는 물질과 인간이 사용한 후 버려지는 폐기물을 최종적으로 제품으로 이용되거나 또는 가치가 부가되어 다른 산업분야나 생산공정의 원료로 이용되면 산업은 네트워크(Network)화되고 Cluster로 재편성됨으로서 폐기물을 배출하지 않게 될 것이다. 이렇게 되는 사회는 지구가 생산하는 물질(천연자원)을 더욱 유효하게 활용하도록 하는 상태가 되어 〈그림-1〉과 같이 인간사회에 풍부한 자원을 공급하고 있는 지구환경에의 부하를 최소화하여 연속적인 사회발전을 보증하는 것에도 연결이 된다.

기술개발 과제에 대한 전체적인 실행은 아직 구체화되어 있지 않으나 〈그림-2〉와 같이 에너지 절약, 오염방지, 산업부산물 재활용이 실행 가능할 것으로 판단된다.

## 6. 시멘트 산업에서의 청정생산기술의 향후 전망

시멘트 산업은 석회석을 주원료로 사용하므로 CO<sub>2</sub> gas 발생, NO<sub>x</sub> 발생의 문제점을 안고 있으나 이러한 측면은 저 에너지 소비 공정개발 및 고정화 처리 기술 개발로 개선되어야 할 분야이다. 또한 CO<sub>2</sub> gas 저감을 위해서 시멘트 대체 첨가제인 플라이 애쉬(Fly Ash), 고로 슬래그(Slag)를 활용하고 있으며, 이와 같은 원료 및 첨가제 대체로 CO<sub>2</sub> 저감 및 에너지 저감이 기대된다.

시멘트 제조설비는 폐기물을 처리할 수 있는 최적의 설비로 산업폐기물을 원료·연료 활용이 가능하며, 기술개발로 환경시멘트인 Alinite 시멘트 제조 공정 및 기술개발이 예상된다.

이와 같이 시멘트 산업은 환경분야에서 기술 필요분야가 많으며 환경보호 측면에서 크게 이바지 할 것으로 전망된다.

산업폐기물 발생 억제 및 재활용, 폐기물 처리비용 절감에 따른 경쟁력 강화, 재활용을 통한 폐기물의 발생억제로 환경보호, 시멘트 부원료 대체로 원가절감 및 재활용 가능한 가이드 라인 설정, 각종 산업폐기물을 시멘트 산업에 활용을 확대할 수 있는 기반 구축, 매립처리에 다른 매립지 확보 문제 해결 등으로 환경보전에 기여할 뿐만 아니라 폐기물 발생업체의 처리비용 절감 등을 통해 전체 산업 발전에 기여할 수 있을 것이다. ▲