

# 시멘트 산업과 환경

## - 폐기물 재활용을 통한 환경보호 노력 -

글 \_ 이종열, 전병용 || 쌍용양회(주) 기술연구소  
jrlee@ssrc.ssy.co.kr

### 1. 서 언

인간이 살아가는 데 필요한 3대 요소인 의, 식, 주에 있어서 오늘날 인류가 풍요로운 삶을 영위하는 데 공헌해 온 3대 발명품을 예를 들 때 흔히 주거측면에서는 시멘트가 거론되기도 한다. 20세기를 앞두고 세계의 발명왕 에디슨은 “20세기는 콘크리트의 시대”라고 단언하기도 하였다. 이러한 시멘트를 제조하는 시멘트 산업은 도시, 도로, 항만, 주택, 하천, 상하수도 등 사회 기반시설의 구축에 없어서는 안 되는 싸고 내구성 있는 기초소재를 생산하는 기간산업으로서 보다 양질의 제품을 대량으로 생산, 공급하고 제품의 고성능화, 다양화 요구에 부응하면서 사회발전에 공헌하여 왔다. 그러나 제조특성상 에너지 다소비 산업으로 또한 주원료로 석회석 사용에 의해 현재 지구온난화의 주요인으로 대두된 이산화탄소의 다량 발생, 분진 등의 오염물질로 인해 환경적인 측면의 부담을 갖고 있다. 이와 관련하여 시멘트 업계는 에너지의 절감을 위한 생산설비의 개발 및 적용, 석회석 사용의 감소를 위한 슬래그 및 석탄회를 활용한 혼합시멘트의 개발, 분진을 제거하기 위한 집진설비 투자, 부분적으로 산업계 부산물 및 폐기물의 재활용 등 환경보호를 위하여 많은 노력을 기울여 왔다. 특히 1990 년대에 들어와 지구온난화, 자원고갈, 다량의 폐기물 발생 등의 지구환경 문제가 국제적으로 논의되고, 그 동안 해양투기, 매립 및 소각에 의존하던 폐기물 처리가 지하수의 오염, 생태계의 파괴, 공기오염 등의 문제점이 대두되고 미국 EPA (Environmental Protection Agency)에서 시멘트 소성로

를 이용한 재활용이 2차 오염의 발생 없이 안정적으로 무해화 처리할 수 있다는 것이 인정된 이래, 오늘날에는 시멘트산업이 폐기물 대량처리의 대안으로서 유럽, 미국, 일본 등 전 세계적으로 보편화 되고 있다. 국가 기간산업으로서 세계 5위의 생산국으로 발전해온 국내 시멘트 업계도 건설경기의 침체, 환경규제의 강화 등 국내외 환경변화에 대응하면서 오염물질배출 저감을 위한 투자는 물론 폐기물 재활용을 통하여 “자원 순환형 사회 시스템의 중핵에 위치하며, 지구환경 보호에 공헌하는 산업”이라는 보다 발전된 환경보전 측면에서의 역할을 재인식하고 ‘지속 가능한 발전’을 위해 노력하고 있다.

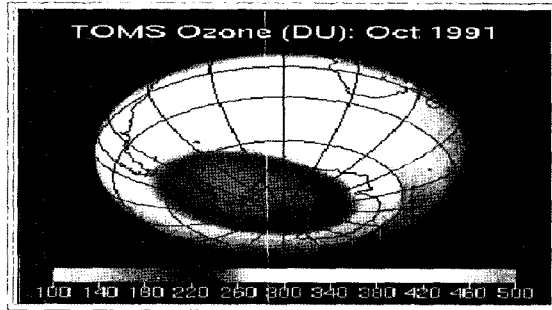
### 2. 지구 환경문제와 국제 동향

20세기에 이루어진 대량 생산, 대량 소비형의 경제활동은 인류에게 커다란 혜택을 제공하였으나 이와 더불어 국지적인 문제로서만 인식되었던 환경문제가 급속한 산업활동의 확대와 인구증가의 결과로 오늘날에는 지구온난화, 오존층 파괴, 산성비, 천연자원의 고갈 및 다량의 폐기물 발생 등의 전지구적인 환경문제로 확대되었다. 지구온난화와 관련하여 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 현재의 추세로 온실가스 배출량이 증가하면 2100년에는 지구의 평균기온이 0.8~3.5°C 상승하여 해수면이 50~80cm 상승할 것으로 예측하고 있다. 빙하 해빙의 가속화 및 최근의 세계 여러 곳의 이상기후 증후에 대해서 지구온난화의 영향이 아닌 가하고 우려하고 있다. 또한, 남극 오존층의 파괴정도가 미국 면적의 3배

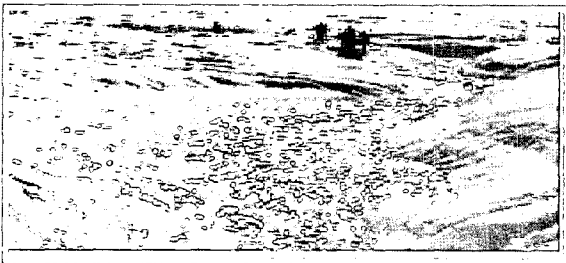
대형 허리케인의 발생  
(리타, 카트리나)



오존층 파괴



빙하 해빙의 가속화



남아프리카 폭설

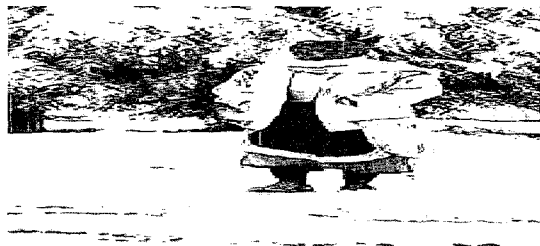


Fig. 1. 지구 환경문제의 예.

에 이른다는 세계기상기구(WMO)의 보고도 있다.

이러한 전지구적인 환경문제 해결을 위한 국제적인 노력은 1972년 유엔인간환경선언의 채택과 유엔환경기구(UNEP)의 설립을 계기로 시작되었으며, 1992년 브라질 리우에서 개최된 유엔환경개발회의(UNCED), 남아프리카 요하네스버그에서 개최된 지속 가능한 발전을 위한 정상회의(WSSD) 및 지구온난화 방지를 위한 기후변화 협약, 유해폐기물의 국가간 이동을 금지하는 바젤협약, 폐기물 해양투기를 금지시키기 위한 런던협약, 잔류성 유기오염물질 배출 규제를 위한 스톡홀름협약, 특히 2005년 2월에 발효된 기후변화협약 이행을 위한 교토의 정서 등 220여 개에 이르는 수많은 각종 환경협약을 통하여 세계 모든 국가의 구체적인 공동노력과 대응방안이 구체화 되고 있다.

세계의 주요 시멘트 업계도 이러한 지구환경보전 노력에 동참하고자 WBCSD (지속가능한 발전을 위한 세계경제인 회의)의 “시멘트산업 부회” 회원사들(Larfarge, 태

평양cement, Holcim, Cemex 등 10개사)은 지구환경보전대책의 일환으로 2002년 ‘지속가능한 시멘트 산업 자주행동계획’을 발표하고 기후변화 방지, 폐기물 이용, 배출물질의 삭감 등 6개 우선과제를 추진하고 있다.

### 3. 시멘트 산업에서의 환경 보전

#### 3.1 국내 시멘트 산업의 오염물질 배출 저감을 위한 환경관리

다른 산업과 마찬가지로 시멘트산업도 2005년부터 오염물질의 배출상태를 실시간으로 원격 감시하는 TMS(Tele-Metering System)설치가 의무화되어 운영되는 등 환경규제가 강화되고 있으며, 시멘트 소성로에 대한 국내 대기환경기준도 강화되어 Table 1에 나타난 바와 같이 기준치가 유럽이나 일본 등 선진국보다도 엄격하게 적용되고 있다. 제조과정에서 불가피하게 분진 및 질소 산화물 등의 대기오염물질이 발생되지만 환경경영

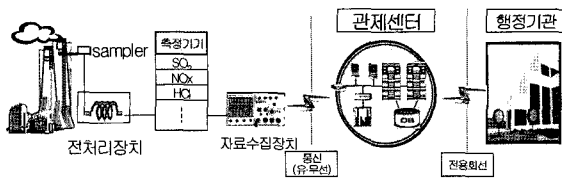


Fig. 2. 원격 굴뚝 감시 시스템(TMS).

Table 1. 시멘트 소성로의 대기환경기준 (13% O<sub>2</sub>기준)

항목	한국	일본	유럽
분진 (mg/Nm <sup>3</sup> )	50	100	100
질소 산화물 (ppm)	350	348	582
황 산화물 (ppm)	30	(436~1890)	36

주) 일본의 경우 황 산화물에 대한기준은 지역별로 정부가 정하는 지수로 계산되며 상기 기준치는 일본 태평양시멘트의 적용기준

을 최우선 방침으로 정하고 지속적인 설비투자과 공정개선 및 환경관리를 통하여 배출단계부터 철저히 차단하여 더욱 강화된 환경기준을 준수하고 있다.

오염물질의 배출 저감과 관련하여 분진에 대해서는 분진발생 장소를 밀폐화 시키고, 킬른 배기가스 중의 분진의 배출을 방지하기 위해서 기존의 전기집진기를 집진효율이 매우 우수한 bag filter로 교체하는 등 설비투자가 이루어져 외부로의 분진발생을 극도로 억제 하여 기준치이하의 관리를 하고 있다. NO<sub>x</sub>저감에 대해서는 저NO<sub>x</sub> Burner의 적용, 열부하를 낮추기 위한 NSP방식의 채택, 철저한 연소관리와 더불어 고온의 배출가스에 요소나 암모니아수를 분사하는 SNCR(Selective Non-Catalytic Reduction) 설비를 적용 하여 환경기준치 이하로 관리하고 있다. CO<sub>2</sub>저감을 위해서는 NSP 시스템, 고효율 cooler 적용 그리고 예비분쇄 시스템, roller mill, 고효율 분급기의 적용 등의 설비투자를 통하여 에너지 절감 노력을 꾸준히 추진해 왔으며, 1998년 이후에는 기업 스스로 에너지 감축을 위한 목표를 설정하여 정부와 협정을 맺는 에너지 절약 자발적 협약에 적극적으로 참여해 오고 있다. 기후변화 협약의 이행을 위한 교토의정서가 2005년 발효되어 세계9위의 CO<sub>2</sub>배출국인 우리나라도 전 국가적으로 온실가스 감축을 위한 본격적인 대응 방안을 모색 하고 있으며 시멘트 업계는 '기후변화협약 시멘트산업 대책반'을 운영하면서 폐기물 재활용, 폐열발전, 에너지 절감 등을 통하여 동참하고 있다. 또한 2004년 잔류성 유기 오염물질(POPs)의 배출을 규제하는 스톡홀름 협약의 발효를 계기

로 '특정 잔류성 유기오염물질 배출 저감을 위한 자발적 협약'을 체결하여 적극적으로 대응하고 있다.

### 3.2 폐기물 재활용

선진국의 시멘트 산업은 이미 이십 수년 전부터 폐기물 재활용을 통한 화석연료와 천연원료의 대체를 추진하여 왔으며 현재 상당한 수준까지 도달하고 있다. 미국의 경우 1992년 EPA (Environmental Protection Agency)가 시멘트 소성로를 우수한 폐기물 처리시설로 고시한 이후 소각처리 되는 폐기물의 33%가 시멘트 소성로에서 열원으로 재활용되고 있다. 일본의 경우 연료와 원료로 사용되는 폐기물의 양이 일본 전체에서 재활용되는 폐기물의 20%(2,800만톤)정도에 이르고 있으며 주로 매립, 소각처리 되는 하수오니, 도시쓰레기, 폐 플라스틱 등도 그 사용기술의 개발로 재활용 되고 있다.

우리나라 시멘트업계에서도 1990년대 중반부터 이미 철강산업에서 발생하는 고로 수재슬래그와 화력발전소에서 발생하는 석탄회를 시멘트 혼합재 및 잠재수경성을 이용한 및 혼합 시멘트 원료로서 활용해 왔으며 최근에는 사회환경적, 경제적 필요성에 의해 다양한 산업계 폐기물이 시멘트 제조의 원,연료로서 대체 사용되고 있다.

#### 3.2.1 시멘트 제조공정과 폐기물처리

시멘트는 CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 주성분으로 하는 물질로서 Fig. 3에 나타난 바와 같이 석회석, 규석, 점토, 철광석 등의 천연자원을 혼합, 분쇄(원료분쇄공정)하여 1450°C 이상의 고온 분위기에서 원료 중의 광물을 분해하고 상호결합 및 반응시켜 새로운 수경성 광물로서 C<sub>3</sub>S (3CaO · SiO<sub>2</sub>), C<sub>2</sub>S (2CaO · SiO<sub>2</sub>), C<sub>3</sub>A (3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), C<sub>4</sub>AF (4CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 생성하여 시멘트 반제품인 클링커를 만들고(소성 공정) 여기에 응결조절제로서 석고를 첨가하여 분쇄 (제품화 공정)한 것이다.

폐기물이나 부산물은 시멘트 제조용 원료로 사용되는 천연 원료와 동일한 성분을 가지고 있기 때문에 적절히 배합하면 천연원료를 대체하여 사용할 수가 있다.

Table 2에서 보는 바와 같이 시멘트 제조공정을 폐기물 처리공정과 비교해 보면 매우 유사한 것을 알 수 있

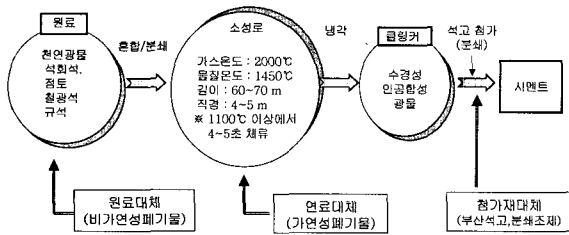


Fig. 3. 시멘트 제조공정의 원리 및 폐기물의 활용.

Table 2. 시멘트 제조공정과 폐기물 처리공정의 비교

구 분	폐기물 소각공정	시멘트 제조공정	
공정 특성	기계적 처리	폐기물 수질 → 분쇄 → 혼합	원료 → 분쇄 → 혼합
	열적 처리	연소 / 열분해	예열 → 소성 (연소/열분해)
	냉각후 처리	냉각 → 잔재물(Ash) → 매립/고형화	냉각 → 클링커 → 미분쇄 → 시멘트
연소실 조건	· 연소실 출구온도 : 850°C · 연소실가스 체류시간 : 2초 이상	· 연소실 출구온도 : 1200°C · 연소실가스 체류시간 : 1200°C 이상에서 3초 이상	

다. 즉, 시멘트 제조공정은 처리대상 물질을 물리적인 방법으로 작게 하고 열적으로 처리한다는 것으로 폐기물 처리 및 재활용에 용이하게 접근할 수가 있다. 폐기물 처리공정의 경우는 마지막으로 재(ash)라는 이차오염물질이 발생하며 이를 다시 매립 하거나 별도의 처리가 필요하지만 시멘트 제조공정에서의 폐기물 재활용은 ash가 시멘트의 원료로서 사용되므로 결과적으로 이차오염물질이 발생하지 않는다.

특히 열처리 공정인 시멘트 소성로의 온도분포는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 가스온도가 2000°C에 이르며 1200°C 이상에서의 체류시간도 3초 이상이고, 소성로를 통과하는 물질의 체류 시간도 30~40분으로 이러한 열처리 조건에서는 폐기물이 완전히 분해 및 산화되므로 2차

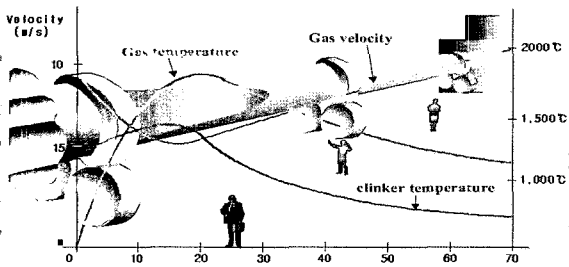


Fig. 4. 시멘트 소성로 내부의 온도분포

유해물질을 발생시키지 않고 안전하게 처리할 수 있다.

또한 시멘트의 주원료는 85% 이상이 석회석으로서 연소가스중의 황산화물과 염소성분은 석회석에서 분해되어 생성된 석회와 반응하므로 탈황 등의 가스 세정효과를 갖고 있으며, 또한 연소 후 남은 잔류물은 클링커의 원료로서 사용되고 에너지 효율이 높다는 것이다. 이러한 장점 때문에 페타이어, 페플라스틱 등의 가연성 고상 폐기물은 물론 발열량은 높지만 토양 및 지하수 오염 등의 오염 때문에 매립이 극히 제한적이거나 금지되어 대부분 소각이나 재생처리를 해 왔던 폐유, 폐유기용제 등의 가연성 액상폐기물도 연료대체 자원으로 재활용 할 수가 있다. 미국 및 유럽을 중심으로 한 선진국에서는 중금속이나 유해 유기물이 함유되어 있는 유해 폐기물도 고온 열분해 하여 무해화 하고 안전하게 처리할 수 있는 설비로 시멘트 소성로를 권장하고 있다.

폐기물 중에 중금속이 포함된 경우 Fig. 3에 나타난 열적 반응과정에서 생성된 시멘트 클링커 광물 중에 치환, 고용된다. 그 반응형태를 살펴보면 클링커링 과정 중 2분자의 CaO와 1분자의 SiO<sub>2</sub>가 반응하여 C<sub>2</sub>S 광물이 생성되는데, C<sub>2</sub>S 광물 생성과정 중에 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO, PbO, CaF<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O 등의 미량성분 들이 일부 치환 고용되어 안정된 상태로 존재하게 된다.

- ▶ (CaO)<sub>2</sub> + (SiO<sub>2</sub>) → (CaO)<sub>2</sub> (SiO<sub>2</sub>)
- ▶ (CaO)<sub>2-y</sub> + (L)<sub>y</sub> + (SiO<sub>2</sub>)<sub>(1-x)</sub> + (M)<sub>x</sub> → (L)<sub>y</sub> (CaO)<sub>2-y</sub> (M) (SiO<sub>2</sub>)<sub>(1-x)</sub>
- M : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO, PbO 등
- L : CaF<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O 등
- ▶ Alite : Ca<sub>106</sub>Mg<sub>2</sub>(Na<sub>0.25</sub>K<sub>0.25</sub>Fe<sub>0.5</sub>)(Al<sub>2</sub>Si<sub>34</sub>)O<sub>180</sub>
- ▶ Belite : Ca<sub>87</sub>AlFe(Na<sub>0.25</sub>K<sub>0.25</sub>)(Al<sub>3</sub>Si<sub>42</sub>)O<sub>180</sub>
- ▶ Aluminate : Na<sub>6</sub>K<sub>2</sub>Ca<sub>78</sub>Mg<sub>4</sub>(Al<sub>44</sub>Fe<sub>8</sub>Si<sub>8</sub>)O<sub>180</sub>
- ▶ Ferrite : Ca<sub>66</sub>Mg<sub>4</sub>(Na<sub>0.5</sub>K<sub>0.5</sub>Fe)(Al<sub>44</sub>Fe<sub>8</sub>Si<sub>5</sub>Mg<sub>5</sub>)O<sub>180</sub>

이와 같이 시멘트 소성로를 이용하는 폐기물 재활용은 일반적인 폐기물 처리공정에서의 여러 문제점을 해결하고 보다 효율적으로 처리할 수 있으며, 이외에도 대용량의 처리능력을 갖는 기존의 설비를 큰 투자 없이 그대로



이용할 수 있다는 점도 경제적인 측면에서 커다란 장점이 된다.

시멘트 산업에서의 폐기물 재활용은 환경보전 측면에서 사회, 경제적으로 많은 장점을 갖고 있고 향후에도 지속적인 확대가 예상되지만 시멘트 제조공정은 시멘트라는 상품을 제조하는 설비이므로 폐기물을 자원으로 보지 않고 효율적으로 재활용하기 위해서는 우선적으로 시멘트 제조공정에서 요구되는 품질관리, 공정관리 조건 및 환경기준 등을 고려하여 물리, 화학적으로 다양한 성상의 폐기물에 대한 사용기준을 설정하여야 한다. 또한 사용에 적합하도록 전처리 또는 가공처리 할 수 있는 관련 기술 및 정량공급 및 계량오차를 최소화하는 기술, 그리고 기존의 연료 및 원료와 연동하여 정밀하게 투입량을 제어하는 기술 및 설비의 개발이 지속적으로 이루어져야 한다. 또한 안정적 공급 및 경제성 확보를 위한 원료물류체계가 확립되어야 하고 관련 제도 및 법규의 보완이 이루어져야 한다.

Fig. 5는 시멘트 제조공정에서 현재 재활용되고 있는 대표적인 폐기물 및 부산물의 종류를 나타낸 것으로 석탄회, 폐주물사, sludge 등은 천연원료의 대체 자원으로, 폐타이어, 폐플라스틱, 정제유 등은 화학 연료인 유연탄의 대체자원으로, 수재 슬래그 및 탈황석고는 시멘트 첨가제로서 재활용 되고 있다.

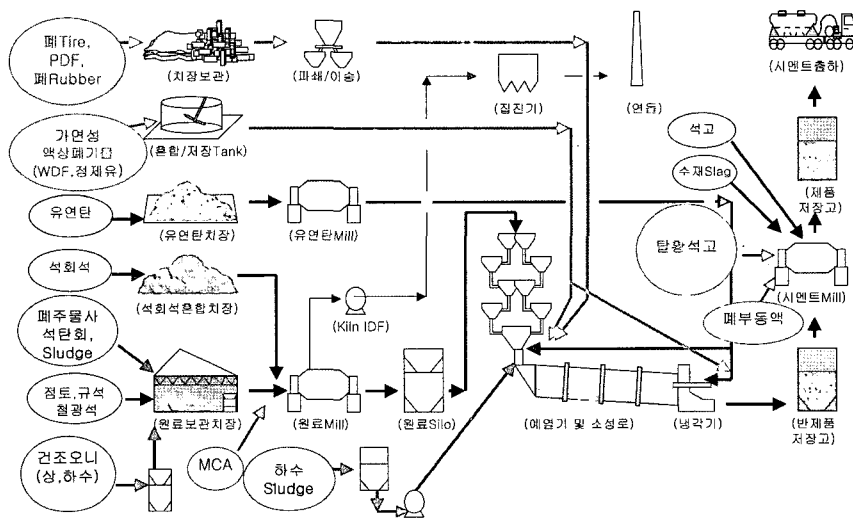


Fig. 5. 시멘트 제조공정에서 폐기물의 사용.

### 3.2.2 시멘트 산업에서의 폐기물 재활용 현황

#### 1) 국내 현황

국내 시멘트업계에서는 1980년대까지는 포항제철의 고로 수쇄슬래그를 시멘트의 첨가제 및 혼합시멘트의 원료로서 활용한 것을 시작으로 주로 전로슬래그 등의 비철광재를 고가의 철질 원료 대체재로서 활용해 왔으며, 발열량이 대략 1,000kcal/kg 정도인 국내 석탄 채굴시 발생하는 경석 등의 산업계 부산물을 원가 절감 측면에서 재활용하는 수준에 불과 하였다.

그러나 90년대 중반 전국 곳곳에 산재 되어 처리에 골머리를 앓고 있던 폐타이어를 S사에서 국가 시범과제로 사용기술을 개발하여 이를 시멘트 킬른에 투입하여 열에너지로 회수하는 방안이 적용되고 있으며, 90년대 중반까지 재활용율이 20%대에 머물고 있어 매립장 건설 및 해양생태계에 커다란 부담을 안고 있던 화력발전소의 석탄회를 원료 및 시멘트 혼합재로 이용함으로써 석탄회 재활용율을 03년 기준 70% 수준으로 끌어 올리는데 결정적인 역할을 해 왔다. 이외에도 화력발전소에서 탈황설비가 가동됨에 따라 부산물로서 발생하는 탈황석고를 시멘트 응결조절제로서 사용하는 등 타 산업에서 발생하는 부산물의 활용에 적극적으로 참여하고 있다. 또한 그 외에도 각종 산업계에서 발생하는 폐주물사, 공정오니, 폐합성고무 등 폐기물과 최근에는 폐플라스틱, 재생유 및 정제유 등 재활용 대상 및 범위를 산업계 거의 전 분야로 확대하고 있다.

Table 3은 1997년부터 2003년까지 국내 시멘트업계에서 재활용한 산업계 부산물, 폐기물의 사용실적으로서 경석 제외할 경우 매년 10% 수준의 높은 증가율을 보이고 있으며 시멘트 업계에서 처리하고 있는 전체 폐기물 처리량에서도 건설폐기물을 제외하는 경우 우리나라 전체 발생 폐기물(2002년도 발생량 기

Table 3은 1997년부터 2003년까지 국내 시멘트업계에서 재활용한 산업계 부산물, 폐기물의 사용실적으로서 경석 제외할 경우 매년 10% 수준의 높은 증가율을 보이고 있으며 시멘트 업계에서 처리하고 있는 전체 폐기물 처리량에서도 건설폐기물을 제외하는 경우 우리나라 전체 발생 폐기물(2002년도 발생량 기

Table 3. 국내 시멘트산업에서의 재활용 현황 (단위:천톤)

구분	1997년 (A)	1999년	2001년	2003년 (B)	증감비(B/A)
고로슬래그	2,975	2,374	2,694	2,624	0.9
석탄회	358	823	926	1,324	3.7
부산석고	34	441	930	993	29.2
경석	2,075	1,298	1,031	898	0.4
비철광재	1,158	1,103	1,093	1,231	1.1
오니,슬러지	3	45	314	212	70.7
연소재,더스트	37	127	164	168	4.5
폐주물사	3	67	187	422	140.7
페타이어	7	54	123	275	39.3
페플라스틱		1	34	93	-
재생유/정제유	22	26	56	96	4.4
기타	153	221	325	278	1.8
계	6,825	6,580	7,877	8,614	1.26
(경석 제외시)	(4,750)	(5,282)	(6,846)	(7,716)	(1.62)

주) 7대 시멘트사 기준

준)의 약15% 이상을 차지하고 있다. 폐기물 사용 원단위를 살펴보면 국내 시멘트 산업에서 재활용 된 폐기물의 사용 원단위는 175kg/t-cement로 일본의 50%수준에 불과한 실정이다.

시멘트 산업은 기존의 제조 설비를 이용하여 폐기물을 재활용할 수 있다는 측면에서 매립이나 소각과는 분명히 구별되는 점이 있으며, 최근 사회적인 넘버 현상이 확대되고 있는 상황에서 더욱 그 중요성이 부각되고 있다. 또한 시멘트산업이 처리할 수 있는 폐기물량은 시멘트 원료의 약 20%, 연료의 약 30%까지는 충분히 대체가 가능하며, 첨가재의 경우 거의 전량을 산업부산물로 대체할 수 있다. 수분이 함유되어 있는 발생량 기준으로 환산하게 될 경우 국내 시멘트 생산량 6,000만톤으로 기준시 최소 2,000 ~3,000만톤 이상을 처리할 수 있으며, 매립 및 소각처리에서 올 수 있는 각종 환경부하를 크게 감소시킬 수 있을 것으로 전망된다.

그러나 현재 국내에서 발생하는 폐기물의 경우, 단일 품목이 대량으로 발생하는 경우는 극히 제한되어 있고, 대부분이 소량씩 여러 지역에서 다양하게 발생되고 있다. 그러므로 재활용을 위한 경제적인 규모의 물량확보를 위해서는 최적의 수집운반 등 전국적인 물류체계 체계를 구축하는 것이 필요하다. 또한 현재 국내에서 발생되고 있는 폐기물에 대한 정보에 대한 자료는 통계적인 자료에 불과할 뿐이고 실제 발생원별 종류, 발생량, 처리현황 등에 대해서는 구체적인 자료가 부족하고 그 공개도 기

피하는 실정으로 이의 data base화가 필요하며 향후 가공 처리 기술의 개발, 정부 및 지자체의 법적, 제도적 지원과 시멘트 산업을 중심으로 산업계 사이의 협력체제가 효과적으로 구축된다면 재활용 비율은 지속적으로 그리고 비약적으로 증가될 수 있을 것으로 예상된다.

## 2) 국외 현황

국외 시멘트 산업에서의 폐기물 재활용은 1970년대부터 유럽과 미국을 중심으로 시작되었으며 일본도 초기에는 제철소의 고로 슬래그 등의 다양한 산업계 부산물 및 폐기물을 재활용 하는 수준이었으나 1990년대에 들어와 Fig. 6에 나타난 바와 같이 서로 다른 산업간에 부산물 및 폐기물을 원료와 연료로서 재활용하는 “산업의 재편성”과 지역사회에서 발생하는 생활계 폐기물을 자원화 하는 “지역사회의 공생”을 키워드로 궁극적으로는 제로에미션(Zero Emission) 사회를 구축하고자 시멘트 산업을 “자원순환형 사회 시스템의 중핵에 위치하고 지구환경 보전에 공헌하는 산업”으로 그 역할을 재설정하였다.

Table 4는 일본 시멘트업계에서 재활용한 산업 부산물 및 폐기물의 종류와 사용실적을 나타낸 것으로 재활용량은 2,800만톤/년 수준이며 그 양은 일본 시멘트 생산량의 약 36% 수준이다. Fig. 7에 일본 시멘트 업계의 폐기물

Table 4. 일본 시멘트업계의 산업 부산물 및 폐기물 사용실적

(단위 : 천톤)

구분	99년	00년	01년	02년	03년
고로슬래그	11,449	12,162	11,915	10,474	10,173
석탄회	4,551	5,145	5,822	6,320	6,429
부산석고	2,567	2,643	2,568	2,556	2,530
경석	902	975	574	522	390
비철 광재	1,256	1,500	1,236	1,039	1,143
제강 슬래그	882	795	935	803	577
오니,슬러지	1,744	1,906	2,235	2,286	2,413
연소재,더스트	625	734	943	874	953
폐주물사	448	477	492	507	565
페타이어	286	323	284	253	230
재생유	250	239	204	252	238
폐유	88	120	149	100	173
페백토	109	106	82	97	97
페플라스틱	58	102	171	211	255
건설발생토				269	629
톱밥		2	20	149	271
동물성잔재물			2	91	122
기타	367	431	428	435	378
계	25,584	27,359	28,061	27,238	27,564

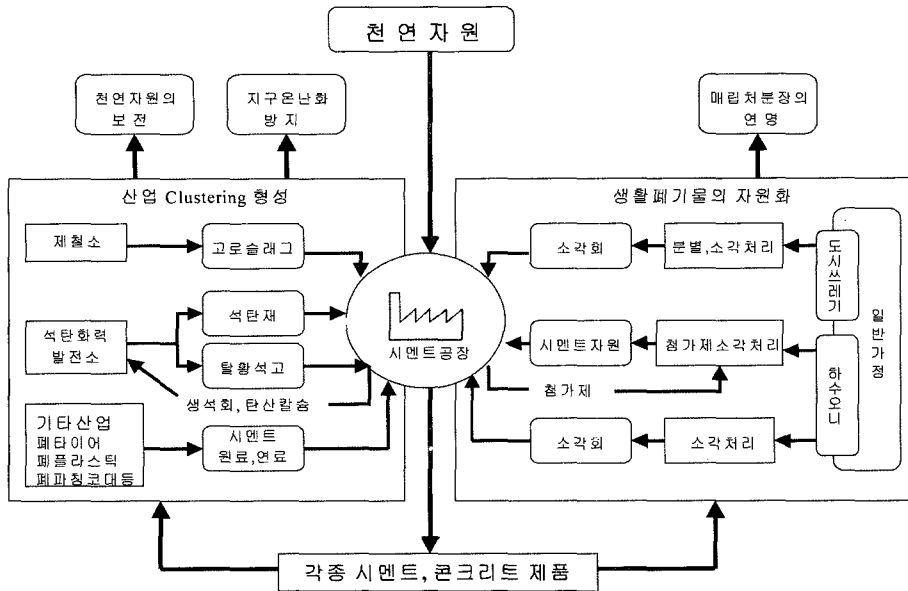


Fig. 6. 시멘트 공장을 중심으로 한 자원 순환형 시스템.

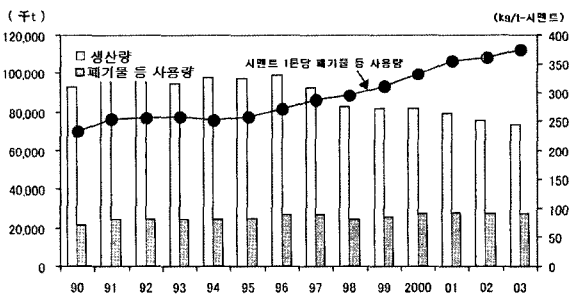


Fig. 7. 일본 시멘트업계의 폐기물 사용량 및 사용원단위.

사용량 및 사용원단위를 나타내었다.

시멘트 1톤 생산량 당 폐기물 사용량은 매년 증가하여 2003년에는 시멘트 1톤당 375kg에 이르고 있다. 종류별로 볼 때 부산물인 슬래그의 사용량은 시멘트 생산량의 저하로 인해 줄어들고 있으나, 석탄회의 사용량은 오히려 증가하고 있으며 특히 오니, 슬러지류 및 재생유, 폐플라스틱 등의 폐기물의 사용량은 지속적으로 사용량이 증가하고 있다.

또한 일본 경제산업성에서 발표한 「순환형사회 구축을 향한 시멘트산업의 역할을 검토하는 모임」의 제안에서는 2010년도 폐기물, 부산물의 사용량을 400kg/t-cement 으로 하는 목표를 제시한 바가 있어 일본의 폐기물 사용량

은 더욱 크게 늘어 날 것으로 전망된다. 최근에는 하수오니의 시멘트 원료화, 도시쓰레기 소각회를 이용한 에코 시멘트 개발, 도시쓰레기 소각회의 수세처리에 의한 시멘트 원료화, 발효기술을 이용한 생활쓰레기의 시멘트 원료화, 시멘트 킬른 burner에서의 폐플라스틱 이용기술 등 폐기물의 처리 및 재활용을 위한 새로운 기술의 개발 및 적용에 노력하고 있다. 또한 PCB(Poly Chlorinated Biphenyl), CFC(Chloro Fluoro Carbon), 폐유기용제 등을 시멘트 소성로를 이용하여 무해화 처리하는 분야까지 그 범위를 확대하고 있다.

#### 4. 시멘트 산업에서의 폐기물 재활용에 의한 환경부하 저감 효과

유럽 시멘트 협회(CEMBUREAU)는 최근 새로운 환경 관리기법으로서 부각되고 있는 전과정 평가(Life Cycle Assessment)기법을 사용하여 폐슬벤트, 공정오니, 폐페인트 및 하수오니를 소각로에서 처리하는 경우와 시멘트 산업에서 재활용할 경우에 대해 자원고갈, 지구온난화 영향 및 생태계 독성에 영향을 주는 오염물질 그리고 고상의 폐기 잔재물 발생 등의 환경부하를 점수화 하여 그

Table 5. 소각로와 시멘트 소성로에서 폐기물 처리시 LCA 점수 비교

구 분	소각로			시멘트 소성로			시멘트 소성로의 순편익
	자원/대기/수질	고상 폐기물	계	자원/대기/수질	고상 폐기물	계	
폐솔벤트	154	24	178	116	44	160	-18
공정오니	44	500	544	43	11	54	-490
폐페인트	91	362	453	71	26	97	-356
하수오니	59	80	139	53	20	73	-66

주) 점수가 높을수록 환경 부하가 큰 것을 나타냄

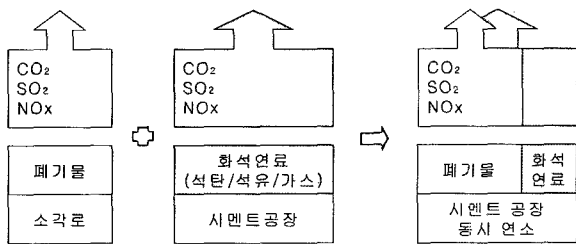


Fig. 8. 시멘트 산업에서의 폐기물 처리에 의한 배출가스의 감소 효과.

영향정도를 평가하였다. Table 5는 그 평가결과를 비교한 것으로 소각로보다는 시멘트 소성로에 의한 폐기물 처리가 환경부하를 낮출 수 있어 유리하다는 것을 객관적으로 입증하였다.

Fig. 8은 폐기물을 소각로에서 처리하기 보다 시멘트 산업에서 처리 할 경우 화석연료의 사용감소로 인해 전체 사회적인 측면에서 보면 오히려 대기오염물질이 감소될 수 있다는 것을 개념적으로 잘 보여주고 있다.

일본의 태평양 시멘트는 폐기물과 부산물의 재활용에 의한 사회 전체의 환경부하 저감에 대한 기여정도를 Table 6에 나타난 바와 같이 평가하였다. 즉 가장 일반적으로 사용되고있는 포틀랜드 시멘트(PC)와 혼합시멘트를

포함한 전체시멘트를 폐기물과 부산물을 전혀 사용하지 않는 Basic Cement(VPC)와 비교하여 동사가 2003년도에 폐기물과 부산물을 재활용 함으로서 지구온난화의 원인인 CO<sub>2</sub>의 저감, 에너지 및 광물 자원의 사용량 감소 및 최종처리장에서 폐기물 처리량 감소에 대하여 평가하고 그 사회적 환경부하 저감에 의한 경제적인 효과를 평가하였다. (출하 이후 과정은 동일하다고 가정)

태평양시멘트사의 폐기물과 부산물을 시멘트 원,연료로의 재활용한 경우의 환경부하 저감 효과는 CO<sub>2</sub> 배출량 약 210만톤 감소, 중유로 환산한 에너지 자원 약 12만톤 감소, 천연자원 광물량 약 511만톤 감소되었다. 또한 최종 처리장에서 매립 등으로 처리해야 할 폐기물 및 부산물 등을 재활용하여 처분장의 수명을 연장할 수 있게 되어 전체적인 사회적 경제 효과가 연간 700억엔에 이른다고 보고하고 있다.

유럽 시멘트협회 및 태평양 시멘트의 LCA에 의한 분석결과에서 보는 바와 같이 시멘트 산업은 비록 CO<sub>2</sub>배출이라는 환경부하를 발생시킨다는 측면도 있지만 한편으로는 부산물 및 폐기물의 재활용을 통하여 천연 에너지 자원 및 광물 자원의 고갈방지, 대기오염물질의 감소,

Table 6. 시멘트 제조에 있어서 폐기물 및 부산물 재활용에 의한 환경부하 저감 및 경제효과

영향항목	구 분	VPC	PC	시장단가 (엔/톤)	경제효과 (억엔/년)
지구온난화 방지 (CO <sub>2</sub> 발생량, kg/t-시멘트)	사용량 (감소량)	811	711 (100)	818	17
에너지 자원 고갈 방지 (에너지 사용량, kg 원유/t-시멘트)	사용량 (감소량)	35	29 (6)	18400	21
광물자원 고갈 방지 (광물자원 사용량, kg/t-시멘트)	사용량 (감소량)	1433	1192 (241)	1000	51
최종 처리장 수명연장 (부산물 및 폐기물 사용량, kg/t-시멘트)	부산물 폐기물	0	196 (196)	15000	625

주) VPC: 폐기물 및 부산물을 전혀 사용하지 않은 포틀랜드시멘트  
 PC: 폐기물 및 부산물을 일부 사용한 포틀랜드시멘트  
 2003년도 PC생산량 2122만톤, ( )내의 감소량은 VPC와의 차이임



매립장 수명의 연장 등 환경보전의 또 다른 측면에서 전  
체적인 지구 환경부하 저감 및 사회 경제측면에서 커다  
란 기여를 하고 있다.

## 5. 결 언

전세계적으로 환경과 경제의 상생 속에서 “지속 가능  
한 발전”을 추진하고자 하는 다양한 정책과 규제가 진행  
되고 있으며 우리나라 역시 이에 대응하는 노력을 기울  
이고 있다.

이러한 여건 하에서 에너지 다소비 산업인 국내 시멘  
트 산업도 에너지 절감 및 환경 개선을 위한 설비투자  
와 혼합시멘트 및 벨라이트 시멘트 등의 환경부하 저감형  
시멘트의 개발 그리고 각종 부산물, 폐기물의 재활용 등  
을 통하여 “환경을 배려하고 우선으로 하며 순환형 사회  
경제시스템의 중심산업”이라는 역할을 인식하며 지구환  
경보전을 위해 꾸준히 노력하여 왔다. 현재까지 국내시  
멘트 산업에서의 폐기물 재활용은 대부분 시멘트 업계만  
의 자체적인 노력에 의해서만 추진되어 한계에 봉착된  
면도 있는 실정이다. 법적, 제도적 지원 등을 통하여 시  
멘트 산업을 중심으로 산업계, 지자체 등과 협력체계가  
구축되고 효율적인 폐기물처리 및 사용을 위한 다양한

기술개발이 이루어 진다면 시멘트 산업은 지구환경보전  
의 핵심산업으로서 역할을 담당해 나가면서 그 위상을  
더욱 공고히 할 것이다.

## 참고자료

1. <http://www.cement.or.kr/tech/environment.asp>
2. <http://www.cement.or.kr/tech/resource.asp>
3. 日本 太平洋 セメント, “環境報告書 2004”
4. CEMBUREAU, “Environmental Benefits of Using Alternative Fuels in Cement Production”, 2004
5. CEMBUREAU, “Alternative Fuels in Cement Manufacture”, 1997
6. 下田 孝, “21世紀のセメント・コンクリート研究開発とセメント産業の役割” セメント(コンクリート, No.635, 2000.1
7. G.K.Beckum, ‘Safety arrangements for the auxiliary combustion of waste oils Containing PCB in rotary kilns’ Z.K.G 41(4), 1988.4
8. 한국 양회협회 조사자료, “지속 가능한 발전을 지향하는 세계 시멘트 메이커”, 2002.9
9. 생산기술연구원 국가청정센터, “주요 국제환경협약 및 환경규제”, 2003
10. 日本 セメント協會 자료, “セメント産業における廃棄物, 副産物の活用”, 2005
11. 小沼榮一 外 “温室効果 gas 排出削減に向けたセメント産業における熱エネルギー代替に関する考察” 日本 Cement & Concrete, No 703, 2005.9

### 이종열



- 1972년 홍익대학교 화학공학과 공학사
- 1986년 한남대학교 화학과 이학석사
- 1994년 한국콘크리트학회 이사
- 1996년 한국건설순환자원학회 이사
- 1978년 쌍용양회공업(주) 기술연구소  
- 현재. 기술연구소장

### 전병용



- 1982년 서울대학교 요업공학과 공학사
- 1984년 쌍용양회공업(주) 기술연구소 입사
- 1994년 쌍용양회공업(주) 동해공장  
품질관리과장
- 1996년 쌍용양회공업(주) 기술연구소  
- 현재. 시멘트연구실장