

# 지속가능한 사회구현을 위한 일본의 에코시멘트 개발 동향 및 향후 전망

## Current Status and Future Prospects of Eco-cement in Japan for Sustainable Society



박광민 Kwang-Min Park  
(재)한국건설생활환경시험연구원  
주임연구원  
E-mail : kmpark@kcl.re.kr



이건철 Gun-Cheol Lee  
한국교통대학교 교수  
E-mail : gcllee@ut.ac.kr

시멘트 및 콘크리트는 인류의 건축문화 발전에 막대한 기여를 해온 자원이며, 미래 건축문화를 이야기할 때 결코 빠뜨릴 수 없는 중요한 건설재료임에 틀림없다. 그러나 시멘트산업은 산업전체 온실가스 배출량의 약 15~20%를 차지할 만큼 지구환경에 악영향을 미치고 있는 것이 사실이다. 일반적으로 시멘트를 1톤 제조할 경우 약 870 kg의 CO<sub>2</sub>를 배출하고 있다. 이는 시멘트의 주원료가 되는 석회석을 약 1,100~1,300 °C로 가열하여 CaO 및 CO<sub>2</sub>를 분해하는데 이 과정에서 대량의 CO<sub>2</sub>가 발생하게 된다. 따라서 다음 세대와 지구환경을 위해서 시멘트의 제조 및 사용과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub>를 저감할 수 있는 친환경 저탄소 시멘트 기술개발의 고려가 필요한 시점이다.

이러한 가운데 일본 시멘트 업계에서는 오염물질의 자원화를 목표로 제로에미션사업을 적극적으로 진행하고 있다. 그 일환으로 폐기물을 이용한 에코시멘트의 개발을 진행하였으며 다방면에서 실제 적용해오고 있다. 에코시멘트는 생태환경(ecology)과 시멘트(cement)의 합성어로서 최근 사회문제로 대두되고 있는 도시생활쓰레기 및 하수슬러지 등을 주원료로 하여 일본에서 개발한 수경성 시멘트이다. 에코시멘트는 단순히 폐기물을 처리하는데 그치지 않고 친환경 건설재료로 재자원화하는 것으로 폐기물처리 및 자원활용이라는 두가지 측면에서 우수한 기술로서 평가받고 있다. 이번 특집기사에서는 일본의 에코시멘트의 개발 동향 및 향후 전망에 대하여 기술하도록 한다. 우리나라에서도 도시쓰레기의 재활용 문제에 대한 시멘트 분야의 대응방안에 참고가 되기를 바란다.

### 1. 에코시멘트(Eco-cement)란

에코시멘트(Eco-cement)는 Ecology(생태환경)와 Cement의 합성어로서 최근 사회문제화로 대두되고 있는 도시쓰레기 및 하수슬러지 등을 주원료로 하여 일본의 경제산업성(前 통상산업성)에서 민관공동연구로 연구 개발된 수경성 시멘트이다. 일본공업규격의 「JIS R 5214:2002 에코시멘트」에서는 “도시 등에서 발생한 폐기물 중에 주요 폐기물인 도시쓰레기를 소각할 때 발생한 재를 주원료로 하고, 필요에 따라 하수슬러지 등의 폐기물을 부원료로 해서 제품 1톤 당 폐기물을 JIS A 1203에 규정된 건조 상태에서

500 kg 이상 사용되어 만들어진 시멘트”로 정의하고 있다. 도시쓰레기 소각재에는 시멘트 제조에 필요한 성분이 모두 포함되어 있으며, 이러한 성분을 유효활용하는 것으로 폐기물을 재자원화와 동시에 폐기물처리를 동시에 기대할 수 있다.

## 2. 개발 배경 및 개념

1993년부터 일본 통상산업성(現 경제산업성)에서 실시한 “생활 산업 폐기물 등 고도처리 유효 이용기술 연구개발사업”의 하나로써 “도시형 종합 폐기물 이용 시멘트 생산기술”이 국립연구개발법인 신에너지·산업기술 종합개발기구(NEDO; New Energy and Industrial Technology Development Organization)에 출자되었으며, NEDO는

(재)클린재팬센터(CJC; Clean Japan Center)에 위탁하고, 태평양시멘트(주), 에바라제작소(주)(荏原製作所) 및 아소시멘트(주)의 민간기업 3사가 연구협력기업으로 참가하여 민간공동으로 도시생활쓰레기 및 하수슬러지 등의 폐기물을 사용한 시멘트 개발이 시작되었다.

일본에서는 도시쓰레기 및 하수슬러지 등의 처리방법의 약 75% 이상이 소각처리 후 매립처분하고 있다. 그러나 최종처분장의 처분잔여용량이 한계가 다다르고 새로운 처분장의 신설이 곤란한 상황에서, 도시쓰레기 등의 폐기물 처리 및 재자원화를 도모할 수 있는 적극적인 친환경기술이 요구되었다. 이러한 상황에서 에코시멘트의 개발 개념은 기존의 매립처리하는 도시쓰레기 소각재 등의 폐기물을 활용한 유용한 재료를 개발하는 것으로, “폐기물을 원료로 하여 사회에 유용한 재료를 공급하는 것”을 기본 개념으로 개발되었다.

도쿄 니시타마현 소재의 폐기물 최종처분장은 매립처분 잔여량을 고려하여 2013년까지 소각재 및 불연쓰레기를 매립처분할 예정이었지만, 2006년 에코시멘트 운영을 기점으로 사용기간이 대폭 연장되었다. 이는 소각재



그림 1. 에코시멘트 시설 전경(도쿄 니시타마군 소재); 에코시멘트 생산량 430 ton/일

[표 1] 에코시멘트 주요연혁

연혁	주요연혁
1993년	도시쓰레기 소각재를 원료로 한 시멘트 개발개시
1994~1996년	NEDO, CJC, 태평양시멘트(주), 에바라제작소(주) 및 아소시멘트(주) 공동연구개발
1997년	에코시멘트 제조기술 확립
2001년	치바현 이치하라에코시멘트(주) 운전개시
2002년	JIS R 5214 개정
2006년	도쿄 니시타마군 타마-에코시멘트화시설 운전개시

[표 2] 광물조성 및 화학성분

(단위 %)

광물조성	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>				
에코시멘트	49	14	11	13	6.3				
보통포틀랜드시멘트	54	21	9	9	3.4				
화학성분	ig.loss	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	Cl
에코시멘트	1.3	60.7	17.6	7.0	4.2	2.0	3.9	0.42	0.05
보통포틀랜드시멘트	2.0	64.4	20.5	5.0	3.0	1.5	2.0	0.60	0.01



그림 2. 에코시멘트 활용 현황(무근 콘크리트 중심)

를 매립하지 않고 친환경 건설자재로 사용함에 따른 기대 효과라고 볼 수 있다. 나아가 니시타마현을 순환형 사회로 발돋움할 수 있는 계기가 된 사례이다.

### 3. 에코시멘트의 화학성분 및 에코시멘트 활용 콘크리트 성질

에코시멘트의 원료가 되는 도시쓰레기 및 하수슬러지 소각재에는 CaO, SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 수경성 화학성분이 존재하므로 이를 활용하여 시멘트 원료로 대체한 것이 에코시멘트이다. [표 2]는 에코시멘트 및 보통포틀랜드시멘트의 광물조성 및 화학성분을 나타낸다. 유사한 화학성분을 보이고 있으나, C<sub>2</sub>S량이 적고 간극상(C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF)이 많기 때문에 장기재령에서의 압축강도 증진이 작아지는 문제점이 제시되고 있다. 그러나 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 등의 혼화재를 사용함으로써 문제점을 극복하고 있다.

또한, 에코시멘트의 제조공정에서 소각재를 1300℃ 이상의 고온으로 유지하여 에코시멘트 광물을 합성하게 된다. 이 과정에서 도시쓰레기에 포함되어 있는 Cd, Pb, Cr<sup>6+</sup> 및 Cl 등의 금속류는 에코시멘트 광물의 구성원소로 존재하게 되거나 고용체로서 고정되기 때문에 안정한 상태로 유지된다. 따라서 에코시멘트를 활용한 콘크리트 경화체로부터 염소나 금속류의 용출은 극히 소량으로 관련 규격의 기준치 이하를 나타내고 있다.

### 4. 활용 현황

에코시멘트는 보통포틀랜드시멘트와 동등의 품질을 보유하고 있어서 토목·건축공사 등에 광범위하게 사용되고 있다. 단, 현재까지는 다음과 같은 문제점이 제시되고 있어 무근콘크리트에 적용하는 등의 사용범위에 대한 제한을 두고 있는 실정이다. 현재는, 철근콘크리트 등의 건축물 구조체에 적용할 수 있도록 지속적인 기술개발을 진행하고 있는 상황이다.

1. 동일배합에서 재령 28일 강도는 보통포틀랜드시멘트와 비교해 10~20% 감소한다.
2. 장기강도 발현이 저조하며, 일부논문에서는 장기강도 저하가 보고되고 있으며, 대응방안으로 플라이애시, 고로슬래그 미분말 및 보통포틀랜드시멘트를 혼화재로 사용하고 있다.
3. 응결시간이 보통포틀랜드시멘트와 비교해 빠르므로(초결 약 30분, 종결 약 50분), 지연제를 첨가하여 작업성을 확보하고 있다.
4. 에코시멘트는 염소이온함량이 보통포틀랜드시멘트와 비교해 많아(그러나, 보통포틀랜드시멘트 기준치 이하임), 철근콘크리트 제품을 제작할 경우에는 철근방청작업 등의 별도 작업을 요구하고 있다.

### 5. 맺음말

국내외적으로 시멘트업계의 CO<sub>2</sub> 발생량 저감 및 자원재활용 기술 개발을 통한 환경보존이 중요한 관심사로 주목받고 있다. 아울러, 미래 건축기술에서도 시멘트와 콘크리트가 중요한 건설재료로서 자리매김하기 위해서는 성능의 우수성뿐만 아니라 친환경성이 확보되어야 할 것으로 판단된다. 따라서, 우리나라도 시멘트산업의 경쟁력 강화와 환경보존을 위해서도 다양한 용도에 응용할 수 있는 친환경 특수 시멘트 및 이를 활용한 제품 개발이 이루어져야 할 것이다.

담당 편집위원 : 박희곤(두산건설(주)품질/기술연구소)