

해외 사례로 본 시멘트 산업에서 폐기물 활용의 유용성

-일본과 유럽을 중심으로-

이 승 현 (군산대학교 신소재·나노화학공학부 교수)

1. 머리말

최근 시멘트 산업에서의 폐기물 사용에 따른 환경 문제가 좁게는 시멘트 공장 주변 지역과 넓게는 국민들의 주거공간까지 논의가 되고 있다. 이러한 논란은 우리나라만의 특수한 사정으로 인식되고 있으나, 미국, 일본과 유럽에서는 이미 논의가 끝나 사회적으로 어느 정도 합의가 되어 있어, 어떻게 하면 시멘트 산업에서 더 많이 폐기물을 활용하고, 폐기물 활용으로 인한 시멘트의 성상이 어떻게 변화하는지에 대해 관심이 모아지고 있다.

물론 우리나라 시멘트 공장은 외국 시멘트 공장과의 비교하면 지역 주민과의 신뢰 구축과 협력관계가 좀 더 필요하고 환경에 대한 고려 또한 선진국과 비교하면 보완해야 할 점이 있어, 앞으로 이에 대한 노력과 투자가 필요하다. 그러나, 확실한 것은 앞으로 일본이나 유럽 국가와 마찬가지로 국토가 좁아 매립지 확보가 곤란하고 자원이 부족한 우리나라에서는 시멘트 산업이 폐기물 처리에 크게 이바지하여 자원 순환형 사회 시스템 구축에 일조를 담당하여 지구 환경 보호에 이바지하는 산업으로 인식될 것이다.

이를 위해서는 시멘트 업계와 관련된 연구자, 정

책 입안자들이 각각의 역할을 구체적으로 재조명하고 이를 통해 제기될 수 있는 의혹을 해소하여, 일반인들의 인식속에 긍정적인 마인드가 자리잡도록 끊임없는 노력을 기울여야 할 것이다.

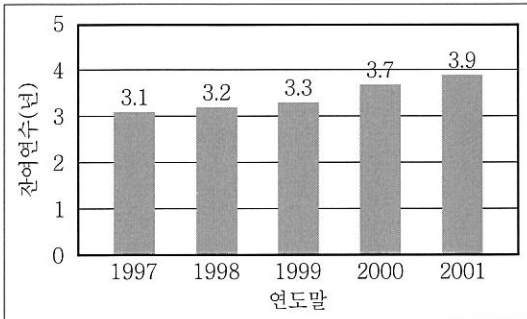
본고에서는 일본과 유럽에서 폐기물을 시멘트에 사용하는 목적과 그로 인해 환경에 어떻게 기여하는가에 대해 알아보기로 한다.

2. 일본 시멘트 산업의 폐기물 활용

가. 폐기물의 사용 이유

최근 일본은 폐기물의 최종 처분장의 고갈로 인해 폐기물의 재자원화 시설로서, 또 육골분과 같은 유해물질 안정화 처리 시설로서 시멘트 산업이 담당하는 역할이 매년 증가하고 있다. 시멘트 산업이 이와 같은 정맥산업¹⁾으로서 기대가 큰 만큼, “순환형 사회의 구축을 향한 시멘트 산업을 검토하는 모임”은 2010년도에 시멘트 산업 전체에서의 폐기물 등의 사용량을 시멘트 1톤당 400kg으로 목표를 설정하였다. 일본 환경성 자료에 의하면 2003년 산업폐기물 총배출량은 약 4억톤으로, 배출되는 산업폐기물

1) 정맥산업(靜脈産業) : 더러워진 피를 깨끗하고 새로운 피로 만들기 위해 심장으로 돌려보내는 정맥의 구실과 같이 산업폐기물을 해체·재가공하는 산업.



〈그림-1〉 일본에서의 최종 매립장의 잔여연수의 추이

중에서 전기·가스·열공급·수도업의 업종으로부터 배출되는 양이 많았고, 종류로는 오니가 가장 많았다. 이러한 산업 폐기물은 일부 감량화 처리되어 45%가 재이용되지만, 11%에 상당하는 4,500만톤의 산업폐기물이 최종 매립 처리되고 있다. 2001년 현재의 최종 처분장의 잔존용량은 약 1억 7천만³으로 최종 처분장 잔여연수는 3.9년으로 산정되고 있다. 〈그림-1〉에 최종처분장의 잔여연수의 추이를 나타내고 있다. 잔여연수는 미비하나마 증가하는 추세를 나타내고 있지만, 이것은 최종 처분장의 잔여용량이 증가한 것이 아니고, 산업폐기물의 최종 처분량이 감소한 것에 기인된 것이다. 특히 수도권에서는 최종처분의 잔여연수가 1년에서 2년 정도로 긴박한 상황에 놓여 있다.

이러한 위기적인 상황을 타파하기 위하여 일본 환경성에서는 “폐기물 감량 혹은 적절한 처리에 관한 시책의 총합적이고 계획적인 추진을 도모하기 위한 기본적인 방침”을 정해, 1997년을 기준으로 2010년에는 산업폐기물의 배출량 증가를 약 12%로 억제하고, 재생 이용량을 약 47%로 증가함과 동시에 최종 처분량을 약 반으로 삭감하는 구체적인 수치 목표를 설정하였다.

또한 일본 내각부에 설치된 “순환형 사회에 관한 전문조사회”의 중간 보고회에서는 2050년에는 일반 폐기물·산업폐기물의 매립 처분량을 10분의 1로 하는 장기적인 목표를 제시하였다. 이에 시멘트 산업에서는 이러한 정책에 적극 동참하기 위하여 일본

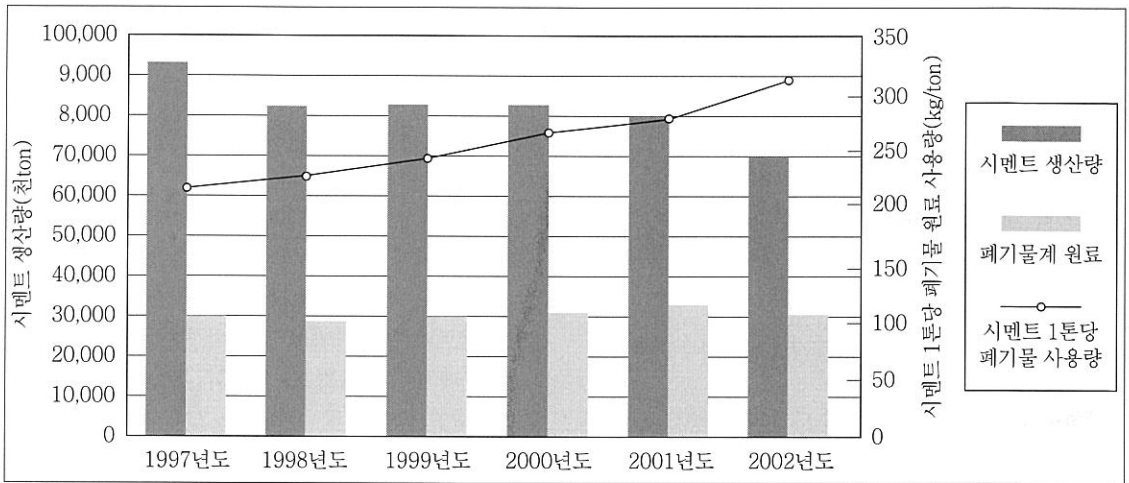
시멘트 협회를 중심으로 시멘트 각 사에서는 구체적인 사용 목표를 설정하고 이행중에 있다.

나. 일본 시멘트 산업의 대응

일본 시멘트 산업은 국가 시책에 부응하기 위하여 다양한 폐기물 및 부산물이 사용되고 있다. 폐기물의 사용량은 매년 증가하여 2003년도에는 29,593천톤에 이르러 우리나라의 2배 이상에 이르고 있다.

이 중에서 고로슬래그, 석탄회, 부산석고, 오니·슬러지, 비철슬래그 및 제강슬래그가 전체의 80%를 차지하고 있다. 〈그림-2〉에 일본에서의 시멘트 생산량과 폐기물의 원료로의 사용량 추이 및 시멘트 1톤 생산에 사용되는 폐기물의 사용량 추이를 나타냈다. 〈그림-2〉에서 보듯이 시멘트의 생산량은 감소하고 있지만 폐기물의 사용량은 증가하는 경향을 나타내어, 1997년에 시멘트 1톤당 약 220kg에서 2001년도에는 280kg으로 증가하였다. 시멘트 원료로서 사용하고 있는 폐기물의 특징은 포틀랜드 시멘트의 주요 성분인 산화칼슘(CaO), 이산화규소(SiO₂), 산화알루미늄(Al₂O₃) 중에서 Al₂O₃ 및 SiO₂ 성분이 점유하는 비율이 크다는 것이다. 이럴 경우 알루미늄이트 화합물의 양이 많은 시멘트가 생성될 우려가 있어 여기에 대한 연구 및 대책을 일본에서는 많이 연구하고 있다.

그리고 시멘트 원·연료로 재활용되는 폐기물의 양이 증가하면서 유해물질 제거 시스템 및 새로운 설비가 필요하게 되어 이에 대한 설비 투자가 이루어지고 있다. 대표적인 설비가 Chloride Bypass System, Fly Ash Washing System 및 AK(Applied Kiln System) 등이다. 대부분의 폐기물은 염소 성분을 함유하고 있으며, 이러한 폐기물을 다량으로 사용할 때 시멘트 키른에 부착물로 인한 트러블이 발생할 수 있다. 이 기술은 제조공정 중에 형성된 배출가스의 일부분을 우회시켜 염소성분을 제거하는 것으로 제조 공정의 안정성과 염소 성분 및 일부 중금속을 제거시킬 수 있다. Chloride Bypass System



〈그림-2〉 일본에서의 시멘트 생산량 및 폐기물의 원료 사용량

은 현재 국내에서도 많은 시멘트 크링카 소성로에 부착이 되어 있으며, 대부분의 소성로가 부착할 계획을 가지고 있다. Fly Ash Washing System은 일반 가정으로부터 배출되는 쓰레기의 소각회에서 염소와 용출성 유해물질을 제거하는 기술로서 우리나라에서는 생활폐기물의 소각재를 시멘트의 원료로 사용하지 않고 있기 때문에 현재 적용되지는 않고 있다. 그러나 앞으로 생활폐기물 소각재의 매립은 한계가 있어, 앞으로 우리나라에서도 적용될 시스템으로 생각된다. 한편 생활폐기물의 소각시에는 다이옥신이 문제가 될 수 있어, 이러한 문제를 해결하고자 가정으로부터 배출되는 일반 쓰레기를 직접 시멘트 공장에서 입수하여, 생분해 반응을 적용한 소성로를 활용하여 보통 포틀랜드 시멘트의 원·연료로 리사이클하는 시스템이 AK System이다. 이 시스템은 도시 쓰레기를 직접 활용할 수 있다는 장점이 있으나, 우리나라 시멘트 공장이 대부분은 대도시에서 떨어져 있기 때문에 국내 시멘트 산업에 적용하기는 쉽지 않을 것으로 예상된다.

일본 시멘트 공장에서의 폐기물 사용에 따른 관리 사항을 보면 다음과 같다. 중금속 등 미량성분이 시멘트의 품질이나 제조공정에 미치는 영향에 대해서는 오래전부터 연구되어 대략적으로 어느 정도 양이

면 품질 및 공정에 악영향을 미치는지에 대해서는 어느 정도 파악하고 있다.

시멘트 공장에서 새로운 폐기물을 사용할 때에는 일차선별(발생원 정보), 이차선별(샘플 채취에 의한 미량성분 등을 포함한 화학성분 분석), 삼차선별(테스트 사용에 의한 평가)을 실시하도록 사내 매뉴얼에 규정되어 있다. 이것을 바탕으로 시멘트 품질이나 제조공정, 주변 환경 등에 악영향을 미치지 않는 것으로 확인된 것만이 사용되고 있다. 또한 폐기물 처리법에 근거하여 허가된 품목에 대해서 허가된 범위에서 처리하고 있으며 비산의 가능성이 있는 것이나 악취가 나는 것은 밀폐형 트럭으로 반입하여 밀폐형 치장에서 보관하고 있다. 또한 미량의 유해물질이 포함하고 있는 폐기물도 있으므로 치장을 콘크리트 바닥으로 하여 지하 침투를 방지하고 있다.

2. 유럽 시멘트 산업의 폐기물 사용

가. 폐기물 사용 이유

지속 가능 개발이란 유럽연합의 핵심적인 정책목표이다. 유럽시멘트 산업은 유럽시멘트협회를 통하여 이 정책 목표를 어떻게 시멘트 산업에 적용할 것

인지에 대하여 많은 토론을 하여 왔다. 그 결과, 유럽의 시멘트 산업이 기존의 화석연료를 대체 가능한 적절한 폐기물로 대체함으로써 유럽공동체 전략을 실현하는데 도움이 될 것이라고 결론을 내렸다.

그리고 시멘트 산업이 유럽공동체의 폐기물관리 시스템에 정당한 참가자로서 참여하여, 연료 대체가 가져올 수 있는 총괄적인 환경적 이점에 대해 LCA(라이프 사이클 평가)방식을 통해 평가하였다. 이 평가를 통해 유럽 시멘트 산업은 시멘트 키른에서 폐기물을 이용함으로써 연간 석탄 250만톤을 절감하여 CO₂ 배출 삭감에 큰 기여를 할 수 있는 것으로 조사되었다.

환경부문에서 현재 유럽의 정책 기조는 1992년 마스트리히트에서 조인되고 1993년에 비준된 유럽 연합에 관한 조약이다. 유럽 시멘트 산업은 이 조약의 목표들에 전적으로 동의하고 유럽시멘트협회를 통하여 이 조약의 목표를 실천하면서 공헌하는데 적극적으로 동참하고 있다. 유럽 시멘트산업에서 주로 대체연료 또는 보조원료로서 이용되는 폐기물의 사용은 이 조약의 목표를 달성하기 위해 사용되는 것이며, 이러한 폐기물의 사용은 유럽 연합 및 국가별 정책에도 부합되는 것으로 나타났다.

이들 폐기물 사용이 유럽 연합으로부터 지속 가능한 개발의 원칙에 완전히 부합되는 것으로 받아들여지는 데에는 다음과 같은 2가지 이유가 있다.

① 시멘트 생산 공정에 있어서 대체 연료와 원료의 사용은 종래의 화석연료 사용에 의한 환경오염물질의 배출을 감소하고, 재생 불가능한 자원을 보존할 가능성을 가지고 있다.

② 폐기물 관리 시스템에 있어서 시멘트 키른은 공용 소각로에서의 소각이나, 매립에 의한 기존 처

리방법보다 안전하며 또한 환경부하를 경감하고 공용처리 설비의 수요를 경감하며 전체적인 이익을 가져올 수 있다.

나. 유럽 시멘트 산업에서 폐기물 사용 이점

유럽 연합은 시멘트 산업에서 폐기물 사용시의 환경적인 평가를 라이프 사이클 평가(LCA) 기법을 통해 평가하였다. 이 평가를 통해 기후 변화 및 CO₂ 감소에의 영향을 보면 다음과 같다. 유럽 시멘트 산업은 에너지 효율이 매우 높으며, 생산 공정에서 CO₂ 배출을 감소하기 위한 기술적 여지는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 유럽 시멘트 산업은 폐기물을 기존의 화석 연료로 대체함으로써 CO₂와 같은 온실가스를 경감함으로써 지속 가능한 발전에 크게 공헌할 수 있다는 결론을 내렸다.

시멘트의 생산은 에너지 집약적이며, 또한 에너지 비중은 총 생산원가 중에서 큰 비중을 차지하고 있다. 유럽 연합의 시멘트 생산량은 연간 170백만톤으로, 평균 에너지 소비는 석탄으로 환산하면 시멘트 톤당 120kg으로 연간 약 2천만톤의 석탄이 시멘트 산업에서 사용되고 있다. 따라서 시멘트 1톤 생산시에 약 0.83톤의 CO₂가 발생하고 있다. 유럽 시멘트 산업은 CO₂ 배출 삭감에 기여할 수 있는 다음과 같은 3가지 주요 전략을 세워 시행하고 있다.

- ① 시멘트 제조공정에서 에너지 효율 향상
 - ② 폐기물을 연료로 사용하여 화석연료의 사용 절감
 - ③ 시멘트 크링카 보다 생산 에너지가 덜 소요되는 시멘트 대체 물질로 사용한 시멘트 조성물의 변경
- 이 중에서 두번째의 대체연료 사용으로 인한 CO₂ 저감 효과를 LCA로 평가하여, 그 결과를 <표-1>에

<표-1> 공용 소각로와 시멘트 키른에서 폐기물 1톤 연소시 CO₂ 배출

대안	바이오연료	폐용매
공용 소각로에서 연소로 석탄 대체	3,379kg CO ₂	4,429kg CO ₂
시멘트 키른에서 연소로 석탄 대체	1,760kg CO ₂	1,820kg CO ₂
시멘트 키른에서 연소시 순 이점	1,619kg CO ₂ /t 폐기물	2,609kg CO ₂ /t 폐기물

〈표-2〉 폐기물 관리 옵션을 위한 LCA 점수

폐 기 물	소 각 로			시 멘 트 키 른			시멘트 키른에서의 총 유익
	자원/공기/물	고체 폐기물	총 점 수	자원/공기/물	고체 폐기물	총 점 수	
폐용매	154	24	178	116	44	160	-18
여과고형물	44	500	544	43	11	54	-490
페인트 잔류물	91	362	453	71	26	97	-356
하수 슬러지	59	80	139	53	20	73	-66

나타났다.

결과에서 보듯이 폐기물이 시멘트 키른에서 연소될 경우 순수 CO₂ 배출 감소 효과는 훨씬 크다. 시멘트 키른에서 폐기물을 연소하여 석탄 및 재생 불가능한 자원을 대체함으로써, 자원이 보존되고 이와 관련된 CO₂ 배출량이 감소된 것으로 평가되었다. 또한 시멘트 키른은 폐기물이 가지고 있는 고유한 에너지를 더욱더 효율적으로 이용할 수 있는 것으로 나타났다. 특수한 폐기물 소각로조차 폐기물의 열량을 효율적으로 활용하지는 못하지만, 반면에 시멘트 키른은 100%에 가까운 효율을 보여주었다.

폐기물을 공용소각로에서 연소하는 경우와 비교하여 배출된 CO₂ 양의 감소는 온실효과와 같은 환경부하를 감소시켜 줄 뿐만 아니라, 광물자원의 고갈, 오존층 파괴, 인간 독성, 수계생태독성, 부영양화, 산성화, 고체 폐기물 발생 등을 감소시켜 준다.

이것에 대한 것을 종합적으로 점수로 평가하여 나타난 것이 〈표-2〉이다.

즉 점수가 높을수록 특정 폐기물 처리 방법의 잠재적 환경부하는 커진다. 따라서 시멘트 키른으로 처리할 경우 순수한 환경 부하가 음수로 나타나 소각로보다 환경부하가 덜하다는 것을 알 수 있다.

또한 〈표-2〉에서 보면 폐기물의 종류에 관계없이 시멘트 키른 처리 방법에 이점이 많이 있다는 것을 알 수 있다. 공용 소각로에서 고체 폐기물을 연소하는 경우 소각재, 여과 슬러지 등은 전체 라이프 사이클 내에서 고려해야 할 주요 대상물이고, 이러한 것을 매립함으로써 침출수 생성 및 인체 유해 물질 함유 등에 상당한 환경부하를 준다. 반면 시멘트 키

른 처리는 액상 또는 고상 폐기물이 발생하지 않는다는 장점이 있어 환경부하를 대폭 줄일 수 있다.

따라서 유럽 국가들은 시멘트 키른에서 에너지 및 물질을 회수하는 폐기물 처리 공정은 환경부하를 줄이는 매력적인 폐기물 처리 방법으로 인식되고 있다.

유럽은 300개 이상의 시멘트 공장이 유럽 전역에 퍼져서 이러한 환경부하 저감이라는 사회적 요구에 잘 대응하고 있다. 현재 유럽 시멘트 산업에서 대체 연료로서 사용하고 있는 폐기물은 페타이어, 고무, 휴지, 폐유, 하수오니, 플라스틱 및 폐용매 등이 있다. 만약에 이러한 폐기물이 시멘트 산업에서 활용하지 못했다면 대부분은 매립되거나 소각로에서 소각되어 큰 환경부담을 유럽 사회에 주게 될 것이다.

3. 맺 는 말

시멘트 산업이 국가의 폐기물 관리 기반을 구축하는데 중요한 공헌을 하고 있다는 것은 일본 및 유럽에서는 이미 사회적으로 공감대를 형성하고 있다. 그리고 이들 나라에서는 시멘트 산업에서 산업폐기물 및 부산물을 원료나 대체 연료로 활용하는 행위가 건전한 폐기물 처리 체제의 하나이며, 다른 처리 방법과 상충되지 않는다는 것은 LCA 평가를 통해 입증하고 있다.

우리나라에서도 국민들의 오해가 없이, 시멘트 산업이 우리나라의 지속가능한 사회 구축에 크게 기여하는 정맥 산업이라는 이미지가 빠른 시일내에 확산되기를 희망한다. ▲