

생활폐기물 소각재의 재활용기술

1. 소각재의 용도

유럽 국가들은 도로나 성토용 흙과 같은 토목응용분야에서 자연 골재의 대용물로 소각재를 광범위하게 이용하고 있다.

가. 가공되지 않은 소각재

소각재로부터 가공된 소각재 및 생성물은 많은 토목공학분야에서 자갈이나 부순 암석을 대체하거나 보충하여 사용할 수 있다. 소각재는 미국에서 이러한 활용의 검증 프로젝트에서 성공적으로 사용되었고, 가공된 소각재는 Tennessee, Pennsylvania와 유럽에서 상업적으로 사용된다. 아스팔트나 포틀랜드 시멘트가 첨가되지 않은 소각재는 도로 기층에서 자갈과 골재 대용물로서 사용된다. 이는 또한 쓰레기 매립지에서 복토재로 사용된다.

나. 아스팔트의 포장재

아스팔트 콘크리트라고도 불리는 역청 포장에서 쇄석을 대체하여 소각재를 사용하는 것은 여러 현장 검증에서 증명되었다. 선별된 소각재는 종종 3/4inch보다 더 작은 크기 범위에서 쇄석 골재를 대체하여 왔다. 소각재로부터 만들어지는 아스팔트 포장은 전통적인 포장만큼이나 내구성이 강하며, 환경이나 건강에 미치는 어떠한 영향도 보고되지 않고 있다.

다. 포틀랜드 시멘트의 혼합재

소각재는 pozzolanic(cement) 성질을 지니는 것으로 보고되어 왔으며, 포틀랜드 시멘트의 혼합재로 작용한다.

라. 포틀랜드 시멘트 콘크리트

소각재는 포틀랜드 시멘트 현장시험에서 쇄석대용으로 사용되었다. 가장 빈도 높은 활용은 콘크리트 블록이다. 소각재로 만들어진 블록은 미국의 Columbus, Ohio; Albany, New York; Rochester, massachusetts; Stony Brook, Long Island, New York의 건물에 사용되었다.

2. 국내 현황

현재 국내의 소각재 처리 수단의 상당한 부분을 차지하고 있는 매립은 중금속의 용출문제 등 환경적 차원의 문제점을 고려하여 본다면 바람직하지 못한 처리수단이라 할 수 있다. 따라서 소각재 중의 중금속 성분을 용출되지 않도록 처리하여 이를 자원화함으로써 처리비용의 저감효과와 환경안정성을 함께 도모하는 방안이 대두되고 있다. 현재 우리나라에서는 전진산업(주), (주)진흥, 삼광물산 등이 바닥재를 활용하여 건축용 벽돌, 기와, 블록 등을 생산하고 있다.

3. 외국 현황

가. 버뮤다

버뮤다에서는 1995년에 약 80,000톤의 폐기물이 발생하였으나 2009년에는 약 120,000톤까지 증가될 전망이다. 버뮤다의 Tynes Bay Waste Treatment Facility로 알려진 WTE 시설은 1994년부터 문을 열었다. 총 288톤/일에 6톤/시간의 용량을 지닌 두 개의 개별 처리 라인으로부터 나오는 에너지를 회수하는 대형소각로이다. 2008년까지 단지 반만이 사용될 전망이다. 이는 매일 약 43톤의 혼합재 및 비산재를 생성할 것이다(16,000톤/년). 소각재의 광범위한 시험과 평가결과, 안정화된 소각재 블록을 바다에 이용하는 것이 환경에 미치는 영향력은 수용할 만 하다는 것을 보여 주었다.

나. 미국

미국에서 바닥재의 재활용 분야는 아스팔트 채움재, 콘크리트용 골재, 복토재 등으로 사용된 실적이 있다. 미국에서는 현재 7개소의 바닥재 처리시설을 가동하고 있으며, 입도분리와 자력분리공정 등을 통해 철질금속, 비철금속과 재생골재로 분리되며, 미연소 성분은 소각로로 반송되어 소각하여 처리한다.

다. 일본

일본에서의 생활폐기물 소각재의 처리는 1991년에 수정된 폐기물 처리법에 의하여 관리되고 있다. 이에 따라 비산재는 유해중금속의 함유로 인하여 직접 매립되지 못하고 최종매립 전에 전 처리를 하도록 규정되어 있으며, 환경청에 의해 규정된 범위를 만족해야 한다. 처리기술은 후생성에 의하여 규격화되었다. 이러한 방법에는 용융, 시멘트고화, 화학적 안정화, 산/용매추출 등이 있다. 1991년에 소각설비의 83%가 바닥재를 포함한 비산재를 처리하고 13%가 고행화 기술을 이용하여 처리되었으며, 15개의 플랜트(plant)에서 혼합재를 용융처리하고 있으며 2001년까지 21개로 늘어날 전망이다. 1995년에 134,000톤의 슬래그가 용융처리로 생산되었으나 이는 일본 전체 소각재 발생량의 3%에 불과하다. 슬래그 생산량의 약 17%인 22,800톤이 건축용으로 쓰였는데 그 용도로는 충전재, 노반재, 인터로킹 블록과 아스팔트 충전용 등으로 쓰이고 있다. 2001년까지 슬래그 생산은 205,103톤으로 증가할 것으로 예상되며 이의 유효이용도 더불어 증가할 것이다. 또한 생활폐기물 소각재 등에 함유되어 있는 다이옥신, 중금속, 염소 등의 문제를 해결한 새로운 유형의 Eco-cement 개발 등의 연구가 진행되고 있다. Eco-cement는 소각재 중의 5~10%를 함유하고 있는 염소 때문에 지금까지 시멘트 원료로 이용이 곤란하였으나 이 염소를 염소함유 시멘트 광물로 생성시킨 새로운 유형의 시멘트 제조기술을 확립한 것이다. 또한, 용융로를 이용하여 소각재를 파인세라믹으로 재생하는 연구가 진행되고 있다. 이는 소각재를 1,600℃의 고온으로 녹여 재생 이용 시 장애가 되고 있는 금속성분을 제거하는 용융로를 개발하여 노에서 나오는 재를 냉각시켜 분말상으로 만든 후 압력으로 굳혀 세라믹의 재료로 이용하는 것이다. 바닥재는 보통 노반재로 사용되고 있지만, 안전성을 높이고 일반 용도까지 넓히기 위해서는 수분 및 염분 제거, 미연유기물질 제거, 알칼리-실리카 반응성에 대응, 철분 제거, 비철금속류 제거, 입상화 및 입도 분포 조정, 용출성 중금속의 용출억제, 다이옥신류 제거 등이 필요하다. 이를 위해 일본의 (株)테크노론티아에서는 일반 용도의 재생 모래로서 사용이 가능하도록 개발한 공정이다.

라. 네덜란드

Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and Environment에 의해 발기된 Netherlands National Implementation Plan은 2차 물질 이용을 위한 전략을 제공한다. 이 계획은 MSWI 잔류물 분류의 이용, 처리, 폐기를 위한 모든 측면을 포괄하며, 새롭고도 발전된 처리 옵션에 대한 연구, 건설에서의 바닥재 이용을 유지 또는 증가시키기 위한 관리 체계의 집행, 비산재 및 연료 가스 청정 잔류물을 이용하거나 폐기하기 위한 적정 기법을 찾아내는 것 등을 제공한다. 네덜란드는 2차 물질로서의 폐기물 잔류물의 유용한 이용이 폐기에 우선한다고 결정하였다. 소각재 관리는 Regulation for Construction Materials(1995년 11월)에 따른다. 이 규정은 100년 이상의 기간 동안 환경에 미치는 한계만큼 방출을 허용한다. 그러나 이는 흙의 품질 기준에 대한 비판적 평가를 필요로 하며, 토양 및 수질의 활용을 포함한다. 또한 과립성 제품, 성형제품, 완전히 통일된 물질 및 흙을 구분한다. 바닥재는 1998년까지 이 규정의 특별 범주에 속했다. 이것은 소각재가 규정의 엄격한 요건을 충족시키지 못할 수도 있다는 것을 인정한다 하더라도, 이 물질의 유용한 이용을 촉진시키는 것이다. 바닥재는 도로 제방의 성토용 흙으로, 도로 기층재로 사용되지만, 설계는 빗물의 침투를 최소화해야 한다. 네덜란드에서는 바닥재의 90% 이상이 이용되고 있다.

마. 덴마크

덴마크에서, 재활용될 수 없는 폐기물은 소각되어야 한다. 1993년, 가정 폐기물의 58%(1,334,000톤)가 WTE 시설에 의해 처리되었다. 덴마크의 정책은, 소각으로부터 발생한 잔류물은 수용될 수 없는 환경적 영향력을 창출하지 않는다면 이용되어야 한다는 것이다. 원칙적으로 혼합재 및 비산재는 이용될 수 있다. 그러나 실제로 여러 가지 화학적 조성 기준 확립에 실패하여, 바닥재는 유용한 이용을 위해 따로 수집된다. 수집된 바닥재는 약 10%의 바닥재 양으로 재활용을 위해 금속을 제거하도록 처리된다. 바닥재는 덴마크에서 한정된 공급이 이루어지고 있는 자갈의 훌륭한 대용물로 간주된다. APD 잔류물(비산재 및 acid gas cleaning residues)은 특별히 유해한 폐기물로 분류되어 이용되지 않는다.

바. 독일

독일은 경제적으로 적합하다면 모든 잔류물이나 잔류물의 성분들을 재생하고 이용하도록 요구하고 있다. 이러한 전략은 모든 도시 폐기물 소각 잔류물을 포함하여 다양한 분류로 분리되도록 요구한다. 약 60%의 바닥재(180만 Mg/yr)가 도로 포장과 유사한 프로젝트에서 이용된다. 이러한 활용은 독일의 여러 주에 의해 규제되고 요구조건은 주마다 약간씩 다르다. 독일은 처리, 분리 및 유용한 이용을 위해 보다 좋은 기법을 연구하고 발전시키려는 노력을 지속적으로 후원한다. 독일에서의 몇몇 요인들은 고품 폐기물을 관리하기 위해 에너지 재생을 지닌 소각의 이용 증가를 이루어내고 있다.

사. 프랑스

1994년, 프랑스는 약 1,800만 톤의 폐기물을 소각하였고, 이는 약 216만톤의 바닥재를 생성하였다. APC 잔류물을 위한 수치는 제공되지 않았다. 216만톤의 바닥재 중에서 약 45%(약 100만 톤)가 도시공학 활용에서 이용되었다. 바닥재만이 이용된다. 비산재는 매립지로의 폐기 이전에 응고에 의해 처리되어야 한다. 1994년 5월, 도로 건설 및 다른 활용에

서의 바닥재 이용에 대한 규정이 환경부에 의해 확립되었다. 이러한 규정 및 후속 요건들은 이용을 허용하기 전에 잔류물의 화학적 및 물리적 특성을 명시한다. 소각재에 프랑스 여과 시험(NFX31-210) 결과를 이용하여, 바닥재는 세 종류의 잠재적 범주로 구분된다.

아. 스웨덴

스웨덴에서 비산재 및 바닥재는 따로 수집되어야 한다. 비산재는 폐기 전 처리되거나 특별한 라인의 매립지로 폐기되거나 매립지의 특별한 라인에 폐기되도록 요구될 수 있다. 환경 보호법에 의해 소각재의 유용한 이용에 대한 승인은 지역 도시 위원회에 의해 이루어져야 한다. 폐기나 이용에 대해 각 경우는 개별적으로 판단되며 요구조건도 달라질 수 있다. 1998년 동안 몇몇 소각재 활용 프로젝트가 천천히 움직임을 나타내고 있었다.

자. 영국

1996년, 영국에서는 4,180만 톤의 폐기물이 수집되었다. 이 중 약 90%는 매립지로 향했고, 5%는 재활용되었으며, 5%는 WTE 시설에서 소각되었다. 그러나 이러한 상황은 지속 가능한 폐기물관리(Making Waste Work, 환경부, 1995)를 촉진시키는 전략 및 규정의 발전에 따라 변화하고 있다. 이 전략은 감소 및 재이용에 뒤이어, 에너지 재생을 합성 및 재활용과 같은 범주로 두고 있다. 매립의 감소 및 재활용 및 합성의 증가와 함께(2000년까지 25%), 2005년까지 MSW(Municipal Solid Waste; 도시생활폐기물)의 재생(40%)을 위한 국가 목표가 확립되었다. 여러 가지 요인들을 기초로 영국은 2005년까지 약 270만 톤의 폐기물을 연소할 것으로 예상한다. 이는 이러한 연소가 약 800,000톤의 바닥재 및 10,000 톤의 혼합된 비산재와 공기 오염 잔류물을 생성할 것이라 추정한다. 현재의 Special Waste Regulations(1996년 9월)에 의해 바닥재는 특별 폐기물로 분류되지 않으며, 혼합된 비산재 및 APC 잔류물도 마찬가지이다. 현재 영국의 WTE 시설로부터 나온 모든 잔류물은 매립되지만 기업 및 정부는 바닥재의 유용한 이용의 개발을 추진하고 있다. 1996년, 영국 연구자들은 유용한 이용 전 소각재처리를 위해 적절한 기법으로 바닥재가 탄산화, pH 감소, 다른 응고 반응을 촉진하도록 풍화되고 숙성 되도록 권고하였다.

4. 특허기술

가. 국내특허

KISTI의 한국공공.등록특허DB(KPTN)를 검색하였는데 폐기물 소각 전반에 관련된 특허는 상당히 많은 것을 알았으나 생활폐기물의 소각(MSW incineration)에 관련된 특허는 별로 많지 않았다. 먼저 주식회사 다나 바이오 시스템과 배재근이 등록한 한국특허 0385767(20030517)은 생활폐기물 매립전 처리시스템 겸 영구 사용 매립시스템에 대한 것이다. 본 발명은 하나의 폐기물 처리시스템에서 분리수거 없이 일괄 수집된 폐기물의 선별분리에 따른 자원의 재활용률을 극대화하고 음식물 등의 유기성 폐기물은 감량화와 부식토 등의 재자원화를 통한 최종 처분량을 최소로 하는 매립 전 처리기능과 상기 감량화 시스템에서 감량 배출된 최종 배출물을 체(screen) 선별하여 부식토 등으로 재활용 가능한 안정된 생성물과 소각 또는 매립용의 이물질(협잡물)로 선별해 내기 위한 최종 생성물 분리시스템으로 구성된다. 폐기물 소각 시스템은 한국특허0383037(20030423) 보성개발(주)이 개발한

것이다. 본 발명은 산업폐기물이나 생활폐기물 등 각종 폐기물을 소각함에 있어서 폐기물을 완전 연소시킬 수 있도록 한 폐기물 소각시스템이다. 본 발명은 모터, 회전되는 이송 스크류, 호퍼, 폐기물 투입수단, 예열실, 연소실, 공급하는 연료탱크 및 펌프, 압축기, 리저브 탱크 등을 구비하고 있다. 폐기물 수도권 매립지 관리 공단이 등록한 한국특허 0349026(20020803)은 자원화를 위한 순환시스템이다. 본 발명은 매립지로 반입되는 폐기물의 과학적 처리를 통하여 폐기물의 자원화를 극대화함과 동시에 매립부지의 안정적, 효율적 활용도 가능케 하는 폐기물 자원화를 위한 순환시스템에 관한 것이다. 건조공정과 폐기물 계량공정을 거친 건축폐기물 및 폐기물 건조공정을 거친 생활폐기물, 유기성 폐기물에 포함된 불연물 및 유용물을 분리하여 최종적으로 가연물을 선별하는 폐기물 선별공정과 폐기물 선별공정을 거친 각 폐기물을 연소에 적합한 형태로 다시 혼합, 파쇄, 건조하여 최종적으로 연료화하는 폐기물 균질화 공정 및 폐기물 균질화 공정을 거친 각 폐기물을 소각하는 폐기물 소각공정으로 이루어진 것을 특징으로 한다. 생활 쓰레기의 한국특허 284525(20001220)는 조기정과 김장원이 등록한 소각 처리방법과 그 소각재를 이용한 무기질 제조에 대한 것이다. 발명은 음식물 쓰레기를 비롯한 각종 생활쓰레기, 하수처리 후의 탈수 케이크, 상수도 슬러지 등의 폐기물을 광산 폐기물과 같이 연소가 잘 되는 연소성 폐기물을 이용하여 연속적이며 신속하게 그리고 효율적으로 소각처리하고, 그 소각재에 다른 원료를 첨가하여 성형하고 이를 소성하여 무해하고 환경친화적인 세라믹 제품을 제조할 수 있게 한 생활쓰레기의 소각처리방법과 그 소각재를 이용한 무기질 성형물의 제조방법에 관한 것이다. 복합형 소각장치로 등록한 한국특허 230188(19990821)은 부일회사(한국)가 일반폐기물이나 지정폐기물을 분류해서 소각할 수 있는 복합형소각장치에 관한 것이다. 본 발명의 복합형 소각장치는 폐합성 고분자 화합물계 폐기물을 저온에서 연소시키는 건류기와 상기 건류기에 폐합성 고분자 화합물계 폐기물을 투입하는 투입수단과, 냉각수를 저장하는 냉각수 탱크, 냉각수 펌프, 킬른 등으로 구성되어 있다. 상기 킬른에서 배출되는 800℃의 배출가스를 1,000℃ 내지 1,200℃의 온도로 가열하고 미연소가스를 고온 열분해하여 무색, 무취의 열풍가스로 고온 열분해하는 고온 열분해실을 구비하고 있는 것을 특징으로 한다.

나. 유럽특허

앞 절에서 언급한 바와 유사하게 KISTI의 유럽특허DB(EUPA) 검색에서도 폐기물 소각 생활폐기물의 소각에 관한 특허는 거의 없어서 에 관한 넓은 의미의 키워드를 먼저 검색하여 그 중에 생활폐기물 소각에 관련된 특허만을 선별하여 소개하기로 한다.

국제특허 WO-9620049(19960704)는 Kanegafuchi, K. 외 2법인이 출원한 것으로 폐기물 처리 물질과 방법에 관한 것이다. 납, 카드뮴, 수은, 크롬 및 니켈 등 유독 중금속을 소각로로부터 발생하는 알칼리 비산재와 폐기물로부터 흘러나오는 이러한 중금속을 장기 보존하고 함유한 폐기물을 안정화시키는 방법을 제시하고 있다. 처리물질(disposal material)은 인산의 다(多)원자가 염과 필요하다면 시멘트, 다공성 산화규소, 규산알루미늄 그리고 철분 말로 되어 있다. 한 가지 폐기방법으로 disposal material을 숙성, 고화(固化)한 다음, 도시(생활) 폐기물 소각로에서 발생하는 EP회(灰) 또는 bag회와 같은 산업폐기물 또는 회에 함유된 유해 중금속을 효과적으로 안정화시킬 수 있다. 도시 및 다른 폐기물의 처리라는 제목으로 Ausmelt사가 WO-9611359(19960418)를 출원했다. 고무 및 플라스틱 물질을 포함한 가정폐기물, 산업폐기물, 그리고 도시고형(생활폐기물) 소각로, 유독폐기물 소각로에서 발생하는 도시폐기물을 처리하는 공정을 개발했다. 폐기물의 내용물은 분사 가스의 자유산소와

슬래그의 열에너지로 처리되어 연소, 산화 그리고 분해된다. WO-9702102(29970123)는 Kanegafuchi, K. 외 5법인이 출원한 폐기물 처리물질과 폐기물 처리방법에 관하여 설명하고 있다. 유해금속을 폐기 처리하는 물질은 이미 알려진 방법과 같이 시멘트와 고형화하여 유해 금속의 유출을 방지하기가 어려운 폐기물 소각로로부터 발생하는 알칼리 소각재에 효능이 있는 폐기물에 함유되어 있다. 본 방법은 다음과 같은 유해금속을 포함하고 있다. lead, chromium, copper, zinc, aluminum hydroxide 분말 다공성 무기흡착제, 수용성 인산염과 탄산염. 본 폐기물질은 slurried sludge, 반도체공장, 도금 작업, 도시 폐기물, 폐기물 폐기 또는 용융로로부터 검댕과 먼지 그리고 폐기물 무단처분 또는 매립 등의 폐기에 적용된다. Ishkawajima-Harima Heavy Industries사는 EP-0236686 (19870916)에서 유동층 소각로에서 무촉매로 탈질소화(denitrification)하는 방법을 개발했다. 생활폐기물(MSW)과 같은 폐기물을 소각하여 발생하는 NOx를 제거하기 위한 유동층 소각로에서 무촉매 탈질소하는 방법이다. 폐기물(refuse)은 모래와 첫 번째 공기와 같은 유동물질과 함께 유동화하고 가열하여 분해/소각된다. 열분해에서 발생하는 연소 가스는 두 번째 산소와 태워진다.

다. 일본특허

앞에서 언급한 바와 같이 한국과 유럽특허 건수가 많지 않음을 알았으나 일본 및 미국 특허에서 상당수의 특허를 찾을 수 있었다. 사용한 키워드는 생활(도시)폐기물(municipal solid wastes)과 소각(incineration)이었다. KISTI의 일본공개특허DB(JEPA)에서 찾은 총 건수는 175건이었다. 연도별 특허건수는 1976년 2건을 시작하여 1997년 23건으로 최고 건수를 나타내고 있다. 1980년대에는 출원건수의 변화가 없다가 1990년대에 와서 몇 배로 증가한 것을 알 수 있다. 많은 회사가 특허를 출원하였지만 2건 이상 출원한 회사는 단 6개뿐이다. 히타치(Hitachi)사가 10건으로 단연 제일 많고 다음은 6건으로 Agency of Ind Sci & Tech.이고 미츠비시중공업이 5건을 차지하고 있다.

5. 결론

생활폐기물 소각재, 특히 바닥재에 대한 국내외 기술 현황 및 재활용 현황 등을 검토한 결과는 아래와 같다. 생활폐기물 소각재 중 바닥재는 많은 부분이 골재 및 자갈의 특성과 비교적 유사하며 자연암석과는 달리 6% 정도의 수용성 염을 포함한다. 매립지의 침출수 분석결과 음용수 기준에 가깝거나 그 이하의 중금속 농도를 보여주고 있다. 또한 다이옥신류가 함유되어 있으나 인체에 대한 잠재적인 위험성은 없는 것으로 보고되어 재활용 가능성이 높은 것으로 판단된다. 국외의 소각재 재활용 분석으로부터 대부분의 국가, 특히 바닥재의 재활용 비율이 높은 유럽은 숙성 등 바닥재의 안정화 후 재활용하는 경향이며, 중금속 용출량 등 바닥재의 안정성을 세분하여 매립, 재활용 등을 결정하는 것으로 나타났다. 대부분의 국가들은 바닥재를 폐기되어야 하는 폐기물이라기보다는 재활용될 수 있는 자원으로 간주하고 있으며 허용 가능한 활용 및 폐기 선택을 결정하기 위해 기준 및 절차를 확립하였다. 이에 대한 개선 및 처리기술의 연구개발을 위해 지속적으로 정부에서 지원하고 있다. 바닥재의 재활용 기술은 주로 철강, 비철금속 등을 선별하고 수세, 숙성 등에 의한 유해물질 제거 및 안정화를 지향하고 있다. 처리 공정을 거친 바닥재의 중금속 용출 등 안정성에는 큰 문제가 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 바닥재의 재활용은 국내에서는 극히 일부분만이 이루어지고 있으며, 유럽에서는 주로 아스팔트 및 콘크리트의 골재대용, 시멘트 제조의 원료

로 사용되고 있다. 현장 적용에 있어 큰 문제는 없는 것으로 보고 되고 있으며, 미국 등에서는 산업 활동 중인 업체들도 있는 것으로 나타났다.