

일본의 산업폐기물 재활용기술-11

- 재, 오토 및 기타 고품폐기물 -

1 슈레더 더스트 재활용

폐기된 자동차나 가전제품, 자동판매기 등에서는 철, 동, 알루미늄 등의 금속 회수를 하고 있다. 회수방법은 우선, 이러한 폐제품에서 예를 들어 폐차의 경우라면 배터리, 범퍼, 타이어, 모터, 난방기 등의 부품이나 기름류를, 폐텔레비전의 경우라면 브라운관을, 폐냉장고나 폐 자동판매기의 경우라면 모터, 압축기, 프론 등을 제거한다. 그 후에 슈레더로 불리는 큰 철제의 톱니가 많이 붙은 드럼을 가진 파쇄기로 철을 뜯어 풍력, 자력, 전기적인 흡착 등에 의한 선별이나 수동에 의한 선별로 철, 동, 알루미늄, 유리, 토사, 플라스틱, 고무, 섬유 등으로 분별한다. 슈레더 더스트는 슈레더로 파쇄한 혼합물에서 금속이 분별된 나머지의 물질의 총칭이고 플라스틱, 고무, 섬유, 유리, 토사 등이 되지만 일반적으로 유리나 토사를 제외한 플라스틱, 고무, 섬유 등의 절단물이나 파단물을 가리킬 때가 많다. 따라서 가연물이며 발열량은 4,500 Mcal/ton정도(석탄의3/4 정도)이다. 슈레더 더스트의 발생량은 100만 ton/년 정도이다. 슈레더 더스트의 발생량 중 폐차에 기인하는 비율은 60~80%, 폐가전, 폐전자기기에서 기인하는 슈레더 더스트는 20~40%를 차지한다. 폐차의 슈레더 더스트는 플라스틱:50%, 섬유:3%, 고무:5%정도를 포함한다. 사용된 플라스틱의 종류는 많지만 최근에는 플라스틱의 종류를 한정하거나 취급하기 쉬운 플라스틱의 사용 비율을 증가하는 등의 대책도 취해지고 있다. 자동차 등의 제품에는 납이나 카드뮴이 사용되어 있기 때문에 슈레더 더스트에도 납이 수천 ppm, 카드뮴이 수십 ppm의 오더로 포함되어 있다. 또, PVC의 비율이 높은 것, 불연물이 많은 것도 처리하기에 문제가 있으므로 현재까지는 대부분이 매립처분되었다. 덧붙여 슈레더 더스트는 이전에는 안정형 처분장에서 처분되었지만, 1996년 4월부터 관리형태 처분장에 버리는 것을 의무화했다. 슈레더 더스트 처리기술은 전처리로서의 감용화와 써멀재활용, 화학재활용이 주가 된다. 슈레더 더스트는 혼합물이기 때문에 머티리얼 재활용을 하기에는 문제가 많지만 충전물이나 쿠션 등의 이용을 위해 개발을 하고 있다.

슈레더 더스트의 감용화는 운송비나 위탁 매립비가 지금까지는 중량 단위여서 그다지 검토되지 않았지만 최근 들어 주목되기 시작했다. 슈레더 더스트의 RDF화는 슈레더 더스트를 고압의 실린더 중에서 압출하여 압력과 열로 반 용융상태로 해 비중을 1 이상으로 하는 기술로, 중금속의 용출도 억제되고 있다. 이 장치를 통하는 것으로 슈레더 더스트 중의 금속이 인장력에 의해 짧게 절단되기 때문에 분리가 용이하게 된다. 따라서 한 번 장치를 통한 후에 금속을 선별 하는 것도 외국에서는 행해지고 있다. 슈레더 더스트를 가볍게 프레스하여 적당히 발열시키거나 가열하여 입방체 상으로 하여 어느 정도의 감용화 및 중금속의 용출방지를 목적으로 한 기술도 개발되어 있다.

슈레더 더스트는 현재 거의가 매립처분하고 있지만, 매립처분장의 부족에 대응하기 위해

재이용의 연구 개발이 왕성히 진행되고 있다. 비철금속정련공장에서는 슈레더 더스트를 소각해 아연, 동, 납 등의 비철금속의 회수를 하고 있다. 덧붙여 소각에서 슈레더 더스트의 발열량은 반드시 일정하지 않기 때문에 플라스틱 등의 혼합을 하고 있는 경우도 있어 석탄이나 중유를 혼소 시키는 방법도 시험되어 있다. 자동차 회사를 비롯한, 철강, 조선, 중기, 기계, 금속, 재활용 사업자, 폐기물 처리사업자 등이 연구 개발을 활발하게 하고 있지만, 최근에 슈레더 더스트를 가스화 용해로로 처리하는 플랜트를 건설하는 움직임이 구체화되었다. 100~400 ton/일의 대형 플랜트이고 슈레더 더스트를 부분산화로에서 건류해 가연성의 가스와 금속 및 무기물로 분리해 그 가연성 가스를 연소시켜 발전함과 동시에 가스 중의 무기물을 슬래그화하는 플랜트로서 슈레더 더스트가 에너지와 유가물이 된다. 또한, 이 처리로 발생한 중금속을 포함한 비산재를 용해하여 금속과 슬래그로 하는 기술도 실용 단계에 들어가고 있다.

철강 메이커에서 용광로의 기술을 살려 코크스를 충전한 로에서 슈레더 더스트의 소각, 금속 회수, 무기물의 슬래그화가 가능한 실증 플랜트가 건설되어 있다. 가까운 장래에 슈레더 더스트의 처리는 매립에서 소각으로 바뀔 가능성이 있다.

슈레더 더스트의 유향을 목적으로 한 플랜트도 시작되었다. 염화수소에 침범되지 않는 금속염의 신축매를 사용하여 질소가스를 캐리어로 사용하는 것으로 PVC의 함유율이 20%인 슈레더 더스트에서 가솔린/등유=1의 기름을 얻는 기술이 자동차 회사에 의해 개발 중이다.

2 재(소각재, 비산재) 재활용

도시 쓰레기나 유기슬러지 등을 연소 시킨 잔사와 소각재는 약 200만 ton/년 배출된다. 슬러지나 도시 쓰레기의 소각재는 연소 후 가스가 되고 화기 통로 등의 저온부나 집진기에 붙은 재(비산재라고 한다)에는 중금속, 다이옥신 등의 유해 물질이 농축되어 있다. 따라서 콘크리트, 시멘트, 아스팔트, 약제 등에 의해 고형화하였다. 그러나 재(소각재, 비산재)가 된 후도 상당한 양이 되는 것 또한 이러한 고화제를 이용하면 소각재의 양이 불어 나는 것 등에 대한 새로운 대책이 요구되는 실정이다. 도시 쓰레기나 하수 슬러지의 소각재도 규소, 알루미늄 등의 산화물이 주가 되기 때문에 시멘트의 원료가 된다. 소각재는 소량이지만 시멘트 원료에 사용하는 것은 이미 행해지고 있다. 그러나 도시 쓰레기나 하수 슬러지의 소각재는 염소를 포함하기 때문에 염소 바이패스(시멘트를 제조하는 킬른 내에서 염소를 뽑는 장치)를 붙여도 그 사용량은 그다지 늘릴 수 없다. 소각재를 대량으로 사용하는 용도로서 에코 시멘트가 생각되고 있고 해안의 방파제 블록 등의 무근 콘크리트 제품에는 사용되고 있다. 또한 염소를 제거하는 연구나 녹슬지 않는 강화근의 연구가 수행되고 있다. 도시 쓰레기나 하수 슬러지의 소각재를 가압 성형 후에 1000 °C 이상의 고온에서 소성하는 것에 의해 투수성 벽돌과 같은 소성재로 할 수 있다. 벽돌로 하는 것에 의해 토목공사용의 자재로 사용할 수 있게 되어 매립 처분 자체가 불필요해진다. 또한 소성하여 원예용의 배토, 경량 골재 등으로 하는 것이나 소각재를 한층 더 가열해 용해해 슬래그화하는 것도 검토되고

있다. 소각재는 1200°C 이상으로 가열하면 액화하고 그것을 냉각하여 슬래그를 얻을 수 있다. 이 처리로 소각재의 체적이 10% 정도가 되고 덧붙여 슬래그를 토목공사용 등의 자재로 하면 최종 처분량을 한층 감소할 수가 있다. 게다가 슬래그화에 의해 실질적으로 재가 돌이 되기 때문에 중금속의 용출은 없어진다. 슬래그로 콘크리트 골재나 인터로킹 블록, 타일, 인공 대리석, 양면, 전자파 실드 패널, 또한 종이까지가 시험제조, 제조되고 있다. 덧붙여 슬래그화의 과정에서도 새롭게 중금속이나 다이옥신 등을 포함한 비산재가 발생하기 때문에 이 비산재를 처리하기 위한 용융금속 촉매로가 개발 중이다. 이 로에서는 중금속을 꺼내 정련소로 환원하는 것 및 다이옥신을 분해하는 것이 가능하다.

3 슬래그(광재) 재활용

대부분의 금속은 산화물의 광석형태로 지구상에 존재한다. 예를 들면 용광로에서 철강석으로 철을 만드는 경우에는 철광석 중의 규소, 알루미늄, 칼슘 등은 환원되지 않고 산화물인 채로 나머지를 용융한다. 하부에 녹인 철이 고이고 상부에는 이러한 용융 산화물이 남는다. 이 용융한 산화물이 슬래그이지만 비철금속의 정련시에도 슬래그가 생성한다. 게다가 이 녹은 산화물을 냉각해 돌이나 모래로 한 것도 슬래그이고, 이와 같이 금속의 정련으로 발생하는 슬래그를 광재라고도 한다. 슬래그의 발생량은 약 3,300만 ton/년 이다. 도시쓰레기나 하수슬러지의 소각재도 규소, 알루미늄, 칼슘 등의 산화물이므로 이러한 소각재를 같은 고온에서 가열해 용융하여 냉각해 고체화 한 것도 슬래그이다. 다만 이 경우는 광재라고 하지 않는다. 폐주물사는 먼저 말한 슬래그와 달리 천연에 존재하는 물질이고 폐기물이 되기까지 용융 상태가 된 적이 없지만 일반적으로 슬래그로서 다루어지고 있다.

(1) 고로 슬래그

철광석에는 인체에 유해한 중금속이 포함되어 있는 경우가 적고, 생긴 슬래그는 그대로 돌, 모래, 흙의 대체품으로서 사용할 수 있다. 다른 금속 정련로에서 발생하는 슬래그도 거의 같다. 철광석에서 철을 만드는 경우는 로고에서 환원해 전로에서 정련을 한다. 이 두 공정에서 각각 고로 슬래그와 전로 슬래그가 발생한다. 고로 슬래그는 슬래그의 대표이고, 시멘트 공업에서 대규모로 사용되고 있다. 발생량의 70%가 시멘트용이고 20%가 도로용으로 재활용되어 이 두가지가 고로 슬래그 용도의 대부분을 차지한다. 고로 슬래그 쇄석을 도로재로 이용한 역사는 오래되었고 1919년에는 로반재로 사용되고 있다. 그 후에 용도나 사용량이 확대하여 로반재 뿐만이 아니고 표층재, 기반재, 노상지반 개량재, 아스팔트용 골재 등의 도로 건설 재료의 전반에 걸쳐서 이용되기에 이르렀다. 콘크리트의 골재로서 이용하는 것도 역사가 100년을 넘는다. 큰 것은 쇄석으로서 작은 것은 모래로서 이용한다. 처음엔 결과적으로 생긴 것을 사용하고 있었지만 현재는 목적을 가지고 만드는 것이 가능해졌다. 고로 슬래그는 발생량도 많고 옛부터 이용되어 왔지만, 최근에 발생량과 수요량의 관계가 무너지고 있고 새로운 재활용의 길이 필요하게 되었다. 양면, 벽타일, 도자기 기와, 유리의

부원료나 발포조제와 함께 소성하여 경량 건축 재료로 하는 연구나 건축용의 인조석의 시험 제작도 되고 있다.

(2) 기타 슬래그

전로 슬래그는 고로 슬래그와 달리 팽창 파괴성이 있어 도로 건설용 자재로의 이용이 늦었다. 그러나 이 팽창 파괴성은 에이징이나, 아스팔트로 까는 것으로 방지할 수 있게 되었다. 아직 고로 슬래그에 비교해 활용은 충분하다고는 말할 수 없지만 앞으로는 개선될 것이다. 전로 슬래그는 고로 슬래그와 비교해 천연석이나 생물의 부착이 많다고 여겨지고 있다고 하며 예를 들면 큰 전로 슬래그의 덩어리를 해저에 쌓아올려 어초로 하는 시도나 중간 크기의 덩어리는 바구니에 넣어 어초로 하는 시도를 하고 있다. 농업 분야에서는 전로 슬래그는 철을 포함한 자재로서 벼농사용의 특수 비료에, 또는 밭농사나 목초, 시설 원예용의 비료로서도 기대되고 있다. 동의 정련 시에도 슬래그가 발생한다. 동슬래그는 철의 산화물과 규소의 산화물을 주로하며 시멘트 원료나 토목건축용 골재, 쇼트blast용 재료, 매립용 자재, 제철용 원료에 이용되고 있다.

주물의 제조에서는 생사형, 중자조형 등으로 덩어리형모래나 미분 등의 폐모래가 발생한다. 폐모래는 재생해 그 대부분을 재이용하지만 단지 재생 공정으로 주물모래로 재사용할 수 없는 폐모래는 시멘트 원료로서 이용한다. 시멘트 공장에서는 규사의 함유량이 85%이상인 경우는 실리카 원료에 그 이하의 경우는 점토의 대체로서 이용하고 있다. 또한 토목용으로는 아스팔트 필러재, 노반재, 재매립재, 생콘크리트 원료 등의 용도가 있다. 그 외의 용도에는 도관, 기와, 제철용 플렉스, 비료(알칼리성 폐모래), 토양 개량재 등이 있다.

4 건축폐재 재활용

건축 폐재의 배출량은 6,600만 ton/년이다. 종류별로는 콘크리트잔재가 2,600만 ton, 아스팔트콘크리트잔재가 2,200만 ton/년으로 이어서 건설 슬러지, 건축 혼합 폐기물, 건축 발생 목재가 있고 이들을 합한 것이 99%가 된다. 건축 폐재의 재이용율은 48%로, 탈수, 소각 등의 감량화가 3%이며 약 50%를 매립되고 있다.

건축물은 해체 공사로 유가물과 폐기물이 되지만 같은 건축물을 해체할 경우도 해체 방법, 분별 방법의 차이에 따라 나오는 폐기물이 크게 다르다. 내장을 많이 남긴 상태로 중기계로 해체를 하면 가연물과 불연물이 섞인 혼합 폐기물이 많아진다. 한편, 내장을 제거한 후에 해체를 하면 혼합 폐기물의 양은 적어진다. 이 경우는 공사기간과 비용이 많아진다. 집이나 빌딩 등의 건축물을 부수었을 때에 발생하는 건축 폐재는 혼합물이며 건축 혼합 폐기물이라고 한다. 콘크리트잔재, 잔토, 폐목재, 휴지, 폐 플라스틱, 폐 보드(가연물과 불연물이 있다), 금속 쓰레기, 폐 유리, 기와, 번기 등 도제품 쓰레기로 다양하며 전지, 형광등, 석면인 유해 물질도 포함되어 있을 때도 있다. 건축 폐재 중, 철근 등은 철스크랩으로서 재이용되며 비철금속도 같다. 콘크리트잔재는 일반적으로 현장형의 파쇄장치로 처리하여

현지에서 재이용하므로 다양한 자주식의 파쇄장치가 개발되어 있다. 콘크리트덩이는 재생 크러셔런, 재생 콘크리트모래, 재생 입도 조정 쇄석 등으로 재생되어 도로의 하층 로반재, 방수제, 기반재 등, 주로 토목공사용으로 이용된다. 건축 분야에서 콘크리트잔재를 재이용하기 위해서는 재생 콘크리트 골재로서 이용할 필요가 있지만 그 때문에 모르탈 부착의 제거나 불순물 제거 등의 고도 처리 기술이 필요하게 된다. 고도 처리 기술로서 알려져 있는 방법으로 결정 골재 연마 기술이 있고 블루크러셔등의 기계가 이용된다. 재생결정 골재(자갈)의 흡수율은 대규모 장치, 소규모 장치에 의한 경우도 실용 레벨의 품질이 확보되게 되었다. 콘크리트덩이를 재활용하기 위해서는 세골재(모래)의 재생을 할 필요가 있다. 흡수율의 확보는 아직 곤란한 상태이지만, 재생 세골재를 시멘트 원료나 시멘트 제품 원료로서 사용하는 것이 시도되고 있다. 건축 혼합 폐기물은 분별을 하면 머티리얼재활용, 써멀재활용, 화학재활용의 가능성도 있지만 비용의 문제도 있어 그다지 하지 않았다. 예를 들면 건축 발생 폐목재의 감용화율은 14%이고, 60%가 매립하여 처분되고 있다. 다른 고체산업 폐기물과 비교하면 가연물의 비율이 적고, 건축 혼합 폐기물의 처분율은 꽤 낮다고 말해도 좋다. 최근들어 건축 혼합 폐기물의 재활용을 진행시키기 위한 종합적인 중간 처리 공장의 건설이 개시되었다. 손에 의한 선별, 파쇄, 기계 선별, 가연물의 소각, 폐플라스틱의 감용 등의 설비를 갖추어 진개, 소음, 진동도 억제하고 있어 시가지에도 세울 수 있다. 반입한 폐기물의 85%가 재자원화, 감량화가 가능하다. 기계 선별기는 비중차이와 형상차이에 의해 중량물과 가연물을 주로 한 경량물, 타일이나 보드류를 주체로 한 혼합물로 분별한다. 여기에 손으로 선별하는 것을 추가해, 콘크리트잔재, 플라스틱, 금속, 보드조각, 재생 쇄석 등의 분별을 하고 있다. 또한 재자원화율을 올리는 시도도 되고 있어 건축 혼합 폐기물도 재활용 시대에 들어갔다고 말해도 좋다.

건설 발생흙은 많은 경우에 재매립된다. 또한 공공 공사 등에 계획적으로 이용되고 있다. 토목공사의 폐기물은 예를 들면 지하철 공사의 흙과 같이 재활용은 꽤 쉽다. 발생흙을 유동화 시키면 펌프 압송이 가능하게 되어 발생흙에 흙탕물과 고화재를 배합해 유동화하여 재매립 후에 고화시키는 기술이 개발되어 있다. 물을 이용해 굴삭을 하는 경우는 슬러지가 대량으로 발생하지만 탈수하여 개량토로서 매립처분되고 있다. 건설 슬러지는 건설 폐기물 중의 20%가까이 차지하고 있지만 재이용, 감용화는 합하여 20%로 진행되고 있지 않다. 토목공사에서 발생하는 콘크리트잔재, 아스팔트콘크리트잔재는 재생 플랜트로 파쇄 후 스크린으로 분류해 재생 로반재나 재매립재 등으로 재생한다. 자주식 재생 채석 플랜트를 현장에서 처리하는 경우와 재생 공장에서 수송해 처리하는 경우가 있다.

5 슬러지 재활용

미세한 고형물과 물의 혼합물인 슬러지는 가장 흔하던 고체 산업폐기물로 배출량은 17,700 만 ton/년 이다. 최근에는 특히 하수, 분뇨나 다양한 유기성의 폐수의 처리에 따라 발생하는 슬러지의 양이 크게 증가하는 경향이다. 이러한 슬러지는 그대로 투기하면 환

경을 파괴하기 때문에 처리가 중요한 과제이고, 특히 하수 슬러지는 중금속을 포함하기 때문에 그 처리가 완전하지 않으면 안 된다. 슬러지는 유기 슬러지와 무기 슬러지가 있고 식품의 찌꺼기나 하수 슬러지는 유기 슬러지, 무기물만의 슬러지는 무기 슬러지이다. 그 외에 식품의 가공 공장이나 동물의 사육장에서도 유기 슬러지가 발생하고 토목공사 현장이나 정수장, 광산이나 금속 도금 공장에서는 무기물만의 무기 슬러지가 발생하고 있다.

(1) 슬러지의 전처리

슬러지는 그대로는 재활용할 수 없고 매립 처분할 수 없다. 따라서 감용화(감량화), 혹은 무해화, 자원화를 목적으로 농축소화탈수고체화소각 등의 처리를 하고 있다. 슬러지의 처리에서는 우선 탈수를 한다. 일반적으로는 80%이하의 수분량이 될 때까지 탈수하여 고품상의 「탈수 케이크」로 한다. 탈수방법에는 벨트프레스 탈수 등 많은 기술이 실용화되고 있다. 일반적으로 전 처리로서 응집제를 첨가하지만 고분자 응집제는 사용량이 적은 경우도 효과가 커 탈수 케이크의 증량도 거의 없다.

(2) 유기 슬러지

유기 슬러지는 어느 정도의 탈수를 하여 연료로 할 수가 있다. 하수 슬러지도 탈수를 충분히 하면 연소한다. 하수 슬러지를 혐기성 발효시키면 메탄가스가 발생한다. 메탄 발효 시킨 후의 슬러지를 소화 슬러지라고 말한다. 소화 슬러지는 소각하거나 콤포스트(퇴비)로 가공해 원예용으로 이용되고 있다. 하수처리장에서 얻을 수 있던 메탄가스로 가스엔진 발전을 하여 처리장에서 필요로 하는 전력의 상당 부분을 조달하고 있는 예가 있다. 하수 슬러지를 혐기성 발효 시켜 수소 가스를 발생 시키는 기술도 개발 중이다. 또한, 하수 슬러지에서 기름을 만드는 방법도 연구되고 있다. 그 외, 탈수 케이크를 기름으로 튀겨 연료로 하는 기술, 탈수 슬러지와 폐플라스틱, 고지와 혼합 연료(RDF) 등도 검토되고 있다. 초임계수를 이용하면 슬러지는 재(소각재, 비산재)를 발생시키지 않고 물과 가스와 금속산화물로 할 수 있다. 하수 슬러지를 탈수 후에 고온의 감압화로 플래시시켜 세포막을 파괴해, 슬러리화하는 기술도 개발 중이다. 슬러리화에 의해 탈수 슬러지의 수송이 쉬워지고 또한 액체로서 고압의 반응 용기에 눌러넣는 것이 가능해진다.

(3) 무기 슬러지

건설 슬러지는 양적으로는 무기 슬러지의 대부분을 차지하고 있어 1,400~1,500만 ton/년 발생하고 있다. 건설 슬러지의 탈수는 이전에는 태양건조기계 탈수가 주가 되었지만 공터의 확보가 곤란하게 되어 처리 비용에도 문제가 생겼기 때문에 현재는 고화재를 첨가하여 탈수를 하고 있다. 무기 슬러지의 처리 기술 중에서는 중금속을 포함한 슬러지의 처리는 중요하다. 수은, 크롬, 니켈, 아연 등을 포함한 슬러지는 고체화하거나 재생해 재이용되고 있고 자원으로 취급하는 것이 일반적으로 되고 있다.

6 폐유리 재활용

맥주병으로 대표되는 유리병은 이전에는 재활용의 대표적인 예였다. 그러나 최근에는 리터어블병(회수하는 병)비율의 저하, 원웨이병(일회용병)의 증가가 뚜렷하고 유리조각인 카렛트가 증가하는 경향이다. 카렛트의 처리에서 우선 색, 품종의 선별이 필요하다. 많은 자치체에서 분별 수집을 하고 있지만, 혼재하는 병을 기계적으로 선별하는 장치도 개발되어 있다. 고체 산업 폐기물로서의 유리 쓰레기는 도기 쓰레기와 함께 배출량의 파악을 하고 있지만 600만 ton/년 이다. 원료로서의 카렛트의 이용을 촉진할 필요가 있다. 그러나 카렛트는 virgin재와 비교해 품질이 뒤떨어져 가격도 비싸다고 하는 결점이 있고 게다가 폐유리의 발생 지점과 유리병의 제조 공장의 입지점이 반드시 가깝지 않는 적도 있어` 착색병의 재활용은 과제가 많다. 새로운 재활용 기술로서는 유리 제품 이외의 용도에 착색 카렛트를 사용하는 연구가 폭넓게 행해지고 있다. 도로의 포장용, 콘크리트의 골재, 보드의 재료 등이며 또한 혼합한 착색 카렛트에서 혼합색의 유리 제품을 만드는 움직임도 있다.