

무기계 폐분진을 이용한 전자재 제조기술

이 기 강 · 김 정 환
 경기대학교 첨단산업공학부 신소재 전공
 gglee@kyonggi.ac.kr

1. 서 론

문명의 발달과 인구증가, 생활수준의 향상으로 인한 자원의 대량소비 추세는 21세기에 들어서 더욱 가속화 되어 머지 않아 자원고갈과 폐기물의 증대라는 문제에 직면할 것으로 예상된다. 자원의 부족은 새로운 자원의 발굴을 필요로 하게 되고 그로 인한 자연과 생태계의 파괴는 인류의 생존을 위협하는 결과를 초래하게 될 것이다. 결국, 환경보전의 필요성은 전 지구적인 차원에서 인류 삶의 질 향상과 직결되며, 환경문제는 폐기물 zero화 개념인 재활용 및 자원화로 해결하여야 할 것이다.

폐기물의 종류는 매우 광범위하고 특성이 다양하다. 그 중에서 분진형태로 배출되는 고상폐기물은 화력발전소와 제철소, 제련소 등에서 막대한 양이 배출되고 있으며, 특히 이러한 산업체들이 기간을 이루는 국내 산업의 특성상 이들 폐기물의 적절한 처리 및 재활용기술의 개발은 절실한 당면과제이다.

고상폐기물의 처리는 매립·소각·재활용 중의 한 가지 방법에 의해 처리되며, 국내의 경우 거의 1:1:1의 비율로 폐기물이 처리되고 있다. 이는 구미 선진국과 비교해도 크게 차이가 나지 않는다. 그러나, 실제로 매립이나 소각 등의 방법으로는 궁극적으로 '폐기물 zero화'가 불가능하다는 한계가 있으며, 결과적으로 환경오염은 물론 자원낭비 및 처리비용 등의 경제적인 손실을 유발한다. 따라서, 폐기물의 자원화 기술에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 유해물질을 포함하는 지정폐기물 중에서 성상이 비교적 일정하고 수거가 용이한 고상 폐기물은 재활용 가능성이 높으나, 실용화된 폐기물

의 처리/자원화 기술은 많지 않으며, 그 이유는 경제성을 만족하는 기술의 개발이 개발되지 못하였기 때문으로 보여진다.

폐기물의 자원화를 위해서는 재활용 제품의 품질과 물성이 기존 제품에 비해서 우수하고 재활용 공정에서 2차적인 오염물질의 발생이 없어야 한다. 또한 재활용 제품의 시장규모가 크고 안정적이어야 하며 기존 제품에 비해서 경제성이 있어야만, 폐기물 자원화 기술의 실제적인 활용이 가능하다. 이와 같은 관점에서 볼 때, 가장 가능성이 큰 재활용 제품의 시장은 토목·건축재라고 할 수 있다.

본 고에서는 분진형태로 발생되는 고상폐기물 중에서 지정폐기물인 전기로 제강분진(EAF dust)과 일반 폐기물 중에서 막대한 발생량을 갖는 석탄회를 중심으로 처리 및 자원화 기술의 국내의 연구개발 동향을 살펴본 후, 각종 고상폐기물을 요업원료로 이용하여 복합처리를 통해 토목·건축재를 제조하는 기술에 대하여 살펴보고자 한다. 특히 중금속을 포함하는 고상폐기물을 복합처리함으로써 낮은 소성온도에서 우수한 물성을 갖는 각종 토목·건축재의 경제성 있는 제조기술과 이의 활용을 위한 방안을 제시하고자 한다.

2. 석탄회(fly ash)

석탄회는 북미지역에서 5,000~65,000(천톤/년), 유럽 지역 1,000~12,000(천톤/년), 동남 아시아는 6,000~62,000(천톤/년) 정도 발생하고 있으며, 석탄회의 이용분야를 Table 1에 나타내었다. 석탄회 재활용은 각 국가의 특수성에 따라 다양한데 주로 시멘트, 건축, 토목,

농수산 분야 등으로 재활용되어 왔다.¹⁻³⁾

미국은 전력연구소 (EPRI: Electric Power Research Institute)에서 대량이용분야(high-volume), 중급기술분야(medium-tech.) 및 고급기술분야(high-tech.) 등 3개 주요 분야로 나누어서 석탄회 활용을 추진하고 있다. 현재 미국의 석탄회 재활용률이 24% 정도로 다른 나라에 비해 낮은데, 이는 발생량이 많고 환경보전 차원에서 많은 주의를 기울여 계획적으로 실시하고 있기 때문이다. 미국의 석탄회 재활용 분야는 매립, 성토, 그라우트와 포장 등으로 활용되고 있으며, 주로 도로 포장에 활용되고 있다.

유럽의 재활용률은 평균 50% 이상이어서 북미 보다 상당히 높은 활용률을 보이고 있다. 특히, 벨기에의 경우 70% 이상을 재활용하고 있다. 유럽지역의 활용률이 높은 이유는 국토가 좁고 천연자원이 부족하여 석탄회

를 이용한 토지 조성 또는 매립에 사용되고 있기 때문인 것으로 알려져 있다. 영국은 석탄회 전체 발생량의 약 50% 정도를 재활용하고 있으며, 이는 전체 발전량의 60%를 석탄 발전에 의존하고 좁은 국토와 천연자원의 부족에 따른 것으로 생각된다.

동남 아시아의 재활용률은 북미와 비슷하지만, 일본의 재활용률은 매우 높다. 시멘트 원료 및 토목 분야의 활용률이 높는데 시멘트 분야가 전체 재활용률의 65% 정도이고 토목 분야는 10% 정도이다. 특히 시멘트 분야의 활용이 매우 높는데 이는 시멘트 생산량의 증가를 기대하기 어렵기 때문에 이에 대한 대체재로 많이 활용되기 때문이다.

국내 석탄회의 대부분은 한국전력공사의 석탄 화력발전소에서 발생되고 있다. 석탄회 발생량은 국내산 무연탄을 사용할 경우 원탄의 약 45%가 석탄회로 발생되며, 발생 석탄회의 75~90%가 플라이애쉬(fly ash)이다. 매년 국내 석탄회 발생량은 급격히 증가하고 있는 추세이며, 유연탄계가 무연탄계 보다 석탄회의 발생을 증가시키는데 이는 국내 석탄산업 합리화 정책으로 인하여 1990년을 정점으로 수입 원탄(유연탄)의 이용이 증가했기 때문이며, Table 2에 나타낸바와 같이 2001년 이후에는 석탄회 발생량이 500만톤 이상으로 증가될 것으로 보고 있다.

국내 플라이애쉬의 재활용률은 약 20% 정도로 국외에 비해 아주 미흡한 실정이다. 그러나 최근에 환경보전, 자원 부족, 매립지 확보 한계 등의 요인에 의해 재활용에 대한 노력이 커지고 있다. 석탄회의 대량 재활용은 대부분 시멘트, 레미콘에 집중되어 있으며, 석탄회 중의 미연탄소분을 5%이하로 처리한 정제회가 레미콘 혼화재로 1998년 74만톤이 이용되었고 이용량은 계속 증가될 것으로 기대된다. 그러나, 석탄회의 발생량은 계속 증가될 것으로 전망되므로 레미콘 혼화재만으로 발생량을 전부 처리할 수는 없다. 따라서 선진국처럼 시멘트 분야는 물론 벽돌/보도블럭, 인공경량골재 등의 전자재 분야 그리고 토목 및 농수산 분야에서도 석탄회의 이용이 증진되도록 꾸준한 기술개발이 요망되며, 이에 대한 연구가 널리 진행되고 있다.⁴⁻⁷⁾

무연탄 화력발전소나 기타 소규모 화력발전소에서 부

Table 1. 석탄회 이용분야

분야	용도	활용기술개요
시멘트 분야	· 시멘트 원료 · 시멘트 혼화재 · F/A 시멘트 혼화재 · 레미콘 혼화재	· 시멘트 원료 중 점토 대용으로 원료량의 4~5% 대체 사용 가능 · 포틀랜드 시멘트에 5% 이하로 혼화 가능 · 종류에 따라 5~30% 혼화 가능 · 일반레미콘 혼화재로 약 10% 혼화 가능. · 매스 콘크리트는 20~39% 혼화 가능
건축 분야	· 인공경량 골재 · 기와, 세라믹 · 기포콘크리트 · 시멘트 2차 제품	· 자갈 대용으로 사용, 고층 건축물의 경량화 가능 · 점토 대용으로 사용 · 기포콘크리트를 사용할 때 단열 우수 · 블록, 환관, 전구, 근가 등 제조
토목 분야	· 아스팔트 필러 · 노반재 · 노상재 · 매립, 성토용 · 충전재 · Grout 공사	· 아스팔트 안정화와 골재 틈새 채움재 · 시멘트 안정처리 노반 석회 안정노반의 대체 · 한랭지 동상 억제 또는 연약지반 도로용 토사의 대체 · 간척사업, 육상 저습지 매립 또는 성토 매립 · 단광, 항내 충전재로 사용 · 터널 매립, 불링구멍 매립재로 사용
농수산 분야	· 비료 · Composit · 인공어초	· 규산비료 원료 · F/A를 단독 또는 유기폐기물과 혼합 토양개량제로 이용 · F/A를 수지, 모래와 함께 성형 또는 탈황석고, 시멘트 등으로 경화

Table 2. 연도별 석탄회 발생현황 (천톤)

구분	1992	1994	1996	1998	2000	2005
무연탄	948	864	970	980	1,026	1,026
유연탄	920	1,564	2,150	2,830	3,390	4,687
계	1,868	2,428	3,120	3,810	4,416	5,713



산물로 생성되는 석탄회의 정량분석 값을 보면 석탄회의 주성분은 SiO₂(46~60%), Al₂O₃(18~22%) 및 C(16~32%)이며 나머지는 알카리 금속과 철분으로 구성되어 있다.^{9,10)} Al₂O₃와 SiO₂의 당량비는 1:4~1:5로서 점토의 대체원료로 안정된 범위에 있으며, 오염원료의 대체재료로의 응용가능성은 매우 크다. 그러나, 채취된 시기에 따라 조성이 달라지며, 특히 미연탄소분의 함량은 매우 큰 편차를 보이고 있으며, 미연탄소분의 함량변화는 곧 원료의 용적변화에 직결되므로 안정된 원료의 수급에 차질을 가져올 뿐만 아니라 기계적 성질에도 악영향을 미치게 된다.^{8,11)}

따라서 석탄회를 오염원료로 안정적으로 활용하기 위해서는 원료의 물리화학적 분석을 하여 선별화시킴으로써 균일한 특성을 갖는 원료를 안정적으로 제공함으로써, 석탄회를 사용한 제품의 품질을 향상시키고 재활용률도 증진시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3. 전기로 제강분진(EAF Dust)

전기로 제강분진은 분진내의 원소별 함량이나 발생량에 따라 경제적인 측면과 오염의 관점에 따라서 처리방법을 결정하게 되는데 외국의 경우의 몇 가지 예를 보면 다음과 같다. 일본의 경우 전기로 분진은 특정 폐기물로 분류되며, 따라서 포집, 운반, 매립 처리 시 특별히 규제를 받고 있다. 우선적으로 용출 실험을 통해서 유해물질,

예를 들면 Pb⁺², Cr⁺⁶, Cd⁺², As⁺² 등이 함유되어 있는 경우는 차단형 매립을 해야 한다. 그리고 무해화 공정을 거친 유해원소 함유 폐기물도 계속적으로 관리형 매립을 해야 하는데, 이는 물의 유입과 용출이 방지되어야 하며 침출수는 규정에 만족하도록 정해져 있다. 그러나, 고화처리의 문제점은 산성비나 특정한 환경조건에서 중금속의 용출 가능성이 있으며 고화체의 부피가 증가하게 된다는 것이다. 특정 지역에서는 이러한 무해화 처리를 한 매립도 금지하고 있다. 독일의 경우에는 (Zn+Pb)의 합이 17.5% 이상인 경우 매립보다 자원화하는 것이 효과적이라고 판단하고 있다. 미국의 경우에는 1980년부터 RCRA(The Resource Conservation and Recovery Act)에 의거 전기로 분진을 유해성 물질로 규정하고 있다. 그 이유는 분진 속에 함유된 1.5%이상의 Pb 때문인데 이를 규정에 의하여 반드시 처리해야 한다.

전기로 제강분진으로부터 아연과 같은 유가금속을 회수하는 재자원화 기술은 Table 3과 같으며, 크게 고온분리기술과 습식분리기술로 대별되는데 처리 잔사의 무해화 측면에서 보면 고온분리기술이 유리하다. 고온분리기술은 Zn, Pb, Cd 성분을 환원, 휘발시켜 회수함과 동시에 분진을 무해화하는 기술로서 i) Rotary kiln로를 이용하는 Waelz법,¹²⁾ ii) Plasma로를 이용하는 Plasma법,^{13,14)} iii) 용융환원을 이용하는 Romelt법¹⁵⁾ 등이 있는데 선진국에서 상업화되어 가동되고 있는 방법으로는 Waelz법과 플라즈마법이 있다. 습식분리기술은 i) 먼저 분진을

Table 3. 상용화된 전기로 제강분진의 자원화 기술

구분	기술	공정	장점	단점
고온 분리 기술	Immetco법	환원제로 탄소 장입 1200 에서 아연휘발 CO:CO ₂ 비율조정에 의한 산화아연 회수	펠레타이징 원료로 석탄 사용하여 환원제 비용 절감 산화아연 순도 높임, 설비투자비 감소, 아연페라이트 처리	
	Waelz법 (로타리킬른)	Immetco법과 로의 모양은 다르나 산화 아연 회수율은 비슷	처리비가 저렴하다	산화아연 순도가 낮다 저순도 산화철 회수
	플라즈마법	제강분진을 플라즈마로 용융 환원 처리	분진 폐가스 적다 청정한 고온분위기	전력소모 큼 회수아연 순도 낮음 상용화 용량 제한 및 설비투자비 과다
습식 분리기술	산성습식법	산으로 아연침출한 뒤 전기분해법으로 아연회수	강한 부식성 분위기 에너지가 작게 들	시설 설치비 많이 들 철 용해가 많다
	알칼리습식법	NaOH로 아연 침출 후 전기분해로 아연 회수	산성 습식법에 비하여 부식이 적음 폐수처리 용이 철분 용해되지 않음	아연함량이 20% 이하인 경우 경제성 없음.

고온분리법으로 처리하여 조산화아연을 제조한 다음 이로부터 습식분리법에 의하여 유기금속을 회수하는 방법, ii) 분진을 직접 산 및 알칼리 용액으로 침출하여 유기금속을 회수함과 동시에 유해원소들을 제거하는 방법으로 대별된다. 지금까지 외국에서 개발되어 발표된 전기로 분진으로부터 Zn을 회수하는 습식분리공정들은 침출제로 H_2SO_4 및 HCl 과 같은 산 또는 $NaOH$, NH_3 -(NH_4) $_2CO_3$, NH_4Cl 등의 알칼리 등을 사용하였다. 최근에 개발된 Ezinex 공정이라 불리는 NH_4Cl 을 침출제로 사용하는 공정은 전해채취공정에서 Cl 문제를 제어할 수 있다는 장점을 갖고 있는 공정이다. Table 3에 전기로 제강분진의 유기금속 회수기술의 장단점을 정리하였다.

국내에서도 전기로 제강분진으로부터 유용금속을 회수하는 기술개발에 대한 몇몇 연구개발이 수행되어 왔다. Rotary kiln 및 Rotary hearth로를 이용하여 아연을 휘발, 회수하는 기초실험을 수행한 바가 있으며 상업화를 위한 대표적인 연구개발로는 플라즈마를 이용하는 고온분리방법으로 금속아연을 회수기술이 있는데 플라즈마 설치비 및 운전비가 비싼 것이 단점이다. 또한 염산을 사용한 습식분리기술을 이용하여 아연을 회수하는 기술개발을 수행 중에 있지만 아직 상업화 수준에 도달하지는 못하였다.

한편 미국의 Consolidated Materials Brokers에서는 전기로 제강분진을 재활용하여 Zn을 재회수함과 동시에 나머지 분진을 이용하여 벽돌을 제조하는 공정을 상품화하고 있다. 이 회사는 1997년 10월 Ohio에 이를 해결할 수 있는 system을 구축하였고 Ohio EPA로부터 RCRA 규정에 적합 공정임을 인가 받았다. 이들은 전기로 제강분진으로부터 ZnO뿐만 아니라 중금속을 제거 후 나머지 성분으로 구성된 분진으로 건축용 벽돌을 제조하는 공정을 만드는데 성공하였다. 주요 기술을 보면, dust를 환원제인 코우크스와 혼합하여 Pb, Cd, Zn를 휘발, 응축 방법으로 회수한 후 이들을 다시 Zn, Cd 제조 회사에 납품하고 있으며, Fe성분이 주종을 이루는 처리된 분진을 이용하여 고기능의 벽돌을 제조하고 있다. Zn, Pb의 회수율은 97% 이상이며 생산된 벽돌 역시 다른 방법으로 제조된 벽돌보다 경제적으로 우수하다고 주장하고 있다.

4. 고상폐기물의 복합처리기술

현재 유해 중금속의 회수 및 용출 억제를 위주로 한 특정폐기물의 처리방법이 주로 제시되어 있으며, 고상폐기물의 재활용은 시멘트용으로 제한적으로 사용되고 있다. 그러나 보다 높은 부가가치를 갖는 세라믹 제품으로의 재활용은 세라믹 제품에 요구되는 기계적 강도와 같은 물성과 경제성을 동시에 만족시키지 못한다는 문제점을 가지고 있어 실제 실용화는 제한을 받고 있다.

이러한 원인은 다양한 화학조성 및 비중과 표면특성을 갖는 고상폐기물을 기존의 세라믹 원료와 혼합하는 과정에서 충분히 균일한 혼합체를 제조하지 못하였기 때문이다. 또한 전기로 제강분진의 주성분을 이루는 금속 및 금속산화물 성분이 소결과정에서 벽돌원료인 점토 등과 반응하여 액상을 형성하기 때문에 기존의 벽돌 조성에 전기로 제강분진을 첨가하는 경우 액상량이 과도하게 증가하여 강도가 감소하거나 연화되는 문제점이 있다.

전통적인 세라믹 제품의 성분은 물과 혼합시 가소성을 주는 점토계 광물, 성형시 비가소성 충전제(filler)와 소성 시 액상을 형성하는 장석 그리고 용융되지 않고 충전제로 작용하여 망목구조를 형성함으로써 소성과정에서 연화를 막는 역할을 하는 실리카 등의 3가지 성분으로 이루어진다.

전기로 제강분진과 같이 중금속성분과 알칼리/알칼리토금속을 다량 함유하는 폐기물은 소성 시 액상을 형성하는 용제로 작용하며, 전통요업 성분 중에서 장석과 같은 역할을 한다. 점토 중의 알루미늄-실리케이트는 주로 미립의 판상입자로 이루어져 있으며 성형 시 가소성을 증진시키는 역할을 한다. 대표적인 점토광물인 카올리나이트는 약 600°C 부근의 온도에서 결정수가 분해되어 준안정상인 메타-카올리나이트로 전이한다. 메타-카올리나이트는 매우 반응성이 높은 물질로서 약 1000°C 이상의 온도에서 실리카와 물리이트로 전이된다. 석탄회는 화학조성은 점토와 거의 같지만 주된 결정상은 물리이트와 크리스토팔라이트로서 가소성이 없는 반면 높은 내화도를 갖기 때문에, 소성과정에서 녹지 않고 망목구조를 형성함으로써 연화를 막고 소성체의 강도를 높

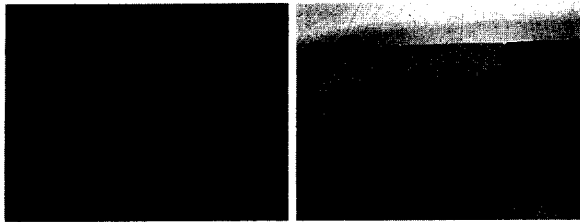


Fig. 1. 벽돌/보도블럭: 석탄회 30wt%-전기로제강 분진 30 wt%-적점토 40 wt%.

여주는 역할을 하는 도자기의 3 성분계에서의 실리카와 같은 역할을 한다.

도자기의 3 성분계에서의 장석의 역할을 하는 더스트와 실리카의 역할을 하는 석탄회를 적절히 조합하여 동시에 처리함으로써 전통적인 요업원료의 대체가 가능하다.

각종 폐기물을 조합하여 높은 강도를 갖는 세라믹 제품을 제조하기 위해서는 화학조성 및 결정상을 분석하여 적절한 폐기물의 조합을 구해야 한다. 동일한 조성에서도 사용된 폐기물의 종류 및 각각의 폐기물의 화학조성에 따라 기계적 강도와 부피비중 등의 물성이 영향을 받으며, 각각에 대해서 적절한 소결온도 및 소결시간이 결정되어야 한다.

소성된 제품의 강도와 부피비중 등의 물성은 사용 원료, 각 성분의 조성 및 조합방법, 소성온도 또는 소성시간에 의해 결정되며, 예를 들어 Fig. 1에 나타난 바와 같이 석탄회 30wt% - 전기로제강 분진 30 wt% - 적점토 40 wt%로 제조된 벽돌/보도블럭의 흡수율이 약 7%, 압축강도 700 kgf/cm²으로 KS 1종 벽돌의 규격을 훨씬 상회하는 강도와 흡수율을 가지며, 중금속의 용출량은 Table 4에 나타난 바와 같이 중금속 검출 표준(예를 들면, 미국 EPA의 TCLP)의 모든 조건을 만족한다.

또한, 전기로 제강분진-석탄회-점토를 혼합하여, 로터리 킬른을 이용하여 소성함으로써 인공경량골재의 제조가 가능하다. 이때 석탄회 중의 미연탄소분은 소성과정에서 산화되면서 전기로 제강분진과 점토 중에 포함된 Fe₂O₃ 성분을 환원시킴으로써 gas를 발생시키고 발생된 gas는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 치밀화된 골재표면에 의해 골재내부에 포집되어 발포된다. 이렇게 발포된 인공골재는 Table 5에 나타난 바와 같이 외국의 인공경량 골재와 동등이상의 물성을 가지며, 시멘트와 혼합한

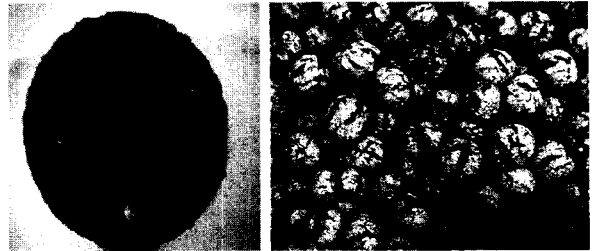


Fig. 2. 석탄회-전기로 제강분진-점토 인공경량골재.

2차 제품의 mock-up 실험결과 단열성 및 차음성이 기존 제품 대비 15% 이상 향상되었고 강도 및 경량화가 매우 우수한 것으로 판명되었다. 석탄회와 전기로 제강분진을 경량골재의 원료로 재활용하는 경우의 장점으로서는 일반적으로 석탄회의 재활용에 있어 가장 큰 문제점인 높은 미연탄소 함량이 오히려 발포를 도와주는 역할을 하며, 전기로 제강분진은 산화철의 환원에 의한 gas 발생과 액상형성을 통한 gas의 포집을 가능하게 하는 역할을 함으로써 효과적인 인공경량골재의 원료가 된다. 즉, 미연탄소분의 함량이 높아 레미콘 용으로 재활용이 제한을 받는 무연탄 석탄회를 별도의 정제과정 없이 재활용이 가능하여 석탄회의 재활용률을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

화력발전소와 제철소, 제련소 등에서 막대한 양이 배

Table 4. 폐기물로 제조한 벽돌의 TCLP Data (석탄회30 wt%-전기로제강분진30 wt%-점토40 wt%)

Sintering Temp. (C)	Concentration of heavy metal(ppm)			
	Pb(3*)	Cr(1.5*)	Cd(0.3*)	Cu(3.0*)
1000	0.30	0	0	0.10
1050	0.20	0	0	0.10
1100	0.20	0	0	0.10

(*) : 미국 EPA의 유해중금속의 용출기준

Table 5. 인공경량골재의 물성비교

	부피비중	흡수율(%)
폐기물 골재	0.85	27.91
	1.35	13.07
일본골재	0.72	34.68
	1.65	10.43
독일골재	0.71	47.04
	1.41	10.37

출되고 있는 각종 폐분진 형태의 무기계 고상폐기물은 시멘트, 시멘트 2차 제품 등으로 재활용처가 제한되어 있으며, 특히 지정폐기물인 전기로 제강분진의 경우 현재까지 확실한 재활용 방안이 결정되어 있지 않아 많은 양이 매립되거나 야적되어 심각한 환경문제를 야기하고 있는 실정이다.

따라서, 국내의 폐기물 처리에 있어서도 구미 선진국과 일본의 예에서 보듯이 고상폐기물을 비교적 부가가치가 높은 요업원료로 자원화하여 건축·토목재를 제조하는 방안이 강구되어야 하며, 실제로 고상폐기물을 복합처리함으로써 우수한 물성을 갖는 토목·전자재의 제조가 가능하며 경제성을 확보할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 고상폐기물 자원화를 확대하기 위해서는 자원화가 가능한 고상폐기물의 종류를 더욱 확대하고 고상폐기물을 이용한 재활용 제품을 다양화시킴으로써 고상폐기물의 자원화 비율을 높이고 매립 또는 부적절한 처리에 의한 환경오염 등의 문제를 방지함은 물론 관련 산업의 지속적인 발전의 기반이 확보될 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 세계 기술 뉴스 브리프, 산업기술정보원, 제103호, 92-19, 1992.

2. 윤영철, 전국대학교 산업대학원 석사논문, 1-25, 1989.
3. S. Torry, "Coal Utilization", Noyes Data Corp., 1987.
4. 김도수, 박종현, 박병배, 노재성, "유리섬유 폐재가 첨가된 플라이애쉬계 인공경량골재의 소성특성" 한국폐기물학회지 **17**(3), 252-260, 2000.
5. 이무성, 나춘기, 송재준, "제지슬러지를 내부열원 및 발포제를 이용한 석탄회 인공경량골재 제조에 관한 연구", 한국폐기물학회지 **17**(2), 147-157, 2000.
6. 이기강, et.al., "석탄회-점토계 소지의 가스성 증진에 관한 연구", 한국요업학회지, **33**[2], 135-142, 1996.
7. "종이재-석탄회-점토계 소지를 이용한 소결체의 특성 연구", 홍진욱, 강승구, 이기강, 김유택, 김영진, 김정환, 박명식, 한국세라믹학회지, Vol. **38**(10), 908-913(2001).
8. 한국공업규격, KSL-4201 1-3, 1987.
9. 요업공학 핸드북, 일본요업협회, 121-232, 1979.
10. 中塚英和, 공개특허공보(A) 平1-97603(1985) 1-5.
11. 한국공업규격, KSL-1001, 1-22, 1988.
12. 황용길, "Rotary kiln법의 특징과 조산화이연의 처리기술", 자원리사이클링총서, 121-127, 동화기술, 1997.
13. 신형기, "Plasma를 이용한 EAF dust의 처리기술", 자원리사이클링총서, 128-132, 동화기술, 1997.
14. 윤기병, "프리즘마법에 의한 전기로 제강분진 처리기술", 자원리사이클링총서, 133-138, 동화기술, 1997.
15. 박현서, "Romelt법에 의한 EAF dust의 처리기술", 자원리사이클링총서, 139-146, 동화기술, 1997.



이기강

- 1978년 서울대학교 요업공학과 학사
- 1981년 서울대학교 무기재료공학과 석사
- 1987년 서울대학교 무기재료공학과 박사
- 1987년 포항 산업과학기술 연구소
- 1990년 주임연구원
- 1990년 현재 경기대학교 재료공학과 교수
- 1994년 Rutgers Univ. NJ. U.S.A.
- 1995년 교환교수



김정한

- 1987년 서울대학교 무기재료공학과 공학사
- 1989년 서울대학교 무기재료공학과 공학 석사
- 1995년 서울대학교 무기재료공학과 공학 박사
- 1995년 경기대학교 재료공학과 겸임교수 - 현재