녹색기술의 개발 동향

이강인
한국지질자원연구원 자원재활용기술개발사업단

The Development Trend of Green Technologies

Kang In Rhee
Resource Recycling R&D Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

1. 들어가면서

최근들어 심화되고 있는 기후변화로 지구환경은 열악해지고 있으며 과도한 자원소비로 인해 자원고갈을 직면하고 있다. 특히 자원이 별로 없는 우리나라로서는 자원의 확보 및 활용이 지속가능한 성장의 필수적이며 녹색성장의 기반이 되는 것이다. 21세기에 들어서서 세계 10위 이내로 경제발전을 이루기 위해서는 자원순환사회 구축의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 이에 부응하여 2000년부터 자원재활용기술개발을 '21세기프론티어사업'이라는 국가 장기대형 국책사업으로 수행하게 되었다.

지난 10년 동안 사업단에서 개발한 재활용기술의 실용화 및 보급으로 연평균 5-13% 성장과 5조원 규모의 국내 재활용산업이 활성화되었으며 동시에 부가가치를 창출하고 고용촉진 효과도 얻을 수 있었다. 그 결과 하나뿐인 지구의 유한한 자원을 온전히 보전하게 되며 인류의 지속적이고 건강한 삶을 누릴 수 있게 될 뿐만 아니라 지속가능한 발전의 토대를 마련할 수 있었다.

본고에서는 사업단에서 개발된 기술을 소개함으로써 자원재활용에 대한 중요성을 재인식시키고 재활용산업의 활성화로 국가가 추구하는 녹색성장을 초석을 다지고자 한다. 특히 전 지구적인 아젠다인 온실가스 배출에 의한 기후변화를 막는 최선책으로 부각되고 있는 자원재활용에 대해 재조명하고자 한다.

2. 자원재활용기술개발의 사례

2. 1. 혼합 폐플라스틱 종합 자동선별분리 기술개발

현재 쓰레기 중 가장 골치 아픈 것 중의 하나가 플라스틱이다. 플라스틱은 종류가 다양하고 배출량이 커서 수거와 이송에 문제가 많다. 또한 분해가 잘 되지 않아 토양을 오염시킬 뿐만 아니라 소각할 경우 공기 오염은 물론 유해물질인 다이옥신을 발생시킨다. 그러나 플라스틱을 재질별로 분리하면, 재생제품, 오일, 석유화학 원료, 합성가스 등으로 유용하게 재활용할 수 있음에도 불구하고 최근까지 혼합폐플라스틱의 분리를 수작업에 의존하다보니, 많은 노동력과 넓은 부지가 필요하고, 분별효율도 매우 낮았다.

본 분리기술은 노동력을 전혀 투입하지 않고 근적외선(Near Infrared)을 이용하여 감지한 후 재질별로 분리하고 플라스틱의 비중 차이를 이용하여 물과 원심력으로 빠르게 선별하며, 서로 다른

플라스틱이 마찰전기를 띠도록 한 후 전기장을 통해 플라스틱을 종류별로 선별하는 자동분리기술이다.

근적외선에 의한 분리는 컨베이어 벨트 위로 이송되는 다양한 용기류 플라스틱을 근적외선을 투사하여 반사광의 파장분석으로 플라스틱 종류를 식별한 후 컴퓨터로 제어하여 분리 배출하는 방법이다. 이 방법으로 플라스틱 용기류는 PET, PP, PE, PS의 재질별로 95% 이상 분리할 수 있어 물질재활용으로 활용될 수 있다. 그러나 이물질에 의한 오염이 심하거나 복합재질인 경우 선별이 되지 않기 때문에 새로이 개발된 파쇄 및 습식비중 선별을 적용하여 경량 플라스틱(주로 PP와 PE 그리고 일부 PS)과 중량 플라스틱(주로 PET와 PVC)으로 분리하였다. 경량물은 유화 또는 가스화의 원료로 사용이 가능하나 중량물 내의 PVC 때문에 그대로 이용할 수 없다. 따라서 플라스틱의 종류에 따라 마찰을 시키면 상대적인 하전량에 따라 각기 다른 전하를 가지게 되고 높은 전기장에서 반대극 쪽으로 끌려 분리하는 마찰하전형 정전분리로 99% 이상 분리할 수 있다. 이러한 3가지 방법으로 혼합폐플라스틱에 대해서 토사류와 같은 이물질을 제외하고 완벽하게 분리할 수 있다.

특히 근적외선 자동분리 선별장치의 우수성을 인정받아 장영실상을 수상하였으며 밀양, 용인, 김해, 파주, 양주 등 지자체와 일본에도 기술을 수출하였다. 또한, 마찰하전선별, 풍력비중선별 신기술을 개발, 접목시켜 세계 최초로 혼합 폐플라스틱 종합 자동분리 선별시스템을 과천시에 설치, 시범화 사업을 성공적으로 완료하였다.

이에 대한 LCA 결과 선진국 기술 대비 설비투자비 50%, 공정운전비 30% 이상 절감할 수 있으며 폐플라스틱 1 kg 재활용하면 약 1.56 kg의 이산화탄소 저감 효과가 나타났다. 국내 발생 용기 및 포장류의 폐플라스틱을 분리선별에 의해 재활용 하면 4,000억원/년 이상의 경제적 효과가 예상되며, 700만톤의 이산화탄소 저감으로 소나무 14억 그루를 심은 효과를 얻을 수 있다.

Fig. 1. 과천시 폐플라스틱 자동선별 시범화 플랜트

2. 2. 폐플라스틱 열분해 유화공정 기술개발

생활계 및 사업장에서 발생하는 폐플라스틱을 대상원료로 하는 3,000톤/년 규모의 연속식 열분해 유화 실증플랜트를 건설하고, 대규모 상용 플랜트의 설계 기술을 확립하였다. 2002년도 국내의 폐플라스틱 발생량은 약 365만톤으로 집계되고 있다. 이 중 약 25%만이 재활용 되고 있으며, 나머지 대부분은 매립과 소각에 의해 처리되고 있어 합리적인 재활용 기술 개발이 절실히 요구되고 있다. 특히 석유로부터 생산되는 플라스틱을 석유자원으로 순환시키는 유화기술개발은 폐플라스틱 재활용의 근원적인 해결책이 될 수 있다. 그러나, 국내의 경우 중국 또는 유럽, 일본 등으로부터 검증되지 않은 저급기술들이 도입되어 10여기의 소규모의 플랜트가 건설된 바 있으나 국내 실정

에 부적합하여 정상적으로 가동되지 못하고 있다.

이번에 개발된 열분해 유화 공정은 원료 용융에 의한 PVC 염소성분 제거, Fired Heater형 고효율 열분해 반응(PFR) 시스템, 고온 고점도용 펌프 및 레벨 제어시스템에 의한 연속식 자동화 공정이다. 또한, 감압증류에 의한 제품 정제 및 주 반응기의 열분해 온도를 420~430℃ 범위로 하여 부산물(가스)의 공정 연료화에 의한 자체 에너지 소비율 15% 이하인 첨단 공정으로서 75% 이상을 연료유로 얻을 수 있다. 특히, 왁스가 없는 고순도 경유 대체 연료 생산 및 폐수·폐가스·잔류물 등 2차 환경오염이 최소화된 무촉매 연속 공정으로 규모에 따른 설비의 대형화가 가능하여 보다 높은 경제성을 확보할 수 있다. 이러한 기술의 우월성으로 The 2005 World Expo(Aichi, Japan)에서 Global 100 Eco-Tech Awards도 수상하였다.

연간 발생되는 폐플라스틱 중 유화가능한 EPR 대상 유기폐기물 130만톤 정도를 본 연구에서 개발된 열분해 유화 공정을 통하여 연료화하면 75%의 수율을 기준으로 할 때 약 100만 TOE의 에너지 자원이 있고, 약 5,000억원의 원유수입 대체 효과가 발생할 것으로 기대된다.

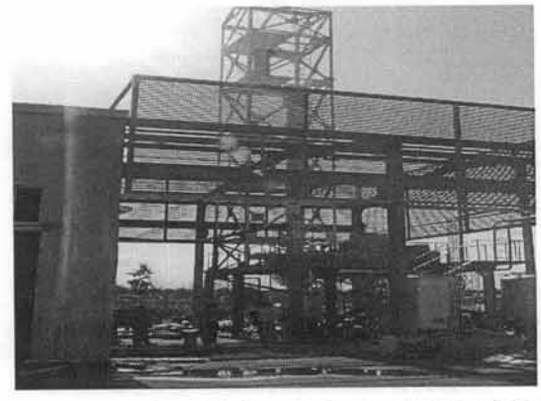

Fig. 2. 김제시 폐플라스틱 유화 시범화 플랜트

2. 3. 가연성 폐기물로부터 에너지 자원 추출 기술개발

자원 고갈에 의한 고유가는 자원 안보시대로 전환되었으며, 이에 따라 폐기물도 새로운 자원의 개념으로 자원 추출 기술이 요구되고 있다. 폐기물로부터 자원 추출 방법 중 열적 처리 방법은 신속하고 대규모로 이용 가능한 기술이다. 현재 국내에서 발생되는 가연성 폐기물의 자원량은 약 840만톤/년으로, 이들은 소각하여 소각열을 이용하거나, 고형연료로 만들어 대용량의 열설비의 보조열원으로 사용되고 있으며, 에너지 자원 추출 개념보다는 처리개념으로 이용되고 있다. 따라서 이들로부터 효율적으로 에너지 자원을 추출하는 공정 개발은 매우 시급하다.

본 기술은 가연성 폐기물로부터 에너지자원인 합성가스($CO+H_2$)를 추출하는 공정 개발 및 합성가스의 이용 기술로 나뉜다. (주)서울암면 천안 공장에 5톤/일 규모의 pilot plant를 설치하였으며, 장기 운전을 통한 공정의 안정성 실험 및 생성된 합성가스의 고급화 실험 등이 수행되었으며, 생성된 합성가스의 연소 실험을 통해 합성가스의 가스자원으로의 이용 기술도 개발하였다. 개발된 공정은 5일 이상 연속운전을 통해 공정의 안정성이 확보되었으며, 발생된 가스의 조성은 CO : 30~32%, CO_2 :18~28%, H_2 :36~50%, CH_4 :2~3%로 냉가스효율은 약 75%였으며, 생성가스의 발열량은 2,300~2,600kcal/Nm^3으로 나타났는데, 이것을 토대로 하여 국내 가연성 폐기물 발생량의 10%만을 자원화할 경우 1.38×109Nm^3의 합성가스의 생산이 가능하며, 이것으로 전력 생산할 경우 생산원가는 23원/kWh로, 평균 전력 판매단가가 약 60원/kWh이므로 경제성이 충분하며, 이것을

원유로 환산할 경우 30만 TOE(ton of oil equivalent, 107kcal), 7,000만$의 수입 대체 효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한, 합성가스의 용도는 공업로 연료 대체 및 메탄올 등과 같은 기초화합물 합성에 이용 가능하며, 다양한 원료(석탄, 석유폐기물, 일반폐기물, biomass), 다양한 생성물(공업로 연료, 수소, 전기, chemicals)로 적용이 가능하게 함과 동시에 저공해, 고효율 처리가 가능하고, 고효율 복합기능 부여로 청정에너지 생산과 폐기물의 안정적인 감량화 처리라는 두 분야에 적용 가능한 원천 기술로 활용할 수 있다. 향후 MBT가 활성화되고 RDF 생산량이 증가하면 가스화도 더욱 증가할 것으로 기대된다.

Fig. 3. 천안시 가연성폐기물 가스화 플랜트

2. 4. 폐타이어 이용 고무플라스틱 복합소재 제조 기술개발

현재 국내 고무플라스틱 복합소재(TPV)의 시장은 년 간 10,000톤으로 추정되며, 이 중 50%이상을 수입에 의존하고 있어 이로 인한 수입액은 50,000백만 원으로 추정되고 있다. 이렇듯 현재 국내에서는 TPV제조와 성형기술의 미흡함으로 인해 제품의 해외의존도가 높으며, 그에 따라 해마다 많은 양의 외화가 낭비되고 있다. 또한 현재 국내 폐타이어 재활용 현황을 보면 시멘트 킬른 또는 단순 소각에 의한 열원으로의 이용이 약 60%를 차지하고 있으며, 그에 따른 경제성 문제가 심각하게 나타나고 있다. 따라서 지금까지 시멘트 킬른 또는 단순 소각에 의한 열원으로의 이용처럼 일차원적인 폐타이어의 재활용이 아닌 폐자원으로부터의 고부가가치 제품 창출뿐만 아니라 시장에서의 대외의존도 탈피와 더불어 우수한 품질과 가격경쟁력을 무기로 해외 시장을 개척할 수 있는 TPV제조와 성형공정에 대한 독자적인 기술개발이 시급한 실정이다.

폐타이어를 이용한 고무플라스틱 복합소재 기술개발의 핵심은 이축 압출기 내에서 열가소성탄성체(TPV) 제조가 관건이다. 상용 TPV에서는 순수 고무(virgin rubber)를 사용하기 때문에 고무 성질이 저하되지 않으나 폐고무(waste rubber)로 대체할 경우 열가소성 수지와 반응성이 저하된다. 따라서 폐고무(waste rubber)의 반응성 향상을 위한 분말의 표면개질이 필요하다.

본 연구에서는 두가지의 물질을 단순 섞음이 아니라 반응을 통해 고기능성 고무플라스틱을 제조하고자 하였다. 첫째로 실험을 통하여 플라스틱수지로 PP를 선정하였으며 반응을 시키기 위하여 PP-g-MA를 선정하였다. 둘째, 폐타이어 분말를 활성화 시키기 위하여 개질시키는 기술로서 폐타이어 분말표면에 UV 조사를 통하여 allylamine기를 grafting 시키는 연구를 하였다. 셋째, 압출기 내에서 dynamic reaction을 일으키기 위해 충분한 채류시간을 갖는 적정 스크류조합이 필수적이다. 마지막으로 폐타이어분말과 PP수지와의 반응성 높여 기계적 물성을 높여 주기 위한 방법으로 상용화제 SEBS-g-MA를 선정하였다. 이를 통하여 1,000톤/년 실증플랜트를 설치, 운전하여 본 기

술의 실증을 완료하고, 현재 상용화를 추진하고 있다.
EPR 시행에 따라 환경적 처리 효과가 있으며, 본 기술 적용 시 연간 225억원의 부가가치 매출창출을 기대할 수 있다.

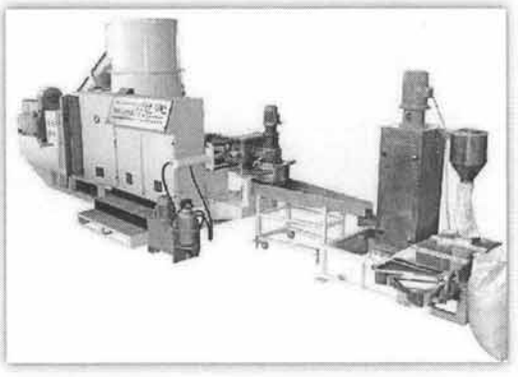

Fig. 4. TPV 양산 system

2. 5. 폐전기전자기기의 토탈 리싸이클링 기술개발

21세기는 자원전쟁 시대, 아무리 뛰어난 기술도 이를 만들 자원이 없으면 무용지물이다. 2009년 4월을 기준으로 현재 국내에는 석탄광산 5개, 금속광산 6개, 비금속광산 450개가 있지만 생산량은 극히 소량으로 광석의 대부분은 수입에 의존하고 있다. 우리나라가 해외에서 수입하는 광물자원은 연간 약 10조원에 달하고 있으며, 천연자원이 부족한 우리나라의 안정적 자원확보를 위해 자연광산이 아닌 폐전자제품 속 유가금속을 회수하는 기술개발에 주목하고 있다. 무심코 버리는 전자제품 속에는 금과 은 구리와 같은 값비싼 금속이 포함되어 있다. 국내에서 잠자고 있는 폐컴퓨터와 폐휴대폰만 재활용해도 금 3900kg, 은 22톤, 팔라듐 1800kg, 구리 2500톤을 추출할 수 있으며, 이를 금액으로 환산하면 2,100억원에 이른다. 하지만, 2005년 국내에서 발생한 TV·냉장고·세탁기와 같은 폐전자제품은 약 860만대로 29.2만톤에 이르고 휴대폰은 연간 1천만대 이상이 버려지고 있지만 재활용되는 것은 296만대에 불과하다.

예전에는 컴퓨터와 휴대전화 등 전자제품의 인쇄회로기판을 재활용하기 위해 제련소의 용광로에서 녹이는 방법을 사용하였다. 그러나, 개발된 기술은 해체, 파/분쇄, 선별 등 일련의 물리적 처리 공정을 통한 유용금속의 효율적 농축으로 회수율이 95% 이상 획기적으로 향상되었으며, 팔라듐, 로듐 등 금보다 고가의 귀금속들도 동시에 농축 회수가 가능해졌다. 또한, 폐전기전자제품으로부터 유가금속을 회수하기 위해 습식, 건식제련 뿐만 아니라 전기화학적 성질을 이용하는 전해침출법과 미생물을 이용하는 바이오 침출법을 개발하여 2010년 시범화 공장에 적용할 계획이다.

EPR 시행에 따라 본격적 수거가 이루어지고 있는 국내 폐PC 100만대에 본 기술 적용시 연간 250억원의 부가가치 창출이 기대되며, 연간 800만대 이상 발생이 예상되는 폐휴대폰에 적용시 약 300억원의 귀금속 회수로 전자제품 제조 원료로 재투입할 수 있는 자원의 순환적 이용이 가능한 기술이다. 따라서, 자원빈국인 우리나라에 산업원료소재의 안정적인 확보가 가능하며, 년 120만톤의 이산화탄소 저감의 부가적인 효과도 얻을 수 있다. 또한 이는 날로 강화되는 국제환경규제(WEEE/RoHS)의 효율적 대응과 국내 전자산업의 수출 경쟁력 확보를 위해서도 필수적인 사업이다.

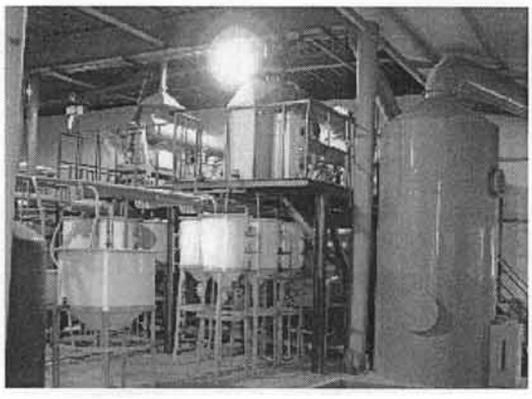

Fig. 5. 유가금속 순환자원시스템

2. 6. 폐전지로부터 유가금속회수 및 소재화 기술개발

정보기술의 발달로 건전지, 충전지의 용도가 늘어나면서 수명이 다해 버려지는 폐건전지의 양도 늘고 있다. 폐전지는 연간 약 10억개 이상 발생하고 있으며 2003년부터는 과거 예치금부과대상이던 산화은전지가 생산자책임재활용제도의 대상에 포함되었으며 2005년에는 리튬이온전지가 추가로 포함되었다. 2007년부터는 망간전지 및 알카리망간전지 등의 모든 폐전지를 EPR 대상에 포함되므로 폐전지 재활용 기술개발은 필수적이다. 따라서, 그냥 버려지면 환경을 오염시키게 되는 폐건전지를 안전하게 분해해 코발트, 망간, 아연 등 금속들을 회수해 자원화하는 기술을 개발하였다. 혼합폐전지를 형상적 선별공정 후 파·분쇄과정, 자력선별과정 및 공기분급을 겸비한 와전류 선별기를 개발하여 아연을 95%이상 회수하였다. 이들을 분리한 후 농축 과정으로 얻어진 산물을 습식공정을 통하여 공침법을 이용한 망간-아연 페라이트 제조(망간,알카리 망간전지) 그리고, 산을 이용한 코발트산화물 및 미립코발트 복합 산화물 제조 기술(리튬2차전지)을 확립하였다. 물리적 처리 및 화학적 처리 공정을 통하여 코발트 재활용율 90% 이상, 망간 및 아연 재활용율 80% 이상의 폐수저감형 재활용 기술로서 폐전지 단일품목의 재활용이 아닌 납축전지를 제외한 일차, 이차전지 전체를 대상으로 하고 있어 국내에서 발생하는 폐전지의 종합적인 재활용이 가능하게 되었다.

본 연구의 기술의 상용화가 완료되면 리튬전지로부터 코발트를 자원화하면 초경합금, 촉매 등으로 사용되는 코발트를 연간 30-60톤 수입 대체할 수 있고, 망간전지 및 알칼리망간전지를 연간 만톤을 재활용할 경우 망간 1,700톤 및 아연 2,000톤을 회수가 가능하여 수입에 의존하고 있는 전지용 전해이산화망간과 연질페라이트용 고순도 망간산화물을 제조할 수 있는 원료를 폐망간전지로부터 제공받을 수 있어 국내 건전지 산업 및 페라이트 제조 산업의 경쟁력을 높일 수 있어 국내는 물론 외국에도 기술이전이 가능한 유망한 분야로 각광받고 있다. 또한, 현재 전량 수입되고 있는 망간과 국내 자급도가 2.7%인 아연의 수입대체효과를 얻을 수 있으며, 부가적으로 22만톤 CO2 절감 효과를 가질 수 있다.

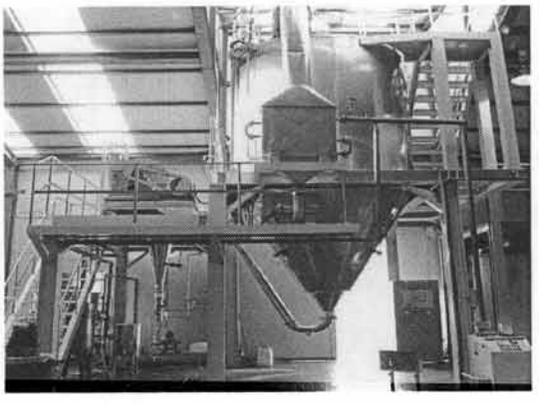

Fig. 6. 500톤/년 규모의 폐전지 재활용 Pilot Plant

2. 7. 지능형 폐자동차 해체시스템 기술개발

최근 들어 자동차 재활용은 국제적으로 중요한 테마로 떠오르고 있다. EU는 1997년도에 제의된 폐자동차 재활용 법규에 따라 2006년도부터 85%, 2016년도부터 95% 재활용을 의무화하고 있으며, 이의 미이행시 EU로의 자동차 수출이 금지될 예정이다. 국내의 경우 2006년 1월 환경부에서는 전기·전자제품과 자동차의 설계, 생산, 재활용 등 전과정의 환경성이 강화된다고 보고하였으며, 전자제품이나 자동차에 유해물질 사용을 제한하고 자동차의 사후 재활용 규정을 신설한 '전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률안'을 2007년에 제정하고 2009년 본격 시행을 촉구했다. 이러한 국내외 폐자동차 관련 법규의 강화에 대응하여 국내 최초로 전산 관리체계가 접목된 지능형 폐자동차 해체시스템 개발을 완료하여 10,000대/년 규모의 시범화 사업 라인을 구축하였다.

개발된 폐자동차 해체시스템의 특징은 각 폐차장별로 다품종 소량을 처리해야 하는 국내 폐자동차 산업 실정에 적합한 아일랜드형이다. 고유 전산체계로 관리되는 지능형 시스템으로 처리용량 대비 인건비의 대폭 절감이 가능하고, 액상류(연료, 엔진오일, 부동액 등)의 진공흡입, 해체각도의 조절 등에 의해 안전한 부품추출과 해체효율이 높다. 또한 이차원 바코드에 의한 체계적 부품관리에 의해 약 3배 이상의 고부가 창출이 가능하다. 단계별로는 ① 액상류 회수 작업장에 입고되며 정보시스템에 등록 후 냉매를 포함한 7종의 액상류를 회수하고, 타이어 등의 해체 용이성 향상 부품들을 분해 ② 재사용부품 분해 작업장으로 이송하여 검사과정에서 지정된 재사용부품을 회수하고 부품관리를 해체정보시스템에 등록하고 부품 창고에 보관 ③ 차량탑재 위치에서 레일 대차에 탑재하고, 에어백, 앞/뒤 유리 등의 안전부품들을 우선적으로 해체하고, 도어, 범퍼, 대쉬보드, 콘솔, 시트 등의 내/외장부품들을 분해 ④ 엔진룸 부품 해체작업장으로 이동하여, 라디에이터, 액상류 용기, 에어콘 부품, 유류배관 등의 엔진룸 부품들을 분해 ⑤ 반전 작업장에 쇽업소버, 차축, 배기관, 스타트모터 등의 하체부품들이 해체 ⑥ 압축기 작업장에서 압축, 6단계 작업이다. 특히, 해체후 파쇄공정에서 필연적으로 발생하나 재활용에 많은 비용이 소요되는 분쇄잔류물(ASR) 발생량이 원천적 감소되는 효율적 해체시스템이다.

개발된 저가의 해체시스템이 보급되면 폐차장 작업효율 및 환경 개선, 중고부품 유통 활성화, 영세 폐차업의 고부가가치화 구조개선이 가능하다. 또한, 효율적으로 수거 관리되는 중고부품을 수출용 중고자동차 부품으로 우선 공급할 경우, 중고차 A/S 개선 및 한국차량에 대한 이미지 상승과 더불어 신차 수출효과로 이어지게 될 것으로 예상되고 있다. 이러한 폐자동차 해체기술은 IT(정보기술)와 ET(환경기술)가 접목된 한국형 고유 해체기술에 의해 EU의 폐자동차 규제 목표인

재활용율 95% 달성을 위한 인프라 구축에 크게 기여할 예정이다.

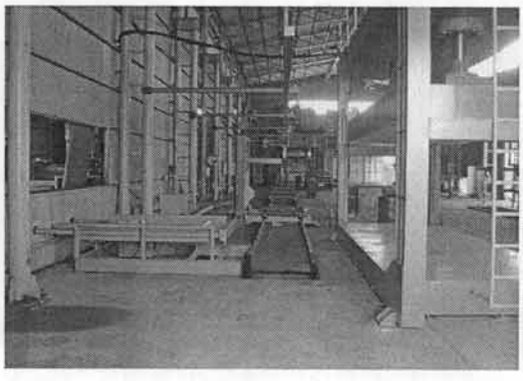

Fig. 7. 연간 6천대 폐차 해체 플랜트

2. 8. IT산업 공정폐액으로부터 유용자원 회수 기술개발

최근 생산량이 급증하고 있는 전기전자제품의 제조공정폐액을 자원화하기 위하여 LCD 및 반도체 제조공정에서 발생하는 질산, 초산, 인산, 금속불순물 등을 함유하는 혼합폐산으로부터 불순물 수십 ppm 이하의 공업용 인산과 불순물 1 ppm 이하의 고순도 인산 및 을 효율적으로 분리, 회수하는 핵심기술을 확보하였다.

2005년 12월 폐액은 89천톤/년에 달하고 현재 100천톤/년을 상회할 것으로 예상된다. 이러한 혼합폐산은 현재 국내에서 중화법, 역삼투법, 증발법 등 고전적인 방법으로 비효율적 처리를 하고 있으며 완전한 재활용이 이루어지지 않고 있어 고가의 자원이 유실되고 있으며 처리기술상의 문제로 2차 폐수의 발생이 많고 환경적으로 유해하다.

본 연구에서는 용매추출법 및 진공증발법으로 산을 분리, 회수함에 있어 처리 효율성과 회수율을 획기적으로 향상시킨 공정개발로 산회수율 99%을 확보하고 확산투석법 및 이온교환법으로 불순물인 금속성분을 1 ppm 이하로 분리, 정제할 수 있는 기술을 개발하였다. 상용화 기술의 확보를 위하여 60톤/월 Pilot 장치를 설계 제작하였으며 이를 이용한 실증화 연구를 통하여 대용량 연속처리 기술 및 관련된 요소기술들을 개발함으로서 상용화의 기틀을 확립하였으며 여기에서도 산회수율 99%, 불순물 1 ppm 이하로 매우 양호한 결과를 얻었다. 현재 참여기업으로 기술이전하여 6,000톤/년의 상용화 시설을 구축하였다. 또한, LCD 공정폐액 이외에도 ITO 에칭폐액, Cr 에칭폐액, TMAH 현상폐액, MLB 제조폐액 등에 대하여도 일본의 간사이대학과 공동연구를 통하여 거의 실용화단계까지 기술을 개발하였다.

이러한 개발 공정에 의하면 철강 및 비철 제련, 표면처리, 금속가공업계의 도금폐액, 산세폐액, 식각폐액 등의 폐산을 재활용할 수 있는 효과뿐만 아니라, 2차 폐수의 발생량을 90% 이상 줄일 수 있다. 또한, 경제적인 측면에서도 처리비용이 매우 낮아 기대이익은 매출액(787억원/년)의 44%에 달하는 것으로 나타났다. 그리고, 고부가화하기 위하여 인산염 화학제품을 제조하게 될 경우에는 기대이익은 거의 2배가 될 것으로 예상된다.

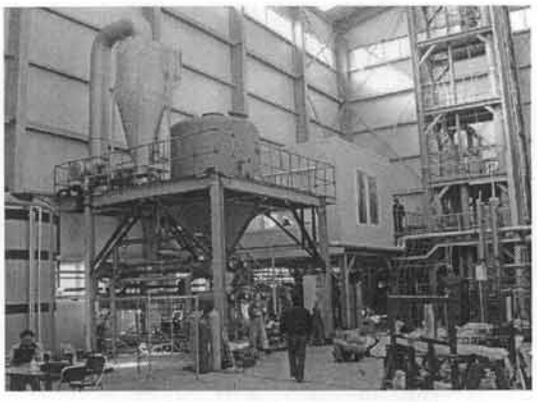

Fig. 8. 60톤/월 파이럿트 플랜트

2. 9. 폐분진 이용 에코소재 상용화 기술개발

무기계 산업 폐분진은 석탄회, 철강 더스트, 석분 등을 포함 국내에서 연간 7천만톤 가량 배출되며, 그 발생량이 매년 증가하고 있는 실정이다. 그러나 이들의 안전한 재활용은 선진국에 비하여 미미한 실정이며 특히 일부 지정폐기물의 경우 부적절한 매립으로 국토를 심각하게 오염시키고 있다. 또한, 2003년 6월까지 한시적으로 매립이 허용되었던 유기성오니의 직매립이 금지되었고, 조만간 우리나라도 런던협약에 의해 해양투기가 금지되면 발생되는 막대한 양의 하수오니에 대한 적절한 자원화 방안이 절실한 실정이다.

개발된 에코인공경량골재는 각종 폐기물 및 폐분진을 40%(중량비) 이상 원료로 사용하여 제조되며 자원화 대상 폐기물은 하수오니 슬러지, 제강분진, 냉연/열연 슬러지, 석분오니 등이며, 이들을 적절히 조합하여 에코소재화 하였다. 일부 선진국에서도 인공경량골재의 제조기술을 보유하고 있지만, 폐기물을 이용해서 제조하는 경량골재 제조기술, 특히 여러가지 폐기물을 복합적으로 조합하여 사용하는 예는 찾아보기 힘든 독자적 기술이다. 또한, 에코인공경량골재는 안전성과 경제성을 모두 갖추었다. 장기 공용성 평가결과 중금속이 전혀 검출되지 않는 것으로 확인되었고, 생산된 인공경량 골재로 콘크리트를 제조하여 1년간 양생한 후 용출 시험한 결과에서도 폐기물 관리법 시행규칙의 기준치를 훨씬 밑도는 것을 확인하여 매우 안전한 골재로 판명되었다. 이 기술의 장점으로는 폐기물을 원료로 사용함으로서 원료비가 대폭 절약되고, 기존의 인공골재 제조온도보다 소성온도를 100℃ 이상 낮출 수 있어 공정연료비를 20% 이상 절감하였으며, 현 폐기물 처리비까지 원가에 반영할 경우, 수입골재의 약 1/3~1/8 수준으로 판매가 가능하다.

국내 소요량의 30%를 본 기술에 의해 생산시 연간 400억원의 경제적 이익이 예상되며, 폐기물 발생업체의 폐기물 처리시설에 대한 투자비 감소, 처리비용의 절감, 에코제품의 활성화로 환경 도시 구축에 걸맞는 기술로 평가 되어진다. 또한 남동발전 영흥화력 내에 연산 20만m3 규모의 인공경량골재 제조설비를 설치, 석탄회 재활용 인공경량골재사업을 공동 추진하고 있으며, 남부발전과도 사업화 MOU 체결을 하였다.

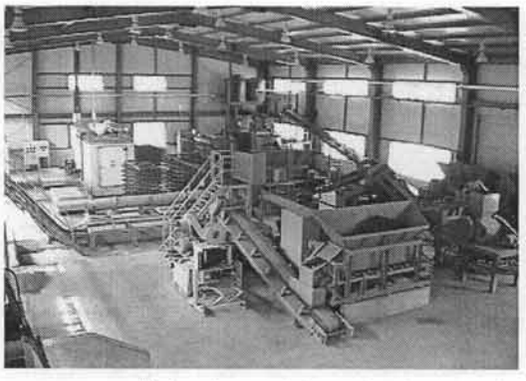

Fig. 9. 100m^3/일 에코 경량골재 제조 플랜트

2. 10. 생활폐기물 소각 바닥재 토건재료화 기술개발

현재 국내에서는 생활계 폐기물 소각장에서 대량 발생되는 바닥재(전체 소각재의 80~90%)에는 철/비철 금속류, 유리류, 도자기류, 슬래그 등 유가자원이 상당량 포함되어 있음에도 불구하고 대부분 매립되고 있는 실정이다. 또한 바닥재에 포함된 중금속, 염소성분 등에 의해 매립장 주변 토양, 수질의 2차 오염 폐해가 유발될 수 있으므로, 매립 최소화 및 2차오염 방지, 폐기물 자원화를 위해 생활폐기물 소각장 바닥재의 안정화 처리 및 소재화 기술, 제품 활용기술 등 관련 재활용 기술의 시급한 개발 보급이 요구되고 있다.

선진국에서는 생활폐기물 소각재로 모래 같은 천연골재를 대체하고 있으나, 우리나라는 생활문화로 인해 소각바닥재 속에 염소(Cl) 함량이 높아 수질을 오염시키고, 철근을 부식시켜 재활용에 어려움을 겪고 있다. 이에 소각장의 부산물 성분을 조사하여 독자적 분류시스템에 따라 처리 가능한 실증플랜트(3천톤/년)가 개발하였다. 이 기술은 중금속 성분을 안정화 시키고, 수세공정을 통해 염소를 제거하여 토건재료로 활용할 수 있으며, 또한 수세공정 없이 염소를 그대로 이용한 특수시멘트 클링커 합성기술도 개발하였다. 생활폐기물 소각 바닥재의 안정화 기술 및 보통 포틀랜드 시멘트의 원료화 기술, 토건재료로서의 활용 기술, 특수시멘트의 개발과 이를 이용한 다양한 용도의 제품 개발과 더불어 나아가 고부가가치를 창출할 수 있는 환경재료로서의 영역까지 확대해 가고 있으며, 각종 산업 및 지자체 폐기물과의 복합처리기술을 개발하여 재활용할 수 있게 된 것이다. 특히 온실가스의 주범인 이산화탄소를 포집하여 안정화 시킬 수 있는 기술도 개발되었다.

생활폐기물 소각 바닥재 등 5천만톤 이상의 무기성 폐기물 재활용 원천기술 및 상용기술의 확보로 온실 가스 저감 효과 및 CDM 사업을 통한 146백만원/년의 경제적 효과가 예상된다. 현재 대전시와 소각재 활용 공동 시범화 사업 추진 중에 있으며, 내년부터 수도권매립지 내에 실증화 사업을 추진할 계획이다.

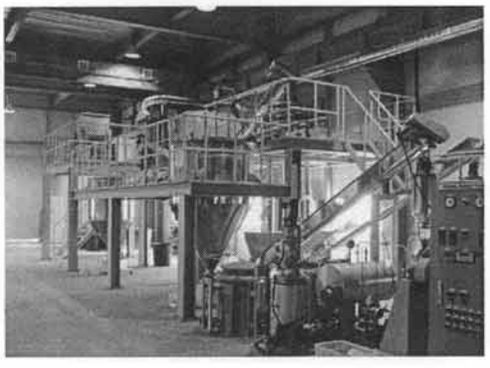

Fig. 10. 소각재 재활용 복합처리 플랜트(3천톤/년)

3. 마치면서

상술한 바와 같이 자원재활용 기술을 통하여 자원의 순환적 이용뿐만 아니라 온실가스를 획기적으로 감축을 할 수 있다. 국제환경협회의 조사 분석에 따르면 전 세계에서 순수한 재활용에 의해 5억톤의 CO_2를 절감할 수 있는데 이는 우리나라의 온실가스 배출량과 비슷한 정도이다. 이러한 연유로 재활용이 자원고갈을 막을 수 있다는 것보다 이산화탄소 배출을 저감한다는 것이 더욱 강조되고 있어 기업에게는 이산화탄소 배출거래와 연계되어 매우 긍적적인 검토가 이루어지고 있다.

특히 금세기에 들어 지구온난화 문제가 전지구적인 이슈화가 되면서 근원적으로 온실가스를 줄일 수 있는 방법들이 제시되고 있는 상황에서 자원재활용이 주목을 받고 있으며 녹색성장의 견인차 역할을 하고 있다. 광물자원으로부터 제조하는 것에 비해 폐기물(2차자원)을 활용하는 지구를 보호하는 지름길이 되는 것이다.

다만 재활용을 하면서 2차적인 오염이 없고 재활용 공정 자체가 친환경적이어야 한다. 과거 영세적인 재활용에서 야기되었던 규모의 경제를 탈피할 수 있도록 재활용 산업으로 거듭 태어나야 한다. 공정 자체의 효율화와 동시에 재활용산업의 활성화를 위한 LCA에 기반을 둔 정책적인 배려가 필요한 것이다. 또한 지속적인 2차 자원의 흐름을 모니터링하여 경제적인 취약점을 보완할 수 있는 물류 시스템의 개선 및 효율화로 수거와 이송에 비용의 최소화도 뒷받침이 되어야 한다.