

02 폐기물 재생

버려진 플라스틱에서 경유를 추출한다



연합포토

충북 제천시가 페콘크리트와 페아스콘 등 건설 폐자재로 만든 재활용 골재를 도로 확장·포장공사에 사용한 결과 비용 절감과 환경문제 해결 등 일석이조의 효과를 거두고 있다.

글_ 이강인 자원재활용기술개발사업단 단장 kirhee@recycle.re.kr

지난 세기까지 경제성장 위주의 발전에 따라 대량 생산과 소비로 지구상의 자원이 한계성을 드러내고 있다. 무엇보다도 석유자원의 고갈시점이 21세기 중반이 될 것이라는 예측이 지배적인 가운데 이를 원료로 하는 산업에서 대체 또는 재생에너지의 개발이 요구되고 있다. 따라서 21세기에는 무엇보다도 지속 가능한 발전이 강화되고 있으며 그 선두에 재활용이 위치하여 자원의 순환적 이

용을 추구하고 있는 것이다. 이는 폐기물과 자원을 동일하게 인식하여 생산과 소비 활동에서 배출되는 폐기물을 다시 자원으로 활용함으로써 자원순환사회를 이루는 것이다.

폐기물 재활용해 자원 확보, 환경 보존

일례로 석유자원에서 생산되는 각종 플라스틱의 경우 사용 후에 버려지는 것들을 모아 유류 제품으로 환원시킨다거나

그 외의 가연성 폐기물까지도 부분 산화시켜 가스자원으로 회수함으로써 다시 에너지원으로 사용하는 것이다. 또한 폐기되는 전자, 전기제품 속의 금속 또는 비금속 자원을 재자원화하여 자원의 순환적 이용뿐만 아니라 신제품 생산에 필요한 에너지를 절약할 수 있게 된다. 이와 같이 자원재활용은 과거의 단순처리 개념을 뛰어 넘어 수명이 다한 각종 전기전자제품, 사용 후 주변 환경으로 배출되는 플라스

틱류, 분진 및 금속류 등을 다시 처리하여 원료로 사용할 수 있도록 하는 자원의 순환적인 이용 고리를 완성시킨다는 것이다. 이를 통하여 자원확보와 환경보전이 라는 두 가지의 명제를 실현하고 순환경제의 촉진, 나아가 지구촌의 지속가능한 발전을 도모하는 것이다.

재활용이 근간이 되는 재자원화 산업은 천연자원을 이용하는 산업과 비교하여 에너지 소비를 30~90%, 환경부하를 10~20% 정도 감소시킬 수 있음에도 불구하고 재생품에 대한 반감, 님비 현상과 같은 걸림돌로 인해 산업으로서 그 진가를 발휘하지 못하였다. 더욱이 우리나라 같이 자원자급도가 25%에 지나지 않으며, 특히 석유자원이 없는 자원빈국인 경우 폐기물을 재활용하여 자원을 안정적으로 확보하는 것이 원자재난을 극복하여 국가의 산업경쟁력도 제고시킬 수 있다. 또한 지구환경 보전문제는 기후변화협약 등과 같이 글로벌화함에 따라 전지구적인 차원에서 대응방안이 검토되고 있고, 이에 따라 국제적 환경규제가 강화되어 재생에너지 이용을 추구하고 있다. 이는 환경과 경제를 동시에 고려하며 무역까지 연계시켜 모든 산업을 통합적 관리체계로 지구환경 문제를 해결하자는 것이며 세계 모든 국가들의 강력한 동참을 주창하고 있다.

이러한 사회 패러다임 변천에 호응하여 전지구적인 차원에서 인류 삶의 질 향상을 도모하는 지름길이 자원순환형 사회구축인 것이다. 이를 통해 폐기물이라는 단어가 우리 주변에서 사라지고 그로 인해 야기되었던 문제도 동시에 원천적으로 해결될 것이다. 이제 폐기물은 중요한 자원으로 완벽한 자원의 순환적 이용 고리를



페플라스틱 열분해 유화공정 상용화 기술



가연성 폐기물 가스 자원화 기술

형성함으로써 경제성장과 환경보전이 상생하는 사회로 거듭나게 되어 인류의 건강한 삶을 향유할 뿐만 아니라 후손들에게도 건전한 지구환경을 물려줌으로써 진정한 지속가능한 발전을 이룰 수 있을 것이다.

이제 재활용은 과거 고물상 수준의 단순처리 및 재이용의 개념이 아닌 획기적인 전환이 필요하다. 즉, 폐기물을 천연자원과 동일하게 인식하여 배출에서 재생산, 유통에 이르기까지 전과정 평가에 근거한 환경친화적이며 경제적인 방법이어야 한다. 소규모, 영세적인 수준에서 벗어나 자동화, 규모가 있는 기술로 탈바꿈하여 환경산업으로 새롭게 자리매김하여야 하며, 에너지와 자원의 사용과 비용에서 생태경제 효율성을 제고하여야 한다.

페플라스틱을 400°C에서 열분해, 경유, 중유 추출

이렇게 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전개념에서 몇 가지 폐기물의 대체 에너지화의 예를 들어 보자. 첫째로 2010년의 오일 피크를 지나 2050년대로 예상

되는 석유자원의 고갈로 인해 이를 대체할 수 있는 방법들이 미래기술로 급부상하고 있다. 20세기 에너지 문제를 주도해왔던 석유자원으로부터 각종 석유화학제품이 우리 생활의 중요한 자리를 차지하였으나 반면에 부정적인 영향도 컸다. 특히 일회성 소비재인 포장재로 많이 사용되는 플라스틱이 버려지게 되면 이 때부터 각종 환경오염을 유발시킨다.

플라스틱은 종류도 다양하고 형태도 가지각색이기 때문에 출발물질인 석유로 재생하기 위해서는 이들의 분리 선별이 필요하다. 아무리 좋은 재활용 방법도 에너지와 비용이 많이 투입된다면 활용될 수 없다. 하물며 폐기물의 경우에는 태생적으로 이물질이 많고 작업여건이 열악하므로 분리하는데 자동화가 필요하다. 이는 현재 수작업으로 하던 일을 로봇에 의한 작업과 같은 효과를 얻을 수 있는 것으로 근적외선을 투사하면 플라스틱의 재질에 따른 반사파의 파장 차이를 컴퓨터 인식한 후 압축공기로 같은 종류별로 불어내는 자동선별시스템이다.



폐전기·전자기기 종합 재활용 기술



폐자동차 지능형 해체시스템 개발

자동선별시스템은 ET에 IT를 접목시켜 자동화 및 고효율화를 이룬 것이며, 이렇게 분리된 플라스틱을 다시 기름으로 되돌리는 유화기술로 고유가시대에 적합한 대체에너지로 각광받을 수 있다. 공정에 해로운 PVC 함량을 최대한 줄인 후 산소가 없는 조건과 400℃ 정도에서 열분해를 시키면 고분자 화합물의 긴 연결고리가 적당한 크기로 끊어진다. 이를 휘발 응축시키면 경유, 중유 등으로 변화되는 것이다. 경유로의 전환율이 80% 이상이며 잔류물 발생을 최소화시켜 장기 운전의 걸림돌을 제거해 플라스틱의 완벽한 순환적 이용을 가능하게 한다.

둘째로 가연성폐기물로부터 에너지 회수를 위한 가스화 기술인데 이는 유화기술에 비해 높은 1천℃ 이상의 온도에서 제한적인 산소와 수증기를 불어 넣어주면서 비교적 발열량이 높은 CO와 수소의 혼합가스를 만들어 내는 것이다. 마치 철광석에서 철을 뽑아내는 고로와 유사하지만 환원반응 대신 산화반응이 일어나고

있는 차이가 있다. 반응기 내부에서 폐기물과 반응가스가 잘 접촉하도록 하여 효율적인 연소반응이 지속되어야 한다. 이 기술은 일반적으로 저급의 고체 또는 액체 상태의 연료로부터 합성가스를 제조하는 일체의 반응을 뜻하며, 차세대 청정 발전 기술인 가스화 복합발전, 석탄 간접 액화 공정 등에 이용되고 있다.

폐기물 가스화는 매립과 소각의 문제점을 해결하기 위해 유럽을 중심으로 공정이 개발되었으며, 크게 독일의 SVZ 회사의 중질탄소원의 부분산화 및 가스화 공정에서 접근한 기술과 테모셀렉트 회사의 소각에서 접근한 기술로 구분된다.

폐기물 가스화 반응기의 운전은 석탄 가스화 반응기와는 다르게 대부분 고온영역으로 회재를 포함한 불연성 물질들은 용융된 다음 슬래그 형태로 배출된다. 생성된 가스는 동일량을 처리하는 연소나 소각시스템보다 발생량이 적어서 가스화에 의해 생성된 환원성 오염물질인 H₂S, NH₃ 등을 처리하는 가스정제 시스템이

작아지기 때문에 청정 에너지화가 용이하다. 또한 석탄, 석유폐기물, 일반폐기물, 바이오매스 등 다양한 원료를 사용하여 수소, 전기, 화학제품 등 다양한 생성물로 전환함과 동시에 저공해, 고효율 처리가 가능하며, 고효율 복합기능 부여로 청정 에너지 생산과 폐기물의 안정적인 감량화 처리라는 두 분야에 적용될 수 있다.

가스화제 주입이 커지면 반응온도가 상승하고 CO₂의 농도가 커지는 반면에 CO 농도는 낮아지며, 수소 농도는 약간 늘어나서 생성가스의 발열량에 영향을 준다. 운전 결과 생성가스의 발열량은 폐기물의 종류에 따라 2천300~3천200Kcal/Nm³ 정도로서 원하는 용도에 생성가스를 이용할 수 있다. 만일 국내 가연성 폐기물 발생량의 10%만을 자원화할 경우, 1.38×10⁹Nm³의 합성가스의 생산이 가능하다. 원유로 환산할 경우 30만TOE이며 185만 배럴에 해당하는 에너지 생산과 5천만 달러의 수입 대체 효과를 얻을 수 있다.

폐자동차 부품 95%까지 재활용 가능

셋째로 IT 산업의 급속한 발달과 더불어 각종 전자제품들이 쏟아져 나오면서 이들로 인한 환경오염이 가속돼 '토탈 리사이클링' 하는 친환경성 보장이 강력히 요구되고 있다. 특히 무역과 연계되어 유해한 물질의 사용금지, 일정 수준의 의무 재활용 등 각종 규제가 강화되고 있다. 이에 따라 가전제품, 컴퓨터, 휴대폰, 통신기기 속에 함유되어 있는 고가의 물질을 회수하여 원료로 공급하고 해로운 물질이 배출되지 않는 기술까지도 개발해야 한다. 재활용률을 높이기 위해서는 부품체를 효율적으로 하는 시스템과 회수율을 향상시키는 친환경적인 공정을 개발하여



폐분진 에코소재 / 토건재료화 기술

계속되는 전자제품의 고급화, 다양화에 대처할 수 있는 기술을 확보해야 한다. 더욱이 수명주기도 짧아져 기술개발에 지속적인 노력이 필요하다.

수명이 다 한 폐차만도 1년에 50여만 대가 되는 자동차의 경우도 이와 비슷한 상황이다. 유럽은 2006년까지 85%를, 2015년까지는 95%를 재활용하도록 법을 정하고 있기 때문에 자동차 제조사를 포함한 폐차업계에서 이에 상응하는 기술개발에 박차를 가하고 있다. 현재 이 분야에서 앞서가는 독일이나 일본에서도 80% 정도까지 재활용할 수 있는 것을 감안하면 급히 개발해야 하는 기술이라 할 수 있다. 자동차 제조의 역순에 의해 폐차를 해체하되 고가의 금속을 함유한 배기가스 정화기나 공해물질이 되는 배터리, 남은 오일류를 회수한 후 차체만을 분쇄하여 제철소 또는 동, 아연 제련소의 원료물질로 만드는 기술이다. IT와의 접목으로 지능형 해체시스템과 분쇄잔류물의 고도처리 기술로 변화를 해야 95%의 목표에도 달할 수 있다. 완벽한 재활용을 위해서 제조과정을 제일 잘 알고 있는 생산자가 처음부터 환경을 고려해 전자제품이나 자동차를 설계할 수 있는 기술까지 포함하고 있다.

마지막으로 화력발전소, 소각장 등에서 분진이나 타고 남은 재들의 배출량이 늘어나면서 더 이상 매립이나 해양투기가

한계에 달하고 있어 이를 금지하고 있다. 우리와 같이 국토가 좁은 나라는 매립지 문제가 더욱 심각하다. 그러나 이들을 매립하지 않고 건설자재로 전환하는 기술은 환경을 보호하고 자원도 획득할 수 있다. 함유되어 있는 유해물질을 광물질의 구조 속에 녹아 나오지 않도록 고정하여 친환경 소재로 만드는 것이다. 이런 소재에는 특수시멘트, 인공경량골재 등이 있는데 기존의 골재나 시멘트에 비해 가벼우면서도 성능이 좋아 우수재활용제품(GR)으로 불리고 있다. 또한 제조할 때 투입되는 에너지도 적고 2차적인 오염물질 배출도 없는 청정재활용 기술이라고 할 수 있다. 여기에 기공이 많이 생기도록 소결함으로써 흡착력이 뛰어난 담체를 만들면 배기가스 정화 또는 하수오니 처리에 사용할 수 있는 기능성 세라믹이 된다. 이와 같이 환경에 해로운 물질이 오히려 친환경 소재로 환경을 깨끗이 치유하는 녹색혁명의 도구로 이용될 수 있는 것이다.

자원순환형 사회 구축해 삶의 질 향상

현재 2020년까지 계속되거나, 더욱 나빠질 것으로 예상되는 것은 기후변화, 생물다양성 파괴, 열대삼림의 남벌이라는 OECD의 분석이 있다. 특히 온실가스 방출로 인한 기후변화와 도시공기 오염은 에너지와 수송수단의 사용이 주된 원인으로 모든 국가들이 당면한 중요한 문제다.

따라서 미래 환경은 생태계 보호와 유지를 위한 강력한 대응 없이는 지금보다 훨씬 암울할 것으로 예측되나 이런 문제를 자원순환 이용기술로 해결할 수 있다. 산업발전으로 피할 수 없이 환경에 배출된 물질을 무해하게 만들고, 에너지원의 대체로 온실가스 발생을 억제하며, 생물다양성을 보존하기 위해 자원의 순환적 이용을 극대화하는 친환경 재활용기술이 필요한 것이다.

재활용 기술 선진국으로 일컬어지는 일본은 이러한 필요성을 인지하고 1997년부터 '에코 타운 프로젝트'를 수행하여 폐기물 처리의 환경산업을 집결시키는 재활용특화단지를 조성함으로써 자원순환의 모범을 보여주고 있다. 이러한 시도는 완벽하게 자원이 순환하는 사회체계를 형성시키고 후손에게 물려줄 깨끗한 환경과 지속가능한 발전이 이루어지는 바탕을 마련할 것이다.

자원순환형 사회에서는 폐기물을 자원으로 재생산하는 획기적인 방법들이 선보일 것이며 21세기를 주도하는 BT, IT, NT 등의 기술과의 융합으로 더욱 발전시켜 나갈 수 있을 것이다. 결론적으로 자원순환형 사회 구축으로 '오염물 무배출'이 실현되고 님비 대신 핼피로의 전환을 보장하고 쾌적한 환경을 제공할 것이다. 그 결과 하나뿐인 지구, 유한한 자원을 온전히 보전하게 되며 인류의 지속적이고 건강한 삶을 누릴 수 있는 것이다. ⑤



글쓴이는 서울대학교 금속공학과를 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 미국 유타 대학교에서 박사학위를 받았다. 한국자원연구소 책임연구원, 대전한밭대학교 산학겸임교수를 지냈으며, 현재 한국리사이클링학회 이사를 겸임하고 있다.