

폐플라스틱 재활용 기술: 소재로서의 재활용

박 태 석 · 김 정 안 · 김 광 응

1. 서 론

생활수준이 향상되고 국민소득이 높아짐에 따라 발생되는 폐기물이 급증되고 있다. 또한 날이 갈수록 심각해지는 환경오염은 우리국민 모두가 우려해야 할 심각한 문제로 대두되고 있다. 국내의 합성수지 생산능력은 '93년 기준으로 600만톤/년 이상이 되고 이는 세계 4위에 해당한다. 폐플라스틱은 다른 금속, 지류, 목재 등의 폐품과 달리 현재 우리나라에서는 적절한 후처리 기술, 공정, 시설 등의 미비로 더욱 문제시되고 있다. 이러한 폐플라스틱을 효과적으로 재활용하기 위해서는 이를 처리하기 위한 기술적인 측면의 연구와 발생시점에서의 적절한 수거가 문제시되고 있다. 특히 폐플라스틱에 대해서는 일반국민에 대한 홍보 부족으로 일반인들이 쉽게 구분할 수 없어 여러 종류의 수지들이 혼재된 상태로 폐기되거나 수거되고 있어 더욱 문제를 복잡하게 하고 있다.

폐플라스틱의 재활용은 재생플라스틱 형태, 즉 재질로서의 재활용이 가장 좋은 방안이다. 많은 경비와 노력을 소모하여 제조한 재료를 소각, 매립, 재분해 등을 할 필요없이 직접 소재로 사용하는 것이다. 이러한 재활용은 플라스틱 종류별로 분리선별이 가능한 경우에 사용된다. 폴리에스터 재질의 음료수 포장용기를 다시 섬유로 만들어 카페

트를 제조하거나 자원재생공사에서 가동하고 있는 농업용 필름을 재생수지로 생산하는 경우를 들 수 있다. 아직까지 완전히 분리선별이 되지 않은 폐플라스틱을 재생원료로 사용하는 실제의 사례는 거의 없고 아직 연구 수준에 있다.

분리선별이 어려운 폐플라스틱은 2차 공해가 유발되지 않는 조건에서 소각하여 열에너지를 회수하는 방법이다. 태워서 열에너지를 회수하는 방법도 전연 용도가 없고 처리하기 어려운 폐플라스틱 문제를 해결한다는 차원에서 고려하여야 할 것이다. 소규모 일 때는 비교적 간단하기 때문에 외국에서도 일부 채택하고 있으나 국내에서 소각장 건설에 대한 지역주민의 반대를 감안하면 대규모로 처리하기에는 아직 해결해야 할 문제점들이 있다.

화학적인 처리 방법으로 폐플라스틱을 분해하여 화학원



김정안
 1980 서울대 화공과(공학사)
 1980 KIST 연구원
 1987 미국 Akron대(교분·자석사)
 1990 미국 Akron대(교분·사 화학박사)
 1991 한국과학기술연구원 선임연구원
 1994~ 한국과학기술연구원 책임연구원
 현재



김광응
 1966 서울대 화공과(공학사)
 1970 미국 Polytechnic Institute (공학석사)
 1972 미국 Polytechnic Institute (공학박사)
 1979 한국과학기술연구원 교분·사 공정 연구실장
 1990 과학기술처 화공연구조정관
 1992~ 한국과학기술연구원 책임연구원
 현재



박태석
 1973 고려대 화공과(공학사)
 1976 KAIST 화공과(공학석사)
 1983 KIST 선임연구원
 1988 한국과학기술원(공학박사)
 1990~ 한국과학기술연구원 책임연구원
 현재

Recycling of Plastic Wastes : Resource of Plastic Recyclate

한국과학기술연구원(Tae Suk Park, Jung Ahn Kim, and Kwang Ung Kim, Division of Polymer Research, Korea Institute of Science and Technology(KIST), P. O. Box 131, Cheongryang, Seoul, Korea)

료로 회수하는 방법이다. 열을 가하면 화학적으로 분해되기 쉬운 아크릴수지는 이러한 방법을 사용하며 독일에서는 폴리올레핀계에서 합성원유를 제조하는 방안도 연구되고 있다. 국내에서는 폴리에스터, 우레탄수지 등을 화학적인 처리를 하는 연구가 일부 되고 있다. 그러나 이러한 화학적인 처리 방법은 아직 연구 단계이기 때문에 실용화되기까지 많은 연구부자가 필요하다.

페플라스틱을 처리하는 방안으로 새로운 기술이 상업화 될 때까지 부피를 최소로 감소시켜 적절한 장소에 보관하는 방법이다. 그러나 우리 나라와 같이 국토면적이 협소한 경우 매립지 확보의 어려움이 있는 것과 동일하게 저장장소의 마련이 큰 문제점이다.

페플라스틱 문제를 해결하는 방안으로 분해성, 붕괴성 플라스틱을 사용하는 방안이다. 쓰레기 봉지와 같이 현실적으로 분리, 선별수거가 어려운 부분에 사용되는 플라스틱은 이러한 방안을 채택하여야 할 것이다. 실제 완전히 분해되는 플라스틱은 현실적으로 가격과 경제성 면에서 아직 실현성이 적고 붕괴성 플라스틱은 단순히 우리 시야에서 보이지 않을 뿐이지 완전히 문제가 해결되지 않아 미봉책이라 할 수 있다. 따라서 앞으로 이에 대한 기술개발에도 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

환경오염 방지를 위하여 현재로서는 폐기물의 발생량을 줄이거나, 재활용하거나, 혹은 소각하는 방법이 최선책이라 사료된다. 지구의 자원 또한 한정되어 있는 바 발생하는 폐기물을 재활용하는 것이 폐기물 발생량을 감소시킬 뿐만 아니라 자원 재활용이라는 측면에서 가장 효과적인 방법이 될 것이다. 이러한 관점에서 플라스틱은 20세기 초야로서 인류에 공헌한 가장 훌륭한 물질로 평가 받을 수 있을 것이다. 그러나 플라스틱은 원료로부터 도출되는 가장 마지막 제품으로서 원유의 매장량이 한정되어 있으며 국내에서는 전량 외국으로부터 수입되고 있는 실정에서 플라스틱의 재활용이 시급히 요구되고 있다.

모든 제품의 생산에는 반드시 에너지가 필요하다. 재활용 기술을 발전시키기 위하여 어떠한 단계에서 폐기물(wastes)이 발생하게 되는지 진단하는 일 또한 매우 중요하다. 실제 에너지 사용에 따른 폐기물 발생 경로를 알아보면 다음 그림 1과 같다. 상기 그림에서 알 수 있듯이 제품 생산을 위한 각 단계마다 에너지가 소모되며 또한 폐기물이 발생한다. 각 단계의 폐기물은 각각의 처리 방법이 다를 뿐만 아니라 재활용을 또한 다르다. 특히 제품 제조공정상에 발생하는 Scraps 등은 일부 자체 재활용이 가능하며 소비자가 사용 후 발생하는 폐기물이 원료 물질 제조공정 라인이나 제품공정 라인으로 재유입되는 과정을 통상 폐기물의 재활용(recycling)이라 말한다. 물론 폐품의 재사용(reuse)으로 폐기물의 감량화를 기할 수 있다.

고형 폐기물(Municipal Solid Waste) 중 페플라스틱의 재활용을 위하여 크게 4가지 기술로 분류할 수 있다; (1)

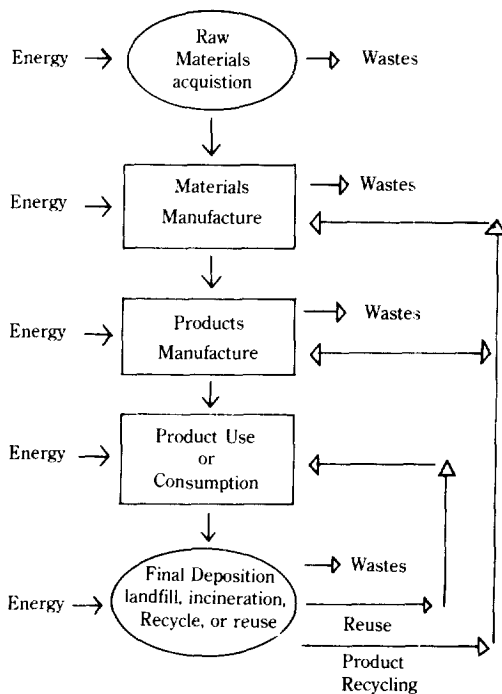


그림 1. 폐기물 발생과 에너지 소비에 관한 Flow Chart.

수거 혹은 수집 기술(Collection Technology), (2) 기계적 기술(Mechanical Technology), (3) 열 관련 기술(Thermal Technology), (4) 화학적인 기술(Chemical Technology) 등이다.

첫번째 수거 혹은 수집 기술이란 소비자가 1차 사용 후 폐기시키는 제품을 어떻게 효과적으로 수집할 수 있는냐하는 매우 중요한 기술이다. 최근 노동 임금(labor cost)이 상승됨에 따라 페플라스틱의 수거에 필요한 비용(cost)이 상승하므로 실제 재활용 제품의 단가 상승에 미치는 영향은 매우 높다. 이물질로부터 오염을 방지하기 위하여 분리 수거가 이루어지면 재생품 생산의 단가를 절감할 수 있는 최선책이 될 수 있는데 분리 수거를 위하여 도로변에 다른 폐기물과 별도의 수집용기(Curbside Containers)를 설치하는 것이 최선책일 수 있다. 또한 소비자가 사용 후 폐품을 가졌을 때 수집 용기의 식별이 용이하게 디자인 및 색상 등을 소비자에 친밀하게 설계하여 제품화하여 설치하여야 할 것이다. 한편 설치 장소 또한 기술적으로 운송 부담을 줄이고 많은 사람이 이용할 수 있는 장소를 선택하여 설치하는 것이 바람직할 것이다. 이러한 용기를 제품화하는 시장(Curbside Container Market)이 형성될 시기가 도래하고 있음은 자명하다. 덧붙여 물류 비용 중 운송비가 차지하는 비중은 대단히 높은 편이라 무게에 비해 부피가 큰 플라스틱의 운반 기구 시장(Curbside Vehicle Market) 개발 또한 매우 흥미있는 분야라 아니할 수 없다. 운반 기

구 개발 또한 중요한 기술을 필요로하는 분야로서 부피를 최소화하여 운반량을 최소화하는 기술을 개발하는 것이 시급한 과제로 대두되고 있다.

두번째로 기계적 기술이란 수집된 폐플라스틱들은 이미 제품화되어 어떤 형상을 보유하고 있으며 재사용이 아닌 제품을 위한 재가공이 필요하다. 그러나 현재의 가공 기계는 통상 원료제품이 가루화(powder) 혹은 펠레트(pellet)화된 상태에서 어떤 형상의 제품으로 가공이 가능하므로 반드시 작은 형태의 과립상의 알갱이화(Granulation)가 필요하다. 폐플라스틱들의 과립상 알갱이화를 위하여 특수한 칼날을 포함하는 특수 기계가 필요하며 특히 혼합된 폐플라스틱(Commingled Plastics Wastes)들은 물성면에서 각기 다른 특징을 지니고 있기 때문에 보편적인 절단기(cutting)가 필요하게 된다. 이러한 관점에서 절단기에 필요한 칼날의 재질의 특수성이 요구되는 것은 당연하며 효과적인 절단을 위하여 절단기의 디자인을 위한 새로운 기술도 요구되고 있다. 한편 granule화된 혼합 폐플라스틱을 재질별로 분류하기 위해서는 최신의 기술이 요구되고 있는데 이는 혼합된 폐플라스틱의 물성이 원래 순수 플라스틱 자체의 물성에 미치지 못하기 때문에 현재의 재활용 제품의 경쟁력을 위하여 분류 기술(Sorting technology)의 개발은 필수 불가결하다.

세번째로 폐플라스틱 재활용에 있어서 중요한 기술이 재가공 기술이 될 것이다. 재가공 기술은 열기술과 직접적인 연관이 있다. 특히 소비자에 필요한 제품생산을 위하여 새 레진(virgin resins)가공시 다양한 첨가제(additives)들이 필요하게 된다. 예를 들면, 산화방지제(antioxidant), 가교제(crosslinking agent), 착색제(colorant), 및 충전제(filler) 등이 포함되어 있다. 또한 플라스틱의 특징 중의 하나는 1차 가공시 약간의 열분해(thermal degradation)는 필연적이며 2차 가공시 더욱 심하게 열분해가 발생하게 되어 악취 등이 발생하게 되는데 이를 방지할 수 있는 기술이 필요하게 된다. 이러한 관점에서 새로운 재압출 장치(Re-extrusion Equipment)의 개발을 위한 기술도 필요하다.

마지막으로 화학적인 기술로서 폐플라스틱의 재자원화를 위하여 많은 연구가 필요한 기술이다. 이 기술은 그림 2의 flow chart의 마지막 폐기 단계에서 직접 첫번째 단계로의 전환을 의미하는데 열역학적으로 새로운 제품의 생산을 위하여 많은 에너지가 소모됨을 쉽게 알 수 있다. 화학적 재활용 기술로는 해중합(Depolymerization), 열분해(Pyrolysis), 정제(Refining) 등에 의해 플라스틱 중합체의 단량체로 환원시키는 방법으로서 고도의 기술을 요하는 자원 재활용 방법이다. 상기의 재활용 기술들을 도표화하면 다음 표 1과 같다.

표 1. 재활용 기술과 세부 기술

재활용 기술	세부 기술
1. 수집 기술(Collection Technology)	가) 수집용기 시장(Curbside Container Market) 나) 수집차량 시장(Curbside Vehicle Market)
2. 기계적 기술(Mechanical Technology)	가) Granulator Equipment 제작 나) 분류 장치(Sorting Equipment)
3. 열 기술(Thermal Technology)	가) Re-Extruder Equipment 개발
4. 화학적 기술(Chemical Technology)	가) Depolymerization 나) Pyrolysis 다) Refining 라) 기타

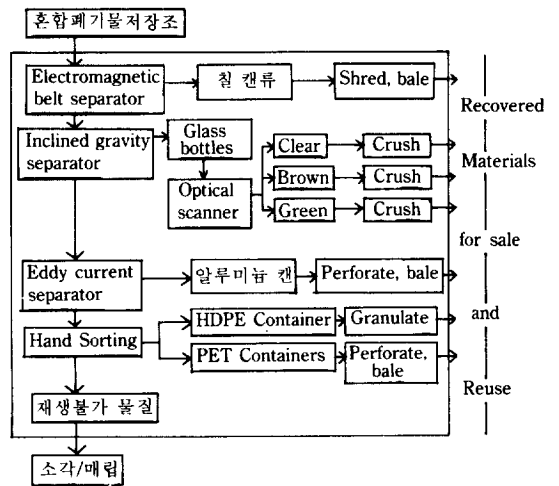


그림 2. 혼합된 폐기물 처리과정.

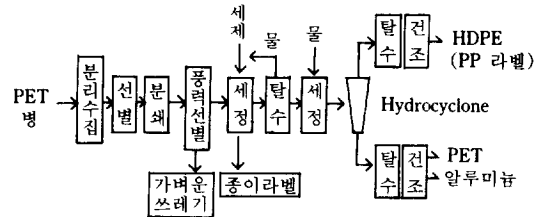


그림 3. PET병 Recycling System(CPRR사 기술).

2. 본 론

2.1 폐플라스틱 재활용 기술

재활용에 대한 일반적인 것은 서론에서 언급하였으므로 여기서는 수집 후 재료로서의 재활용에 필요한 기술들을 보완 설명하고자 한다. 다음 그림 2는 혼합된 폐기물로부터 재처리전 단계에서 종류별로 폐기물을 분리하는 과정을

나타낸다. 분리가 끝난 폐자원은 각기 재생 plant로 운반되어 재가공공정을 거쳐 상품화 된다. 예를 들어 Hand Sorting 단계에서 얻어진 PET병 recycling system을 도식화하면 그림 3과 같다. 실제 1992년도에 이렇게 flake화 된 PET 및 HDPE는 각각 37.5 c/lb 및 33 c/lb로 판매되었던 것으로 알려져 있다(John Brown Recycling Co. 제공).

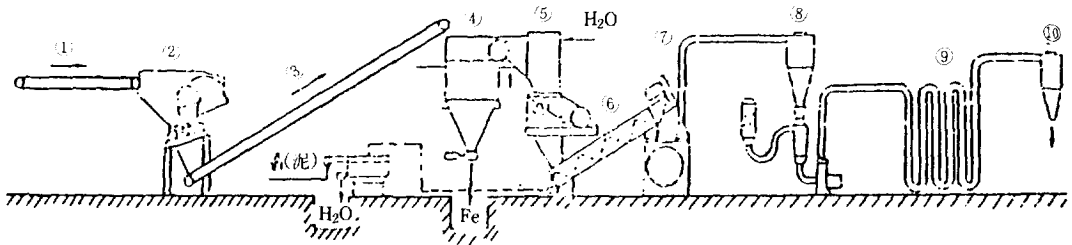
농업용 필름을 재생하는 공정은 국가마다 약간 다르지만 대동소이하다. 다음 그림 4, 5, 6은 농업용 폐비닐을 재생하는 간략한 공정도이다. 한편 국내에서도 한국자원재생공사의 청주, 안동, 및 담양 공장에서 재생화하고 있는 농업용 폐비닐의 재생공정은 다소 상기의 공정과 상이점이 있다.

2.2 분쇄

다음은 재활용 기술을 단계별로 조금 더 상세히 설명하기로 한다. 본래 분쇄는 리사이클링되는 대상에 따라 분쇄

기, 파쇄기 및 절단기 등으로 구분되며, 통상 폐플라스틱 중 열가소성계의 수지를 위해서는 절단기를 사용하여 분쇄 과정을 거치는 것이 상례이다. 상기 그림 3, 4, 5에서의 분쇄(shredding) 과정에서 중요한 것은 이미 설명하였던 것처럼 granulator의 칼날 및 디자인이다. 폐플라스틱의 종류에 따라 디자인이 다른 칼날들이 필요한데 실제 미국 Cumberland사에서 사용하고 있는 granulator의 경우는 그림 6과 같다.

또한 분쇄는 Ball 혹은 Hammer mill 타입, 분리기(separator)를 갖는 분쇄기 타입 및 냉동 분쇄장치(Cryogenic Grinder) 타입이 있으며 압축공기에 의해 작동되고 분리기는 통상 공기 및 자석에 의한 분리방법이 사용되고 있다. 또한 분쇄과정이 농업용 폐비닐과 같이 wet한 상태는 wet granulator 타입을 사용하는 경우도 있다. 실제 미국의 Nelmor사에서는 rotaing knife granulator로 1.25~0.25"



① 원료 분쇄 ② 분쇄기 ③ 콘베이어 ④ 애벌분리기 ⑤ Washing ⑥ 탈수 및 건조 ⑦ Mechanical Dryer ⑧ Cyclone 분리기 ⑨ 저장사일로

그림 4. 농업용 폐비닐의 재활용 시스템(독일 Herbold 사).

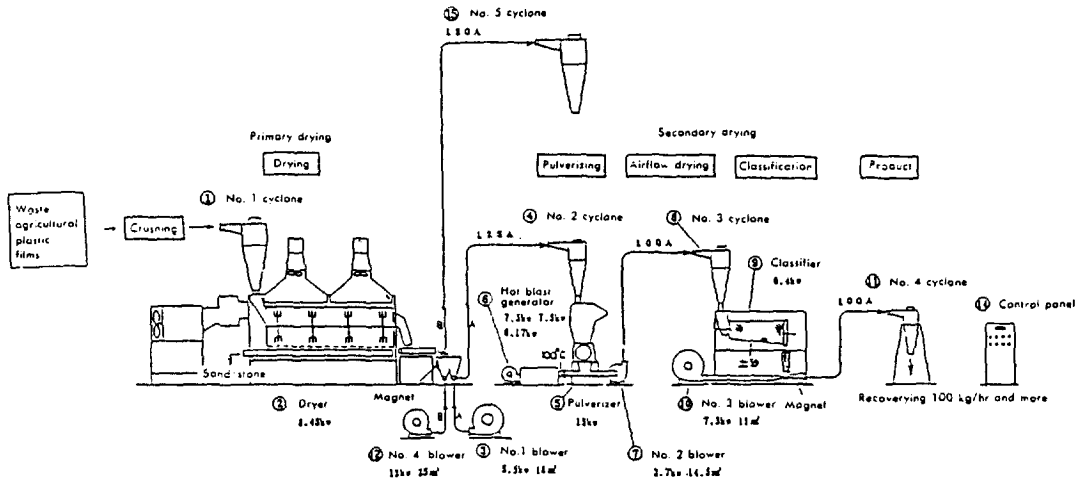
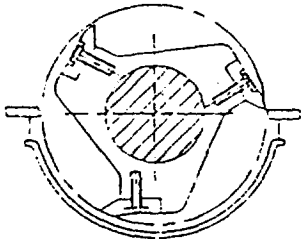


그림 5. Yamanashi Prefectural Agricultural Films Recycling Center의 농업용 필름 처리과정(제품기준으로 시간당 100kg 정도의 처리능력)

'B' SERIES ROTOR OPTIONS

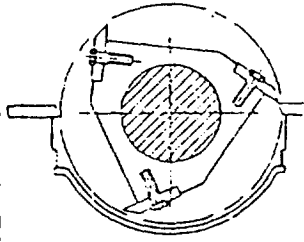
OPEN HIGH SHEAR (standard)
3 and 5 knife



Typical Applications

Thick section pipe, profile, sheet moldings and light burings up to approx. 3" wall thickness

OPEN STEEP ANGLE (optional)
3 and 5 knife

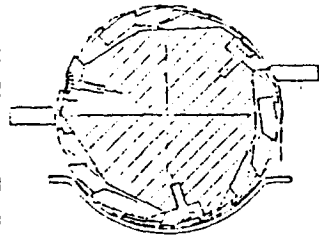


Typical Applications

Large bulky molded parts, thermforming scrap pipe, profile, sheet film and fiber etc. up to approx. 1/4" wall thickness.

'H' SERIES

CLOSED HELICAL HOG ROTOR (standard)
15 and 18 knife



Typical Applications

Ultra thick section burings, slabs, bars, rods, pre-cut pipe rolls of film up to approx. 6" thick section.

OTHER OPTIONS: 6 and 8 Knife solid roll, water cooling, knife carriers.

그림 6. 페플라스틱의 종류에 따른 Granulator 칼날의 비교(Cumberland사).

분쇄 후 다시 screening을 통하여 3/8" 및 3/16" 등으로 분리하는 기술을 사용하고 있으며 미국의 Wellman사는 Modern Machinery사 기술인 냉동분쇄 분리방법으로 PET 이외에 HDPE 및 발포PS까지도 이 방법에 의해 분리가 가능한 것으로 알려져 있으며 오스트레일리아의 Cryogrind사는 PVC병의 recycling에 냉동 분쇄법을 이용하고 있는 것으로 알려져 있다.

2.3 세척

일반적으로 분쇄나 파쇄된 페플라스틱으로부터 오염물질을 세척하는 단계는 매우 중요하다. 최근의 세척 방법은 크게 2가지로 구분할 수 있는데 wet granulator로부터 분쇄된 granule 등은 마찰원리(friction washer principle)를 이용한 세척을 주로 사용하는데 water spray를 이용하여 물을 분사시켜 골고루 적셔가면서 세척을 수행한다. 한편 세척과정에 일부 세척제를 사용하게 되는데 사용 후 세척제에 의한 오염(contamination)이 발생하지 않게 하는 것이 중요하다. 한편 냉동 분쇄(cryogenic grinding) 방법을 사용하면 wet 공정에 비하여 환경문제 뿐만 아니라 세척시 첨가하는 화학 약품이나 용수의 비용이 절감되는 효과를 가질 수 있는데 미국의 Ultra Pac Inc.은 Modern Machinery사의 Cryoclean 2000이라는 냉동 분쇄라인을 설치하여 PET로부터 PVC 및 기타 오염 물질을 분리해 내고 있다.

2.4 분리

혼합된 페플라스틱 중에서 PVC는 가공 중에 HCl을 발생시키며 재생품의 물성에 미치는 영향이 크기 때문에 분리가 필요하다. 기존의 플라스틱의 분리방법으로는 grain size의 분포에 의해 sieve를 이용하여 분리하는 법과 입자

들의 특성상 물과 같은 용매에서 침전되는 속도가 플라스틱의 종류에 따라 달라지는 원리(different velocity distribution)를 이용하여 분리하는 방법을 선택하였다. 최근에는 각 플라스틱의 밀도(density), 습윤성(wettability) 및 전도도(conductivity) 등이 다르기 때문에 Hydrocyclone 혹은 electrostatic 분류 방법을 주로 사용하고 있다.

이 밖에 미국의 National Recovery Technology사, Center of Plastics Recycling Research사, 이탈리아의 Gonovi사 등은 PVC속의 염소(Cl)기가 γ -ray에 의해 낮은 수준의 X선을 방출하는 원리를 이용하여 PET병에 부착된 PVC 라벨 및 laminate 된 PVDC 등을 3~10개/초 정도의 속도로 분리가 가능한 것으로 알려져 있다. 그리고 PET와 금속의 분리에는 정전기(electrostatic)가 이용되는데 잘 건조된 PET 칩의 대전성을 이용하여 도체인 알루미늄과 분리시키는 방법으로 미국의 Corpco, Rrisz사 등이 이분리

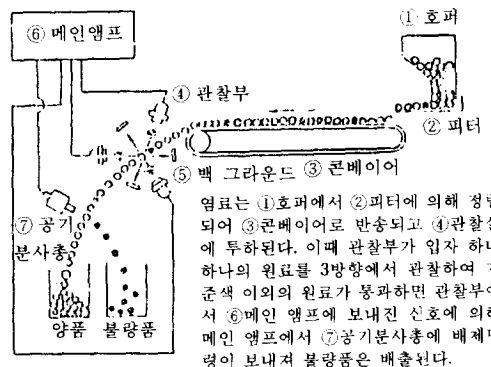


그림 7. Color Sorting의 개략적 도식.

방법을 채택하고 있는 것으로 알려져 있다.

각 플라스틱의 색상에 의해서도 분리가 가능하는데 이를 컬러 소팅(color sorting)이라 일컬어지는데 이의 개략적으로 도식하면 **그림 7**과 같다. 이 기술을 플라스틱 recycling에 사용하는 회사로는 캐나다의 Partek, 미국의 Plastic Resin separation Specialists사 등이 있다고 소개되고 있다.

또한 통상적으로 플라스틱은 소수성(hydrophobic)의 성질을 가지는데 이를 이용하여 플라스틱 granule 표면에 공기 방울을 부착시켜 물 속에서 floatation하게 만들어 분리하는 방법으로서 앞서 설명한 hydrocyclone 시스템에서보다 순수한 물질을 얻을 수 있는 것이 장점이지만 물에 의한 오염문제를 해결하여야 하는 것이 단점으로 지적되고 있다.

2.5 건 조

페플라스틱의 재활용을 위한 wet 공정에서는 필히 건조가 이루어져야 한다. 왜냐하면 세척 후 플라스틱 속에 남아 있는 수분의 함량은 다음 공정인 가공공정에서 물성에 치명적인 문제를 발생시키게 되기 때문이다. 전통적인 건조 방법으로는 세척과정에서 flake에 포함되어 있는 수분을 원심분리(centrifuge)하여 제거시켰는데 이 방법은 효과적이지 못하다. 따라서 새로운 방법이 개발되고 있는데 그 하나의 예가 먼저 어떤 필터 리본 압축기(filter ribbon press)내에서 압축을 행하고 다음 단계로 드럼 타입의 드라이 기계(drum drier)내에서 열풍(hot air)으로 건조시키는 방법이다. 이때 filter ribbon press내에서 75~80%의 수분이 제거되고 다음 드럼드라이기 내에서 수분함량을 0.5% 이내까지 줄일 수 있다고 알려져 있다.

2.6 혼합 페플라스틱의 재생 기술

지금까지 페플라스틱의 재활용을 위해서는 순수 단일 성분의 재료화가 재활용의 관건으로 알려져오고 있다. 예를 들면, 소다병(PET), 우유용기(HDPE) 등과 같이 사용량이 많고 비교적 분별이 쉬운 제품에 대한 recycling 운동이 확산되어 이들의 재활용 기술은 많은 발전을 거듭하고 있지만 이는 분쇄과정, 세척과정, 건조과정, 분리과정 등 복잡한 과정들을 거쳐야 하는 번거로움과 각 과정별로 많은 기술을 요구하게 된다. 한편 이들에 대한 분리 수거가 이루어져도 수거시 어느 정도 다른 플라스틱이 혼재해 있어 수집소에서 다시 분리과정을 거쳐 재생가공 공장으로 보내어지게 되어 분별과정에서의 hand sorting에 노동 비용이 과중한 부담으로 작용하고 있는 것이 현실이다. 그리고 재생공장에 운반된 이들 플라스틱도 용기 자체가 2가지 이상의 재질로 이루어져 있으며 다른 첨가제들도 포함되어 있기 때문에 상기와 같은 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 이렇게하여 혼합된 페플라스틱의 직접 가공기술 및 가공기의 개발은 에너지 소비를 줄일 수 있기 때문에 이 분야에 많은 연구가 진행되고 있는데 고분자 알로이(Polymer Alloy) 및 블랜드

(Blends)의 개발 등이 그 단적인 예이다. 과학적으로 두가지 이상의 플라스틱을 혼합하면 상분리가 일어나 플라스틱의 물성이 저하되기 때문에 혼합된 페플라스틱의 가공 및 제품 물성에 많은 문제점이 대두하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 상용화제(compatibilizers)들이 실험실적으로 개발되고 있으며 실제 상업화된 제품도 있다.

그러나 이러한 어려움에도 불구하고 혼합된 페플라스틱(commingled plastics wastes)의 가공에 성공한 여러 사례가 발표되고 있다. 실례로 Belgium의 ART사는 혼합된 페플라스틱의 가공으로 토목건축자재를 생산하고 있는데 이 방법은 유럽전역에서 이용되고 있는 가공방법으로서 첫 단계에서 혼합 페플라스틱을 granulate시키고 포함된 금속 등을 자기(magnetic)에 의해 분리시킨 후 압축에 의해 밀도를 높인 후 수직 나선식 호퍼에 넣고 압축기내에서 높은 전단력에 의해 polyolefin 성분이 가열되어 금형내로 압출된다. 이때 다른 성분인 PS, PVC, PET 등은 polyolefins속에서 강화 충전재(reinforced filler)로 작용한다. 이밖에 Greiner(오스트리아), Berstorff(독일), Institut fur Baustoffe der Bauakademie(독일), Cadauti(이탈리아), Revive System, Sikoplast(독일), Superwood International사(아일랜드), Reverzer(일본), Recycloplast(독일) 등도 혼합된 페플라스틱을 이용한 건축자재를 생산하고 있는 것으로 알려져 있다. 이들 이외에 혼합된 페플라스틱의 재생 가공에는 다양한 기술이 요구되고 있는데 가공기내에 리사이클 되는 플라스틱 melt를 filtering하는 기술의 도입, 압출기 스크류를 특별하게 디자인하여 고체 상태에서 압출하는 기술의 개발, 미국 Azdel사에서 polyolefins중에서 폴리프로필렌(PP)과 유리섬유를 강화재로하여 고분자 복합체를 가공할 수 있는 Injection-Compression 시스템의 개발을 발표하고 있다. 최근에는 페플라스틱과 종이를 함께 혼합하는 기술까지도 선보이고 있는데 이는 혼합 페플라스틱과 신문지를 Brabender PL 2000이나 Plasti-Corder속에서 약 175°C에서 혼합시키는 컴파운딩 기술 등의 사례가 발표되고 있다.

지금까지 다양한 페플라스틱 재활용에 필요한 기술 및 이들의 개발사례들을 고찰하여 보았다. 여기서 우리가 간과해서는 안 될 중요한 사실은 1차 혹은 2차 가공을 통하여 얻어진 제품이 소비자에 의해 사용되어진 후 회수되어 뛰어난 가공 기술을 통하여 재가공 된 경우라 할지라도 virgin 레진과의 물성과 비교하여 열세에 놓이게 된다는 사실이다. 이러한 사실을 바탕으로 virgin 레진과 페플라스틱의 재활용 단계에 따른 품질의 질을 도식적으로 나타내면 다음 **그림 8**과 같다.

상기 그림에서 알 수 있듯이 혼합된 페플라스틱의 질(quality)은 각 단계에 비용이 증가함에 따라 조금씩 증가함을 알 수 있다. 특히 중요한 사실은 혼합된 페플라스틱의 직접 가공은 재생품의 품질을 급격히 증가시킬 수 있음을

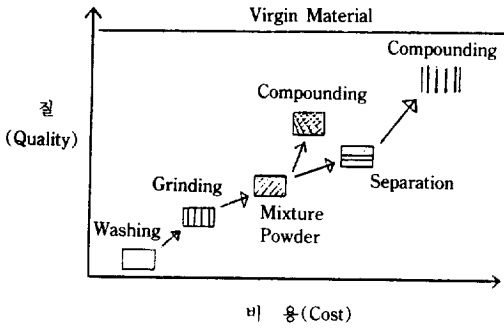


그림 8. 재활용 단계에 따른 페플라ستيك과 본래 물질과의 질의 비교상기.

알 수 있다. 또한 이렇게 재생된 제품은 본래 물질과 물질의 성질을 비교하기가 곤란하게 된다. 이러한 관점에서 기존의 다양한 플라스틱을 이용하여 고분자 블렌드 및 알로이 (polymer blends & alloys)의 개발에 많은 기업들이 심혈을 기울이고 있는 것이 세계적인 추세이다. 이러한 제품의 개발은 기존의 범용 플라스틱을 이용하여 고부가가치의 제품을 창조하기가 쉬워 새로운 제품의 개발에 필요한 시간과 경비를 줄이고 성공에 대한 위험 부담을 적게하기 위한 노력의 일환으로 사료된다. 이러한 관점에서 혼합된 페플라ستيك의 가공 후 품질의 고급화 및 고부가가치화를 기할 수 있는 연구가 향후 더욱 촉진될 것으로 사료된다. 이와 관련된 기존의 기술로서 상용성을 증가시키는 기술 (compatibilization)이 최근 혼합된 페플라ستيك 제품의 고급화에 각광을 받고 있다. 예를 들면 HDPE/PET(50/50)에 상용화제로 미국 Shell사의 Kraton G 1652를 10% 정도 첨가함으로써 상용성 증가에 따른 100% 연성의 증가 및 내충격성이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 이때의 Kraton G1652의 성분은 폴리스티렌-폴리부타디엔의 block 공중합체인데 이를 수소화 시켜 다시 폴리스티렌-에틸렌/부틸렌의 삼원 공중합체로 만들어 사용한 것으로 알려져 있는 물질이다. 이들의 의해 페플라ستيك의 상용화제로서 사용예가 보고되고 있는 경우는 다음과 같다.²¹

- LDPE/PVC(상용화제 ; PMMA-g- LDPE)
- LDPE/PS(상용화제 ; 수소화된 PS-b-PBD rubber)
- PS/PVC(상용화제 ; PS-g-PVC)
- PA/Polypropylene(상용화제 ; Maleic Anhydride-g-EPDM)

상용화제로 사용될 수 있는 것으로 극히 제한적이다. 상용화제란 어떤 성질이 서로 다른 두가지 성분 이상을 혼합할 때 서로의 상용성을 증가시키기 위하여 소량의 제 3의 물질을 혼합하는데 이때 제 3의 물질이 그 계내에서 혼합하는 주된 물질의 성질을 모두 가지고 있어 혼합시 어떤 부분들이 각각 성질이 같은 주된 물질 속으로 용해되며 계면이

화학적 결합 혹은 극성 그룹에 의한 물리적 결합을 이루게 하여 상분리가 일어나지 않게 역할을 하는 물질 모두를 일컫는 물질을 의미한다. 이러한 관점에서 서로 다른 성질의 물질을 하나의 물질속에 화학적으로 결합시키는 것은 대단히 어려운 일이다. 현재 이러한 역할을 할 수 있는 물질로는 block, graft 공중합체와 반응성 고분자들이 있으며 이들 중 block 공중합체가 가장 효과적인 것으로 알려져 있다. 이러한 block 공중합체를 합성할 수 있는 방법이 현재로서는 한정되어 있어 이 분야의 연구는 앞으로 각광 받을 수 있을 것으로 사료된다. 덧붙여 현재 시판되고 있는 상용화제의 종류 및 적용성 등은 표 2와 같다.

이상에서 우리는 다양한 페플라ستيك 재활용 방법(chemical recycling 제외)을 알아보았다. 실제 재활용되는 각종 페플라ستيك의 용도는 재활용 산업이 성공하기 위한 필요충분 조건이 된다. 실제 페플라ستيك의 가공 후 제품의 용도로는 다음 표 3과 같다. 이와 같은 용도 이외에 개발여지는 많다. 예를 들면 최근 미국의 Du Pont사는 플라스틱 병 및 자동차 bumper를 재활용하여 boat의 대형 돛을 제작하여 선보이고 있다.

표 2. 상업화되어 시판되고 있는 상용화제

상용화제	적용재료	개량물성
MA-modified TPE	PP/Nylon	Increased toughness
MA-modified Olefinic copolymers	a) Olefins/EVOH PS/EVOH, PE/Polyester b) PP/Nylon	a) Scrap reclaim, combined barrier properties with inexpensive materials b) increased toughness
Polyacrylic imide	a) Olefins/Nylon b) Olefins/PC	a) Increased toughness b) Moisture and Chemical resistance, paintability
AA-modified PP	Olefins/PET	Scrap reclaim
Peroxy polymers	EPR/Engineering resins	Increased toughness
Silanes	a) PPE/Nylon b) PBT/EPR, PBT/styrenics	a) Combined crystalline and amorphous properties b) Higher elongation, impact resistance
Reactive PS	Styrenics/nylon, Styrenics/Olefins Styrenics/PC	Increased toughness, scrap reclaim
SMA	PC/Nylon	Increased toughness
Phenoxides	PC/SMA, PC/ABS	Improved weld strength Higher impact resistance
Polycaprolactone	a) PVC/PS b) PC/SAN	a) Higher HDT, Scrap reclaim b) Increased toughness
CPE's	PVC/PE	Higher HDT, Scrap reclaim
PS graft copolymers	a) PS/PE b) PS/Nylon	a) Scrap reclaim b) Increased toughness
Styrenics TPEs	PS/Olefins	Higher elongation, impact resistance

[Plastics Science 1993, April]

표 3 각종 페플라스틱의 활용 용도

물 성	활 용 도
HDPE(milk jugs, PET bottle Cases 등)	Pipe, toys, drums, traffic cones ; Plastic lumber for boat piers, docks 등
LDPE(plastic bags, garment bags 등)	HDPE와 혼합 pellets or cases 제조
PET(molded beverage bottles 등)	Non-food packaging, fibers, fiberfil, insulation, recreational/household items, additive for Engineering plastics 등
PVC(Household products)	Pipe, Building products, hose, mudflaps 등
PS(foam containers & cutlery 등)	Insulation, food trays, fence posts, benches, flower pots 등
PP(film, Crates, Cases)	Household and janitorial products 등
PC(5 gal-water bottles, industrial scraps)	Value-added engineering compounds to create tiles, sinks, pallets, furniture and automotive trim 등
Nylon(fiber and textile)	
Unseparated PE/PVC cable	
Insulation scrap mixed with HDPE, PP, PS scrap	
Commingled Plastics	Recycling & other storage containers, Lumber, animal pen floors, Building construction products 등

현재 우리의 실태는 어떠한지 알아보자. 이미 여러번 언급이 있었듯이 환경처 산하 한국자원재생공사의 지방 세공장에서 HDPE 농업용 필름을 재생하여 펠레트화하여 다시 재생업자에 판매하고 있으며 기타 소규모의 영세 재생업자들에 의하여 PP, PE scrap을 이용 재생하고 있는 곳이 많다(표 4 참조).

3. 결 론

페플라스틱을 처리하는 여러 가지의 방안과 방법이 있을 수 있지만 결국은 우리실정에 알맞은 몇 가지 방법을 조합하여 복합적으로 처리하여야 할 것이다. 상공부 발표에 의하면 90년 페플라스틱의 재활용율은 10%(120만톤 중 12만톤 재활용) 이내로 미국(33.3%)과 일본(49.7%)에 비교하여 크게 뒤지고 있는 것으로 나타났다. 세계적으로도 '92년 리우 환경회담이후 점차적으로 환경에 대한 규제가 엄격해지고 있고, 선진국에서는 recycling과 연계되어 모든 분야의 과학 발전이 이루어지고 있다. 예를 들어 미국과 독일의 자동차 시장은 머지않아 recycling할 수 없는 플라스틱 사용은 자동차 판매도 수출도 할 수 없을 것으로 판단되며, 포장용기 시장 역시 재활용품 사용이 강력하게 제기될 것으로 사료된다. 이러한 상황에서 정부에서는 미국의 McDonald사나 Minneapolis사에서 행한 충격 요법 없이 환경오염 문제를 슬기롭게 해결할 수 있는 지혜를 모

표 4. 국내의 페플라스틱 재생에 관련된 회사

회 사	활 동 내 역
한국자원재생공사 (환경처)	HDPE 농업용 필름 재생 ; 약 15,000톤/년(청주, 안동, 남양)
재생 플라스틱 협동조합 산하 151개의 소규모 재생사	PP, HIPS, ABS, PC, 스크랩 등 약 11만톤/년
한국 EPS 재자원화 촉진 협회 ; 한남화학, 효성 BASF, 럭키, 신아, 제일모직, 동부화학 등 6개사(93년 발족)	EPS 수거(가전제품 완충재, 수산물 용기 등) 95년 7월까지 80% 재활용 계획
(주)삼양사	PET 재활용 추진

아야 할 것이다. 최근 EC의 유럽회의에서 새로운 recycling 규정을 통과 시켰는데 향후 10년내에 역내에서 사용되는 포장용기의 90% 이상을 재생 사용토록 의무화 하는 것으로 국내에서도 이와같은 추세를 감안하여 적절한 대비책을 준비하여야 할 것이다.

국내에서도 '95년 1월 쓰레기 종량제를 전국적으로 확대 실시되고 있는 지금 페플라스틱에 대한 적절한 수거방법과 처리방안이 강구되지 않으면 우리 나라 삼천리 금수 강산은 페플라스틱 쓰레기 강산으로 뒤덮힐 것은 자명한 일이다. 결국 환경오염에 대한 대비책이 없이는 어떠한 기술발전도 경제발전도 장기적으로는 기대할 수 없을 것이다.

참 고 문 헌

- G. Brewer, *Eur. Plastics Recycling in Resource Recycling* ; Part 1 and 2. 1987.
- A. N. Thayer, *C & E News*, Jan./30. 7. 1989
- T. J. Nosker, R. W. Renfree, and D. R. Morrow, *Plastics Eng.*, Feb., 33.
- M. M. Nir, *Plastics Eng.*, Sept., 29. 1990.
- K. R. Kreisher, *Modern Plastics Int.*, Oct., 50. 1991.
- A. Kirkmann, C. H. Kline, *Chemtech*, Oct., 606. 1991.
- K. Nagayasu, *Japanese R&D Trend Analysis, Advanced Materials-Phase III, Report No. 3 : Plastic Recycling* ; 10. 1991.
- Clean Japan Center, *Recycle Guide* ; Tokyo, 1991.
- Clean Japan Center, *Recycle Guide* ; Tokyo, 1992.
- J. H. Schut, *Plastics Technol.*, Aug., 50. 1992.
- S. L. D. Day, *ANTEC '92*, 1542. 1992.
- Editor, *Plastics Technol.*, Aug., 68. 1992.
- R. Iijima, *Makromol. Chem., Macromol. Symp.*, 57. 33 (1992).
- J. L. Tuley, *Polymer News*, 17. 229 (1992).
- N. Allbee, *Plastics Compounding*, May/June, 28. 1992.
- 사단법인, 일본플라스틱처리촉진협회, "Plaspia", No. 79. summer (1992).
- A. Miyake, *Plastic Science*, April, 128. (1993).
- A. Miyake, *Plastic Science*, Feb., 146 (1993).