

플라스틱의 재활용

김 광 응*

〈 목 차 〉

I. 서 론

III. 폐플라스틱 재활용 기술

II. 재활용 기술 개요

IV. 결 론

1. 서 론

일인당 국민소득 1만불 시대를 맞아 생활수준이 향상됐지만 발생하는 폐기물은 날로 늘어가고 있다. 또한 날이 갈수록 심각해지고 있는 환경오염은 우리 국민 모두가 우려해야 할 큰 과제로 대두되고 있다. <표-1>은 우리나라의 폐기물 발생현황 및 전망을 보여주고 있는데, '93년 현재 1인당 3.33Kg/일의 폐기물이 발생했고, 이중 생활 폐기물은 1.60Kg/일이다. 이 폐기물 발생량은 향후 더 증가할 것이 예상되고 있는데, '97년에는 4.22Kg/일/인, 2001년에는 5.20Kg/일/인이 될 것이다. '95년부터 실시되고 있는 쓰레기 종량제로 인해 '95년 9월의 서울시 생활쓰레기 발생량은 1.40Kg/일/인이고 총 발생량은 2.24Kg/일/인으로, '93년의 3.33Kg/일/인에 비해 약간 감소했지만 <표-1>의 전망에서 보는 바와 같이 폐기물의 발생량은 꾸준히 증가하여, 2001년에는 하루에 25만톤의 폐기물이 발생할 것으로 전망되고 있다. 이는 5톤트럭 5만대가 매일 쓰레기를 실어 날라야 하는 것이다.

* 한국과학기술연구원 고분자하이브리드연구센터 책임연구원

〈표-1〉 폐기물 발생현황 및 전망

단위 : 톤/일

구 분	'93	'97	2001
생활폐기물 (kg/일/인)	70,480 (1.60)	84,500 (1.84)	92,815 (1.93)
사업장 폐기물 (kg/일/인)	76,036 (1.73)	109,314 (2.38)	157,157 (3.27)
- 지정(특정폐기물)	3,802	6,122	10,687
- 기타 사업장폐기물	72,234	103,192	146,470
합 계 (kg/일/인)	146,516 (3.33)	193,814 (4.22)	249,972 (5.20)

* 국가폐기물처리 종합계획(환경부)

우리나라의 플라스틱 생산능력은 〈표-2〉에서 보는 바와 같이 '97년 현재 합성수지 860만톤, 합섬원료 540만톤, 합성고무 42만톤으로 합계 1,440만톤의 생산능력을 보유하고 있다. 이는 미국, 일본, 독일에 이어 세계 4위에 해당된다.

〈표-2〉 석유화학제품의 시설능력

단위 : 천톤

구 분	1980	1985	1990	1995	1997(E)
에틸렌	505	505	1,155	3,950	4,790
프로필렌	268	268	625	2,344	3,177
합성수지	942	1,331	3,608	6,788	8,656
합섬원료	290	350	1,492	3,235	5,425
합성고무	100	125	240	265	425

* 합성수지 : PE, PP, PVC, PS/ABS

합섬원료 : AN, Caprolactam, TPA, DMT, EG

합성고무 : SBR, BR

흔히 플라스틱이라고 통칭되는 합성수지만도 860만톤의 생산능력을 갖고 있고, 범용수지 외에 소량이나마 다른 특수수지도 생산되고 있어 모든 합성수지의 생산능력은 약 900만톤 정도로 추산되고 있다. 이중 약 50%가 국내 수요이고 나머지는 수출하고 있다. 예로서 '96년에는 합성수지 생산량은 679만톤이었고, 이중

300만톤은 수출하고, 수입 16만톤을 포함하여 국내수요는 394만톤이었다. 따라서 버려지는 폐플라스틱의 양도 엄청나다. 폐플라스틱은 금속, 종이류, 목재 등의 폐품과 달리 현재 우리나라에서는 적절한 후처리 기술, 공정, 시설 등의 미비로 더욱 문제가 되고 있다. 이러한 폐플라스틱을 효과적으로 재활용하기 위해서는 이를 처리하기 위한 기술적인 측면의 연구개발과 발생시점에서의 적절한 분리수거 방법이 중요하다. 특히 폐플라스틱에 대해서는 일반 국민에 대한 홍보 부족으로 일반인들이 쉽게 구분할 수 없어 여러 종류의 수지들이 혼재된 상태로 폐기되고 수거되고 있어 더욱 문제를 복잡하게 하고 있다.

폐플라스틱이 재활용은 재생플라스틱 형태, 즉 재질로서의 재활용이 가장 좋은 방안이다. 많은 경비와 노력을 소모하여 제조한 훌륭한 재료를 소각, 매립, 재분해 등을 할 필요없이 직접소재로 재사용하는 것이 가장 이상적이다. 이러한 재사용은 플라스틱 종류별로 분리선별이 가능할 때 이용되는 재활용 방법이다. PET(polyethylene terephthalate) 재질의 음료수 포장용기를 다시 섬유로 만들어 carpet를 제조할 수 있고, 자원재생공사에서 가동중인 농업용 필름 재생공장에서는 재생수지(주로 HDPE)를 만드는 경우이다. 아직까지 완전히 분리선별이 되지 않은 혼합 폐플라스틱을 재생원료로 사용하는 사례는 아직 없고 현재는 연구개발 수준에 있다.

분리선별이 어려운 폐플라스틱은 2차공해가 유발되지 않는 조건에서 소각하여 열에너지로 회수하는 방법도 있다. 태워서 열에너지로 회수하는 방안은 용도가 전혀 없거나 처리하기 어려운 폐플라스틱의 문제를 해결할 수 있다는 차원에서 고려해 볼 수 있다. 소규모 일대는 비교적 간단하기 때문에 외국에서도 일부 채택하고 있지만 국내에서는 소각장 건설에 대한 지역주민의 반대를 감안할 때 대규모로 처리하기에는 아직 해결해야 할 문제점이 있다. 여기서 한가지 잘못된 일반의 인식을 바로 알려야겠다고 생각되는데, 플라스틱의 소각은 다이옥신(dioxin)의 주원인이라고 알려진 사실이다. 플라스틱은 주로 탄소와 수소로 구성되어 있기 때문에 소각시 염소를 함유한 다이옥신은 발생하지 않는다. PVC(polyvinyl chloride)는 염소성분이 있지만 폐 PVC의 재처리는 소각을 하지 않는 방향으로 유도되고 있다.

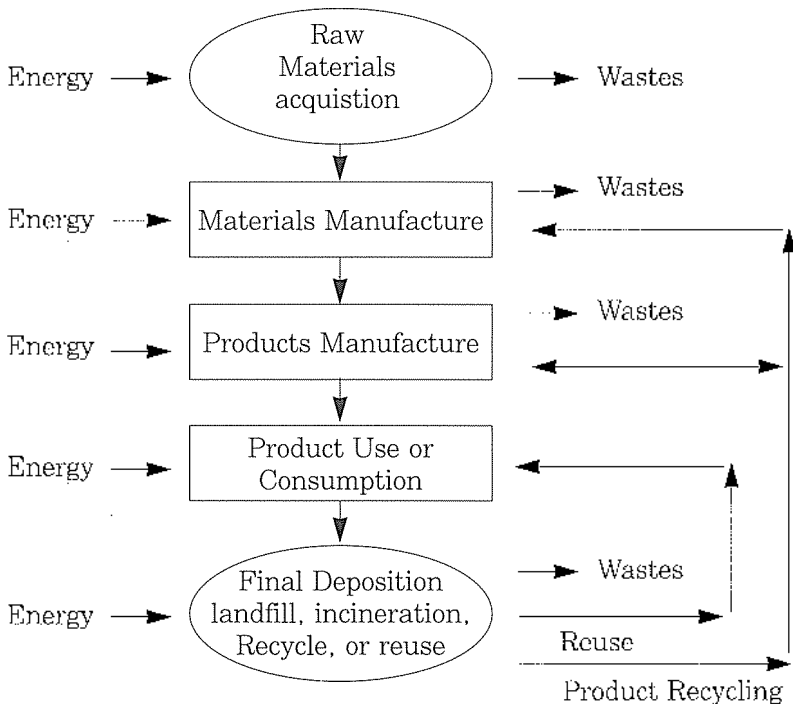
화학적인 처리방법으로 폐플라스틱을 분해하여 화학원료로 회수하는 것도 하나의 재활용 방법이다. 열을 가하면 화학적으로 쉽게 분해되는 아크릴 수지는 이러한 방법을 효과적으로 이용하고 있으며, 독일에서는 polyolefins 계에서 합성원유를 제조하는 방안도 연구되고 있고, 많은 특허가 출원되어 있다. 국내에서는

polyester, urethane 수지 등을 화학적으로 처리하는 연구가 일부 진행되고 있다. 그러나 이러한 화학적인 처리는 아직 연구단계이기 때문에 실용화되기까지는 많은 연구와 개발이 필요하다.

폐플라스틱을 처리하는 과정에서 어떤 특정기술이 개발되어 상업화 될 때까지 부피를 최소로 감소시켜 적절한 장소에 저장해야 한다. 그러나 우리나라와 같이 국토면적이 협소한 경우 저장장소의 마련이 큰 문제점이라 할 수 있다.

폐플라스틱 문제를 해결하는 방법으로 분해성, 붕괴성 플라스틱을 이용하는 방법이 있다. 쓰레기 봉지와 같이 현실적으로 분리, 선별수거가 어려운 부분에 사용되는 플라스틱은 이러한 방안이 바람직하다. 실제 완전분해되는 플라스틱은 현실적으로 가격과 경제성면에서 아직 실현성이 적고 플라스틱은 단순히 우리시야에서 보이지 않을 뿐이지 오랫동안 완전히 분해된 상태가 아니므로 일종의 미봉책이라 할 수 있다. 따라서 향후 단시간내에 완전분해되는 플라스틱에 대한 기술개발에도 많은 노력을 기울여야 한다.

〈그림-1〉 폐기물 발생과 에너지 소비에 관한 Flow Chart



환경오염 방지 차원에서 볼 때 현재로서는 폐플라스틱의 발생량을 줄이고, 재활용을 충분히 한후에 최종적으로 소각하여 열에너지로 회수하는 방법이 최선이라고 할 수 있다. 지구의 자원이 유한하기 때문에 플라스틱의 폐기량을 최대한 줄이고 재활용함으로써 폐기물 발생량을 줄이고 귀중한 자원의 낭비를 방지할 수 있다. 20세기에 가장 훌륭한 물질로 평가 받고 있는 플라스틱은 주로 원유로부터 도출되는 가장 마지막 제품으로서 석유의 매장량이 한정적이고 우리는 전량 외국에서 수입해야하는 실정을 감안한다면 플라스틱의 재활용은 반드시 이루어져야 하고 시급하게 해결해야할 문제이다.

모든 제품의 생산에는 반드시 에너지가 필요하다. 재사용(reuse) 및 재활용(recycling) 기술을 발전시키기 위해서는 어느 단계에서 폐기물이 발생되는지 정확하게 진단해야 한다. <그림-1>에는 실제 에너지 사용에 따른 폐기물 발생 경로를 보여주고 있다. <그림-1>에서 보는 바와 같이 제품생산의 각 단계마다 에너지가 소모되며 또한 폐기물도 발생한다. 각 단계의 폐기물은 처리방법이 각각 다를 뿐만 아니라 재활용 기술도 다를 수가 있다. 특히 제품제조 공장상에 발생하는 scrap 폐기물은 일부 자체 재사용이 가능하며, 소비자가 사용후 발생하는 폐기물은 원료 물질 제조에 재유입시키는 재활용이 가능하다.

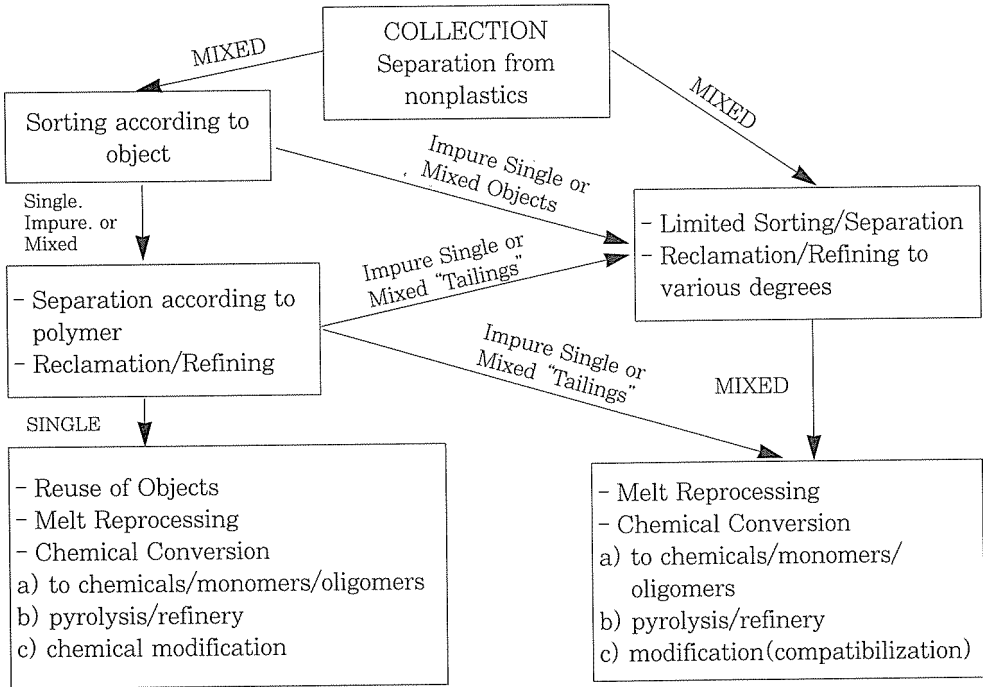
II. 재활용 기술 개요

생활 쓰레기중 고형폐기물(municipal solid wastes)의 상당부분이 플라스틱으로 이의 재활용 기술은 <그림-2>에 보인 바와 같이 다음 4가지로 분류할 수 있다.

- 1) 수거 혹은 수집기술(collection technology)
- 2) 기계적 기술(mechanical technology)
- 3) 열관련 기술(thermal technology)
- 4) 화학적 기술(chemical technology)

먼저, 수거 혹은 수집기술이란 소비자가 1차 사용후 폐기시키는 제품을 어떻게 효과적으로 수집하느냐 하는 매우 중요한 기술이다. 최근 인건비의 상승으로 인해 폐플라스틱의 수거에 필요한 비용이 높아져 실제 재활용 제품의 단가가 크게 높아지고 있다. 다른 물질과의 혼입을 방지하는 분리수거 방법은 수거비용을 줄일 수

〈그림-2〉 플라스틱 재활용 개념도



있는 한 방법이지만 소비자의 자발적인 분리 폐기가 선행되어야 한다. 분리수거를 위해 도로변에 다른 폐기물과 별도의 수집용기(curbside containers)를 설치하는 것이 최선책이 될 수 있다. 그러나 소비자가 사용 후 폐플라스틱을 폐기할 때 쉽게 구분이 될 수 있도록 디자인이나 색상을 소비자에 친밀하게 설계, 제작하여야 할 것이다. 한편 설치장소도 운송부담을 줄일 수 있고 많은 사람이 쉽게 이용할 수 있는 곳을 선택해야 효과적이다. 현재 분리수거에 의해 폐플라스틱을 수집하고 있으며 재질의 식별을 쉽게 하기 위해 제품에 재질별 표식을 권하고 있지만 일반 소비자들에게는 익숙하지 않아 수지종류별 수거 및 수집은 아직 힘든 형편이다. 또한나의 걸림들은 비록 재질별 수거가 되었다 하더라도 재활용 기술의 미비로 폐플라스틱의 재활용이 이루어지지 않고 있다는 점이다. 수거 및 수집에는 운송비가 차지하는 비중이 높아, 무게에 비해 부피가 큰 플라스틱을 효과적으로 수송할 수 있도록 부피를 최소화시키는 기술도 필요하다.

두번째, 기계적 기술은 수집된 폐플라스틱을 물리적인 방법으로 다른 형태로 재

가공하는 기술이다. 폐플라스틱은 이미 제품화되어 어떤 형상을 지니고 있기 때문에 이의 재사용을 위해 가루(powder), 펠레트(pellet), 과립상의 알갱이(granule)로 만들어야 한다. 폐플라스틱의 granulation에는 특수한 칼날을 포함하는 granulator가 필요하며, 특히 혼합된 폐플라스틱(commingled plastic wastes)을 물성면에서 각기 다른 특성을 지니고 있기 때문에 절단기(cutter)의 설계와 선택에도 유의하여야 한다. 절단기 재질의 특수성이 요구되는 것은 당연하며, 효과적인 절단을 위해 절단기의 디자인을 위한 새로운 기술도 필요하다. 한편 granule화된 혼합 폐플라스틱을 재질 별로 분류하기 위해서는 분류기술(sorting technology)이 요구되고 있는데, 현재 hand sorting에서부터 센서를 포함한 고가의 장비를 사용하는 자동선별기까지 다양한 분류방법이 이용되고 있다.

세 번째로 폐플라스틱 재활용에 있어서 중요한 기술은 재가공 기술이다. 재가공 기술은 열기술과 직접적인 연관이 있다. 특히 소비자에 필요한 제품생산을 위해 새수지(virgin resin) 가공시에 다양한 첨가제(additives)들이 필요하다. 예로서 산화방지제(antioxidant), 안정제(stabilizer), 가교제(crosslinking agent), 착색제(colorant), 충전제(filler) 등이 포함되어 있는 경우가 많고, 요구되는 특정 물성에 따라 여러 가지 다른 첨가제들이 혼입되어 있다. 또한 플라스틱은 가공시 약간의 열분해(thermal degradation)를 수반하게 되어, 폐플라스틱과 같이 2차 가공시 더욱 심한 열분해가 발생할 수 있다. 따라서 이를 방지하는 기술이 필요하게 되고, 새로운 재압출장치(re-extrusion equipment)의 개발도 필요하다. 고품전단압출(solid-state shear extrusion)로 가루로 만드는 기술도 열분해를 최소화하면서 폐플라스틱을 재활용하는 기술의 하나이다.

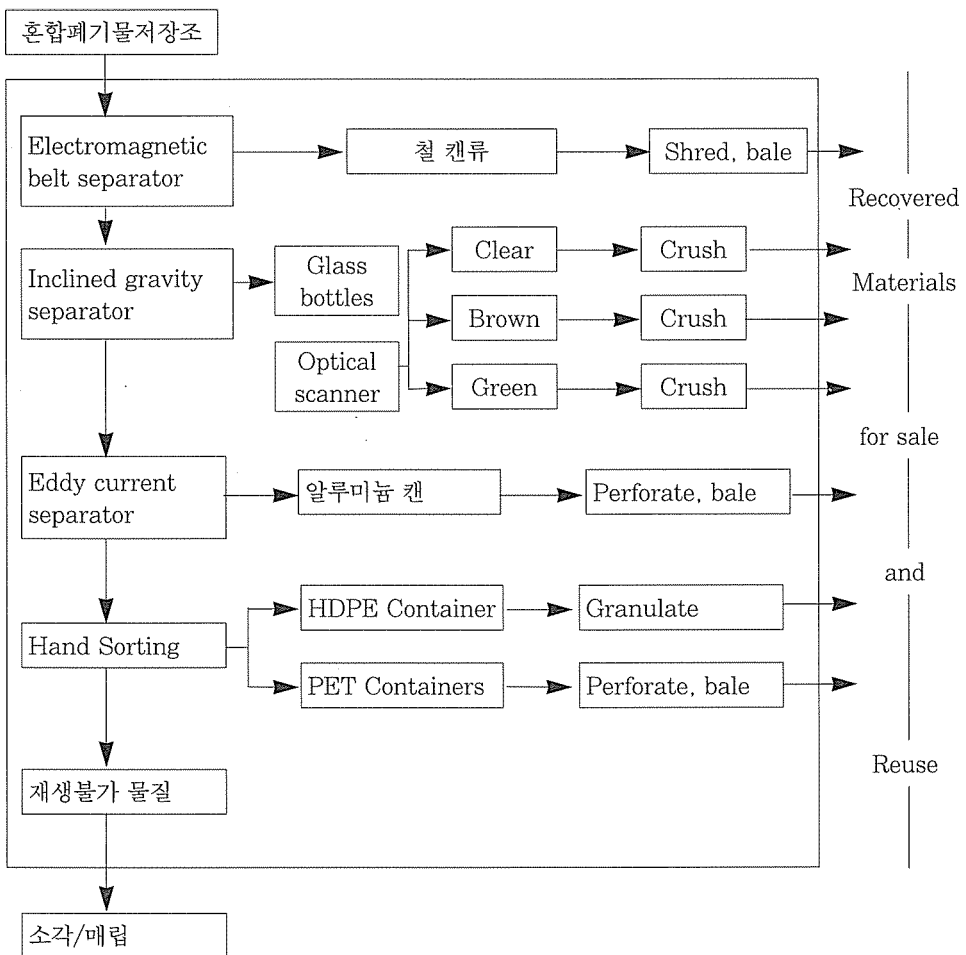
마지막으로 화학적인 방법으로 폐플라스틱을 재자원화하는 기술은 현재 가장 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야이다. 이 기술은 화학적 처리를 통해 원료 물질로 전환시키는 기술로서, 열역학적으로 새로운 제품생산을 위해 많은 에너지가 소요된다. 화학적 재활용 기술은 해중합(depolymerization), 열분해(pyrolysis), 알콜화(alcoholysis), 산화(acidolysis), 그리콜화(glycolysis), 아미노화(aminolysis), 수화(hydrolysis), 정제(refining) 등에 의해 플라스틱 중합체의 단량체나 oligomer 등으로 환원시키는 방법으로 고도의 기술이 요구되는 자원 재활용 방법이다.

Ⅲ. 폐플라스틱 재활용 기술

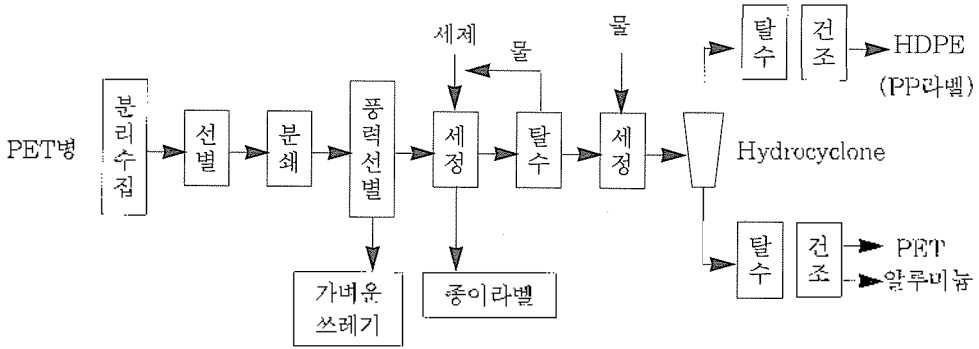
가. 단일 재질 폐플라스틱(Generic Plastic Wastes)

〈그림-3〉에는 혼합된 폐기물로부터 재생처리전 단계에서 종류별로 폐기물을 분리하는 과정을 나타내었다. 분리가 끝난 폐자원은 각기 재생공장으로 운반되어 재가공 공정을 거쳐 상품화된다. 예로서 hand sorting된 PET는 〈그림-4〉와 같이 재활용되고 있다. 실제 '92년도에 이렇게 flake화된 PET 및 HDPE는 각각 37.5 ¢/lb 및 33¢/lb로 판매되었다. (John Brown Recycling Co. 제공)

〈그림-3〉 혼합된 폐기물 처리과정

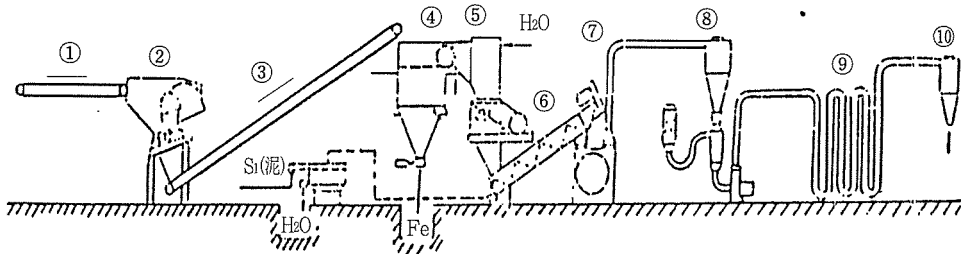


〈그림-4〉 PET병 Recycling System(CPRR사 기술)



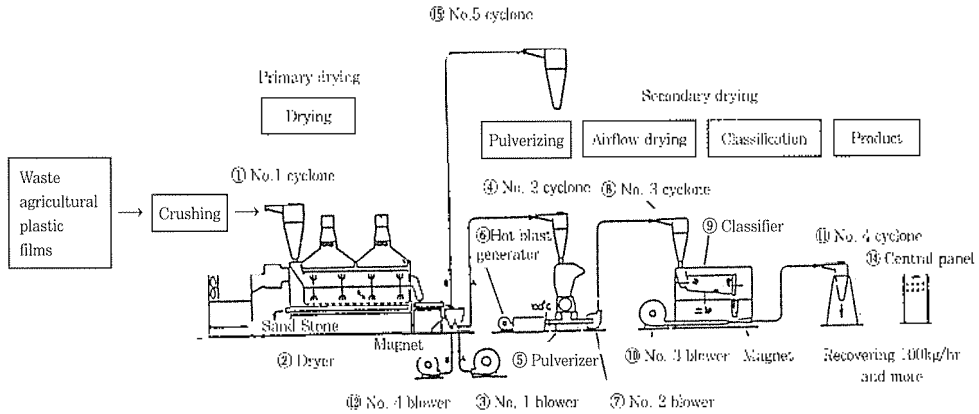
단일 품종으로 구성된 폐플라스틱은 재활용이 비교적 용이하여 요구되는 물성을 위해 약간의 첨가제만으로 가능하다. 현재 국내에서는 자원재생공사가 4곳(청주, 안동, 담양, 시화)의 농업용 필름 재생공장을 운영하고 있는데 〈그림-5, 6〉에 소개한 공정과는 약간 다르지만 그 개념은 동일하다.

〈그림-5〉 농업용 폐비닐의 재활용 시스템(독일 Herbold 사)



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

〈그림-6〉 Yamanashi Prefectural Agricultural Films Recycling Center의
농업용 필름 처리과정(제품기준으로 시간당 100kg 정도의 처리능력)



폐플라스틱의 분쇄는 재활용 공정의 첫단계로 대상 물질에 따라 분쇄기(shredder), 파쇄기(crusher), 절단기(cutter) 등이 이용되고 있다. 통상 폐플라스틱 중 열가소성 수지는 절단기를 사용하는 경우가 많고, 열경화성 수지는 분쇄기나 파쇄기를 이용한다. 그러나 재질의 크기, 모양, 두께 등을 감안하여 적절한 분쇄 방법을 선택해야 한다. 분쇄공정은 ball mill, hammer mill, 분리기(separator)를 갖춘 분쇄기, 냉동분쇄(cryogenic grinder) 등으로 이루어지고 압축공기에 의해 작동된다. 분리기는 통상 공기 및 자석에 의한 분리방법이 이용되고 있다. 농업용 폐비닐 같이 수분을 많이 함유한 상태는 wet granulator 형을 사용한다. 미국의 Nelmor 사에서는 rotating knife granulator로 0.25~1.25"크기로 분쇄한후 다시 screening을 통해 3/8", 3/16"정도의 크기로 분리하는 기술을 사용하고 있으며, 미국의 Wellman 사는 Modern Machinery 사 기술인 냉동분쇄 분리 방법으로 PET, HDPE, 발포 PS를 분리하는데 성공하였고, Australia의 Cryogrins사는 PVC 병의 recycling 에 냉동 분쇄법을 이용하고 있다.

분쇄가 끝난 폐플라스틱은 오염 물질을 세척해야 한다. 최근의 세척방법은 크게 2가지로 구분할 수 있는데, wet granulator로부터 분쇄된 granule 등을 마찰 세척원리(friction washer principle)을 이용한 세척을 주로 사용하는데 water spray를 이용하여 물을 분사시켜 끌고루 적시면서 세척한다. 세척과정에

서 일부 세척제를 사용하게 되는데 사용후 세척제에 의한 오염이 발생하지 않게 하는 것이 중요하다. 냉동분쇄방법은 wet 공정에 비해 낮은 환경문제, 첨가 화학약품의 불필요, 용수비용 절감 등 이점이 있으나, 냉동장치가 비교적 고가라는 단점도 있다. 미국의 Ultra Pac Inc.은 Modern Machinery 사의 Cryoclean 2000이라는 냉동분쇄 라인을 설치하여 PET 로부터 PVC 및 기타 오염물질을 분리해 내고 있다.

혼합 페플라스틱 중에서 PVC 는 가공중 염소(Cl_2)나 염산(HCl)을 발생시킬 가능성이 높아 재생품의 물성에 미치는 영향이 클 뿐만 아니라, 사용기기의 부식을 촉진시키므로 분리해 내야 한다. 기존의 플라스틱 분리방법으로는 grain 크기의 분포에 의해 sieve를 이용하는 분리법과 입자들의 특성상 물과 같은 용매에서 침전되는 속도가 플라스틱의 종류에 따라 다른 원리를 이용하여 분리하는 방법이 있다. 최근에는 플라스틱의 밀도(density), 습윤성(wettability), 전도도(conductivity) 등을 이용한 hydrocyclone, electrostatic 분류법 등이 주로 사용되고 있다. 이외에 미국의 National Recovery Technology사, Center of Plastics Recycling Research사, 이태리의 Gonovi사등은 PVC 속의 염소기가 γ 선에 의해 낮은 수준의 X 선을 방출하는 원리를 이용하여 PET 병에 부착된 PVC 라벨 및 laminate 된 PVDC(polyvinylidene chloride) 등을 3-10개/초 정도의 속도로 분리가 가능한 것으로 알려져 있다. 그리고 PET와 금속의 분리에는 정전기가 이용되는데 잘 건조된 PET 칩을 대전성을 이용하여 도체인 알루미늄과 분리시키는 방법으로 미국의 Corpes, Rrisz사 등이 이 분리방법을 채택하고 있다.

플라스틱의 색상에 의한 분리도 가능한데(color sorting), 캐나다의 Partek, 미국의 Plastic Resin Separation Specialists 사등이 자동 color sorting 기를 이용하고 있다.

일반적으로 플라스틱은 소수성(hydrophobic)이어서 플라스틱 표면에 공기방울을 부착시켜 물속에서 부유(floatation) 하게 만들어 분리하는 방법으로 hydrocyclone 시스템보다 순수한 물질을 얻을 수 있는 것이 장점이지만 물에 의한 오염 문제는 남아 있다.

페플라스틱의 재활용을 위한 wet 공정에서는 필히 건조가 이루어져야 한다. 세척후 플라스틱에 남아있는 수분의 함량은 다음 공정인 가공공정에서 물성에 치명적인 영향을 미친다. 흔히 사용되는 건조방법으로는 세척과정에서 flake에 포함되어 있는 수분을 원심분리(centrifuge)로 제거하고 있지만 효과적이지 못하다. 세

로운 방법의 예로는 필터리본 압축기(filter ribbon press)에서 압축을 한 다음 다음단계로 드럼 타입의 건조기(drum drier)내에서 열풍으로 건조시키는 방법이다. 이때 75~80%의 수분이 filter ribbon press에서 제거되고 drum drier를 거친 제품의 수분함량을 0.5% 이내로 줄일 수 있다.

나. 혼합 페플라스틱(Commingled Plastic Wastes)

단일 성분의 페플라스틱 재활용은 비교적 쉬운 편이어서 제품자체의 재활용기술 보다는 분쇄공정, 세척공정, 건조공정, 분리공정 등 처리공정의 기술이 더 요구되고 있다. 재질별 분리수거가 이루어진다해도 소량의 다른 플라스틱이 혼입될 가능성이 충분히 있기 때문에 수집소에서 다시 분리과정을 거쳐 재생가공 공장으로 보내진다. 분리과정은 주로 hand sorting을 사용하고 있지만 인건비가 과중한 부담으로 남는다. 재생공장에 운반된 페플라스틱도 용기자체가 2가지 이상의 재질로 이루어져 있거나, 다른 첨가제들이 포함되어 있기 때문에 이들의 제거에는 추가적인 분리공정이 필요하다. 따라서 혼합된 플라스틱을 분리과정을 거치지 않고 직접 가공하는 기술이 필요하다. 이 분야는 현재 많은 연구가 진행되고 있지만 아직 크게 상용화되어 있지는 못하다.

혼합 페플라스틱의 재활용에는 고분자 알로이(alloy), 블렌드(blend), 복합재료(composite) 기술이 그 근간을 이루고 있는데, 이들 분야에 대한 연구는 매우 활발하다. 두가지 이상의 플라스틱을 혼합하면 상분리(phase separation)가 일어나 플라스틱의 물성이 크게 저하되기 때문에 혼합된 플라스틱의 가공 및 제품 물성에 많은 제약을 초래한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 상용화제(compatibilizer)들이 실험적으로 개발되고 있으며 실제 상업화된 제품도 있다.

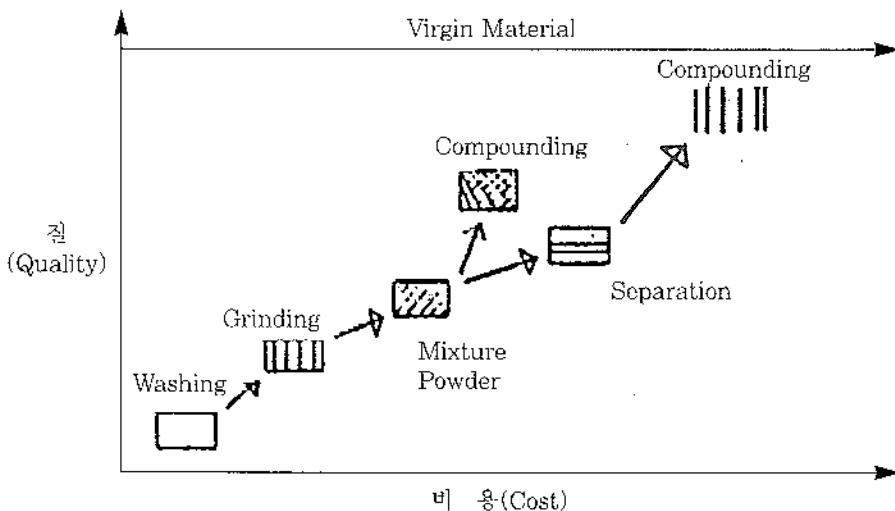
혼합된 페플라스틱의 가공에 성공한 예를들면 다음과 같다. Belgium의 ART사는 혼합 페플라스틱을 가공하여 토목 전자재를 생산하고 있는데, 이 방법은 유럽 전역에서 이용되고 있는 가공방법이다. 먼저 혼합 페플라스틱을 granule화 하여 자기에 의해 금속을 제거하고, 압축으로 밀도를 높인다. 그 다음 나선식 hopper에 넣고 압축기 내에서 높은 전단력으로 가열하여 금형내로 압출된다. 주로 polyolefins 성분인데 PS, PVC, PET 등은 polyolefins내에서 강화충진제(reinforced filler)로 작용한다. 이외에 Greiner(Austria), Berstorff(독일), Institut für Baustotte der Bauakademie(독일), Cadauta(Italy), Revive System, Sikoplast(독일), Superwood International(Ireland), Reverzer(일본),

Recycloplast(독일) 등도 혼합된 폐플라스틱을 이용하여 토목 건축자재를 생산하고 있는 것으로 알려져 있다. 국내에서도 이러한 가공방법으로 두께가 두꺼운 제품(thick profile)인 정화조, 큰대야, 지하배전함, 수로를 위한 홈통, 보도블럭, 울타리, 건축자재용 등을 생산해 왔고, 또 새로 시도하는 회사도 있지만, 국내의 경우 대부분 단일성분의 플라스틱이 많다.

혼합 폐플라스틱의 재생가공에는 다양한 기술이 요구되고 있는데, 가공기 내에서 recycle 되는 플라스틱 melt를 filtering 하는 기술, 압축기 screw를 특별하게 설계하여 고체 상태에서 압출하는 기술, 미국 Azdel 사에서 polyolefin 중에서 PP(polypropylene)와 유리섬유를 강화제로한 고분자 복합체를 가공할 수 있는 Injection-Compression 기술 등이 예들이다. 최근에는 폐플라스틱과 종이를 함께 혼합하는 기술도 있는데, 이는 혼합 폐플라스틱과 신문용지 등을 Brabender PL 2000 이나 Plasti-Corder 속에서 약 175°C로 혼합시키는 compounding 기술도 발표되어 있다.

폐플라스틱의 재활용을 위한 가공공정으로 만들어진 재생품은 물성이 virgin 수지보다 낮은 것이 사실이다. <그림-7>에 이것을 도식적으로 나타내고 있는데, 제품의 질(quality)은 각 단계의 비용이 증가함에 따라 조금씩 증가한다. 따라서 분리과정을 거치지 않은 혼합 폐플라스틱의 재생품 질을 최소의 비용으로 높히는 연구가 매우 활발하다. 향후 혼합 폐플라스틱의 고급화 및 고부가 가치화에 대한 연구는 더욱

<그림-7> 재활용 단계에 따른 폐플라스틱과 본래 물질과의 질의 비교



강화될 것으로 전망된다. 따라서 기존의 상용화(compatibilization)기술은 최근 혼합 페플라스틱 제품의 고급화에 각광을 받고 있다. 예로서 HDPE/PET(50/50)에 상용화제로 미국 Shell 사의 Kraton G1652를 10%정도 첨가함으로써 상용성이 증가하여 100% 연성의 증가와 내충격성이 크게 향상되었다. Kraton G1652는 polystyrene-b-polybutadiene의 block 공중합체를 수소화시켜 polystyrene-b-poly(ethylene/butylene)으로 만든 것으로 좋은 상용화제로 알려져 있다. 이외에 혼합 페플라스틱에 사용될 수 있는 상용화제는 다음과 같다.

- LDPE/PVC : 상용화제 PMMA-g-LDPE
- LDPE/PS : 상용화제 수소화된 PS-b-PBD rubber
- PS/PVC : 상용화제 PS-g-PVC
- PA/PP : 상용화제 MAH-g-EPDM

상용화제는 성질이 서로 다른 두가지 이상의 성분을 혼합할 때 서로의 상용성을 증가시키기 위해 소량으로 첨가되는 제 3의 물질로, 상분리된 혼합물내에서 상용화제를 구성하는 성분이 주된 물질 속으로 용해되어 계면에 화학적 결합 또는 극성 그룹에 의한 물리적 결합을 이루게되어 물성이 크게 향상되어 유용한 고분자 알로이, 블렌드, 복합체를 만들게 된다. 현재 이러한 역할을 하는 상용화제로는 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 분야에 대한 연구가 앞으로 크게 기대되고 있다. 현재 시판되고 있는 상용화제의 종류와 적용성을 <표-3>에 나타내었다.

화학적 재활용 방법외의 페플라스틱 재활용법을 개략적으로 알아보았다. 실제 재활용되는 각종 페플라스틱의 용도는 재활용 산업이 성공하기 위한 필요 충분조건이 된다. 페플라스틱의 재활용 제품의 용도를 <표-4>에 나타내고 있지만, 재생품의 특성에 따라 다양한 용도 개발이 기대되고 있다. 예로서 최근 미국 Du Pont사는 플라스틱 병과 자동차 범퍼를 재활용하여 보트의 대형 mast를 제작하였다.

우리나라의 페플라스틱 재활용 실태는 한마디로 아직 초보단계이다. 한국자원재생공사의 4 재생공장에서 농업용 필름을 재생하여 HDPE(일부 LDPE)를 만드는 것을 제외하고는 소규모 영세 재생업자들에 의해 PET, PP, PE, PS 계 페플라스

〈표-3〉 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/SAM 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/PS	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

틱이 재활용되고 있지만 아주 미미한 실정이다. 이는 재활용 산업의 구조가 경제성을 갖지 못하기 때문에 물성이 향상된 고가의 재생품을 생산하는 기술이 없기 때문이다. 일부 수지 제조업체들이 재활용 기술개발에 힘을 쏟고 있지만 아직 본격적으로 시작하지 못하고 있는 실정이다. 〈표-5〉는 국내 폐플라스틱 재생관련 회사들의 현황을 간단하게 기술하고 있는데, 특히 재생 플라스틱 협동조합의 회원사는 모두

〈표-4〉 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 & cultery 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) Nylon(fiber and textile) Unseparated PE/PVC cable Insulation scrap mixed with HDPE, PP, PS scrap	Value-added engineering compounds to create tiles, sinks, pallets, furniture and automotive trim 등
Commingled Plastics	Recycling & other storage containers, Lumber, animal pen floors, Building construction products 등

〈표-5〉 국내의 페플라스틱 재생관련회사

회 사	내 역
한국자원재생공사 (환경부)	HDPE 농업용 필름 재생 총 약 20,000톤/년(청주, 안동, 담양, 시화)
재생플라스틱협동조합 산하 151개 소규모 재생사	PP, HIPS, ABS, PC, PA, scraps 등 약 11만톤/년
한국 EPS 재자원화촉진협회, 미원유화, 효성 BASF, LG화학, 신아, 제일모직, 동부화학 등 6개사 (93년 발족)	EPS 수지(가전제품 완충재, 수산물용기, 부표 등) 95년 7월까지 80% 재활용 계획
(주)삼양사	PET 재활용 추진

소규모 영세 재생업자들로서 한달에도 수십개의 재생업자들이 문을 닫고 또 생기고 하기 때문에 정확한 통계도 어려운 실정이다.

IV. 결 론

폐플라스틱을 처리하는 방법과 기술이 다양하지만 결론적으로 각 수지에 적합한 방법의 선택은 여러 가지 요인에 따라 다르다. 자원이 부족한 우리로서는 폐플라스틱의 재활용이 꼭 필요하다는 명제하에 어떤 방법을 택해야 하는 것은 재활용 기술의 개발과 더불어 정부의 방침에도 크게 영향을 받을 것이다. 정부 발표에 의하면 우리나라는 '90년 현재 폐플라스틱의 재활용율은 10%(120만톤 중 12만톤 : 이것은 거의 산업 폐플라스틱의 활용으로 생활 폐플라스틱 재활용율은 1%정도로 추산됨) 정도이고, 미국(33.3%), 일본(49.7%)에 비해 크게 뒤떨어지고 있다. 세계적으로 '92년 리우 환경회담 이후 점차 환경에 대한 규제가 엄격해지고 있고, 선진국에서는 recycling과 연계되어 모든 분야의 과학기술이 발전되고 있다. 예를 들어 미국과 독일의 자동차 시장은 멀지않아 recycling 할 수 없는 플라스틱 사용은 자동차의 판매도 수출도 할 수 없을 것이며, 포장용기 시장 역시 재활용품 사용이 강력하게 제기될 것으로 판단된다. 이런 상황에서 정부에서는 미국의 McDonald 사나 Minneapolis 시에서 행한 충격요법 없이 환경오염 문제를 슬기롭게 해결할 수 있는 지혜를 모아야 할 것이다. 최근 EU의 회의에서 새로운 recycling 규정을 통과시켰는데 향후 10년내에 유럽내에서 사용되는 포장용기의 90%이상을 재생 사용토록 의무화하는 것이다.

국내의 경우 '93년말 정부발표에 의해 생활 폐플라스틱의 재활용율을 '95년 5%, '97년 10%, '98년이후 20%로 높인다고 하였지만, '97년 하반기에 접어든 현 시점에서 볼 때 2%의 생활 폐플라스틱의 재활용도 이루어지지 않고 있다고 판단된다. '95년 1월 쓰레기 종량제를 실시하고 있는 지금 폐플라스틱에 대한 적절한 수거방법과 처리방안이 강구되지 않으면 힘겹게 분리수거된 폐플라스틱은 또 다른 하나의 처리 곤란한 쓰레기밖에 되지 않고 자원 낭비를 초래하게 되는 결과를 가져올 것이다.

끝으로 폐기되는 플라스틱에 의한 환경오염 문제를 한번 생각해 보고자 한다. 특히 상점, 시장 등에서 포장용기 형태로 소비되는 플라스틱 봉지(소위 비닐봉투)가 산, 들, 강, 길거리에 마구 버려지다 보니 썩지도 않는 플라스틱이 환경오염의

주범인양 얘기하고 있다. 그러나 종이와 비교할 때 플라스틱이 훨씬 더 환경오염을 덜 시키는 재료인 것이다. 어떤 제품이 환경에 더 해로운가는 해당제품의 생산에서 수명을 다할 때까지의 전과정 평가(Life Cycle Assessment)를 통해 평가되어야 한다. 먼저 종이를 만들려면 지구에 얼마 남지 않은 삼림을 베어야 펄프를 제조할 수 있다. 삼림훼손에 의한 환경오염 문제는 이제 잘 알려져 있는 사실이다. 두번째, 종이의 제조에너지는 플라스틱 보다 약 20% 높다. 전량 수입하고 있는 펄프의 가격이 훨씬 비싸다는 것을 제외하고도 순전히 제조에너지만 볼 때 더 비싸다는 것이다. 셋째, 전과정 평가를 통해 볼 때 종이와 플라스틱의 제조, 가공, 사용, 폐기 과정에서 발생하는 에너지 사용, 대기오염 배출, 폐수발생등이 종이쪽이 더 높다는 것이다. 따라서 종이가 플라스틱 보다 환경오염 요인이 훨씬 높다는 사실이다. 재활용 기술의 개발로 인해 버려지는 플라스틱을 유용하게 다시 사용할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

[참고문헌]

1. A.L. Bisio and M. Xanthos (ed), "How to Manage Plastics Waste", Hanser Publishers, Munich, 1995.
2. B.A. Hegberg, G.R. Brenniman, and W.H. Hallenbeck, "Mixed Plastics Recycling Technology", Noyes Publ., 1991.
3. Korea-Japan Joint Workshop on Resources Recycling Technology, Seoul, Korea, Aug. 22~23, 1996.
4. G. Brewer, *Eur. Plastics Recycling in Resource Recycling*, Part 1 and 2, 1997.
5. A.N. Thayer, *C&E News*, Jan. 130, 7, 1989.
6. T.J. Nosker, R.W. Renfree, and D.R. Morrow, *Plastics Eng.*, Feb. 33, 1990.
7. M.M. Nir., *Plastics Eng.*, Sept. 29, 1990.
8. K.R. Kreisher, *Modern Plastics Int*, Oct 50, 1991.
9. A. Kirkmann, C.H. Kline, *Chemtech*, Oct, 606, 1991.
10. K. Nagayasu, Japanese R&D Trend Analysis, Advanced materials-Phase III. Report No. 3 : Plastic Recycling : 10, 1991.
11. K. Nagayasu, Japanese R&D Trend Analysis, Advanced materials-

- Phase V. Report No. 1 : Plastic Recycling (Update-1), 1993.
12. Clean Japan Center, Recycle Guide, Tokyo, 1991, & 1992.
 13. Clean Japan Center, Recycling Fact Book, 1995.
 14. J.H. Schut, *Plastics Techn.*, Aug. 50, 1992.
 15. S.C.D. Day, *ANTEC '92*, 1542, 1992.
 16. Editor, *Plastics Techn.*, Aug., 68, 1992.
 17. R. Iijima, *Makromol. Chem., Macromol. Symp.*, 57, 33 (1992).
 18. J.L. Tuley, *Polymer News*, 17, 229 (1992).
 19. N. Allbee, *Plastics Compounding*, May/June, 28, 1992.
 20. 사단법인, 일본플라스틱처리촉진협회, "Plaspia", No. 79, summer, 1992.
 21. A. Miyake, *Plastics Science*, April, 128, 1993.
 22. A. Miyake, *Plastics Science*, Feb., 146, 1993.