

플라스틱 재생기술 개발 현황

— PE 재생기술에 대하여

김명기/한화그룹종합연구소 선임연구원

목 차

1. 머리말
2. PE에 대하여
3. 플라스틱 재활용 기술
 - 3-1. 재료 재활용
 - 3-2. 화학적 재활용
 - 3-3. 열적 재활용
4. 폴리에틸렌의 국내 재생기술 현황
 - 4-1. 페비닐 재생
 - 4-2. 열분해
 - 4-3. PE와 혼합된 폐플라스틱의 재활용
 - 4-4. 폐가교 PE의 재활용 기술
5. 플라스틱 재활용에 대한 향후 정부대책
6. 결론

1. 머리말

플라스틱 폐기물은 매립(Landfill), 소각(Incineration), 재활용(Recycle) 등의 방법으로 처리되어 왔다.

매립에 의한 방법은 매립시 토양의 수분을 차단함으로써 식물 성장을 저해할 수 있으며, 매립 공간의 부족 문제와 NIMBY(Not In My Back Yard) 현상 등으로 매립지 선정문제는 이제 상당한 어려움을 안게 되었다.

또한 소각에 의한 방법은 열효율을 이용할 수 있는 가장 간단한 방법이지만, 시설 투자비가 상당하고, 혼합된 폐플라스틱 소각시 발생할 수 있는 Halogen(Cl, Br 등) 가스와 일산화탄소(CO), 불화수소(HF) 등의 발생으로 대기 오염을 심각하게 유발시킬 수 있으며, 소각장치 부식문제도 뒤따르게 된다.

더욱이 NO_x, SO_x 등의 발생에 의

한 대기 오염은 산성비의 주원인으로 대두될 수도 있으며, Chlorine과 산소가 결합할 때 발생하는 발암물인 Dioxin의 발생도 우려되어 이들에 대한 방지 대책이 요구되고 있다.

가장 추천할만한 방법은 재활용 방법이다. 이는 폐기물의 재자원화로 자원의 효율적인 이용이 가능하며, 원가 절감에도 한몫 할 수 있게 된다.

또한 환경보호 측면에서도 가장 바람직한 방법으로 정립되어 현재 각국에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 고에서는 플라스틱의 재생 기술을 살펴보고 국내 폴리에틸렌(PE)의 재생 기술 현황과 향후 플라스틱 폐기물에 대한 정부 시책을 기술하고자 한다.

2. PE에 대하여

PE는 국내외적으로 가장 많이 보

(표1) 폴리에틸렌의 용도

구 분	용 도	밀도(g/cc)
LDPE	농업용 비닐하우스, 식품용기, 정화조, 전선케이블, 발포시트, 절연재 등	0.90~0.92
L-LDPE	농업용 비닐하우스, 포장재, 물탱크, 화학탱크 등	0.92~0.94
HDPE	밀칭필름, 포장백, 용기, 파이프, 쓰레기통, 팔레트, 물탱크 등	0.94>
에틸렌공중합체	신발, 골프공 용기, 파이프, 발포시트, 인조잔디, 접착제, 용기 등	0.8~0.90

급된 합성고분자 물질로 우리들의 일상 생활에 주로 사용되고 있는 물질이다. 특히 가공이 용이하고 값이 싸며, 강도와 내약품성, 전기 절연성 등이 우수하여 다양한 용도로 사용되고 있다. 농업용, 포장재, 기계장치, 수송 시설, 통신, 전력, 건설 등 전 산업체 및 가정용기에 이르기까지 중요한 재료로 인식되어져 왔다(표 1. 참조).

PE는 밀도에 따라 LDPE(저밀도 폴리에틸렌), L-LDPE(선형 저밀도 폴리에틸렌), HDPE(고밀도 폴리에틸렌)로 크게 구분되며 큰 범주로는 에틸렌 공중합체(EVA,

EEA, PEMA, Ionomer 등)도 이에 속한다.

국내에선 한양화학(주)의 LDPE 생산을 필두로 PE 사업이 시작되었고, 현재는 많은 기업들이 참여하고 있다.

[표 2]에 국내유화업체의 플라스틱 생산량을 나타내었다.

표에서 보듯이 94년 국내 플라스틱의 총 생산량은 630만톤으로 추정되며, 이는 세계 5대 생산국에 해당하는 양이다. 또한 국내 수요를 보면 PE가 약 130만톤으로 플라스틱의 약 40%를 차지하고 있다.

폐플라스틱 발생률이 PE의 경우 연 13%로 증가한다고 보면(표 3 참조) 94년에 80만톤으로 현 국내 수요의 약 60% 이상이 폐기물로 발생되고 있는 실정이다. 현재 국내 플라스틱 재활용율은 약 10% 선으로 미국(33%), 일본(50%)에 비해 크게 뒤지고 있으며, 아직도 많은 양이 소각되거나 매립되고 있다.

3. 플라스틱 재활용 기술

3-1. 재료 재활용

가공 단계에서 발생하는 플라스틱 스크랩으로, 회수가 쉽고 열화되지 않는 것에 적용하는 경우가 많으며, 혼합된 폐플라스틱에 적용할 경우에는 종류별로 선별한 후 분쇄 또는 용해하여 신재 수지와 혼합하여 이용하는 방법이다.[표 4]에 국내의 폐플라스틱 재생업체를 나타내었다.

3-2. 화학적 재활용

고분자 물질은 석유화학의 산물이라는 점에서 열량이 매우 높다. 탄소와 수소로 이루어진 PE의 열량은 10,000kcal/kg 이상을 나타낸다. 또한 대부분 고분자 폐기물의 소각이 어려운 이유는 열에 약하여 연소반응이 급격하게 진행됨에 따라 일시에 많은 열이 발생될 뿐 아니라 효과적 산소 공급이 어려워 불완전 연소가 빈번하기 때문이다.

열분해는 원료 물질을 무산소 혹은 저산소 상태에서 가열하여 분해하는 것이다. 고분자 폐기물을 열분해하고자 하는 첫째 이유는 조건과 정도의 차이가 있지만 열을 가하면 쉽게 분해되기 때문이다. 유독물질이 발생하더라도 거의 순수한 형태로 발생되거나 공기비가 매우 낮아 상대적으로 처리

[표2] 국내 유화업체의 생산량 추이

수지(Resin)	참 여 기 업 체	총생산량 (94년 추정)	국내수요 (94년 추정치)
HDPE	한양화학, 유공, 삼성종합화학, 현대석유화학, 대림산업, 호남석유화학, 고려석유화학, 럭키 등	1,253	662
LDPE(LLDPE/ VLDPE 포함)	한양화학, 럭키, 유공, 삼성종합화학, 현대석유화학, 대림산업 등	1,170	612
PP	유공, 삼성종합화학, 현대석유화학, 대림산업, 이수화학, 호남석유화학, 동양나이론, 고려석유화학, 동부석유화학, 서통화학 등	1,715	723
PS(EPS 포함)	럭키, 유공, 제일모직, 효성 BASF, 동부석유화학, 한남화학, 신아화학 등	925	545
PVC	한양화학, 럭키 등	720	747
ABS	럭키, 한남화학, 제일모직, 유공, 효성 BASF, 신아화학 등	370	188
Methacryl계	한양화학, 럭키, 제일모직, 한남화학 등	47	
기타(Eng. Plastics)		117	100
합 계		6,317	

* 석유화학공업협회 및 KIET 자료(무역통계월보) 및 추정치

[표3] 연도별 폐플라스틱 발생량

(단위: 천톤, %)

구 분	82	84	86	89	93	연평균 증가율(82~93)
LDPE	128	166	208	272	415	11.4
HDPE	38	58	85	104	193	15.9
P P	91	121	155	308	342	12.7
P V C	84	120	143	228	277	11.5
PS/ABS	26	42	51	77	85	11.4
계	367	507	642	989	1,312	12.3

자료: 상공부

주) '93년 발생량은 추정치임

가 손쉽다. 더우기 고분자 폐기물을 원래의 저분자 물질로 환원시키고자 시도하게 되므로 단량체 등 고가의 원료 물질을 회수할 수 있으며, 최소한 고열량의 연료 가스나 오일을 회수할 수 있다. 한편 열분해의 가장 큰 문제점은 분해 반응이 흡열반응이므로 열을 공급하여야 한다는 것이다. 간접 가열을 시도하는 무산소 열분해에서는 열공급의 효율성이 공정의 경제성을 좌우하는 가장 큰 요소가 되고 있으며, 직접 가열을 시도하는 저산소 열분해는 부분 연소에 따른 연소 부산물이 발생하고, 소각보다는 적지만 배기가스 처리가 부담이 되고 있다.

3-3. 열적 재활용

소각의 가장 큰 장점은 다량의 폐기물을 동시에 처리할 수 있다는 점이다. 열이용을 극대화할 수 있으며, 다른 도시폐기물과 함께 처리할 수도 있고 석탄의 훌륭한 보조연료가 될 수도 있다. 그러나 플라스틱 폐기물의 전용소각은 급격한 연소와 과도한 발열량을 조절할 수 있도록 다단연소를 실시하는 등 주의가 필요하다. 일부 플라스틱을 소각할 때 발생하는 HCl 등 부식성 유독가스의 처리에도 각별히 유의하여야 함은 물론이다.

4. 폴리에틸렌의 국내 재생 기술 현황

4-1. 폐비닐 재생

자원재생공사는 폐기물 발생 억제 및 재활용 촉진을 위해 1980년에 설립되어 폐비닐 및 농약 빈병을 수거해 왔다. 특히 1981년 이후 농촌의 폐비닐(LDPE와 HDPE)을 수거하여, 청주·안동·담양에 공장을 가동하고

[표4] 국내의 페플라스틱 재생 업체

회 사	활 동 내 역
한국자원재생공사(한경처)	HDPE 농업용 필름 재생 : 약 15,000톤/년(청주, 안동, 담양)
재생플라스틱협동조합 산하 151개의 소규모 재생사	PP, HIPS, ABS, 스크랩 등 약 11만톤/년
한국EPS재활용협회 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

있으며 1994년 현재 연간 1만 5천톤 규모로 재생 원료 펠릿을 생산하고 있다. 재생과정은 수거된 폐비닐을 선별하여 이물(흙, 모래 등)을 걸러내고, 작은 크기로 파쇄시킨다. 이를 압출이 용이하게 분쇄시킨 다음 세척과 탈수, 건조를 거친 후 압출기를 이용하여 용융 혼련시키고, 냉각·절단을 통해 25kg 단위로 포장이 된다(그림 1 참조).

본 펠릿의 용도는 정화조, 공원 벤치, corrugated pipe(주름관), band, 쓰레받이, 장바구니, 합지박, 세계용기 등으로 쓰이고 있다. 현재 폐비닐 재생공장의 문제점으로는 신재 수지(Virgin pellet) 가격이 너무 낮아 재생 수지 제조시 cost를 맞출 수가 없으며, 아직 재생 수지 사용에 대한 국민 인식이 낮아 수익성 면에서도 떨어지고 있는 추세이다. 또한 공정상의 문제점으로는 수거된 필름에 짙·흙 등의 이물질이 상당량(약 90% 이상)을 차지하므로 1차 세척과정에서 제거되지 않고 압출기 스크류내에서 마모의 원인으로 작용한다.

4-2. 열분해

대전의 국제정유(國際精油)는 페플라스틱을 열분해하여 연료화하는 기술을 개발했다. 폴리에틸렌 등 폐합성수지와 페타이어, 갈탄 등을 대형회전

원통에 넣고 분쇄한 후 촉매제인 벤토나이트와 함께 섭씨 600~700℃의 온도로 열처리를 한다. 이로부터 휘발유, 중질유, 가연성가스, 탄화물 등을 제조할 수 있다.

한국 후지리사이클은 일본 후지리사이클의 기술을 도입하여 PE, PP 등의 폴리에틸렌과 기타 열가소성 플라스틱(PET, PVC 등)이 혼합된 페플라스틱으로부터 기술된 및 경유와 등유를 얻을 수 있는 방법을 실용화할 계획이다.

후지리사이클은 플라스틱을 열분해한 후 합성 제오라이트 촉매를 사용하여 탄소원자의 수가 4~20개인 탄화수소만을 회수할 수가 있는 방법을 실용화 하였다. [그림 4]와 같이 파쇄기에서 잘게 부순 플라스틱을 압출기, 원료 혼합조, 열분해조의 순서로 보내면서 섭씨 400℃까지 가열하여 가스화 한다. 이를 320~330℃로 가열한 접촉 분해조로 보내 속에 들어있는 합성 제오라이트 촉매와 접촉시킨다. 이 촉매는 가스화 한 탄화수소의 탄소 결합을 끊으면서 곧 끊어진 부분에 수소원자를 결합시키는 작용을 하며, 가로×세로=10×8 옹스트룀(A는 1000만분의 1M), 작은 구멍이 많이 발생하게 된다.

촉매의 움직임으로 탄소 결합이 잘게 끊어지고, 탄화수소가 이 구멍을

통과할 수 있을 정도로 작아지게 되며, 최종적으로는 탄소원자가 4~20 개인 탄화수소, 즉 가솔린, 등유, 경유를 얻을 수 있다. 일본의 경우 실용화는 이미 시작되었다.

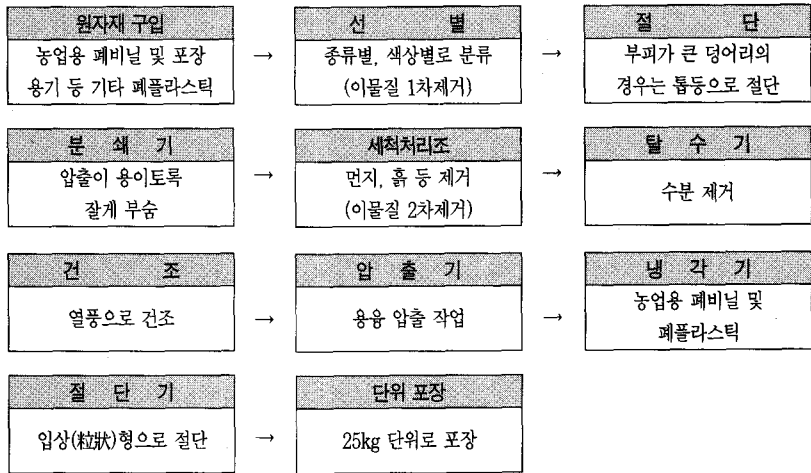
재단법인 Clean Japan Center가 발주한 폐플라스틱 처리능력 5000톤의 공장이 1992년 4월부터 相生시에서 가동되고 있으며 埼玉懸 桶川시에서는 11월부터 연간 처리능력 400톤 규모의 공장이 가동되고 있다. 桶川시에서는 주1회, 플라스틱을 분류 회수하고 있으며 이 때에 모아진 폐플라스틱으로부터 재생유를 생산하고 있다.

이러한 연속 처리장치와 더불어 하루 1톤의 플라스틱을 처리할 수 있는 Batch식 장치도 개발되었다. 본 장치는 모든 작동이 간단하며 좁은 장소에서도 설치할 수 있기 때문에 수퍼, 컨비니언스 스토어, 가전업체 등에서 사용도 가능하다. 국내에는 93년 6월 한국 후지리사이클이 설립되어 현재 공장 건설이 진행중에 있다.

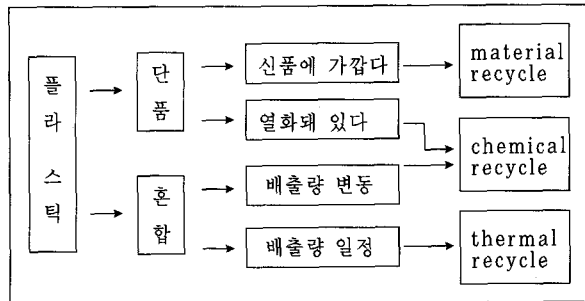
폐플라스틱 등 석유 이외의 원료로 만들어진 가솔린은 기술적으로는 고품품화가 가능하나 문제는 남아 있다. 후지리사이클에 따르면 폐플라스틱으로 만든 재생 가솔린의 가격은 석유를 정제한 것보다 싸다고 한다. 그러나 저렴한 재생가솔린이 유통되면 기존 석유 판매업자의 제품이 팔리지 않게 되며 업계를 혼란시킬 우려가 있다. 또한 법규제의 벽도 있다.

일본의 경우 현재의 석유 사업법에 의하면 석유정제 회사 이외의 업자는 연간 55,000㎥ 이상의 석유제품을 제조, 판매할 수가 없다. 결국 재생가솔린을 보급시키기 위해서는 석유 판매업자가 반발을 일으키지 않을 판매체제를 만들어야 함과 동시에 법개정이라는 과제를 해결하지 않으면 안된다.

(그림 1) 폐비닐 재활용 공정 개요도



(그림 2) 플라스틱의 리사이클



4-3. PE와 혼합된 폐플라스틱의 재활용

이 분야는 중소규모의 영세 업체들이 난립하고 있으며 PE가 혼합된 열가소성 폐플라스틱으로부터 전선지중화(電線地中化) 작업에 쓰이는 케이블 클리트O(cable cleat)를 비롯, 전기 배전함(配電函), 보도블록, 화분 등 여러 가지를 제조하고 있다. [표 6]에 국내에서 발생하는 폐플라스틱의 용도를 나타냈다.

4-4. 폐가교 PE의 재활용 기술

가교 PE는 PE의 내열성을 높이고,

내화학성과 강도를 증가시킴으로서, 온수 온돌용 엑셀 파이프(XLPE), 전선 절연재, 가교시트, 단열재, 화학 탱크 등 특수한 기능을 부여할 수 있는 곳에 사용되어 왔다. 가교 PE의 국내 사용량은 '93년 기준 연간 7만톤 규모이며, 이 가운데 가공중 발생하는 스크랩은 평균 10%를 나타내고 있다.

가교 PE 스크랩이나 사용된 제품은 다시 단순 재생이 어려워 현재까지 전량 위탁 폐기처리하여 왔다. 한화그룹 연구소에서는 이를 플라스틱의 충전제로 이용할 수 있는 실용화 기술을 개발하였다. 이를 위해 가교 PE

제조시 발생하는 스크랩을 분말화하여 충전제로의 가능성을 실험하였으며, 플라스틱과 성형시 결점이 없는 입도까지 충전제를 분말화하거나, 가공 가능한 범위까지 유동성을 유지할 수 있도록 함량을 조절함으로써, 재생품을 사용하지 않은 성형품보다 뛰어난 특성을 나타낼 수 있도록 하였다.

특히 본 재생 제품은 상온 및 저온에서 높은 강도를 가지게 되며, 특히 충격에 강한 특성을 이용하여 팔레트, 어류상자, 과일상자, 쓰레기 수거통, 주류 및 음료 상자 등으로 사용될 수 있다. [사진 3, 4 참조]. 본 기술은 중소기업에 이전을 추진할 예정이다.

5. 플라스틱 재활용에 대한 향후 정부 시책

정부는 오는 97년까지 사업장 폐기물의 재활용율을 현재의 53%에서 60%까지 증가 시키기 위해 폐지, 폐유리, 폐플라스틱, 고철 등 자원 재활용 업종을 지정해 일정 비율 이상 폐자원 원료 사용 의무를 부과할 계획이

[표5] 국제정유의 열분해 연료화

투 입	합 량 (50ton 기준)	연 료 화
폐합성수지	12T(24%)	<ul style="list-style-type: none"> • 휘발유나 중질유 20T(1백 드럼) • 가연성 가스 2.5T(액화가스화) • 탄화물 27.5T(숯대체 연료로 냄새없는 특수 연탄)
페타이어와 고무류	12T(24%)	
갈탄	24.5T(49%)	
촉매제	1.5T(3%)	

[표6] 국내에서 발생하는 폐플라스틱의 용도

구 분	종 류
생활용품	물통, 세제용기, 식용유통, 반찬통, 물바가지, 합작박, 식기대, 간장통 등
건축	PVC관, 화분, 욕조, 전기배전함, 케이블클리트, 보도블록 등
포장용기(Container 포함)	전자제품 케이스, 음료수, 술상자, 막걸리통
기타	물조리, 음료수병, 요구르트 등 옷걸이, 장난감, 의자, 사무용구 등

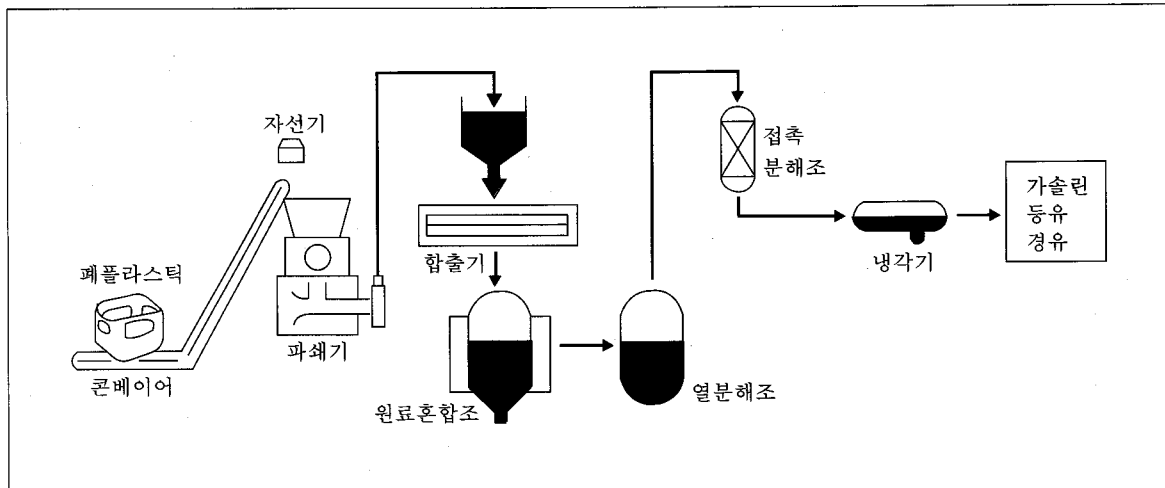
다. 또 합성수지용기(200밀리터 이상)를 제조·수입·판매하는 기업은 올해부터 해당 제품의 재질에 관한 사항과 분리 수거를 촉진하는 소비자 안내 문구를 의무적으로 표시해야 한다.

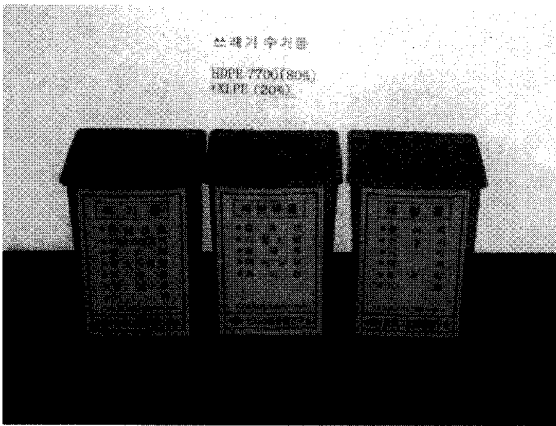
자동차, 냉장고, TV, 세탁기 제조·수입기업도 제품의 재활용이 쉽도록 구조와 재질 등의 개선 사항을 설계 단계부터 반영해야 한다.

상공자원부와 환경처는 93년 12월 폐기물을 줄이고 자원재활용을 촉진

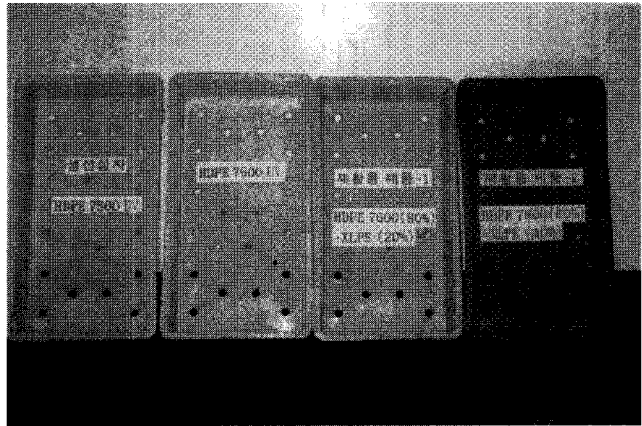
키 위해 이같은 내용을 골자로 한 자원재활용 지침을 통합 고시, 시행에 들어갔다. 상공부와 환경처는 이를 통해 플라스틱 제품 제조업을 재활용 지정사업자로 정해 이들 업종중 일정 규모 이상 생산하는 업체는 폐자원을 일정 비율 이상 재사용하도록 단계별 이용 목표율을 제시하고, 각 해당사업자는 폐자원 재활용에 관한 5개년 계획 및 연차별 시행계획과 전년도 이행 실적을 매년 제출토록 의무화시켰다. 합

[그림 3] 후지리사이클 폐플라스틱 유휴장치의 처리 과정





가교 PE를 재활용한 쓰레기 수거통



가교 PE를 재활용한 생선 상자

성수지 용기도 식별이 가능하도록 재질표시 및 분리수거, 안내문구 표시 등 재질별 분류를 통해 유도할 방침이며, 회수 촉진을 위한 표시제를 의무화 하기로 했다. 또한 포장용기에 대한 사용억제 대책으로 포장재 사용형태를 고려 제품의 종류를 세분화, 다양화하는 방법으로 포장용기의 재사용률을 현재 5%에서 94년~2000년까지 점차 20%로 상향 조정할 방침이다. 97년에는 폐플라스틱 예상 발생량 300만톤의 20%인 60만톤을 목표로 하고 있으며, 생활계 플라스틱에 대해서는 용기류를 중심으로 재생기업에게 공급하고, 농업 폐비닐은 자원

재생공사를 통해 직접 수집 재생처리할 계획이다

6. 결론

폐플라스틱의 재활용은 자원의 재이용과 환경문제 해결이라는 두 가지의 효과를 줄 수 있고, 특히 우리나라와 같이 좁은 국토 면적으로 인하여 매립이 어려운 경우 매우 바람직한 방법이라고 할 수 있다. 최근 국내의 유회업체가 환경보호와 수익성 제고를 위해 폐기물을 재활용하는데 적극 나서고 있는 현상은 매우 고무적이라 할 수 있다. 이러한 움직임은 GR(Green

Round) 등 환경문제가 국내 경제의 심각한 쟁점으로 대두되고 있는 시점에서 국제 경쟁력을 향상시키고 국내 유회업체를 발전시켜 나가기 위해서는 지속적으로 전개 되어야할 것이다.

그러나 현재 국내의 폐플라스틱 재활용은 아직은 시작 단계이므로 앞으로 이 분야에 대한 연구 개발이 절실할 것으로 사료 된다.

[참고 문헌]

- 김정호 : 화학공업과 기술 12권 1호 (1994)
- 화학저널 : 1994. 1.3/10\$
- 플라스틱 성형기술 : 1994. May
- 석유화학 '93. 8월호
- 일경 비즈니스 93
- 화학공업과 기술, 제 11권 제 4호 (1993)

[표7] 중점관리 대상 사업자 및 재활용 가능 자원별 이용 목표율

구 분	종이제조업	유리용기제조업	제철 및 제강업	플라스틱제조업		
중점관리대상사업자	연간 1만톤 이상 생산자	연간 2만톤 이상 생산자	연간 10만톤 이상 생산자	연간 1천톤 이상 생산자		
재활용 가능 자원	폐지	폐유리	폐철캔	폐플라스틱		
				폐PET	기타	
이용 목표율	'95년 까지	47%	42%	20%	10%	5%
	'96년 까지	50%	47%	30%	20%	10%
	'95년 까지	55%	52%	40%	50%	20%
사업자 단체	한국제지공업연합회	한국유리공업협동조합	한국철강협회	한국플라스틱공업협동조합		