

플라스틱 재활용 기술 동향

Recycle of Plastic

(사)한국플라스틱재활용협회

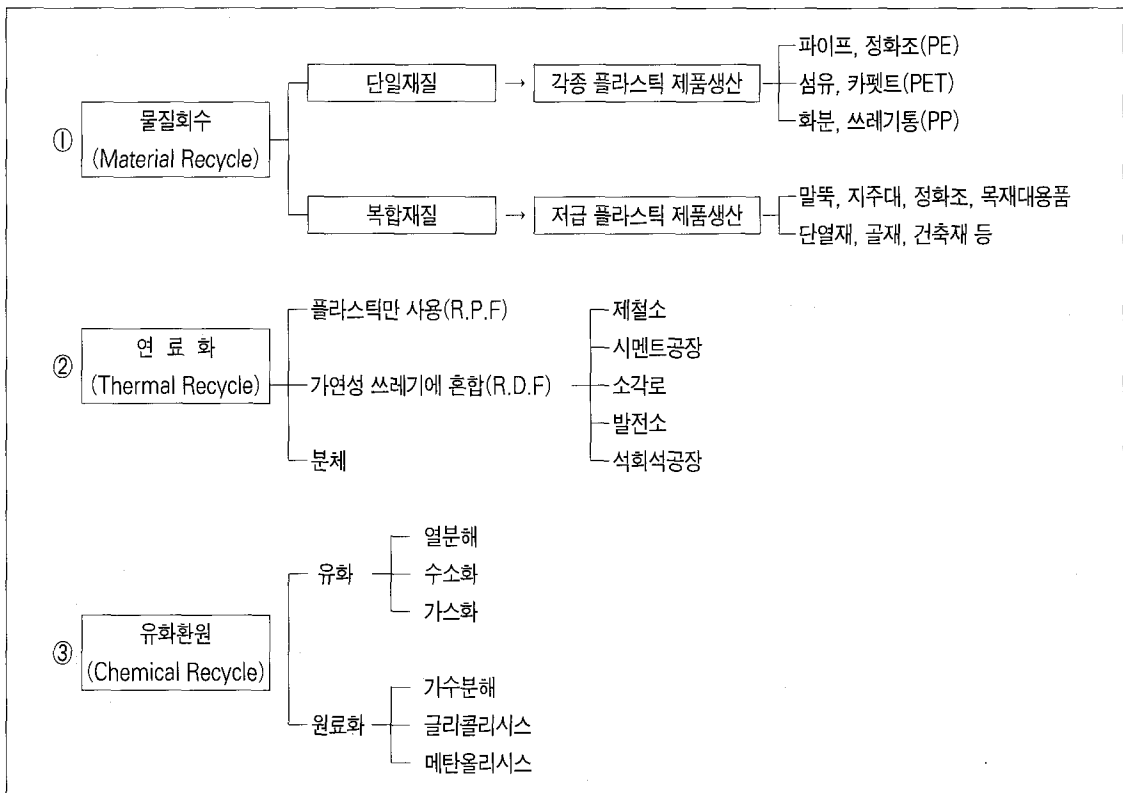
폐플라스틱의 재활용 기술은 일반적으로 ① 물질회수(Material Recycle) ② 연료화(Thermal Recycle) ③ 유화환원(Cheical Recycle) 등이 있다.

폐플라스틱의 재활용방법은 최초 단계에서 재질의 단일화 여부, 이물질 혼입의 정도 등이 매

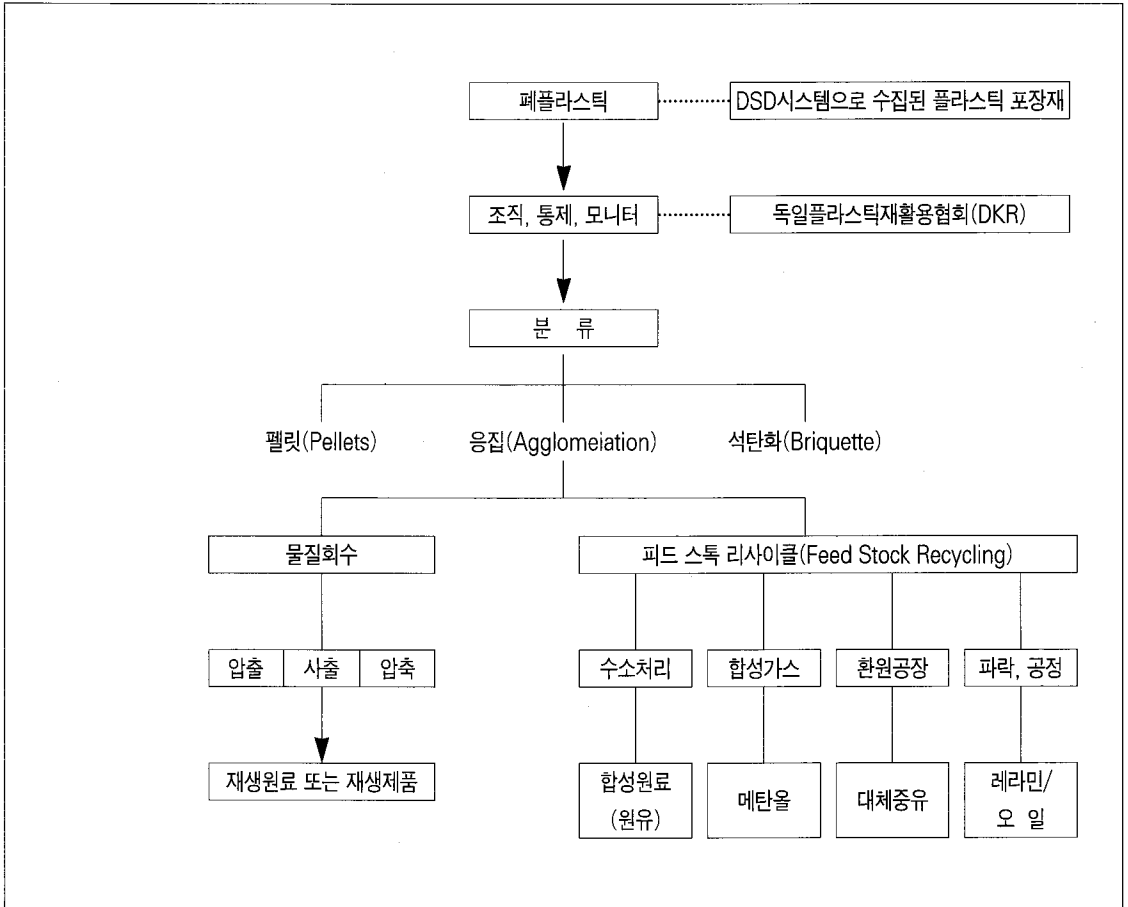
우 중요시되며 산업계 플라스틱과 일반생활계 폐플라스틱의 성장에 따라 재활용의 방법이 선택된다. 플라스틱은 여러 가지 방법으로 재활용 되는데 요약하면 [표1]과 같다.

폐플라스틱의 재활용 기술이 가장 앞선 독일의 경우 일본과 약간의 차이가 있지만 물질회수에

[표1] 플라스틱 리사이클 방법



[표2] 독일의 페플라스틱 리사이클 방법



대한 한계를 인식하고 연료화 방법으로서의 전환을 강력하게 시도하고 있다.

1. 물질회수(Material Recycle)

산업계에서 발생된 페플라스틱은 단일재질이며 상태가 양호하여 별다른 문지가 없으나 생활에서 발생되는 페플라스틱은 종류가 매우 다양하고 이물질이 혼입되어 있어 재활용의 코스트가 높고 생산 수율이 떨어져 재활용율이 극히 저조한 형편이다.

생활에서 발생되는 페플라스틱을 재생원료로 사용하기 위해서는 [표3]에서 보는 바와 같이 재질선별과 이물질제거 공정이 필요하고 최저의 비용을 들여 최고로 좋은 질의 물질을 회수하는 것이 목표이다.

독일 등 선진국에서는 가능한 한 순수 물질에 가깝도록 많은 기술이 개발되고 있다. 그리고 재생원료로 사용하기 위해서는 필름류와 용기류를 별도로 분리하여 각각 다른 공정으로 재활용하고 있다.

용기류를 중심으로 최근 개발된 공정별 기술들을 알아본다.

1-1. 분류

필름이나 용기, 컵 등 여러 가지 성형물은 성상이 달라 1차 분류작업이 필요하다. 필름이나 컵은 별도로 압축되어 다른 방법으로 재활용되기 때문에 수선별 작업으로 분류하였으나 최근 들어 다양한 기계적 분류가 개발되어 인건비를 줄이고 경제적 가치를 높이고 있다.

전처리 공정 중 재질분류 기술은 매우 중요하며 선진국에서는 여러 가지 신기술이 개발되고 있으나 연구과정과 파이롯트 기술들이 많아 아직까지는 인력에 의한 선별이 대부분의 공장에서 적용되고 있는 실정이다.

- 비중분리 - 플라스틱의 비중은 일반적으로 PP가 0.90, LDPE 0.92, HDPE 0.94~0.96, PS 1.05~1.06, ABS 1.03~, PVC 1.22~1.38, PUR 0.18이다. 이러한 비중의 격차를 이용하기 위해 비중매체로 비중 1인 물을 사용하여 분리한다.

비중이 1인 물을 이용하여 비중이 1보다 크거나 1보다 작은 것을 선별한 후 무거운 성분은 물+염소를 혼합하여 비중 1.2정도의 중액으로 PS와 PVC를 분리하고 비중이 1보다 가벼운 성분은 물+알코올을 혼합한 비중 0.93인 경액(輕液)으로 LDPE와 PP를 떠오르게 하고 HDPE를 가라앉게 한다. PP와 LDPE는 물+알코올을 혼합한 비중 0.91의 매체로 분리한다.

- 풍력분리 - 풍력을 이용하여 미국의 Argonne National Laboratory에서 폐차의 스테이트 조각편 중 발포 폴리우레탄을 선별하기 위해 사용한다.

- 정전분리 - 각종 플라스틱의 마찰 정전기 차이를 이용하여 감식 분리하는 방법이다.

- 용제성을 이용한 분리 - 유기용제에 대한 각

종 플라스틱 용제성의 차이를 이용하여 분리하는 방법이다.

- 녹는 상태에 따른 분리 - 벨트 위에 얹혀진 플라스틱을 곳곳에 설치된 가열체로 가열용융하여 벨트에 부착하는 재질과 부착하지 않는 재질 분류한다.

- 기기분석 분리 - 혼합 플라스틱을 전자 스펙트럼을 이용한 분광분석으로서 X-선, 자외선, 가시광선, 적외선 이용 등이 있다.

1-2. 분쇄

분쇄는 폐플라스틱을 보편적으로 일정한 크기를 유지하는 공정으로 재생원료화 뿐만 아니라 고행연료화, 유화환원 등의 방법에 있어서도 적용된다.

성상에 따라 모양이 큰 플라스틱 제품들은 1차 공정을 거치거나 톨상의 것은 절단 공정을 거쳐 2차 분쇄를 할 수 있으며 필름상의 형태를 분쇄하기 위한 기술은 별도로 개발되고 있다.

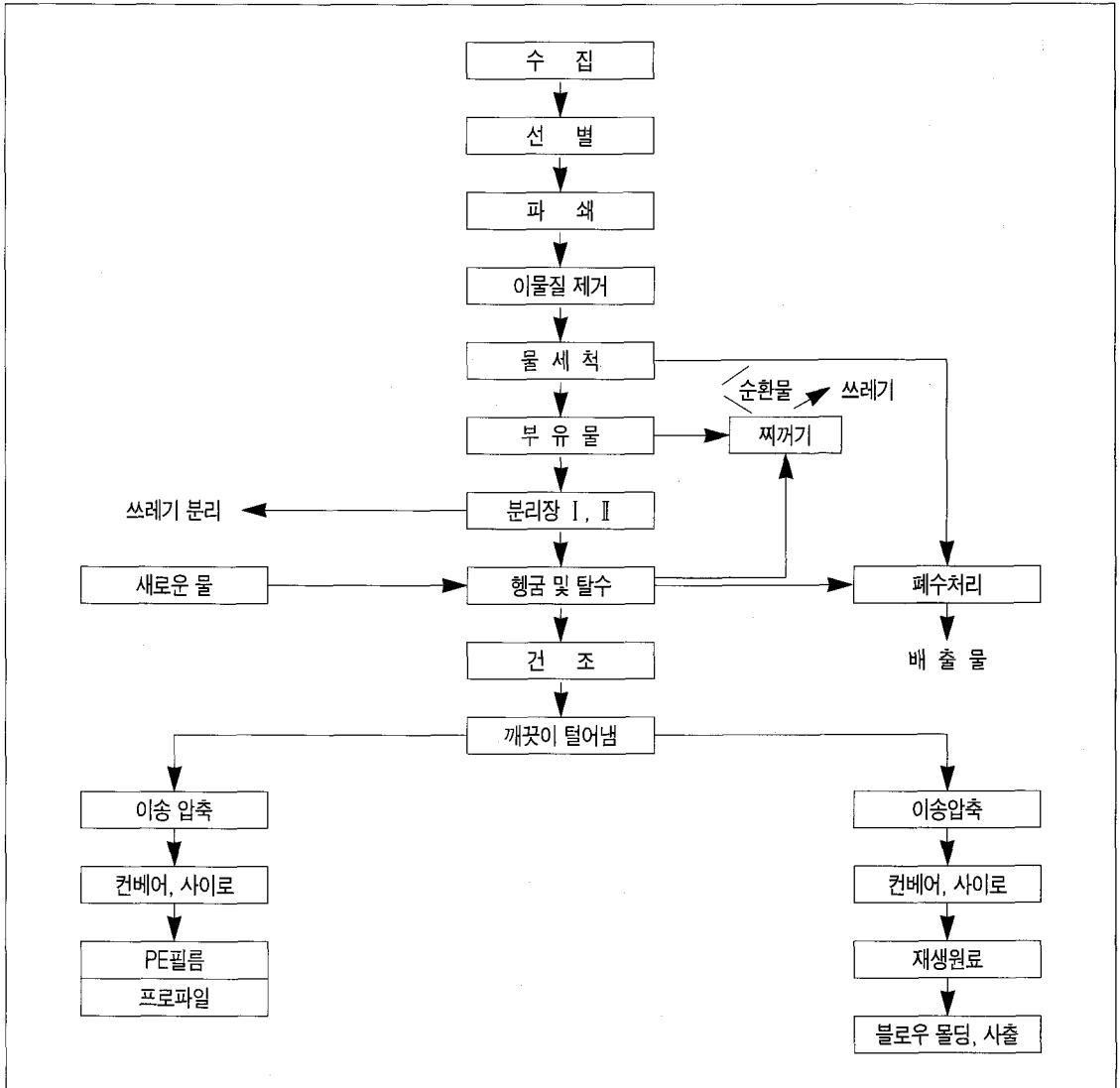
분쇄는 이물질 제거작업이나 재질 선별작업 공정에서 크기나 형태가 중요시되고 있으며 분쇄하면서 라벨이나 금속, 밀착된 금속, 밀착된 이물질 등의 분리작업에도 중요한 역할을 감당한다.

1-3. 세척

분쇄된 폐플라스틱에서 오염물질을 세척하는 단계는 최종 재생재료의 상태를 좌우하게 되기 때문에 매우 중요하다.

일반적으로 물을 분사시키거나 수조에 있는 분쇄품을 운동시키면서 세척하며 일부 세척제를 사용하게 되는데 사용한 물은 다시 정수과정을 거쳐 재사용된다. 습식 세척 이외에도 고속으로 마찰시켜 불순물을 제거하는 건식 세척방법도 있으

[표3] 물질회수 재활용 공정도



나 기름이나 음료 등의 찌꺼기가 완전하게 세정되지 않아 프로파일이나 파렛트 등 목재 대용품 재료 등 재생재료의 용도에 제약을 받는다.

1-4. 분리

갈리면서 조각난 플라스틱 분쇄품 등은 세척 공정을 거치면서 또는 세척 후에 이물질 분리와

재질분리작업이 행하여진다. 원심분리법, 침전이용, 비중격차 등 여러 가지 방법 다중단계를 거쳐 99.5%의 순도를 웃도는 분류가 개발되고 있다.

- 파쇄면 크기에 따라 체를 이용한 방법
- 바닥이 평평한 원심분리기
- 용매재를 이용한 비중격차 이용
- 침전상태 이용



1-5. 건조

세척되고 재질 선별된 조각들은 최후 공정인 성형기에서 아무런 문제없이 사용되기 위해서는 수분이 없어야 한다.

수분이 있을 경우 열온도에 영향을 주며 실린더 안에서의 용융을 저해하므로 성형에 치명적인 영향을 주게 된다.

조각난 폐플라스틱들은 탈수를 하여도 필름의 경우 10~20%, 용기류 1~3%, 두꺼운 것은 1% 정도의 습기를 함유하고 있기 때문에 깨끗한 물로 헹구면서 탈수를 하고 최종적으로 열처리 건조방법으로 습기를 1% 미만대로 유지시킨다.

드럼타입의 드라이 기계 내에서 열풍을 이영하고 건식 세척처럼 거석 마찰을 일으켜 불순물을 다시 한번 제거하면서 건조하는 방법이 택해지고 있다.

1-6. 이송과 저장 등 시설

공정에서 다음 공정으로의 이송은 처리물이 한 공정에 쏠리거나 부적합 없이 일정한 양을 작업할 수 있도록 하며 사이로는 정량이 공급되도록 한다. 선별된 재질별로 별도의 사이로가 필요하며 정수시설 등 공정을 모두 충족시키기 위해서는 현재와 같이 가내공업 형태의 재활용 공장으로는 불가능하다.

자동화에 의한 대량 처리가 가능한 PLANT가 필요한 실정이다.

1-7. 재생가공공정

재질선별과 세척공정을 거친 조각들은 Pellet화하기 위하여 압출기로 투입되는데 최근에 개발된 기계는 마지막 이물질을 자동으로 걸러주는 장치가 설비되어 있다.

생산된 재생 Pellet은 일반 신재원료(Virgin)와 함께 일정한 비율로 혼합 사용되거나 100% 재생 Pellet으로 사출기나 압출기에 의해 제품화된다.

1-7-1. 우리나라의 물질회수

우리나라에서 일반적인 폐플라스틱 재활용 기술은 제품생산공정에서 발생하는 격외품이나 성형불량품, 잉여제품 등 비교적 이물질이 혼합되지 않은 폐플라스틱이 매물로 유통되어 전문재생업체가 재생압출기로 Pellet화 한 것과 생활에서 발생되어 수집된 비료포대, 농업용 필름, 용기일부가 세척과정을 거쳐 재생 Pellet로 생산된다.

재질 선별이 어렵고 비교적 양호한 상태의 PE계 플라스틱은 열로 녹여 일명 떡(떡판에 올려놓은 인절미 떡의 반제품 같은 모양)을 만들어 압축 성형하여 대형 통, 정화조, 배수로 등을 만드는 기술로 대별할 수 있다. 주요 제품 등의 재활용 실태는 다음과 같다.

〈농촌의 폐비닐 재활용〉

한국자원재생공사가 농어촌의 폐비닐을 수집하여 대부분의 PE재질은 매각 처리하고 HDPE 재질은 분쇄 → 세척 → 건조 → Pellet 공정으로 재생원료화 한다.

〈스티로폴 재활용〉

가전제품의 완충재나 어상자, 농산물상자 등 발포 폴리스티렌(EPS)은 지방자치단체가 수집하여 보유하고 있는 감용기로 잉고트화하여 매각한다. 잉고트된 PS수지는 재생사업자가 Pellet화하여 사진액자틀, 건축자재 등을 만드는데 사용한다.

〈PET병 재활용〉

PET병이 예치금 대상품목으로 전환되자 삼양

사 등 PET병 재생업자가 등장하게 되었으며 PET병의 재활용은 Pellet으로 만들지 않고 후레이크 상태로 활용된다.

〈프레스를 이용한 압축성형〉

비교적 상대가 양호한 PE계통의 폐플라스틱은 정화조, 물통, 농약, 통, 다라이, 농수로, 지주목, 제설함, 경계목 등 다양한 제품으로 생산된다.

1-7-2. 일본의 물질회수

일본의 폐플라스틱처리촉진협회가 발표한 내용을 보면 1997년도 일본의 총 폐플라스틱 배출량 949만톤 중 12%인 113만톤이 물질적으로 재활용되었다고 한다. 113만톤 중 재생재료로 만들어진 것이 92만톤이며 재생제품으로 21만톤, 해외수출이 18만톤으로 되어 있다.

재생량 113만톤의 배출내역을 보면 생산가공과정의 산업폐기물이 81만톤(71.7%), 사용 후의 폐기물이 32만톤(20.3%)이다. 산업계 폐플라스틱 81만톤은 수지제조업체의 것이 27만톤, 가공제조업체의 것이 56만톤, 계 83만톤 중 97.6%가 재활용 된 것이다.

한편 사용 회수되어 재활용된 32만톤의 배출원은 일반생활계 폐플라스틱이 5만톤과 산업 폐기물계 플라스틱이 27만톤이다. 이는 일반 폐기물계 폐플라스틱 발생량 478만톤중 약 1%인 5만톤이 물질회수 재활용된 것이며 산업 폐기물계 전량 471만톤(생산공정의 83만톤) 중 약 7%인 것이다.

즉 생산가공 중 발생한 폐플라스틱과 사용 후 수집된 산업계 폐플라스틱의 총발생량 471만톤 중 108만톤인 23%가 물질 회수식으로 재활용되었다.

재활용되는 폐플라스틱의 종류는 ① 상자류 ② 발포 폴리스티렌 트레이(PSP), 생선상자, 곤포재(EPS) ③ 농업용 비닐(PVC 필름) ④ 포장필름 ⑤ 전선피복 ⑥ PET병 ⑦ 자동차부품(배터리 케이스) 등이다.

1-7-3. 서유럽의 물질회수

독일 등 유럽에서는 일반시민의 높은 환경의식으로 말미암아 일찍부터 물질 재활용 기술이 발달되었다.

1991년 포장폐기물법령이 독일에서 시행되고 DSD사의 회수, 재활용 인프라가 구축되면서 물질적 재활용이 크게 발전되었다.

DSD가 회수한 폐플라스틱을 초창기에는 국외로 수출하고 DSD 자체도 경영난을 겪었으나 최근들어 제철소의 고로에서 환원제로 이용하거나 열분해, 유화, 가스화 등의 피드 스톱 리사이클 방법이 채택되면서 독일 국내에서 경제적으로 리사이클하게 된 것이다. DSD의 보고에 따르면 회수된 폐플라스틱의 양은 1995년도에 50만4천톤, 1996년에 53만5천톤이며 이중 물질 재활용은 1995년도에 40만5천톤(80%), 96년대 28만4천톤(53%), 97년도에 24만7천톤(42%)에 이르고 있다.

최근 발표에 따르면 1998년의 경우 총 63만4천톤이 수집되어 이중 27만1천톤인 42.7%가 물질회수 재활용되었다고 한다.

독일에서는 일본과 마찬가지로 혼합 폐플라스틱에 대해 회수, 선별, 오염제거, 재생처리의 기술적, 경제적 과제, 하류단계의 인프라 구축, 용도 개발 등으로 모든 용기 포장 폐플라스틱을 물질회수만 하는 것은 곤란하다는 여론이 형성되어 있다고 본다.

2. 연료화(Thermal Recycle)

플라스틱은 원료가 석유로 되어 있어 발열량이 높기 때문에 연료화(Thermal Recycle)가 가능하다.

소각에 의한 에너지 회수에 대해 종래 구미에서는 저렴한 방법으로 자원을 낭비한다는 인식과 소각으로 유해 배출물 발생이 우려된다는 일반시민의 인식으로 인해 리사이클로 간주하지 않으려는 경향이 있었다.

그러나 최근 플라스틱의 경제적인 리사이클을 위해서는 어느 정도 에너지 회수식 소각방법을 택해야 한다는 의식이 높아지고 있다. 지금까지 소각을 반대했던 사람들은 코스트도 들지 않고 공해도 발생되지 않는 에너지 회수식 소각을 물질적 재활용이나 피드 스톡 리사이클보다 효과적이라고 의식이 바뀌고 있다고 한다.

일본의 경우 1993년 통상성에서 「폐플라스틱 21세기 비전」을 발표하면서 2000년대 초 약 70%를 에너지 회수식 소각으로 정책 목표를 책정한 바 있다.

폐플라스틱 연료화 기술은 일반적으로 2가지 방법이 있다. 한가지는 「직접 연소」이며 또 하나는 「연료화 기술」이다.

2-1. 직접연소기술

폐플라스틱을 직접 연소화하여 발생하는 일을 에너지원으로 공급하는 것을 말하며 폐플라스틱을 일반 폐기물과 함께 열병합 발전소각 시설 등에서 사용하는 것을 포함한다.

특히 젖은 쓰레기가 많은 우리나라의 쓰레기 특성상 발열량이 높은 플라스틱은 소각장에서 조연재 역할을 하며 플라스틱이 없을 경우 별도로 기름을 투입시켜 열을 유지시켜야 한다.

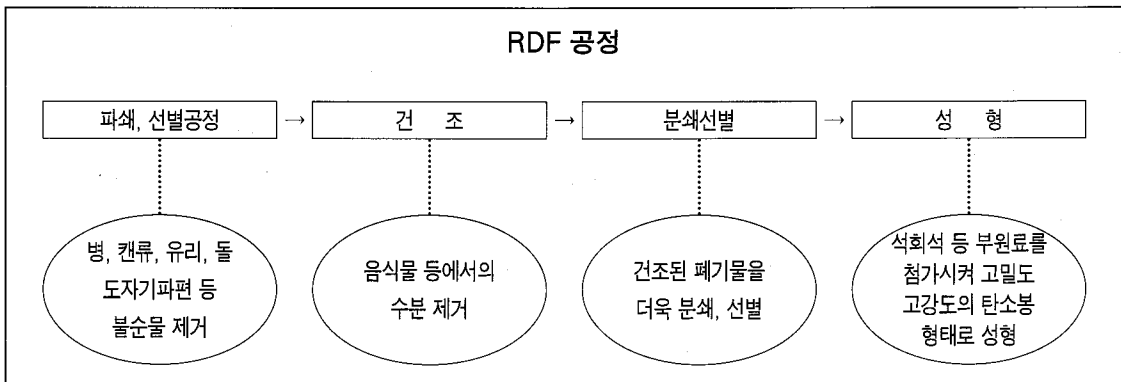
최근 일본의 각 지방자치단체가 운영하는 소각로에서는 오히려 플라스틱을 선호하며 이들은 「연소가스로부터 직접 열회수」, 「온수로서의 열회수」, 「증기로서의 열회수」, 「전기로서의 이용」 등으로 활용된다.

우리나라의 경우 쌍용양회에서 폐플라스틱을 분쇄만하여 석탄과 혼합하는 방법으로 에너지를 회수하고 있으며 앞으로의 기대 또한 크다 하겠다.

2-2. 연료화 기술

(RDF : Refuse Derived Fuel)

최근 연료화(RDF) 기술이 각광을 받고 있고 독일과 일본 등지에서 급속히 확대되고 있다. 연료화 기술은 ① 폐플라스틱을 고품 압축하는 고품연료화 ② 분말체로 연소시키는 분체연료화 ③



열분해하는 가스화로 분류하며 이 모든 것을 RDF라고 한다.

미국의 ASTM(American Society for testing and Materials)에서는 「쓰레기로 만든 연료」라는 고체 RDF, 액체 RDF, 기체 RDF로 나누고 있다.

2-2-1. RDF의 공정

RDF는 쓰레기의 수분 등을 제거시켜 일정한 형태로 가공하여 소각시 일정한 발열량을 유지시키고, 수송성, 운반 코스트, 저장성 등을 유지하는 장점을 가지고 있다. 최근 들어 일본의 각 지방자치단체가 적극 채택하고 있는 기술이다.

플라스틱만을 사용하는 RPF(Refuse Plastic Fuel)는 일반폐기물 1,800kcal/kg에 비해 월등히 높은 발열량(8,000cal/kg)을 가지고 있어 그 기대가 점점 커지고 있는 실정이며 이 또한 RDF의 범주에 포함시킨다.

[표4] RDF의 장단점 비교

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> · 수송 코스트 절감 · 연소 컨트롤 용이 · 열회수가 효율적으로 이루어져 에너지의 효과적 이용 · 각 주체별 장점 <ul style="list-style-type: none"> - 폐기물 발생기업 <ul style="list-style-type: none"> → 매립 때 비해 처리비 저렴 → 안정처리 → 설비투자 없이 폐기물을 재이용 → 불법투기 우려 없음 - RDF 제조자 <ul style="list-style-type: none"> → 중간처리업자로서 처리비용 수입 예상 → 제품을 연료로 안정적 판매 - 유저 <ul style="list-style-type: none"> → 연료비 대폭 삭감 → 가격이 안정적이며 깨끗함 	<ul style="list-style-type: none"> · 폐기물이 원료이기 때문에 발열량이 균일하지 않음 · 큰 저장공간과 연소 설비 필요 · 석탄재의 처리비가 고가임 · 전용 보일러와 연소기가 필요 <ul style="list-style-type: none"> → 보일러 교체비가 고가임

2-2-2. RPF의 용도

폐플라스틱을 이용한 RPF를 사용하는 데는 전용보일러 또는 연소기가 필요하다. 일반적으로 폐플라스틱의 RPF는 고정바닥, 수냉화격자, 스토커, 유동바닥 등을 장비한 보일러가 필요하다.

기존의 톱밥 보일러를 이용할 경우 수냉화격자 스토커가 이용되며 스토커의 경우 발열량이 높고 용융낙하되기 때문에 혼합비율에는 한계가 있다.

유동상인 경우 문제가 없고 또 부하 변동성에 대한 제어성이 좋다. 배출가스 처리로는 매진제거와 HCL 제거가 필요하다. 최근 일본에서는 RPF가 경제성이 있으며 효과가 좋아 보급이 급전되고 있다고 한다.

2-2-3. RDF의 장단점

RDF는 다음과 같은 장단점이 있다.

[표5] ASTM에 의한 RDF 제품 분류

분 류	내 용	종 류
RDF-1	거친 쓰레기를 분리 제거한 통상적인 도시 쓰레기	
RDF-2	6 in ² 통과가 95%인 거친 입자의 RDF로 금속류를 분류한 경우와 분류하지 않은 경우가 있다.	Fluff-RDF (연질쓰레기연료)
RDF-3	2 in ² 통과가 95%인 미세한 입자의 RDF로 금속류와 유리류를 분류한 것	
RDF-4	10-mesh screen 통과가 95%의 분체상 RDF로 금속류와 유리류를 분류한 것	Dust-RDF (미분 쓰레기연료)
RDF-5	펠릿상, 큐브상 또는 브리켓상으로 굳은 RDF	Pellet-RDF (성형쓰레기연료)
RDF-6	액상 RDF	
RDF-7	가스상 RDF	

[표6] RDF의 분석 사례

구 분	일반폐기물 RDF	폐플라스틱 RDF
발열량(kcal/kg)	4900	7700
수분(%)	1	8
회분(%)	12	5
C (%)	45	67
H (%)	7	10
N (%)	1	0.1
O (%)	34	15
S (%)	0.1	0.1
Cl (%)	0.8	3

2-2-4. RDF의 특성

RDF는 [표5]의 ASTM에 의한 RDF 제품분류에서 보는 것과 같이 도시 쓰레기를 막바로 연료로 한 것으로부터 가스상 RDF까지 많은 종류가 있다.

이와 같은 일반폐기물 RDF 및 폐플라스틱 RDF(RPF)에 대해 분석한 결과 [표6]과 같이 나타나고 있으며 RDF의 대표적 성상을 [표7]에 나타냈다.

[표7]에서 알 수 있듯이 RDF는 저 등급에서도

6,500kcal/kg로서 석탄보다 높은 칼로리를 가지고 있어 저 가격으로 고 칼로리의 연료를 회수할 수 있다.

RDF와 RPF의 차이점을 [표8]에 나타냈으며 폴리염화비닐을 제외시켰기 때문에 보일러 부식과 HCl 가스발생 등의 우려가 없다. 또 유황분이 석유와 석탄에 비해 미세하기 때문에 청결한 연료라고 할 수 있다.

플라스틱을 RDF로 이용할 경우에는 일반폐기물과 산업폐기물을 막론하고 염화비닐과 염화비닐리텐 등의 염소계 플라스틱의 혼입을 최대한 피해야 한다. 산업계 플라스틱의 경우 배출원으로부터 분류가 가능하지만 일반계 폐플라스틱의 경우 2~3% 정도의 염소분을 포함하고 있어 HCl이 600~900ppm 정도 발생되기 때문에 HCl 대책이 필요하다.

HCl 대책으로는 RDF를 성형할 때 소석탄(消石炭)을 투입하는 방법과 폐플라스틱을 성형 전에 가열하여 탈염산하는 두가지 방법이 있다. 모두 완전한 제거는 곤란하고 HCl 300ppm 정도 발생된다고 한다.

[표7] RPF의 대표적 성상

저등급 발열량		6,500kcal/kg
형 상	지름	약 40mm
	길이	30~70mm
외관 비중		0.3~0.4
수분		약 0.5%
회분		약 7.0%
염소		0.4% 이하
유황		평균 0.1% 이하

2-2-5. 일본에서의 RDF

미국의 RDF의 주류는 제조공정의 성형 공정이 없고 연질 쓰레기원료라고 할 수 있는 플러프 RDF(Fluff-RDF) 상태인 반면 일본에서는 모두 성형공정으로 고품화하는 방식이다.

RDF의 이용방법으로는 주로 민간기업의 혼소(混燒) 공공시설에서 실시하고 있는 것과 같이 전소(專燒)방법을 택하고 있다.

일본에서는 2000년 4월부터 PET병 이외의 용

기포장용 플라스틱에 대한 재활용이 시작되는데 이들 폐플라스틱은 종류, 형상, 용도가 여러가지이고 오염과 복합재도 있어 물질재활용(MR)은 한계가 있다고 보며 대부분 연료화(TR)나 유화 환원(CR)방법을 모색하고 있다.

이와같은 맥락에서 RDF는 발생자 측에서는 폐플라스틱의 경제적, 효율적 처리방법으로, 수요자 측에서는 경제성이 있는 에너지원으로 자리를 잡아가고 있으며 최근 대규모 RDF발전 이용계획이 추진되고 있어 큰 수요처를 기대하고 있다.

고형화 방법을 채택하고 있는 RDF는 성형을 위한 코스트가 많이 들지만 수송성, 저장성의 향상에 의한 광역이용의 가능성, 연소성 향상에 의한 에너지 효율향상 등 효과가 크다고 보여진다.

RDF는 연소하여 에너지를 취하는 것이 최종목적이기 때문에 일부러 공정을 늘리고 비용을 들여 성형하는 것이 반드시 좋은 방법이라고 할 수 없다.

[표8] RPF와 RDF의 차이점

구분		RPF(Refuse Paper & Plastic Fuel)	RDF(Refuse Derived Fuel)
원료수집		산업폐기업자에 의한 수집배출원 인수조건 제시에 의한 선별수집	자치단체에 의한 수집 불특정 다수 배출원의 분별지도에 한계
원료성상	조성	조성이 특정되어 이물 혼입이 적다. → 사전선별 용이	분별철저에 한계가 있고 불연물, 이물혼입이 있다. → 선별설정이 필요
	수분	배출원에서의 관리로 수분률이 낮다. → 건조설비 불필요	생활계 쓰레기 잔액에 의한 수분률이 높다. → 건조설비가 필요
제품성상	발열량	5,000~8,000kcal/kg(종이 혼합비에 따름)	3,000~4,000kcal/kg
	크기	φ6~20 이물 혼입이 적기 때문에 공기수송이 가능한 소경(小徑)까지 대응 가능	φ15~50 이물 혼입으로 소경(小徑) 크기의 제조는 곤란
연료화 부대시설		집진 장치	집진장치 건조기 배기가스 처리장치 부패방지용 첨가제 장치 연소시 중화용 첨가제 장치



[표9] RFP의 경제성(에너지 회수)

연료종류	단가(엔/kg)	저등급 발열량(kcal/kg)	1,000kcal/kg당 단위(엔)
RPF	6.5	6500	1
석 탄	12	6000	2
석 유	25	10000	2.5

[표10] 페플라스틱 리사이클 제품 이용 사례(페플라스틱 발열량 : 7200kcal/kg)

제 품	사용처와 양	회 수 율	비 고
거 친 메탄올	· 자동차용 : 1100대분 (연료소비량 : 700 l/월·대)	0.9 l/ton 쓰레기	① 발열량 : 3840kcal/hr ② 함수율 : 10%이하
도 시 가 스	· 도시가스 : 17000세대분 (일반가정 연간사용량 : 350Nm ³ /세대)	650Nm ³ 쓰레기	① 발열량 : 11000kcal/hr ② 주요조성(LPG증열후) 메 탄 : 75% 프로판 : 17% 기 타 : 8%
공 업 가 스	· 공업용 고로 : 700만kcal/hr	2000Nm ³ /ton	① 발열량 : 2800kcal/hr ② 주요조성 일산화탄소 : 42% 수 소 : 33% 이산화탄소 : 13% 기 타 : 12%
전 력	· 가스엔진 : 4200kW (발전효율 : 36%) (발전비용효율 : 63%) · 가스터빈 : 6560kW (발전효율 : 29%) (발전비용효율 : 65%)	2340kW · hr/ton 쓰레기 (증열 연료분 제외) 1890kW · hr/ton 쓰레기 (증열 연료분 제외)	연료 : 4050kcal/Nm ³ 로 증열하여 사용 연료 : 6240kcal/Nm ³ 로 증열하여 사용

미국에서 일반적으로 실시하고 있는 것처럼 미분화하여 플러프 상태로 RDF하는 방법이 효과적이라는 시각이 형성되고 있는 실정이다.

3. 유화환원(Chemical Recycle)

유화환원은 열, 촉매 등의 화학적 반응으로 페플라스틱을 재자원화하는 것이다. 유화환원기술로는 ① 열에 의한 분해 ② 촉매와 용매를 이용한

화학분해(해중합)로 분류된다.

사용처로는 ① 연료 이용 ② 화학원료 이용 등이 있으며 독일에서는 피드 스톱 리사이클링을 확대시켜 열분해 유화, 물첨가, 가스화 외에 제철소의 고로에서 환원제로 이용하는 것을 포함한다.

열분해는 ① 400~500℃에서 유화 ② 600~700℃에서의 가스화 ③ 1,300~1,500℃ 부근에서의 부분연소가스화 ④ 수소첨가(물첨가)에 의한 고압에서의 열분해 ⑤ 초임계 용매

[표11] 일본 RDF시스템의 사례

항목	R 방식	J 방식	K 방식		N 방식
원리	원리는 가연 쓰레기를 파쇄, 선별, 건조하여 구멍에 눌러 넣어서 성형한다. 각각의 설비방식에 차이가 있지만 건조기의 배치가 바뀌거나 수분이 적은 대상 쓰레기에서는 건조공정을 생략하는 등의 차이가 있는 정도다.				
대상 쓰레기	주방 쓰레기를 포함한 가연 쓰레기(일반폐기물)	좌동	목분, 종이조각, 페플라스 틱(산업계, 일반폐기물)	페플라스 틱(산업폐기물)	종이조각, 페플라스 틱(산업계, 일반폐기물)
전체 흐름도	파쇄→선별→건조→석탄첨가→성형	파쇄→선별→석회첨가→파쇄반응→반응건조→성형→건조	파쇄→선별→파쇄→성형		종이조각, 페플라스 틱(산업계, 일반폐기물)
파쇄 공정	· 2축 전단 파쇄기 · 고속 전단 파쇄기	· 2축 전단 파쇄기	· 수직형 햄머 파쇄기 · 수평형 햄머 파쇄기	· 2축 전단 파쇄기 · 수평형 햄머 파쇄기	· 고속 전단 파쇄기
선별 공정	· 자력 선별기 · 풍력선별기	· 자력 선별기	· 자력 선별기 · 트롬멜 선별기	· 자력선별기	· 자력 선별기
건조 공정	· 회전 드럼식 건조기(파쇄쓰레기를 건조한다.)	· 수직형 건조기(성형 후에 건조한다.)			
성형 공정	· 石日式 성형기	· 링식 성형기	· 스크류식 성형기	· 스크류식 성형기	· 스크류식 성형기
첨가제	· 성형전에 건조한 파쇄 쓰레기에 석회를 첨가 혼합하여 성형한다.	· 파쇄 쓰레기에 석회를 첨가하여 반응로에서 가열반응 후에 성형한다.			

중에서의 열분해 등으로 나눌 수 있다.

유화처리 프로세스는 전처리 - 용융 - 열분해 - 생성유 회수공정으로 진행되며 일본, 구미 등에서 활발하게 기술이 발전, 활용되고 있다. 원료로의 재활용 기술은 가수분해, 글리콜리시스, 메탄올리시스 등의 방법이 있으며 또는 올리고머 상의 형태를 회수하여 플라스틱 물질을 다시 만들기도 한다.

3-1. 독일에서의 Chemical Recycle

1996년을 기점으로 독일에서는 [표12]에서 나타난 것처럼 5기의 대형 피드 스톡 리사이클 장치를 가동하고 있다. 1997년에 피드 스톡 리사이클도 물질회수(Material Recycle) 범주에 포함시켰으며 제철업에서 고로환원으로 이용하는 것도

피드 스톡 리사이클로 보고 유화환원 범주에 넣고 있다.

3-2. 일본에서의 Chemical Recycle

일본에서 열분해 유화 실용화 사례는 후지리사이클 프로세서가 유명하다. 공업기술원, 신기술개발사업단과 공동으로 PE, PP, PS를 주재료로 하는 페플라스 틱을 원료로 열분해와 촉매분해를 결합하여 가솔린, 경유, 등유의 혼합물의 생성율을 얻고 있다.

촉매로는 합성제오라이트(ZMS-5), 분해온도는 열분해조 390℃, 접촉 분해조 310℃, 압력은 상압, 회수율 80~90%이다.

현재 兵庫현의 相生市와 埼玉현의 桶川市 2개 지구에서 열분해 유화설비 위탁운전을 하고 있다.



(표12) 독일 DSD사 플라스틱 포장재의 피드 스톡 리사이클 (단위 : 만톤/년)

구 분	재활용량
Stahliwerke Bremen(고로취입)	약 8
Rheinbraun AG(회수가스화 장치)	약 1
Schwarze Pumpe AG(가스화)	약 7.3
Kohleol Anlage Botrpp(수소첨가)	약 6
BASF(일본해)	약 1.5
합 계	약 21.8

相生市の 열분해 유화시설은 산업폐기물계 처리능력이 5,000톤/년으로, 일반계 폐플라스틱을 대상으로 17% 이하의 PVC 함유와 소량의 PET가 포함된 것이다.

가스화 기술은 가와사끼중공업에서 도시 쓰레기 속의 혼합 폐플라스틱을 가스화하여 가스연료

로 사용하거나 메탄올을 합성하여 연료와 공업원료로 이용하는 것을 연구하고 있다.

이것은 통산성 공업기술원의 보조금을 얻어 관서전력, 중국전력, 광도시와 공동으로 추진하는 것이며 히로시마에 2톤/일의 파일롯 플랜트를 가동하고 있다(표 13 참조).

3-3. 제철 고로환원제로 이용

폐플라스틱을 제철소의 고로환원제로 이용하는 검토가 늘고 있다. 일본의 NKK에서는 염화비닐환경대책협의회, 플라스틱처리촉진협회와 공동으로 PVC수지를 분별하는 탈 염화처리를 95% 이상 달성하여 여러가지 염화비닐 제품도 함께 사용하는 것을 실증하고 있다. [6]

(표13) 일본의 유화 기술 개발 사례

열 분 해	· 후지리싸이클	· 공업기술원, 신기술 개발사업단과 PP, PE, PS를 주제로 열분해, 촉매분해도 → 휘발유, 경유, 등유 생산	촉매 : 합성제오라이트 열온도 : 열분해조 → 390℃ 접촉분해조 → 310℃ 회수율 : 80~90% 相生市 : 5,000톤/년 열온도 : 40℃
	· 東芝	· 열분해 파일롯 플랜트 PVC 포함하되 탈염화 장치로 300℃에서 탈염화 처리 → 유화 가스화	실증 운전중
	· 플라스틱처리촉진협회	· 1995년 통상성의 원조를 받아 「차세대 폐플라스틱의 약화기술 개발」	
가 스 화	가와사끼중공업	· 통산성 공업기술원의 보조금을 얻어 도시속의 혼합 폐플라스틱을 가스로 사용하거나 메탄을 합성하여 공업연료로 개발	'93 히로시마 2톤/밀 파일롯 설치
제 철 고 로	NHK제철소	· 1996년 10월부터 가동 · PVC를 제외한 산업계 플라스틱 사용 · 현재 PVC를 8~10% 함유한 일반 폐플라스틱 사용 연구	1,000톤/년 실증설비