

재생플라스틱의 고기능화 기술 및 특성개선 방안

김정호 / 수원대학교 교수

1. 서론

폐플라스틱의 재활용 방법은 그대로 다시 플라스틱 원료 펠렛, 또는 재생 제품으로 만들어지는 재료 재활용, 분해하여 플라스틱 증합 원료로 노머 또는 연료유로 만드는 화학적 재활용, 또는 소각하여 그 열을 이용하여 발전을 하거나 또는 난방용으로 쓰는 열적 재활용의 3가지로 나눌 수 있다.

이러한 세 가지 재활용 방법의 위치를 플라스틱이 석유로부터의 생산 및 소비 단계까지와 합

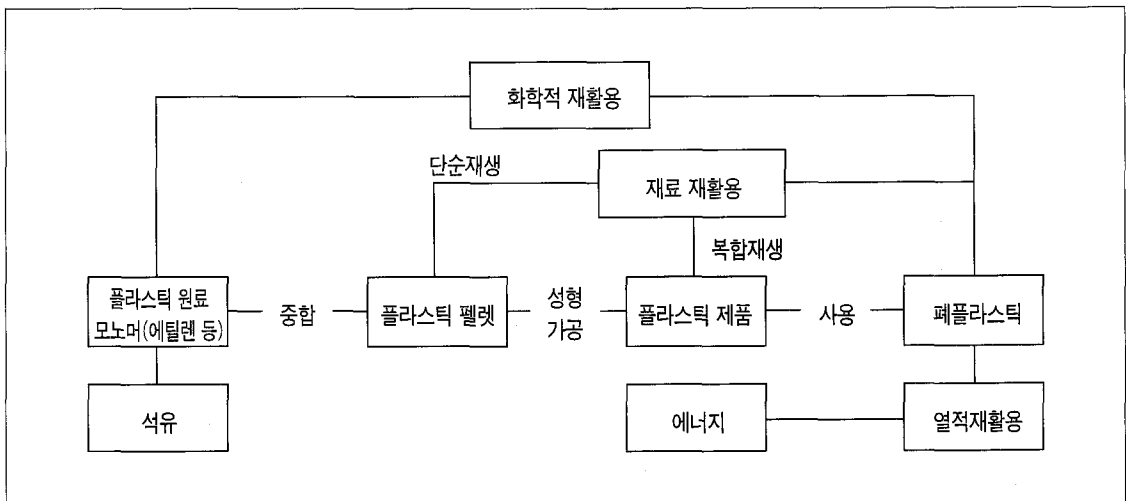
계 살펴보면 다음 [그림 1]과 같으며 세가지 재활용 방법을 좀 더 살펴보면 다음과 같다.

○ 재료 재활용(Material Recycle)

재료 재활용은 폐플라스틱을 처리하여 다시 플라스틱 재료로 이용하는 것으로 플라스틱원료 펠렛으로 재생하는 단순재생과 성형 가공공정을 거쳐 직접 최종 재생제품을 생산하는 복합재생의 두 가지가 있다. 재료 재활용은 가장 좋은 재활용 방법이지만 어려운 문제도 있다.

즉 소량의 폐플라스틱을 수집하여 안정된 재생원료를 확보하여야 하며 종류가 다른 폐플라

[그림 1] 폐플라스틱의 재활용 방법



【표 1】 재생가공제품의 용도

용도		종류
토목 건설용 자재	구획정리용	측량받침, 경계받침, 지하배설관, 표식받침, 토목받침
	도로건설, 유지용	접수모임, 측량받침, 거리표식, 법면경사보호받침, 토지받침, 판 종자토납봉지조임 받침, 콘크리트 경자받침, 노견주의 표시, 시선유도 표식, 도로매트, 가로수 지주
	주택건설용	통풍판넬, 맨홀뚜껑, 토대용 기초맞킹, 벽재, 지붕하지재, 후물시트, 계단매트
	공원 녹지용	접수모임, 계단용자재, 벤치팬스, 유의 시설, 워터매트, 방사판, 표식받침, 골프장 OB받침, 로드매트, 경계받침
	댐, 공항, 토지개량용	경계받침, 갈수선 표식, 측량받침, 배수 파이프, 간수 파이프, 토지개량, 지구표시받침, 소음대책, 지구 표시 받침
	지적조사용 자재	국토조사단 점받침, 필계기준받침, 측량받침, 버림받침, 가받침
농림 수산용 자재	임야목적용	영림표시받침, 경계받침, 경계표식, 안내표식, 목장전철책, 축사용자재
	하우스과수원용	하우스용 멈침받침, 지주, 이류차용 바케트, 가집, 분재선반, 분재 회전대
	농지용	니자흙, 토지판, 받침, 육묘상자
	어업용	어초, 낚지 항아리, 어조 양식용 받침, 양식용 모이상자
전력, 전선용 자재	지하배설 및 일반배관용	케이블 보호관, 매설관용 받침목, 매설관 표식, 케이블용 드라이 후름 관리설가대, 연선로라, 빙초판 철탑 반호 선반, 전주 번호판, 순시로 가설용 자재, 전주용 매설 위치 표시 받침
	전주 철탑용	전주용 매설위치 표시 받침
	계기용	계기취부판, 보안기관, 방지판넬 및 그 부재, 용의용 분전상자, 단열판넬
가스, 수도용자재	지하매설 및 지상 배관용	인입위치 표식, 매설위치표식(백색 맨홀뚜껑)
	계기용	메타박스, 계기걸기 위치표식, 양수기, 크린룸 판넬
	프로판 본배용	본배치대, 운반차 하대보호판, 충전용 상원충판
철도용 자재	케도 표식용	거리표, 고배표, 곡선표, 정지표식, 복표, 경계표, 차량 접촉한계표, 제설차경계표
	도로건널목용	건널목용 놀림목, 건널목판 취부부재, 건널목진입 금지판
	운반차량용	
	트럭용	하대취부 스페이서(사시 완충재), 차멈출판, 경전기미운, 하대 보호판
	선박용	방파재
	포장자재용	
	운반용	파렛트, 컨테이너, 도구상자
	창고용	선반나사, 강재용 버팀목
완충용	타이어, 타이어 보호받침, 강관용 보호재	

스티크이 혼합될 경우 물성저하의 위험이 있어서 단일 페플라스틱으로의 분리가 필요하다.

또한 반복되는 열화에 의한 품질 저하의 가능성도 있고 재활플라스틱에 대한 용도가 개발되어 적정한 수요가 확보되어야 하는 등 페플라스틱의 발생부터 최종제품의 시장까지 전체적인

시스템의 개발이 필요하다. 그러나 상기 문제들은 연구 및 개발에 의해 많은 진전을 보여 현재 상용화되어 있는 공정도 많이 있는 상황이다.

○ 화학적 재활용(Chemical Recycle)

페플라스틱을 열분해하여 연료유나 가스로 회수하여 애용하거나, 열분해 또는 화학분해에 의

[그림 2] 플라스틱의 재질별 재활용 분류표시

						
PETE	HDPE	V	LDPE	PP	PS	Other
재활용가능	재활용가능	재활용불가능	재활용가능	재활용가능	재활용가능	재활용불가능
음료수병 (콜라, 사이다, 주스 등)	물통, 샴프, 세제류용기, 백색막걸리 등	대부분 공업용으로 가정용 배출품 거의없음	우유병, 막걸리병	상자류 (맥주, 콜라, 소주 등) 쓰레받기, 물바가지	요구르트병 시약병	대용량물통, 계입기

해 생성되는 모노머(Monomer)를 이용하는 것을 화학적 재활용이라 한다. 열분해시 많은 에너지 소모가 필요하며 부가가치가 크지 않아서 경제성에 어려움이 있으나 몇몇 분야에서는 기술적으로 진전이 있어서 앞으로 폐플라스틱 처리의 한가지 좋은 방법으로 기대되고 있다.

○ 열적 재활용(Thermal Recycle)

열적 재활용이란 폐플라스틱을 소각하여 그 열을 발전이나 난방 등으로 이용하거나 또는 폐플라스틱을 고형, 연료화하여 연료로서 이용하는 것을 말한다. 현재 소각로의 손상이나 유해가스 발생 등의 문제는 많이 해결되었으나 재료 또는 화학적 재활용이 불가능한 경우에 이용하는 것이 바람직한 것으로 보인다. 또한 최근에는 제철소의 고로 환원제로서 폐플라스틱을 사용하는 기술도 큰 진전을 보이고 있다.

이의 세가지 방법은 각각의 장단점을 가지고 있으나 자원의 재이용이나 환경적인 측면 등에서 보면 재료 활용이 가장 바람직한 기술이라고 할 수 있겠다. 폐플라스틱을 이용하여 제조할 수 있는 제품의 예는 [표 1]과 같은데 국내의 경우

는 목재대용합판, 배수로, 수도미터기 보호통, 소모보호하초대, 용기, 전선관 파이프, 정화조, 재생원료, 제설함, 조경블럭, 주름하수관, 지주대, 퇴비화용기 등의 생산제품이 대부분이다.

이처럼 일반 소비자들이 사용하는 제품보다는 각종 토목, 건축 공사에서 쓰이는 제품이 많다. 플라스틱 제품들은 대부분 그 밑면 등에 [그림 2]와 같은 분류표에 의해 플라스틱의 종류를 나타내고 있다. 그러나 대부분의 경우 수시 혼합된 채로 수집되어 중간집하장 또는 민간수집상에서 종류별로 분류되는데 이 때에도 [그림 2]와 같은 번호대로 분류되는게 아니고 보통은 [표 2]와 같이 물렁물렁한 것, 딱딱한 것, PET 병, 요구르트병 정도로만 분류되고 있다.

폐플라스틱은 수거 후 먼저 금속 등 이물질이 제거되어야 하고 플라스틱 자체로도 여러가지 종류의 플라스틱이 혼합된 경우보다는 단일 종류일때 가장 효율적으로 재활용될 수 있으므로 종류별 선별과정을 거쳐야 한다. 물론 세척, 파쇄과정도 중요한 공정이 된다. 이후의 용융압출 또는 성형공정은 원칙적으로는 신재의 가공 공

[표 2] 플라스틱의 재질별 재활용 분류표시

재질명	분류번호	제품의 특성	주요품목
페트병류 (투명)	1	단단하고 타성이 있으며, 부서지지 않고 흠집이 나지 않으며 투명하여 내용물이 잘 보임	생수병, 음료수병 (콜라, 사이다, 주스), 간장병 등
물냉이류 (반투명)	2 4	단단하고 둔한 소리가 나며, 복원력이 있음	물통, 삼푸통, 세제류 용기, 우유통 등
딱딱이류 (백색, 착색)	5	단단하나 복원력이 적어 깨지기 쉽고 딱딱함.	바가지, 주방용품, 맥주·콜라상자, 전자제품류, 장난감 등
아쿠르트병류	6	소형용기로 제작되어 많이 사용되며 흠집이 나기 쉽고 가벼운 소리가 남	아쿠르트병

정과 같은 기기를 이용할 수 있다.

그러나 신재의 경우와 다른 점도 있는데 첫째는 분리후에 이물질이 아직 남아 있는 경우가 있을 수 있고 또는 수분이 신재의 경우보다 많은 경우도 있다. 이 외에 가공기기로 투입되는 폐플라스틱의 형태가 일정하지 않거나 또는 필름 상태의 때도 있어서 이 경우는 특수한 원료 투입장치가 사용되어야 한다. 두 번째로는 폐플라스틱에 두 가지 이상의 종류가 혼합되어 있는데 이의 종류별 분리가 어려운 경우이다. 이때는 첨가제를 넣어서 물질 저하를 방지해야 한다.

물론 신재 가공시와 마찬가지로 산호방지제 등의 첨가제가 필요한 경우에는 이것도 첨가되어야 함은 물론이다. 따라서 위에서 살펴 본 바와 같이 폐플라스틱의 재활용은 적절한 재활용 기기의 개발 및 재활용시 첨가제 기술의 두가지로 크게 나누어 볼 수 있게 된다.

2. 재활용 단위기술 및 기기

2-1. 파쇄기술

파쇄란, 절단력, 충격력, 압축력에 의해서 폐

기물을 잘게 파쇄한 후 재생가공 처리를 용이하게 하는 것이다.

폐수지 파쇄기는 파쇄형식으로 분류하면 전단식, 충격식, 마찰식으로 나누어 진다. 전단식 파쇄기에는 1축 회전식 전단 파쇄기, 2축 회전식 전단 파쇄기, 수중 파쇄기 등이 있다.

1축 회전식 파쇄기는 파이프, 필름, 시트, 섬유, 발포체의 파쇄에 적합하여 스크린에 의해서 파쇄 입도의 조절을 할 수 있는 것이 특징으로 되어 있다. 그러나, 고속 회전시 회전칼날의 마모가 크다는 것과 미물에 의한 칼날의 손상이 많은 것, 그리고 스크린의 눈이 막히기 쉽고, 소음이 큰 것 등의 결점을 가지고 있다. 2축 회전식 전단파쇄기는 공급된 폐수지가 서로 물린 칼날에 의해서 전달된다. 이 파쇄기의 특징은 저속회전이기에 때문에 소음이 낮고 분진이 적은 것과 폐지를 파고 들어감이 좋은 것, 금속, 작은 돌 따위가 들어가도 칼날 손상이 적은 것 등이다.

파쇄적용물은 필름, 튜브, 중공성형품 따위이며, 블록, 두꺼운 물건에는 적합치 않다.

본 기종은 농업용 폐필름의 재생에 있어서의 분쇄공정에 쓰이고 있으며 Fluff의 제조에 실용

[표 3] 파쇄기의 플라스틱 종류에 따른 적용

구 분		전단식파쇄기	충격식파쇄기	마찰파쇄기	
PE	고밀도	성형품	○	△	○
		필름·시트	○	×	○
		발포제품	○	×	○
	저밀도	성형품	○	×	○
		필름·시트	○	×	○
		발포제품	○	×	○
PP	성형품	○	△	×	
	필름·시트	○	×	△	
PS	일반품	성형품	○	○	△
		필름·시트	○	○	△
		발포제품	○	○	△
	내충격용	성형품	○	△	×
	필름·시트	○	×	△	
PVC	연질	성형품	○	×	○
		필름·시트	○	×	○
		발포제품	○	×	○
	경질	성형품	○	○	△
		필름·시트	○	△	△
아크릴수지	성형품	○	○	×	
공통	블록	×	○	×	
	뚜껑운판	×	○	×	

○ : 파쇄가능 △ : 파쇄가능하나 비능률적임
 × : 파쇄불가능

화 되고 있다. 충격식 파쇄기는 폐수지의 조쇄에 쓰이는 일이 많고 강인한 수지, 이물이 있는 것, 대형물의 파쇄에 적합하다.

충격, 전단 병용식 파쇄기는 수평형과 수직형이 있으며 폐수지에는 수지기형이 흔히 쓰이고 있으며 그 종류는 Swing Hammer식, Ring Grinder식이 있다.

어느 경우이나 소음, 진동, 먼지 방지 설비가 필요하다. 미국의 Nelmor사에서는 Rotaing

Knife Granulator로 1.25 ~ 0.25" 분쇄 후 다시 Sereening을 통하여 3/8" 및 3/16" 등으로 분리하는 기술을 사용하고 있으며 미국의 Wellman사는 Modern Machinery사 기술인 냉동 분쇄 분리 방법으로 PET 이외는 HDPE 및 발포 PS까지도 분리가 가능한 것으로 알려져 있다. 오스트레일리아의 Cryogrind사는 PVC병의 재활용에 냉동 분쇄법을 이용하고 있는 알려져 있다. 각 방식의 분쇄기의 플라스틱의 종류에 따른 적합성은 [표 3]과 같다.

2-2. 선별기술

선별기술에는 혼합한 상태에서 배출된 폐수지에서 다른 이물을 제거하는 기술과 혼합폐수를 품종별로 선별하는 기술로 나눌 수가 있다. 전자는 일반 폐기물의 전처리로서 간주할 수 있다.

(1) 플라스틱 이외의 선별기술

도시 쓰레기로 혼합된 상태에서 배출된 폐수지를 회수할 때에 다른 미물을 분별하는 기술로 다음과 같다.

① 자석선별

자석선별은 강력한 영구자석 또는 전자석을 사용해서 철분을 흡인제거 하는 것이며, 그 형식에는 마그네트를 부착한 벨트콘베이어식 등이 있다.

② 고주파 전파선별

고주파 전파선별은 폐수지 속에 비철금속이 혼합한 경우에 이것을 제거하는 기술이다.

③ 체선별

체선별은 진동체, 회전 원통체 등 종류가 많으며 폐수지에서 미세한 이물의 제거에 사용하는 일이 많다.

④ 풍력선별

풍력선별은 바람이 부는 방향이 수평인 것과 수직상승의 것이 있다.

폐수지와 이물과의 비중차가 크고, 형태, 입자 크기가 균일한 경우가 아니면 선별 정도가 좋지 않다.

⑤ 반습식 선택파쇄선별

반습식 선택파쇄선별장치는 회전식 드럼에 의해 쓰레기를 주방쓰레기, 종이류, 폐수지류로 나누는 것이다.

(2) 폐수지의 품종별 선별기술

폐수지를 품종별로 선별하는 방법은 유동식 풍력선별, 습식 비중 선별, 정전기 선별, 저온 파쇄선별 등의 방법이 있다.

① 유동식 풍력선별

유동식 풍력선별은 진동하고 있는 경사진 Screen에 아래로부터 공기를 넣어 진동시키면서 유동시키면 비중차에 의해 Screen의 양단에 분리되게 하는 것이다.

원료의 입경이나 형상이 균일할 필요가 있지만 성형품의 분쇄품이나 펠릿의 선별에는 유효하며 PE와 경질 PVC와를 분리할 수 있다.

② 습식 비중 선별

습식 비중 선별은 물 또는 비중액을 사용해서 떠오르는 것과 가라앉는 것으로 나누는 방법이다. 비중이 1.0보다 작은 폴리올레핀(PE,PP)과 1.0보다 큰 그 밖의 수지와는 물에 의해서 분별할 수 있다.

그러나 이 방법은 발포한 것이라든지 얇은 필름상태의 것, 또는 안료, 충전제 등을 사용한 것에는 분별이 적절히 행해지지 않는 경우도 있다. 또 폐수 처리라든지 분리물의 건조공정이 필요하게 된다. 수중에서 약품을 첨가하여 비중을 조

정하거나 기포를 선택적으로 송출하여 PE, PP, PS, PVC, 나일론 등을 분리하는 부유 선광 선별도 있다.

③ 정전기 선별

정전기 선별은 수지의 품종에 따라 정전기의 발생이 다른 것, 또는 대전성이 다른 것을 이용한 분리 방법이지만 이것도 입자 형태가 균일해야 할 필요가 있으며 재료 중의 수분이나 공기 중의 습도의 영향이 크다.

전선 피복용 PVC와 PE의 분리, 동과 수지의 분리에 실용화가 되고 있다.

④ 저온 파쇄 선별

저온 파쇄 선별은 -20℃ 정도까지 혼합 수지를 냉각하여 파쇄하면, 수지의 취화온도차에 의해서 각각 수지의 파쇄된 크기가 달라지는 것을 이용하여 체 분별 장치에 의해 분리하는 것이다.

⑤ Hydrocyclone

혼합된 폐수지 중에서 PVC는 가공 중에 HCl을 발생시키며 재생품의 물성에 미치는 영향이 크기 때문에 분리가 필요하다.

최근에는 각 합성수지의 밀도, 습윤성 및 전도도 등이 다르기 때문에 Hydrocyclone 혹은 정전기 선별 방법을 주로 사용하고 있다.

Hydrocyclone기술은 고분자의 밀도차에 의하여 어떤 원통과 같이 디자인 된 기구 속에 공기를 적당 속도로 흘려보내면 무거운 것은 밀로로 가벼운 것은 상부로 날려 나오게 하는 기술로 주로 PET 및 HDPE, PVC 분말 가루를 분리하는데 사용되어지는 기술이다.

⑥ 최근의 분리기술

이 밖에 미국의 National Recovery Te-

chnology사, Center of Plastics Recycling Research, 이탈리아의 Gonovi사 등은 PVC속의 염소(Cl)기가 r-ray에 의해 낮은 수준의 x선을 방출하는 원리를 이용하여 PET병에 부착된 PVC 라벨 및 laminate된 PVDC 등을 3~10개/초 정도의 속도로 분리가 가능한 것으로 알려져 있다.

그리고 PET와 금속의 분리에는 정전기가 이용되는데 잘 건조된 PET 칩의 대전성을 이용하여 도체인 알루미늄과 분리시키는 방법으로 미국의 Corpco, Rrisz사 등이 이 분리 방법을 채택하고 있는 것으로 알려져 있다.

각 합성수지의 생상에 의해서도 분리가 가능한데 이를 컬러 소팅(Color Sorting)이라 일컫어진다.

이 기술을 사용하는 회사로는 캐나다의 Partek, 미국의 Plastic Resinseparation Specialists사 등이 있다고 소개되고 있다.

또한 독일의 Herbold가 개발한 Thermal System은 PET와 PVC의 용융점 차이를 이용하여 컨베이어벨트 위에 혼합물을 놓고 가열실을 통과시켜서 용융되는 PVC는 벨트에 붙고 PET는 떨어지는 원리로 분리를 수행하고 있기도 하다. 또한 용제를 이용한 분리기술도 개발되고 있다.

2-3. 압출기 관련장치

(1) 여과장치

폐플라스틱 압출시 이물을 압출기 선단에 부착한 스크린에 의해 여과제거하는 것은 통상 행해지고 있는데 폐플라스틱의 오염이 심하여 스크린 체인지의 빈도가 많다는 문제가

있다.

Gneuss사(독일)에서는 이 문제를 해결하기 위하여 셀프크리닝형, 연속식 스크린 체인지를 개발했는데 이는 아주 소량의 폴리머를 사용이 끝난 스크린 캐비티내에 흘러 세정방식을 역으로 행해 스크린 세정을 하는 것으로 한번 사용된 스크린을 떼어내 폐기하는 일 없이 약 100회 정도 재사용 할 수 있다고 전해지고 있다. Kreyenborg사(독일)의 스크린 체인지는 상하2개의 스크린캐리어형으로 상하 2개의 스크린이 교대로 셀프퍼지되고 있다.

OMP사(이탈리아)의 세정방식은 역수세에 사용되는 수지의 압력을 보통의 약10배인 100~150kg/cm²로 하여 스크린의 망눈을 강력하게 세척하고 있다.

(2) 폐플라스틱 가공용 압출기

① ART사

미국의 뉴저지주에서 PET병, HDPE 혼합폐플라스틱을 CPRR에서 PS재생품과 혼합한 수 ART사(벨기에)의 ET-1압출기를 이용하여 토목건축재를 제조할 경우 충분한 물성을 유지하고 있다고 보고하고 있다.

PS, PET는 폴리올레핀 베이스 속에 포함되어 강화충전재로 된다.

다음에 용융물은 회전한 12개의 금형 중 하나로 압출된다.

하나의 금형이 충전되고 있는 사이에 다음 금형이 수조 속에서 냉각된다.

스테인레스 강재의 금형내에서 냉각된 상품은 고압 공기에 의해 취출되는 연속 프로세스이다.

② Erema사(오스트리아)

커터컴팩터로 필름, 테이프 등 얇고 뭉친 스크랩을 애벌분쇄한 후 그대로 압출기로 공급되는 기기이다.

산화, 분해도 적고 종래의 조립시스템에 비해 40%의 에너지를 절약할 수 있다.

③ Battenfeld사(독일)

리사이클용으로 특별 설계한 1축 압출기를 개발했다.

2개소에서 탈휘될 수 있도록 흡을 판 바렐을 사용하고 있으며 가공온도를 올리지 않도록 저속 회전으로 운전한다.

④ Berstorif사(독일)

고충진량이 필러나 밀도가 다른 품이 혼합된 폐플라스틱의 조립용으로 중형과 대형의 압출기 조합으로 된 중·형조립 압출기를 개발했다.

이 압출기는 충분한 혼련과 탈휘를 특징으로 한다.

⑤ OMP사(이탈리아)

다이 플레이트에서 압출된 직후에 로터리 나이프에 의해 용융상태로 커트되어 펠릿으로 된 수지를 워터링으로 원심력에 의해 방출하기 때문에 워터링 방식이라고 부르기도 한다.

수직으로 한 것이 OMP사(이탈리아)의 방법이고 수평으로 한 것이 Cumberlandtk(미국)의 방법이다.

(3) 다층블로우·샌드위치성형

재생수지를 충성형시 내층(코어층)으로서 사용하면 물성, 외관의 문제가 해결되므로 다층(블로우, 시트, 필름)샌드위치 성형 가공기술이 폐플라스틱 재활용에 유용하다.

P&G사(미국)에서는 HDPE블로우 성형에

의한 세제용기에 25% HDPE재생품의 사용을 발표했다.

용기로서의 물성을 유지하면서 외층을 얇게, 내층을 두껍게 하는 다이 구조가 기술의 포인트이다. 그리고 다층 블로우 성형기를 구입하려면 많은 투자를 필요로 하지만 Willi Muller사(독일)에서는 기존의 단층 블로우 성형기에 중형 압출기를 추가하므로써 3층 블로우가 되도록 하는 개조방법을 개발했다.

3. 가공 첨가제 기술

3-1. 상용화제

혼합된 폐수지를 종류별로 분리하기 어려울 때 기존 성형기기를 이용하면서 두 종류 이상이 혼합된 폐플라스틱을 가공하기 위해서는 성분간의 접착력을 증진시키기 위한 상용화제가 필요하게 된다.

상용화제가 들어가면 각 성분의 분산성이 좋아지고 이에 따라 물성이 좋아지게 된다.

특히 상용화제의 첨가없이 혼합폐수지를 용융 혼련하게 되면 약간의 가공조건 변화 즉 온도나 rpm 등에 매우 민감하게 모폴로지가 변화되게되어 제품의 물성이 매우 불안정하게 된다. 그러나 상용화제에 의해 계면이 안정화될 경우에는 모폴로지가 안정화되어 물성이 향상되는 동시에 안정되고 약간의 가공조건 변화에는 크게 영향을 받지 않게 되어 제품의 재현성이 좋아지게 된다.

상용화제에는 물리적인 성질만을 이용하는 비반응형 상용화제와 압출시 반응을 수반하게 되는 반응형 상용화제의 2가지가 있다.

비반응형 상용화제는 Random 공중합체, Graft 공중합체, Block 공중합체 등이 가장 많이 사용되고 있으며 여기에 반응성기가 부착되어 반응형 상용화제가 되는 경우가 많다.

반응성기로는 무수말레인산, 에폭시, 타르보닐기 등이 많고 이들 반응성기는 상용화제의 말단 또는 측면에 부착되어 있는 경우가 대부분이다. 이들은 주로 플라스틱의 아미노기, 카르복실기, 하이드록실기 등과 반응하게 된다.

반응형 상용화제는 조물 혼합 페플라스틱에 첨가되어 압출기로 투입되어 압출되는 도중에 반응이 일어나서 물성이 증진되게 된다.

이것을 반응압출이라고 하는데 반응형 상용

[표 4] A-B 형 상용화제

(A)	(B)	상용화제 (A)-(B)
PS	PMMA	PS-PMMA' GP
PS	IDPE	PS-PE GP
PS	PE	PS-PE GP
PS	PE	PS-PE GP
PS	PIP	SI RAM
PS	PA	PS-PA BP
PS	PEA	PS-PEA GP
PS	PE	PS-PF GP
PS	PI	PS-PI BP
PE	PP	EPR RAM
PE	PA	PEO-PA GP
PE	PDMS	PDMS-PMMA GP.BP
PP	PA	PP-PA GP
PP	EPDM	PP-EPDM GP,BP
Ac-cell	PAN	AC-CELL-PAN GP
PMMA	EPDM	PMMA-EPDM GP
PMMA	PF	PMMA-PF GP
PEO	PDMS	PEO-PDMS BP
PVC	LDPE	CPE RAM

[표 5] A-C 형 상용화제

(A)	(B)	상용화제 (A)-(C)
PS-MAA	PC	PS-PBA BP
PP	PA	MAH화PP GP
PP	PET	COOH화PP GP
PP	NBR	MAH화PP GP
PS	PP	SBS
PE	PA	COOH화PE GP
PE	PA	Ionomer COOH화 PE GP
PE	PET	COOH화 PE GP
PE	PVDF	PB-PMMA GP
PVC	LDPE	CPE RAM
PVC	PS	CPE RAM
PVC	BR	화PE RAN
PVC	PP	CPE RAN
LDPE	PVD	EPDM RAM
PS	PE	SB GP SIS S-1-HBD SVS CPE
PS	PA	p(St-MAA) RAM
PS	PA	MAH-St GP
EPR	PA	MAH화 GP
PPE/PS	Sulfone화 EPDM	Sulfone화PS RAM
PS	LDPE	SBS
PS	PVC	PS-PCL BP
PS	PE	PS-EP GP

화제를 사용하는 경우는 비반응형과 비교하여 소량 첨가로도 효과를 볼 수 있고 비반응형으로 상용화가 어려운 경우에도 상용화가 가능한 장점이 있는 반면 부반응 등에 의한 물성 저하의 가능성이 있고 가공 조건의 영향을 많이 받으며 비반응형보다 가격이 높은 단점을 가지고 있다. [표 4]에서 [표 6]에 형태에 따른 상용화제를 나타내었다.

[표 6] C-D 형 상용화제

(A)	(B)	상용화제 (C)-(D)	
PMMA	PP	SEBS	
PVC	LDPE	수용성 PB-PCL	
PVC	BR	EVA RAM	
PPE	PVDF	PS-PMMA BP	
PPE	SAN	PS-PMMA BP	
PET	HDPE	SEBS	
PET	PE	수용성 SIS	SEBS
PA	PC	p(MAH-)RAM	
PA	PPE	p(St-MAH)	p(St-MI)RAM
(A)	(B)	상용화제 (E)	
PP	LDPE	EPDM RAM	
PP	PE EPDM	RAM	
PS	PE	SEBS	
PO	PP	SEBS	
PS	LDPE	수SB RAM	
PS	HDPE	SEBS	
ES	PE	수용성 SB RAN	
PS	PVC	염소화 SB RAM	
PS	EPDM	SEBS	
PS	PPE	SEBS	
PP	PA	MAH화EPR RAM	
PA	ABS	p(St-AA)	p(St-AA-Mah)RAM
PA	ABS	p(St-AA-Mah)RAM	
PA	OH화	p(St-AA-Mah)RAM	
AS	SBR	PR-PMMA BP	
PC	ABS	p(St-MMA-Mah)RAM	
PA	PE	I onomer	
PA	PP	I onomer	

현재 많은 회사에서 상용화제가 연구 개발되고 있고 일부는 상업 생산되고 있는데 [표 7]에 현재 시판 중인 상용화제를 나타내었다.

이 표에 있는 상용화제들은 Bennet사의 상용

화제를 제외하고는 모두가 Virgin 수지용으로 개발된 상용화제로서 거의 모두 2종류의 수지를 혼합할 때 유용한 제품들이다. 물론 이들은 폐수지에도 사용 가능하나 제품가격이 고가인 점이 폐수지용으로의 사용을 제한하고 있다.

3-2. 기타 첨가제

폐플라스틱 가공 중 앞에서 설명한 상용화제 이외에 일반적인 산화방지제 등 가공조제들의 필요에 따라 첨가되어야 함은 물론이다.

이러한 일반적인 가공조제 이외에 폐플라스틱 가공시 필요한 첨가제는 재생제품의 최종 용도에 따라 결정되게 된다. 예를 들어 목재 대응품으로 하기 위해서는 발포제가 일부 첨가되면 비중 등을 맞추기가 용이해진다. 또한 경우에 따라서는 Peroxide계통 첨가제가 추가됨으로써 강도 등이 높아질 수 있고 또한 MI에도 도움을 줄 수 있다. 내충격 강도가 낮은 경우도 있으므로 이때는 내충격 보강제의 첨가가 필요하다.

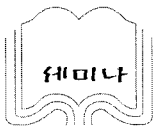
또한 난연성을 요구하는 용도에는 난연제가 들어가야 하고 전자차폐재로 사용하기 위해서도 역시 첨가제가 신재와 마찬가지로 들어간다.

특히 폐플라스틱은 이미 몇 번의 가공을 거친 플라스틱이기 때문에 강도 등이 저하될 가능성이 있으므로 강도 보강이 필요한 경우도 있다.

따라서 높은 강도를 요구하는 경우에는 보강제를 첨가하거나 또는 기계적으로 보강 구조물을 삽입하는 방법도 가능하다. 다음 절에서는 보강제 첨가에 대해 설명하도록 한다.

3-3. 보강제

강도를 높이기 위해 폐수지에 보강제를 혼합



[표 7] 시판중인 상용화제

상 품 명	회사명	조성, 구조	비반응반응형	대 상 수 지
Kraton G	Shell Chemical	SEBS, MAN, 변성	비반응형, 반응형	각종 PO계
타피티쿠	旭化成工業	SEBS, MAN, 변성	비반응형, 반응형	반응형 PO계
DYNARON	日本合成樹脂	SEBS	비반응형	PO계
PARALOID	吳羽化學工業	산변성	비반응형, 반응형	
STAPHYLOID	武田藥品工業		비반응형	
Royaltul372,456	Uuiroyal	EPDM-g-(St.AN),	비반응형	PC, PBT, PET 계
모테티바 A,B	日本油脂	PO 계수지(EGMA,	비반응성	
		MAH 공동합)	비반응형	PO계
레제타	東亞合成化學工業	공중합체	비반응형	PO계
레쿠수파루	日本石油化學	P(E-CO-EA-CO-GMA)	반응형	
보소투-수투보스타이	住友化學工業	P(E-CO-VA-CO-MAH)		
		P(E-CO-EA-CO-MAH)		
Dylark	ARCO Chem.	St. MA공동합체	반응형	PA/PC계
VMX	三菱油化	EVA(67/33)50부	비반응형	
		St50부함침중동합		
유메구스	三洋化成工業	저분자PP의 MAN변성	반응형	PP
신규푸유	구라레	St-MMA, St-MMA,		
		PVA-St		
BENNET	High Tech., Plastice	EVA/EPDM/PO계	반응형	
RPS,RAS	日本化學工業	St, AS/공동합체	반응형	St계 PA, PC, PO
가네수	鎭淵化學工業	P(MMA, CA,St)	비반응형	
UCAR	Union Carbide	반응성	반응형	PC/SMA.PC/ABS
GMA, DE,OH시리즈	茂川化學		반응형	PPO/PA,PA/ABS

시켜서 제품을 생산하고 있는 경우 목재 대용품이 많이 생산되고 있고 보강제로는 벗짚 등의 유기섬유질이나 탄산칼슘 등의 무기물질이 사용되고 있다. 그런데 보강제를 이용한 폐수지의 재생 공정에서도 혼합 폐플라스틱을 그대로 이용한 경우는 매우 드물고 대부분 선별 후 단일 수지를 이용하거나 혼합수지를 사용하더라도 거의 폴리에틸렌 주성분에 기타 수지는 매우 소량을 포함

시키는 정도이다.

이는 보강제가 첨가될 경우에도 연속상인 매트릭스는 결국 폐수지 부분이 되므로 이 부분이 혼합 폐수지일 경우 성분간의 비상용성으로 인하여 강도가 약해져서 보강제가 효과를 나타낼 수 없게 되기 때문이다.

따라서 보강제를 이용한 혼합재생의 경우에는 물론 보강제와 폐수지간의 계면기술도 중요하지

만 폐수지 자체의 물성 유지가 역시 필수적이라고 볼 수 있다. 이외에 Glass mat 등을 이용하여 복합재료로 제조하는 방법도 있고 보강 구조물을 삽입하는 경우도 있는데 이때는 이종 재료간의 온도변화에 따른 선팽창의 차이를 고려하면서 제품을 설계 및 생산하여야 한다.

4. 재활용의 예

4-1. FRP 재활용의 예

유리섬유를 보강재로 포함하고 있는 FRP의 재활용은 파쇄 곤란이라는 문제점으로 어려움을 겪어 왔다.

mm크기로 분쇄하는 것은 Crusher나 Ballmill로 가능하였으나 μ m크기로 분쇄가 어려웠다.

그러나 이 상태에서 플라스틱 충전재로 FRP 분말을 재활용 할 경우 재료의 물성이 저하되어 사용이 어려웠다. 그러나 최근 다이아몬드 커터를 이용하여 수 μ m까지 분쇄가 가능해 짐으로써 이러한 문제가 해결되었다. 또한 분쇄시의 열발생도 크지 않아서 FRP의 재활용에 큰 도움이 되고 있다. 분쇄된 FRP 분말은 탄산칼슘 대응으로 플라스틱에 충전재로 첨가시와 거의 유사하거나 오히려 더 높은 굴곡강도를 나타낸다.

또한 FRP 미분말은 콘크리트의 모래 및 골재의 일부를 대체하여서도 사용할 수 있는 것으로 확인되었고 특히 몰탈에 첨가할 경우 FRP 분말을 10%에서 50%까지 첨가함에 따라 비중은 2.12에서 1.96을 거쳐 1.48까지 낮아져서 경량화 된다. 굴곡강도와 압축강도는 FRP 첨가가 없을 때의 62kg/cm^2 , 380kg/cm^2 에서 30kg/cm^2 , 210kg/cm^2 로 낮아지나 실용성이 있는 값이다.

4-2. 피복전선의 재활용

피복전선의 재활용은 등의 회수를 위하여 시작되었으나 최근 피복 폐수지도 재활용하려는 노력이 많이 진행되고 있다.

피복전선 재활용시의 문제점은 가는 선의 경우나 여러가지 전선이 섞여 있을 경우 등의 회수율이 낮고 제품의 품질이 떨어진다는 것이다. 또한 PVC와 PE가 섞여 있어서 폐플라스틱 재생시의 문제가 된다는 점도 있다. 이를 해결하기 위해서는 다음과 같은 방법이 있다.

1) 다른 종류의 플라스틱으로 피복된 전선을 종류별로 나누어서 재생공정으로 투입하는 것이 가장 중요하다.

2) 파쇄시에는 2축 전단식 파쇄기를 사용함으로써 다량이 일시에 투입되어 과부하가 걸려서 파쇄기의 운전이 중지될 때에는 자동으로 블레이드의 회전 방향이 반대로 되어 막힌 것을 밀어낸 후 다시 정상 회전하는 조작이 가능한 파쇄기를 사용하여야 효율이 올라간다.

3) 파쇄기는 1차 분쇄기와 2차 분쇄기로 나누어서 2단계로 분쇄해야 효율적이다. 한꺼번에 파쇄를 하려고 하면 구부러진 전선이 생기는 등 문제가 많이 생긴다.

4) 파쇄 후 비중선별, 정전선별 등으로 등과 플라스틱들을 분리하여야 하는데 비중선별시 풍력선별을 하고 이때 전선의 종류 등에 따라 풍량, 풍향, 스크린의 각도, 진폭 등을 조절하여야 한다.

5) PE와 PVC가 분리되지 않았을 때는 첨가제 등을 사용하여 물성저하를 방지한다.

4-3. 농업용 폐비닐 재활용

농업용 폐비닐 재활용시의 문제점은 돌, 흙,

비료, 지푸라기 등 이물질이 많다는 점과 세척수가 2차 공해로 발생할 수 있다는 점이 있다.

또한 재생수지의 품질이 낮아서 경제성이 낮고 파쇄기로 폐비닐 필름 뭉치가 들어갈 경우 큰 동력이 필요하거나 또는 문제가 발생할 수 있다는 점도 있다. 이에 대한 기술개발은 다음과 같은 것들이 이루어지고 있다.

1) PE 폐비닐 건조시 건조기에 스크린을 달아서 건조와 동시에 토사 등을 제거하며 자력선별 및 금속 검출장치로 철 및 비철금속을 분리해낸다. 이 때 열풍발생기나 공기 수송장치를 이용하여 건조를 촉진한다.

2) 기계장치를 SUS화 하고 용접부위를 두껍게 하고 기계장치를 도금해 내마모성을 증진시킨다.

4-4. 복합재료의 재활용

카페트, 유리섬유 함유제품, 자동차내장재 등 2종 이상이 혼합되어 있는 플라스틱 제품의 재활용은 먼저 분쇄한 후 가능하다면 종류별로 분리해서 재활용하는 것이 가장 좋은 방법이다. 문제점으로는 유리섬유 등이 함유되어 있는 경우는 기기의 마모가 심하고 섬유가 있을 경우는 정전기가 발생할 수도 있다는 것이다.

또한 분진의 발생이 많고 미세분쇄시 발열로 인하여 처리량이 떨어지는 경우도 있다.

현재까지의 기술개발상황은 다음과 같다.

1) 1차로 적절한 크기로 분쇄한 후 2차로 미분쇄를 하여야 과대한 분쇄기의 사용필요성을 방지할 수 있다.

2) 발열을 방지하기 위해서는 개방형 Rotary cutter를 사용하는게 좋고 Blade가 많은 고속

분쇄기를 사용하는게 유리하다.

3) 선별은 진동스크린을 사용하고 공기흡입식으로 섬유를 제거하도록 한다.

또한 정전기 발생을 방지하기 위해서는 공기소송관을 금속제품으로 사용하도록 한다.

4) 부피가 큰 섬유들은 스크류 실린더로 압축하도록 한다.

5) 유리섬유 포함 제품에 대한 기기는 경도가 높은 Blade를 사용하거나, 라이닝을 사용하도록 한다.

6) 파쇄기에 온도 감지장치를 달아서 과열되었을 때는 소량의 냉각수가 분무되도록 한다.

4-5. 폐밧데리의 재활용

폐밧데리에서 납을 회수하고 PP 등의 케이스를 재활용하는 경우 케이스 구석에 황산 등 잔류물이 남아있는 경우가 있으므로 세척을 특히 잘 해야한다. 황산 등에 의해 기기가 부식될 가능성이 있으므로 스텐레스강을 사용할 필요가 있다.

5. 결론

폐플라스틱을 재활용하는 기술에 대해 재활용 기기와 재활용시 첨가제로 나누어 살펴 보았다.

폐플라스틱 재활용시 가장 큰 문제는 여러 가지 재료가 혼합되어 있는 것인데 가장 좋은 방법은 종류별로 선별하여 단일종으로 만든 후 재활용 하는 것이다. 이것이 어려울 경우는 첨가제 또는 강도보강제를 이용하게 된다. 폐플라스틱의 효율적인 재활용을 위해서는 적절한 기기의 선택과 필요한 첨가제의 선정 및 가공조건을 선택이 중요한 요인이다. ☐