<유럽의 플래스틱 리사이클링>

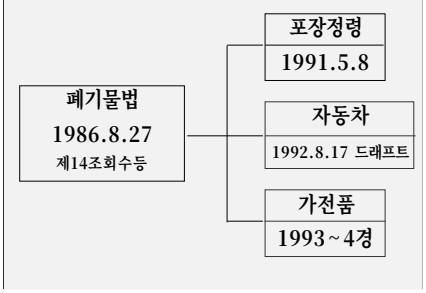
플래스틱 폐기물 규제 대폭강화 리사이클링 기술·용도 개발"열기"

유럽의 향후 리사이클 관련 법률과 플래스틱 리사이클 관련기술 개발상황을 소개하고 기술활용 예로서 여러가지 플래스틱 폐기물의 리사이클 상황을 구체적으로 소개하고자 한다.
고율의 material recycle을 의무화한 독일의 포장 폐기물 회피정령이 91년4월 성립, 93년 1월부터 포장 폐기물의 리사이클이 전국 규모로 본격적으로 개시됐다.
EC차원에서도 고율의 material recycle을 요구하는 포장 및 포장폐기물 EC지령의 최종 초안이 92년 7월 제시됐다.
상품의 사용후의 폐기에 따른 환경문제는 사용되는 장소에서 발생하기 때문에 수출비율이 높은 자동차나 가전 등의 국제상품에 대해서는 세계에서 규제가 가장 엄한 지역을 염두에 두고 폐기물 문제를 고려하여 설계하게 된다.
따라서 법률에 의한 material recycle이 강제로 진행되고 있는 유럽의 동향이 주목되고 있다.
여기서는 유럽의 리사이클에 관련한 법률 제정 상황을 개설한 후 플래스틱 리사이클 기술개발 현황 및 구체적인 예를 소개하고자 한다.

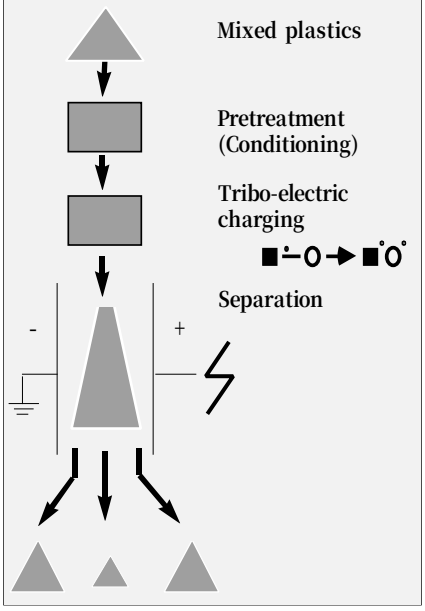
리사이클 법률

91년 4월, 성립된 독일의 포장폐기물 회피정령은 86년 8월 27일에 공포된 폐기물법의 법체계의 일각을 이루는 것이다.
폐기물법은 쓰레기 증가에 따른 폐기물처리장의 처리능력의 부족으로 그때까지 통념이었던 폐기물은 무해한 방법으로 폐기 처분하는 것에서 폐기물의 발생은 최소한으로 줄이고 폐기물에 남은 가치를 최대한으로 이용한다라는 방향으로 규제전환이 이루어져 이 단계에서 이미 material recycle의 개념이 들어가 있다.
92년 8월 17일 드래프트가 나온 폐차정령과 현재 드래프트가 준비돼 있는 가전제품 폐기물 처리정령도 폐기물법의 법체계의 하나로서 material recycle을 중요하게 여기고 있다.

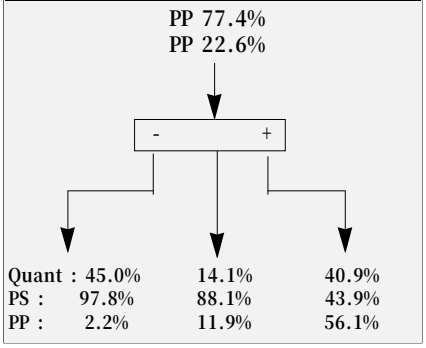
독일 포장정령의 법체계



정전기분리(Kali & Salz사)



요구르트 컵 PS/PP separation

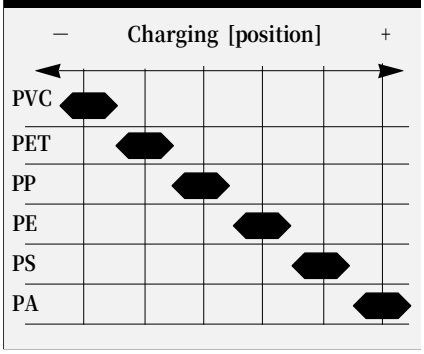


EC 차원에서도 고율의 material recycle을 요구하는 포장 및 포장폐기물 EC정령의 최종 초안이 92년 7월에 제시됐다. 목표는 10년내에 포장폐기물의 90%를 회수, 그중 60%를 material recycle하는 것으로 돼 있다.
독일의 포장폐기물 회피정령과는 달리, 회수수단으로서 material recycle 뿐만아니라 소각에너지 회수를 포함하고 있으나 60%의 material recycle은 달성하기 곤란한 목표라고 할 수 있다.
이에 대해 유럽 포장체인의 관련업계인 소재메이커, 포장가공업, 소비자물자공업, 도 · 소매업, 폐기물처리업부터 리사이클 공업까지 포함한 업계를 대표하는 각 협회의 공동체인 The Packing Chain Forum은 92년 9월 EC지령에 대한 의견표명과 개정안을 제시하고 있어 향후 동향이 주목된다.
이미 법률에 의한 material recycle이 강제로 되고 있는 곳도 있으며 최근 수년간 유럽의 리이클 기술개발이 활발히 이루어졌다.

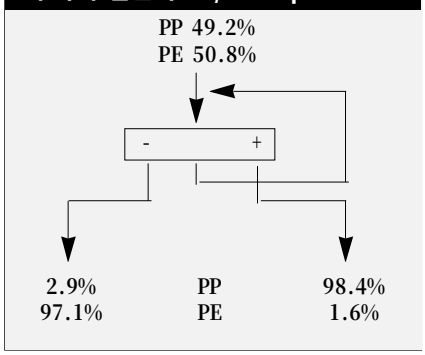
기술개발

하이드로사이클론
Refakt사(독일)의 하이드로사이클론을 이용한 PVC병의 리사이클은 wet granul-ater로 분쇄된 소비완료 PVC병은 turbo washer로 feed되고 여기서 심한 교반에 의해 상표, 오물 등과 분리되고 사이클론중에서 무거운 성분의 PVC 후레이크와 기타 가벼운 성분으로 분별되는 것으로 가벼운 성분은 시스템중에 다시 feed됨으로써 분리효율이 높아지는 시스템이다.
AKW사(독일)의 프로세스는 flowtation tank와 4개의 사이클론을 사용하여 분쇄된 혼합 폐플래스틱(PE, PP, PS, PVC, PET)을 분리하는 것으로 비중차에 의한 분리시 물과 알콜의 혼합비를 바꾼 매체를 사용하는 것이 특징이다.
미국에서 가동되고 있는 파일로트 플랜트는 1T/hr의 능력이며 350만달러였다.

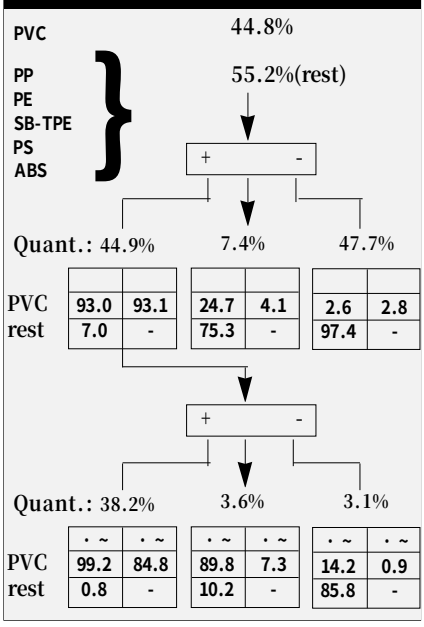
플래스틱의 마찰정전기



주사기 실린지 PE/PP separation



다성분 혼합 폐플래스틱에서의 PVC분리



용융분리
Herbold사(독일)이 개발한 PVC병과 PET병의 분리시스템은 thermal system으로 PVC의 용융점이 380~420°F, PET의 용융점이 470~490°F의 온도차를 이용한 것이다.
콘베어위에 병을 올려 놓고 가열실을 통과시키면 PVC는 용융돼 벨트에 부착되고 PET벨트의 맨끝에서 낙하하는 시스템이다. 2200lb/hr의 능력으로 가격은 15만달러이다. 가열실의 체류시간은 15분이

며 온도를 높여 단축시킬 수 있다.

여과장치

폴리머중의 이물질을 압출기맨끝에 붙은 스크린에 의해 여과 제거하는 것은 보통 이루어지고 있으나 폐플래스틱 재생펠리트는 더러움이 심하고 스크린체인저의 빈도가 많은 것이 문제다.

Gneuss사(독일)에서는 이것을 해결하기 위해 셀프클리닝형 연속식 스트린체인저를 개발했다.

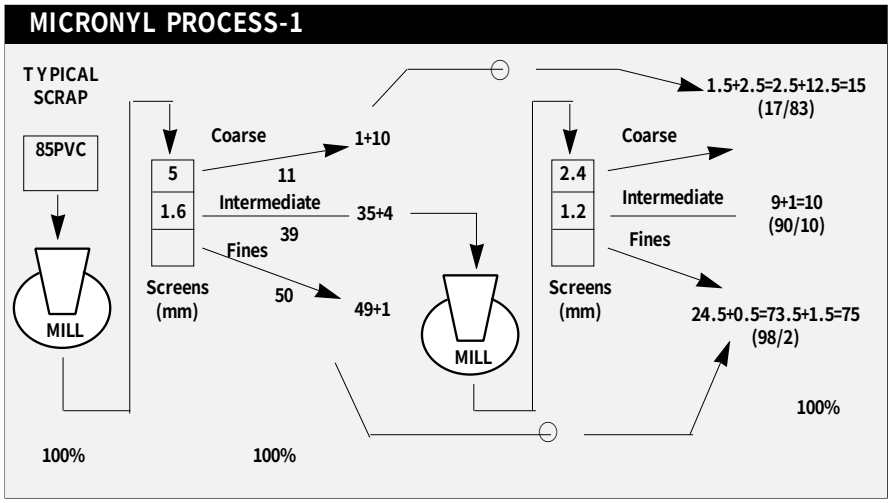
극히 소량의 폴리머를 다 사용한 스크린 캐비티내로 흘려, 역세방식으로 스트린을 떼어내고 폐기하지 않고 약 100회 사용할 수 있다. 100㎛ 이상의 모래, 섬유 등의 이물질 제거도 가능하다.

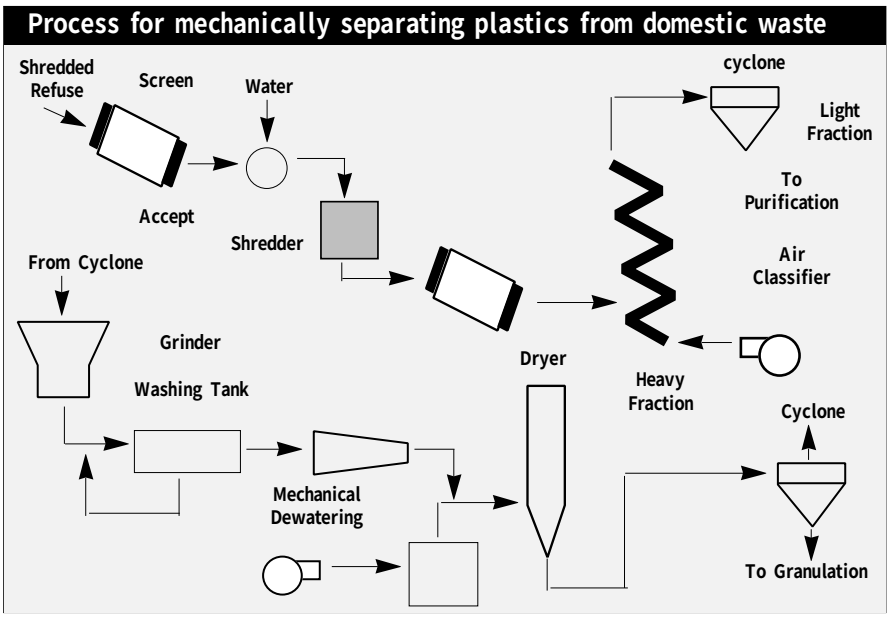
Kreyenborg사(독일)의 스크린체인저는 상하 2개의 스크린캐리어형이며 폐플래스틱 리사이클의 조립과 같은 긴 스크린 사용시간이 요구될 경우 청정한 재료의 백후렌징에 의한 상하 2개의 스크린이 교대로 셀프버지 가능한 타입도 제작되고 있다.

PVC 분리장치는 PVC병과 PET병 분리에 이용되며 재생펠리트의 품질에는 순도가 크게 영향을 끼친다. PVC중에 0.1%의 PET 콘터미라도 PVC 재생펠리트의 투명성, 가공상에 문제가 발생한다.

병 크기로 분리된 후 다시 PVC중의 PET를 분리하는 방법으로서 여과 장치가 이용되고 있다.

즉, PET의 융점, 높은 점도, 용해온도에서 열안정성을 이용하는 것으로 PET의 용해온도 240℃ 이하에서 Gneuss사 등의 셀프버지형 연속 스크린체인저가 붙은 압출기로 PVC를 조립하면 PET의 콘터미는 필터로 포집돼 순도가 높아진다.





정전기 분리

각종 플래스틱의 마찰 정전기차를 이용한 건식 분리법으로 폐수처리의 문제가 없고 동일 비중의 혼합 폐플래스틱도 분리할 수 있기 때문에 여러가지가 개발되고 있다.

Kali & Sale사(독일)의 ESTA 프로세스는 약 6mm로 분쇄된 혼합 폐플래스틱에 계면활성제를 ppm단위로 부착시켜 예비 처리 한다. 심하게 교반혼합하여 마찰을 통해 전자를 이동하여 정전기를 발생시킨다.

혼합 폐플래스

틱 입자가 전장 (120103V)중을 낙하하면 양전은 -쪽으로 음전은 +쪽으로 모아져 분리되는 것으로 중간부는 다시 동일조작을 반복, 분리효율, 회수를 높인다.
동일 비중의 PET/PVC, PE/PP도 분리가능하며 특히 PVC는 모든 플래스틱에 대해 -쪽으로 정전하므로 다성분이 혼합 폐플래스틱에서 PVC만을 분리할 수 있다.
단, 정전기는 첨가제의 표면플리드, 콘터미에 의한 표면 오물 등에 의해 영향을 받기 때문에 소비가 끝난 혼합 폐플래스틱의 경우는 습식분쇄에 의해 콘터키를 제거해야 한다.
BASF는 ESTA 프로세스에 따라 혼합 폐플래스틱의 정전기 분리능력 시간당 5톤인 플랜트를 건설할 계획이다.
시간당 100kg 능력의 파일로트 플랜트에서는 PET/PVC/HDPE=62/31/3의 혼합 폐플래스틱병의 경우 PET, PVC가 99.5%의 순도였다.

충격분쇄 분리
MICRONYL WEDO사(프랑스)는 실온에서의 충격강도 차로 PVC와 PET를 분리하는 MICRONYL PROCESS를 개발했다.

자동차 회수 범퍼 물성

물 성	단 위	회수범퍼	버 진
멜트인텍스 MFI 230/5	g/10min	14.5	9.2
MFI 190/5		7.16	3.5
블오목 경도	N/mm²	27	26
쇼어 경도 D 3	-	56	-
D 15	-	54	54
열변형온도(비커트)	℃	110	120
notch부착 충격 강도	mJ/mm²		
230℃		13.2	n.b.
0℃		8.3	n.b.
-20℃		7.8	n.b.
-40℃		5.8	2.9
notch 충격강도	mJ/mm²		
(double notch) 23℃		11	43.9
0℃		7	44.8
-40℃		5.5	16
굴곡 탄성률	N/mm²		
아닐없음		602.8	554
아닐없음		732.4	-
조 성	%		
P P		52	-
E P R		48	-

R-Rim PU Bumper recycle 품의 물성

물 성	단 위	기초성형 부품	리사이클 범퍼	
			2.8mm	1.0mm
탄 성 률	N/mm2	760	760	720
항 복 점 응 력	N/mm2	13	19	18.5
항 복 점 신 장	%	11.8	12	12.5
인 장 강 도	N/mm2	21	20	19.8
파 단 신 장	%	190	37	55
충 격 강 도 (2 5 ℃)	mJ/mm2	14.3	13.1	13.2

충격강도는 PVC(blow molded) 200~400dN/cm/cm2, PVC(bioriented) 1000~1500, PET(crystallized) 200, PET(amorphous, bioriented) 2000~2500이다.
연신 PET병의 충격강도는 PVC blow bottle의 약 5배이며 bottle neck은 연신 PVC병과 같으며 PVC 프랙션이 된다.
반대로 연신 PVC병은 PET프랙션의 콘터미가 된다.
PET중의 PVC 콘터미는 악영향이 크나 PVC중의 PET콘터미는 3%까지는 특별한 문제는 없고 PET입자가 작으면 PVC매트릭스의 필러로서 사용된다.
PET/PVC 혼합 폐플래스틱을 찰감밀과 다단체에 걸면 PET는 coarse 프랙션으로, PVC는 fine 프랙션으로 분리된다.
몇단으로 미분쇄/체로 걸르는가는 피드 조성, PVC 프랙션의 순도 및 설비에 따라 결정된다.

압출조립
Erema사(오스트리아)가 개발한 Cutter Compactor는 필름, 섬유, 테이프 등의 얇고 부피가 큰 스크랩을 직접 조립하는 시스템이다.
Cutter Compactor에서 스크랩은 조분쇄되고 뜨거운 상태로 압출기로 피드돼 조립된다. 산화, 분해도 적고

PP도 4~15%의 MI증가이며 종래의 조립시스템에 비해 40%의 에너지 절약이 된다.
Battenfeld사(독일)는 리사이클용으로 특별 설계한 압축조립 압출기를 개발했다.
2곳에서 탈휘할 수 있도록하여 홈을 판 배럴을 사용, 가능한 한 가공온도가 올라가지 않도록 저속회전으로 운전되고 그것으로 혼련은 충분하게 된다.
옵션으로서 몰입을 방지하기 위한 기어펌프와 이물제거를 위해 Gneuss사의 셀프퍼지 연속스크린 체인저를 장비한 것이 있다.
Berstorff사(독일)에서는 고충진량의 필터와 밀도가 다른 폼이 혼합된 폐플래스틱 조립용으로서 견형모형의 압출기 조립으로 된 조립압출기를 개발했다.
Plastmachine사(독일)는 식품, 유제품 포재의 산업폐기물에서의 재생펠리트 시스템으로서 조립압출기를 특별사양으로 독일의 재생 가공업자용으로 제작했다.
물성에 따라 인라인에서 안정제나 유동개량제를 첨가하는 것으로 단층 필름 또는 공압출필름으로서 이용하는 재생펠리트를 만들 수 있다.
리사이클 제품의 조립시 약간의 이물질이나 점도의 변동 폭이 크기 때문에 스트랜드가 끊길 가능성이 있다.
Scheer사(독일)의 호리존탈 스트랜트 벨레타이징 시스템은 대에서 토출된 병렬의 스트랜드가 물이 흐르는 스트랜드 가이드위에 덜어지고 2매의 벨트사이로 확실하게 유지돼 냉각되고 재빨리 소정의 생산속도로 가속된다.
만일 스트랜드가 끊어져도 다음 스트랜드가 자동적으로 가이드에서 2매의 벨트사이로 유지되며 콘베어벨트 피드롤러로 모아져 커터로 들어가 조립이 속행된다.
스트랜드 조립이외의 방법으로 리사이클러로 호평인 시스템으로서 다이플레이트에서 의해 용융상태인 채 커트돼 수지를 펠리트상으로 하는 watering 방식의 방법이 있다.
Leistritz(독일)와 같이 커터와 펠리트의 홀용으로 위쪽에 물을 끼얹는 방식도 있다.
Werner & Pheidere사(독일)에서는 2축 압출기(ZSK)를 사용한 재생펠리트 조립을 제안하고 있다.
소비가 끝난 EPS의 경우 세정을 겸한 습식 조분쇄를 하여 60%의 수분과 함께 ZSK로 투입되도 0.05% 이하의 수분량으로 탈기되고 건조공정에 의해 연간 380m3의 연료유를 절약할 수 있다.

복합 재생가공기
폐플래스틱 혼합물에서 토목건재의 제조장치인 ATR사(벨기에)의 ET-1은 유럽에서 수많이 이용되고 있는 가공기술이며 다음과 같은 프로세스로 돼 있다.
제 1단계에서는 폐기물을 세단하여 그것을 압축, 밀도를 높인다.
금속편을 자기에 의해 분리 후, 수직나선식 호퍼에 넣어 압출기내에서는 높은 차단력에 의한 스쿠류의 단열마찰열로 폴리올레핀 성분이 가열되고 큐리어가 된다.
다른 성분인 PS, PVC, PET는 폴리올레핀 베이스중에 포함되며 강화충전재로서 작용한다. 용융물은 회전 탈레트위에 세트된후 최고 12의 금형중 하나로 압출된다.
하나의 금형에 충전돼 있는 동안 다음의 금형이 조정되고 나머지 금형은 수조중에서 냉각된다. 스텐레스동체의 금형내에 충전된 상품은 고압 hot air에 의해 나오는 연속 프로세스이다.
L/D의 긴 스쿠류 압출기로 충분히 용융 혼련하고 일단 어큐뮬레이터로 모아 프렌저로 금형에 충전하는 방법도 이용되고 있다.
가소화와 사출을 따로 하는것으로 혼합 폐플래스틱의 혼련을 충분히 하고 토목건재용의 대형 성형을 하는 것이다.
Greine사(오스트리아)는 Okoplst라 불리는 복합 재생시스템을 개발, 도시쓰레기의 PVC를 포함한 혼합 폐플래스틱에서 각종 프로파일의 이물 압출품을 연간 2000톤 생산하고 있다.
조분쇄된 혼합 폐플래스틱을 세정하지 않고 직접 2축 압출기로 압출 가공하는 것으로 용도는 토목건축재 관련이다. 또 공압출하여 외층에 버진재를 사용하여 외관을 개량한 것도 있다.
Berstorff사(독일)는 도시쓰레기중의 혼합 폐플래스틱 조성에 대응한 PO(60%), PS(20%), PVC(15%), 기타(5%)로 된 혼합 폐플래스틱에서 토목건재용 봉갱 등으로 복합 재생가공기를 개발했다.

시간당 400~1200kg의 능력을 지녔다.
Institut fur Baustoffe der Bauska-demie(독일)은 PE를 주체로 한 혼합 폐플래스틱의 용도로 수명이 긴 건재요 단열재를 제안, 여러가지 프로파일을 지닌 발포로드의 가공조건을 검토하고 있다.

리사이클시스템

유럽의 폐플래스틱 조성은 PO 70%, PVC 15%, PS 10%, 기타 5%이며 이중 주성분인 PO만을 하이드로 사이클론을 사용하여 재생펠리트화하는 AKW사(독일)는 일반 폐기물에서 분별된 폐플래스틱을 다시 재생 펠리트화 하는 시스템을 개발했다.
시간당 250kg의 능력이며 우선 세정을 겸해 습식분쇄한다.
이때 라벨 등의 종이류는 풀어서 분리된다.
Swim-Sink 탱크에서 Flotation탱크로 PP성분의 유부분리, PS, PVC는 평저형 하이드로사이클론에서 양성분으로 99%의 순도로 분리된다.
Tecoplas사는 Solvay, Enichem, EVC, Govoni이 각사에 따라 설립된 소비가 끝난 플래스틱병의 리사이클 및 기술개발을 위한 조인트벤쳐이다.
Azzurra Bottle Eater(플래스틱병의 역 Vending machine)에 의해 회수된 병을 우선 X선에 의해 PVC를 분리, 다시 가시광의 투과율 차에 의해 투명 PET를 분리, 다시 HDPE, 착색 PET는 flotation에 의해 분리하는 플랜트이다.
Herbold사(독일)는 진흙으로 더러워진 폐농 PVC를 슈레더로 분쇄하여 분리기로 금속성분 등의 무거운 것을 분리, 다시 물로 씻어 진흙 성분을 제거, 건조후 후레이크상의 재생품을 만드는 프로세스를 개발했다. 시간당 약 100kg의 능력이며 이미 유럽의 수개사가 가동하고 있다.
Replas사(덴마크)의 프로세스는 원료로서 근교의 동절기 사용 폐농 PVC를 이용, 물성저하가 적고 재생품은 버진과 브렌드함으로써 농 PVC로 가공된다.

리사이클 현황

독일에서는 폐EPS를 분쇄분급후 토양개질제로서 이용이 진전되고 있으며 4~8mm사이즈는 토양의 배수, 에어레이션 효과가 있다.
6~12mm는 콤포스트의 첨가제로서, 8~25mm는 토양의 고화방지에 사용되고 있다.
EPS의 98%가 공기이며 셀주위에 약간의 수분이 부착돼 있는 것으로 개량제로서의 기능을 발휘, 오염되고 냄새나는 폐EPS도 사용할 수 있는 유일한 재이용 가능방법이다.

자동차 관계
유럽에서는 이미 폐자동차에서 플래스틱 부품의 리사이클이 시작됐다.
Hochst와 Opel은 78년 모델차의 회수범퍼를 분쇄, 밧테리케이스 재생 PP, 안정제와 브렌드하고 호일라이너커버의 스펙에 합격한 재생펠리트까지 승급하는 가술을 개발중이다.
또 폐자동차에서의 플래스틱 부품의 리사이클상의 문제점으로 연료탱크에 대해서는 흡착된 가솔린의 제거, 범퍼에 대해서는 세정을 해야 하고 호일커버에 대해서는 도막제거가 어렵다는 지적이 있다.
Volkswagen사의 「POLO」의 범퍼는 폐버진에서의 재생펠리트를 20% 포함한 재료로 가공돼 있으며 이 성분에는 자동차 회사의 폐범퍼 회수, 해체와 수지메이커인 DSM사의 컴파운드기술, 수지 개질기술이 한데 어울린 성과이다.
또 R-RIM 우레탄범퍼도장품의 도막영향을 프레스 성형 샘플을 이용하여 시험한 결과는 파단시장을 제외한 결과는 파단시장을 제외하고 기계적 물성의 저하는 거의 없었다. 우레탄계의 도막이며 상용성이 좋기 때문으로 지적된다.
Ewvk사(독일)는 사용이 끝난 자동차용 쿨러박스의 리사이클 기술을 개발하고있다.
회수된 30% GF강화 PA66제 클러박스를 분쇄 후, turbo washer에 의한 세정 및 하이드로사이클론에 의한 콘터미의 금속편, 호스와 연결부의 POM, 고무패킹의 분리후, 건조, 압출공정에 의해 재생 펠리

트를 제조하는 시스템을 채용하고 있다.
쿨런트의 빙결방지제로서 EG가 혼합돼 있으며 회수된 수지중에 약 1.4% 함유돼 있고 이것이 PA-66의 압출공정에서의 가수분해의 원인이 돼 물성이 저하된다.
turbo washer에서의 충분한 세정, 고온에서의 단시간 건조 및 압출공정에서의 탈피에 의한 EG제거와 GF의 절단방지가 양호한 재생 펠리트를 얻는 핵심이다.

PVC 전화카드 리사이클
PVC 리사이클을 촉진하기 위한 Höechst, Solvay 등에 의해 설립된 AgPU는 die Deutche Bundespost Telecom과 공동으로 다 사용한 전화카드의 리사이클에 착수했다.
회수 박스를 전화박스마다 설비하여 회수하는 것으로 재생 펠리트는 창틀 등의 건재, 사무용품 등으로 사용되고 있다.

PP주사기 실린지 리사이클
주사기 실린지는 위생상 한번 사용된 후는 의료용 폐기물로서 소각처리되야 하나, 물성열화가 거의 없기 때문에 재생 펠리트화의 검토가 이루어지고 있다.
핵심은 의료시트에서의 PP주사기 실린지의 분별회수와 회수후의 오토크레이프 중에서의 수증기 감균으로 주사기 실린지로서 재생사용은 할 수 없으나 재생 펠리트는 장난감, 문구 등으로 사용할 수 있어 체코슬로바키아에서 파일로트 플랜트가 가동됐다.

PVC라미 PP필름
Cabot사(벨기에)는 Mobil Plastic사와 공동으로 PVC라미 PP필름의 재생 컴파운드 기술을 개발했다고 발표, 현재 특허 신청중인 것으로 알려지고 있다.
혼합, 펠레타이징 단계에서 HCl가스가 발생되지 않고 재생 컴파운드 제품도 사출 및 압출 그레이드로서 이용할 수 있다.

R-RIM
R-RIM PU를 세분화하여 필러로서 이용하는 리사이클의 검토는 이미 시작됐다.
약 3mm로 조분쇄된 것이 다시 터모밀에 의해 180~300㎛로 미분화되고 일정 양을 1성분으로 투입함으로써 통상의 R-RIM PU 시스템내에서 재용되는 것이다.
단, 가교제로서 DETDA를 사용할 경우 아민성분의 표면으로의 브리드, 그 결과의 표면변색을 방지하기 위해 3성분 RIM 프로세스를 사용해야 한다.
용도는 10% 첨가한 것이 트럭용 흑생 매드램프로 상품화되고 있으며 메르세데스벤츠모델 W126의 사이드파넬용 컴파운드에도 이용되고 있다.

FRP(SMC/BMC)
유럽의 Duroform사의 몰더 4사와 BASF 등 수지, 유리섬유 메이커 10사는 폐FRP를 적재한 트레일러가 순회, 여기서 감용후, 본공장에 가지고 돌아와 분쇄, 처리하여 유리섬유와 분말을 리사이클 원료로 하여 판매하는 협동조합 ERCOM사를 설립했다.

결 론

유럽의 플래스틱 리사이클은 리사이클률의 달성년도를 정한 법률이 추진력으로 작용, 기술개발이 신속하게 이루어지고 있다.
독일의 듀알시스템은 93년 1월1일부터 본격적으로 개시됐다.
보통 경제적인 곤란이 따르는 수집·분별이 자금적인 지원이 있는 이 시스템으로 순조롭게 이루어져 플래스틱 폐기물이 대량으로 집하되고 있다.
이것이 더욱 플래스틱 리사이클의 기술개발과 용도개발을 촉진할 것으로 예측되고 있다.

<화학저널 1994/2/1>