

## 플라스틱 재자원화 기술개발 사례

### 1. 다종 플라스틱의 분별 및 식별기술 - 일본 물질공학공업기술연구소 사례

#### 1) 플라스틱 분별의 필요성

플라스틱의 리사이클에는 Material Recycle, Chemical Recycle, Thermal Recycle, Fuel Recycle의 4가지 방법이 있으며, Material Recycle에서는 종류가 다른 플라스틱을 혼합하면 성형이 곤란하며, 더구나 성형품의 특성이 극단적으로 저하하기 때문에 플라스틱의 분별이 불가피하다. Chemical Recycle에 있어서도 플라스틱 폴리머를 모노머로 분해하기 위한 반응조건이 플라스틱마다 다르기 때문에 플라스틱의 분별이 불가피하다. 또한 Fuel Recycle 및 Thermal Recycle에서도 연소로의 온도관리를 위하여 열량을 파악할 필요가 있으나, 플라스틱은 종류에 따라 열량이 2배 이상 다르므로 이들의 에너지 리사이클에서는 플라스틱의 분별이 필요하다.

#### 2) 종래의 분별 및 식별방법

기존의 플라스틱 폐기물의 분별 및 식별방법은 기계적 분리법과 광학적 식별법의 두 가지로 대별할 수 있다. 전자는 파쇄(破碎)된 플라스틱 일반 폐기물 처리용으로, 플라스틱의 종류에 의해 물리적성질이 다른 것을 이용하여 분별하는 방법이다. 비중, 풍력, 정전기, 부유, 용융, 용해, 충격 등의 차이를 이용하는 각종의 방법이 개발되어 있다. 그러나 분별할 수 있는 플라스틱의 종류가 한정되어 있어 다 종류의 플라스틱의 분별은 불가능하다

후자는 비 파쇄의 용기 및 제품 처리 용으로, X선 및 적외선을 이용하는 방법이 개발되어 있다. X선 법은 실용화되어 있으나, 식별할 수 있는 플라스틱은 염소원자를 포함하는 폴리염화비닐 등에 한정된다. 적외선 법은 플라스틱에 의한 적외선의 흡수율 차이를 이용하는 방법으로, 특히 근적외선의 반사측정은 시료의 조제가 필요 없어, 비파괴로 분석할 수 있기 때문에 리사이클을 목적으로 하는 플라스틱의 신속한 식별에 유리하다. 실제 구미에서는 근적외 반사법을 채용한 플라스틱 식별장치의 개발이 행해지고 있다. 그러나 비중차 및 근적외선을 이용하는 방법에서는 수 종류 정도의 플라스틱의 분별이 한계였다. 수 종류의 플라스틱을 식별하는 기술은 지금까지 일본을 포함한 해외에서도 전무한 상태였다. 그래서, 근적외 분광측정과 뉴럴 네트워크(neural network) 해석을 조합하는 것에 의해 다 종류의 플라스틱을 신속하게 식별하는 수법을 개발하였다

### 3) 개발기술의 식별방법

실용적인 플라스틱 폐기물의 리사이클 시스템으로 가능할 만큼의 식별수법을 개발하기 위하여 측정 및 해석에 이용한 플라스틱 시료는 메이커로부터의 제품 및 가정으로부터의 폐기물을 가능한 한 수집하였다. 따라서 형상은 병, 시트, 트레이 등 다양하며, 색도 투명으로부터 짙은 색 등 다양하다. 같은 종류의 플라스틱에서도 메이커, 그레이드, 용도에 따라 다양한 것이 포함되 있다. 그 결과 51종의 플라스틱에 대하여 총 287점을 시료로 수집하였다.

이상의 시료에 대하여 PlaScan장치를 이용하여 근적외 스펙트럼을 측정하였다. 이 장치는 AOTF(Acousto-Optical Tunable Filter)분광방식을 이용하고 있기 때문에 근적외 영역( $1.0\sim 2.5\mu\text{m}$ )의 반사 스펙트럼을 신속하고 고 분해능( $0.005\mu\text{m}$ )로 측정할 수 있는 이동식의 분광계이다. 이 장치를 이용하여 파장  $1.3\sim 2.3\mu\text{m}$ 영역의 근적외 스펙트럼을 측정하였다. 이 장치에서 측정하여 얻어진 데이터를 뉴럴 네트워크에 입력하여 이하의 수순으로 식별 테스트를 행하였다

- ① 시료수가 10점 이상인 10종의 플라스틱을 테스트 대상, 그 이외의 플라스틱을 비 대상으로 한다
- ② 테스트 대상의 10종의 플라스틱에 대하여 각각 크러스터(Cluster)분석을 행하여 시료를 2-4개의 크러스터로 분류한다
- ③ 각각의 크러스터에 대하여 평균 스펙트럼을 산출한다
- ④ 테스트 비 대상의 플라스틱에 대해서는 평균 스펙트럼을 산출한다
- ⑤ 이들의 평균 스펙트럼을 이용하여 뉴럴 네트워크를 학습한다
- ⑥ 테스트 대상의 플라스틱에 대하여 개 개의 시료 스펙트럼을 학습을 마친 뉴럴 네트워크에 입력하여 출력 층의 수치로부터 플라스틱의 식별번호를 구하여 적중률을 산출한다

이상의 수순에 의해 적중률을 구한 결과, 테스트 한 플라스틱 10종류 중, POM, AS수지, PS등에서는 특히 낮은 적중률이 되어 전체의 평균 적중률은 77%가 되었다. 이 방법의 평균적중률 77%는 플라스틱 폐기물의 리사이클 시스템에 실용화 하는 데에는 만족할 수 없는 것이다, 그러나 이 결과는 이 식별 테스트에 사용한 데이터 수가 2-4개 였기 때문으로 적중률이 낮았던 ABS수지등에 대하여 학습 데이터를 증가시키는 것에 의해 적중률은 향상할 것으로 기대된다

ABS수지 및 PC/ABS에서 적중률이 낮았던 이유로서, 이들의 플라스틱 시료의 실측 스펙트럼을 조사해 보면 시료에 의해 상당한 차이가 보여지는 것으로부터 ABS수지 등에서는 공중합 폴리머의 조성이 상당히 다른 것도 원인의 하나로 생각된다

실용의 플라스틱 폐기물 리사이클 시스템을 위한 식별장치를 개발할 때에는 입수 가능한 모든 플라스틱 시료를 이용하여 학습을 행하면 적중률은 100%에 가까워질 것으로 생각된다. 따라서 본 방법은 플라스틱 폐기물의 리사이클 시스템에 충분히 실용화 가능한 식별방법이라고 여겨진다. 본 방법을 이용하면 플라스틱의 종류가 100종 이상으로 증가하여도 플라스틱 식별이 가능할 것으로 생각된다

또한 이 방법은 뉴럴 네트워크를 이용하고 있기 때문에 사용자가 식별하려는 플라스틱의 종류를 자유롭게 추가할 수 있는 확장성이 우수한 시스템의 개발도 가능하다. 본 연구에서는 근적외 스펙트럼의 측정에 이용한 장치는 극히 소형이고 저렴하며, 또한 극히 신속하게 많은 종류의 플라스틱의 식별을 행할 수 있기 때문에 플라스틱 폐기물처리의 현장에서 이용 가능한 실용적인 장치의 개발도 가능하다

## 2. 혼합 폐 플라스틱의 상용화 기술에 의한 리사이클-關西신기술연구소(KRI)

자동차의 경량화에 기여해 왔던 자동차부품의 재료 중에서도 PO, 특히 폴리프로필렌이 근년 주목을 받아 Instrument Panel(I/P), Door Panel등의 내장재를 비롯하여 외장재 인 범퍼재료로서도 많이 이용되게 된 것은 주지의 사실이다. 일부에서는 재생이용을 고려한 부품화가 행해지고 있지만, 대량으로 이용되는 PP를 어떻게 재이용, 재 자원화 할 것인가 하는 것은 커다란 문제이다. 그래서 플라스틱의 리사이클 활용이라는 관점에서 고분자의 Alloy화, 상용화 기술을 소개한다

상용화에 의한 폴리머의 Alloy화의 본래의 목적은 異種 플라스틱의 성능을 상보적으로 서로 높이는 것이다. 상용화는 異種 플라스틱간에서 분자 끼리를 서로 상용하는 것을 의미하지만, 반드시 분자단위로 혼합하는 것(완전 相溶)만을 의미하는 것은 아니고 요구되는 물성에 의해 그 정도는 다양(부분 상용)하다, 상용화제는 그 중계역할을 하는 것으로, 반응형과 비반응형으로 대별된다. 플라스틱의 Material Recycle에서는 폐플라스틱 간의 Alloy화에 의한 재생 고성능 재료화와 폐플라스틱의 재생화에서 상용화의 기술을 응용할 수 있다. 특히, 후자는 분리 및 분별의 공정이 어느 정도 간략화 할 수 있는 것에 의한 재생비용 삭감과 이물의 혼입대책에 위력을 발휘할 것으로 기대된다. 이하 3종의 상용화제와 상용화법의 개발에 대한 개략을 소개한다

첫번째는 반응형 상용화제인 옥사조린계 화합물을 이용한 방법이다. 이 방법에서는 반응성이 극히 높은 옥사조린계 화합물과 카본산에 의해 비극성 폴리머인 PP와 극성 폴리머와의 상용화를 목적으로 한 것이다. 이 방법은 2개의 옥사조린環을 연결하는 알킬鎖와 카본산의 종류를 선택, 설계하는 것에 의해 다양한 상대 폴리머의 조합에 대하여 상용화를 실현할 수 있었다. 최근의 연구성과로서는 식품 트레이등에 사용되는 PS, 병에 사용되는 PET,, 이것에 용기 및 포장에 많이 이용되는 PO(PE,PP)의 3원 혼합계에 있어서도 상용화의 실마리를 발견하였다. Reactive Processing이 가능한 것도 본 방법의 특징의 하나이다

두번째는 신규 고분자 상용화제이다. 먼저 소개한 옥사조린계 상용화제가 저분자인 것에 대하여 본 상용화제는 상용화제 자체가 폴리머이며, 또한 비반응형이다, 신규 고분자 상용화제는 비극성 폴리머 주쇄에 따라 극성기에 그래프트 한 구조를 취하고 있으며, 극성기의 몰 분율을 변화시키는 것에 의해 상용화도의 제어가 가능하다. 즉 측쇄기의 화학적성질에 의해서도 상용화 상태를 조절할 수 있다는 것이다. 지금까지의 검토로, PP에 대해서 ABS, PS, PET등이 상용화가 가능하다는 실험 결과를 얻었다. 본 고분자 상용화제의 특징으로서는 반응을 동반하지 않는 물리적

상호작용에 의한 상용화이므로 싸이클을 거쳐도 플라스틱의 분자구조가 변화하지 않은 점과 폴리머이므로 고품질의 이물을 포용할 수 있는 능력이 기대되는 것이다

세 번째는 새롭게 개발한 프리멘딩제이다. 이것은 일종의 상용화제이며, 비교적 저점성의 고분자를 근간으로서, 이것에 매트릭스 폴리머 상용기와 이물 상용기를 그라프트 시킨 구조를 갖는다. 이물로서는 매트릭스 폴리머 이외의 폴리머 및 열경화성 폴리머, 도장片 등의 유기물 및 금속가루나 모래 등의 무기물이 대상이 된다. 이 방법은 이물을 프리멘딩제로 둘러싸서, 매트릭스 폴리머 중에 균일 분산시켜 이물에 의한 매트릭스 폴리머의 물성저하를 억제하는 것을 목적으로 한다. 지금까지의 실험 결과로는 이물로서 수십 마이크로미터 오더의 銅粉 및 칼슘 카보네이트에 대하여, PP 매트릭스 중에서 소망의 효과를 발휘하는 것이 확인되었다. 핵심은 이물 표면을 어느 정도의 두께를 갖는 피막으로 덮어, 이물과 매트릭스 폴리머를 유연하게 격리하는 것이다.

이상 지금까지 KRI에서 개발한 상용화제 및 상용화법에 대하여 소개하였다. 회수효율, 회수비용 및 회수루트., 재생재의 품질 안정성을 고려하면 가전제품, OA 기기류, 자동차는 자원을 리사이클면에서 활용하기 위한 최초의 타겟 품목분야로 생각한다. 또한 PP의 용도가 확대되는 가운데 PP의 재생이용, 개질 이용이 필연 시 되고 있다. 플라스틱을 재생재로서 이용할 때에 거론되는 과제는 역학적성능, 각종 첨가제, 색조이다. 적어도 역학적성질의 유지에 관해서는 이 기술로 대응이 가능하다.