

## 상용화제를 이용한 혼합 폐플라스틱의 재활용 방안

이수근 · 김재능

신성대학 상품포장과 · 연세대학교 패키징학과

### The Study of the Recycling Methode of Alloyed Recycling Plastics by Using the Compatibilizers

Soo-Keun Lee · Jai-Neung Kim

Dept. of Goods Packaging, Shinsung College · Dept. of Packaging, Yonsei University

#### Abstract

The aim of this study was to develop the recycling methode of alloyed recycling plastics. The compatibilizers have been used to improve the physical properties of recycling plastics. Eethylene propylene rubber(EPR), ethylene propylene diene monomer(EPDM), styrene ethylene butylene styrene block copolymer(SEBS), maleic anhydride modified styrene ethylene butylene styrene block copolymer(SEBS-MA) and styrene butadiene styrene block copolymer(SBS) were singled out as compatibilizers.

In this study, the physical properties such as impact and tensile strength have improved above 20% by using the compatibilizers

#### 서 론

폐플라스틱을 재활용하기 위해 단순히 분쇄, 세정, 분별, 펠릿화하여 성형 사출하는 방식으로는 그 소재의 품질이 저하되므로 이러한 이유 때문에 플라스틱 재이용률이 극히 저조하다. 20세기에 들어오면서 신비의 소재라 일컬어 온 플라스틱의 출현은 산업사회를 발전시키는 데 있어서 큰 기여를 하여왔다.

플라스틱 산업은 1960년대에 이르러 석유화학공업이 발달함에 따라서 전세계적으로 플라스틱의 생산량이 크게 증가하게 되었고, 우리나라에서도 플라스틱의 생산량은 세계 5대 생산국에 들어갈 정도로 많은 양을 생산하고 있으며, 국민 1인당 연간 소비

량은 약 70kg에 달하는 것으로 추정되고 있다. 이와 같이 양산 및 소비되어지고 폐기되는 플라스틱의 양도 큰 폭으로 증가하는 추세에 있다.

일반적으로 널리 사용되어 지고 있는 플라스틱의 종류는 6대 범용수지로 분류되는 LDPE, HDPE, PP, PVC, ABS, PS가 대부분을 점유하고 있으며, 폐플라스틱의 발생량은 국내에서 사용되는 플라스틱의 수요량과 밀접한 관계가 있다.

특히, 폐플라스틱에는 사용되는 플라스틱의 종류에 따라 포장용 필름과 같이 1회용의 것과, PVC나 ABS등과 같이 건축자재나 가전제품에 사용되어 5~10년 이상의 내구성이 있는 것도 있다.

이와 같이 폐플라스틱의 양이 급속적으로 증가함에 따라 폐플라스틱을 적절히 처리할

수 있는 방안을 강구하는 것이 최근의 당면 해결과제로 대두되고 있다.

1998년의 경우 국내에서 발생한 폐플라스틱 양은 LDPE 487.4천톤, HDPE 741천톤, PVC 402.2천톤, PP 753.8천톤, ABS 75.3천톤, PS 278.2천톤 그리고 PET 66.5천톤으로서 약 2,777.4천톤이 발생한 것으로 추정되고 있다. 이상과 같은 방대한 규모의 폐플라스틱의 국내처리방법은 주로 매립에 의존하고 있고 일부는 소각 처리되고 있는바, 최근에 매립지의 절대부족과 소각에 따른 유해가스의 발생 등 2차적 환경오염이 유도되어 심각한 사회 문제화되고 있다.

특히, 소각처리방법의 경우 폐플라스틱의 처리량이 많고 열 이용률을 극대화할 수 있는 장점이 있으나 플라스틱 자체가 지니고 있는 고도의 발열량과 일부의 플라스틱을 소각할 때 발생하는 SOx, NOx, HCl 등과 같은 부식성 연소가스 때문에 소각로의 가동 중단사태가 빈번히 발생함은 물론, 배기가스 및 분진으로 인한 3차적 환경오염의 문제가 발생하고 있다.

최근, 집단주거시설인 아파트단지나 일반주택에서 배출되고 있는 폐플라스틱의 경우 분리수거의 중요성에 관한 인식이 확산되면서 일부의 폐플라스틱이 재활용되고 있기는 하나, 아직까지도 전국민이 생활폐기물의 재활용운동에 적극적으로 참여하고 있지 못한 탓으로 대부분의 생활폐기물이 매립 또는 소각 처리되거나 수집장에 방치되고 있다.

일반적으로 분리 수거되고 있는 폐플라스틱을 성분별로 볼 때 PE, PP, PS, PET가 전체 량의 98% 이상을 점유하고 있고, 내구성 플라스틱인 PVC, BAS와 같은 플라스틱류는 대부분이 사업장 생활계 폐기물로 발생되고 있다.

특히, 일반가정에서 식료용기로 사용되고 있는 PET병의 경우 혼합폐플라스틱 중에서 큰 비중을 점유하고 있음을 알 수 있으며, 폐PET병의 회수율은 약 3.2%의 수준으로

대부분이 매립 처리되고 있다.

이와 같이 플라스틱의 사용량 증가로 폐플라스틱의 발생량은 급속히 증가하고 있으나 혼합폐플라스틱으로부터 재질별로 폐플라스틱을 선별하는 것이 매우 어렵고, 부피가 커서 재활용에 따른 경제성이 낮고 처리시설 또한 상당히 부족한 실정이다.

본 연구에서는 폐플라스틱의 각종 특성을 조사하고 폐플라스틱의 단점인 내한성의 특성을 부여하기 위해 첨가제를 개발함을 목적으로 하였다.

## 본 론

### 1. 혼합폐플라스틱의 재료 재활용 기술

혼합폐기플라스틱을 종류별로 분리하지 않고 재료 재활용하는 기술에는 특수한 압출기 등을 이용한 복합재생, 상용화제의 사용기술, 보강재를 이용한 복합재생 및 유화기술 등이 있다. 다음에 이 기술들의 현황에 대해서 살펴보았다.

#### 1.1 특수 압출기를 이용한 재활용

혼합 폐플라스틱을 그대로 압출기 등의 성형장치에서 용융 혼합시키는 공정은 첨가제 투입 없이 효과적인 용융 혼련에 의해서 혼합 폐수지를 가능한 한 잘 섞이도록 하는 공정이라고 할 수 있다.

즉 여러 가지 종류가 섞여서 크게 상분리가 되어 있는 폐수지를 높은 전단력 하에서 압출 등의 공정을 이용하여 분리된 상의 크기를 아주 미세하게 되도록 함으로써 비상용성에 의한 물성 저하를 최소한으로 줄이고자 하는 것이 목적이다.

그러나 각 종류간의 열역학적인 비상용성은 여전히 존재하고 있으므로 물성 저하 효과를 크게 낮출 수는 없는 근본적인 문제를

가지고 있어서 두꺼운 저급의 제품만을 제조할 수 있고 두께가 얇은 제품의 생산은 어려워져서 일반적으로 이러한 공정을 거쳐서는 두께가 5mm 이하의 제품 제조는 어려운 것으로 알려져 있다.

또한 일단 특수 압출기를 통해 나온 혼합 수지를 다시 사출 등의 다음 공정에 넣어서 제품을 만들게 되면 그 사출 등의 공정에서 열역학적인 비상용성으로 인하여 다시 각 수지가 거대한 상 분리를 일으키게 되므로 이러한 후 가공 공정을 거치면 물성이 다시 최초 상태로 저하되게 된다.

따라서 특수 압출기를 이용한 방법에서는 압출 혼합 후 후성형공정을 거칠 수 없게 되고 이러한 이유로 압출기 자체에 성형기를 부착시킨 형태가 나오게 되었다. 이러한 압출과 일종의 사출 성형을 혼합시킨 공정을 Intrusion process라고 부르며 1970년대에 네덜란드의 Klobbie에 의해서 혼합 폐수지에 처음으로 적용되었다.

### 1.2 내한성 첨가제를 이용한 재활용

혼합 폐수지의 경우 위에서 본 바와 같은 상용성 문제를 해결하기 위해서는 서로 분리된 상들의 계면에 존재하여 계면장력을 낮추어주고 계면간의 접착력을 증진시키기 위한 상용화제가 필요하게 된다. 상용화제가 들어가면 각 성분의 분산성이 좋아지고 이에 따라 물성이 좋아지게 된다.

특히 상용화제의 첨가 없이 혼합 폐수지를 용융 혼련하게 되면 약간의 가공 조건 변화 즉 온도나 rpm 변화 등에 매우 민감하게 모폴로지가 변화되게 되어 제품의 물성이 매우 불안정하게 된다. 그러나 상용화제에 의해 계면이 안정화될 경우에는 모폴로지가 안정화되어 물성이 향상되는 동시에 안정되고 약간의 가공 조건 변화에는 크게 영향을 받지 않게 되어 제품의 재현성이 좋아지게 된다.

상용화제에는 물리적인 성질만을 이용하

는 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. 반응은 주로 수지에 많이 존재하는 친핵성기와 반응형 상용화제에 많은 친전자성기 사이에 일어나는 경우가 일반적이다.

반응성기로는 무수말레인산, 에폭시, 카르보닐기 등이 많고 이들 반응성기는 상용화제의 말단 또는 측면에 부착되어 있는 경우가 대부분이다. 이들은 주로 플라스틱의 아미노기, 카르복실기, 하이드록실기 등과 반응하게 된다. 반응형 상용화제는 주로 혼합 페플라스틱에 첨가되어 압출기로 투입되어 압출되는 도중에 반응이 일어나서 물성이 증진되게 된다.

이것을 반응압출이라고 하는데 반응형 상용화제를 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.

현재 많은 회사에서 상용화제가 연구 개발되고 있는 일부는 상업 생산되고 있는데 표 1에 현재 시판중인 비반응형 상용화제를 나타내었고 표 2에 반응형 상용화제를 나타내었다. 이 표에 있는 상용화제들은 benet 상용화제를 제외하고는 모두가 virgin 수지용으로 개발된 상용화제로서 거의 모두 2종류의 수지를 혼합할 때 유용한 제품들이다.

물론 이들은 폐수지에도 사용 가능하나 제품 가격이 고가인점 등이 폐수지용으로의 사용을 제한하고 있다. 예를 들어 PET와 폴리에틸렌이 혼합되어 있는 페PET병의 경우는 SAN graft EPDM 인 Uniroyal Royaltuf 372가 유용하다고 알려져 있고 nylon과 PP의 혼합으로 되어있는 카페트

스크랩의 경우에는 maleated PP가 효율적인 것으로 보고되고 있다.

이외에도 2종류의 혼합 폐플라스틱에는 표 1 또는 2의 여러 가지 상용화제가 사용될 수 있겠는데 대부분의 상용화제가 2종류의 플라스틱을 대상으로 개발되어 있어서 혼합된 폐플라스틱의 종류가 늘어날 경우에는 효과가 저하될 것으로 예상된다.

Bennet는 폴리올레핀에 EVA, EPDM 등이 graft중합되어 있는 것으로 생각되는 제품으로 GR-10, GR-20, GR-25의 3가지 grade가 개발되어 있다. GR-10은 수지 전반에 사용이 가능하고 GR-20는 스티렌계, GR-25는 올레핀계에 적용 가능하다고 알려져 있다.

Bennet은 주로 2성분의 혼합 폐수지에 사용되고 있으며 일부 경우 2성분 이상에 적용되고 있지만 가격이 일반 수지에 비해 10배 이상인 점이 역시 사용상 제약을 받고 있는 실정이다.

따라서 3종류 이상의 혼합 폐수지에 대한 상용화제 기술이 연구될 필요성이 큰 것으로 생각된다. 반응형 상용화제는 적용이 가능한 혼합수지의 경우 소량으로도 효과가 큰 반면 반응을 수반하므로 압축기 내에서의 반응 조절 기술이 필요하고 또한 상용화제 자체가 비반응형에 비해 더욱 고가인 단점이 있다. 반응형 상용화제와 유사한 개념으로 유기 과산화물 등을 이용하여 혼합수지에 첨가하여 반응을 유발시켜서 수지 자체를 반응형으로 만들어 상용성을 높이는 기술도 최근 많이 연구되고 있는데 이 경우도 반응 조절 기술 및 첨가제의 축소 등이 계속 연구 개발이 필요한 부분이다.

### 1.3 보강제를 이용한 복합재생

폐수지에 보강제를 혼합시켜서 제품을 생산하고 있는 경우는 한국 자원재생공사의 보고서에서 자세히 설명되어 있는 대로 꽤 많은 회사에서 생산이 진행되고 있다. 대부

분의 경우에 목재 대용품이 많이 생산되고 있고 보강제로는 벚짚 등의 유기 섬유질이나 고지 또는 흙 등의 무기물질이 사용되고 있다.

일본의 아인 엔지니어링의 경우 폐수지와 톱밥으로 목재 대용품을 생산하고 있고 미국의 Xymax사의 경우는 목재 대용품용 펠렛을 생산하고 있다. 아인 엔지니어링의 경우 폐플라스틱과 톱밥을 약 5대 5로 혼합하는데 폐플라스틱은 건조후 2cm 정도 크기의 fluff 상태로 들어가고 톱밥은 2 $\mu$ m 이하의 미세 분말상태에서 1차 혼합된 후 다시 2차 압출을 거쳐 판모양으로 성형된다.

그런데 보강제를 이용한 폐수지의 재생과정에서도 혼합 폐플라스틱을 그대로 이용하는 경우는 매우 드물고 대부분 선별후 단일수지를 이용하거나 혼합수지를 사용하더라도 거의 폴리올레핀 주성분에 기타수지는 매우 소량을 포함시키는 정도이다.

이는 보강제가 첨가될 경우에도 연속상인 매트릭스는 결국 폐수지 부분이 되므로 이 부분이 혼합 폐수지일 경우 성분간의 비 상용성으로 인하여 강도가 약해져서 보강제 효과를 나타낼 수 없게 되기 때문이다. 따라서 보강제를 이용한 혼합재생의 경우에는 물론 보강제와 폐수지간의 계면기술도 중요하지만 폐수지 자체의 물성 유지가 역시 필수적이라고 볼 수 있다.

## 2. 내한성 첨가제 및 상용화제를 이용한 재활용 실험

앞에서 살펴본 대로 혼합 폐플라스틱의 재활용은 현재 국내외적으로 매우 제한적으로 진행되고 있고 대부분의 경우 산업계 폐수지를 이용하거나 또는 주로 폴리올레핀에 약간의 타수지가 소량 혼합되어 있는 폐수지의 재생에 국한되어 있는 실정이다.

그 이유는 역시 폐수지사 혼합될 경우 상용성이 없어서 물성이 저하되기 때문이다.

본 실험은 상용화제를 이용하는 기술의 한 예로서 LDPE, HDPE, PP, PS, PET, ABS 및 SAN 등이 혼합되어 있는 페플라스틱을 상용화제를 이용하여 재활용하는 연구 결과이다.

### 2.1 혼합 페플라스틱의 종류 및 조성

한국자원재생공사의 혼합 페플라스틱 발생 실태 조사에 의하면 각 사업소에서 수집된 혼합 페플라스틱의 종류 및 평균조성은 PE 26.5%, PP 23.8%, PS 14.6%, PET 23.4% 및 기타 11.7%이었다.

본 연구에서는 혼합 페플라스틱의 경우 각 성분들이 동량으로 포함되어 있는 경우가 일반적으로 상용성이 가장 좋지 않으므로 각 성분이 동량으로 존재하는 경우에 대해 주로 실험하였고 7성분계에 대해서는 표 3의 평균 조성을 기준으로 실험하였다.

일반적으로 PET는 분리수거가 용이하고 또한 PET만의 재활용은 그 부가가치 등으로 인하여 현재 상당수준 진행되고 있고 또한 기술적으로도 PET가 혼합폐수지에 포함되어 있는 경우에는 가공온도가 증가되어야 하는 등 경제성면 및 기술적인 면에서 PET는 분리 재활용하는 것이 유리하고 현실적으로도 가능하므로 PET를 제외한 LDPE, HDPE, PP, PS, ABS, SAN의 6성분계에 대해서도 연구하였다.

### 2.2 상용화제 및 내한성 첨가제

상용화제는 먼저 페플라스틱용으로 알려져 있는 기존의 상용화제를 사용하여 검토하여 보았고, 본 실험용으로 여러 가지 비반응형 및 반응형 상용화제를 사용하였다.

상용화제로는 EPR(ethylene propylene rubber), EPDM(ethylene propylene diene monomer), SEBS(styrene ethylene butylene styrene block copolymer), SEBS-MA (maleic anhydride modified styrene ethylene

butylene styrene block copolymer) 및 SBS (styrene butadiene styrene block copolymer) 등을 사용하여 실험하였고 이외에 유기 과산화물 종류들을 반응압출용 첨가제로서 사용하여 실험하였다. 첨가제로는 benzoyl peroxide(BPO) 및 glycidylmethacrylate를 이용하였다.

### 2.3 이중상용화제의 효과

먼저 LDPE와 PP 및 PET의 세 가지 종류가 혼합된 경우인 LDPE/PP/PET의 3성분계의 EPR, EPDM, SEBS 등을 사용하여 기계적 물성 등을 시험하였다. 또한 비교를 위하여 기존 폐수지용 상용화제도 첨가하여 시험하여 보았다.

상용화제의 양은 기초실험을 하여 본 결과 혼합 폐수지 전체의 양을 100으로 하였을 때 20 정도 넣는 것이 상용화제의 효과가 가장 확실하게 내충격강도 변화 등의 물성결과로 나타나는 것으로 확인되어 EPR, SEBS 등 각 상용화제를 20%씩 첨가하여 보았다. 이 경우의 내충격강도(izod impact strength) 결과를 표 4에 나타내었다.

여기서 볼 수 있듯이 LDPE/PP/PET의 3성분계 혼합 플라스틱의 내충격성은 1.7kgcm/cm로 매우 낮았고 EPR을 단독으로 첨가하였을 때는 내충격성이 약 2배 정도로 향상되기는 하였으나 그 폭이 크지는 않았다.

그런데 SEBS는 고가이므로 SEBS의 일부를 EPR 또는 EPDM으로 대체하는 실험을 진행하였다. 즉, 혼합 페플라스틱에 두 가지 상용화제를 동시에 넣는 실험을 진행하였다. 그 결과 SEBS를 10% 넣은 경우 내충격성이 21kgcm/cm로 약 10배 이상으로 크게 증가하였다.

즉, SEBS와 EPR을 각각 단독으로 20% 넣는 경우 보다 두 가지를 10%씩 동시에 넣었을 때 월등히 좋은 결과가 얻어졌다.

이 결과는 SEBS 보다 EPR 이 가격이

훨씬 저렴하므로 경제성 면에서도 유리하면서 물성은 더 좋아진 결과이므로 매우 바람직하다고 할 수 있다. SEBS와 EPDM을 10%씩 넣었을 때는 내충격도가 약간 증가하는데 그쳤다.

반응형 상용화 연구의 일환으로 EPDM의 경우는 dynamic curing 등이 가능하므로 SEBS와 EPDM을 각각 10%씩 첨가하고 동시에 반응성을 부여하기 위해 BPO를 첨가하였다.

이 경우 반응으로 인하여 표 5에 보인 바와 같이 EPDM에 BPO를 넣지 않은 경우보다는 내충격도가 더 상승하였으나 SEBS와 EPR 동시 첨가와 같은 정도에는 이르지 못하였다.

기존의 상용화제인 FC-1과 FC-2를 첨가하여 보았는데 그 결과는 표 5에서 볼 수 있듯이 큰 효과는 얻을 수 없었다. EPR과 SEBS의 이중 상용화제가 10대 10으로 첨가되었을 때 효과가 있는 것으로 나타났으므로 다음으로 EPR과 SEBS의 비율을 변경시켜보는 시험을 수행하였다.

표 5에 EPR과 SEBS를 조성을 변화시켜가면서 동시에 첨가할 경우의 상용화제가 물성에 주는 영향을 보였다. 여기서 볼 수 있듯이 EPR과 SEBS가 각각 10:10으로 첨가되었을 때와 비교하여 EPR과 SEBS를 15:5로 첨가하였을 때 내충격도가 낮아졌으나 탄성율이 높게 유지되었다.

또 EPR과 SEBS를 5:15로 넣었을 때는 내충격도가 가장 크게 증가하였고 탄성율과 인장강도는 15:5와 비슷하게 높은 수준을 유지하였다. SEBS를 사용할 경우 탄성율이 낮아지므로 이를 올리기 위해 변형 SEBS인 SEBS-MA로 대체하는 실험을 행하였다.

SEBS-MA와 EPR을 10:10으로 동시에 첨가하였을 때 혼합 페플라스틱의 내충격성을 EPR, SEBS 10:10의 경우보다는 약간 저하하였으나 탄성율 및 인장강도는 높은 수준을 유지하였다.

## 2.4 다성분계 혼합 페플라스틱

앞에서 3성분계에 대해서 이중 상용화제가 효과적인 것이 보여졌는데 이는 4성분 또는 5성분계에 대해서도 같은 결과를 나타내었다. 6종류의 혼합 페플라스틱에 대한 실험 결과를 표 6에 나타내었다.

표에서 보인 바와 같이 이중 상용화제를 사용한 경우 모두 내충격도는 약 10배 이상 증가하였다. 다음으로 비교를 위하여 3성분계에서 사용하여 보았던 FC-1과 FC-2를 상기 6성분계에 첨가하여 물성을 실험하여 보았는데 인장탄성율은 두 경우 모두 증가하였으나 내충격강도는 약 2배 정도 증가하여 3성분계 때와 마찬가지로 본 연구의 EPR과 SEBS의 이중 상용화제 보다는 효과가 적은 것으로 나타났다.

PET가 포함된 7성분계에서도 역시 마찬가지로 EPR과 SEBS의 이중 상용화제가 효과적인 것으로 나타났다. 반응압출에 의한 효과를 알아보기 위하여 상기 7성분계에 이중 상용화제와 함께 maleic anhydride 또는 glycidyl methacrylate를 첨가하고 압출하여 물성을 측정하여 보았는데 인장 탄성율은 증가하였으나 내충격도는 별로 증가하지 않았다.

다음으로 이러한 내충격성의 상승 등 기계적 물성의 상승이 고무의 성질이 있는 상용화제 자체의 물성 때문이 아니고 성분간의 상용성의 증진 때문인 것으로 확인되기 위하여 SEM사진 등을 조사하여 보았다.

상용화제를 넣지 않은 7성분계 혼합 플라스틱의 파단면에 대해 SEM사진을 찍어본 결과, 상이 분리된 구형 입자들이 매우 많이 보이고 계면간의 접촉력이 없어서 구가 떨어져 나간 반원 모양의 표면들이 많이 보이고 있어서 7성분계에서 성분간의 상용성이 없음을 매우 잘 보여 주고 있었다.

EPR과 SEBS를 동시에 첨가한 경우의 전자 현미경사진을 찍어보면 구형입자의 크기가 매우 작아져서 EPR과 SEBS가 상용

화제로 작용하였음을 알 수 있었다. 7성분계까지의 실험을 거쳐서 EPR과 SEBS를 이용한 비반응형 이중상용화제가 반응압출등을 이용한 반응형 상용화제 또는 여타 기존의 상용화제보다도 3성분계부터 7성분계까지의 어떠한 성분이 혼합되어있는 경우에 대해서도 효과적인 것으로 나타났다.

**2.5 사용량 축소 및 폐플라스틱 조성변화**

3성분계부터 7성분계까지의 혼합 폐플라스틱에 대해 EPR과 SEBS의 이중 상용화제가 효과적인 것은 앞서 살펴본 바와 같이 실험에 의해 확인되었는데 여기서 SEBS는 그 가격이 EPR에 비해서 상대적으로 고가이므로 이를 대체할 수 있는 실험이 행하여졌다.

SEBS를 대체할 수 있으면서 가격이 낮은 것으로는 SBS가 있으므로 SEBS를 SBS로 대체한 경우에 대해 실험하였는데 그 실험 결과는 표 7과 같았다.

SBS가 SEBS보다는 효과가 적을 것으로 예상되었는데 실험결과에서도 SEBS가 SBS로 대체됨에 따라 내충격 강도가 저하되었다. 그러나 원래의 6성분계에 상용화제를 넣지 않은 경우보다는 물성이 훨씬 좋았고 SBS의 사용이 경제성 면에서 훨씬 유리하게 되므로 이후 EPR과 SBS로 실험하였다. PET가 포함된 7성분계에서도 유사한 실험 결과가 얻어졌다.

지금까지는 상용화제를 전체 혼합 폐플라스틱 100에 대해 EPR과 SBS를 합쳐서 20%를 넣는 것을 기준으로 실험을 하였다. 그러나 이 비율이 축소될 수 있다면 경제성이 올라갈 수 있기 때문에 상용화제의 사용량을 축소하는 실험을 행하였다.

먼저 6성분계에 EPR과 SBS를 15/5로 넣는 것을 기준으로 이 양을 2분의 1 및 4분의 1로 축소하여 보았다. 결과는 표 8에 보인 바와 같이 내충격강도가 저하되었으나 여전히 상용화제 첨가 없는 6성분계보다는

높은 수치였고 탄성율은 오히려 증가하였다.

따라서 상용화제는 축소가 가능한 것으로 나타났고 적절한 내충격성과 가공성을 고려하여 EPR과 SBS를 합쳐서 10%정도를 첨가하는 것이 적당할 것으로 사료되었다. 역시 PET가 포함된 7성분계에서도 유사한 결과가 얻어졌다.

혼합 폐플라스틱의 조성은 산업현장에서 나오는 경우는 어느 정도의 비율이 유지되는 경우도 있으나 역시 변화하는 경우가 많고 일반적으로 수거된 폐플라스틱은 그 조성이 지역에 따라 다르고 또한 계절적으로 변하게 된다.

따라서 혼합 폐플라스틱용 상용화제로 6성분계 또는 7성분계까지 EPR과 SBS의 이중 상용화제가 효과적인 것으로 나타났는데 이 조성이 변화하는 경우에도 이중 상용화제가 계속 유효한지 검토하여 보았다.

혼합 폐플라스틱의 조성은 PE가 70%까지 증가하는 경우 즉, LDPE 35%, HDPE 35%인 경우에 대해 실험하였고 다음으로 PP가 50%까지 증가하는 경우, PS가 50%까지 증가하는 경우에 대해 7성분계에서 EPR/SBS를 15/5로 하고 실험하였다.

실험결과는 모든 경우에 내충격도가 크게 증가하였고 여타 기계적 물성도 적절히 유지되어 혼합 폐플라스틱의 조성이 변하여도 EPR과 SBS의 이중 상용화제가 여전히 유효함이 증명되었다.

**결 론**

혼합 폐플라스틱의 경우 어떠한 방법으로든 종류별로 분리가 가능한 열가소성 수지는 분리시킨 후 단순 재생하는 것이 물성 저하도 적고 재생품의 품질도 높일 수 있어서 가장 좋은 재활용 방법으로 생각된다. 그러나 분리가 곤란한 열가소성 수지의 경

우에는 상용화제들을 이용한 복합재생이 바람직하고 이 방법도 사용할 수 없는 상용화가 어려운 열가소성수지나 용융이 어려운 열경화성수지는 에너지 회수를 하는 것이 적당하다고 할 수 있겠다.

혼합 폐플라스틱 재활용품의 용도를 찾기 위해서는 플라스틱의 특성을 고려하여 플라스틱의 우수한 내수성, 내식성, 내충격성, 방음성 등이 필요한 부분에 사용하는 것이 좋을 것으로 보이고 또한 재생품이므로 외관이 중요시되지 않는 용도에 대한 개발이 필요하다.

## 문헌

1. K. Solc, Ed, Polymer Compatibility and Incompatibility, MMI Press, New York, 1982.
2. K. Mori, H. Hasegasa, & T. Hashimoto, Polymer J, 17, 799 (1985)
3. C.D. Han, J. Kim, J.K. Kim, and S.G. Chu, Macromolecules, 22, 3443(1989)
4. 정진철, 김동국, 정보 산업용 고분자, 한국 고분자 학회 강좌, 5(1985)
5. Bousquet, J. A. and J. Faure, J. Pierre, J. Polym. sci., Polym. Chem. Ed., Vol. 17, 168, 5-1700(1975)
6. 井上俊英, "高機能性 芳香族系 高分子材料", 高分子學會, 287(1990)
7. Hoyle, C. E. and E. Anzures, J. Apply. Polym. Sci., Vol.43, 11-18(1991)
8. Khanna, D. N. and W. H. Mueller, Poly. Eng. Sci., Vol. 29, No. 14, 954(1989)
9. SRI International Report, June (1991)
10. SRI International Report, Feb (1992)

표 1. 비반응형 상용화제

Company	Product	Structure	Application
Dow Chem	Tyrin	CPE	PE, PS에 양호
ARCO	Dylark	SMA	Nylon, PC
Uniroyal	Royaltuf	Graft copolymer	Polyester
Nippon Fat & Oil	Madiper A	Graft copolymer	
Toa	Reseda	Graft copolymer	
Mistubishi	VMX	Graft copolymer	PP/PS
Shell Chemical	Keaton G	Block copolymer	PS/PE
Asahi	Tuftek H	Block copolymer	

- \* SMA : Styrene Maleic Anhydride  
 PC : Polycarbonate  
 CPE : Chlorinated PE



표 2. 반응형 상용화제

Company	Product	Struture	Application
Bennet B. V.	Bennet	Graft copolymer	Waste plastic
DuPont	Bynel	MAH	Nylon
Uniroyal	Royaltuf 465A		Nylon
Orkem	Lotader 4700	Et/MAH/Acrylate	PA, PC
Shell Chemical	Kraton G 1901X	MAH	HDPE/PET
Asahi	Tuftek M	MAH	
BP Chemical	Polybond	Modified PE	
Toa	Reseda	Graft copolymer	
Nippon Fat	Modiper A		
Orkem	Lotader AX 8660	Modified PE	PA, PC
Sumotomo	Bondfast	Modified PE	PBT/PP,PA/PE
Nippon Pet.	Lexpal RA	Modified PE	PA,PPE
	Umax	Modified PE	
Rohm & Haas	Paraloid EXL 3386		PA, Polyester
Nippon Cat.	RPS, RAS	Oxazoline	

Et : Ethylene

MAH : Maleic Anhydride

PC : Polycarbonate

PA : Polyamide

표 3. 혼합 페플라스틱의 성분 및 조성

	변화범위	중간값
PE	17.5-42.4	30.0
PP	6.8-60.6	33.7
PS	10.5-32.9	21.7
PET	0-43.2	21.6
기타	0-7.5	3.8

표 4. LDPE/PP/PET 혼합 페플라스틱의 기계적 물성

LDPE/PP/PET	EPR	SEBS	SEBS-MA	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )	탄성율 (N/mm <sup>2</sup> )	신율 (%)	내충격강도 (kgcm/cm)
35/35/30	-	-	-	10.5	233	3.9	1.7
"	15	5	-	9.6	315	26.0	9.3
"	5	15	-	11.3	350	37.0	24.0
"	10	10	-	7.0	196	30.0	21.0
"	10	-	10	12.2	320	11.0	12.0

표 5. 이중 상용화제의 조성변화 및 반응형 SEBS의 영향

	LDPE/PP/PET	상용화제	내충격강도 (kgcm/cm)
L-0	35/35/30	-	1.7
L-1	"	FC-1	2.8
L-2	"	FC-2	1.8
L-3	"	EPR (20)	2.9
L-4	"	SEBS (20)	10.5
L-5	"	EPR/SEBS (10/10)	21.0
L-6	"	EPDM/SEBS (10/10)	5.2
L-7	"	EPDM/SEBS (10/10) /BPO	7.8

표 6. LDPE/HDPE/PP/HIPS/ABS/SAN혼합 페플라스틱의 기계적 물성

혼합플라스틱	EPR	SEBS	EPDM	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )	탄성율 (N/mm <sup>2</sup> )	신율 (%)	내충격강도 (Kgcm/cm)
100	-	-	-	9.9	510	3.0	1.8
"	10	10	-	11.7	397	20	23.8

표 7. SBS의 대체효과

혼합페플라스틱	EPR	SEBS	SBS	GF	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )	탄성율 (N/mm <sup>2</sup> )	신율 (%)	내충격강도 (kgcm/cm)
100	-	-	-	-	9.9	510	3.0	1.8
"	10	10	-	-	11.7	379	20	23.8
"	15	5	-	-	9.1	264	22	30.4
"	10	-	10	-	15.3	550	9.0	13.1
"	15	-	5	-	15.0	460	10.2	15.7
"	15	-	5	10	8.9	625	6.2	16.8

표 8. 상용화제 사용량 축소시의 혼합 페플라스틱의 물성변화

혼합페플라스틱	EPR	SEBS	SBS	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )	탄성율 (N/mm <sup>2</sup> )	신율 (%)	내충격강도 (Kgcm/cm)
100	-	-	-	9.9	510	3.0	1.8
"	3.75	-	1.25	10.3	1051	4.3	4.7
"	7.5	-	2.5	11.9	761	4.8	9.5
"	15	-	5	15.0	460	10.2	15.7