

## 貝角 廢棄物과 混合 廢플라스틱을 이용한 射出用 素材에 대한 研究

鄭美花 · 鄭溶贊\* · \*全炳喆 · 曹奉圭\*\*

水原大學校 新素材工學科, \*化學科, \*\*産業廢棄物再活用技術改發事業團

### Injection moldable material utilizing shell waste and recycled polyethylene

Mie Hwa Chong, Yong-Chan Chung\*, \*Byoung Chul Chun, and Bong Gyo Cho\*\*

Department of Polymer Engineering,

\*Department of Chemistry, The University of Suwon, Hwasung, 445-743, Korea

\*\*Industrial Waste Recycling R & D Center Taejon 305-350, Korea

#### 요 약

굴 양식의 부산물인 패각과 혼합 페플라스틱을 이용하여서 패각의 함유 및 패각 표면 개질에 따른 물성과의 상관관계에 관한 연구를 하였다. 먼저 패각과 순수 LDPE를 twin screw extruder를 사용하여 40 wt%의 마스터배치(masterbatch, M/B)를 제조한 후, 다시 이를 순수 LDPE와 섞어서 패각 함유 10 wt%에서 40 wt%까지의 사출용 시편을 제조하였다. 한편 순수 LDPE 대신에 혼합 페플라스틱을 이용하여 상기와 동일한 방법으로 사출용 시편을 제조하였고, 패각과 혼합 페플라스틱과의 상용성을 향상시키기 위해서 패각의 표면을 양이온과 양이온성 계면활성제로 치환하였다. 표면 개질 패각을 이용하여 혼합 페플라스틱과의 혼입을 통해 상기와 동일 함량을 갖는 사출 시편을 제조한 후 기계적 물성을 측정하였다. 측정 결과 표면을 개질한 패각을 함유한 혼합 페플라스틱은 미개질 패각 함유 시편에 비해 매트릭스와의 상용성 증가로 인해 굴곡강도, 압축강도, 열변형 온도 등의 물성 향상을 나타내었다. 따라서 패각을 함유시 혼합 페플라스틱의 기계적 물성의 향상으로 인해 새로운 용도 개발이 가능한 것을 확인하였다.

주제어 : 패각, 혼합 페플라스틱, 마스터 배치, 기계적 물성, 양이온

#### Abstract

Mechanical properties of shell powder containing mixed recycled plastics were investigated depending on the shell content and surface modification. First, shell powder and LDPE were compounded using the twin screw extruder to manufacture 40 wt% master batch(M/B), and the M/B was blended with LDPE to produce bulk specimens with 10, 20, 30 and 40 wt% shell content. To improve the compatibility of shell powder with mixed recycled plastics matrix, surface of shell powder was chemically modified with cations or cationic surfactant. Surface modified shell was also used to prepare bulk specimens with the same shell content. Mechanical property analysis showed obvious improvement for the surface modified shell containing bulk specimens compared to unmodified ones. These results can lead to the development of new applications for the mixed recycled plastics.

Key words : shell, mixed recycled plastics, master batch, mechanical property, cation

#### 1. 서 론

우리나라는 세계적인 굴 생산국으로 생산(알골 기준) 기준으로 약 300,000톤, 금액으로는 약 760,000,000천 원에 이른다. 굴 양식장은 전국 475개로 면적 기준으로

는 3,600 ha에 달하고 있고, 주 생산지는 경상남도과 전라남도 지방으로서 그 중에서도 경상남도 통영, 거제, 고성 등이 주 생산지이다. 굴 수출은 약 \$ 80,000,000에 달하고 있으며 어민 소득증대에 큰 역할을 하고 있다. 생산량의 발생과 함께 필연적으로 패각(굴 및 조개 껍데기)의 발생이 뒤따르고, 굴패각 발생량은 연간 약 250,000톤에 이르고 있다. 이 중에서 재활용(채묘용, 비

\*2005년 1월 14일 접수, 2005년 5월 26일 수리

\*E-mail: bcchun@mail.suwon.ac.kr

료용)이 되는 양은 약 100,000톤 정도에 불과하고, 나머지 150,000톤은 비처리 (해안아적, 매립 등) 되어서 버려지고 있어, 이에 대한 현지 어민들의 해결요구가 거세어지고 있는 실정이다.<sup>1)</sup>

현재 우리나라의 폐각 이용형태는 크게 4가지로 나눌 수 있다. ①분별→과쇄→사료 단계를 거치는 사료화, ② 폐각을 그대로 묻어 버리는 매립, ③재료용으로서의 이용, ④방치(야적) 등이다. 이 중에서 자원으로서의 이용가치를 살리는 사료화는 생산되는 전체량에 비하면 극히 일부 분이며, 재료용으로 이용되는 것을 제외하면 대부분이 하나의 폐기물로서 취급되고 있어, 실제로 많은 환경문제를 야기하고 있다. 이러한 현실을 감안하면 유효자원의 이용 및 환경 문제의 해소라는 측면에서 폐각의 효율적 이용에 대한 기술 개발이 절실히 요구되고 있다.<sup>2,4)</sup>

한편 폴리에틸렌은 전 세계적으로 53,000,000톤이 생산되고 있으며 생산 가능량의 관점에서 볼 때 미국이 14,700,000톤, 일본이 3,600,000톤에 이어 우리나라가 3,400,000톤으로 3위의 생산 가능량을 확보하고 있다. 그러나 우리나라의 경우, 실제 소비량은 1,800,000톤으로서 현저히 낮은 소비량을 나타내고 있다. 이러한 결과로 볼 때, 현재 우리나라의 폴리에틸렌 산업은 공급 과잉 현상을 나타내고 있으며, 따라서 향후 수지공급에는 문제가 없을 것으로 사료된다. 생산된 폴리에틸렌의 경우 일반 포장용으로 800,000톤, 농업용으로 600,000톤 정도가 소비되고 있는 실정이다.

이러한 높은 폴리에틸렌의 소비량 증가에 따라, 국내의 전체 폐플라스틱 발생량은 연간 약 300만톤에 이르고 있으며, 산업연구원에서 추정한 바에 따르면 2005년까지 주요 합성수지 폐플라스틱의 발생증가율은 합성수지 소비증가율 3.39%를 상회하는 연평균 5.06%가 되어 2005년에는 폐플라스틱 발생량이 현재의 300만톤에서 400만톤으로 증가할 것으로 전망되었다. 현재 폐플라스틱은 한국환경자원공사 등의 집하장에서 수집된 후 재활용이 가능한 것은 수작업에 의해 분리되고 나머지는 매립 또는 소각 처리되고 있다. 그런데 재활용 가능으로 분리되는 나머지는 종말 처리품으로 처리되는데 매립장에서도 받지 않으려 하는 추세로서 소각의 비중이 커지고 있는 실정이다. 실제로 종말 처리품으로 나오는 양이 재활용되는 양보다 훨씬 많으며 소각하는 비용은 각 지역에 따라 다르나 톤당 현재 약 10~20만원에 이르고 있는 실정이고, 이것도 대기오염 문제로 인하여 어려운 상황이다. 재활용되는 폐플라스틱은 재료 재활용에 의한 제품화, 화학적 재활용에 의한 유화, 모

노머 원료화 등이 이루어지고 있고 고품원료, 고로원료 등으로도 재활용이 추진되고 있다. 이 같은 상황에서 종말 처리품인 혼합 폐플라스틱의 재활용 기술개발은 매우 시급한 실정이다.<sup>5,7)</sup>

따라서 본 연구에서는 상기에 언급한 혼합 폐플라스틱과 같은 고분자 제품의 활용 방안과 매년 엄청난 생산량을 보이고 있는 폐각의 처리를 접목하여 폐각과 혼합폐플라스틱을 이용하여 사출용 소재에 대한 연구를 하였다. 또한 폐각과 혼합 폐플라스틱과의 상용성 향상을 위해서 폐각 표면을 화학적으로 개질한 후 물성과의 상관관계에 대해서도 조사하였다.

## 2. 시료 및 실험방법

### 2.1. 시료

본 연구에 사용한 폐각 분말은 경상남도 통영에 위치한 H사에서 구입하였으며, 입도분석결과 입자의 크기는 비료용은 30  $\mu\text{m}$ , 미분용은 2~3  $\mu\text{m}$  정도이어서 사출용 시편 제조에 적합하였다. 이 폐각분말은 자연 상태에서 2년 이상 세척, 건조 과정을 거치고 추가적으로 세척 및 고온 소성 (700°C)을 통하여 염분, 조류 그리고 미생물의 제거 및 살균과정을 거쳐 분말형태로 분쇄되어 제조되었다. 본 실험에서는 입수된 폐각 분말을 2차 증류수 (폐각 1kg 당 1 리터의 증류수 사용)를 이용하여 상온에서 하루 동안 교반하여 세척하고, 필터하여 회수하였다. 이 과정을 3회 정도 반복하여 얻어진 정제된 폐각 분말은 150°C의 오븐에서 하루 동안 건조하여 수분을 제거하였다. 이러한 정제과정을 거쳐 폐각 분말은 외견상으로 짙은 갈색에서 연한 갈색으로 변하였고, 염분 및 바다냄새가 거의 사라졌으며, 세척된 용액의 pH도 중성을 유지하였다. LDPE는 한양화학의 HYCC 5321 그레이드를 구입 사용하였으며, 혼합 폐플라스틱은 전라남도 담양에 소재한 한국환경자원공사에서 생산한 것을 그대로 사용하였다(LDPE 70wt%, HDPE 30 wt%).

### 2.2. 표면개질

폐각 분말은 주로 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )이 주성분이어서 표면에 음이온성의 전하를 갖고 있고 전기적 안정성을 위해 반대 이온인 칼슘이온이 정전기적 인력으로 결합되어 있는 형태이다. 폐각 분말의 다른 성분으로서는 CaO,  $\text{SiO}_2$ , 미량금속(Mn, Fe, Zn 등) 등이 있다. 그런데 표면의 칼슘이온 대신에 항균성, 기체 흡착성, 약취(또는 휘발성 유기물) 흡수성이 높은 다른 이온으로 개

질시킴으로서 패각의 기능성을 부여할 수 있다. 따라서 먼저 계면활성제의 표면치환을 위해서는 표면의 음전하와 결합할 수 있는 양이온성 계면활성제를 선택하였고, 이 중에서 비교적 많이 이용되어져 가격 경쟁력, 재현성, 안정성이 높은 CTAB(n-cetyltrimethylammonium bromide)를 사용하였다. 계면활성제들은 Aldrich Chemical의 제품을 사용하였고, 순도는 99% 이상이였다. 상기 정제된 패각분말을 50 mM의 계면활성제 수용액 1 리터에 넣고 3일 동안 서서히 교반하여서 표면에 계면활성제가 치환되도록 하였고, 필터하여 패각 분말을 회수하여 건조 (150°C) 하였다.

2.3. 마스터 배치 및 사출시편 제조

표면 개질 및 미개질 패각 분말과 LDPE(HYCC 5321)를 이용하여 2축 혼련기(twin screw extruder, Bau Tech BA-19)에서 패각 기준 40 wt%의 마스터배치(MB)를 제조하였다. 이때의 온도조건은 feeder zone에서는 180°C, mixing zone 및 metering zone에서는 200°C 정도로 유지하였다. 상기 마스터배치와 LDPE 및 혼합 폐플라스틱으로 mini-max molder(Bau Tech BA-915)를 사용하여 사출용 시편을 제조하였고, 이때 제조한 사출 시편은 패각 기준으로 10, 20, 30 및

40 wt%의 4가지로 하였다.

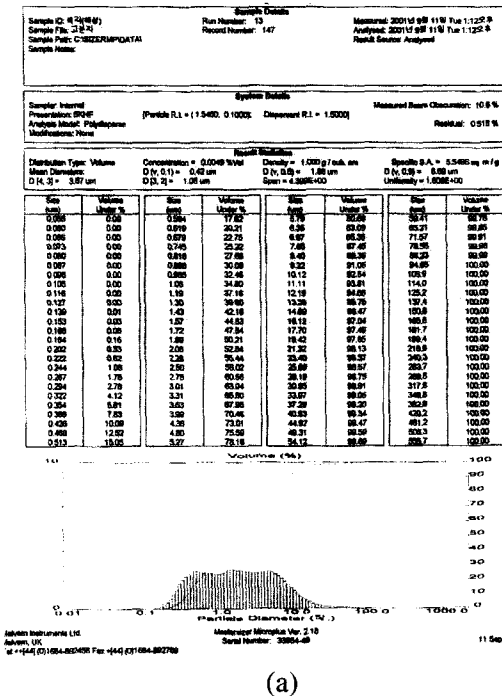
2.4. 기계적 물성평가

제조된 시편에 대한 인장, 굴곡, 압축, 충격 강도와 열변형 온도(HDT)를 측정하였다. 인장, 굴곡, 압축 강도는 Lloyd사의 LR50K를 이용하여 상온, 상대 습도 60%의 표준 조건 하에서 실시하였으며, 각각 10개의 시편을 측정 후 그 평균값을 plot 하였다. 한편 충격 강도는 Izod impact tester(Testing Machine Inc. 43-02)를 이용하여 측정하였고, 인장과 마찬가지로 각각 10개의 시편을 이용하여 평균치를 plot 하였다. 열변형 온도(HDT)는 HDT-Vicat Tester(ATS Farr MP/3)를 이용하여 측정하였고, 각각 6개의 시편을 이용하여 평균치를 plot 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 패각 및 폐플라스틱 성분분석

Fig. 1은 본 실험에 사용한 2종류의 패각 분말의 입자크기를 분석한 입도분석 결과이며 미분의 경우는 평균 입자 크기가 2~3 μm 정도, 그리고 비료용은 평균 입자 크기가 30~40 μm 임을 확인하였다. 본 연구에서



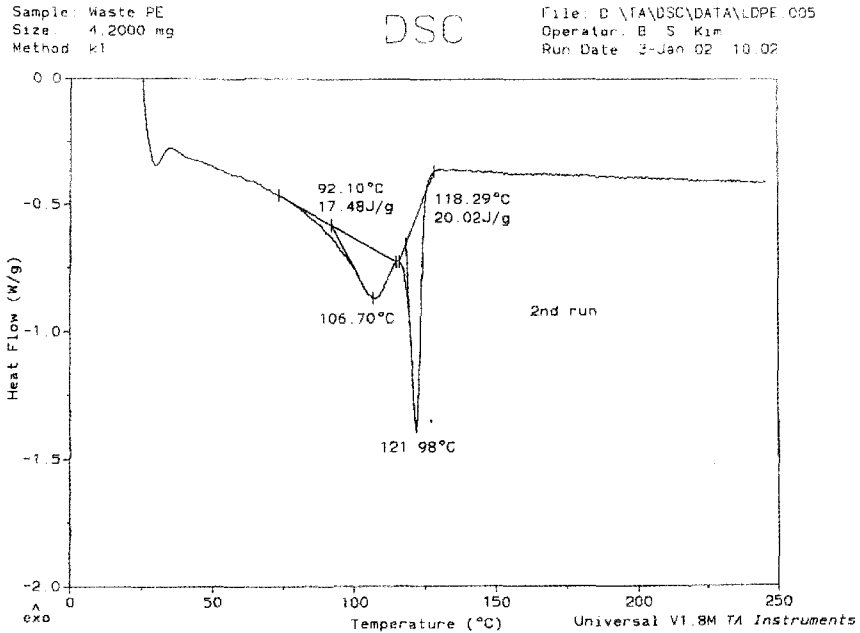


Fig. 2. DSC thermogram of recycled polyethylene (PE).

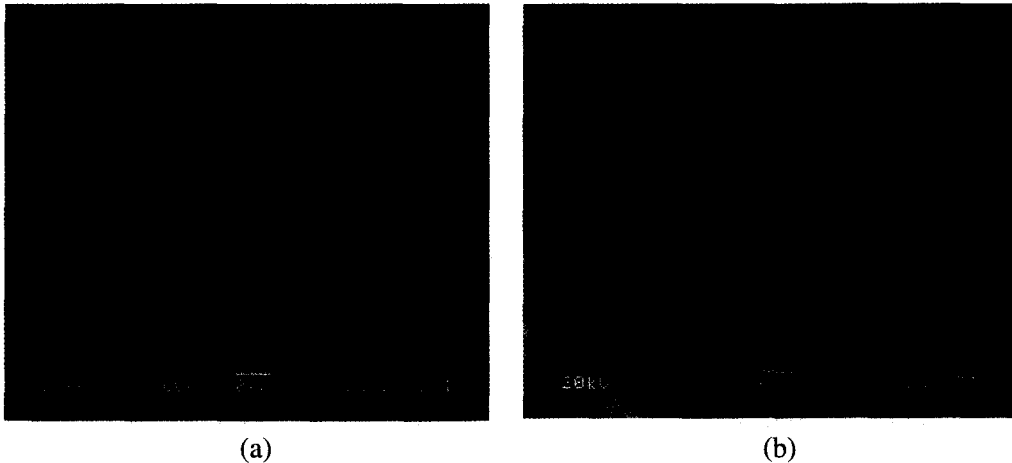


Fig. 3. SEM photographs of liquid nitrogen fractured surfaces of shell containing LDPE specimens (a) 80 wt% LDPE/20 wt% shell and (b) 80 wt% recycled PE/20 wt% shell.

는 벌크시편을 이용하여 기계적 물성을 측정하는 실험이기 때문에 사출용 재료에서는 2 종류의 패각 분말을 사용할 수 있었다. 만약 필름시편 제조시에는 비료용 그레이드는 입자크기로 인하여 사용이 제한될 수 있다.

Fig. 2는 본 실험에서 사용한 혼합 페플라스틱의 differential scanning calorimeter thermogram을 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 바 같이 106.70°C와 121.98

°C의 두 개의 용융 peak가 나타나는 것으로 보아서 본 혼합 페플라스틱은 LDPE와 HDPE의 혼합물로서 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2. 패각 복합재료의 인장 물성

Fig. 3은 순수 LDPE 및 혼합 페플라스틱에 20 wt%의 패각이 함유된 시편을 액체질소 하에서 파단시킨 파

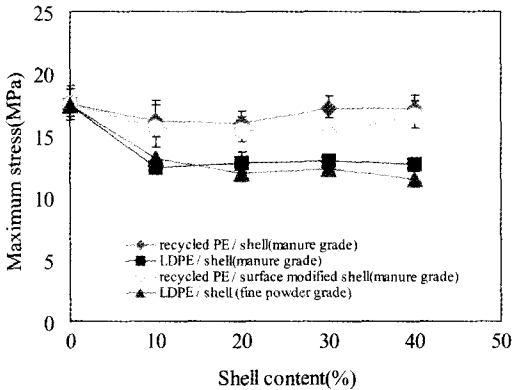


Fig. 4. Maximum stress of shell containing various bulk samples.

단면을 보여주고 있다. 보이는 바 같이 폐각 분말들이 LDPE 및 페플라스틱 매트릭스 상에서 고르게 분산되어 있는 사실을 확인하였고, 따라서 폐각 입자들의 분산에는 큰 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

Fig. 4 및 5는 LDPE와 폐각을 이용하여 마스터배치를 제조한 후 여기에 각각 LDPE와 페플라스틱을 혼합하여서 제조된 시편의 인장 물성을 보여주고 있다. Fig. 4의 인장실험 결과 LDPE/폐각 복합체의 최대 응력은 순수 LDPE의 17MPa 정도에서 폐각이 함유됨에 따라 초기 10 wt% 폐각 농도까지는 급격한 감소를 그 이상에서는 큰 변화를 나타내지 않았다. 한편 폐각 그레이드의 종류 변화(비료용 vs. 미분용)에 따른 물성도 큰 차이를 보이지 않고 유사한 경향을 나타내었다. 한편, Fig. 4에서 보이는 바 같이 폐각 함유 페플라스틱 복합체에 대한 인장실험 결과 최대응력은 LDPE/폐각 복합체의 경우 폐각의 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인 반면에 페플라스틱/폐각 복합체는 큰 변화를 나타내지 않고 초기의 강도를 유지하는 것을 확인하였다. 또한 폐각 표면을 개질한 경우는 개질하지 않은 폐각을 이용한 경우에 비해서 약간 낮은 인장강도를 나타내었지만, 이 경우에도 LDPE를 매트릭스로 한 폐각 복합체에 비해서는 월등히 우수한 인장강도를 나타내었다. 이는 페플라스틱 자체가 LDPE와 HDPE로 구성되어 있기 때문에 HDPE의 우수한 물성에 기인한다고 사료된다.

한편, Fig. 5의 파단신율은 LDPE와 페플라스틱 모두 선형적으로 감소하는 경향을 보였다. 표면을 개질한 폐각을 함유한 페플라스틱 복합체의 파단신율은 개질 및 미개질 폐각에 관계없이 선형적으로 감소하는 경향을 보였으나, CTAB로 표면 개질된 폐각에서는 10,

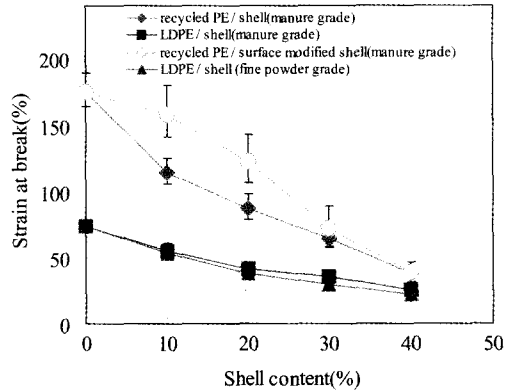


Fig. 5. Strain at break of shell containing various bulk samples.

20 wt% 폐각 농도에서 미개질 폐각에 비해 우수한 파단신율을 나타내었다. 이는 표면개질 폐각의 페플라스틱 매트릭스와의 상용성 증가로 인한 것으로 사료된다.

이와 같이 2종류의 폐각 그레이드와 LDPE를 매트릭스로 사용한 복합체의 인장 물성 측정결과 폐각 그레이드 변화에 의한 기계적 물성은 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 다음 단계의 실험에서는 가격이 저렴한 비료용 폐각 그레이드를 이용하여 폐각함유 사출 그레이드에 대한 열변형, 압축, 굴곡 강도분석을 시도 하였다.

### 3.3. 폐각 복합재료의 충격, 열변형 온도, 굴곡 및 압축 강도

Fig. 6의 충격강도는 LDPE가 매트릭스인 경우 폐각 함량 10 wt%까지는 증가하다가 그 이상의 함량에서는

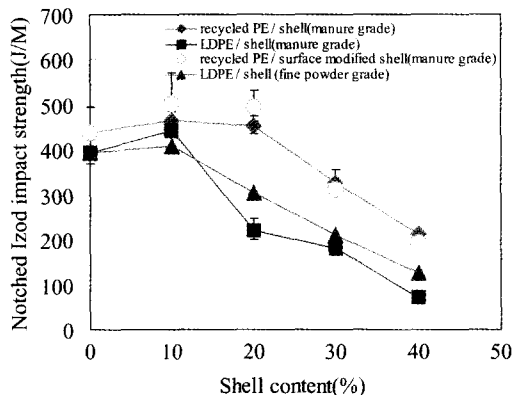


Fig. 6. Notched Izod impact strength of shell containing various bulk samples.

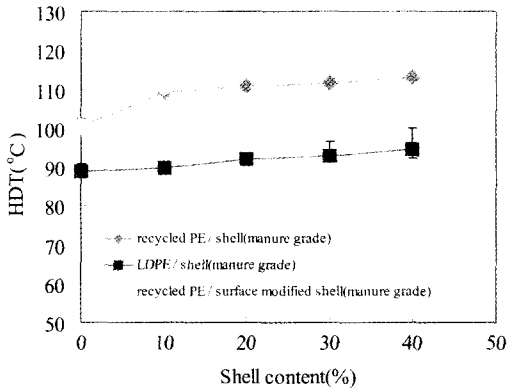


Fig. 7. HDT of shell containing various bulk samples.

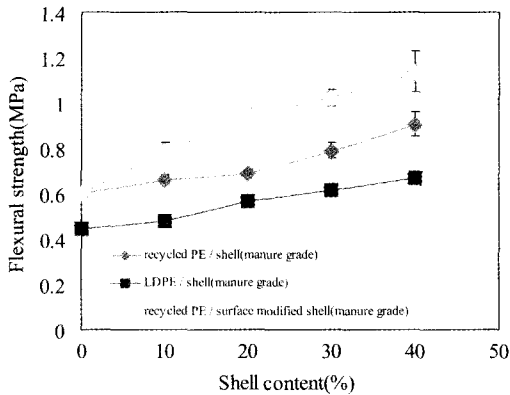


Fig. 8. Flexural strength of shell containing various bulk samples.

감소하는 경향을 보이는데 비해서, 페플라스틱이 매트릭스인 경우는 폐각 20 wt%까지는 순수 페플라스틱 이상의 충격강도를 유지하다가 그 이상에서는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 폐각 함량 20 wt%까지는 순수 페플라스틱의 물성 이상이므로 사출용도로는 큰 무리 없이 사용될 수 있을 것으로 예상되어진다. 한편 표면개질 폐각을 함유한 혼합 페플라스틱의 경우 미개질 폐각에 비해서 폐각 함량 10 wt% 및 20 wt%에서는 우수한 충격강도를 나타내었다.

Fig. 7은 폐각 함량의 변화에 따른 열변형 온도(HDT, heat deflection temperature)를 나타낸 것으로 이 역시 폐각의 함량이 증가함에 따라 열변형 온도가 전반적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 순수 LDPE의 경우 열변형 온도의 상승효과는 미약하였으나, 페플라스틱 및 표면개질 폐각 함유 페플라스틱 복합체의 경우는

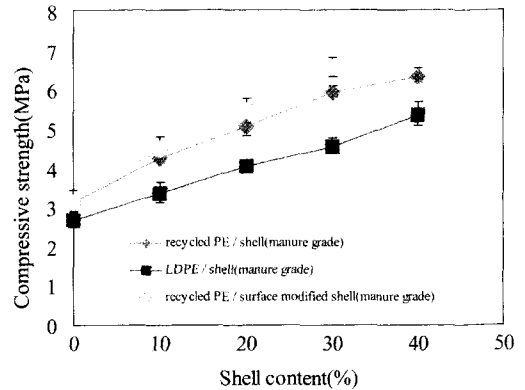
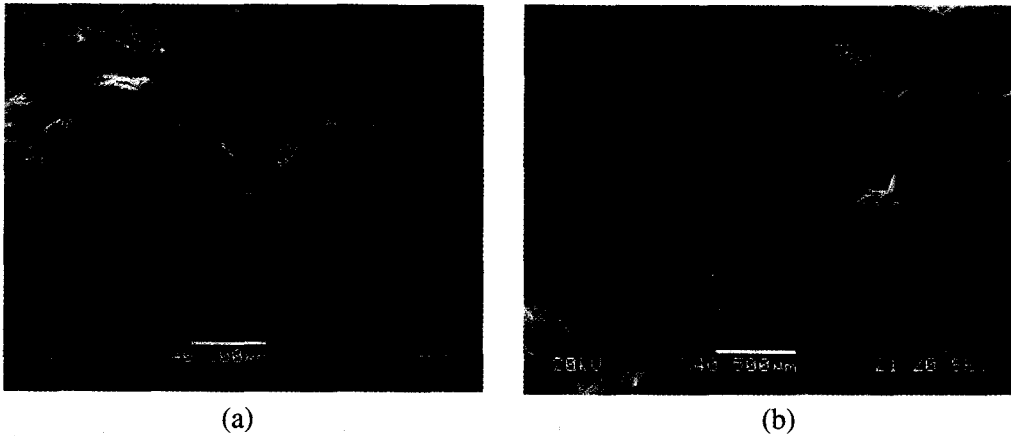


Fig. 9. Compressive strength of shell containing various bulk samples.

뚜렷한 증가를 나타내었고, 여기에서도 폐각 표면개질의 효과를 관찰할 수 있었다.

Fig. 8과 9에 나타난 굴곡강도와 압축강도 측정결과 전반적으로 폐각 함량 증가와 함께 굴곡강도도 증가하였고, 특히 CTAB로 개질된 폐각을 함유한 페플라스틱 복합체의 경우 월등한 굴곡강도의 향상을 나타내었다. 예를들어 폐각을 40 wt% 정도 함유한 페플라스틱/개질 폐각 복합체의 경우 LDPE/폐각 복합체에 비해서 2배 정도의 높은 굴곡강도를 나타내었다. Fig. 9의 압축강도도 굴곡강도와 유사한 경향을 나타내었으며, 특히 폐각 40 wt%를 함유한 페플라스틱/표면개질 복합체의 경우 순수 페플라스틱에 비해서 2배 이상의 높은 압축강도를 나타내었다. 또한 굴곡강도와 유사하게 표면 개질된 폐각을 함유하는 복합체의 압축강도는 전반적으로 미개질 폐각에 비해서 우수하였다.

따라서 굴곡 및 압축강도 측정결과 LDPE/폐각과 페플라스틱/개질 폐각 복합체 모두 폐각의 함량이 증가함에 따라 굴곡강도와 압축강도 모두 증가하는 경향을 보였다. 이는 폐각의 함량이 높아질수록 보다 복합체가 단단해지면서 굴곡강도나 압축강도 모두 증가하는 것으로 사료되어진다. 또한, 개질된 폐각이 미개질된 폐각보다 물성이 소폭 증가함을 확인할 수 있었는데 이것은 개질제가 폐각의 표면 활성도를 증가시켜 수지와 의 접착력을 증가시킨 것으로 사료되어지며 Fig. 10에서 개질된 폐각과 미개질된 폐각을 함유하는 페플라스틱 복합체의 충격 파단면을 SEM으로 관찰한 결과 개질 폐각을 사용한 경우 폐각과 수지와의 향상된 계면 결합력으로 인한 증가된 매트릭스 소성변형을 보여주고 있다.



**Fig. 10.** Notched Izod impact fractured surfaces of (a) 80 wt% LDPE/20 wt% surface unmodified shell, and (b) 80 wt% recycled PE/20 wt% surface modified shell.

#### 4. 결 론

현재 굴양식장의 폐기물로 문제가 되고 있는 굴 폐각을 이용하여 플라스틱과의 복합체 제조를 통한 사출용 소재 개발을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

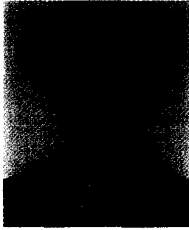
1. 미분 및 비료용 폐각을 이용하여 각각 LDPE와 페플라스틱에 혼입한 결과 인장강도는 폐각의 종류에 따라서는 큰 차이를 나타내지 않고, 매트릭스의 종류에 따라서 LDPE와 HDPE의 혼합물로 이루어진 페플라스틱의 인장강도가 순수 LDPE 매트릭스에 비해서 전반적으로 우수하였다.
2. 파단신율의 경우 폐각의 함량이 증가됨에 따라 신율은 선형적으로 감소하였으나, 이 경우에도 폐각의 표면을 계면활성제로 개질한 복합체의 파단신율이 가장 우수한 것으로 판명되었다.
3. 충격강도의 경우 페플라스틱이 매트릭스인 경우 폐각 20 wt%까지는 충격강도의 증가가, 특히 개질폐각을 사용할 경우 우수한 충격강도를 관찰할 수 있었으며, 그 이상의 함량에서는 선형적인 감소를 관찰하였다.
4. 열변형온도, 굴곡강도, 압축강도 측정결과 폐각 함량이 증가함에 따라 모든 물성이 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었고, 페플라스틱이 매트릭스로 사용되었

을 때 LDPE 매트릭스에 비해서 우수한 결과를 나타내었다. 한편 표면이 개질된 폐각의 경우 미개질폐각에 비해서 향상된 기계적 물성을 나타내는 것으로 확인되었다.

5. 상기와 같은 기계적 물성 실험결과 80 wt% 페플라스틱과 20 wt% 개질폐각의 조성이 전반적으로 가장 우수한 물성을 나타내는 것으로 확인되었고, 향후 이를 이용한 사출용 소재로의 응용이 기대된다.

#### 참고문헌

1. Kho, H. Jang, S., and Sung, N., 2002: J. of Korean Resources Recycling Inst. 11, pp. 45-51.
2. Park, J. Lee, K., and Yoon, H., 2003: J. of Korean Geotechnical Society 19(1), pp. 10-17.
3. 2004 Statistical yearbook of maritime affairs and fisheries, Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, Korea.
4. Korea Development Institute, Internal Report, 2002: RA 017-2023454.
5. Costes, B. and Henry, Y., 1996: Polymer Degradation and Stability, 54, pp. 329-332.
6. Owens, S. R. and Harper, J. F., 1999: Polymer Degradation and Stability, 64, pp. 449-455.
7. Akashi, H. Sekai, K. and Tanaka, K., 1998: Electrochimica Acta, 43, pp. 1193-1197.



### 全炳喆

- 1980년 서울대학교 섬유공학과 졸업
- 1982년 서울대학교 섬유공학과 대학원 졸업
- 1988년 University of Michigan 고분자 공학 박사
- 현재 수원대학교 신소재공학과 교수



### 鄭溶贊

- 1983년 서울대학교 화학과 졸업
- 1990년 Rutgers 화학박사
- 1993년 Lehigh 박사후 연구원
- 현재 수원대학교 화학과 교수



### 曹奉圭

- 1979년 한양대학교 화학공학과 졸업
- 1991년 University of Lowell 고분자 공학 박사
- 1992년 한화그룹종합연구소 수석연구원
- 현재 한국지질자원연구원 프론티어 사업단 책임연구원



### 鄭美花

- 2003년 수원대학교 신소재공학과 졸업
- 2005년 수원대학교 신소재공학과 대학원 졸업

《광 고》 본學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

- \* EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원  
(International Symposium on East Asian Recycling Technology)
- \* 자원리사이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
- \* 학회지 합본집 I, II, III, IV 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)  
(I : 통권 제1호~제10호, II : 통권 제11호~제20호, III : 통권 제21호~제30호, IV : 통권 제31~제40호)
- \* 한·일자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
- \* 한·미자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
- \* 자원리사이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
- \* 日本의 리사이클링 産業(1998년 1월)395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文知社
- \* EARTH 2001 Proceeding (2001) 788쪽, 價格 : 100,000원  
(The 6th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
- \* 오재현의 자동차 리사이클링기행(2003년 2월) 312쪽, 價格 : 20,000원, 발행처-MJ미디어
- \* 리사이클링백서(자원재활용백서, 1999년) 440쪽, 價格 : 15,000원, 발행처-文知社
- \* 리사이클링백서(자원재활용백서, 2004년), 578쪽, 價格 : 27,000원, 발행처-淸文閣