

## 복합 첨가제를 이용한 GRT/waste HDPE 압출성형 복합소재의 특성연구

안기철, 김준석, 박진서, 한성호, 김승록<sup>1</sup>, 임순호<sup>2</sup>, 강기홍<sup>3</sup>, 한 춘\*  
 광운대학교, Thermo Haake<sup>1</sup>, 한국과학기술연구원<sup>2</sup>, 한국측온(주)<sup>3</sup>  
 (chan@daisy.kwangwoon.ac.kr\*)

### A Study on Characteristics of GRT/waste HDPE Extruding Composites Using mixed Additive

K.C. An, J.S. Kim, J.S. Park, S.H.Han, S.R. Kim<sup>1</sup>, S.H. Lim<sup>2</sup>, K.H. Kang<sup>3</sup>, C. Han\*  
 Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Thermo Haake<sup>1</sup>, KIST<sup>2</sup>,  
 Korea Chuk Eun<sup>3</sup>  
 (chan@daisy.kwangwoon.ac.kr\*)

#### 1. 서론

산업의 발전과 국민 생활 수준의 향상에 의해 많은 양의 폐기물이 해마다 배출되고 있는 추세이다. 특히 선진국일수록 페타이어와 폐플라스틱은 많은 배출양으로 인해 폐기물 처리에 있어 사회적으로 크게 문제시되고 있다.

우리나라에서 자동차로부터 배출되는 페타이어 등 고무류는 연간 2만6천3백여톤에 이르며 발생하는 페타이어의 수량은 2001년도 기준으로 약 1,692만개에 이른다. 폐플라스틱 발생량 역시 1990년 이후 해마다 10%이상씩 증가하여 2001년에는 약 5,063천톤에 이르고 있다. 하지만 두 폐기물의 처리에 있어 재활용율은 페타이어의 경우 약 80%, 폐플라스틱은 약 30%로 턱없이 낮은 상태로 나머지는 매립이나 소각을 통해 처리하고 있다. 하지만 반영구적인 분해기간과 제2차 공기오염의 공해유발로 인해 재활용되지 않은 폐기물 처리가 크게 문제시되고 있다. 위와 같은 문제의 심각성을 고려한 선진 외국의 경우 다각도의 재활용 활용방안 개발에 있어 미국은 냉각분쇄된 GRT(Ground Rubber Tires)를 이용한 불포화 폴리에스트 수지와 혼합 성형물등에 대한 개발을 추진하고 있으며 캐나다에서는 GRT를 폴리에틸렌 블렌드들의 충전제 (Filler)로 이용하려는 연구들이 진행중이다. 특히 호주에서는 정부 지원과제 (GIRD; Generic Industry Research & Development - Project No. 150657)로서 산업체, 대학 (RMIT, Polymer Technology Centre) 및 연구소 (CSIRO Division of Building, Construction & Eng.) 합동으로 이러한 경제적인 고물성 혼합 소재 개발에 박차를 가하고 있다. 따라서 우리나라에서도 폐고무류의 열분해를 통한 에너지화 및 고무 아스팔트와 철로의 침목 대체 재료등 단순한 1차적인 재활용 단계를 초월하여 폐고무류와 폐플라스틱과의 혼합 (Blending) 성형 비율 조절, 첨가제 및 물리적 방법 (GRT의 Mechanical devulcanization 등) 을 이용한 제품 개발의 용도에 부합하는 물성의 유도, 값비싼 첨가제를 배제한 고점착성 Matrix 플라스틱 및 블렌드의 개발등을 통해 배수관, 정화조, 방음제 및 건축 자재용 고성능 복합재료등 고부가가치의 미세 성형 재료를 개발함으로써 폐자원에 대한 효과적이고 환경친화적 재활용이 요구된다.

본 연구에서는 GRT/waste HDPE 복합소재 제조를 위하여 single extruder를 이용하여 GRT/waste HDPE 복합소재에 첨가제로 점착성 plastic, virgin PP, 활제를 첨가시켜 GRT/waste HDPE계면간 상용성 향상 및 기계적 물성치 향상 여부 등 압출성형 복합소재에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험

### 가. 시료 규격.

GRT는 truck tire로서 -40mesh 고무분말을 구입하여 사용하였으며, 이들의 공업분석 및 원소분석을 Table 1, 2에 나타내었다. 또한, 플라스틱은 현 국내에서 가장 많이 배출되는 폐플라스틱중 한가지인 waste HDPE(한국자원재생공사)를 사용하였으며 GRT/waste HDPE 계면간 상용성 향상 및 압출성형 복합소재의 기계적 물성치 향상을 위해 첨가제로 LLDPE에 무수 말레인산기를 도입시켜 점착성을 향상시킨 점착성 plastic과 비교적 저렴하면서 우수한 물성을 갖는 virgin PP(주대한유화, grade:4017), extruder 내에서 물질과 기계의 마찰을 줄여 물질간에 좀더 잘 섞이도록 활제((주)신원화학, Hi-Flow)를 사용하였다.

Table 1. Proximate analysis of waste tire. Table 2. Elemental analysis of waste tire.

Component	Contents (wt%)
Moisture	1.00
Volatile	69.78
Ash	4.89
Fixed-C	24.33

Component	Contents (wt%)
Nitrogen	1.17
Carbon	81.64
Hydrogen	8.12
Sulfur	1.84
Oxygen	7.23

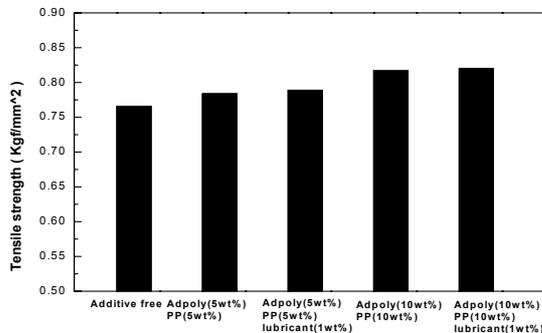
### 나. 실험 방법.

실험에 사용된 GRT(size=-40mesh)와 waste HDPE는 첨가제로 점착성 plastic, Virgin PP와 함께 screw외경 40 $\phi$ , 싱글 압출기 L/D 24:1, 모터용량 5HP인 single extruder를 이용하여 Pipe형 복합소재를 제조 하였다. 성형 온도는 각소재의 melting temperature를 감안하여 조절 하였으며 첨가제는 GRT(50wt%)/waste HDPE 복합소재에 점착성 플라스틱(Adpoly)과 virgin PP를 GRT(50wt%)/waste HDPE 복합소재 함량대비 각각 5wt%, 10wt%씩 복합 첨가하고 여기에 각각 활제를 1wt% 첨가하여 압출성형 하였다. 압출성형된 복합소재는 ASTM 638-1규정에 따라 tensile strength, strain at yield시편과 flexural strength시편을 제작하여 물성을 측정하였고 이를 바탕으로 첨가제 첨가여부에 따른 압출성형 복합소재에 미치는 영향 및 물리적 특성에 관해 고찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

GRT/waste HDPE 복합소재 압출성형시 가장 문제가 되고 있는 각 성분들간의 계면간 상용성 향상 및 물성향상을 위해 첨가제로 LLDPE에 무수말레인산기를 도입시켜 점착성을 향상시킨 점착성 plastic과 비교적 저렴하고 물성이 우수하며, PE계열 plastic과 상용성이 우수한 virgin PP, 물질간의 상용성에 도움을 줄 수 있는 활제를 혼합하여 이들이 GRT/waste HDPE 압출성형 복합소재에 미치는 영향에 관하여 실험하였다.

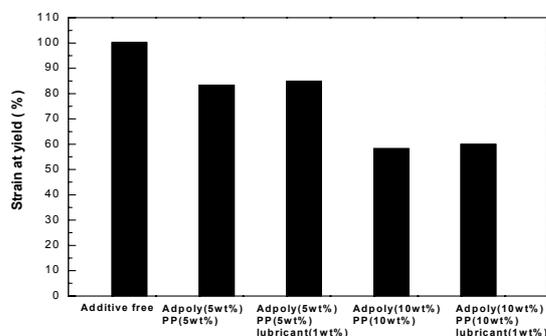
가. 첨가제 함량에 따른 GRT(50wt%)/waste HDPE 압출성형 복합소재의 tensile strength 변화특성



[Fig.1] Effects of mixed additive and lubricant concentrations on the tensile of the GRT(50wt%)/waste HDPE composites pipe

GRT(50wt%)/waste HDPE 압출성형 복합소재에 첨가제인 점착성 plastic, PP, 활제를 첨가 시 첨가제의 함량이 증가할수록 복합소재의 tensile strength는 증가하였다. 점착성 plastic과 PP가 각각 10wt%씩 첨가되고 활제가 1wt% 첨가되었을 때 복합소재의 tensile strength는 0.82kgf/mm<sup>2</sup>를 기록하여 첨가되지 않은 복합소재의 인장강도 0.76kgf/mm<sup>2</sup>와 비교시 0.12kgf/mm<sup>2</sup>의 강도가 향상하여 가장 큰 물성 증가를 보였다.

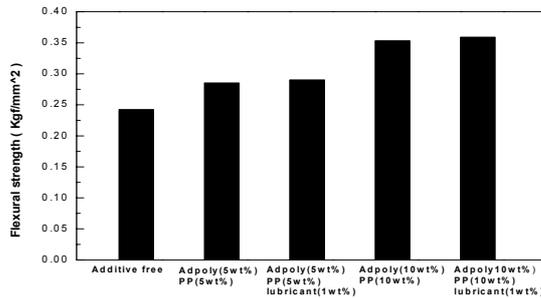
나. 첨가제 함량에 따른 GRT(50wt%)/waste HDPE 압출성형 복합소재의 strain at yield 변화 특성.



[Fig. 2] Effects of mixed additive and lubricant concentrations on the tensile of the GRT(50wt%)/waste HDPE composites pipe

GRT(50wt%)/waste HDPE 압출성형 복합소재에 첨가제인 점착성 plastic, PP, 활제를 첨가 시 첨가제의 함량이 증가할수록 복합소재의 strain at yield는 점차 감소하였다. 단지 같은 양의 점착성 plastic, PP에 활제가 첨가된 경우, strain at yield의 감소폭이 작았다. 점착성 플라스틱과 PP가 각각 10wt%씩 첨가되었을 때 복합소재의 strain at yield는 58.3%를 기록하여 첨가제가 첨가되지 않은 복합소재의 strain at yield 100.2%와 비교 시 42%의 감소율을 보였다.

다. 첨가제 함량에 따른 GRT(50wt%)/waste HDPE 압출성형 복합소재의 flexural strength 변화 특성.



[Fig. 3] Effects of mixed additive and lubricant concentrations on the flexural strength of the GRT(50wt%)/waste HDPE composites pipe

GRT(50wt%)/waste HDPE 압출성형 복합소재에 점착성 plastic, PP, 활제를 첨가 시 복합소재의 flexural strength는 점차 증가하는 경향을 보였다. 특히 같은 양의 점착성 플라스틱, PP가 첨가된 경우에 비해 활제가 첨가된 경우 좀더 물성은 향상하였다.

점착성 plastic과 PP가 각각 10wt%씩 첨가되고 활제가 1wt% 첨가되었을 때 복합소재의 flexural strength는 0.359 kgf/mm<sup>2</sup>를 기록하여 48%의 물성향상율을 보였다.

#### 4. 결론

GRT(50wt%)/waste HDPE 복합소재의 계면간 상용성 향상 여부와 기계적인 물성치 향상을 위해 첨가제로 점착성 plastic, virgin PP와 활제를 첨가시켜 GRT/waste HDPE계면간 상용성 향상 및 기계적 물성치 향상 여부등 압출성형 복합소재에 미치는 영향에 대하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, tensile strength의 경우 점착성 플라스틱과 PP가 첨가되고 활제를 첨가하였을 때 우수한 물성치를 기록하였다. 특히, 점착성 plastic과 PP가 각각 10wt%씩 첨가되고 활제가 1wt% 첨가되었을 때 가장 큰 물성치를 기록하였다.

둘째, strain at yield 측정결과, 점착성 plastic과 PP, 활제를 첨가 시 복합소재의 strain at yield는 점차 감소하였다.

셋째, flexural strength는 tensile strength에서 보인 경우와 같은 경향으로 점착성 plastic과 PP가 첨가되고 활제를 첨가하였을 때 보다 높은 물성치가 기록되었다. 특히 점착성 plastic과 PP가 각각 10wt%씩 첨가되고 활제가 1wt% 첨가되었을 때 복합소재의 flexural strength는 48%의 물성향상율을 보여 가장 큰 물성증가율을 보였다.

전체적인 물성측정결과, 점착성 plastic과 PP가 첨가되고 활제를 첨가하였을 때 전체적인 물성 면에서 우수하였다. 이는 활제의 경우 각 물질과의 마찰과 extruder 내에서 물질과 기계의 마찰을 줄여 물질간에 좀더 잘 섞이도록 하여 물성을 향상시키는 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

1. T. Liu and W. E. Baker, Polym. Eng. Sci. 31, 753(1991).
2. K. Oliphant and W. E. Baker: Polym. eng. and Sci., 33(3), 166-174(1993)
3. E. L. Rodriguez, Polym. eng. Sci. 28, 1455(1998)
4. M. Solovev and n. D. Zakhovov, Kompoz. Polim. Mater. 25,29(1985)
5. さとう・のりお: "シランカップリング劑の 技術", JETI, 161-163(1997)