

## 재생 폴리에틸렌/페타이어 분말 복합체의 기계적 특성 및 유변학적 특성에 관한 연구

계 형 산<sup>†</sup> · 신 경 철\* · 방 대 석\*\*

<sup>†</sup>목원대학교 응용화학공학과, \*충주대학교 고분자공학과

\*\*금오공과대학교 고분자공학전공

(2006년 2월 9일 접수, 2006년 3월 21일 수정 및 채택)

### A Study on the Mechanical and Rheological Properties of the Recycled Polyethylene Composites with Ground Waste Tire Powder

H. Kye<sup>†</sup>, K. Shin, and D. Bang\*

<sup>†</sup>Department of Applied Chemical Engineering, The Mokwon University

\*Department of Polymer Engineering, Chungju National University

\*\*Department of Polymer Science & Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received February 9, 2006, Revised & Accepted March 21, 2006)

**요약** : 페타이어와 폐수지 처리 문제를 해결하기 위한 방법으로 재생 폴리에틸렌 수지와 신재 HDPE를 페타이어 분말(GWTP)과 치합형 동방향 회전 이축 압출기 (Fully Intermeshing Co-rotating Twin Screw Extruder)를 이용하여 각 조성별로 용융 혼련하여 재생 PE/페타이어 복합체를 제조하였다. 본 연구에서는 플라스틱 수지 (재생 PE, HDPE)와 페타이어 분말의 혼합비를 0~50 wt.%로 하였으며, ASTM에 의거하여 인장강도, 파단신율, 충격강도 등의 물성 변화를 확인하였다. 페타이어 분말 함량이 증가할수록 인장강도가 감소하고 파단신율이 증가하였다. 한편 충격강도는 페타이어 분말 함량이 30 wt.%일 때 최대이고, 함량이 증가할수록 충격 강도가 감소하는 경향을 나타내었다. 형태학적 관찰에서는 페타이어 분말의 함량의 증가함에 따라 파단면이 거칠어지는 형상을 관찰하였다. 모세관점도계 (Capillary Rheometer)를 이용하여 재생 PE/페타이어 분말 복합체의 전단속도의 변화에 따른 용융전단점도의 변화와 연화점 (Ts) 등의 유변학적 성질을 분석한 결과, 페타이어 분말 함량 증가에 따라 외부 응력에 대한 흐름 저항성을 증가시켜 용융 점도가 상승하는 결과를 보였으며 측정된 전단율에서 전단 점도는 Power-law 거동을 보였다.

**ABSTRACT** : The recycled polyethylene composites with various ratio of ground waste tire powder were manufactured by using a fully intermeshing co-rotating twin screw extruder for the reuse of waste tire scrap. In this investigation, the ground waste tire powders (GWTP) were blended with virgin HDPE and recycled polyethylene in the weight ratio of 0 to 50 wt.%. Mechanical properties such as tensile strength, elongation at break and impact strength were measured by using ASTM standard.

The experimental results for the various composite showed that the tensile strength of composites decreased with increasing GWTP ratio, while elongation at break increased with the amounts of GWTP. On the other hand, the impact strength for the three kinds of composites showed maximum at the 30 wt.% of GWTP and then decreased. Morphology of the fracture surface tends to be rough with increasing waste tire powder content.

<sup>†</sup>대표저자(e-mail : hskye@mokwon.ac.kr)

Rheological properties were investigated by measuring the shear viscosity against shear rates and softening temperatures. They showed that melt viscosity of rubber composites in this study subsequently increased with increasing GWTP content as a result of increase of flow resistance against external stress and followed a Power-law behavior.

*Keywords* : ground waste tire powder, PE/rubber composite, mechanical properties, impact energy, rheological properties, shear viscosities, shear rate

## I. 서 론

환경에 대한 심각한 문제점이 대두되면서 관심이 높아지고 있는 분야는 여러 가지 산업 생산물에서부터 배출되는 폐기물의 처리이다. 특히 산업의 발전과 국민 생활수준의 향상으로 인하여 배출되는 폐기물량이 크게 증가하였고, 그 종류 또한 다양화되고 있다. 그 중에서 자동차 산업이 급속히 발전되면서 페타이어의 발생량이 급증하였고 페타이어를 그대로 방치할 경우 주변경관의 손상, 화재 발생의 위험과 화재에 의한 인적/물적 피해 등의 환경문제와 아울러 우리나라처럼 국토가 좁은 여건 하에서 야적장 확보의 어려움 등 페타이어의 처리에 따른 여러 가지 문제가 발생한다. 따라서 이를 해결하기 위한 효율적인 처리방법에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다.<sup>1,2</sup>

페타이어의 발생량은 2004년에는 271,085톤으로 전년대비 5.6% 증가하였다.<sup>3</sup> 2004년 이용 방법별 재활용실적은 가공이용이 23,465톤 (전년대비 12.4% 감소)으로 총 재활용량 대비 11.9%이며, 이 중 고무 분말 재활용은 22,226톤으로 전년대비 5.6% 감소하였다. 열 이용은 165,706톤 (전년대비 5.4% 증가)으로 84.2%, 원형이용은 7,775톤 (전년대비 24.8% 감소)으로 3.9%를 차지한 것으로 나타났다. 따라서 페타이어 재활용 실적 중 시멘트 킬른 열 이용(RDF)이 2003년 77.1%, 2004년 79.8%로 페타이어는 열 이용분야에 편중되어 있어 물질회수 재활용사업의 활성화를 통하여 재활용 방법의 다양화를 모색할 필요가 있다. 이를 위해서는 정책적인 지원을 바탕으로 기술개발과 시장화를 적극적으로 유도해야 할 것이며, 향후 고밀도 파쇄, 냉동 파쇄 등을 통해서 타이어 원료로 재이용하거나, 혹은 보다 부가가치가 높은 재활용 제품으로 개발하는 것

이 절실하다 할 것이다.<sup>4</sup> 따라서 폐자원의 재활용이라는 측면에서 페타이어를 가공하여 재사용 하는 것이 환경오염을 최소화하면서 또한 부존자원이 부족한 국내에서는 매우 효과적인 방법이라 할 수 있겠다.

페타이어 분말은 건축자재용으로 사용 시 대량으로 재활용 될 수 있으며, 매립지의 지반침식 방지 및 쓰레기의 악취제거, 하천오염 방지 등 여러 분야에 재활용 될 수 있다.<sup>5</sup> 그러나 페타이어의 분말을 이용한 재활용에 있어서의 문제점은 경제성과 품질 문제 등이고, 이러한 문제점이 수요 창출의 제한요소로 작용하고 있어 보다 경제적이며 효과적인 페타이어 고무분말 기술개발이 요구되고 있다.<sup>6</sup> 페타이어 분말을 이용한 연구는 폐석분-페타이어 분말 충전 혼성 복합재료의 제조, 페타이어 재활용을 위한 GWTP/HDPE 복합체, 페타이어 분말과 PE/PS 수지를 이용한 복합재료, GWTP/PE 복합체 연구, 냉동 분쇄 페타이어 분말의 충전제로의 사용 및 폴리올레핀과의 블렌드 연구 등으로 이는 페타이어 분말을 이용하여 기계적 강도가 우수한 복합체에 관한 연구이다. 그러나 폐플라스틱과 페타이어 분말을 이용한 복합재료에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다.

또한 페타이어와 함께 폐비닐 및 폐플라스틱 등이 대량으로 발생되고 있으며, 발생량에 관한 통계를 살펴보면 2003년 폐비닐은 261톤 발생하여 재활용률이 57.9% (151톤)이고 폐플라스틱은 3,548톤 발생하여 738톤이 재활용되어 20.8%의 재활용률을 기록하고 있다. 그러나 한국 환경재생공사에서의 폐비닐 및 폐플라스틱 수거 및 처리는 단순한 수거 및 분쇄에 이르고 있어 새로운 재활용기술에 대한 연구가 시급한 실정이다. 따라서 본 연구는 페타이어와 폐플라스틱 (재생 PE)을 이용한 재활용

품 제조 개발을 위한 연구로서 폐비닐로부터 생산된 한국재생 PE, 폐전선관을 재활용하여 생산된 일본재생 PE, 그리고 비교 목적으로 사용된 신재 HDPE와 페타이어 분말을 무게비와 또한 입자의 크기에 따라 각각 블렌드하여 인장강도, 파단신율, 충격강도 등의 기계적 물성과 유변학적 특성을 비교하여 제품화가 가능한 최적의 물성을 얻고자 하는데 그 목적이 있다.

## II. 실험

### 1. 재 료

본 연구에 사용된 PE수지는 모두 3 종류로서 한국재생 PE (이하 KRPE)는 농업용 폐필름에서 재생된 PE로써 LLDPE, LDPE, HDPE 등이 섞여있는 형태의 PE이고, 일본재생 PE (이하 JRPE)는 전선 피복을 재생한 PE이다. KRPE와 JRPE의 물성비교를 위해 신재 HDPE를 사용하였고 각각의 특성은 Table 1에 나타내었다. 본 연구에서는 충격보강제 (Impact Modifier)로 페타이어분말 (이하 GWTP)을 사용하였는데 분쇄된 입자의 크기에 따라 두 종류를 사용하였고 Table 1에 자세히 나타내었다.

**Table 1. Characteristics of Polymeric Materials Used in This Study**

Material	Source	Grade	Density (g/cm <sup>3</sup> )	MFI (Melt Flow Index, g/10 min)
HDPE	SK	MB509U	0.941	0.33
KRPE	한국 자원 재생 공사	-	-	-
JRPE	일본 전선 피복 공장	-	-	-
Waste Tire Powder	한국 자원 재생 공사	GWTP-1 (0.4 mm)	-	-
		GWTP-2 (0.6-1.2 mm)	-	-

### 2. 가 공

본 연구에서는 KRPE, JRPE, HDPE의 기본 재료에 입자크기가 서로 다른 2 종류의 페타이어 분말

Element  
 2D×5  
 3D×5  
 KB30×7  
 KB60×6  
 KB120×5  
 2D×3  
 KB120×6  
 3D×1  
 2D×3  
 KB120×6  
 2D×4  
 KB120×5  
 KB30×3  
 2D(left)×1  
 2D×4  
 COMP×1



**Figure 1.** Screw configuration used in this study.

을 0-50 wt.%까지 변화시키면서 블렌드 하였다. 먼저 각 조성에 따라 일정량을 tumble mix한 후 이축 압출기의 투입구로 투입하여 기계적으로 블렌드 하였다. 이때 사용된 압출기는 BAU-TECH사의 BT-19로서, 스크류 직경은 19 mm, L/D는 42인 치합형 동방향 회전 (Intermeshing Co-rotating) 이축 압출기이다. 각 성분별 블렌드에 사용된 스크류 조합은 Figure 1에 나타낸 바와 같다.

원료 투입속도는 1 kg/hr 이었으며, 온도구배는 호퍼 부분으로부터 190 °C, 200 °C, 210 °C, 210 °C, 200 °C, 190 °C로 유지하였으며, 스크류 속도는 100 rpm으로 유지하였다. 용융혼련이 된 후 압출기의 다이를 통해 나오는 혼련물은 냉각수를 거치며 냉각된 후, pelletizer를 통해 펠렛으로 성형한 후 80 °C 오븐에서 8 h 이상 건조시켰다.

### 3. 시편 제작

건조된 펠렛은 기계적 물성을 측정하기 위해 미니 사출기 (BAU-TECH사)를 이용하여 인장시편과 충격시편으로 제작되었다. 이때 인장시편은 ASTM D 638로, 충격시편은 ASTM D 256에 의거하여 제작하였고, 시편 제작 시 사출 압력은 750 psi, 사출 시간은 2-3초, 실린더 온도는 210 °C, cycle time은 3분으로 하여 각 조성별로 10개 이상의 시편을 제작하였다.

4. 기계적 물성

인장 시편은 Testometric사의 Tensile Tester (MICRO 350 Model)를 사용하였고, cross-head speed는 12.5 mm/min로 하였으며, ASTM D 638에 의거하여 10개의 시편을 측정하여 최대치와 최소치를 제외한 8개 측정치의 평균을 취하였다.

충격시험은 Notch Maker (기배무역, KPM-080)를 이용하여 시편에 notch를 낸 후 Izod 충격시험기 (대경 테크, DTI-6021)를 이용하였으며, ASTM D 256에 의거하여 한 조성에 대하여 10개 시편의 기계적 물성을 측정하였고, 인장강도와 마찬가지로 최대치와 최소치를 제외한 8개 측정치의 평균을 취하였다.

5. 형태학 분석

주사전자현미경(SEM)을 사용하여 복합 재료의 파단면을 관찰하기 위해 충격 시험 후 파괴된 시편의 단면을 gold sputtering시킨 후 모폴로지를 관찰하였다.

6. 유변학적 특성

모세관 점도계 (Capillary Rheometer, Gottfert사; Rheo-Tester 1000)를 이용하여 전단속도의 변화에 따른 용융점도와 Ts (연화점)의 온도에 따른 점도 변화를 측정하였다. 이때 측정 조건은 Capillary Die의 L/D는 40으로 내부직경은 1.0 mm이다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 페타이어 분말 충전율(wt.%)에 따른 복합 재료의 기계적 물성

KRPE/GWTP, JRPE/GWTP, HDPE/GWTP 블렌드에서 페타이어 분말을 0~50 wt.%까지 10 wt.%씩 증가시키면서 페타이어 분말의 증가에 따른 인장강도와 파단신율을 측정하였고, 또한 페타이어 분말 입자 크기의 변화가 인장강도 및 파단신율에 미치는 영향을 Figure 2~Figure 7에 도시하였다. 페비닐로부터 재생된 KRPE에 GWTP를 함량별로 또한 입자 크기별로 블렌드한 경우의 인장강도를

살펴보면, GWTP가 들어있지 않은 KRPE 자체의 인장강도는 22 MPa 정도이고, 페타이어분말 함량이 증가할수록 또한 입자크기가 커질수록 인장강도가 감소하는 경향을 보였다. 그러나 페타이어 분말입자 크기가 작은 블렌드인 경우에는 다소 높은 인장강도를 나타내고 있다. 한편 파단신율인 경우 인장 강도와는 반대의 현상으로 페타이어 함량이

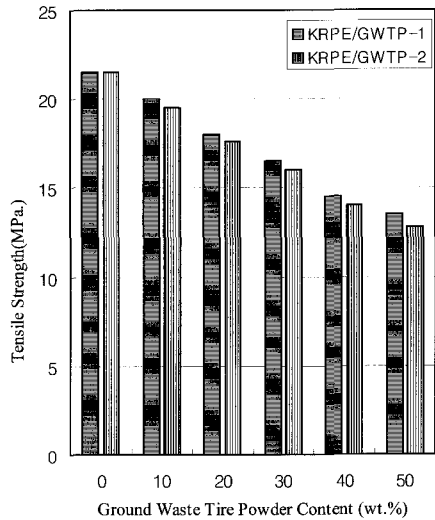


Figure 2. The tensile strength behavior of various KRPE/GWTP blends.

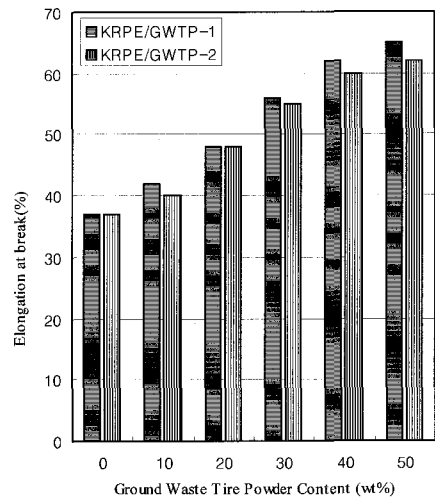


Figure 3. Elongation at break behavior of various KRPE/GWTP blends.

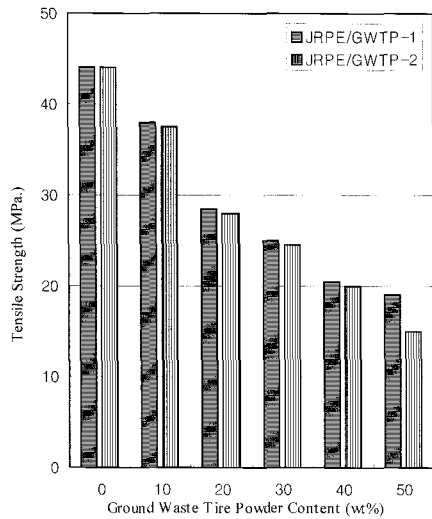


Figure 4. The tensile strength behavior of various JRPE/GWTP blends.

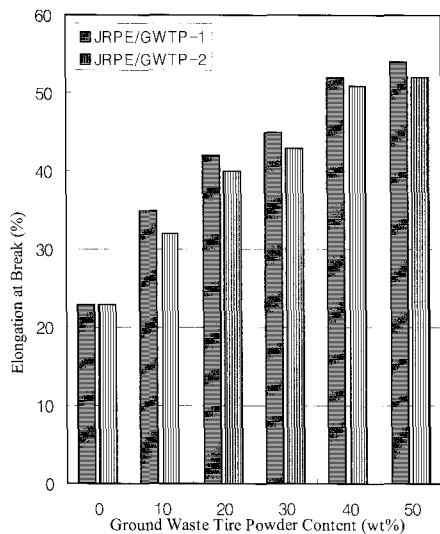


Figure 5. Elongation at break behavior of various JRPE/GWTP blends.

증가할수록 감소하는 경향을 보이고 동일 페타이어 함량에서는 페타이어 입자 크기가 작은 시편에서 보다 높은 파단 신율을 보인다 (Figure 2 & Figure 3). 이는 페타이어 분말의 주성분인 고무의 신율이 재생 PE보다 크기 때문에 KRPE/GWTP 블렌드에서 GWTP의 증가에 따라 파단 신율이 증가

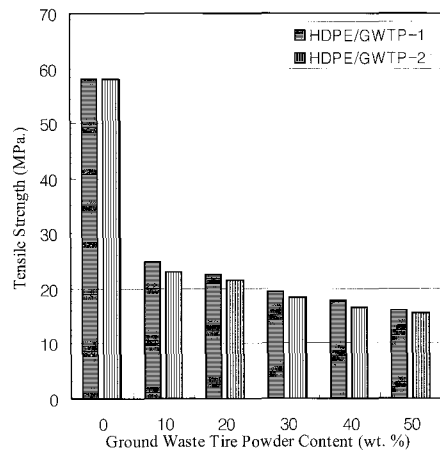


Figure 6. The tensile strength behavior of various HDPE/GWTP blends.

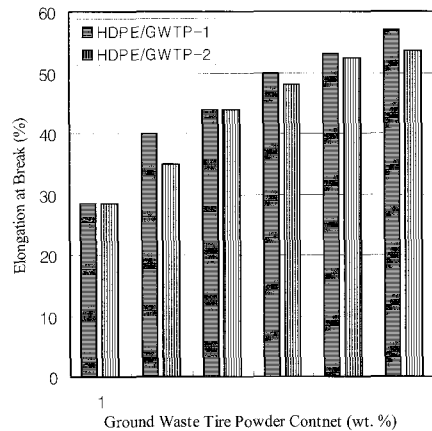
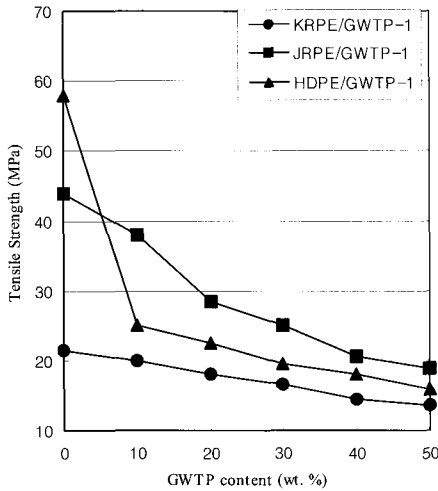


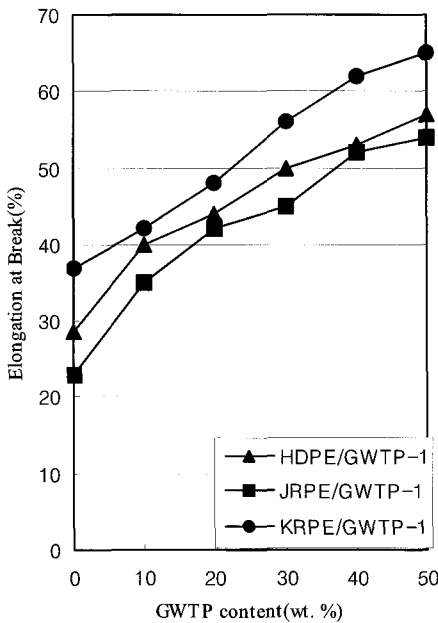
Figure 7. Elongation at break behavior of various HDPE/GWTP blends.

함을 보이고, 또한 다른 시편 (JRPE/GWTP 블렌드 & HDPE/GWTP 블렌드)에서도 동일한 경향을 보인다 (Figure 4 & Figure 5, Figure 6 & Figure 7).

Figure 8과 Figure 9는 본 연구에 사용된 3가지 PE에 입자크기가 일정한 GWTP (입자 크기 4mm)를 중량비로 블렌드 했을 때의 인장강도와 파단신율을 각각 비교한 결과이다. 이 결과에 의하면 JRPE와 신재 HDPE의 블렌드는 유사한 경향을 보이고 있는데 이는 페타이어 분말의 함량이 증가되면 블렌드 내에서 차지하는 고무 분말의 분율이



**Figure 8.** Comparison of tensile strength on KRPE, JRPE and HDPE with various waste tire powder contents (GWTP-1).



**Figure 9.** Comparison of elongation at break on KRPE, JRPE and HDPE with various waste tire powder contents (GWTP-2).

커짐에 따라 두 상간에 상용성이 나빠져서 두 성분상의 상분리가 일어나고 많은 공동을 갖게 된다. 또한 이러한 구조는 크랙의 성장을 저지하는 능력

을 잃게 되므로 결과적으로 인장 강도의 감소가 일어나게 된다. 이러한 결과는 Sirisinha et. al.<sup>5,7,8</sup>의 결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

Figure 8과 Figure 9에 도시한 바와 같이 파단신율은 인장강도가 감소함에 따라 증가함을 보이고 있고, 이는 인장강도와 신율이 반비례 한다는 기존의 결과들과 일치함을 보이고 있으며, 이는 고무 분말이 증가함에 따라 고무의 탄성 특성이 증가함으로 파단신율에서는 다소 높은 값을 보이고 있다.

또한 페타이어 분말 입자의 크기에 따른 기계적 물성을 살펴보면, 입자의 크기가 작은 것이 입자의 크기가 큰 것보다 더 높은 인장강도와 파단신율을 보이고 있는데, 이는 페타이어 분말 입자가 커짐에 따라 단위 부피당의 표면적이 작아져 PE와 두 상간의 상용성이 떨어지기 때문인 것이라는 Park et. al.<sup>5</sup>의 연구 결과와 일치한다. 따라서 재생 PE/GWTP 블렌드에서 페타이어 분말의 함량이 증가할수록 인장강도가 감소하고 파단신율은 증가함이 관찰되었다.

## 2. 페타이어 분말 충전율(wt.%)에 따른 복합 재료의 충격 강도

KRPE/GWTP, JRPE/GWTP, HDPE/GWTP 블렌드 시 페타이어 분말을 0~50 wt.%까지 10 wt.%씩 증가시키면서, 페타이어 분말 입자 크기의 변화에 따른 충격 강도의 변화를 Figure 10~Figure 12에 도시하였다. 충격강도 KRPE/GWTP 블렌드의 경우 (Figure 10) 충격보강재가 들어있지 않은 KRPE의 충격강도는 3.8 kg/cm/cm 였는데, 입자크기가 작은 페타이어분말을 첨가함에 따라 그 함량이 30 wt.%에 이르기까지는 충격강도가 차츰 증가하였고 30 wt.%에서 최대치를 나타냈으나 그 후 충격보강재의 함량이 증가함에 따라 오히려 충격강도가 떨어지는 경향을 보였다. 또한 입자의 크기가 큰 페타이어 분말의 경우에도 입자가 작은 분말의 경우보다 충격강도는 낮지만 유사한 경향을 보였다. 한편 다른 블렌드에서도 앞서 설명한 KRPE/GWTP 블렌드와 비슷한 경향을 나타내고 있으며 공히 30 wt.%에서 최대치의 결과를 보인다 (Figure 11 & Figure 12).

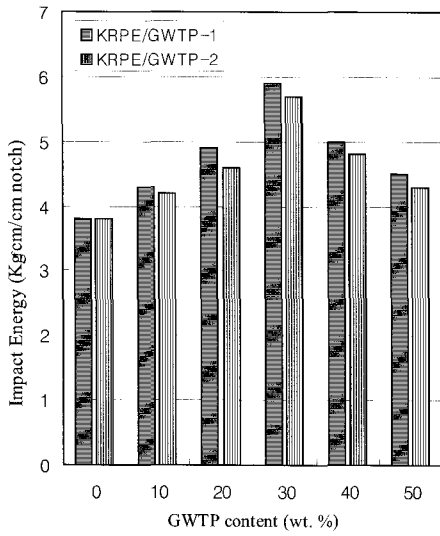


Figure 10. The impact strength of KRPE/GWTP blends with various contents of two different kinds of waste tire powder.

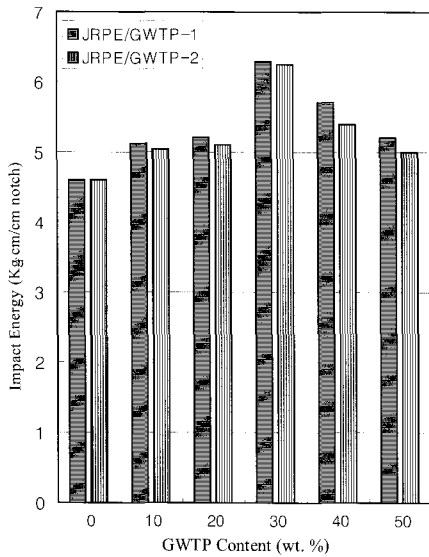


Figure 11. The impact strength of JRPE/GWTP blends with various contents of two different kinds of waste tire powder.

Figure 13과 Figure 14는 3가지 PE 블렌드 시 입자의 크기가 다른 GWTP를 함량별로 투입하였을 때의 각각의 충격강도의 변화의 대한 결과이다. 본 결과에서도 KRPE/GWTP, JRPE/GWTP, HDPE/GWTP

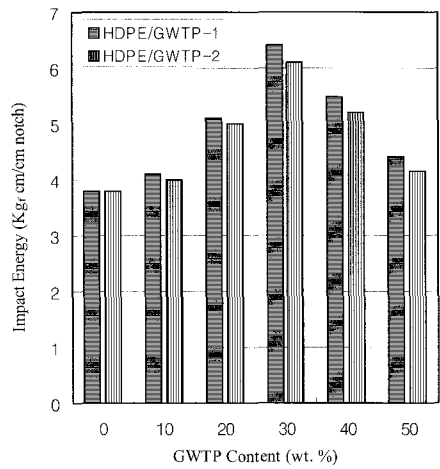


Figure 12. The impact strength of HDPE/GWTP blends with various contents of two different kinds of waste tire powder.

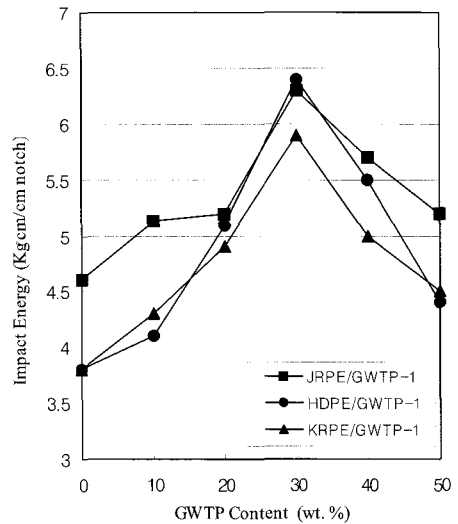


Figure 13. Comparison of impact energy on KRPE, JRPE and HDPE with various waste tire powder contents (GWTP-1).

블렌드에서도 이와 유사한 경향을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 PE 블렌드에 가해지는 충격이 블렌드의 고무상으로 전달이 일어나게 되고 고무상이 에너지를 흡수함으로써 충격 저항성이 커지기 때문이다.<sup>9,10,11</sup> 또한 충격강도는 PE와 고무상과의 계면 접착력에 의해서도 영향을 받는데, 계면 접착력이 클수록 충격에너지의 전달이 상승하게 되므

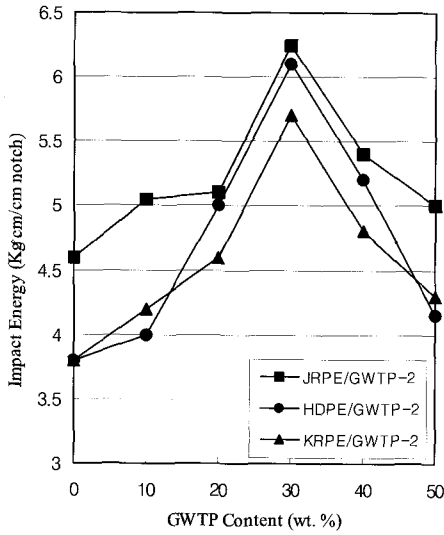


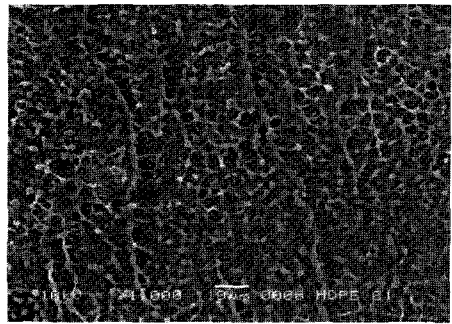
Figure 14. Comparison of impact energy on KRPE, JRPE and HDPE with various waste tire powder contents (GWTP-2).

로 충격강도는 증가하게 된다. 페타이어 분말이 소량 함유된 경우에는 충격에너지를 흡수하는 작용을 하지만 함유량이 많아지면 고무상과 PE수지 사이의 계면간의 접착력이 떨어지므로 블렌드물에 미치는 충격에너지의 흡수가 저하된다.<sup>12</sup> 또한, 페타이어 분말 입자 크기가 작은 경우가 입자크기가 큰 블렌드보다 충격강도가 더 높게 나타나는데, 이는 페타이어 입자크기가 클수록 단위부피당의 표면적이 작아지고 페타이어분말과 PE수지간의 상용성이 떨어지기 때문이다.<sup>10</sup>

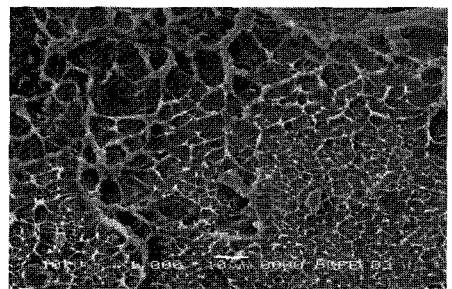
이와 같이 페타이어 분말 (GWIP)과 KRPE, JRPE, HDPE의 블렌드에 의한 복합재료는 PE의 충격강도에 비해 높은 경향을 보여주고 있어 페타이어 분말을 충격보강재로 사용할 경우 내충격성을 향상시킬 수 있으며, 또한 페타이어를 재활용할 수 있는 아주 좋은 방법이라 사료된다.

3. 형태학적 관찰

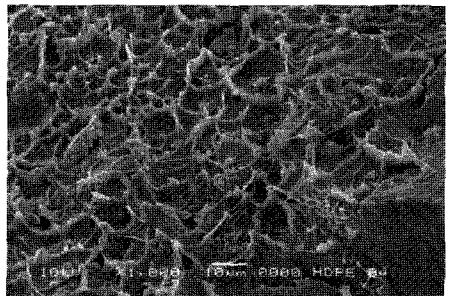
GWTP 함량에 따른 복합재료의 단면 구조 변화를 관찰하기 위해 충격강도 시험 후 얻은 샘플의 파단면을 관찰한 SEM 사진을 Figure 15에 나타내었다. 동일한 입자경에서 HDPE/GWTP-1 (입자경



(a)



(b)



(c)

Figure 15. SEM photographs of impact specimen fracture surfaces of HDPE/GWTP-1 blends of a) 90/10, b) 70/30, and c) 60/40.

0.4mm) 블렌드에서 페타이어 무게 %의 비율을 증가시킴으로서 파단면의 모폴로지를 관찰한 결과 WTP의 함량 증가에 따라 거친 절단면을 보이게 되고 절단면이 GWTP와 PE의 계면에서 일어나는 것으로 보인다. 이는 GWTP의 고무상과 PE간의 접착력이 취약하기 때문으로 생각된다.



**Table 2. Softening Temperature of KRPE/WTP-1 Blends**

Sample	Softening Temperature (°C)
KRPE	73.6
KRPE 90/ GWTP-1 10	72.1
KPRE 80/ GWTP-1 20	70.6
KRPE 70/ GWTP-1 30	68.6
KRPE 60/ GWTP-1 40	65.3
KRPE 50/ GWTP-1 50	60.4

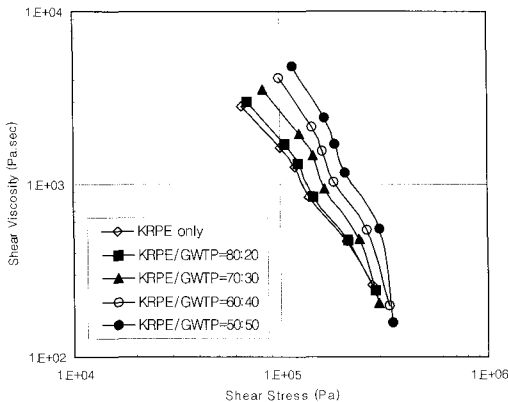
4. 유변학적 특성

Capillary Rheometer를 이용하여 전단율의 변화에 따른 용융점도의 변화와 연화점 (Softening Temperature, Ts)과 온도 변화에 따른 점도를 측정하였다. 측정된 Ts값은 Table 2에 나타내었다.

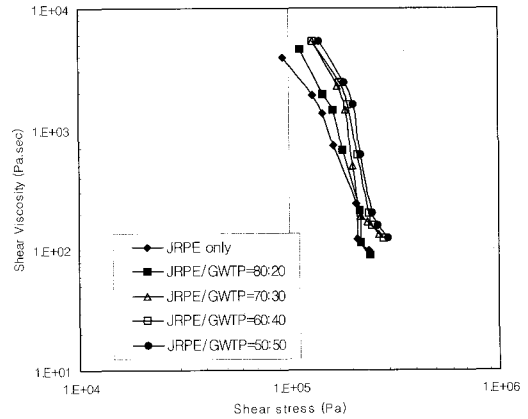
Table 2의 결과를 보면 페비닐로부터 재생된 PE인 KRPE는 연화점이 73.6 °C였는데, 페타이어분말 함량이 높아질수록 연화점이 낮아지는 현상을 보이고 있고, 이는 페타이어분말이 첨가되면서 고무의 성질이 나타나서 블렌드물의 연화점이 낮아지는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 전단 응력의 변화에 따른 용융점도의 변화를 관찰하였고 그 결과를 Figure 16과 Figure 17에 도시하였다.

Figure 16은 KRPE/GWTP 블렌드의 전단 응력에



**Figure 16.** Shear viscosity of KRPE/GWTP-1 blends as a function of shear stress.



**Figure 17.** Shear viscosity of JRPE/GWTP-1 blends as a function of shear stress.

따른 용융점도의 변화를 나타낸 그림이다. 낮은 전단 응력에서 점도는 페타이어 분말의 함량이 증가할수록 상승하고 (낮은 전단 속도) 전단 응력이 증가할수록 (전단 속도가 증가할수록) 이러한 현상은 동일하게 나타나서 전단 점도는 상승하게 된다. 이와 같은 현상은 Figure 17에서 동일하게 나타난다. 즉, JRPE/GWTP 블렌드에서도 GWTP의 증가에 따라 초기 전단 응력에서 높은 전단 점도 거동을 보이고 전단 응력이 높아짐에 따라, 다시 말해서 전단 속도가 높아짐에 따라 페타이어 분말이 블렌드의 전단 점도를 상승하게 하는 결과를 얻는다.<sup>14</sup> 두 가지 종류의 블렌드에서 나타나는 결과의 공통점은 페타이어 분말의 첨가량이 증가함에 따라 측정 전단 속도 전 범위에서 용융점도는 증가한다. 이는 GWTP가 일종의 충전제 역할을 하고 재생 플라스틱과의 물리적 결합으로 인하여 외부 응력의 저항성을 증가시켜 용융점도를 상승시키는 결과를 초래하기 때문이라 볼 수 있다. 일반적으로 동일한 조건에서 고무의 점도가 일반 플라스틱의 점도보다 높은 현상을 보이기 때문에 블렌드에서도 동일한 경향으로 나타난다. 한편 전단 속도와 전단 점도 관계를 보여주는 Figure 18에서는 측정된 전단율에서 KRPE/GWTP 블렌드의 전단 점도는 전형적인 Power-law 거동을 보여주며 페타이어 분말의 첨가량이 증가할수록 Power-law Index(n) 값이 감소하고 K 값은 점차 증가하는 경향을 보인다.

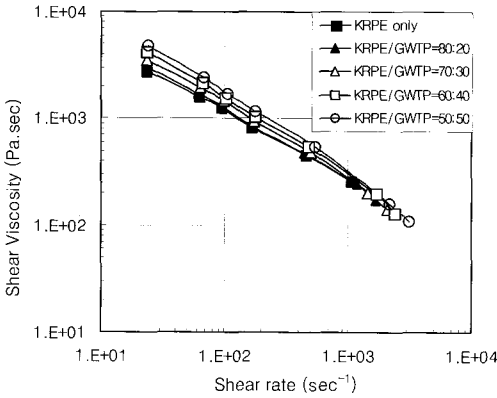


Figure 18. Shear viscosity of KRPE/GWTP-1 blends as a function of shear rates.

Table 3. Rheological Constants from KRPE/GWTP Blends

Sample	n	K(Pa.sec) x 10 <sup>6</sup>
KRPE only	0.37	2.25
KPRE 80/ GWTP-1 20	0.35	2.57
KRPE 70/ GWTP-1 30	0.31	3.36
KRPE 60/ GWTP-1 40	0.29	4.49
KRPE 50/ GWTP-1 50	0.25	5.81

식으로 다시 표현하면

$$\eta = K \dot{\gamma}^{n-1} \tag{1}$$

여기서,  $\eta$ 는 전단 점도이고 K는 상수,  $\dot{\gamma}$ 는 전단 속도, n는 power-law index이다. 양변에 log를 취하면

$$\log \eta = \log K + (n - 1) \log \dot{\gamma} \tag{2}$$

Figure 18에서 직선의 회귀식을 구하면 기울기는 n-1이고, 절편은 log K로 되어 Table 3에서 이 값들을 정리하였다.

#### IV. 결 론

본 연구는 페타이어 분말을 이용해 폐 PE를 재활용하는 연구로서 페타이어 분말의 함량에 따른

물성 변화를 관찰하였다.

세 종류의 PE 모두 페타이어 분말 함량이 증가할수록 인장강도가 감소하고 파단신율은 증가됨이 관찰되었다. 충격강도에서는 페타이어 분말 함량이 30 wt.%일 때 최대이고 그 이후로 감소하는 결과를 확인하였다. 특히 페타이어분말 함량이 30 wt.%일 때 페타이어 분말이 들어있지 않은 PE 보다 약 2배의 충격강도를 보였다. 형태학적 결과로는 페타이어 분말의 함량의 증가로 인하여 파단면이 거칠어지는 현상을 관찰하였다.

블렌드의 유변학적 성질을 살펴본 결과, 온도 변화에 따른 용융점도 변화에서 페타이어 분말의 함량이 증가할수록 용융점도가 높아짐을 관찰할 수 있었고 전단율에 따른 용융점도의 변화를 살펴보면 페타이어 분말의 함량이 증가할수록 충전제와 같은 역할로 인하여 용융점도가 증가하며 전단속도의 증가에 따라 용융점도가 낮아짐이 관찰되었고, 측정된 전단율에서 용융점도는 Power-law 거동을 보였다.

#### 참 고 문 헌

1. T. S. Hwang and J. W. Park, "Preparation of Composite with Reinforced Tire Waste Chip and Effect of Various Matrices on Mechanical Properties", *Korean Solid Wastes Engineering Society*, **17**(3), 305 (2000).
2. T. S. Hwang, S. G. Lee, and K. S. Cha, "Fabrication and Mechanical Properties of the Hybrid Composites Filled with Waste Stone and Tire Powders", *Polymer (Korea)*, **25**(6), 774 (2001).
3. KOTMA Journal, "Achievements of Waste Tire Recycling on 2004 and its Plan on 2005", **39**(1), 64 (2005).
4. J. K. Kim, "Recycling Technologies for Scrap Waste Tires", *Elastomer*, **28**(3), 205 (1993).
5. J. L. Park, C. H. Cho, and S. K. Lee, "A Study on GRT/HDPE Composite for Reuse of Waste Tire (I)", *Korean Solid Wastes Engineering Society*, **13**(6), 699 (1996).
6. J. K. Kim, H. N. Cho, and S. K. Lee, "Effect of the Binder Content on the Recycling of Scrap Waste

- Tires”, *Journal of the Korea Institute of Rubber Industry*, **29**(5), 431 (1994).
7. R. K. Mantan, “Rubber Engineering”, ed. by Indian Rubber Institute, p. 821, McGraw-Hill, 1998.
  8. C. Sirisinha, P. Sae-oui, J. Guaysomboon, “Mechanical Properties, Oil Resistance, and Thermal Aging Properties in Chlorinated Polyethylene/Natural Rubber Blends”, *Journal of Applied Polymer Science*, **84**, 22 (2002).
  9. C. Keith Riew, “Rubber-Toughened Plastics”, ed. by American Chemical Society, p. 225, 1989.
  10. P. Rajalingam and W. E. Baker, “The Role of Functional Polymers in Ground Rubber Tire-Polyethylene Composite”, *Rubber Chemistry & Technology*, **65**, 908 (1992).
  11. J. S. Kim, S. J. Kim, K. C. An, S. Lim, D. H. Kim, and C. Han, “The Effect of Additives in Waste Tire/Plastic Composites Using Internal Mixer”, *Polymer (Korea)*, **27**(6), 562 (2003).
  12. S. C. Kim, “Polymer Engineering I”, pp. 304-309, Scitech Media, 1994.
  13. S. C. Kim, “Polymer Engineering II”, pp. 247-293, Scitech Media, 1997.
  14. T. W. Yoo, B. H. Park, and C. H. Choi, “Development of Thermoplastic Polyolefins for Bumper Cover: 2. Effect of Rubber Viscosity”, *Polymer (Korea)*, **20**(5), 805 (1996).