

밀폐식 혼합기를 이용한 폐타이어/폐플라스틱 복합소재의 첨가제 효과

김준석 · 김상준 · 안기철 · 임순호*[†] · 김대흠 · 한춘

광운대학교 화학공학과, *한국과학기술연구원
(2003년 8월 20일 접수, 2003년 10월 17일 채택)

The Effects of Additives in Waste Tire/Plastic Composites Using Internal Mixer

Joon Seok Kim, Sang Jun Kim, Kee Chul An,
Soonho Lim*[†], Dae Heum Kim, and Choon Han

Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University,
447-1 Wolgye-dong, Nowon-gu, Seoul 139-701, Korea

*Polymer Hybrids Research Center, Materials Science and Technology Division, KIST,
P.O.BOX 131, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea

[†]e-mail : lim413@kist.re.kr

(Received August 20, 2003; accepted October 17, 2003)

초록 : 폐타이어와 폐플라스틱을 이용한 환경문제 해결과 실용적이고 경제성 있는 재활용품 개발을 목적으로 수행되었으며 밀폐식 혼합기를 이용 폐타이어와 폐플라스틱을 첨가제와 함께 혼합하여 플라스틱 재질별, 폐타이어 함량별 차이에 따른 복합소재 특성을 규명하고자 하였다. 폐타이어/플라스틱 복합소재 실험 결과, 플라스틱 대비 폐타이어 함량을 15 wt%씩 증가시킴에 따라 복합소재의 인장강도와 굴곡강도의 세기는 점차 감소하였으며 신장율은 플라스틱 재질별로 차이가 있었다. 폴리프로필렌과 같은 유기첨가제를 폐타이어 (60 wt%)/고밀도 폴리에틸렌 복합소재 전체함량 대비 20 wt% 혼합하였을 때의 인장강도가 폴리프로필렌을 투여하지 않은 복합소재보다 1.5배 높게 나타났으며 에틸렌 비닐아세테이트와 스티렌 에틸렌 부틸렌 스티렌을 각각 10 wt% 첨가 시 2.5배의 신장율이 증가하였다. 또한 무기첨가제 유리 섬유를 폐타이어 (50 wt%)/폐고밀도 폴리에틸렌 복합소재 전체함량 대비 10 wt% 첨가 시 굴곡강도가 첨가제가 투여되지 않은 복합소재 굴곡강도보다 63% 높게 나타났다.

ABSTRACT : Environmental problems due to waste tire and waste plastics let us develop practical and economically feasible products. For this purpose, the characteristics of waste tire/plastic composites including various additives were examined using internal mixer. Experimental results indicated that the tensile strength and the flexural strength of waste tire/plastic composites decreased with the waste tire content. When 20 wt% of PP was added to the waste tire (60 wt%)/HDPE composites, the tensile strength was 1.5 times higher than the composite without PP. It was also found that the strain at break of composites increased by 2.5 times with 10 wt% addition of ethylene vinyl acetate and styrene ethylene butylenes styrene respectively. When 10 wt% of glass fiber was added to waste tire (60 wt%)/ HDPE composites, the tensile strength was 63% higher than the composite without glass fiber.

Keywords : waste plastic, waste tire, additives, composites, HDPE.

1. 서론

국내에서 자동차로부터 배출되는 폐타이어는 2000년에는 1959만개, 2001년에는 다소 줄어 1691만개이며,

2002년에는 2402만개가 넘어서 인구 1인당 0.5개를 기록할 것으로 예상되고 있다.¹ 폐타이어는 일반적으로 매립과 소각이 주된 처리방법이었으나 매립의 경우 폐타이어 부피가 커 매립용적을 많이 차지할 뿐 아니라 난

분해성이며 유독가스의 배출로 인해 화재 위험성 및 토양 오염 등의 문제가 되며, 소각의 경우 SOx, NOx, HCl 등 대기 환경오염 오염원들이 발생되기 때문에 환경문제가 대두되고 있다. 재활용 방법 중 가장 많은 연구가 진행된 것이 페타이어 분말을 통한 가공이용 방법이다. 분말 가공이용 방법으로는 고속도로의 아스팔트 포장에 이용, 보도블럭, 고무벽돌 제조 등이 있다.

플라스틱의 경우 폐플라스틱 발생량 중에서 대부분은 PP와 HDPE가 차지하고 있다. 폐플라스틱 총 발생량은 1990년 이후 해마다 10%이상씩 증가하여 2001년에는 약 5063천톤에 이르고 있다.² 폐플라스틱 재활용율은 15% 정도로 유럽 등 선진국의 32%에 비해 현저히 낮은 수준에 있다.³ 폐플라스틱 재활용 방법은 크게 3가지로 단순한 물질적 재생방법과 열 이용 방법 그리고 화학적 분해를 통하여 원료유를 얻거나 단량체로 환원하는 재활용 방법이 있다. 그러나 이 중 열이용 방법은 환경오염 문제, 화학적 분해를 통한 재생 방법은 효율성 등의 문제점을 안고 있다. 따라서 가장 효율적인 방법은 혼합 재생하는 방법이다.² 혼합 재생 방법으로는 현재 플라스틱과 분말화된 페타이어가 복합소재화되어 새로운 용도로 재활용되고 있는데 국내뿐만 아니라 미국, 호주 등 여러 국가에서 페타이어와 플라스틱을 이용한 많은 연구가 진행되고 있으며 국내외 연구 동향은 다음과 같다. P. Rajalingam, J. Sharpe, and W. E. Baker는⁴ 페타이어-LLDPE 복합소재에 대하여 상간 접촉력을 증진시키기 위한 결합제로 에틸렌 글리시딜 메타크릴레이트를 사용하여 복합소재에 미치는 영향과 플라즈마, 코로나 등을 이용한 페타이어 표면처리 영향에 대하여 발표하였으며 국내의 경우, 조선대학교에서는⁷ 페타이어와 PE-PS 수지를 이용한 복합재료를 제조하고 디큐밀 퍼옥사이드 (DCP)를 첨가한 후 DCP에 관한 상간 접촉력 세기변화에 대하여, 경상대학교에서는⁶ 페타이어 분말에 폴리우레탄 바인더 첨가의 영향에 관하여 보고하였으며, 이 밖에도 많은 대학교, 연구기관, 산업체에서 계속적인 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 연구는 밀폐식 혼합기를 이용하여 페타이어와 신재 플라스틱 및 폐플라스틱을 결합한 복합소재의 기본 물성 특성을 규명하고 더불어 첨가제를 이용한 물성 향상 효과에 대하여 고찰하고자 하였다.

2. 실험

시료 및 분석. 본 실험에 사용한 페타이어와 폐플라스틱은 한국자원재생공사 시화공장에서 구입한 것으로, 페타이어 (GRT : ground rubber fire)는 철심이 제거된 트

Table 1. Proximate Analysis of Waste Tire

component	contents (wt%)
Moisture	1.00
Volatile	69.78
Ash	4.89
Fixed-C	24.33

Table 2. Elemental Analysis of Waste Tire

component	contents (wt%)
Nitrogen	1.17
Carbon	81.64
Hydrogen	8.12
Sulfur	1.84
Oxygen	7.23

럭 타이어로서 20~50 mesh 입도를 가지는 고무분말이며 이에 대한 공업분석 및 원소분석을 Table 1, 2에 나타내었다. 또한 폐플라스틱은 자원재생공사에서 페비닐 HDPE를 수거하여 펠렛화시킨 것을 구입하여 사용하였다.

플라스틱은 현 국내 폐플라스틱 중 가장 많이 배출되는 범용 플라스틱을 중심으로 PP ((주)대한유화, grade : 4017), HDPE ((주)대한유화, grade:M850), LLDPE ((주)서울포리케미, grade : LH-3250), LDPE ((주)서울포리케미, grade : LD-61), PS ((주)한남화학, grade : GP-125) 등을 사용하였고 유기첨가제로 polyglue (SK Corp., grade : LE100A), adpoly ((주)호남석유화학, grade:EM530), 에틸렌 비닐 아세테이트 (EVA) ((주)호남석유화학, grade:EV-600), 스티렌 에틸렌 부틸렌 스티렌 (SEBS) (Shell사), PP ((주)대한유화, grade:4017), PS ((주)한남화학, grade:GP-125) 등을 사용하였다. 또한 무기첨가제로 CaCO₃, SiO₂ ((주)덕산약품공업) 등을 사용하였다.

실험장치. 실험은 고점도 고분자 용융 시에 적합한 밀폐식 혼합기 (Jeong Seong Machinery Co.)를 이용하였다. Mixer 형태는 배치 타입이며, 내용적 250 cc, 내부온도 상온~400 °C까지 온도상승이 가능하며 스크류는 고회전 용융이 요구되는 실험에 이용되는 V형 스크류로서 내경 30 mm, 회전속도 최고 100 rpm까지 가능하였다.

ASTM 규격 인장강도, 굴곡강도 등 기계적인 물성치를 측정하기 위한 시편을 만들기 위한 장치인 표준시편제작기 (mini-max molder, Bau Tech. Co., model B1915)는 금형의 내용적이 5 cc, 최고 온도는 450 °C까지 상승 가능하다. 또한 물성시험을 위해서 강도시험의 모든 항목, 즉 인장, 압축, 굽힘, 전단시험 등을 수행할 수 있는 장치인 UTM (Universal Testing Machine, Hounsfield, H50 KS)을 사용하였다.

실험방법. 페타이어와 PE (HDPE, LLDPE, LDPE), PP,

PS 등을 밀폐식 혼합기에서 0~60 wt% 까지 플라스틱 대비 페타이어 함량을 15 wt%씩 증가시켜 180 °C, 40 rpm에서 5분간 혼합하여 가장 우수한 기계적 물성 특성을 갖는 페타이어/플라스틱 복합소재를 제조하였다. 페타이어/플라스틱 복합소재에 유기첨가제 접착성 플라스틱 (polyglue, adpoly), EVA, SBR 등과 무기첨가제 CaCO₃, SiO₂ 등을 복합소재 전체함량 대비 5, 10, 20 wt% 첨가하였다. 혼합된 복합소재는 표준시편 제작기 내에서 220 °C로 약 3분간 혼합한 후 ASTM D638-1 규정에 따라 인장강도, 신장률 측정용 시편과 가로 74 mm, 세로 12.5 mm, 두께 3 mm인 굴곡강도 측정용 시편을 제작하였다. 각 실험 조건마다 5개의 시편을 제작한 후 UTM을 이용하여 인장강도, 신장률, 굴곡강도를 측정하여 측정치 중 최고, 최저치를 제외한 3개 시편의 평균값으로 나타내었다. 인장강도는 시편을 제작하여 상온 (23 ± 2 °C)에서 1000 N 로드 셀을 장착한 후 크로스 헤드 속도를 10 mm/min으로 인장시키면서 측정하였고, 신장률은 인장강도 측정방법과 동일하며, 굴곡강도는 UTM을 이용하여 일정 크기로 제작된 시편을 상온에서 분당 5 mm 속도로 하중을 가하여 측정하여 복합소재의 기계적 특성을 파악하였다. 시편으로는 인장강도 및 신장률 측정 시편의 경우, 가로 63.5 mm, 세로 9.53 mm, 두께 3 mm의 아령형 시편을 사용하였고 굴곡강도 측정용 시편으로는 가로 74 mm, 세로 12.5 mm, 두께 3 mm의 직사각형 시편을 사용하였다.

3. 결과 및 토론

페타이어/플라스틱 복합소재의 특성연구. 페타이어/플라스틱 복합소재의 특성을 알아보기 위하여 페타이어 함량별 복합소재의 물성 변화, 페타이어/신재 HDPE와 페타이어/폐 HDPE 복합소재의 특성비교 및 페타이어/플라스틱 복합소재에 대한 유기첨가제 효과에 대하여 알아보았다.

페타이어/신재 플라스틱 복합소재의 물성 변화. 페타이어 함량별 플라스틱 복합소재의 물성 (인장강도 신장률, 굴곡강도) 특성을 고찰하기 위하여 플라스틱으로 HDPE, LLDPE, LDPE, PP, PS를 사용하였다. 페타이어/플라스틱 복합소재의 인장강도 측정결과, Figure 1에서와 같이 페타이어 함량이 증가함에 따른 플라스틱과 페타이어와의 계면 증가로 인해 인장강도 세기가 점차 감소하는 것으로 나타났다. PE 중 HDPE를 이용한 복합소재의 인장강도가 페타이어 함량에 관계없이 가장 높게 나타났다. 이는 혼합 성형하는 플라스틱 자체의 결정화도가 복합소재의 인장강도에 영향을 미치고 있음을

시사하고 있다. 또한 페타이어 첨가에 따른 초기 인장강도와 페타이어 함량 60 wt%에서의 인장강도 감소율을 살펴보면, HDPE, LDPE 각각 49%, 56%로 나타났으며 LLDPE는 42%를 보여 PE 중 페타이어의 영향을 가장 적게 받는 것으로 확인되었다. PP는 본 실험에 사용되어진 플라스틱 중 페타이어 함량 0~60 wt%의 모든 범위에서 가장 우수한 인장강도를 나타냈다. 그러나 PP 자체의 깨지기 쉬운 특성상 페타이어 함량 0 wt%와 60 wt%에서 PE와 인장강도 감소율을 비교해 보면 PP는 61%, HDPE는 49%, LLDPE는 43%, LDPE는 56% 감소하여 PP가 PE보다 인장강도 감소율이 큼을 알 수 있었고 페타이어 함량 30 wt%이후 감소율이 다소 완만해 짐을 확인하였다.

또한 페타이어/플라스틱 복합소재의 신장률 측정결과를 Figure 2에 도시하였다. 신장률은 페타이어 함량 60 wt%일 때 LLDPE 29.7%, LDPE 26.2%, HDPE 23.1% PP, PS 각각 14.6%, 7.5% 순으로 측정되었다. 또한, 페타이어 함량 증가에 따라 HDPE, LLDPE 복합소재 신장률이 감소하였으며 LDPE와 PP의 신장률도 급격하게 감소됨을 확인할 수 있었는데 이 중 PP는 취약한 성질로

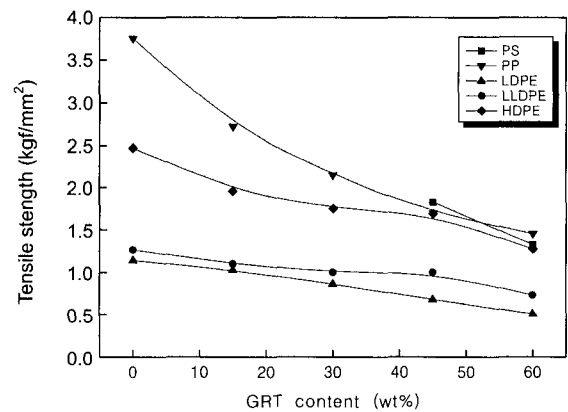


Figure 1. Tensile strength of GRT /Plastics composites.

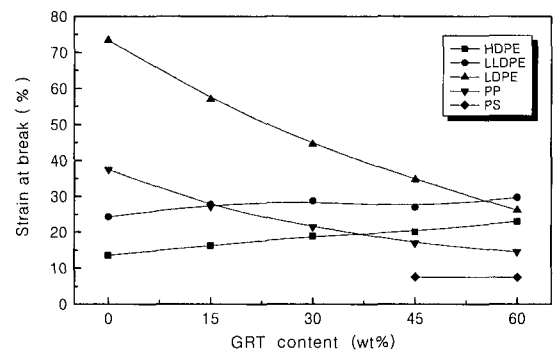


Figure 2. Strain at break of GRT/Plastics composites.

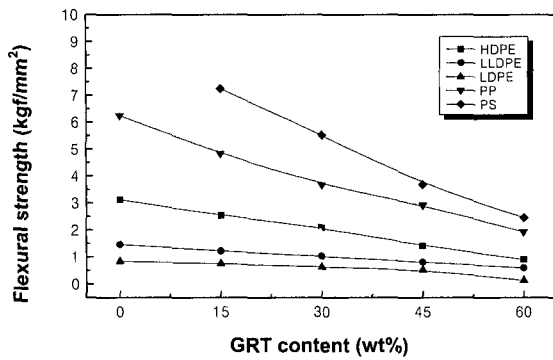


Figure 3. Flexural strength of GRT/Plastics composites.

인하여 신장율이 감소한 것으로 사료된다. 또한 Figure 3에서와 같이 페타이어 함량이 증가함에 따라 페타이어/신재 플라스틱 복합소재의 굴곡강도는 차츰 고무의 연성인 성질이 증가하여 점차 그 강도가 감소하였다. 페타이어 함량 60 wt%에서 굴곡강도는 PS가 2.50 kgf/mm²로 실험에 사용된 페타이어/플라스틱 복합소재 중 가장 우수한 굴곡강도 특성이 나타났으며, 다음으로 PP, HDPE, LLDPE, LDPE 순으로 나타났다. 이 중 HDPE 복합소재는 PE 중 가장 우수한 굴곡강도 특성을 보였으며 PS는 페타이어 함량 60 wt%에서 가장 우수한 휨 성질을 보이거나 부서지기 쉬운 성질 때문에 제한적인 용도로 사용되어질 것으로 사료된다.

실험 결과, PP가 인장강도와 굴곡강도 모두 페타이어 함량에 관계없이 높게 나타났으며 PP는 자체의 깨지기 쉬운 성질로 인하여 페타이어 함량 증가에 따라 급격하게 감소하는 단점이 있으며, HDPE는 PE계열 중 가장 좋은 물성을 나타내었고 페타이어 함량에 따른 물성 변화가 적고 HDPE 자체는 낮은 신장율을 나타내나 페타이어가 점차 증가함에 따라 신장율도 증가하는 경향을 보여 플라스틱 중 HDPE가 페타이어와의 혼합에 가장 적합한 것으로 판단된다.

페타이어/신재 HDPE와 페타이어/폐HDPE 복합소재의 특성비교. 페타이어/플라스틱 복합소재의 물성 실험 결과, 페타이어/플라스틱 복합소재에 사용할 플라스틱으로 HDPE가 가장 적합한 것으로 판단되어 HDPE 중 신재 HDPE와 폐HDPE를 이용한 복합소재의 특성을 비교하였다. 신재 HDPE와 폐HDPE의 열적 특성을 고찰하기 위하여 시차열분석법 (DSC)을 이용, 승온속도를 10 °C/min으로 상온에서 200 °C까지 가열시켜 용융온도 (T_m)를 측정하였다. 측정결과 폐HDPE는 열이력으로 인하여 열분해가 일어나 분자량이 감소하여 신재 HDPE보다 T_m이 낮게 측정되었으며, 폐HDPE의 T_m은 130.2 °C, 신재 HDPE는 136.0 °C를 나타냈다. 이는 추후 폐HDPE의

점도가 신재 HDPE와 비슷하다면 페타이어/폐HDPE 복합소재의 가공온도를 페타이어/신재 HDPE 복합소재의 가공 온도보다 낮출 수 있게 됨에 따라 고무의 열분해 현상을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 TGA (Thermogravimetric Analyzer)를 이용하여 시간과 온도에 따른 시료의 무게 변화실험을 실시하였다. 실험조건으로는 승온속도 10 °C/min로 상온에서 700 °C까지 가열시켜 열분해곡선을 얻었으며 두 시료의 열분해는 442 °C에서 본격적으로 시작하였고 490 °C 부근에서 종결하여 99.8% 이상의 시료가 분해되었다. 또한 신재 HDPE와 폐HDPE 두 시료가 분해되는 무게 변화량은 유사함을 알 수 있었다.

신재 HDPE와 폐HDPE 복합소재의 기계적인 물성치 특성 비교. 페타이어 함량 0~60 wt%까지 15 wt%씩 증가시킨 페타이어/신재 HDPE 복합소재 시편과 페타이어 함량 0, 30, 50 wt%인 페타이어/폐HDPE 복합소재 시편을 이용하여 기계적 물성 특성을 비교하였다.

인장강도와 굴곡강도의 경우는 페타이어/폐HDPE 복합소재와 페타이어/신재 HDPE 복합소재와의 물성 차이가 거의 나타나지 않았으며 신장율의 경우 신재 HDPE를 사용한 복합소재가 폐HDPE를 사용한 복합소재보다 좋은 결과를 가져왔다. 또한 폐HDPE가 첨가된 복합소재는 신재 HDPE가 함유된 복합소재보다 페타이어함량이 증가됨에 따라 신장율 증가율이 상대적으로 작음을 확인하였다.

따라서 폐HDPE가 신재 HDPE에 비하여 물성 면에서 크게 뒤지지 않고 페타이어가 혼합된 복합소재의 물성도 큰 저하를 가져오지 않아 폐HDPE로도 충분히 복합소재 개발이 가능하며 신재 HDPE에 비해 약간 떨어지는 물성은 적절한 기능성 첨가제의 혼합으로 보완하여 신재 HDPE 복합소재의 물성에 뒤떨어지지 않는 폐HDPE 복합소재를 제조할 수 있으리라 생각된다.

페타이어/HDPE 복합소재에 대한 유기첨가제 효과. 페타이어/HDPE 복합소재에 첨가제를 혼합하였을 경우 각 성분들 간의 계면접착력 등 물성 향상 여부를 알아보기 위하여 비교적 가격이 저렴하고 물성이 우수한 유기첨가제인 PP, PS, EVA, SEBS를 단일 및 복합 첨가하여 복합소재에 미치는 영향에 대해 실험하였으며 사용된 첨가제는 복합소재 전체함량 대비 5~20 wt% 범위 내에서 혼합·첨가하였다.

유기 첨가제의 단일 첨가 시 복합소재의 기계적 물성 특성 결과인 인장강도, 신장율 및 굴곡강도를 Figure 4, 5, 6에 도시하였다. Figure 4에서 보는 바와 같이 페타이어 (60 wt%)/HDPE 복합소재에 PP를 20 wt% 첨가 시 인장강도는 PP를 투여하지 않은 복합소재 물성값과 비

교하여 약 1.5배 높게 측정되었다. 또한 PP 함량 10 wt%에서도 높은 수치를 나타내 다른 첨가제와 비교할 때 적은 양으로도 인장강도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. SEBS는 유연성, 강도, 탄성이 가장 가황고무에 가까운 성질을 가지고 있어⁷ 약간의 강도 향상효과를 얻었지만, PS와 EVA를 이용한 복합소재 인장강도 향상효과는 미미한 것으로 사료된다. Figure 5는 신장을 변화 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 첨가제 PP, PS가 첨가됨에 따라 복합소재의 페타이어/신재 HDPE 복합소재의 신장율이 감소됨을 확인하였다. 이는 PP, PS가 취약한 성질을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 반면, EVA는 복합소재에 첨가량이 증가함에 따라 신장율이 향상되나 첨가제 함량 15 wt% 이후 증가율이 다소 감소됨을 확인하였다. 또한 SEBS는 본 실험에 사용된 첨가제 중 가장 우수한 신장율 향상 효과를 나타내었다. Figure 6은 굴곡강도 변화를 나타낸 것으로 첨가제 함량 20 wt%에서 PP와 PS는 각각 80%, 54%의 향상

을 가져와 굴곡강도를 향상시키기 위한 첨가제로 적합하다고 할 수 있겠으나 PS가 첨가된 복합소재 경우, PS의 취약성으로 인하여 복합소재에 하중을 가했을 때 쉽게 깨지는 경향이 나타날 수 있어 소량 첨가 시 물성 향상에 도움을 줄 것으로 생각된다.

앞의 실험을 통하여 첨가제 종류 및 이들의 첨가 여부에 따라 인장력 등 다양한 물성 특성 조절이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 이를 확인하기 위해 복합소재 인장강도를 향상시키기 위한 첨가제 PP, PS와 신장율을 향상시키기 위한 첨가제 EVA, SEBS 등을 복합·사용하여 복합소재에 미치는 영향을 알아보았다. Figure 7은 복합첨가제를 첨가했을 때 복합소재의 인장강도 및 신장율 변화 결과이다. 그 결과, 페타이어 (60 wt%)/HDPE 복합소재 전체 무게비로 PP와 SEBS를 각각 10 wt% 투여한 복합소재와 PP만을 20 wt% 첨가한 복합소재 물성 비교 시 페타이어/HDPE/PP/SEBS 복합소재 인장강도는 PP 20 wt%을 첨가했을 때의 인장강도 (Figure 4 참

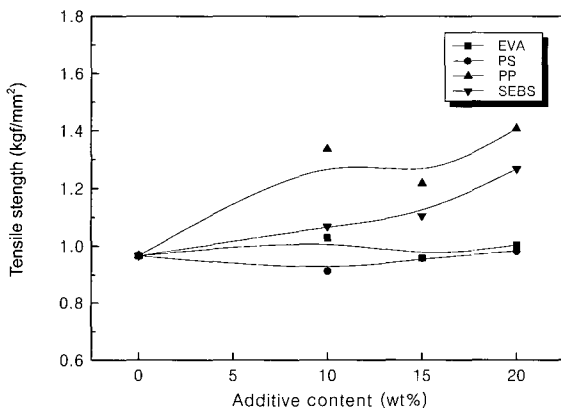


Figure 4. Effects of the PP, PS, EVA, SEBS addition on the tensile strength of the GRT (60 wt%)/HDPE composites.

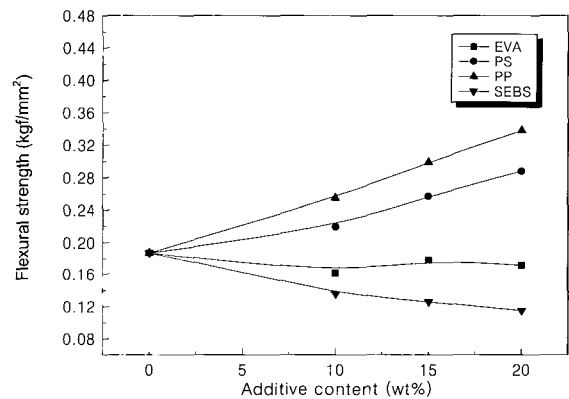


Figure 6. Effects of the PP, PS, EVA, SEBS addition on the flexural strength of the GRT(60 wt%)/HDPE composites.

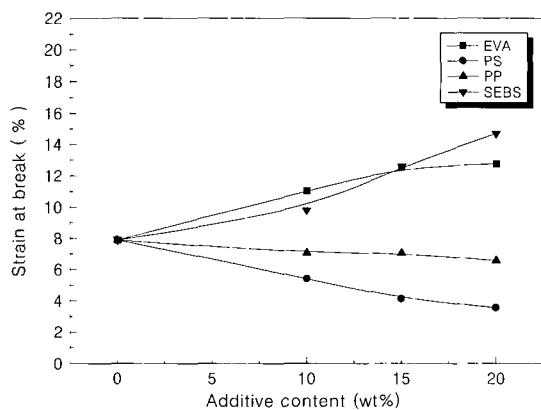


Figure 5. Effects of the PP, PS, EVA, SEBS addition on the strain at break of the GRT (60 wt%)/HDPE composites.

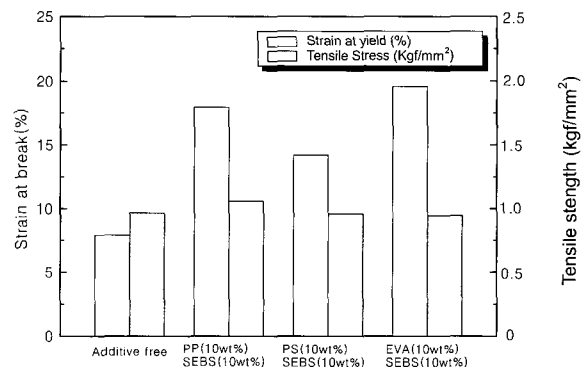


Figure 7. Effects of the dual additive concentrations on the tensile strength and strain at break of the GRT (60 wt%)/HDPE composites.

조) 세기가 36.2% 감소한 반면 신장율은 17.9%로 144.2% 향상됨을 확인하였다. 이는 첨가제를 사용함에 따라 복합소재의 인장강도 및 신장율의 물성 조절이 가능하다는 것을 나타낸다. 또한 페타이어가 60 wt% 포함된 페타이어/신재 HDPE 복합소재에 첨가제 EVA를 20 wt% 단독으로 첨가하였을 때 (Figure 5 참조) 보다 EVA와 SEBS 각각 10 wt% 첨가 시 약 2.5배의 신장율이 증가됨을 확인하였다. 이는 신장율을 증가시키기 위한 첨가제로 SEBS가 EVA보다 적합함을 나타낸 결과이다. 또한 굴곡강도 변화 결과, SEBS가 PP (10 wt%)와 PS (10 wt%)에 10 wt%씩 추가로 첨가할 때 PP, PS만 10 wt% 첨가할 때 (Figure 8) 보다 약간 낮은 값을 기록하여 복합첨가의 효과는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다.

페타이어/폐HDPE 복합소재 특성변화. 위의 실험결과, 폐HDPE가 신재 HDPE에 비하여 물성이 크게 떨어지지 않을 뿐 아니라 폐기물 재활용 및 경제적인 면을 고려하여 신재 HDPE를 사용하는 대신 폐HDPE를 사용하였으며 첨가제로 유기첨가제 (폐PP, SBR), 무기첨가제 (CaCO₃, SiO₂, 유리 섬유, CaO)를 혼합하여 페타이어/폐HDPE 복합소재에 미치는 영향에 관해 실험하였다.

페타이어/폐HDPE 복합소재에 대한 유기첨가제 효과. 페타이어 (50 wt%)/폐HDPE 복합소재에 첨가제로 폐PP, SBR를 혼합하여 복합소재의 물성 특성을 알아보았으며, 이 중 인장강도와 굴곡강도 측정 결과를 Figure 8에 나타내었다. 그림에서와 같이 폐PP 10 wt% 첨가 시 페타이어 (50 wt%)/폐HDPE 복합소재 인장강도는 약 19%의 향상율을 보였으며 폐PP 10 wt% 첨가 시 20 wt% 첨가한 복합소재보다 우수한 인장강도를 기록하였다. 이는 과도한 폐PP 사용은 페타이어와 폐HDPE 상간 접착력을 저하시킬 수 있으며, PP가 첨가됨에 따라 폐HDPE 자체의 물성이 저하되는 현상 때문인 것으로 사료된다. 한편, 합성고무 중 가장 일반적으로 사용되는 범

용고무인 SBR은 고무 특성 때문에 첨가량 5, 10 wt%에서 초기 복합소재 인장강도보다 물성이 감소됨을 확인하였다. 굴곡강도를 측정된 결과, 폐PP와 SBR을 이용한 복합소재의 굴곡강도 향상효과는 폐PP 20 wt% 혼합시만 약간의 향상을 가져왔을 뿐 나머지 경우에는 첨가제가 혼합되어 있지 않은 복합소재 굴곡강도보다 낮게 나타났다. 따라서 굴곡강도를 향상시키기 위한 첨가제로 폐PP와 SBR의 사용은 부적합한 것으로 사료된다. 또한 폐PP와 SBR 첨가함에 따른 페타이어 (50 wt%)/폐HDPE 복합소재의 신장율 측정 결과, SBR 첨가량 5 wt%에서 복합소재의 신장율은 첨가제가 투여되지 않은 복합소재 보다 약간 낮고 첨가량 10 wt%에서는 다소 향상되나 향상 정도는 미미하여, 폐PP와 SBR 모두 페타이어/폐HDPE 복합소재 신장율을 향상시키기 위한 첨가제로는 적당하지 않은 것으로 생각된다.

페타이어/폐HDPE 복합소재에 대한 무기첨가제 효과. 페타이어/폐HDPE 복합소재에 대한 충전 효과와 굴곡강도 세기 향상을 위해 CaCO₃, SiO₂, 유리 섬유, CaO 등을 복합소재 전체함량 대비 5~20 wt% 첨가시켜 복합소재에 미치는 효과에 대하여 실험을 실시하여 Figure 9와 같은 결과를 얻었다. 페타이어 (50 wt%)/폐HDPE 복합소재에 CaCO₃, SiO₂, 유리 섬유, CaO는 첨가량 20 wt%보다 10 wt%에서 인장강도 세기가 높음을 인지하였고, 특히 본 실험에 사용된 무기첨가제 중 CaO는 복합소재에 10 wt% 첨가할 때 가장 높은 수치를 기록하였다. 또한 유리 섬유는 복합소재에 10 wt% 첨가 시 첨가제가 투여되지 않은 복합소재보다 낮은 인장강도 세기를 나타내었다. 그러나 무기첨가제가 혼합된 복합소재의 신장율 (Figure 10)과 굴곡강도 (Figure 11) 변화에 따르면 유리 섬유는 신장율과 굴곡강도는 첨가제가 혼합되지 않은 때보다 63%의 우수한 굴곡강도 향상율을 보였으며, 유리 섬유 10 wt%를 혼합한 복합소재가 가

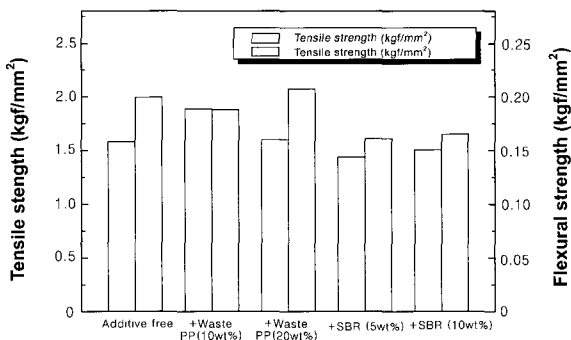


Figure 8. Effects of the waste PP, SBR addition on the tensile strength and flexural strength of GRT (50 wt%)/waste HDPE composites.

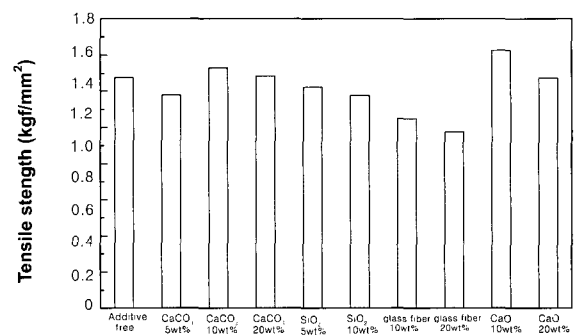


Figure 9. Effects of the CaCO₃, SiO₂, glass fiber, CaO addition on the tensile strength of GRT (50 wt%)/waste HDPE composites.

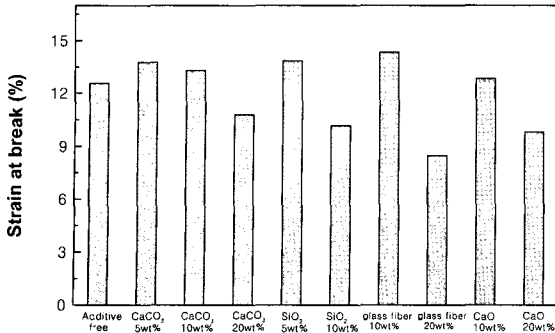


Figure 10. Effects of the CaCO₃, SiO₂, glass fiber, CaO addition on the strain at break of the GRT (50 wt%)/waste HDPE composites.

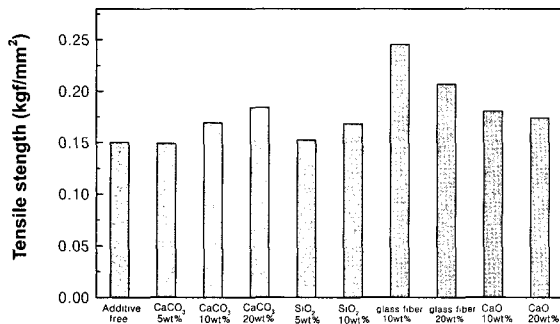


Figure 11. Effects of the CaCO₃, SiO₂, glass fiber, CaO addition on the flexural strength of the GRT (50 wt%)/HDPE composites.

장 우수한 굴곡강도를 나타내었다. CaCO₃, SiO₂ 역시 첨가함에 따라 인장강도 세기는 감소하나 굴곡강도 세기가 증가함을 확인하였다. 따라서 무기첨가제는 인장강도와 신장율을 향상시키기 위한 효과보다는 굴곡강도를 향상시키기 위한 첨가제로서 그 사용이 적합하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구는 페타이어와 폐플라스틱을 이용한 환경문제 해결과 실용적이고 경제성 있는 재활용품 개발을 목적으로 수행된 기초 연구로서, 밀폐식 혼합기를 이용한 페타이어 함량별 및 플라스틱 재질별 복합소재의 물성 특성과 유기, 무기첨가제를 사용하여 페타이어/폐HDPE 복합소재의 물성 향상에 미치는 영향을 알아보았다. 본 연구 결과를 기초로 일축 및 이축압출기를 이용한 페타이어/폐HDPE 복합소재 개발에 관한 연구를 진행 중에 있으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 밀폐식 혼합기를 이용한 페타이어 함량별, 플라스틱 재질별 복합소재의 물성 특성 실험 결과, 페타이어

함량이 증가함에 따라 플라스틱과 페타이어와의 계면 간 접착력 저하로 복합소재의 인장강도와 굴곡강도는 점차 감소되었으며 신장율은 플라스틱 재질별로 차이가 있었다. 또한 플라스틱 중 HDPE가 페타이어와의 복합소재 물성 면에서 적합한 것으로 나타났다.

2) PP가 20 wt% 첨가되었을 때 페타이어 (60 wt%) /HDPE 복합소재 인장강도는 PP를 투여하지 않은 복합소재의 인장강도보다 약 1.5배 높게 측정되었고, PP 10 wt% 혼합 시에도 높은 인장강도 값을 나타내어 다른 첨가제와 비교할 때 미량으로도 인장강도를 쉽게 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

3) 페타이어 함량 60 wt%인 페타이어/HDPE 복합소재에 첨가제 EVA 20 wt% 투여시 신장율이 약 1.6배 증가됨을 인지하였으며 EVA와 SEBS 각각 10 wt% 투여시 약 2.5배의 신장율 증가를 확인하였다. 이는 신장율을 증가시키기 위한 첨가제로 SEBS가 EVA보다 적합함을 나타내는 것으로 생각된다.

4) 페타이어(50 wt%)/폐HDPE 복합소재에 유리 섬유를 10 wt% 첨가할 경우에 약 63%의 굴곡강도 향상율을 보여 굴곡강도 향상에 가장 효과가 있는 것으로 나타났으며 이외 사용된 첨가제인 CaCO₃, SiO₂, CaO 또한 복합소재에 첨가함으로써 굴곡강도 향상에 도움이 됨을 확인하였다.

References

1. Korea Tire Manufactures Association, Statistical Data of the Domestic Automobile Retention Present Condition (2002).
2. H. T. Kim, *A Report of Research*, KORECO, p 27 (1996).
3. Plastic Korea, "Activation of Plastic Recycling Industry", p 65 (2002).
4. P. Rajalingam, J. Sharpe, and W.E. Baker, *Rubber Chem. Technol.*, **66**, 672 (1993).
5. D. S. Yun, *J. Korea Solid Wastes Eng. Soc.*, **16**, 232 (1999).
6. J. K. Kim, *J. Korean Ins. Rubber Ind.*, **29**, 431 (1994).
7. Korea Institute Energy Research, *A Report of Research*, p. 26 (1997).
8. J. C. Park, J. C. Won, K.Y. Choi, J. H. Lee, S. M. Cho, and M. K. Kim, *Polymer (Korea)*, **26**, 37 (2002).
9. F. C. Jagisch, *Adhesive Age*, September, p 17 (1991).
10. H. C. Wang, R. H. Schatz, and E. N. Kresge, "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", John Willey & Sons, Vol. **8** (2nd ed.), p 423 (1986).
11. R. E. Gross and P. D. Lyle, *36th Annual Conference*, Reinforced Plastic Composites Institute, SPI, section 3A (1981).
12. A. Singh, "Potential Modification of Polyblends by Irradiation", in Int. Conf. Adv. Additives Modifiers Polymer Blends, Miami, Florida (1992).