Elastomer
Vol. 36, No. 1, pp 22~29 (2001)

폐타이어 분말과 고밀도 폴리에틸렌 복합재료의 기계적 물성

곽 성 복·최 미 애*·이 성 재†
수원대학교 공과대학 고분자공학과, *기술표준원 화학부 고분자섬유과
(2000년 9월 5일 접수)

Mechanical Properties of Composites of HDPE and Recycled Tire Crumb

Sungbok Kwak, Mi Ae Choi*, Seong Jae Lee†
Department of Polymer Engineering, The University of Suwon, Suwon 445-743, Korea
**Polymer and Textile Division, Agency for Technology and Standards, Kwacheon 427-010, Korea*
(Received September 5, 2000)

요 약 : 폐타이어를 재활용할 목적으로 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 수지에 폐타이어 분말을 10-60wt%의 비율로 블렌딩하여 복합재료를 제조하였고, 폐타이어 분말 조성에 따른 인장강도, 파단 신장률, 인장 탄성률, 충격강도 등의 기계적 물성을 조사하였다. 또한 상용화제로 ethylene-acrylic acid(EAA) 공중합체를 10phr 첨가하여 물성 변화를 측정하였고, 이 때 향상된 충격강도를 나타내는 폐타이어 분말 조성 40wt%에 대해 EAA 공중합체 첨가량을 5-15phr로 바꾸어 가며 물성 변화를 측정하였다. 측정 결과 폐타이어 분말의 조성이 증가했을 때 대부분의 기계적 물성은 순수 HDPE에 비해 감소하였지만, 충격강도는 대체적으로 증가하는 경향을 보였다. 상용화제인 EAA 공중합체를 첨가한 경우 충격강도는 증가하는 경향을 보였지만 그 밖의 물성은 그다지 향상되지 않았다. 특히, 폐타이어 분말 30wt% 이상의 조성에서는 충격강도에 대한 상용화제의 첨가 영향이 뚜렷하게 나타났다. 반면, 폐타이어 분말의 입자 크기에 따른 복합재료의 충격강도는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다.

ABSTRACT : For a purpose of recycling of waste tires, composites of 10-60wt% recycled tire crumb blended with high density polyethylene(HDPE) were prepared, and their mechanical properties such as tensile strength, elongation at break, tensile modulus and impact strength were investigated as a function of tire crumb content. Ethylene-acrylic acid(EAA) copolymer was introduced by 10phr as a compatibilizer and the mechanical properties of the composites were measured. For the blend composition of 40wt% tire crumb content showing improved impact strength, the mechanical properties were measured by varying the EAA content of 5-15phr. All blends, whether modified or unmodified, showed a gradual improvement in impact strength as the tire crumb content increased, but the other properties decreased compared with the pure HDPE. In particular, the addition of EAA copolymer to the tire crumb content over 30wt% showed substantial improvement in impact strength. There was no significant effect of tire crumb size on impact strength of the composites.

Keywords : tire recycling, HDPE/tire crumb composite, ethylene-acrylic acid copolymer, mechanical properties.

† 대표저자(*e-mail : sjlee@mail.suwon.ac.kr*)

Ⅰ. 서 론

급격한 산업발전 및 인구증가로 인하여 고체 폐기물의 배출량이 급증하고 있으며 이에 대한 효율적인 처리방안이 환경보전 및 자원보호의 주된 관심사로 부각되고 있다. 현재 매립되고 있는 모든 산업 및 생활 폐기물 중에서 고분자 관련 폐기물은 부피로 대략 20%에 이를 정도로 큰 비중을 차지하고 있지만, 자원 재활용이 앞서 있는 유럽의 경우에서조차 고분자 폐기물의 재활용 비율은 소각에 의한 에너지 회수가 14%, 물리적 방법에 의한 기계적 재활용이 6%, 화학적 방법에 의한 원료 재활용이 0.3%에 그치고 있다.[1] 특히 고분자 폐기물 중에서도 자동차 보급률의 증가와 함께 폐타이어의 발생량이 급증하고 있다. 1992년의 미국통계에 의하면 미국 내에서만 연간 2억 5천만개의 타이어가 폐기되고 있으며 그 중 18%만이 재활용되고 있는데 소각되어 에너지로 사용하는 부분을 제외하면 7%만이 물리적, 화학적 방법으로 재활용되고 있는 실정이다.[2]

폐타이어의 처리방법 중에서 매립에 의한 방법은 매립지 부족, 매립지 선정에 대한 지역 주민의 기피, 환경오염, 토양의 균열과 침해 등의 문제점이 있으며, 소각 처리에 의한 에너지 회수법은 과중한 시설비 부담 및 2차 환경오염 유발 등과 같은 문제를 안고 있다.[3] 따라서 환경문제의 해결과 경제성 측면을 충족시킬 재활용 기술에 대한 관심이 높아지고 있는데 효율적으로 폐타이어를 대량 소모할 수 있는 방법 중의 하나가 폐타이어를 분쇄, 분말화하여 재활용하는 방법이다.[3-5] 토목용으로서의 폐타이어 분말은 고무벽돌, 보도블록 등 건설자재로 이용되거나 고무 콘크리트, 고무 아스팔트로 도로 포장에 이용된다. 폐타이어 분말을 열가소성 고분자재료와 블렌딩하여 복합재료로 사용하는 경우의 예는 관개수로용 다공성 호스(soaker hose), 식물 덮개용 멀치매트(mulch mat), 소음 차단벽, 미끄럼 방지용 고무바닥 타일, 트럭 바닥판(truck floor beds), 배수관의 방취판, 가축용 축사매트, 전선용 절연재 등이 대표적이라 할 수 있는데 이는 고무의 탄성, 단열성, 절연성, 차음성 등의 성질을 활용한 것이다.

지금까지 폐타이어 분말과 열가소성 범용수지를 블렌딩하여 새로운 소재를 개발하려는 연구가 많이 진행되어 왔다. 일반적으로 고무 함량이 증가함에 따라 폐타이어 분말과 열가소성 범용수지로 구성된 복합재료의 인장강도는 감소한다. 문헌에 의하면 HDPE 복합재료의 경우 고무의 함량이 25%일 때 인장강도는 대략 50%로 감소하며, 연성(ductility)은 고무 함량이 5%만 되어도 아주 많이 감소하는 것으로 보고되어 있다.[6] 폐타이어 분말과 PP(polypropylene)를 블렌딩한 복합재료의 경우에는 PP와 가황고무간의 나쁜 계면 접착력으로 인해 충격강도조차 감소하는 결과를 낳게 된다.[7] 이와 같이 열가소성 범용수지와 고무 분말의 블렌드는 그 자체만으로는 물성이 불충분하므로 좋은 계면 결합력을 얻기 위해서는 상용화제의 사용이 필수적이다. Ahmad 등은 HDPE와 천연고무 블렌드에 액상 천연고무를 상용화제로 사용하여 인장강도를 향상시킬 수 있었다.[8] Baker 등은 LLDPE (linear low density polyethylene)와 고무 분말에 EAA 공중합체를 상용화제로 사용하여 충격강도 뿐만 아니라 가공성도 향상시켰다.[9] 또한 그들은 고무 분말과 LLDPE 간의 상용성을 향상시키기 위하여 고무 분말에 코로나(corona) 방전처리를 하여 충격강도를 어느 정도 향상시켰다.[10] Pramanik과 Dickson은 타이어 분말을 충전제로 하여 LDPE, HDPE, PP/HDPE 등의 재활용 플라스틱 컴파운드를 제조하였는데, 자체 개발한 상용화제를 첨가해 HPDE 및 PP/ HDPE의 경우 충격강도를 상당히 향상시켰으나 LDPE의 경우 효과가 나타나지 않았다.[11]

이에 본 연구에서는 열가소성 범용수지와 폐타이어 분말로 복합재료를 만들 경우 가장 손쉽게 얻을 수 있고 충격강도 향상 효과도 잘 나타나는 HDPE를 대상으로 하여 블렌딩하고 사출성형으로 시험 시편을 제조하여 인장강도, 파단 신장률(elongation at break), 인장 탄성률(tensile modulus), 충격강도 등 대표적인 기계적 물성을 조사하였다. 또한 상용화제로 EAA 공중합체를 첨가한 경우의 물성변화에 대해서도 분석해 보았고 타이어 분말의 입자 크기에 따른 충격강도의 변화 여부를 조

사하였다. 폐타이어 분말/HDPE 복합재료의 물성을 향상시키기 위한 그 밖의 방법으로는 폐타이어 분말과 HDPE 각각에 상용성을 극대화할 수 있는 또 다른 상용화제를 선택하여 블렌딩하는 실험, 가교된 폐타이어에 그래프팅 효과를 높일 수 있도록 ATBN이나 CTBN으로 전처리한 후 사용하는 실험,[4] 또한 반응개시제(예를 들어, di-peroxy initiator 계통)를 사용하여 반응압출성형(reactive extrusion)하는 실험,[12,13] 본 연구에서 사용한 크기의 폐타이어 분말보다 더욱 미세한 폐타이어 분말을 사용하는 실험 등으로 앞으로 폐타이어 분말/HDPE 복합재료에 적용해 볼 방법이라 생각된다. 본 연구는 폐타이어 분말과 HDPE로 복합재료를 제조하고자 하는 경우 기계적 물성에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Ⅱ. 실 험

1. 복합재료 제조

복합재료 매트릭스로 사용한 HDPE 수지는 LG화학의 LuTEN-H ME8000으로 이 수지의 MI (melt index)는 8.0g/10min이다. 재활용하기 위한 폐타이어 분말은 (주)그린탈에서 공급받았으며, 분말의 대략적인 입자 크기에 따른 구성비는 Table 1과 같다. 상용화제로 사용한 EAA 공중합체는 Dow Chemical의 DOW1410 제품으로 MI는 1.5g/10min이며, AA 함유량이 3%인 것을 사용하였다.

복합재료를 제조하기 위하여 HDPE, 폐타이어 분말을 90℃의 강제 순환 열풍 건조기에서 각각 24시간 이상 건조하여 수분을 제거한 후 혼합과 성형이 동시에 일어나는 소형혼련기(mixerextruder)를 사용하여 조성별로 성형하였다. 이 때 성형온도는 190℃로 유지하면서 매 시편당 12분간 혼련하였다.

Table 1. Particle Size Distribution of Recycled Tire Crumb

Particle size range	Percentage in range (wt%)
> 1000 μm	17
600 - 1000 μm	80
600 μm >	3

복합재료는 다음의 4가지 형태의 실험조건으로 나누어 제조하였다. 첫째, 두 재료의 계면 결합력에 의한 기계적 물성을 확인하기 위하여 상용화제의 사용없이 HDPE에 폐타이어 분말을 10-60wt%사이의 조성에서 10wt%씩 변화시켜가며 제조하였다. 둘째, 상용화제 첨가에 따른 효과를 보기 위해 폐타이어 분말의 조성을 앞의 실험과 동일하게 두고서 각 경우에 대해 상용화제를 10phr 첨가하여 제조하였다. 셋째, 상용화제 조성 변화에 따른 효과를 보기 위해 주어진 폐타이어 분말의 조성에 상용화제를 5-15phr사이의 조성에서 2.5phr씩 변화시켜가며 제조하였다. 넷째, 폐타이어 분말의 입자 크기에 따른 물성 변화를 고찰하기 위해 세 번째 실험과 동일한 조건하에서 단지 폐타이어 분말의 입자 크기에 따른 실험으로 0.5mm 크기를 기준으로 이보다 작은 크기의 분말과 0.5-1.0mm 사이의 분말로 분리한 후 각각에 대해 복합재료를 제조하였다. 여러 가지 형태의 실험조건에서 제조 성형된 복합재료는 기계적 물성을 측정하는 시편으로 사용하였다.

2. 기계적 물성 측정

각 조성의 복합재료에 대하여 인장강도 및 충격강도를 측정하기 위하여 ASTM D638에 의거하여 사출성형으로 시편을 제조하였다. 만능시험기(Universal Testing Machine: United Calibration Corp.)를 사용하여 인장강도, 파단 신장률, 인장 탄성률을 측정하였는데 인장시험시 시편의 축방향으로의 인장속도는 50mm/min로 하였고 시험결과의 신뢰성 확보를 위하여 최소한 5개 이상의 시편을 사용하여 측정 평균값을 물성값으로 취하였다. 충격강도는 ASTM D256- A에 의거하여 1/8 inch 두께의 시편에 놋치(notch)를 준 Izod 충격시험법으로 측정하였는데 인장강도 시험과 마찬가지로 측정결과의 신뢰성을 높이기 위하여 매 시료당 10회 측정한 값을 평균하여 구하였다. 충격시험기는 일본의 Yasuda seiki 제작소의 기기를 사용하였으며, 시험하중은 60 $kg_f \cdot cm$ 용량을 사용하였고 시험온도는 23℃를 유지하였다. Izod 충격강도 시험 후 칼라 영상 현미경 시스템을 사용하여 충격 파단면을

관찰하였고 화상분석기(Image Analyzer: HiRok Co.)를 이용하여 사진을 촬영하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 복합재료의 기계적 물성

폐타이어 분말과 HDPE로 구성된 복합재료를 사출성형으로 시험 시편을 제조하여 인장강도 및 충격강도를 측정하고 그 결과를 고찰하였다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 폐타이어 분말의 함량이 증가함에 따라 인장강도가 감소하였다. 이 결과는 상용화제를 사용하지 않고 폐타이어 분말/HDPE 복합재료의 물성에 대해 앞서 발표된 문헌6의 결과와 같은 경향을 보여주는데 대략 폐타이어 분말의 함량이 20% 정도일 때 순수한 HDPE에 비해 절반에 해당하는 강도를 나타내었다. 이것은 HDPE가 탄화수소계, 카본블랙, 회분 및 그 밖의 성분이 혼합된 재료인 타이어 분말과 계면 접착력이 좋지 않음을 의미한다. 즉 폐타이어 분말 함량이 많아질수록 계면 접착력이 약화되어 약한 힘에도 인장시편이 쉽게 끊어지는 것으로 해석할 수 있다. 파단 신장률의 변화에 대해 조사한 결과인 Fig. 2를 살펴보면 폐타이어 분말을 10% 이하의 소량 첨가에도 순수 HDPE에 비해 파단 신장률이 급격하게 감소

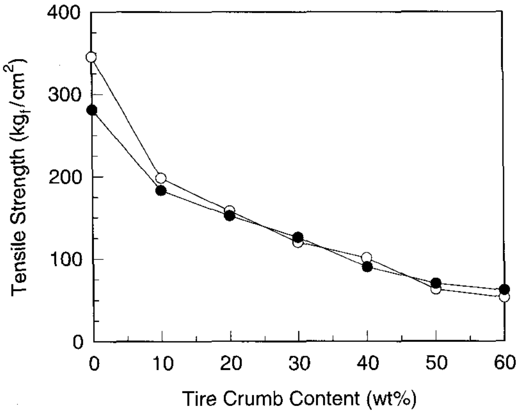


Figure 1. Tensile strength of recycled tire crumb and HDPE composites as a function of tire crumb content(-○- : tire crumb/HDPE, -●- : tire crumb/ HDPE with 10phr of EAA copolymer).

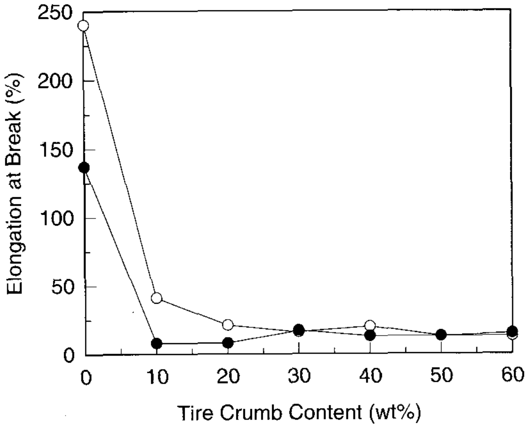


Figure 2. Elongation at break of recycled tire crumb and HDPE composites as a function of tire crumb content (-○- : tire crumb/HDPE, -●- : tire crumb/ HDPE with 10phr of EAA copolymer).

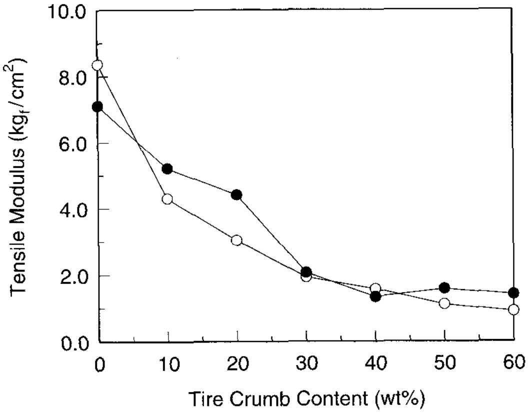


Figure 3. Tensile modulus of recycled tire crumb and HDPE composites as a function of tire crumb content (-○- : tire crumb/HDPE, -●- : tire crumb/HDPE with 10phr of EAA copolymer).

한 후 그 이후에는 고무 함량이 증가해도 파단 신장률이 거의 변화하지 않고 일정하게 됨을 알 수 있다. 이것은 순수 HDPE에 비해 HDPE/폐타이어 복합재료의 응력집중이 고무와의 계면에서 발생하여 계면 접착력이 좋지 않은 계면을 분리시킨 후 HDPE를 파단시키는 것으로 결국 이종의 재료가 복합재료로 형성되면서 연성이 감소한 것에 기인하는 것으로 판단된다. 이후 고무 함량이 증가해도 파단 신장률이 일정한 것은 HDPE가 폐타이어 분

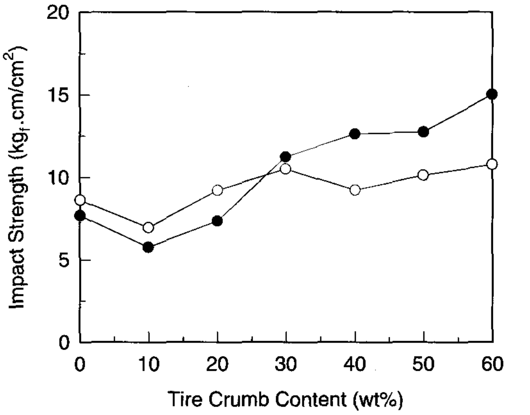


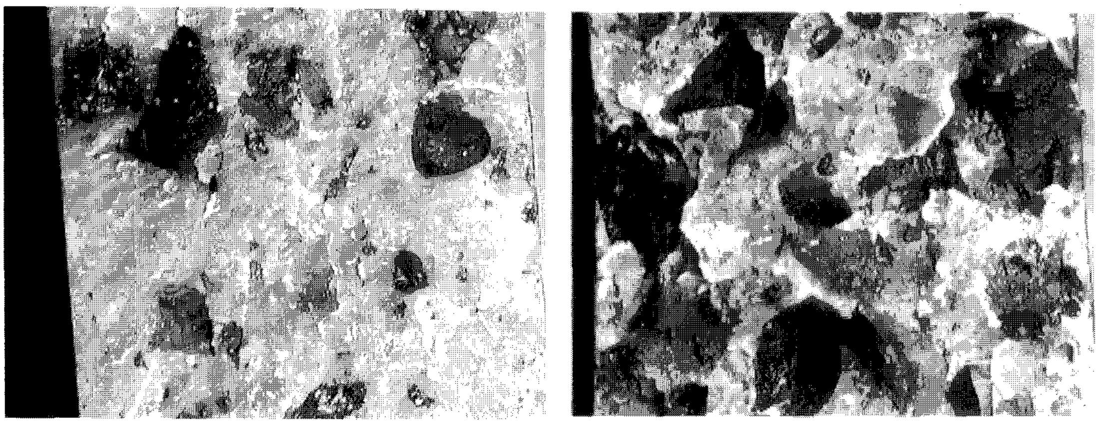
Figure 4. Impact strength of recycled tire crumb and HDPE composites as a function of tire crumb content (-○- : tire crumb/HDPE, -●- : tire crumb/HDPE with 10phr of EAA copolymer).

말을 접착해 주는 바인더의 역할을 하여 고무 함량에 상관없이 고무에서 접착이 떨어지는 신장이 동등하기 때문이다. 물론 이 경우에도 고무 함량이 증가할수록 바인더로 작용하는 HDPE의 양이 줄어들기 때문에 Fig. 1에서 보듯이 인장강도는 계속 감소하게 된다. 인장 탄성률 역시 폐타이어 분말의 함량이 높아질수록 감소하고 있는데(Fig. 3) 이것은 인장강도의 감소 형태와 유사하지만 폐타이어 분말 함량이 소량인 경우 신장률이 급격히 감소하므로 인장 탄성률의 감소 형태가 인장강도보다 더욱 급격하게 감소하는 형태를 보여주고 있다.

HDPE/폐타이어 복합재료의 충격강도는 Fig. 4에 나타나는 바와 같이 폐타이어 분말의 함량이 증가함에 따라 초기에 약간 감소하였다가 함량이 더 늘어남에 따라 반전되어 점차 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 폐타이어 분말의 함량이 대략 20% 이상인 경우 충격강도는 순수 HDPE에 비해 그 수치가 상승함을 보인다. 이것은 비록 두 물질 사이에 계면 접착력은 좋지 않지만 폐타이어 분말의 함량이 높아질수록 고무의 탄성이 순간 충격에 의한 에너지를 흡수하는 역할을 하여 순수 HDPE의 내충격성을 어느 정도 향상시켜 준다는 것을 의미한다. 즉, 폐타이어 분말/HDPE 복합재료의 경우 인장강도 시험에서처럼 응력이 서서히 가해지는 경우는 계면의 접착력이 약해 순수 HDPE에 비해 연성이 감소하지만, 충격강도 시험에서처럼 응력이 순간적으로 가해지는 경우에는 계면 접착이 떨어지는 것에 앞서 고무의 탄성이 먼저 작용하여 에너지를 흡수하므로 오히려 순수 HDPE에 비해 연성이 증가하는 것으로 판단된다.

2. 상용화제의 영향

폐타이어 분말/HDPE 복합재료의 좋지 않은 계면 물성을 개선하기 위해 상용화제로 EAA 공중합체를 첨가하여 물성 개선 여부를 확인해 보았다. EAA 공중합체를 상용화제로 선정한 이유는 EAA 공중합체의 carboxylic group이 폐타이어 분말의 산화나 분말 제조시 생긴 라디칼에 의해 작용기와 결합 능력이 있을 것이라는 예상 때문이다. Fig. 1-4에서 보듯이 EAA 공중합체를 폐타이어 분말의 함량변화(0~60%)에 관계없이 10phr씩 일정하게 섞었을 때의 물성 변화는 대체적으로 상용화제를 첨가하지 않은 경우와 비교하여 경향이 거의 유사하였다. 폐타이어 분말의 함량이 0%인 HDPE의 경우에도 두 값이 일치하지 않은 것은 EAA 공중합체의 첨가 유무에 의한 것이다. 인장강도, 파단 신장률 및 인장 탄성률은 고무 함량이 적은 경우에는 상용화제를 사용하지 않은 경우보다 물성이 좋지 않았다. 하지만 고무 함량이 많은 경우에는 인장강도는 거의 변화가 없지만 충격강도는 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 충격강도 시험의 경우 고무 함량 30% 이상에서 계속적으로 물성이 상승하는 것은 상용화제가 계면 접착의 개선에 영향을 주고 있는 것으로 볼 수 있다. 그 밖의 결과에서도 확인할 수 있듯이 폐타이어 분말이 30% 이하에서는 EAA 공중합체를 10phr 첨가한 경우가 그렇지 않은 경우보다 대부분의 물성이 좋지 않게 나타나는데 이는 계면접착에 참여하지 않은 EAA 공중합체가 물성 저하를 야기시키는 것으로 해석된다. 즉 폐타이어 분말이 30% 이하인 경우에는 EAA 공중합체 10phr 중에서 일부만 계면에 사용되고 많은 부분이 HDPE 속에 존재하여 계면 접착 향상에 관여하지 않아 전체적인 물성을 저하시키는 것으로 추론할 수 있다. 폐타이어 분말이 30% 이상인 경우 10phr의 EAA 공중합체는 많은 부분이 폐타이



(a) (b)

Figure 5. Fracture surface photographs of recycled tire crumb and HDPE composites containing 10phr of EAA copolymer (sample thickness: 3mm). (a) 10/90, (b) 30/70.

어 분말과 HDPE 사이의 계면의 접착에 관여해 사용하지 않은 경우보다 물성이 나아지는 효과가 있는 것으로 해석된다. Fig. 5는 상대적으로 낮은 충격강도를 나타낸 폐타이어 분말/HDPE(10/90) 복합재료와 높은 충격강도를 나타낸 폐타이어 분말/HDPE(30/70) 복합재료를 대상으로 충격강도 시험을 마친 후 그 파단면을 화상분석기로 촬영한 결과이다. 폐타이어 분말의 입자가 크기 때문에 계면의 상용성을 판단할 수 있는 자료가 될 수는 없지만, 두 경우 모두 폐타이어 분말이 HDPE 매트릭스 속에 대체적으로 잘 분산되어 있음을 보여준다.

3. 상용화제 함량 변화에 따른 영향

상용화제를 사용한 경우 충격강도 향상효과가 많이 나타난 폐타이어 분말 함량 40%에 대해 EAA 공중합체 함량을 5-15phr로 변화시켜가며 여러 물성을 측정한 결과를 Fig. 6-9에 나타내었다. 인장강도, 파단 신장률 및 인장 탄성률의 경우 EAA 공중합체의 함량 변화에 관계없이 대체적으로 일정한 값을 보여주었으며 충격강도는 상용화제 함량이 증가할수록 점차 증가하는 경향을 보여주었다. 인장강도의 경우 상용화제의 양이 많아지면 계면 결합력이 좋아져 물성 향상이 기대되지만 매트릭스 내에 계면 결합에 참여하지 않은 상용화제가 또한 많이 존재하게 되어 매트릭스의 물성이 저하되므로 두 가지 효과의 복합적인 작용에 의해 뚜렷한 차이가 나지 않는 값을 나타내는 것으로 생각된다. 충격강도의 경우 상용화제의 양이 증가함에 따라 폐타이어 분말/HDPE의 계면에서 상용화제의 작용기의 결합작용에 의해 순간 충격에 대한 복합재료의 연성이 증가하여 내충격성이 증가하는 것이 아닌가 생각된다. 폐타이어 분말의 함량이 다른 경우에 대하여, 또한 상용화제 함량 변화

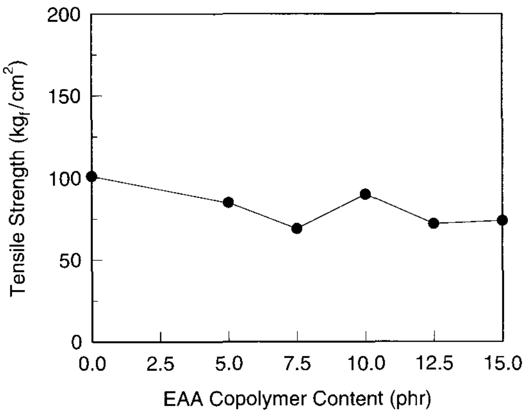


Figure 6. Tensile strength of recycled tire crumb and HDPE composite(40/60) as a function of EAA copolymer.

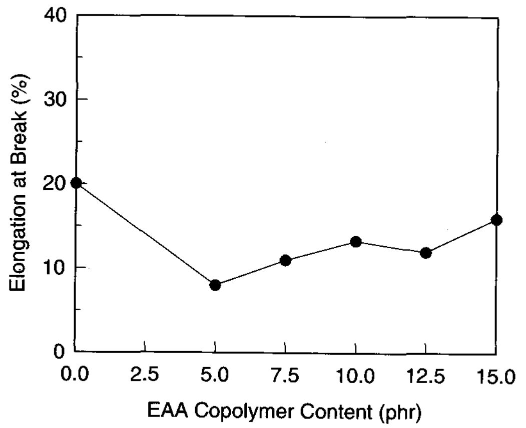


Figure 7. Elongation at break of recycled tire crumb and HDPE composite(40/60) as a function of EAA copolymer.

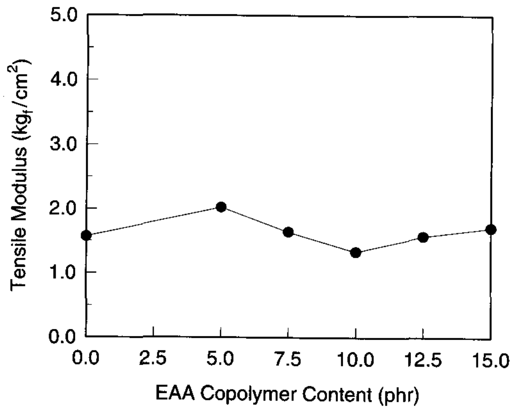


Figure 8. Tensile modulus of recycled tire crumb and HDPE composite(40/60) as a function of EAA copolymer.

를 폭 넓게 구성하여 더 많은 실험이 진행된다면 보다 구체적인 설명이 나오리라 본다.

4. 폐타이어 분말의 입자 크기의 영향

상용화제 함량 증가에 대하여 증가하는 물성을 보여주는 충격강도를 대상으로 폐타이어 분말의 입자 크기의 영향을 조사하였다. 폐타이어 분말을 0.5-1mm 사이의 크기를 갖는 큰 입자와 0.5mm 이하의 크기를 갖는 작은 입자의 두 부류로 나누어 충격강도 시험결과를 원래의 나누지 않은 혼합 입자의 결과와 비교하여 Fig. 9에 나타내었다. 본 연

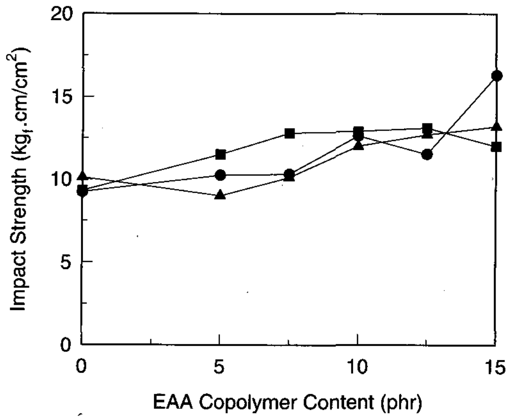


Figure 9. Impact strength of recycled tire crumb and HDPE composite(40/60) as a function of EAA copolymer (-●- : tire crumb as received, -▲- : tire crumb under 0.5 mm size, -■- : tire crumb between 0.5-1.0mm size).

구의 결과 큰 입자로 구성된 쪽이 5-10phr 사이에서 충격강도 값이 다소 높게 나왔으나 전체적으로 보면 혼합 입자, 작은 입자, 큰 입자에 의한 정량적인 분석을 하기는 어려워 보이며, 다만 상용화제의 함량이 증가할수록 충격강도가 약간 증가하는 경향을 보여주고 있다. 폐타이어 분말 5%를 대상으로 다양한 입도분포에 대해 여러 가지 물성을 측정한 문헌을 보면 입자 크기에 관계없이 일정한 물성을 나타내는 것도 있고 입자 크기가 작은 쪽이 좋은 물성을 보여주는 것도 있으며 반대의 경향을 보여주는 것도 있다.[6] 입도분포를 단순히 두 부류로 나누어 측정한 본 연구의 결과를 바탕으로 판단하면 여기서 대상으로 한 범위 내에서 입자 크기에 따른 뚜렷한 영향은 없는 것으로 추론된다.

Ⅳ. 결　　론

본 연구는 점차 처리에 문제가 되고 있는 폐타이어를 물리적 방법으로 재활용하기 위한 방안으로 열가소성 범용수지와 폐타이어 분말 복합재료를 제조하고 기계적 물성을 측정한 것이다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. 폐타이어 분말/HDPE 복합재료의 인장강도 및 인장 탄성률은 고무 함량이 증가할수록 점차 감소하였고, 파단 신장률은 소량의 고무 함량에도 급격

히 감소한 후 거의 일정한 값을 나타내었다.

2. 복합재료의 충격강도는 고무 함량이 증가함에 따라 처음에 약간 감소하다가 증가하는 경향을 나타냈는데 고무 함량이 20% 이상에서부터는 순수 HDPE보다 우수한 내충격성을 나타내었다. 두 물질간의 계면 접착이 좋지 않은데도 충격강도가 증가하는 것은 무정형인 고무의 우수한 탄성이 HDPE 매트릭스를 강인화하기 때문이다.

3. 상용화제로 EAA 공중합체를 사용한 경우 상용화제를 사용하지 않은 경우에 비해 인장강도, 파단 신장률, 인장 탄성률에는 향상되는 효과가 없었으나 충격강도는 폐타이어 분말의 함량이 30% 이상에서부터 우수한 향상효과를 보여 주었다.

4. 폐타이어 분말의 입자 크기에 의한 충격강도 시험을 한 결과 전체적으로 볼 때 입자 크기에 따른 물성은 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 입자 크기에 따른 물성 차이를 측정하기 위해서는 보다 세분화된 실험이 요구된다.

5. 본 연구는 폐타이어 분말과 열가소성 범용수지로 복합재료를 제조할 경우 기계적 물성에 대한 가이드라인을 제시할 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단에서 지원한 우수연구센터(유변공정 연구센터)의 연구수행 결과의 일부로서 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. Scheirs, "Polymer Recycling: Science, Technology and Applications", John Wiley & Sons, Chichester (1998).
2. D. Riggle, *Biocycle*, **33**(4), 40 (1992).
3. 김진국, 고무학회지, **4**, 125 (1994).
4. J. R. M. Duhaime and W. E. Baker, *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, **15**(2), 87 (1991).
5. 홍영근, 정경호, *J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry*, **6**(1), 1 (1995).
6. J. McKirahan, P. Liu and M. Brillhart, *Proc. ANTEC '96*, 3110 (1996).
7. A. A. Phadke and S. K. De, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 1079 (1986).
8. S. Ahmad, I. Abdullah, C. S. Suliaman, S. Kohjiya and J. R. Toon, *J. Appl. Polym. Sci.*, **51**, 1357 (1994).
9. K. Oliphant and W. E. Baker, *Polym. Eng. Sci.*, **33**, 166 (1993).
10. P. K. Pramanik and W. E. Baker, *J. Elastomers and Plast.*, **27**, 253 (1995).
11. P. K. Pramanik and B. Dickson, *Proc. ANTEC '95*, 3738 (1995).
12. P. J. Perron, *Plastics Engineering*, December, 48 (1988).
13. M. W. Fowler and W. E. Baker, *Polym. Eng. Sci.*, **28**, 1407 (1988).