J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 17, No. 3, 2008, 21-28

≫ 研究論文 ≪

自動車 Air Filter PET/PP 混合 廢플라스틱의 再活用에 關한 硏究†

✞安泰光 · 金慧泰*

彗田大學 醫療材料科, *韓國環境資源公社 有害物質檢査팀

Study on Recycling of Air Filter PET/PP mixed Plastics from Automobiles†

✞Tae-Kwang Ahn and Hea-Tae Kim*

Dept. of Medical Material, Hyejeon College, Korea
**Hazardous Substances Examination Team, ENVICO, Korea*

요 약

자동차 부품으로 사용되는 air filter media인 PET와 frame으로 사용되는 PP의 혼합폐플라스틱의 제조공정의 edge scrap 및 부품의 교체로 발생된 post-consumer waste에 대한 재활용 연구를 진행하였다. 수거된 혼합 폐플라스틱을 파쇄 및 건조시킨 후 세 가지 형태의 상용화제의 배합비 별로 압출기를 이용한 용융 블렌딩을 실시하여 재생 칩을 제조하였다. 사용된 상용화제는 EVA, MBS, 그리고 가소화 재생 PVB이고, 이들의 배합비는 3~10 wt.%까지 혼합하였다. 상용화제의 종류와 배합비의 변화에 따른 기계적 특성과 열적 특성을 비교하였다. 이들 상용화제 종류별 분석에서는 MBS 상용화제가 가장 뛰어난 기계적 특성을 보였고, 배합비는 3~5 wt.%에서 우수한 특성 값들을 보였다. 또한 EVA를 상용화제로 사용한 경우 배합비가 3~5 wt.%에서 내충격성 및 열적 특성의 향상을 보여 내충격성이 요구되는 재활용 제품으로의 응용이 기대된다. 재생 PVB수지를 상용화제로 사용한 경우는 전체적으로 특성치의 저하를 보이기는 하나 toughening effect가 요구되는 분야로의 응용이 기대된다.

주제어 : 자동차, 에어필터, PET/PP 혼합폐플라스틱, 재활용, 상용성

Abstracts

Using the post-consumer waste and edge scrap mixed PET with small amount PP air filter elements of automobiles, It was studied that these mixed waste plastics of the various types of the PET were practicable for the material recycling. Various waste PET/PP plastics were collected, crushed, dried in vacuum, and extruded to recycled PET/PP chips. These chips were mixed with three kinds of compatibilizers, EVA, MBS, and recycled PVB of the ratio of 3~10 wt.% for the purpose of the compatibility for the post-consumer waste and edge scrap. We investigated mechanical and thermal properties of PET/PP mixtures which were compounded with the weight ratio of compatibilizers. Compatibilizer, MBS application was showed the most excellent mechanical properties in the range of the 3~5 wt.% EVA application was displayed good impact strength and thermal property in the range of 3~5 wt.% Last, recycled PVB application was showed poor mechanical properties in the whole range ratio of the PVB.

Key words : Automobiles, Air filter, PET/PP mixed waste plastics, recycling, compatibility

1. 서 론

PET는 포화폴리에스터 수지로서 에스테르기를 갖고 있는 선형의 극성 열가소성 고분자로서 영국의 ICI사에 의해 1949년에 TERYLENE 섬유로 처음 공업화 한 이후 1952년 듀폰사가 DACRON이란 섬유와 MYLAR이란 필름제품을 제조하였다. 일본은 1957년도 기술도입으로부터 도레이사로부터 테트론이란 섬유와 루미러란 필름을 상품명으로 판매를 시작하였다[1].

이들 PET 수지는 전기적 특성, 내열특성 및 기계적 강도를 이용한 섬유 및 필름으로의 용도 외에 각종 성형제품으로 사용되고 있다. 특히, 이들 특성중에서 광택

† 2005년 3월 31일 접수, 2008년 3월 24일 수리
✞ E-mail: atk5223@hj.ac.kr

성, gas barrier성, 위생성 등의 성질을 이용하여 식품 등의 용기로 블로우 성형제품으로 많이 사용되고 있으며, 또한 부직포 형태를 이용하여 휠터 media로 사용이 급증하고 있다.

2004년 현재 우리나라 자동차 등록대수가 1,300만대를 넘어서고 있는 실정에서 자동차 부품의 교체 및 폐차에 따른 각종 부품의 재활용이 시급한 상태다.

이 이외에도 자동차의 폐차율이 해마다 증가추세에 있어 자동차에서의 플라스틱 재료의 재활용성이 강조되어 자동차 플라스틱 부품의 조립 및 해체 용이성이 강조되고 있다. 이에 따라 자동차의 부품의 재료선정에 있어 재활용 가능성을 고려하여 선정하게 되며, 폐기재료의 재활용응용분야에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 재활용을 위해서는 자동차용 재료의 동일 재질, 단순 grade화를 완성차 메이커에서 추진해야 한다. 이들은 해외 자동차 업계에서는 현재 일부분이긴 하지만 진행 중에 있다.

재료의 재활용방법을 살펴보면 크게 세 가지 방법으로 실시하고 있는데 첫째는 재활용율이 제일 큰 material recycle로서 단일재질과 복합 재질 둘 다에 대해서 용융 압출과정을 거쳐 플라스틱 제품을 제조한다. 예를 들면 재생 PE를 이용하여 파이프, 농업용 용수로 및 정화조를 제조하고 재생 PET를 이용하여 섬유 및 카펫을 그리고 재생 PP를 이용하여 물통, 화분 및 쓰레기통 등을 제조하여 판매하고 있다. 복합재질의 경우는 재활용공정을 거쳐 목재 대체용, 단열재, 판재, 각종 건축용 재료로의 생산이 진행되고 있다. 둘째로 chemical recycle 방법으로서 유화 및 플라스틱 원료화가 이에 해당된다. 셋째로 energy recycle 방법이며, 이 경우 재활용공정을 거쳐 fluff를 제조하여 제철소, 시멘트 공장 등의 연료로 사용된다.

자동차 air filter media의 경우 filter media와 frame의 이종재료인 PET와 PP의 사용에 따라 주기적인 교체에 따른 혼합 폐플라스틱 발생이 급증하고 있다. 수거된 상태의 혼합 폐플라스틱안 PET+PP의 재활용효율의 극대화를 위해 분쇄과정을 거쳐 PET의 가수분해를 막기 위해 건조 후 용융 압출하여 혼합폐플라스틱의 물성향상을 위해 compatibilizer를 비율별로 투입하여 물성을 조사하고 응용분야를 조사하였다. 그러나 이들 PET의 재활용 공정은 몇 가지 단점을 가지고 있다. 첫째로 열분해 및 가수분해에 따른 용융점도의 저하 현상이 생겨 고분자의 해리가 진행된다는 것이다. 둘째로 용융 재생공정으로 인하여 고리화나 선형 올리고머화 되어 최종 제품을 제조하였을 때 인쇄성이나 염색성에 영향을 줄 수 있다[2]. 이 이외에도 PET의 용융재생공정을 실시하는데 따른 황변현상이 나타난다든지, 타 수지의 오염원으로 인한 가수분해를 촉진하는 요인들을 가지고 있다. 이들에 관련된 폐 PET의 여러 형태에 대한 재활용의 문제점부터 성공한 사례들에 대한 많은 선행연구들이 있다[3-6].

상용성을 부여하기 위한 목표는 원하는 특성과 모폴로지를 이끄는 안정하고 재현성을 갖는 분산성을 얻는데 있으며, 상용성을 갖게 하는 방법으로는 블록, 그라프트, 랜덤공중합체 부가법, 공중합체나 interacting polymer를 만들어 블렌드 내에서의 공반응, IPN 기술방법, 블렌드를 이루는 성분고분자의 가교화, 공용매 부가 등의 방법이 있으며, Barlow *et al.*은 비상용성 블렌드에 공중합체와 블록공중합체들을 상용화제로 사용하여 상용성을 부여한 연구를 진행한 바 있다[7-8].

본 연구에서는 상용화제로 EVA(VA=28%), MBS (methyl methacrylate butadiene styrene copolymer), recycled PVB(polyvinyl butyral)를 사용하였다. 이 세 가지의 공중합체 및 PVB를 상용화제로 사용한 이유는 선행 연구에서 언급한 바와 같이 air filter media와 frame으로 사용되는 PET와 PP의 화학구조에서 볼 수 있듯이 PET는 극성 고분자이고 PP는 전형적인 비극성 고분자이므로 이들의 혼합체는 비상용성 블렌드를 이루기 때문에 상용화제로 사용하는 공중합체 내의 극성과 비극성을 같이 가지고 있어 블렌드를 이루는 두 고분자 사이의 상호작용을 일으킬 수 있는 매체로서의 역할을 기대하였다. 이들 상용화제를 PET/PP 복합폐플라스틱에 3~10 wt.%까지 배합하여 용융압출공정을 거쳐, 시험편 제조를 통해 인장, 굴곡, 충격시험을 통해 상용화제의 유형 및 조성비변화에 따른 기계적 특성을 조사함과 아울러 열적 특성의 변화의 시험을 통해 PET/PP 혼합폐플라스틱의 재활용 응용 가능성을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료 및 장치

본 연구에서 사용된 원료는 자동차의 parts중의 하나인 Air filter media의 제조과정 및 사용 후 폐기된 제품들을 파쇄한 상태의 scrap을 재활용하기 위한 방법을 모색하기 위하여 전처리 과정을 거치지 않고 사용하였다. PET의 경우 결정성, 극성 polymer로서 수분에 의한 가수분해에 민감하기 때문에 가수분해를 막기 위해 150°C

에서 진공 건조하여 사용하였고, 세척공정 없이 사용하였다. 시료로는 PET/PP 혼합폐플라스틱의 세 가지 상용화제를 사용하였다. 이들 상용화제는 Ethylene vinylacetate copolymer(EVA, VA=28%, VC 590, SEETEC), MBS(Methyl methacrylate butadiene styrene copolymer, MB838, LG Chem.), Plasticized PVB(polyvinyl butyral)의 세 가지를 사용하였다.

본 연구에 사용된 기기는 single screw extruder(L/D=30, screw diameter, 45 mm)로서 PET/PP scrap의 chip 제조 및 용융 블렌딩에 사용되었다. 또한 시험편 제조용 사출기(L/D=20, screw diameter 20 mm)를 사용하여 인장시험편(KSM 3006 1호형 시험편), 굴곡시험편(12.7 mm× 100 mm× 3 mmT, KSM 3008규격), Izod 충격시험편(64 mm× 12.7 mm× 3 mmT, KSM 3055)을 제조하였다. 이 사출형 시험편제조기는 혼련장치가 장착된 screw를 사용하여 압출공정으로 제조된 상용화제를 적용한 칩들을 이용하여 각 시험편을 제조할 때 사용하였다.

시험 및 분석 장치로는 UTM(Instron 4400series), Resil Impact Tester(Ceast Co., Model No. 6957, Italy), HDT/VICAT Tester(Ceast Co., Model No. 6911, Italy)를 사용하였다.

2.2 용융재생 chip의 제조

Air filter 폐 부품 및 edge 불량품으로부터 발생되는 PET/PP scrap의 파쇄 및 건조공정을 거쳐 single screw extruder(L/D=30, screw diameter, 45 mm)를 사용하였다. 압출조건으로써 바렐의 온도는 250℃, screw rpm은 30으로 고정하고 이어 strand die, air cooler 및 hot cutter를 거쳐 재생 PET/PP chip을 제조하였다. 이들 재생 chip은 다시 진공건조과정을 경유하여 상용화제와의 용융 블렌딩시에 시험재료로 사용하였다. 이들 재생 chip의 제조 공정도를 Fig. 1에 보였다.

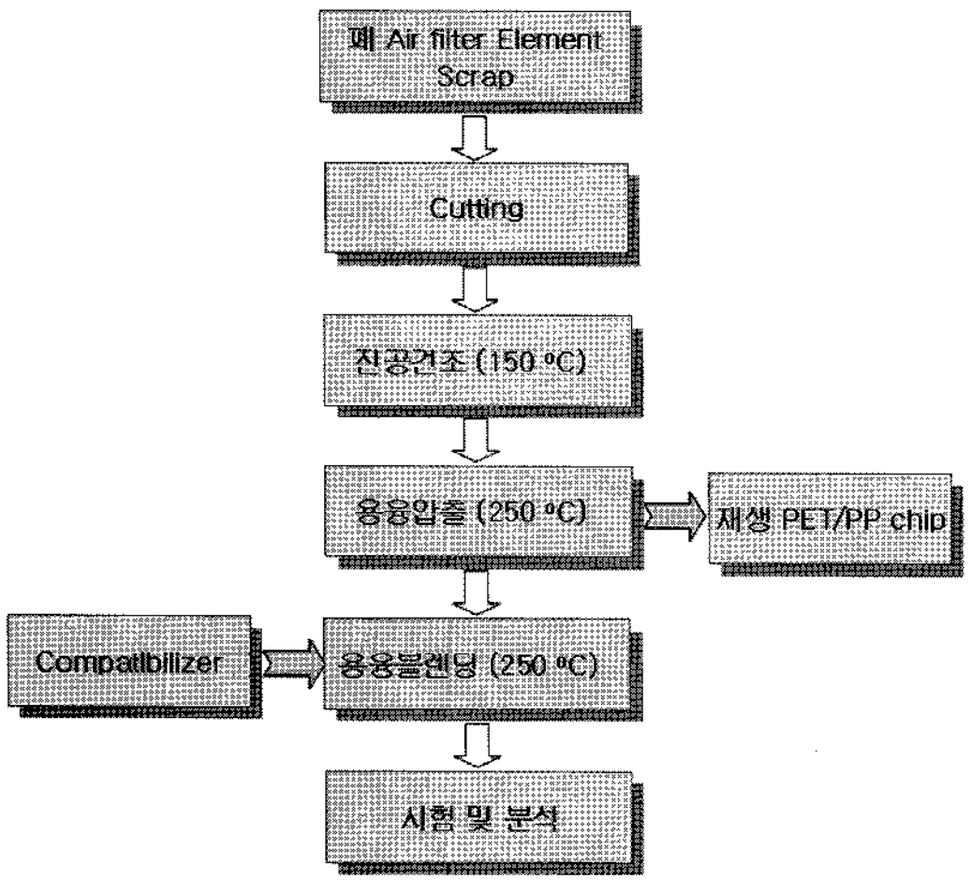


Fig. 1. Experimental procedures of the air filter recycling studies.

2.3. 상용화제의 배합 및 블렌딩 시험편 제조

PET는 극성 polymer로서 scrap에는 PP가 혼합되어 있어 물리적 특성의 저하를 가져와 상용화제를 배합하여 상용성을 보이는 재활용 가능한 원료로서의 응용분야를 조사하는 연구를 진행하였다[9-15]. 이때 사용된 상용화제는 세 가지로서 극성과 비극성을 공유하고 있는 polymer를 선택하였고, 이들 상용화제는 다음과 같다. 상용화제는 Ethylene vinylacetate copolymer(EVA, VA=28%, VC 590, SEETEC), MBS(methyl methacrylate butadiene styrene copolymer, MB838, LG Chem.), Plasticized PVB(polyvinyl butyral)의 세 가지를 사용하였다. 이들 세 가지 물질을 상용화제로 사용하는데 따른 이유는 PET의 극성 고분자와 PP의 비극성 특성을 함께 상용화시키기 위한 방법으로서 한 분자 구조내에 극성과 비극성을 함께 가지고 있는 구조의 화합물을 선택하였다. 이들 상용화제는 PET/PP 혼합플라스틱 스크랩 기준 조성비를 3~10 wt.%로 한정하였다.

상용화제의 배합 및 용융 압출작업은 상용화제와 재생 PET/PP의 배합비 별로 압출기를 이용하여 용융 블렌딩을 실시하여 블렌드 chip을 각각 제조하였다. 이들 블렌드 chip을 이용하여 시험편제조용 혼련형 사출기를 이용하여 인장, 굴곡, 충격 시험편을 각각 제조하였다.

2.4. 시험 및 분석방법

2.4.1. 인장시험(Tensile Test)

혼합폐플라스틱인 재생 PET/PP 및 상용화제 배합 시료에 대한 인장시험은 KSM 3006의 1호형 시험편을 각 시료별로 10개씩을 제작하여 시험하였다. 이들 시험조건은 23℃에서 50 mm/min의 cross head speed로 하였으며, 이들로부터 인장강도(Tensile strength, kgf/cm^2), 인장탄성율(Tensile modulus, kgf/cm^2), 파단신율(break strain, %)을 조사하였으며, 이들 데이터는 상용화제의 유형별, 함량별로 비교하였다.

2.4.2. 굴곡시험(Flexural Test)

KSM 3008 규격에 의한 시험을 실시하였으며, 시험편은 시험편 커터를 이용하여 절단하여 사용하였다. 시

험편은 12.7 mm × 100 mm × 3 mmT 크기로 제작하였으며, 하나의 시료당 10개를 제조, 시험하였다. 항온 항습의 조건하에서 cross head speed를 2.5 mm/min의 속도로 시험하였고, 이들 시험으로부터 굴곡강도(flexural strength, kgf/cm^2) 및 굴곡탄성율(flexural modulus, kgf/cm^2)을 각각 조사하여 상용화제의 유형별, 함량별로 비교하였다.

2.4.3. Izod 충격시험(Izod Impact Test)

KSM 3055 규격에 의하여 실시하였으며, Izod 충격 시험편은 12.7 mm × 64 mm × 3 mmT로 커팅한 후 45° 각도로 2.5 mm 길이로 V-cutting하여 notched sample을 제작, 하나의 시료당 10개의 시험편으로 시험하여 상용화제의 유형 및 조성비 변화에 따른 Izod 충격강도를 조사하였다.

2.4.4. 열변형온도(Heat distortion Temperature, HDT) 와 vicat 연화온도 시험

이들 두 시험법은 플라스틱의 열적 특성중의 하나로 3 station tester로부터 시험하였으며, 시험편은 12.7 mm × 100 mm × 3 mmT 시험편으로 제작하여 시험에 사용하였다. 시험편 받침대간 거리를 100 mm, 18.5 kgf/cm^2 하중에서 50°C/hr의 승온속도로 측정하였으며, 항온조의 매체는 silicone oil(디메칠실록산, 동점도 500cSt)을 사용하여 시험하여 상용화제의 유형 및 조성비 변화에 따른 HDT를 조사하였다.

또한 vicat 연화온도는 KSM 3076 규격에 의한 시험법으로 실시하였다. 시험편은 30 mm × 30 mm × 3 mmT로 커팅하여 사용하였으며, 사용 load는 1 kgf로 실시하였으며, 샘플의 승온용 전열매체는 500cSt의 동점도를 갖는 실리콘 오일을 사용하여 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 재생 PET/PP 혼합재생 시험결과

Air filter media로 사용되었거나 생산과정 중의 edge scrap으로부터 발생되는 PET 혼합폐플라스틱의 재생 chip을 이용하여 인장, 굴곡, 충격 및 HDT, 연화온도를 각각 측정하였다. 이들에 대한 결과는 먼저 인장시험으로부터 인장강도는 165.9 kgf/cm^2, 인장탄성율은 9,207.3 kgf/cm^2, 파단신율은 4.1%를 보였다. 굴곡 시험의 결과로부터 굴곡강도는 269 kgf/cm^2, 굴곡탄성율은 8,410 kgf/cm^{2}을 보였다.

Izod 충격시험으로부터 충격강도는 3.3 kgf · cm/cm^{2}을 보였고, 열변형온도(HDT) 및 vicat 연화온도는 각각 68.1°C와 137.6°C를 보였다.

이들 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 인장 및 굴곡특성 시험결과는 virgin PET의 특성값에 크게 미치지 못하고 있다. 따라서 이들 재생 PET의 경우 frame으로 사용되는 PP를 비롯한 여러 혼합수지 형태로 배출되는 동시에 일부에 잔존하고 있는 불순물, 그리고 잔존하고 있는 수분에 의한 가수분해의 영향으로 해석된다. 열변형온도 역시 virgin PET에 비해 낮은 값들을 보였는데 이는 혼합되어 있는 일부의 PP에 의한 영향으로 사료된다. 따라서 혼합 재생 PET의 기계적 특성 및 열적 특성의 향상을 위해 상용화제의 투입에 따른 영향을 조사하기로 하였다.

3.2. 인장시험 결과

KSM 3006 1호형 시험편을 제작하여 EVA(VA=28%), MBS, 재생 PVB를 사용하여 이들의 함량을 3, 5, 7, 10 wt.%를 혼합하여 용융 블렌딩을 실시하였고, 사출형 혼련 장치를 사용하여 시험편을 제작, 인장시험을 실시하였다.

먼저 인장강도를 Fig. 2에 보였다. 이들 그림에서 보는 바와 같이 재생 PET/PP 혼합플라스틱의 인장강도가 165.9kgf/cm^{2}데 비하여 세 가지 상용화제에 대하여 각각 상이한 경향성을 보이고 있다. EVA를 상용화제로 사용하였을 때 EVA 7 wt.%에서 가장 큰 값인 199.7 kgf/cm^{2}을 보이며 선형적으로 증가하는 경향성을 보인다. MBS를 상용화제로 사용하였을 때 3~5 wt.%에서 가장 큰 값들인 209.7 kgf/cm^{2}을 보이면서 위로 볼록한 곡선을 보이고 있다. 재활용 PVB칩을 상용화제로 사용하였

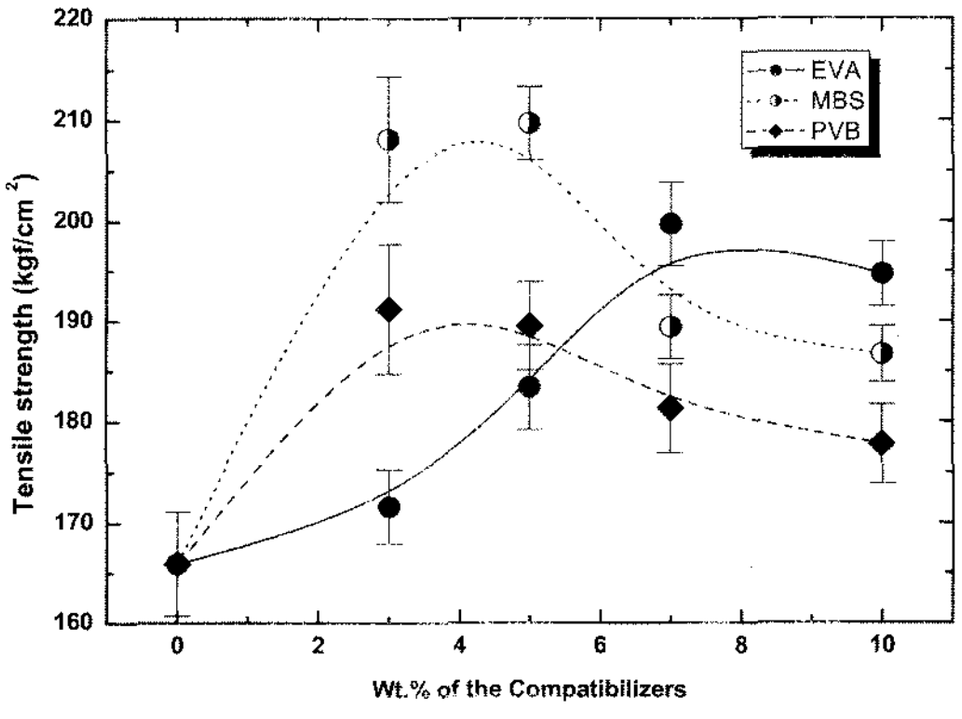


Fig. 2. Tensile strength behaviors with the weight ratio variation of the compatibilizers.

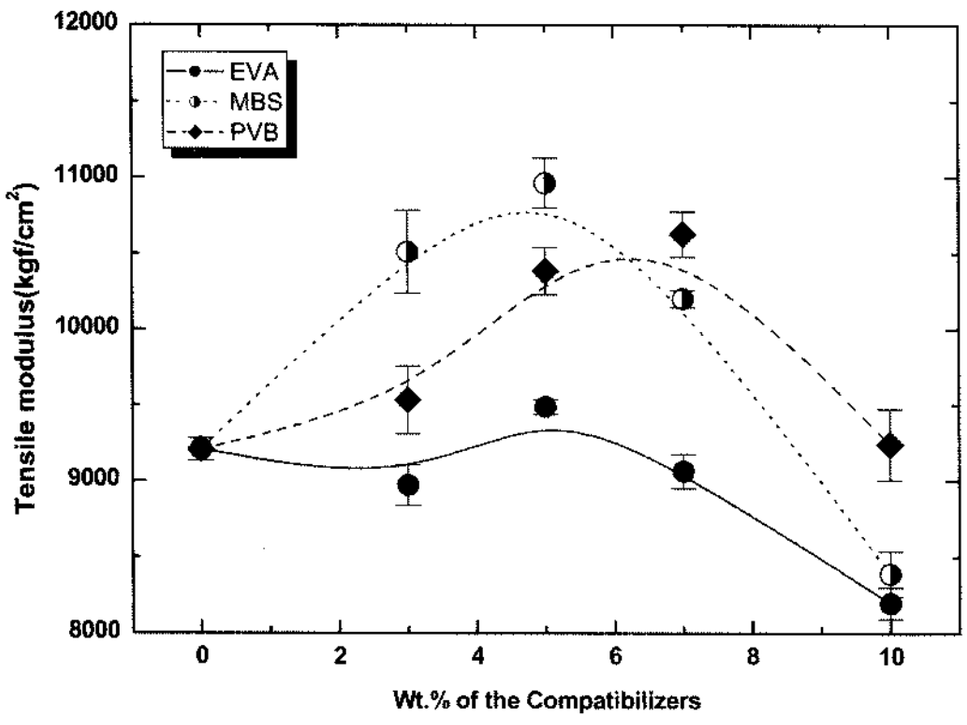


Fig. 3. Tensile modulus behaviors with the weight ratio variation of the compatibilizers.

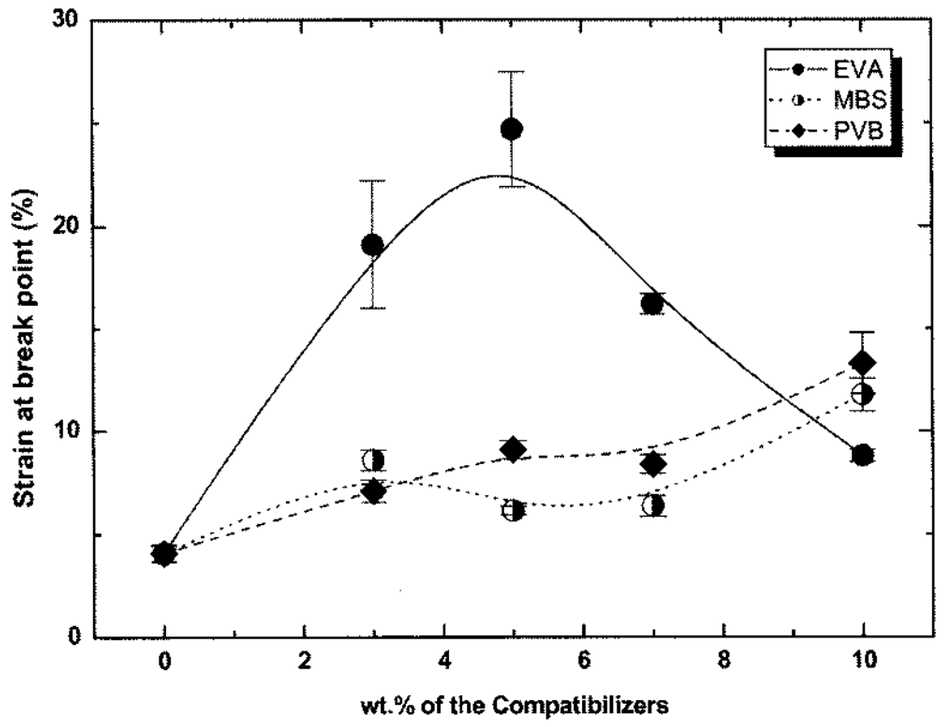


Fig. 4. Strain at the break point behaviors with the weight ratio variation of the compatibilizers.

을 때는 3 wt.%에서 최대값인 191.2 kgf/cm^{2}을 보이며 역시 위로 볼록한 현상을 보이고 있다. 따라서 인장강도를 향상시키기 위해서는 EVA는 7 wt.%까지 배합, MBS와 PVB를 상용화제로 사용할 경우 5 wt.%에서 최대값들을 보임을 알 수 있었다. 전체적으로 볼 때 이들 세가지 유형의 상용화제 중에서 인장강도 향상이 큰 상용화제는 MBS임을 알 수 있었다. 이는 PET/PP의 혼합 폐플라스틱의 화학구조에서 알 수 있는 바와 같이 PET는 극성고분자를, 그리고 PP는 비극성 고분자이기 때문에 비상용성 블렌드를 이루고 있다. 서로 다른 화학구조적 특성의 차이를 공중합체인 MBS나 EVA의 구조내에 극성부분과 비극성 부분을 공유하고 있기 때문에 상용화제로의 역할을 했다고 사료된다. 이들에 대한 연구는 Traugott *et al.*이 PET와 HDPE의 비상용성 블렌드에 여러 공중합체들을 상용화제로 사용하여 이들 블렌드의 상용화에 대한 연구를 진행한 바 있다[16].

둘째로 상용화제의 조성비 증가에 따른 인장탄성율의 변화를 Fig. 3에 보였다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 상용화제를 배합하지 않은 PET/PP 혼합플라스틱의 인장탄성율 값은 9,207.3 kgf/cm^{2}으로 조사되었으며, EVA를 상용화제로 사용했을 때의 인장탄성율 값들은 EVA의 조성비가 5 wt.%일 때 9,486.2 kgf/cm^{2}을 보이며 최대값을 보였지만 전체적으로 상용화제인 EVA의 조성비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 둘째로 MBS를 상용화제로 사용할 때 MBS의 조성이 50 wt.%일 때 최대값인 10,963.3 kgf/cm^{2}을 보였으며, 전체적으로 인장탄성율 값들은 상용화제인 MBS의 조성비가 증가함에 따라 위로 볼록한 곡선을 그리고 있다. 셋째로 재생 PVB를 상용화제로 사용하였을 때 PVB의 조성이 7 wt.%일 때 10,627.5 kgf/cm^{2}의 최대값을 보였다. 이들 역시 재생 PVB의 조성비가 증가함에 따라 위로 볼록한 곡선을 그리고 있다. 이들 세 상용화제에 대한 가장 큰 인장탄성율 값을 갖는 상용화제는 MBS 5 wt.%로 조사되었다. 이들에서도 마찬가지로 비상용성을 보이는 PET/PP 블렌드의 상용성을 가져옴으로써 인장탄성율 특성이 향상되는 결과를 보이는 것으로 사료된다. 따라서 비상용성을 갖는 블렌드에 적절한 공중합체를 예상하여 일정비율을 배합한다면 블렌드를 이루는 각 성분고분자들 사이의 특성값을 가지거나 이보다 큰 값들도 가질 수 있다고 사료된다.

셋째로 상용화제의 유형 및 조성비 변화에 따른 파단신율을 Fig. 4에 보였다. 상용화제를 투입하지 않았을 때의 파단신율은 4.1%이었다. 상용화제, EVA를 투입하였을 때 파단신율의 증가가 두드러졌으며, EVA 조성비가 5 wt.%일 때 파단신율은 24.7%로 최대값을 보이며 조성비가 증가함에 따라 위로 볼록한 곡선을 그리고 있다. 반면에 상용화제로 사용된 MBS와 재생 PVB를 배합하였을 때에는 조성비의 증가에 따라 선형적인 증가를 보여 상용화제의 조성비가 10 wt.%일 때 파단신율은 11.8%와 13.3%를 각각 보였다. 여기서 상용화제로 사용된 MBS는 PET와의 상호작용할 수 있는 극성기가 있어 가능한 영향이라고 사료되며, 재생 PVB는 자동차 안전유리등의 접착제로 사용하기 위해 가소제를 지니고 있어 연신특성에서의 향상되는 경향을 보이고 있다고 사료된다. 그러나 EVA의 경우 공중합체 임에도 불구하고 위의 강도보강효과와는 달리 큰 비닐기의 존재로 인한 연신특성의 증가를 가져오지 못한 결과라고 사료된다.

3.3. 굴곡시험 결과

KSM 3008 규격에 의한 시험편을 제작하여 EVA(VA=28%, VC 590), MBS, 재생 PVB 칩을 사용하여 이들의 함량을 3, 5, 7, 10 wt.%를 혼합하여 용융 블렌딩을 실시하였고, 사출형 혼련 장치를 사용하여 시험편을 제작, 굴곡시험을 실시하여 굴곡강도 및 굴곡탄성율을 조사하였다.

먼저 상용화제의 유형 및 조성비 변화에 따른 굴곡강도를 Fig. 5에 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 가장 상용화제를 투입하지 않았을 때의 굴곡강도는 269 kgf/cm^2를 보였다. 상용화제 EVA 를 투입하였을 때 EVA 3 wt.%의 조성비에서 287.3 kgf/cm^2의 최대값을 갖으며 EVA의 조성입가 증가함에 따라 위로 볼록한 곡선을 그리는 것을 볼 수 있었으며, 상용화제 MBS를 배합하였을 때에도 상용화제인 MBS를 3 wt.%를 배합하였을 때 최대값인 315.7 kgf/cm^2을 보이며 EVA의 조성입가 증가함에 따라 위로 볼록한 곡선을 그리는 것을 볼 수 있었다. PVB를 상용화제로 배합하였을 때에는 5 wt.%의 조성비에서 최대값 280.9 kgf/cm^2을 보이고 그 이상의 배합비에서는 굴곡강도가 감소하는 경향을 보였다. 따라서 Fig. 5에서 보는 바와 같이 상용화제의 각 한계 조성비를 발견할 수 있었고, 특히 굴곡강도의 현저한 증가를 보이는 상용화제는 MBS로써 3-5 wt.%의 배합시에 나타남을 알 수 있었다.

굴곡시험으로부터 두 번째의 특성 값으로 굴곡탄성율을 조사하였으며, 이는 상용화제의 유형 및 조성비의 증가에 따라 그려 Fig. 6에 보였다. 먼저 PET/PP 혼합플라스틱의 굴곡탄성율은 8410.1 kgf/cm^2을 보이고 있다. 상용화제 EVA를 배합하였을 때에는 EVA의 조성비가 증가함에따라 선형적으로 감소함을, 그리고 MBS를 상용화제로 사용했을 때 굴곡탄성율 값들이 급상승하는 것을 볼 수 있었다. 3 wt.%와 5 wt.%의 MBS에서 굴곡탄성율 값들이 각각 11,245.5 kgf/cm^2와 10,694.2 kgf/cm^2을 보였다. 마지막으로 재생 PVB를 상용화제로 사용했을 때 3 wt.%에서 약간 증가한 8856.9 kgf/cm^2의 굴곡탄성율을 보였을 뿐 이 역시 EVA의 경와 같이 상용화제의 조성비가 증가함에 따라 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 이들 결과 역시 위의 인장탄성율에서 언급한 바와 같이 MBS 공중합체가 극성과 비극성을 공존하는 화학구조로 기인된 결과라고 사료된다.

3.4. 충격시험 결과

KSM 3055 시험방법에 의하여 시험편을 제조하여 시험하였고, 상용화제의 유형 및 조성비에 따라 Izod 충격강도를 조사하여 Fig. 7에 나타내었다. 상용화제를 배

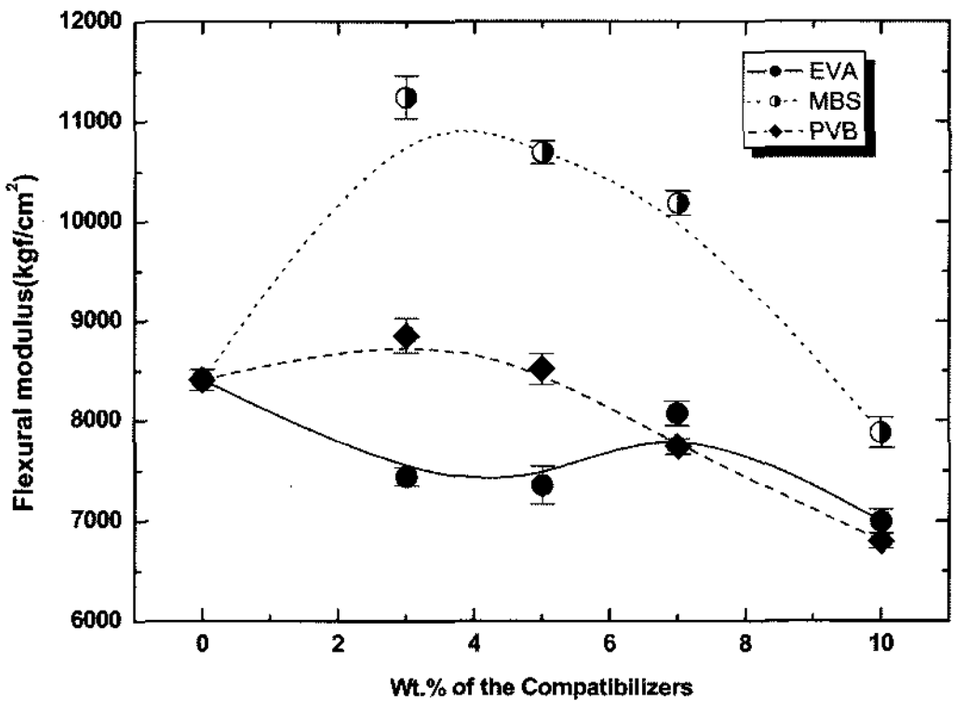


Fig. 6. Effect of the composition of compatibilizers on the flexural modulus behaviors.

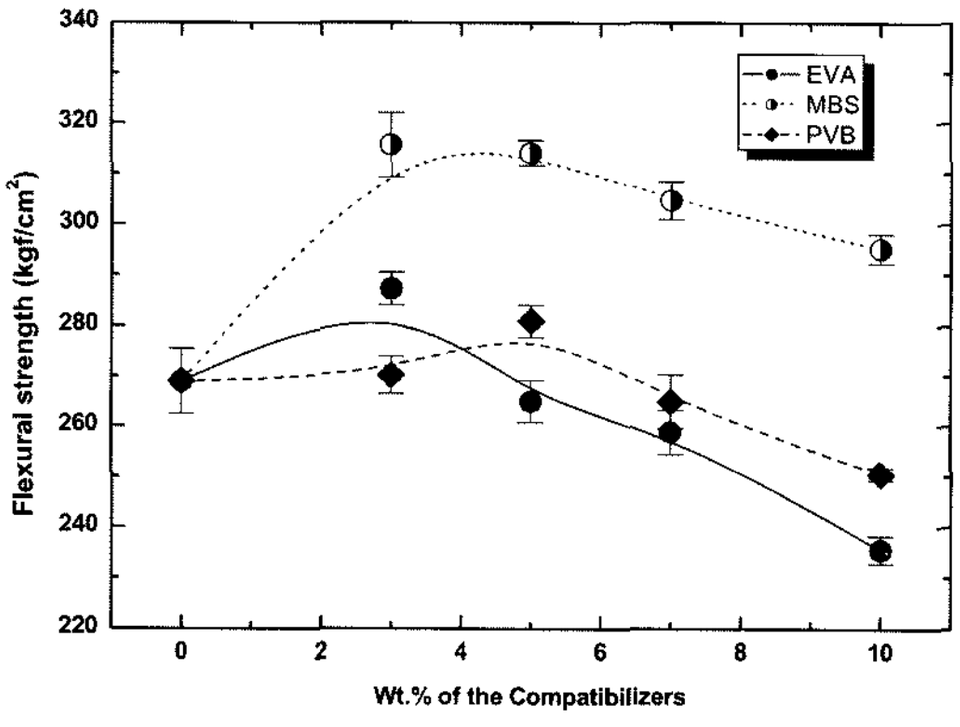


Fig. 5. Effect of the composition of compatibilizers on the flexural strength behaviors.

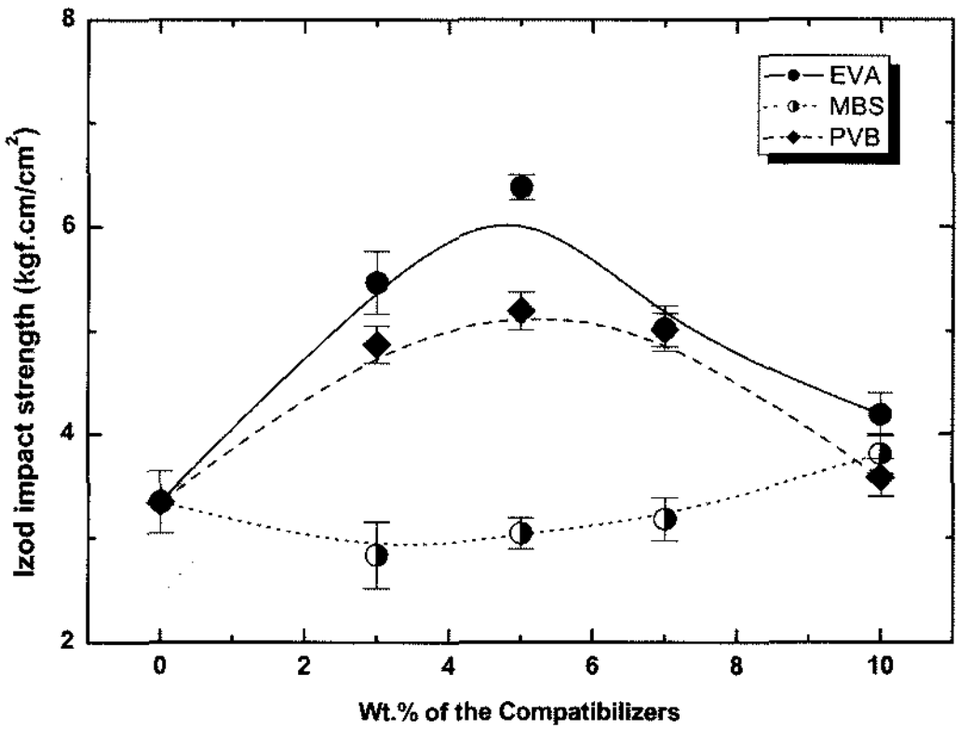


Fig. 7. Izod impact strength behaviors with the weight ratio variation of the compatibilizers.

합하지 않은 PET/PP 혼합폐플라스틱의 Izod 충격강도는 3.34 kgf · cm/cm^{2}을 보였고, EVA와 PVB를 상용화제로 사용했을 때의 Izod 충격강도 거동은 상용화제의 조성비가 5 wt.%에서 6.38 kgf · cm/cm^{2}과 5.19 kgf · cm/cm^{2}의 최대값을 각각 보이며 조성비의 증가에 따라 위로 볼록한 곡선을 보이고 있으며, 상용화제를 MBS로 사용했을 때는 조성비의 증가에도 불구하고 오차범위 내에서 Izod 충격강도가 변하지 않음을 알 수 있었다. 따라서 상용화제의 목적 중의 하나인 toughening 효과가 가장 우수한 뛰어난 것은 EVA이며, 5 wt.%의 조성비에서 한계 조성비를 보이고 있음을 알 수 있었다. 이들 결과 역시 위의 인장강도, 인장탄성율, 그리고 굴곡탄성율의 결과에서 언급한 바와 같이 MBS 공중합체가 극성과 비극성을 공존하는 화학구조를 가지고 있어 혼합 폐플라스틱인 PET/PP의 상용화제로의 역할이 적절했음을 보여주는 결과라고 보여 진다.

3.5. 열변형온도 (Heat distortion temperature) 시험 결과

KSM 3065 시험방법에 의하여 시험편을 제작, 3 station HDT tester를 이용하여 시험하여 상용화제의 종류별 조성비에 따른 HDT 값들을 Fig. 8에 보였다. PET/PP 혼합폐플라스틱에 대한 HDT는 68.1°C이었고, 상용화제 EVA에 대한 HDT만 5 wt.%까지 증가하다가 그 이상의 배합비에서는 감소하는 경향을 보이고 있으며, MBS와 PVB의 경우 전체적으로 HDT 값들은 상용화제의 조성비가 증가함에 따라 선형적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 특히 PVB에서는 조성비 증가에 따라 감소폭이 컸음을 볼 수 있었다.

3.6. 연화온도시험 결과

KSM 3076 시험방법에 의하여 시험편을 제작, 3 station VICAT tester를 이용하여 시험하여 상용화제의 종류와 조성비의 증가에 따른 vicat 연화온도를 Fig. 9에 나타내었다. PET/PP 혼합플라스틱 scrap의 vicat 연화온도는 137.6°C이었고, 상용화제로써 EVA를 사용하였을 때 vicat 연화온도는 위로 볼록한 포물선을 그리며 감소하는 현상을 그려 10 wt.%의 EVA조성에서 vicat 연화온도가 129.6°C이었다. 상용화제 MBS와 PVB를 사용하였을 때 vicat 연화온도는 상용화제의 조성비가 증가함에 따라 선형적으로 감소함을 볼 수 있고, 10 wt.%의 상용화제 배합시에 각 vicat 연화온도는 136.9°C와 131.3°C를 보였다.

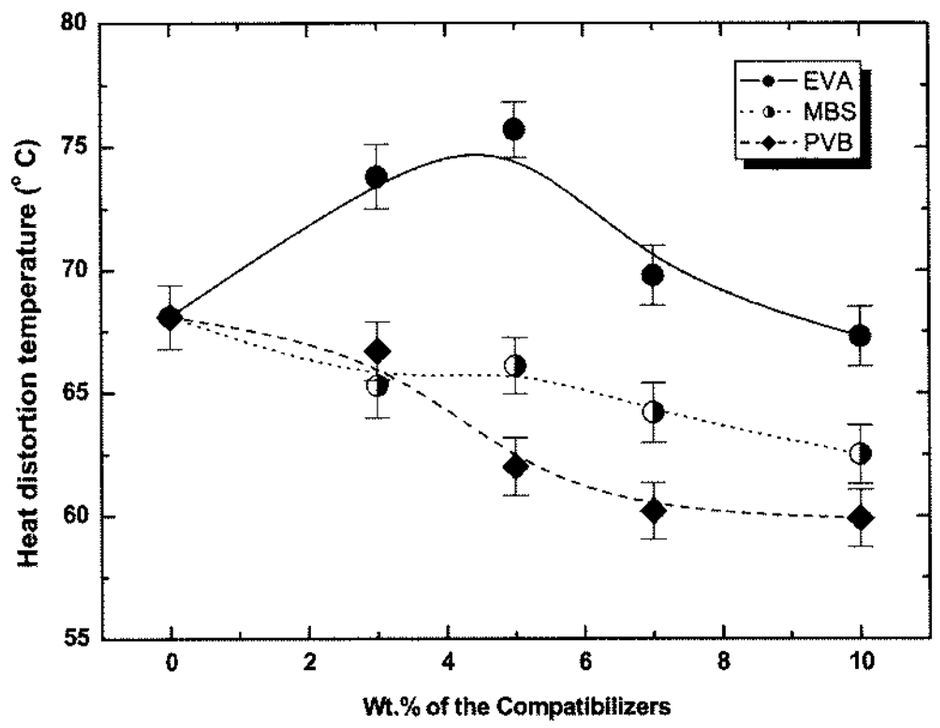


Fig. 8. HDT behaviors with the weight ratio variation of the compatibilizers.

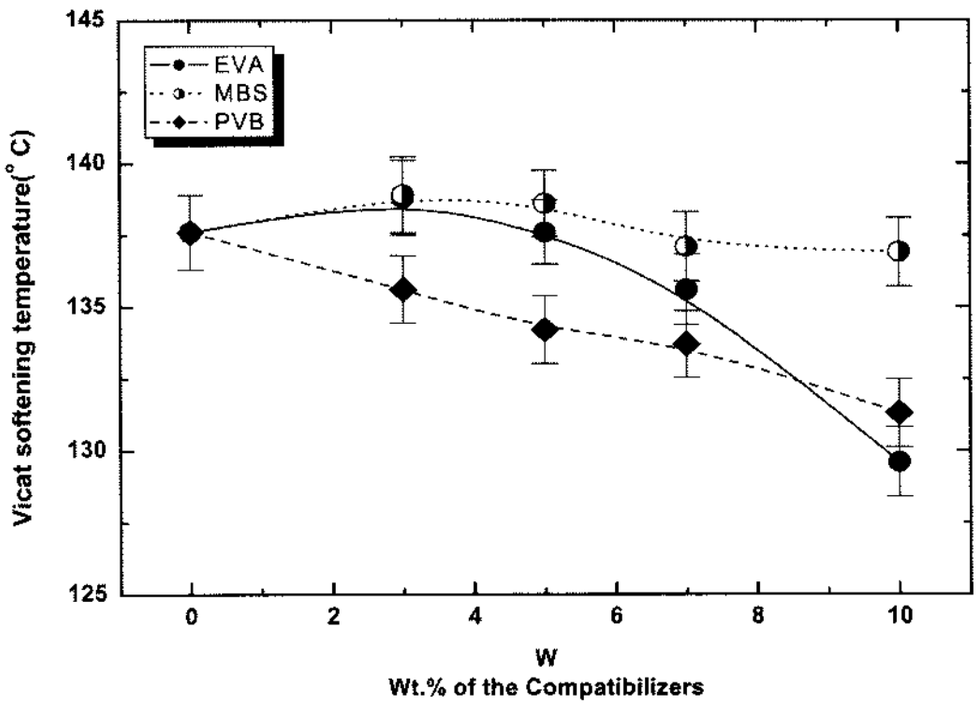


Fig. 9. Vicat softening temperature behaviors with the weight ratio variation of the compatibilizers.

4. 결 론

전 세계적으로 자동차 보유 대수가 증가에 따라 자동차의 부품 제조과정에서 발생되는 edge scrap, 부품의 교체 및 폐차에 따른 폐부품류들의 재활용 기술이 요구되고 있다. 본 연구에서는 자동차 부품류 중에서 air filter media 소재인 PET와 frame의 PP의 혼합폐플라스틱으로 발생되는 edge scrap 및 교체부품형태의 post-consumer waste에 대한 재활용을 위해 수거된 부품을 파쇄 처리하여 상용화제 투입에 따른 기계적 특성 및 열적 특성을 조사하였다. 사용된 상용화제는 세 가지, 즉 EVA, MBS, 그리고 재생 PVB이며, 배합비는 3~10 wt.%로 한정하여 배합, 용융압출공정을 거쳐 각 배합비율별 시료를 제조하였다.

이들 결과로부터 기계적 특성 측면에서 인장, 굴곡, 그리고 충격시험 결과로 볼 때 MBS의 상용화제가 가

장 뛰어난 기계적 특성을 보였고, 배합비는 3~5 wt.%에서 최대값들을 보임을 알 수 있었다. 따라서 PET/PP 혼합 폐플라스틱의 기계적 특성을 고려할 때 재활용 가능성을 확인 할 수 있었다. EVA를 상용화제로 사용한 경우 배합비가 3~5 wt.%에서 내충격성 및 열적 특성의 향상을 보이고 있음을 알 수 있었다. 이들 EVA를 배합 경우는 내충격성이 요구되는 응용분야로의 활용이 기대된다. 반면에 재생 PVB수지를 상용화제로 사용한 경우는 기계적 특성에서는 다른 상용화제보다 큰 값들을 갖지 못하여 예상되었던 상용화제로의 효과가 다소 떨어짐을 보였다.

사 사

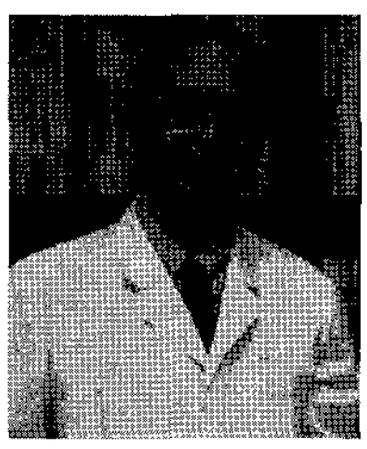
본 연구는 2005년도 중소기업청의 현장애로기술지도 사업에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. 이국웅 외, 1989 : *플라스틱재료*, 최신플라스틱재료, pp. 90-162, 성안당, 서울.
2. Dulio, V. *et al.*, 1995 : *Die Angew.* Makromol. Chemie, **225**, pp. 109-118.
3. Cornell, D. D., 1993 : *'Depolymerization of PET for food packaging', Proc. Conf. Recycling RETEC,* Society Plastic Engineers.
4. Giannotta, G. *et al.*, 1993 : *Characterization of reprocessed polyethylene terephthalate bottle scrap,* Proc. Int. Recyc. Congress, Geneva, Switzerland, p. 225-234.
5. Giannotta, G. *et al.*, 1993 : *The effect of drying cycles on the processing of recycled PET from bottles scraps*, Proc. 9th Annual Meeting of the Polym. Processing Soc. (PPS-9), Manchester, UK, pp. 419-428.
6. Edge, M., Wiles, R., Allen, N. S., McDonald, W. A., and Mortlock, S. V., 1996 : *Characterization of the species responsible for yellowing in melt degraded aromatic polyesters-I: Yellowing of poly(ethylene terephthalate).* Polym. Degrad. Stab., **53**, pp. 141-151.
7. Utracki, L. A., 1989 : *Interface, Diffusion and Compatibility,* Polymer Alloys and Blends, pp. 117-129, Carl Hanser Verlag, New york, USA.
8. Paul, D. R. and Barlow, J. W., 1984 : *A binary interaction model for miscibility of copolymers in blends,* Polymer, **25**, pp. 487-494.
9. Paul, D. R., 1978 : *Polymer-Polymer compatibility,* Polymer Blends, pp. 41-51, Academic Press Ins., New york.
10. Tompa, H., 1956 : *Solubility in Polymers,* Polymer Solutions, pp. 210-230, Butterworth, London.
11. Schneider, I. A. and Vasile, C., 1970 : *Etude de la compatibilite des systemes binaires et ternaires constitues par le polychlorure de vinyle, le polyacetate de vinyle et leur copolymere "covicet"-II. Etude des proprietes physico-mecaniques, de la separation de phases et de la spectroscopie i.r.,* Eur. Polym. J., **6**, pp. 695-707.
12. Schneider, I. A. and Vasile, C., 1970 : *Etude de la compatibilite des systemes binaires et ternaires constitues par le polychlorure de vinyle, le polyacetate de vinyle et leur copolymere "covicet"-I. Etudes thermogravimetriques et microscopiques*, Eur. Polym. J., **6**, pp. 687-690.
13. Kern, R. J. and Slocombe, R. J., 1955 : *Phase separation in solutions of vinyl polymers, J. Polm. Sci.*, part A, **15**, pp. 183-192.
14. Shaw, M. T., 1974 : *Studies of polymer-polymer solubility using a two-dimensional solubility parameter approach,* J. Appl. Polm. Sci., **18**, pp. 449-472.
15. Manson, J. A. and Sperling, L. H., "*Polymer Blends and Composites*", Plenum, New York, 1976.
16. Traugott, T. D. *et al.*, 1983 : *Compatibilization on the Polyethyleneterephthalate/high density polyethylene Blends,* J. Appl. Polm. Sci., **28**, pp. 2947-2956.

安 泰 光

- 1988. 2. 인하대학교 화학공학과 학사
- 1990. 2. 인하대학교 화학공학과 석사
- 1996. 2. 인하대학교 화학공학과 박사
- 2008. 3. 현재 혜전대학 의료재료과 학과장



金 慧 泰

- 1998년 건국대학교 환경공학과 대학원 졸업 (공학박사)
- 현재 한국환경자원공사 PCBs검사팀 팀장