

## EPDM/열가소성 폴리우레탄 스크랩 블렌드의 제조 및 물성

이영희, 강보경, 유혜진,<sup>†</sup> 김정수,<sup>†</sup> 정영진,<sup>§</sup> 이동진,<sup>#</sup> 김한도\*

부산대학교 유기소재시스템공학과  
609-735 부산광역시 금정구 장전동 산30

<sup>†</sup>포스코 기술연구소  
545-090 전남 광양시 금호동 699

<sup>‡</sup>한국신발·피혁연구소  
614-100 부산광역시 부산진구 당감동 786-50

<sup>§</sup>부산대학교 바이오소재과학과  
627-706 경남 밀양시 삼랑진읍 청학리 50

<sup>#</sup>한국세라믹기술원  
153-801 서울특별시 금천구 가산동 233-5

(2009년 8월 4일 접수; 2009년 8월 26일 수정본 접수; 2009년 8월 27일 채택)

## Preparation and Properties of EPDM/Thermoplastic Polyurethane Scrap Blends

Young-Hee Lee, Bo-Kyung Kang, Hye-Jin Yoo,<sup>†</sup> Jung-Soo Kim,<sup>†</sup> Young-Jin Jung,<sup>§</sup>  
Dong-Jin Lee,<sup>#</sup> and Han-Do Kim\*

Department of Organic Material Science and Engineering, Pusan National University  
San 30 Jangjeon-dong, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

<sup>†</sup>POSCO Technical Research Laboratories  
699 Gumho-dong, Gwangyang-si, Jeonnam 545-090, Korea

<sup>‡</sup>Korea Institute of Footwear & Leather Technology  
786-50 Danggam-dong, Busanjin-gu, Busan 614-100, Korea

<sup>§</sup>Department of Biomaterial Science, Pusan National University  
50 Cheonghak-ri, Samrangjin-eup, Miryang-si, Gyeongnam 627-706, Korea\*

<sup>#</sup>Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology  
233-5 Gasan-dong, Guemcheon-gu, Seoul 153-801, Korea

(Received for review August 4, 2009; Revision received August 26, 2009; Accepted August 27, 2009)

### 요 약

높은 강도, 경도, 신율, 비중 및 내마모성 등을 가진 채 폐기되는 열가소성 폴리우레탄 스크랩(TPU-S)과 습윤 상태의 내슬립성은 높으나 기계적 물성이 떨어지는 EPDM 고무의 용융 블렌드를 통해 신발 소재용 필름을 제조하고 조성과 특성과의 관계를 연구하였다. 블렌드 중의 TPU-S의 함량이 증가함에 따라 강도, 신도, 내마모성, 비중 및 경도 등 모든 물성이 증가하였으나, 습윤 상태의 내슬립성(동적마찰계수)은 크게 감소하였다. TPU-S 함량의 증가에 따라 블렌드의 파단신율은 단순혼합법칙 이상으로 증가하였으며, 습윤 상태의 내슬립성은 TPU-S가 0~65% 범위에서 단순혼합법칙 이상이였다. 그러나 인장강도, 비중 및 내마모성은 모두 단순혼합법칙보다 낮은 값을 나타내었다. 이들 블렌드의 조성-특성 관계의 결과로부터 일반적으로 요구되는 신발 걸창용 소재의 물성에 충족되는 EPDM/TPU-S 블렌드의 조성은 무게비가 30/70인 것을 알 수 있었다.

주제어 : 열가소성 폴리우레탄 스크랩, EPDM, 블렌드, 재활용, 혼합법칙

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: kimhd@pusan.ac.kr

**Abstract :** The thermoplastic polyurethane waste (TPU-S) with good tensile properties, hardness, NBS abrasion resistance, specific gravity and low wet coefficient of kinetic friction was melt-blended with ethylene propylene diene monomer rubber (EPDM) with high wet slip resistance and low mechanical properties to form EPDM/TPU-S blend films, and their composition-property relationship was investigated to find the optimum composition for shoe outsole material. The properties except the wet slip resistance increased with increasing TPU-S contents in the blend. All the properties except elongation at break, specific gravity and the wet coefficient of kinetic friction in the range of 0~65 wt% of TPU-S did not attain the values predicted by the simple additive rule. The optimum weight ratio of EPDM/TPU-S for the application to the typical shoe outsole material was found to be 30/70.

**Keywords :** Thermoplastic polyurethane scrap, EPDM, Blend, Recycle, Additive rule

## 1. 서 론

폐플라스틱의 재활용은 지구 환경 문제의 해결과 함께 버려지는 폐기물을 재활용하여 재생품을 만들거나 새로운 에너지원으로 다시 사용하는 관점에서 석유자원 절약 및 보존이라는 중요한 의미를 갖는다. 일반적으로 리사이클 방법으로는 재료의 리사이클, 화학적 리사이클, 열적 리사이클 등 크게 세 종류로 대별된다. 이 중에서 재료의 리사이클은 자원보존이라는 관점에서 볼 때 가장 바람직하다. 국내에서는 소각이나 매립이 아닌 폐플라스틱의 재활용률은 약 20%로 일본의 40%에 비해 현저히 낮은 수준에 있다[1,2]. 특히 신발용 에어백의 폐기물 스크랩 열가소성 폴리아우레탄(thermoplastic polyurethane, TPU)의 발생률은 30-50% 정도로 아주 높으며, 현재 국내에서 발생하는 폐기물의 활용도는 부가가치가 낮은 제품의 사출용 원료로 사용되는 정도이며 재활용이 미미한 실정이므로 다양한 재활용처를 찾는 연구가 절실히 요망된다.

최근 고분자 재료의 물성 및 기능에 대한 요구가 다양화되고 있으며, 이러한 요구를 단독중합체만으로 만족시키기는 곤란하다. 따라서 기존 고분자의 물성을 개질하는 방법으로는 크게 화학적 방법(공중합)과 물리적 방법(블렌딩)이 이용되고 있다. 블렌딩에 의한 고분자 물성의 개질은 화학적 방법에 비해 개발 비용이 저렴하고 비교적 간단한 설비로 최종 목적에 적합한 다양한 물성의 제품을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 고분자 블렌딩은 원하는 물성과 성능을 개발하기 위해 가장 많이 연구되어지고 응용되어지는 분야이다[3,4].

TPU는 선상의 고분자쇄로 구성되어 있으며 그들의 구조는 상당히 길고 유연한 유연쇄와 강직한 쇠가 공유결합을 이루고 있어 열가소성을 지닐 뿐만 아니라 높은 탄성을 지닌 고무와 같은 성질을 가지고 있다. 강직쇄와 유연쇄의 함량비를 변화시킴으로써 유연한 탄성체에서 상당히 강직한 탄성체로 다양한 탄성과 물성을 지닌 여러 가지 용도로 활용되고 있으며 일반적인 탄성체에 비하여 기계적 강도 및 내마모성 등이 우수하다. 따라서 TPU는 비교적 고가임에도 불구하고 다양한 분야에서 여러 가지 용도로 사용되고 있으며 생산량에 있어서도 급속한 증가를 보이고 있는 재료이다[5,6]. 특히 TPU는 우수한 내마모성 및 내구성으로 인하여 그 응용성이 높다. 특히 이러한 우수한 특성으로 인하여 신발 걸창 및 중창 소재로 적용

되고 있지만, TPU는 경도가 높고 슬립 저항성이 부족하여 편안함과 미끄러짐에 대한 안정성이 보장되지 못하므로 신발 걸창용 소재로는 사용하기에 적합하지 않다.

EPDM 고무(maleated polymer-graft ethylene-propylene-diene monomer rubber)는 에틸렌과 프로필렌과 디엔이 불규칙적으로 결합한 삼원중합체로서 일반적인 고무에 비교하여 기계적 물성, 내수성, 내열성, 내오존특성, 내후성 등이 우수하고, 화학구조에 극성기가 없어서 높은 유전력 및 코로나 방전 저항성을 갖지만, 외부에서 장기간 사용하였을 경우 쉽게 열화되어 유전과파괴가 일어나는 특성을 지니고 있다[7-10]. 그리고 EPDM 고무는 대체적으로 낮은 경도(유연한 특성)와 높은 슬립 저항특성을 지니고 있지만 내마모성이 약한 단점이 있다.

지금까지 폴리올레핀[11,12], 폴리카보네이트[13], 폴리알킬렌 테레프탈레이트[14] 및 폴리아미드(PA)[15-19] 등의 여러 가지 고분자를 재활용한 연구는 많이 보고되어 있지만, TPU 스크랩을 재활용한 연구보고는 찾기 어렵다. 그리고 pristine TPU를 블렌드에 사용한 연구[4,6,20,21]는 많이 보고되고 있지만, TPU 스크랩(TPU-S)을 블렌드에 사용한 연구는 거의 없는 실정이다. 또한 블렌드에 EPDM을 사용한 연구는 styrene butadiene rubber, isobutylene-isoprene rubber 및 실리콘 고무와 같은 고무에 블렌딩한 연구[22-24]가 주류를 이루고 있다. 그런데 EPDM/pristine TPU 블렌드의 기계적인 성질(인장강도, 파단신도, 초기탄성률 및 전단탄성률, 마모성)에 대한 연구 보고[25,26]가 있으며, 이때 EPDM을 최대 20 wt%까지 사용한 결과 EPDM 함량이 7 wt%에서 기계적 물성 및 내마모성 등의 물성이 최대의 값을 나타냄을 보고하였다. 그런데 슬립저항성을 포함하여 신발 걸창용 소재의 응용에 관한 연구는 찾을 수가 없었고, 더욱이 에어백용 TPU 스크랩을 이용한 다양한 조성의 블렌드 EPDM/TPU-S에 관한 연구는 찾아 볼 수가 없었다. 그리고 본 연구에서 사용한 에어백용 TPU-S는 기계적 물성이 문헌에서 사용한 pristine TPU보다도 높으며, 또한 본 연구에서 사용한 우수한 내슬립성을 지닌 EPDM의 성분 및 물성이 기존의 EPDM과 다르므로 기존의 연구와는 차별화 된다.

TPU가 신발 걸창용 소재로 사용되기 위해서는 습윤 상태의 슬립 저항성이 높고 경도가 낮은 EPDM 고무의 특성 도입

이 요망되므로, 본 연구에서는 EPDM 고무에 에어백용 TPU 스크랩을 블렌딩하여 일련의 EPDM/TPU-S 필름을 제조하고 이들의 조성과 물성과의 관계를 검토하여 신발 걸창용 소재로 TPU 스크랩을 재활용할 수 있는 방안을 조사하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 재료

블렌드 재료로는 폐기되는 TPU-S (Tm 176°C, Tg -20°C, Mw 137425 g/mol, 비중 1.29, melt index 6.63g/10min (190°C, 2.16kg))과 EPDM 고무(propylene 40%, MA 1.0%, Mooney viscosity 30 (125°C, 비중 0.95))를 Chemtura사(Royaluf 498)에서 공급받아 사용하였다.

### 2.2. 블렌딩 및 필름 제조

EPDM/TPU-S 블렌드는 100°C에서 24시간 진공 조건하에 건조한 시료를 Haake rheocord-90을 사용하여 rpm 50, 190°C, 10분 동안 용융혼합으로 블렌딩한 후, 190°C, 100kg/cm<sup>2</sup>의 압력 하에서 4분간 용융하여 압착하여 필름을 제조하였다. EPDM/TPU-S 블렌드의 조성은 무게비를 100/0, 50/50, 40/60, 30/70, 20/80, 10/90 및 0/100으로 하였다.

### 2.3. 측정

#### 2.3.1. 열분석

블렌드의 열적거동을 조사하기 위하여 differential scanning calorimeter (DSC Q20, TA Co.)를 사용하여 승온 속도 분당 10°C, 온도 -80~300°C 범위에서, dynamic mechanical thermal analysis (DMTA Mk III, Rheometric Scientific)는 승온 속도 분당 3°C, 온도 -80~100°C 범위에서 측정하였다.

#### 2.3.2. 기계적 성질 측정

블렌드의 기계적 성질을 측정하기 위하여 cross-head speed를 분당 3 mm의 조건으로 하여 tensile tester (MO-1131, 4204, Instron Co.)를 사용하였다.

#### 2.3.3. 마모특성 측정

NBS 마모 시험기(YASUDA SEIKI SEISAKUSHO Ltd. Model: 6387)를 사용하여 KS M 6625에 준하여 측정하였으며 NBS 내마모성은 다음 식으로 계산하였다.

$$NBS \text{ abrasion resistance } (\%) = \frac{R_1}{R_2} \times 100 \quad (1)$$

여기서 R1은 시험편이 2.54mm 마모되는데 필요한 회전수이고 R2는 마모용 기준 시험편(RMA)이 2.54mm 마모되는데 필요한 회전수이다.

#### 2.3.4. 슬립특성 측정

슬립특성은 LLOYD Instruments Ltd.의 friction tester

(Version 1.0)를 사용하여 ASTM D1894-76에 준하여 측정하였다. 습윤 상태의 특성 평가는 시험 바닥면인 유리면에 단위 면적(1 cm<sup>2</sup>)당 1 g이상의 수분을 도포하여 측정하였으며 습윤 동적마찰계수(wet coefficient of kinetic friction)는 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{Coefficient of kinetic friction} = \frac{B}{W} \quad (2)$$

여기서 B는 sled의 움직임을 지속하기 위한 평균 힘이고 W는 그램으로 나타낸 sled의 무게이다.

### 2.3.5. 경도 측정

시편을 절단하여 평활한 중간부분을 durometer hardness (A Type, Asker, Kobunshi Co. Ltd, Japan)를 사용하여 ASTM D 2240에 준하여 측정하였다. 시편의 두께 및 측정 포인트 간의 거리는 각각 10, 6 mm이상으로 하였으며 5회 반복 측정 후 평균값을 각 시편의 경도로 하였다.

### 2.3.6. 비중 측정

제조된 시편의 비중을 밀도구배관법(23°C, CCl<sub>4</sub>/n-heptane)으로 측정하였다.

### 2.3.7. Morphology 특성

블렌드의 구조 및 모폴로지를 관찰하기 위하여 전자현미경 (Scanning Electron Microscope, HITACH S-4200)을 사용하였다.

## 3. 결과 및 검토

### 3.1. 열적 성질

Figure 1은 DSC로 측정한 순수한 EPDM, TPU-S 및 EPDM/TPU-S 블렌드의 열적거동을 나타낸 것이며 그 결과 값을 Table 1에 요약하였다. 순수한 EPDM의 용융온도는 124°C에서 뚜렷이 나타났지만, TPU-S의 용융 피크는 176°C 부근에서

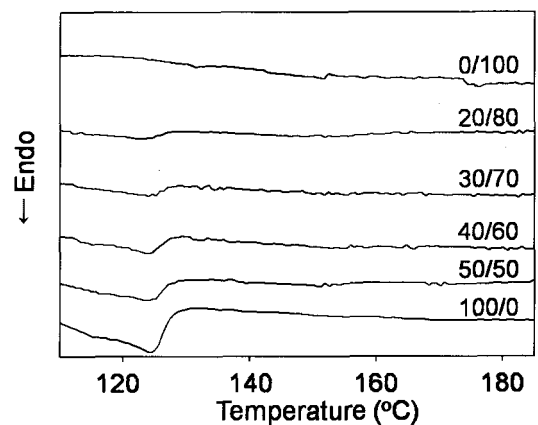


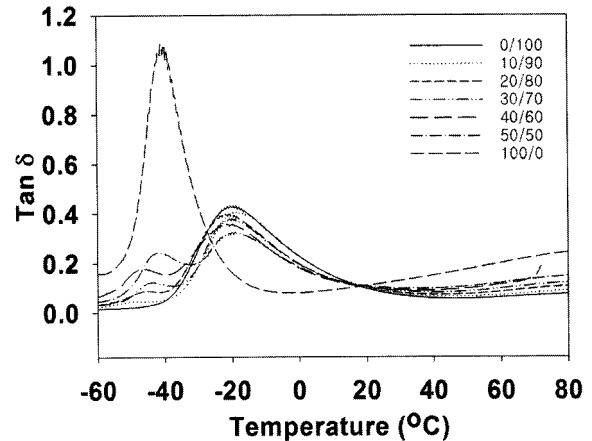
Figure 1. DSC curves of EPDM/TPU-S blend films.

**Table 1. Thermal properties of EPDM/TPU-S blend films**

EPDM/TPU-S	DSC		DMTA
	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH (J/g)	T <sub>g</sub> (°C)
100/0	124	7.5	-39
50/50	124	4.0	-42(-16)
40/60	124	3.1	-44(-16)
30/70	124	2.1	-44(-16)
20/80	124	0.6	-45(-17)
10/90	124	-	-49(-17)
0/100	176	-	(-20)

대단히 넓고 약하게 나타났다. 그런데 EPDM이 10~90 wt%의 조성에서 TPU-S의 피크는 거의 관찰 할 수가 없었으며, EPDM의 함량이 감소함에 따라 EPDM 용융 피크의 위치 (T<sub>m</sub>)는 변하지 않았지만, 결정화도에 비례하는 피크의 용융 ΔH는 EPDM의 감소에 따라 비례하여 감소함을 알 수 있었다. 이러한 현상은 EPDM의 결정화에 TPU-S가 거의 관여하지 않은 것을 말하므로 두 물질은 결정영역의 용융온도 및 결정화 측면에서 상용성이 거의 없는 것을 나타낸다.

Figure 2에서는 DMA를 사용하여 각각의 조성별 블렌드 필름의 tan δ를 나타내었다. EPDM은 -39°C, TPU-S는 -20°C에서 각각 하나의 T<sub>g</sub>가 관찰되었으나, EPDM/TPU-S 블렌드에서는 두 개의 T<sub>g</sub>가 관찰되었다. 순수한 EPDM의 T<sub>g</sub>는 TPU-S의 함량이 증가함에 따라 약간 저온으로 이동하나, 순수한 TPU-S의 T<sub>g</sub>는 EPDM의 함량 증가에 따라 아주 약간 (3~4°C) 고온으로 증가하였다. 일반적으로 부분적인 상용계에서는 낮은 T<sub>g</sub>는 보다 높은 온도로, 높은 T<sub>g</sub>는 보다 낮은 온도로 이동되어 두 T<sub>g</sub>를 나타낸다. 하지만 본 연구에서는 낮은 온도에서 나타나는 EPDM에 기인된 T<sub>g</sub>는 더 낮은 온도로 이동하는 반면, 보다 높은 온도에서 나타나는 TPU-S에 기인되는 T<sub>g</sub>는 약간 고온으로 이동하여 나타났다. 일반적으로 블렌드계에서 두 물질 간 상용성이 전혀 없다면 각각의 T<sub>g</sub>는 전혀 변화가 없어야 하지만, 본 EPDM/TPU-S계에서 조성에 따라 두 T<sub>g</sub>가 약간 이동하였다는 것은 두 물질의 비결정질 간 어느 정도 상호작용과 혼합에 의한 약간의 부분적인 상용성이 있다는 것을 뜻한다. TPU에는 크게 하드 도메인과 소프트 도

**Figure 2. Tan δ vs. temperature of EPDM/TPU-S blend films.**

메인이 존재하며 이들이 열처리나 가공 조건에 따라 상분리 (phase separation) 혹은 상혼합(phase mixing) 등에 의하여 새로운 order의 도메인을 형성할 수 있으며, EPDM/TPU-S계에서는 혼합물의 열처리에 의한 더욱 복잡한 상호 작용에 의하여 새로운 order의 도메인에 기인하여 이동된 새로운 두 T<sub>g</sub>가 나타난 것으로 추정되나 이들에 관한 명확한 규명을 위해서는 앞으로의 구체적인 연구가 요망된다.

### 3.2. 기계적 성질

Figure 3은 EPDM/TPU-S 블렌드의 stress-strain 곡선을 나타낸 것이며, 그 결과를 Table 2에 요약하였다. Figure 4는 EPDM/TPU-S 블렌드에서 조성비에 따른 인장강도/파단신도를 나타낸 것이다. 인장 강도 및 파단 신도는 모두 TPU-S 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. Figure 4에서 알 수 있는 바와 같이 EPDM/TPU-S 블렌드에서 인장강도는 단순 혼합법칙 이하였으나 파단 신도는 단순 혼합법칙 이상을 나타내었다. 이런 현상이 생긴 원인은 EPDM/TPU-S 블렌드에서 EPDM이 어느 정도 TPU-S의 소프트 세그먼트에 혼합되어 소프트 세그먼트의 영향이 큰 파단신도가 증가한 것으로 생각되며, EPDM의 도입으로 하드 세그먼트 함량이 낮아짐에 따라 인장강도가 저하된 것으로 추정된다. 인장강도/파단신도는 순수한 EPDM과 TPU-S는 각각 2.15 MPa/605%,

**Table 2. Tensile strength, elongation at break, specific gravity, hardness, NBS abrasion resistance and wet coefficient of kinetic friction of EPDM/TPU-S blend films**

EPDM/TPU-S	Tensile strength(MPa)	Elongation at break(%)	Specific gravity	Hardness (Shore A)	NBS abrasion resistance(%)	Wet coefficient of kinetic friction
100/0	2.15	605	0.95	68	100	0.45
50/50	8.49	1022	1.11	74	220	0.40
40/60	12.50	1092	1.12	77	250	0.30
30/70	19.00	1224	1.14	79	300	0.20
20/80	23.53	1417	1.17	81	350	0.15
10/90	33.07	1452	1.21	85	420	0.10
0/100	32.07	1217	1.29	86	730	0.10

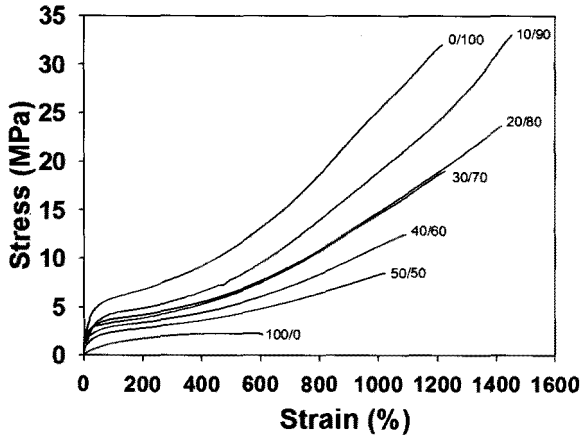


Figure 3. Stress-strain curves of EPDM/TPU-S blend films.

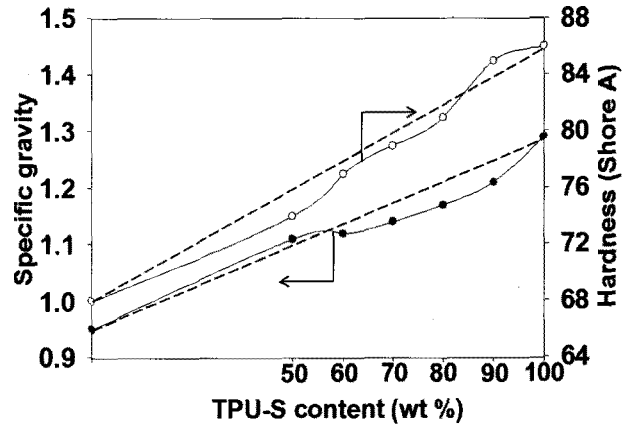


Figure 5. Specific gravity and hardness of EPDM/TPU-S blend films.

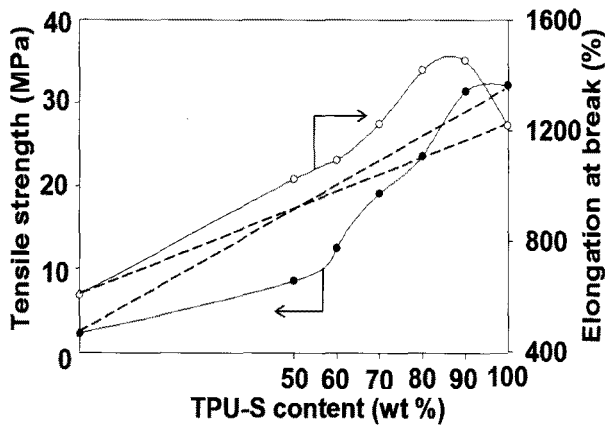


Figure 4. Tensile strength and elongation at break of EPDM/TPU-S blend films.

32.07 MPa/1217%를 나타내었다. EPDM/TPU-S 블렌드의 조성비가 90/10인 경우에는 TPU-S 보다 인장강도 및 파단 신도가 증가하는 특이한 경향을 나타내었으나 그 후에는 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 TPU는 하드 및 소프트 세그먼트의 상분리가 나타나면 이들 물성이 모두 증가할 수 있다. 따라서 결론적으로 보면 EPDM/TPU-S 90/10에서 EPDM이 연속상인 TPU-S의 하드 및 소프트 세그먼트의 상분리에 유리하게 작용함으로써 단순 혼합법칙이상으로 강도 및 신도 모두를 증가시킨 결과를 초래한 것으로 생각된다. 하지만 블렌드 조성비 90/10에서 인장강도 및 파단 신도가 모두 증가한 구체적인 이유는 규명할 수 없었으며, 그 규명을 위한 추후 연구가 요망된다. 다른 보고에서도 pristine TPU와 EPDM 블렌드에서 EPDM 함량 7~8% 첨가까지에서는 인장강도 및 파단신도가 증가하는 유사한 결과를 TPU 매트릭스에서 EPDM이 가교를 형성함으로써, 구체적인 이유 없이 단순히 시너지 효과라고 보고하였다[25,26]. 그런데 EPDM 함량이 10%이상에서 인장강도 및 파단신도의 감소 현상은 두 성분 간의 낮은 상용성에 기인되는 것으로 추정된다.

### 3.3. 비중 및 경도

EPDM/TPU-S 블렌드에서 TPU-S의 조성비에 따른 비중 및 경도의 변화를 Figure 5에 나타내었다. Figure 5에서 알 수 있는 바와 같이 EPDM/TPU-S 블렌드에서 비중 및 경도는 단순 계산 값보다 다소 낮은 값들을 나타내지만 실험 오차로 생각되며 대체로 혼합량에 비례하는 경향을 나타내었다. 순수한 EPDM 및 TPU-S의 비중은 각각 0.85, 1.29이었으며, TPU-S 조성비가 70%인 경우 비중은 1.14로 나타났다. 신발 업계에서 기준으로 사용되는 신발 걸창소재에서 요구되는 비중이 1.15(최대)이므로 EPDM/TPU-S 30/70은 신발 걸창소재로의 적용이 가능한 것을 알 수 있었다.

그리고 순수한 EPDM과 TPU-S의 Shore A 경도는 각각 68 및 86이었으며 TPU-S 조성비가 70%일 때는 경도 79를 나타내었다. 이는 일반적으로 신발업계에서 기준으로 사용되는 신발 걸창 소재에서 요구되는 경도 75 이하보다는 다소 높지만 걸창소재로 사용할 수 있는 범위 내에 들어감을 알 수 있었다.

### 3.4. NBS 내마모성 및 습윤 내슬립성

Figure 6은 EPDM/TPU-S 블렌드의 TPU-S 조성비에 따른 NBS 내마모성과 내슬립성(동적마찰계수)의 변화를 나타낸 것이다. 순수한 EPDM과 TPU-S의 NBS 내마모성은 각각 100, 730%이었다. NBS 내마모성은 TPU-S 조성이 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있었다. 그런데 EPDM/TPU-S 블렌드에서 NBS 내마모성은 단순 혼합법칙 이하의 경향을 나타내었다. TPU-S 조성비 70%의 경우 300%의 NBS 내마모성 값을 나타내었다. 이는 순수 TPU-S 보다는 낮은 값이지만 신발업계에서 기준으로 사용되는 신발 걸창 소재에서 요구되는 NBS 내마모성이 200~300%인 점을 고려하면 신발 걸창소재로 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

일반적으로 TPU는 내슬립성, 특히 습윤 슬립 특성이 나쁜 것으로 알려져 있다. 그러므로 본 연구에서는 습윤 상태의 슬립 특성 평가를 위해 바닥면에 수분을 도포하여 마찰력을 측

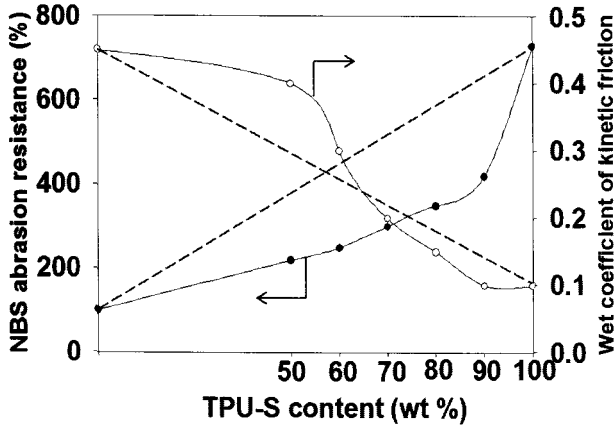


Figure 6. NBS abrasion resistance and slip resistance of EPDM/TPU-S blend films.

정한 값으로부터 마찰 특성을 비교할 때 가장 많이 사용되는 습윤 상태의 동적 마찰계수를 계산하였다[27]. 일반적으로 마찰특성은 분자구조(원자배열), 분자량, 결정화도, 분자배열, 공중합비, 충전물의 종류와 양, 분포 등에 의존한다고 알려져 있으며, 플라스틱의 경우 동종 재료에서의 마찰계수 값은 0.13~0.73의 범위로 알려져 있다[28]. 순수한 EPDM과 TPU-S의 습윤 동적 마찰계수 값은 각각 0.45, 0.10이었으며 습윤 동적 마찰계수는 TPU-S 조성이 증가함에 따라 감소하는 것을 알 수 있었다. 그리고 습윤 동적 마찰계수는 TPU-S의 조성이 0~65%

범위에서 단순 혼합법칙 이상이었지만 그 후의 조성비에서는 이하를 나타내었다. TPU-S 조성비 70%인 경우 습윤 동적 마찰계수 값은 0.2로 순수한 TPU-S 보다 2배로 내슬립성이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 신발업계에서 기준으로 사용되는 신발 걸창 소재의 습윤 동적 마찰계수 값이 0.2인 점을 고려할 때 TPU-S 조성비 70% 블렌드의 경우 신발 걸창소재로 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

### 3.5. 모폴로지

블렌드의 모폴로지는 두 성분의 분산에 관해 유효한 정보를 제공하며, 물성의 변화를 설명하는데 도움이 된다. 대표적인 EPDM/TPU-S 블렌드 파단면의 SEM 사진을 Figure 7에 나타내었다. 일반적으로 고분자를 블렌딩할 경우 용융점도 혹은 용융온도가 낮은 고분자가 넓은 조성영역에서 연속상을 나타낼 가능성이 높다. Figure 7의 SEM 사진에서 알 수 있는 바와 같이 낮은 용융온도를 나타내는 EPDM이 구름모양으로 퍼져있는 연속상을 형성하는 것을 볼 수 있었으며, 용융점도가 높은 TPU-S가 퍼진 구형 형태로 분산상으로 존재하는 것을 알 수 있었다. 그리고 EPDM의 함량이 증가함에 따라 EPDM이 보다 뚜렷한 연속상을 나타내면서 보다 smooth한 상을 형성함을 관찰할 수 있었다. 이는 낮은 용융온도(124°C)의 EPDM과 높은 용융온도(약 176°C)인 TPU-S를 높은 온도 190°C에서 용융 가공할 때에 EPDM은 아주 낮은 점도의 상태가 되므로 EPDM/TPU-S 블렌드는 일반적인 용액과 유사한

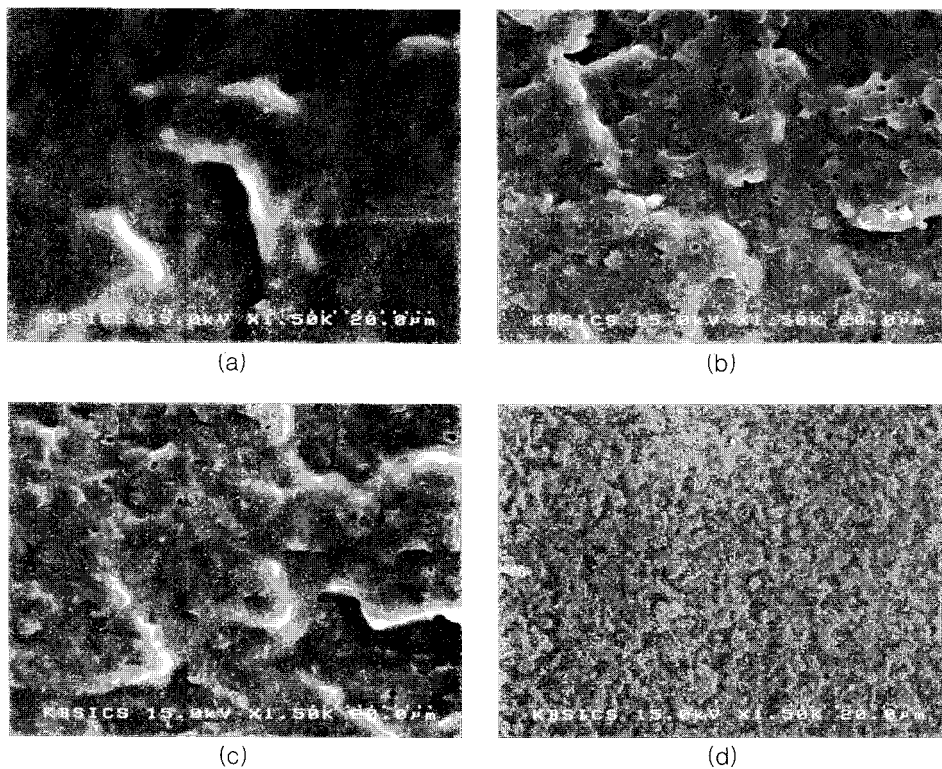


Figure 7. SEM micrographs of fractured surface of EPDM/TPU-S blend films: (a)100/0, (b)50/50, (c)30/70 and (d) 0/100.

거동을 보인 결과에 기인된 것이라 생각된다.

#### 4. 결 론

폐기되는 TPU 스크랩(TPU-S)의 재활용 가능성을 검토하기 위하여 본 연구에서는 EPDM 고무에 TPU-S를 100/0, 50/50, 40/60, 30/70, 20/80, 10/90 및 0/100의 조성비로 블렌딩한 후 필름을 만들어 열적, 기계적 성질, 비중, 경도, NBS 내마모성, 내슬립성, 모폴로지 등을 검토하였다. 블렌드 중의 TPU-S의 함량이 증가함에 따라 강도 신도, 내마모성, 비중 및 경도 등의 모든 물성이 증가하였으나, 내슬립성(동적마찰계수)은 크게 감소함을 알 수 있었다. 그런데 TPU-S 함량의 증가에 따라 블렌드의 파단신율은 혼합법칙 이상으로 증가하였으나, 내슬립성은 TPU-S가 0~65% 범위에서 단순 혼합법칙 이상이 었지만, 인장강도, 비중 및 마모강도는 모두 단순 혼합법칙보다 낮은 값을 나타내었다.

EPDM/TPU-S 블렌드에서 조성비 30/70의 경우 비중 1.14, Shore A 경도 79, 인장강도 19 MPa, 파단 신도 1224%, 내슬립성(동적마찰계수) 0.2, NBS 내마모성 300%로 나타내었다. 이러한 특정 조성에서의 물성은 일반 신발 걸창소재에서 요구되는 특성 - 비중 1.15(최대), Shore A 경도 75(최대), 인장강도 17.64 MPa(최소), 파단 신도 850%(최소), 동적마찰계수 0.2, NBS 내마모성 200~300%-을 거의 만족하므로 폐기되는 에어백용 TPU 스크랩의 재활용이 가능하고 이를 통한 제품의 원가 절감 및 환경보존 효과의 가능성을 제시하였다.

#### 감 사

본 연구는 2005년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단(KRF-2005-217-D00002)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- Oh, J. H., Kim, S. D., and Kim, J. S., "Current Status for Resources Recycling in Korea," *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, **12**(5), 3-9 (2003).
- Song, H. S., and Hyun, J. C., "Practical Optimization Methods for Finding Best Recycling Pathways of Plastic Materials," *Clean Tech.*, **7**(2), 99-107 (2001).
- Folkes, M., and Hope, P. S., In *Polymers Blends and Alloys*, Blackie Academic Press, New York, 1992.
- Potschke, P., Wallheinke, K., Fritsche, H., and Stutz, H. "Morphology and Properties of Blends with Different Thermoplastic Polyurethanes and Polyolefines," *J. Appl. Polym. Sci.*, **64**, 749-761 (1997).
- Hepburn, C., In *Polyurethane Elastomers*, Appl. Sci., London, 1982.
- Palanivelu, K., Balakrishnan, S., and Rengasamy, P., "Thermoplastic Polyurethane Toughened Polyacetal Blends," *Polym. Test.*, **19**, 75-83 (2000).
- Mark, H. F., In *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, Vol. 5, John Wiley & Sons Inc., New York, 2003, pp. 356-381.
- Easterbrok, E. K., and Allen, R. D., In *Ethylene-Propylene Rubber in Rubber Technology*, Morton, M. and van Nostrand Reinhold Co. Inc., New York, 1987, pp. 260-283.
- Gal, Y. S., "EPDM Rubber and its Applications," *Polymer Science & Technology*, **10**(3), 325-334 (1999).
- Davis, S. C., Von Hellens, W., Zahalka, H. A., and Richter, K. P., In *Ethylene-Propylene Elastomers in Polymeric Materials Encyclopedia*, Vol. 3, Salamone J. C., CRC Press, New York, 1996, pp. 2264-2278.
- Kostadinova, M., Proietto, M., Jilov, N., and La Mantia, F. P. "Recycling of High Density Polyethylene," *Polym. Degrad. Stabil.*, **57**, 77-81 (1997).
- Ahmed, N., Khan, J. H., Hussain, I., and Hamid, S. H., "Thermal, Chemical and Mechanical Property Evaluation of Recycled-Reprocessed High Density Polyethylene," *J. Polym. Mater.*, **16**, 341-345 (1999).
- Liu, Z. Q., Cunha, A. M., Yi, X.-S., and Bernardo, A. C., "Properties to Understand the Performance of Polycarbonate Reprocessed by Injection Molding," *J. Appl. Polym. Sci.*, **77**, 1393-1400 (2000).
- Silvia Spinace, M. A., and De Paoli, M. A., "Characterization Poly(ethylene terephthalate) after Multiple Processing Cycles," *J. Appl. Polym. Sci.*, **80**, 20-25 (2001).
- La Mantia, F. P., Curto, D., and Scaffaro, R., "Recycling of Dry and Wet Polyamide 6," *J. Appl. Polym. Sci.*, **86**, 1899-1903 (2002).
- Scaffaro, R., and La Mantia, F. P., "Characterization of Monopolymer Blend of Virgin and Recycled polyamide 6," *Polym. Eng. Sci.*, **42**, 2412-2417 (2002).
- Lozano-Gonzalez, M. A. J., Rodriguez-Hernandez, M. A. T., Gonzalez-De los Santos, E. A., and Vilapando-Olmos, J. "Physical-Mechanical Properties and Morphological Study in Nylon-6 Recycling by Injection Molding," *J. Appl. Polym. Sci.*, **76**, 851-858 (2000).
- Groning, M., and Hakkarainen, M., "Headspace Solid-Phase Microextraction with Gas Chromatography/Mass Spectrometry Reveals a Correlation between the Degradation Product Pattern and Changes in the Mechanical Properties during the Thermo-oxidation of In-plant Recycled Polyamide 6.6," *J. Appl. Polym. Sci.*, **86**, 3396-3407 (2002).
- Su, K. H., Lin, J. H., and Lin, C. C., "Influence of

- Reprocessing on the Mechanical Properties and Structure of Polyamide 6," *J. Mater. Process. Tech.*, **192-193**, 532-538 (2007).
20. Yang, J., Chen, X., Fu, R., Zhang, M., Chen, H., and Wang, J. "Dynamic Rheological and Morphological Study of the Compatibility of Thermoplastic Polyurethane/Ethylene-Octene Copolymer Blends," *J. Appl. Polym. Sci.*, **109**, 3452-3457 (2000).
21. Bajsic, E. G., Smit, I., and Leskovic, M. "Blends of Thermoplastic Polyurethane, Polypropylene," *J. Appl. Polym. Sci.*, **104**, 3980-3985 (2007).
22. Nair, T. M., Kumaran, M. G., and Unnikrishnan, G., "Mechanical and Ageing Properties of Cross-linked Ethylene Propylene Diene Rubber/Styrene Butadiene Rubber Blends," *J. Appl. Polym. Sci.*, **93**, 2606-2621 (2004).
23. Ahn, W. S., "Thermal Characterization of an EDPM/IIR Rubber Blend using TG/DTG Analysis," *Elastomer*, **42(1)**, 55-58 (2007).
24. Kim, J. K., and Lee, H. K., "Study on Manufacturing and Characteristics of Silicone/EPDM Rubber Blends," *Polym.-Korea*, **25**, 406-413 (2001).
25. Wu, L., Luo, X., and Wang, X., "Influence of Processing Conditions on Dual-phase Continuous Blend System of Thermoplastic Polyurethane with Ethylene-Propylene-Diene-Monomer Elastomer," *J. Appl. Polym. Sci.*, **102**, 5472-5482 (2006).
26. Tan, J., Ding, Y. M., He, X. T., Liu, Y., An, Y., and Yang, W. M., "Abrasion Resistance of Thermoplastic Polyurethane Materials Blended with Ethylene-Propylene-Diene-Monomer Rubber," *J. Appl. Polym. Sci.*, **110**, 1851-1857 (2008).
27. Oh, S. T., "A Study on Shoes for Culinarian Use in the Kitchen Environment," *The Korean J. Culinary Research*, **15(1)**, 296-308 (2009).
28. The Polymer Society of Japan, In Recent Dictionary of Polymer, Asakura Shoten, 1988, p443.