

재생 엘라스토머 수지의 기계적 물성과 모폴로지

노병수¹· 이규호²· 정영득[#]

Mechanical Properties and Morphology of the Recycled Thermoplastic Elastomer Molding

B. S. No, G. H. Lee, Y. D. Jeong

(Received November 16, 2006)

Abstract

Automotive weather strip should have good weather ability, sealability, durability, etc. to perform its duty as body sealing for vehicles under different harsh environments. Due to its comprehensive properties, thermoplastic vulcanizate(TPV) is widely employed in weather strip as alternative for ethylene propylene diene rubber(EPDM). In this study, the influences of the recycled TPV on the tensile strength and hardness were investigated. As results of the injection molding experiment, the recycled TPV's tensile strength and hardness were higher than the virgin TPV and recycled TPV's extension was improve. The morphology showed that recycled TPV's rubber particles became smaller than virgin TPV's rubber particles.

Key Words : Thermoplastic Vulcanizate(TPV), Weather Strip, Tensile Strength, Hardness, Morphology

1. 서 론

자동차용 웨더스트립은 악조건의 사용환경에서 내후성, 밀폐성, 내구성 등을 갖추어야 하며, 자동차의 방음, 방진, 방수 등의 중요한 기능과 외관을 담당하고 있는 중요 부품으로 에틸렌 프로필렌 고무(ethylene propylene rubber: EPDM)로 성형되고 있다. 이런 광범위한 능력이 요구되기 때문에 웨더스트립의 재료로서 EPDM 을 사용하고 있지만, EPDM 은 열경화성 수지로서 재생하여 재사용할 수 없는 단점이 있다. 또한 사용후 폐기되는 EPDM 제품은 환경오염과 인간의 건강에 나쁜 영향을 주는 반환경적 물질로서 이를 대체할 수 있는 물질이 필요하다[1~2].

이러한 여러가지 이유로 최근에는 EPDM 을 열가

소성 엘라스토머(thermoplastic elastomer: TPE) 중의 하나인 열가소성 가황물(thermoplastic vulcanizate: TPV)로 대체하여 사용하고 있다. TPV 는 폴리프로필렌(polypropylene: PP)과 EPDM 을 브렌딩(blending)하여 제조한다[3]. TPV 는 탄성과 충격강도가 우수한 고무의 성질을 띄는 동시에 열가소성 성질을 갖고 있어 일반 사출성형으로 성형 할 수 있으며, 기존의 EPDM 에 비하여 친환경적이며, 가격 및 효율 측면에서도 장점을 가진다. 또한, 재생하여 사용 가능한 장점도 가지고 있으며, 가황가교(dynamic vulcanization) 기술로 생산된 TPV 는 다른 공정으로 생산된 TPE 보다 기계적 물성이 뛰어나다. 이러한 이점들 때문에 TPV 의 사용이 점차 증가되고 있는 추세이다[4~6].

이러한 TPV 의 사용이 증가됨으로 인해 해결해

1. 부경대학교 기계공학부 대학원

2. ㈜화승R&A 기술연구소

교신저자: 부경대학교 기계공학부,

E-mail : ydjung@pknu.ac.kr

야 할 과제 중의 하나는 성형품으로 성형되고 남은 스크랩(scrap)의 처리 및 재활용에 대한 문제이다. TPV 스크랩의 재활용은 환경적, 가격 및 효율 측면에서 많은 이득을 안겨줄 것이 분명하지만, TPV의 재생능력에 관한 기초 연구는 거의 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 자동차 웨더스트립 성형에 사용되고 있는 TPV 재료를 대상으로, 순수 TPV와 재생 TPV의 인장강도와 경도의 차이를 고찰할 목적으로 실험적 연구를 수행하였다. 본 연구 결과는 실제 웨더스트립 생산 분야 등에서 활용할 수 있는 기초 자료가 될 것으로 기대한다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에서는 올레핀계 TPE 중의 하나인 TPV (thermoplastic vulcanizates)를 이용하여 실험하였다. 이 PP-EPDM계 TPV는 소프트 세그먼트인 지름 수마이론의 가교 EPDM 입자가 하드 세그먼트 PP 매트릭스로 분산된 구조로 되어 있다[7]. 실험을 위해 사용된 TPV는 (주)화승소재에서 제조한 TPV B70I로 PP와 EPDM의 혼합비율이 22:78이며, 현재 자동차 웨더스트립의 성형 재료로 사용되고 있다.

성형실험 방법은 기존의 TPV 수지를 이용하여 사출성형한 후, 그것을 분쇄과정과 건조과정을 거쳐 다시 사출성형하여, 그 성형물을 재생재의 시편으로 정하였다. 또한, 재생된 성형물의 변질 및 성형환경의 변화를 고려하여 모든 실험을 48시간 내에 수행하였으며, 재생재에 순수 TPV를 혼합하지 않고 재생재만으로 두 번째 사출성형 실험을 수행하였다.

TPV의 기계적 물성에 관한 선행연구에 의하면 성형온도 외의 성형조건은 강도 및 경도에 미치는 영향이 미미한 것으로 보고되었다[8]. 이에 본 실험에서는 사출성형실험을 위한 성형조건으로 성형온도를 제외한 나머지 성형조건은 일정하게 하여 Table 1과 같이 고정하였다.

Table 1에 나타내지 않은 성형조건으로는 사출 시간(injection time) 1.5초, 보압시간 2.5초, 냉각시간 15초로 고정하였다. 실험에 사용된 사출성형기는 LG 전선(주)에서 제작한 75톤 사출성형기(75EN)이다.

성형실험에서 각 성형조건 별로 10번의 반복 실험을 수행한 후, 마지막 5개의 시편을 인장실험

Table 1 Experimental variables and ranges

Variable	Unit	Range
Melt temperature	°C	190, 200, 210
Mold temperature	°C	30
Injection pressure	MPa	35
Holding pressure	MPa	19.2

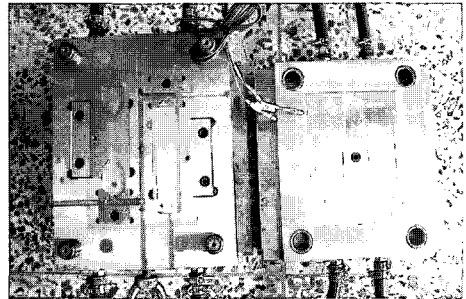


Fig. 1 Experimental mold

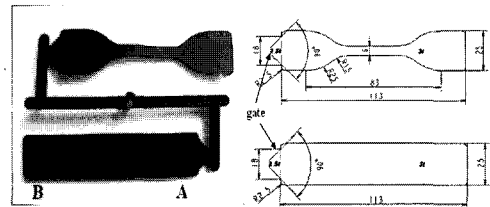


Fig. 2 Experimental specimen

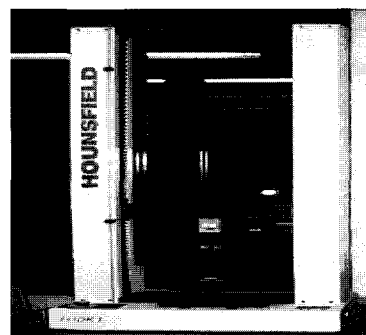


Fig. 3 Universal test machine

및 경도실험의 시편으로 선택하였다. 그리고 인장 실험 및 경도실험을 수행하여 각각의 데이터를 평균하여 결과로 나타내었다.

Fig. 1은 실험용 금형을 나타내고 있다. 실험금형은 사각시편과 인장시편을 동시에 성형할 수 있도록 제작된 것으로서, 인장강도는 인장시편을

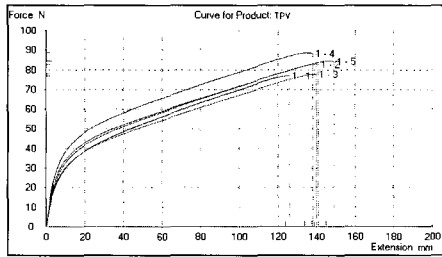


Fig. 4 Tensile strength curve of TPV

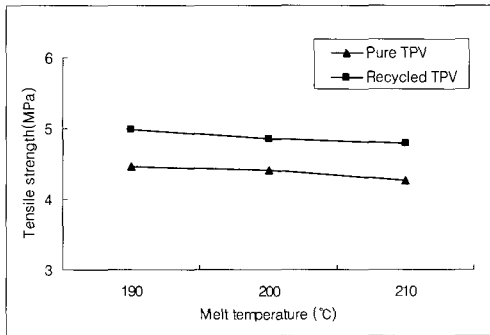


Fig. 5 Tensile strength according to melt temp

사용하여 측정하였으며, 경도는 사각시편으로 측정하였다. Fig. 2는 시편의 형상 및 치수를 나타내고 있다. 인장실험은 Fig. 3과 같은 만능시험기(Hounsfield사, H10kt)를 사용하여 수행하였으며, 인장강도 측정시 인장하중은 500N, 인장시험기 헤드의 이송속도는 400mm/min으로 하였으며, 인장강도는 성형품 파단시 최고 강도를 측정하였다. Fig. 4는 TPV의 인장실험 그래프를 예로 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인장강도 및 신장

Fig. 5는 성형온도에 따른 순수 TPV와 재생 TPV의 인장강도를 나타낸 것이다. 성형온도가 높아질수록 순수 및 재생 TPV의 인장강도는 모두 약간 감소하는 것을 알 수 있으나, 그 감소율은 거의 비슷하게 나타났다. 반면 순수 TPV와 재생 TPV를 비교했을 때 재생 TPV의 인장강도가 순수 TPV의 인장강도보다 더 높게 나타났다. 이러한 현상은 재생 TPV는 두 번의 사출성형실험을 거치면서 재가열로 인하여 EPDM 세그먼트가 확산되어 EPDM 세그먼트와 PP 세그먼트 사이의 결합력이 더욱 증가되었기 때문으로 추정된다.

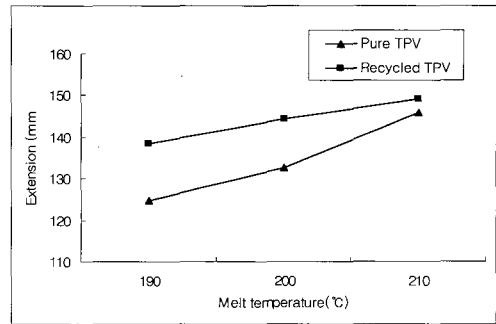


Fig. 6 Extension according to melt temp

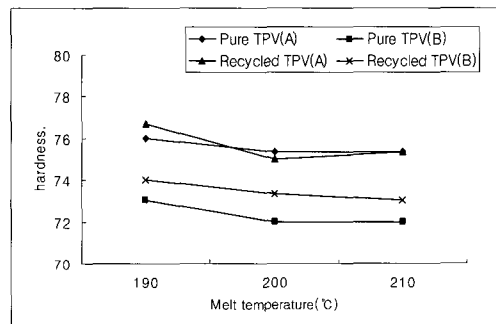


Fig. 7 Hardness according to melt temp

Fig. 6은 성형온도에 따른 순수 TPV와 재생 TPV의 신장된 길이를 나타내고 있다. 순수TPV에서 성형온도가 증가할수록 늘어난 길이가 증가함을 알 수 있었다. 재생 TPV에서도 이와 같은 경향으로 성형온도가 증가할수록 신장된 길이가 증가하였으며, 재생 TPV의 신장된 길이의 측정값이 순수 TPV의 신장된 길이를 측정한 값보다 더 높게 나타났다.

3.2 경도

Fig. 7은 성형온도에 따른 순수 TPV와 재생 TPV 성형품의 경도를 나타낸 것이다. 경도 측정은 성형품의 게이트부(A)와 게이트 반대부(B)를 동시에 측정하였다(Fig.2참조).

순수 TPV와 재생 TPV의 경도 변화는 게이트부에서는 특별한 경향성을 가지지 않았으며, 게이트 반대부에서는 재생 TPV의 경도가 미소하지만 약간 높게 나타났다. 그리고 게이트부의 경도가 게이트 말단부보다 약간 크게 나타났다. 이는 성형시 두 부위의 압력 전달 차이로 인하여 게이트 반대부보다 게이트부에서 압력이 더 높기 때문에

게이트부의 경도가 상대적으로 높게 나타난 것으로 사료된다.

3.3 모폴로지(Morphology)

Fig. 8과 9는 TPV 성형품의 내부 조직을 주사전자 현미경(scanning electron microscope: SEM)을 이용하여 촬영한 것이다. SEM 사진은 인장시편의 중앙부를 1500배로 확대하여 내부조직을 촬영하였다. 또한, Fig. 8과 9에서 흰색 타원으로 표시된 부분은 성형품을 에칭(etching)한 후 PP 세그먼트가 빠져나간 부분을 나타낸 것이다.

Fig. 8은 순수 TPV 성형품을 대상으로 성형온도가 190℃일 때 성형품의 내부조직을 촬영한 것이다. Fig. 8과 같이 PP 세그먼트가 빠져나가 검게 표시되는 부분이 크게 나타났으며, EPDM 세그먼트들이 균데균데 덩어리져 있는 모습을 볼 수 있다. 이는 소프트 세그먼트인 EPDM이 하드 세그먼트인 PP 매트릭스로 균일하게 확산되지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 9는 재생 TPV의 성형품을 대상으로 성형온도가 190℃일 때 성형품의 내부조직 구조를 촬영한 것이다. 재생 TPV에서 순수 TPV의 SEM 사진과 확연히 구분되는 점은 EPDM 세그먼트와 PP 세그먼트의 크기와 확산 정도이다. 재생 TPV가 두 번의 사출성형을 거치면서 재가열 되어 EPDM의 세그먼트 크기가 작아졌으며, PP 매트릭스에 고르게 확산되었다. 그래서 EPDM과 PP의 입자 사이의 결합이 더 활발히 진행된 것으로 추정된다.

이러한 재생 TPV의 내부 조직의 변화로 인하여 순수 TPV보다 재생TPV의 인장강도 및 경도가 더 증가된 것으로 판단된다.

4. 결 론

열가소성 엘라스토머 TPV의 순수재와 재생재를 대상으로 인장강도와 경도의 변화를 실험적 연구를 통하여 조사하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 인장강도는 순수 TPV와 재생 TPV 모두 성형온도의 영향은 거의 없으며, 그 크기는 약 4-5 MPa의 범위로 나타났다. 또한, 재생 TPV의 인장강도가 순수 TPV의 인장강도보다 약간 높게 나타났다.

(2) 경도는 성형온도에 따른 영향이 거의 없었으며, 그 크기는 쇼어 A 경도로 약 72~77의 범위로 나타났다. 또한, 게이트 말단부에서는 재생 TPV

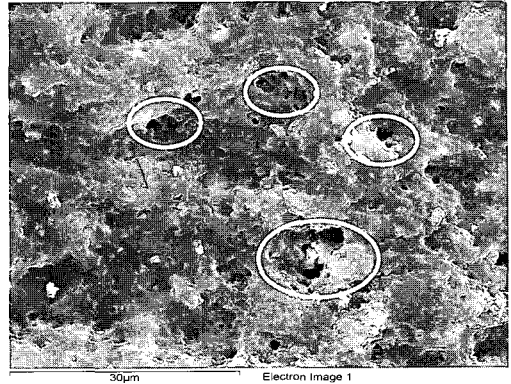


Fig. 8 SEM photograph for TPV at 190°C melt temp

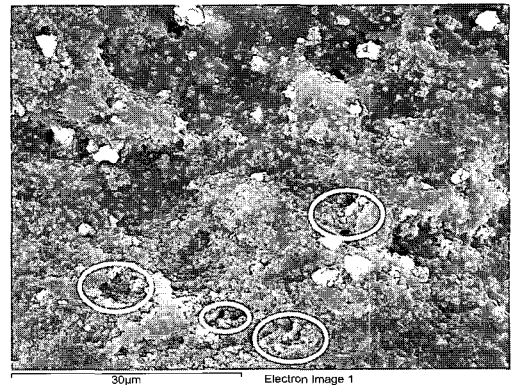


Fig. 9 SEM photograph for recycled TPV at 190°C melt temp

성형품의 경도가 순수 TPV 성형품의 경도보다 약간 높게 나타났다.

(3) SEM 사진에서는 순수 TPV에 비해 재생 TPV의 EPDM 입자가 더 작고 고르게 분포됨을 볼 수 있었다. 이로 인해 재생 TPV에서 EPDM과 PP 입자 사이의 결합력이 더욱 증가되어, 재생 TPV 성형품의 인장강도 및 경도가 증가한 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2006년도 누리사업에 의하여 일부 지원되었으며, 실험용 재료를 제공해 주신 (주)화승 R&A 기술연구소에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] L. Shi, 2002, Application of thermoplastic elastomer material testing data for automotive body seal

- analysis, ANTEC 2002, Vol 3, pp. 2573~2577.
- [2] J. Yun, R. Patel, D. C. Worley II, 2004, High performance thermoplastic vulcanizates (TPVs) for long term temperature application, ANTEC 2004, pp. 4172~4176.
- [3] W. Zoetelief, M. Teeuwen, 2003, Mechanical behavior of TPV in automotive sealing systems, ANTEC, pp. 2496~2500.
- [4] Curu S. Rajan, Yen T. Vu, James E. Mark, Charles L. Myers, 2004, Thermal and mechanical properties of polypropylene in the thermoplastic elastomer state, European polymer journal, Vol. 40, pp. 63~71.
- [5] N. Jain, C. Barry, J. Mead, 2004, The effect of composition on properties of blends from recycled rubber and polypropylene, ANTEC 2004, pp. 3791~3795.
- [6] M. H. R. Ghoreishy, M. Razavi-Nouri, G. Naderi, 2005, Finite element analysis of a thermoplastic elastomer melts flow in the metering region of a single screw extruder, Computational Materials Sci., Vol. 34, pp. 389~396.
- [7] 渡邊 隆, 小松 公榮, 2001, 알기 쉬운 고무와 엘라스토머 플라스틱 입문 시리즈 7, 한국플라스틱기술정보센터, pp. 111~112.
- [8] 한성렬, 김준형, 전승경, 이규호, 정영득, 2005, 엘라스토머 TPV의 사출성형조건에 따른 기계적 물성, 한국소성가공학회 2005년도 추계학술대회 논문집, pp. 265~268.