

사출성형공정에서 엘라스토머 재생재의 유동성

노병수¹ · 한성렬¹ · 정영득[#]

The Fluidity of the Recycled Thermoplastic Elastomer on the Injection Molding Process

B. S. No, S. R. Han, Y. D. Jeong

(Received May 10, 2007)

Abstract

These days, recycling of plastic material has become a major issue due to the landfills and environmental problem. This study investigates the fluidity of thermoplastic vulcanizate(TPV), which can be used for an automobile part such as a weather strip, in order to replace ethylene propylene rubber(EPDM). Injection molding experiments with the spiral flow test mold and panel cover mold are conducted to examine the fluidity of TPV during injection molding. It is found out that the recycled TPV's flow length is a little bit longer than the virgin TPV. However, the filling weight for a panel cover parts by a recycled TPV is almost the same as that by a virgin TPV.

Key Words : Thermoplastic Vulcanizate(TPV), Weather Strip, Fluidity, Spiral Flow Test.

1. 서 론

자동차용 웨더스트립(weather strip)은 악조건에서 사용환경에서 내후성, 밀폐성, 내구성 등을 갖추어야 한다. 또한 웨더스트립은 자동차의 방음, 방진, 방수 등의 주요한 기능과 외관을 담당하고 있는 중요 부품으로, 현재 에틸렌 프로필렌 고무(ethylene propylene rubber: EPDM)로 성형하고 있다. 그러나, EPDM은 재생하여 사용할 수 없는 단점이 있으며, 또한 사용 후 폐기되는 EPDM 제품은 환경오염을 야기시키며, 인간의 건강에 나쁜 영향을 주는 반환경적 물질로서 이를 대체할 수 있는 물질이 필요하다[1~2].

이러한 여러 가지 이유로 최근에는 EPDM을 열가소성 엘라스토머(thermoplastic elastomer: TPE)로 대체하여 사용하고 있으며, 다양한 물성을 가진 TPE의 사용 요구로 인하여 수많은 TPE가 개발되

고 있다. 본 연구에서는 올레핀계 TPE 중의 하나인 열가소성 가황물(thermoplastic vulcanizate: TPV)을 사용하였다. TPV는 폴리프로필렌(polypropylene: PP)과 EPDM을 브랜딩(blending)하여 제조한다[3].

이 PP-EPDM계 TPV는 소프트 세그먼트인 지름 수 마이크로론의 가교 EPDM 입자가 하드 세그먼트인 PP 매트릭스에 분산된 구조로 되어 있다[7]. 이와 같은 TPV는 탄성과 충격강도가 우수한 고무의 성질을 띠는 동시에 열가소성 성질을 갖고 있어 일반 사출성형으로 성형할 수 있으며, 재생하여 다시 사용할 수 있는 장점이 있다. 그러므로 기존의 EPDM에 비하여 친환경적이며, 가격 및 효율 측면에서도 장점을 가진다. 또한 가황가교(dynamic vulcanization) 기술로 생산된 TPV는 다른 공정으로 생산된 TPE보다 기계적 물성이 뛰어나다. 이러한 장점들 때문에 TPV의 사용이 점차 증가되고 있는 추세이다[4~6].

1. 부경대학교 기계공학부 대학원
교신저자: 부경대학교 기계공학부,
E-mail: ydjung@pknu.ac.kr

그러나, TPV의 사용이 증가됨으로 인해 재생재를 많이 사용하고 있으며, 재생 엘라스토머 수지의 인장강도 및 경도에 대한 선행 연구 결과가 발표된 바 있다[8]. 그러나 그 연구에서는 TPV 재생재의 성형시 유동성에 대해서는 연구대상에서 제외되어 있었다.

따라서 본 연구에서는 자동차 웨더스트립 성형에 사용되고 있는 TPV 재료를 대상으로 사출성형시 재생횟수에 따른 재생재의 유동성의 변화를 알아보고자 실험적 연구를 수행하였다. 본 연구 결과는 실제 웨더스트립의 사출성형 분야 등에서 활용할 수 있는 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 스파이럴 플로우 테스트(spiral flow test)

본 실험을 위해 사용된 PP-EPDM계 TPV는 (주)화승소재에서 제조한 TPV B70I로 PP와 EPDM의 혼합비율이 각각 22%와 78%이며, 현재 자동차 웨더스트립의 성형 재료로 사용되고 있다.

TPV 수지의 유동성을 테스트 하기 위하여 스파이럴 플로우 테스트금형을 사용하였다. Fig. 1은 실험금형과 성형품의 형상 및 치수를 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 2는 실험에 사용한 사출성형기를 나타내고 있으며, (주)LG전선에서 제작한 140톤 사출성형기(LGH140N)이다.

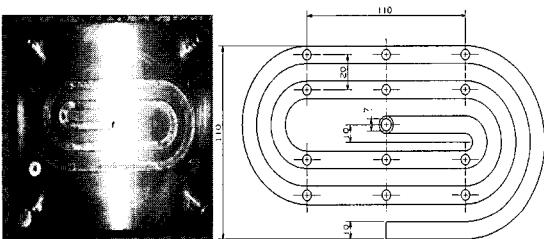


Fig. 1 Experimental mold and specimen(spiral)

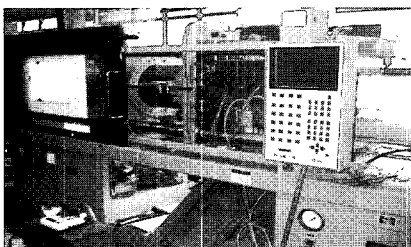


Fig. 2 Injection molding machine

성형실험 방법은 기존의 TPV 수지를 이용하여 사출성형한 후, 그것을 분쇄과정과 건조과정을 거쳐 다시 사출성형하여, 그 성형품을 재생재의 시편으로 정하였으며, 총 2회의 재생과정과 3회의 사출성형실험을 수행하였다. 또한, 재생된 성형물의 변질 및 성형환경의 변화를 고려하여 모든 실험을 72 시간 내에 수행하였으며, 순수 TPV로 사출성형 실험을 수행한 후 재생재에 순수 TPV를 혼합하지 않고 재생재 만으로 다음 사출성형실험을 수행하였다.

재생과정을 거친 후 사출성형조건이 재생 TPV 수지의 유동성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 Table 1과 같은 성형조건을 설정하였다. Table 1에 나타내지 않은 사출성형조건으로는 사출시간(injection time) 3.5초, 사출속도(injection speed) 10%로 고정하였으며, 미성형(short shot)을 발생시키기 위하여 보압(packing pressure) 관련 항목을 영(zero)으로 두었다. 또한 성형실험에서 각 성형조건 별로 5번의 반복실험을 수행한 후 마지막 3개의 시편을 측정시편으로 선택하였으며, 각 시편들의 유동길이를 측정하여 그 값을 평균하여 결과 데이터로 나타내었다.

Table 1 Experimental variables and ranges

Variable	Unit	Range
Melt temperature	℃	190, 210, 230
Injection pressure	%	20, 40, 60, 80
Mold temperature	℃	40
Cooling time	Sec	20

2.2 실 성형품을 통한 유동성 실험

앞서 수행한 성형실험 결과를 바탕으로 실 성형품을 통하여 재생 TPV 수지의 충전패턴 및 충전량을 알아보았다. 실험에 사용된 성형품은 자동차 전기배선 패널용 커버 성형품으로 모델의 형상 및 치수는 Fig. 3과 같다. 실험에 사용한 사출성형기는 스파이럴 플로우 테스트에 사용한 사출성형기와 동일한 사출성형기를 사용하였다.

성형실험 방법은 스파이럴 플로우 테스트 성형실험과 동일하게 수행하였으나, 사출성형조건은 그와 달리 일정하게 고정하였다. 사출성형조건은 Table 2에 나타내었다. 그리고 동일한 성형조건에서 사출시간을 제어하여 사출성형실험을 수행한 후 각 사출시간에 따른 제품의 중량을 측정하여 결과 데이터로 나타내었다.

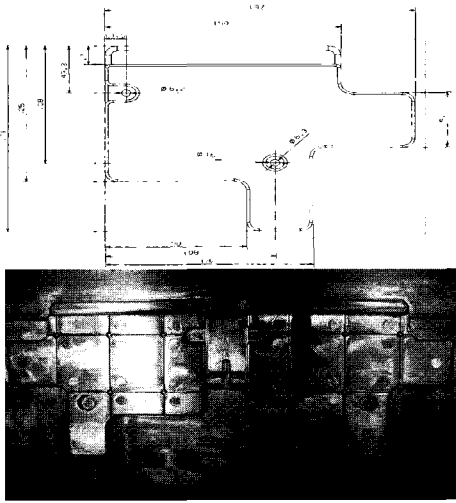


Fig. 3 Experimental specimen(panel cover)

Table 2 Experimental variables and ranges

Variable	Unit	Range
Melt temperature	°C	220
Injection speed	%	40
Injection time	sec	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5
Cooling time	sec	30

3. 결과 및 고찰

3.1 성형온도에 따른 유동성 비교

Fig. 4는 성형온도에 따른 순수 TPV와 재생 TPV의 유동길이를 나타낸 것이다. 성형온도가 높아질수록 순수 및 재생 TPV의 유동거리는 모두 증가하였다. 반면 순수 TPV와 재생 TPV를 비교했을 때 전체적으로 재생 TPV의 유동길이가 미소하지만 약간 길게 나타났다. 그리고 재생 TPV 만을 비교하였을 때 성형온도 190°C 근처에서는 두 번의 재생과정을 거친 TPV(recycled 2)의 유동길이가 약간 더 길게 나타났으며, 210°C와 230°C의 경우 두 재생 TPV의 유동길이는 거의 같았다. 이러한 현상은 재생 TPV의 선행연구에서와 같이 재생 TPV의 경우 사출성형실험에서 재가열로 인하여 EPDM 세그먼트가 더 고르게 분산되어 유동성이 더욱 증가한 것으로 추정된다[8]. 그러나 이에 대한 고찰은 향후 연구로서 더 규명되어야 할 것이다.

3.2 사출압력에 따른 유동성 비교

Fig. 5는 사출압력에 따른 순수 TPV와 재생 TPV의 유동길이를 나타낸 것이다. 사출압력이 증가할수록 순수 및 재생 TPV의 유동거리는 모두 증가하였다. 그리고 순수 TPV와 한번의 재생과정을 거친 재생 TPV(recycled 1)는 사출압력에 따른 유동길이가 거의 유사하였다. 반면 두 번의 재생과정을 거친 재생 TPV는 순수 TPV보다 사출압력에 따른 유동길이가 전체적으로 높게 나타났다. 또한 두 번 재생한 재생 TPV(recycled 2)는 사출압력 80%에서 캐비티에 완전히 충전되었으며, 플래시(flash)가 발생하였다.

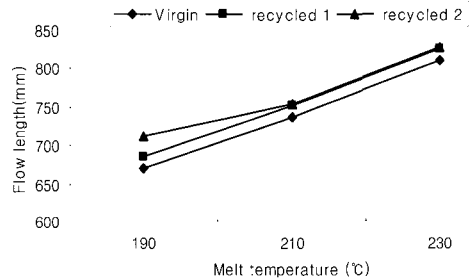


Fig. 4 Flow length according to melt temperature

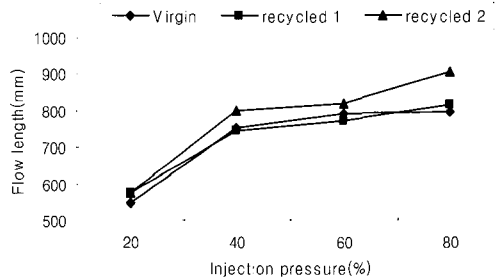


Fig. 5 Flow length according to injection pressure

3.3 실제 성형품을 통한 유동성 비교

Fig. 6은 1초에서 2.5초 동안 사출시간을 제어하면서 성형한 성형품을 시간별로 나타낸 것이다.

Fig. 7은 사출시간에 따른 성형품의 중량을 나타낸 것이다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 순수 TPV와 재생 TPV는 유사한 충전 패턴을 보였으며, 순수 TPV 수지에 비해 재생과정을 거친 재생 TPV 수지의 중량이 약간 작게 나타났으나, 그 차이는 무시할 수 있을 정도로 미미하였다. 그리고 미성형을 위해 보압 관련 항목을 제로(zero)로 설정하였

기 때문에 사출시간 2.5초 이후에는 충전량이 더 이상 증가하지 않았다. 보압을 설정하였을 경우 성형품이 완전히 충전되는데 걸린 사출시간은 3.0초였다. 순수 TPV와 재생 TPV의 충전량이 거의 유사한 원인은 앞의 스페이럴 플로우 시편에 비해 패널 커버 성형품의 체적이 상대적으로 크기 때문으로 추정된다. 그러므로 실제 TPV의 성형시 유동성에 대한 문제는 심각하게 고려하지 않아도 될 것으로 사료된다.

본 연구 결과를 통해 TPV 수지는 재생재로서 재활용성이 높은 것으로 사료된다. 그러나 재생횟수를 더 많은 횟수로 늘려 향후 연구를 수행할 필요가 있을 것으로 사료된다

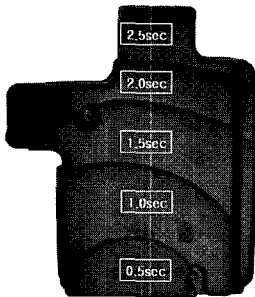


Fig. 6 Filling pattern of virgin TPV molding according to injection time

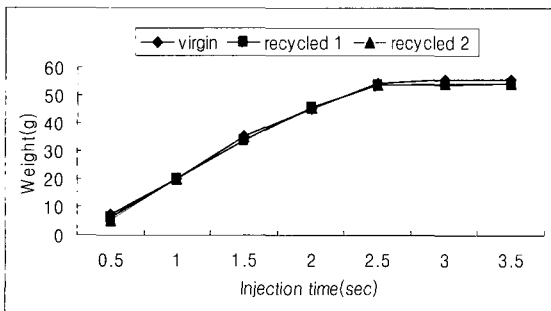


Fig. 7 Part weight vs. injection time

4. 결론

열가소성 엘라스토머 TPV를 대상으로 재생횟수에 따른 사출성형시 유동성의 변화를 실험적 연구를 통하여 조사하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 성형온도를 증가할수록 순수 TPV와 재생 TPV의 유동길이는 증가하였으며, 순수 TPV 보다

재생 TPV의 유동길이가 미소하지만 약간 길게 나타났다.

(2) 사출압력을 증가할수록 순수 TPV와 재생 TPV의 유동길이 역시 증가하였으며, 2회의 재생을 거친 재생 TPV의 경우 순수 TPV보다 유동길이가 약간 길게 나타났다.

(3) 패널 커버 성형품의 사출성형실험 결과 순수 TPV와 재생 TPV의 사출시간별 충전량은 거의 유사하게 나타났다.

(4) TPV 수지는 재활용성이 아주 높은 재료로 사료된다. 또한 앞으로 그 활용도가 더욱 증가할 것으로 판단되며, 향후 다양한 연구가 수행되어야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2007년도 누리사업에 의하여 일부 지원되었으며, 실험용 재료를 제공해 주신 ㈜화승 R&A 기술연구소에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] L. Shi, 2002, Application of thermoplastic elastomer material testing date 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] 노병수, 이규호, 정영득, 2007, 재생 엘라스토머 수지의 기계적 물성과 모폴로지, 한국소성가공학회지, 제16권, 제1호, pp. 31~35.