

엘라스토머 TPV의 사출성형조건에 따른 기계적 물성

한성렬*, 정영득#

Mechanical Properties of Elastomer TPVs due to Injection Molding Conditions

Seong-Ryeol Han*, Yeong-Deug Jeong#

ABSTRACT

Thermoplastic elastomer(TPE) has many advantages such as high flexibility, high elasticity and high elongation, etc. TPE is easily molded as plastic materials, therefore, many TPE parts are applied as home appliances and mechanical parts. However, its mechanical properties would be changed by injection molding conditions such as melt temperature, mold temperature, injection pressure and holding pressure, etc. In this study, the influences of the injection molding condition on the mechanical properties as tensile strength, hardness of thermoplastic vulcanizates(TPVs), which is one of the TPE, were investigated. By the injection molding experiment, the molding's tensile strength and hardness was influenced on the melt temperature and composition ratio of PP and EPDM. The morphology of moldings were shown by the scanning electron microscope.

Key Words : Thermoplastic Elastomer (열가소성 엘라스토머), Thermoplastic Vulcanizate (열가소성 가황물), Injection Molding Condition (성형조건), Scanning Electron Microscope (주사전자 현미경)

1. 서 론

최근의 소비자들은 다양한 개성과 요구를 나타내고 있기 때문에 거의 모든 제품은 경량이면서 고기능, 고품질화가 요구되고 있다. 이 중에도 자동차의 고급화와 경량화는 큰 사회적 이슈가 되고 있다. 특히 자동차의 경량화를 위하여 기존의 금속을 대신할 수 있는 플라스틱 및 고무가 차지하는 비중은 날이 커지고 있다. 특히 고무는 플라스틱이나 다른 재료와

는 다르게 고유연성, 고탄성, 고신장을 등의 특성을 나타내는 장점이 있지만, 고무 재료를 가공하기 위해서는 유황을 첨가하여 재료를 거대 고분자 물질로 변화시키는 가황가교(vulcanize) 등의 복잡한 공정을 거쳐야 하는 단점이 있다^{1,2)}.

이러한 단점을 개선하기 위해서 고무의 특성을 가지면서 높은 온도에서 가소화되어 일반 플라스틱 사출성형기로도 성형이 가능한 각종 열가소성 엘라스토머 (thermoplastic elastomer; TPE)가 개발되어 있다³⁾.

TPE는 가황가교 공정이 필요 없으며, 폭 넓은 물리적, 기계적 성질을 나타내므로 여러 가지 제품에 적용 가능하며, 스크랩 (scrap)의 재활용이 용이하다. 따라서 TPE의 사용이 점차 증가하고 있는 추세이다.

* 부경대학교 대학원 기계공학부

교신저자 : 부경대학교 기계공학부

E-mail : ydjung@pknu.ac.kr

TPE 제품의 사용 증가로 인한 대량 생산의 필요성이 대두되고 있는 상황에서 사출성형에 의한 생산에 대한 관심도 증가하고 있다. 그러나 실제 사출성형에 의한 생산은 여러 차례의 시행착오를 거치면서 최종 제품을 생산하는 비합리적인 과정을 거치고 있으며, 사출성형 과정에서 성형공정 조건이 제품에 미치는 물리적, 기계적 변화에 대한 연구는 아주 미미한 수준이다.

따라서 본 연구에서는 사출성형 조건들이 TPE 제품의 기계적 물성에 어떤 영향을 미치는가를 실험적 연구를 통하여 조사하였다. 이번 연구의 결과는 TPE 제품의 설계와 성형 분야에서 활용할 수 있는 기초 자료가 될 것으로 기대한다.

2. 실험장치 및 방법

열가소성 엘라스토머인 TPE에는 스티렌계, 올레핀계, 우레탄계, 에스테르계 등의 여러 종류로 나뉘는데 본 연구에서는 올레핀계 TPE 중의 하나인 TPVs (thermoplastic vulcanizates)를 사용하였다. TPVs는 폴리프로필렌(polypropylene; PP)과 에틸렌프로필렌고무(ethylene propylene rubber; EPDM)을 혼합하여 사용하고 있다^[4].

실험을 위하여 사용된 TPVs는 (주)화승소재에서 제조한 3종으로 PP와 EPDM의 혼합비율은 Table 1에 나타내었으며, 본 연구에서는 간략화를 위하여 정식명칭이 아닌 괄호안의 약칭을 사용하였다.

Table 1 Composition ratio of PP and EPDM

TPVs	Materials	Composition ratio (%)
L2K75BKS (PP29)	PP	29
	EPDM	71
B70I (PP22)	PP	22
	EPDM	78
B55I (PP14)	PP	14
	EPDM	86

본 실험에서는 성형조건이 TPVs제품의 인장강도와 경도에 어떤 영향을 미치는가에 대하여 실험하였다. 사출제품의 성형성과 정밀도를 결정짓는 인자들은 많

이 있지만 본 연구에서는 실험을 위한 성형조건으로 성형온도(melt temperature), 금형온도(mold temperature), 사출압(Injection pressure), 보압(holding pressure), PP와 EPDM의 혼합비를 변화시켰을 때 등의 변화에 따라 인장강도 및 경도의 변화추이를 조사하고자 하였다. 그 외의 사출조건은 사출시간(injection time) 2.5초, 냉각시간 (cooling time) 15초로 고정하였다. Table 2는 성형조건 범위를 나타낸 것으로, 각각의 조건을 5단계로 나누어 실험하였다. 실험에 사용된 사출성형기는 LG 전선(주)에서 제작한 75톤 사출성형기(75EN)를 사용하였다.

Fig. 1은 시편 성형용 금형으로 Fig. 2에 나타난 것처럼 인장시편과 사각형상의 시편을 동시에 성형할 수 있는 금형이다. 본 연구에서 수축률은 인장시편을 대상으로 하였고, 경도는 사각시편을 대상으로 하였다. Fig. 3은 인장실험에 사용된 만능시험기(Hounsfield 사, H10KT)이다.

Table 2 Experimental variables and ranges

Variable	Unit	Range
Melt temperature	℃	190, 195, 200, 205, 210
Mold temperature	℃	25, 30, 35, 40, 45
Injection pressure	MPa	35, 42, 49, 56, 63
Holding pressure	MPa	9.75, 13, 16.25, 19.5, 22.7



Fig. 1 Experimental mold

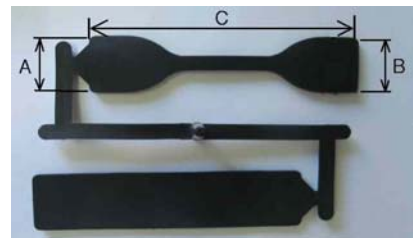


Fig. 2 Molded Specimen



Fig. 3 Universal test machine

3. 결과 및 고찰

3.1 성형조건과 인장강도

TPVs의 폴리프로필렌(PP)을 29%, 22% 및 14%로 각각 혼합시킨 뒤 사출하였을 때 사출조건(사출압력, 보압, 보압시간, 성형온도, 금형온도 등)의 변화에 따라 인장강도 및 경도의 변화 추이를 조사하고자 하였다.

Fig. 4는 사출압을 증가시켰을 때의 성형품의 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. PP를 29%, 22% 첨가한 엘라스토머는 사출압이 증가할수록 인장강도가 약간 감소하는 현상을 보였다. 그러나 PP를 14% 첨가한 엘라스토머는 사출압의 변화에도 불구하고 인장강도의 변화가 거의 없음을 보였다.

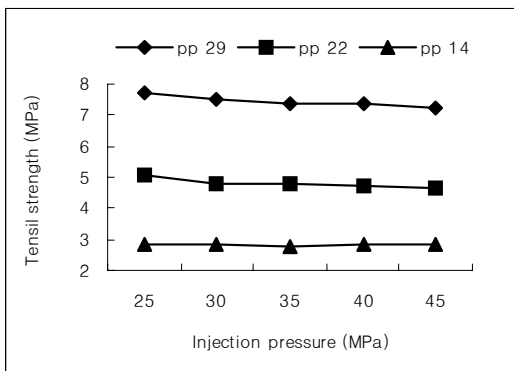


Fig. 4 Tensile strength variation according to injection pressure

Fig. 5는 보압의 증가시의 인장강도 변화를 나타낸 것으로 보압을 증가시켰을 때 엘라스토머별 인장강도의 변화는 거의 나타나지 않았다. 이러한 현상은 다른 플라스틱의 경우에서와 같이 보압을 증가시켜도 인장강도의 변화가 거의 없는 것과 같은 결과이다⁵⁾.

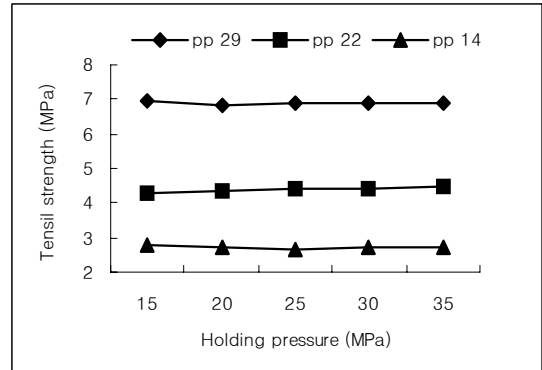


Fig. 5 Tensile strength variation according to holding pressure

그 이유는 실험에 사용된 엘라스토머의 경우는 내부의 PP 하드세그먼트(hard segment)가 사출되는 과정에서 PP 하드세그먼트를 감싸고 있는 소프트세그먼트(soft segment)인 EPDM에 의해서 배향이 이루어지는 것이 방해되어 일반적인 플라스틱 보다 분자배향이 작게 생겨서, 배향의 정도와 관련된 인장강도의 변화가 거의 없다고 생각한다.

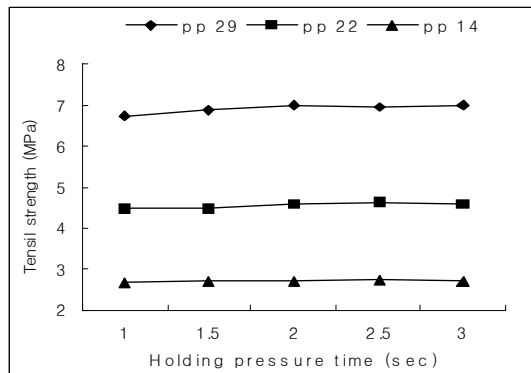


Fig. 6 Tensile strength variation according to holding pressure time

Fig. 6은 보압유지 시간의 증가에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 것으로 보압의 유지시간이 길어져도 인장강도에는 큰 변화가 없었다. 이러한 현상은 Fig. 5에서의 결과와 관련하여 배향발생이 거의 없는 상태에서 보압을 계속 유지시켜도 엘라스토머 내부의 변화가 없음에서 발생하는 결과라 생각된다.

Fig. 7은 엘라스토머의 성형온도에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 그래프이다. PP가 가장 많이 첨가된 엘라스토머의 경우 성형온도가 증가할수록 인장강도가 감소하는 결과를 보였고, 그 외의 엘라스토머는 성형온도가 증가하여도 인장강도에는 큰 영향을 끼치지 못하였다. 성형온도가 증가할수록 엘라스토머 내부의 PP 세그먼트의 매트릭스가 분해(degradation)되면서 인장강도가 저하되는 것으로 생각된다. 그리고 PP 세그먼트의 수가 감소할수록 PP 세그먼트의 와해 정도는 감소하며, PP 세그먼트가 일정수준까지 감소하면, 인장강도는 PP 세그먼트 분해의 영향보다는 EPDM 세그먼트의 분해에 의해 영향을 받을 것으로 생각된다. 따라서 PP 첨가량이 감소할수록 인장강도가 낮으며, 성형온도의 변화에도 불구하고 인장강도의 변화는 거의 없는 현상이 발생하는 것으로 생각된다.

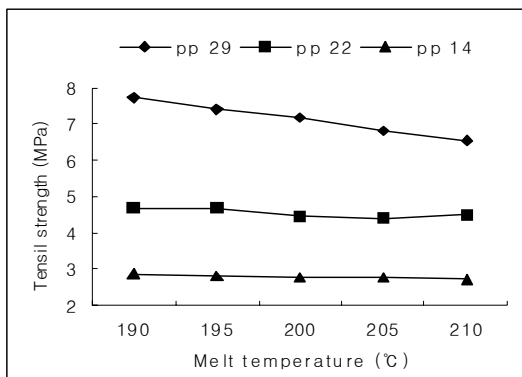


Fig. 7 Tensile strength variation according to melt temperature

Fig. 8은 금형온도가 증가하면서 발생하는 인장강도의 변화를 나타낸 그래프이다. 실험결과에서는 금형온도가 증가하여도 성형품의 인장강도에는 큰 영향을 끼치지 못하는 것으로 나타났다.

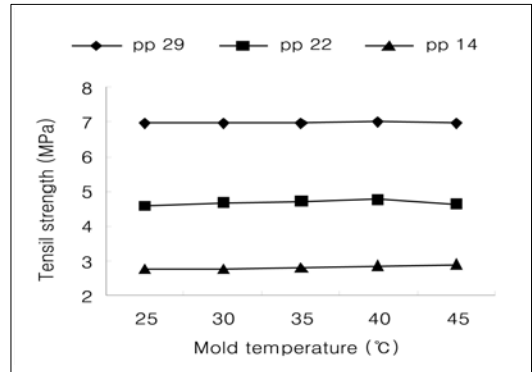


Fig. 8 Tensile strength variation according to mold temperature

3.2 성형조건과 경도

Fig. 9와 Fig. 10은 성형온도 및 보압의 증가에 따른 엘라스토머 성형품의 경도의 변화를 각각 나타낸 것이다. 경도의 측정은 성형품의 게이트부(a)와 게이트 반대편을 동시에 측정하였다.(Fig. 2참조)

성형온도의 경우 PP가 가장 많이 첨가된 경우에 가장 큰 경도를 나타냈고, 성형온도가 증가할수록 경도는 약간 감소하는 경향을 보였다. 보압의 증가시에도 PP가 가장 많이 첨가했을 경우에 가장 큰 경도를 나타내었고, 보압이 증가시키면 경도도 약간 증가하는 경향을 보였다.

그리고 모든 경우에서 게이트 쪽의 경도가 약간 크게 나타났는데 이는 성형시 캐비티의 게이트 쪽과 게이트 먼쪽의 압력전달 차이라고 사료된다⁶⁾.

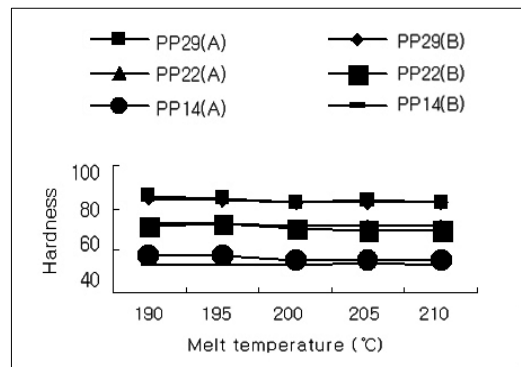


Fig. 9 Hardness variation according to melt temperature

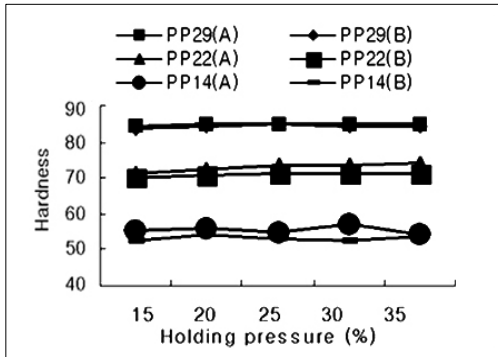
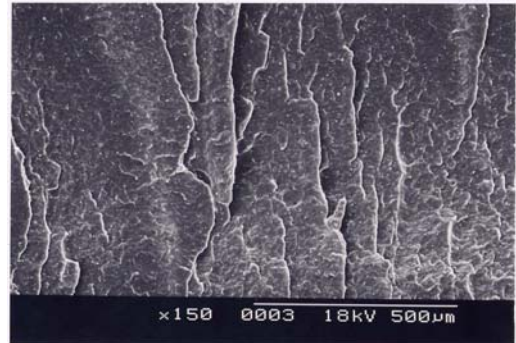


Fig. 10 Hardness variation according to holding

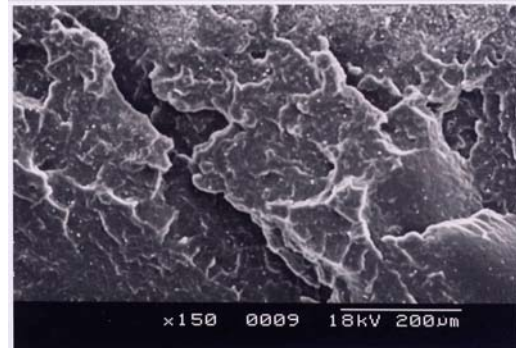


(b) 200°C

4. 성형온도와 모폴로지(Morphology)

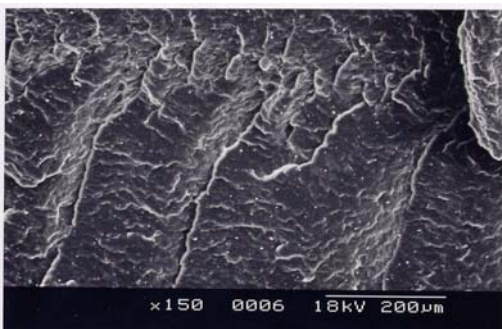
Fig. 11은 PP29 성형품의 내부조직을 주사전자 현미경(scanning electron microscope SEM)을 이용하여 촬영한 결과이다.

Fig. 11(a)에서부터 (c)까지는 성형온도가 증가되는 과정에서 성형된 시편들의 내부 조직을 나타낸 것으로 측정위치는 인장시편의 중앙부이다. 성형온도가 높아질수록 흐름과 표면주름이 감소하였다. 이와 같은 현상은 성형온도 210°C 시편이 190°C 시편에 비해 급냉되어 내부 조직들이 원래의 위치로 되돌아가지 못하고, 응집되어 있는 것으로 생각된다. 그리고 이와 같은 현상은 Fig. 7의 결과와 같이 성형온도가 증가할수록 인장강도가 저하되는 결과와 일치됨을 알 수 있었다.



(c) 210°C

Fig. 11 SEM micrographs of TPVs



(a) 190°C

5. 결 론

사출성형인자가 열가소성 엘라스토머 TPVs의 기계적 물성에 미치는 영향을 실험적 연구를 통하여 조사하였다. 이 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

1. 엘라스토머 성형품의 인장강도와 경도는 성형조건 중 성형온도에 의해서 가장 많은 영향을 받고, 그 외의 성형조건은 큰 영향을 미치지 않았다.
2. TPVs 엘라스토머의 경우 PP 세그먼트의 첨가량이 증가할수록 인장강도와 경도가 증가함을 알 수 있었다.
3. PP 세그먼트의 양이 증가되고, 성형온도가 증가할수록 성형품 내부조직이 균일하지 못하고, 응집되어 인장강도가 저하됨을 알았다.

후 기

이 논문은 2005학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. Ghoreishy, M.H.R., Razavi-nouri, M. and Naderi, G., "Finite element analysis of a thermoplastic elastomer melt flow in the metering region of a single screw extruder," Computational Materials Sci., Vol. 34, pp. 389-396, 2005.
2. 박인환 등, "엠티 엘라스토머 제조기술 개발에 관한 연구," 한국화학연구소 보고서, pp. 37-39, 1991.
3. Yun, J., Patel, R. and Worley, D. C. II, "High performance thermoplastic vulcanizates (TPVs) for long term temperature application," ANTEC 2004, pp. 4172-4176, 2004.
4. Zoetelief, W. and Teeuwen, M., "Mechanical behavior of TPV in automotive sealing systems," ANTEC 2003, pp. 2496-2500, 2003.
5. 김경범, "폴리카보네이트 사출성형품의 성형수축과 인장강도," 공학석사 논문, 부경대학교, pp. 30-40, 2004.
6. 최윤식, "사출성형 방식에 따른 성형수축 거동에 관한 연구," 공학박사 논문, 부경대학교, pp. 80-81, 2006.