

# 폴리스틸렌계 엘라스토머의 사출성형조건에 따른 기계적 물성 변화

한성렬\*, 김준형\*\*, 전승경\*\*, 정영득#

## Variation of Mechanical Properties on Polystyrene Elastomer According to Injection Molding Conditions

Seong-Ryeol Han\*, Joon-Hyung Kim\*\*, Seung-Gyeong Jeon\*\*, Yeong-Deug Jeong#

### ABSTRACT

From the past, most of the studies about thermoplastic elastomers(TPEs) have been conducted for their compounded materials and morphology. However these studies do not directly affect on injection molding processing. Therefor this study is focus on the variation of mechanical properties on TPEs moldings by increasing injection molding conditions which included injection molding conditions include injection pressure, holding pressure, melt temperature, mold temperature. The used experimental TPEs is a group of styrene(TPS). Injection pressure slightly affected on tensile strength, shrinkage and hardness. Holding pressure only affected on hardness. The melt temperature was the most affective condition on tensile strength.

**Key Words** : Thermoplastic elastomer(열가소성 엘라스토머), Mechanical property(기계적 물성), Injection molding condition(사출성형조건), Tensile strength(인장강도), Shrinkage(수축)

### 1. 서 론

열가소성 엘라스토머(thermoplastic elastomer; TPE)는 고유한 특성 때문에 이 재료가 갖는 제품으로서의 적용범위가 계속해서 넓어지고 있다<sup>[1,2]</sup>. 또한, TPE는 고무와 같이 부드럽고, 유연하며, 높은 신장성과 복원력을 가지고 있으며, 일반 열가소성 플라스틱 성형용 사출기로 성형이 가능한 장점을 가지고 있다<sup>[4]</sup>. 또

한, 환경문제가 사회적 이슈화된 가운데 TPE 재료는 기존의 열가소성 플라스틱과 비교하여 환경공해 문제를 해결하고, 재료의 리사이클링, 에너지의 절약을 가능케 한다<sup>[3]</sup>.

1940년 B. F. Goodrich와 D. E. Henderson에 의해서 PVC-NBR이 개발된 이후 현재까지 많은 TPE가 개발됨과 동시에 많은 연구가 진행 중이다. TPE에 관한 연구는 대부분 컴파운딩(compounding)에 사용되는 재료들이 성형품의 기계적 물성에 미치는 영향과 내부조직(morphology)에 관한 것이다<sup>[5-10]</sup>.

사출성형공정에는 많은 성형인자가 필요하고, 이러한 여러 성형인자가 최적화 되었을 때 최상의 성형품

\* 부경대학교 기계공학부 대학원

\*\* (주)화승R&A 기술연구소

# 교신저자 : 부경대학교 기계공학부

E-mail : ydjung@pknu.ac.kr

이 얻어 질 수 있다. 많은 성형인자를 TPE 사출성형에 적용하면서 발생하는 TPE 성형품의 기계적 물성변화에 대한 연구는 찾아보기 힘들다.

본 논문은 TPE 사출성형시 성형인자가 성형품의 기계적 물성에 미치는 영향에 대한 연구이다.

## 2. 실험

성형실험은 PP의 함유량이 다른 두 종류의 TPS에 대하여 실시하였다. Table 1은 실험에 사용한 TPS의 구성 재료와 블렌딩 비를 나타낸 것이다. 그리고 Table 2와 Table 3은 TPS를 구성하는 SEBS와 PP의 기계적 물성치를 나타낸 것이다.

**Table 1 Composition ratio and manufacturer of experimental TPS**

Grade	Composition material	Ratio(%)	Manufacturer
GT65IT (TPS65)	SEBS	71	GUANG SUNG
	PP	29	
GT75IT (TPS75)	SEBS	67	
	PP	33	

**Table 2 Experimental variables and range**

Variables	Unit	Range
Injection pressure	MPa	10, 20, 30, 40, 50
Holding pressure	MPa	15, 20, 25, 30, 35
Melt temperature	℃	200, 205, 210, 215, 220
Mold temperature	℃	30, 35, 40, 45, 50

**Table 3 Properties of SEBS(Kraton G1650 by Shell)**

Properties	Unit	Values	Test method
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.91	ASTM D1505
Tensile strength (yield)	kgf/cm <sup>2</sup>	352	ASTM D638
Elongation (break)	%	>500	ASTM D638
Hardness	Shore A	75	ASTM D785
Styrene/rubber	wt %	29/71	-

**Table 4 Properties of PP(Yuhwa polypro® 5012 by Yuhwa)**

Properties	Unit	Values	Test method
Melt index	g/10min	2	ASTM D1238
Density	g/cm <sup>3</sup>	0.9	ASTM D1505
Shrinkage (linear)	%	1.0 - 2.0	KPIC method
Tensile strength (yield)	kgf/cm <sup>2</sup>	360	ASTM D638
Hardness (Rockwell)	R scale	96	ASTM D785
Melting point	℃	162	ASTM D3418

연구에서는 사출성형조건이 TPS 성형품의 기계적 물성인 인장강도(tensile strength), 연신(elongation) 정도(hardness), 수축(shrinkage) 등에 어떠한 영향을 미치는지를 실험하였다. 사출성형조건은 사출압(injection pressure), 보압(holding pressure), 성형온도(melt temperature), 금형온도(mold temperature) 등의 거의 모든 성형조건을 대상으로 하였다. 그 외의 성형조건인 사출시간은 5초, 냉각시간은 15초로 고정하였다. Table 2는 실험에 적용된 각각의 성형인자들에 대한 범위를 나타내며, 각각의 성형조건은 5단계로 구성되며, 실험에 사용된 사출성형기는 LG 기계의 IDE 75EN이다.

Fig. 1은 인장시험용 시편과 수축측정용 시편을 동시에 성형할 수 있는 실험금형을 나타낸 것이다. Fig. 2는 연구에 사용된 인장시험용 시편과 수축측정용 시편을 나타낸 것이다. Fig. 3은 수축의 측정을 위하여 제작한 측정장치를 나타낸 것이다. 인장강도의 시험은 Hounsfield사의 H10KT를 사용하였으며, 경도 시험은 Asker사의 타입 A를 사용하였다.



**Fig. 1 Photo. of experimental mold**

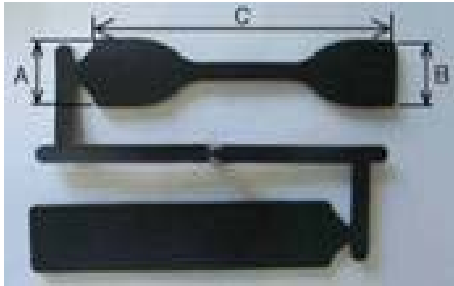


Fig. 2 Experimental specimens

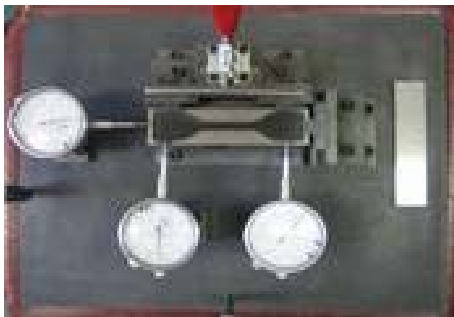


Fig. 3 Apparatus for shrinkage measurement

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 사출압력의 영향

Fig. 4는 사출압력을 증가시키면서 성형한 성형품의 인장강도와 연신율의 변화를 나타낸 그래프이다. 사출압을 제외한 그 외의 조건으로 보압은 25MPa, 성형온도는 210℃, 금형온도 40℃ 이었다.

TPS65는 사출압력이 증가할수록 인장강도와 연신율이 증가하였다. 그러나 TPS75의 경우에는 사출압력이 증가하더라도 인장강도와 연신율의 변화가 거의 발생하지 않았다. 이러한 결과는 TPS의 구성성분중의 SEBS와 PP의 혼합비를 때문에 발생하는 것으로 사료된다. 즉, PP의 함유량이 많은 TPS75의 경우가 TPS65보다 인장강도 높지만 연신율은 SEBS의 함유량이 많은 TPS65의 경우가 크게 나타났다.

Fig. 5는 사출압력을 증가시키며 성형한 성형품의 수축률의 변화를 나타낸 그래프이다.

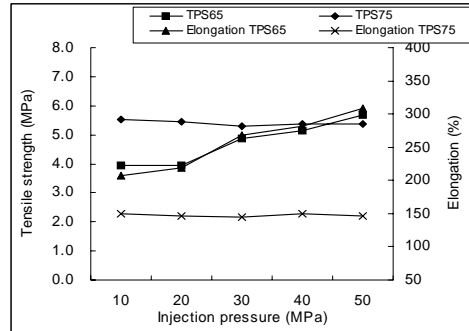


Fig. 4 Tensile strength and elongation by increasing injection pressure

사출압력이 증가할수록 수축률이 감소하는데 TPS65와 TPS75의 변화 정도는 상당한 차이를 보였다. TPS65의 경우 수지흐름 방향의 수축률이 게이트 부위와 성형품 말단부위의 수축률 보다 크게 나타났다. 측정위치별 수축률은 수지흐름 방향의 수축률이 가장 크고, 게이트부(near gate), 성형품의 말단부(far gate) 순으로 수축률이 감소하였다. 성형품의 말단부의 수축률이 게이트부의 수축률보다 작은 것은 일반적인 성형품에서 발생하는 수축현상<sup>[11]</sup>과는 다르다. 이 같은 결과는 SEBS가 사출압력을 받아서 최대로 신장되었다가 압력이 제거되어 원위치로 돌아가면서 흐름방향 수축은 증가하고 흐름 직각방향의 수축은 감소하는 결과라 사료된다. PP가 더 많이 함유된 TPS75의 경우 측정위치별 수축률의 차이가 아주 미소하여 수축률의 대소를 구별할 수 없었다.

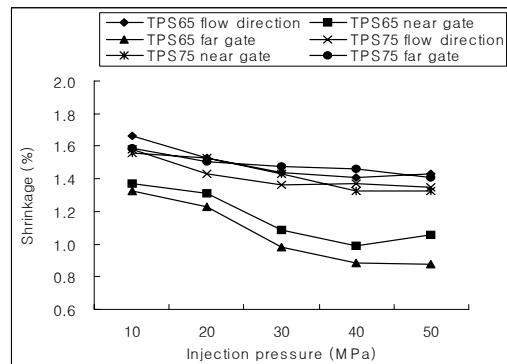


Fig. 5 Shrinkage by increasing injection pressure

전체적으로 TPS65의 수축률이 TPS75보다 작게 나타났는데 이는 SEBS에 혼합된 폴리스틸렌(polystyrene; PS)의 본래의 수축률이 PP의 수축률보다 작기 때문이다<sup>[12]</sup>. 그리고 두 TPS에 대한 수지흐름방향의 수축률을 예측하기 위한 간단한 식을 구하였다. 그 식은 (1), (2)와 같다.

$$Y = 0.015X^2 - 0.168X + 1.81 \quad (1)$$

(TPS65 flow direction)

$$Y = 0.026X^2 - 0.219X + 1.85 \quad (2)$$

(TPS75 flow direction)

여기서, X는 사출압력을 순서로 나타낸 것(즉, 10MPa= 1, 20MPa= 2, 30MPa= 3, 40MPa= 4, 50MPa= 5)이며, Y는 수축률(%) 이다.

Fig. 6은 사출압력을 증가시키며 성형한 성형품의 경도의 변화를 나타낸 그래프이다.

그래프를 살펴보면 사출압력이 증가하면 성형품의 경도가 미소하게 증가되는 것을 알 수 있다. 이는 성형압력의 증가로 인한 성형품의 밀도가 증가되어 나타나는 결과로 생각된다.

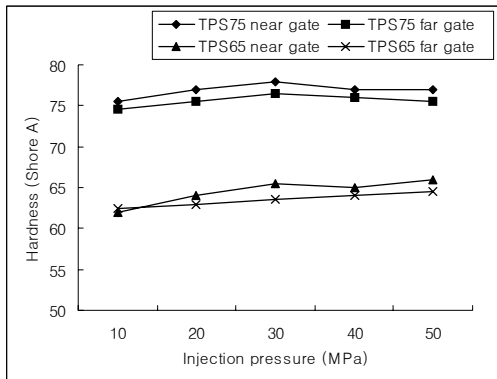


Fig. 6 Hardness by increasing injection pressure

### 3.2 보압력의 영향

Fig. 7은 보압의 변화에 따른 성형품의 인장강도 변화를 나타낸 그래프이다. 보압을 제외한 그 외의 조건으로 사출압은 40MPa, 성형온도는 210℃, 금형온도 40℃ 이었다.

보압이 증가하여도 성형품의 인장강도에는 거의 영향을 미치지 못하였다. 이는 일반 플라스틱 재료를 대상으로 한 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다<sup>[13]</sup>.

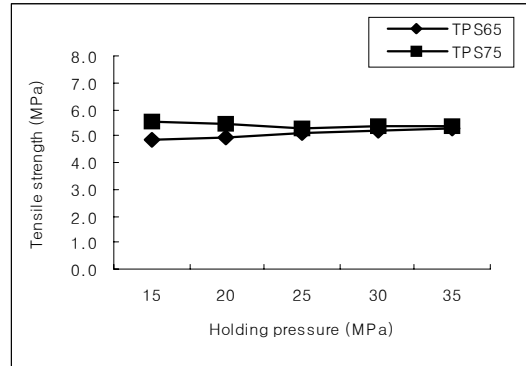


Fig. 7 Tensile strength by increasing holding pressure

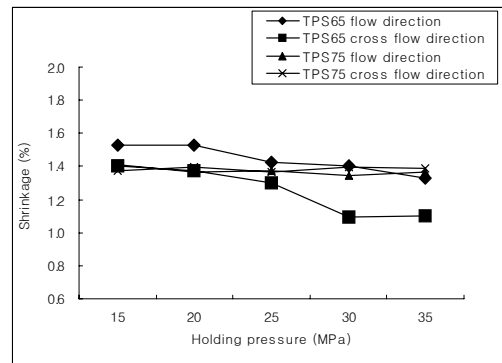


Fig. 8 Shrinkage by increasing holding pressure

Fig. 8은 보압이 증가할 때의 성형품의 수축률 변화를 나타낸 그래프이다.

보압의 증가에 대한 수축률 변화에 대한 실험에서 TPS75 보다 TPS65의 수축률 변화가 더 크게 나타났다. TPS75의 경우 수지흐름방향과 흐름직각방향(게이트 부위와 성형품 말단부위의 수축률 합)의 수축률 변화의 폭이 좁게 나타났으며, TPS65의 수지흐름방향 수축률이 가장 크게 나타났다. 이 결과는 일반적인 엘라스토머의 특성으로 설명할 수 있다. 외력(사출압력 또는 보압)을 받은 엘라스토머는 외력이 사라지면 원래 형상으로 되돌아가는 복원력이 우수하다

[14]. 따라서 고무성질을 갖는 SEBS가 많이 혼합된 TPS65의 수지흐름방향의 수축률이 TPS75의 수지흐름 방향 수축률보다 크게 나타난다.

Fig. 9는 보압이 증가할 때의 성형품의 경도 변화를 나타낸 그래프이다.

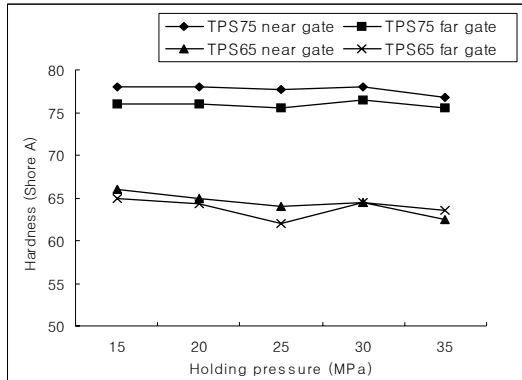


Fig. 9 Hardness by increasing holding pressure

그래프에서 보압이 증가하더라도 성형품의 경도에 는 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 단지 PP의 혼합량의 차이로 발생하는 TPS65와 TPS75 간의 경도가 약 20~25(shore A) 가량 발생함을 알 수 있다. 두 재료간의 PP 혼합량의 차이는 4%이다.

### 3.3 성형온도와 금형온도의 영향

성형온도와 금형온도를 제외한 성형조건으로 사출 압 40MPa, 보압 25MPa 등이 이후 모든 경우에 동일 하게 적용되었다. Fig. 10과 Fig. 11은 성형온도와 금형온도가 증가할 때의 성형품의 인장강도 변화를 나타낸 그래프이다.

성형온도가 증가하면 두 재료 모두에서 약간의 인장강도가 증가하였다. 특히 TPS65의 인장강도 변화가 더 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 TPS를 구성하는 SEBS에서 하드 세그먼트 역할을 하며, 구형(球形) 도메인인 폴리스틸렌이 가열되면서 구형상을 잃어버리고, 일반 플라스틱과 같이 랜덤한 상태로 변형된다<sup>[15]</sup>. 이렇게 변형된 도메인과 함께 역시 랜덤하게 변형된 PP가 서로 얽힌 후에 냉각되면서 도메인이 형성된다고 생각된다. 즉, 성형온도가 증가되면서 폴리스틸렌

하드 세그먼트 도메인과 PP도 함께 얽힌 후 냉각되면서 새로운 도메인이 생기는데 이 도메인이 기존의 도메인의 결합보다 더욱 강한 결합을 갖는 것으로 생각 된다. 그러므로 성형온도가 증가할수록 TPS75의 인장 강도보다 더 높은 결과를 나타내었다. 금형온도의 증가에 대한 인장강도의 변화는 Fig. 11에서와 같이 아주 미미한 결과를 보였다.

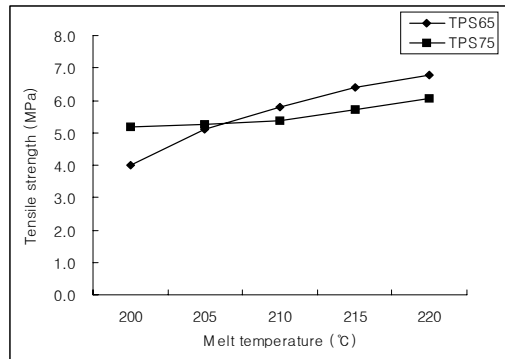


Fig. 10 Tensile strength by increasing melt temp.

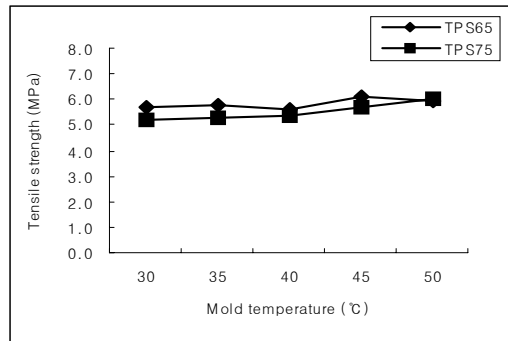


Fig. 11 Tensile strength by increasing mold temp.

Fig. 12와 Fig. 13은 성형온도와 금형온도가 증가할 때의 성형품의 수축 변화를 나타낸 그래프이다.

성형온도를 증가시켰을 경우에 TPS65의 수축률은 수지흐름방향의 수축률이 가장 크게 나타났고, 수지 흐름직각방향의 수축률은 TPS75의 수축률보다 낮게 나타났다. TPS75의 측정부위별 수축률의 차이는 아주 작았다. 이런 결과에서 실험에 사용된 TPS75 엘라스 토머는 치수안정성이 우수하다고 판단된다.

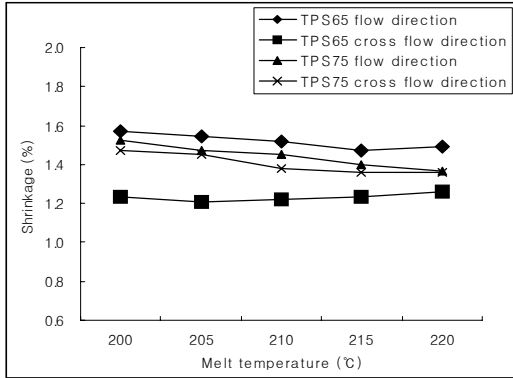


Fig. 12 Shrinkage by increasing melt temp.

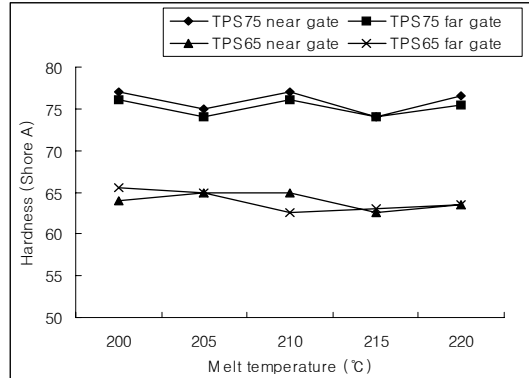


Fig. 14 Hardness by increasing melt temp.

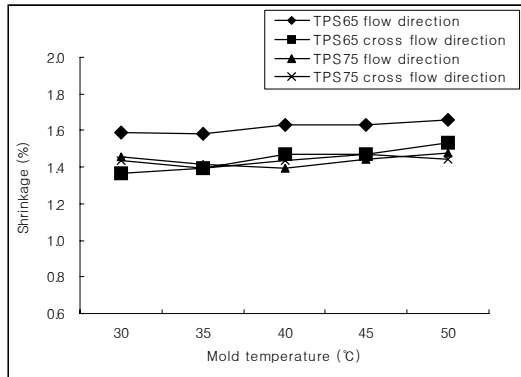


Fig. 13 Shrinkage by increasing mold temp.

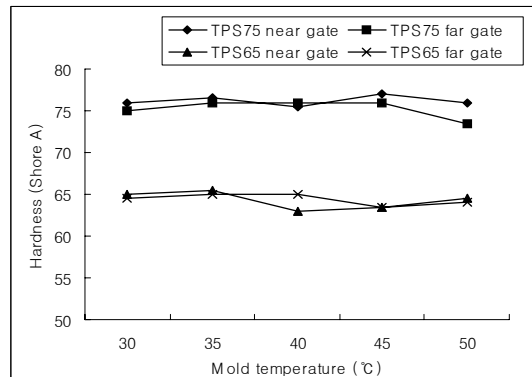


Fig. 15 Hardness by increasing mold temp.

금형온도의 영향은 Fig. 13에 나타나 있는데, 금형 온도가 증가할수록 수축률이 약간 증가 하였으나 그 정도는 미미하였다. TPS65의 수지흐름방향 수축률을 제외한 나머지 수축률은 거의 유사한 경향을 보였다. 온도와 관련된 성형조건에 관한 수축률의 변화가 미미한 이유는 TPS를 구성하는 SEBS가 아주 우수한 열안정성을 가졌기 때문이다<sup>13)</sup>.

Fig. 14와 Fig. 15는 성형온도와 금형온도가 증가할 때의 성형품의 경도 변화를 나타낸 그래프이다.

성형온도와 금형온도가 변화하여도 성형품의 경도에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 이전 연구<sup>13,16)</sup>와 유사하며, 성형조건은 엘라스토머의 경도에 영향을 크게 미치지 않는다고 할 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 폴리스틸렌계 열가소성 엘라스토머의 성형에서 사출성형조건이 성형품의 기계적 물성에 미치는 영향을 실험을 통해 고찰하였으며, 연구결과 중 주요한 내용은 다음과 같다.

1. 사출압력은 인장강도, 성형수축, 경도 등의 모든 물성에 영향을 미쳤다.
2. 보압력은 성형수축에만 영향을 미칠 뿐 다른 물성에는 거의 영향을 미치지 않았다.
3. 기계적 물성중에서 인장강도의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 성형온도이다.
4. TPS65의 경우 성형온도가 10°C 증가할 때 마다 약

1.5MPa의 인장강도가 증가하였다.

5. 금형온도는 모든 기계적 물성에 대하여 미미한 영향을 미쳤다.

## 후 기

본 연구에 사용된 재료와 일부 시편의 측정은 (주) 화승R&A의 기술연구소에서 도움을 주셨으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Rajan, C. S., Vu, Y. T., Mark, J. E. and Myers, C. L., "Thermal and mechanical properties of polypropylene in the thermoplastic elastomer state," *European polymer journal*, Vol. 40, pp. 63-71, 2004.
2. 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 science* Vol. 34, pp. 389-396, 2005.
3. Mitsuo, A., "Thermoplastic elastomer," *Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd.*, pp. 13-44, 2003.
4. Yun, J., Patel, R. and Worley II, D. C., "High performance thermoplastic vulcanizates (TPVs) for long term temperature application," *ANTEC2004*, pp. 4172-4176, 2004.
5. Liu, X., Huang, H., Xie, Z. Y., Zhang, Y., Zhang, Y. X., Sun, K. and Min, L. N., "EPDM/polyamide TPV compatibilized by chlorinated polyethylene," *Polymer Testing*, Vol. 22, pp. 9-16, 2003.
6. Liu, Y. and Kontopoulou, M., "Mechanical properties and morphology of PP and TPO/Nanosilica nanocomposites," *ANTEC2006*, pp. 248-252, 2006.
7. Mamodia, M. and Lesser, A. J., "Characterization of hybrid block copolymer systems developed through blending," *ANTEC2006*, pp. 2057-2061, 2006.
8. Fritz, H. G., Bötz, U. and Cai, Q., "Innovative TPV two-phase polymers: Formulation, Morphology formation, property profiles and processing characteristics," *Polymer engineering and science*, Vol. 39, No. 6, pp. 1087-1099, 1999.
9. Drewmiak, M. and Ding, R., "Interfacial modification in polyolefin blends," *ANTEC2005*, pp. 2217-2220, 2005.
10. Kilinc, M. and Bayram, G., "Mechanical properties and morphologies of PET-based ternary composites," *ANTEC2005*, pp. 1391-1395, 2005.
11. 최윤식, "사출성형 방식에 따른 성형수축 거동에 관한 연구," *부경대학교 공학박사학위 논문*, pp. 68-69, 2004.
12. Menges, G., Michaeli, W. and Mohren, P., "How to make injection molds," *Hanser Publishers*, pp. 348-350, 2000.
13. 한성렬, 정영득, "엘라스토머 TPV의 사출성형조건에 따른 기계적 물성," *한국기계가공학회지 제5권 제1호*, pp. 27-32, 2006.
14. Strong, A. B., "Plastics: Materials and processing," *Prentice-Hall*, pp. 239-256, 1996.
15. 渡邊 隆, 小松 公榮, "알기쉬운 고무와 엘라스토머," *한국플라스틱기술정보센터 역*, pp. 70-112, 2001.
16. Han, S. R., Jeong, S. G., Kim, J. H. and Jeong, Y. D., "Mechanical properties and shrinkage of injection molded elastomers," *The Korea-Japan plastics processing joint seminar 2006*, pp. 29-33, 2006.