

재활용 고강도 폴리스티렌(HIPS)의 강도 특성에 관한 연구

김중순, 강태호, 이용연, 김영수*, 김인관**
부경대학교 대학원, 부경대학교 기계공학부*, 부경대학교 RRC**

The Research about Strength Properties of Recycled High Impact Polystyrene

Jong Soon Kim, Tae Ho Kang, Yong Yeon Lee, In Kwan Kim*, Young Soo Kim**
Graduate School of Pukyong Univ., School of Mechanical Engineering, Pukyong National University*, RRC Pukyong National University**

요 약

플라스틱 재활용에서 물성변화에 대한 신뢰성의 확보는 재활용을 확대 시킬 수 있는 중요한 과제이다. 폴리스티렌과 같은 열가소성수지는 재활용이 가능하지만 재활용 수지에 대한 균일한 물성의 신뢰성이 부족하기 때문에 제한적으로 사용되고 있다. 본 연구는 고강도 폴리스티렌(HIPS)을 대상으로 재활용의 정도에 따른 물성의 변화를 실험적으로 수행하였다. 재활용을 하지 않은 수지와 재활용 수지를 중량비를 기준으로 혼합하여 실험을 수행하였으며, 이에 따른 기계적인 물성의 변화를 측정하였다.

주제어: 폴리스티렌, 사출성형, 수지온도, 금형온도, 혼합비, 재생수지

Abstract

Recycle methodology was researched on the HIPS(High Impact Poly Styrene) materials which are used in modern industry widely. For the various mixing ratio between virgin pellets of HIPS and recycled ones, tensile strength and shrinkage ratio were analyzed with injection molding experiments and numerical simulations.

In addition, the deviations of dimensional accuracy were observed in accordance with various molding conditions.

Molding conditions such as mold and melt temperature were changed by 3 steps. Mixing ratio between virgin pellets of HIPS and recycled ones were under controlled with 15%, 30% and 45%.

Key words: High Impact Polystyrene, injection molding, melt temperature, mold temperature, mixed ratio of recycled resin

1. 서 론

세계적으로 지구의 환경오염에 대한 관심이 고조되고 있으며 선진국들은 이러한 환경오염 문제를 해결하기 위하여 많은 연구를 진행하고 있다. 특히, 토양 및 수질 오염의 환경문제를 만드는 폐플라스틱은 매립과 소각만으로 처리하기에는 한계가 있다. 우리나라도 폐플라스틱이나 환경친화적 고분자에 대한 연구가 지속적으로 수행 되고 있다.

E-mail :kang@mail1.pknu.ac.kr

또한 자원이 부족한 우리나라에서는 재활용 기술의 연구가 절실히 요구되고 있다. 플라스틱의 재활용은 환경오염을 줄이기 위한 산업으로 세계적으로 각광받고 있을 뿐만 아니라 한정된 자원을 효율적으로 이용한다는 점에서 시장규모의 급신장이 예상되는 유망산업이라 사료된다.¹⁾ 철, 비철금속, 유리, 종이등과 같이 재활용 역사가 있는 재료와 똑같이 플라스틱 재활용 시스템 구축을 업계가 다소 시간이 소요되더라도 이루어야 할 것이다.²⁾ 현재 선진국들은 환경기술의 독점화를 기도하고 있으며, 다른 국가에 대한 기술의 판매에도 높은 기술을 요구하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 TV, 테이프레코드, 진공청소기, 세탁기, 에어컨디셔너 등 전기·전자 부품 및 완구류등에 주로 사용되는 HIPS(High Impact Polystyrene)수지를 동부품이나 타 부품으로 재활용하기 위한 기초재료 물성에 대한 연구를 수행 하였다.

성형실험 및 기계적 물성 시험에 앞서 상용 사출 성형해석 소프트웨어(C-MOLD)를 이용하여 시편 형상에 대한 유동선단 해석을 통하여 성형 신뢰성을 확보하였다. 성형 실험은 신 품재료와 재생재료를 중량비로 혼합한 후 금형온도 및 수지온도 등의 성형조건 변화를 주어 실험을 하였다. 성형된 시편은 수축, 중량 및 인장강도등의 기초적인 물성 시험을 하여 재 활용에 따른 변화를 분석하였다. 본 연구를 통하여 재생수지가 물성변화에 미치는 영향을 실험적 연구를 통하여 규명하고자 한다.

2. 실험

2.1 금형

실험에 사용한 사출 금형은 ASTM D638 규격에 의해 제작된 한번에 성형에 한 개의 시편을 얻을 수 있으며, 시편과 함께 2개의 사각 캐비티(Cavity)로 구성되어 있으며, 게이트는 사이드 게이트(Side Gate)를 사용하였다.

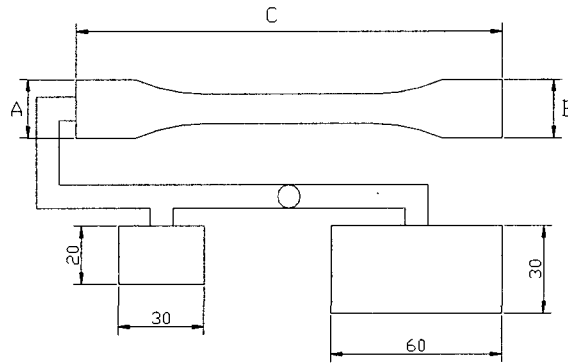


Fig. 1 The Schematic diagram of Mold Cavity Geometry

이 금형은 두 개의 사각 캐비티에 먼저 충전된 후에 인장시편 캐비티에 충전되도록 설계되어서, 시험편에 거의 동일한 온도로 수지가 충전될 수 있도록 흐름의 균형을 고려한 형상이다.

2.2 성형 재료

실험에 사용된 수지는 스티렌 단위체(Styrene Monomer)와 PBR(피리딘과 부타디엔의 공중합체)을 공중합시킨 기능성 수지로서 내충격성과 내열성등 기계적 물성이 균형있는 조화를 이루고 있는 (주)LG 화학의 HIPS 60HR 수지를 사용하였으며, 이 수지에 대한 주요 물성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Properties of HIPS Resin

	Unit	HIPS
Specific Gravity	-	1.04
Water Absorption	%	0.05
Mold Shrinkage	%	0.4 ~ 0.8
Tensile Strength	kg/cm ²	280
Flexural Strength	kg/cm ²	500
HDT(18.5kg/cm ²)	°C	80

2.3 성형 실험 및 물성 측정

성형 실험에 앞서 수지의 수분을 제거하기 위하여 열풍 건조기에서 80℃에서 4시간 예비 건조시켜 사용하였다. 성형 실험 환경은 실험실 실내 온도 15℃, 상대습도 40%이다. 성형공정 고정 변수는 보압시간 2초를 포함한 총 사출시간은 5초, 냉각시간은 20초로 하였다. 사출압과 보압은 사출성형기 스크류 선단에 걸리는 최대 압력이 1400kgf/cm²라고 할 때 45%로 설정하였다.

Table 2에 중량에 대한 신소재에 대한 재생재료의 혼합비, 수지온도 및 금형온도의 가변 변수를 나타내었다. 성형기는 형체력 140톤형을 사용하였다.

Table 2 Molding Conditions

Recycle Rate(%)	Melt Temp.(℃)	Mold Temp.(℃)
0%	220℃	30, 45, 60℃
	235℃	
	250℃	
15%	220℃	30, 45, 60℃
	235℃	
	250℃	
30%	220℃	30, 45, 60℃
	235℃	
	250℃	
45%	220℃	30, 45, 60℃
	235℃	
	250℃	

성형품의 중량측정은 성형품 취출 후 24시간이 경과한 후에 전자 중량계로 성형품의 각 조건별로 중량을 측정하여 평균값을 산출하였다.

성형품의 치수 측정은 취출 후 24시간이 경과한 후에 마이크로미터를 스탠드에 고정시켜 동일한 위치에서 측정이 가능하도록 고정구를 사용하였고, Fig.1에 각 측정 부위 A, B, C를 표시하였다.

성형품의 흡수율 측정은 ASTM D570-81 규격에 의하여 성형품을 열풍건조기에 50±3℃ (122±5.4℉)로 24시간동안 건조시킨 후와 상온(23±1℃)의 물 속에서 24시간동안 수분을 흡수한 후의 중량비로서 실험하였다.

성형품의 인장실험은 각 조건별로 성형한 인장시험편을 최대 하중이 5Ton 만능 시험기 (Instron UTM-Type4204)에서 인장시험을 하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 C-MOLD에서의 유동해석

해석에 사용한 사출 성형해석 소프트웨어는 C-MOLD로 3차원으로 모든 성형공정 변수에 따른 분석이 가능하다. Fig. 2는 금형의 캐비티내의 유동선단(melt-front advancement) 해석결과를 시간에 따른 충전율로 나타낸 것이다.

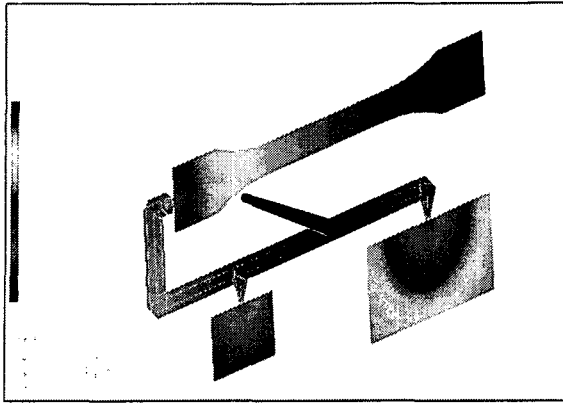


Fig. 2 Melt-front advancement of HIPS

3.2 성형수축 결과

220, 235, 250℃의 수지온도에서 금형온도를 각각 30, 45, 60℃로 변화를 주었을 때 신 품재료에 대한 재생재료의 혼합비에 따른 성형품의 각 부위별 수축율을 Fig.3, Fig4, Fig5 에 나타내었다. Fig.3에서 재생재 혼합비가 0%에서의 각각의 수지온도와 금형온도 변화에 따른 수축율을 볼 때 수지온도 보다는 금형온도가 수축에 미치는 영향이 더 커짐을 볼 수 있는데 이는 결정화도에 영향을 주는 냉각시간이 금형온도에 큰 영향을 받기 때문이라고 본다. 신품재료에 재생재료가 혼합된 수지는 신품재료에 비해 수축율은 약 0.1%정도의 감소를 보이고, 혼합비가 15, 30, 45%로 증가함에 따라서 수축율은 미소량의 변화를 보인다.

Fig.2의 유동선단 해석결과에서 금형내로 수지유입의 순서에 따른 게이트부의 Fig.3과 끝 단부의 Fig.4에서의 수축율을 비교해보면 약 0.1%의 수축율 감소를 보이는데 이는 용융상 태의 플라스틱 재료가 사출압력을 받아서 금형의 캐비티에 충전되면 동시에 냉각이 시작되 고, 그 진행에 따라서 캐비티의 재료는 수축하려하지만 이것을 보충하기 위해 보압조작이 이루어진다. 즉 스프루의 선단부에 남아 있는 일정량의 용융재료에 사출압력을 가하여, 캐 비티내로 밀어내어 수축량을 보충하게 한다. 그러나, 시편금형과 같이 성형품의 길이가 긴 경우는 사출이 진행되면서 시편금형의 끝단부가 먼저 충전되면서 고화가 먼저 진행되고 용 융수지가 나중에 유입되는 게이트부에서는 냉각속도가 늦어짐으로 결정화 진행이 촉진되어 끝단부보다 성형수축율이 증대된다.

시편 길이방향의 수축율 변화를 나타낸 Fig.5에서는 Fig.3과 Fig.4에서 보다 수축율의 변 화가 커짐을 알 수 있고 재활용 재료의 혼합비가 증가함에 따라 수축율이 미소하게 증가함 을 알 수 있으며, 길이방향 또한 Fig.3과 Fig.4에서와 같이 수축율에 금형온도가 큰 작용을 하고 있음을 알 수 있다.

3.3 HIPS 수지의 중량 측정 결과

Fig.6은 앞 절과 같은 성형조건에서 실험한 후 중량을 측정한 결과를 나타낸다.

수지온도가 220, 235, 250℃로 높아짐에 따라 평균 중량의 차이가 각각 0.015g, 0.027g 으로서 금형온도가 상대적으로 높을 때 제품 중량 변화폭은 많이 줄어들었다. 이것은 수지 온도와 금형온도가 증가함에 따라 일정온도 이상에서의 점도 차이는 크지 않고 온도만이 영 향을 미치게 되므로 중량 변화폭이 감소됨을 알 수 있다. 신품재료에 재생재료가 혼합된 수 지에 대한 신품재료의 중량의 차이는 별다른 영향을 보이지 않았다.³⁾

3.4 인장강도 측정 결과

Fig.7은 220, 235, 250℃의 수지온도에서 금형온도를 각각 30, 45, 60℃로 변화를 주었을 때 신폼재료와 재생재료의 혼합비에 따른 성형품의 인장강도를 나타내었다. Fig.7에서 알 수 있듯이 수지온도가 250℃, 즉 수지온도가 높은 조건일수록 인장강도는 대체적으로 감소하는 경향을 보이고 낮을수록 별다른 변화를 보이지 않는다. 재활용 재료의 혼합비와 금형온도의 변화에 따른 인장강도의 변화는 일률적이지 못한 것으로 사료된다.⁴⁾

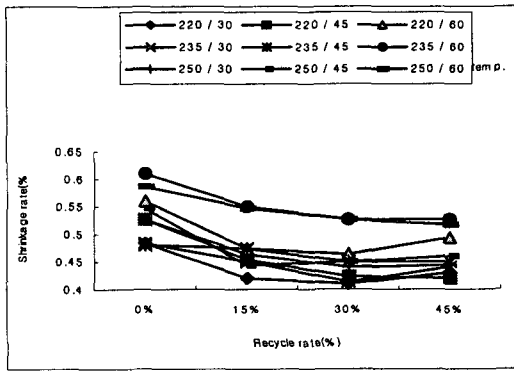


Fig. 3 The variation of shrinkage in width A

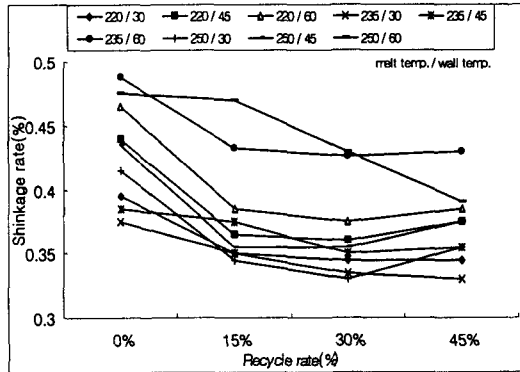


Fig. 4 The variation of shrinkage in width B

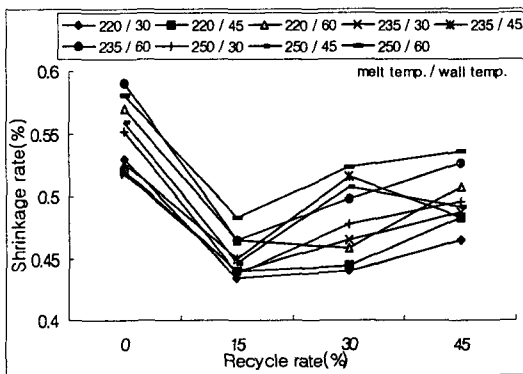


Fig. 5 The variation of shrinkage in length C

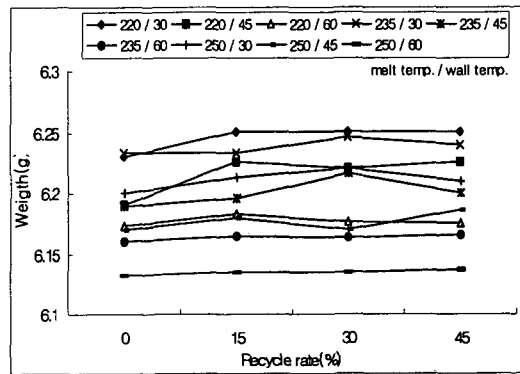


Fig. 6 The variation of weight according to recycle rate

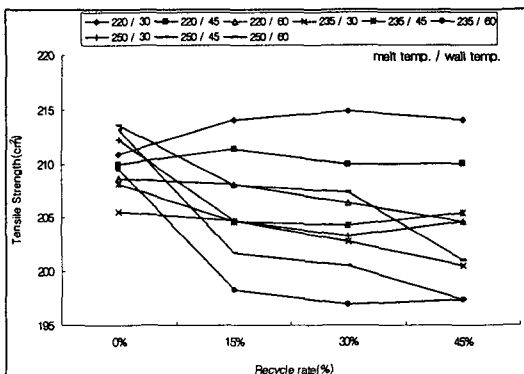


Fig. 7 Tensile strength of HIPS Molding

4. 결 론

본 연구에서는 고충격성과 내열성등 기계적 물성이 균형있는 조화를 이루고 있는 (주)LG 화학의 HIPS 60HR 수지의 재활용 방안에 대한 기초 연구로서, 금형온도, 수지온도에 대해 변화를 주었을 때, 신소재에 대한 재생재의 혼합비 증가가 성형품의 수축율, 중량, 인장강도에 미치는 영향에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 재생재료의 혼합비에 따른 성형품의 수축율은 신소재보다 약 0.1%정도의 감소를 보이고, 혼합비가 증가함에 따라서 미소량의 수축율이 증가함을 보이고, 인장시편 성형품 게이트부의 수축율이 끝단부에서 보다 약 0.1%정도의 수축율 증가를 보였다.
- 2) 수지온도와 금형온도가 증가함에 따라 중량 변화폭이 감소되었고, 금형온도가 높을수록 각 수지온도별의 평균 중량이 감소함을 보였다.
- 3) 재생재료의 혼합비와 금형온도의 변화에 따른 인장강도의 변화는 일률적이지 못한 것으로 사료되며, 수지온도가 높은 조건일수록 인장강도는 감소하는 경향을 보였다.

참고문헌

1. Wang, 1983: Computer Aided Design and Fabrication of Molds and Computer Control of Injection Molding, CIMP Progress Report, 10, pp. 130-136.
2. N. Dontula, G. Campbell, 1994: An Approach Towards Molding Parts With Constant Properties on Addition of Re grind, SPE Technical Paper, pp. 1783-1788.
3. Cox, H. W. and Mentzer, C. C., 1986: The Effect of Fill Time on Properties, Polym. Eng. and Sci., 26, pp. 488-498.
4. H. Kumazawa, 1994: Prediction of Anisotropic Shrinkage of an Injection Molded Part, SPE Technical Paper, 4, pp. 817-821.
5. A. Mamat, F. Trochu and B. Sanschagrín, 1994: Shrinkage Analysis of Injection Molded Polypropylene Parts, SPE Technical Paper, 4, pp. 513-517.
6. J. Brues, R. Kamal, and G. Cooper, 1995: Thermolysis of Mixtures of Polyethylene and Polystyrene, Using Virgin Polymers and Recycled Plastic, SPE Technical Paper, 5, pp. 3720-3725.
7. 홍명웅, 류제구, 1989: 사출성형, 기전연구소, pp. 165-179, 서울.
8. Rubin, I. I., 1972: Injection Molding Theory and Practice, John&Wiley Sons, pp. 270-281, New York.
9. 김인관, 2004: 엔지니어링 플라스틱 재료의 재활용 성분비가 성형품 수축에 미치는 영향, J. of Korea Inst. of Resources Recycle, Vol. 13, No. 3, pp. 43-49