

高密度 폴리에틸렌 材料의 再活用 混合비가 成形品에 미치는 影響

*康太豪 · 金仁官 · 金永守

釜慶大學校 機械工學部

The Effect on Recycled resin Ratio of High Density Polyethylene on the Molded Parts

*Tae Ho Kang, In Kwan Kim and Young Soo Kim

*School of Mechanical Engineering, Pukyong National University

요 약

플라스틱 중에서 열가소성 수지는 재활용이 가능하지만 재활용 수지에 대한 균일한 물성의 신뢰성이 부족하기 때문에 제한적으로 사용되고 있다. 정확한 재활용의 정도에 따른 물성을 파악하여 사용 범위를 규정하는 것은 제한된 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 중요한 방법이라 하겠다. 본 연구는 고밀도 폴리 에틸렌(HDPE)을 대상으로 재활용의 정도에 따른 물성의 변화를 실험적으로 수행하였다. 재활용을 하지 않은 수지와 재활용 수지를 중량비를 기준으로 혼합하여 실험을 수행하였으며 기계적인 물성의 변화를 측정하였다.

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

Abstract

In this study, experimental work was performed to mold tensile specimens by using the injection molding machine. Melt temperature, mold temperature and the mixed ratio of recycled resin were selected as processing parameters for studying the effect of those conditions on the shrinkage, weight, absorption, and tensile strength of molded parts. As a result, the shrinkage was increased according to the higher mold and melt temperature and it was more sensitive to the change of mold temperature. On the other hand, the weight of molded parts was decreased due to the increment of mold and melt temperature. Tensile strength was increased with mold and melt temperature, and it was also easy to change by mold temperature.

Key words: polyethylene, injection molding, melt temperature, mold temperature, mixed ratio of recycled resin

1. 서 론

19세기 후반에 태동한 석유화학산업의 발전으로 20세기 초반에는 고분자재료가 생산되기 시작했고 근대에 이르러서는 대표적인 고분자 물질인 플라스틱의 기능이 향상되어 사용이 확대되고 있다. 그러나 지금까지의 발전의 대가인 환경의 오염은 더욱 심각해져 있다. 이로 인한 환경에 대한 관심의 증가로 산업도 환경친화적인

성격으로 발전하게 되었다.

플라스틱과 같은 고분자는 튼튼하고 가벼우며 자연상태에서 햇빛이나 미생물에 의해 쉽게 물성이 변하지 않으며 기계적 강도와 내화학성등의 여러 특성을 가지고 있다. 반면 폐기물로서의 고분자는 분해가 어렵고 부피가 크며 열에 약하고 열량이 높다. 일반적인 폐기방법인 소각의 경우, 열에 의한 연소반응이 급격하게 진행됨에 따라 불완전연소를 하게 되고, 환경오염의 심각한 문제를 발생시킨다. 문제를 해결하기 위해서는 폐기물로 분리되는 플라스틱의 양을 줄이는 것이 근본적인 해결책이 할 수 있는데, 이를 위하여 선택되는 방법이 플

* 2004년 5월 1일 접수, 2004년 8월 27일 수리

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

라스틱의 재활용이 있다.

일반적으로 플라스틱의 재활용 방법을 크게 3가지로 나눈다. 첫째로는 재료의 재이용으로 주로 열가소성 수지가 대상이 된다.

둘째로는 원료로서의 회수방법으로 PMMA, PET, PP 등에 일부 처리가 되고 있는데 아직 실용화에서는 시간이 걸릴 것으로 사료된다.

셋째로는 에너지로서의 회수방안으로 플라스틱의 연소발열량은 8,000~10,000 Kcal/kg으로 상당히 높은 편이어서 에너지 회수에 유익하나 소각할 때 발생하는 유해물질의 제거기술, 에너지 회수기술, 소각기술을 필요로 한다. 그러나 플라스틱 제조보다도 다량의 에너지를 사용, 부산물을 만들어내 환경을 오염시킨다면 그 의미가 퇴색하게 된다. 따라서 첫 번째의 재료로서의 재이용을 가장 선호하는 방법이라 할 수 있다.

미국을 비롯한 고분자 화합물의 선진국에서는 플라스틱의 많은 재활용에 관한 연구가 진행되어 왔다. N. Dontula와 G. A. Campbell은 원재료의 점성을 변수로 하여 재생재료의 점성으로 그 특성을 분석하였고, R. Kamal 등은 재활용 재료와 원재료를 혼합한 것의 열분해에 관한 연구를 실험적으로 고찰하였다.

이러한 재활용은 일반적으로 사용되는 열가소성 수지에는 모두 적용할 수 있는 방법이기 때문에 효율적이다. 그러나 재활용을 할 경우 한번 가소화된 수지가 다시 열을 받아 성형되기 때문에 성형품의 물성이 미세하게 바뀌게 된다. 본 연구에서는 내수성, 내약품성, 전기절연성이 우수하고 무독성의 물질로 호스나 파이프, 전선 등에 이용되는 플라스틱인 HDPE(High Density Polyethylene)의 원재료와 재활용 재료를 일정비율(중량비)로 혼합한 후 재활용 재료와 원(virgin)재료와의 혼합비, 금형온도 및 수지도 등 성형조건 변화에 따른 성형품의 수축 및 중량, 인장강도에 미치는 영향을 실험적 연구를 통하여 규명하고자 한다. 또한 폐플라스틱의 발생량을 줄여서 환경오염을 최소화하고 나아가 자원재활용에 기여하고자 한다.

2. 실험

2.1. 금형

실험에 사용한 사출금형은 ASTM D-638규정에 의해 제작된 플라스틱 인장시험편 금형으로 1회 성형시 인장 시험편 1개를 얻을 수 있는 형식으로 반대편에는 러너(runner)의 균형을 위하여 사각 플레이트를 형성한 2단

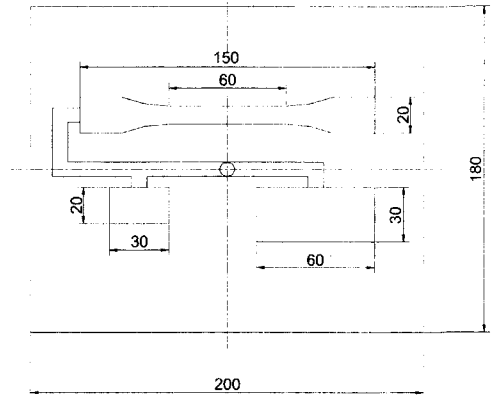


Fig. 1. The Schematic diagram of Mold Cavity Geometry.

금형이다. Fig. 1에 시험에 사용한 시험편 금형의 캐비티 형상을 나타내었다.

2.2. 성형 재료

실험에 사용한 수지는 LG화학의 제품인 HDPE를 사용하였으며, 품명은 LUTENE-H ME9180으로 사용량이 가장 많으며, 고충격, 고강성제품으로 내약품성, 및 전기적인 성질이 뛰어나고 무독성의 물질로 천연고무, 부틸고무, SBR, PP 등에 혼합되어 사용어지는 것이다. 주로 사출, 파이프, 절연전선, 일반 가정용 제품 등에 사용되어 지는 것이다. Table 1은 수지의 물성을 나타내었다.

Table 1. Resin properties of HDPE

	Unit	LUTENE-H ME9180
Density at 23°C	g/cm ³	0.958
Softening		
Temperature	°C	123
Tensile Strength		
at Yield	kg/cm ²	290
Water Absorption	%	<0.01
Flexural Modulus	kg/cm ²	12,000
Hardness		
(ASTM D2240)	-	65

2.3. 성형 실험 및 물성 측정

본 실험에서 사용한 사출 성형기는 (주)LG기계에서 제작한 75 ton급의 사출기이다. 사출용량(injection capacity)은 3 Oz이고, 가소화 능력은 20 kg/h, 최대 사출압력 1404 kgf/cm²이다.

성형실험에서 성형 재료를 80°C로 4시간이상 건조한 후 사용을 하였다. 상대 습도는 평균 30%, 실험실 실내 온도 평균 15°C, 보압 시간을 포함한 총 사출 시간은 3초로 하였으며, 냉각 시간은 15초로 설정하였고, 사출압력은 사출성형기 스크류 선단에 걸리는 최대 압력이 1404 kgf/cm²라고 할 때 45%로 설정하였다. 원재료와 재활용 재료의 중량 혼합비는 0%, 15%, 30%, 45%로 혼합하였으며, 각각의 혼합비에 대하여 금형 온도는 30°C, 45°C, 60°C, 수지의 용융온도는 210°C, 225°C, 240°C로 변화를 주어 실험을 하였다. 성형 변수를 Table 2에 나타내었다.

성형품의 치수 측정은 취출 후 24시간이 경과한 후에 완전 수축이 이루어진 후 측정이 되었다. 측정방법은 디지털 마이크로미터로 동일한 위치에서 측정이 가능하도록 지그(jig)를 사용하였다. 중량 측정은 전자중량계를 이용하여 스프루, 런너 및 게이트를 제외한 성형품의 무게를 측정을 하였다. 측정된 수축량은 전체 길에 대한 변형량의 비로 나타내었다.

취출한 성형품의 인장시험은 최대인장하중이 5ton인 만능시험기(Instron UTM-Type 4204)를 사용하였다. Head Speed는 5 mm/min, 최대하중은 5ton으로 설정하여 시험을 하였다. 모든 시험은 5개 이상의 시편을 제작하여 평균값으로 계산하였다.

Table 2. Injection Conditions

Conditions	Unit	Value			
Injection Time	sec.	3			
Cooling Time	sec.	15			
Injection Pressure	kgf/cm ²	630			
Packing Pressure	kgf/cm ²	630			
Recycled resin ratio.	%	0	15	30	45
Melting temperature	°C	210	225	240	
Mold temperature	°C	30	45	60	

2.3. 실험 결과

Fig. 2는 사출압 및 보압을 630 kgf/cm²으로 하고, 보압시간을 2초로 고정한 상태에서 수지 온도 210°C,

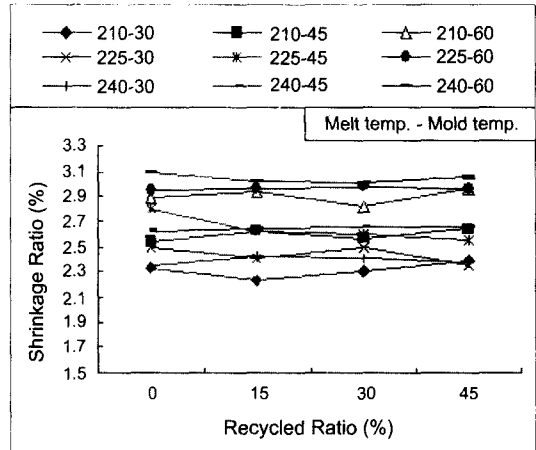


Fig. 2. The variation of shrinkage rate.

225°C, 240°C, 금형온도 30°C, 45°C, 60°C로 변화를 주었을 때 HDPE의 재활용 재료 혼합비와 수축율과의 관계를 나타낸 것이다. 같은 수지의 용융온도에서 금형온도가 증가함으로 해서 수축율이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 수지의 용융온도와 재활용 혼합비에 따른 변화를 0.2%안으로 아주 작다. 수축에서 중요한 것은 수축량의 크기가 아니라 균일한 수축분포를 가지는 것이다. 그러기 때문에 결과의 우열보다 적용 재료의 혼합비와 성형 조건에 따라 수축의 정도를 고려하여 설계를 하면 된다.

일반적으로 성형품의 수축은 고분자 재료의 이완현상(relaxation phenomena)과 성형조건에 따라 변화하며, 유동방향과 수직인 방향 및 두께 방향 순으로 작은 값을 나타낸다.

금형온도가 높아지면 제품 취출 후 열적 수축과 상변화에 의한 수축이 발생하며, 취출후의 압축이 풀림에 기인하는 체적 변화 등의 결과로 수축율이 커진다. HDPE와 같은 결정성 수지는 금형온도가 높아짐에 따라 성형품은 냉각속도가 늦어짐으로 결정화도가 증가하여 수축율이 크게 되며 이는 실험 결과에서 확인할 수 있다. 수지온도가 높을수록 열적 수축으로 인하여 수축량은 증가하는 경향은 있지만, 수지의 고화가 진행되는 온도는 일정하기 때문에 고화가 진행될 때 직접적으로 영향을 주는 금형온도 보다는 민감하지 못하다. 또한 금형 내의 수지밀도, 냉각시간 등에 관계된 결과로서 크기가 결정될 수 있다.

또한 게이트의 단면적이 크면 용융수지의 캐비티로의 유입은 원활하게 되고 압력 전달도 용이하여 성형 수축

율은 작아지지만 성형품의 두께가 두꺼워지면 결정화가 느려짐으로 수축율은 커지는 경향이 있는데 본 연구 대상은 표준 시험 금형을 이용하였기 때문에 형상변수를 고려할 필요가 없다.

또한 금형 온도가 60°C에서는 혼합비에 대한 수축의 변화가 가장 작기 때문에 금형온도에 대한 최적 공정변수 설정이 중요하다.

Fig. 3은 중량을 측정된 것이다. 재활용 혼합비가 증가함에 따라 중량도 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 한번 가소화 되면서 사출압력에 의하여 재활용 수지가 일부 고밀도를 유지하고 있는 것으로 사료된다. 또한 재활용 혼합을 45%에서는 30%와 같은 결과를 유지 하는데, 가소화를 거친 수지가 더 이상은 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

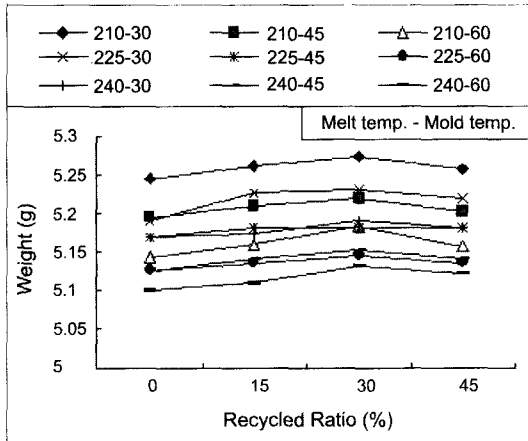


Fig. 3. The variation of weight.

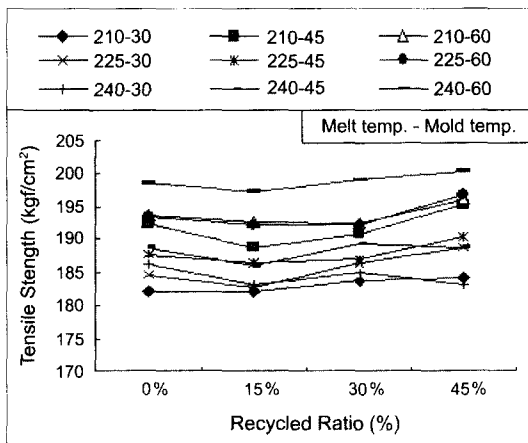


Fig. 4. The variation of tensile strength.

중량의 경우 금형온도가 낮을 때 더욱 큰 값을 나타내고 있다. 금형에 충전 된 수지가 빠른 냉각 과정을 거치면서 충전과 수축이 동시에 발생하기 때문에 충전되는 수지가 많아진 결과로 사료된다.

Fig. 4는 인장강도를 나타낸 것이다. 금형온도에 따라서 결과값이 다른 것을 볼 수 있다. 금형온도가 60°C, 수지 용융온도가 240°C에서 인장강도가 가장 우수하게 나타났다. 수지의 용융온도에 따른 변화는 금형온도가 60°C에서만 차이가 나타났다. 또한 재활용 수지의 혼합비가 30%까지는 원재료만 사용한 경우와 같은 결과를 보였으며 혼합비가 45%에서는 변화폭이 커졌다.

5. 결 론

본 연구에서는 플라스틱 부품의 재생 방안에 대한 기초 연구로 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 대상으로 금형온도와 수지 용융온도, 재활용 혼합비를 변수로 수축, 중량, 인장강도를 측정 하였다.

원재료의 공급자 자료를 살펴보면 최적 수지온도나 금형온도의 폭이 각각 100°C의 범위를 가지고 있다. 폴리에틸렌 계열의 수지는 충전율이 좋기 때문에 사용자의 경험과 적용 제품의 형상에 따라 온도변수에 대한 적용이 크게 달라지기 때문이다. 본 연구를 통하여 공정변수 중 온도변수의 제품에 대한 관여도를 파악하고 혼합비에 대한 적용 범위와 성형품의 변화에 대한 연구를 수행 하였으며 다음과 같은 결론을 나타내었다.

1. 수축은 금형온도의 영향을 가장 많이 받으며, 금형온도가 60°C에서 가장 높게 나타났고, 30°C에서 가장 낮게 나타났다. 그럼으로 수축률 조절에서 금형온도의 정밀한 제어가 중요한 요소임을 알 수 있다. 또한 수지 용융온도 240°C에서 재활용 수지의 혼합비의 변화에도 균일한 수축비를 나타내었다.

2. 중량측정에서 재활용 혼합비가 30%까지는 증가하는 경향을 보이다 45%에서는 30%와 같은 결과를 유지하였다. 금형온도와 수지 용융온도가 낮을 수록 중량이 높게 나타났으나 전체 변동 폭이 0.03%미만으로 혼합율이나 온도변수가 중량에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

3. 인장강도는 금형온도가 60°C이고 수지 용융온도가 240°C일 때 가장 높게 나타났으며 온도가 낮아짐에 따라 강도도 낮아지는 것을 알 수 있다. 재활용 혼합비가 30%까지는 거의 동일한 강도를 보이나 45%에서는

변동폭이 커지는 것을 알 수 있다. 그럼으로 강도가 중요한 요소인 제품의 경우 30% 까지를 제한 하는 것이 바람직 한 것으로 사료된다.

4. 수축과 강도에는 금형온도에 따른 변화 폭이 크며 중량변화와 강도를 고려하면 재활용 수지의 혼합 비율을 30% 까지 가능할 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 부경대학교 RRC에서 지원 받아 수행 되었습니다.

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. Sanschagrinn, 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, 류재구, 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, 13(3), pp. 43-49.

康 太 豪



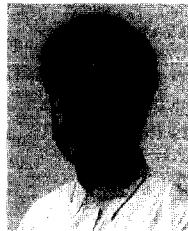
- 부경대학교 학사
- 부경대학교 석사
- 현재 부경대학교 박사과정

金 仁 官



- 부경대학교 학사
- 부경대학교 석사
- 부경대학교 박사
- 현재 부경대학교 교수

金 永 守



- 부산대학교 학사
- 서울대학교 석사
- Concordia University
- 현재 부경대학교 교수