

급속가열냉각장치에 의한 금속성 안료 사출성형

이규상*, 진동현**, 곽재섭***.#

*LG전자 금형사업부, **부경대학교 대학원, ***부경대학교 기계공학과

A Study on Plastic Injection Molding of a Metallic Resin Pigment using a Rapid Heating and Cooling System

Gyu-Sang Lee*, Dong-Hyun Jin**, Jae-Seob Kwak***.#

*LG PRI, **Graduated School of Mechanical Engineering, PKNU, ***Department of Mechanical Engineering, PKNU

(Received 12 January 2014; received in revised form 11 February 2015; accepted 30 March 2015)

ABSTRACT

The injection molding process is widely used in the production of most plastic products. In order to make metal-colored plastic products like those found in modern luxury home alliances, metallic pigments are mixed with a basic resin material for injection molding. However, process control for metal-colored plastic products is extremely difficult due to the non-uniform melt flow of the metallic resin pigments. In this study, the effect of process parameters on the quality of a metal-colored plastic product is evaluated. A rapid mold cooling method using a compressed cryogenic fluid is also proposed to decrease the content of undesired compounds within the plastic product.

Key Words : Metallic Resin Pigment(금속성 안료), Plastic Injection Molding(사출성형), Compound Content (불순물), Rapid Cooling(급속냉각)

1. 서 론

플라스틱 제품의 제조는 다양한 방법에 의해서 이루어지고 있다. 그중에서도 사출성형을 이용한 방법이 플라스틱 제품 생산의 약 70% 이상을 차지하고 있다. 특히, 생활가전 기기의 경우는 폴리스티렌(Polystyrene)이 주재료로 많이 사용되고, 외관 디자인의 중요성 때문에 유광소재로 사용될 수 있는 ABS(Acrylonitrile butadiene styrene) 수지와 무도

장 고풍택을 위해 ABS에 폴리메타크릴산 메틸(Poly methyl metha crylate, PMMA)을 블렌딩한 MABS(Methyl metha crylate-acrylonitrile butadiene styrene) 수지 등을 사용하는 것이 세계적인 추세이다. 또, 최근에는 ABS 수지에 금속성 안료를 첨가하여 플라스틱이 금속과 같은 색상을 낼 수 있는 메탈릭 수지(Metallic resin)의 성형기술이 점차 확대되고 있다. ABS 수지는 Styrene과 Acrylonitrile을 중합하여 만든 SAN(Styrene acrylonitrile copolymer) 계열의 경화성수지에 탄력성 수지인 폴리부타디엔(Polybutadiene)을 중합하여 만든 고기능성 플라스틱이다. 그리고 내충격성이 매우 강해 기계요소를 만

Corresponding Author : jskwak5@pknu.ac.kr
TEL: -82-51-629-6139, FAX: +82-51-629-6126

드는데 적합한 소재이다. 그러나 ABS 수지에 금속성 안료를 첨가하면 수지의 유동성이 현저히 저하되고, 안료와 고분자 유체 간의 유동속도 차이를 더욱 크게 만들어 제품의 두께 변화구간이나 성형 말단부에서의 외관 불량을 증가시킨다. 이러한 유동성 문제를 해결하기 위해 급형표면을 순간적으로 가열하고, 급속냉각 시키는 연구가 진행되어 왔다. Jansen과 Yao 등^{(1),(2)}은 급형표면에 절연층을 코팅하고, 그 절연층 위에 가열층을 코팅하여 급속열반응 급형을 개발하였다. Xie 등⁽³⁾은 마이크로 사출급형에 가열 파이프와 냉각 채널을 결합시킨 온도 제어 시스템을 설계 및 제작하였다. 그러나 이러한 시스템은 열 효율성이 낮기 때문에 대량생산에는 적용하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Wang 등⁽⁴⁾은 고온 스티프와 냉각수를 서로 반복적으로 순환시킬 수 있는 가열/냉각 채널에 의한 급속가열냉각 사출성형(Rapid heating and cooling cycle molding, RHCM)을 제안하였다. RHCM은 재료의 고화를 막고 수지의 유동성을 높일 수 있기 때문에, 성형품의 여러 표면불량을 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

메탈릭 수지의 성형은 성형 중에 금속성 안료의 배향 및 분산이 잘 이루어질 수 있도록 급형온도를 220°C까지 가열하는 것이 필요하다. 그러나 현재 대부분의 급속가열냉각 사출성형(RHCM)은 급형의 최고온도가 160°C를 넘지 않기 때문에 메탈릭 수지 성형에서는 다양한 제품불량을 초래하고 있다. 지금까지는 일반수지의 외관품질 향상에 대한 연구가 집중되어, 메탈릭 수지의 사출성형 특성 평가에 관한 연구가 많지 않아 성형조건에 따른 특성의 변화를 예측할 수 없는 실정이다.

이에 본 연구는 고온급형을 적용한 메탈릭 수지의 사출성형 공정에서, 공정조건의 변화에 따른 제품의 품질을 불순물의 양으로 평가하였다. 불순물 양의 측정에는 가스 크로마토그래피 질량분석기(Gas chromatography-mass spectroscopy, GC-MS)를 이용하였다. 본 논문에서 고려된 주요 공정조건으로는 사출속도(Injection speed), 사출압력(Injection pressure), 안료의 함량(Pigment content), 냉각방식(Cooling type) 등이 고려되었다.

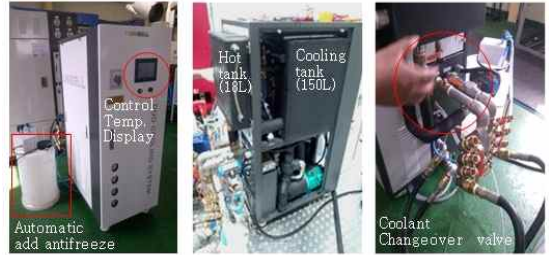


Fig. 1 Rapid cooling equipment

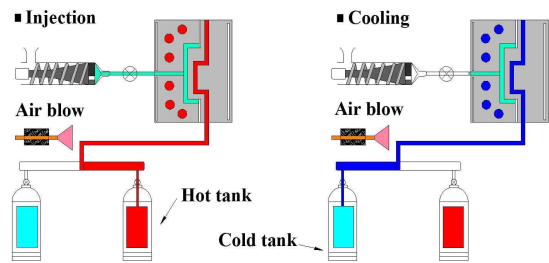


Fig. 2 Working principle of rapid cooling system

Table 1 Coolant temperature during injection cycle

Mold closing	Injection	Cooling	Mold opening	Ejecting
30~40°C		-10~10°C	30~40°C	

2. 급속가열냉각장치

메탈릭 수지의 경우 일반 수지보다 금속성 안료에 따른 표면 불량이 많이 나타나기 때문에 사출성형 시 수지의 유동성을 확보하고 메탈릭 안료의 균일한 분산을 위해 급형가열은 불가피하다. 그러나 고온에서 성형을 하는 경우, 수지가 급형 내에서 균일하고 빠르게 냉각되지 않으면 성형품에는 많은 문제점들이 발생한다. 따라서 급형의 냉각효율을 높일 필요가 있으며, 그 중 하나의 방법은 급형에 유입되는 냉각수 온도를 낮추는 방법과 냉각수의 유속을 더 높여주는 방법이 있다. 본 연구에서는 냉각효율을 높이는 방법으로 급속가열냉각장

치를 적용하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 급속가열냉각장치를 나타낸 것이다. 급속가열냉각장치는 자동공정 및 온도제어가 가능한 핫 탱크, 쿨링 탱크 및 디스 플레이부로 구성되어 있다. 급속가열냉각장치는 냉각수의 자동공급이 가능하도록 하였다.

Fig. 2는 급속가열냉각장치의 작동원리를 도시하였다.

Table 1은 성형 사이클의 각 단계별 공급되는 냉각수의 온도를 나타낸 것이다. 금형이 닫히고 사출이 완료된 후에 냉각수 온도는 -10°C 에서 10°C 의 범위에서 금형 안으로 공급된다. 그리고 냉각이 완료되면 금형이 열리고 성형품을 취출하는 동안 다시 온수를 공급하여 설정된 금형 온도를 맞추어 준다. 또한 최저온도 냉각 시, 부동액을 냉각수로 사용하여 결로를 방지하고 냉각 공정 시 Air blow를 통해 유속을 증가시켜 공급 유량을 극대화 하였다.

3. 실험 방법

본 연구에서는 성형조건에 따른 메탈릭 수지의 사출성형 특성을 평가하기 위하여 사출속도와 사출압력 그리고 안료 함량을 변경하여 성형조건이 메탈릭 수지의 사출성형 특성 향상에 미치는 영향을 분석하였다. 각각의 조건에서 메탈릭 수지의 성형 시 발생하는 불순물의 양을 GC-MS를 이용하여 측정하였다. 불순물은 올리고머, 에틸 벤젠, 스티렌 등 20가지의 불순물을 측정하였다. 일반적으로, 산업현장에서는 사출성형 시 발생하는 전체 불순물의 양을 표면 불량 가능성의 척도로 삼고 있기 때문에, 불순물의 총량을 측정하였다. 실험에 사용된 사출성형기는 LG의 450톤 유압식(LGH 450N)기계이며, 최대사출압력은 140MPa, 스크류의 외경은 70mm이다. 실험에 사용된 금형은 NAK80으로 제작된 고온금형이다. 사출성형기와 고온금형은 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 4는 고온금형의 기본구조를 개략적으로 나타낸 것이다. 고온금형은 금형의 표면층을 코어로부터 일정두께로 분리하여 평균 직경 5~6mm 정도로 삽입된 전기히터로, 충전 및 보압과정에서는 가열하고 그 이후에는 동합금인 냉각코어에 의해 냉각하는 구조이다. 불순물의 양을 측정

하기 위한 실험조건은 Table 2에 나타낸 것과 같다. 수지는 LG화학의 ABS XG569C, ABS HG173 계열에 급속성 안료를 첨가한 메탈릭 수지를 사용하였다.



(a) Injection machine



(b) Mold

Fig. 3 Machine used for experiment

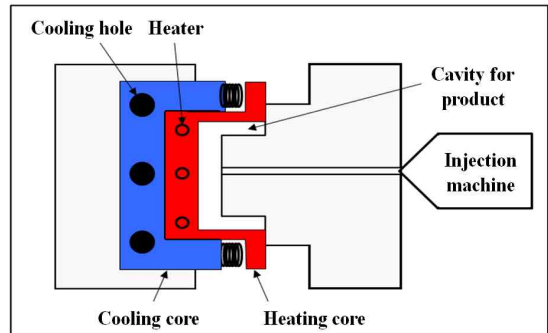


Fig. 4 Schematic of electricity mold

Table 2 Experimental molding conditions

Process control factors	Test conditions
Injection pressure(MPa)	30, 50, 70
Injection velocity(mm/s)	30, 50, 70
Holding pressure(MPa)	5
Mold temperature(°C)	220
Pigment content(%)	0.3, 0.5, 1
Laboratory temperature(°C)	22
Filling time(sec)	2.5
Holding time(sec)	0.5
Cooling time(sec)	60

4. 실험 결과

4.1 사출속도에 따른 사출성형 특성평가

Fig. 5는 사출속도가 메탈릭 수지의 성형 시 발생하는 불순물의 양에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 사출속도에 따른 실험조건은 금형의 온도는 220°C로 설정하고 안료는 0.3%를 첨가한 2종류의 수지를 사용, 사출압력을 30MPa, 사출속도를 30, 50, 70mm/s로 설정하였다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 표면 품질에 영향을 주는 불순물의 양은 사출속도가 증가함에 따라 약 1000µg/g 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 사출속도가 30mm/s일 때, 불순물의 양이 가장 적은 것을 알 수 있다. 또, 수지의 종류에 따라 불순물의 양이 다른 것을 알 수 있는데 HG173 보다 XG569C에서 더 적은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6는 급속가열냉각장치의 적용유무에 따른 불순물 발생량을 비교한 것으로, 가장 많은 양의 불순물이 발생하는 조건인 사출속도 70mm/s를 적용한 결과이다. 급속냉각장치는 최 저온 냉각으로 냉각수 온도 -5°C, 냉각시간 60초로 실험을 실시하였다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 메탈릭 수지의 사출 성형에서 불순물의 함량은 급속냉각장치의 영향을 크게 받는 것을 확인할 수 있다. 또 급속냉각장치

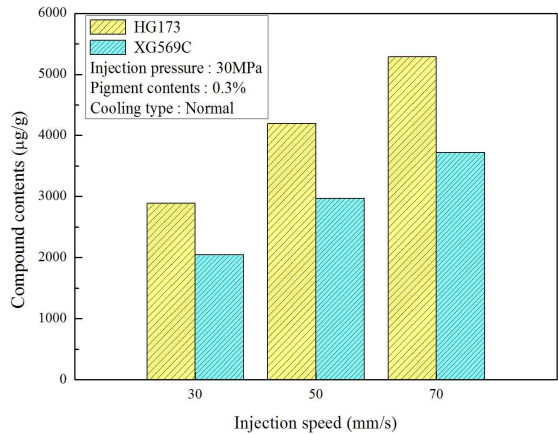


Fig. 5 Compound contents according to injection speed in normal cooling type

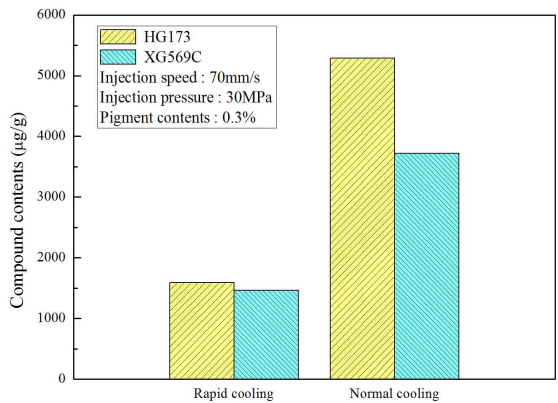


Fig. 6 Comparison of compound contents in normal and rapid cooling with injection speed of 70mm/s

를 사용하였을 때, 불순물의 양이 HG173에서 약 70%, XG569C에서는 약 60% 감소하는 것을 알 수 있다.

4.2 사출압력에 따른 사출성형 특성 평가

Fig. 7은 사출압력에 따른 불순물 발생량을 평가한 그래프이다. 사출압력에 따른 특성을 평가하기 위하여 금형의 온도는 220°C, 안료는 0.3%를 첨가

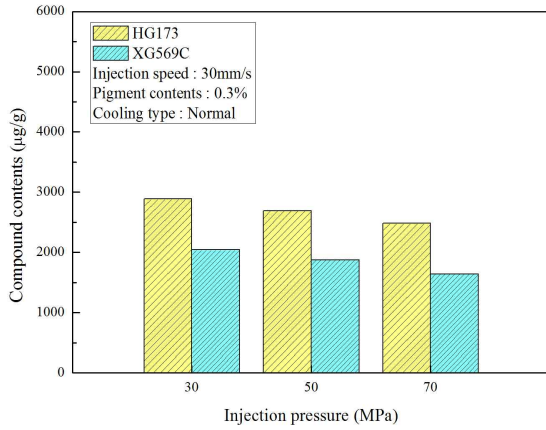


Fig. 7 Compound contents according to injection pressure in normal cooling type

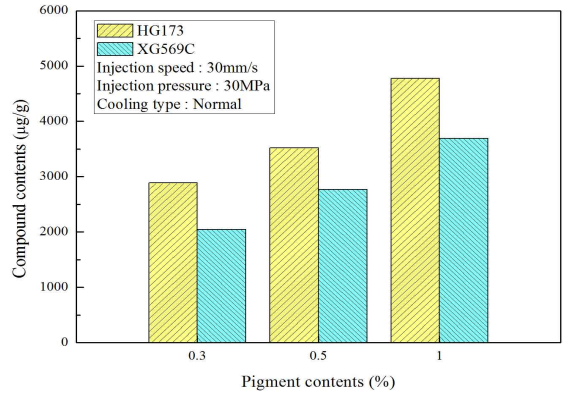


Fig. 9 Compound contents according to pigment contents in normal cooling type

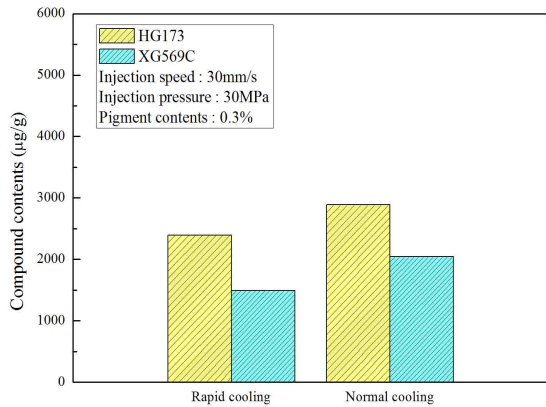


Fig. 8 Comparison of compound contents in normal and rapid cooling with pigment contents of 3%

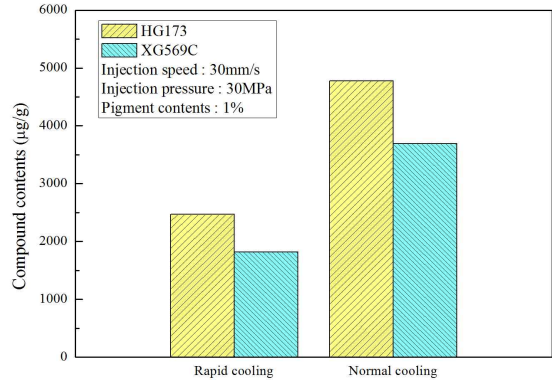


Fig. 10 Comparison of compound contents in normal and rapid cooling with pigment contents of 1%

한 2종류의 수지를 사용하고, 사출속도는 30mm/s, 사출압력을 30, 50, 70MPa로 실험을 실시하였다.

Fig. 7의 결과와 같이 사출압력이 높아짐에 따라 불순물의 양이 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 사출속도의 각각의 조건들에서 불순물의 양은 평균 1000µg/g 차이가 나는데 비해 사출압력을 변화시켰을 때, 사출압력의 각각의 조건들에서 불순물의 차이는 평균 200µg/g로 나타났다. 이 결과, 사출압력이 사출속도에 비해 불순물의 양 미치는 영향이 적은 것을 알 수 있다.

또한, 수지의 종류에 따라 불순물의 양이 다른 것을 알 수 있는데, HG173 보다 XG569C에서 더 적은 양의 불순물이 발생하였다.

Fig. 8은 가장 많은 불순물이 발생하는 조건인 사출압력 30MPa일 때, 냉각수 온도 -5°C, 냉각시간 60초로 실험을 실시하여 그 결과를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 급속가열냉각장치를 사용하였을 때, HG173과 XG569에서 불순물의 양은 각각 약 17, 26% 감소하였다.

4.3 안료함량에 따른 사출성형특성 평가

안료함량에 따른 사출성형의 특성을 평가하기 위하여 금형의 온도는 220°C, 사출압력은 30MPa, 사출속도는 30mm/s로 설정하고 메탈릭 안료첨가량을 0.3, 0.5, 1%으로 실험하였다. Fig. 8은 안료첨가량이 메탈릭 수지의 성형 시 발생하는 불순물의 양을 나타낸 것이다. Fig. 9을 살펴보면, 안료첨가량이 증가함에 따라 불순물의 양이 증가하는 것을 알 수 있고 0.3%의 안료를 첨가하였을 때, 가장 적은 양의 불순물이 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한, 수지의 종류에 따라 불순물의 양이 다른 것을 알 수 있는데, HG173 보다 XG569C에서 더 적은 양의 불순물이 확인되었다. Fig. 9에서 가장 많은 양의 불순물이 발생하는 조건인 안료첨가량이 1%일 때의 결과를 급속가열냉각장치를 적용하여 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 8과 Fig. 10를 비교하였을 때, 같은 조건에서 안료첨가량이 높을수록 급속 냉각장치의 효과가 큰 것을 확인할 수 있다. 또 급속냉각장치를 사용하였을 때, 불순물의 양이 HG173과 XG569C에서 각각 약 49, 51% 감소한 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 급속성 안료가 포함된 제품의 사출성형에서는 안료의 함량, 사출압력, 사출온도 및 냉각시간 등이 불순물의 함량에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 급속성 안료가 함유된 ABS 수지를 대상으로 사출속도, 사출압력, 안료함량을 변경하면서 고온성형 시 발생하는 불순물들의 양을 실험으로 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 일반 냉각 상태에서 사출속도가 증가함에 따라 불순물의 양이 증가하였고, 각각 HG173과 XG569C 수지에서 사출속도 증가에 따라 발생하는 불순물의 양은 거의 동일한 비율로 증가함을 알 수 있었다.

(2) 사출속도나 안료첨가량 변화에 비하여 사출압력 변화 조건은 불순물 발생에 미치는 영향이 적은 것으로 확인되었다.

(3) 일반 냉각 상태에서 안료첨가량이 증가함에 따라 불순물의 양은 증가하는 것으로 확인되었다. 특히, 0.3%의 안료가 첨가되었을 때, 불순물의 양이 가장 적은 것으로 확인되었다.

(4) 기존의 냉각방식과 비교하여 급속가열냉각장치를 사용하였을 때, 모든 조건에서 불순물의 양이 줄어들었음을 확인하였다. 또, 본 실험을 통하여 메탈릭 수지의 사출성형에는 ABS XG569C 계열의 수지가 적합하다는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초 연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (CD20140805).

REFERENCES

- (1) Jansen, K. M. B., "Heat Transfer in Injection Moulding Systems with Insulation Layers and Heating Elements," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 38, No. 2, pp. 309~316, 1995.
- (2) Yao, D. G. and Kim, B., "Development of Rapid Heating and Cooling Systems for Injection Molding Applications," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 42, No. 12, pp. 2471~2481, 2002.
- (3) Xie, L. and Ziegmann, G., "A Visual Mold with Variotherm System for Weld-line Study in Micro Injection Molding," *Microsystem Technologies*, Vol. 14, No. 6, pp. 809~814, 2008.
- (4) Wang, G. L., Zhao, G. Q., Li, H. P. and Guan, Y. J., "Research on a New Variotherm Injection Molding Technology and Its Application on the Molding of a Large LCD Panel," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Vol. 48, No. 7, pp. 671~681, 2009.