

핫 러너 사출 공정에서 수지의 색 교체 특성 연구

홍지선* · 심희수* · 이지현* · 권민경* · 정동일* · 김선경**

* 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과, ** 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

Characterization of Color Change in Injection Molding Process Using Hot Runner

Ji Sun Hong*, Hee Soo Shim*, Ji-Hyun Lee*, Min-Kyung Kwon*, Dong-Il Chung*,
and Sun Kyoung Kim**

* Dept. of Product Design and Manufacturing Engineering, Seoul Nat'l Univ. of Sci. and Tech

** Dept. of Mechanical System Design Engineering, Seoul Nat'l Univ. of Sci. and Tech

(Received July 1, 2014 ; Revised October 27, 2014 ; Accepted October 29, 2014)

Key Words: Injection Molding(사출성형), Hot Runner(핫 러너), Color Change(색교체), Capillary Die(모세관다이)

초록: 핫 러너를 이용한 사출 공정에서는, 색교체가 중요한 문제이다. 이 연구는 열가소성 수지의 색교체 특성을 평가할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 캐필러리 다이를 이용하여 색교체도를 평가할 수 있는 방법을 고안하고 구현한다. 캐필러리 다이로부터의 토출물을 영상화하여, 회색음영으로 정량화하였다. 그 음영도를 기반으로 하여, 색교체도를 결정하였다. 주어진 온도와 토출 속도에서, 색교체도가 토출 회수에 따라 변화하는 추이를 얻어 내고 분석하였다.

Abstract: In injection molding process using hot runners, color change is a critical issue. This work proposes a method of assessing the color change characteristics of thermoplastics polymers. A method that utilizes a capillary die to measure degree of color change has been devised and implemented. The extrudate from the capillary die has been imaged and quantized to a gray scale value. Based on the gray scale value, the degree of color change has been determined. Under given temperatures and extrusion velocity, its trend along with the number of extrusion has been obtained and analyzed.

1. 서 론

사출 성형은 기술적으로 상당히 확립되었으나, 제품의 생산 효율과 품질관리에 관해서는 여전히 해결해야 할 과제가 많이 있다. 그 중 사출기의 수지를 교체하는 문제는 큰 비용을 유발하는 문제이다. 하나의 사출기에서 여러 색상의 제품을 생산하고자 할 때, 기존의 사출에 사용한 수지를 퍼징(purging)하여 사출기 내부를 깨끗하게 해야 한다. 이는 잔류수지로 인한 불량품을 미연에 방지하기 위해서이다. 콜드 러너(cold runner)를 사용하는 경우에는 사출기 내부의 문제로 인한 잔류 수

지가 없다면, 잔류 수지가 러너에 고형으로 남아 있어야 하므로 잔류 가능성이 크지 않다. 그러나 핫 러너(hot runner)의 경우에는 매니폴드(manifold)와 노즐의 수지가 용융상태로 체류하게 되므로, 유동이 밀어내지 못하면 수지가 잔류하게 될 가능성이 매우 높다.⁽¹⁾

제품에 남아있는 이러한 잔류 수지는 크게 두 가지 문제를 일으키게 된다. 첫째, 제품의 색상 균일성을 해치고, 둘째, 수지가 변성을 일으켜서 성형 불량을 일으킬 수 있다. 따라서, 이러한 수지 체류는 핫 러너 시스템(hot runner system, 이하 HRS)에서 일반적으로 허용할 수 없지만, 실제로는 완전히 피할 수 없는 현상이다. 이상적으로는 처음 A 색상의 수지로 제품을 사출한 뒤, 추가 비용 및 작업 없이 다음 수지인 B 색상 수지만으로 색 교체(color change) 하는 것이 효율적일 것이다. 그

† Corresponding Author, sunkkim@seoultech.ac.kr

© 2015 The Korean Society of Mechanical Engineers

러나 퍼징은 완벽하게 되기 어렵고 실제에 있어서는 늘 잔류 수지가 일정량 발생하게 된다. 기존 수지가 완벽하게 사라질 때까지 지속적으로 퍼징을 할 수도 있겠으나, 완벽한 잔류 수지 제거 시점을 판단하기 쉽지 않고, 현재 토출되는 수지에서 잔류 수지가 없어 보인다 하더라도 공정 중에 잔류 수지가 토출되는 경우가 많이 일어난다. 최종적으로 이러한 수지 교체가 용이하게 이루어지기 어렵다는 판단을 하게 되면, 결국에는 각각의 색상별로 추가적으로 금형을 제작하는 극단적인 선택을 할 수 밖에 없게 된다. 이는 큰 비용을 유발하게 되며 최대한 이러한 상황을 최대한 피할 필요가 있다.

이를 피하기 위해서는 매니폴드나 노즐의 설계가 중요하겠으나 현실의 핫 러너 시스템 설계에 있어서, 이러한 체류가 발생하는 지점들은 널리 알려져 있으나, 일반적인 설계의 형태를 유지하면서 구조적으로 체류를 완전히 제거하기가 불가능하다. 현재 현장에서 사용되는 수지의 색교체 방법으로는, 색교체가 완료되는 시점까지 단순히 사출을 지속하는 것 외에 다음과 같은 것들이 있다.^(2,3) 사출기 내의 잔류수지를 화학반응 시켜 제거하는 세척제 사용하는 방법,^(4,5) 열에 안정적인 PP를 중간재로 이용하는 방법, 사출기 분리 후 각각 세척하는 방법 등이 있다. 이러한 방법들은 세척제, 중간재 등의 비용이 발생하며 추가적인 작업으로 인해 생산 효율이 떨어지는 단점이 있다. 특히 세척제는 고가로 많은 비용부담이 된다.

일반적으로 핫 러너 시스템(hot runner system, 이하 HRS)에서는 부품길량의 보통 1/5에 해당하는 수지가 체류하게 된다. 분배 구조가 복잡한 HRS의 경우 최대 3배에 달하는 양이 체류하기도 한다. 교체 효율이 중요한 비용인자가 되는 것은 이러한 특성에 기인한다. 일반적으로 10회의 사출이내에 교체를 완료하는 것이 보통이나 경우에 따라서는 몇 시간, 몇 일이 걸리기도 한다. 설계, 공정, 재료와 관련하여 몇 가지 선택들이 가능하나 완벽한 해결책이란 존재하기 어렵다. 수지의 유동이 근원적으로, HRS 내부에서 층류 중에서도 레이놀즈 수가 매우 낮은 포복유동(creeping flow)이기 때문에, 층간에서 믹싱이 일어나기 어렵게 되어 있다. 뿐만 아니라, HRS는 구조적인 이유로 몇 곳의 열교(thermal bridge)가 형성되게 되는데, 이 부분에서의 체류는 크게 문제가 된다. 또한, 매니폴드 설계와 가공상의 이유로 수지 유동이 체류할 수도 있는데, 이 또한 색교체를 방해하는 요인이

된다.

이러한 것들을 고려할 때, 수지의 색교체는 잘 정립된 방법을 가지고 접근해야 하며, 실행 결과를 누적 기록하는 것도 중요하다. 색교체의 어려움을 유발하는 핵심 물성은 점도이다. 점도의 차이는 재료, 온도, 속도에 따라 달라질 수 있다. 퍼징이 효율적으로 이루어지려면, 잔류 수지의 점도는 낮아야 하고, 신규 수지의 점도는 높아야 한다. 이를 위해서는 매니폴드는 고온으로 높여야 하고, 사출기 배럴 온도는 낮춰야 한다. 경우에 따라서는 인위적으로 색교체용으로 다른 고점도 수지를 중간재로 쓸 수도 있으나, 이 중간재가 체류하게 되면 문제가 더욱 심각해 질 수 있어 권장되는 방법이 아니다. 그 밖에, 발포제를 사용하거나, HRS 셋다운을 통해 수지를 수축시켜 벽면에서 떨어지게 만드는 기법 등이 있다.

사용하는 수지에 따른 교체 특성을 파악하고 있다면 대처하는 데 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 만약 색 교체 특성이 나쁜 수지들이 어떤 특성을 갖고 있는 지 사전에 알고 있다면, 여러 색의 사출이 필요한 동일 부품에 대해서는 수지 선택 과정에서 이러한 특성을 사전에 고려하여 러너를 설계할 수 있을 것이다. 또는, 수지를 교체하거나 핫 러너 운용 조건을 변경할 수도 있으리라 예상된다. 본 연구에서는 색교체 특성에 관한 일반적인 기존 이론을 고찰하여 보고, 수지의 색교체 특성을 측정하는 방법을 제안하고자 한다. 이 방법을 기반으로 실험을 수행하여 선택된 수지들에 대해 이 방법을 적용하여 보고 색교체 특성을 검토해 보고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 개요 및 재료

수지 당 색교체를 위하여 두 색상이 필요하며 그 색상은 변화를 뚜렷이 볼 수 있도록 다른 색이어야 한다. 실험의 용이성과 비교를 뚜렷이 하기 위한 목적 두 가지를 다 고려할 때, 흑색 수지가 체류하는 상태에서 백색 수지 교체를 시도하는 상황을 설정하는 것이 가장 적절하다. 이 연구에서는 두 종류의 수지, PP(polypropylene, 호남석유화학 SJ150)와 PC(polycarbonate, 삼양사 TRIREX3022R)를 선정하여, 다른 조건들에서 색 교체 평가를 하기로 한다. 수지의 색교체에 영향을 미치는 가장 큰 특성인 점도를 측정하였다. Fig. 1(a)와 (b)에 두 수지의 점도 측정 결과를 각각 보였다. PP는 180℃와 190℃에서, PC는 290℃와 300℃에서 점도를 측정하였다. 점도 측정

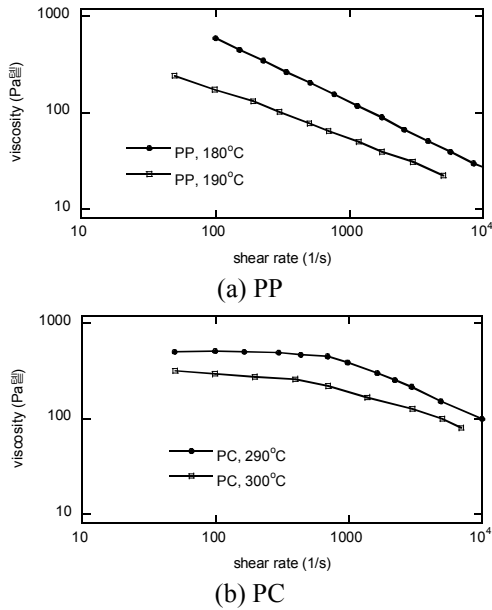


Fig. 1 Measured dynamic viscosity along with the shear rate



Fig. 2 Capillary rheometer (Göttfert, RG25)

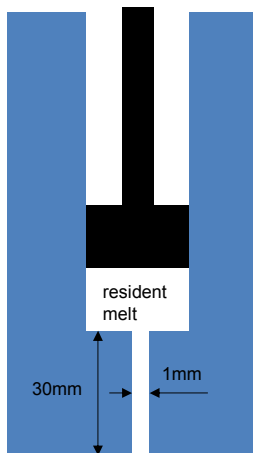


Fig. 3 The capillary die used in the experiment

중 측정된 전단 응력을 그래프에 같이 도시 하였다. 점도 측정 결과는 5 번 시험한 것을 겹쳐서 도시 하였다. PP 의 경우 PC 에 비해 shear rate 에 따라서 점

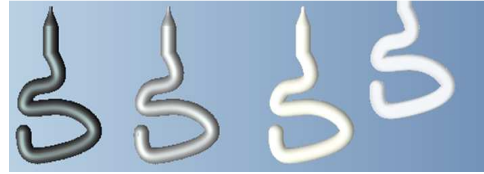


Fig. 4 The virtual specimen discharged from the die as the color change is proceeded

도의 변화가 큰 것을 알 수 있다. Fig. 2 는 점도 측정 및 색교체 실험에 사용할 캐필러리 레오미터(Göttfert, RG25)이다. 실험 전에 수분에 영향을 최소화 하기 위하여, PP 는 80°C에서 2 시간, PC 는 120°C에서 4 시간 건조 시킨다.

2.2 실험순서 및 조건

본 연구에서는 캐필러리 다이에서 수지를 토출 하며 색교체 특성을 평가하고자 한다. 구체적으로 캐필러리 다이에 흑색 수지를 미리 채워 둔 후, 백색 수지를 투입하여, 토출되는 결과를 정량적으로 측정한다. Fig. 3 에 도시한 바와 같은 다이(die) 지름 30mm, 관 직경 1mm 인 다이를 사용한다. 이 설정은 핫 러너와 압출기 등 유사한 설정이 여러 공정에서 나타날 수 있다.⁽⁶⁾ 캐필러리 다이의 제어를 통하여 피스톤이 다이로부터 20mm 떨어진 지점에서 항상 멈추도록 한다. 즉, 피스톤 하단 부와 다이 입구 사이의 공간에 채류한 수지는 피스톤이 직접 밀어서 토출할 수는 없도록 한다. 구체적인 실험 순서는 다음과 같다.

- ① 배럴에 흑색 수지 주입한 후, 20mm 지점까지 피스톤을 이용하여 토출 시험 실시
- ② 다시 피스톤을 올려, 백색 수지를 180mm 지점까지 넣은 후 용융.
- ③ 피스톤을 20mm 이동하여 수지를 토출
- ④ 토출된 시료 채취
- ⑤ 위의 2-4 과정 수 회 반복

이 때 변경할 조건은 피스톤 이동 속도와 배럴의 온도이다. 속도에 따라 점도 차이가 발생하여 교체 양상이 변화될 것으로 보고, 1, 2, 3 mm/s 의 속도로 시험을 수행한다. 또한, 점도가 측정된 온도와 동일한 온도인, PP 는 180°C와 190°C에서, PC 는 290°C와 300°C에서 실험 하기로 한다. 정확하고 일관된 실험을 위해 180 mm에 해당하는 수지의 중량을 구하고, 스트로크마다 같은 중량의 수지를 배럴에 주입한다. 토출된 시료는 매 20mm 스트로크 단위로 절단하여 기록하되, 절단 과정 중의 어려움을 고려하여, 중간에 하나씩은 사용하지 않는다.

토출된 시료들은 절단된 상태에서 동일 조건에서 스캔하여, 이미지로 컴퓨터에 저장한다. 각 이미지의 평균 그레이 스케일을 256 단계로 구한다. 0인 상태는 완전히 흑색인 상태 255는 완전히 백색인 상태이다. 결과를 표시할 때는 255로 나누어 색교체도(degree of color change, DCC)를 0에서 1 사이의 값으로 표현하기로 한다. Fig. 4에 보인 바와 같이 토출이 진행됨에 따라 백색에 가까워지게 되고 값은 1에 근접하게 될 것이다.

3. 결과 및 토의

3.1 토출 시험

토출이 정상적으로 의도한 대로 이루어지는 지를 확인하기 위해, 토출 시험을 반복하였고, 의도한 형태의 데이터를 얻을 수 있음을 확인하였다. Fig. 5에 보인 바와 같이 교체가 진행됨에 따라 색이 옅어 짐을 확인하였고, 유의미한 색교체도(DCC) 값을 얻을 수 있음을 알았다.

3.2 온도의 영향

온도를 고정 시키면 색 교체 과정에서 속도가 미치는 영향을 알아볼 수 있다. 검정색 수지에서 밝은 색인 백색 수지로 교체되어 감에 따라 색교체도 값은 증가하게 된다. 스트로크를 반복하게 되면 최종적으로는 거의 1에 가까운 값에 도달하게 된다. 여기서 중요한 것은 각 시편 별로 도달한 색교체도의 추이이다. Fig. 6(a)에서, 피스톤 속도가 1mm/s 일 때 180°C와 190°C일 때 색교체도가 변화하는 것을 볼 수 있는데, 온도가 낮은 경우 색교체가 더욱 용이하게 되는 것을 확인할 수 있다. Fig. 6(b)에서는 속도가 3mm/s로 증가되었는데, 이 때에도 역시 동일한 경향을 볼 수 있으나, 그 차이는 크게 감소해서 두 그래프가 많은 경우 겹쳐져 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6(c)에 PC의 경우 속도가 1mm/s 일 때의 색

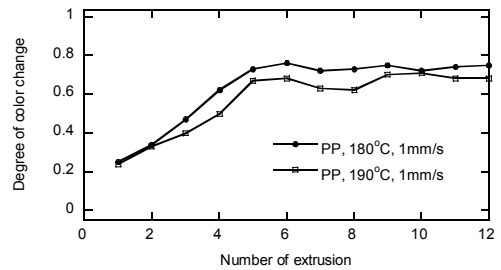


Fig. 5 The extrudates of the PP samples (Left : initial phase, Right : mid-phase)

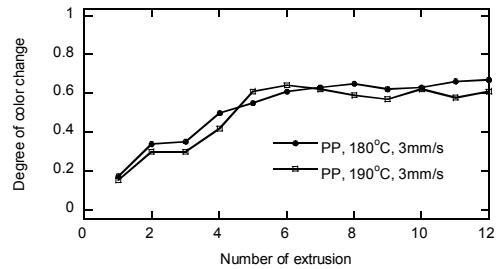
교체도 결과를 보였는데, 역시 PP의 경우와 유사하게, 온도가 낮은 경우 색교체도가 빠르게 증가하는 것을 볼 수 있다. PC의 경우에도 동일하게, PP의 경우에서 처럼 온도가 상승되었을 때에는 이 차이가 줄어드는 것을 Fig. 6(d)에서 확인할 수 있다.

3.3 속도의 영향

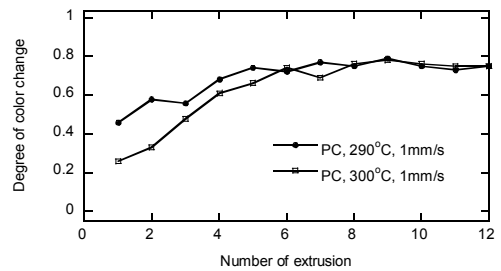
앞 절에서 본 바와 같이 속도가 높아진 경우 온도차에 따른 영향이 감소한다. Fig. 7(a)와(b)에는 온도가 동일한 경우 속도가 변화하는 것에 따라 색교체도가 변화하는 것을 도시하였는데, PP의 경



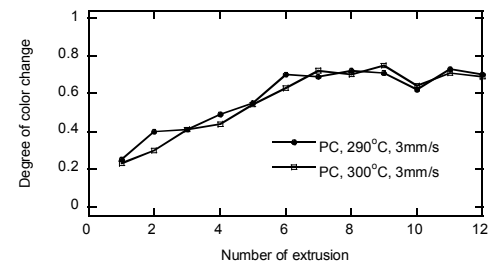
(a) PP, 1mm/s



(b) PC 1mm/s



(c) PP, 3mm/s



(d) PC, 3mm/s

Fig. 6 Color change along with extrusion times for given velocities

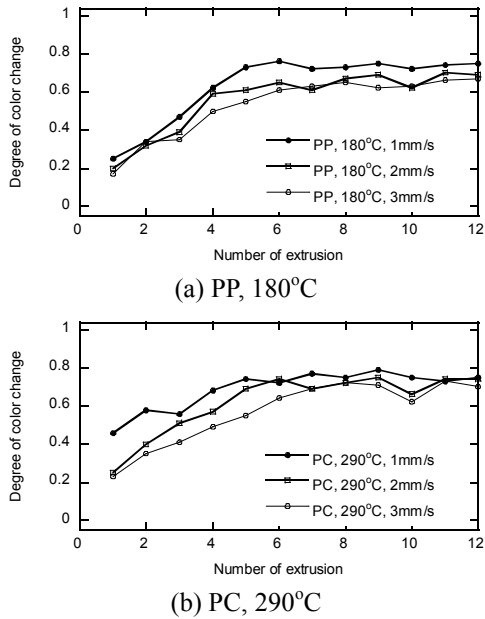


Fig. 7 Color change along with the extrusion time for given temperature

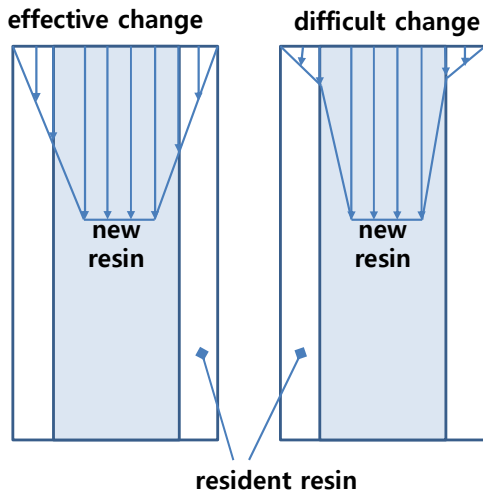


Fig. 8 Schematic of desirable flow for color change⁽⁷⁾

우와 PC의 경우 공히 속도차가 느릴 때 색교체도가 더 빠르게 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 체류하고 있는 수지의 점도는 정지점도로 낮은 상태에서, 신규 수지가 빠르게 유입될 경우 전단연화(shear thinning)에 의해 점도가 하락하여, 체류 수지와 신규 수지 사이의 점도차이가 커지는 것이 큰 이유가 된다는 것이 이유가 되는 것으로 보인다.⁽⁷⁾ Fig. 8에 보인 바와 같이 계면에서, 속도차가 발생하게 되면, 전단속도(shear rate) 차이가 나타나 점도가 달라지게 되고, 계면에서 상이 섞이지

않아, 색교체가 어렵게 된다.

4. 결론

본 연구에서는 등온으로 유지되는 배럴에서의 토출 시험을 통하여, 토출에 온도 조건과, 토출 속도가 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다. 캐필러리 다이에서, 일정 영역에서 피스톤이 접근하지 못하도록 한 상태에서 토출 특성을 검토하였다.

실험 결과로부터, 온도의 증가와 속도의 증가가 공히 체류 구간 수지 배출에 도움이 되지 않았다. 이는 온도 증가에 따른 점도의 감소와 속도 증가에 따른 전단 연화에 의한 점도 감소가 모두 교체를 어렵게 만든 것으로 판단 하였다. 일반적으로는 체류 수지의 점도가 신규 수지의 점도보다 낮을수록 교체가 효율적으로 알려져 있으므로, 신규 수지의 점도를 높일 수 있는 기술적 방법이 필요할 것이다. 향후, 실제 상황을 구현하기 위하여 성형시스템 안에서 교체 정도를 측정하는 방법이 개발될 필요가 있다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌 (References)

- (1) Van Haste, F., 2003, "Chemical Purging: When and How to do It Right," *Plastics Technology*, Vol. 2, No. 49, 50.
- (2) Schmiederer, D., Sriseubsai, W. and Schott, N. R., 2006, "Molding via Rheological Control During Plastication and Purging," *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, Vol. 43, No. 12, pp. 999~1000.
- (3) Manolis, S. L., 1994, *Plastics Technology*, Vol. 40, 52.
- (4) Rosato, D. V. and Rosato, M. G., 2001, *Injection Molding Handbook*, Springer, New York, pp. 999~1000.
- (5) Itoh, M. and Murahara, N., 1994, "Cleaning Composition for a Molding Machine and a Cleaning Method," *US Patent 5,298,078*.
- (6) Ertle, R. T. and Ertle, R. J., 1995, "Method for Purging Thermoplastic Extruders" *U.S. Patent 5,424,012*.
- (7) Vansant, J. D., 2007, "The Theory and Practice of Extruder System Purging," Tappi Place Conference, St. Louis, MO, DuPont