

금형온도가 사출성형품의 웰드라인과 치수안정성에 미치는 영향에 관한 연구

김동학* · 이재원* · 김태완*

Effects of Mold Temperature on the Weldline and Dimensional Stability of Injection-molded Parts

Dong-Hak Kim*, Jae Won Lee* and Tae Wan Kim*

요약 본 논문은 금형의 온도 변화가 사출성형품의 미세구조에 미치는 영향에 관해 연구했다. 웰드라인의 폭과 길이는 금형온도가 증가함에 따라 모두 감소되었다. 그리고 금형의 온도에 따른 결정성수지인 PP(Polypropylene)와 비결정성수지인 PS(Polystyrene)의 치수안정성에 관해 연구했다. PS성형품은 금형온도가 높을수록 수축률이 줄어들고, 두께 편차가 적어졌고, PP성형품의 경우에는 결정의 생성으로 인해 상반된 경향이 나타났다. 캐비티의 충전성과 전사성은 금형온도가 높을수록 향상되었다.

Abstract In this paper, we studied the effects of mold temperature on the microstructure of injection molded parts. The weld line decreases in length and width as mold temperature increases. We investigated the dimensional stability of the parts made of two kinds of resin(polypropylene and polystyrene) by varying the mold temperature. As the mold temperature is high, both the shrinkage ratio and the thickness difference for the PS parts decreases. But the observation of PP parts shows a tendency to increase. The easiness of cavity filling and transcription of the mold texture is improved as the mold temperature is high.

Key Words : weld line, mold temperature, resin, dimensional stability

1. 서 론

플라스틱 가공법 중 하나인 사출성형은 비교적 역사가 짧은 기술인 반면 가장 널리 사용되는데, 이는 사출성형이 1차 가공법 이면서 단순한 형상은 물론 복잡한 성형의 제품도 경제적으로 생산할 수 있고, 열가소성수지와 열경화성수지 모두 적용할 수 있기 때문이다[1]. 플라스틱은 다른 재료에 비해 가공이 용이하며, 전기절연성, 내약품성 등이 우수하고, 착색이 용이하고 가벼운 장점이 있다. 이러한 성질들로 인하여 자동차, 가전제품, OA기기 및 기계부품 등에 사용하거나, 종전의 금속재료를 대체하는 등, 그 적용분야가 점점 증가해가고 있다. 이에 따라 플라스틱 재료의 물성 개선에 대한 연구와 성형조건 최적화에 관한 연구는 현재까지 진행되고 있다[2].

사출성형품에서 분자배향, 형태학적 상구조 등과 같

은 미세적 구조는 일반적으로 사출 성형품의 형상 및 사출조건에 따라 변하는 것으로 알려져 있다. 이 미세구조는 사출성형공정에서 고분자에 행해지는 물리적 조건들에 의해 좌우되며, 성형품의 최종 물성과 밀접한 관련이 있다[3,4]. 특히 단일중합체(homopolymer)로 제조된 사출성형품에서는 분자배향 및 밀도분포가 성형품의 최종물성에 대부분의 영향을 미칠 것으로 생각된다. 일반적으로 사출 성형품의 품질에 영향을 주는 인자로는 압력, 속도, 위치(stroke), 시간, 수지의 온도, 그리고 금형의 온도 등이 있다.

본 연구는 사출 성형품의 품질에 영향을 주는 인자 중에 금형의 온도에 따라 성형품의 미세구조에 미치는 영향과 금형의 온도를 변화시켜 비결정성수지인 PS(PolyStyrene)와 결정성수지인 PP(Polypropylene)를 대상으로 수축율, 두께, 웰드라인 그리고 리브(rib) 뒷면의 싱크마크(sink mark) 등을 측정, 금형온도가 최종 성형품에 미치는 영향을 알아보았다. 또한, 금형을 순간적으로 가열시키고 냉각시키는 MmSH(Momentary Mold Surface Heating) 공정조

*순천향대학교 신소재화학공학부
Tel:041-530-1505

건에 따른 영향도 비교, 검토 하였다. MmSH공정은 금형 캐비티 표면을 기계 화염을 이용하여 순간적으로 가열 및 냉각하여 표면광택 및 기계적 물성을 일반 사출성형보다 뛰어나게 만드는 신기술이다[5].

2. 실험

2.1 성형품 웰드라인에 관한 실험

실험에 사용한 사출성형기는 현대정공주식회사의 SPF250 으로 직압식 수평형 타입이다. 성형에 사용된 금형의 개략도는 Fig. 1과 같다. 이 금형은 two cavity 형태로서 한쪽 캐비티(cavity)는 가로, 세로 모두 120 mm, 두께는 2 mm로 제작되었고, 다른 한쪽 캐비티는 금형 표면의 전사성을 알아보기 위하여 캐비티의 1/2을 embossing 처리를 하였다. 실험에 사용된 시편은 웰드라인 부분의 상구조를 보기 위하여 사각평판방향의 게이트는 닫고 시편을 채취하였다. 성형품의 표면 및 단면은 시편을 절단하여 BIO-RAD coater 로 관찰면에 금을 증착시켰다. 이 시편을 SEM(JEOL DATUM Ltd., JSM-5310, Japan)에서 웰드라인 부분의 형상을 관찰하였다. 시편은 Fig. 2와 같이 좌측 cavity의 hole 부분에서 1 cm에 생성되는 웰드라인에서 취출하였다.

실험에 사용된 수지는 Dow Chemical의 HIPS 로서

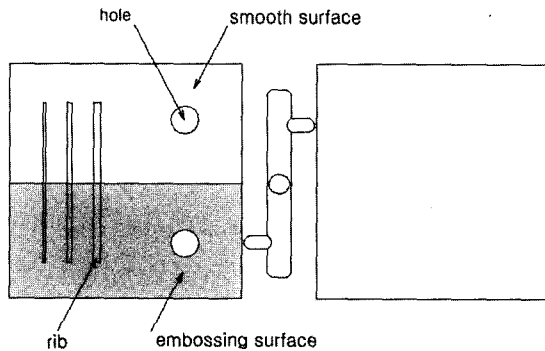


Figure 1. Schematic diagram of the mold

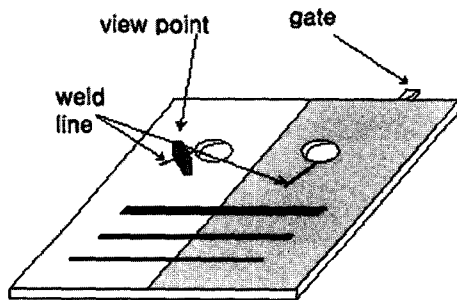


Figure 2. Schematics of part

Table 1. Injection molding conditions

	Stroke [mm]	압력 [kg/cm ²]	속도 [%]	보압 [kg/cm ²]	사출시간 [sec]
short shot	22	55	45	0	2
full shot	32	55	45	0	2

흑색 master batch를 2part를 혼합하였다. 금형온도를 제외한 사출압력, 보압, 속도, 위치, 시간, 수지의 온도는 Table 1과 같이 조건을 설정하였다. 이때, 이 설정값은 사출 속도와 위치, 시간을 고정하고 압력을 조절해 가며 성형이 완료되는 시점의 압력에서 10%의 압력을 더 가하여 값을 취하였다. 금형온도는 칠러(chiller)와 금형온도조절기로 조절하여 20°C, 40°C, 60°C, 80°C 그리고 MmSH 조건으로 실험했다.

MmSH 조건은 금형 이동측의 금형온도는 80°C이고, 가열을 가하는 고정측의 금형 표면온도는 약 200°C~250°C이다.

시편은 각각의 금형온도별로 정상적인 사출상태가 이루어진 후 각 온도당 10개의 시편을 취출하였다.

2.2 성형품의 치수안정성에 관한 실험

실험조건은 2.1 실험방법과 동일하고 보압은 좀더 정확한 수축율의 실험을 위해 0으로 하였다. 실험에 사용된 수지는 비결정성수지인 PS(PolyStyrene)와 결정성수지인 PP(Polypropylene)이다.

성형 수축률을 측정하기 위한 도구로는 버니어캘리퍼스를 사용하였다. 성형수축률은 금형 캐비티의 치수에 대한 성형된 시편의 치수로서 다음 식 (1)로 정의된다[6,7].

$$\text{Shrinkage Ratio} = \frac{D_m - D_s}{D_m} \times 100(\%) \quad (1)$$

식 (1)에서 D_m 은 금형캐비티의 치수이고, D_s 는 각 시편의 치수이다. 수축율의 측정 부위는 수지흐름방향 수축율 실험값을 EDR_x 로 나타내었고, 흐름 직각방향 수축율 실험값을 EDR_y 로 나타내었다. 또한, 각기 다른 리브 뒷면의 수축을 측정하기 위해 표면 거칠기 측정기 (Surface Roughness meter)로서 R_a 값 및 R_z 값을 비교 · 검토하였다. R_a 는 거칠기 곡선에서 그 평균선의 방향으로 기준길이 만큼 추출하여 추출한 부분의 평균선 방향을 X축, 종배울 방향을 Y축이라 하여 거칠기 곡선을 $y = f(x)$ 로 표시한 경우 다음의 식 (2)로 구한 값을 μm 로 표시한 것을 말한다.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (2)$$

Rz는 거칠기 곡선에서 그 평균선의 방향으로 기준길이 만큼 추출하여 추출한 부분의 평균선에서 종배율 방향으로 측정된 최고점으로부터 5번째까지의 山頂 標高(Yp) 절대값의 평균값과 최저점으로부터 5번째까지의 谷低 標高(Yv) 절대값의 평균값 합을 구해 구한 값을 μm 로 표시한 것을 의미한다. 이는 식 (3)과 같이 쓸 수 있다. Ra와 Rz를 구하는 경우의 기준 길이 값을 2.5 mm로 하고 측정하였다.

$$Rz = \frac{\sum_0^i |y_{pi}| + \sum_0^i |y_{vi}|}{5} \quad (3)$$

두께는 성형품의 게이트부분과 말단부분을 마이크로미터로 측정하여 비교하였고, 각각의 두께를 측정한 후 게이트부분의 두께와 말단부분의 두께의 차를 도표화하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 성형품 웰드라인에 관한 결과

Fig. 3은 금형온도에 따른 웰드라인 표면의 SEM사진이고, Fig. 4는 단면의 SEM 사진이다. 사진에서 짙은 점성선 부분에서 대칭적인 구조를 볼 수 있는데 이 부분이 웰드라인이다. 웰드라인은 성형품의 외관은 물론 기타 물리적인 물성까지 저하시키는 요인이 된다. Fig. 3에서 보면 성형품의 금형온도가 증가함에 따라 웰드라인이 폭이 점차 줄어들어 80°C에 이르러서는 웰드라인

이 확연하게 보이지 않음을 알 수 있다. 이는 캐비티의 온도가 높아질수록 용융수지의 점도가 낮아져 서로 만나는 선단의 폭이 좁아진다고 할 수 있다. 또한 대칭적인 두 표면상의 조직상을 보더라도, 금형온도가 높아짐에 따라 표면의 상이 균일해지는 것도 알 수 있다. MmSH의 경우는 표면 웰드라인이 보이지 않았다.

Fig. 4의 경우도 표면사진과 같은 결과를 알 수 있는데, 특히 MmSH의 경우는 성형품의 표면부위에서는 다른 금형온도 조건에 비해 고화층(frozen-layer)이 줄어들고, 용융수지의 점도가 낮아져 분자간의 결합이 향상되어 V-notch가 보이지 않음을 알 수 있다.

3.2. 성형품의 수축 및 외관 품질에 관한 결과

Fig. 5는 시편의 게이트 부분과 말단부분의 두께차이를 나타낸 도표이다. PS는 금형온도가 증가할수록 두께 차이가 작아짐을 알 수 있고, PP의 경우는 두께 차이가 커짐을 알 수 있다. 결정성 수지인 PP의 경우 결정화도가 증가함을 알 수 있다.

MmSH 공정의 경우는 PS, PP 성형품 모두 게이트부분과 말단부분의 두께차이가 금형온도에 상관없이 줄어들음을 알 수 있다. 이는 MmSH공정이 수축률과 전사성에 양호한 결과를 보여준다.

Fig. 6은 금형온도 변화에 따른 수축율의 변화를 나타내었다. PP의 경우 금형온도가 증가할수록 수축율은 증가함을 보였고, PS의 경우 PP의 수축보다 상대적으로 작은 변화이지만 감소함을 볼 수 있다. 단 PP의 경우 MmSH 공정에서는 수축율이 감소하는 것을 볼 수 있다.

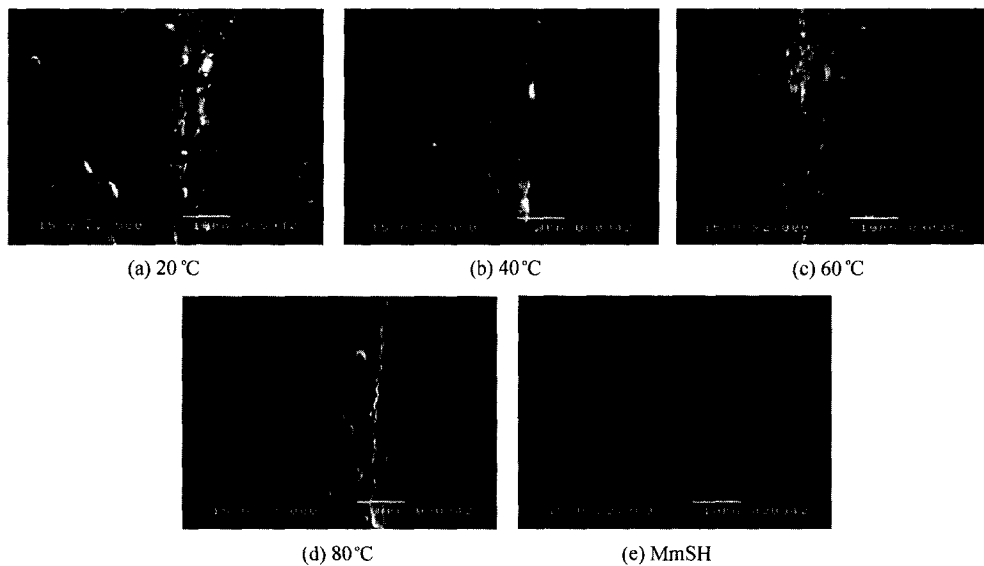


Figure 3. weld line (surface)

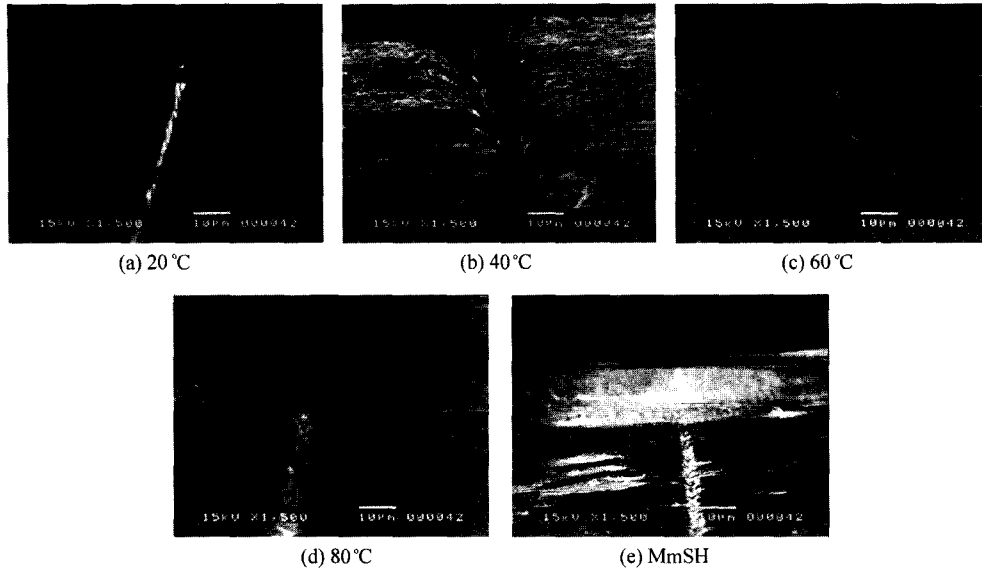


Figure 4. weld line (partial cross)

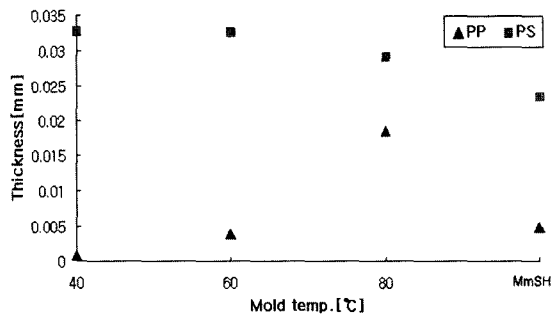


Figure 5. The thickness difference between the gate and the ended part vs. mold temperature

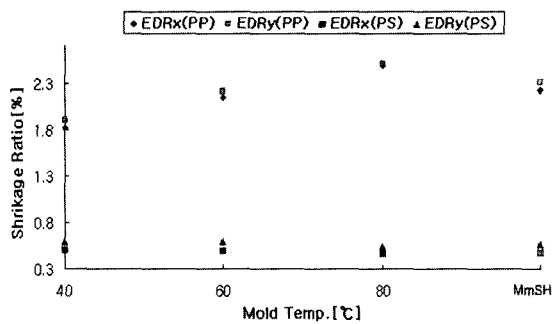


Figure 6. The shrinkage ratio vs. mold temperature

따라서, 금형의 온도가 높을수록 PS는 수축이 적게 일어나고 PP는 수축이 더 일어남을 알 수 있다. Fig. 6의 두께 차이에서도 알 수 있듯이 PS수지는 수지와 금형온도 차이인 ΔT 에 의한 열전달량의 차이로 고화 시점이 늦춰 진다는 것을 의미하고, PP와 같은 결정성수

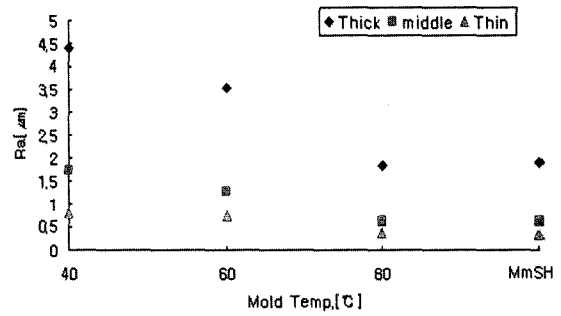


Figure 7. Smooth surface Ra vs. mold temperature

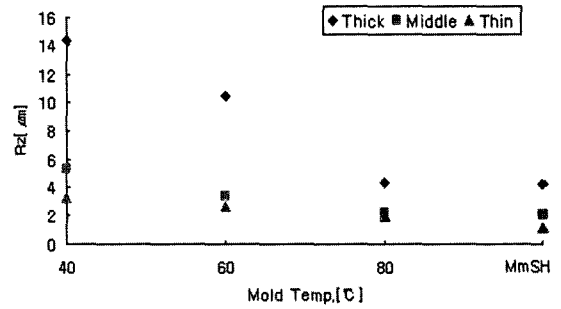


Figure 8. Smooth surface Rz vs. mold temperature

지는 금형온도가 높아짐에 따라 냉각속도가 늦어짐으로 결정화도가 증가하여 수축률이 증가한 것이다[8, 9].

Fig. 7과 Fig. 8은 성형품의 매끄러운 면 리브 뒷면에 썩크마크가 발생한 부위에서 측정된 Ra와 Rz값을 나타 내었다. 이것은 금형온도가 증가할수록 현저하게 측정 값이 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이는 성형품 표면의

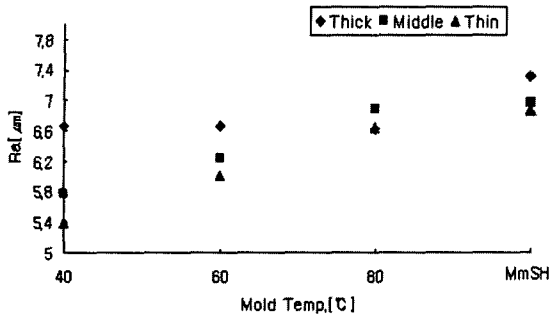


Figure 9. Embossing surface Ra vs. mold temperature

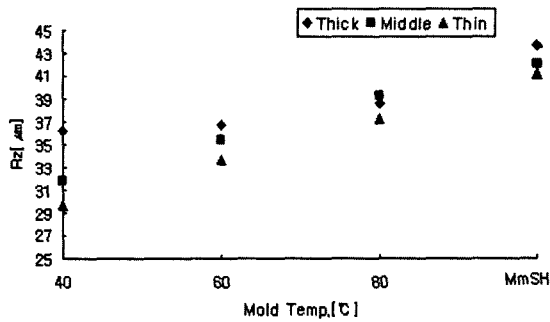


Figure 10. Embossing surface Rz vs. mold temperature

거칠기가 금형온도가 높아짐에 따라 점차 매끄러워진다는 것을 알 수 있다. Fig. 9와 Fig. 10은 거친 면의 리브 뒷면을 나타내는데, 매끄러운 면과 달리 측정치가 올라가는 것을 볼 수 있다. Ra와 Rz의 값을 종합해서 볼 때 금형온도가 높은 면에서 전사성이 개선되었다고 할 수 있다. 한편 썬크마크의 크기를 육안으로 판별한 결과, 금형온도가 높아질수록 썬크마크가 감소하였다.

4. 결 론

성형품의 웰드라인의 표면과 단면의 형상을 보면 금형온도가 증가함에 따라 웰드라인의 폭과 길이 모두 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 금형온도가 증가함에 따라 두 유동선단이 만날 때 고화층의 두께를 감소시켜 유동수지의 점도를 낮춰줄을 알 수 있다. MmSH의 경우는 캐비티 표면의 온도가 약 200°C 이상이 되어 유동수지 선단간의 결합이 원활해져 일반적인 사출조건에 비해 표면 웰드라인과 V-notch가 보이지 않음을 알 수 있다. 성형품의 수축은 결정성수지인 PP와 비결정성수지인

PS는 금형온도가 높아짐에 따라 각기 다른 결과를 나타내었다. PS성형품은 금형온도가 높을수록 수축률이 줄어들고 두께 편차가 적어지는 경향을 관찰됐다. 반면 PP성형품의 경우에는 결정의 생성으로 인한 상반된 경향을 나타냈다. 그리고 성형품의 외관품질은, 금형온도에 따른 캐비티의 매끄러운 면과 거친 면의 결과로 볼 때 금형온도가 높을수록 캐비티의 충전성 및 전사성이 향상되었다.

MmSH 조건인 경우는 수축율과 전사성 모두 다 양호한 결과를 보여주었다.

감사의 글

본 연구과제는 2002학년도 순천향대학교 산업기술연구소 학술연구비 일반과제 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] S. Y. Kienzle, "Polymer Blend and Alloy", Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, 1988
- [2] 유동형, "21세기의 일본 乘用車 開發 방향", 자동차경제 제 115호, pp. 401-412
- [3] S. Fellahi, B. Fisa, and B. D. Favis, "A Morphological Study of Injection Molded HDPE/PA6 Blends", SPE ANTEC'93 conference, 211, 1993
- [4] L. Lundberg and J. F. Jansson, "Anisotropic Creep Behavior of Oriented Polycarbonate", Polymer, vol. 35, 2084, 1994
- [5] 유영은, "사출성형에서의 금형온도의 영향 및 고온의 금형 이용을 위한 공정", 폴리머저널, 통권 27호, pp. 10-18, 2001.
- [6] 조용희, "다재 사출 성형품 및 금형 설계를 위한 전문가 시스템 개발에 관한 연구" 연세대학교 대학원 기계공학과, pp. 20-54, 1999.
- [7] Dominick V. Rasato and Donald V. Rosato, "Injection Molding Handbook: The Complete Molding Operation: Technology, performance, Economics," New York: Van Nostrand Reinhold, pp. 34-105, 1986.
- [8] 홍명웅, 류제구, "사출성형", 기전연구소, 서울, pp. 165-179, 1989.
- [9] Rubin, I. I., "Injection Molding Theory and Practice", Jhon & Wiley Sons, New York, pp. 270-281, 1972.