

사출성형에서 Gate Mark의 형성에 관한 연구

김준민¹, 김동우¹, 황수진¹, 류민영[#]

A Study on the Formation of Gate Mark in Injection Molding

J. M. Kim, D. W. Kim, S. J. Hwang, M. Y. Lyu

(Received October 12, 2006)

Abstract

The gate mark in injection molded part is a kind of surface defects. The formation of gate mark has been investigated in this study. SEM photographs and surface roughness have been examined to study gate mark. The specimens were molded for various injection conditions, such as injection temperature, mold temperature, and injection speed. Gate diameter and mold surface condition were also molding variables. Gate marks were reduced as injection speed and mold temperature increased. Gate diameter and injection temperature did not affect the gate marks. No etching of mold surface showed no gate marks for any molding conditions.

Key Words : Gate Mark, Tunnel Gate, Etching, Surface Roughness, SEM, Injection Molding.

1. 서 론

전기, 전자 및 Display 제품의 외관을 구성하고 있는 Cover 나 Case 는 플라스틱을 이용한 사출성형방법으로 성형되고 있다. 사출성형으로 성형되는 모든 제품에는 캐비티에 수지가 들어가는 입구인 게이트가 있는데 이 게이트 주변에 게이트 마크가 형성되어 외관의 품질을 저하시키는 원인이 된다[1]. 게이트 마크는 게이트 주변의 표면이 다른 표면에 비해 광택이 떨어져 눈에 띄는 부분을 나타낸다. 특히 외관에 쓰이는 Cover 나 Case 는 항상 외부에 노출되어 있기 때문에 이러한 게이트 마크를 최소로 제한 하는 것이 외관 품질을 향상시키는 중요한 부분이다.

게이트 마크를 감추기 위해 제품에 Painting 공정이 추가 되는 경우가 있는데 비용의 증가, 생산성 감소, 환경오염 문제 등이 나타난다. 따라서 근본적으로 게이트 마크의 원인을 파악하고 게

이트 마크를 없애거나 줄이는 연구가 필요하다.

여러논문에서 게이트 마크의 형성원인은 다양하게 예측된다. 그러나 게이트 마크 부분이 다른 부분과 어떻게 차이가 있고 외관이 다른지에 대한 연구가 있으나 그의 형성 원인에 대한 연구는 미진한 상황이다[2~3]. 본 논문에서는 게이트 마크를 관찰하여 형태를 파악하고 사출 성형조건과 금형설계 조건을 변경하며 실험하여 게이트 마크의 형성 원인을 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험 모델 및 금형

Fig. 1 은 본 연구에서 사용하는 게이트 마크 실험 모델로 캐비티 모양 및 유동전달 시스템이 함께 나타나 있다.

시편의 두께는 2mm이고 가로50mm, 세로80mm이다. 게이트는 터널 게이트 방식을 사용하였다.

1. 서울산업대학교 산업대학원
교신저자: 서울산업대학교 금형설계학과, 정밀기계기술연구소,
E-mail: mylyu@snut.ac.kr

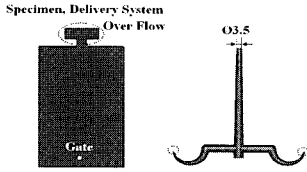


Fig. 1 Cavity and delivery system for experiment

캐비티 표면의 에칭 정도와 게이트 직경을 변경할 수 있도록 캐비티와 게이트를 인서트 타입으로 금형을 제작하였다.

2.2 실험조건 및 장비

본 연구의 실험조건이 Table 1에 나타나있다. 게이트 마크에 영향을 주는 주요인자는 사출속도, 수지온도, 금형온도, 게이트 지름, 금형 표면의 에칭 정도로 선정하였다[2~3]. Table 1에 실험조건이 나타나있다. 실험은 사출속도 50%, 수지온도 250℃, 금형온도 40℃를 기준조건으로 결정하고 각각 하나의 인자를 변화해가며 실험하였다.

실험에 사용된 사출 성형기는 LG의 IDE140EN으로 형체력은 140ton, 사출실린더의 최대 압력은 155kgf/cm², 최대사출률은 206cm³/sec이고 스크류 지름은 45mm이다. 수지는 제일모직사의 ABS HF-0680U를 사용하였다. 표면거칠기 장비는 ASMETO사의 DIAVITE DH-6를 사용하였다.

Table 1 Injection molding operational conditions

Injection Speed (%)	Melt Temperature (°C)	Mold Temperature (°C)	Gate Diameter (Ø)	Etching (µm)
20	230	20	0.7	#1000
50	250	40	1.0	8
80	270	80	1.3	15
-	-	-	1.6	25
-	-	-	-	35

2.3 실험 방법

게이트 마크의 형성원인을 분석하기 위해 게이트 마크가 재현 될 수 있도록 금형을 제작하여 게이트 마크 형성에 영향을 주는 주요 인자를 변화하여 실험을 하였다. 시편을 육안과 SEM으로 관찰하여 성형조건이 게이트 마크 형성에 미치는 영향을 관찰하고 data를 정량적으로 측정하기 위해 시편과 금형의 표면 거칠기를 측정하였다. 게

이트 마크의 육안에 의한 평가는 크기와 선명도를 기준으로 하여 ○(적음)→◐(중간)→●(많음)이와 같이 평가를 하였고 표면거칠기 값은 시편과 금형의 Ra값을 측정된 값으로 게이트 마크의 정도를 나타내는 Ra(%), 게이트 마크 부분의 전사도를 나타내는Ra(%), 일반표면의 전사도를 나타내는 Ra(%로 분석하였다. 게이트 마크의 정도를 나타내는 Ra%)는 게이트 마크가 나타나는 부분과 일반표면의 Ra값을 게이트 마크의 Ra값으로 나누어 %로 나타낸 값이다.

2.4 게이트 마크의 관찰

Fig. 2는 시편에 나타나는 게이트 마크를 나타낸다. 게이트 마크에 영향을 미치는 주요인자에서 (a)의 성형조건은 사출속도 80%, 수지온도270℃, 금형온도 80℃, 게이트 직경 Ø1.6, 에칭35µm이고 (b)는 사출속도 20%, 수지온도230℃, 금형온도20℃, 게이트 직경 Ø0.7, 에칭 35µm의 조건으로 (a)는 게이트 마크가 매우 흐리고 넓게 퍼져있으나 (b)는 크기가 작고 선명한 것을 볼 수 있다.

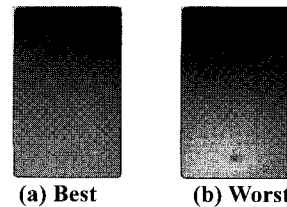


Fig. 2 Best and Worst specimens

Fig. 3은 게이트 마크와 일반 표면을 SEM으로 관찰한 것이다. 게이트 마크 부분이 일반표면에 비해 요철(凹凸)의 모양이 sharp하고 밀도(빈도)가 조밀한 형태를 보인다. (a)에서 나타나는 성형품의 산과 골은 게이트 부와 일반부의 전사도가 모두 높기 때문에 게이트 부와 일반부의 차이가 적게 보이고 (b)에서는 성형품의 산과 골이 전사가 잘 되지 못해서 나타나는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 게이트 부위가 높은 온도와 압력을 받기 때문에 게이트 마크부분과 일반부분의 전사도의 차이가 나타나는 것이라 판단된다. 게이트 부의 흐름을 관찰하기 위해 성형해석을 하였다. ABS 수지는 shear rate가 10⁴(1/s), shear stress가 10⁵(Pa)을 넘으면 melt fracture가 발생한다[4]. Table 2에 성형 해석 결과가 나타나있다. 수지가 캐비티로 주입되는 동안 게이트 부의 shear rate가 10⁴(1/s)이상이고

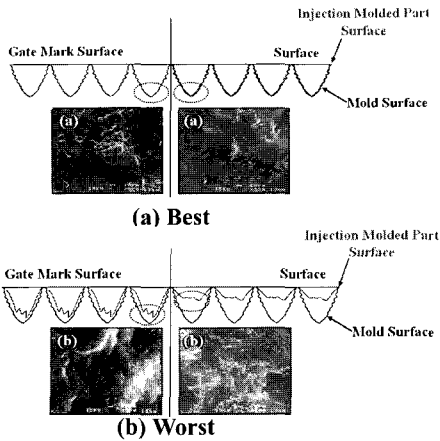


Fig. 3 SEM photographs of molded surfaces

Table 2 Shear rate and shear stress at gate

	Shear rate(1/s)	Shear stress(Pa)
Moldflow	4.037×10^5	14×10^5
Moldex3D	1.82×10^5	5.4×10^5

shear stress 가 $10^5(\text{Pa})$ 이상으로 melt fracture 에 의한 수지의 상 분리나 분자량이 낮은 첨가제가 표면으로 migration 될 가능성이 있다고 예상된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 게이트 마크 육안 관찰 결과

본 연구에서 게이트 마크의 평가는 육안관찰, SEM관찰 그리고 표면거칠기 측정을 하여 분석을 하였다. Fig. 4는 관찰자 3인이 게이트 마크를 육안으로 관찰하여 평가한 것을 그래프로 나타내었다. X축은 게이트 마크에 영향을 미치는 주요인자를 Y축은 게이트 마크의 정도로서 ○(적음)→○(중간)→●(많음)과 같은 순서로 나타냈다. Fig. 4에서 사출속도와 금형온도가 클수록 게이트 마크가 적어지고 수지온도는 게이트 마크 형성에 큰 영향을 미치지 않는으나 수지온도가 증가함에 따라 게이트 마크가 일부 감소 하는 경향을 보였다. 게이트지름도 게이트 마크의 변화에 따라 일정한 경향성이 나타나지 않았고 에칭 정도의 변화는 $35\mu\text{m}$ 에서 게이트 마크가 가장 적고 $8\mu\text{m}$, $15\mu\text{m}$ 에서 가장 큰 것으로 나타났다.

3.2 SEM 관찰 결과

사출속도, 금형온도, 에칭 정도, 수지온도, 게이

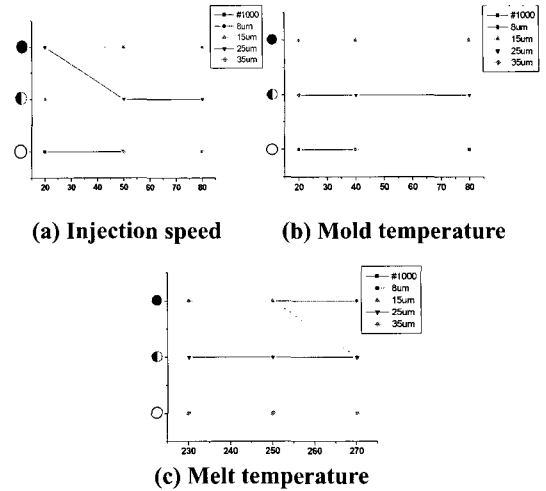
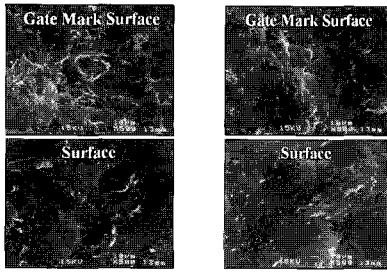
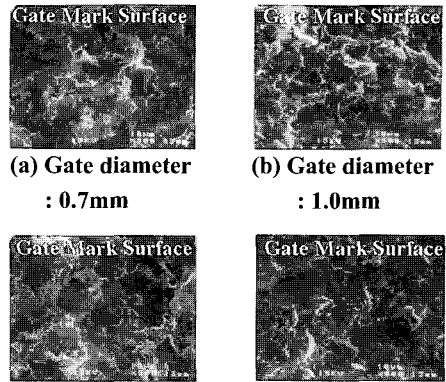


Fig. 4 Evaluation of gate mark by naked eyes

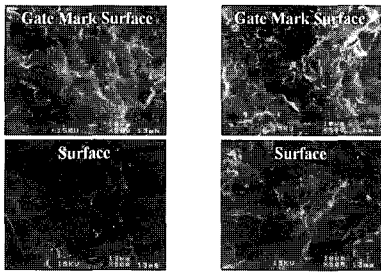
트 지름변화에 따른 게이트 마크의 변화를 SEM으로 관찰하여 보았다. SEM으로 게이트 마크 부분(Gate Mark Surface)과 일반표면부분(Surface)을 관찰 하였을 때, 게이트 마크 부분과 일반표면 부분의 차이가 적으면 게이트 마크가 눈에 띄는 정도가 줄어드는 것을 의미한다. Fig. 5에는 사출 속도를 20%, 80%로 변경하여 실험한 시편의 게이트 마크부분과 일반표면부분을 SEM으로 관찰한 사진이 나타나있다. 사출속도가 80%일 때가 20%일 때 보다 일반표면과 게이트 마크 부분의 차이가 적은 것을 볼 수 있었고 육안 관찰 시에도 사출 속도가 클수록 게이트 마크의 크기가 커지고 흐려지는 경향이 나타났다. Fig. 6은 금형온도 변경하여 실험한 시편을 SEM으로 관찰한 사진이 나타나있다. 금형 온도에 따른 게이트 마크의 변화를 관찰한 결과 금형온도 80°C 의 시편에서 게이트 마크 부분과 일반부분의 차이가 적은 것을 볼 수 있었다. 육안 관찰 시에도 성형조건 중 금형온도 80°C 에서 게이트 마크가 가장 적은 것으로 나타났다. 그리고 에칭변화에 실험에 따른 SEM 사진은 Fig. 7에 나타나있다. 게이트 마크의 변화를 관찰해보면 에칭이 없는 경우(#1000)에는 게이트 마크가 나타나지 않았고, 에칭의 정도가 적을수록 게이트 마크가 눈에 띄게 나타났다. Fig. 8과 Fig. 9에는 각각 수지온도 변화와 게이트 지름 변화 실험 시편을 SEM으로 관찰한 사진이 나타나있다. 일반 표면부분의 사진은 조건을 변경하여도 차이가 없기 때문에 하나의 사진만을 나타내었다. 수지온도와 게이트의 지름 변화에 따라 일반표면부



(a) speed: 20% (b) Speed: 80%
Fig. 5 SEM photographs for injection speed

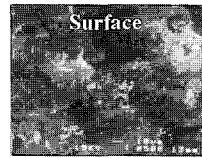


(a) Gate diameter : 0.7mm (b) Gate diameter : 1.0mm
(c) Gate diameter : 1.3mm (d) Gate diameter : 1.6mm



(a) Temperature : 20°C (b) Temperature : 80°C

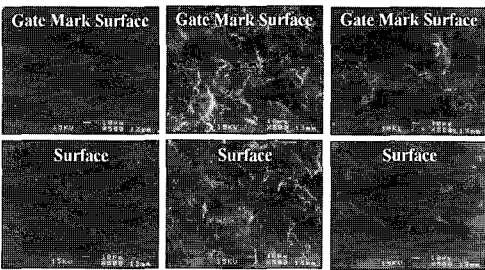
Fig. 6 SEM photographs for mold temperature



(e) Gate diameter: 1.0mm

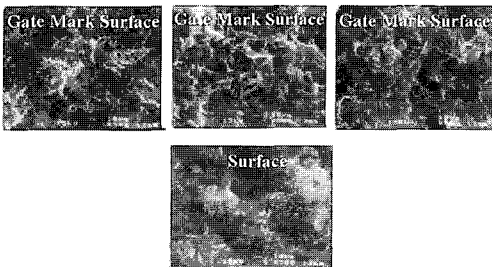
Fig. 9 SEM photographs for gate diameter

분과 게이트 마크 부분을 관찰한 결과 수지온도와 게이트 지름 변화는 게이트 마크 형성에 일정한 경향이 나타나지 않아 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.



(a) Etching : #1000 (b) Etching : 15 μm (c) Etching : 35 μm

Fig. 7 SEM photographs for etching



(a) 230°C (b) 250°C (c) 270°C

Fig. 8 SEM photographs for melt temperature

3.3 표면거칠기 측정 결과

Fig. 10은 게이트 마크가 나타나는 부분과 일반 부분의 표면거칠기 값을 주요인자의 조건별로 grouping하여 게이트 마크와 관련이 깊은 Ra(%)와 전사도 Ra(%)의 평균 값을 나타낸 그래프이다. X 축은 게이트 마크에 영향을 미치는 주요인자를 Y 축은 Ra(%)의 평균 값을 나타내고 있다. 그리고 (1)은 게이트 마크의 정도를 (2)는 게이트 마크의 전사도를 (3)은 일반표면의 전사도를 나타내고 2.3 절의 실험방법에서 설명한 값과 동일하다. 각각의 주요인자를 분석한 결과 사출속도가 증가함에 따라 전사도가 높고 게이트 부분과 일반부분의 표면 조도의 차이가 적어지는 경향을 보였고 금형 온도가 증가 함에 따라서는 게이트 부분과 일반부분의 전사도가 모두 높아져 표면조도의 차이는 적게 나타나는 경향을 보였다. 수지 온도와 게이트 지름에 따라서는 일정한 경향이 나타나지 않았다. 에칭이 없을 때는 게이트 마크가 나타나지 않았고, 에칭이 있는 경우 15μm 과 25μm 일 때 게

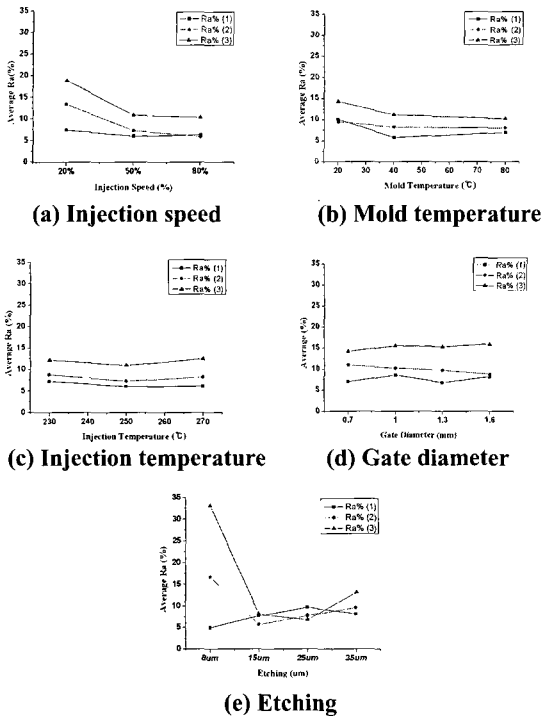


Fig.10 Surface roughness for various conditions

이트 부분의 전사도와 일반부분의 전사도 차이가 가장 적게 나타나는 경향을 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 형성된 게이트 마크의 형태와 원인을 분석하기 위하여 육안관찰, 공구 현미경, SEM 으로 관찰하고 일반부분과의 차이를 분석하였다. 게이트 마크 부분이 두드러지게 보이는 것을 관찰할 수 있었는데 이는 게이트 마크 부분이 일반부분에 비해 전사도가 높기 때문에 광택이 떨어지는 것이라 판단된다. 또한 정량적인 data 측정을 위해 표면 거칠기를 측정하여 분석하였는데 분석결과 주요인자 중 게이트 마크 형성에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 에칭의 정도, 금형온도, 사출속도, 게이트 직경, 수지온도 순으로 나타

났다. 에칭이 없는 경우는 게이트 마크가 없었으나 에칭이 있는 경우 에칭의 정도가 적었을 때 게이트 마크가 크게 나타났다. 금형온도와 사출속도는 클수록 게이트 마크가 감소하였고 게이트 지름과 수지온도는 게이트 마크에 거의 영향을 미치지 않았다. 따라서 게이트 마크를 감소하기 위해서는 게이트 부분에 에칭 정도를 일반부분보다 적게 하여 게이트 부분과 일반부분의 전사도 차이를 줄이거나 사출속도나 금형 온도를 높이면 게이트 마크를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같은 방법으로 게이트 마크의 형성원인과 주요인자에 대하여 분석한 결과 현재까지 게이트 마크의 형성원인은 게이트 마크와 일반부분의 전사도 차이에 의한 것이라고 사료된다. 그리고 게이트 부분과 일반표면의 Ra(%)와 전사도 Ra(%)가 게이트 마크와 관련이 깊은 것으로 나타났다. Ra(%)와 전사도 Ra(%)가 작을수록 게이트 마크가 작아야 하지만 게이트 마크의 윤곽은 항상 표면 거칠기 값과 비례하지 않았다. 게이트 마크가 나타나는 것은 게이트 부분과 일반표면에 gloss가 다르기 때문이므로 이를 정량적으로 평가할 수 있는 microphotographer와 같은 장비를 사용하여 육안을 대신한 정밀한 실험이 요구된다.

참고 문헌

- [1] 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득, 2004, 사출성형 CAE 지침, 문운당, pp. 60~75.
- [2] Jing Chung Huang, 이희관, 양균의, 2003, 식각 표면패턴의 사출성형에 관한 실험적 연구, 한국정밀공학회지, 제 20 권 제 2 호, pp. 25~32.
- [3] M. J. Oliveira, A. M. Brito, L. F. Costa, M. C. Costa 2004, A Study on the Influence of Surface Roughness and Injection Molding Parameters on the Gloss of ABS parts, ANTEC, pp. 3534~3538.
- [4] H. HAMADA, H. TSUNASAWA, 1996, Correlation Between Flow Mark and Internal Structure of Thin PC/ABS Blend Injection Moldings, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 60, pp. 353~362.