

# 대면적 미세 패턴 사출 성형 특성에 관한 연구

## A Study on Injection Molding Micro Patterns on Large Area of Surface

\*유영은<sup>1</sup>, 서재원<sup>1</sup>, 제태진<sup>1</sup>, #최두선<sup>1</sup>, 박시현<sup>2</sup>, 이우일<sup>2</sup>, 김선경<sup>3</sup>

\*Y.-E. Yoo<sup>1</sup>, J.W. Seo<sup>1</sup>, T.J. Je<sup>1</sup>, #D.-S. Choi(choids@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, S.H. Park<sup>2</sup>, W.I. Lee<sup>2</sup>, S.K. Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국기계연구원 나노융합기계연구본부, <sup>2</sup>서울대학교 기계공학부, <sup>3</sup>서울산업대학교 금형설계학과

Key words : Injection molding, micro pattern, replication, mold temperature, micro molding simulation

### 1. 서론

LCD의 주요 광학 부품인 도광판, 태양광 발전 장치의 집광형 렌즈 및 LED 조명 기기용 광 부품 등 표면에 미세 패턴이 적용된 제품에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, 요구되는 기능에 따라 적용되는 패턴의 형상 및 크기도 다양해지고 있다 [1-4]. 특히 표면 패턴이 평면 방향의 크기는 더욱 작아지는 반면 높이는 더욱 커져 큰 형상비를 가지는 경향이 두드러지고 있으며, 이러한 고형상비의 미세 패턴 혹은 표면 구조물을 이용하여 기존의 전형적인 광학적 특성 이외에 자기 세정 효과, 무반사 효과, 시야각 조절 등의 기능을 가지는 새로운 제품 개발에 대한 연구도 점차 활발해지고 있다.

그러나 이러한 고형상비의 미세 패턴은 관련 제품 생산 공정을 어렵게 하거나 생산성을 저하시키는 큰 원인이 되고 있다. 특히 고온의 열가소성 용융 수지가 비교적 낮은 온도의 금형으로 주입된 후 냉각 되어 제품을 생산하는 사출 성형의 경우 표면으로부터 냉각이 진행되어 성형성이 급격히 감소하는 특성을 가지고 있어, 미세 패턴이 표면에 위치하는 제품의 성형에 어려움이 있는데, 표면 패턴의 미세화 및 특히 고형상비화는 이러한 어려움을 더욱 심화시키는 요인이다. 이로 인하여 미세 패턴이 표면에 적용된 제품의 사출 성형에서는 원하는 수준의 패턴 전사성 및 균일성을 구현하는 것이 주요 관심 대상 중의 하나이며, 제품의 크기가 커 질수록 더욱 중요한 문제로 인식되고 있다. 따라서 넓은 면적에 미세 패턴을 균일하게 성형할 수 있는 사출 성형 공정 최적화에 대한 필요성이 제기되고 있는데, 이를 위한 기반 기술 개발을 위해서 해석 및 실험을 통한 미세 패턴 전사 특성 및 공정 변수에 대한 이해가 무엇보다 중요하다.

본 연구에서는 대면적에서의 미세 패턴 성형에 대한 주요 변수와 패턴 전사성에 대한 영향을 해석 및 실험을 통해 규명하고자 하였으며, 이를 기반으로 미세 패턴의 균일 정밀 성형을 위한 최적 성형 조건을 구하고자 하였다.

### 2. 실험 및 해석

대면적 미세 패턴의 성형 실험 및 해석을 통한 전사 특성에 대한 이해를 위해서 다양한 형상 및 크기로 구성되는 모델 패턴을 설계한 후 황동 기관에 가공하여 금형 코어로 사용하였다. 설계된 미세 패턴의 형상 및 크기는 Fig. 1에 나타내었다.

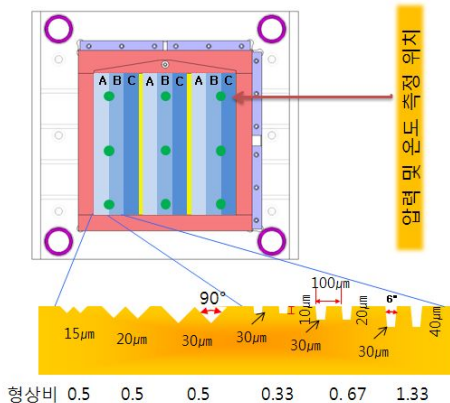


Fig. 1 Configuration of the model micro patterns

Fig. 1에 나타난 바와 같이 성형 공정에서 실시간으로 용융수지 혹은 금형의 압력 및 온도를 측정하기 위해 9 위치에 압력/온도

검용 센서를 설치하였다.

본 실험에서는 90°C ~ 130°C 범위에서 금형 온도를 변화시키며 미세 패턴의 전사성 및 위치에 따른 성형 패턴 편차를 분석하였다. 또한 보압 과정에서의 보압 및 보압 유지 시간에 의한 패턴 성형성에 대하여 실험적 분석을 수행하였다. 성형 수지는 광학용 PMMA(Asahi 80NH)를 사용하였으며 성형 온도는 240°C~270°C의 범위로 설정하였다. 사출 성형기는 스미토모의 전전동식 사출기(SD550S)가 사용되었다.

대면적에 미세 패턴이 응용된 제품 성형에 대해서 일반적인 사출 성형 해석 기법을 적용하는 경우 패턴의 전사성 및 균일도 등을 예측하는 데에는 소요 시간 측면에서의 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 표면의 미세 패턴이 용융 수지의 전체적인 유동 특성에는 크게 영향을 미치지 않는다는 점을 고려하여, 기관에 대한 전체적인 성형 해석을 수행하고 이로부터 계산된 압력, 온도 등의 결과를 이용하여 원하는 위치에서의 미세 패턴에 대한 상세한 성형 해석을 수행하는 이원적인 접근 방법을 채택하여 경제적인 시간에 대면적에서의 미세 패턴 전사 특성을 예측 혹은 분석할 수 있도록 하였다. 기관에 대한 전체적인 성형 해석은 몰드플로우와 같은 상용화된 해석 프로그램을 사용하였으며, 미세 패턴에서의 상세 해석은 자체 개발된 유동 해석 프로그램을 사용하였다.

### 3. 결과 및 토의

Fig. 2에 cavity내의 미세 패턴 영역에서의 수지 온도, 압력 및 금형 온도와 같은 국부적 조건에 따른 미세 패턴 전사도 분포를 상세 해석을 통해서 구하였으며, 금형 온도, 성형 온도 및 압력 변화에 의해 패턴 전사성에 큰 차이가 발생함을 알 수 있다. 이를 기반으로 요구되는 패턴 전사도가 구현되는 cavity내의 미세 패턴 영역에서의 수지 온도 및 압력, 금형 온도 조건이 전체 cavity에서 확보될 수 있는 성형 조건을 전체적인 해석 과정을 통해서 구하였다. 한 사례로 금형 온도 110°C, 사출 시간 0.5초의 조건에서, 패턴 전사도가 90% 이상 되기 위한 국부적 조건이 전체 영역에서 구현되는 결과를 얻을 수 있었다.

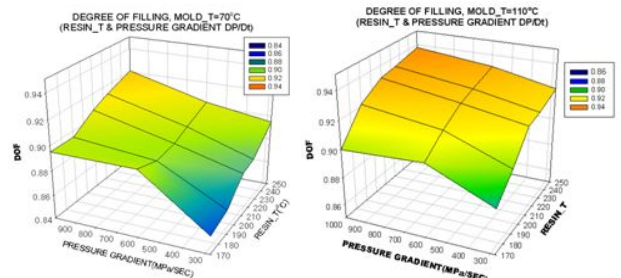


Fig. 2 The degree of replication for in-cavity temperature and pressure gradient for melt at different mold temperatures

(left: mold temp. =70°C, right: mold temp. =90°C)

이를 기반으로 패턴의 전사도 및 균일성에 대한 실험을 수행하였다. 우선 Fig 3에는 용융수지의 충전 과정 중 금형 온도 변화를 금형에 설치된 온도 센서를 이용하여 측정된 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 용융 수지의 충전 전 금형 온도는 금형 위치에 따라 최대 10도 정도의 편차를 보이고 있으며, 용융 수지가 도달한 후 금형 온도의 상승 정도가 위치별로 차이가 발생하는 것을

알 수 있다. 이러한 금형 온도의 차이는 수지에 미치는 압력과 함께 용융 수지가 도달한 후 미세 패턴을 충전하는데 소요되는 시간 동안 패턴 전사성에 매우 중요한 영향을 미치는 것으로 판단되므로 패턴의 전사성 및 균일성을 분석하는데 중요한 요소가 된다.

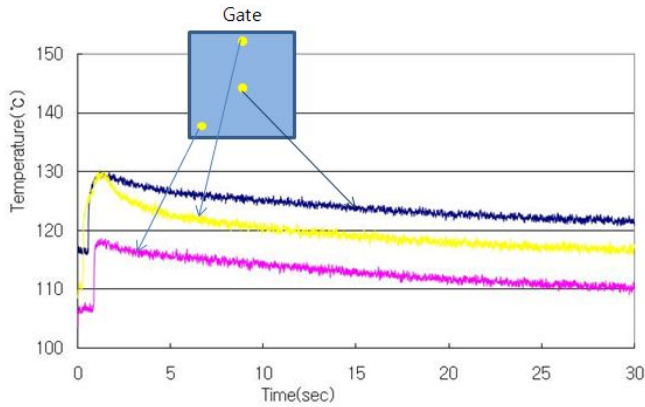


Fig. 3 Temperature variations at cavity surface during the process

미세 패턴의 전사성은 금형 온도에 대해서 민감한 영향을 받는다. Fig. 4 및 5에 나타낸 바와 같이 미세 패턴의 전사성은 금형 온도가 높아질수록 우수한 결과를 나타내고 있으며 패턴의 위치에 의해서도 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 사출 성형에서 게이트에서 멀리 위치한 부분에서의 패턴 전사성을 보여주는 Fig. 5를 참고할 때, 금형 설정 온도를 130°C로 하는 경우 95% 이상의 전사성을 얻을 수 있음을 알 수 있는데, 이는 Fig. 4의 110°C에서 우수한 전사 특성을 보이는 게이트 부근의 패턴 성형 결과와 비교될 수 있다. 또한 Fig. 4의 전사성 결과가 전반적으로 Fig. 5의 결과와 비교하여 양호한 결과를 보이고 있는데, 이는 Fig. 3의 온도 측정 결과를 고려할 때, 용융 수지의 온도가 패턴 충전 시점에서 상대적으로 낮아 성형성이 크게 저하되었던 것으로 판단된다.

미세 패턴 성형에 대한 또 다른 주요 영향 인자인 성형 공정에서의 압력에 대한 측정을 수행하고 있으며, 이를 통하여 보다 최적화된 미세 패턴의 전사성 및 균일성을 위한 공정 조건의 확보가 가능할 것으로 보인다. 또한 효율적인 미세 패턴의 성형을 위해 최적을 금형 온도 분포를 구하는 것이 필요하며, 이를 위한 연구를 병행하고 있다.

### 후기

본 연구는 지식경제부의 전략 기술개발 사업으로 진행 중인 대면적 미세 가공 시스템 기술 개발 과제에 지원으로 수행되었습니다. 관계자의 노고에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Funamoto, A. and Aoyama, S., "LED backlight system with double-prism pattern," J. the SID 14/11, 1045-1051, 2006
2. Li, C.-J., Fang, Y.-C., Chu, W.-T. and Cheng, M.-C., "Design of a prism light-guide plate for an LCD backlight module," J. the SID 16/4, 545-550, 2008
3. M. Sun, C. Luo, L. Xu, H. Ji, Q. Ouyang, D. Yu, and Y. Chen, "Artificial lotus leaf by nanocasting," Langmuir 21, 8978-8981, 2005
4. T. N. Krupenkin, J. A. Taylor, T. M. Schneider, and S. Yang, "From rolling ball to complete wetting: the dynamic tuning of liquids on nanostructured surfaces," Langmuir 20, 3824-3827, 2004

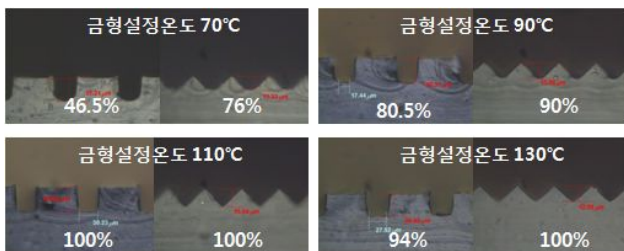


Fig. 4 Replication results for different mold temperatures (Gate region of the cavity)



Fig. 5 Replication results for different mold temperatures (End region of the cavity)

### 4. 결론

본 실험 및 해석을 통해서 미세 패턴의 전사성 및 균일성에 영향을 주는 주요 변수에 대한 분석을 수행하였으며, 크기 및 형상 별 미세 패턴의 성형을 위한 금형 온도 범위를 구하였다.