

사출 도광판의 프리즘 패턴 전사성에 관한 실험적 연구

김창완[†], 유영은*, 김태훈**, 제태진*, 최두선*

A study on the prizm pattern replication in injection molding

Chang-Wan Kim[†], Yeong-Eun Yoo*, Tae-Hoon Kim**, Tae-Jin Je*,
Doo-Sun Choi*

Key Words : Micro Pattern(미세패턴), Prizm pattern(프리즘 패턴), Replication(전사),
Injection molding(사출성형)

Abstract

We injection molded a wedge type of plate with micro prizm patterns on its surface and investigated the fidelity of replication of the micro pattern depending on the process parameter such as mold temperature, melt temperature, injection rate or packing pressure. The size of the size of the 90° prizm pattern is 50 μ m and the size of the plate is about 300mm \times 200mm. The thicknesses are 2.6mm. and 0.7mm. at each edge of the wedge type of plate. The fidelity of the replication turned out quite different according to the process parameters and location of the patterns on the plate. We measured the cavity pressure and temperature in real-time during the molding to analyze the effect of the local melt pressure and temperature on the micro pattern replication.

1. 서 론

정보화기술 (IT : Information Technology), 디지털산업의 발전은 영상정보의 효율적 전달을 위한 기반의 디스플레이 장치에서 휴대화, 대형화, 저소비 전력화, 경량 및 박형화 등의 장점을 지닌 평판디스플레이(FPD : Flat Panel Display)로 급속하게 대체 되고 있다.

LCD는 점차 대형화, 고휘도화 되고 있으며, 이 크기는 커지고 두께는 감소되고 있으며, 표면에 미세패턴의 적용이 점차 증가하고 있다.

표면에 미세패턴이 균일하게 분포하는 박판을 성형 할 경우 금형의 Gate 위치, 크기, 두께와 수

지의 온도, 금형온도, 사출속도 및 압력 등의 성형 공정조건 따라 성형품의 미성형 및 변형, 혹은 과도한 잔류 응력에 의한 기계적, 광학적 특성의 저하가 나타나게 되고, 박판성형의 특성상 용융수지가 금형에 충전 되는 동안 표면으로부터 고화가 진행되어 유동성이 급하게 저하되는 현상이 나타나게 된다. 또한 급격하게 저하된 유동성으로 구조물의 전사를 어렵게 하는 문제점 등이 나타나게 된다.⁽¹⁾ 따라서 대면적 미세 패턴 성형품을 사출 제작하는 경우 금형 내부에서 발생하는 용융수지의 유동, 온도변화, 압력변화 등의 다양한 현상을 측정하고 그 영향을 규명하여 사출 성형 공정을 최적화 하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 미세패턴이 존재하고 있는 300mm \times 200mm 면적과 두께 2.6mm에서 0.7mm를 가지는 제품을 사출 성형하고, 성형된 제품의 상단부와 하단부에 존재하는 미세패턴의 성형성을 비교하였다. 또한 사출 성형시 발생하는 압력과 온도를 실시간 측정하고, 비교·분석하여 미세패턴의 위치별 전사성의 상관관계에 대한 차이를 분석하였다.

[†] 서울산업대학교 금형설계학과

E-mail : wan18185@nate.com

TEL : (042)868-7879 FAX : (042)868-7149

* 한국기계연구원 나노공정 장비연구센터

** 충남대학교 메카트로닉스공학과

2. 사출성형의 실험장비

2.1 사출성형제품 및 실험 장비

본 연구에서 진행하게 될 300mm×200mm 크기와 2.6mm에서 0.7mm의 불균일한 두께를 가지며, 크기 50 μ m, 90° 각을 이루는 Prism pattern이 표면에 분포되어 있는 쉐기형 도광판을 사출 성형 하기 위하여 사출성형 금형을 제작 하였다. 실험에 사용한 수지는 Asahi사의 PMMA Grade 80NH를 사용 하였으며, 사출 성형을 위해 사용된 사출성형기는 Sumitomo사의 SE550D를 사용하였다. **Table 1**은 사출성형기의 사양을 나타낸 것이며, **Fig 1**은 제품의 형상과 미세패턴이 분포되어 있는 위치, 그리고 미세패턴의 형상을 나타낸 것이고, **Fig 2**는 사출 성형품의 형상을 나타낸 것이다.

Table 1 Specification of Injection molding machine

Clamp force	550tf
Max. Injection pressure	2050kgf/cm ²
Max. hold pressure	1640kgf/cm ²
Max. Injection speed	130mm/s

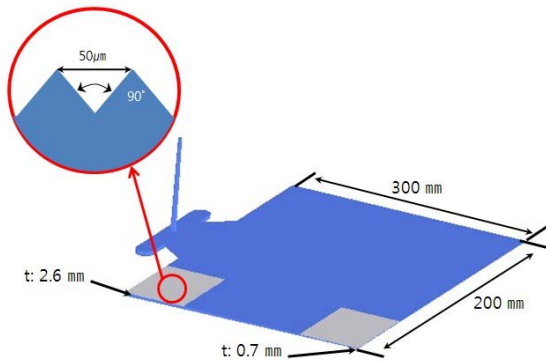


Fig. 1 Design of product and shape of Micro patterns

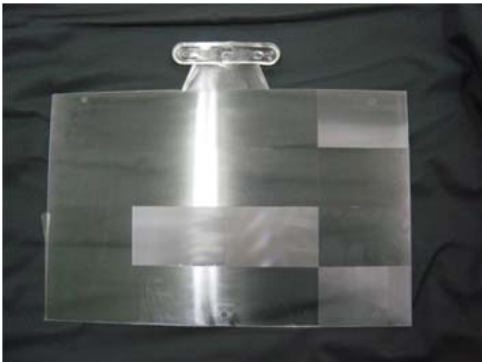


Fig. 2 Result product from injection molding

2.2 사출성형 측정 장비

사출 성형을 진행할 때 금형 Cavity 상단과 하단 부분에서 일어나는 수지 유동의 온도 및 압력을 실시간으로 측정하기 위하여 압력센서와 온도센서를 각각 이동측(Moving part)과 고정측(Fixing part)에 장착 하였다. 압력 센서는 Strain gage 타입의 사출용 센서를 설치하였으며, 온도 센서는 Thermocouple K 타입을 사용 하였다. **Fig. 3**에서 보듯이 Fixing part는 16개의 Core Block으로 이루어져 있으며, 각 Core Block의 중앙부에는 온도센서를 설치하였다. 온도를 측정한 Core Block은 미세패턴이 가공 되어져 있는 우측 상단부(Upper corner)와 하단부(Bottom corner)를 측정하였다. 또한 압력 센서의 위치는 Moving part의 Cavity에 좌측 상단부와 하단부에 설치하였으며, 이는 미세패턴이 존재하고 있는 Core Block과 같은 위치에서 압력을 측정할 수 있기 때문이다.

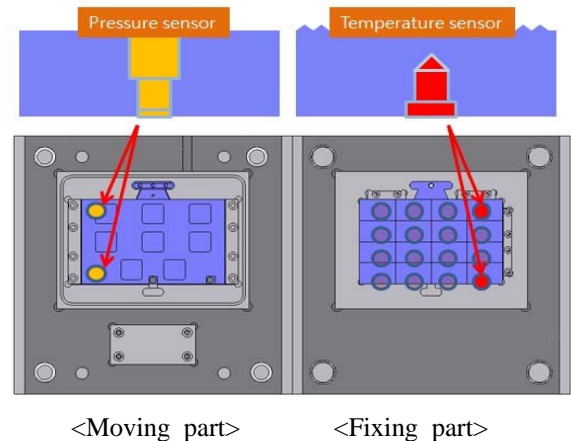


Fig. 3 Sensors in Mold

3. 사출성형 및 측정 결과

표면에 미세패턴이 균일하게 분포하고 있는 제품을 성형 할 경우 앞에서 언급 하였듯 성형 공정조건 따라 제품의 성형에 있어 문제가 발생하게 되고, 제품의 사출 성형의 특성상 용융 수지가 금형에 충전 되는 동안 표면으로부터 고화가 진행되어 유동성이 급하게 저하되는 현상이 나타나게 된다. 이러한 고화 현상은 제품의 위치마다 차이를 나타내게 되며, 유동수지의 흐름과 사출 성형 중 발생하는 압력과 온도 등에 영향을 받아 미세패턴의 전사성에 큰 영향을 미치게 된다. **Table 2**와 같이 저속저압, 저속고압, 고속저압, 고속고압의 4가지 공정조건을 실험하였다. 이런 4가

지 공정조건을 통해서 제품 상단부와 하단부에 있는 미세패턴 영역에 가해지는 압력, 온도 등을 측정하여 이런 성형 요소들이 미세패턴의 전사성에 어떤 영향을 미치며, 또 위치에 따라 얼마나 차이가 있는지 그 결과와 원인을 분석 할 수 있다. 저속은 사출성형기에 최대 속도의 50%로 설정하였으며, 고속은 100%로 설정하였다. 또 압력은 보압 영역으로 제어 하였으며, 저압은 peak press의 20%로 설정하였으며, 고압은 70%로 4가지 공정 모두 확연히 다른 성형조건을 갖도록 설정하였다. 그 밖에 금형온도는 70°C로 동일한 조건을 주었으며, 보압, 시간 및 스크루의 위치 그리고 수지 가소화 온도 역시 같은 조건을 주었다. 성형품은 각각의 공정 당 10회를 성형 한 후 11번째에서 15번째의 제품까지의 Peak pressure와 Filling time을 체크 하였으며, 제품의 상단부와 하단부의 미세패턴 측정 비교 하였다.

Table 2 Injection molding operational conditions

저속	1.5	1.5	1.5	1.5	sec	3.5	6	14	24	34	mm
저압	150	200	200	250	kgf/c	60	65	70	75	80	mm/s
저속	1.5	1.5	1.5	1.5	sec	3.5	6	14	24	34	mm
고압	550	600	600	650	kgf/c	60	65	70	75	80	mm/s
고속	1.5	1.5	1.5	1.5	sec	3.5	6	14	24	34	mm
저압	150	200	200	250	kgf/c	115	120	125	130	120	mm/s
고속	1.5	1.5	1.5	1.5	sec	3.5	6	14	24	34	mm
고압	550	600	600	650	kgf/c	115	120	125	130	120	mm/s

Table 3 Peak pressure and Filling time

	Peak press		Filling time	
저속저압	878	kgf/c	0.61	sec
저속고압	880	kgf/c	0.61	sec
고속저압	785	kgf/c	0.45	sec
고속고압	805	kgf/c	0.45	sec

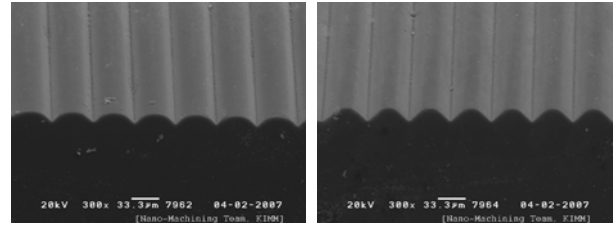
Table 3은 앞에서 실험한 4가지 공정조건의 Peak pressure와 Filling time의 결과이며, 앞에서 실험한 11번째부터 15번째까지의 결과 값의 평균을 나타내었다. Peak pressure는 고속보다 저속에서 높은 압력을 나타냈으며, 고압의 경우 저압과 비슷하나 고압이 약간 더 높게 측정 되었다.

Fig. 4에서 Upper corner에 1번과 2번, 5번과 7번을 비교해 보면 프리즘 모양의 패턴이 완벽하게 전사 된 것은 아니지만 고압을 준 3번이 1번보다 또 7번이 5번 보다는 패턴의 전사된 높이가

더 큼을 알 수 있다. 1번과 5번, 3번과 7번을 비

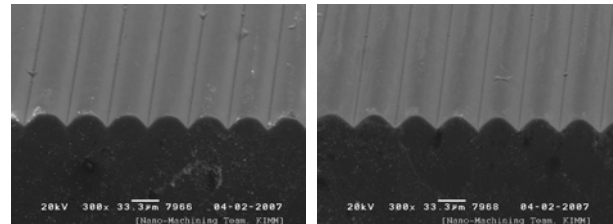
<Upper corner>

<Bottom corner>



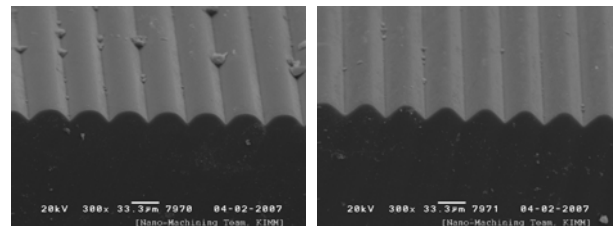
1 <저속저압>

2



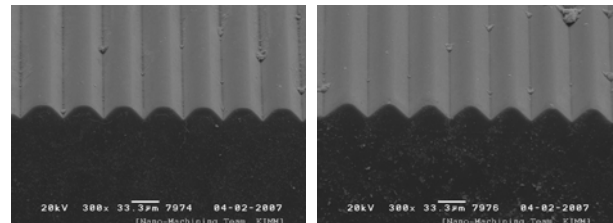
3 <저속고압>

4



5 <고속저압>

6



7 <고속고압>

8

Fig. 4 Variations of micro patterns according to processing conditions from upper & bottom

교해 보면 같은 압력 조건에서 5번이 1번 보다 7번이 3번 보다 패턴의 전사가 잘 된 것을 알 수 있다. 이것은 고속사출이 저속사출보다 미세패턴의 전사가 더 향상된 것을 알 수 있다. Bottom corner를 보면 전체적으로 각 공정별로 패턴 전사의 구분이 어렵지만 2번과 8번을 비교해 보면 둥근모양의 패턴 모양인 2번에 비해 8번은 좀 더 각이 진 프리즘 모양패턴인 것으로 보아 저속저압 보다는 고속고압에서 패턴 전사가 더 잘 된 것을 알 수 있다. 또 1번과 2번, 3번과 4번과 5번, 6번, 7번과 8번을 각각 비교해 보면 Upper corner 보다 Bottom corner에 미세패턴이 더 잘 전사된 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5은 각 공정상의 Upper Corner의 압력 그래프를 나타내고 있으며, Fig. 6는 Bottom corner의 압력 그래프 나타낸 것이다. 사출 완료 시간인 0.5sec안에서의 압력의 변화를 나타내며, 사출이

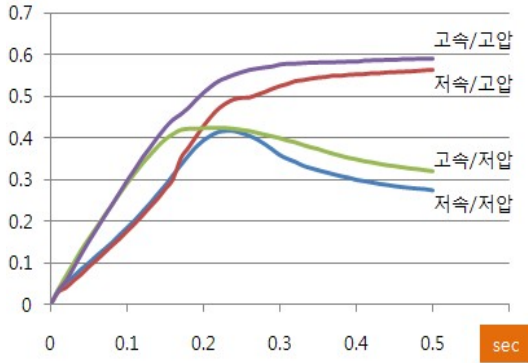


Fig. 5 Result of Pressure distribution from upper corner

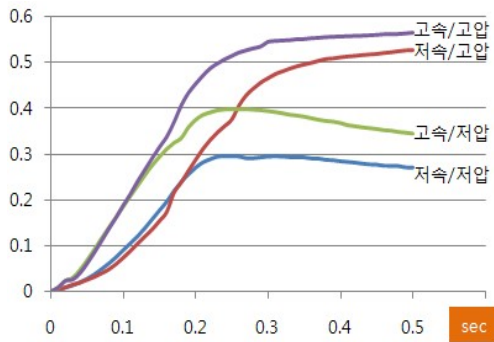


Fig. 6 Result of Pressure distribution from bottom corner

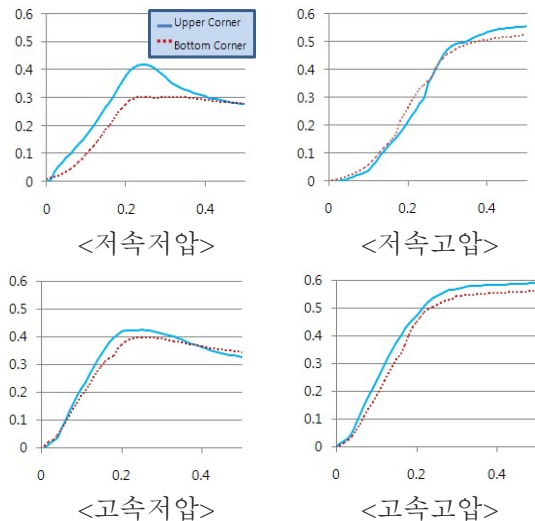


Fig. 7 Result of Pressure distribution from processing conditions

시작되고 0.2sec까지 고속으로 사출 한 공정의 압력이 저속으로 사출한 공정의 압력 보다 높게 나타나는 것을 알 수가 있다. 고속고압과 고속저압에서 0.2sec이후 고속고압의 경우는 그 압력에 계

속 꾸준히 증가형태를 유지하지만 고속저압의 경우는 압력이 서서히 낮아짐을 알 수 있다. 또 저속공정들의 경우 0.2sec이 후에 저속고압의 경우 고속고압의 경우와 마찬가지로 압력이 계속 증가하는 그래프를 보이며, 저속저압의 경우는 고속저압과 같이 감소한다는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 각각의 공정들에서 Upper corner와 Bottom corner의 압력의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. Upper corner가 Bottom corner보다 약간 압력이 높게 측정되나 거의 비슷하다고 할 수 있다. 다만 저속저압의 경우는 Upper corner가 Bottom corner보다 비교적 높게 압력이 측정 되었다. 이는 저속과 저압으로 인해 수지가 Bottom corner로 충분한 충전이 이루어지기 전에 고화되었기 때문이라 할 수 있겠다.

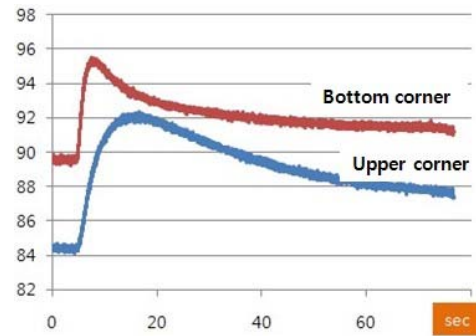


Fig. 7 Result of temperature distribution-1

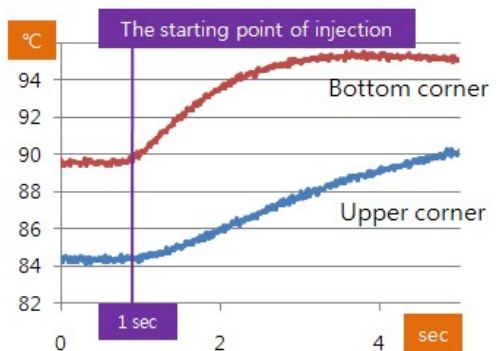


Fig. 8 Result of temperature distribution-2

Fig. 7은 사출공정의 한 사이클의 온도 변화를 나타낸 것이며 이를 보면 초기온도가 Bottom corner가 Upper corner보다 5°C정도 높게 측정되었다. Fig. 8은 사출 성형시 Upper corner와 Bottom corner의 온도 그래프이며, 사출이 시작되는 1sec는 물론 그 후 5sec까지도 Bottom corner가 Upper corner보다 5°C정도 높게 측정되었다. 사출성형기의 노즐에서 분사된 유동수지가 금형안의 Cavity로 들어 올 때, 높은 온도의 유동수지가 70°C의

비교적 차가운 Cavity 벽면과의 접촉하면 수지 표면의 고화 현상이 발생한다. 이런 고화현상은 수지의 흐름성을 막아 미세패턴의 전사성을 저하시킨다. 온도가 높다는 것은 이런 고화 현상을 지연시키고 사출 성형시에 발생하는 압력의 영향을 받아 미세패턴의 전사성을 향상시키는 것으로 예측 할수 있다.

초기 온도의 차이는 금형 Heating line과 금형 구조상의 원인으로 판단되며 이것에 관한 연구는 지금 진행 중에 있다.

4. 결론

본 연구에서는 300mm×200mm의 제품 표면에 존재하는 미세패턴의 전사성을 가지고 연구를 진행하였다. 이 제품 내에서도 특히 Upper corner와 Bottom corner에 존재하는 미세패턴의 전사성을 확인하기 위하여 4가지 공정 조건을 가지고 실험해 보았다. 그 결과 저속사출 보다는 고속사출, 저압사출 보다는 고압사출의 전사성이 향상되는 것을 알 수가 있다. 그리고 Upper corner 보다는 Bottom corner의 미세패턴의 형상이 더 잘 전사된 것을 알 수 있었다.

그 원인을 데이터 분석을 통해 알아보았고, 시점을 유동수지의 고화가 시작되는 사출시작 후 0.5sec 전의 온도 그래프를 확인하였다. 그 결과 고속사출이 저속사출 보다 압력이 더 빠르게 증가 하였으며, 고압사출이 저압사출 보다 높은 압력이 계속 유지 또는 증가하였다. 고속고압의 조건에서 미세패턴의 전사가 더 향상된 것은 높은 온도를 유지하는 유동수지가 금형의 Cavity안으로 빠르게 유입이 되면서 고화가 덜 진행된 상태의 유동수지에 충분한 압력이 제품 표면으로 가해져 미세패턴의 전사성 향상에 영향을 미쳤다고 판단되어 진다. Upper corner의 압력이 Bottom corner의 압력보다 좀 더 높게 측정 되었다. 이것은 유동수지의 고화가 진행되면서 게이트에서 가까운 Upper corner의 압력이 더 높게 측정된 것이라 할 수 있다. 그러나 이것으로 Bottom corner의 미세패턴 형상이 Upper corner보다 더 잘 전사된 것을 설명하기에는 부족하였으나 온도 데이터를 분석한 결과 Bottom corner의 온도가 Upper corner의 온도보다 5℃ 정도 높게 측정되었는데 이는 유동수지의 고화를 늦춰 미세패턴의 전사성 향상에

영향을 준 것으로 판단되며, Bottom corner의 미세패턴 전사성이 Upper corner 보다 높은 원인이라 생각된다.

고찰

본 연구에서 진행한 실험적 데이터를 바탕으로 보다 다양한 사출 성형 공정 조건과 사출 성형시 발생하는 압력과 온도의 데이터를 수집하고 분석하여 데이터 베이스를 구축한다면, 최적화된 공정 조건으로 미세패턴의 제품을 사출 성형 할 수 있는 기반을 구축 할 수 있을 것이라 판단된다.

후기

본 연구는 산업자원부 특정연구 개발과제 사업으로 진행중인 대면적 미세형상의 초정밀/지능화 가공 원천 기술 사업의 지원으로 이루어진 것입니다.

참고문헌

- (1) S. M. Hong, T. J. Je, D. S. Choi, E. S. Lee, D. J. Lee., "A Study on Micro V-groove cutting character at ductile materials by the Diamond Tool" *KSPE*, PP. 1597-1600, 2005.
- (2) Doosun, C., Taejin, J., Eunjoo, H., and Yeongeun, Y., "A study of Mold Fabrication Technologies on Large Surface by Shaping," *KSME-JSME workshop*, 2005
- (3) E. J. Hwang, Y. E. Yoo, T. J. Je, D. S. Choi., "Data Acquisition of Thin-Wall Injection Molding Cavity with Micro Pattern." *KSPE*, PP. 1601-1604, 2005
- (4) Imihezri, S. S. S., Sapuan, S. M., Ahmad, M. M. H. M., and Sulaiman, S., "A study of the comparison of 'V' and 'X' ribbing in a composite pedal using mold flow analysis software," *Materials and Design*, Vol. 26, PP. 157-166, 2005.
- (5) T. H. Kim, Y. E. Too, D. S. Choi, T. J. Je, Y. W. Park, S. J. Choi, "A study on the micro pattern replication difference in injection molding" *KSME*, PP. 1391-1395, 2006.