

고분자 미세패턴 복제용 6인치 스탬퍼를 이용한 열가압 성형의 실험적 연구

Experiment Study on Hot Embossing Using a 6-inch Stamper for Polymer Micro Pattern Replication

*홍석관, 김종덕, 허영무, #강정진

*S. K. Hong, J. D. Kim, Y. M. Heo, #J. J. Kang(doublej@kitech.re.kr)
한국생산기술연구원 정밀금형팀

Key words : Hot embossing, 6-inch stamper, Micro pattern replication

1. 서론

NIL(NanoImprinting Lithography) 기술 중의 핫엠보싱(hot embossing) 기술은 기판(substrate) 위에 열가소성 수지나 열경화성 수지를 도포한 다음 압력을 가해 마치 도장을 찍듯 패턴을 전사하는 나노 소자 제작 방법으로, 기존 노광 공정에 비해 단순하고 비용이 낮은 장점이 있어 차세대 패턴 형성 기술로 주목 받고 있다[1]. 본 연구에서는 자체적으로 개발된 성형기의 공정특성을 분석하기 위한 일환으로 6인치 대면적 고분자 미세 패턴링의 기초공정연구를 수행하였다.

2. 실험준비

핫 엠보싱 공정의 순서는 일반적으로 로딩(loading)단계, 진공화(evacuating)단계, 가열(heating)단계, 가압(pressing)단계, 냉각(cooling)단계, 디몰딩(demolding) 단계로 진행된다[2]. 여기서 가열과 가압단계의 공정변수는 제어인자로, 나머지 단계의 공정변수는 고정인자로 설정하였다.

2.1 실험 장비

본 실험에서 사용된 장비는 KTP-106 으로서, 한국생산기술연구원에서 고분자 미세 패턴링을 목적으로 개발된 성형기이다. 본 장비의 주요사양은 Table 1 에 명시하였다.



Fig. 1 Thermal pressing machine(KTP-106)

Table 1 Specification of KTP-106

Specification	Unit	Value
Press force	kN	< 100
Press force stepping	N	< 150
Heating-up time (40℃ to 200℃)	minute	< 4
Cooling period (200℃ to 40℃)	minute	< 10
Max. embossing temperature	℃	< 300
Temperature stability	℃	±1
Vacuum/chamber	mbar	< 1
Max. embossing area	mm	Ø150

2.2 테스트 패턴

6인치 대면적 전사성을 평가하기 위하여 Fig. 2 에 도시한 바와 같이 니켈 스탬퍼에 총 16 개소의 패턴 그룹을 배치시켰으며, 각 영역에는 다양한 크기의 음각패턴들이 깊이 10µm 으로 각인 되어 있다. 본 연구에서는 폭 5µm(aspect ratio:2.0), 10µm(aspect ratio:1.0), 20µm(aspect ratio:0.5) 크기의 패턴을 대상으로 성형시험을 수행하였다.

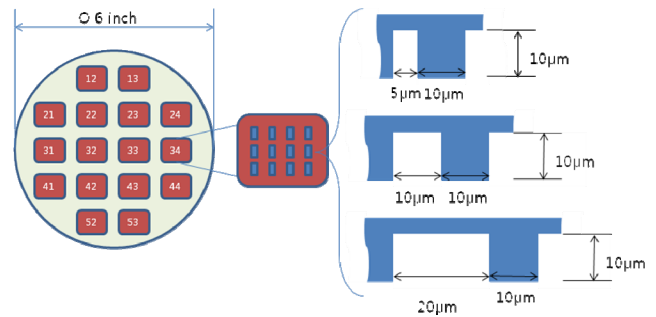


Fig. 2 Various micro size(width) patterns on the nickel stamper for the experiment study on hot embossing

2.3 고분자 소재

성형대상의 고분자 소재는 두께 1mm 의 PMMA sheet 이며, HI855-grade 로 LG 화학에서 생산된 제품을 사용하였다.

2.4 표준작업절차 (Standard Operating Procedure)

핫 엠보싱 공정 중에서 가열과 가압단계의 공정변수를 제외한 모든 공정변수들을 고정인자로 구분하여 Table 2 와 같이 SOP 를 만들어 일률적으로 실험하였다.

Table 2 Standard Operating Procedure in the fixed process factors

Fixed process factors	Value	Corresponding factors
Loading temperature	40℃	Air trap
Initial force	300 N	Thermal transfer, clamping workpiece
Vacuum until heating	0.2 Torr	Air trap
Heating steps	2 steps	Overshoot of heating target
Pressure control	PDMS cushion	Pressure uniformity
Unloading temperature	70℃	Pattern defect
Demolding temperature	40℃	Pattern defect

3. 실험

핫 엠보싱의 주요공정인자에 대한 패턴의 충전율을 분석하기 위해 가열온도, 가압력, 가압시간에 따른 기초공정 실험을 수행하였다. 이로부터 각 패턴 크기에 따른 적정 공정법(recipe)을 결정할 수 있으며, 충전율과 패턴의 결합에 영향을 미치는 공정변수도 파악하였다.

3.1 실험조건

가열 및 가압단계의 공정 변수인 가열온도, 가압력, 가압시간의 수준을 Table 3 에 제시하였다. 각 인자수준의 설정 범위는 충전율의 경향을 파악할 수 있게 기존의 실험을 통해 얻은 결과를 근거로 선별된 수치이다.

Table 3 Experiments and conditions

Process factors	Unit	Value
Heating	℃	120, 130, 140
Pressure	MPa	1.1, 2.2, 3.3
Pressing time	Second	60, 150

3.2 가압력과 성형온도의 영향

가압력이 3.3MPa(6ton)이고, 가압시간이 60 초일 때 온도에 따른 충전율을 도시한 그래프를 Fig. 3 에 나타내었다. 성형온도가 130℃에서 10, 20µm 크기의 패턴이 95%이상의 충전율을 보이는 반면, 5µm 크기의 패턴은 140℃에서도 60% 미만의 충전율을 보였다. 또한, 이때 스탬퍼의 가운데 영역(area33)과 가장자리 영역(area13)의 충전율이 심하게 차이가 남을 알 수 있다.

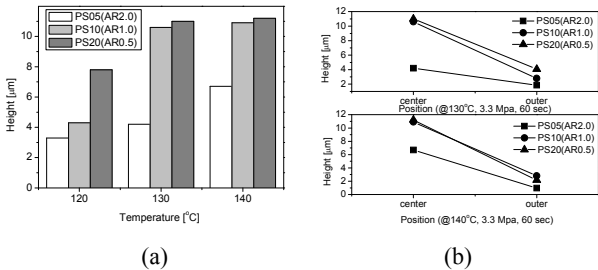


Fig. 3 Filling depth(height) (a) for different temperature; 3.3Mpa, 60second, area33 (b) for different area; 130℃, 3.3Mpa, 60second (upper), for different area; 140℃, 3.3Mpa, 60second (lower) (PS : pattern size, AR : aspect ratio)

3.3 가압시간의 영향

가장 높은 충전율을 보인 성형온도 140℃, 가압력 3.3Mpa 을 대상으로 가압시간에 따른 충전율을 평가한 그래프를 Fig. 4 에 도시하였다. 5µm 크기의 패턴이 95%이상 충전되기까지 약 300 초가 소요되는 것을 볼 수 있다. 또한, 스탬퍼의 가운데 영역(area33)과 가장자리 영역(area13)의 충전율 편차도 감소하는 것을 볼 수 있다.

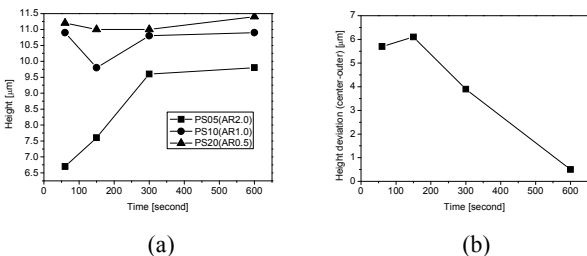


Fig. 4 (a) Filling depth(height) for different pressing time in the area33; 140℃, 3.3Mpa (b) Filling depth(height) deviation between area33 and area13 for different pressing time; 140℃, 3.3Mpa (PS : pattern size, AR : aspect ratio)

3.4 보압의 영향

가압단계가 끝나고 냉각단계에서 T_g 까지 냉각하는 동안 가압력을 유지하였을 때와 가압력을 제거하고 냉각했을 때 충전율을 비교하였고, Fig. 5 에 그래프를 도시하였다. 같은 성형온도, 가압력에서 보압(holding pressure)을 적용했을 때 충전율과 대면적 충전율 편차가 향상되는 것을 볼 수 있다.

또한, 가압시간이 60 초이고, 보압을 적용하였을 때와 가압시간이 300 초이고, 보압을 적용하지 않았을 때의 결과와 유사하였다. 한편, 130℃ (3.3Mpa, 300 초)에서 보압을 적용하였을 때는 디폴딩 후 패턴의 결함이 발생하였다.

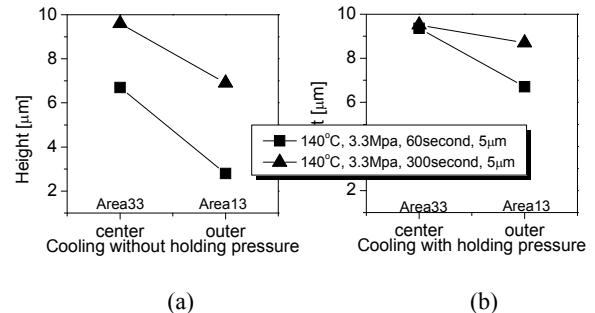


Fig. 5 Filling depth(height) deviation between area33 and area13 for cooling (a) without pressure (b) with pressure; PS 5µm, 140℃, 3.3Mpa

4. 성형성 평가

지금까지 실험결과를 바탕으로 다음과 같은 조건으로 최종 성형테스트를 수행하였으며, 측정결과를 Fig. 6 에 도시하였다.

- (a) 140℃, 3.8Mpa(7ton), 60 초, 보압적용 (Fig. 6-a)
- (b) 140℃, 3.8Mpa(7ton), 300 초, 보압적용 (Fig. 6-b)

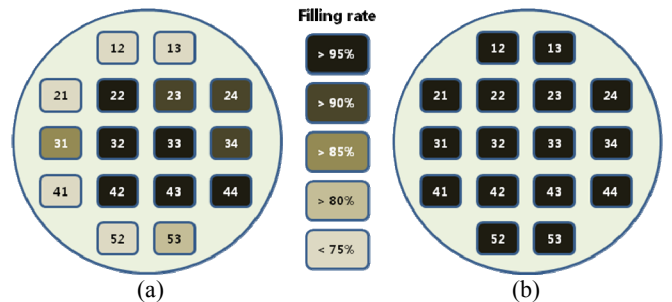


Fig. 6 Filling rate distribution on the 6-inch PMMA sheet after thermal pressing using the KTP-106 with recipe (a) @140℃, 3.8Mpa, 60second, holding pressure (b) @140℃, 3.8Mpa, 300second, holding pressure

5. 결론

본 연구에서는 자체적으로 개발된 성형기의 공정특성을 분석하기 위한 일환으로 기초공정연구를 수행하였으며, 높이 10µm, 선폭 5µm 의 패턴을 6 인치 대면적으로 전사성 95%이상, 결함없이 성형하였다.

후기

본 연구는 2010 생산기반혁신기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Chou, S. Y., Krauss, P. R., Renstrom, P. J., 1996, Imprint Lithography, J. Vac. Technol. B, Vol. 14, No. 6, pp. 4129 ~ 4133.
2. Becker, H., Heim, U., 2000, Hot embossing as a method for the fabrication polymer high aspect ratio structures, Sensors and Actuators, 83, pp. 130 ~ 135.