

PC소재의 선형 패턴 제작에 관한 연구

정유나¹, 이은경², 강충길[#]

A study on Linear Pattern Fabrication of Plate-type PC

Y. N. Joung, E. K. Lee, C. G. Kang

Abstract

Recently, a demand of nano/micro patterned polymer for display or biochip has been rising. Then many studies have been carried out. Nano/micro-embossing is a deformation process where the workpiece materials is heated to permit easier material flow and then forced over a planar patterned tool. In this work, the hot-emboss process is performed with different forming conditions; forming temperature, load, press hold time, to get the proper condition for linear pattern fabrication on plated-type polymers (PC). Replicated pattern depth increases in proportion to the forming temperature, load and time. Reduction of the workpiece thickness increases according to press hold time. In process of time, reduction ratio of workpiece thickness decreases because of surface area increment of the workpiece and pressure decline on it.

Key Words : Hot embossing, Plate-type polymer, Polycarbonate, Formability, Bulging, Reduction of sample thickness

1. 서론

Hot-embossing (Micro/nanoimprint) 기술은 미세패턴/유로가 각인된 몰드를 피 가공소재 표면에 press하여 전사시키는 고정밀, 저비용, 고생산성 공정이다[1]. 미소광학소자[2], 평판디스플레이용 회로, 저장매체[3], 나노/마이크로 유로[4] 등의 제작과 관련하여 주목을 받고 있는 기술이며, 최근에는 실용화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Hot-emboss 온도는 폴리머 소재의 유동온도 (T_f , flow temperature)보다 높게 설정하는 것이 바람직한데, 그 이유는 T_f 이상에서 저장탄성계수와 점성이 급격히 감소하기 때문이다[5]. 반면에, 평판형 소재의 경우, hot-emboss 온도가 높을수록 벌징 (bulging)에 의한 시편 전체의 변형이 발생하기 쉽다. 벌징에 의한 시편의 면적변화는 가압력을 감소시킨다. 또한, 벌징된 부분은 성형 후 후처리(절단)에 의해서 제거되어야 하므로, 시편의 벌징을 최소화 하면

서 패턴을 전사시키는 것이 중요하다. 본 연구에서는 50%의 패턴밀도를 가지는 마이크로 몰드를 이용한 평판형 Poly-carbonate (PC)의 hot-emboss 실험을 통해, 온도(T)와 하중 (P), 성형시간이 성형성(d: 전사깊이)과 벌징에 의한 시편 형상변형에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법 및 조건

2.1 장비 및 소재

Hot-emboss용 소재로는 2 mm 두께, $15 \times 15 \text{ mm}^2$ 크기 PC를 사용하였다. Polycarbonate (PC) 소재는 나노임프린트를 통한 데이터 저장을 목적으로 많은 연구가 진행되고 있으며, PC의 T_g 는 150°C 이다.

Fig. 1(a)은 hot-emboss 장치 사진을 나타내고 있다. Ni 몰드는 Si micromachining과 Ni 전주공정에

1. 부산대학교 정밀기계공학과
2. 부산대학교 하이브리드소재솔루션협동과정(NCRC)
교신저자: 부산대학교 기계공학부, E-mail:cgkang@pusan.ac.kr

의해 제작되었다. Ni 몰드의 치수 및 구성을 Fig. 1(b)에 나타내었다. 패턴 영역은 폭 10 μm , 깊이 10 μm 인 중형비 1:1의 선형마이크로 패턴으로 구성되어 있다.

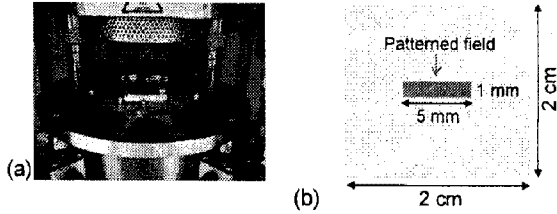


Fig. 1 (a) Photograph of hot-emboss system (b) Schematic of mold design

몰드 및 성형된 시편의 표면형상은 광학현미경으로 관찰하였으며, 간섭계 현미경 (Zygo New View 5000)과 AFM 장비 (XE-100)을 이용하여 패턴의 치수를 측정하였다.

2.2 실험조건의 설정

하중 (P)와 가압시간 (t_H)을 증가시켜 전사된 패턴의 깊이의 증가를 가져올 수 있지만 별징으로 인한 시편 전체의 형상 변화가 발생하게 된다. PC의 성형성 평가를 위해 상하부편치의 온도를 동일하게 설정한 후 하중 및 압입시간을 변화시켜 Hot-embossing을 실시하였다.

성형 전후 시편의 표면조도를 AFM을 이용하여 측정하였고, 성형후 전사된 패턴의 깊이 측정을 위해 AFM 및 간섭계 현미경을 이용하였다.

3. 결과 및 토론

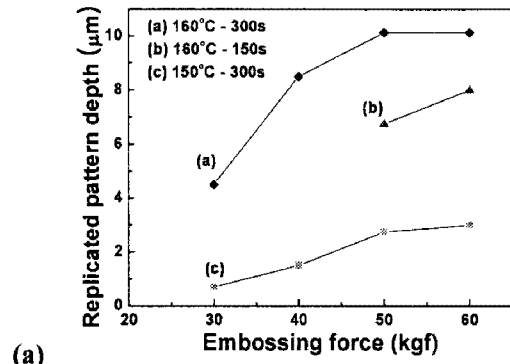
3.1 성형조건에 따른 패턴 전사 깊이

PC 소재의 성형성, 표면조도의 변화, 별징의 특성 및 별징을 최소화하면서 완전충진을 얻을 수 있는 조건을 조사하기 위하여 성형조건(성형온도, 하중, 성형시간)을 변화시켜 hot-emboss를 실시하였다.

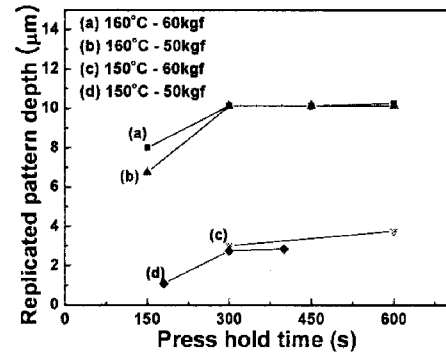
성형 온도는 150 $^{\circ}\text{C}$ ~ 180 $^{\circ}\text{C}$ 까지 증가시켰고, 하중은 30 kgf ~ 60 kgf 까지, 성형시간은 180 s ~ 600 s로 증가시켰다. 실험조건은 별징에 의해 증가된 최종시편면적이 몰드의 면적을 초과하지 않는 범위로 제한되었다.

Fig. 2는 하중, 온도, 가압유지시간의 변화에 따

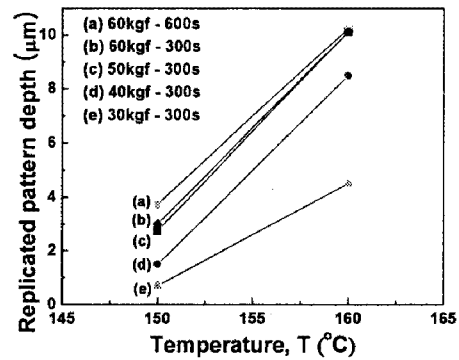
른 패턴의 전사깊이 변화를 나타내고 있다. 전사깊이는 패턴부의 중심부 깊이를 측정된 결과이다. 성형온도가 높을수록 하중증가에 따른 패턴 전사깊이의 증가율이 높았으며, 고온고압일수록 가압유지시간의 효과는 큼을 알 수 있었다. $T=160^{\circ}\text{C}$, $P=50$ kgf, $t_H=300$ s 일 때, 패턴의 완전충진을 얻을 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 2 The relationship between the replicated depth and the process parameters; (a) emboss force (P), (b) press-hold time (t_H) and (c) emboss temperature (T)

3.2 성형온도에 따른 패턴 전사 깊이

성형 온도변화에 따른 성형성과 시편전체의 형상변화 특성을 알아보기 위해 실험을 수행하였다.

각 시편의 성형조건을 Table 1 에 나타내었다. 170 °C 이상 고온에서의 급격한 시편두께의 변화로 인해서 압입시간을 100 s로 설정하였다.

Fig. 3 는 성형 후 각각의 시편 패턴부 형상을 광학 현미경으로 촬영한 사진이다. 완전충진 된 Fig. 3 (a), (b), (c) 패턴의 형상은 Fig. 3 (d)와 달리 상단부가 몰드 패턴의 형상이 전사되어 평평해 진 것을 확인할 수 있었다. AFM 과 간섭현미경으로 패턴의 전사깊이를 측정해본 결과로 시편 1, 2, 3 의 경우 10.125 μm, 시편 4 의 경우 2.75 μm 로 측정되었다.

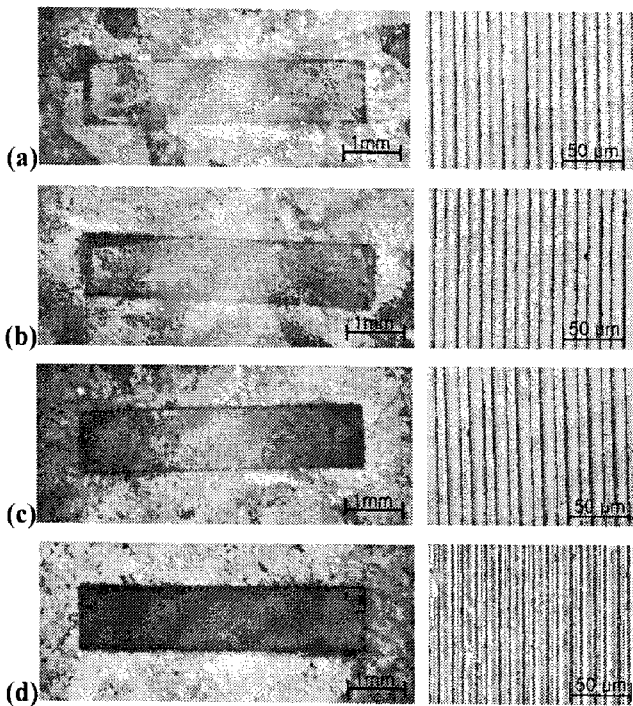


Fig. 3 Optical micrographs image of the replicated PC sample surface after hot-emboss process (a) sample 1 (b) sample 2 (c) sample 3 (d) sample 4

Table 1 conditions of hot-emboss (PC)

Sample num.	1	2	3	4
T (°C)	180	170	160	150
P (kgf)	50	50	50	50
t_H (s)	100	100	300	300

3.3 성형온도에 따른 시편 형상/두께 변화

성형온도는 패턴의 전사뿐 아니라 시편의 전체

적인 형상변화와 두께 변화에 영향을 주는데 Fig. 4 에 hot-emboss 후 변화된 시편의 형상을 나타내었다. 성형온도가 170 °C 이상인 경우 초기크기 1.5 X 1.5 cm 인 폴리머의 크기가 성형후 크기 2 X 2 cm 인 몰드의 크기보다 커짐을 확인할 수 있었다. 160 °C 이하의 온도에서 성형한 경우 시편의 형상 변화는 현저히 줄어들게 되고, 150°C 에서 성형한 Fig. 4 (d) 의 경우 시편의 형상변화가 육안으로 관찰하기 어려웠다.

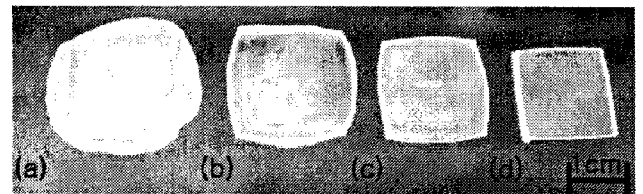


Fig. 4 Photographs of PC samples hot-embossed under different heating conditions (a) sample 1 (b) sample 2 (c) sample 3 (d) sample 4

동일 하중 ($P = 50$ kgf)으로 가압할 경우 성형 온도가 높을수록 폴리머의 유동이 활발하고 벌징 효과가 현저하다.

벌징률 (bulging ratio)을 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$R_b = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 (\%/s) \quad (1)$$

여기서 L_0 는 시편의 초기 가로 혹은 세로 길이 (1.5 cm)이다. L_1 은 성형 후 벌징된 시편의 가로, 세로 최고 길이이다. 전체 벌징률을 가로 및 세로 벌징률의 평균으로 나타낼 수 있다.

벌징률은 sample 1 ($R_b = 0.54$ %/s), sample 2 ($R_b = 0.346$ %/s), sample 3 ($R_b = 0.051$ %/s), sample 4 ($R_b = 0.0223$ %/s)였다. Hot-emboss 공정이 진행될수록 편치의 변위 즉, 시편의 두께 감소가 진행되고 이것은 성형온도가 높을수록 현저하다.

시편의 두께 감소율 (reduction ratio of sample thickness)을 식 (2)와 같이 정의 하였다. 여기서 H_0 는 시편의 초기 두께, H_1 은 성형후 시편의 두께이다.

$$R_r = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100 (\%/s) \quad (2)$$

Fig. 5 은 hot-emboss 공정의 진행 (가압시간 t_H) 에 따른 시편의 두께감소를 나타낸 것이다. Sample 1 의 경우 ($T = 180^\circ\text{C}$) 시편의 두께 감소율이 0.685 %/s 로 sample 4 ($T = 150^\circ\text{C}$)의 0.067 %/s 보다 10 배 이상으로 관찰되었다.

Fig. 6 에 벌짐률과 시편두께 감소율과의 관계를 나타내었다. 벌짐률과 시편두께 감소율은 비례관계에 있으며 성형온도 160°C 와 170°C 사이에서의 변화가 급격함을 알 수 있다.

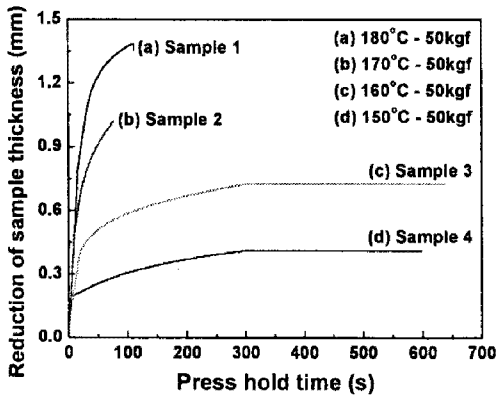


Fig. 5 Punch displacement (reduction of sample thickness) during hot-emboss process under the different forming conditions, samples 1, 2, 3 and 4

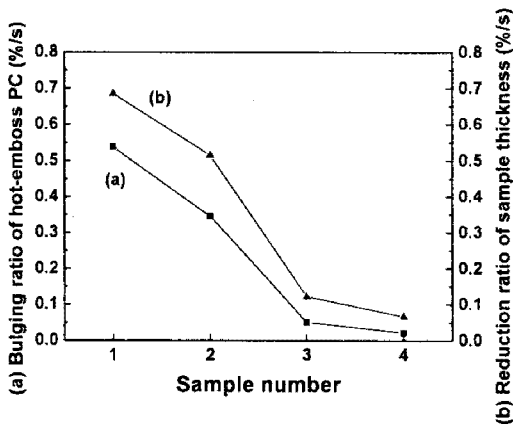


Fig. 6 Comparison between bulging ratio and reduction rate of hot-embossed PC samples 1, 2, 3 and 4

4. 결론

2 mm 두께의 평판형 PC 의 Hot-emboss 공정에서 공정인자 (온도, 하중, 시간)가 성형성과 벌짐량에 미치는 영향을 조사하였다. 성형온도가 높을수록 하중증가에 따른 패턴 전사깊이의 증가율이 높았으며, 고온, 고압일수록 가압유지시간의 효과는 크을 알 수 있었다. 본 연구에 사용된 몰드의 경우 2 mm 두께의 평판형 PC 에서 160°C 온도와 50 kgf 가압력 그리고 300 s 이상의 가압유지시간 조건에서 완전 충진을 얻을 수 있었다. 성형온도의 증가가 패턴의 전사깊이와 시편의 형상변화를 현저히 증가시키며 특히 160°C 와 170°C 사이에서 현저한 차이를 보였다.

후 기

본 연구는 학술진흥재단의 기초연구지원 기초과학과제 (과제번호: D00309)의 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] D. Hardt, B. Ganesan, W. Oi, M. Dirckx, and A. Rzepniewski, "Process Control in Micro-Embossing - A Review", Singapore MIT Alliance Programme (SMA) in Innovation in Manufacturing Systems and Technology (IMST), Jan. 2004. C.G
- [2] Choi, "Fabrication of optical waveguides in thermosetting polymers using hot embossing", J. Micromech. Microeng., Vol. 14, pp. 945-949, 2004.
- [3] B. Heidari, I. Maximov and L. Montelius, "Nanoimprint lithography at the 6 in. wafer scale", J. Vac. Sci. Technol. B Vol. 18, No. 6, pp. 3557-3560, 2000.
- [4] N. S. Cameron, H. Roberge, T. Veres, S. C. Jakeway and H. J. Crabtree, "High fidelity, high yield production of microfluidic devices by hot embossing lithography: rheology and stiction" Lab Chip, Vol. 6, No. 7, pp. 936-941, 2006.
- [5] L. J. Guo, "Recent Progress in nanoimprint technology and its application", J. Pzphys. D. 37, 123-141, 2004.