

## 열간나노임프린트공정을 이용한 평판형 폴리머 소재의 선형 패턴 제작에 관한 연구

정유나<sup>1</sup>, 이창수<sup>2</sup>, 윤성원<sup>3</sup>, 강충길<sup>#</sup>

### A study on Linear Pattern Fabrication of Plate-type Polymer by Using Thermal Nano Imprint Lithography Process

Y. N. Joung, C. S. Lee, S. W. Youn, C. G. Kang

(Received September 8, 2009 / Revised November 27, 2009 / Accepted November 30, 2009)

#### Abstract

In this work we demonstrate the hot-embossing process under different forming conditions such as forming temperature, load, and holding time in pressing, in order to determine the suitable conditions required for linear patterning on polymer plates (PC). Results showed that the replicated pattern depth increased in proportion to an increase in the forming temperature, load, and time. The reduction of the workpiece thickness increased according to the holding time in the pressing process. In the process of time, the reduction ratio of the workpiece thickness decreased due to the surface area increment of the workpiece, while the pressure on the workpiece declined. In order to reduce the bulging ratio we introduced a temperature difference between the upper and the lower punch.

**Key Words** : Hot Embossing, Nanoindenter, Plate-type Polymer, Polycarbonate, Formability, Bulging, Reduction of Sample Thickness

#### 1. 서론

핫엠보싱(Thermal Micro/nanoimprint) 기술은 미세 패턴/유로가 각인된 몰드를 피 가공소재 표면에 가압 하여 전사시키는 고정밀, 저비용, 고생산성 공정이다[1]. 미소광학소자[2], 광결정(photonic crystal)[3, 4], 평판디스플레이용 회로, 저장매체[5], 나노/마이크로 유로[6] 등의 제작과 관련하여 주목을 받고 있는 기술이며, 최근에는 실용화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내산업에서는 디스플레이나 바이오칩 분야를 중심으로 수요가 발생하고 있는데, 최근에는, 박막뿐만 아니라 평판

형 소재로의 적용이 증대하고 있다. 핫엠보싱 온도는 폴리머 소재의 유동온도( $T_f$ , flow temperature) 보다 높게 설정하는 것이 바람직한데, 그 이유는  $T_f$  이상에서 저장탄성계수와 점성이 급격히 감소하기 때문이다[7]. 즉, 성형하중을 감소시킬 수 있고, 탄성회복에 의한 치수 오차를 최소화 할 수 있다. 반면에, 평판형 소재의 경우, 핫엠보싱온도가 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 최소화하면서 패턴을 전사시키는 것이

1. 정유나 부산대학교 기계공학부  
2. 이창수 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 협동과정  
3. 윤성원 일본산업기술종합연구소 (AIST)  
# 교신저자: 강충길 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소  
(ERC/NSDM), E-mail:cgkang@pusan.ac.kr

중요하다. 본 연구에서는 50%의 패턴밀도를 가지는 마이크로 몰드를 이용한 평판형 Polycarbonate (PC)의 핫엠보싱 실험을 통해, 온도( $T_U$ : 상부편치 온도,  $T_L$ : 하부편치온도)와 하중( $P$ ), 성형시간이 성형성( $d$ : 전사깊이)과 별징에 의한 시편 형상변형에 미치는 영향을 조사하였다.

Polycarbonate(PC)의 핫엠보싱 실험 이전에 일정한 압입하중에서 온도의 변화가 소재에 미치는 영향을 조사하였다. 고온나노압입실험을 통하여 핫엠보싱 실험의 성형온도에서 다른 소재의 기계적 특성 및 압입깊이의 변화 양상을 조사하였다.

## 2. 핫 엠보싱 공정 조건의 설정

### 2.1 장비 및 소재

핫엠보싱용 소재로는 2mm 두께,  $15 \times 15 \text{mm}^2$  크기의 PC를 사용하였다. Polycarbonate(PC) 소재는 나노임프린트를 통한 데이터 저장을 목적으로 많은 연구가 진행되고 있으며, PC의  $T_g$ 는  $150^\circ\text{C}$ 이다. Fig. 1(a)는 핫엠보싱 장치 사진을 나타내고 있다. 최대  $3 \times 3 \text{cm}^2$  크기의 시편의 성형이 가능하며, 최대인가하중과 가열온도는 각각 2kN과  $700^\circ\text{C}$ 이다. 상하부 편치는 각각 히터를 내장하고 있다. Ni 몰드는 Si micromachining과 Ni 전주공정에 의해 제작되었다. Ni 몰드의 치수 및 구성을 Fig. 1(b)에 나타내었다. Ni 몰드의 패턴 형상을 알아보기 위해, 광학 현미경으로 관찰 한 후 간섭현미경을 이용하여 몰드의 패턴 치수를 측정하였다. 그 결과 패턴 영역은 폭  $10\mu\text{m}$ , 깊이  $10\mu\text{m}$ 인 중형비 1:1의 선형마이크로 패턴으로 구현된 것을 관찰할 수 있었다.

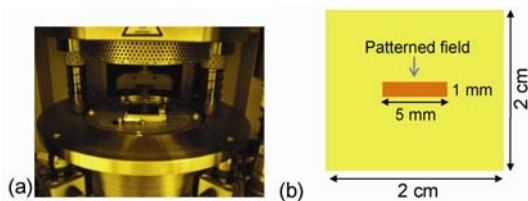


Fig. 1 (a) Photograph of hot-emboss system and (b) Schematic of mold design

열간나노압입실험을 위한 장비로는 미국 Agilent Technologies에서 제작된 Nanoindenter XP가 사용되었다. 압입자로는 끝단 반경이  $>20\text{nm}$ 로 알려진 다이아몬드 베르코비치(Berkovich)압자가 사용되었

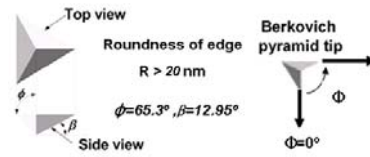


Fig. 2 Geometric of Berkovich tip

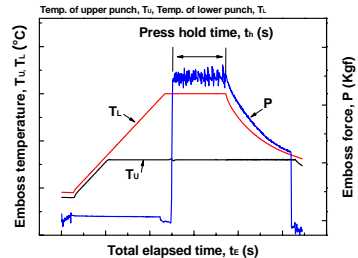


Fig. 3 Typical condition history for hot-embossing

다. Fig. 2는 본 연구에 사용된 Berkovich 팁에 대한 형상정보를 나타내고 있다.

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

### 2.2 실험조건의 설정

Fig. 3은 시간경과에 따른 성형온도와 하중의 변화를 나타내고 있다. 상하부 편치가 설정온도까지 가열되면 상부편치에 의한 가압이 시작되는데, 가압시 온도는 일정하게 유지된다. 시편의 별징을 감소시키기 위해서, 상하부편치의 온도를 조절하였다. 가압유지시간의 종료 후 상하부편치는 시편의 유리전이온도 이하로 자연냉각 된 후, 상부편치의 이동에 의해 이형공정이 완료된다. 이형 후 몰드는 아세톤 및 계면활성제인 이소프로필알코올 (IPA)로 세정되었다.

가압하중( $P$ )와 가압시간( $t_H$ )을 증가시켜 전사된 패턴의 깊이의 증가를 가져올 수 있지만 별징으로 인한 시편 전체의 형상 변화가 발생하게 된다. PC의 성형성의 평가를 위해 상하부편치의 온도를 동일하게 설정한 후 하중 및 압입시간을 변화시켜 핫엠보싱을 실시하였다. 한편, 완전 성형( $dr=10\mu\text{m}$ ) 조건하에서 별징을 최소화하기 위해 상하부 편치의 온도를 다르게 하여 핫엠보싱을 실시하였다. 성형 전후의 시편의 표면조도를 AFM을 이용하여 측정하였고, 성형후 전사된 패턴의 깊이

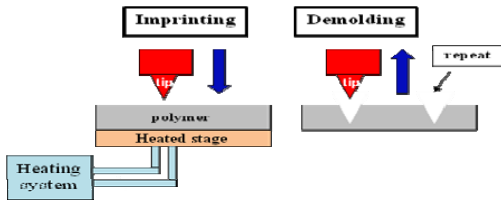


Fig. 4 Layout of the thermal nano-indentation process on polymer surface for hyperfine pit fabrication

측정을 위해 AFM 및 간섭계 현미경을 이용하였다.

Fig. 4 는 열간나노압입실험의 개략도를 나타내고 있다. Heating System을 이용하여 원하는 온도로 가열된 스테이지에 시편을 고정시킨 후 인덴터 장비에 장착된 tip을 이용하여 molding과 demolding을 반복 수행하여 시편의 열간 물성치 측정을 하는 동시에 패턴 제작을 하게 된다.

Hot emboss 실험의 온도 조건(150, 160 170, 180 °C)일때 평판형 PC의 기계적 특성을 나노압입실험을 통하여 조사하였다. 일정한 압입하중(500mN)에서 온도의 변화가 평판형 PC에 미치는 영향을 조사하고, Hot emboss 를 이용한 선형패턴을 제작하기 이전에 열간나노압입실험을 통하여 각각의 온도조건에서의 PC소재의 기계적 물성치를 조사하였다.

### 3. 결과 및 토론

#### 3.1 열간나노압입실험

평판형 폴리머 소재의 유리전이온도 근처에서 열간나노압입실험을 통하여 최대압입하중의 변화가 경도와 탄성계수의 측정값에 미치는 영향을 조사하였다. 탄성계수는 Sneddon Stiffness Equation (식(1))에 형상 보정상수  $\beta$  를 곱한 식(2) 로부터 계산된다.

$$S = \frac{dP}{dh} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{A_c E_r} \quad (1)$$

$$E_r = \frac{1}{\beta} \frac{\sqrt{\pi} S}{2 A_c} \quad (2)$$

본 연구에서는 베르코비치팁이 사용되었으므로 압자형상보정상수  $\beta$  는 1.034이다.  $E_r$ 은 환산탄성계수로 시편의 탄성계수  $E_s$  와 압자의 탄성계수  $E_i$  는 식(3)과 같은 관계가 있다.

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1-\nu_s^2)}{E_s} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i} \quad (3)$$

여기서  $\nu_s$  와  $\nu_i$  는 각각 시편과 압자의 프와송비를 나타내며, 다이아몬드 압자의  $E_i$ 와  $\nu_i$  는 각각 1141GPa과 0.07이다

시편의 경도는 압입하중과 접촉투영면적( $A_c$ )으로부터 계산할 수 있으면 식(4)과 같다.

$$H = \frac{P}{A_c} \quad (4)$$

식 (2)-(4) 로부터 접촉깊이가 증가할수록 접촉투영면적이 증가하므로, 경도 및 탄성계수가 감소함을 예측할 수 있다.

열간나노압입실험은 성형온도 변화에 따라 일정한 압입하중으로 가압하였을 때, 압입깊이, 경도 및 탄성계수를 측정하였다.

성형온도 조건인 180°C에서는 열간나노압입실험이 이뤄지지 않았다. 이것은 온도의 영향으로 폴리머 소재의 유동이 크게 일어나 나노인덴터가 소재의 표면을 인식하지 못하여 열간나노압입실험이 이뤄지지 않았다. 그러므로 열간나노압입실험은 150, 160, 170°C에서 실시하였다.

Fig. 5, 6은 성형온도와 압입깊이, 경도 및 탄성계수와의 관계를 나타내고 있다. 성형온도가 증가할수록 최대압입하중에서의 평균 압입깊이는 17335, 21158, 27745nm로 압입깊이가 증가하였으며, 압입경도 및 탄성계수가 감소하는 현상을 관찰 할 수 있었다.

#### 3.2 성형조건에 따른 패턴 전사 깊이

PC소재( $T_g=150$  °C)의 성형성, 표면조도 변화 및 별징특성을 관찰하기 위해 성형조건(온도, 하중, 압입시간)을 변화시켜 핫엠보싱을 실시하였다. PC의 별징을 최소화하면서 완전충진을 얻을 수 있는 조건을 조사하기 위하여 하중, 온도, 가압유지시간의 변화에 따른 핫엠보싱 실험을 실시하였다. 성형 온도는 150°C~180°C 까지 증가시켰고, 하중은 294N~588N까지, 성형시간은 180s~600s로 증가시켰다. 실험조건은 별징에 의해 증가된 최종시편면적이 몰드의 면적을 초과하지 않는 범위로 제한되었다.

Fig. 7은 하중, 온도, 가압유지시간의 변화에 따른 패턴의 전사깊이 변화를 나타내고 있다. 전사깊이는 패턴부의 중심부 깊이를 측정한 결과이다.

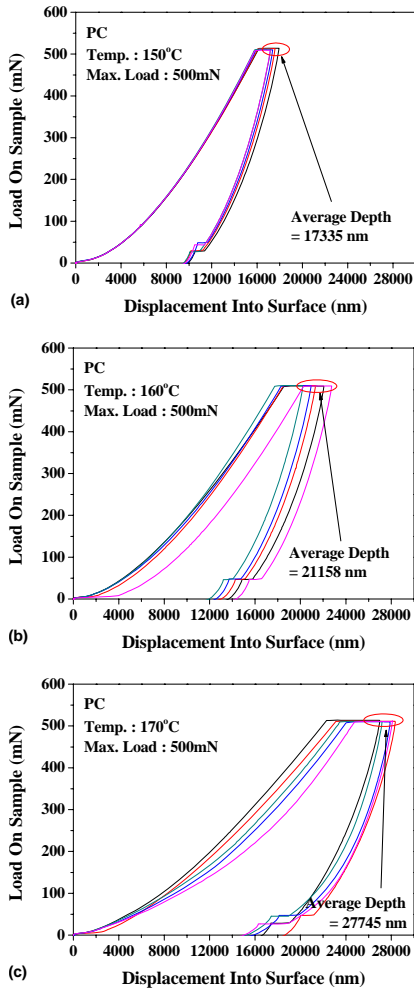


Fig. 5 Load-displacement curves with increasing temperature

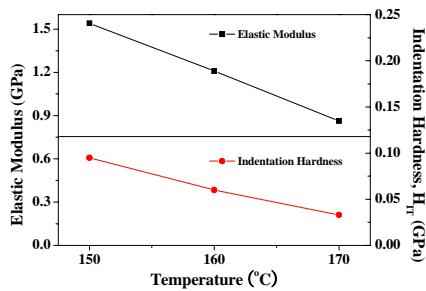


Fig. 6 Variation of the modulus and hardness with increasing temperature

성형성을 알아보기 위한 실험으로 상하부 펀치의 온도를 같게 설정하였다. 성형온도가 높을수록 하

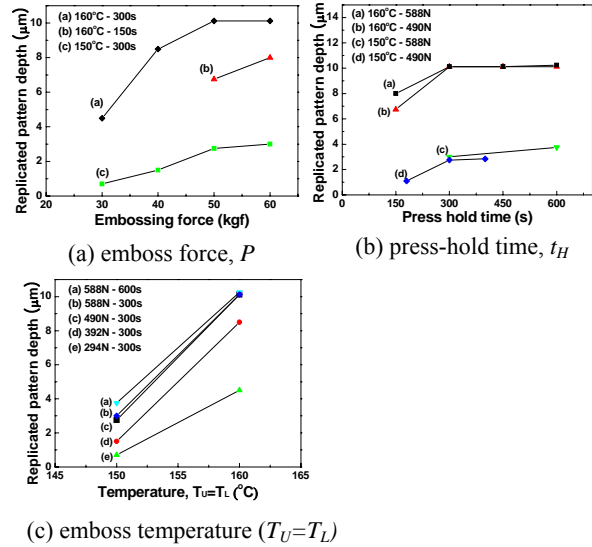


Fig. 7 The relationship between the replicated depth and the process parameters

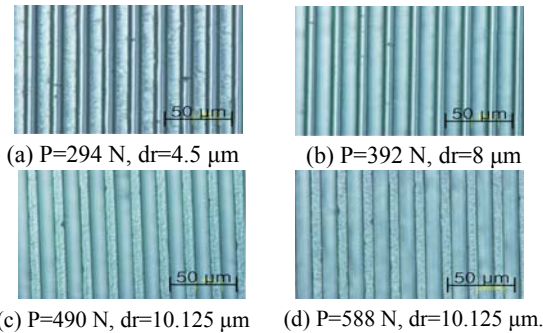


Fig. 8 Optical micrographs image of the replicated PC sample surface after hot-emboss process according to embossing force ( $T_U = T_L = 160\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_H = 300\text{ s}$ )

중증가에 따른 패턴 전사깊이의 증가율이 높았으며, 고온, 고압일수록 가압유지시간의 효과는 کم을 알 수 있었다.  $T_U = T_L = 160\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 490\text{ N}$ ,  $t_H = 300\text{ s}$ 일 때, 패턴의 완전충진을 얻을 수 있었다.

Fig. 8는 압입 하중에 따라 핫엠보싱성형 후 전사된 패턴 깊이를 관찰하기 위한 시편의 광 현미경 현상 사진이다. 성형온도는  $160\text{ }^\circ\text{C}$ 로 동일하게 설정되었고 압입하중을 294, 392, 490, 588N로 증가시켜 실험을 수행하였다. 성형 후 전사된 패턴 깊이는 각각 (a)  $4.5\ \mu\text{m}$ , (b)  $8\ \mu\text{m}$ , (c)  $10.125\ \mu\text{m}$ , (d)  $10.125\ \mu\text{m}$ 로 관찰되었다.  $160\text{ }^\circ\text{C}$ 의 성형 온도에서 490 N이상의 하중에서 패턴의 중심부에서의 전사

깊이가 100% 성형됨을 알 수 있다.

3.3 성형온도에 따른 패턴 전사 깊이

성형하중 490N하에서 성형 온도변화에 따른 성형성과 시편전체의 형상변화 특성을 알아보기 위해 실험을 수행하였다. 각 시편의 성형조건을 Table 1에 나타내었다. 170°C이상의 온도에서는 고온으로 인한 시편의 급격한 두께 변화로 인해서 압입시간을 100s로 설정하였다.

Fig. 9는 성형된 시편의 패턴부 형상을 광학현미경으로 촬영한 사진이다. 핫엠보싱 과정에서 몰드 패턴 영역 내에서 폴리머의 유동은 몰드의 패턴 영역 밖으로 밀어내면서 발생한다[8]. 좌측의 사진은 패턴부의 전체 형상을, 우측의 사진은 패턴부의 중심부를 각각 촬영한 것이다. 패턴의 전사깊이는 AFM과 간섭현미경으로 측정하였고, 광학현미경을 통해서 Fig. 9 (a), (b), (c) 에서의 우측 사진에서와 같이 완전충진 된 패턴의 형상은 Fig. 9(d)와 달리 상단부가 몰드 패턴의 형상이 전사되어 평평해진 것을 확인할 수 있었다. 실제 측정된 결과로 시편 1, 2, 3의 경우 패턴의 전사깊이가 10.125 $\mu$ m, 시편 4의 경우 2.75 $\mu$ m 로 측정되었다.

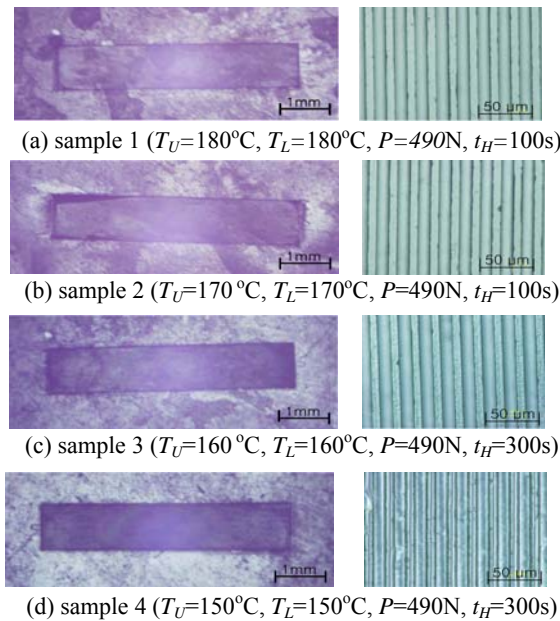


Fig. 9 Optical micrographs image of the replicated PC sample surface after hot-emboss process

**Table 1 conditions of hot-emboss (PC)**

Sample num.	1	2	3	4
$T_U$ ( $^\circ\text{C}$ )	180	170	160	150
$T_L$ ( $^\circ\text{C}$ )	180	170	160	150
$P$ (N)	490	490	490	490
$t_H$ (s)	100	100	300	300

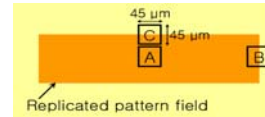


Fig.10 Schematic of AFM observation positions on the formed sample 4

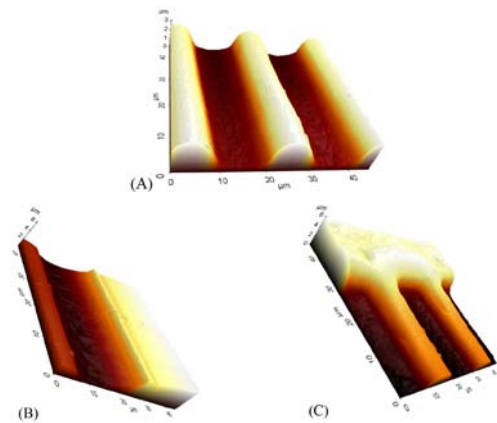


Fig.11 AFM image of center part of replicated pattern (sample 4), The replicated height of pattern of center part was 2.75 $\mu$ m

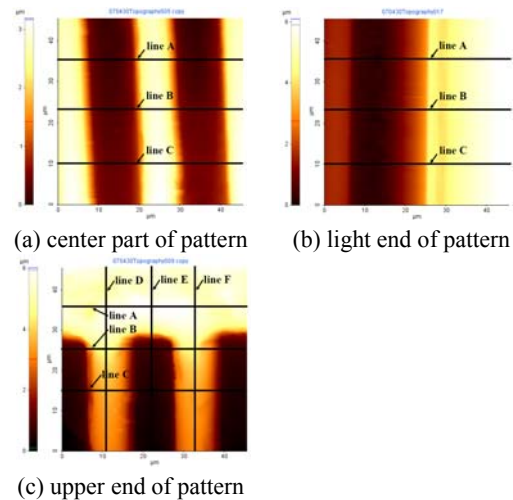


Fig.12 Replicated pattern image and lines A, B, C, D, E and F for observation of section on sample 4 by using AFM



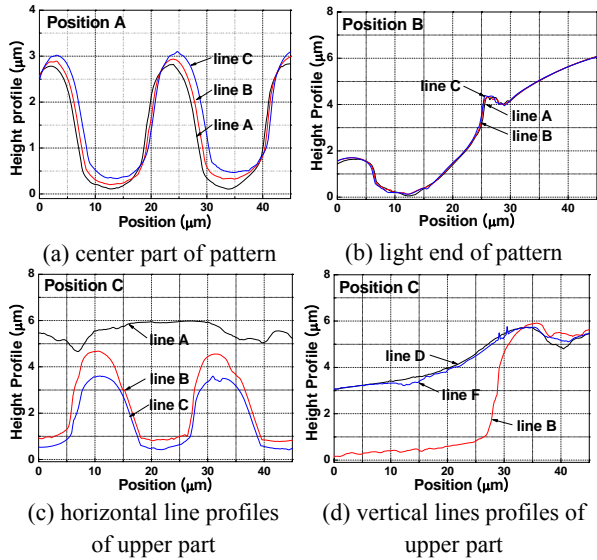


Fig.13 Surface profiles along lines A, B, C, D, E and F in Fig. 6

핫엠보싱 과정에서의 폴리머의 유동현상을 관찰하기 위해 불완전 성형된 시편 4의 패턴부를 AFM으로 관찰하였다. Fig. 10에 관찰 위치를 나타내었으며, 실제 관찰된 사진을 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 12의 line에 따라 관찰된 높이 프로파일을 Fig. 13에 나타내었다. 패턴 전사 깊이는 (a) 중심부에서 2.75 $\mu\text{m}$ , (b) 우측끝단에서 1.7 $\mu\text{m}$ , (c) 상부끝단에서 3.55 $\mu\text{m}$ 로 관찰되었다. Fig. 13 (b)와 (d)에서 폴리머 유동에 의한 주름이 관찰되었는데, 이것은 패턴외곽으로 빠져나갔던 폴리머들이 패턴부로 재유입되는 폴리머와 만나는 과정에서 발생하는 것으로 보인다.

몰드의 가압에 의한 패턴외곽 부위 폴리머의 패턴부위로의 재유입은 Fig. 13(d)에서 패턴의 전사 깊이가 중심부의 깊이보다 약 0.8 $\mu\text{m}$  깊은 것을 통해 확인할 수 있다. Fig. 13(b)와 같이 패턴 우측 끝단의 전사깊이가 낮은 이유는 패턴 외곽으로 빠져나가는 폴리머 유동이 중앙부에 비해 자유롭고 외곽으로부터의 재유입 방향이 몰드 선 패턴의 방향과 수직으로 되어있어 재유입이 어려웠기 때문이다. Fig. 14에 AFM 관찰을 토대로 하여 핫엠보싱공정에 의한 폴리머의 유동을 나타내었다. 철형 몰드의 패턴부에 의한 가압으로 폴리머가 패턴사이로 흐르며 이동하게 되고 바깥쪽 패턴의 전사 깊이는 중심부보다 적다. 패턴 외곽부로 빠져나가는 폴리머의 흐름은 외곽으로부터

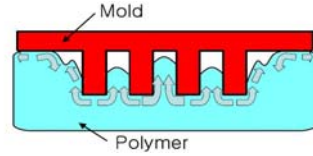
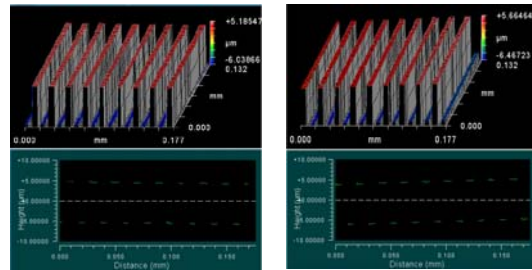
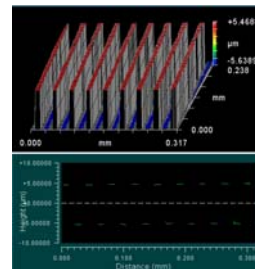


Fig.14 Schematic of polymer flow during hot-emboss



(a) sample 1

(b) sample 2



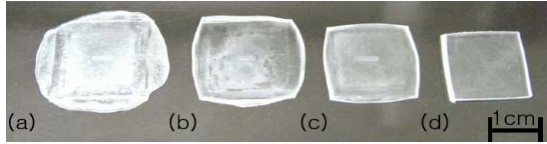
(c) sample 3

Fig.15 Interferometer image of the replicated PC sample surface hot-embossed under the complete filling conditions

재유입되는 폴리머의 유동에 의해 저지되며 주름을 생성하게 된다. 몰드의 가압으로 인하여 폴리머의 두께는 전체적으로 감소하며 전사된 패턴부는 전체 폴리머의 평균적인 높이보다 낮다.

Fig. 15은 시편 1, 2, 3의 전사된 패턴의 중심부를 간섭현미경을 통해서 관찰한 그림이다. 시편 1, 2, 3의 경우 모두 전사패턴의 깊이는 10.125 $\mu\text{m}$ 이고 패턴의 상단부가 평평한 것을 통해 패턴의 완전한 전사가 이루어진 것을 알 수 있다.

3.4 성형온도에 따른 시편 형상/두께 변화  
 성형온도는 패턴의 전사뿐 아니라 시편의 전체적인 형상변화와 두께 변화에 영향을 주는데 Fig. 16에 핫엠보싱 후 변화된 시편의 형상을 나타내었다. 성형온도가 170 $^{\circ}\text{C}$  이상인 경우 초기크기 1.5 $\times$ 1.5cm인 폴리머의 크기가 성형후 크기 2 $\times$ 2cm인 몰드의 크기보다 커짐을 확인할 수 있었다.



**Fig.16 Photographs of PC samples hot-embossed under different heating conditions (a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3, (d) sample 4**

160°C 이하의 온도에서 성형한 경우 시편의 형상 변화는 현저히 줄어들게 되고, 150°C 에서 성형한 Fig. 16(d) 의 경우 시편의 형상변화가 육안으로 관찰하기 어려웠다.

동일 하중 (P=490N)으로 가압할 경우 성형 온도가 높을수록 폴리머의 유동이 활발하고 벌징 효과가 현저하다.

벌징률 (bulging ratio)을 식 (5)과 같이 정의하였다.

$$R_b = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100(\%/s) \quad (5)$$

여기서  $L_0$  는 시편의 초기 가로 혹은 세로 길이 (1.5cm)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. 핫엠보싱 공정이 진행될수록 펀치의 변위 즉, 시편의 두께 감소가 진행되고 이것은 성형온도가 높을수록 현저하다.

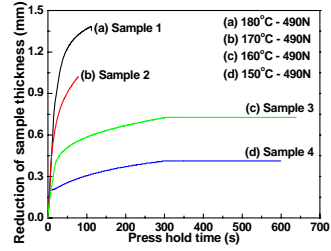
시편의 두께 감소율(reduction ratio of sample thickness)을 식 (6)와 같이 정의 하였다.

$$R_t = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100(\%/s) \quad (6)$$

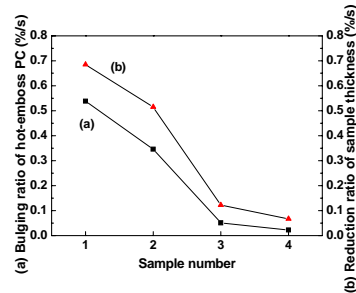
여기서  $H_0$  는 시편의 초기 두께,  $H_1$  은 성형후 시편의 두께이다.

Fig. 17 은 핫엠보싱공정의 진행(가압시간  $t_H$ )에 따른 시편의 두께감소를 나타낸 것이다. Sample 1 의 경우( $T_U=T_L=180^\circ\text{C}$ ) 시편의 두께 감소율이 0.685%/s 로 sample 4( $T_U=T_L=150^\circ\text{C}$ )의 0.067%/s 보다 10 배 이상으로 관찰되었다.

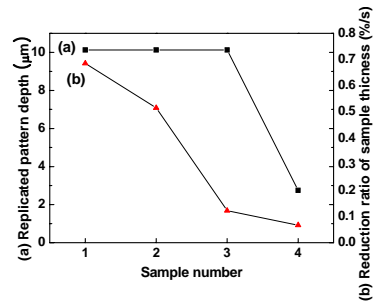
Fig. 18 에 벌징률과 시편두께 감소율과의 관계를 나타내었다. 벌징률과 시편두께 감소율은 비례 관계에 있으며 성형온도 160°C 와 170°C 사이에서



**Fig.17 Punch displacement(reduction of sample thickness) during hot-emboss process under the different forming conditions**



**Fig.18 Comparison between bulging ratio and reduction rate of hot-embossed PC**

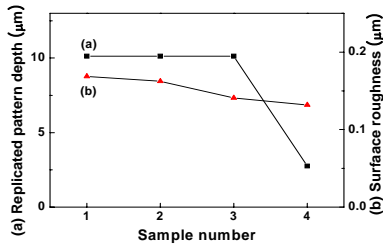


**Fig.19 Variation of the replicated pattern depth and reduction ratio of sample thickness(Position for measurement: center of patterned field)**

의 변화가 급격함을 알 수 있다.

Fig. 19 은 sample 1~4 의 전사패턴의 깊이와 두께 감소율의 관계를 나타낸 것이다. 가압하중 (P)이 490N 이고 상하부 펀치의 온도( $T_U = T_L$ )가 160°C 이상일 때 완전충진( $d_t=10.125\mu\text{m}$ )를 얻을 수 있었다. 성형온도 150°C 와 160°C 사이의 전사깊이는 각각 2.75 $\mu\text{m}$  와 10.125 $\mu\text{m}$  로 관찰되었다.

Fig. 20 은 sample 1, 2, 3, 4 의 핫엠보싱 성형 후 전사 패턴 깊이와 패턴부 외각의 표면조도를 비교



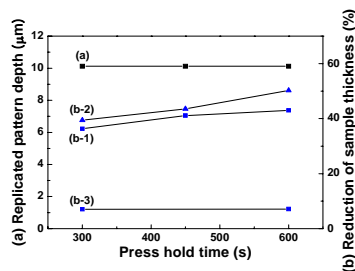
**Fig.20 Comparison between (a) replicated pattern depth and (b) surface roughness after hot-emboss process under the different forming conditions**

한 것이다. 성형전 PC의 표면조도는 0.0151μm, 몰드의 표면조도는 0.16μm이다. 핫엠보싱 공정후 몰드의 표면 및 패턴 사이에 증착된 PC 조각은 아세톤 및 계면활성제인 이소프로필알코올(IPA)로 세정되었다.

### 3.5 상/하부펀치 온도차에 의한 형상변화 감소

성형온도가 높을수록 패턴의 전사깊이는 깊어지는 반면에 시편의 형상변화도 현저해지는데, 패턴의 완전성형과 동시에 시편의 형상변화를 최소화 하기 위한 방편으로 상/하부 펀치의 온도를 다르게 하여 성형하였다. Fig. 21은  $t_H$ 에 따른 PC 패턴 전사깊이와 시편두께 감소(펀치변위/초기시편 두께×100%)의 변화를 나타내고 있다.

Table 2에 성형조건을 나타내었다. 일정한 압력에서 하부펀치의 온도만을  $T_g$ 보다 높게 설정하였을 경우, 패턴의 정밀도는 성형조건에 종속되지 않았다[9]. Test 1, 2와 달리 test 3에서의 상부펀치



**Fig.21 Variation of the replicated pattern depth and reduction ratio of sample thickness with increasing the press hold-time. (a) replicated pattern depth (b) reductions of sample thickness (b-1: test 1, b-2: test 2, b-3: test 3)**

**Table 2 conditions of hot-emboss (PC)**

Test num.	1	2	3
$T_U$ (°C)	160	160	100
$T_L$ (°C)	160	160	160
$P$ (N)	490	588	588
$t_H$ (s)	300, 450, 600	300, 450, 600	300, 600

의 온도는 PC의  $T_g$ 보다 낮은 100°C로 설정하였다. Test 1, 2, 3에서 모두  $t_H=300s$ 에서 10.125μm의 전사 깊이를 얻을 수 있었고,  $t_H$  증가와 함께 시편두께는 감소하였다. Test 3의 경우에 300s 경과시 시편 두께 감소율이 7.03%, 600s 경과한 후 두께 감소율은 7.14%로 test 2의 39.43%( $t_H=300s$ ), 50.25%( $t_H=600s$ )에 비해 현저히 낮은 두께 감소율을 보였다.

## 4. 결론

2mm 두께의 평판형 PC의 핫엠보싱공정에서 공정인자(온도, 하중, 시간)가 성형성과 별정량에 미치는 영향을 조사하였다. 성형온도가 높을수록 하중증가에 따른 패턴 전사깊이의 증가율이 높았으며, 고온, 고압일수록 가압유지시간의 효과는 큼을 알 수 있었다. 본 연구에 사용된 몰드의 경우 2mm 두께의 평판형 PC에 온도 및 가압력, 가압유지시간을 160°C, 490N, 300s 이상의 조건에서 완전 충진을 얻을 수 있었다. 성형온도의 증가가 패턴의 전사깊이와 시편의 형상변화를 현저히 증가시키며 특히 160°C와 170°C 사이에서 현저한 차이를 보였다. 발생 시편의 표면과 후면의 가열온도를 다르게 함으로써 별징을 감소시킬 수 있었고, 본 실험에서는 시편 표면의 온도를 160°C, 후면의 온도를 100°C로 설정하였다. 그러나 이러한 방법은 평판형 소재의 박막이 얇거나 넓은 경우 소재의 뒤틀림 현상을 초래할 수 있으므로 다양한 두께 및 크기의 시편에 대한 추가실험이 필요할 것이다.

## 후 기

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



참 고 문 헌

- [1] D. Hardt, B. Ganesan, W. Oi, M. Dirckx, A. Rzepniewski, Jan. 2004, Process Control in Micro-Embossing-A Review, Singapore MIT Alliance Programme(SMA) in Innovation in Manufacturing Systems and Technology(IMST).
- [2] C. G Choi, 2004, Fabrication of optical waveguides in thermosetting polymers using hot embossing, J. Micromech. Microeng., Vol. 14, pp. 945~949.
- [3] W. S. Kim, K. B. Yoon, B. S. Bae, 2005, Nanopatterning of photonic crystals with a photocurable silica-titania organic-inorganic hybrid material by a UV-based nanoimprint technique, J. Mater. Chem., Vol. 15, pp. 4535~4539.
- [4] K. Ishihara, M. Fujita, I. Matusubara, T. Asano, S. Noda, 2006, Direct Fabrication of Photonic Crystal on Glass Substrate by Nanoimprint Lithography, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, No. 7, pp. 210~212.
- [5] B. Heidari, I. Maximov, L. Montelius, 2000, Nanoimprint lithography at the 6 in. wafer scale, J. Vac. Sci. Technol. B Vol. 18, No. 6, pp. 3557~3560.
- [6] N. S. Cameron, H. Roberge, T. Veres, S. C. Jakeway, H. J. Crabtree, 2006, High fidelity, high yield production of microfluidic devices by hot embossing lithography: rheology and stiction, Lab Chip, Vol. 6, No. 7, pp. 936~941.
- [7] L. J. Guo, 2004, Recent Progress in nanoimprint technology and its application, J. Pzhys. D. 37, pp. 123~141.
- [8] H. C. Scheer, H. Schulz, 2001, A contribution to the flow behaviour of thin polymer films during hot embossing lithography, Microelectronic Eng., Vol. 56, pp. 311~332.
- [9] Yi-Je Juang, L. James Lee, Kurt W. Koelling, 2002, Hot Embossing in Microfabrication. Part 1: Experimental, Polym. Eng. Sci., Vol. 42, No. 3, pp. 539~550.