

## 레진의 경화 반응을 고려한 UV-NIL공정의 열특성에 관한 실험 및 수치해석 연구

김우송\* · 박경서\* · 남진현\*\* · 임홍재\*\* · 장시열\*\* · 이기성\*\* · 정재일\*\* · 임시형\*\* · 신동훈†

### Experiment and Numerical Study on Thermal Characteristics of UV-NIL Process Considering the Cure Kinetics of Photo-polymer

Woo-song Kim, Gyeong-seo Park, Jinhyun Nam, Hongjae Yim,  
Siyeol Jang, Keesung Lee, Jay Jeong, Sihyeong Lim, Donghoon Shin

**Key Words:** UV-NIL(나노임프린트 리소그래피), Thermal Characteristic(열특성), Resin(레진)

#### Abstract

The process conditions during ultraviolet nanoimprint lithography (UV-NIL) process such as temperature, stamping pressure, UV irradiation, etc. are effective factors for successful imprinting of complex and fine patterns. In this study, the effects of aluminum mold on the thermal characteristics of UV-NIL process were investigated through imprinting experiments and numerical simulations. The temperature of polymer resin on mold was measured to study thermal characteristics during UV curing. From the experimental and numerical results, the importance of curing reaction control for UV-NIL process was discussed for deformation characteristics.

#### 기호설명

$k_0, k_1$  = 온도에 따른 반응 활동 계수  
 $m, n$  = 반응 활동 계수  
 $Q_{rx}$  = 레진의 시간에 따른 발생열량(kJ/kg)  
 $L$  = 거리(m)  
 $\rho$  = 밀도(kg/m<sup>3</sup>)  
 $c_p$  = 비열(J/kg-K)  
 $k$  = 열전달 계수(W/m-K)

#### 1. 서 론

나노임프린트 리소그래피(Nanoimprint lithography)는 나노 구조물(nanostructure)이 각인된 몰드로 고분자 소재의 레지스트(resist) 표면에 압력을 가한 후에 경화시켜 나노 패턴을 반복적으로 전사하는 기술로, 반도체 및 디스플레이 제작 공정에 있어 차세대 핵심기술로 주목 받고 있다.

나노 임프린트 기술은 폴리머 레진을 경화시키는 방법에 따라 열을 이용한 가열식 나노 임프린트 기술과 자외선을 이용한 UV 나노 임프린트 기술로 나눌 수 있다. 사열식 나노 임프린트 기술은 100℃ 이상의 온도에서 운용되며, UV 나노 임프린트 기술은 상온에서 이용된다는 차이가 있다. 미국 프린스턴 대학의 Chou<sup>(1,2,3,4)</sup> 교수에 의해 제안된 가열식 나노 임프린트 기술은 다층화 작업이 필수적인 반도체 디바이스 제작에 있어, 열 변형에 의해 다층정렬이 어렵다는 단점을 가지고

† 국민대학교 기계자동차공학부  
 E-mail : d.shin@kookmin.ac.kr  
 TEL : (02)910-5036 FAX : (02)910-4839

\* 국민대학교 기계공학과

\*\* 국민대학교 기계자동차공학부

있다. 이에 반하여, UV 나노 임프린트 기술은 1996년 Haisma<sup>(5)</sup> 등에 의하여 최초로 제안되었는데, 열가소성 재질을 사용하는 가열식 나노 임프린트 기술과 달리 저점성 UV 광경화성 합성수지(resin)을 사용하는 것이 특징이다. 따라서 자외선을 이용한 나노 임프린트 기술은 상온 저압공정이 가능하여 다층화 공정 및 대량생산에 적합하다는 장점을 가지고 있다.<sup>(6,7)</sup>

그러나 자외선을 이용한 나노임프린트 기술이 수 나노급 선폭의 나노패턴을 수백 mm단위의 대면적에 전사하기 위해서는 열팽창을 고려한 열환경 정밀제어 기술이 필요하다.

본 연구에서는 레진의 발열 할 때 글래스와 몰드의 열전달 차이가 발생하는 것을 실험과 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였다. 이 결과는 자외선을 이용한 나노 임프린트 공정장비의 공정 정밀도를 향상시키기 위해 최적의 환경을 구축하는데 목적이 있으며, 나노 임프린트 공정장비 구축에 기본 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 원인 및 현상

### 2.1 지배방정식

레진의 발열량과 글래스 및 알루미늄 몰드의 열전달 차이를 규명하기 위한 지배방정식은 다음과 같다. 식(1)은 시간에 따른 레진의 온도변화를 나타낸 것이고, 식(2)는 레진의 반응률을, 식(3)은 레진의 시간에 따른 발생열량을 나타낸 것이다.<sup>(8)</sup>

$$\frac{dT}{dt} = \left( \frac{k(T1 - T2)}{L/2} + \frac{k(T3 - T2)}{L/2} \right) / (\rho \times c_p \times L) \tag{1}$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = (k_0 + k_1 \alpha^m)(1 - \alpha)^n \tag{2}$$

$$Q_{rx} = \rho_{resin} \times L_{resin} \times H_{resin} \times (k_0 + k_1 \times \alpha^n) \times (1 - \alpha)^m \tag{3}$$

### 2.2 모델링

레진의 발열특성 및 글래스와 알루미늄 몰드의 열전달 차이에 따른 온도변화를 알아보기 위하여 모델링을 하였다. UV-NIL과정을 1차원으로 표현하면 Fig 1과 같다.

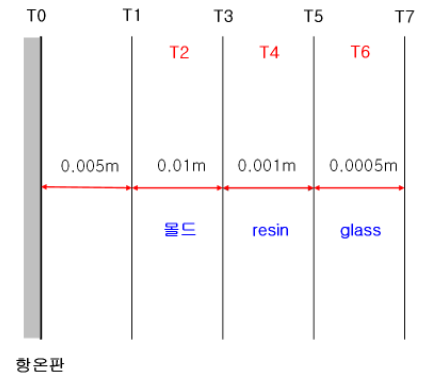


Fig. 1 1 Demension Model

Table 1 Material Properties

	Aluminum	Pylex Glass	Polymer Resin
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2700	2600	1150
$c_p$ (J/kg-K)	896	840	1883
$k$ (W/m-K)	180	1	0.35

## 3. 시뮬레이션

위의 모델을 토대로 SOPHT 프로그램을 사용하여 1차원 해석을 한 결과 각 구성 재료의 열전달 차이에 의한 온도 경향을 살펴보면 Fig 2와 같다.

또한 레진의 경화 진행률, 경화시 열발생과 시간에 따른  $\alpha$  값의 변화는 각각 Fig.3, Fig 4, Fig.5에 나타내었다.

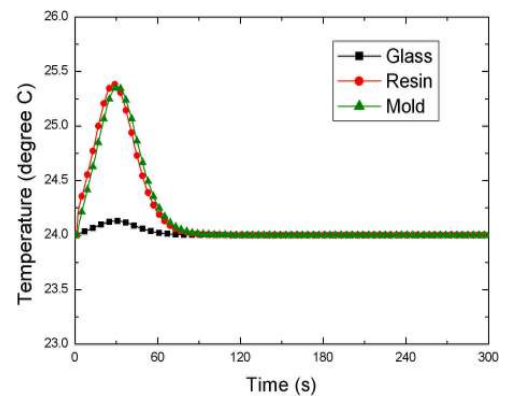


Fig. 2 Layer Temperature Histories

### 4. 실험

#### 3.1 실험장비

실험을 위하여 항온 유지가 가능하고 일정한 압력으로 가압할 수 있는 장비를 사용하였다. 실험 장비는 다음 Fig. 6과 같다.

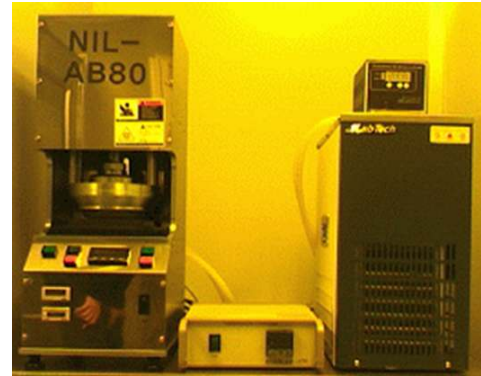


Fig. 6 System for UV-NIL process

#### 3.2 실험내용

실험의 전체적인 개념도는 다음 그림과 같다. 항온관의 온도를 24℃로 일정하게 유지하며 실험을 진행했다. 또한 전체적으로 1bar의 압력으로 균일하게 가압했다. 온도측정 장비로는 T-type Thermocouple을 사용하였다.

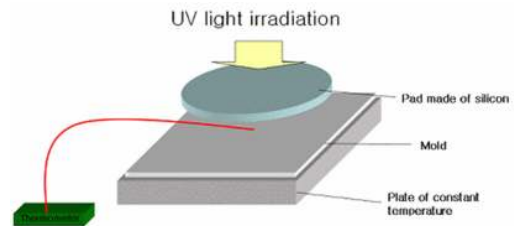


Fig. 6 Schematic diagram of experiment

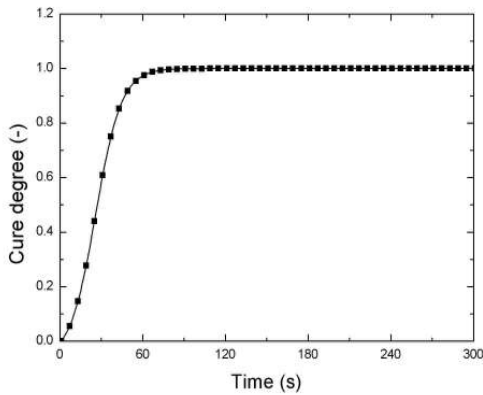


Fig. 3 Resin cure degree

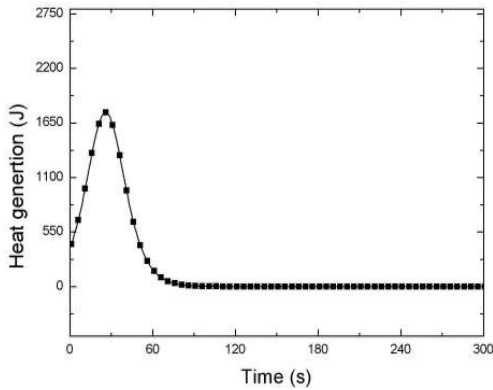


Fig. 4 Polymerization heat release

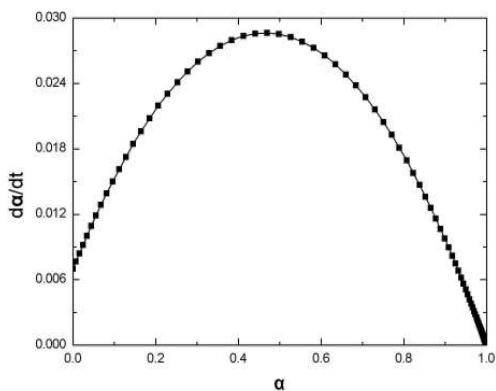


Fig. 5 Reaction rate vs time plot

위의 Fig.2에서 알 수 있듯이 레진의 경화시 발생한 열은 각 재료의 열전도계수의 차이로 인한 열팽창으로 인하여 몰드와 글래스의 변형을 야기시킬 것으로 예상된다.

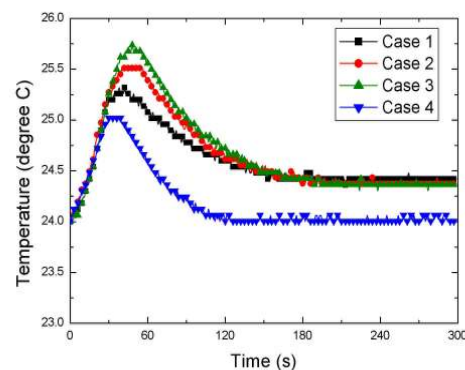


Fig. 7 Reaction temperature vs time plot

UV는 120초 동안 조사되었으며, 전체 레진의 양은 동일하다. 또한 Al6061재질의 몰드와 Pylex 글래스가 사용되었다. 실험결과는 다음 Fig. 7과 같다.

Fig. 7의 그래프에서 최종온도의 차이가 발생한 것은 Thermocouple의 위치에 따른 측정방법의 차이로 인한 결과로 사료된다.

## 5. 결론

자외선에 의해 합성수지가 경화되는 과정에서 광경화 발열에너지가 발생하고 각 물질의 열전도율의 차이로 인하여 온도차이가 발생하게 되는 것을 시뮬레이션과 실험을 통하여 비교하였다. UV-NIL 공정에서 정밀도 향상을 위하여 글래스와 몰드의 온도차에 대한 정확한 분석이 요구된다. 또한 온도차를 최대한 작게 유지함으로써 변형량을 최소화하는 것을 고려할 것으로 예상된다.

## 후 기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 지원으로 수행되었습니다.(과제번호 10583)

## 참고문헌

1. S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, 1995, "Nanoimprint lithography," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 67, pp. 3114-3118.
2. S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, 1996, "Nanoimprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 14, No. 6, pp. 4129-4133.
3. L. J. Guo, 2007, "Nanoimprint Lithography: Methods and Material Requirements," *Adv. Mater.*, Vol. 19, pp. 495.
4. W. Hong, Y. T. Lee, H. Gong, 2004, "Thermal analysis of layer formation in a stepless rapid prototyping process," *J. of Applied Thermal Engineering.*, Vol. 24, pp. 255-268.
5. J. Haisma, M. Verheijen, K. Heuvel and J. Berg, 1996, "Mold-assisted nanolithography: A process

for reliable pattern replication," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 14, No. 6, pp. 4124-4218.

6. D. J. Resnick, D. Mancini, W. J. Dauksher, K. Nordquist, T. C. Bailey, S. Johnson, S. V. Sreenivasan, J. G. Ekerdt, and C. G. Willson, 2003, "Improved step and flash imprint lithography templates for nanofabrication," *Microelectronic Engineering*, Vol. 69, Issues 2-4, pp. 412-419.
7. X. Fan, H. Zhang, S. Liu, X. Hu and K. Jia, 2006, "NIL: a low-cost and high-throughput MEMS fabrication method compatible with IC manufacturing technology," *Microelectronics Journal*, Vol., Issue 2, pp. 121-126.
8. Bejoy Francis, Geert Vanden Poel, Fabrice Posada, Gabriel Groeninckx, V. Lakshmana Rao, R. Ramaswamy, Sabu Thomas, 2003, "Cure kinetics and morphology of blends of epoxy resin with poly (ether ether ketone) containing pendant tertiary butyl groups," *J. of Polymer.*, Vol 44, pp.3687-3699.