

정수압을 이용한 미세 패턴 전사 신공정 개발

설재완¹, 주병윤², 임성한²

Development of New Micro Pattern Fabrication Process by Using Isostatic Pressing

J. W. Seol, B. Y. Joo, S. H. Rhim

Abstract

In the present investigation, we are newly developing a new forming process which can fabricate micro patterns on large-area polymeric substrates for high speed mass production. The key idea of the new process is to pressurize multiple vacuum-packed substrate-mold stacks above the glass transition temperature (T_g) of the polymeric substrates. The new process is thought to be promising micro-pattern fabrication technique in three aspects; firstly, isostatic pressing ensures the uniform micro-pattern replicating condition regardless of the substrate area. Secondly, the control of forming condition such as temperature and pressure can realize well-defined process condition exploited in the conventional hot embossing research field. Thirdly, multiple substrates can be patterned at the same time. A prototype forming machine for the new process was developed with the design consideration realizing the present idea. With a developed machine, micro prismatic array patterns with 50 um in size were successfully made on the 380 x 300 x 6 mm PMMA plate.

Key Words : warm isostatic pressing, micro hot embossing

1. 서론

미세 패턴 구현을 위한 여러 공정 방법 중 핫 엠보싱(hot embossing)기술은 피가공재인 폴리머를 성형이 가능한 유리전이온도(T_g) 이상으로 가열한 상태에서(Fig.1-(a)), 프레스로 압착하여 패턴을 전사하고(Fig.1-(b)), 성형압력을 유지한 채 냉각하여 피가공재를 경화시킨 후, 압력을 제거하고 몰드를 분리하여 제품을 생산한다(Fig.1-(c)) [1].

핫엠보싱 기술은 공정 구현이 단순하면서도 뛰어난 패턴 형상 전사성을 보인다. 지금까지 진행되었던 많은 연구에서 수십 마이크론(micron)에서 서브 마이크론(sub-micron) 크기의 성공적인 패턴 전사 결과들이 보고되고 있다[2]. 그러나 대상부품이 대면적화하고, 부품에 전사되는 패턴이 미세·복잡화되면서 핫엠보싱 공정에서 요구되는 프레스 압력 및 온도에 대한 균일도가 증가하여 기술 구현이 어려워지고 공정 비용이 급격히 상승하고 있다[3].

본 연구는 정수압 성형법을 이용하여 미세 패턴 전사 신공정을 개발하여 기존의 핫엠보싱과 같이 높은 전사성을 확보하면서, 이전 공정에서 구현하기 힘들었던 대면적 패터닝이 가능한 생산 공정을 개발하는 것을 목표로 하였다. 본 논문에서는 이를 위한 프로토타입 장비를 개발을 하였으며, 그 결과 380 x 300 x 6 mm 크기의 PMMA기판에 정수압 성형법을 적용시켜 50um크기의 미세 프리즘 어레이의 패턴을 성공적으로 성형하였다.

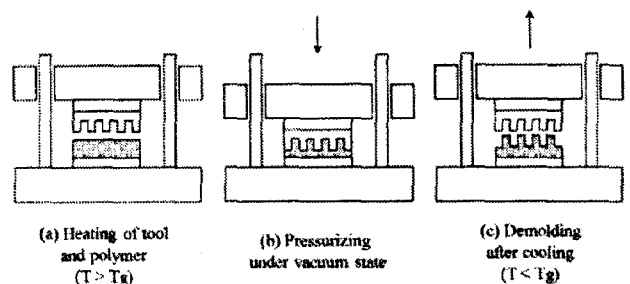


Fig. 1 Schematic of conventional hot embossing process

1. 한국기술교육대학교 대학원
2. 한국기술교육대학교 기계정보공학부

2. 정수압 성형 시스템의 개발

본 연구에서 제안하는 공정의 핵심 아이디어는 다음과 같다. 몰드와 폴리머 소재의 피가공재를 개별 진공 포장하여(Fig.2-(a)) 다수의 성형팩을 준비하고, 이를 압력용기에 넣고 고온의 유체를 이용하여 용기 내의 온도를 폴리머의 유리전이온도 이상으로 승온시킨다(Fig.2-(b)). 일정한 성형온도에 다다르면 압력용기 내에 성형압력을 일정시간 동안 유지시켜 피가공재를 성형한 후, 상온의 유체를 공급하여 압력용기내의 온도를 유리전이 온도 이하로 냉각하여 피가공재를 냉각, 경화시켜 제품을 얻어낸다(Fig.2-(c)). 제안된 성형 공정은 핫엠보싱 공정과는 다르게 기계적 프레스로 가압하지 않고 정수압(isostatic pressure)을 이용하여 피가공재를 성형한다. 이는 기존의 핫엠보싱 공정이 공정 사이클 당 단일 기판만을 생산할 수 있다는 점에서 볼 때, 제안된 공정은 한번에 여러 개의 기판을 생산할 수 있는 장점을 갖는다.

제안된 아이디어를 구현하기 위해 다음과 같이 공정을 설계하고 프로토타입 장비를 제작하였다. 압력용기내의 온도가 상온에서부터 성형온도인 약 120°C 정도까지 승온되는데 걸리는 시간은 약 30분으로 시간에 대한 온도 상승비는 2 °C/min 정도이다. 최대 승온 온도는 200°C, 최대허용압력은 100 bar까지 구현되도록 설계하였다. 시간에 대한 승압 비율은 10 bar/min 정도이다.

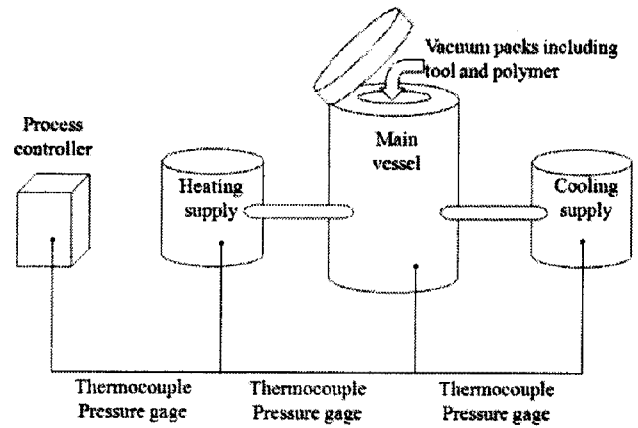


Fig. 3 Schematics of WIP embossing machine

고온용기에서의 가열된 유체는 성형온도보다 높은 온도(T_1 (°C))로 설정하여, 압력용기의 열선에 의해 약간 가열된 유체(T_2 (°C))를 공급시켜 설정한 유리전이 온도보다 높은 성형온도(T_e (°C))로 압력용기 내부를 승온시킨다. 다음 단계로 압력용기 내부에 압력을 성형압력(P_e)까지 가압한다. 이후에 일정시간(Δt_e) 온도와 압력을 떨어뜨리지 않고 유지시켜, 성형이 충분히 이루어지도록 한다. 설정되었던 성형시간 이후에는 냉각용기에 담겨 있는 상온의 유체(T_3 (°C))를 압력용기에 공급시켜 유리전이 온도 이하의 냉각온도(T_c (°C))로 냉각시켜 압력용기 내의 피가공재를 경화시키게 된다. 압력용기의 내부 체적은 약 0.7m³로 대면적의 패턴성형이 가능하도록 하였다.

3. 정수압 성형공정을 이용한 대면적 미세 패턴 제작

3.1 시편 준비 및 제작

성형할 피가공재는 380x300x6mm 크기의 PMMA플레이트를 이용하였다. PMMA의 유리전이 온도(T_g)는 105°C로 알려져 있어서, 성형온도는 이보다 높은 120°C로 선정하였다.

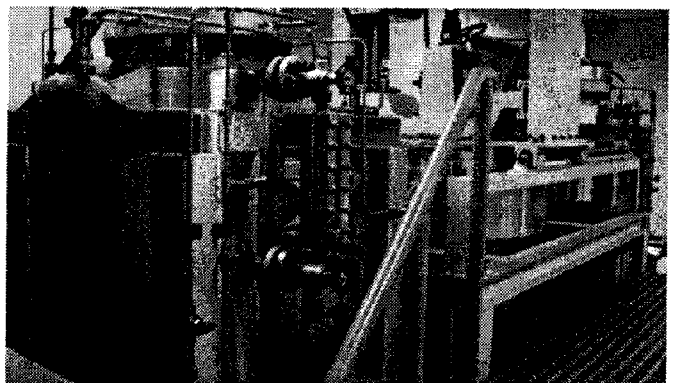


Fig. 4 Picture of WIP embossing machine

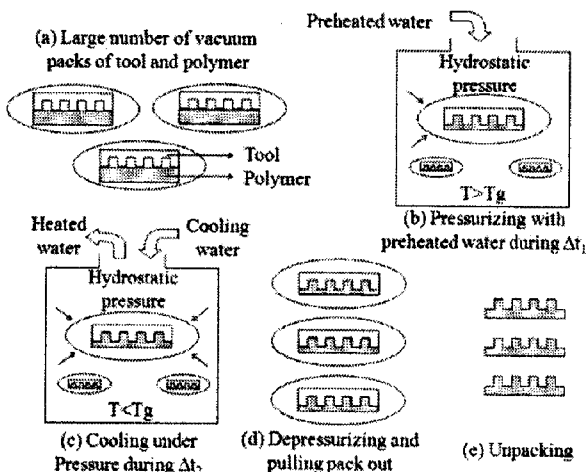


Fig. 2 Schematics of proposed process

사용된 몰드는 LCD 백라이트 [4]에서 널리 사용되는 프리즘 시트(BEF, 3M社) [5]를 사용하였다. 프리즘 시트의 피치(pitch) 간격은 50um이고 깊이는 25um로 측정되었다. 일반적으로 미세 패턴 성형 공정에 사용되는 몰드의 강도는 사용횟수와 소재 가격에 비례한다. 기존의 핫엠보싱 공정에서는 반복 사용이 가능한 니켈(nickel) 소재의 하드몰드를 사용하나, 제작단가가 비싼 단점이 있다. 본 실험에서는 사용 가능횟수는 적으나 몰드 획득 비용이 저렴한 소프트몰드를 사용하였다.

진공 포장팩은 본 공정에서 계획한 성형온도인 120°C에서 연화가 발생하지 않는 나일론(Nylon) 소재를 이용하였다. 일반적으로 나일론의 연화온도는 176°C로 알려져 있다. 진공포장기를 이용하여 몰드와 피가공재(PMMA) 및 압축 플레이트로 사용된 유리 소재를 진공-포장하였다. 상기 스택(stack)은 압축판-몰드-PMMA기판-압축판 순으로 구성되었다(Fig. 4).

제안된 공정은 정수압을 이용해서 성형이 이루어지지만, 진공포장지의 비등방 열수축 및 팽창의 효과로 인해 피가공재의 휨이 발생할 수 있다. 따라서 대면적 미세패턴 성형공정의 편평정밀도를 보장하기 위해 일반적으로 금속보다 압축 플레이트로 유리판을 이용하였다. 유리로 제작된 압축 플레이트는 제작 비용이 저렴하고 열팽창계수가 일반 플라스틱에 비해 10배 정도 낮아서 열적으로 매우 안정적이다.

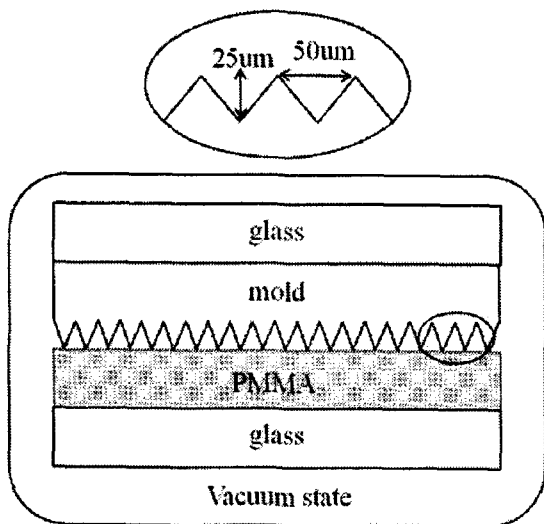


Fig. 4 Schematics of packaging stacks

Table 1 Conditions of experiment

T1 (°C)	160	T1 : Initial temperature of water in heating vessel
T2 (°C)	40	T2 : Initial temperature of water in main vessel
T3 (°C)	25	T3 : Initial temperature of water in cooling vessel
Te (°C)	120	Te: embossing temperature
Pe (bar)	60	Pe : embossing pressure
Tc (°C)	90	Tc : cooling temperature
Δt_i (min)	50	
Δt_e (min)	30	
Δt_d (min)	10	

Δt_i : time duration for temperature and pressure rise
(T2→Te, 1bar → Pe)

Δt_e : time duration for pressure-holding (constant Pe)

Δt_d : time duration for depressurizing the vessel (Pe → 1 bar)

Table. 1은 본 공정에서 사용한 성형조건이다. 성형온도는 120°C로 설정하였으며, 성형압력(Pe)은 60 bar로 가압하여 성형을 진행하였다. 성형온도, 성형압력 지속시간(Δt_e)은 30분 정도 유지시켰다. 이후 T_g 이하인 90°C로 냉각시켜 소재를 경화 하였다. 제안된 공정의 총 공정시간은 약 90분 정도로 측정되었다.

3.1 성형결과

소프트몰드의 패턴단면형상은 Fig. 5-(a)에서 볼 수 있듯이, 직각이등변삼각형 모양의 외벽이 평행하게 나열되어 있으며, 이로 인해 공동(cavity)과 외벽이 형성되어 있다. 또한, 공동과 외벽이 일직선으로 이어져있지만, 약간의 물결무늬처럼 곡선형태를 이루고 있다. Fig. 5-(b)에서 보듯이, 소프트몰드의 패턴 형상이 PMMA기판에도 형상 그대로 전사되었을 뿐만 아니라, 몰드의 날카로운 공동과 외벽도 매우 양호하게 전사되었다. 또한 몰드의 외벽의 물결무늬의 결도 전사되었다. 포장스택 구성에서 압축 플레이트를 사용하지 않았을 경우에는 PMMA기판 전체크기에 대해 약 5mm정도의 휨이 발견이 되었지만, 유리판을 적용한 포장스택을 구성하여 이 문제를 해결할 수 있었다. 그러나 성형된 PMMA기판에 측면부에서 배부름(bulging)현상이 발견되었다(Fig. 6).

이에 대한 원인은 나일론 포장지에 있는데, 나일론 필름이 부분적으로 불균일한 열팽창성을 가지고 있기 때문에 유리판이 위치하지 않는 측면부위에 측면 배부름(edge bulging)현상이 발생하였다고 추정된다. 이 현상은 측면에 작고 균일한 열팽창성을 가지고 표면조도가 좋은 보호판을 적용시킴으로 해결할 수 있는다고 사료되며, 향후 해결되어야 할 과제이다.

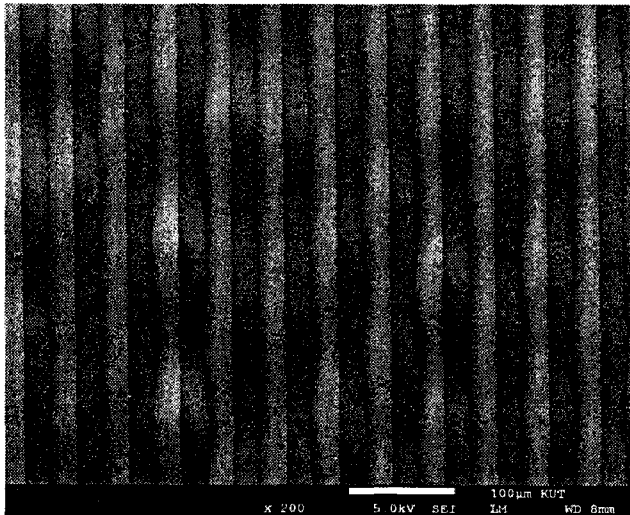


Fig. 5-(a) Surface of soft mold(BEF,3M)

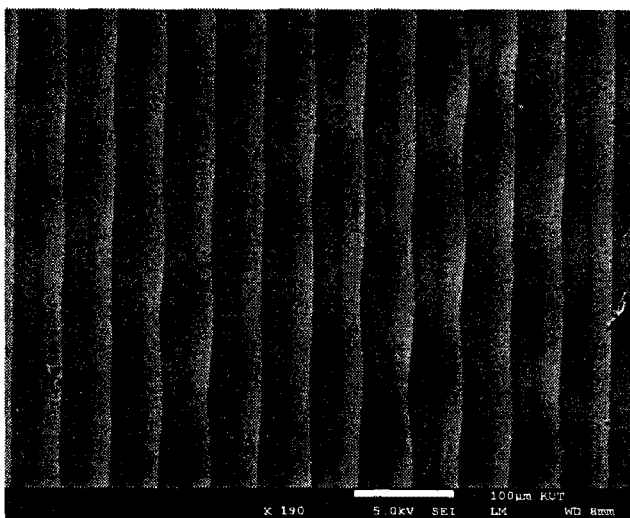


Fig. 5-(b) Surface of embossed PMMA substrate

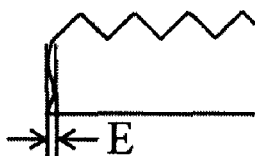


Fig. 6 Schematics of Edge-bulging

4. 결론

본 연구는 핫엠보싱 공정을 기반으로 하여 미세 패턴을 전사하는 정수압 공정을 수행할 수 있는 장비를 제작하였고, 또한 장비의 패턴전사 정도를 파악해보았다.

제안된 공정은 전사성이나 패턴 정밀도 등이 매우 우수했으며, 한번의 공정에 여러 제품을 생산할 수 있다는 점에서 전통적 핫엠보싱 공정보다 대량생산에 장점이 있다고 사료된다.

그러나 현재까지 개발된 공정은 기관측면 배부름 현상 및 비교적 긴 공정시간이 걸린다는 단점이 있다. 현재의 공정을 더욱 최적화 하여 공정시간을 줄이면서 피가공재의 측면 배부름 현상을 개선할 수 있는 연구가 지속적으로 필요하다고 보여진다.

참 고 문 헌

- [1] Stephen Y. Chou, Peter R. Krauss, Preston J. Renstrom, 1995, "Imprint of sub-25nm vias and trenches in polymers", Applied Physics Letters, vol.67, 3114.
- [2] Brown, L. Koerner, T. Oleschuk, R. , 2004, "Fabrication of epoxy stamps for hot embossing microfluidic devices and sub-micron structures", Special publication Royal Society of Chemistry, Vol.297, pp52~54
- [3] H. Kim, K.S Kim, H.Y Kim and B.H. Kim, 2003, "Study of nano patternin rheology in hot embossing process", 한국소성가공학회 2003년도 추계학술대회 논문집 pp.371~376
- [4] I.Y Jung, W.S Park, 1999, "A Study on the LCD backlight unit using polymer", 한국전기전자재료학회 1999년도 추계학술대회 논문집 pp. 578~581
- [5] L.P.Chao, J.s.Hsu, W.C.Tsai, M.C.Chen, "Measurement of the mechanical properties of brightness enhancement films (BEFs) for LCDs by optical interferometry", Displays, Vol.30 no.3, pp.140-146