

Hot-Embossing 및 솔벤트 증기를 이용한 폴리머 마이크로 렌즈 어레이 제작 Fabrication of Polymer Microlens Array using Hot-embossing and Vapor Solvent Polishing

*송준엽¹, #조영학¹, 김보현², 김신형¹

*J. Song¹, #Y.H. Cho(yhcho@seoultech.ac.kr)¹, B.H.Kim², S.H.Kim¹
¹서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, ²숭실대학교 기계공학과

Key words : hot-embossing, vapor solvent treatment, microlens

1. 서론

다양한 직경의 마이크로 렌즈 및 마이크로 렌즈 어레이는 재료에 따라 제작 방법이 다양하며, 광디바이스의 소형화, 고집적화, 저가격화 추세에 따라 그 필요성과 응용분야가 급격히 증가하고 있다. 이 중 대표적인 폴리머 렌즈의 경우 PR-reflow 방법¹⁾으로 금속 또는 폴리머 몰드를 제조한 후, 사출 성형 또는 hot-embossing을 이용하여 제작된다. 그러나, 금속 몰드 제작의 경우 제작 공정이 복잡하며, PDMS와 같은 폴리머 몰드의 경우 hot-embossing과 같은 공정에 적절하지 않다.

PMMA는 가격이 싸고, 광학적 특성이 우수하여 마이크로 렌즈의 재료로 많이 사용되고 있다.²⁾ 본 연구에서는 PMMA 마이크로 렌즈를 제작하기 위하여 마이크로 방전 가공 (Micro Electrical Discharge Machining)을 이용하여 니켈 (Nickel) 몰드를 제작하고 이를 PMMA에 hot-embossing을 통해 마이크로 렌즈 형상을 제작하였다. 이와 같이 제작된 마이크로 렌즈는 몰드 제작 시 방전 가공으로 남은 방전흔이 폴리머에 그대로 전사되어 표면이 매끄럽지 못하고 렌즈로서의 특성에 영향을 미치게 된다. 따라서, 표면의 거칠기를 적정 수준으로 개선하기 위해 다양한 솔벤트를 이용하여 표면 연마(surface polishing)를 수행한 후 마이크로 렌즈의 특성을 파악하고자 하였다.

2. 실험 및 결과

마이크로 방전 가공을 이용하여 Fig. 1과 같은 반구 형태의 니켈 몰드를 제작하였으며, 방전 가공 시 발생하는 방전흔의 모습을 확인할 수 있다. 이와 같이 제작된 니켈 몰드를 hot-embossing에 이용

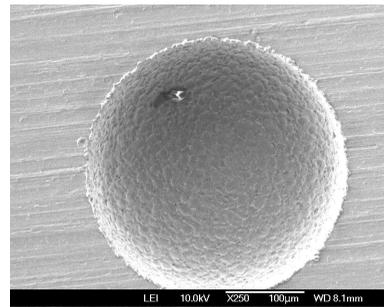


Fig. 1 FE-SEM picture of Nickel mold

하여 PMMA 마이크로 렌즈를 제작하였다. 온도 100°C, 압력 10MPa의 조건 하에 hot-embossing을 5분간 수행한 후 60°C까지 식혀서 몰드로부터 PMMA 렌즈를 떼어내었다.

제작된 PMMA 마이크로 렌즈의 FE-SEM 사진으로부터 니켈 몰드에서 확인할 수 있었던 방전흔이 그대로 전사되어 있음을 확인할 수 있다. (Fig. 2) 이와 같은 거친 표면은 렌즈로서의 특성에 큰 영향을 미치므로 표면 거칠기를 개선하기 위해 솔벤트 증기를 이용한 표면 연마³⁾를 수행하였다.

사용한 솔벤트의 종류는 Acetone (bp: 56-57 °C) 과 Toluene (bp: 110.6 °C)을 사용하였으며, Table 1에 나타난 바와 같이 솔벤트 증기를 이용한 연마에 있어서 중요한 변수인 온도 및 시간을 변화시키며 실험을 진행하였다. 이로부터 마이크로 렌즈 형상에는 영향 없이 렌즈 표면의 거칠기만을 개선할 수 있는 솔벤트 증기 연마 (Vapor solvent polishing) 조건을 찾았다.

솔벤트 증기 처리시간이 길수록 폴리머 표면의 연마정도가 더 커졌으며, 솔벤트 증기 온도가

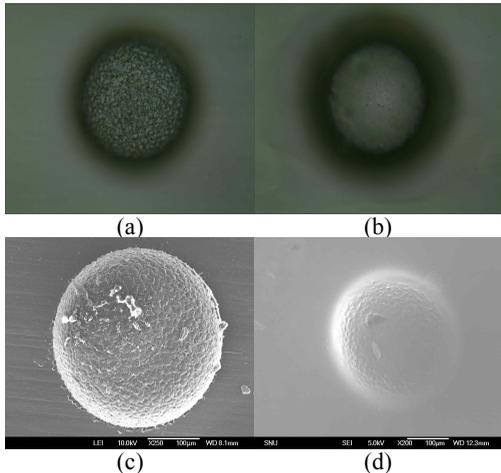


Fig. 2 Pictures of PMMA microlens before and after polishing by (a), (b) Microscope (c),(d) FE-SEM

Table 1 Vapor Solvent Polishing Conditions

	Time (sec)	Temperature (°C)	Solvent
1st step	30	55	Acetone
2nd step	60	55	Acetone
3rd step	90	55	Acetone
4th step	30	50	Acetone
5th step	60	50	Acetone
6th step	90	50	Acetone
7th step	30	50	Toluene
8th step	60	50	Toluene
9th step	90	50	Toluene
10th step	30	91	Toluene
11th step	60	91	Toluene
12th step	90	91	Toluene

높을수록 연마되는 정도가 더 컸다. 이 때 렌즈 형상의 변화는 크지 않았으나, 시간 및 온도에 따른 형상의 변화 정도를 측정하는 것이 필요한 것으로 판단된다. Fig. 3에서는 처리 시간에 따른 표면 거칠기의 변화를 확인할 수 있다. 각 사진은 50 °C의 아세톤 증기로 표면을 연마한 마이크로 렌즈의 3D-profile을 보여주고 있는데, 마이크로 렌즈의 중심으로부터 수평라인의 표면 거칠기와 수직라인의 표면 거칠기의 평균값을 계산하여 Fig. 3(e)에 나타내었다.

솔벤트와 폴리머의 solubility의 차이에 따라 연마정도가 다르게 나타났는데, 이 값이 비슷할수록 연마정도가 더 커짐을 확인할 수 있었다.³⁾ PMMA(9.1-12.8(cal/cm3)^{1/2})와 아세톤

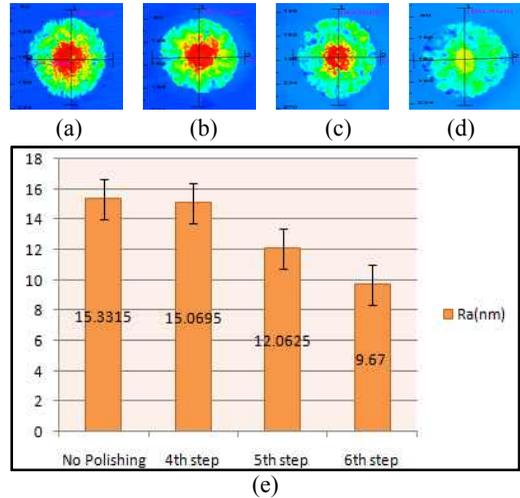


Fig. 3 Surface roughness of PMMA lens after polishing (a) no polishing, (b) 4th step, (c) 5th step, (d) 6th step, (e) the average of roughness

(9.9(cal/cm3)^{1/2}), 그리고 톨루엔(8.9cal/cm3)^{1/2}의 solubility를 비교해 보면 아세톤이 톨루엔에 비하여 PMMA와의 차이가 더 적음을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 마이크로 방전 가공을 이용하여 제작된 니켈 몰드로 hot-embossing을 통해 PMMA 렌즈를 만들고, 렌즈 표면을 솔벤트 증기로 연마함으로써 폴리머 마이크로 렌즈를 제작하였다. 이는 PR(photo-resist) reflow 법에 비교해 상대적으로 간단하고 저비용이며 더 나아가 솔벤트 증기를 이용해 다양한 종류의 폴리머들의 폴리싱도 가능함을 보여주었다. 앞으로 다양한 폴리머 재료에 대해 여러 솔벤트 용액을 단독 또는 혼합한 증기를 사용하여 폴리머 마이크로 렌즈의 표면 연마에 미치는 영향에 대한 연구를 계속 진행할 예정이다.

참고문헌

1. Feidhlim T. O'Neill, John T. Sheridan., "Photoresist reflow method of microlens production Part I: Background and experiments," *Optik* 113, 9, 391-404, 2002.
2. 류근걸, 김영근, 전광석 "폴리머 마이크로 렌즈 제작," *청정기술*, 제 11권 4호, 205-211, 2005.
3. McGinniss; Vincent D., Fais; Robert G., U. S. Patent 04529563, 07.16, 1985.