

## 연속마이크로렌즈(200 $\mu$ m) 적용 7인치 LCD-BLU 금형개발

김종선<sup>1</sup>· 고영배<sup>1</sup>· 민인기<sup>2</sup>· 유재원<sup>2</sup>· 허영무<sup>1</sup>· 윤경환<sup>2</sup>· 황철진<sup>#</sup>

### A Study on the Fabrication Method of Mold for 7 inch LCD-BLU by continuous microlens(200 $\mu$ m)

J. S. Kim, Y. B. Ko, I. K. Min, J. W. Yu, Y. M. Heo, K. H. Yoon, C. J. Hwang

(Received November 16, 2006)

#### Abstract

LCD-BLU is one of kernel parts of LCD and it consists of several optical sheets: LGP, light source and mold frame. The LGP of LCD-BLU is usually manufactured by etching process and forming numerous dots with 50~300  $\mu$ m diameter on the surface. But the surface of the etched dots of LGP is very rough due to the characteristics of the etching process during the mold fabrication, so that its light loss is high along with the dispersion of light into the surface. Accordingly, there is a limit in raising the luminance of LCD-BLU. In order to overcome the limit of current etched dot patterned LGP, optical pattern with continuous microlens was designed using optical simulation CAE. Also, a mold with continuous micro-lens was fabricated by UV-LiGA reflow process and applied to 7 inch size of navigator LCD-BLU in the present study.

**Key Words** : Continuous Microlens, Injection Molding, Back Light Unit, Light Guide Plate, UV-LiGA

#### 1. 서 론

LCD(liquid crystal display)는 휴대폰용 디스플레이 시장을 대부분 차지하고 있다고 해도 과언이 아니다. 이와 같은 LCD는 크게 액정 패널, 구동회로, BLU(Back Light Unit)로 구성되고, 이중 액정패널은 컬러필터, 배향막, 액정층, TFT(Thin Film Transistor), 액정용액 등으로 구성 되어 있고, 이중 BLU는 Fig. 1에 도시된 것과 같이 반사판, 도광판, BEF(Brightness Enhancement Film), 보호시트 등으로 구성되어 있다. 이중에서 BLU는 자체 발광 기능이 없는 TFT-LCD에 균일한 배면광을 만들어 주는 역할을 한다. 이와 같은 BLU구성 부품중 도광판은 선광원인 CCFL 이나 점광원인 LED의 광을 면광원으로 만들어주는 역할을 한다[1].

기존의 네비게이션용 도광판은 Fig. 2와 같이 도광판 하부에 확산 개별 광학패턴을 주로 부식에 의해 제작하여 광학패턴으로 사용해왔다. 하지만 Fig. 3과 같이 기존에 사용되고 있는 부식패턴은 그 제작공정의 특성상 개별 광학패턴의 표면이 매우 거칠기 때문에 표면에서 빛이 산란되어 손실되는 비율이 높아 LCD-BLU의 효율을 높이는 데 한계가 있었다. 또한, 7인치 LCD-BLU는 주로 자동차에 내장되어 사용되어 왔기 때문에 고효율 설계 또한 이루어지지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구는 이와 같은 기존의 도광판의 한계를 뛰어넘기 위하여, 광학설계를 통한 최적화와 도광판의 핵심 광학 기술인 광학 패턴의 생성 방법을 패턴제어가 가능하고 표면 거칠기가 수 나노급으로 가공할 수 있는 UV-LiGA 공정기술을 적용

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀  
2. 단국대학교 기계공학과 대학원  
# 교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀,  
E-mail: cjhwang@kitech.re.kr

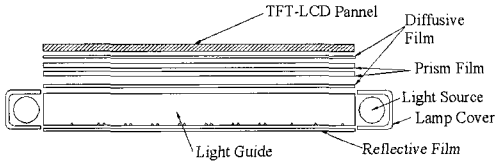


Fig. 1 Schematic diagram for LCD-BLU

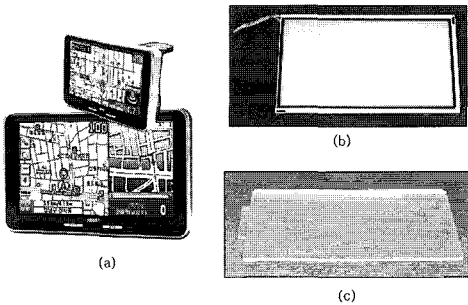


Fig. 2 Schematic images of LCD-BLU for navigator system

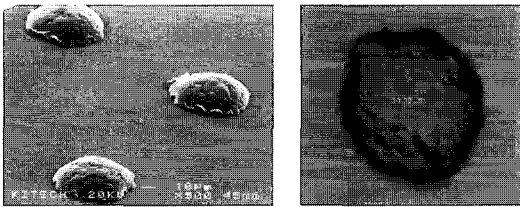


Fig. 3 SEM and Microscope image of etching dot

하여 직경 200 $\mu\text{m}$ 의 연속마이크로 렌즈 패턴을 개발하고, 7인치 LCD-BLU용 도광판에 적용하는 것을 목적으로 하였다[2~3].

## 2. 연속 마이크로렌즈

Fig. 4와 같이, 기존에 도광판에 사용되고 있는 개별 광학패턴의 경우, 주로 에칭에 의해 만들어진 반구 형태의 광학 패턴이 사용되고 있으나, 광학패턴의 형상제어가 어렵고 에칭공정의 특성상 세장비를 올릴 수 없는 문제를 가지고 있다. 그래서 현재 노트북이나 모니터용 도광판에 도입하고 있는 기계가공에 의한 V-그루브 패턴의 적용을 위한 연구가 진행 중이다. 하지만 V-그루브 개별 광학패턴의 경우 피치가 50~100 $\mu\text{m}$ 인 V-그루브를 4,000개 가까이 가공을 해야 하기 때문에 각각의 V-그루브간의 균일성이 떨어지는 문제를 가지고

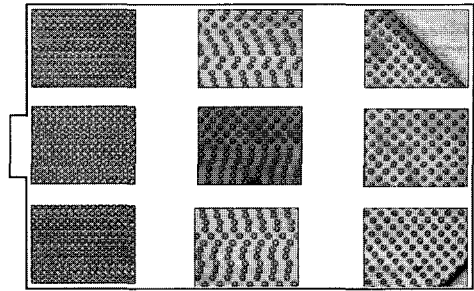


Fig. 4 Etching dot of current LGP for navigator system

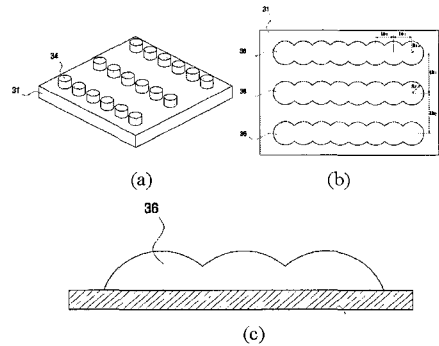


Fig. 5 A Schematic diagram of continuous micro-lens

있으며, 또한 일본으로부터 수입하는 고가의 전용 장비를 사용하기 때문에 가공비용도 높을 뿐만 아니라 유연성이 떨어지는 문제점을 지니고 있다.

이와 같은 문제점을 극복하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 반도체 공정을 이용하여 포토레지스트를 원기둥형상으로 형성하고, 리플로우 공정을 수행하여 근접한 포토레지스트들이 Fig. 5 (b), (c)와 같이 연결되는 연속마이크로렌즈 형상을 이용하였다. 이와 같은 연속 마이크로렌즈는 반도체 공정을 이용하기 때문에 패턴제어가 용이하고, V-그루브 패턴과 유사한 광학적 효과를 얻을 수 있다.

## 3. 7인치 LCD-BLU의 광학해석 모델

네비게이션용 7인치급 BLU을 설계하기 위해서 본 연구에서는 직경이 200 $\mu\text{m}$ 인 연속마이크로 렌즈를 적용하였고, 휘도 조절은 광학패턴의 밀도를 조절하는 방법을 사용하여 광학패턴이 설계되었다. 기존의 도광판은 Fig. 4와 같이 지름 100 $\mu\text{m}$ 와 높이가 15 $\mu\text{m}$ 인 에칭 패턴을 사용하고, 휘도 조절은 패턴의 밀도를 조절하는 방법을 사용하였으며,

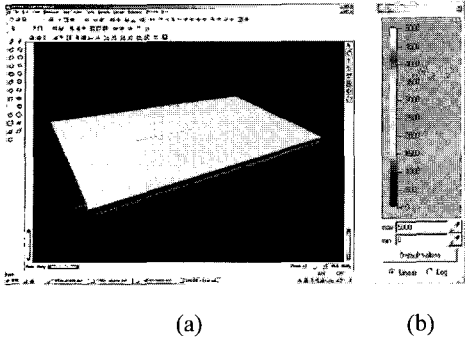


Fig. 6 (a) Simulation model of continuous micro-lens patterned LGP by SPEOS and (b) a scale bar of spatial luminance

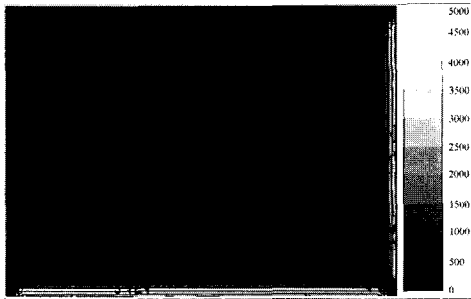


Fig. 7 Simulation result of spatial luminance in positive etching patterned LGP

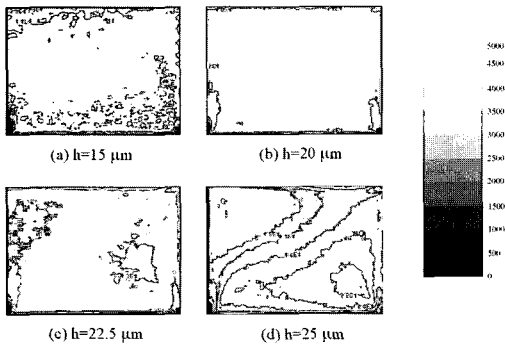


Fig. 8 A simulation result of spatial luminance in continuous micro-lens patterned LGP(h=height of optical pattern)

에칭 광학 패턴은 97,020개를 사용하였다. 하지만 본 연구에서 보다 고휘도의 7인치급의 LCD-BLU를 설계하기 위하여 934,751개의 연속마이크로 렌즈가 적용되었다. 또한, 설계된 도광판의 광학특성을 평가하기 위해 광학 해석 프로그램인

OPTIS사의 SPEOS를 사용하였으며, 광학해석 모델은 Fig. 6(a)와 같은 전체 도광판 구조중 CCFL이 "L"자 모양으로 배치된 구조이고, 3mm의 일정한 두께를 가진 BLU, 배면에 반사시트로 되어있다. LCD-BLU에 사용된 수지는 스미토모사의 MGSS 그레이트 수지로 굴절률이 1.49인 PMMA를 사용하였다. 이와 같은 조건을 바탕으로 Fig. 6(a)와 같은 SPEOS 도광판 해석 모델이 완성되었다.

해석 과정은 동일한 패턴 밀도와 반경을 가지는 연속 마이크로렌즈를 사용하였고, 각각의 마이크로렌즈의 높이를 조절하였으며, 또한 각각의 마이크로렌즈가 도광판에 양각으로 가공되는 경우를 모사하였다. 모사결과는 photometry관점에서 단위면적을 통과는 radiation flux를 측정하는 spatical luminance(휘도)를 모사하였다. 각각의 모사결과를 Fig. 6(b)와 같은 스케일바를 사용한다.

#### 4. 7 인치 LCD-BLU 의 광학해석 결과

기존의 네비게이션용 7인치 도광판과의 비교를 위해 Fig. 7에 보이는 바와 같이 개별 광학패턴의 높이는 15 $\mu$ m로 일정하고 마이크로렌즈의 크기를 100 $\mu$ m로 일정한 경우로 contrast는 0.12로 휘도 균일도는 확보가 되나 평균휘도는 790nit의 낮은 휘도 값을 보이고, 휘도 균일도는 78%이고, 광이용도는 약 24%이다. 이와 같이 기존의 광학설계는 휘도균일도 확보에는 용이하나, 지극히 낮은 휘도를 가지고 있다. 그래서 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 연속마이크로렌즈를 적용하여 광학설계를 다시 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

Fig 8(a)는 지름은 200 $\mu$ m, 높이는 15 $\mu$ m를 가지는 연속 마이크로렌즈를 적용한 경우로, contrast는 0.24, 평균휘도는 1,897nit, 휘도 균일도는 62%이고, 광이용도는 약 51%이다. 하지만 기존의 도트형식의 광학 패턴 보다 휘도는 2.5배 상승하였으나 균일도가 떨어지는 문제를 가지고 있다. 하지만 Fig. 8(b)는 연속마이크로 광학패턴의 높이를 20 $\mu$ m로 증가시킨 경우로 contrast는 0.12로 기존의 도트형 광학 패턴과 유사하고, 평균휘도는 2,320nit, 휘도 균일도는 79%, 광이용도는 약 61%이다. 또한 Fig. 8(c)는 연속마이크로광학패턴의 높이를 22.5 $\mu$ m로 증가시킨 경우로 contrast는 0.12로 역시 기존의 도트형 광학 패턴과 유사하고, 평균휘도는 2,478nit를 보이고, 휘도 균일도는 78%이고, 광이용도는

약 64%이다. 마지막으로 Fig. 8(d)는 연속 마이크로 광학패턴의 높이를 30 $\mu\text{m}$ 로 증가시킨 경우로 contrast는 0.27, 평균휘도는 2,768nit를 보이고, 휘도 균일도는 58%이고, 광이용도는 약 71%이다. 이와 같은 광학 해석 결과를 Table 1에 정리해보면 연속 마이크로 광학패턴의 경우 광학 패턴의 높이가 커질수록 평균휘도가 증가하는 경향을 보이고 있으나, 광학 패턴의 높이가 25 $\mu\text{m}$ 보다 커지는 경우 상대적으로 휘도 균일도가 떨어지는 결과를 보이고 있다. 따라서 휘도 균일도와 높은 평균 휘도를 동시에 얻기 위해 광학 패턴의 높이를 20~25 $\mu\text{m}$ 로 금형을 제작하여야 한다는 결과를 얻었다.

이와 같은 해석결과는 Table 1과 같으며, 이 결과를 바탕으로 지름은 200 $\mu\text{m}$ , 높이는 22.5 $\mu\text{m}$ 의 연속마이크로 렌즈를 가지는 네비게이션용 7인치급 BLU의 제작을 진행하였다.

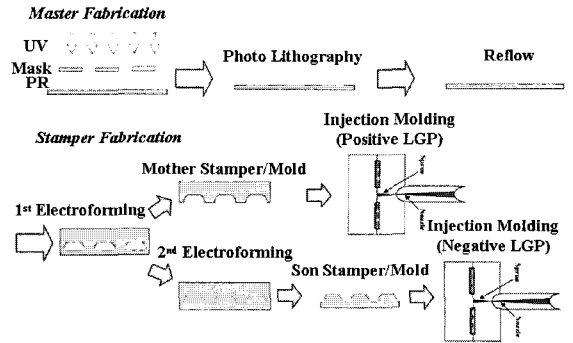
**Table 1 Simulation result of luminance and optical quality in positive micro-lens patterned LGP**

	Etching	Continuous			
		15	20	22.5	25
Pattern height ( $\mu\text{m}$ )	15	15	20	22.5	25
Contrast	0.12	0.24	0.12	0.12	0.27
Average luminance (nit)	790	1897	2320	2478	2768
Luminance uniformity (%)	78	62	79	78	58
Coefficient of light utilization (%)	24	51	61	64	71

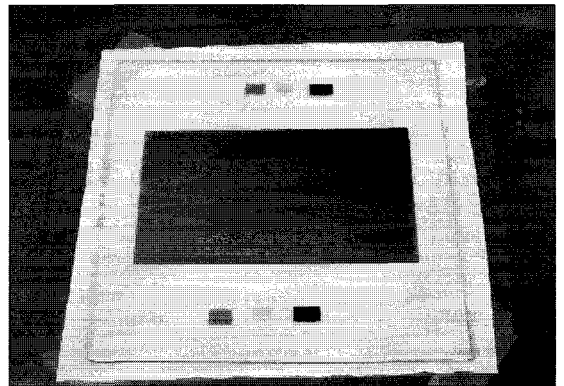
### 5. UV-LiGA 공정을 이용한 7 인치 LCD-BLU 용 금형 제작

본 연구에서 응용된 금형 가공방법은 응용 LiGA-reflow 를 이용한 금형 제작공정으로 Fig. 9 와 같이 (i)식각단계, (ii) reflow 단계, (iii) 전주의 공정으로 진행하였다[4~5].

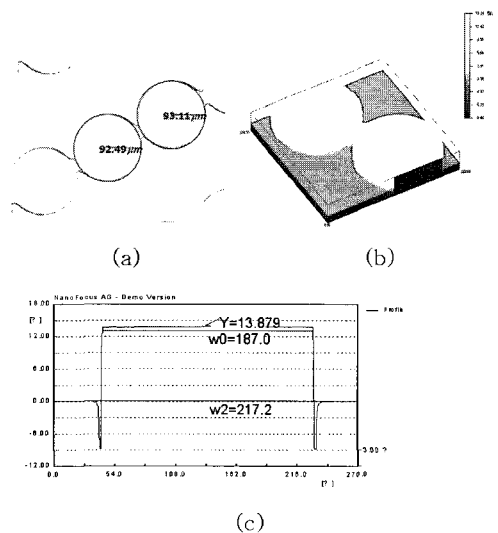
먼저 (i)식각단계는 Fig. 10과 같이 필름마스크를 이용하여 14 $\mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 PR(photo resist)을 노광시킨 후 현상액을 이용하여 현상 하여 원하는 구조물을 만드는 단계이다. 이 식각단계에 의해 Fig. 11과 같은 PR 구조물을 얻는다. Fig. 11(a)는 만들어진 PR구조물을 광학현미경을 사용하여 측정 한 것이고, Fig. 11(b), (c)는 3D-profiler를 사용하여 측정 한 결과이다. 만들어진 PR구조물은 높이가 13.88 $\mu\text{m}$ , 지름이 217 $\mu\text{m}$ 의 원기둥형상을 가지고 있다.



**Fig. 9 Schematic diagram of LiGA-reflow process**



**Fig.10 Film mask for navigator system**



**Fig.11 The image of positive continuous micro-lens PR pattern((a) microscope and (b), (c) 3D-profiler)**

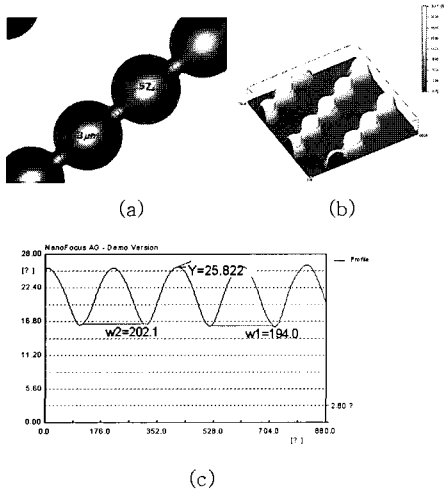


Fig.12 The image positive re-flowed PR((a) microscope and (b), (c) 3D-profiler)

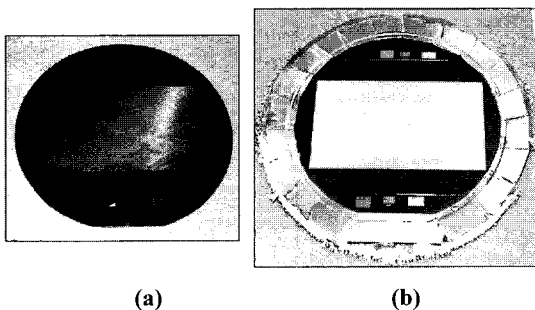


Fig.13 Photo of (a) re-flowed PR and (b) Electroplated Mold for navigator system

(ii) 식각단계에서 얻은 PR 형상은 reflow 공정을 위해서 주로 원기둥 모양을 가지게 되는데, 이를 유리전이 온도( $T_g$ )보다 높은  $140^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 유지되는 오븐에 넣어 30분 동안 reflow를 시키면 표면장력에 의해 연속 마이크로렌즈 형상으로 가공된다. 이러한 LiGA-reflow 공정은 다른 공정과 달리 마이크로렌즈 형상을 가공하는 간단한 방법이지만 수 나노 정도의 표면 거칠기를 갖게 되는 우수한 특징을 가지고 있다. Fig. 12(a)는 원기둥 모양의 PR이 reflow공정 후 마이크로렌즈 형상으로 변화되는 것을 보여주기 위해 촬영한 광학현미경 사진이고, Fig. 12(b),(c)는 3D-profiler를 사용하여 측정된 결과이다. 만들어진 연속마이크로 렌즈형상은 높이가  $25.8\mu\text{m}$ , 지름이  $200\mu\text{m}$ 을 가지고 있다. 이와 같은 공정에 의해 만들어진 PR은 Fig. 13(a)와

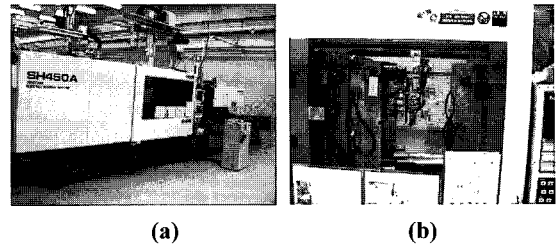


Fig.14 (a) Injection molding machine SH450A, (b) injection mold (7", 1-cavity)

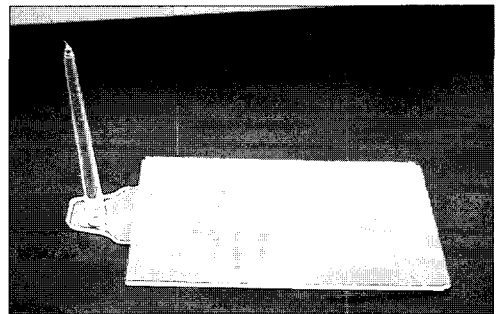


Fig.15 Micro injection-molded LGP for navigator system

같으며, 이를 초정밀 전주공정을 통해 Fig. 13(b)와 같은 stamper 금형을 얻었다.

## 6. 사출성형

LiGA-reflow공정을 통해 만들어진 연속마이크로 렌즈 패턴의 stamper 금형을 이용해 제품을 성형하기 위하여 사용된 사출성형기는 Fig. 14와 같은 스미트모사의 SH450A 450톤을 사용하였으며, 미세 사출성형을 위한 성형조건으로는 7인치 1-cavity BLU 금형으로 전체 충전 시간을 2초로, 사출속도를 캐비티 부분에서  $100\text{mm/s}$ 로 설정 하였다. 또한 미세패턴의 성형 성에 가장 크게 영향을 미칠 것으로 예상한 사출온도는  $265^{\circ}\text{C}$ , 금형온도를  $60^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다. 이와 같은 조건으로 사출 성형을 실시하여 다음에 보이는 Fig. 15와 같은 1-cavity 7인치 BLU를 제작하였다.

## 7. 네비게이션용 7인치 BLU의 휘도평가

사출성형을 통해 제작된 도광판을 기존의 BLU에 조립하여 Fig. 16(a)와 같이 휘도측정을 하였다. 그 결과 Fig. 16(b)와 같이  $5,244\text{nit}$ 의 평균 휘도를 얻었다.

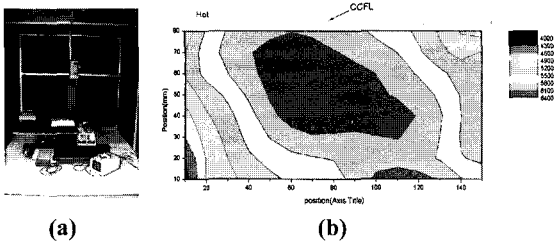


Fig.16 Result of luminance measurement in micro-lens LGP

## 8. 결론

기존에 사용되고 있는 부식 및 V-그루브 패턴에 의한 광학 패턴을 대체하기 위해 도입한 연속마이크로 렌즈형태의 광학 패턴의 경우 부식 패턴에 비해 광 이용효율이 높고, V-그루브 패턴에 비해서 설계 유연성이 높은 장점을 가진다. 또한 높은 세장비와 각각 마이크로 광학패턴의 제어가능이해 광학설계의 유연성 또한 높다. 이와 같은 연속마이크로 렌즈는 차세대 LED-BLU의 설계에 있어 부식 및 V-그루브 광학 패턴의 장점만을 가지는 도광판의 제작이 가능할 것이다. 하지만 높은 세장비를 가지는 연속 마이크로렌즈 형태의 광학 패턴의 경우 사출성형 공정에서 광학 패턴의 충진률이 떨어질 수 있는 문제를 야기 할 수 있기 때문에 이에 대한 연구를 추가로 진행하고 있다.

## 후 기

본 연구는 2010 생산기반기술개발사업 중 ‘기능

성 고분자소재 성형용 마이크로 금형시스템 과제’ 및 서울시의 ‘차세대 감성형 디지털 정보 디스플레이 혁신 클러스터 구축과제’의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] T. Nagahara, A. Fukui, 2001, Light-Guide Plate for Liquid Crystal Display, Matsushita Technical Journal, Vol. 47, No. 3, pp. 2~6.
- [2] M. H., Wu., G. M. Whitesides, 2002, Fabrication of two-dimensional arrays of microlenses and their applications in photolithography, Journal of micromechanics and microengineering, Vol. 12, pp. 747~758.
- [3] P. Ruther, B. Gerlachy, J. Götterty, M. Iliez, J. Mohry, A. Müllery, C. Oßmanny, 1997, Fabrication and characterization of microlenses realized by a modified LIGA process, Pure Appl. Opt. Vol. 6, pp. 643~653.
- [4] C. J. Hwang, Y. B. Ko, S. Y. Ha, G. H. Lee, Y. M. Heo, 2005, Micro Injection Mold Fabrication with modified LIGA Micro-lens Pattern and its application to LCD-BLU, 21st Annual Meeting of the Polymer Processing Society.
- [5] Zoran D. Popovic, Robert A. Sprague, G. A. Neville Connell, 1998, Technique for monolithic fabrication of microlens arrays, Applied optics, Vol. 27, No. 7, pp. 1281~1284.