

연구논문

레이저 가공된 내부 및 표면패턴을 가지는 도광판 성능 분석

최영희, 신용진, 최은서⁺조선대학교 자연과학대학, Laser Imaging Laboratory
cesman@chosun.ac.kr**Performance analysis of light guide panel implemented with laser-processed inner and surface patterns**Young Hee Choi, Yongjin Shin, Eun Seo⁺Laser Imaging Laboratory, College of Natural Science, Chosun University
cesman@chosun.ac.kr**ABSTRACT**

We proposed new light guide panel (LGP) fabrication method exploiting laser-processed inner scatterers and surface pattern. The proposed method has achieved LGP performance improvement in both brightness and uniformity. The inner scatterers and surface pattern of grid type were fabricated with a 2nd harmonic Nd:YAG pulse laser engraving system and a CO₂ laser scanning system, respectively. In the implementation of LGP, inner scatterers was arranged in accordance with linear or curved pattern with changing density and surface pattern was engraved on the surface of an inner-scatterers embedded LGP. The increase of scatterers' density and the use of surface patterns in both linear and curved pattern provided high luminance and uniformity enhancement. While the curved pattern incorporated with increased scatterers' density and surface patterns yielded brightness improvement with preserving good uniformity, the linear pattern showed highly localized brightness near the light entrance of the LGP. We can also observe that the uniformity was mainly determined by pattern of inner scatterers, and the brightness was improved by the higher density and the utilization of surface patterns. From the results, the use of laser-processed inner and surface patterns can be a potential alternative for efficient and simple LGP fabrication method.

Key Words : Light Guide Panel, Backlight Unit, Inner Scatterers, Surface Patterning

1. 서론

LCD(Liquid Crystal Display)는 기본적인 영상 매체로서 TV, 모니터, PDA 등과 같은 장치에서 다양한 정보를 시각적으로 사용자들에게 전달해주는 역할을 담당하고 있으며 세계적으로 널리 이용되고 있다. 이는 기존의 영상매체인 CRT(Cathod Ray Tube)와는 달리 낮은 소비전력과 낮은 전압구동만으로도 영상정보를 전달할 수 있으며 다양한 원색의 표현이 가능한 장점을 가지고

있다. 그러나 자체 발광체소자인 CRT와는 달리 LCD는 비발광소자로서 외부광원을 필요로 하며 이러한 외부광원의 빛을 LCD 전면에서 고르게 분산시키는 역할을 하는 도광판(LGP: light guide panel)이 포함되어 있는 BLU(Back Light Unit)가 반드시 필요하다. LCD의 밝기 및 밝기 균일도 등과 같은 성능이 도광판의 역할에 의해서 크게 좌우됨으로써 고휘도 성능 및 높은 광효율을 향상시키고자 하는 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다.[1]

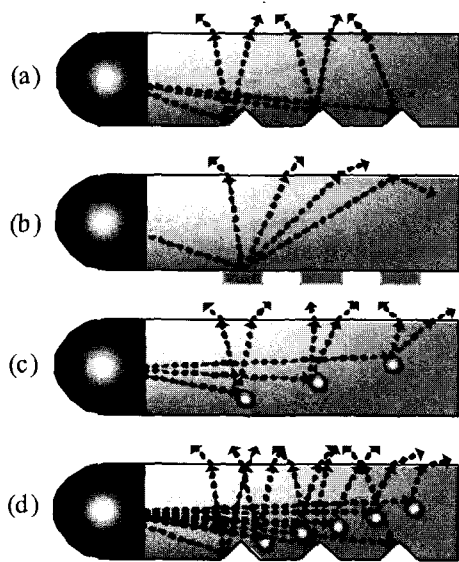


Fig. 1 도광판 패턴 제작방법 개략도. (a) 비인쇄방식(V-cutting, 사출방식, 레이저 가공방식)에 의해 생성된 표면패턴. (b) 프린팅 방식에 의해 생성된 표면패턴. (c) 레이저를 이용하여 생성된 3차원 내부 산란체. (d) 새롭게 제안하는 레이저로 가공된 내부 및 표면패턴.

LCD 내의 BLU에서는 도광판 후면에 산란패턴을 생성하는 특수처리를 함으로써 균일한 빛의 분포를 유도하고자 하는 연구가 수행되었다. 이러한 방향의 연구는 크게 세 가지 형태로 구분할 수 있는데 각각은 인쇄 방식, 무인쇄 방식(사출방식, V-cutting 방식, 레이저 주사 방식), 산란 도광판 방식이 있다. 이 중 인쇄방식은 균일도 조절이 용이한 이유로 가장 널리 이용되고 있다. 하지만 이 방식의 경우 박막형태로 제작된 도광판의 성능이 주위의 온도변화내지는 습도의 영향에 의해서 균일한 성능을 유지할 수 없는 문제가 제기되고 있으며 제작 후 시간이 경과함에 따라 퇴색되거나 박리가 되는 등의 문제점도 제시되고 있다.[2] 무인쇄 방식 중에 하나인 사출(molding)방식으로 제작된 도광판의 경우 고휘도를 재현할 수 있는 장점을 가지지만 사출에 쓰이는 몰드 자체의 가공과 수정에 많은 비용과 시간이 요구되고 표면패턴을 형성하는 조건에 따라 도광판의 광학적 특성이 달라지는 단점을 가지고 있다. V-cutting 방식은 생산을 위한 완전 자동화가 용이하고 휘도와 밝기 균일성이 좋은 제품 생산이 가능하나 다양한 패턴가공이 어렵고 가공

후 가공과정에서 만들어진 미세 입자가 잔류하여 후처리 공정이 반드시 필요하다. 이러한 단점을 극복하고자 제안된 방식이 레이저 주사방식에 의한 가공법이다. 이 방식은 고속 스캐닝이 가능하고 패턴 디자인 개발과 수정이 용이한 장점을 가지고 있다. 또한 밝기 균일성 제어가 쉽고 비접촉가공으로 입자의 잔류 등의 문제가 없어 후처리 공정을 생략 가능하므로 시간과 비용을 절감할 수 있으면서도 기존 표면 가공법들을 통한 밝기 균일성 제어와 유사한 성능을 제공할 수 있다.[3,4,5] 산란 도광판 방식은 도광판 재료인 수지에 산란체를 혼합하여 도광판을 사출하는 방식으로 기존의 방식과는 다른 내부산란체를 통한 밝기 균일성을 제어하고자 하는 시도가 제시되었지만 아직 관련 연구는 미미한 실정이다.[6] 최근에는 3차원 레이저 가공 시스템을 이용하여 도광판 내부에 산란체를 생성하고 이를 활용하여 밝기 균일성을 제어하는 연구 결과가 발표되어 내부 산란체를 이용한 도광판에 대한 가능성을 보였다. 하지만 내부 산란체의 밀도가 적은 이유로 인해서 많은 광량의 손실이 수반되는 문제점을 보였다. [7,8]

본 연구에서는 3차원 레이저 가공 시스템을 이용하여 내부 산란체를 생성하여 내부 산란체 효과를 이용함은 물론 CO₂ 레이저를 이용하여 도광판 표면에 산란체를 형성시킴으로써 도광판 내부에서의 광량의 손실을 줄이고 휘도 특성을 향상시킬 수 있는 새로운 도광판 제작방법을 제시하고자 한다.

2. 실험-도광판 제작 및 제작된 도광판 성능 측정 시스템

실험에 사용된 도광판의 재료로는 기계적 강도(85.4 kg/cm²)가 높아 쉽게 깨지거나 변형되지 않고, 내화학성이 강하며, 투명하여 가시광선에 대한 광투과율(92.7%)이 높아 일반적으로 널리 쓰이는 PMMA(Poly methyl methacrylate)를 사용하였다. 샘플의 크기는 40×50×5 mm³였다. 도광판 내부산란체를 생성하는데 사용된 레이저는 2nd harmonic Nd:YAG 펄스 레이저 (중심파장 -

532 nm, 펄스폭 - 10 nsec, 최대에너지 30 mJ, spot size 50 mm, 펄스 반복율 - 최대 50 Hz)를 사용하였다. Fig. 2는 도광판 내부 산란체 가공에 사용된 레이저 가공 시스템 개략도이다. 3차원 가공을 위해서 초점거리 43 mm인 f-theta를 사용하였으며 초점렌즈를 z축 방향으로 이동하게 하여 초점의 위치를 임의의 높이로 조절할 수 있게 되어 있다. 평면상의 위치제어를 위해서는 x-y축 방향으로 위치조절이 가능한 moving stage를 이용하여 가공 위치를 3차원적으로 제어할 수가 있었다.[9,10] 또한 output telescope(M-1.8)를 사용하여 레이저 빔의 발산각을 보상하면서 직경 5 mm의 빔으로 확대시킨 후 초점거리가 짧은 렌즈를 이용하여 샘플 내부에 레이저를 집속하고자 하였다. 개구수가 큰 렌즈를 이용함으로써 레일리 영역은 대략 30 mm 정도의 매우 좁은 가공부 길이에서만 가공이 이루어지므로 샘플 표면에 손상 없이 도광판 내부에 직경 50 mm 정도의 3차원 산란체를 형성시킬 수 있었다. 산란체는 대략적으로 구형으로 가공되며 구형의 산란체 주위에 랜덤한 형태로 여러 작은 형태의 크랙이 발생된 것을 확인 할 수 있었으며 이것은 폴리머의 사슬구조가 매우 랜덤하므로 발생한 것으로 예상되는 바이다. 내부 산란체들의 공간적인 분포(패턴)는 인터페이스 프로그램을 사용하여 선형패턴과 곡선패턴 두 가지로 설계하였다. 내부 산란체 밀도는 각각의 패턴에 대해서 $10 \times 10 \text{ ea/mm}^2$ 그리고 $20 \times 20 \text{ ea/mm}^2$ 로 조절하였다.

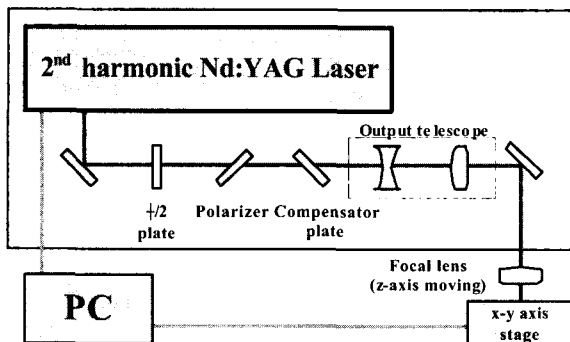


Fig. 2 내부산란체 가공용 2nd harmonic Nd:YAG 펄스 레이저 시스템 개략도.

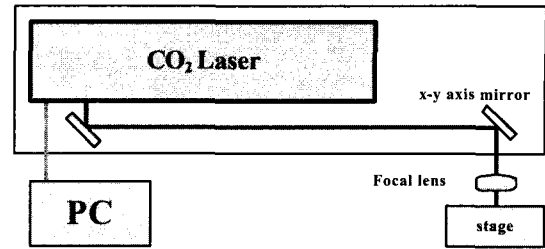


Fig. 3 표면패턴 가공용 CO₂ 레이저 시스템 구성도.

Fig. 3은 도광판의 표면패턴 가공에 사용된 레이저의 개략도이다. 파장이 10.64 mm, 평균 출력 2.73 W 그리고 spot size 120 mm인 빔스캔 방식의 CO₂ laser를 사용하여 표면가공을 수행하였다. 가공된 폭과 깊이는 각각 300 mm와 200 mm이었고 표면 패턴을 그리드 간격으로 생성하였다. 이때 생성된 그리드 간의 간격은 500 mm로 조절하였다. 제작된 곡면패턴의 곡률은 $38 \times 4 \text{ mm}^2$ 안에 디자인 할 수 있는 최소의 반경인 182.5 mm로 디자인하였고 선형패턴의 기울기는 0.11(4/38)로 디자인하였다. Fig. 4는 이 두 레이저를 이용하여 도광판 내부와 표면에 설계한 패턴과 실제 가공된 예를 보여주고 있다.

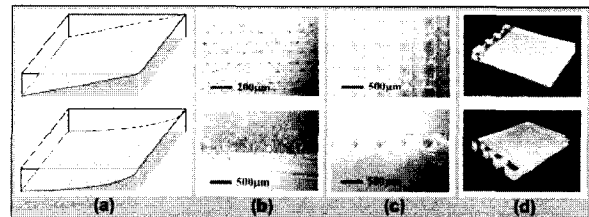


Fig. 4 도광판 내부패턴 디자인과 가공된 도광판의 현미경 이미지. (a) 설계된 내부패턴 개략도 (상: 내부 선형패턴, 하: 내부곡면패턴). (b) 내부패턴이 가공된 도광판의 현미경 이미지 (상: 윗면, 하: 절단면). (c) 표면패턴이 가공된 도광판의 현미경 이미지 (상: 윗면, 하: 절단면). (d) 내부패턴 및 표면패턴이 가공된 도광판의 사진 이미지 (상: 내부선형패턴+표면패턴, 하: 내부곡면패턴+표면패턴).

이렇게 제작된 도광판의 광원으로는 밝기가 2,600 mcd이고 시야각이 각각 70/ 30인 LED 3개를 이용하였다. Fig. 5는 제작된 도광판의 휘도를 측정하기 위한 측정장치를 보여주고 있다. 각 도광판의 밝기와 밝기 분포를 측정하고자 imaging



Fig. 5 도광판 휘도 측정기기(Imaging colorimeter) 사진 이미지. (a) 도광판 샘플 홀더. (b) CCD camera (colorimeter).

colorimeter(0.005×10^{10} cd/m², $\pm 3\%$ 정밀도, 16-bit CCD)를 이용하였다.

이렇게 측정된 결과를 이용하여 각각의 산란체에 의한 휘도 및 밝기 분포에 대한 변화의 특성을 분석하고자 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 내부 산란체 밀도에 따른 도광판의 밝기 분포를 측정하였고 다음으로는 표면패턴 추가로 인한 도광판 밝기 분포의 변화를 측정하였다. 이를 이용하여 각각의 내부와 외부 산란체들의 패턴에 따른 밝기분포의 경향을 평균밝기와 균일성에 대하여 분석하였다.

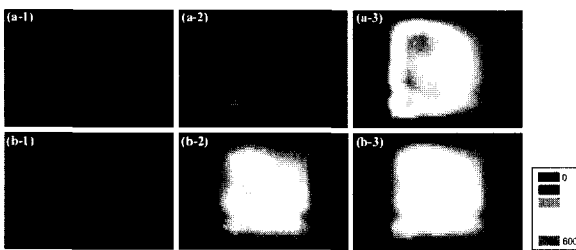
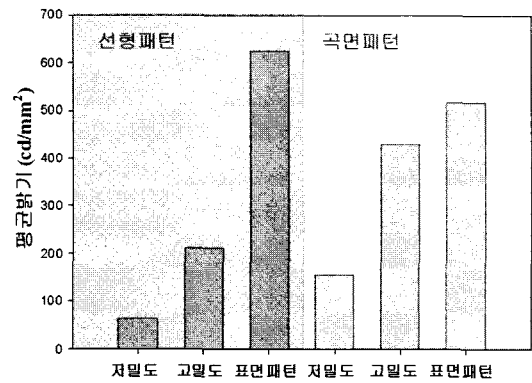


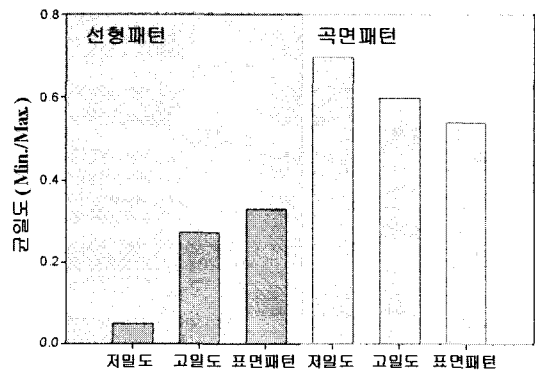
Fig. 6 제작된 도광판들의 휘도 측정 결과. (a-1) 저밀도 선형패턴 가공된 도광판의 밝기분포. (a-2) 고밀도 선형패턴 가공된 도광판의 밝기분포. (a-3) 고밀도 선형패턴과 표면패턴이 가공된 도광판의 밝기분포. (b-1) 저밀도 곡면패턴 가공된 도광판의 밝기분포. (b-2) 고밀도의 곡면패턴 가공된 도광판의 밝기분포. (b-3) 고밀도의 곡면패턴과 표면패턴이 가공된 도광판의 밝기분포.

Fig. 6은 Fig. 4에서 보였던 다양한 산란체들을 내부와 표면에 생성한 후에 도광판의 밝기를 측

정한 결과이다. 측정 결과에서 보듯이 저밀도의 내부산란체에 의한 낮은 휘도가 산란체 밀도 증가 이후에 향상되었음을 확인할 수 있었다. 또한 내부 산란체 밀도가 증가된 도광판 표면에 패턴을 추가적으로 가공함으로써 도광판의 휘도값이 증가함은 물론 동시에 균일한 분포가 가능함을 알 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 7 제작된 도광판들의 (a)평균밝기와 (b)균일도. 저밀도와 고밀도는 각각 내부패턴의 산란체의 밀도 정도를 나타내며 표면패턴은 각각의 고밀도 내부 패턴에 표면패턴이 추가적으로 가공된 도광판을 나타낸다.

내부산란체들의 패턴에 따른 제작된 도광판들의 평균밝기와 균일도에 대한 경향을 분석한 결과는 Fig. 7과 같이 정리하였다. 내부 산란체의 밀도를 증가로 인해도광판의 평균밝기가 약 2배에서 3배 이상 증가하였으며 표면패턴에 의한 도광판의 평균밝기 또한 선형패턴의 경우 3배정도 향상된 결과를 나타내었다. 이것은 내부 패턴에 따라 차이는 있지만 전체적으로 휘도가 크게 향

상되는 결과를 나타내고 있다. 하지만 선형패턴은 표면패턴에 의해서 10배 정도까지 휘도가 증가하지만 Fig. 6(a-3)에서 보듯이 편중된 휘도분포를 나타내는 문제점이 있으나 곡면패턴의 경우 이러한 문제는 크게 나타나지 않고 있다. 균일도는 선형패턴의 경우 밀도의 증가나 또는 추가적인 표면패턴에 의해서 큰 변화를 보이지만 곡면패턴의 경우 대체적으로 큰 변화를 나타내지 않고 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 분석 결과에 따르면 선형패턴의 경우 밀도 증가로 균일도가 크게 향상되기 시작하였으며 밀도 증가에 표면패턴을 추가함으로써 120% 균일도가 향상되었다. 하지만 곡면패턴의 경우에는 밀도 증가로 다소 낮은 균일도 향상을 이루었으나 이 값이 표면패턴을 추가했을 때 유사하게 유지되는 특징을 보였다. 산란체 밀도의 증가와 추가적인 표면패턴 가공 방법을 이용함으로써 도광판 전체의 휘도를 증가시킬 수 있을 것으로 예상되며 내부 산란체의 패턴에 따라서 안정적인 균일도를 확보할 수 있음을 확인할 수 있는 결과였다. 균일도면에서는 내부패턴을 이용하되 곡면패턴을 이용하는 것이 더 유용함을 알 수 있으며 크게 향상되지는 않지만 표면패턴을 추가하였을 때 균일도가 유지되면서 휘도가 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 표면패턴에 의존했던 도광판 제작방법의 한계를 극복하고 비접촉 방식의 효율적인 도광판 제작을 위한 레이저 기반의 도광판 제작방법을 제시하였다. 제시한 방법은 도광판 내부에 산란체를 생성하는 방법과 이 도광판에 추가적으로 표면패턴을 가공하는 방법을 이용하였다. 실험적으로는 서로 다른 형태의 Nd:YAG 펄스 레이저와 CO₂ 레이저를 활용하여 빛이 진행하는 도광판의 내부 경로에 직접 산란체를 형성시키고 도광판 표면에서의 산란을 유도하기 위한 패턴을 생성하였다. 내부 산란체를 생성하는데 있어서는 산란체의 공간적인 분포를 선형적으로

또는 곡면형태로 분포를 시키면서 각각의 밀도를 변화시키면서 도광판의 성능을 측정하였고 고밀도 내부 산란체가 생성된 샘플에 표면패턴을 가공하여 도광판 성능의 변화를 측정하였다. 특정 패턴에서의 밀도의 증가는 도광판의 휘도 균일성을 증가에 도움이 되며 표면패턴은 도광판 휘도 향상에 주된 요인으로 작용하였다. 그러므로 공간적인 산란체 분포를 곡면형태로 제작하되 산란체의 밀도를 증가시킴으로써 균일성을 향상시키고 표면패턴을 활용함으로써 도광판 휘도를 향상시킬 수가 있었다.

제시한 두 가지 방법을 동시에 이용함으로써 단순 내부산란체만을 이용하는 경우에 제시된 고밀도 내부산란체들의 디자인 및 3차원 산란체 생성을 위해 필요한 연산과부하와 오랜 제작시간의 문제점을 극복할 수 있었다. 본 실험을 통해 도광판의 산란패턴 설계, 개발 및 공정을 단순화할 수 있는 레이저 가공법을 이용함으로써 휘도 및 균일도가 높은 다양한 내부 산란패턴 설계가 가능할 것으로 예상되며 이에 대한 시뮬레이션 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이러한 내부 산란체 디자인에 따른 효과와 표면패턴의 효과를 최적화함으로써 빛의 손실을 줄이고 효율성이 크게 향상된 도광판의 제작이 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

- 1) A. Horibe, M. Baba, E. Nihei, and Y. Koike, "High-efficiency and high-quality LCD backlight using highly scattering optical transmission polymer," IEICE Trans. Electron. Vol. E81-C, pp. 1697-1702, 1998.
- 2) 사종엽, 박종렬, "LCD 백라이트 도광판의 광학 특성에 대한 연구," 대한기계학회논문집 A권, 제28권, 제4호, pp. 362-369, 2004.
- 3) 이성희, 김선우, 이훈석, 김종덕, "사출성형조건이 소형 도광판의 성형후 광특성에 미치는 영향," 대한기계학회 창립 60주년 기념 춘계 학술대회 강연 및 논문 초록집, pp. 1711-

- 1715, 2005.
- 4) 이호상, “소형 LCD 도광판의 사출성형에 관한 연구(1): 유한요소해석 및 금형설계,” 한국소성가공학회지:소성가공, 제11권, 4호, pp. 332-340, 2002.
 - 5) 이호상, “소형 LCD 도광판의 사출성형에 관한 연구(2): 공정조건이 휘도에 미치는 영향,” 한국소성가공학회지:소성가공, 제11권, 4호, pp. 341-348, 2002.
 - 6) 2000년 신기술동향조사 보고서 (백라이트 부분의 저소비 전력화), 특허청
 - 7) 김태훈, 박소희, 김영섭, 최은서, 신용진, “백라이트 도광판 패턴의 레이저 가공에 관한 연구,” 한국레이저가공학회 2006년도 춘계학술발표대회 논문집, pp. 66-67, 2006.
 - 8) 김영섭, 김태훈, 박소희, 최영희, 최은서, 신용진, “레이저 가공에 의한 백라이트 도광판 성능 향상,” 한국레이저가공학회지, 제10권, 제1호, pp. 29-34, 2007.
 - 9) Sohee Park, Youngseop Kim, and Yongjin Shin, “Investigation of the shape of the dots in laser irradiated crystal and PMMA using Optical Coherence tomography,” 한국레이저가공학회지, 제8권, 제2호, pp. 1-6, 2005.
 - 10) Y. J. Shin, Y. S. Kim, S. H. Park, J. W. Lee, W. G. Jung, Z. Chen, and J. S. Nelson, “Analysis of laser engraving image inside crystal and PMMA,” Proc. SPIE, Vol. 5713, pp. 539-544, 2005.