레이저 가공 산란패턴의 유형에 따른 도광판의 휘도 및 균일도 향상에 관한 전산모사

박소희 · 이승석 · 마혜준 · 최은서 · 신용진[†]

조선대학교 자연과학대학 물리학과
 ☎ 501-759, 광주광역시 동구 서석동 375

(2010년 11월 8일 받음, 2010년 12월 1일 수정본 받음, 2010년 12월 1일 게재 확정)

레이저로 가공된 평면산란패턴을 가지는 도광판은 도광판 상부로 방출되는 광이 광원과 가까운 부분에 편중되는 문제로 인해 전체적인 휘도 분포가 균일하지 않은 문제점을 가지고 있었다. 이를 해결하기 위해 도광판 후면에 레이저를 이용하여 도광판 내부에서 특징적인 기울기를 가지는 산란패턴을 만듦으로써 도광판 상부로 방출되는 광의 균일도를 향상시키고자 하였다. 본 논문에서는 도광판 후면의 산란패턴을 간격과 가공 깊이를 다르게 조절하여 설계하고 이에 따른 도광판의 성능의 차이점을 가공 전에 분석하고자 전산모사를 수행하였다. 본 논문에서 제안한 산란패턴을 가지는 도광판은 기존의 도광판의 휘도와 균일도에 비해 높은 향상을 가질 것으로 예상되는 바이다.

Simulation of Luminance and Uniformity of LGP According to the Laser Scattering Pattern

So Hee Park, Seung Suk Lee, Hye Joon Ma, Eun Seo Choi, and Yong Jin Shin[†]

Department of Physics, College of Natural Science, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

(Received November 8, 2010; Revised manuscript December 1, 2010; Accepted December 1, 2010)

Laser-induced scatterer patterns in a light guide panel(LGP) have provided partially concentrated light distribution, especially near the light entrance of the LGP. Additional treatments for enhancing performance of the LGP, such as gradually increased processing depth, were also developed, but minor improvement was observed in the fabricated LGP. To solve this problem, we designed a revised scatterer pattern to be inscribed into the LGP using different laser processing depths and different separation distances between patterns. Performance feasibility of the proposed pattern was analyzed with simulation before laser inscription in the LGP. The LGP inscribed with the proposed scatterer patterns contributes improvements in luminance and uniformity of the LGP.

Keywords: Light guide panel (LGP), Back light unit (BLU), Liquid crystal display (LCD)

OCIS codes: (050.1950) Diffraction gratings; (350.3390) Laser materials processing

I. 서 론

백라이트 유닛(Backlight Unit, BLU)은 단순히 디스플레이 장비에 빛을 공급해주는 기능을 뛰어 넘어 LCD(Liquid Crystal Display)의 화질을 결정하는 주요 부품으로 LCD관련 부품산업의 성장과 함께 관련 기술의 발전과 전체 시장의 확대가 급속히 이루어지고 있다. BLU는 LCD 장치의 표시성능, 구조, 그리고 소비전력 등에 직접적으로 영향을 주어 LCD 패널의 상품가치를 결정하는 주요 구성요소이다. 현재 고휘도, 박형화, 저전력화 중심으로 개발되고 있으며, 대체광

원에 대한 개발, 도광판의 공정 단순화와 시트기능의 복합화와 같은 다양한 연구가 수행 중에 있다. BLU는 자체 발광력이 없어 빛이 없는 곳에서는 사용이 불가능한 LCD 패널의 하부에 위치하여 LCD 화면 전체에 균일한 밝기를 유지해주는 광원 장치이다. BLU의 성능을 좌우하는 것은 도광판(Light Guide Panel, LGP)이다. 도광판의 측면에서 입사된 광은 경계면에서 반사되어 도광판 내부로 전달되며, 일부는 도광판 후면에 형성된 산란패턴에서 산란되어 도광판의 전면으로 방출된다. 이때 상부로 방출되는 광의 효율을 높여 고휘도를 구현하고 균일한 휘도분포를 유지하는 것이 중요하

[†]E-mail: yjshin@chosun.ac.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

다. 선명한 영상을 구현하기 위해서 LCD 패널은 빛 투과율이 낮기 때문에 BLU에서 더 많은 빛을 제공해야 하는 반면 재료비는 그대로 유지해야하기 때문에 최근 다양한 기술을 활용한 BLU 개발이 추진되고 있는 실정이다^[1-4]. 실제로 광의 경로차는 매질의 변화가 있어야만 발생하기 때문에 도광판 안에서의 광경로 변경은 없다. 기존에 레이저를 이용하여 생성된 내부산란패턴이 적용된 도광판의 개발은 고속 스캐닝이 가능하고 산란패턴의 디자인 개발과 수정이 용이한 비접촉 가공법을 이용함으로써 미세입자 잔류의 문제가 없어 후처리 공정의 생략이 가능하면서도 휘도 분포와 균일도 향상이 가능하였으나 산란체 밀도에 따른 광량의 손실 및 제작시 가공시간이 많이 소요되는 등의 문제점이 제기되었다[5-7]. 본 연구에서는 도광판 내부에서 광량의 손실을 최대한 감소시켜 휘도분포를 향상시키고 개발 및 공정을 단순화할 수 있는 외부산란패턴을 설계하였다. 레이저 가공에 의한 도광판 제작을 위해 요구되어지는 가공변수의 결정과 그에 따른 도광판 성능을 예측하고자 전산모사를 통해 최적의 외부산란패턴을 분석하고자 하였다.

II. 전산모사(Simulation)

백라이트에서 패턴이란 단어는 많은 것을 함축하고 있다. 도광판(Light Guide Plate)의 하부에는 산란 물질을 포함하거나 기하학적인 형상을 가지는 요소들이 있어서, 도광판 내부로 진행되는 광선의 진행방향을 변경시켜 백라이트 외부로 나오도록 하는 역할을 한다. 도광판은 투명한 PMMA(polymethyl methacrylate) 아크릴판의 하부에 패턴 형성의 한 방법인 "V"홈을 레이저 가공에 의해 형성시켜 측면에서 들어오는 빛의 방향을 수직으로 전환하고자 하였다. 도광판 내부로 들어오는 광선은 아크릴의 굴절률에 의해 입사 후의 각도가 법선과 이루는 각이 모두 임계각(42°)보다 작다. 이것은 도광판의 상하면에서는 광선의 입사각이 47.88° 이상인 것이 되어 모두 임계각을 초과하기 때문에 도광판 내부에서는 전반사만 일어나게 되어 광선이 도광판 윗면으로 나올 수 없게 된다. 따라서 도광판 내부에 광선의 방향을 변경시킬 수 있는 요소들을 필요로 하며, 이것이 산란패턴이다. 패턴은 일반적으로 도광판 하부에 존재하며 도광판 내부를 진행하는 빛을 밖으로 빠져

나오도록 도와주는 역할을 한다. LED는 도광판의 측면에 위치하므로 만약 반사 패턴이 도광판 전체에 걸쳐 균일한 분포를 가질 경우, 광원에 가까운 가장자리가 중앙부위보다 밝아지게 되므로 산란패턴은 이를 고려하여 광원에서 가까운 부분은 작게 또는 등성등성하게 설계하여 입사부분에 광량이 몰리는 문제를 해결하고자 하였고, 광원으로부터 먼 부분은 크게 또는 밀집하게 도포하여 반사량을 조절하는 방식으로 도광판 전체에서 방출되는 광량의 균형을 맞추도록 외부경사산란패턴을 설계하였다. 이 패턴의 간격과 형상을 조절하는 것은 도광판에서 전면부로 방출되는 빛의 균일도를 높이는데 가장 중요한 요소로 작용한다.

2.1. 외부산란패턴적용을 위한 도광판 설계의 구성

도광판 체적 외부에 산란체를 형성시켜 내부에서 야기되는 광량의 손실을 감소시켜줄 뿐 아니라 보다 나은 휘도 분포와 균일도 향상에 기여할 수 있는 새로운 도광판 제작방법을 분석하기 위해 광학 및 조명기구 설계 및 해석프로그램인 Light-Tools(Optical Research Associates)라는 광선추적기법(ray tracing technique) 소프트웨어를 활용하였다. 도광판 측면에 위치한 LED광이 전반사를 통하여 도광판 내부로 전달되고, 도광판 후면의 산란패턴에 부딪힌 광이 산란되어 상부로 방출되는데 이때 상부로 방출되는 빛의 밝기와 분포를 제어하기 위한 외부산란패턴설계에 목적을 두고 전산모사를 통하여 가공변수의 변화에 따른 결과를 비교하고 이에 따른 데이터를 분석하였다. 외부산란패턴이 휘도 균일도 향상에 효과적인지를 판단하기 위한 전산모사를 수행하기 위해 적용한 도광판의 재질은 가장 널리 사용되고 있는 PMMA(Polymethyl methacrylate)로 굴절률 1.49, 광흡수율 $1.70 \times 10^{-3} / \text{mm}$ 이다. 그림 1과 같이 면적이 $50 \times 40 \text{ mm}^2$ 이고 두께 3 mm인 도광판에 레이저 가공에 의한 산란체는 $38 \times 38 \text{ mm}$ (가로×세로)영역 내로 설계하였고, 가공높이는 두께의 90%인 2.7 mm이하의 조건을 적용하여 제작하였다. 실제 가공할 레이저의 빔 사이즈를 고려하여 가공 폭을 0.5 mm로 설정하였고, 평면패턴의 가공높이가 증가할수록 도광판 후면까지 입사광이 도달하는 정도가 매우 낮아지므로 그에 따른 휘도분포가 감소함을 보여 가공높이는 0.1 mm, 0.3 mm, 0.5 mm로 설계 후 전산모사하였다. 패턴간격은 가공 폭이 0.5 mm임을 고려하여 1.5

FIG. 1. The proposed LGP model based on laser scattering pattern.

FIG. 2. Luminance measurement area by sections of the LGP.

mm, 2.5 mm, 3.5 mm로 설계한 후 전산모사 하였으나 패턴 간격이 증가하여 산란체가 감소함에 따라 상부로 방출되어 지는 광량이 줄어들기 때문에 패턴간격은 1.5 mm로 적용하고 가공높이의 변화에 따른 결과를 비교 분석하였다. 더불어 경사패턴의 기울기 정도는 도광판의 두께 3 mm의 90%인 2.7 mm로 설정하여 기울기를 4.06°으로 설계하였다. 기초실험에 행해질 가공변수와 그에 따른 데이터는 시간의 절감과 최적의 외부산란패턴유형 파악을 위해 임의로 설정한 위의 가공변수에 따른 결과 분석만을 보이기로 한다.

2.2. 외부산란패턴을 적용한 도광판의 전산모사 조건

전산모사에 사용된 PMMA 각 면의 광학특성은 투과율 100%로 설정하였으며, 광원은 현재 시판중인 LED 모델인 Phometric Flux 3.5 Lumen, view angle이 70°인 Lumileds co. HPWT-MH00-G4000 3개를 각각 y=10 mm, 0 mm, -10 mm 위치에 놓고, 빛은 z축으로 진행하도록 하였다. 또한 휘도는 방향성을 가진 개념이므로 z축 방향으로 10.375 mm 떨어진 부분에 Surface receiver를 설치하여 평가하도록 하였고, 도광판의 패턴 하부에 두께 0.01 mm로 설정한 반사시트는 도광판 반사면의 패턴에 의하여 확산, 반사되는데 일부는 산란체에 흡수되지만 일부는 외부로 출사된다. 따라서 출사되는 광이 LCD 모듈이 아닌 다른 방향으로 출사되는 것을 방지하여 광 손실을 줄여주고 광량의 효율을 높이기 위해 반사율을 100%로 적용하였다. 광원으로부터 방출되는 광선(Optical Ray)의 개수는 조건 당 500,000개로 설정하여 5%이내의 오차 범위로 그림 2와 같이 패턴영역을 9구간으로 나누어 입사부의 A, B, F와 C, G, H 그리고 D, E, I 이와 같이 세 부분으로 나누어 각각의 휘도값을 계산하였고, 계산된 결과 값을 이용하여 평균휘도와 이에 따른 균일도를 정량화 하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 설계 패턴 유형별 휘도분포 및 균일도 변화

도광판의 휘도는 산란패턴에 영향을 받을 뿐만 아니라 입사 광원의 광세기에도 영향을 받기 때문에 본 연구에서는 도광판 패턴을 제작할 때 휘도세기보다는 평균휘도와 균일도

에 집중하여 분석하고자 하였다. 도광판 입사부에 위치한 LED에서 입사된 빛이 도광판 내부로 전달되고, 도광판 후면에 생성된 산란패턴에 산란된 광의 상당부분이 상부로 방출되는데 이때 상부로 방출되는 빛의 밝기와 분포를 제어하기 위한 패턴설계에 목적을 두고 가공변수의 변화에 따른 전산모사 결과를 비교하여 분석하였다. 평면산란패턴의 가공높이가 0.1 mm나 0.3 mm인 경우 간격이 1.5 mm, 2.5 mm, 3.5 mm로 증가함에 따른 선행연구를 시행하였으나 도광판 영역 내 산란체의 개수가 감소하게 되어 도광판 상부로 방출되어 지는 광량이 점차 줄어들게 되며, 이에 따라 평균휘도가 현저하게 저하됨을 보였다. 하지만 패턴 간격이 증가함에 따라 입사부와 가까운 부분에 입사광과 강한 산란을 야기할 패턴 개수가 줄어들고, 도광판 후면으로 갈수록 도광판 전체에 걸쳐 패턴의 간격이 증가함에 따라 균일도는 다소 향상됨을 확인할 수 있었다.

그림 3과 같이 평면산란패턴의 가공높이가 0.5 mm인 경우 패턴간격의 증가에 따른 평균휘도 역시 감소함을 보였지만, 가공높이가 0.1 mm나 0.3 mm인 경우에 비해 광원과 인접한 전면의 산란패턴과 부딪힌 광만 상부로 방출됨을 보여 입사된 광이 도광판 후면까지 도달하지 못하게 되어 평균휘도가 감소함을 확인할 수 있었다. 평면산란패턴의 경우 광원과 가까운 전면부로 방출되는 광이 상대적으로 많아 평균휘도는 높았지만 그림 3의 (d)와 같이 경사산란패턴의 경우 평면패턴과 동일한 조건에서도 후면의 산란체를 충분히 생성함으로 인해 입사된 광이 도광판 끝단까지 전달되어 휘도가 비교적 고르게 분포됨을 보였고, 이에 따라 균일도는 평면산란패턴에 비해 2~7배 정도가 향상됨을 보였다.

평면산란패턴에 있어서 패턴간격이 1.5 mm일 때 가공높이가 0.1 mm인 평면산란패턴의 평균휘도가 571.4 cd/mm²인 반면, 가공높이가 0.5 mm인 평면산란패턴의 평균휘도는 502.2 cd/mm²로 감소함을 알 수 있다. 하지만 패턴간격이 1.5 mm인 경우 균일도는 가공높이가 0.1 mm인 평면산란패턴의 경우 11.7%에 비해, 가공높이가 0.5 mm인 평면산란패턴의 균일도는 31.5%로 2.7배 정도 향상됨을 알 수 있었다. 이를 통해 결과적으로 도광판 하부에 적용된 평면패턴의 경우에는 후면의 산란패턴에서 산란된 광이 난반사되어 진행하는 빛이 적어 상부로 방출되지 않음으로 인해 평균휘도와 균일도가 현저히 낮음을 표 1과 그림 4에서 확인할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 광원으로부터 멀어지는 쪽의 산란체를 위로 올려주어 가급적 산란패턴에 더 많은 광이 상부로 방출되어 평균휘도와 균일도를 향상시킬 수 있도록 패턴의 높이를 조절하는 것이 중요하다. 이에 패턴간격과 가공높이의 제어에 따라 평균휘도와 균일도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단되는 바, 광원으로부터 멀어지는 쪽의 산란체를 위로 올려주어 가급적 산란패턴에 더 많은 광이 상부로 방출되어 평균휘도와 균일도를 향상시킬 수 있도록 도광판 두께의 90%인 2.7 mm로 기울기를 4.06°의 경사패턴을 설계하여 평면산란패턴과 동일한 조건으로 전산모사 하였다. 그 결과 평면산란패턴과 마찬가지로 패턴 간격이 증가할수록 평균휘

FIG. 3. Simulation results of the LGP having outside scatterers patterns. Optical source was placed at the top (left 2D figure) and left bottom (right 3D figures) side: (a) plane pattern-a (depth: 0.1 mm), (b) plane pattern-b (depth: 0.3 mm), (c) plane pattern-c (depth: 0.5 mm), (d) slope pattern-a (slope : 4.06°).

도는 감소함을 보였으나, 동일 조건을 적용했음에도 불구하고 경사산란패턴의 균일도가 급격히 향상됨을 알 수 있었다. 패턴간격이 1.5 mm인 경우 평면산란패턴의 평균휘도가 571.4 cd/mm^2 , 균일도가 11.7%임에 비해 경사산란패턴의 평균휘도는 684.9 cd/mm^2 로 증가됨을 보였고 균일도가 83.1%로 거의 7배 가까이 향상됨을 확인할 수 있다.

경사산란패턴의 효과를 보다 극대화시키기 위해 패턴간격 1.5 mm의 동일 조건에서 기울기의 변화를 주어 전산모사를 행하였고, 도광판의 두께 3 mm의 90%인 4.06°기울기의 실험 결과를 기준으로 70%인 3.16°기울기와 50%인 2.26°기울

TABLE 1. Performance of the LGP in average luminance and uniformity of brightness according to the plane and slope patterns

	Average Luminance (cd/mm^2)	Uniformity of Brightness Min/Max (%)
Plane-a	571.4	11.7
Plane-b	559.4	23.2
Plane-c	502.2	31.5
Slope-a	684.9	83.1

FIG. 4. Graphical comparison of the LGP in average luminance and uniformity of brightness according to the plane and slope patterns.

TABLE 2. Performance of the LGP in average luminance and uniformity of brightness according to slope angle of patterns

	Average Luminance (cd/mm^2)	Uniformity of Brightness Min/Max (%)
Slope-a	684.9	83.1
Slope-b	677.3	84.3
Slope-c	644.8	72.9

FIG. 5. Graphical comparison of the LGP in average luminance and uniformity of brightness according to slope angle of patterns.

기의 산란패턴에 대해 비교 분석하였다.

이 결과 표 2 및 그림 5에서와 같이 경사산란패턴의 기울기에 따른 평균휘도의 차이가 크지 않음을 알 수 있었고, Slope-a는 4.06°기울기를 가진 경사패턴의 경우로 광원으로 부터 멀어지는 후면 부분의 산란패턴과 부딪힌 광이 상부로 방출되기 전에 서로 상쇄되어 균일도가 감소함을 보였다. 또

한 기울기가 2.26° 인 Slope-c의 경우 평균휘도와 균일도가 다소 감소함을 나타내어 도광판의 두께를 감안했을 때 기울기가 50%이상 90% 이하인 경사패턴을 적용하는 것이 보다 효과적임을 예상할 수 있었다.

위의 실험을 토대로 경사의 기울기 정도, 패턴 형상 및 크기와 패턴간격 등을 조절하여 보다 정확하고 효율성을 향상시킬 수 있는 패턴 설계를 실제 실험에 적용하여 검증한다면 개발 및 공정을 단순화할 수 있는 레이저 가공법을 이용함으로써 평균휘도 및 균일도가 높은 다양한 산란패턴 설계가 가능할 것으로 예상된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 빛이 진행하는 도광판 내부에 산란체가 형성되게 하기 위해 위치에 따라 도광판 외부로부터 레이저 가공높이를 달리한 경사산란패턴을 만들어 광의 경로가 최대한 전면으로 향할 수 있도록 가공변수에 따른 최적의 외부산란패턴을 설계하여 평균휘도와 균일도에 대한 변화를 비교 분석 하였다. 그 결과 평면산란패턴의 경우 광원과 가까운 쪽에서 상부로 방출되는 광이 다소 많음으로 인해 평균휘도가 높았지만 이에 비해 균일도는 현저히 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이 문제를 해결하기 위해 광원으로부터 멀어지는 쪽의 산란체를 위로 올려주어 가급적 후면의 산란패턴에 의해 상부로 방출되는 광을 유도하여 평균휘도와 균일도를 향상시킬 수 있도록 가공높이와 산란패턴의 간격 등의 조절이 매우 결정적인 역할을 하는 것으로 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 실제 도광판 제작에 있어서 패턴의 가공높이 및 간격의 최적 조건을 도입한다면 레이저를 이용한 도광판 제조 시스템의 장점인 짧은 제조시간과 높은 휘도를 극대화시킬 수 있고, 전산모사로 구축된 패턴 설계를 통해 쉽고 빠르게 패턴을 디자인하여 도광판 패턴 설계에 필요한 시간을 절감할 수 있으며, 빠른 시제품 제작이 가능하여 설계에서 평가 단계까지 필요한 시간과 공정을 단축시킬 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구는 현재까지 사용되는 일반적인 방법에 비해 빛의 손실을 최대한 줄이고 광효율이 향상된 도광판 제작에

힘을 실어줄 수 있을 것으로 기대되며 외부산란패턴 설계에 있어 최적의 가공조건을 선정하여 실제 도광판에 도입하기 위한 실험을 현재 연구수행 중에 있다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 조선대학교 학술연구비의 일부 지원을 받아 연구되었음.

References

1. Y. C. Kim, "LGP output characteristics depending in BLU pattern size," Hankook Kwanghak Hoeji (Korean J. Opt. Photon.) **19**, 43-47 (2008).
2. Y. H. Choi, H. J. Ma, E. S. Choi, and Y. J. Shin, "The numerical calculation of simplified light guide panel model with adjustable optical reflectivity," Sae Mulli (The Korean Physical Society) **59**, 165-168 (2009).
3. K. H. Lee, S. H. Jee, S. H. Kim, Y. S. Yoon, and S. H. Kim, "Modeling for new type backlight units," Korean J. Opt. Photon. (Hankook Kwanghak Hoeji) **21**, 41-45 (2010).
4. Y. C. Kim, D. W. Kim, T. S. Oh, Y. M. Lee, S. Ahn, and Y. C. Kim, "LGP pattern design by using a pattern density function with simple exponential function," Korean J. Opt. Photon. (Hankook Kwanghak Hoeji) **21**, 97-102 (2010).
5. G. D. Kim, H. J. Kang, S. H. Ahn, C. K. Song, C. I. Back, and C. S. Lee, "Laser-marking process for liquid-crystal display light guide panel," Proc. IMechE **219(B)**, 565-569 (2005).
6. T. H. Kim, S. H. Park, H. K. Oh, and Y. J. Shin, "Analysis of the laser patterning inside light guide panel," Optics & Laser Technology **39**, 1437-1442 (2007).
7. E. S. Choi, Y. H. Choi, and Y. J. Shin, "Light manipulation in a transparent medium with laser-patterned three-dimensional and surface scatterers," J. Korean Phys. Soc. **55**, 2646-2649 (2009).