

실험계획법을 이용한 도광판 레이저 마킹 및 웹기반 시스템 구축

강혁진*(서울대 대학원 기계항공공학부), 김희준(서울대 정밀기계설계공동연구소), 안성훈(서울대 기계항공공학부)

Laser Marking for Light Guide Panel using Design of Experiment and Construction of Web-based Prototyping System

H. J. Kang(School of Mechanical and Aerospace Engineering, SNU), H. J. Kim(Institute of Advanced Machinery and Design, SNU), and S. H. Ahn(School of Mechanical and Aerospace Engineering, SNU)

ABSTRACT

A light guide panel (LGP) is an element of the LCD back light unit, which is used for display devices. In this study, a laser marking process is applied to the fabrication of light guide panels as the new fabrication process. In order to obtain a light guide panel which has high luminance and uniformity, four principal parameters such as power, scanning speed, ratio of line gap, and number of line were selected as important factors. A Web-based design tool was developed to generate patterns of light guide panel, and the tool may assist the designer to develop optimized patterns. Topcon-BM7 was used for luminance measurement of each specimen 100mm×100mm area. By Taguchi method optimized levels of each parameters such as 40W of power, 30mm/s of scanning speed, 100:50 ratio of pattern gap, and 90 line of pattern were found by Taguchi method.

Key Words : Back light unit (백라이트유닛), Light guide panel (도광판), CO₂ Laser marking (CO₂ 레이저 가공), Design of experiment (실험계획법), Web-based system (웹기반 시스템)

1. 서론

최근 디스플레이 시장의 급격한 성장으로 유기 EL, PDP, TFT-LCD 등과 같은 차세대 디스플레이에 관한 연구 개발과 함께 부품의 성능 향상 및 제조 공정의 개선을 위한 개발이 활발히 진행되고 있다. 이 중 TFT-LCD는 자가 발생하는 광원이 없기 때문에 반드시 광원을 필요로 하는데, BLU (back light unit)가 TFT-LCD의 배면 광원의 역할을 하고 있다¹. BLU (back light unit)는 단순한 조명장치라 아닌 여러 분야의 첨단기술이 조합된 부품이다. BLU의 주요 부품이라 할 수 있는 도광판 (light guide panel)은 광 반사 패턴의 형성으로 램프의 선 광원을 면 광원의 형태로 확산시키는 역할을 하며 재료로는 PMMA (polymethyl-methacrylate) 수지가 주로 사용되고 있다. 현재 도광판의 광학적 패턴 형성을 위하여 적용되고 있는 제조 공법으로는 스크린 인쇄 방식, 사출 방식, 스탬핑 방식과 V 커팅 방식 등이 있는데, 이러한 기존의 제조 방식들은 각 제품의 성능, 제조단가, 생산성과 관련하여 나름대로의

장단점을 지니고 있으나 일반적으로 전·후처리 공정이 필요하다. 그러나 최근에는 모델 변경 시 패턴, 금형, 스탬퍼 등의 설계 및 개발에 소요되는 기간을 단축하기 위하여 레이저 가공법이 각광받고 있다. 본 연구에서는 CO₂ 레이저를 이용한 도광판 제조시스템의 장점인 짧은 제조시간과 높은 휘도를 구현하고 원격지에서의 설계까지 제공하기 위해 웹을 통한 빠른 설계로 시작품 제작 시스템을 구축하였다. 또한 도광판 패턴 설계 기법을 개발하는데 필요한 시간과 비용을 절감하기 위해 실험계획법을 도입하였다. 실험계획법에 근거하여 높은 휘도와 균일도를 갖는 도광판 패턴을 설계 및 가공하기 위한 주요 변수를 선정하고 그 수준을 결정하는 연구를 수행하였다.

2. 웹기반 도광판 패턴 설계 시스템

웹기반 도광판 설계를 위해 설계자는 웹페이지 (<http://fab.snu.ac.kr/webtool/laser/main.asp>)에서 제공되는 도광판 패턴 디자인 도구로 패턴간 간격과 개수

를 변경할 수 있다. Fig. 1 과 같이 구축된 디자인 도구는 CAD 등의 설계프로그램을 사용하지 않고 웹 페이지 상에서 수 분 이내에 패턴을 생성할 수 있다². 이 설계도구는 파라메트릭 커브의 컨트롤 포인트를 사용하여 광원으로부터의 거리에 따라 패턴 간 간격을 손쉽게 변경하여 설계한다. 즉 광원으로부터 멀어지게 되면 빛의 양은 감소하게 되므로 먼 곳의 패턴을 조밀하게 하여 전면부로 반사되는 빛의 양을 증가시키는 원리를 이용한다. 따라서 광원으로부터 가까운 곳의 패턴간격 (ℓ_1)과 먼 곳의 패턴간격 (ℓ_2)을 조절하여 도광판 전체에 대한 패턴을 제어한다. 설계된 패턴은 레이저 가공을 위한 NC 코드로 변환하여 설계자에게 웹을 통해 전송된다. 가공실험에는 출력이 0~50W 이고 파장이 10.6 μm 인 TEM₀₀ 모드의 CO₂ 레이저를 사용하였다.

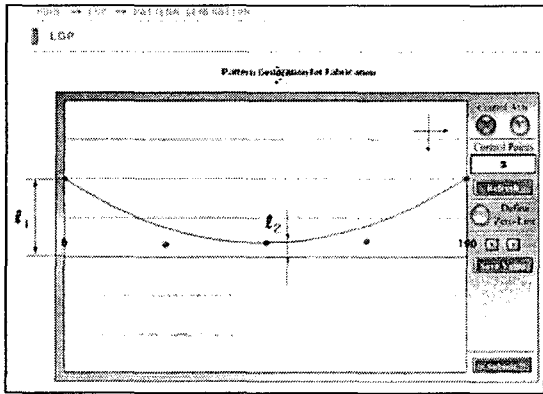


Fig. 1 Web-based pattern design tool for light guide panel

3. 실험

3.1 실험계획법

도광판 미세패턴 제작에 사용되는 레이저의 높은 휘도와 균일도를 위한 인자의 수준을 찾기 위해 다구찌 방법을 이용하였다³. 레이저에 의해 가공되는 패턴의 품질은 다양한 인자들에 의해 결정된다. 다구찌 방법의 강건설계는 잡음인자의 영향을 최소화하고 품질을 강건하게 유지시키기 위해 SN 비(signal to noise ratio)를 사용한다. SN 비는 신호 대 잡음의 비율로 입력신호의 힘과 잡음이 주는 영양의 힘의 비율로 나타난다. 따라서 각각의 조절인자의 SN 비를 크게 만드는 값을 그 인자의 값으로 결정하면 그 값은 잡음에 대해 강건한 성질을 갖게 된다^{4,5}. SN 비는 목적함수, 즉 특정치에 의해 그 정의가 달라지는데, 본 연구에서 이용할 특성인 휘도와 균일도는 높을수록 좋으므로 망대특성이다. 망대특성의 경우 기대손실 $L(y) = kE(1/y^2)$ 를 작게 해주기 위한 SN 비를 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$SN = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

여기서 n 은 측정값의 수를 나타내고 y_i 는 측정된 특성값을 나타낸다. 망대특성의 경우 기대값 $E(1/y^2)$ 의 최소화는 SN 비의 최대화와 관계가 있다⁴.

3.2 선행실험

레이저 가공 시 고려되는 레이저 빔의 출력과 스캐닝 속도, 레이저 빔 직경, 초점 거리 등의 여러 변수 중 피가공물에 가장 큰 영향을 주는 인자는 레이저 빔의 출력과 스캐닝 속도이다⁶. 이러한 이유로 선행실험에서는 레이저 빔의 출력과 스캐닝 속도를 가공변수로 선정하였다. 이 때 사용되는 레이저의 초점 거리는 시스템을 구성하는 과정에서 고정하여 빔의 직경이나 초점 문제는 고려하지 않았다. 출력과 스캐닝 속도를 변경하며 선행실험을 수행한 결과 스캐닝 속도가 빠를수록 v-groove 의³ 깊이(depth)는 감소하나 너비(width)는 거의 일정한 것으로 나타났다. 또한 스캐닝 속도를 일정하게 유지시키고 출력을 증가시킬 경우 역시 같은 경향을 나타냈다. 레이저 출력이 낮은 경우, 스캐닝 속도의 변화에 따른 깊이 감소가 커져 v-groove 의 각도가 빛의 반사에 불리해지므로 출력은 30W 부터 50W 까지를 인자수준의 범위로 선정하였다. 또한 스캐닝 속도는 인자수준을 30mm/s 에서 50mm/s 까지를 범위로 정하였다.

3.3 인자선정

선행실험을 통해 레이저 출력과 스캐닝 속도를 변수로 지정하여 패턴을 시험 제작하였다. 그 결과를 바탕으로 Table 1 과 같이 패턴 제작 시 영향을 미칠 수 있는 인자 및 수준을 선정하였다. 선정된 영향요소는 출력 (power)과 스캐닝 속도 (scanning speed), 광원에서 가까운 곳과 중앙부의 패턴간 간격비율 ($\ell_1 : \ell_2$), 그리고 총 패턴라인의 수 (number of lines)이다. 주변 온도, 습도 등은 상온의 실내에서 작업한다는 가정 하에, PMMA 밀도 등 재료의 종류에 따른 영향인자는 동일한 재료를 사용한다는 가정하에 제어 불가능한 잡음인자로 간주하였다.

Table 1 Levels of selected factors

Factor \ Level	1	2	3
Power (W)	30	40	50
Scanning speed (mm/s)	30	40	50
Ratio of line gap ($\ell_1 : \ell_2$)	100:30	100:40	100:50
Number of line	80	85	90

3.4 실험방법

실험계획법에서 직교배열표를 사용하는 이유는 최적조건 선정 시 안정성을 보장하고, 실험의 크기를 최소화하며 실험에 많은 영향인자와 그 수준을 포함시킬 수 있다는 장점에 있다. 따라서 Table 2에 따라 직교배열표를 작성하여 4 인자 3 수준계의 직교배열표 (L_93^4)를 선정하고 9 번의 실험으로 각 인자의 수준변화에 따른 가공을 수행하였다. Table 2와 같이 네가지 인자의 수준별로 배치된 도광판 패턴 설계 및 가공 조건을 바탕으로 100mm×100mm의 면적을 갖는 8mm 두께의 평판형 PMMA 위에 레이저로 가공하였다. 가공한 각 도광판의 휘도 측정용 위해 도광판의 아랫면과 좌우측면에 반사판(reflector sheet)을 대고 남은 양쪽 두 면에 3.8W의 CCFL(Cold Cathode Fluorescence Lamp)를 부착하였다.

빛이 반사되어 나오는 전면부에는 확산시트(diffuser sheet)를 부착하여 빛을 전체적으로 확산시켰다. 각 도광판별로 25 개의 일정한 지점의 휘도를 측정하여 패턴에 따른 시편별 휘도와 균일도의 값

을 Fig. 2와 Table 2에 나타냈다. 휘도 측정에 사용한 장비는 BM-7(Topcon)이다.

Table 2 Orthogonal arrays and experimental results

Exp. No.	A	B	C	D	Luminance (cd/m ²)	Uniformity (%)	Time (sec)
1	1	1	1	1	3339	68.4	56
2	1	2	2	2	3415	72.5	59
3	1	3	3	3	3425	80.4	71
4	2	1	2	3	3523	92.0	49
5	2	2	3	1	3353	77.9	52
6	2	3	1	2	3442	66.6	63
7	3	1	3	2	3452	85.2	62
8	3	2	1	3	3326	62.2	47
9	3	3	2	1	3280	65.4	55

3.4 실험결과 및 분석

Table 2에 나타난 휘도와 균일도에 대한 측정대

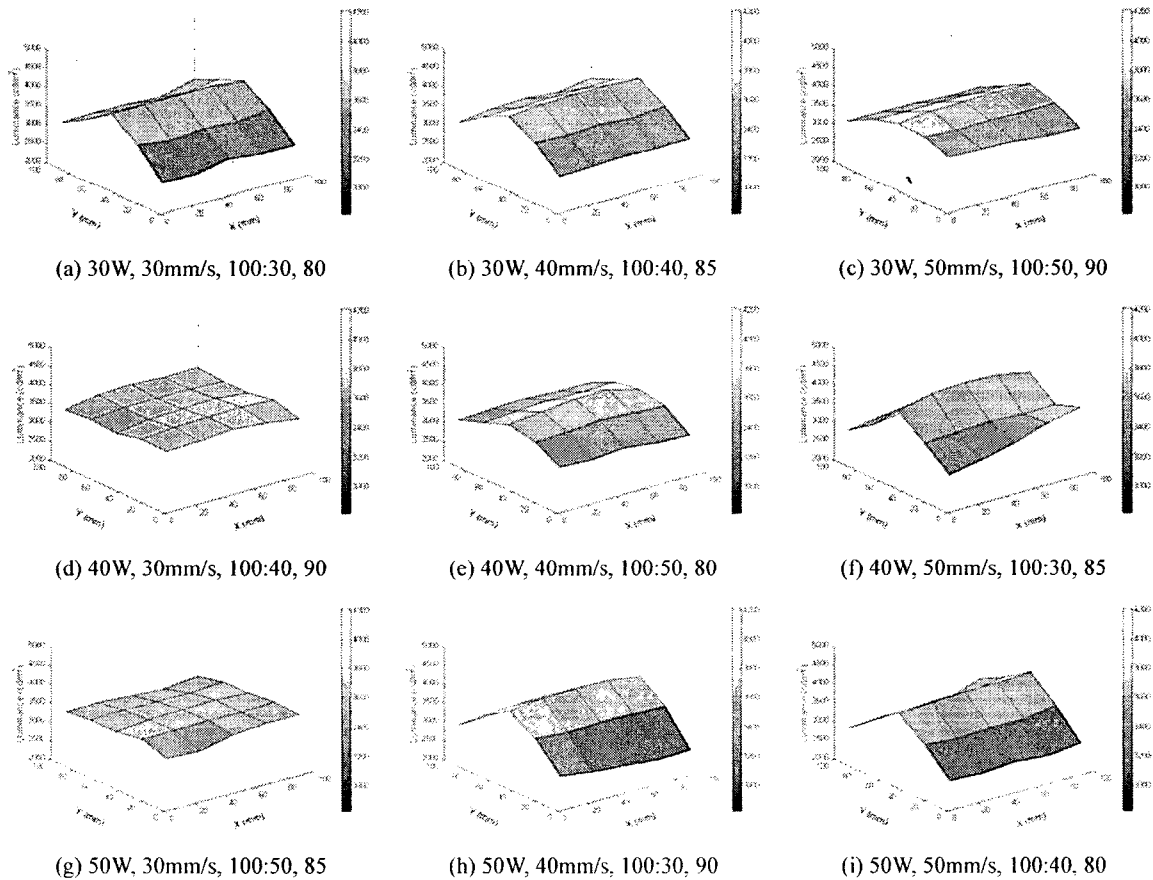


Fig. 2 Three-dimensional luminance distribution for laser machined light guide panels (laser power, scanning speed, ratio of pattern gap, number of line)

이더로부터 SN 비를 계산한 결과는 Table 3 에 나타난 바와 같다. 이를 통해 구한 각 인자와 그 수준별 효과는 Table 4 와 Table 5 와 같다. 여기서 수준차 (deviation)는 인자의 수준별 효과의 최대값과 최소값의 차이이며 기여율 (percentage contribution)은 전 수준차의 합에 대한 백분율로 나타낸다³. SN 비에 대한 분석 결과, 휘도와 균일도에 대한 기여율이 가장 높은 인자는 D 인 패턴의 개수와 C 인 패턴간 간격비율이다. Table 5 와 Table 6 에서 각 인자별 수준의 효과를 비교하여 높은 휘도와 균일도를 구현하기 위한 최적의 인자별 수준을 찾으면 A2, B1, C3, D3 이 된다. 즉 출력이 40W 이고 스캐닝 속도가 30mm/s, 패턴간격의 비율이 100:50, 그리고 총라인의 수가 90 개일 때 높은 휘도와 균일도를 갖는 도광판을 제조할 수 있다. 이는 등간격 패턴을 갖는 도광판의 평균휘도가 3382cd/m² 이고 균일도가 88% 였던 것에 비교하면 약 5% 가량 향상된 결과를 보이고, 기존의 12.5인치 이하의 도광판의 휘도가 2000~3000 cd/m² 이고 균일도가 85% 수준인 것에 비해 크게 향상된 결과를 보여준다.

Table 3 SN ratio of luminance and uniformity

No.	SN ratio of luminance	SN ratio of uniformity
1	70.41	36.53
2	70.62	37.07
3	70.67	38.16
4	70.93	39.21
5	70.48	37.69
6	70.65	36.57
7	70.75	38.45
8	70.34	36.01
9	70.23	36.40

Table 4 Respond table for SN ratio of the luminance

Factor	Effect			Deviation	PC (%)
	1	2	3		
A	70.57	70.68	70.44	0.24	26.4
B	70.69	70.48	70.51	0.21	23.1
C	70.47	70.59	70.63	0.16	17.6
D	70.37	70.67	70.64	0.30	33.0

* PC: percentage contribution

Table 5 Respond table for SN ratio of the uniformity

Factor	Effect			Deviation	PC (%)
	1	2	3		
A	37.25	37.82	36.95	0.87	18.7
B	38.06	36.92	37.04	1.14	24.5
C	36.37	37.56	38.10	1.73	37.1
D	36.87	37.36	37.79	0.92	19.7

* PC: percentage contribution

4. 결론

본 논문에서는 레이저를 이용한 도광판 제조시 설계부터 가공에 이르는 과정의 영향인자를 파악하고 최적의 수준값을 얻기 위해 실험계획법을 이용하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 높은 휘도와 균일도를 지니는 도광판을 제조하기 위해 레이저를 이용하여 패턴을 가공하였다. 이 때 최종 특성치인 휘도와 균일도에 주요한 영향을 미치는 인자로 출력과 스캐닝 속도, 패턴 간격의 비율, 그리고 총 패턴 라인 수로 선정하고 그 수준을 결정하였다.

2. 웹기반으로 구축된 패턴 설계도구를 통해 손쉽고 빠르게 패턴을 디자인 할 수 있어 도광판 패턴 설계에 필요한 시간을 절감할 수 있다. 또한 빠른 시작품 제작을 가능하게 하여 설계에서 평가단계까지 필요한 시간과 공정을 단축할 수 있다.

후 기

이 논문은 2005 년도 서울대학교 BK21 사업에 의해 지원되었으며 이에 감사드립니다. 또한 레이저 가공 장비를 지원한 마이크로 엔지니어링과 휘도 측정에 도움을 주신 (주)신홍전자 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김경동, 백창일, 송철기, 안성훈, "LCD 백라이트 도광판 제조용 레이저 마킹에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제 20 권, 제 1 호, pp. 79 - 84, 2003
2. 백창일, 추원식, 정우벽, 전우, 김치완, 성미정, 강지영, 안성훈, "광학부품의 웹 기반 쾌속제작 시스템", 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp. 30 - 33, 2003.
3. 백남국, 김대은 "다구찌 방법을 이용한 레이저 리소그래피 미세패턴 가공조건의 최적화," 한국정밀공학회지, 제 19 권, 제 7 호, pp. 59-63, 2002.
4. 박성현, "현대실험계획법," 민영사, pp. 631-657, 2001.
5. 임상현, 박동근, 이춘만, "다구찌 방법을 이용한 고속 이송방식 레이저 절단기의 최적 절단 조건에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제 21 권, 제 6 호, pp. 77-83, 2004.
6. Z.Q. Liu, Y. Feng, X.-S. Yi, "Coupling effects of the number of pulses, pulse repetition rate and fluence during laser PMMA ablation." Applied Surface Science, Vol. 165, pp. 303-308, 2000.