



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



**저작자표시.** 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



**비영리.** 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



**변경금지.** 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2008 년 8월  
석사학위 논문

레이저로 유도된 산란체패턴에 따른  
도광판의 광학적 특성에 관한 연구

조선대학교 대학원

물 리 학 과

최 영 희

레이저로 유도된 산란체패턴에 따른  
도광판의 광학적 특성에 관한 연구

**The study of optical characteristics of light guide panel depending  
on laser-induced scatterer pattern**

2008 년 8 월 25 일

조선대학교 대학원

물 리 학 과

최 영 희

레이저로 유도된 산란체패턴에 따른  
도광판의 광학적 특성에 관한 연구

지도교수 최 은 서

이 논문을 이학 석사학위신청 논문으로 제출함

2008 년 8 월

조선대학교 대학원

물 리 학 과

최 영 희

# 최영희의 이학 석사학위논문을 인준함

위원장    조선대학교 교수 \_\_\_\_\_

위    원    조선대학교 교수 \_\_\_\_\_

위    원    조선대학교 교수 \_\_\_\_\_

2008    년    5    월

조선대학교 대학원

# 목 차

## ABSTRACT

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구배경과 목적 .....	1
제 2 장 이 론 .....	4
제 1 절 백라이트 유닛 .....	4
1. 백라이트 유닛 구조와 역할 .....	4
2. 도광판의 산란패턴 연구 .....	11
제 2 절 광산란 .....	16
1. 광산란의 종류와 특징 .....	16
제 3 절 레이저 마킹 .....	19
1. 레이저의 작동 원리 .....	19
2. 레이저 빔의 특성 .....	26
3. 가공용 레이저의 소개 .....	30
제 3 장 실 험 .....	33
제 1 절 도광판 제작 .....	33
1. 도광판 제작 .....	33
2. 도광판의 광원과 광원부 모듈 제작 .....	33
제 2 절 레이저로 유도된 도광판 산란패턴 가공 .....	38
1. 도광판 내부패턴 가공 .....	38
가. 내부패턴 설계 .....	38
나. 내부패턴 가공 시스템 .....	42
2. 도광판 표면패턴 가공 .....	44
가. 표면패턴 설계 .....	44
나. 표컨패턴 가공 시스템 .....	45

3. 레이저로 가공된 패턴 .....	45
제 3 절 도광판 성능 측정 .....	47
1. 도광판 밝기 단위 .....	47
2. 밝기 측정 시스템 .....	50
제 4 절 단순 모델링을 통한 전산모사 .....	52
1. 도광판 성능 전산모사 방법 소개 : 광선추적기법 .....	52
2. 전산모사 수행 방법 .....	54
3. 산란체 모델링 .....	55
4. 산란평판의 내부패턴 .....	55
5. 반사율과 투과율이 적용된 내부패턴 .....	58
제 4 장 결과 및 고찰 .....	59
제 1 절 도광판의 밝기 성능 분석 .....	59
제 2 절 전산모사 .....	70
1. 산란체 모델링의 전산모사와 단순평면 모델링의 전산모사 .....	70
2. 반사율과 투과율이 적용된 내부패턴 결과 .....	74
제 5 장 결 론 .....	76
참고문헌 .....	78

# List of Tables

표 2-1. 백라이트유닛에 사용하는 광원의 종류와 특징 .....	5
표 2-2. 도광판으로 사용되는 PMMA의 물리적 성질 .....	6
표 2-3. 도광판 특수처리방식의 종류와 특징 : printing 방식(좌), V-cutting 방식(우) . .....	13
표 2-4. 도광판 특수처리방식의 종류와 특징 : 사출 방식(좌), 레이저 방식(우) .....	14
표 3-1. 실험에 사용된 LED 특성 .....	36
표 3-2. 면휘도 측정기 사양 : Radiant Imaging .....	50
표 3-3. 실제 도광판의 산란패턴 개수 .....	53
표 4-1. 제작된 도광판의 성능 분석 (a) 평균 휘도 (b) 균일도 .....	63
표 4-2. 제작한 도광판의 평균 휘도 [ $\text{cd/mm}^2$ ] .....	69

# List of Figures

그림 2-1. 백라이트 유닛의 구조 .....	4
그림 2-2. 빛과 물질과의 상호관계 : 부분반사와 내부전반사 .....	7
그림 2-3. 반사의 종류 (a) 정반사(specular reflection) (b) 난반사(diffuse reflection) ...	9
그림 2-4. 백라이트유닛의 각 부품에 따른 빛의 방출각 .....	10
그림 2-5. 도광판의 산란패턴의 역할 (a) 내부전반사로 인하여 빛이 전공간에 분포되어 있는 도광판의 모습 (b) 산란패턴으로 인하여 상면으로 빛을 방출하는 도광판의 모습 .....	11
그림 2-6. 도광판의 다양한 산란패턴과 가공방식 .....	12
그림 2-7. BSDF에 사용되는 산란모델 (a) 각 산란모델에 대한 BSDF (b-1) 람버시안 (b-2) 가우시안 (b-3) 코사인 (b-4) BSDF (각각의 산란모델의 적용).....	18
그림 2-8. 세 가지 전이과정 (a) 자발방출 (b) 유도흡수 (c) 유도방출 .....	20
그림 2-9. 레이저 작동 원리 .....	23
그림 2-10. 레이저의 기본 구조 : 이등매질, 공진기, 펌핑에너지 .....	24
그림 2-11. TEM <sub>00</sub> 모드의 빔을 렌즈로 집속시키는 경우에 초점면에서 얻어지는 빔의 크기와 초점거리 .....	26

그림 3-1. 도광판의 재료와 가공영역 (a) PMMA (b) 제작한 PMMA 및 가공영역 .....	34
그림 3-2. 실험에 사용된 LED 외형 규격 .....	35
그림 3-3. 광원부 모듈 제작 (a) LED 구동 회로 (b) 제작된 도광판 구동 모듈 .....	37
그림 3-4. 패턴의 형태 (a) 38/4 의 기울기의 선형패턴 (b) 182.5 mm의 최소 반지름의 곡면패턴 .....	38
그림 3-5. 내부패턴설계과정 (a) SolidWorks를 이용하여 내부패턴설계(곡면패턴) (b) SolidWorks로 저장된 파일을 AutoCAD에서 파일 변환 .....	39
그림 3-6. 3D MAX의 divide Meshes을 이용한 산란체 개수와 위치 설정 (a-1) 산란체 70개 (a-2) 산란체 140개 (b) 산란체의 간격, 위치와 배열방향등을 조절하는 divide meshes .....	40
그림 3-7. 3D MAX에서 곡면패턴의 산란체 형성하는 과정 (a) 산란체가 형성되지 않은 패턴의 모습 (b) 평면의 패턴이 산란체들로 변환 .....	41
그림 3-8. 내부산란체 형성을 위한 이차고조파 Nd:YAG 펄스 레이저 시스템 도식도 .....	42
그림 3-9. 3차원 레이저 조각기 시스템 연계프로그램 Sculptor (a) 레이저 조각시스템 제어 조건 .....	43
그림 3-10. CO <sub>2</sub> 레이저 시스템 연계 프로그램 Hannol Editor (a) 표면패턴 설계 (b) CO <sub>2</sub> 레이저 파라메타 입력 .....	44

그림 3-11. 표면 패턴 가공을 위한 CO <sub>2</sub> 레이저 시스템 도식도 .....	45
그림 3-12. 가공된 내부패턴의 산란체와 표면패턴의 산란체의 광학현미경 이미지 (a) 설계된 패턴의 도식도 (b) 내부패턴의 광학현미경 이미지 좌: 상면 우: 단면 (c-1) 그리드 형태의 표면패턴의 광학현미경 이미지 좌: 상면, 우: 단면 (c-2) 좌: 상-도트형태의 표면패턴의 상면 하-지그재그형태의 표면패턴의 상면 우: 단면 .....	46
그림 3-13. 면휘도측정기의 도식화 (a-1) 측정을 위한 도식화 (a-2) 고정된 샘플 (a-2) CCD 카메라(Imaging colorimeter) .....	51
그림 3-14. LightTools에서 모델링한 도광판의 모습 .....	54
그림 3-15. 시뮬레이션을 위한 기존의 산란체 모델링과 산란평판 모델링 (a) LightTools에서 모델링된 도광판의 모습 (b-1) 기존방식의 산란체(직경 50 $\mu$ m) 모델링 (b-2) 산란모델이 적용된 산란평판 모델링(높이 50 $\mu$ m) .....	57
그림 4-1. 제작된 내부패턴 도광판의 모습과 매스메티카로 분석된 도광판의 휘도 분포 (a-1) 내부선형패턴 도광판 모습 (a-2) 내부선형패턴 휘도 분포 (b-1) 내부곡면패턴 도광판 모습 (b-2) .....	59
그림 4-2. 그리드, 도트, 지그재그의 표면패턴이 가공된 도광판과 휘도 분포 (a-1) 그리드패턴 도광판 모습 (a-2) 그리드패턴 휘도 분포 (b-1) 도트패턴 도광판 모습 (b-2) 도트패턴 휘도 분포 (c-1) 지그재그패턴 도광판의 모습 (c-2) 지그재그패턴 도광판의 휘도 분포 .....	60
그림 4-3. 내부선형패턴 도광판에 각각의 그리드, 도트, 지그재그 패턴을 적용한 도광판과 휘도 분포 (a-1) 선형 + 그리드패턴 도광판 모습 (a-2) 선형 + 그리드패턴 휘도 분포 (b-1) 선형 + 도트패턴 도광판 모습 (b-2) 선형 + 도트패턴 휘도 분포 (c-1) 선형 + 지그	

재그패턴 도광판의 모습 (c-2) 선형 + 지그재그패턴 도광판의 휘도 분포 ..... 61

그림 4-4. 내부곡면패턴 도광판에 각각의 그리드, 도트, 지그재그 패턴을 적용한 도광판과 휘도 분포 (a-1) 곡면 + 그리드패턴 도광판 모습 (a-2) 곡면 + 그리드패턴 휘도 분포 (b-1) 곡면 + 도트패턴 도광판 모습 (b-2) 곡면 + 도트패턴 휘도 분포 (c-1) 곡면 + 지그재그패턴 도광판의 모습 (c-2) 곡면 + 지그재그패턴 도광판의 휘도 분포 ..... 62

그림 4-5. 내부선형패턴 도광판의 밀도변화에 따른 휘도분포 변화 (a)  $10 \times 10 \text{ ea/mm}^2$ 의 내부선형패턴 도광판의 휘도분포 (a-1) 내부선형패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (a-2) 내부선형패턴의 휘도분포 (a-3) 내부선형패턴의 휘도분포 경향 (b)  $20 \times 20 \text{ ea/mm}^2$ 의 내부선형패턴 도광판의 휘도분포 (b-1) 내부선형패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (b-2) 내부선형패턴의 휘도분포 (b-3) 내부선형패턴의 휘도분포 경향 ..... 66

그림 4-6. 내부곡면패턴 도광판의 밀도변화에 따른 휘도분포 변화 (a)  $10 \times 10 \text{ ea/mm}^2$ 의 내부곡면패턴 도광판의 휘도분포 (a-1) 내부곡면패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (a-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 (a-3) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향 (b)  $20 \times 20 \text{ ea/mm}^2$ 의 내부곡면패턴 도광판의 휘도분포 (b-1) 내부곡면패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (b-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 (b-3) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향 ..... 67

그림 4-7. 밀도  $20 \times 20 \text{ ea/mm}^2$ 의 각 내부패턴 도광판에 표면패턴이 추가에 따른 휘도 분포 변화 (a) 내부선형패턴 도광판의 휘도분포 (a-1) 내부선형패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (a-2) 내부선형패턴의 휘도분포 (a-3) 내부선형패턴의 휘도분포 경향 (b) 내부곡면패턴 도광판의 휘도분포 (b-1) 내부곡면패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (b-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 (b-3) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향 ..... 68

그림 4-8. 기존의 전산모사방법을 이용한 각 3부분의 내부패턴의 예측된 밝기 분포 결과 : 각 부분의 내부산란체의 개수 -  $38 \times 13$  (494). 전산모사에 사용된 광선의 수 -  $8 \times 10^7$  전산모사의 경과시간 - 1.0 h ..... 71

그림 4-9. 단순화된 내부산란평판의 전산모사 결과 (a) 람버시안 산란 효과 (b) 가우시안 산란효과 (c) 코사인 산란효과 . 전산모사에 사용된 광선 수 -  $5 \times 10^6$  전산모사의 경과시간 - 2분 ..... 72

그림 4-10. 도광판 내부패턴에 가우시안산란모델을 적용한 후 수행한 전산모사의 결과 (a-1) 내부선형패턴의 휘도분포 (a-2) 내부선형패턴의 휘도분포 경향 (b-1) 내부곡면패턴의 휘도분포 (b-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향 ..... 73

그림 4-11. 반사률과 가우시안산란모델이 적용된 내부패턴의 전산모사 결과 (a-1) 내부선형패턴 휘도분포 (a-2) 내부선형패턴의 휘도분포 경향 (b-1) 내부곡면패턴의 휘도분포 (b-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향 ..... 75

# **ABSTRACT**

**레이저로 유도된 산란체패턴에 따른 도광판의  
광학적 특성에 관한 연구**

**The study of optical characteristics of light guide panel depending on  
laser-induced scatterer pattern**

**Young Hee Choi**

**Advisor : Prof. Eun Seo Choi, Ph.D.**

**Department of Physics**

**Graduate School of Chosun University**

The purpose of this paper is to suggest the method of luminance improvement of inner-scatterer-based light guide panel(LGP) by using the density variation of inner pattern and additional surface patterning on LGP. For the prediction of inner-scatterer-based LGP performance, we suggested an efficient simulation method, which used a simplified scatterer plate instead of numerous scatterers. The LGP having a curved inner pattern provided better performance in the uniformity of luminance than that with a linear inner pattern. The results confirmed that the distribution of luminance depends on the shape of the designed inner-pattern. By increasing the density of the inner pattern at the inner of the LGP and processing a surface pattern at the bottom as a form of a line, we achieved a highly enhanced value in the average brightness.

The conventional simulation model of LGP composed with individual scatterers requires heavy computing load and long calculation time because it has lots of scattering planes. We replaced this model with simplified plate, which has a thickness equal to scatterer's diameter and specific directionality in light scattering. Additionally, the ratio of reflection to transmission was that of applied to simplified plate. The simulation results was similar to a conventional method in luminance and the run time was reduced from 1 hour to 2min. Also, the results of suggested simulation was well matched with that of experimental result. Herewith we could confirm the feasibility of suggested simulation method. By the appropriate adaptation of inner and surface pattern, the performance of LGP can be improved further. By doing the simulation of LGP with simple plate, which has specific directionality in scattering, the performance of inner-scatterer-based LGP can be predicted quickly.

# 제 1 장 서 론

## 제1절 연구배경과 목적

기존의 대표적인 영상매체로써 CRT(Cathode ray tube)가 각광받는 때가 있었다. 이는 CRT가 색 재현성이 뛰어나고, 응답속도가 나노초 단위로 매우 빠르고, 지원 가능한 모든 해상도에서 안정적 화면을 얻을 수 있는 강점을 가지고 있기 때문이었다. 이러한 강점에도 불구하고 CRT는 높은 소비전력이 필요하고 소형의 영상매체로 구현하는데 한계를 가지는 단점을 가지고 있다. 이러한 CRT의 단점을 극복하기 위한 연구와 개발이 지속적으로 진행되었고 최근에는 PDP(Plasma display panel), FED(Field emission display), VFD(Vacuum fluorescent display), LCD(Liquid crystal display)등과 같은 다양한 영상매체들이 개발되어 널리 이용되고 있다.

그 중에서 LCD는 얇은 평판형태로 구현이 가능하고 적은 소비전력에서도 원활하게 모든 원색의 표현이 가능하다. 이러한 장점으로 인해 소형 휴대폰에서부터 대형TV에 이르는 다양한 영상매체에 널리 이용되고 있으며 시장 규모도 해마다 크게 확대되고 있다.

그러나 LCD는 자체발광을 할 수 없는 비발광소자로서 영상매체의 역할을 수행하기 위해서는 별도의 외부광원이 필요로 하게 되는데 그 광원을 구성하는 광학적 부품들을 통틀어 백라이트유닛(BLU, Backlight unit)이라 한다. 외부광원에서 입사된 빛은 LCD 후면에 장착되어 있는 BLU의 구성요소인 도광판(LGP, Light guide plate)과 여러 광학필름들을 통과한 뒤, 균일하게 분산되어 LCD 전면에 균일한 밝기를 제공한다. LCD의 휘도 성능이 BLU성능에 의존성이 높기 때문에 효율적인 BLU 개발에 대한 연구가 활발하다. BLU부품 중에서 도광판은 도광판 측면에서 입사되는 빛이 가장 먼저 접하는 부분이며 입사된 빛을 여러 광학필름을 통과하기 전에 균일한 면 형태로 바꾸는 역할을 한다. 이러한 과정에서 광손실이 심해 광원의 휘도를 100%라 하였을 때 눈에 도달하는 휘도

는 5% 정도이다. 이러한 도광판의 광손실을 줄이고 휘도를 증가시키기 위한 다양한 방법이 제시되었다.[1] 그 중 대표적인 방법으로 LGP 후면에 특별한 처리(산란패턴)를 하여 광원에서 방출된 빛이 도광판 상단부분으로 방출하는 방법을 이용하는데, 산란패턴을 만드는 방식으로는 인쇄방식, 무인쇄방식(사출방식, V-cut 방식, 레이저 주사방식), 산란도광판방식을 주로 이용한다.[2,3] 인쇄방식은 시행착오에 대한 반복설계가 용이함으로 대부분의 업체에서 널리 사용하고 있다. 인쇄방식은 균일도 조절이 용이하여 가장 많이 사용되는 일반적인 형태이다. 그러나 고온, 다습의 안정성 문제를 가지고 있다.[4] 기하광학적인 기능을 갖는 무인쇄 방식 중 패턴형상을 직접 성형할 수 있는 사출방식은 사출에 쓰이는 몰드 자체의 가공에 많은 비용과 시간이 요구되며 도광판의 휘도 분포가 사출조건에 민감하게 영향을 받으므로 개발에 많은 어려움이 따르고 사출 방식의 특성상 17 인치 이상이거나 두께가 8 mm 이상의 대형의 경우에는 제작이 어렵다. 이에 비해 V-cutting 방식은 완전 자동화가 용이하고 인쇄보다는 균일성이 좋지만 가공 후 입자가 잔류하여 후처리 공정이 필요하다. 레이저 주사방식을 이용하는 경우 고속 스캐닝이 가능하며 패턴 디자인 개발 및 수정이 용이한 장점을 가진다. 일반적으로 무인쇄방식들은 높은 재현성을 가지고 휘도 균일성 제어가 쉽다. 또한 비접촉 가공에 따른 입자의 잔류가 없으며 또한 후처리 공정이 필요없게 되므로 가공시간을 단축하고 비용을 절감할 수 있는 장점을 지닌다. [5,6,7] 도광판 내부에 산란자를 넣는 방법으로 도광판 재료인 수지와 산란자를 혼합하여 도광판을 사출하는 방식이 제시되었는데 이러한 방식의 도광판을 산란도광판 (Scattered LGP)이라고 한다. 하지만 이 방법은 산란체들의 공간분포를 제어하기 어려운 문제점으로 인해 국내에서 소형의 샘플은 제작되었으나 실용화까지는 아직 많은 연구가 필요하다. [8] 이러한 산란체의 공간적 분포제어를 통한 휘도분포제어가 가능한 내부산란체의 장점을 이용하고자 3차원 레이저 가공 시스템을 이용하여 도광판 내부에 산란체를 생성하는 방법이 제시되었다. 기존의 표면의 가공을 통해서만 휘도성능을 제어하고자 하였다면 이 방식은 레이저의 초점 위치를 3차원적으로 이동함으로써 도광판 내부에 산란체들의 위치 및 개수의 조

절이 가능하며 그로 인해 휘도분포제어를 위한 임의의 산란체들의 분포 설계가 가능하게 되었다. 그러나 제작한 도광판은 실제 BLU에 적용하기에는 휘도값이 매우 낮아 평균 휘도값을 향상시켜야 하는 문제점을 가지고 있었다. [9,10]

BLU 개발에 있어서 핵심기술은 효율적인 도광판의 설계이다. 도광판의 설계정도에 따라 BLU의 성능이 결정된다. 이러한 BLU의 성능향상을 위한 도광판에 가공할 효율이 좋은 디자인 설계를 위하여 광선추적 전산모사 프로그램들을 활용하고 있다. 그러나 기존의 프로그램들은 내부 산란체를 이용하는 도광판과 같이 고려해야 할 산란체들의 수가 크게 증가하게 되는 경우 각각의 산란체들에 의한 산란효과를 모두 계산하므로 계산 시간이 급격하게 증가하고 컴퓨터의 과부하를 일으키게 된다.[11] 이러한 문제점을 극복하고자 uniform grid method에 기반을 둔 알고리즘을 이용한 프로그램이 개발되었다. 여기서는 3차원 도광판 공간을 voxel 단위로 광선추적을 수행하여 계산속도를 크게 향상시켰다. 하지만 이 방법은 계산 전에 모든 산란면에 대한 정보를 메모리에 상주시킨 뒤 산란효과를 계산하므로 다수의 내부 산란체들을 이용하는 도광판 성능을 계산하는데는 적절하지 못한 방법이다. [12]

본 논문에서는 3차원 레이저 가공 시스템을 이용해서 생성된 내부 산란체들로 구현된 도광판 성능을 향상시키기 위해 도광판 내부에 두 가지 다른 형태의 산란체 분포(패턴)을 고려하였고 각각 패턴 내부의 산란체 밀도를 달리하여 디자인하였다. 또한 내부패턴을 가지는 도광판의 후면에 추가적으로 표면패턴을 가공한 뒤 제작된 도광판 성능의 변화를 측정하였다. 마지막으로 내부 산란체들을 가지는 도광판의 성능을 예측하기 위한 효율적인 전산모사를 수행하기 위한 단순화된 내부 산란체 모델과 전산모사 기법을 제시하고 이에 대한 타당성을 제시하고자 하였다.

# 제 2 장 이 론

## 제1절 백라이트 유닛

### 1. 백라이트유닛 구조와 역할

통상 말하는 LCD용 백라이트유닛(BLU, Back light unit) 시스템은 그림 2-1.과 같이 광원(Light source), 도광판(LGP ; Light guide panel), 그리고 반사판(Reflector sheet), 확산판(Diffuser sheet), 프리즘 판(Prism sheet)으로 구성되어 있다. 이는 LCD가 비발광소자이므로 백라이트유닛을 두어 광원의 빛을 균일한 휘도분포의 면광원으로 변환시키기 위함이다

BLU의 광원으로는 표 2-1과 같이 크게 EL(Electro Luminescent), CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp), LED(Light Emitting Diode)가 주로 사용된다. EL백라이트는 매우 얇고, 가벼우며, 매우 높은 균일도를 재현할 수 있는 반면에 밝기가 처음의 1/2가 되는 시점까지를 수명이라 하는데 다른 종류의 백라이트에 비해 매우 수명이 짧아서 그 사용범위가 한정적이다. CCFL 백라이트의 경우, 필라멘트의 가열 없이 저온에서 점등되는 형광등으로 유리관 양끝에 전극이 있고, 내부에는 일정량의 수은과 아르곤, 네온 등

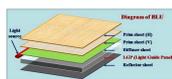


그림 2-1. 백라이트 유닛의 구조

의 혼합 가스가 들어있으며, 유리관 내부 표면은 형광체가 도포되어있다. CCFL은 두 전극에 가해진 고전압 전계에 의해 전자 방출이 일어나고 전자 방출이 시작되면 수은 이 여기되어 자외선이 발산되며, 이 자외선이 유리관 벽에 도포된 형광체와 충돌하면서 가시광선을 발산시킨다. 이런 구조의 특징으로 전력소모가 적으면서도 매우 밝은 백색광을 제공할 수 있고, LCD의 성능의 높은 휘도와 균일도를 구현할 수 있으며, 긴 수명을 갖는 장점으로 LCD의 광원의 98% 이상 사용되어져 왔다. 그러나 2 mm 이하의 세관화가 어려워 소형의 액정디스플레이의 백라이트유닛의 광원으로는 부정합하다. 이에 반해 LED는 발광다이오드로써 갈륨비소 등의 화합물에 전류를 흘려 빛을 발산하는 반도체 소자이다. LED는 아래 위에 전극을 붙인 전도물질에 전류가 통과하면 전자와 정공이라고 불리는 플러스 전하입자가 전극 중앙에서 결합해 광자를 발산하는 구조로 되어 있으며 전도물질의 특성에 따라 빛의 색깔이 달라지며 이러한 빛의 조합을 통하여 백색광을 만들기도 한다. 이러한 특징으로 다른 발광 소자와 비교해서 열의 발생

광원의 종류	장 점	단 점
EL	초박형 고균일도 높은 색 재현율	짧은 수명 낮은 휘도 좁은 작동 온도 범위
CCFL	고휘도,균일도 긴 수명 저소비전력	환경 유해 좁은 작동 온도 범위
LED	긴 수명 저소비전력 높은 색 재현율	저휘도 저균일도

표 2-1. 백라이트유닛에 사용하는 광원의 종류와 특징

이 적고 소형화와 경량화가 가능하며 수명이 길다. 또 전류가 흐르기 시작하고부터 발광하기까지의 시간이 짧고 응답특성도 좋아 갖가지 모양으로 제작이 가능하고 특히 색재현율에 있어서 CCFL 보다 30% 가량 높아 최근에는 CCFL에서 LED 백라이트로 많이 전환되고 있다. [4,7]

LGP (Light Guide Panel, 도광판)은 광원으로부터 전달되어온 빛을 상단부 전체 영역에 걸쳐 고르게 분포되도록 빛을 전달, 방출시켜주어 빛의 강도(휘도)와 분포특성을 결정하는 중요한 부품이다. LGP의 일반적으로 많이 쓰이는 PMMA는 표 2-2.에 나타나 있듯이 기계적 강도가 높아 쉽게 깨지거나 변형되지 않으며, 내화학성이 강하고, 투명하여 가시광선에 대한 광 투과율이 좋다. PMMA계열도 단점은 있다. 열적 안정성이 낮고 높은 습도에 역학적인 성질이 약해진다. [13,14,15,16,17]

광원에서 나온 빛은 LGP로 입사되어 내부전반사의 원리로 LGP 전체 영역을 이동하게 되지만 빛은 LGP의 상면, 즉 BLU의 정면으로 빛이 나오지 못한다. 광원에서 생성된 광선은 그림 2-2.와 같이 굴절률이 다른 매질을 만나게 되면 일부는 반사가 되고 일

Classification	PMMA
Color	transparency
Photo-transmittance (%)	92.7
Refractive Index	1.49
Spectific	1.18
Absorption coefficient (%)	0.25
Tensile strength (kg/cm2)	85.4

표 2-2. 도광판으로 사용되는 PMMA의 물리적 성질

부는 투과되며 일부는 물체에 흡수된다. 반사광의 방향은 반사의 법칙(Law of reflection)에 의해 결정된다. 반사의 법칙은 입사광과 입사광이 경계면을 만났을 때 그 경계면이 이루는 법선벡터( $\mathbf{n}$ )과 반사광은 그들이 이루는 입사평면(plane of incidence)에 있어야 하고, 입사광과 법선벡터( $\mathbf{n}$ )와 이루는 각을 입사각( $\theta_i$ )이라 하고 법선벡터( $\mathbf{n}$ )과 반사광이 이루는 각을 ( $\theta_r$ ) 이라고 할 때 다음의 반사법칙을 따른다.

$$\theta_i = \theta_r \quad \text{반사법칙 (Law of Reflection)} \quad (2-1)$$

빛이 어느 매질로 투과될 때 굴절의 법칙을 따르게 되는데, 반사의 법칙과 같이 입사광과 법선벡터, 굴절광이 입사평면에서 일어나며 입사각( $\theta_i$ )와 법선벡터( $\mathbf{n}$ )과 굴절광이 이루는 각을 ( $\theta_t$ ) 이라고 할 때 굴절공식인 Snell's Law를 따른다.

$$n_i \sin\theta_i = n_t \sin\theta_t \quad \text{굴절법칙 (Law of Refraction, Snell's Law)} \quad (2-2)$$

이 때 굴절각  $\theta_t$  가  $90^\circ$ 일 때의 입사각  $\theta_c$ 을 임계각(critical angle)라고 하며 입사각이 임계각보다 커지면 광선의 100%가 반사만 일어난다. 이를 내부전반사라고 한다. 입사된 광에 대한 부분반사와 부분투과 그리고 특정각 이상에서 보이는 내부전반사의 내용을

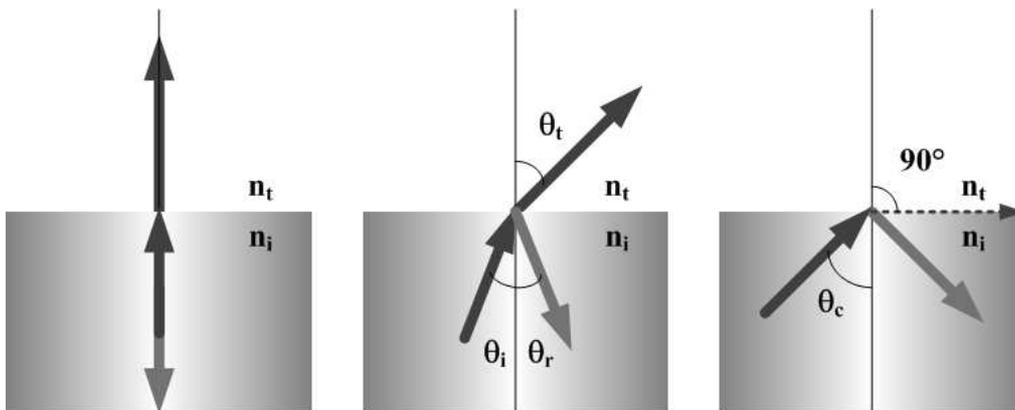


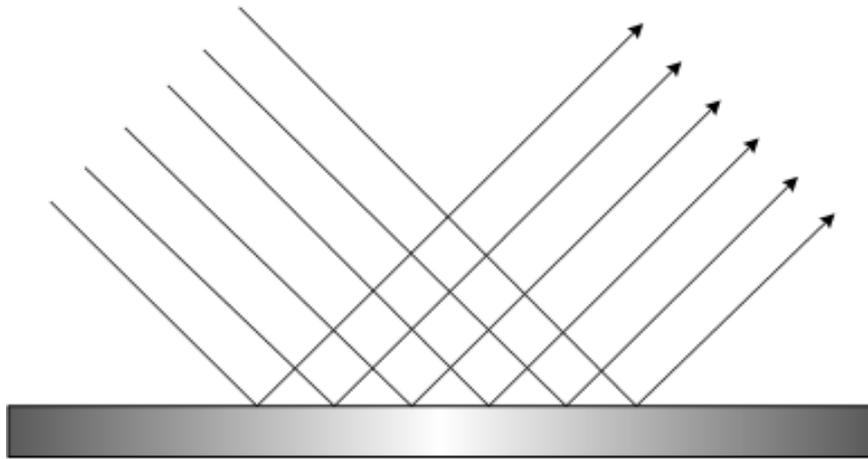
그림 2-2. 빛과 물질과의 상호관계 : 부분반사와 내부전반사

그림 2-2에 나타내었다. [18] 공기의 굴절률을 1로 보았을 때 PMMA의 굴절률은 약 1.49이기 때문에 스넬의 법칙에 의하여 임계각은 약  $42^\circ$ 가 되며 광원의 빛이 도광판 안으로 입사되면 내부전반사의 원리로 전 공간에 빛이 전달되나 아직 상면으로 빛이 나오지는 않는다.

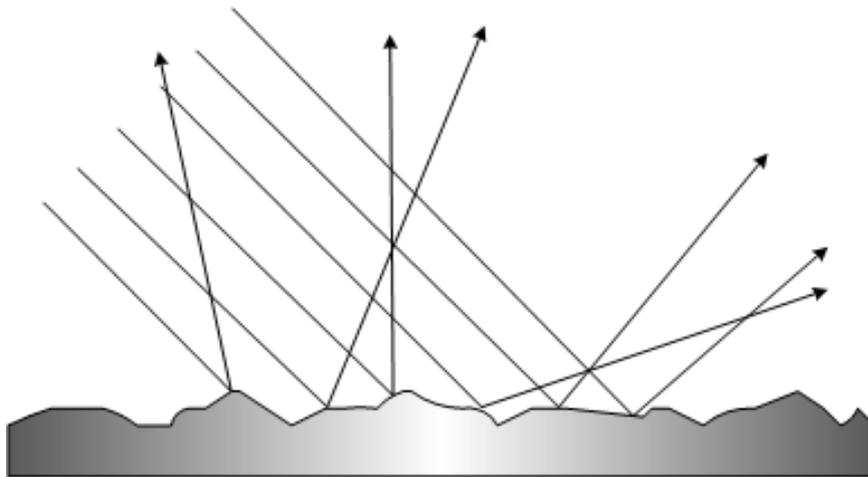
LGP 전 영역에 전달된 빛을 정면으로 반사시키기 위해 도광판 밑면에 반사시트를 코팅한다. 반사시트 코팅으로는 보통 SUS, Brass, 알루미늄, PET(Polyethylene terephthalate) 등의 기본 재질 위에 은(silver)을 입히고, 장시간 흡열로 인한 변형을 막기 위해 티타늄 코팅을 한다. 빛의 반사에는 그림 2-3과 같이 정반사(specular reflection)와 난반사(diffuse reflection) 둘로 나뉜다. 거울반사는 반사면의 거칠기가 광원의 파장보다 작은 경우에 일어나고, 이와는 반대로 반사면이 거칠기가 파장보다 큰 경우 빛은 반사지점에서 확산된다. PET 코팅은 이 두 가지 반사를 모두 가지고 있어 빛을 도광판 전체적으로 효과적으로 전달, 확산이 가능케 한다.[19] 반사시트를 도달한 점 또는 선광원의 빛이 난반사를 일으켜 면광원형태로 변환된다. 그러나 빛의 분포에 있어서 도광판 양 끝단에 빛이 집중되고 중앙이 어두워지는 문제가 발생함으로 LGP에 산란 패턴의 가공을 통해 균일한 면광원의 유도가 필요하다.

산란패턴은 선 또는 점광원을 산란체로 구성된 패턴을 이용하여 면광원으로 전환시키는 역할을 한다. 이러한 도광판의 산란패턴에 의해 상면의 빛의 분포와 평균 밝기 값이 결정됨으로 전산모사를 통한 산란체들의 기하학적 모양에 대한 밝기의 변화와 산란체들의 분포로 구성된 패턴의 형상등에 따른 다양한 연구들이 이루어져왔고 각각의 산란패턴의 가공 기술 또한 여러 방면에서 개발되어 왔다.[1] 확산필름은 diffusing layer, PET, anti-blocking layer로 구성되어있는데 random beads의 high haze와 transmittance로 인해 LGP에서 방출된 빛을 추가적 확산, 집광시킴으로서 전체 화면에서 휘도분포의 균일성을 좋게할 뿐만 아니라 LGP와 프리즘시트 사이에 발생할 수 있는 간섭무늬 또한 제거하고, 시야각을 넓히고 도광판의 패턴을 숨겨준다. [20,21]

BEF(Brightness Enhancement Film)이라 불리는 프리즘시트는 보통 수평, 수직 두 장을



(a)



(b)

그림 2-3. 반사의 종류 (a) 정반사(specular reflection)  
(b) 난반사(diffuse reflection)

한 세트로 사용하는데 확산시트를 지나면서 일어나는 확산으로 인해 낮아지는 휘도를 빛의 굴절, 집광을 시켜 시야각이 약 70도 정도 협소해지면서 정면의 휘도를 개선시키는데 2장을 한 세트로 사용하는 경우 116%의 휘도 상승을 보인다.. [19,21] 그림 2-4.의 BLU 부품에 따른 빛의 방출각(exit angle of Light)을 보면 알 수 있듯이 도광판에서 60

~ 80 °이던 전파되던 빛이 확산판과 두 종류의 프리즘판을 통과한 후 백라이트유닛의 정면으로 빛의 경로가 변경되어있음을 알 수 있다.

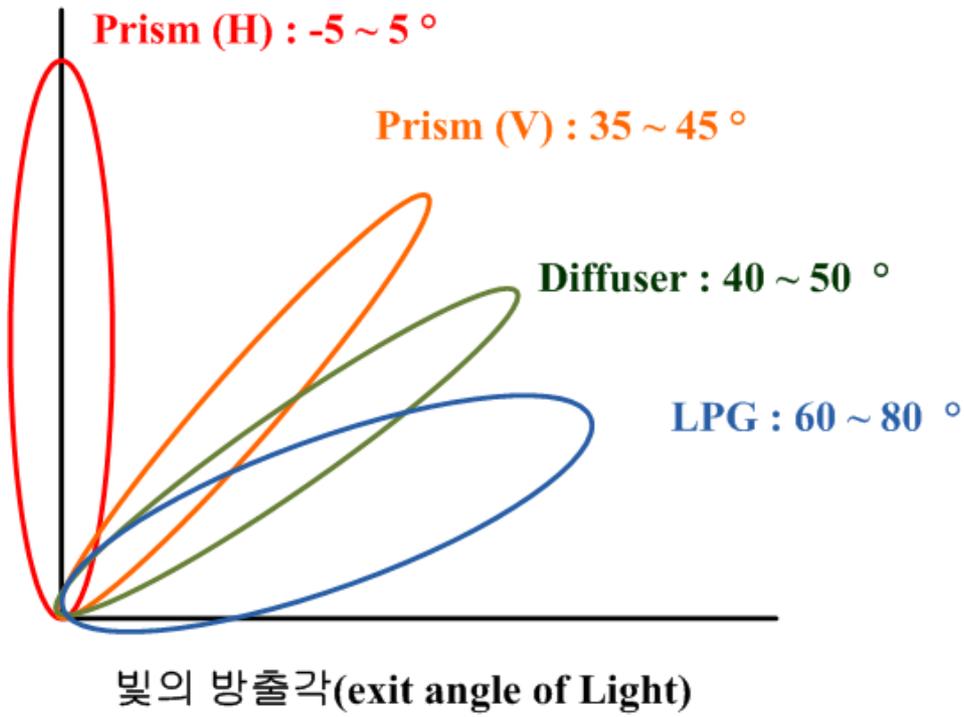


그림 2-4. 백라이트유닛의 각 부품에 따른 빛의 방출각

## 2. 도광판의 산란패턴 연구

앞서 설명하였듯이 도광판 자체로는 광원에 대해서 그림 2-5.(a)와 같이 내부전반사만 일으킴으로 도광판 전 공간에 빛이 전달되기는 하나 상면으로 방출되지 않는다. 이러한 도광판 밑면에 산란패턴을 형성시킴으로써 전 공간에 분포하는 빛과 산란패턴의 상호작용을 이용하여 도광판 상면으로 빛을 방출시킨다. 이를 그림 2-5.(b)에 나타내었다. 이러한 산란패턴의 설계와 가공방식이 무척 중요한 부분을 차지하는데 이는 도광판의 성능이 많이 달라지기 때문이다. 그림 2-6.과 도광판 성능 향상을 위한 다양한 패턴설계과 각각에 사용된 가공방식등을 간략히 나타내었다. 도광판 산란패턴 가공방식에는 세 가지로 분류되는데 인쇄방식, 무인쇄방식(사출방식, V-cutting 방식, 레이저 주

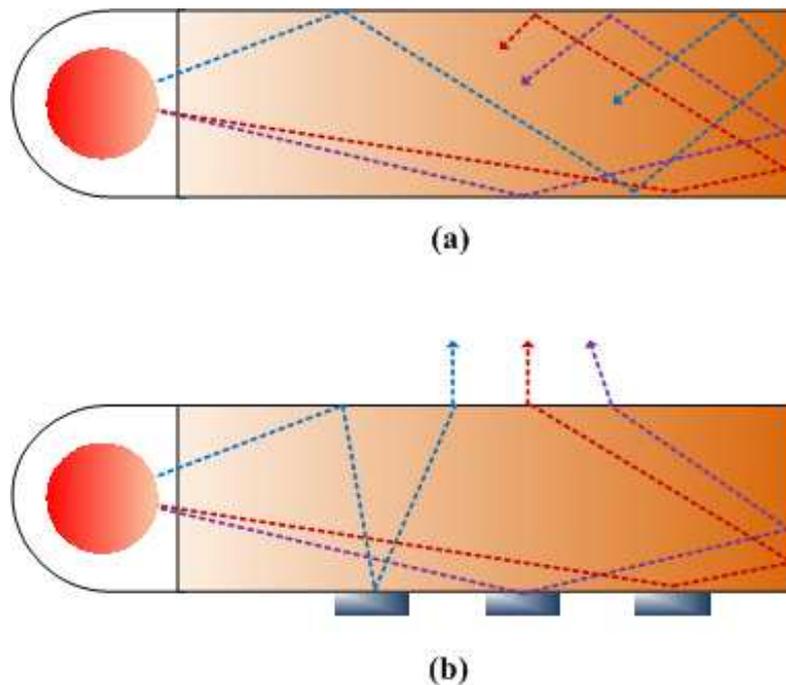


그림 2-5. 도광판의 산란패턴의 역할 (a) 내부전반사로 인하여 빛이 전공간에 분포되어있는 도광판의 모습 (b) 산란패턴으로 인하여 상면으로 빛을 방출하는 도광판의 모습

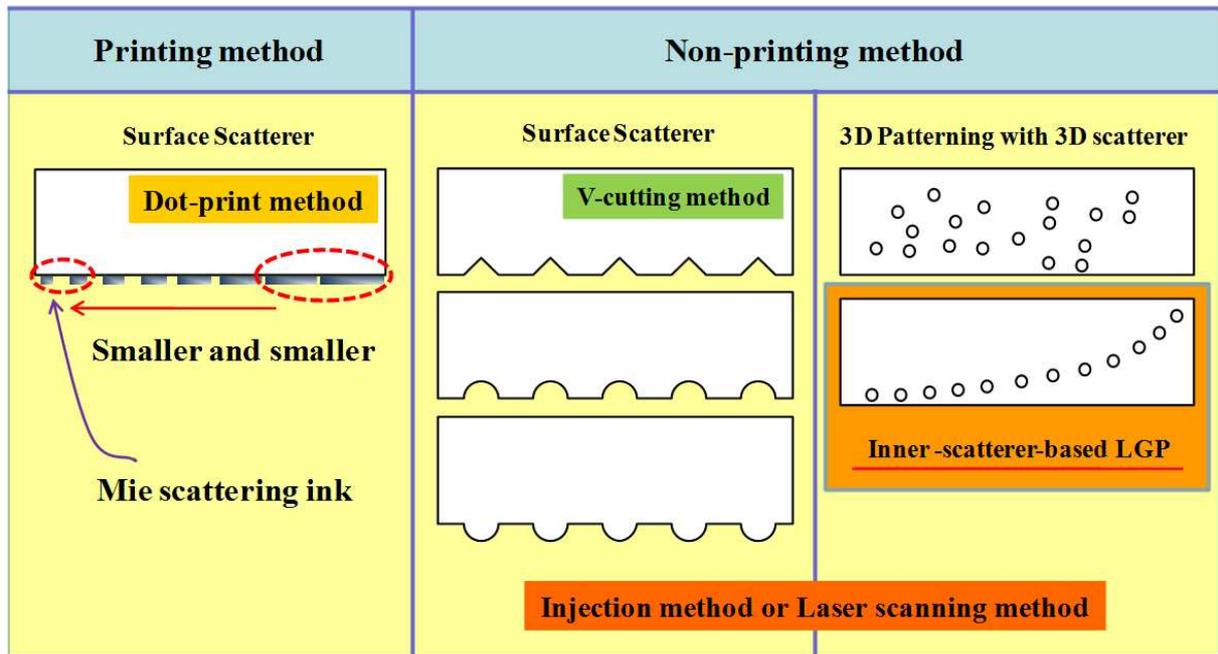


그림 2-6. 도광판 다양한 산란패턴과 가공방식

사방식), 그리고 산란 도광판방식이 있다.[2,3] 이 중 인쇄방식은 도광판 후면에 미산란 (Mie scattering)을 유도하는 산란체가 혼합된 잉크를 도포하는 형식이다. 광원과 그 광원의 파장보다 작은 입자의 상호작용으로 파장이 짧은 광원의 산란이 잘 일어나는 레일리 산란과는 달리 광원과 상호작용하는 입자의 크기가 파장보다 큼으로 광원의 파장과는 상관없이 일어나는 산란을 미산란이라고 한다. 입사된 빛의 수직산란을 통해 출광시키는 방식으로 타 방식에 비해 시행착오에 대한 반복설계를 통한 균일도 조절이 용이하고 패턴성형이 쉬우며 도광판 사이즈에 제한이 없어 가장 일반적으로 사용하는 패턴이다. 인쇄방식은 LGP가 고른 휘도를 갖도록 광입사 되는 면으로부터 거리가 멀어질수록 더 촘촘히 도포하는 방법을 사용한다. 그러나 이 방식에서 일반적으로 널리 사용되고 있는 패턴요소의 형태는 원형, 사각형, 육각형 등 2차원으로 제한되어 있어 광선의 제어에 한계가 있고, 입사된 광이 표시부로 전달되는 효율이 나빠 표시부의 휘도가 낮으며, 시간의 경과에 따라 퇴색되거나 박리되는 등의 변질우려가 있으므로 시간 경과에 따라 성능이 저하된다. 무인쇄방식 중의 V-cutting 방식은 완전 자동화가 용이하

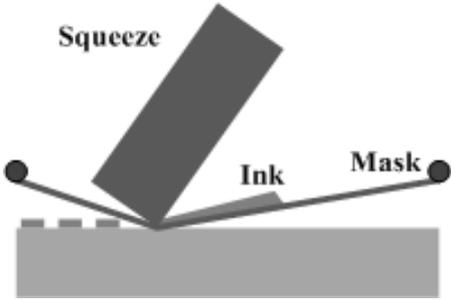
구분	Printing 방식	V-cutting 방식
Method	 <p>The diagram illustrates the printing method. A rectangular mask is tilted and pressed against a substrate. A label 'Squeeze' points to the mask. A label 'Ink' points to the area where the mask meets the substrate. A label 'Mask' points to the mask itself. The substrate is shown with a pattern of small rectangular features.</p>	 <p>The diagram illustrates the V-cutting method. A V-shaped tool is shown cutting into a substrate. The substrate has a pattern of rectangular features. The tool is positioned over one of the features, and a downward arrow indicates the cutting action.</p>
특징	<p>short mask lifetime low yield light loss</p>	<p>low productivity chip dirties only line pattern</p>
Etc.	Most popular	Special, small size

표 2-3. 도광판 특수처리방식의 종류와 특징 : printing 방식(좌), V-cutting 방식(우)

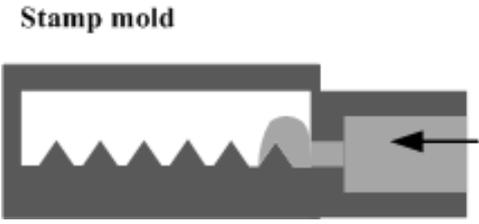
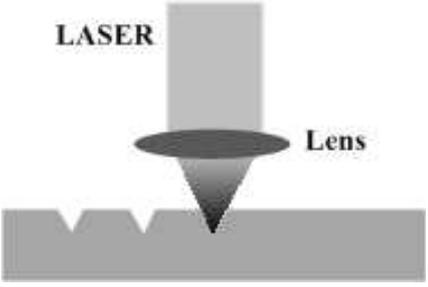
구분	사출(Molding)방식	레이저 (laser marking) 방식
Method		
특징	<p>high mold cost  long delivery(molder)  high machine cost  energy cost</p>	<p>factory automation  simplified processing  short runtime</p>
Etc.	Small & thin size	Small size

표 2-4. 도광판 특수처리방식의 종류와 특징 : 사출 방식(좌), 레이저 방식(우)

여 v-자 모양의 홈의 간격 조절이 쉽고 휘도와 균일성이 좋고 인쇄 방식에서 지적인 시간에 따른 휘도특성의 변화가 없는 반영구적인 도광판 제작이 가능하다. 그러나 다양한 패턴가공이 어렵고 제작시간이 많이 걸리며 가공 후 생기는 미세입자를 제거하기 위한 후처리 공정이 필요하다.[4,22] 사출(Molding)방식은 가공방법은 고휘도를 재현할 수 있고 생산효율을 크게 향상시킬 수 있으나 사출에 쓰이는 몰드 자체의 가공에 많은 비용과 시간이 요구되며 제작된 몰드의 수정이 어려운 문제점을 가지고 있다. 또한 몰드를 통해 형성된 표면패턴에 따라 도광판의 광학적 특성이 가변될 수 있다. [4,5] 하지만 레이저 주사방식을 이용하는 경우 따로 몰드를 제작할 필요가 없이 고속 스캐닝이 가능하며, 패턴설계는 소프트웨어상으로 설계가 가능하여 수정이 용이함으로 균일성 제어가 쉬워졌다. 레이저가공의 특징상 비접촉가공으로 가공 후 입자의 잔류가 없어 따로 후처리 공정이 없어 전체적으로 시간과 비용을 절감할 수 있다. [4,5,6,7] 인쇄방식과 V-cutting방식, 사출방식, 레이저방식등의 가공기술에 대한 특징을 표 2-3과 표2-4에 간략하게 정리하였다. 산란 도광판 방식은 도광판 재료인 수지에 산란체들을 혼합하여 사출하는 방식으로 기존에 도광판 표면을 가공하는 방식과는 달리 내부산란체를 이용하여 휘도 균일성을 제어하고자 하였다. 하지만 이 방법은 산란체들의 공간분포를 제어하기 어려운 문제점으로 인해 관련 연구가 아직까지 미미하다.[3] 이러한 산란체의 공간적 분포제어를 통한 내부 산란체의 장점을 이용하고자 3차원 레이저 가공 시스템을 이용하여 도광판 내부 산란체를 생성하는 방법이 제안되었다. 이 방식은 레이저의 초점 위치를 3차원적으로 제어함으로써 도광판 내부에 산란체들의 위치 및 개수의 조절이 가능하게 되었으며 그로인해 산란체들의 분포에 대한 섬세한 디자인 설계가 가능하게 되었다. 그러나 제작한 도광판은 평균 휘도값을 향상시켜야 할 문제점을 가지고 있다. [23,24]

## 제2절 광산란

### 1. 광산란의 종류와 특징

광선이 물체의 경계에서 반사되는 과정에서 물체와의 충돌 시 물체의 표면 특성에 따라 정반사(specular reflection)와 난반사(diffuse reflection, lambertian) 그리고 정반사 특징을 가지면서 난반사하는 형태(Glossy, gaussian) 등이 있고 이들의 특징은 한가지 특성이 아닌 복합적으로 나타나게 된다. 이러한 특징을 BRDF(bidirectional reflectance distribution function)라고 하고 유사한 BTDF(bidirectional transmittance distribution function)는 광선이 물체를 투과할 때 사용한다. 이는 실제 물체의 면이 평평한 면일지라도 미시세계로 들어가 보면 많은 분자들로 이루어진 작은 거친면을 포함하고 있기 때문에 BRDF를 사용하여 빛의 반사를 설명할 수 있다.

산란모델들은 입사되는 하나의 광선을 물체와 상호작용 후에 산란되어 여러개의 광선으로 투과 혹은 반사되는 광선은 방향과 각도에 따라 에너지가 분배된다. 이렇게 산란된 에너지의 분포를 나타내는 shift invariant mode로 작용하는데 이러한 함수를 shift-invariant scatter angle  $\theta_d$  라고 하고 다음과 같이 정의한다.

$$\theta_d = \sin^{-1}(|\sin(\theta_i) - \sin(\theta_s)|) \quad (2-3)$$

여기서  $\theta_i$ 는 물체 표면의 법선벡터와 입사광선이 이루는 입사각이고  $\theta_s$ 는 산란각이다. shift invariance는 산란된 에너지 분포는 입사각에 대한 코사인방향에서 변화가 없고 회절격자의 선형적인 중첩원리로서 산란되는 표면을 취급할 수 있음을 뜻한다. 반사를 기술하는 BRDF는 각각의 산란모델에 따른  $\theta_d$ 의 함수로 표현할 수 있다.

BRDF에서 사용되는 산란모델로는 그림 2-7에서와 같이 크게 Lambertian, CosNth, Gaussian로 나누어진다. 그 중 Lambertian은 완전하게 난반사를 일으키는 형태로 BRDF

로 나타내면 다음과 같다.

$$BSDF(\theta_s) = constant \quad (2-4)$$

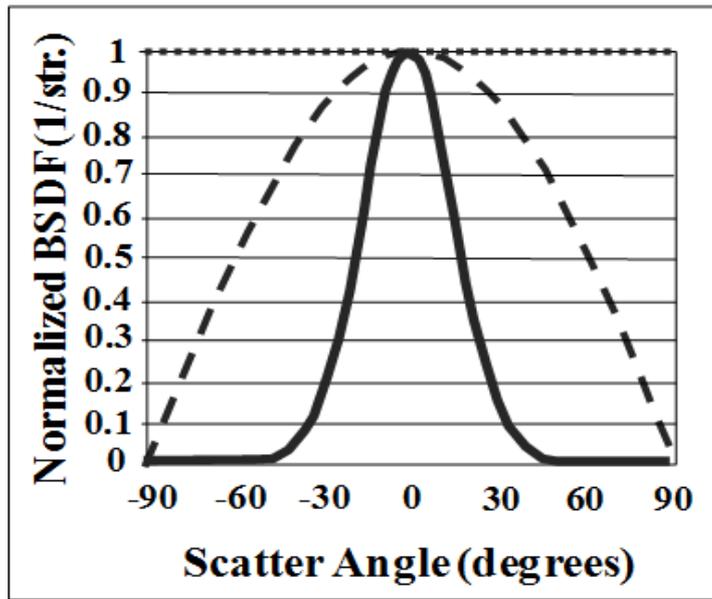
2-4식에도 나타나 있듯이 lambertian의 에너지 분포는 산란각에 의존하지 않으므로 어느 각에서도 같은 밝기를 느끼게 된다.

그러나 CosNth나 Gaussian의 경우에는 각각 다음과 같다.

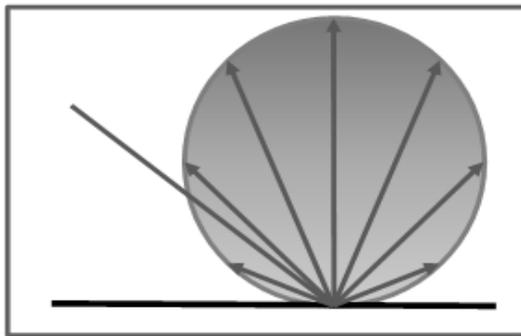
$$BSDF(\theta_d) = \cos^N(\theta_d) \quad (2-5)$$

$$BSDF(\theta_d) = \exp\left[-\frac{\theta_d^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2-6)$$

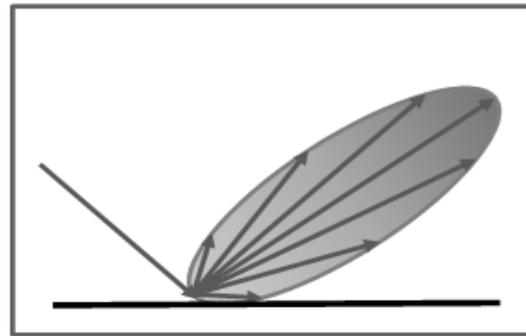
여기서  $\sigma$ 는 가우시안 에너지분포의 표준편차(The standard deviation of the gaussian energy distribution)이다. 이 두가지 산란모델은 산란각에 따라 빛의 에너지 분포가 달라지며 각각 코사인과 가우시안 분포를 따르고 있음을 알 수 있다. 즉 관측자의 방향에 따라 밝기를 다르게 느끼는 것이다. 그러나 단순한 산란형태를 가지는 물질은 매우 드물고, 실제 산란형태는 이러한 산란모델의 조합으로 일어나고 이를 BSDF함수로 표현할 수 있다.



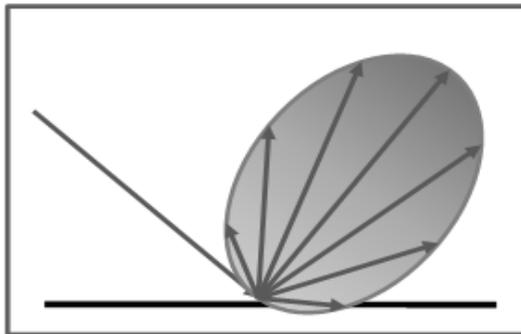
(a)



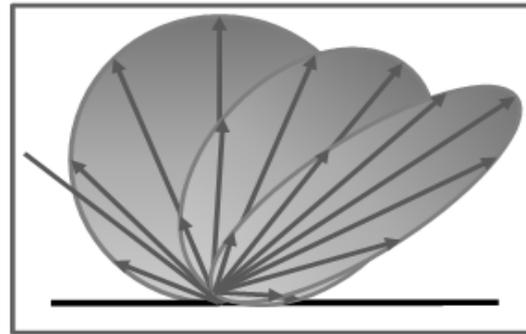
(b-1)



(b-2)



(b-3)



(b-4)

그림 2-7. BSDF에 사용되는 산란모델 (a) 각 산란모델에 대한 BSDF (b-1) 람버시안 (b-2) 가우시안 (b-3) 코사인 (b-4) BSDF (각각의 산란모델의 적용)

## 제3절 레이저 마킹

### 1. 레이저의 작동 원리

레이저(LASER)는 가간섭성(coherent)을 가지면서도 고도의 방향성이 있고 수 밀리미터에서 X-ray 파장에까지 이르는 넓은 영역의 전자기파를 발진하는 장치이다. 레이저는 수 많은 진동수에서 모드락(mode lock)을 함으로서 단일 파장을 발진할 수 있다. 레이저(LASER)는 “light amplification by stimulated emission of radiation.” 의 머리글자로 유도방출에 의한 광-증폭 장치라는 뜻이다. 레이저의 작동원리는 파장이 라디오(radio)에서 마이크로파에 이르는 파를 발진시키는 장치인 메이저의 원리를 이용한 것이다. 1960년 최초의 레이저가 개발된 이래로 레이저는 광통신(fiber optical communication)과 광학 데이터 저장 등의 광학 기술을 적용하는데 매우 중요한 역할을 하였다.

원자에서 다른 에너지 상태(Energy state or Energy level)에서의 천이(transition)은 크게 자발방출(spontaneous emission), 유도흡수(stimulated absorption), 유도방출(stimulated emission)로 세 가지로 구분된다. 3가지 과정을 개략적으로 그림 2-8 에 나타내었다. 자발방출(spontaneous emission)과정을 보면, 원자가 초기에너지가 높은 에너지 상태  $E_2$ (여기상태, excited state)에 있다가 바로 진동수가  $\nu = (E_2 - E_1) / h$  인 광자(photon)를 방출하고 낮은 에너지상태  $E_1$  (기저상태, ground state)가 된다. 이 과정에서 여기상태에서의 대체적인 수명(lifetime)은  $10^{-8}$  sec으로 매우 짧으나 종종 준안정상태(metastable state)에서 천이 되는 경우 그 수명이  $10^{-3}$  sec 으로 천이과정이 천천히 일어나는 경우도 있다. 유도흡수(stimulated absorption)는 전자기장의 영향을 받는 원자에서 방출된 진동수  $\nu$ 인 광자가 원자에 흡수됨으로 그 원자는 낮은 에너지 상태에서 높은 에너지 상태로 천이가 된다. 유도방출(stimulated emission)은 진동수  $\nu$ 의 광자가 원자에 입사되어 높은 에너지 상태의 원자가 낮은 상태로 천이하는 현상이다. 이 과정에서 같은 진동수를 갖는 두 개의 광자가 방출되는데 입사광자와 원자에서 방출되는 광자이다. 이와 같은

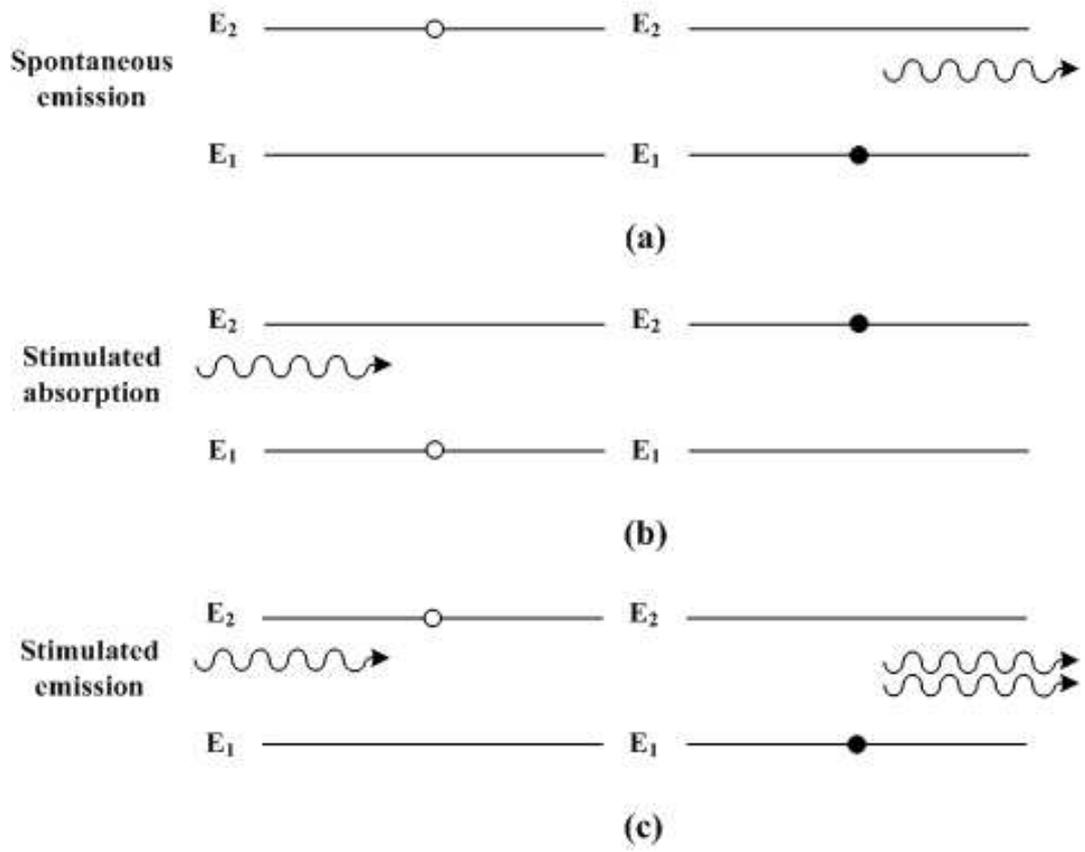


그림 2-8. 세 가지 전이과정 (a) 자발방출 (b) 유도흡수 (c) 유도방출

세 가지의 과정은 다음과 같은 관계를 가지고 있다.

$$\rho(\nu) = \frac{\frac{A_{21}}{B_{21}}}{\frac{n_1}{n_2} \frac{B_{12}}{B_{21}} - 1} \quad (2-7)$$

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{(E_2 - E_1)/kT} = e^{h\nu/kT} \quad (2-8)$$

$$\begin{aligned} \rho(\nu) &= \frac{\frac{A_{21}}{B_{21}}}{\frac{B_{12}}{B_{21}} e^{h\nu/kT} - 1} \quad (2-9) \\ &= \frac{\frac{8\pi h\nu^3}{c^3}}{e^{h\nu/kT} - 1} \end{aligned}$$

$$\frac{B_{12}}{B_{21}} = 1 \quad (2-10)$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \quad (2-11)$$

$A$ 와  $B$ 는 아인슈타인의 계수라고 하고  $A_{21}$ ,  $B_{12}$ ,  $B_{21}$ 는 자발방출, 유도흡수, 유도

방출관련 계수이고  $n_1$ 과  $n_2$ 는 각  $E_1, E_2$  에너지 준위에 해당하는 원자들의 개수이고  $E_1 < E_2$ 의 관계를 가지고 있다.

$$\frac{A_{21}}{B_{21}\rho(\nu)} = e^{h\nu/kT} - 1 \quad (2-12)$$

여기서  $h, \nu, k$ 는 플랑크 상수, 진동수, 볼츠만의 상수이고  $\rho(\nu)$ 는 원자에 적용된 전자기파의 광에너지밀도이다. 열적평형상태(thermal equilibrium)에서  $h\nu \gg kT$ 의 조건에서는 유도방출보다 자발방출이 많이 일어난다. 이러한 이유로 원자와 분자에서의 전자천이에서의 유도방출효과는 미미하다. 그러나  $h\nu \simeq kT$ 의 조건이 되면서는 유도방출이 중요하게 되고  $\nu$ 가 상대적으로 작은 스펙트럼의 마이크로 영역에서는 원자 천이에 적용되어지는 조건  $h\nu \ll kT$ 에서는 유도방출효과가 지배적이다. 일반적으로 방출과 흡수의 비는

$$\begin{aligned} \frac{\text{rate of emission}}{\text{rate of absorption}} &= \frac{n_2 A_{21} + n_2 B_{21} \rho(\nu)}{n_1 B_{12} \rho(\nu)} \quad (2-13) \\ &= \left[ 1 + \frac{A_{21}}{B_{21} \rho(\nu)} \right] \frac{n_2}{n_1} \end{aligned}$$

이고, 에너지상태가  $E_2 - E_1 \ll kT$  혹은  $h\nu \ll kT$  일 때, 위 식 괄호의 두 번째 식을 무시할 수 있게 되어 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\text{rate of emission}}{\text{rate of absorption}} \simeq \frac{n_2}{n_1} \quad (2-14)$$

볼츠만 팩터 (Boltzmann factor) 이 적용되는 열평형상태에서는  $n_2 < n_1$  이 되는데 반에 위 결과는 비평형상태일 때 적용될 수 있다. 만약  $n_2 > n_1$ 과 같이 정상적인 집단 (normal population)을 반전(inversion)하게 되면 이때 방출률은 흡수률을 초과하게 된다.

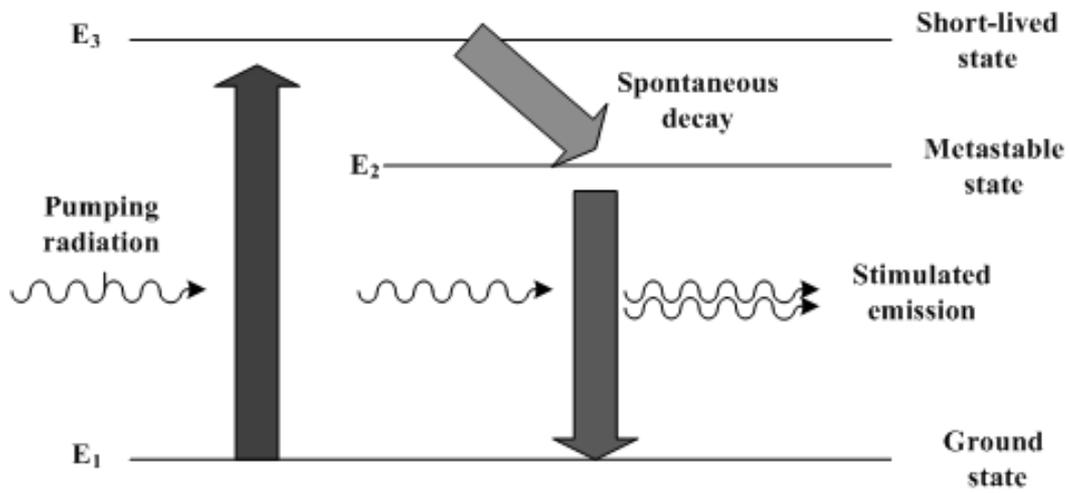


그림 2-9. 레이저 작동원리

이는 진동수가  $\nu = (E_2 - E_1)/h$  인 radiation이 입사하는 radiation 보다 생성되는 radiation이 더 많은 과정의 상호작용에 의해 세기(intensity)가 증폭된다. 위의 과정은 더 높은 에너지 상태에서 population이 평형상태가 될 때 까지 이루어진다. 위의 과정을 유지하기 위해서는 반드시 상태의 반전분포(population inversion of the states)을 유지하는 방법을 사용해야 된다. 이런 과정을 그림 2-9에 간략하게 나타내었다. 레이저나 메이저(maser)라 불리는 장치들은 이를 작동하는 전자기적 스펙트럼 부분에 의존한다. 시스템에 광학적 펌핑(optical pumping)이라고 부르는 에너지를 공급하면 강(intense)하고, 가간섭성(coherent)과, 단색성(monochromatic)의 빛이 나온다.

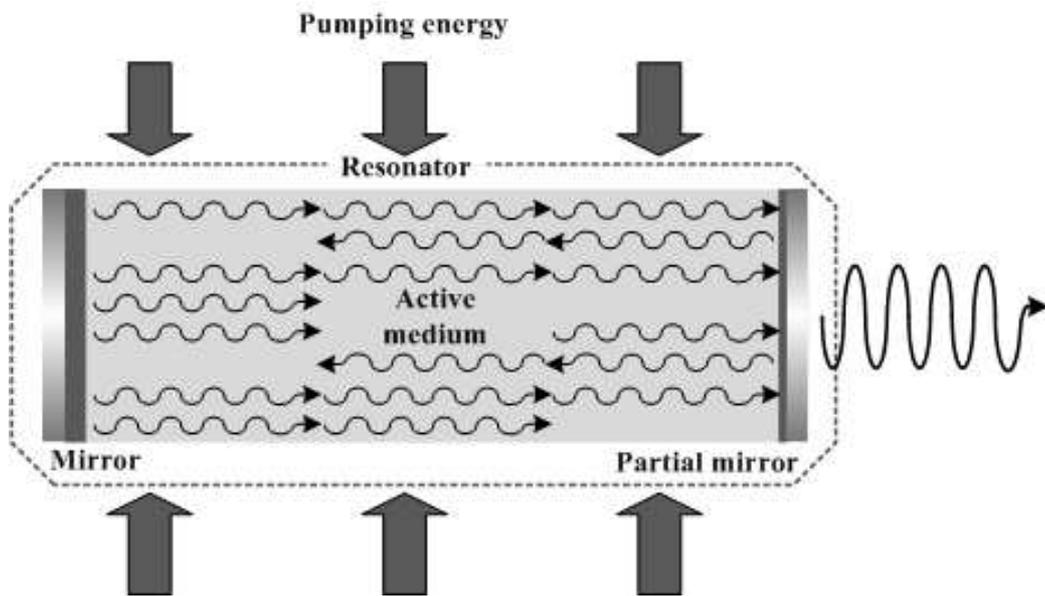


그림 2-10 레이저의 기본 구조 : 이등매질, 공진기, 펌핑에너지

일반적인 빛(atomic light source)은 각기 다른 원자들에 의해 방출되는 광자들의 랜덤한 관계에 의해 비간섭적인(incoherent) 성질을 가지고 있다. 이는 원자들의 천이가 시간적으로 아무런 상호관계를 가지고 있지 않기 때문이다. 이에 반해, 레이저(laser light source)에서 원자들은 전하들의 진동이 입사되는 radiation과 동일한 위상을 갖는 radiation을 방출하는데 이를 위해서는 레이저는 기본구조로 그림 2-10에서 보여주듯이 펌핑요소(Pumping energy), 매질(Active medium), 자발방출된 radiation을 증폭시킬 공진기(Resonator)이 반드시 필요하다. 이 때 레이저에서 유도방출되는 빛은 공명기의 상대적으로 생성된 레이저 빔의 세기는 이렇게 생성된 빛들의 진폭들이 합의 제곱이다.

수명이 상대적으로 긴 준안정상태의 에너지 레벨이 수명이 무한적으로 긴 안정상태의 에너지 레벨에서보다 더 높은 population을 만든다. 불확정성 원리(uncertainty relation)  $\Delta E \Delta t \simeq h$ 로부터 긴 수명으로 인해  $\Delta t$ 이 커짐으로 에너지 차이  $\Delta E$ 가 작아지고 방출되는 천이 진동수가 날카롭게 되어 고도의 단색 빔(monochromatic beam)이 방출되게 된다. 레이저의 가간섭성의 성질이 거의 완벽하게 평행광(collimation)과 초점(focusing)을 가능하게 하여 레이저 빔은 단일한 방향을 가지게 되고 이는 에너지 밀도를 더욱 집중할 수 있도록 한다.

## 2. 레이저 빔의 특성

레이저 가공은 빔을 이용한 비접촉식 가공이다. 그리하여 펀칭법, 전기펜법, 에칭법, 잉크젯법 등의 다른 가공법에서 나타나는 마찰로 인하여 생기는 재료의 변형이나 가공시에 발생할 수 있는 소음 등이 없고 전도체 재료는 물론 비전도체 재료에도 적용 가능하며 전기적인 제어가 용이하다. 그러나 레이저빔의 파장과 가공시에 광학부품을 이용하여 가공하는데 레이저빔의 형태와 빔의 크기(spot size)와 초점깊이(depth of focus)와 재료의 물리적 특성에 따라 가공의 형태가 달라진다. 특히 레이저에 의한 가공에 많이 쓰이는 고출력의 지속파 또는 펄스형태의 Nd:YAG 레이저와 CO<sub>2</sub> 레이저가 가장 많이 쓰이는데 이들 레이저는 빔을 집속시키지 않으면 재료가공에 충분한 에너지 밀도를 주지 못하고 작은 열영향 구역을 주기 위하여서도 렌즈 등 광학 부품을 이용하여 빔의 크기와 초점깊이를 조절하여야 한다.

레이저빔 형태는 레이저 공진기 양단을 반복하여 왕복하는 광자들의 전자기장에 의하여 결정된다. 이 전자기장의 모양은 광자의 파장, 공진기 양단의 반사거울의 배열상태, 곡률반경과 거리 및 방전관의 직경 등의 조건들에 따라 조사된 표면상에서 여러 가지 모양의 단면 에너지 분포형태를 가진 TEM<sub>mn</sub> 모드를 가지고 있다. TEM 모드는 레이저빔의 에너지 분포와 발산정도를 결정하며, 렌즈에 의하여 집속되는 조건들을 결

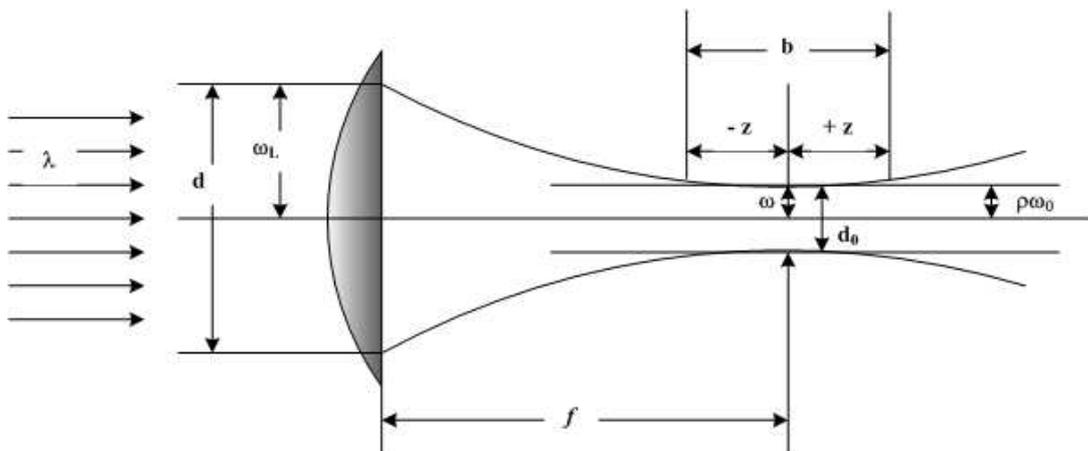


그림 2-11. TEM<sub>00</sub> 모드의 빔을 렌즈로 집속시키는 경우에 초점면에서 얻어지는 빔의 크기와 초점거리

정한다. 모드의 차수가 작을수록 렌즈의 초점위치에서 얻어지는 빔의 크기(spot size)의 직경이 작아 큰 출력밀도를 줄 수 있고 주어진 빔의 직경에 대하여 초점깊이를 크게 할 수 있으며, 레이저빔을 광학적으로 조절하기가 쉽다. 그리하여 대부분의 재료가공에서는 TEM<sub>00</sub> 모드의 레이저빔을 사용한다.

이러한 TEM<sub>00</sub> 모드의 Gaussian 빔을 렌즈로 집속시키면 기하학적으로 한 점에 초점이 형성되지 않고, 그림 2-11 와 같이 초점면에 집속된 빔의 직경( $d_0$ )과 초점 깊이 ( $b$ )를 주게 된다. 이는 렌즈의 중심을 통과한 부분과 렌즈의 원주둘레를 통과한 빔이 진행한 거리가 달라 같은 면에 집속되지 못하기 때문에 렌즈의 초점위치에 집속된 빔 직경과 초점깊이를 주게 되는 것이다. 집속렌즈로 들어오는 레이저빔 직경  $d$ 는 알고 있으므로 초점거리  $f$ 인 렌즈로 집속된 점 크기는 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\omega(z) = \omega_0 \left\{ 1 + \left( \frac{z}{z_R} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (2-15)$$

$\omega_0$  :  $z=0$  인 빔허리에서 빔의 반경

$$z_R : \text{Rayleigh 구역} \left( z_R \equiv \frac{\pi \omega_0^2}{\lambda} \right)$$

$$\omega_{FF} \cong \omega_0 \left( \frac{z}{z_R} \right) = \frac{\lambda z}{\pi \omega_0} \quad (2-16)$$

$\omega_{FF}$  : 원거리 전자장(far field)에서 빔의 반경

$$\omega_0 = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{f}{\omega_L} = f \cdot \theta_{FF} \quad (2-17)$$

$\omega_0$  : 집속된 레이저빔의 spot size

$\omega_L$  : 입사되는 빔의 반경

$f$  : 렌즈 초점거리

$\theta_{FF}$  : 레이저 빔의 발산각도

식 (1)에서  $\omega$ 를  $\omega_0\rho$ 로 대치시킴으로써 집속된 레이저빔의 초점깊이도 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} z &= \pm \pi \sqrt{\rho^2 - 1} \frac{\omega_0^2}{\lambda} = \pm \frac{\pi}{\lambda} \sqrt{\rho^2 - 1} \left( \frac{d_0}{2} \right)^2 \\ &= \pm \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\rho^2 - 1} \left( \frac{f}{\omega_L} \right)^2 \end{aligned} \quad (2-18)$$

$\rho$  : 빔의 크기 허용도

$\omega_L$  : 입사되는 빔의 반경

$f$  : 렌즈의 초점거리

집속된 빔의 반경이 중심반경이 5% 큰 경우에  $\rho = 1.05$ 가 되며, 그사이의 거리를  $b$ 라고 할 때  $b = 2z$ 가 되며, 흔히 이 거리를 초점깊이라고 한다. 이를 적용하면 초점깊이의 양측 위치는 대체로 다음과 같이 주어진다. 따라서 초점깊이 ( $b$ )는 레이저의 파장과 집속된 빔 직경만 알면 곧 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
b = 2z &= \pm 2 \cdot \frac{0.32\pi}{\lambda} \omega_0^2 & (2-19) \\
&= \pm 2 \cdot \frac{\omega_0^2}{\lambda} \\
&= \pm 2 \cdot \frac{d_0^2}{4\lambda}
\end{aligned}$$

위의 식(1)과 (2)에서 확인 할 수 있듯이 집속된 레이저빔의 크기를 작게 하여 레이저 에너지밀도를 크게 하기 위하여서는 초점거리가 짧은 렌즈를 사용하여야 하며, 이런 경우에는 초점깊이가 작아진다. 이러한 빔 크기와 초점거리는 재료 가공에 있어 많은 영향을 미치므로 적절한 파장의 레이저와 그에 알맞은 광학기기의 배열을 통해 목적에 맞게 세팅을 해야 된다.

### 3. 가공용 레이저의 소개

CO<sub>2</sub> 레이저는 원자기체 또는 이온기체들의 전자적인 에너지 준위들 사이의 전이에 의하지 않고, 레이저의 능동매질인 CO<sub>2</sub> 분자들의 진동 및 회전준위들 사이의 전이에 의한 분자기체 레이저이다. CO<sub>2</sub> 분자는 가장 낮은 전자에너지 준위상태에서 대칭(symmetric stretching), 비대칭(asymmetric stretching)과 굽힘(bending)운동의 세가지 다른 형태의 진동운동을 한다. 이들 세 가지 기본적인 진동모드에서 발진의 에너지는 양자화되어 있고, 그 분리되어 있는 값들은 정수값 들이다. 어떤 순간에 CO<sub>2</sub> 분자는 이들 세 가지 기본모드의 일차적인 조합으로 진동한다. CO<sub>2</sub> 레이저에서는 레이저의 전반적인 출력과 효율을 증가시키기 위하여 능동매질인 CO<sub>2</sub> 이외에 비슷한 용적의 N<sub>2</sub>와 수배의 He가스를 첨가시킨다. N<sub>2</sub> 가스는 전자와 충돌하여 높은 에너지 준위로 여기되고 여기된 N<sub>2</sub> 가스가 CO<sub>2</sub> 분자와 충돌하여 N<sub>2</sub> 가 지닌 에너지를 CO<sub>2</sub> 로 전달시킴으로 CO<sub>2</sub> 분자를 여기상태의 준위로 전이시킨다. 이 여기된 N<sub>2</sub>의 에너지 준위는 긴 수명을 가지고 있으며, N<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 의 여기된 에너지 준위들 사이의 에너지는 거의 비슷하므로 이러한 충돌과정은 에너지 전달에 매우 효율적이다. He원자는 레이저 하부준위에 있는 CO<sub>2</sub>분자와 충돌하여 기저준위로 빠른 전이가 일어나도록 함으로써 큰 분포밀도가 유지되도록 하기 때문에 레이저의 효율을 증가시킨다. 이러한 CO<sub>2</sub>레이저는 900~1,100 nm의 적외선 복사를 방출하며 수백 kW의 연속빔이 레이저 군사용 무기 연구에 사용되고 40 kJ의 나노초 길이 펄스를 이용해 핵융합연구에 사용되기도 하는 등 여러 분야에 걸쳐 사용된다.

Nd 레이저는 능동매질로 비전도 고체, 결정질, 혹은 레이저를 방출하는 원자나 분자로 도핑된 유리등이 사용된다. 결정이나 유리 호스트 물질에 약 1%비율로 포함된 원자들은 외부 소스에서 나오는 빛에 의해 광학적으로 여기되며 이때 밀도반전을 일으킨다. Nd 레이저 자체가 한 종류의 레이저를 지칭하는 것은 아니다. Nd는 다양한 호스트 물질과 합성결정이나 다른 성분의 유리등에 합쳐진다. 특정한 부속기구를 사용하여 원

적외선에서 가시광선 혹은 자외선 영역의 출력 파장을 얻을 수 있으며 100 W 이하의 연속빔 혹은 수 MW의 짧은 펄스를 만들어 내므로 응용범위가 상당히 넓다. Nd 레이저의 능동매질은 3중으로 이온화된 네오디뮴이고 결정이나 유리구조속에 결합된다. Nd는 본질적으로 불순물인데 이트륨(yttrium) 혹은 다른 희토류 원소와 같은 비슷한 이온크기의 물질로 대체한다. 현재 가장 일반적인 호스트는 YAG(yttrium aluminum garnet,  $Y_3Al_5O_{12}$ ) 이다. YAG는 단단하지만 깨지기 쉬운 물질로 Nd:YAG 레이저를 사용하는 가장 중요한 이점은 열적 특성으로 이것이 양질의 연속빔을 만든다는 것이다. 여러가지 다른 결정 호스트들이 Nd와 함께 시험되어왔지만 YAG만큼 많이 사용 되지는 않는다. 결정을 키우기가 어렵기 때문에 YAG 막대의 길이는 10 cm 정도로 제한되고 보통 반경은 수 mm 정도이다. 유리를 사용하면 수십 cm 정도까지 길이가 늘어날 수 있고 더 높은 출력에너지를 얻을 수 있다. 펌핑을 위한 광원으로는 텅스텐 혹은 아크등을 사용한다. 램프는 넓은 스펙트럼의 빛을 내놓지만 Nd 이온은 이중 0.7에서 0.8  $\mu\text{m}$ 사이의 빛만을 흡수한다. 이러한 영역에서 흡수된 광자는 Nd 이온을 여기 시키고 Nd 이온은 준안정 상태로 붕괴하여 밀도반전을 일으킨다. Nd:YAG 레이저는 연속모드 혹은 펄스모드로 동작한다. 연속적으로 1kW 이상의 출력을 내지만 펄스모드에서 직렬로 몇 개의 레이저를 작동시켜 엄청난 파워출력을 낼 수도 있다. 예를 들어 수 나노초 (nm)동안 수 GW의 파워를 만들어 낼 수 있다.

위와 같은 다양한 레이저를 이용한 레이저 가공은 높은 에너지 밀도로 미소의 점에 집광시킨 레이저광을 가공에 적용한 것을 여러 가지 다양한 가공특성을 가지고 있으며 이러한 장점을 이용하여 레이저광의 특성과 가공되는 피가공물의 물성에 따라 절단, 구멍뚫기, 용접, 열처리, 표면가공 등에 응용되고 있다. 이러한 레이저 가공이 갖는 공통적인 특징 중 일반적인 가공기술과 다른 특징 중의 하나는 열로 변환되는 에너지의 강도가 다른 가공법에 비하여 월등이 높다는데 있으며 반도체 소재, 세라믹 재료, 합성수지 등과 같은 다양한 소재의 가공이 가능하다는 것이다. 레이저 가공은 기본적으로 레이저광의 흡수에 의한 열적인 과정으로 재료의 광흡수가 매우 중요한 요소가 된다.

레이저광의 흡수를 결정하는 중요인자는 빔의 파장, 입사각, 편광, 빔의 출력분포, 발산각 등이 있다. 따라서 레이저가공의 특성은 가공하고자 하는 재료에 대한 레이저광의 특성과 레이저광을 흡수하여 얻게되는 열원의 특성과 직접적인 관계를 갖는다. 레이저광은 광학부품을 이용하여 초점위치에 매우 높은 에너지를 주도록 집속 시킬 수 있다. 따라서 가공하고자 하는 부문에만 적당량의 에너지를 집속시킬 수 있어 많은 부문을 동시에 균일하게 가공하여야 하는 통상적인 방법보다는 가공이 빠르고 재료의 내부에서 열로 인하여 발생될 수 있는 응력변화, 뒤틀림, 균열 등을 방지 할 수 있어 재료의 손상을 최소화 할 수 있다. 또한 레이저광의 집속으로 인하여 수  $\mu\text{m}$ 이하의 정밀한 가공이 가능하다.

# 제3장 실험

## 제1절 도광판 제작

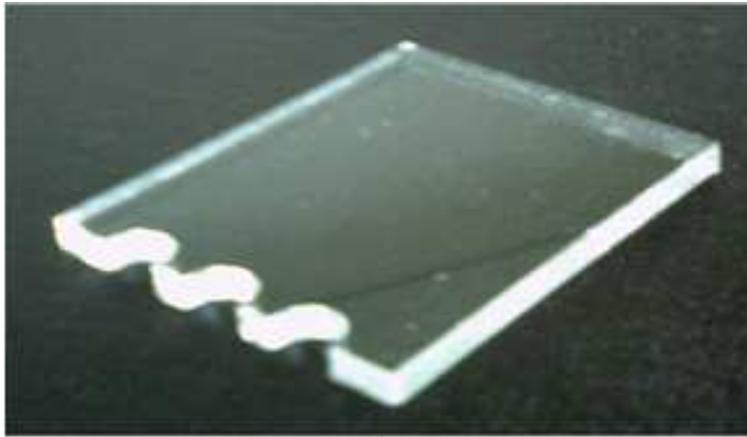
### 1. 도광판 제작

본 연구에서는 기계적 강도가 높아 쉽게 깨지거나 변형되지 않고, 내화학성이 강하며, 투명하여 가시광선에 대한 광투과율이 92.7%나 높아 일반적인 도광판 재료로 널리 쓰이는 PMMA(Poly methyl metha acrylate)를 선택하였다. 도광판의 크기는 모바일 기기 등에 사용되는 소형의 도광판의 크기와 유사토록 그림 3-1.과 같이 50mm × 40mm × 5mm (길이 × 폭 × 두께)으로 하여 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 제작하였으며 하였으며 도광판 내부에 38mm × 38mm × 4mm의 영역을 지정하여 마킹영역으로 하였다.

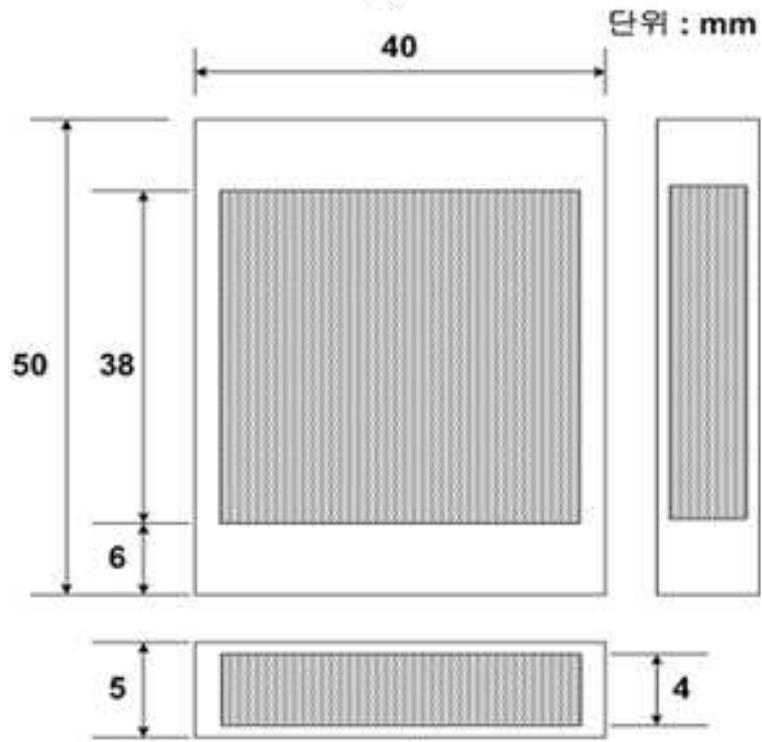
### 2. 도광판의 광원과 광원부 모듈 제작

사용된 광원은 모바일 기기 등에 사용되고 있는 반도체광원이 LED(light emitting diode)를 사용하였다. 본 실험에 사용된 LED는 빛을 전면으로 출력하기 때문에 별도의 광원반사판은 설치하지 않았다. LED는 표 3-1의 특성과 그림 3-2의 규격을 갖는 Won semiconductor사에서 생산하고 있는 W52G5429을 사용하였다. 모의실험에서도 실제 제품과 동일한 규격과 특성을 갖는 광원으로 설계하여 사용하였다.

그림 3-3는 LED 구동을 위한 회로도와 도광판 광원부 구동 모듈을 나타내고 있다. LED 3개를 도광판 측면에 위치시켰다. 광원이 고정될 도광판의 3개의 홈은 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 가공하였으며 광원모듈을 제작하여 동일한 광원에 도광판만을 교체하여 고정시킬 수 있도록 하였다. .



(a)



(b)

그림 3-1. 도광판의 재료와 가공영역 (a) PMMA  
(b) 제작한 PMMA 및 가공영역

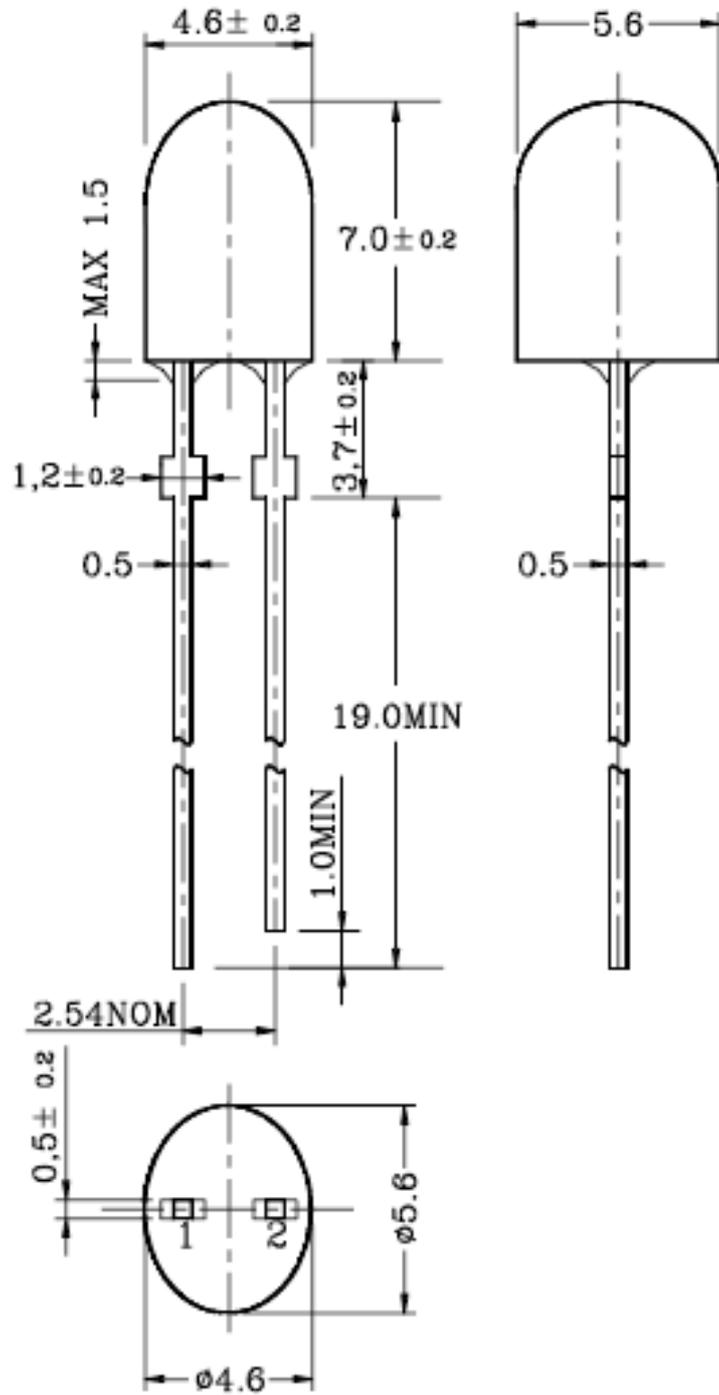


그림 3-2. 실험에 사용된 LED 외형 규격

제조사	Won semiconductor Co. Ltd.
모델명	W52G53429-(B)
시야각	70 / 30
색도	InGaN P - Green Chip
중심파장	525 nm
전압	3.2 V
최소광도	2,000

표 3-1. 실험에 사용된 LED 특성

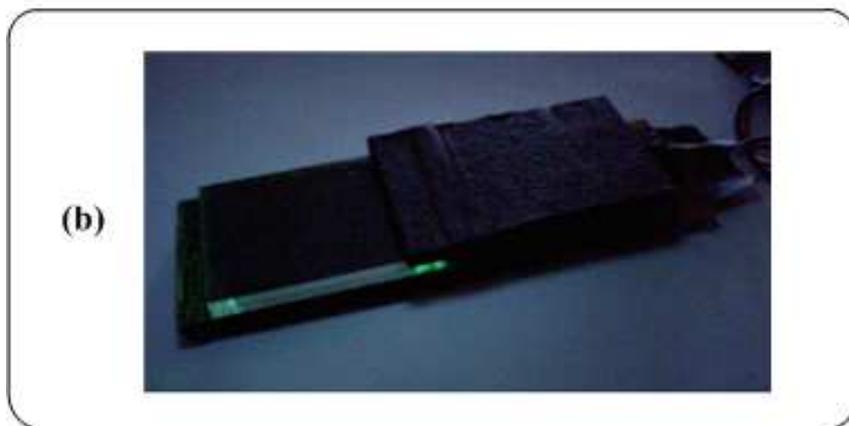
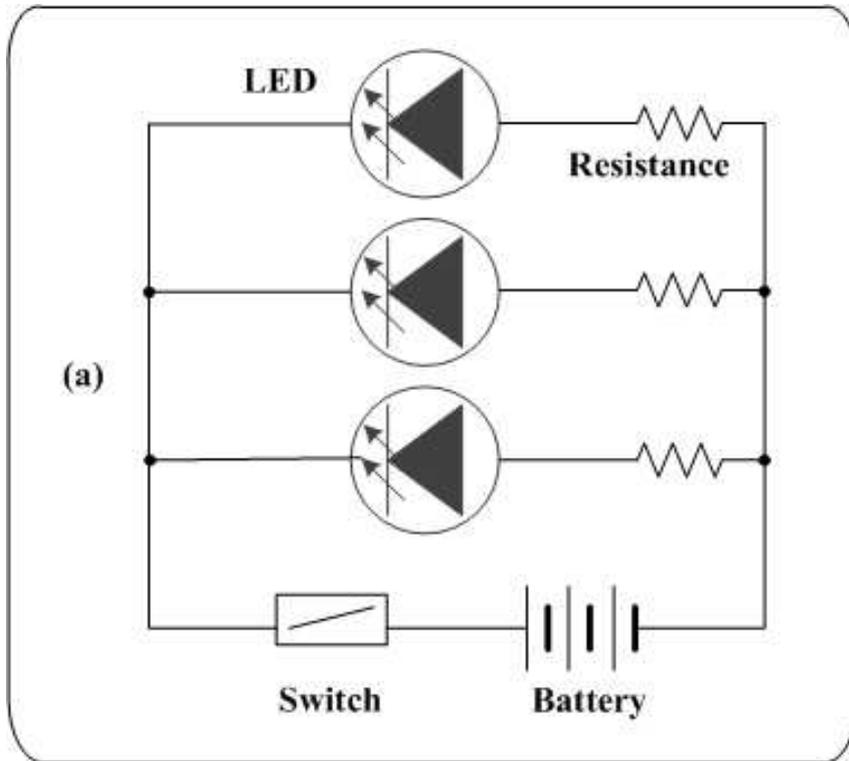


그림 3-3 광원부 모듈 제작 (a) LED 구동 회로 (b) 제작된 도광판 구동 모듈

## 제2절 레이저로 유도된 도광판 산란패턴 가공

### 1. 도광판 내부패턴 가공

#### 가. 내부패턴 설계

내부패턴은 40 mm × 50 mm × 5 mm 크기의 도광판에 38 mm × 38 mm × 4 mm 내에 가공영역을 설정하였고 그림 3-5.(a)의 3차원 모델링 프로그램(SolidWorks)를 사용하여 가공영역 내부에 패턴을 설계하였다. 내부패턴의 형태는 그림 3-4.와 같이 가공영역에서 가공할 수 있는 최대 기울기(slope)가 38 / 4 인 선형패턴과 최대 곡률의 1 / 182.5 mm인 곡면패턴 두 가지로 설계하였고 이렇게 설계된 파일은 \*.SAT 파일로 변환시켰다. 변환된 파일은

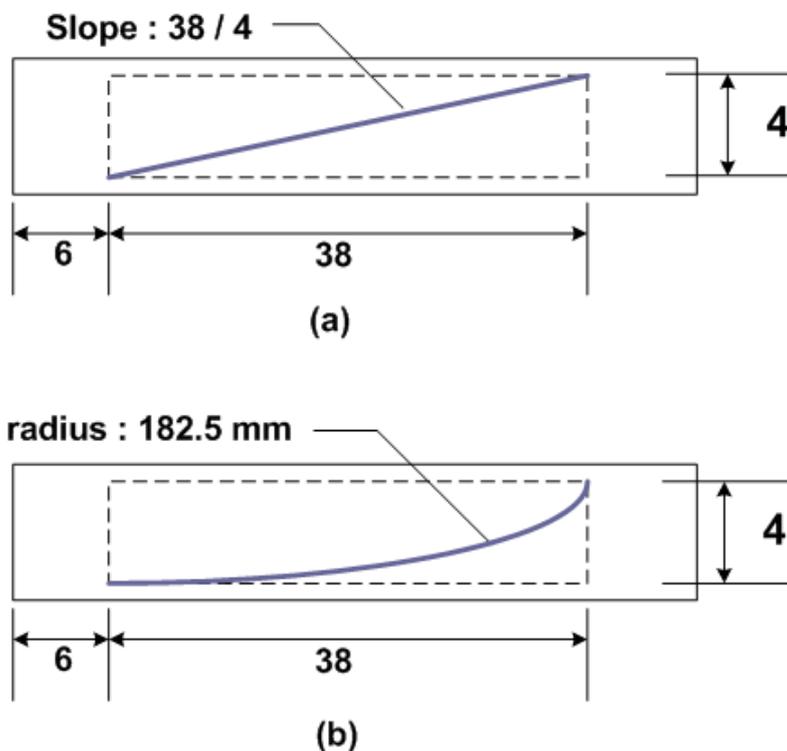


그림 3-4. 패턴의 형태 (a) 38/4 의 기울기의 선형패턴  
(b) 182.5 mm의 최소 반지름의 곡면패턴

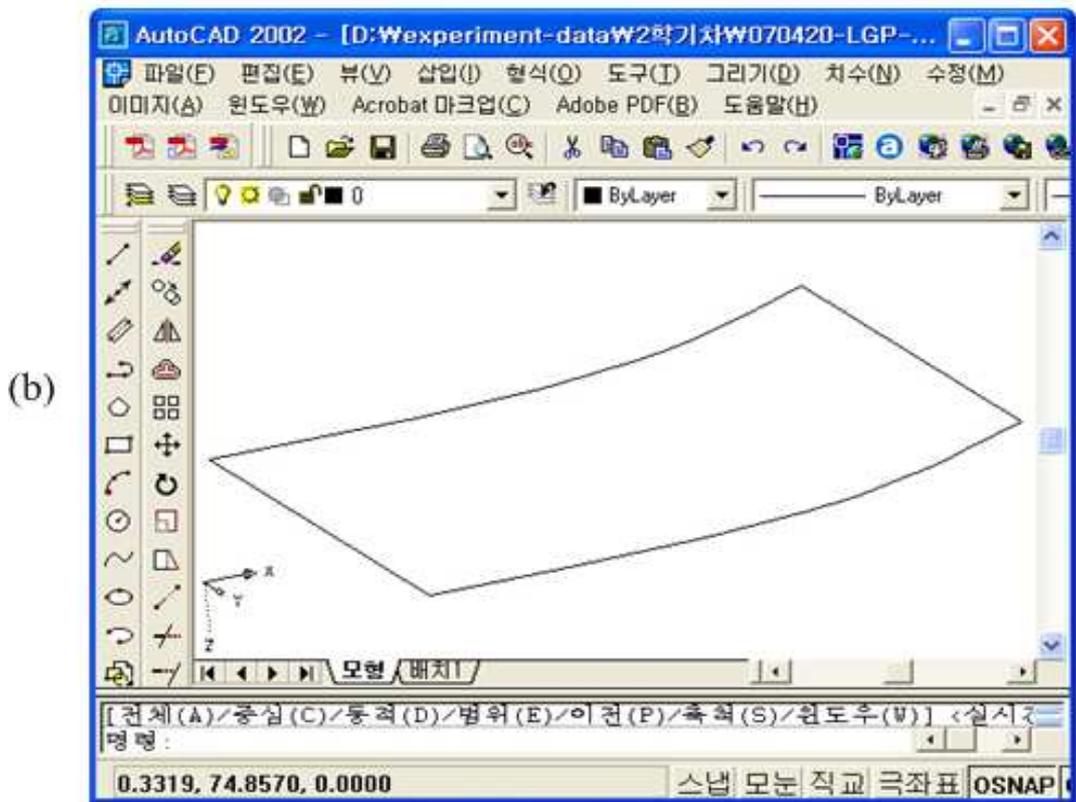
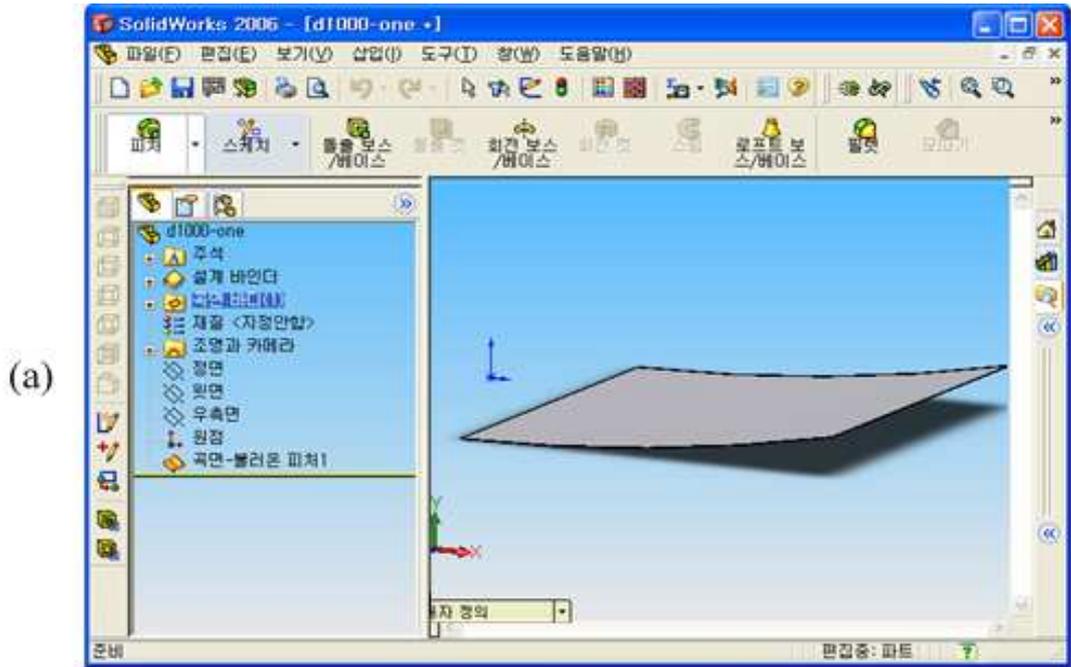


그림 3-5. 내부패턴설계과정 (a) SolidWorks을 이용하여 내부패턴설계(곡면 패턴) (b) SolidWorks로 저장된 파일을 AutoCAD에서 파일 변환

AutoCAD 프로그램으로 그림 3-5(b)에서와 같이 \*.dwg 파일로 다시 변환시켰다. 면으로 설계된 내부패턴의 3D MAX 프로그램을 이용하여 산란체들로 변환시킨다. 그림 3-6에 면이 산란체들로 변환되는 한 예를 나타내고 있다. 이 기능을 이용하면 산란체들의 개수와 간격 배열 방향등을 조절할 수 있다. 그림 3-7은 가공할 실제 패턴을 산란체들의 분포로 지정해주고 또한 변환하는 과정을 나타내고 있다.

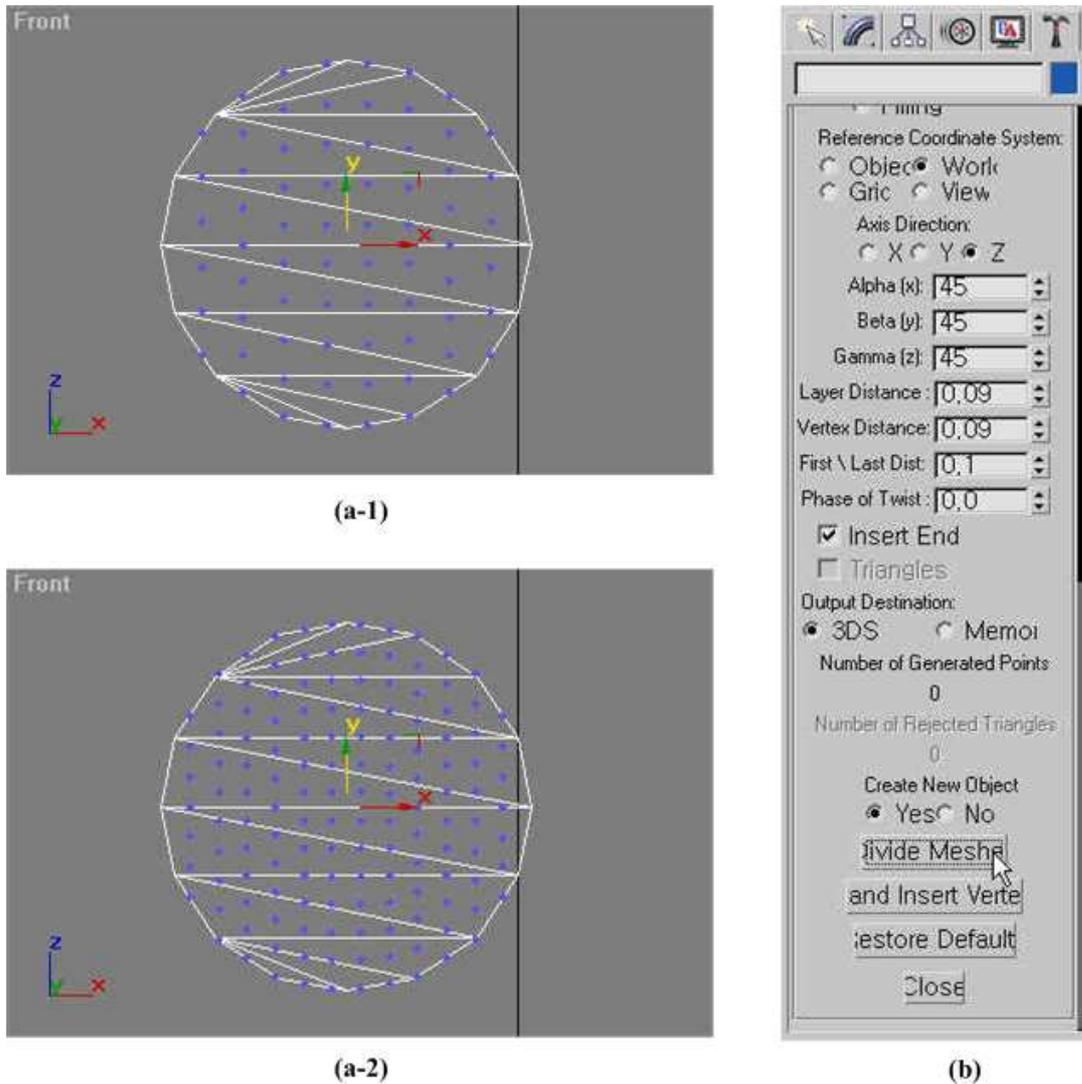
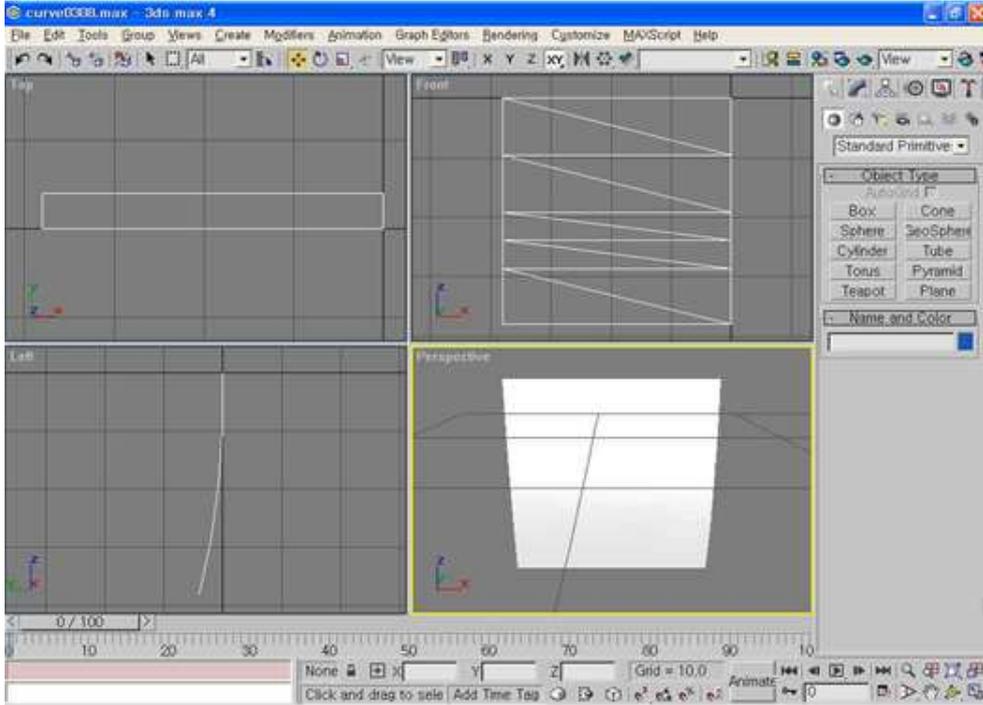
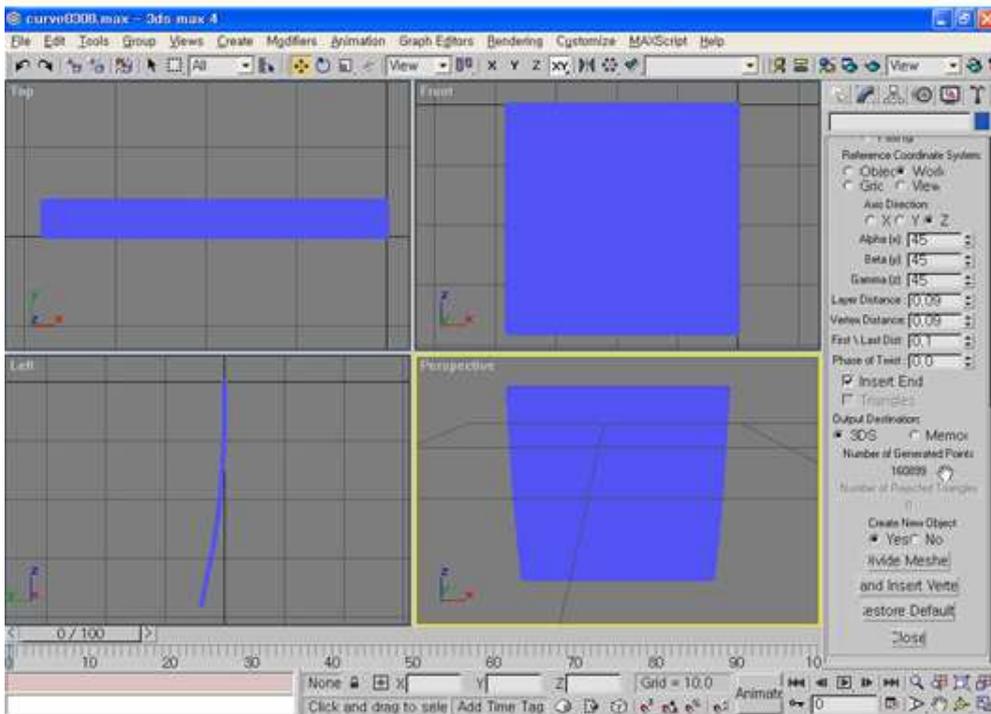


그림 3-6 3D MAX의 divide Meshes를 이용한 산란체 개수와 위치 설정 (a-1) 산란체 70개 (a-2) 산란체 140개 (b) 산란체의 간격, 위치와 배열방향 등을 조절하는 divide meshes



(a)



(b)

그림 3-7. 3D MAX에서 곡면패턴의 산란체 형성하는 과정 (a) 산란체가 형성되지 않은 패턴의 모습 (b) 평면의 패턴이 산란체들로 변환

이와 같은 방법으로 산란체들의 밀도를  $10 \times 10 \text{ ea/mm}^2$  또는  $20 \times 20 \text{ ea/mm}^2$ 를 가지도록 설정하였다.

## 나. 내부패턴 가공 시스템

설계된 산란체의 분포로 이루어진 내부패턴의 3차원 레이저 가공을 위하여 2nd harmonic Nd:YAG 펄스 레이저 시스템( 중심파장 - 532 nm, 펄스 폭 - 10 nsec, 최대 에너지 - 30mJ, spot size -  $50\mu\text{m}$ , 펄스 반복율 - 50Hz)을 사용하였다. 그림 3-8은 이 때 사용된 3차원 레이저 시스템의 개략도이다. 3차원 가공을 위해서 초점거리 43mm인 f-theta를 사용하였으며 초점렌즈를 z축 방향으로 이동하게 하여 초점의 위치를 임의의 높이로 조절할 수 있게 되어 있다. 평면상의 위치제어를 위해서는 z-y축 방향으로 위치 조절이 가능한 moving stage를 이용하여 가공 위치를 3차원적으로 제어할 수가 있었다. 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  $30 \mu\text{m}$  내외로 계산되었으며 매우 좁은 가공부 길이로 인해 샘플 표면의 손상 없이 도광판 내부에 직경  $50\mu\text{m}$  정도의 3차원 산란체를 형성시킬 수 있었다. 그리고 레이저의 파워를 조절할 연계 프로그램으로 그림 3-9의 culptor을 이용하였다.

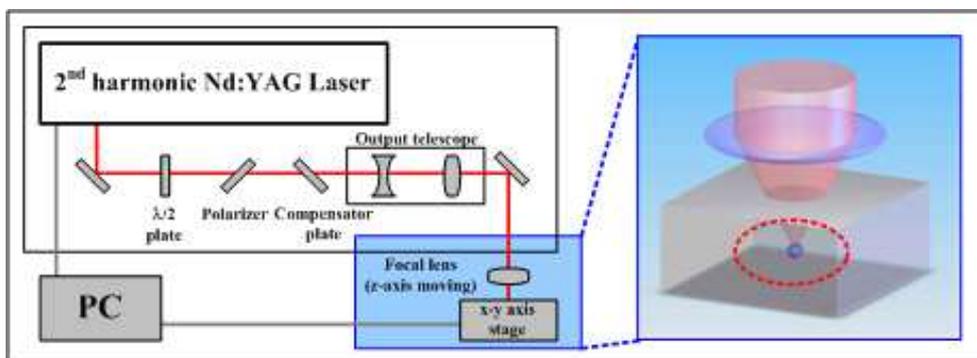
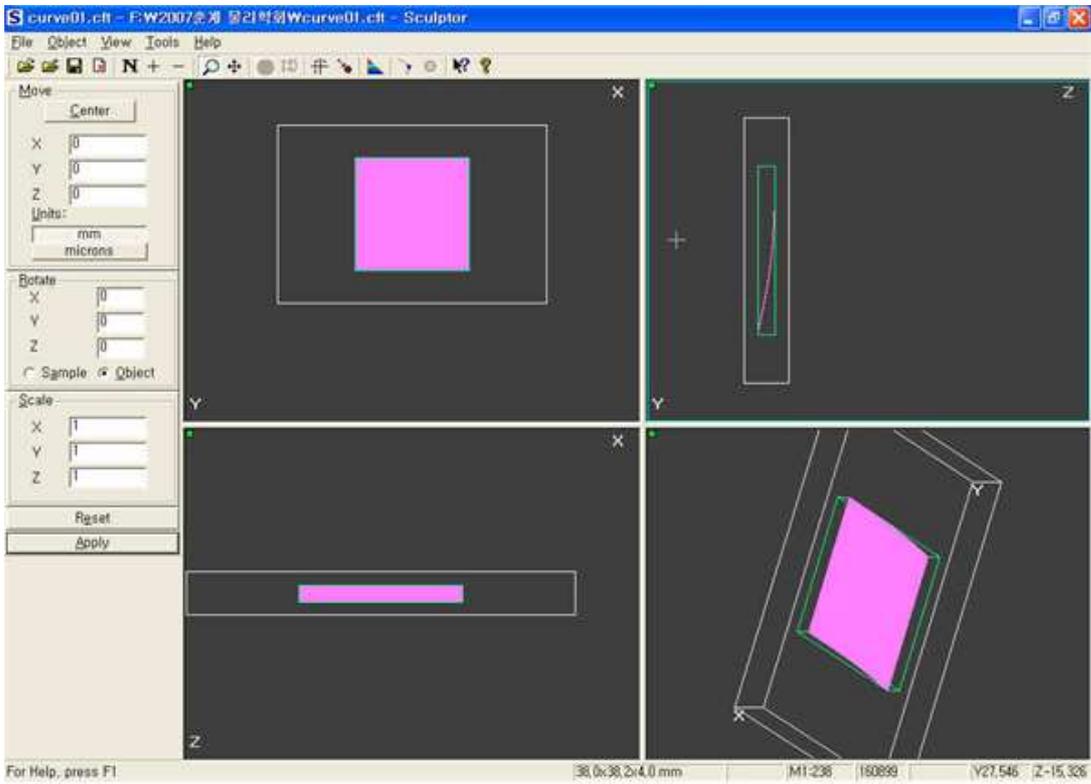


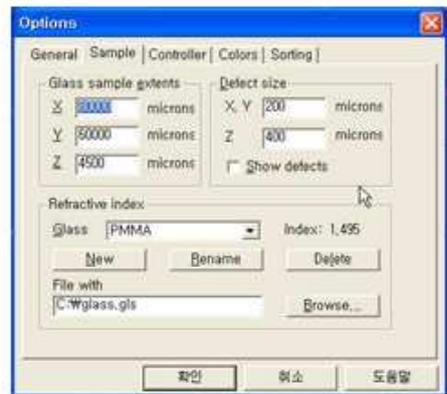
그림 3-8. 내부산란체 형성을 위한 이차고조파 Nd:YAG 펄스 레이저 시스템 도식도



(a)



(b-1)



(b-2)

그림 3-9. 3차원 레이저 조각기 시스템 연계프로그램 Sculptor (a) 레이저 조각시스템 제어 조건

## 2. 도광판 표면패턴 가공

### 가. 표면패턴 설계

표면패턴의 설계에 사용한 프로그램은 그림 3-10의 Hannol editor이다. 여기에 있는 파라미터를 적절히 이용하면 마킹의 폭과 깊이, 그리고 line 마킹에서 dot 형태의 마킹도 가능하다. 특히 마킹시 점간거리에서 80  $\mu\text{m}$ 을 입력하여 안정적인 line 형태의 마킹을 할 수 있었고 450~500  $\mu\text{m}$  부터는 독립적인 dot 형태의 마킹이 가능하였다. 이를 이용하여 표면패턴의 형태를 3가지로 설정하였는데 500  $\mu\text{m}$  간격을 갖는 그리드(grid) 형태와 500  $\mu\text{m}$  간격의 도트(dot) 형태, 700 $\mu\text{m}$  간격의 지그재그(zigzag) 형태이다.

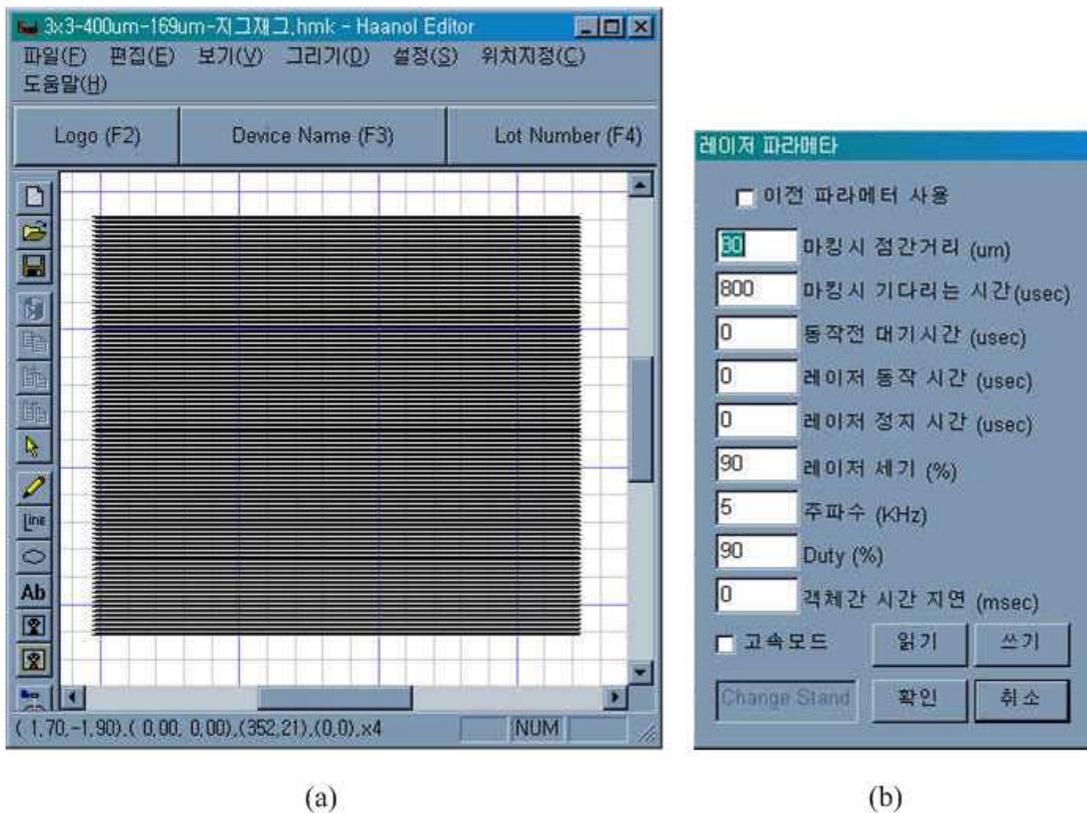


그림 3-10. CO<sub>2</sub> 레이저 시스템 연계 프로그램 Hannol Editor (a) 표면패턴 설계 (b) CO<sub>2</sub> 레이저 파라메타 입력

## 나. 표면패턴 가공 시스템

그림 3-11은 도광판의 표면 패턴 가공에 사용된 레이저의 개략도이다. 파장이  $10.64\ \mu\text{m}$ , 평균 출력  $2.73\ \text{W}$ , spot size  $120\ \mu\text{m}$  인 빔스캔 방식의  $\text{CO}_2$  레이저를 사용하여 표면가공을 수행하였다. [25]

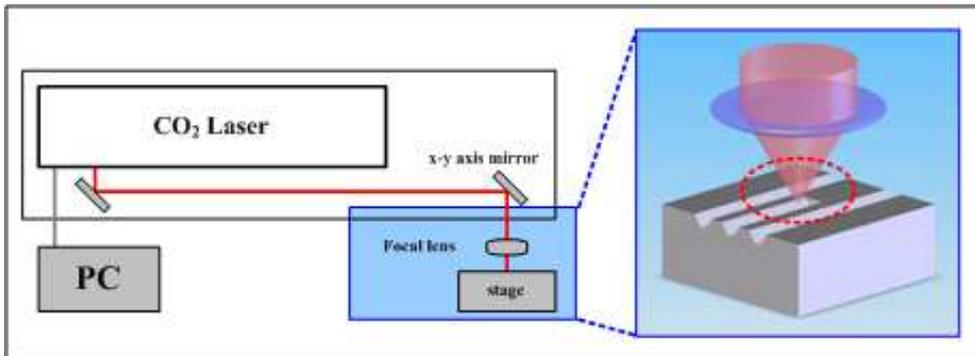


그림 3-11. 표면 패턴 가공을 위한  $\text{CO}_2$  레이저 시스템 도식도

### 3. 레이저로 가공된 패턴

그림 3-12와 같이 가공된 도광판 산란체의 형태를 광학현미경을 이용하여 관찰하였다. 내부패턴 가공에서는 그림 3-12(a)에서 확인 할 수 있듯이 도광판 표면의 손상 없이 도광판 내부에 직경  $50\ \mu\text{m}$  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 예상된다. 그림 3-12(b-1)에서 알 수 있듯이 그리드 형태로 가공된 표면패턴의 폭과 깊이는 각각  $300\ \mu\text{m}$ 와  $250\ \mu\text{m}$  이었다. 도트나 지그재그 형태로 가공된 표면패턴의 경우 직경  $450\ \mu\text{m}$ , 깊이  $300 \sim 400\ \mu\text{m}$ 인 그림 3-12(b-2)의 원뿔형태의 가공이 이루어졌다. [25,26,27,28,30,31]

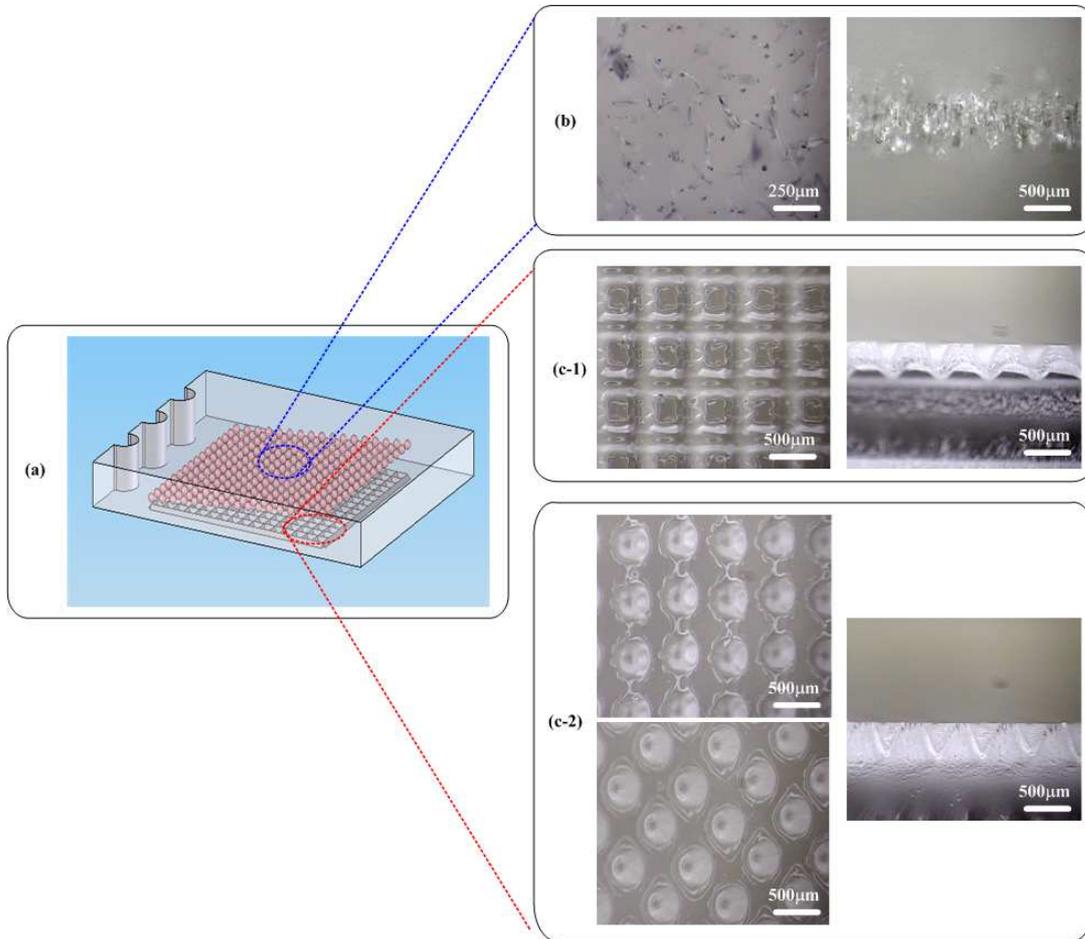


그림 3-12. 가공된 내부패턴의 산란체와 표면패턴의 산란체의 광학현미경 이미지 (a) 설계된 패턴의 도식도 (b) 내부패턴의 광학현미경 이미지 좌: 상면 우: 단면 (c-1) 그리드 형태의 표면패턴의 광학현미경 이미지 좌: 상면, 우: 단면 (c-2) 좌: 상-도트형태의 표면패턴의 상면 하-지그재그형태의 표면패턴의 상면 우: 단면

### 제3절 도광판 성능 측정

#### 1. 도광판 밝기 단위

칸델라(candela, cd)는 광도(luminous intensity)의 단위, 국제단위계(SI) 기본단위로 어느 특정방향에서 광원에서 방출되는 빛의 세기를 말하며, 광도함수(luminosity function)에 의하여 결정되고, 다른 파장에 대한 사람의 시각적 감각의 표준이 되는 모델이다. 1cd칸델라의 정의는 진동수(frequency)  $540 \times 10^{12}$  헤르츠인 단색광(monochromatic radiation)을 방출하는 광원의 복사도가 어떤 주어진 방향으로 단위 스테라디안(steradian) 당 1/683 와트일 때 이 방향에 대한 광도로 정의된다. 여기서의 진동수는 대략 555nm 파장에 해당되는 녹색(green)에 가까운 가시광선 스펙트럼에서 선택되었다. 사람의 눈은 밝은 조건에서 이 진동수에 매우 잘 감지한다. 다른 진동수에서는 사람의 눈에 응답하는 진동수에 따르면 같은 광도에 도달하기 위해 더 많은 radiant intensity가 필요하다. 특정 파장  $\lambda$ 의 빛의 광도는 다음과 같이 주어진다.

$$I_v(\lambda) = 683.002 \bar{y}(\lambda) I(\lambda) \quad (3-1)$$

여기서  $I_v(\lambda)$ 는 칸델라에서 광도이고,  $I(\lambda)$ 는  $W/sr$ 에서 radiant intensity 이며,  $\bar{y}(\lambda)$ 는 표준광도함수(standard luminosity function)이다. 만일 관측하고자 하는 광원의 파장이 여러 파장으로 구성되어있다면 일단 구성된 파장을 더하거나 전 파장에 걸쳐 적분을 해야 전체 광도를 구할 수 있다. 어떤 원뿔형으로 정의된 광속을 알고 있다면 광속(luminous flux, luminous power)에 스테라디안(steradian, sr)이라 불리는 입체각 (radiation angle, solid angle)로 나누면 광도를 구할 수 있는 관계를 가지고 있다. 광속은 단위시간에 전달되는 복사에너지( $W$ )를 시각적으로 측정된 것으로 광속의 단위는  $F$

로 표기하며 단위로는 lm(Lumen) 혹은  $\text{cd} \cdot \text{sr}$  라고 하고 일률에 해당한다. 광속은 사람의 파장에 따른 눈의 감도(sensitivity)에 따라 크게 달라지는데, 눈의 감도가 빛의 파장에 따라 크게 변하기 때문이다. 일정한 밝음의 감각을 자아내는 단색광에너지의 역수로 감도를 표시하고 이것을 시감도(luminosity factor) 라고 한다.

조도(Illuminance)란 어떤 면에 대한 전체 광속이다. 조도는 인간의 명암을 감지하는 부분과 관련된 광도 함수와 관련된 파장의 입사광 세기로 측정된다. 기호로는  $E$  로 표기하고 단위는 lx(Lux) 혹은  $\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{m}^{-2}$  라고 표기한다. 조도는 종종 밝기(brightness)라고 불리기도 하지만, 이때는 다른 용어들과 함께 사용하여 유도되는 것으로 엄밀히 말하면 밝기라 할 수 없다. “밝기”는 정량적으로 설명할 수 없고 오직 빛의 생리학적 지각과 감지를 바탕으로 한 비 정량적인 설명이다. 광속발산도(luminous emittance, luminous exitance)은 단위면적 당 그 면으로부터 방출되는 광속을 의미한다. 기호는  $M$  으로 표기하고 단위는 rlx (Radlux,  $\text{lm}/\text{m}^2$ ) 라고 한다.

휘도(Luminance)는 특정방향에서 광도밀도를 측정하는 것으로 임의의 특정 면적과 입체각(solid angle)으로부터 발광하거나 통과하는 빛의 양을 기술한다. 휘도의 기호로는  $L$ 이라고 표기하며 SI 단위로는 sb, nt, 혹은  $\text{cd}/\text{m}^2$  이라고 한다.

휘도의 다음과 같이 정의된다.

$$L_{\nu} = \frac{d^2F}{dA d\Omega \cos\theta} \quad (3-2)$$

$L_{\nu}$  : 휘도 (luminance) [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]

$F$  : 광속 (luminous flux, luminous power) [lm]

$\theta$  : 면의 법선과 특정방향이 이루는 각

$A$  : 면적 [ $m^2$ ]

$\Omega$  : 입체각 (solid angle) [sr]

윗 식으로부터 알 수 있듯이 휘도는 특정각(angle of view)에서 면을 보는 눈에 얼마나 많은 광속들이 감지되는지를 설명한다. 그러므로 휘도는 어느 면이 얼마나 밝은지를 알려주는 지표가 된다. 이때, 관찰하고자하는 입체각은 눈의 동공과 마주보는 입체각이다.

휘도는 기하학 광학에서 변하지 않으며 이는 공급되는 휘도와 출력되는 휘도가 같은 이상적인 광학적 시스템을 의미한다. 실제 광학적 시스템에서 출력되는 휘도는 입력되는 휘도와 거의 같다. 예를 들면 렌즈를 가지고 축소된 이미지를 만들었다면 광속은 더 작아진 면적에 집중되고 이는 조도가 더 높아졌음을 의미한다. 그러나 이미지면에서의 빛은 렌즈에 의해 손실이 없다면 더 커진 입체각에서 나오는 휘도는 같다. 즉 광원보다 밝은 “밝기”는 절대 없다. 휘도는 디스플레이에서 밝기 특성을 나타내는데 사용되어진다. 산업체에서는  $1\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$  를 일반적으로 “nit”라고 불리며 전형적인 컴퓨터의 디스플레이는 50 ~ 300 nit 에 해당된다. 이러한 이유로 도광판이나 백라이트의 성능을 나타낼 때는 이 휘도 값을 사용하고 있으며 본 논문에서도 도광판의 성능으로 이 휘도를 이용하여 평균치를 구한 평균휘도값과 이러한 휘도분포값의 최대치를 최소치로 나눈 균일도로 나타내었다.

## 2. 밝기 측정 시스템

레이저 가공된 샘플이— 밝기와 밝기 분포의 측정은 표 3-2의 사양을 갖는 면휘도 측정기 Radiant Imaging 사의 Imaging colorimeter를 사용하여 측정하였다. 이는 기존의 도광판을 포함한 백라이트 등의 면광원의 휘도 측정은 컴퓨터에 의해 x-y 축으로 구동되는 고정대에 휘도계를 고정하여 각각의 점에 대한 휘도를 측정하여 불연속적으로 데이터를 정리함으로써 시간이 많이 걸리고 정확도가 떨어지는 반면 위의 장비는 지정된 면적에 mesh를 정하여 전 영역의 휘도 분포를 동시에 측정하여 데이터화가 가능하다.

제 조 사	Radiant Imaging
모 델	1400 series
측 정 범 위	0.005 ~ 10 <sup>10</sup> cd/m <sup>2</sup>
시스템 안정성	± 3 %
반복 오차율	± 0.5 %
CCD 측정 범위	14 bit
입 력 전 력	AC 220V , 50 Hz
구동소프트웨어	Photometric 8.5 <sup>TM</sup>

표 3-2. 면휘도 측정기 사양 : Radiant Imaging

그림 3-13(a)는 면휘도 측정을 위해 샘플과 CCD camera가 설치된 모습이다. 그림 3-13(a-1)에 도광판으로 제작된 샘플을 고정시킨 후 그림 3-13(a-2) CCD camera를 두었고 거리는 1m 떨어진 곳에서 도광판의 휘도분포를 측정하였다. 측정된 각 mesh당 휘도 값은 sigmaplot을 이용하여 분석하였다. [29,32,33]

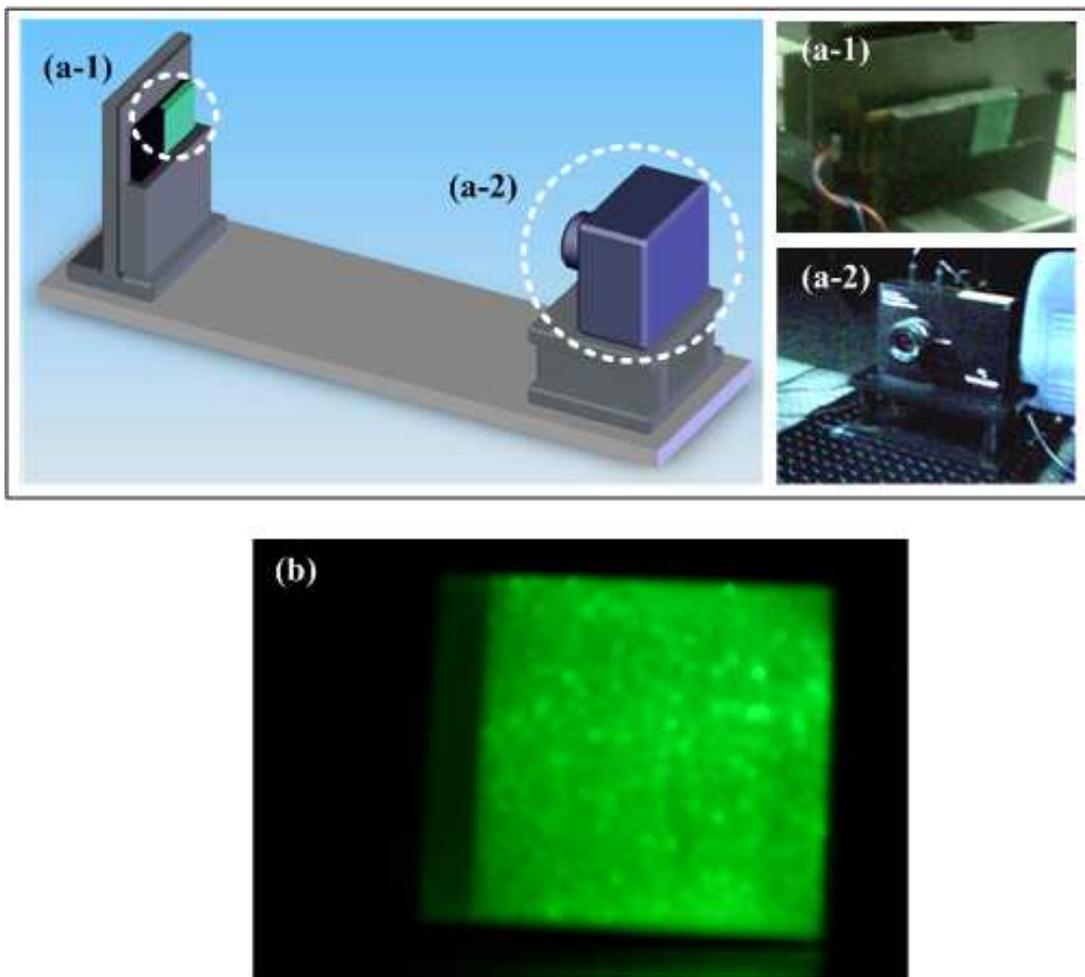


그림 3-13. 면휘도 측정기의 도식화 (a-1) 측정을 위한 도식화 (a-2) 고정된 샘플 (a-2) CCD 카메라(Imaging colorimeter)

## 제4절 단순모델링을 통한 전산모사

### 1. 도광판 성능 전산모사 방법 소개 : 광선추적기법

패턴 설계에 따른 도광판의 성능을 예측하고자 많은 경우 물체에 대한 빛의 반사 특징인 정반사와 난반사 그리고 이들의 복합적인 특징을 기술하는 BRDF나 BRDT의 함수들을 기초로 하여 광선의 해석은 광선추적기법을 사용하여 수학적으로 해석하게 된다. 광선추적기법은 광자의 움직임에 따른 운동방향과 크기를 벡터화 시켜 공간 내에서 광자의 운동 경로를 수학적으로 예측할 수 있는 하나의 벡터 자료형태로 표현하여 광선 단위로 추적하는 Ray tracing과 광자의 묶음 다발을 하나의 벡터 자료 형태로 표현하여 Beam 추적하는 Beam tracing, 경계면에서 새로운 광자의 방향을 결정할 때 몬테카를로법을 적용하여 한 방향으로만 추적하는 Path tracing이 있다. 특히 Path tracing은 광원에서 온 빛과 물체의 표면에서 산란에 의하여 온 빛의 양을 수학적으로 통합하여 확률분포로 만들어 빛의 효과를 계산하는 방법을 사용한다. Path tracing은 다른 두 방법에 비하여 모델을 단순화 하여 추적할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이를 구현하는데 산란을 일으키는 패턴들의 분포와 패턴과 광선이 만나는 확률을 구해야하는 등의 복잡한 과정을 거쳐야하는 단점이 있다. 그리고 도광판의 전산모사시 공통적으로 대두되는 문제점은 실제 도광판에 가깝게 모델링 하여 산란패턴에 대한 성능을 예측하고자 할 때 전산모사의 도구가 많은 면을 처리하기 위해 고사양의 컴퓨터가 필요하게 되고 처리할 수 있다 하더라도 전체 구동 시간이 너무 길어지는 단점이 있다. 표 3-3는 실제 모니터로 사용되고 있는 도광판의 산란패턴 거리와 개수를 나타내고 있고 특히 사출방식의 무인쇄패턴의 경우에는 패턴간격이 0.1 mm 이하이기 때문에 패널의 요소의 개수가 표에서의 그것보다 100배 이상 늘어난다. 이렇게 많은 산란패턴의 수를 상용 도구에 적용하기가 무척 어렵게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 uniform grid method가 개발되었는데 이는 3차원 픽셀로 불리는 voxel을 이용하여 시뮬레이션

하는 방법이다. 이 방법을 이용하면 광선추적을 할 때 계산해야할 면을 줄일 수 있으므로 많은 면을 가지고 있는 시스템에서 상당히 빠른 광선추적을 가능하게 하는 매우 유용한 방법이다. 그러나 이 방식은 모든 면의 위치를 분석하여 컴퓨터 메모리상에 상주시키는 방법으로서 많은 산란패턴의 도광판 시뮬레이션 시 많은 메모리를 소모하는 단점이 있다. 특히 내부산란패턴의 경우 3차원적인 공간에 설계되어 있는 도광판에 대한 시뮬레이션에 대한 연구가 미미하다. [34]

screen size	scatterer interdistance	number of scatterer
15" monitor	2 mm	35,700
17" monitor	2.5 mm	29,800
19" monitor	2.5 mm	36,400
15" notebook	0.8 mm	221,000
17" notebook	0.8 mm	267,000

표 3-3. 실제 도광판의 산란패턴의 개수

## 2. 전산모사 수행 방법

도광판의 성능을 예측하기 위해 사용된 상용프로그램은 LightTools을 사용하였다. 수행방법은 시뮬레이션을 할 도광판을 모델링한다. 도광판은 그림 3-14와 같이 실제 논문에서 제작한 도광판의 사이즈와 같도록  $40 \times 50 \times 5 \text{ mm}^3$ 으로 모델링 하였고  $38 \times 38 \times 4 \text{ mm}^3$  내부에 내부패턴을 적용하였다. 하단부에 실험에 사용한 광원의 특성을 부여하여 전산모사를 수행하였다. 내부 패턴의 경우 LightTools 자체 모델링 기능이 있고 어려운 모델링에 대해서는 3D 프로그램인 SolidWorks나 AutoCAD 프로그램을 이용하여 설계한 후 파일을 변환시킨 다음 LightTools에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

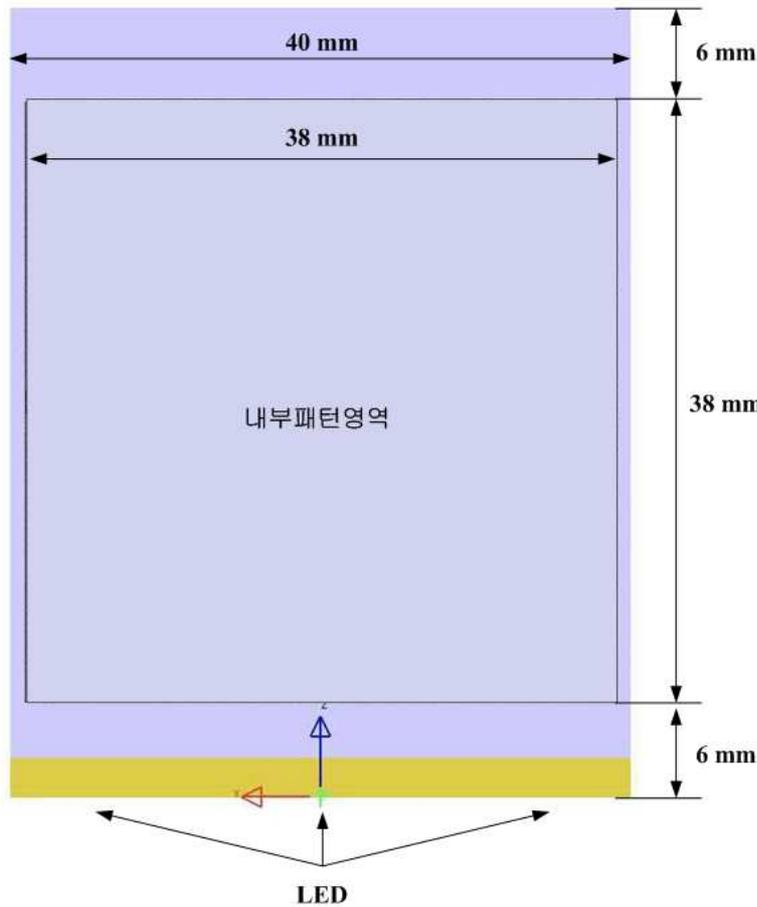


그림 3-14. LightTools에서 모델링한 도광판의 모습

### 3. 산란체 모델링

내부산란패턴의 형태는 본 실험에서 제작한 도광판과 같이 선형패턴과 곡면패턴으로 하였다. 그러나 내부산란패턴을 모델링 하는 과정에서 2차원 면위에서의 패턴의 경우 LightTools 자체에 임의의 면 위에 texture의 형태로 여러 기하학적 모양과 사이즈, 산란체의 간격을 입력하면 자동으로 적용되는 것과는 달리 특히 3차원으로 이루어진 곡면패턴의 경우 곡면위에 산란체 기능을 지원하지 않았다. 그래서 3D 모델링이 용이한 SolidWorks나 AutoCAD를 이용하여 산란패턴을 모델링하여 LightTools에서 그 패턴을 적용하였다.

### 4. 산란평판의 내부패턴

기존의 내부산란패턴의 시뮬레이션을 위한 산란체 모델링은 그림 3-15(a)와 같이 각각의 산란체를 모델링하여 도광판 내부에 적용하여 시행하였다. 이 방법은 그림 3-14(b-1)과 같이 각각의 내부 산란체를 구형으로 가정하여 3차원 공간상에 분포시키고 이 산란체들에 의한 광선의 진행방향을 따라가는 것이다. 이러한 방법은 개개의 구분 가능한 산란체 모델을 적용함으로써 가공시 예상되는 도광판 성능을 보다 정확하게 예측하는데에는 유용할 수는 있으나 위에서도 지적하였듯이 많은 면으로 인해 광선이 많은 면들을 계산하는데 고사양의 컴퓨터가 필요하고 또한 많은 시간이 걸린다. 이러한 방법을 개선하기 위해 우리는 기존의 상용프로그램인 LightTools을 쓰되 기존의 각각의 산란체들을 그림 3-15(b-2)처럼 하나의 평판으로 단순화하여 물체의 반사의 특징인 산란모델을 적용하여 전산모사를 수행하여 보았다. 이를 위해서 먼저 그림 3-15(b-1)과 같이 개개의 산란체들을 모델링 하여 전산모사를 수행하였고 그림 3-15(b-2)와 같이 가장 단순한 내부패턴인 내부선형패턴을 하나의 평판으로 모델링 하여 전산모사를 수행하여 비교해 보았다. 본 연구에서 내부선형패턴은 전체 패턴을 균일하게 3등분하여

각각의 위치에 따른 도광판 성능의 차이를 동시에 고려해 보고자 하였다. 모델링에 사용한 단순화된 산란평판의 높이는 실제 제작된 도광판의 내부 산란체 직경인  $50\mu\text{m}$ 로 하였다. 평판에서 발생하는 빛의 산란 모델은 람버시안(Lambertian), 가우시안(Gaussian) 그리고 코사인(Cos Nth)중의 하나의 형태로만 고려하여 전산모사에 반영하였고 각 결과를 기존의 전산모사의 결과와 비교하여 제안한 방법의 가능성을 확인하고자 하였다. 이는 실제 레이저를 이용하여 형성된 산란체의 크기가 직경  $50\mu\text{m}$  인데 비해 가공할 사이즈는  $38\text{mm}$ 로 여러 개의 산란체들을 하나의 평판으로 단순화 시킬 수 있다. 그림 3-15(a)는 기존의 시뮬레이션의 각 산란체들을 보여주고 있고 그림 3-15(b)는 본 논문에서 제시하고자 하는 산란모델이 적용된 단순화된 패턴평판을 보여주고 있다.

이렇게 가능성을 확인하고 가장 유사한 산란모델의 적용한 패턴평판을 이용하여 실제 제작한 내부패턴의 도광판을 그대로 재현하여 전산모사를 수행하고 그 결과와 실제 제작된 도광판의 휘도 분포와 비교하여 다른 형태의 내부패턴에 대한 예측도 가능한지를 확인하여 보았다.[35]

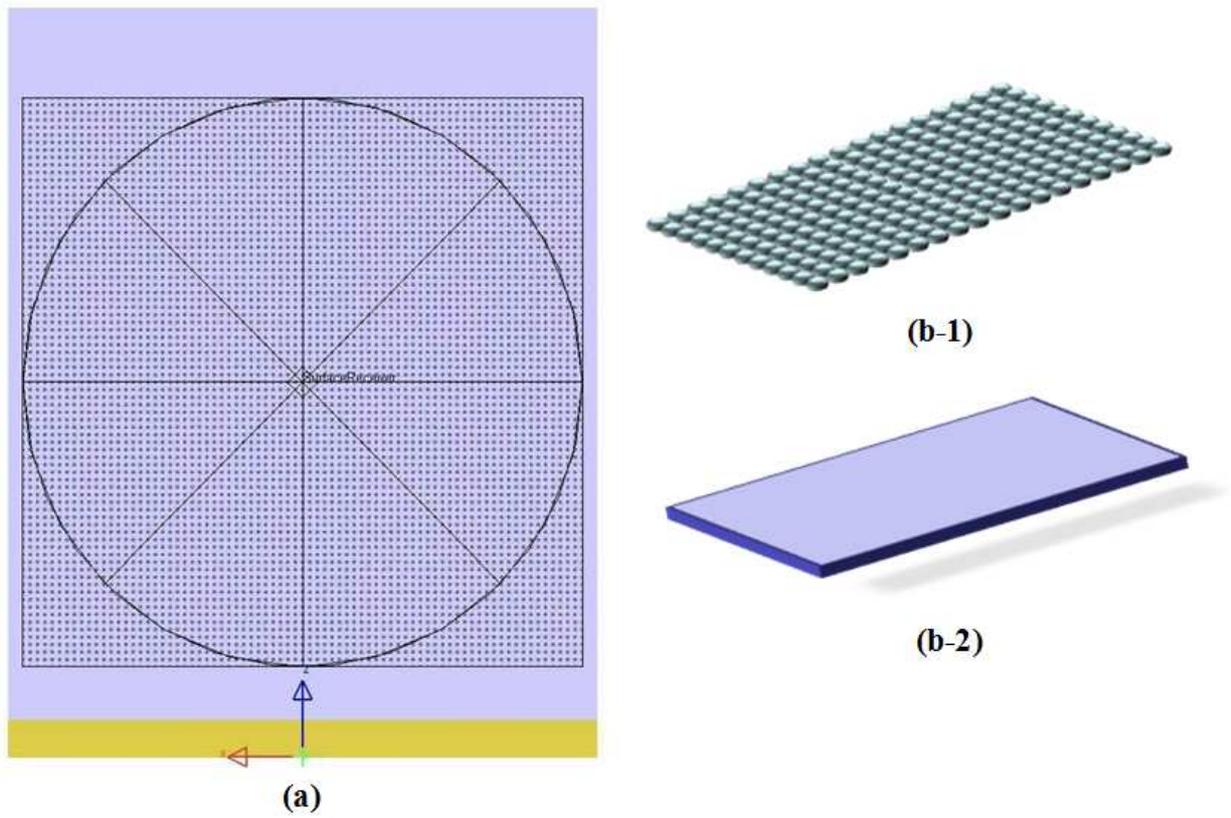


그림 3-15. 시뮬레이션을 위한 기존의 산란체 모델링과 산란평판 모델링 (a) LightTools 에서 모델링된 도광판의 모습 (b-1) 기존방식의 산란체(직경 50 $\mu\text{m}$ ) 모델링 (b-2) 산란모델이 적용된 산란평판 모델링(높이 50 $\mu\text{m}$ )

## 5. 반사율과 투과율이 적용된 내부패턴

그리고 실제 도광판의 내부에 생성된 산란체의 안은 공기로 채워져 있다고 가정하고 PMMA와 공기사이에 일어날 수 있는 반사율과 투과율을 적용하여 전산모사를 수행하여 실제 도광판의 평균 휘도값에 가까운 결과를 얻기 위함이다. 입사각이 0°일 때 반사율(reflectance, R)과 투과율(transmittance, T)은 다음과 같다.

$$R = \left( \frac{n_t - n_i}{n_t + n_i} \right)^2 \quad (3-3)$$

$$T = \frac{4n_t n_i}{(n_t + n_i)^2} \quad (3-4)$$

$n_i$  : 입사물질의 굴절률(refractive index)

$n_t$  : 투과물질의 굴절률(refractive index)

도광판 내부에 산란체에 의해 일어날 수 있는 반사율과 투과율은 공기의 굴절률을 1이라고 볼 때 각각 40%, 60%로 계산되어졌다. 내부산란체 도광판의 성능을 예측하기 위해 적용한 Gaussian 산란모델에 굴절률과 투과율을 적용시킨 후 전산모사를 수행하였다.

## 제4장 결과 및 고찰

### 제1절 도광판의 밝기 성능 분석

본 논문에서 먼저  $10 \times 10 \text{ ea/mm}^2$  밀도의 내부패턴의 도광판에 표면패턴을 적용시켰을 때 도광판 성능의 차이점을 측정하였고 그 결과는 매스메티카를 이용하여 대략적인 빛의 분포 경향을 그림 4-1 ~ 그림 4-4 에, 각각의 평균휘도와 균일도를 표 4-1에 나타내었다. [24,29]

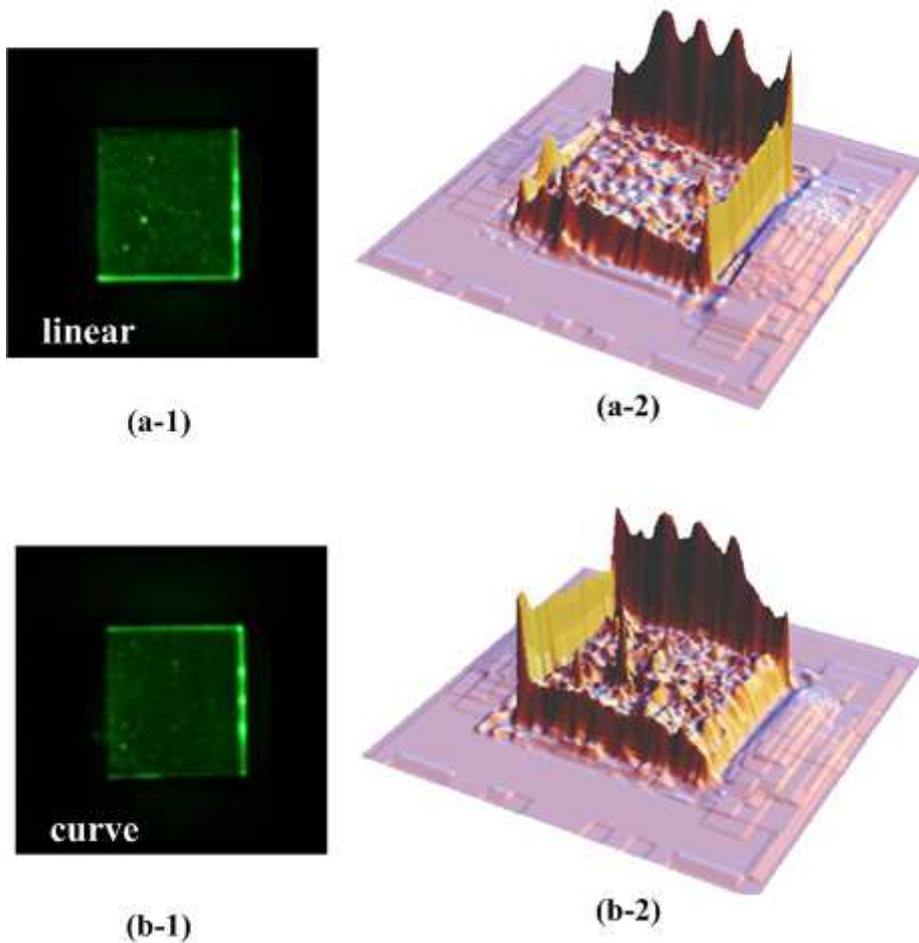
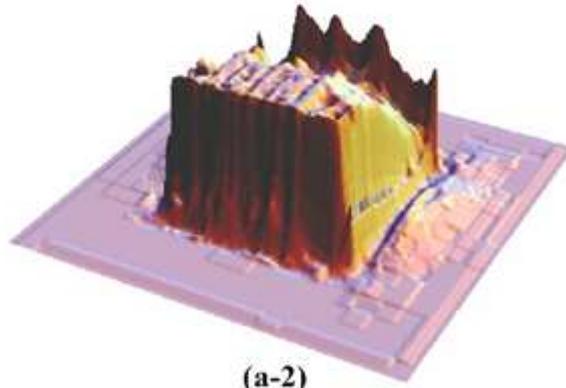


그림 4-1. 제작된 내부패턴 도광판의 모습과 매스메티카로 분석된 도광판의 휘도 분포 (a-1) 내부선형패턴 도광판 모습 (a-2) 내부선형패턴 휘도 분포 (b-1) 내부곡면패턴 도광판 모습 (b-2) 내부곡면패턴 휘도 분포

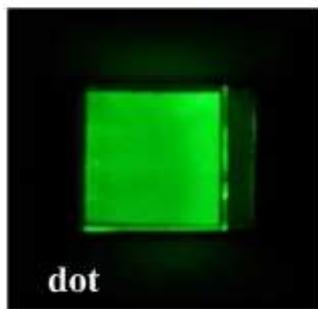


grid

(a-1)

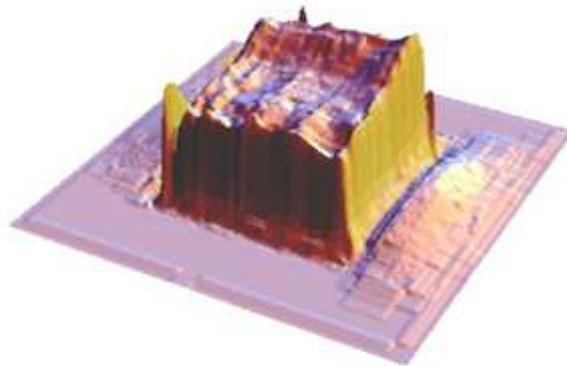


(a-2)



dot

(b-1)

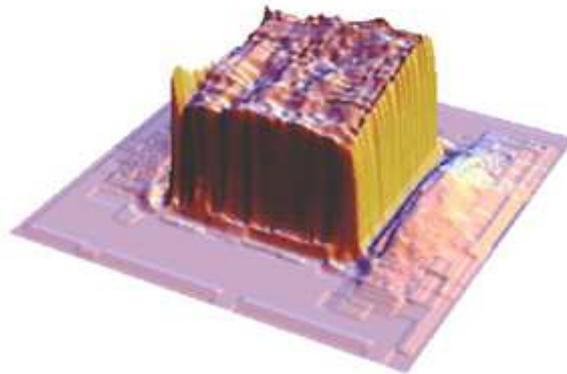


(b-2)



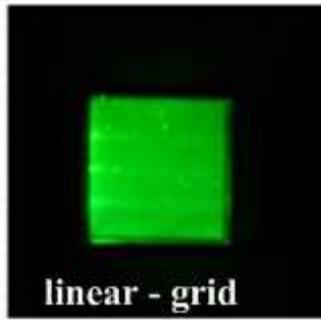
zigzag

(c-1)

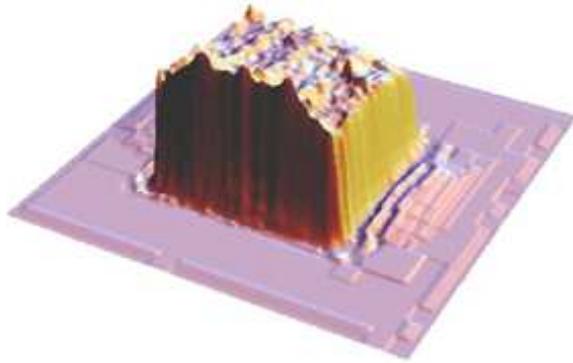


(c-2)

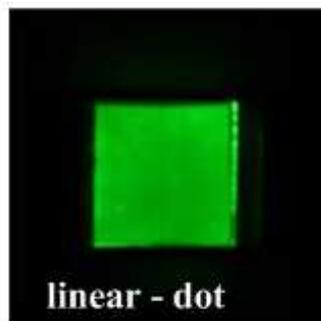
그림 4-2. 그리드, 도트, 지그재그의 표면패턴이 가공된 도광판과 휘도 분포 (a-1) 그리드패턴 도광판 모습 (a-2) 그리드패턴 휘도 분포 (b-1) 도트패턴 도광판 모습 (b-2) 도트패턴 휘도 분포 (c-1) 지그재그패턴 도광판의 모습 (c-2) 지그재그패턴 도광판의 휘도 분포



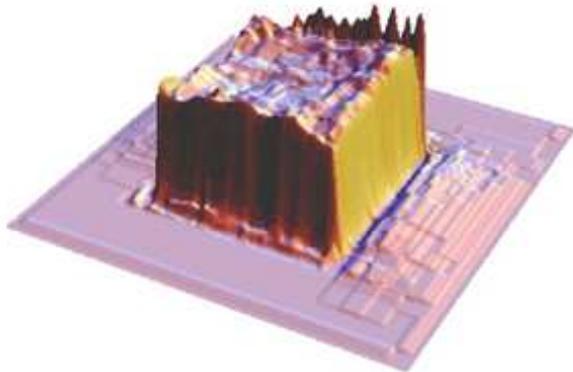
(a-1)



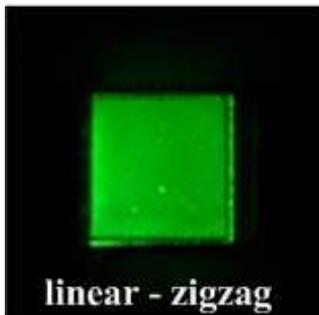
(a-2)



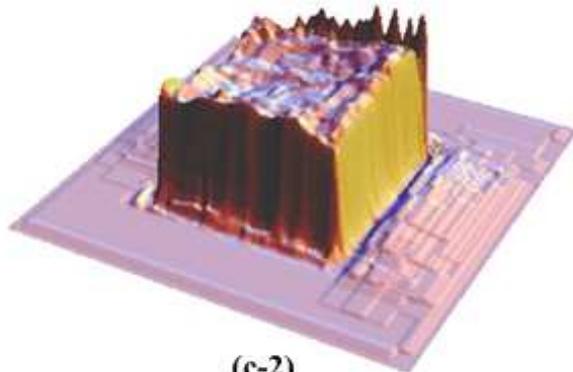
(b-1)



(b-2)

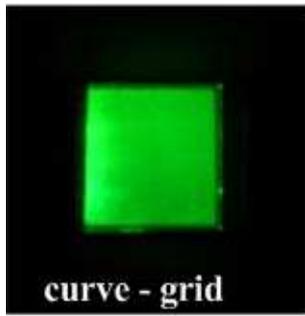


(c-1)

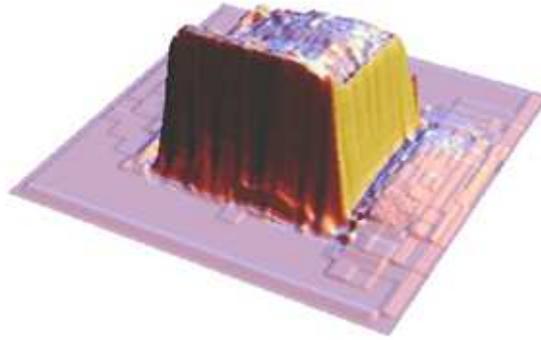


(c-2)

그림 4-3. 내부선형패턴 도광판에 각각의 그리드, 도트, 지그재그 패턴을 적용한 도광판과 휘도 분포 (a-1) 선형 + 그리드패턴 도광판 모습 (a-2) 선형 + 그리드패턴 휘도 분포 (b-1) 선형 + 도트패턴 도광판 모습 (b-2) 선형 + 도트패턴 휘도 분포 (c-1) 선형 + 지그재그 패턴 도광판의 모습 (c-2) 선형 + 지그재그패턴 도광판의 휘도 분포



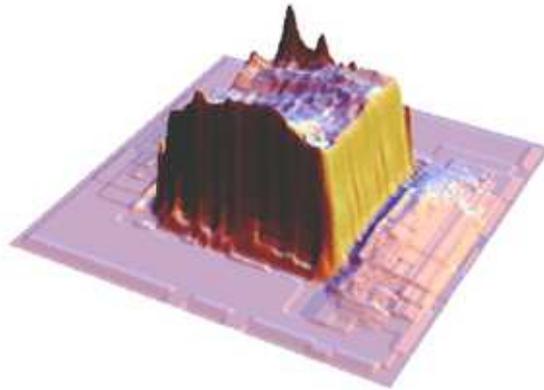
(a-1)



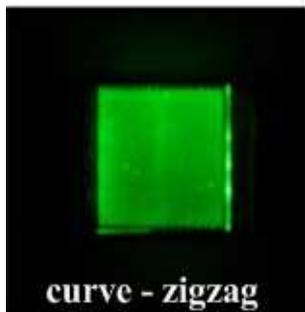
(a-2)



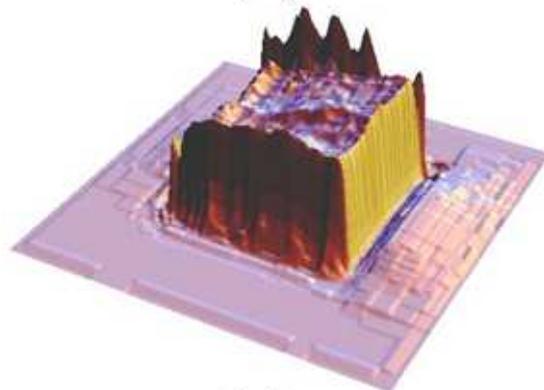
(b-1)



(b-2)

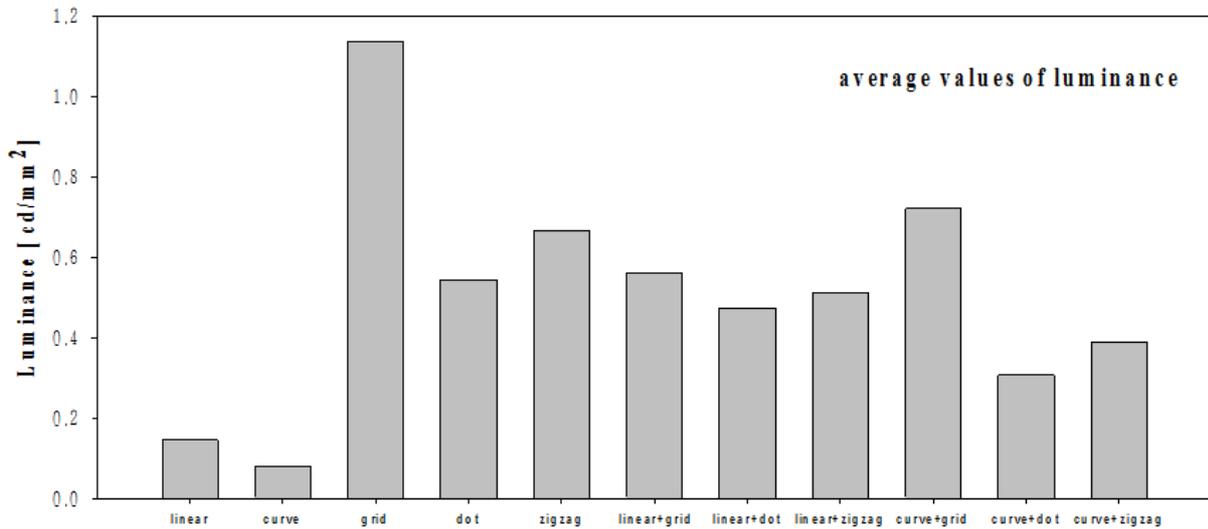


(c-1)

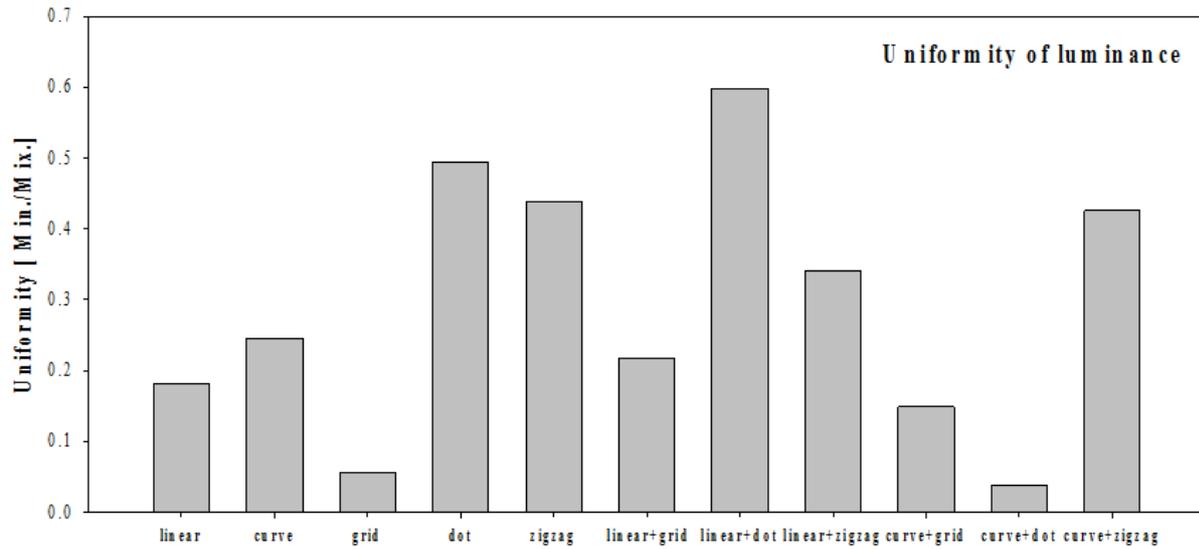


(c-2)

그림 4-4. 내부곡면패턴 도광판에 각각의 그리드, 도트, 지그재그 패턴을 적용한 도광판과 휘도 분포 (a-1) 곡면 + 그리드패턴 도광판 모습 (a-2) 곡면 + 그리드패턴 휘도 분포 (b-1) 곡면 + 도트패턴 도광판 모습 (b-2) 곡면 + 도트패턴 휘도 분포 (c-1) 곡면 + 지그재그패턴 도광판의 모습 (c-2) 곡면 + 지그재그패턴 도광판의 휘도 분포



(a)



(b)

표 4-1. 제작된 도광판의 성능 분석 (a) 평균 휘도 (b) 균일도

그림 4-1에서 알 수 있듯이 약간의 휘도의 증가를 알 수 있다. 균일도도 매우 낮을 뿐더러 매우 낮은 평균 휘도값을 보였다. 그림 4-2는 그리드(grid), 도트(dot), 그리고 지그재그(zigzag) 형태의 표면패턴에 대한 도광판의 사진과 매스메티카의 결과이다. 각각의 표면패턴 도광판의 경우 매우 높은 휘도분포를 확인할 수 있었다. 특히 그리드 경우, 가장 높음 평균휘도 값이 관찰되어지는 반면에 휘도가 균일하게 분포되지 못하고 광원쪽에 많이 집중되어있음을 관찰할 수 있었다. 그러나 도트와 지그재그의 경우에는 대체적으로 휘도도 많이 증가하면서도 광원 후면으로 휘도가 분산되어있음을 알 수 있었다. 내부선형패턴에 각각의 표면패턴을 적용하였더니 그림 4-3과 같이 평균휘도가 증가 되었다. 선형패턴에 각각의 표면패턴을 적용한 도광판과 선형패턴 도광판의 성능을 비교하여 보았을 때 평균밝기가 평균적으로  $0.5163 \text{ cd./mm}^2$  정도 증가하였다. 이는 선형패턴의 도광판의 평균밝기보다 28% 증가된 값이다. 그리고 표면패턴에서 보았던 광원부에 집중되었던 휘도분포가 광원 후면까지 좀더 분산되어짐을 확인할 수 있었다.

그림 4-4에서는 내부곡면패턴에 각각의 표면패턴을 적용한 결과를 보여준다. 곡면패턴의 경우에도 그리드패턴을 적용했을 때 다른 표면패턴을 적용하였을 때 보다 높은 평균휘도값을 보여준다. 그리고 단지 그리드 패턴을 하였을 때 보다 광원후반부까지 좀 더 넓게 분포된 휘도 분포를 확인할 수 있었다. 하지만 내부패턴에 도트패턴과 지그재그 형태의 경우는 그냥 표면 패턴에서 보이는 휘도분포를 많이 따르고 있고 전반적으로 내부패턴에 의한 효과가 매우 미미하였다. 이는 여기서 제작된  $10 \times 10 \text{ ea/mm}^2$  내부패턴의 밀도가 매우 낮아 LED에서 나오는 빛들과 상호작용하는 확률이 매우 낮기 때문이라고 생각되어진다.

다음은 내부패턴 밀도를  $20 \times 20 \text{ ea/mm}^2$  으로 변화시켜 도광판 내부에 가공하여 내부 산란체와 빛의 더 많은 상호작용이 일어나도록 하였다. 그림 4-6은 각각의 밀도가  $10 \times 10 \text{ ea/mm}^2$  와  $20 \times 20 \text{ ea/mm}^2$  내부선형패턴의 휘도분포를 나타내고 있다. 그림 4-5(a-1)과 (a-2)에서 확인할 수 있듯이 밀도가 낮은 내부선형패턴에서는 휘도의 증가도 매우 미미함을 알 수 있고 이는 (a-3)에서 더욱 확인할 수 있다. 그런 반면 그림

4-5(b-1)과 (b-2)의 밀도를 증가시킨 내부선형패턴에서는 대략  $200 \text{ cd/mm}^2$  정도의 휘도가 나타남을 알 수 있고 또한 (b-3)를 보면 높은 휘도 분포가 광원부쪽에 집중되어있고 후면으로 갈수록 휘도가 빠르게 감소함을 확인할 수 있다. 내부곡면패턴의 경우 일단, 밀도가 적은 경우더라도 내부선형패턴 보다는 더 높은 휘도가 나타남을 알 수 있고, 밀도를 증가시킨 경우 평균휘도가 확연히 향상되었다. 그리고 휘도의 분포를 살펴보면 광원부쪽 보다는 광원부 후면에 더 높은 휘도분포가 관찰되었다. 이러한 내부곡면패턴에 대한 결과를 그림 4-6에 나타내었다. 이를 통해 휘도의 분포에 있어서는 내부 패턴의 형태에 따라 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 그리고 같은 형태의 내부패턴일지라도 밀도를 증가시키면 휘도가 크게 향상됨을 알 수 있었다. 이는 내부패턴 밀도의 증가로 인하여 빛과의 산란 빈도가 증가되었기 때문이라고 예상되어진다. 내부패턴 밀도의 증가는 평균휘도에만 영향을 줄 뿐 전반적인 휘도분포경향은 유사하게 따라감을 알 수 있었다.

이런 고밀도의 내부패턴을 기반으로 한 도광판에 추가적으로 그리드 형태의 표면패턴을 가공하여 손실되는 빛을 재활용하고자 하였다. 그림 4-7은 표면패턴이 추가된 고밀도의 선형패턴과 곡면패턴의 도광판에 대한 휘도분포결과이다. 고밀도의 선형패턴은 표면패턴에 의해 평균휘도값이 매우 향상되었다. 하지만 내부선형패턴의 휘도분포 경향은 크게 달라지지 않고 여전히 광원부에 높은 휘도값이 집중되어 나타났다. 반면, 고밀도의 곡면패턴에 경우, 표면패턴을 추가하였을 때 평균휘도가 향상되었을 뿐만 아니라 내부선형패턴과는 달리 전체적으로 휘도분포가 고르게 분포되어 균일도 또한 향상되었다. 표 4-2는 제작된 도광판의 평균휘도값을 나타내고 있다.



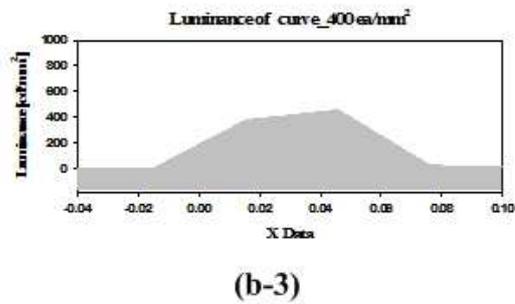
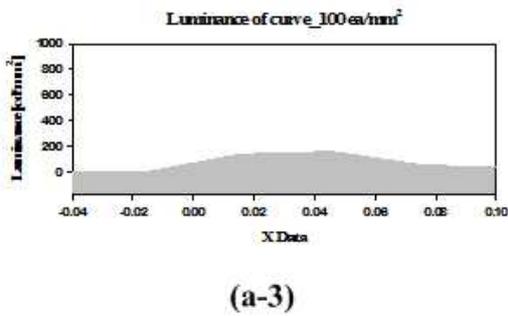
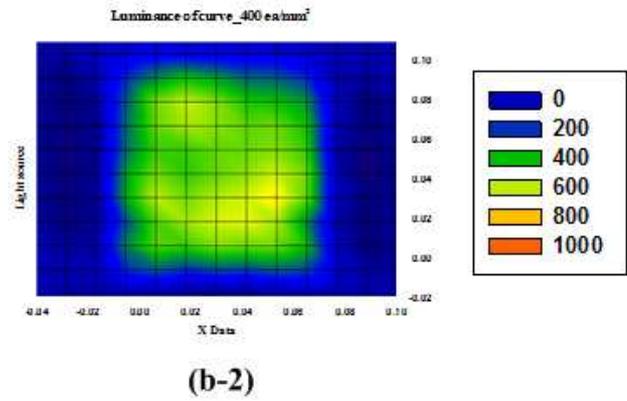
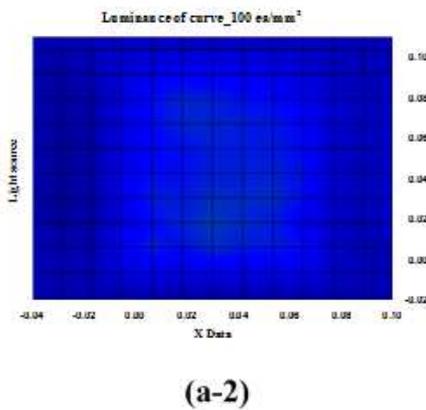
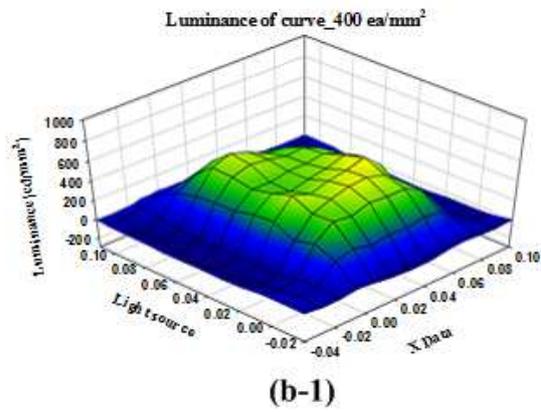
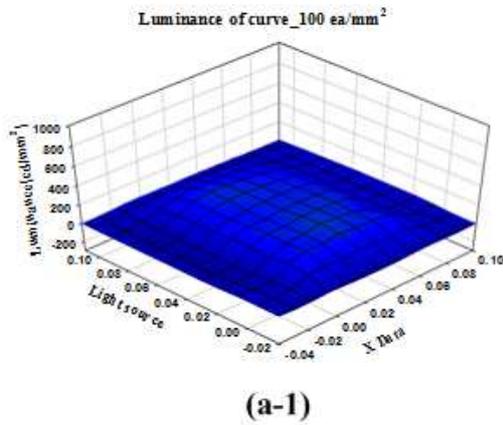
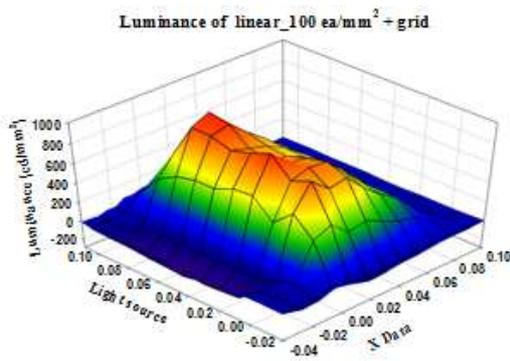
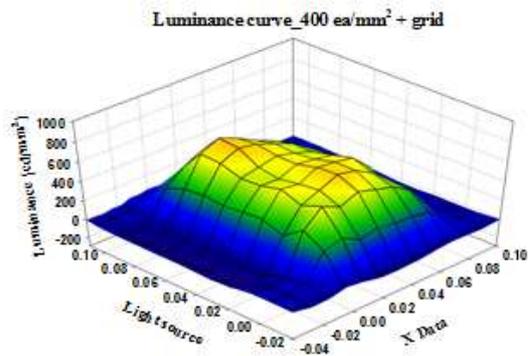


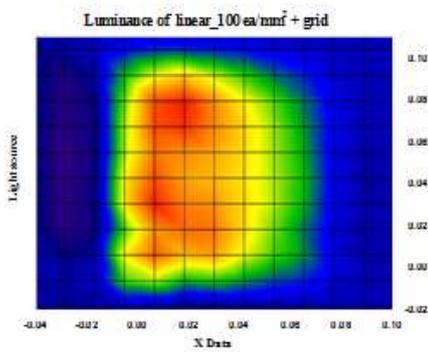
그림 4-6. 내부곡면패턴 도광판의 밀도변화에 따른 휘도분포 변화 (a)  $10 \times 10 \text{ ea/mm}^2$ 의 내부곡면패턴 도광판의 휘도분포 (a-1) 내부곡면패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (a-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 (a-3) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향 (b)  $20 \times 20 \text{ ea/mm}^2$ 의 내부곡면패턴 도광판의 휘도분포 (b-1) 내부곡면패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (b-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 (b-3) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향



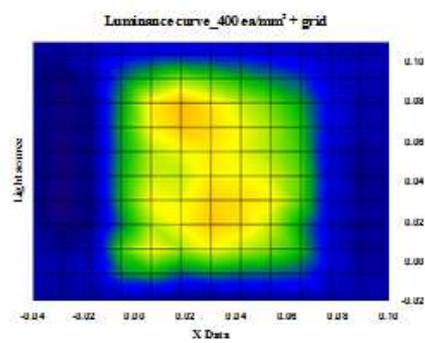
(a-1)



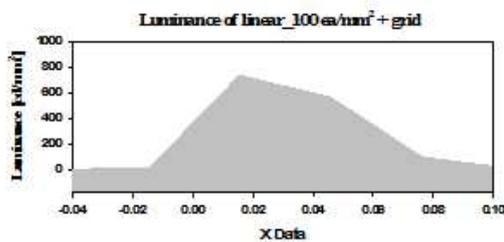
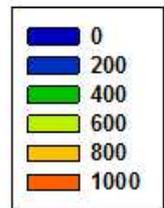
(b-1)



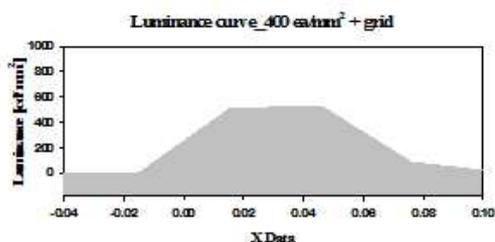
(a-2)



(b-2)



(a-3)



(b-3)

그림 4-7. 밀도  $20 \times 20 \text{ ea/mm}^2$  의 각 내부패턴 도광판에 표면패턴이 추가에 따른 휘도분포 변화 (a) 내부선형패턴 도광판의 휘도분포 (a-1) 내부선형패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (a-2) 내부선형패턴의 휘도분포 (a-3) 내부선형패턴의 휘도분포 경향 (b) 내부곡면패턴 도광판의 휘도분포 (b-1) 내부곡면패턴의 휘도분포의 3차원 그래프 (b-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 (b-3) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향

	내부선형패턴	내부곡면패턴
저밀도	64	155
고밀도	211	429
고밀도 + 표면패턴	625	514

표 4-2. 제작한 도광판의 평균 휘도 [ $\text{cd}/\text{mm}^2$ ]

## 제2절 전산모사

### 1. 산란체 모델링의 전산모사와 단순평면 모델링의 전산모사

본 논문에서 살펴본 결과 내부산란체의 밀도나 표면산란체는 휘도분포보다는 평균휘도증가에 더 영향을 주는 것으로 보인다. 휘도분포의 경향에 있어서는 내부산란패턴의 형태에 의해 결정된다고 생각되어지며 이러한 결과를 가지고 성능이 뛰어난 도광판 설계를 위해 내부산란패턴 형태에 따른 연구가 필요하다고 생각되어진다. 본 논문에서는 내부산란체 기반으로 디자인된 도광판의 성능을 효과적으로 전산모사하기 위한 방법을 제시하고자 하였다. 이를 위해서 간략화된 모델링 기법을 활용한 전산모사 기법을 이용하여 계산을 수행하였다. 제시한 방법의 가능성을 확인하고자 기존 전산모사 기법에 의한 결과를 서로 비교하였다. 그림 4-8에서 보는 바와 같이 기존 산란체를 모두 고려하는 전산모사 결과는 그림 4-9 (a-2)의 실험결과와 매우 유사한 결과를 보여주고 있다. 이 경우 빛이 입사되는 부분에서 산란되는 빛이 과하게 편중되어 있다. 평판으로 대치된 모델을 이용하고 대표적인 표면에서의 산란형태(람버시안(그림 4-9(a)), 가우시안(그림 4-9(b)), 코사인(그림 4-9(c))) 중 하나만을 고려한 전산모사 결과가 그림 4-9에 정리되어 있다. 이 중에서 산란형태가 가우시안 산란을 따를 때 전산모사 결과가 기존의 전산모사 결과와 비교하였을 때 가장 유사한 결과를 보여주었다. 기존 전산모사 방법을 이용하는 경우 최소 1시간 정도의 계산시간이 소요되지만 동일한 컴퓨터를 이용해서 단순화된 모델을 활용하는 경우 계산시간이 2분 이내의 매우 짧은 시간만으로도 도광판의 성능을 유사하게 예측할 수 있었다. 이는 개개의 산란체들을 평판으로 단순화시킴으로써 산란과정을 단순화시킬 수 있고 그로인해 처리해야될 면의 수가 적음으로 계산 속도를 크게 증가시킬 수 있었다. 이 모델은 이산적인 산란체들을 밀도가 크게 증가하여 산란체들이 연속적으로 분포하는 경우에 대한 모델로써 밀도가 증가된 내부패턴의 결과를 잘 반영하고 있다. 단순하게 산란체들의 연속분포로 가정하는 것 이외

에도 다양한 산란효과 중에서 특정 방향성을 가지는 가우시안 산란을 주된 산란효과로 고려함으로써 실제 측정결과와 유사한 결과를 예측할 수 있었다. 가우시안 산란의 경우 산란의 경향이 특정한 방향성을 가지는 경우이므로 도광판 내부에서 발생하는 산란체들에 의한 효과가 모든 방향으로 동일하게 일어나기보다는 평균적으로 특정한 방향성을 가지기 때문으로 예측된다. 이는 빛을 도광판 윗면으로 향하게 하는 도광판의 기능을 적절하게 반영한 결과로써 계산과정을 단순화시키고 동시에 실제적인 결과와도 크게 다르지 않은 예상을 가능하게 하였다. 그림 4-10은 앞서 제작한 내부선형패턴과 내부곡면패턴에 산란모델 중 가장 적절하다고 판단되는 가우시안산란 모델을 적용시킨 후 전산모사를 한 결과이다. 시간은 2~3분 내에 전산모사를 수행할 수 있었으며 실제 제작된 도광판의 성능 분석과 비교하였을 때 휘도분포의 경향이 유사함을 확인할 수 있었다.

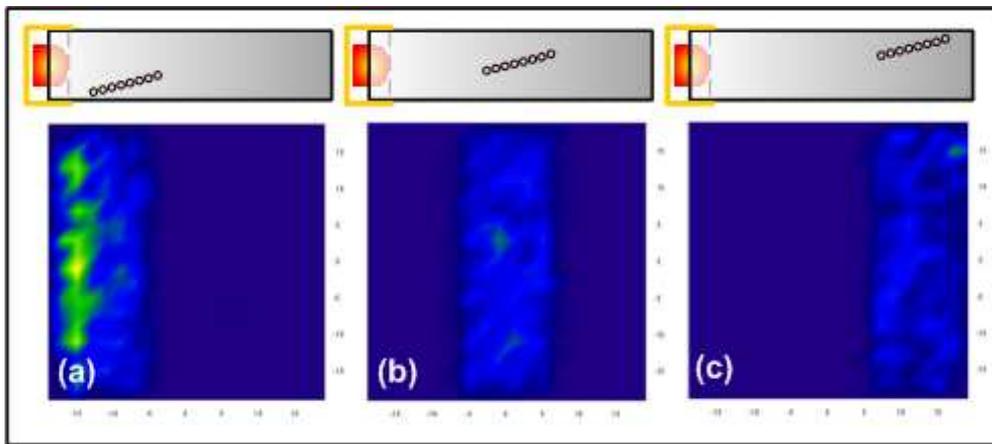


그림 4-8. 기존의 전산모사방법을 이용한 각 3부분의 내부패턴의 예측된 밝기 분포 결과 : 각 부분의 내부산란체의 개수 -  $38 \times 13$  (494). 전산모사에 사용된 광선의 수 -  $8 \times 10^7$  전산모사의 경과시간 - 1.0 h

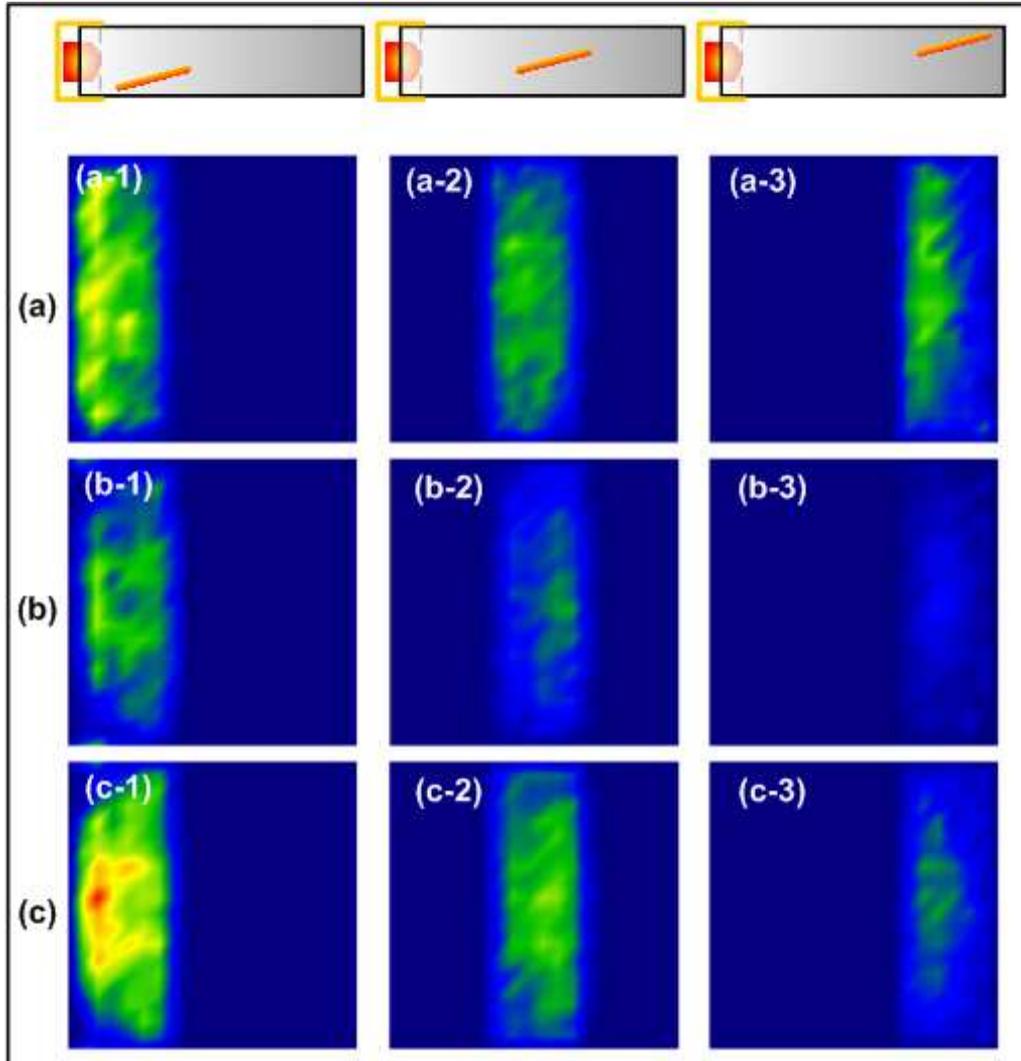
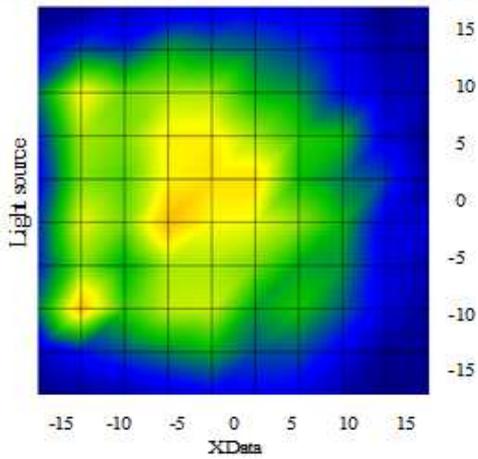


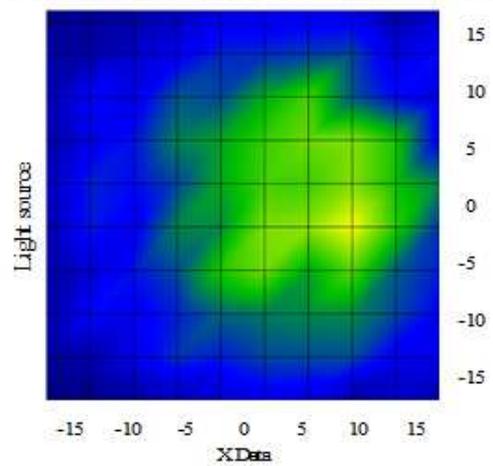
그림 4-9 단순화된 내부산란평판의 전산모사 결과 (a) 람버시안 산란 효과 (b) 가우시안 산란효과 (c) 코사인 산란효과 . 전산모사에 사용된 광선 수 -  $5 \times 10^6$  전산모사의 경과시간 - 2분

Results of Simulation about linear pattern : gaussian



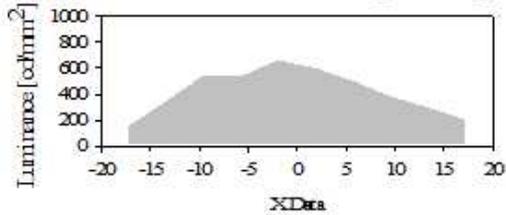
(a-1)

Results of Simulation about curve pattern : gaussian



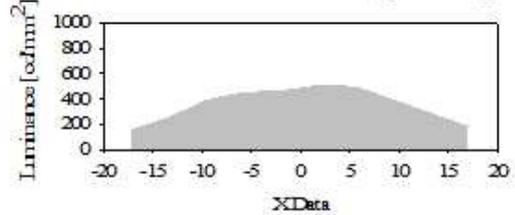
(b-1)

Results of Simulation about linear pattern : gaussian



(a-2)

Results of Simulation about curve pattern : gaussian



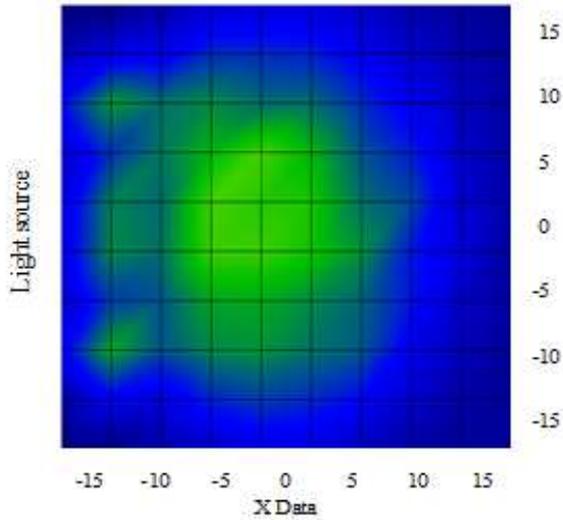
(b-2)

그림 4-10. 도광판 내부패턴에 가우시안산란모델을 적용한 후 수행한 전산모사의 결과 (a-1) 내부선형패턴의 휘도분포 (a-2) 내부선형패턴의 휘도분포 경향 (b-1) 내부곡면패턴의 휘도분포 (b-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향

## 2. 반사률과 투과률이 적용된 내부패턴의 결과

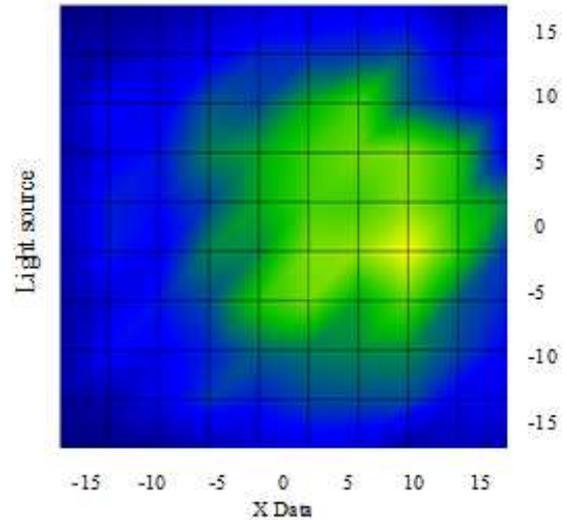
가우시안산란모델을 적용 후 전산모사를 한 결과는 실제 제작된 도광판 성능(휘도분포)과 유사한 결과를 보였다. 그러나 평균 휘도에서는 큰 차이를 보이고 있는데 고밀도의 내부패턴의 결과에서 선형패턴보다는 곡면패턴의 휘도가 더 높음을 보이는 반면, 전산모사 결과로는 선형패턴의 평균 휘도가 높게 나오므로 이번에는 반사률과 투과률을 적용하여 전산모사를 수행하였다. 반사는 공기와 PMMA 사이에 입사빔이 0° 일 때 일어날 수 있는 반사률과 투과률을 적용하여 각각 39%, 61%으로 결정하였다. 그림 4-11은 가우시안산란모델과 반사률과 투과률이 적용된 각각의 내부패턴의 전산모사 수행 결과이다. 각 내부패턴이 가질 수 있는 휘도분포경향을 그대로 유지하면서도 전체적으로 휘도 값이 실제 제작된 도광판의 성능에 가까운 결과를 보이고 있다. 이로써 내부패턴의 도광판 성능을 예측하기 위하여 설계한 임의의 내부패턴에 적절한 산란모델과 반사률, 투과률을 적용한다면 기존의 방법보다 더 짧은 시간에 더 실제 그 임의의 내부패턴을 갖는 도광판의 휘도분포를 쉽게 예측할 수 있을 것이다.

**Results of Simulation about linear pattern applied reflection ratio**



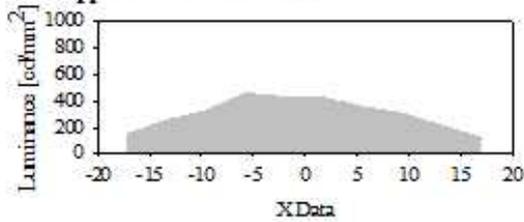
**(a-1)**

**Results of Simulation about curve pattern applied reflection ratio**



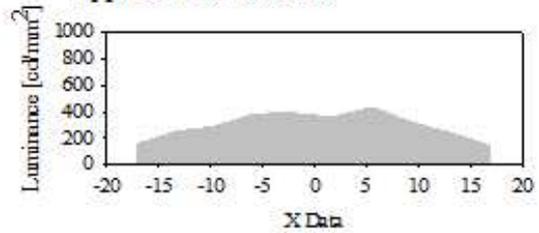
**(b-1)**

**Results of Simulation about linear pattern applied reflection ratio**



**(a-2)**

**Results of Simulation about curve pattern applied reflection ratio**



**(b-2)**

그림 4-11. 반사율과 가우시안산란모델이 적용된 내부패턴의 전산모사 결과 (a-1) 내부 선형패턴 휘도분포 (a-2) 내부선형패턴의 휘도분포 경향 (b-1) 내부곡면패턴의 휘도분포 (b-2) 내부곡면패턴의 휘도분포 경향

## 제5장 결 론

본 논문에서는 내부 산란체 기반의 도광판의 휘도 성능을 향상시키기 위한 방법으로 밀도가 향상된 내부패턴 및 추가적인 표면패턴을 활용함으로써 3차원 레이저 가공 시스템으로 제작된 저밀도 내부산란체 도광판의 휘도 성능을 향상시킬 수 있었다. 도광판의 내부패턴은 각각 다른 밀도를 가지는 선형패턴과 곡면패턴 두 가지 형태로 디자인하였고 2nd harmonic Nd:YAG 펄스 레이저를 이용하여 제작하였다. 또한 고밀도 내부패턴을 가지는 도광판 밑면에 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 디자인된 표면패턴을 추가 가공하여 도광판의 성능을 향상시킬 수 있었다. 각각의 패턴에 따른 기능은 다른 양상을 보였는데 밀도가 증가된 곡면내부패턴을 이용함으로써 균일성과 평균휘도를 향상시키는 효과를 얻을 수 있었고 추가적으로 가공된 표면패턴은 평균 휘도 값을 크게 향상시키는 효과를 주었다. 이 결과를 통해서 세밀한 내부곡면패턴 및 표면패턴의 디자인을 통해서 보다 균일성과 평균 휘도 값이 크게 향상된 도광판 설계가 가능할 것으로 예상하는 바이다. 내부산란체를 이용하여 효율적인 도광판을 설계하기 위해 기존에 사용되었던 개개의 구형 산란체를 모두 고려하여 계산하는 방법 대신 단순화된 모델링 기법을 도입함으로써 계산시간을 크게 줄이면서도 유사한 결과를 손쉽게 예측할 수 있는 방법을 제시하였으며 이를 실험결과와 비교하였다. 개개의 산란체들에 의한 산란 효과를 단순화된 하나의 평판에 의한 것으로 모델링하였고 평판에 의한 산란효과를 특정 방향성을 가지는 가우시안 산란과 내부산란패턴이 가질 수 있는 반사률과 투과률을 적용함으로써 개개의 산란체를 고려하는 전산모사 결과 내지는 실제 제작된 내부패턴에 대한 실험결과와 비교하였을 때 매우 짧은 계산시간 안에 유사하게 예측할 수 있었다. 이는 복잡한 도광판 설계에 대한 효율성 평가를 수행하는데 매우 효율적인 대안이 될 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 램버시안 산란, 가우시안 산란, 코사인 산란등과 같은 여러 산란들이 실제 도광판 내부에서 일어나고 반사률과 투과률 또한 입사각에 따라 다른 값을 가지고 있으며, 내부산란패턴의 밀도의 변화에 따른 결과는 예측할 수 없

는 단점을 가지고 있다. 이러한 점을 감안할 때 실제 도광판 내부에서 일어날 수 있는 산란에 대한 더 많은 연구가 필요할 것이며 산란패턴의 밀도와 반사률, 투과률의 상관 관계를 잘 이용한다면 실제 도광판의 성능을 보다 정확히 예상할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] A. Horibe, M. Baba, Y. Koike, E. Nihei, "High-Efficiency and High Quality LCD Backlight Using Highly Scattering Optical Transmission Polymer", ICE Trans. Electron, Vol E81-C, pp 1697-1702, 1999
  
- [2] Kim, Cha-Yon, 2001, "Technical Trends of Back Light Unit (BLU)" Korean Information Display Society, Vol. 2 No. 1, pp. 45~51.
  
- [3] "BLU용 도광판" 한국과학기술 정보연구원
  
- [4] Jong-Youb Sah. and Jong-Ryul Park "analysis on Optical characteristics of LCD Backlight LGP", J. Korean Soc. Mech. Eng. (A) 28, pp. 365-369, 2004.
  
- [5] Sunhee Lee, "The Effects of Injection Molding Parameters on Optical Properties of Light Guide Plates" in Proceeding of the 2005 Korean Society of Mechanical engineers, (Daegu, Korea, May 25-27, 2005), pp.1711-1715
  
- [6] H.S. Lee, "A Study of the Injection Molding for the Light Guide Plate of a Small Sized LCD (1): Finite Element Analysis and Mold Design," Trans. Mater. Process. 11, pp. 332~340, 2002.
  
- [7] H.S. Lee, "A Study of the Injection Molding for the Light Guide Plate of a Small Sized LCD (2): Influences of Processing Conditions on the Brightness," Trans. Mater. Process. 11, pp. 341~348, 2002.

- [8] Report on New Technology Trend in 2000 (High efficient power management in the Backlight unit), Korean Intellectual Property Office, 2000.
- [9] T. H. Kim, S. H. Park, Y. S. Kim, E. S. Choi, and Y. J. Shin, "The laser patterning of light guide plate for backlight", in Proceeding of the 2006 Korean Society of Laser Processing, edited by (Gwangju, Korea, July 2, 2006), pp. 66-67
- [10] Y. S. Kim, T. H. Kim, S. H. Park, Y. H. Choi, E. S. Choi, and Y. J. Shin, "Improvement of Light Guide panel Performance by Laser Patterning", J. Korean Soc. Laser Process. 10, pp. 22-34, 2007.
- [11] S. E. Koonin, Computational Physics (Benjamin/Cummings, Menlo Park, CA, 1986), pp. 185-215.
- [12] Won Yong Lee, Tong Kun Lim, Yun Woo Lee, and In Won Lee, "Fast ray-tracing method for LCd backlight simulation using the characteristics of the pattern", Opt. Eng. 44, pp. 014004-1~014004-6, 2005.
- [13] Hertzberg RW. Deformation and fracture mechanics of engineering materials. 3<sup>rd</sup> ed. New York : Wiley; 1989.
- [14] Cheng WM, Miller GA, Manson JA, Hertzberg RW, Sperling LH. Mechanical behavior of polymethyl methacrylate : Part 3. Activation processes for fracture mechanism. J Mater Sci 1931;25:1990

- [15] Smith LSA, Chen CC, Sauer JA. The effect of water on the tensile yield of polystyrene. *Polymer* 1982;23:1540-3
- [16] Shen J, Chen CC, Sauer JA. Effects of sorbed water on properties of low and high molecular weight PMMA: 1. Deformation and fracture behaviour. 1985;26:511-8
- [17] Ishiyama C, Higo Y. Effects of humidity on Young's modulus in poly(methyl methacrylate). *J Polym Sci: Part B: Polym Phys* 2002;40:460-5
- [18] Eugene Hecht., "OPTICS" Addison Wesley, 2002.
- [19] 박지희, 이정호 외. 액정표시장치 백라이트용 집광필름의 광학특성 분석을 위한 시뮬레이션 기법 연구
- [20] M. Schiavoni, g. Counil, P. Gayout, and J.-L. Allano, "Novel glass diffuser plate for large LCD-TV," *SID '07 Digest*, pp. 50-53, 2007
- [21] TFT-LCD재료 2005. 7. 14 주관 : 경희대학교 디스플레이부품소재 TIC
- [22] Kyu-Man Choi, "Design Fabrication of the Light Guide Panel Backlight"  
1997, 대한전자공학회 강원지부 추계 학술대회 제3권 제 1 호 97/11
- [23] T. H. Kim, "Fabrication and analysis of the Light Guide Panel by 3D Laser Engraving", 박사학위논문, 아주대학교, 박사학위 논문

- [24] Y. H. Choi, Y. S. Kim, S. H. Park, E. S. Choi, and Y. J. Shin, "3차원 산란체 도광판 표면의 그리드 패턴에 의한 밝기 성능 분석", 2007년 한국물리학회 춘계 학술대회(4, 20, 2007. pp. 135-135
- [25] 김태훈, 최영희, 박소희, 최은서, 김영섭, 신용진, "플라스틱 광섬유를 이용한 측면 발광형 디스플레이 구현", 한국광학회 동계 학술대회 2007. pp. 261-261
- [26] 최은서, 김영섭, 최영희, 최성휴, 신용진, "임플란트 응용을 위한 골조직 레이저 드릴링 가공 및 OCT 기반의 광학적 진단", 한국물리학회 춘계 학술대회 2007. pp. 138-138
- [27] 김영섭, 박소희, 최영희, 최은서, 신용진, "레이저 펄스 반복율에 따른 pit 주위 열 분포 분석", 한국물리학회 춘계 학술대회 2007. pp. 135
- [28] 정은주, 김창석, 최영희, 최은서, 김영섭, 신용진, "레이저로 가공된 치아 드릴링 단면의 이미징", 제 14회 광전자 및 광통신 학술회의 논문집 2007. pp. 394-395
- [29] 최영희, 김영섭, 박소희, 곽우섭, 최은서, 신용진, "내부가공패턴과 표면가공에 의한 도광판의 밝기 성능 분석", 한국물리학회 추계 학술대회 2007. pp. 87-87
- [30] 김영섭, 최영희, 박소희, 최은서, 신용진, "실시간 레이저 가공 단면 이미징을 위한 정적 간섭계 기반의 광학 진단 시스템 구현", 한국물리학회 추계 학술대회 2007. pp. 138-138
- [31] 김영섭, 최영희, 최은서, 곽우섭, 신용진, "나노초 펄스 레이저 조사 파장에 따른

시간 분해 반사율 측정에 의한 시료에서의 흠 형성 메커니즘 분석”, 한국물리학회  
추계 학술대회 2007. pp. 131-131

[32] 최영희, 최은서, 신용진, “내부가공패턴과 표면가공패턴에 의한 도광판 밝기 성능  
분석”, 한국광학회 2008년도 동계학술대회 논문집 2008. pp. 391-392

[33] 최영희, 최은서, 신용진, “레이저 가공된 내부 및 표면패턴을 가지는 도광판 성능  
분석”, 한국레이저가공학회지 Vol.11, No.1, pp.1-6, 2008.

[34] 최영희, 최은서, 신용진, “단순화된 산란체 모델과 산란패턴을 활용한 내부 산란체  
도광판 성능의 효율적인 전산모사 방법”, 한국물리학회 추계 학술대회 2008.  
pp.109-109

[35] 최영희, 최은서, 신용진, “내부 산란체 기반 도광판 휘도 향상을 위한 패턴설계 및  
설계 평가를 위한 효율적인 모델링 기법”, 새물리, Vol.56, No.5, pp.426-432, 2008

## **Publication**

### **Journal Papers**

1. 최영희, 최은서, 신용진, “레이저 가공된 내부 및 표면패턴을 가지는 도광판 성능 분석”, 한국레이저가공학회지 Vol.11, No.1, pp.1-6, 2008.
2. 최영희, 최은서, 신용진, “내부 산란체 기반 도광판 휘도 향상을 위한 패턴설계 및 설계 평가를 위한 효율적인 모델링 기법”, 새물리, Vol.56, No.5, pp.426-432, 2008

### **Conference Papers**

1. Y. H. Choi, Y. S. Kim, S. H. Park, E. S. Choi, and Y. J. Shin, "3차원 산란체 도광판 표면의 그리드 패턴에 의한 밝기 성능 분석", 2007년 한국물리학회 춘계 학술대회 2007. pp. 135-135
2. 김태훈, 최영희, 박소희, 최은서, 김영섭, 신용진, “플라스틱 광섬유를 이용한 측면 발광형 디스플레이 구현”, 한국광학회 동계 학술대회 2007. pp. 261-261
3. 최은서, 김영섭, 최영희, 최성휴, 신용진, “임플란트 응용을 위한 골조직 레이저 드릴링 가공 및 OCT 기반의 광학적 진단”, 한국물리학회 춘계 학술대회 2007. pp. 138-138
4. 김영섭, 박소희, 최영희, 최은서, 신용진, “레이저 펄스 반복율에 따른 pit 주위 열분포 분석”, 한국물리학회 춘계 학술대회 2007. pp. 135

5. 정은주, 김창석, 최영희, 최은서, 김영섭, 신용진, “ 레이저로 가공된 치아 드릴링 단면의 이미징”, 제 14회 광전자 및 광통신 학술회의 논문집 2007. pp. 394-395
6. 최영희, 김영섭, 박소희, 곽우섭, 최은서, 신용진, “내부가공패턴과 표면가공에 의한 도광판의 밝기 성능 분석”, 한국물리학회 추계 학술회 2007. pp. 87-87
7. 김영섭, 최영희, 박소희, 최은서, 신용진, “실시간 레이저 가공 단면 이미징을 위한 정적 간섭계 기반의 광학 진단 시스템 구현”, 한국물리학회 추계 학술회 2007. pp. 138-138
8. 김영섭, 최영희, 최은서, 곽우섭, 신용진, “나노초 펄스 레이저 조사 파장에 따른 시간 분해 반사율 측정에 의한 시료에서의 흠 형성 메커니즘 분석”, 한국물리학회 추계 학술회 2007. pp. 131-131
9. 최영희, 최은서, 신용진, “내부가공패턴과 표면가공패턴에 의한 도광판 밝기 성능 분석”, 한국광학회 2008년도 동계학술회 논문집 2008. pp. 391-392
10. 최영희, 최은서, 신용진, “단순화된 산란체 모델과 산란패턴을 활용한 내부 산란체 도광판 성능의 효율적인 전산모사 방법”, 한국물리학회 춘계 학술회 2008. pp.109-109

## 저작물 이용 허락서

학 과	물리학과	학 번	20077232	과 정	석사
성 명	한글 최영희	한문	崔榮熙	영문	Young Hee Choi
주 소	광주광역시 광산구 우산동 하남주공아파트 103동 702호				
연락처	E-mail : iamarion@hanmail.net				
논문제목	한글 : 레이저로 유도된 산란체패턴에 따른 도광판의 광학적 특성에 관한 연구				
	영문 : The study of optical characteristics of light guide panel depending on laser-induced scatterer pattern				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(  ) 반대(  )

2008년 8월 25일

저작자: 최영희 (인)

### 조선대학교 총장 귀하