



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



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](#)

2011年 2月

博士學位論文

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

朝鮮大學校 大學院

物理學科

朴 昭 姬

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

A Study on the Luminance and Uniformity Improvement
of Light Guide Panel according to the Scattering Pattern
by Laser processing

2011年 2月 25日

朝鮮大學校 大學院

物 理 學 科

朴 昭 姬

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

指導教授 申 容 珍

이 論文을 理學博士 學位申請 論文으로 提出함

2010年 10月

朝鮮大學校 大學院

物 理 學 科

朴 昭 姬

朴昭姬의 博士學位 論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 최 성 휴 印

委 員 朝鮮大學校 教授 서 동 주 印

委 員 朝鮮大學校 教授 유 영 태 印

委 員 韓國光技術院 本部長 박 영 식 印

委 員 朝鮮大學校 教授 신 용 진 印

2010年 12月

朝鮮大學校 大學院

목 차

ABSTRACT

제 1장 서 론	1
제 2장 이 론	4
제 1절 전산모사에서의 광 산란	4
1. 광 산란	4
2. 휘도 분포	16
제 2절 레이저 가공	19
1. 레이저 빔의 특성	19
2. 레이저에 의한 재료가공	22
제 3절 백라이트유닛(BLU)의 원리	27
1. 백라이트유닛의 구성	27
2. 구성요소의 광학적 특징 및 기능	32
제 3장 실험 및 측정	40
제 1절 샘플 제작	41
1. 도광판	41
2. 광원 및 광원모듈	44
제 2절 도광판의 외부 산란패턴 설계	51
1. 도광판의 산란패턴 설계	52
2. 전산모사 조건	65
3. 백라이트 모듈의 구성 및 분석방법	67

제 3절 산란패턴의 가공 및 측정	68
1. 레이저에 의한 산란패턴의 가공	68
2. 면회도계에 의한 측정	72
제 4장 결과 및 고찰	75
제 1절 평면산란패턴의 조건에 따른 특성	76
1. 평면산란패턴의 조건에 따른 전산모사 결과 분석	77
2. 평면산란패턴의 조건에 따른 레이저 가공 및 측정결 분석	97
제 2절 경사산란패턴의 조건에 따른 특성	107
1. 경사산란패턴의 패턴간격 변화에 따른 전산모사 결과분석	107
2. 경사산란패턴의 패턴간격 변화에 따른 레이저 가공 및 측정 결과 분석 ..	110
제 3절 도광관 휘도 균일도의 효율 증대	112
1. 경사산란패턴의 기울기 변화	112
2. 경사산란패턴의 기울기에 따른 간격변화	120
제 5장 결 론	134
참고문헌	136

표 목 차

Table 1. Symbol and Units of Photonics & Radiometric.	17
Table 2. Physical properties of laser light source.	23
Table 3. General properties of the PMMA.	43
Table 4. Optical properties of white LED.	45
Table 5. Material properties of the PMMA.	55
Table 6. Specifications of CO ₂ laser system.	69
Table 7. Specifications of luminance measurement setup.	73
Table 8. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by Simulation.	79
Table 9. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by Simulation.	82
Table 10. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5 mm) by Simulation.	85

Table 11. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.1 mm) by Simulation. 88

Table 12. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by Simulation. 91

Table 13. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by Simulation. 94

Table 14. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance about depth of plane patterns by Simulation. 95

Table 15. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by laser processing. 97

Table 16. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by laser processing. 99

Table 17. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5 mm) by laser processing. 100

Table 18. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.1 mm) by laser processing. 101

Table 19. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by laser processing. 102

Table 20. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by laser processing. 103

Table 21. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance about depth of plane patterns by laser processing. 105

Table 22. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by Simulation. ... 109

Table 23. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by laser processing. 110

Table 24. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by Simulation. ... 114

Table 25. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by Simulation. ... 115

Table 26. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by laser processing. 117

Table 27. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by laser processing. 118

Table 28. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 1.5 mm) by Simulation. 122

Table 29. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 2.5 mm) by Simulation. 124

Table 30. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 3.5 mm) by Simulation. 126

Table 31. The measurement results to he average luminance and brightness according to the slant about distance of slope patterns by Simulation. 128

Table 32. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 1.5 mm) by laser processing. 129

Table 33. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 2.5 mm) by laser processing. 130

Table 34. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 3.5 mm) by laser processing. 131

Table 35. The measurement results to he average luminance and brightness according to the slant about distance of slope patterns by laser processing. 133

그림 목 차

Figure 1. Correspondence of scattering distribution function and random number.	6
Figure 2. Lambertian Scattering.	9
Figure 3. Observation of scatter surface.	10
Figure 4. Brightness and Luminance of Lambertian scattering.	12
Figure 5. Beam diameter and focus size of Gaussian beam.	20
Figure 6. Schematic diagram of a beam steered laser marker.	25
Figure 7. Principle of Backlight Unit.	27
Figure 8. The Classification according to the lamp position of Backlight Unit; (a)Direct Type(Front Light method), (b)Edge Type(Side Light method).	28
Figure 9. The classification according to the shape of Backlight Unit; (a)Flat Type, (b)Wedge Type.	30
Figure 10. The configuration of a Backlight Unit.	32
Figure 11. Performance according to the Optical component of BLU.	33
Figure 12. Light Guide Panel for light induction.	35

Figure 13. Processing method according to the LGP type. 36

Figure 14. Improvement of light efficiency by Reflector Sheet. 37

Figure 15. Vertical Direction progress of light by Diffuser Sheet. 38

Figure 16. Light path to the Prism Sheet. 39

Figure 17. The proposed light guide panel plate and patterning area. 41

Figure 18. Photo processing of LGP patterning use of CO₂ laser. 43

Figure 19. Photo processed LGP fixed part of the light source use of CO₂ laser.
..... 43

Figure 20. LED standard used by experiment. 46

Figure 21. Spectrum of applied white LED. 47

Figure 22. Color & Binning. 48

Figure 23. Arrangement of light source to the LGP. 49

Figure 24. Light source module for supply for the light to LGP. 50

Figure 25. Refractive Index and Wavelength of PMMA. 56

Figure 26. LGP Patterning method. 58

Figure 27. The cause of light loss. 59

Figure 28. Loss factor according to the light path of BLU. 60

Figure 29. Design of laser-induced scatterer patterns. 61

Figure 30. Distance change of plane patterns(depth 0.1 mm); (a)distance 1.5 mm, (b)distance 2.5 mm, (c)distance 3.5 mm. 61

Figure 31. Distance change of plane patterns(depth 0.3 mm); (a)distance 1.5 mm, (b)distance 2.5 mm, (c)distance 3.5 mm. 62

Figure 32. Distance change of plane patterns(depth 0.5 mm); (a)distance 1.5 mm, (b)distance 2.5 mm, (c)distance 3.5 mm. 62

Figure 33. Distance change of slope patterns(slant 90 %); (a)distance 1.5mm, (b)distance 2.5 mm, (c)distance 3.5 mm. 63

Figure 34. Slant change of slope patterns(distance 1.5mm); (a)Slant 50% about thickness(3mm), (b)Slant 70 % about thickness(3mm), (c)Slant 90 % about thickness(3 mm). 63

Figure 35. Slant change of slope patterns(distance 2.5 mm); (a)Slant 50 % about thickness(3 mm), (b)Slant 70 % about thickness(3 mm), (c)Slant 90 % about thickness(3 mm). 64

Figure 36. Slant change of slope patterns(distance 3.5 mm); (a)Slant 50 % about thickness(3 mm), (b)Slant 70 % about thickness(3 mm), (c)Slant 90 % about thickness(3 mm). 64

Figure 37. Scatterer pattern processed by Simulation (beam width : 500 μ m). 65

Figure 38. Construction implement about results of Simulation; (a)Summary to the construction results of LGP, (b)Distribution of luminance according to the LGP area, (c)Three-dimensional distribution of luminance to the all over LGP, (d)Two-dimensional distribution of luminance to the all over LGP. 66

Figure 39. The proposed LGP model based on outside scattering pattern design. 67

Figure 40. Schematic of CO₂ laser system include focusing diagram. 70

Figure 41. Scattering pattern by CO₂ laser; (a)Image of Optics microscope of processing scattering patterns (b)side view made by scattering pattern (c)diagram of LGP made by scattering pattern in case of the no light source (d)scattering by Laser (e)scattering by LED. 71

Figure 42. Specification of illumination measurement setup. 74

Figure 43. The method of Calculation about Measurement value. 76

Figure 44. The measurement to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by Simulation; (a)Depth 0.1 mm, (b)Depth 0.3 mm, (c)Depth 0.5 mm. 78

Figure 45. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by Simulation. 79

Figure 46. The measurement to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by Simulation;

(a)Depth 0.1 mm, (b)Depth 0.3 mm, (c)Depth 0.5 mm. 81

Figure 47. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by Simulation. 82

Figure 48. The measurement to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5 mm) by Simulation; (a)Depth 0.1 mm, (b)Depth 0.3 mm, (c)Depth 0.5 mm. 84

Figure 49. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5 mm) by Simulation. 85

Figure 50. The measurement to the average luminance and brightnes according to the distance of plane patterns(depth 0.1mm) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm. 87

Figure 51. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.1 mm) by Simulation. 88

Figure 52. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by Simulation. 90

Figure 53. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm. 91

Figure 54. The measurement to the average luminance and brightness according

to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by Simulation;
 (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm. 93

Figure 55. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by Simulation. 94

Figure 56. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance about depth of plane patterns by Simulation. 96

Figure 57. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by laser processing. 98

Figure 58. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by laser processing. 99

Figure 59. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5 mm) by laser processing. 100

Figure 60. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.1 mm) by laser processing. 101

Figure 61. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by laser processing. 103

Figure 62. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by laser processing. 104

Figure 63. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance about depth of plane patterns by laser processing. 106

Figure 64. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm. 108

Figure 65. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by Simulation. 109

Figure 66. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by laser processing. 110

Figure 67. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm. 113

Figure 68. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by Simulation. 114

Figure 69. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm. 115

Figure 70. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by Simulation. 116

Figure 71. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by laser processing. 117

Figure 72. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by laser processing. 119

Figure 73. The measurement to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 1.5 mm) by Simulation; (a)Slope 50 %, (b)Slope 70 %, (c)Slope 90 %. 121

Figure 74. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 1.5 mm) by Simulation. 122

Figure 75. The measurement to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 2.5 mm) by Simulation; (a)Slope 50 %, (b)Slope 70 %, (c)Slope 90 %. 123

Figure 76. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 2.5 mm) by Simulation. 124

Figure 77. The measurement to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 3.5 mm) by Simulation; (a)Slope 50 %, (b)Slope 70 %, (c)Slope 90 %. 125

Figure 78. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 3.5 mm) by Simulation. 126

Figure 79. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant about distance of slope patterns by Simulation. 128

Figure 80. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(distance 1.5 mm) by laser processing. 129

Figure 81. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(distance 2.5 mm) by laser processing. 130

Figure 82. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(distance 3.5 mm) by laser processing. 131

Figure 83. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant about distance of slope patterns by laser processing. 133

ABSTRACT

A Study on the Luminance and Uniformity Improvement of Light
Guide Panel according to the Scattering Pattern
by Laser processing

So Hee, Park

Advisor : Prof. Yong Jin Shin, Ph.D

Department of Physics

Graduate School of Chosun University

The researched on a light guide panel have been conducted consistently by industrial manufacturers until now, but the systemic approach on development of the light guide panel was not provided due to the development for the sake of mass production. Since the performance of the light guide panel are highly sensitive to allowable tolerance in fabrication process, restriction on the rigorous study of the dependency on various variables was given.

As an alternative to improvement of the performance of the light guide panel, luminance variation by the control of distribution of inner scatterers was proposed, where the scatterers were implemented in the light guide panel by using three-dimensional laser processing system.

In this study, the most critical relationship between luminance and the inner scatterers' pattern was analyzed according to the designed patterns. The luminance by the scatterers' pattern in the light guide panel was not uniform and mainly concentrated on the part of light entrance.

To overcome this problem, the scatterer's patterns, which was fabricated

with a CO₂ laser during short processing time, were designed for improving luminance and uniformity. The increase of processing depth in the light guide panel during the fabrication was proposed, which would result in enhancement of light extraction efficiency at end of the light guide panel.

In this study, performance of the light guide panel was simulated with changing inter distance between scatterers and processing depth. From the results, designed patterns was implemented and the luminance and uniformity was measured. The core technology in the fabrication was to guarantee the uniform brightness. From the simulation results, it is conformed that adjustment of processing depth was necessary to induce uniform light extraction.

The results obtained from simulated light guide panel having corrected processing depths were used for the fabrication. The measured average luminance and uniformity was improved by 8 times and 2.5 times than that of the light guide panel having inner scatterer patterns. The detailed control of processing conditions offered 15 times and 5 times at the same time. The utilization of optimized processing conditions such as the processing depth and the inter-distances in the scatterer pattern for product manufacture could provide short processing time and maximized luminance. Reduction of time consuming in designing scatterer pattern is possible and overall duration from design to evaluation of fabricated product could shorten effectively.

In addition, the use of simulated conditions in the implementation could decrease loss in light intensity and improve the performance of the light extraction.

제 1장 서론

현대사회에서의 정보량은 단순한 정보 전달이 아닌 보다 의미 있고 최소가치가 있는 정확한 고품질의 정보선택 및 교류가 중요하게 되었다. 능동적 전자 표시 장치의 개발로 인해 오늘날의 정보화 사회가 혁신적으로 발전할 수 있었고 특히 평판 디스플레이(FPD: Flat Panel Display)의 발전은 기존의 브라운관 디스플레이의 약점을 보완하며 컴퓨터 모니터, TV 등의 디스플레이영역뿐 아니라, 노트북, 휴대전화, PMP(Portable Multimedia Player), MP3 플레이어, 디지털 카메라와 같은 새로운 수요를 창출해 정보화 시대를 촉진하고 있다. 이 중 TFT-LCD는 현재 FPD 시장의 2/3이상을 차지하고 있으며 소형 모바일용 디스플레이로부터 최근 60인치 이상의 대형 TV시장까지 적용이 가능한 가장 대표적인 FPD라 할 수 있다[1-5].

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 활발하게 진행되고 있음에도 여전히 평판형 디스플레이분야에서 액정 디스플레이(Liquid Crystal Display, LCD)의 중요성이 지속되고 있다. 전통적으로 사용되어 왔던 중소형 디스플레이 분야뿐 아니라 대형 TV와 야외용 정보 디스플레이와 같은 각종 정보의 표시 소자로도 각광을 받고 있는 LCD에 의한 표시는 그 자체가 스스로 빛을 낼 수 없는 비발광성이라는 특성을 가지고 있기 때문에 CRT(Cathode Ray Tube), PDP(Plasma Display Panel), FED(Field Emission display)와는 달리 빛이 없는 곳에서는 사용이 불가능하다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 외부에서 백색광을 공급해 주는 광원이 필요하며 LCD 후면에 광원을 두어 화면 전체를 균일한 밝기로 유지할 수 있도록 면 조사 하는 장치를 백라이트 유닛(Backlight Unit, BLU)이라고 하는 소자의 개발이 중요하다[6-9].

Back Light Unit(BLU)는 TFT-LCD 패널 전체에 고르게 빛을 전달하는 조광 장치로 사용되며, 냉음극 형광램프 혹은 발광 다이오드와 같은 내부 광원을 밝기가 균일한 평면광으로 만들어 LCD 패널 부분으로 보내줌으로써, LCD 화면 전체로부터 균일한 색의 빛이 외부로 발생하도록 해주는 역할을 한다. BLU는 단순한 조명 장치가 아닌 여러 분야의 첨단 기술이 조합된 부품으로 LCD의 밝기, 색감, 명암비, 시야각특성, 소비전력 등 LCD가 가지는 디스플레이로서의 주요 특성에 상당히 큰 영향을 미치기 때문에 LCD의 화질을 비롯한 특성 향상에 있어서 매우 중요한 역

할을 담당하고 있는 주요 부품이라 할 수 있다. 또한 낮은 전류소비량과 고휘도, 그리고 균일도 향상에 있어서 BLU의 성능을 결정짓는 요소인 도광판 패턴 설계 기술 개발은 BLU의 핵심 기술이다. BLU의 주요 부품이라 할 수 있는 도광판(Light guide panel)은 광 반사 패턴의 형성으로 선과 같이 가는 형광등 빛을 LCD 표면 구석구석까지 동일한 밝기로 유지시켜 면광원의 형태로 확산시키는 역할을 하며 재질로는 PMMA(Polymethylmethacrylate)가 주로 사용되고 있다[10-12].

지금까지 도광판 생산 업체에서 도광판과 관련된 연구가 끊임없이 시행되고 있지만 이러한 연구 개발이 양산품의 개발 위주로 진행되어 왔기 때문에 보다 체계적인 도광판의 연구가 이루어질 수 없었다. 이는 도광판의 특성이 공정오차에 대단히 민감하기 때문에 공정상의 다양한 오차를 제대로 다룰 수 없을 뿐 아니라 이를 적용하는데 있어 한계가 있었다. 또한 산란체의 공간적 분포제어를 통한 휘도분포 제어가 가능한 내부 산란체의 장점을 이용하고자 3차원 레이저 가공시스템을 이용하여 도광판 내부에 산란체를 형성하는 방법이 연구되었다[13-20].

본 연구에서는 위에서 논의된 문제점을 포함한 이러한 설계 기술을 토대로 도광판 설계에서 가장 중요한 휘도분포 조절과 그에 따른 산란패턴의 균일도를 향상시키기 위한 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 도광판에 있어서 레이저 가공에 의한 평면산란패턴 제작의 경우 상부로 방출되는 광이 광원과 가까운 쪽에 다소 많이 분포됨으로서 휘도 분포가 균일하지 않은 문제점이 야기된다. 이를 해결하기 위해 CO₂ 레이저를 이용하여 도광판 제조 시스템의 장점인 짧은 제조시간과 높은 휘도를 극대화시키기 위해 휘도와 균일도를 향상시킬 수 있는 가공조건을 각각 선정하여 패턴을 설계하였다. 또한 레이저를 이용하여 도광판 내부 쪽으로 특징적인 기울기를 가지는 산란패턴을 설계하여 가급적 후면의 산란패턴에 의해 상부로 방출되는 광의 유도 실험을 하였다[21].

둘째, 산란패턴의 간격과 가공 깊이를 조절하여 설계된 산란패턴에 따른 도광판의 성능의 차이점을 전산모사 하여 비교 분석하였고, 이 결과를 바탕으로 CO₂ 레이저를 이용하여 실제 도광판에 적용시켜 휘도분포와 균일도를 측정하였다.

셋째, 도광판의 제작에 있어서 도광판의 성능을 결정짓는 가장 중요한 부분은 밝기분포의 균일도이다. 앞서 평면패턴의 조건에 따른 결과를 전산모사하였고, 이를 토대로 레이저로 가공한 후 측정된 결과 도광판 내부로 전달되는 광원이 산란되어 상부로 균일하게 방출되도록 유도하기 위해서는 도광판 안쪽으로 형성되어 있는 패턴의 높이를 보정 할 필요성이 있음을 규명하였다.

넷째, 이에 본 연구에서 제안한 내부패턴의 균일도 향상을 위한 제어방법을 분석하였다. 이를 바탕으로 도광판 전체에 방출되는 광량의 균형을 맞추기 위해서 패턴의 높이를 보정하는 방법을 검토하여 경사산란패턴을 설계하여 전산모사하였고, 실제 레이저로 가공하여 측정된 결과 기존의 내부에 산란체를 형성한 도광판에 비해 경사산란패턴의 평균 휘도값은 약 8배가량 향상되었고, 이에 따른 균일도는 2.5배 이상의 보다 효율적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한 추가적으로 패턴의 기울기를 보정하여 평면패턴의 경우보다 평균휘도가 15배가량 향상되었고, 이에 따른 균일도는 약 5배 이상 향상되어 동시에 만족할 수 있음을 확인하였다.

본 논문의 구성은 제 1장부터 제 5장으로 구성되어 있으며 제 2장에서는 광학의 기초적인 원리와 법칙을 설명하고 이 연구에서 가장 중요한 백라이트 유닛의 구성과 광학적 특성 및 기능과 패턴의 설계와 레이저 가공에 대해서 기술하였으며, 제 3장에서는 도광판과 광원 모듈을 제작하고 도광판의 외부 산란 패턴을 설계하고 산란패턴의 가공 및 측정을 하였다. 제 4장에서는 평면산란패턴의 조건에 따른 특성을 조사하고 경사산란패턴의 조건에 따른 특성을 규명하였으며, 제 5장에서는 이상에서 수행한 실험결과를 분석 및 해석하여 종합하여 결론을 도출하였다.

제 2장 이 론

제 1절 전산모사에서의 광 산란

광선추적을 위해서는 빛이 진행하는 특성에 대해 구현해야 한다. 이에 대해 반사와 굴절은 반사의 법칙과 스넬의 법칙(Snell's law)을 이용하여 비교적 간단하게 구현할 수 있고, 산란은 입사광선에 대하여 출사광선의 방향이 불규칙하기 때문에 그 과정이 좀 더 복잡하다고 할 수 있다[22]. 백라이트 전산모사에서 광선은 출발점, 방향벡터, 광선이 속해있는 공간의 굴절률 등의 3가지 데이터를 가지고 진행하게 된다. 광선이 다음 면을 만나면 새로운 출발점을 갖게 되며, 반사, 굴절, 산란에 의해 새로운 방향벡터를 가지게 된다. 만일 광선이 투과를 통해 굴절률의 변화를 갖게 되면 투과한 공간의 굴절률을 가지게 된다. 광선은 몬테카를로 전산모사에 의해 그 진행방향이 결정되며, 흡수되거나 관측 면을 만나거나 혹은 어떠한 면도 만나지 않을 때 까지 진행하게 된다[23].

1. 광 산란

빛의 반사나 굴절은 그 방향이 정확히 정해져 있으므로 구현하는데 문제가 없으나 실제적인 산란은 대단히 복잡하며 그것을 구현하는 것 또한 쉬운 일이 아니다. 산란을 정확히 구현하고자 한다면 모든 입사각에 대해 산란 현상을 측정하여 그것을 전산모사에 적용해야 하지만 사실상 시간이 많이 걸리고 다루기도 매우 어렵다. 따라서 다루기 쉽고 보다 효과적으로 산란현상의 특징을 표현할 수 있는 산란모델을 개발하는 것이 필요하다[24].

컴퓨터를 이용한 광선추적을 통해 조명 설계를 할 경우 대부분 산란 효과를 포함하는 구성 부품을 가지게 된다. 광선추적에 있어서 반사, 굴절, 투과 등과 같은 정방향(Specular) 성분에 대한 구현은 그 방향이 결정되어 있기 때문에 비교적 쉽다. 하지만 산란은 확률에 의해 광선의 방향을 결정해야 하기 때문에 그 과정이 다소 복잡하다. 또한 하나의 부품에 대해 정확한 산란특성을 측정하여 전산모사에 의해 구현되었다 하더라도 특징이 약간 다른 부품을 전산모사 하기 위해서는 또 다

른 복잡한 측정이 필요할 것이다. 이처럼 산란조건은 전산모사 결과에 가장 영향을 많이 미치는 요소이며, 산란조건 설정은 전산모사조건의 최적화에 해당된다.

전문화된 전산모사 프로그램 중에는 모든 방향에 대한 산란측정데이터를 이용한 전산모사를 지원하는 것도 있으나 산업현장에서는 이러한 복잡한 과정 없이 쉽게 산란에 대해 구현할 수 있는 방법이 요구된다. 프로그램을 제작하는 업체들은 나름대로의 산란모델을 개발하여 지원하고 있는데 가장 간단한 방법이 람베르시안 산란과 가우시안 산란을 조합하는 것이다. 이것은 일반적인 산란현상이 모든 방향으로 고른 휘도를 보여주는 성분과 반사 또는 투과되는 방향으로 집중되는 성분을 모두 가지고 있기 때문에 개발된 방법이다[25].

우선, 광선의 정방향 성분을 z축으로 잡고 ϕ 방향에 대한 확률분포는 일정하다고 가정한다. θ 방향에 대한 광도의 관측 값이

$$f(\theta) \tag{1}$$

의 분포를 이룬다면, 광선은 θ 방향으로 다음과 같은 형태의 확률분포를 가져야 한다.

$$af(\theta) \tag{2}$$

(2)식에서 a는 확률을 규격화하기 위한 상수이다. 광선추적에서 산란 특성을 적용하기 위해서는 컴퓨터에서 발생시키는 난수와 산란 분포 함수를 대응시켜줘야 한다. 우선 컴퓨터에서 난수를 얻어 θ 방향을 정하고, 그 후에 또 난수를 얻어 ϕ 방향을 정하게 된다. 산란되는 총 입체각이 $\sin\theta$ 에 비례하게 되므로 난수의 배분을 θ 방향에 따라 $\sin\theta$ 에 비례하도록 해야 하므로 θ 방향에서 ϕ 방향으로 산란되는 총 입체각은 θ 값에 따라 달라진다. 즉 θ 방향으로 난수의 배분은 $af(\theta)\sin\theta$ 의 형태로 해 주어야 한다. 여기에서 a는 이전 것과 다른 규격화상수이며, VC++에서 컴퓨터에서 주어지는 난수는 rand()라는 함수로 주어지며 그 값은 0~32767 안에서 선택된다. 또한 RAND_MAX에 32767이 상수 값으로 저장되어있다.

난수와 대응시키기 위한 최종적인 산란분포함수를 $g(\theta)$ 라 하면 (3)식과 같이 쓸 수 있으며, 그림 1은 이것을 도식적으로 나타내고 있다.

$$g(\theta) = af(\theta)\sin\theta \tag{3}$$

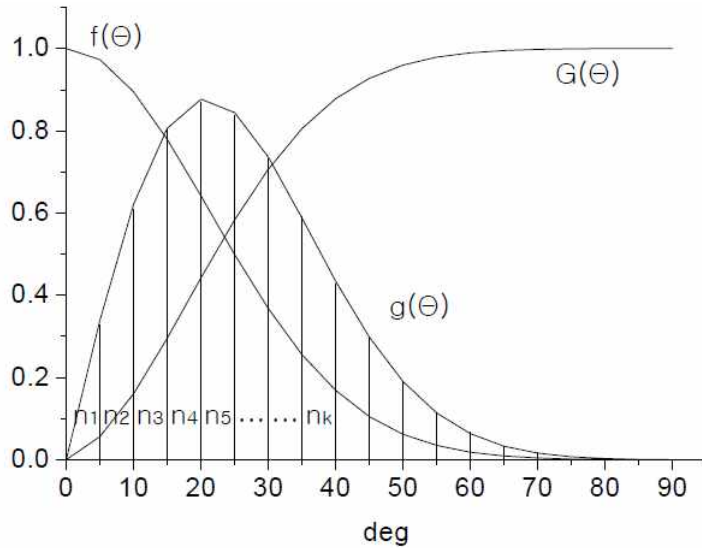


Figure 1. Correspondence of scattering distribution function and random number.

그림 1에서 $f(\theta)$ 는 θ 방향으로 관측되는 광도 값이고, $g(\theta)$ 는 난수와 대응시키기 위한 확률함수이다. $G(\theta)$ 는 $g(\theta)$ 을 적분한 값이며 90도까지 적분하면 1이 된다. 컴퓨터에서 발생시키는 난수로부터 산란각 θ 을 찾는 방법은 다음과 같다. 0에서 32767까지의 숫자를 $g(\theta)$ 의 비율로 각 구간에 순차적으로 배치하고, 컴퓨터에서 $\text{rand}()$ 값을 발생시켰을 때, $\text{rand}()$ 값에 해당하는 구간을 찾고 이에 대응되는 산란각 θ 을 구하면 된다.

구간마다 배치된 숫자의 개수를 n_i 라 하고, 컴퓨터에서 발생한 $\text{rand}()$ 값이 구간 k 에 속했다면 다음과 같은 대응관계를 줄 수 있으며, 구간 k 의 크기를 작게 하면 정확한 식이 될 수 있다.

$$\text{rand}() = \sum_{i=1}^k n_i \quad (4)$$

(4)식을 확률과 대응관계를 만들기 위해 RAND_MAX 로 양변을 나누어 규격화시키면

$$\frac{\text{rand}()}{\text{RAND_MAX}} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{\text{RAND_MAX}} \quad (5)$$

와 같다. (5)식 오른쪽의 각 항들은 각 구간에 해당하는 확률이므로, $\Delta\theta$ 을 구간의 크기라고 한다면 $g(\theta)\Delta\theta$ 와 같으므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$g(\theta_i)\Delta\theta = \frac{n_i}{RAND_MAX} \quad (6)$$

$g(\theta)$ 을 적분한 $G(\theta)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} G(\theta_k) &= \sum_{i=1}^k g(\theta_i)\Delta\theta \\ &= \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{RAND_MAX} \\ &= \frac{rand()}{RAND_MAX} \end{aligned} \quad (7)$$

이것을 적분형태로 쓰면,

$$G(\theta) = \int g(\theta)d\theta = \frac{rand()}{RAND_MAX} \quad (8)$$

이고, 이 식을 θ 에 관해 정리하면 다음과 같다.

$$\theta = G^{-1}\left(\frac{rand()}{RAND_MAX}\right) \quad (10)$$

이로써 θ 방향으로 산란되는 광도 값이 $f(\theta)$ 라면, (10)식에 의한 몬테카를로 전산모사로 산란을 구현할 수 있다[25].

(1) 람베르시안 산란 (Lambertian Scattering)

도광판 밑면의 반사필름의 경우는 람베르시안 산란 특성을 강하게 가지고 있고, 입사각이 커짐에 따라서 반사각으로 집중되는 산란이 늘어나긴 하지만 이 집중되는 성분은 전체 양에 비해 40 % 미만이기 때문에 전산모사조건을 설정하기가 비교적 쉽다. 그러나 도광판에 인쇄된 패턴의 경우는 도광판 내부에서 입사하는 경우 입사각에 따라 반사율이 최대 10배 이상 차이가 나고 산란의 형태도 많이 변하고 복잡하기 때문에 그에 따른 산란특성을 전산모사에서 재현하기가 어렵다. 도광판 외부에서 광선이 입사하는 경우는 도광판 내부에서 입사하는 것보다는 덜하지만 역시 복잡하기는 마찬가지이다. 광선추적을 통한 전산모사에서 모든 조건을 고려하여 적용하기는 불가능하므로 가장 중심적인 역할을 하는 성분을 찾아내어 그것을 기준으로 전산모사를 최적화해야 한다. 전산모사조건 중에서 가장 민감한 조건을 제외한 나머지는 고정시키고 전산모사를 최적화해나가는 방법이 효율적이다 [26].

전산모사 결과에 가장 많은 영향을 미칠 수 있는 것은 도광판의 패턴과 반사필름의 특성이다. 그 중에서도 도광판의 특성(람베르시안 산란과 가우시안 산란의 비율)이 결과에 가장 많은 영향을 미친다. 그 이유는 도광판 패턴의 반사율이 70%이상으로 높게 설정되어있기 때문인데 만일 도광판 패턴의 반사율이 낮게 설정되어 있다면 반사필름의 특성이 전산모사결과에 주요한 영향을 미치게 된다.

위에서 유도한 식을 람베르시안 산란에 적용시켜 보면 람베르시안 산란에서 광도값은 $\cos\theta$ 에 비례하므로 다음과 같이 놓을 수 있다.

$$f(\theta) = \cos\theta \quad (11)$$

이를 (8), (9), (10)식을 이용하여 전개하면 $g(\theta) = a\cos(\theta)\sin\theta$,

$$G(\theta) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} g(\theta)d\theta = \int_0^{\frac{\pi}{2}} a\cos(\theta)\sin\theta d\theta = a\frac{1}{2}\sin^2\theta\Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \sin^2\theta, \quad a = 2 \quad (\text{규격화 상수})$$

이므로

$$\theta = \sin^{-1}(\sqrt{G(\theta)}) = \sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{\text{rand}()}{\text{RAND_MAX}}}\right) \quad (12)$$

와 같이 θ 값을 얻을 수 있다. 이것은 램베르시안 산란에서는 컴퓨터에서 $\text{rand}()$ 값을 받아 (12)식에 대입하면 θ 을 직접 구할 수 있음을 의미한다.

일반적인 산란에서는 광도 함수가 적분되기 어려운 형태를 가지기 때문에 수치 해석적으로 접근하여 문제를 해결해야 한다. 따라서 일반 산란의 산란각을 구하기 위해서는 미리 난수와 산란각의 관계를 데이터베이스로 작성해야 한다. 데이터베이스는 측정된 $f(\theta)$ 로부터 $\sin(\theta)$ 을 곱하여 $g(\theta)$ 을 구하고 이것을 (12)식을 이용한 구분구적법의 방법으로 $G(\theta)$ 을 구한다.(13)식의 마지막 관계식에 의해 $\text{rand}()$ 값은 다음 식에 의해 얻는다.

$$\text{rand}() = G(\theta) \text{RAND_MAX} \tag{13}$$

최종적으로는 θ 값과 $G(\theta) \text{RAND_MAX}$ 값을 데이터베이스로 가지고 있다가 컴퓨터에서 $\text{rand}()$ 값을 발생시키면 그것에 해당하는 각도를 찾으면 된다.

램베르시안 산란에서는 산란광선의 광도 분포가 법선에 대해 코사인함수에 비례한다. 그림 2는 램베르시안 산란의 예를 보여주고 있다. 3차원적으로 보면 구 모양의 강도 분포를 가지고 있는데 산란광선의 방향은 들어오는 입사광선의 방향에 의존하지 않고 모든 방향으로 완벽한 산란을 시킨다. 즉 그림 3과 같이 관측자가 산란면을 관측할 때 어느 방향에서 관측하든지 일정한 밝기를 느끼게 된다. 산란되는 광선의 방향은 오직 입사광선과 면의 교점에서 수직으로 올린 법선벡터의 방향에만 의존하게 된다.

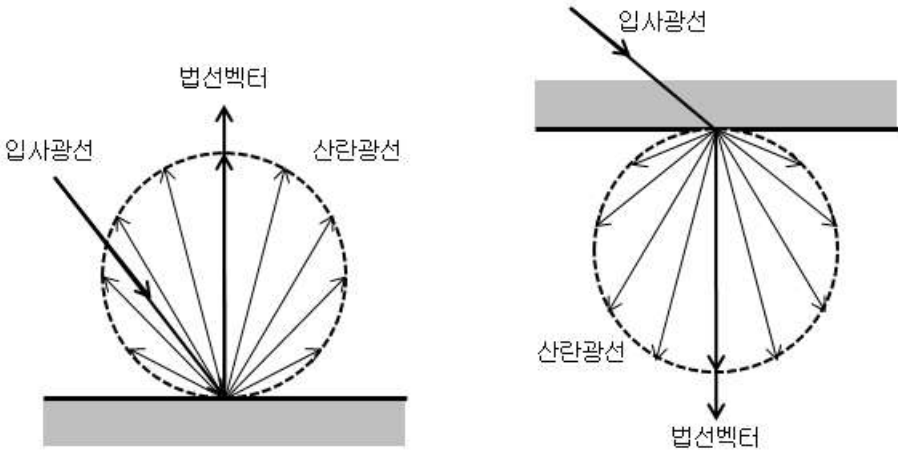


Figure 2. Lambertian Scattering.

휘도는 각도에 따라서 복사면적이 달라지기 때문에 일반적으로 법선방향과 임의의 θ 각 만큼 기울어진 면에서 휘도가 모든 방향에서 균일하게 보이면 이 표면을 람베르시안 표면이라 부른다. 람베르시안 표면은 완전한 확산면을 의미하며 휘도는 다음과 같다[27].

$$L = \frac{\phi}{(A \cos \theta)(\omega)} = \frac{I}{A \cos \theta} \quad (14)$$

여기서 L은 휘도, I는 광도, $A \cos \theta$ 는 투영된 면적이다.

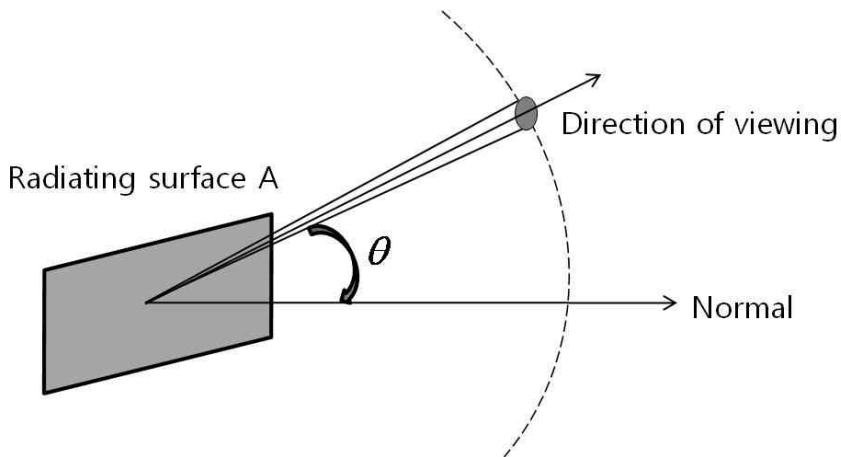


Figure 3. Observation of scatter surface.

광도(I)는 수직방향($\theta = 0$)에서 가장 크고 각도가 증가하면 광도는 적어진다. 완전 확산면은 다음과 같은 광도분포를 갖는다.

$$I_{\theta} = I \cos \theta \quad (15)$$

이다. (15)식을 람베르트의 법칙(Lambert's law)이라 한다. 앞의 식(14)에 식(15)을 적용하면,

$$L = \frac{I \cos \theta}{A \cos \theta} = \text{constant} \quad (16)$$

이는 람베르시안 표면의 발광도가 모든 방향에서 같다는 것을 보여준다. 이 외의 단위로 표면에 입사된 복사량을 적용하는 것이 복사조도 E_e 라 하고, 발광이 적용될 경우 조명도 E_l 라 한다. 점광원의 빛에서의 조도는 (17)식으로 표현된다. 여기서 d 는 광원에서 거리이다.

$$E = \frac{\phi}{A} = \frac{I}{d^2} \quad (17)$$

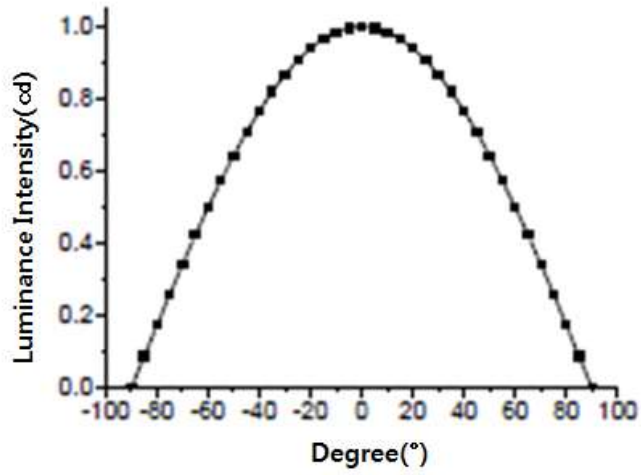
이 식은 역자승 법칙(inverse-square law)으로 조도는 강도에 비례하고 거리의 제곱에 반비례 한다는 것을 의미한다. 즉, 람베르시안 표면의 휘도는 모든 방향에 대하여 똑같다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 람베르시안 표면의 광도와 휘도를 나타낸다. 산란되는 광선은 ϕ 방향으로는 회전대칭이므로 0에서 2π 사이의 값을 균일한 확률로 택하면 된다. 따라서 θ 방향과 ϕ 방향의 산란각은 다음과 같다.

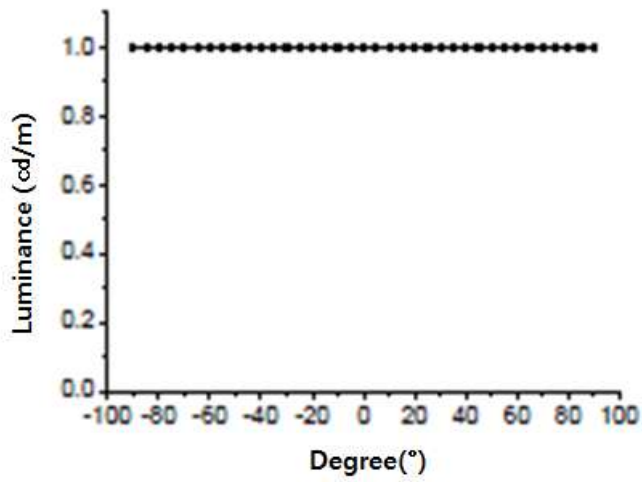
$$\theta = \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{rand()}{RAND_MAX}} \right) \quad (18)$$

$$\Phi = \frac{2\pi rand()}{RAND_MAX} \quad (19)$$

광선이 임의의 물체 면을 만난 후 람베르시안 산란을 한다면 람베르시안 산란을 구현하기 위해 식(18), (19)에 의해 산란각을 얻고, 위의 식에 대입하여 산란광선의 방향벡터를 구한다[28].



(a) Brightness



(b) Luminance

Figure 4. Brightness and Luminance of Lambertian scattering.

(2) 가우시안 산란 (Gaussian Scattering)

일반적인 산란은 램베르시안 산란뿐 아니라 특정방향으로 집중되는 성분도 나타난다. 이러한 방향성이 있는 산란을 기술하기 위해 가우시안 산란이 많이 쓰인다. 물론 가우시안 산란이 일반적인 산란을 완전히 기술할 수는 없지만 개념적으로 정의하기가 쉽고 다루기 쉬운 장점을 가진다[29]. 산란각을 쉽게 제어할 수 있기 때문에 전산모사의 조건을 최적화 하는 과정에서 매우 편리하게 사용할 수 있다. 가우시안 함수는 다음의 (20)식과 같은 형태를 가지고 있다.

$$f(\theta) = e^{-2\left(\frac{\theta}{\theta_G}\right)^2} \quad (20)$$

여기서 θ_G 는 가우시안 산란각으로서 광도가 $1/e^2$ (13.5 %)로 줄어드는 지점이다. 가우시안 산란은 램베르시안 산란과는 다르게 적분하기 어렵기 때문에 산란각과 $\text{rand}()$ 값의 데이터베이스를 만든 후 수치해석을 통하여 산란각을 구한다.

(3) 산란효율(Scattering efficiency)

기하학적 단면적 S_g 을 가지는 입자에 의해 차단되는 에너지에 대해 산란되는 에너지의 비를 산란효율이라고 한다[30]. 입자의 중심으로부터 r 만큼 떨어진 곳에서 산란효율 K_{scat} 는 무차원이며 (21)식과 같이 정의된다.

$$K_{scat} = \frac{\int I r^2 \sin\theta d\theta d\phi}{I_0 S_g} \quad (21)$$

입자의 형태가 구형이라면 입자 한 개에 대한 산란효율은 (22)식과 같다.

$$K_{scat} = \frac{C_{scat}}{\pi r_p^2} \quad (22)$$

C_{scat} 는 입자의 종류에 따라 결정되는 가상적인 면적을 나타내며 산란단면적이라고도 한다. 산란효율은 입자의 크기와 빛의 파장의 상대적인 크기에 의존하며, 도광관 내부에서 파장의 변화에 따른 색의 균일도를 예측하는데 유용하게 이용된다.

(4) 광산란 이론(Light scattering theory)

입자에 의해 유발되는 광산란 현상은 입자의 특성에 따라 크게 좌우되며, 개별 입자의 광산란 문제를 기반으로 도광판 내부에서의 산란 현상을 해석할 수 있다 [24]. PMMA 도광판 내에서 산란물질로 사용되는 고분자 안으로 입사된 빛의 이동을 나타내는 산란강도와 효율은 Mie scattering 이론을 통해서 얻어낼 수 있다[31].

$$I(\alpha, m, \theta) = \lambda^2(i_1 + i_2) / 8\pi^2 \quad (23)$$

$$K(\alpha, m) = \left(\frac{\lambda^2}{2\pi^2 r^2}\right) \sum_{v=1}^{\alpha} (2v+1) \{|a_v|^2 + |b_v|^2\} \quad (24)$$

여기서, I 는 산란강도, K 는 산란효율, λ 는 입사되는 빛의 파장, r 은 산란입자의 반지름, θ 는 산란각을 의미한다. 식 내부에 쓰인 i_1, i_2, a_v, b_v 의 정의는 다음과 같다.

$$i_1 = \left| \sum_{v=1}^{\infty} \frac{2v+1}{v(v+1)} \left\{ a_v \frac{p_v^1(\cos\theta)}{\sin\theta} + b_v \frac{dp_v^1(\cos\theta)}{d\theta} \right\} \right|^2 \quad (25)$$

$$i_2 = \left| \sum_{v=1}^{\infty} \frac{2v+1}{v(v+1)} \left\{ b_v \frac{p_v^1(\cos\theta)}{\sin\theta} + a_v \frac{dp_v^1(\cos\theta)}{d\theta} \right\} \right|^2 \quad (26)$$

$$a_v = \frac{\Psi'_v(m\alpha)\Psi_v(\alpha) - m\Psi_v(m\alpha)\Psi'_v(\alpha)}{\Psi'_v(m\alpha)\zeta_v(\alpha) - m\Psi_v(m\alpha)\zeta'_v(\alpha)} \quad (27)$$

$$b_v = \frac{m\Psi'_v(m\alpha)\Psi_v(\alpha) - \Psi_v(m\alpha)\Psi'_v(\alpha)}{m\Psi'_v(m\alpha)\zeta_v(\alpha) - \Psi_v(m\alpha)\zeta'_v(\alpha)} \quad (28)$$

α 는 $\alpha = 2\pi r n_m / \lambda_0$ 이고, m 은 $m = n_s / n_m$ 임을 알 수 있고, 여기서, $p_v^1(\cos\theta)$ 는 legendre polynomial, Ψ_v 는 $xJ_v(x)$, $J_v(x)$ 는 bessel function, $\zeta_v(x)$ 는 $xh_n^1(x)$, $h_n^1(x)$ 는 hankel function, n_m 은 PMMA의 굴절률, n_s 는 산란체의 굴절률을 의미한다.

도광관 내로 입사된 광자는 반복적으로 산란물질과 충돌하며 충돌한 후 광자는 초기 진행방향이 아닌 생성된 산란각 방향으로 진행하게 된다. 이 때, 광자경로길이는 산란 물질의 단면적과 농도, 산란효율등과 관계를 가지며 이를 수식으로 나타내면 (29)식과 같다.

$$L = - \frac{\ln(\text{random No.})}{\pi r^2 K C} \quad (29)$$

L 은 광자경로길이, random No. 는 난수발생기에서 생성되는 0과 1사이의 난수, C 는 단위부피당 산란 입자의 농도를 의미한다.

2. 휘도 분포

휘도(니트;Nit)는 빛을 발하거나 반사하는 표면의 밝기를 나타내는 것으로, 조명기구에서 발생된 빛이 직접 눈에 들어오거나 물체의 표면에 반사된 후에 눈으로 들어오는 빛이 얼마나 밝은가를 나타내며 단위 면적당 칸델라(cd/m^2 또는 cd/mm^2)로 나타낼 수 있다. 빛이란 인간의 눈으로 관측 가능한 380~780 nm의 가시광선을 의미하지만, 빛은 전자기파의 일종이므로 빛의 발생과 측정을 다룰 때 전자기파의 발생과 측정을 동시에 다루지 않을 수 없다. 빛을 측정하려면 광원의 종류에 따른 여러 가지 특성뿐만 아니라 광검출기의 종류와 측정 방법에 대한 이해가 필요하다. 광검출 방법에는 광원에서 나온 빛을 물리적 에너지로 다루어 광검출기로 직접 측정하는 복사계측과 인간의 눈을 광검출기로 하여 빛의 양을 측정하는 광계측이 있다. 또한 인간의 눈은 빛의 밝기뿐 아니라 색으로 인식하기 때문에 색을 다루는 색채술도 이해해야 한다[32].

공간을 통해 여러 형태로 퍼져 나가는 전자기파의 에너지의 흐름을 복사라고 하는데 이는 물리적인 양으로 다루어 항상 직접 측정할 수 있으나 매우 제한된 파장 영역의 복사만 우리의 눈으로 감지할 수도 있다. 따라서 복사계측은 모든 전자기파에 적용되는 일반적인 방법이고 전자기 스펙트럼의 전체 복사량으로 복사라는 수식어를 갖고 있으며 이것들을 나타내는 모든 기호는 전자기를 나타내는 첨자 ϵ 를 붙인다. 광계측은 인간의 눈으로 측정하는 방법이므로 가시광선에만 국한되며 복사의 한 부분으로 사람의 시각에 의해 감지되는 스펙트럼의 일부분만 해당되는 값이다.

대부분의 광계측의 양들은 발광이라는 수식어를 갖고 있으며 기호로는 시각을 나타내는 첨자 v 를 붙인다. 사람의 시각이 전자기파의 스펙트럼의 일부 가시광선에만 반응한다는 사실은 두 가지 체계를 동시에 써야 한다는 것을 의미한다. 특히 TFT-LCD의 경우는 광계측에 더 의미가 있다. 광도는 시각에 의한 스펙트럼의 반응이 고려되어야 하는데 이것은 파장에 대한 시각적 감도가 다르게 표현되기 때문이다. 심지어 주간시력은 555 nm에서 최대감도를 갖는데 비해서 야간시력은 510 nm에서 갖는다. 표 1은 복사계측과 광계측에서 사용되는 기호와 단위를 보여주고 있다[33].

Table 1. Symbol and Units of Photonics & Radiometric.

Term	Symbol	Unit
Power	ϕ	
Radiant power	ϕ_e	W
Luminous power	ϕ_v	lm
Intensity	I	
Radiant intensity	I_e	W/sr
Luminous intensity	I_v	cd
Radiance	L_e	W/(sr m ²)
Luminance	L_v	cd/m ²
Irradiance	E_e	W/m ²
Illuminance	E_v	lx

복사출력 ϕ 은 단위시간동안 어떤 면으로부터 방출 혹은 어떤 면에 입사된 복사에너지를 뜻하며 (30)식과 같고 단위는 일반적인 일률의 단위인 와트(W)로 (31)식과 같이 나타낸다. 광출력 ϕ_v 는 인간의 눈으로 측정된 복사 출력의 양이므로 이것의 단위는 루멘(lumen;lm) 또는 flux이라고 하며, 방출된 출력과 소비된 출력의 비를 광원의 효율이라고 하는데 이는 광원에 공급한 전력에 대한 루멘의 양으로 lm/W의 단위를 사용한다. 일반적으로 광원의 성능을 나타낼 때 이 값을 사용한다. (32)식은 광출력에 관한 식을 보여주고 있다.

$$\phi = \frac{Q}{t} \quad (30)$$

$$W = \frac{\text{Joule}}{\text{Second}} \quad (31)$$

$$\phi_v = K \int_{380}^{760} P(\lambda) * V(\lambda) * d\lambda \quad (32)$$

P: power , V: photopic - response, K: const

복사강도는 점광원으로부터 단위 고체각으로 들어오는 복사출력을 뜻하며 단위는 W/sr로 나타낸다. 광도는 lm/sr의 단위로 나타내며 칸델라(candela ; cd)로 나타내기도 한다.

제 2절 레이저 가공

1. 레이저 빔의 특성

레이저 빔의 출력 형태는 레이저의 반사 거울이 중요한 역할을 한다. 광학 공진기의 반사거울 사이에서 왕복으로 진행되는 전기장 형태를 종축방향 모드(longitudinal mode)라 하며 전파 방향의 수직한 면의 전기장 형태를 횡축방향 모드(transverse mode)라고 한다. 횡축 방향의 모드는 직각 좌표계에서 TEM_{mn} 으로 표시하여 정수 m 과 n 은 수직, 수평방향에 대한 교축방향의 세기가 0인 점이나 마디(mode)수로 표시한다. TEM_{00} 모드는 대부분의 재료가공을 위한 응용이나 절단을 위해 가장 바람직한 모드이므로 가장 중요하다 할 수 있다. 이 모드는 가우시안(Gaussian)식 (33)으로 주어지는 강도분포를 가진 동일한 위상의 파면을 준다[34].

$$I(r) = I_0 \exp\left[-2\left(\frac{r}{w}\right)^2\right] \quad (33)$$

여기에서 r 은 빔의 중심으로부터 원주방향의 거리이고, w 는 빔의 초점크기(spot size)이며 I_0 는 빔의 중심에서 최고 출력 밀도이다. 가우시안 빔 에너지 분포에서 빔 직경과 초점 크기의 관계를 그림 5에 나타내었다. 레이저 빔의 직경은 $I(r)$ 가 보통 빔의 최고 출력밀도 I_0 의 e^{-2} 가 되는 위치의 크기로 정의된다[35].

$r = w$ 에서 $I/I_0 = 1/92 = 0.135$ 이므로 출력의 876.5 %가 $r = w$ 인 반경 이내에서 초점 크기의 중앙에서의 최대 강도 I_0 은 전체 출력 P 에 의하여 다음 (34)식과 같다.

$$\begin{aligned} P &= \int_0^{\infty} I(r) 2\pi r dr \\ &= \int_0^{\infty} I_0 \cdot e^{-2\left(\frac{r}{w}\right)^2} \cdot 2\pi r dr \\ &= I_0 \frac{\pi w^2}{2} \end{aligned} \quad (34)$$

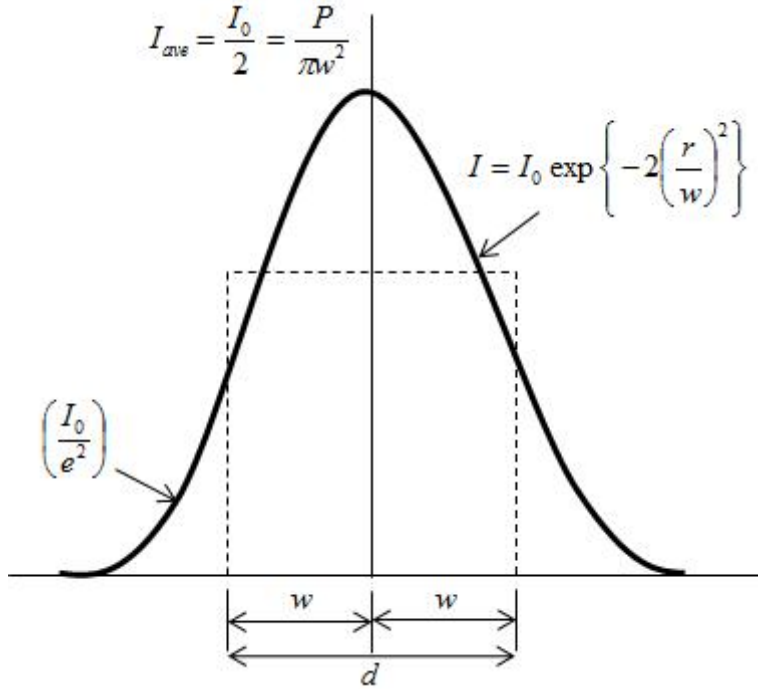


Figure 5. Beam diameter and focus size of Gaussian beam.

중심에서 최고 출력 밀도 I_0 는 식(35)과 같이 나타낸다.

$$I_0 = \frac{2P}{\pi w^2} \quad (35)$$

일반적으로 최저 직경인 빔 허리(beam waist)는 레이저 공진기 공동의 내부에 위치하게 되나, 만일 빔 출구에 위치한 거울이 평면거울일 경우 공진기 공동의 우측에 올 수도 있다. z 의 위치에 따른 빔의 반경은

$$W(z) = w_0 \left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (36)$$

(36)식과 같고, 이를 빔의 전파식이라 하며, w_0 는 $z = 0$ 인 빔 허리에서의 빔 반경으로 (37)식과 같이 나타낸다.

$$w_0 = \frac{\lambda f}{\pi w_L} = f\theta_{ff} \quad (37)$$

여기에서 f 는 렌즈의 초점거리이고, w_L 는 렌즈에 입사되는 빔 반경이며, θ_{ff} 는 원거리 전기장에서의 발산각이다. 이 레이저 빔의 초점깊이에 대한 식은 (36)식에서 W 대신 $w_0\rho$ 을 대입함으로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다[44].

$$\begin{aligned} z &= \pm \pi \sqrt{\rho^2 - 1} \frac{w_0^2}{\lambda} \\ &= \pm \frac{\pi}{\lambda} \sqrt{\rho^2 - 1} \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \\ &= \pm \frac{\pi}{\lambda} \sqrt{\rho^2 - 1} \left(\frac{f}{w_L}\right)^2 \end{aligned} \quad (38)$$

ρ 는 빔의 크기 허용도이며 집속된 빔의 반경이 중심보다 5 % 큰 경우에는 $\rho = 1.05$ 가 되며, 그 사이의 거리를 b 라고 할 때 $b = 2z$ 가 되며, 흔히 이 거리를 초점 깊이라고 한다[36].

2. 레이저에 의한 재료가공

레이저 가공이 일반적인 가공기술과 다른 특징 중의 하나는 열로 변환되는 에너지의 강도, 즉 단위면적 및 단위 시간당 소재에 공급되는 에너지의 강도가 다른 가공방법에 비해 상당히 높다는 데에 있다. 레이저 빔을 이용한 재료의 가공은 레이저 빔의 특성과 가공되는 재료의 물성에 따라 용접, 절단 및 표면경화 처리뿐 아니라 금속의 표면 클래딩과 경질 또는 연질 재료의 미세정밀가공, 반도체 어닐링 등 매우 다양하다고 할 수 있다. 그러나 여러 가지 재료 가공 방법에서 공통적인 점은 레이저 빔을 열원으로 이용한다는 것이다. 또한, 레이저 가공기술은 반도체 재료 뿐 아니라 세라믹 금속, 폴리머 등과 같은 다양한 소재의 가공이 가능하다는 이점이 있다[37-38].

레이저 가공은 기본적으로 레이저 빔의 흡수에 의한 열적 과정으로 재료의 광 흡수가 문제된다. 재료의 레이저 빔 흡수도를 결정하는 인자는 빔의 파장, 입사각, 편광, 빔의 출력 분포, 발산각 등이다. 따라서 레이저 재료가공의 특성은 가공하려는 재료에서 레이저 빔의 특성과 레이저 빔을 흡수하여 얻게 되는 열원의 특성과 직결되므로 여러 가지 레이저 빔의 특성과 가공하고자 하는 재료의 성질에 따라 크게 좌우된다고 할 수 있다[39].

레이저 빔은 광학 부품으로 초점위치에 매우 큰 에너지를 주도록 집속 시킬 수 있다. 따라서 가공하려는 부분에만 매우 큰 에너지를 유지시킬 수 있기 때문에 많은 부분을 균일하게 가열해야 하는 통상적인 방법보다 가공이 빠르고 독특한 조직을 얻을 수 있다. 또한 부품의 내부에 열로 인하여 야기되는 열응력이나 뒤틀림 및 균열 등을 방지할 수 있어 부품의 손상을 최소한으로 할 수 있고, 복잡한 부품의 가공도 가능하다. 또한 빔 확대기(*beam expander*)를 사용하게 되면 에너지 밀도를 낮추면서 넓은 면의 가공이 가능해진다. 표 2는 일반적인 레이저 빔의 특성 및 응용범위를 나타내고 있다[40].

Table 2. Physical properties of laser light source.

Laser	Wave length	Operation mode	Pulse energy(J)		Pulse Duration(sec)	Typical Use
			Typical	High		
Nd:Glass	1.06	Pulse	10	300	-	Spot welding, Hole drilling
		Q-switched	2	50	$2 \cdot 10^{-5}$	Annealing of semiconductors
Nd:YAG	1.06	Continuous	10W	100W	CW	Surface heat treatment, Welding, Cutting
		Normal	1	100	-	Spot welding, marking, hole drilling, trimming
		Q-switched	0.1	1	$1.5 \cdot 10^{-5}$	Annealing of semiconductors
CO ₂	10.6	Continuous	300W	600W	CW	Surface heat treatment, Welding, Cutting
		TEA	2	400	$2 \cdot 10^{-4}$	Hole drilling, Marking
Ruby	0.694	Pulse	5	120	$5 \cdot 10^{-4}$	Spot welding, Hole drilling
		Q-switched	1	15	$1.5 \cdot 10^{-5}$	Annealing of semiconductors

(1) 레이저 빔의 흡수와 반사

레이저 빔을 재료에 조사시키면 입사된 레이저 빔은 세 부분으로 나뉘어져 일부는 재료 상에서 반사되고, 일부는 투과되며, 나머지는 흡수된다.

$$E_I = E_R + E_T + E_A \quad (39)$$

I, R, T, A는 각각 입사, 반사, 투과 및 흡수를 의미한다. 만일 재료가 금속이라고 하면 레이저 빔이 투과하지 못하므로 (39)식의 E_T 는 0이 되고 반사되어 나가는 부분을 제외하고는 모두 흡수된다. 이 레이저 빔의 흡수는 표면 근방에서 이루어지며, 그 깊이는 레이저 빔의 파장에 비례하고 금속의 흡수계수에 반비례한다.

금속표면에서 레이저 빔의 반사능은 표면에 입사되는 레이저 빔에 대하여 반사되는 부분의 비율로서 0과 1사이의 값을 가지며, 표면에 입사되는 레이저 빔의 입사각도 파장 및 편광정도와 금속의 온도에 따라 차이가 난다. 이 값은 레이저에 의한 재료 가공 시 입력되는 에너지량을 추측할 수 있게 되므로 매우 중요하다고 할 수 있다. 파장이 $5 \mu\text{m}$ 이상의 전자파가 금속 표면에 수직으로 조사되는 경우에 금속의 반사도를 구하면 대체로 (40)식과 같은 관계가 된다[41].

$$R = 1 - 2\sqrt{\frac{\nu}{\sigma}} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\sigma \frac{\lambda}{c}}} \quad (40)$$

여기서 λ 는 레이저 빔의 파장이고, σ 는 금속의 전기전도도이며 c 는 빛의 속도이다. 위의 식에서와 같이 레이저 빔의 파장이 증가함에 따라 반사도가 증가함을 알 수 있다. 따라서 금속재료의 레이저 가공에서 사용되는 레이저 파장의 선택은 매우 중요하다고 할 수 있다.

(2) 레이저 가공 중에 발생하는 현상

레이저 빔에 노출된 소재에 발생하는 현상을 레이저 어블레이션이라 한다. 이는 매우 복잡한 열적, 광화학적 현상이며 이론적 해석이 여전히 불완전하다. 레이저 어블레이션에 의해 소재 표면의 온도는 수백에서 수 천도까지 급속하게 상승하

여 소재 표면의 온도가 증발점 이상으로 상승하면 액체상태 재료의 증발과 함께 표면에서의 포화 증기압도 급속히 상승한다. 이러한 과정에서 소재에 보일링 및 입자가 발생하며 천공 및 크레이터가 생성된다. 증발 현상이 일어나는 중에는 순간적인 고압 증기의 팽창이 일어나며 주변 공기에 충격파가 발생하고 플라즈마(이온화된 가스)가 생성된다[42].

(3) 레이저 마킹 시스템

일반적으로 레이저 마킹 시스템을 구성하는 요소를 살펴보면 하드웨어 구성으로는 레이저 발진기, 빔 확대기, 갈바노미터와 디플렉터 등의 스캐닝 시스템, Q-스위치, 초점렌즈 및 노즐과 가스 그리고 이 장치들을 제어할 수 있는 컨트롤러 및 소프트웨어가 필요하다. 그림 6은 빔 전송에 의한 레이저 마킹 시스템의 구조를 나타낸다. 갈바노미터 스캐너는 일반 모터와는 다르게 중심으로부터 한정된 각도까지만 회전할 수 있도록 만들어져 있는 폐 루프의 아날로그 스테핑 모터의 일종으로 매우 작은 관성력과 높은 분해능을 가진다[43-44].

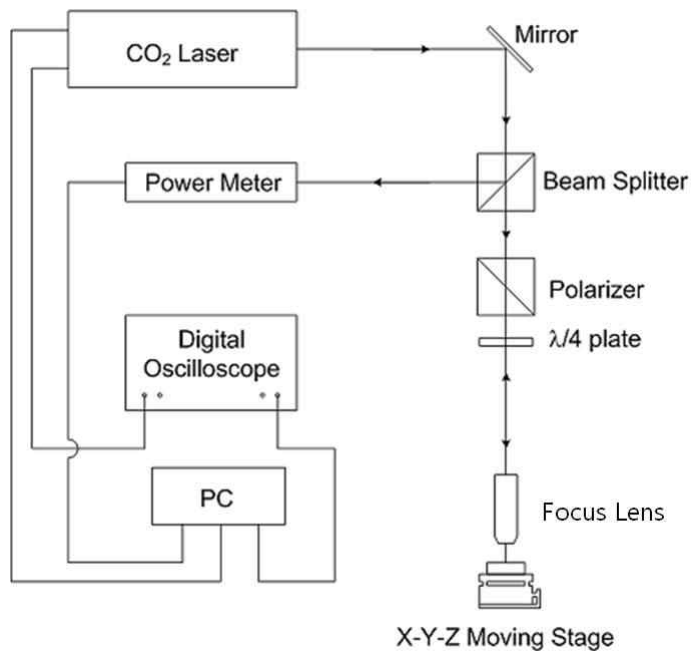


Figure 6. Schematic diagram of a beam steered laser marker.

Q-스위치는 펄스(pulse) 출력을 얻기 위해 사용되는 장치로 Elector-optic switch와 Acousto-optic switch가 있으며, 일반적으로 Nd:YAG 레이저에는 Acousto-optic switch가 사용되고 있다. 빔 확대기는 보통 Zoom이 가능하며 배율을 조정할 수 있으나 고정 배율로 되어있는 것도 있다. 빔의 크기를 크게 하여 표시 물체의 높이를 조절할 수도 있으나 궁극적인 목적은 최종 빔의 스팟(spot)을 스캐너 및 렌즈에서 가능한 작게 얻고자 사용되어진다.

초점렌즈는 레이저 빔을 집속시켜 작은 스팟을 만드는데 사용되며, 재료가공시 고려해야할 사항은 작업 부품과 렌즈 사이의 거리이며, 허용되는 거리는 가공 작업과 레이저 에너지에 의해 큰 영향을 받는다. 얇은 박막의 가공 작업에서는 수 W의 출력으로 수 mm가 적당하나 CO₂레이저로 큰 부품에 대한 작업 시에는 5 W 이상이 요구된다. 레이저 빔의 조사와 동시에 피 가공물에 노즐로부터 분사되는 가스는 가공품질과 가공 성능을 높여주는 중요한 역할을 한다. 가공가스의 역할은 가공 능력을 높여 가공 품질을 양호하게 하는 것에 있으나 그밖에도 렌즈의 오염 방지나 냉각의 역할도 담당한다[45-47].

제 3절 백라이트유닛(BLU)의 원리

1. 백라이트유닛의 구성

CCFL램프에서 발광된 빛이 반사필름에 의하여 한 쪽 방향으로 입사하게 된다. 광원에서 도광판으로 입사된 빛은 도광판을 전파하면서 도광판 내부에 형성된 요철형태의 패턴에 의하여 공기와 도광판, 반사필름간의 굴절률 차이가 발생하여 빛이 일정부분에 분포된다. 서로 다른 굴절률 차이를 이용하여 광원에 가까이 있는 도광판의 패턴은 입사되는 빛의 양이 많기 때문에 패턴의 밀집도를 낮게하고, 광원으로부터 멀리 있는 부분의 패턴은 밀집도를 높여 광원이 전면으로 전달되는 광을 균일하게 분포하도록 만든다. 즉, 광원과 가까운 곳은 산란시키는 산란체의 양을 줄이고 광원과 멀어질수록 산란체의 양을 늘린다. 그림 7에서 확산필름과 프리즘필름은 전면으로 방출하는 균일한 빛을 미세한 영역에서도 균일성을 유지하게 해준다[48].

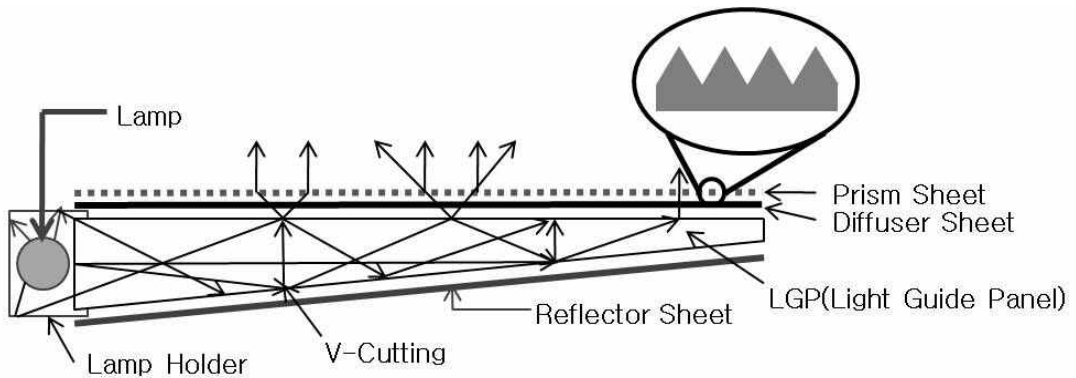


Figure 7. Principle of Backlight Unit.

BLU는 야간이나 어두운 곳에서도 LCD 모니터나 휴대폰 액정 등을 가시할 수 있도록 후면에서 광원을 제공하는 장치이다. 한편 LCD 모듈은 액정 패널부와 BLU부로 나눌 수 있는데, 일반적으로 BLU는 LCD 모니터의 크기나 밝기, 소비전력에 준하여 그 구조나 구동방식이 달라진다.

가. 램프의 위치에 따른 분류

BLU는 그림 8과 같이 램프 위치에 따라 직하형(Front Light방식)과 예지형(Side Light Edge방식)이 있다.

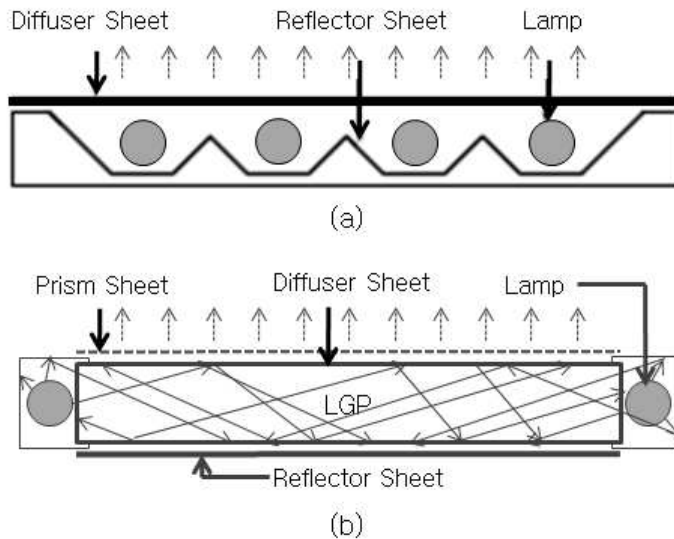


Figure 8. The Classification according to the lamp position of Backlight Unit; (a)Direct Type(Front Light method), (b)Edge Type(Side Light method).

(1) 직하형(Front Light방식)

직하형 BLU의 가장 큰 구조상의 특징은 액정 패널에 빛을 조사하는 광원의 위치가 패널의 후면에서 정면으로 빛을 조사하는 것이다. 따라서 빛의 손실이 크지 않으므로 높은 휘도를 유지할 수 있다. 그러나 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 형광램프를 백라이트의 광원으로 사용하는 경우에 있어서 구조상 램프의 후면에 위치한다는 것과 램프와 확산시트의 일정한 거리를 유지해야 패널의 평면상에서 램프방향으로 선 모양의 휘도 차이가 없이 고른 휘도의 분포를 얻을 수 있는 점 및 그에 따른 구조물 등으로 불가피하게 어느 정도의 부피를 요구하므로 박형화에는 어려움이 있다는 점이 직하형의 한계라 할 수 있다[49]. 또한 램프와 확산시트의 거리를 일정하게 유지해야하며, 균일한 휘도의 분포를 얻기가 쉽지 않으며

램프의 개수가 증가하는 만큼 램프를 구동하기 위한 구동 회로인 인버터가 증가하고 소비전력이 상승하게 된다.

직하형 백라이트의 구조를 살펴보면 그림 8(a)과 같이 LCD 아래에 광원을 부착하는 방식으로 평판 도광판 밑에 다수의 형광램프를 일렬로 배치하고, 도광판 윗면에 확산시트를 설치한 구조이다. 하지만 직하형 BLU는 LCD의 크기가 커질수록 휘도가 낮아지는 사이드형 BLU의 단점을 보완할 수 있고, 도광판을 제거하여 사이드형에 비해 가볍다. 그러나 직하형 BLU는 두께가 두껍고 형광램프를 여러 개 사용하므로 전력소모가 증가해도 가격이 높아지며, 램프에서 반사시트를 맞지 않고 나오는 빛이 분포된 부분은 그렇지 않은 부분에 비해 휘도가 높아 균일도를 떨어뜨리는 단점을 가지고 있다. LCD패널의 밑면에 광원을 두어 패널 전면을 조사하는 방식으로 사용되는 광원에는 EL(Electro Luminescence)관 등이 있다.

(2) 에지형(Side Light Edge방식)

에지형 BLU는 광원의 위치가 LCD 모듈의 측면에 위치하여 있으며, 광원으로부터 나오는 빛을 도광판을 이용하여 평면광을 형성하는 형태이다. 이러한 형태의 백라이트는 전반적인 휘도의 저하를 피하기가 어렵다. 균일한 휘도의 분포를 얻기 위해서는 보다 효율적인 빛의 유도 시스템이 요구되며, 광원으로부터 비교적 먼 거리까지의 빛의 전달 과정에서 손실을 최소화하기 위한 고도의 광학 기술이 필요하다.

에지형 백라이트의 구조를 살펴보면 그림 8(b)과 같이 LCD패널의 한 측면 혹은 양 측면에 광원을 놓고 도광판 및 반사판에 광선을 반사, 확산하는 방식으로써 주로 CCFL이나 LED 사용한다. 이 방식은 직하방식과 비교하면 경량화에 불리하며 단가가 높은 반면, 휘도의 지향성 조절이 용이하고 패널 대형화에 유리하며 내구수명도가 긴 반면 도광판 측면을 통해 입사되기 때문에 직하형 보다 휘도가 낮은 단점을 가지고 있다[50].

나. 도광판의 형상에 따른 분류

도광판의 형상이 완전한 평면의 형태인 평판형이 있으며, 후면에 경사를 만들어두는 경사형이 있다. 각 형상에 따라 사용용도가 다르며 그림 9와 같다.

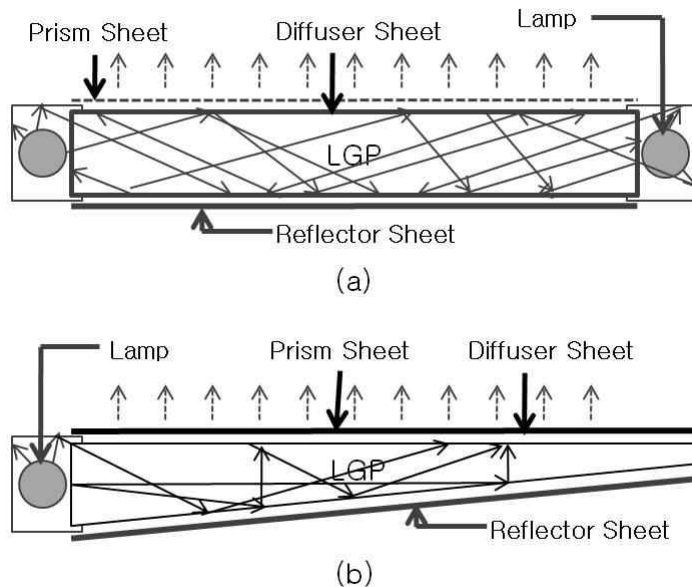


Figure 9. The classification according to the shape of Backlight Unit; (a)Flat Type, (b)Wedge Type.

(1) 평판형(Flat Type)

앞서 거론한 바와 같이 형광램프 등을 이용한 직하방식의 백라이트의 경우 LCD 디스플레이 장치에 다양하게 응용되고 있다. 이것은 형광램프를 직하형 백라이트에 채용할 때의 많은 약점을 수반함에도 패널 상에서 높은 발광 휘도의 특성을 나타내고 있으며, 백라이트의 전반적인 구조를 상당히 간소화할 수 있으므로 이러한 점에 초점을 두고 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 한 가지 연구 형태가 광원 자체를 평면화하는 것이다. 즉, CCFL과 유사하게 기존 형광램프의 원리를 이용하여 Long Discharge램프의 형태, 면 발광형 형광램프의 형태 등을 이용하거나 최근 실용화되고 있는 EL과 같은 전혀 다른 형태의 광원, PDP의 원리를 이용한 램

프 등으로 대체하는 방안이다.

평판형 도광판의 경우 경사형과는 다르게 dot잉크에 의한 확산만으로 광 경로를 바꾼다. 따라서 경사형과는 출광 특성이 다르게 된다. 측정 결과를 검토하면 출광면에서 Lambertian 분포에 가까운 경향을 나타낸다. 경사 구조의 경우, 광원이 도광판의 한쪽 측면에 위치하는 반면 평판형 도광판의 경우, 양 측면에 위치하는 차이에도 기인한다. 그림 9(a)와 같이 도광판의 단면이 직사각형이고 양 측면에 램프가 배치되어 램프에서 나오는 빛은 구면 반사경을 통해 반사되어 도광판의 내부로 진행하게 된다. 도광판 하부에는 빛이 충돌할 때 산란을 일으키도록 제작된 잉크를 인쇄한 패턴이 있다. 이 인쇄 패턴에 의해 빛이 산란 정도를 조절함으로써 균일한 면광을 유도하는 방식으로, 도광판 두께에 따라서 2개 이상의 램프를 사용할 수 있기 때문에 고휘도가 요구되는 모니터나 TV, AV용 등에 사용된다.

(2) 경사형(Wedge Type)

그림 9(b)와 같이 도광판의 단면이 경사형으로 한쪽 측면광만으로 면광을 유도하는 방식이며 얇고 가벼운 곳에 사용할 수 있는 장점이 있으며, 대부분 노트북 PC용으로 사용된다.

2. 구성요소의 광학적 특징 및 기능

앞서 거론한 바와 같이 형광 램프 등을 이용한 직하방식의 백라이트의 경우 LCD 디스플레이 장치에 다양하게 응용되고 있다. 이것은 형광 램프를 직하형 백라이트에 채용할 때의 많은 약점을 수반함에도 패널 상에서 높은 발광 휘도의 특성을 나타내고 있으며 백라이트의 전반적인 구조를 상당히 간소화할 수 있으므로 이러한 점에 초점을 두고 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 한 가지 연구 형태가 광원 자체를 평면화하는 것이다. 즉, CCFL과 유사하게 기존 형광 램프의 원리를 이용하여 Long Discharge Lamp의 형태, 면 발광형 형광 램프의 형태 등을 이용하거나 최근 실용화되고 있는 EL과 같은 전혀 다른 형태의 광원, PDP의 원리를 이용한 램프 등으로 대체하는 방안이 그것이다. 현재의 기술 동향은 면 발광형 백라이트를 이용하면 고른 휘도의 분포를 얻을 수 있는 동시에 박형화도 가능할 것으로 보고 있다. LCD용 면광원 백라이트는 고휘도, 대면적화 요구에 의해 예지형에서 직하형으로 그리고 면발광형으로 발전하고 있다[51].

모니터용으로 많이 사용되고 있는 사이드 평면방식의 백라이트유닛(그림 10)의 주요부품은 광학부품과 비광학 부품으로 구분할 수 있는데 광학부품을 세부적으로 구분하면 그림 11과 같이 광원(Light Source), 도광판(Light Guide Panel), 확산시트(Diffuser Sheet), 프리즘시트(Prism Sheet), 반사시트(Reflector Sheet), 그리고 부수적으로 광원의 동작을 위한 인버터나 전원 공급 장치 등을 들 수 있다.

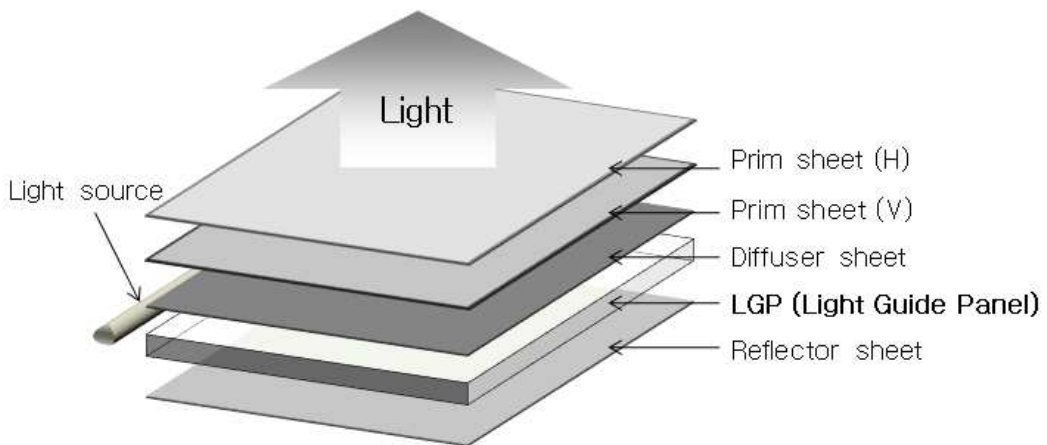


Figure 10. The configuration of Backlight Unit.

구분	부품명	역할
광 원	Lamp	Back light에 빛을 공급
광유도	LGP	선 광원을 평면 광으로 변환
광반사	Reflector Sheet	배면부의 광 손실 방지
	Lamp Cover	Lamp에서의 빛을 LGP내로 반사
광확산	Diffuser Sheet	LGP의 빛을 확산(Pattern 시인성 감쇄)
	Diffuser Plate	램프 시인성 감쇄
광향상	Prism Sheet	빛을 특정 각으로 모아줌
	DBEF	손실 광 재활용

Figure 11. Performance according to the Optical component of BLU.

가. 광원

BLU의 광원으로는 일반적으로 전계에 의한 전자방출방식의 냉음극관(CCFL; Cold Cathode Fluorescence Lamp)을 사용하고 있다. 발열량이 적은 CCFL은 가정에서 많이 사용하고 있는 형광등과는 달리 내부에 전극이 있고 CCFL 양단에 고전압을 인가하게 되면 내부에 있는 전자가 가속되어 전극에 충돌하여 전극으로부터 전자를 발생시킴으로써 램프가 작동하게 된다. CCFL은 유리관의 양단에 전극이 설치되어있고, 유리관 내에 수은과 불활성 가스가 들어있으며 유리관 내벽에는 형광체가 도포된 일반 형광등과 동일한 구조와 원리를 갖는다.

일반 형광등의 경우 전극이 가열되어 열전자가 방출되는 반면 냉음극형광램프는 두 전극에 가해진 고전압 전계에 의해 전자가 방출이 일어난다. 이때 수은이 여기 되어 자외선이 발산되며 이 자외선이 유리관 벽의 형광체와 충돌하면서 가시광선을 발산시킨다. 냉음극형광램프는 고휘도 및 높은 색재현성으로 인해 중대형 액정디스플레이의 BLU의 광원으로 주로 광범위하게 사용되고 있다.

광반도체는 발광다이오드로 갈륨비소 등의 화합물에 전류를 흘려 빛을 발산하는 반도체소자이다. LED는 아래 위에 전극을 붙인 전도물질에 전류가 통과하면 전자와 플러스 전하입자가 전극 중앙에서 결합해 광자를 발산하는 구조로 전도물질의 특성에 따라 빛의 색깔이 달라지며, 이러한 빛의 조합을 이용하여 백색광을 구현하기도 한다. 이러한 광반도체는 다른 발광 소자와 비교해볼 때 열을 발하지 않으며 수명이 길고 소형·경량인 것이 특징이다. 또한 전류가 흐르기 시작하고부터 발광하기까지의 시간이 짧고 응답특성도 좋아 다양한 모양으로의 제작이 가능하기 때문에 소형의 액정디스플레이의 BLU의 광원으로 사용되고 있다.

나. 광유도를 위한 도광판(Light Guide Panel)

대부분의 형광등이나 램프, LED 등의 선광원이나 점광원을 면광원 형태로 변환하여 Panel로 향하게 하는 역할을 하는 것이 바로 도광판이다. 이는 백라이트의 슬림화를 가능하게 하여 빛의 균일도를 극대화시켜주는 역할을 하는 핵심부품이다. PMMA이라는 수지로 만들어져 있는 투명한 아크릴 패널을 이용해 램프로부터 발

산되는 빛을 받아들이고 이 아크릴 표면에 증착된 일정 면적과 모양을 가진 패턴을 통해 패널이나 백라이트 전 영역에 걸쳐 빛을 균일하게 분포 시켜주는 역할을 하며, 아크릴 중 물성이 가장 좋은 제품을 사용한다. 도광판 옆면의 램프가 도광판을 통해 전면에 균일하게 투사시켜주는 역할을 하는데 실제로 BLU를 분해해서 도광판 측면에 램프를 대고 쳐보면 도광판 표면이 균일하게 밝은 것이 아니라 빛이 양 끝단으로 집중되는 것을 볼 수 있다. 이는 도광판이 램프의 빛을 반대편으로 유도하는 것으로 그림 12(a)와 같다.

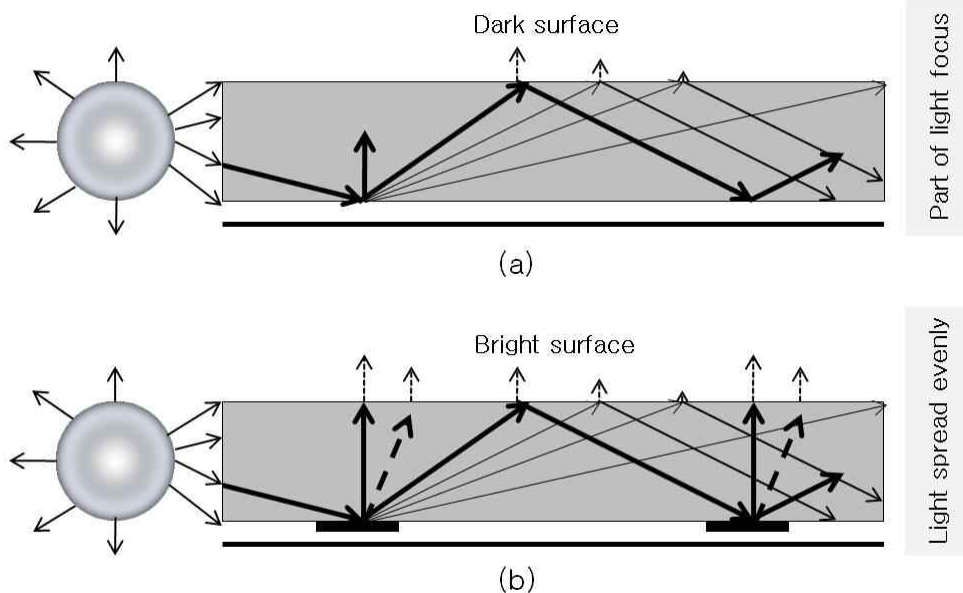


Figure 12. Light Guide Panel for light induction.

그림 12(b)와 같이 도광판 전체가 빛을 균일하게 표현하기 위해 뒷면에 특별한 처리를 하게 되는데 이는 빛의 난반사를 유도하기 위함이다. 광원으로부터의 거리들을 고려해서 설계된 모양대로 패턴처리를 하고나면 양 끝단만 밝았던 도광판이 전면에서 균일한 빛을 발하게 되는 것이다. 최근에는 이러한 패턴처리를 기존의 인쇄방식이 아니라 직접 레이저로 스캐닝을 하는 무인쇄 도광판 기술이 개발되어 효과를 거두고 있다.

좌측의 광원으로부터 나온 빛은 반사판에 의해 반사되어 도광판 내에서 이동하거나 일부는 표면으로 반사된다. 만일 도광판 뒤쪽에 패턴이 없다면 이 빛은 반대

쪽 가장자리에 가장 많이 도달하게 되어 중앙보다 주변이 어두워지는 현상을 초래하게 되는데 이를 위해 도광판 뒤쪽에 패턴처리를 하게 되면 빛의 난반사를 유도하여 전면에 걸쳐 고르게 빛을 투과시킬 수 있다.

BLU에서 가장 핵심이 되는 부품으로 광의 경로가 전면으로 향하는 곳이다. 실제로 광의 경로는 매질의 변화가 있어야만 일어나기 때문에 도광판 안에서는 경로 변경은 없다. 이를 위해서 별도의 공정이 필요한데 바로 이것이 LGP Patterning이며, 방식에 따라 그림 13과 같이 구분되어 진다.

NoteBook			Monitor				TV
Print	Stamper	Prism	Print	Laser	Stamper	V-Cutting	Diffuser Plate

Figure 13. Processing method according to the LGP type.

이러한 각종 가공방식으로 도광판 하부 면에 패턴을 형성시켜 도광판으로 입사된 광이 도광판 하부면의 패턴에 의하여 산란되고 표면으로 향한 빛이 도광판을 지나 LCD Panel로 향하여 결국 사람의 눈이 이를 감지하게 된다.

다. 광반사

(1) 램프 커버(Lamp Cover)

현재 대다수의 백라이트 유닛에서 사용 중인 광원은 선 광원으로 광원이 360°의 방출각을 가지게 된다. 이렇게 방출되는 광원을 최소한의 손실로 도광판에 입사시키기 위하여 광원을 반사율이 우수한 재질로 감싸고 있는데 이를 램프 커버라고 한다. 이는 최소한의 손실로 가능한 많은 양의 빛을 도광판으로 반사시키기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 구조 변경 및 반사율을 향상시키는 원자재 개발을 시도하고 있다.

(2) 반사시트(Reflector Sheet)

광원에서 나오는 빛을 도광판 위쪽으로 갈 수 있도록 하기 위하여 거의 모든 백라이트에서는 도광판 밑에 빛을 반사시킬 수 있는 반사시트를 사용한다. 도광판 백라이트의 고 효율화를 위하여 도광판의 표시부면을 제외한 나머지의 면으로는 광이 방출되지 않도록 해야 하며 이때 광 효율을 높이기 위해 표시부면을 제외한 다른 면으로 비춰지는 광을 반사시트를 사용하여 다시 표시부면으로 반사시킨다. 그림 14와 같이 반사시트는 도광판의 아래쪽에 위치하여 광원에서 발광된 빛을 전면으로 반사시켜 광 효율을 향상시켜주는 역할을 한다.

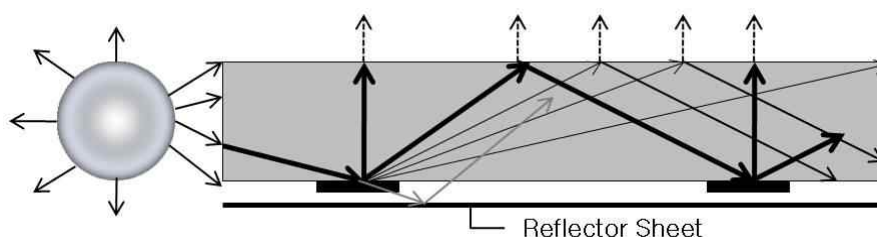


Figure 14. Improvement of light efficiency by Reflector Sheet.

도광판에서 방출되는 광의 일부는 패널 반대 면으로 방출되어 손실이 발생하는데 이러한 손실 광을 줄이고자 도광판으로 재입사시키기 위하여 도광판 하단부에 반사율이 우수한 반사시트를 장착하여 도광판 배면으로 빠져나가는 빛을 도광판 방향으로 반사시킨다. 반사시트의 재질은 백색 폴리에스테르 필름이나 금속(Ag, Al) 등이 코팅된 필름을 많이 사용하고 있으며, 필름의 두께는 75~200 μm 정도이다. 반사시트에서 가시광의 광 반사율은 90~97 % 정도이며 코팅된 필름이 두꺼울수록 반사율이 높다. 반사율을 높이기 위해 모재(base materials)에 반사율이 높은 물질을 코팅하는 방식을 주로 사용하는데 SUS, BRASS, Aluminum, PET 등의 모재위에 Silver나 TiO_2 등의 고 반사 코팅제가 주로 사용되나, 램프 주변에서 장시간의 흡열로 황변이 일어나는 것을 막기 위하여 티타늄 등을 코팅하며 최근에는 고반사율을 가진 폴리머를 코팅 층으로 사용하기도 한다.

라. 광확산을 위한 확산시트(Diffuser Sheet)

직하형(Direct Type) 백라이트 유닛에서는 도광판에 확산시트(Diffuser Sheet)를 사용하고 있는데 도광판을 통해 나온 빛을 균일하게 해주는 역할을 하며, 빛을 확산하여 프리즘 시트와 패널 방향으로 전달해 휘도를 균일하게 하고, 시야각을 넓히며 도광판의 패턴을 숨기는 역할을 한다. 이는 그림 15와 같이 일련의 배열을 가지고 백라이트 유닛 바닥에 배열되어 있는 광원에 의해 발생하는 불규칙적인 광을 고르게 확산시키는 역할과 각종 광학시트들의 지지 역할을 하고 있다. 확산시트를 사용하지 않으면 도광판에 인쇄된 패턴모양이 비치게 되어 LCD 패널 장착 후에도 격자무늬의 패턴이 보일 수 있다. 도광판을 통하여 나오는 빛은 특정 방향으로의 휘도분포를 가지고 있으며 패턴부분과 패턴사이 부분의 밝기가 다르기 때문에 균일한 분포를 구하기 힘들다. 그러므로 시야각에 따른 휘도분포의 편중현상 등을 제거하기 위하여 확산필름이 사용된다. 확산필름은 주로 PET나 PC 등의 수지에 미세한 아크릴 구슬과 같은 확산물질을 코팅하여 제작한다.

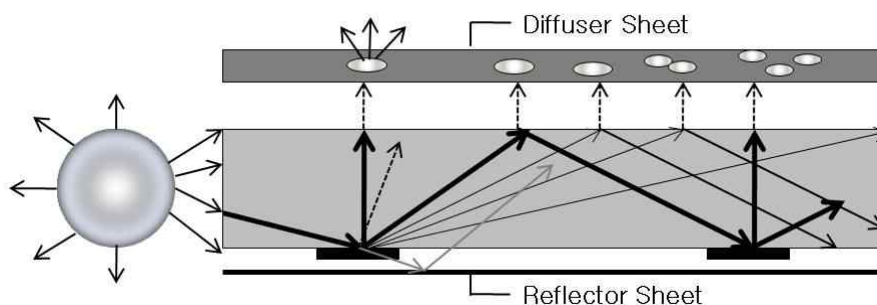


Figure 15. Vertical Direction progress of light by Diffuser Sheet.

마. 광향상

(1) 보호시트(Protection Sheet)

프리즘 시트위에 위치하는 것으로 백라이트 유닛의 광학시트를 외부의 충격이나 이물 유입으로 오는 오염 등을 방지하기 위하여 보호시트를 사용한다. 프리즘

시트의 흠집을 방지하고, 수직·수평 한 세트의 프리즘 시트 사용 시 발생하는 모아레 현상을 방지하기 위해 사용한다. 또한 프리즘 시트에 의해 좁아진 시야각을 넓혀주는 기능도 하지만 최근에는 프리즘 시트의 기능이 많이 향상되어 별도의 보호 시트를 사용하지 않는 추세이다.

(2) 프리즘 시트(Prism Sheet)

프리즘 시트는 표면에서 경사를 가지로 올라오는 빛을 굴절, 전반사 등의 방법으로 정면 휘도를 높여주는 역할을 한다. 확산시트를 지나면 광 휘도는 면에 수직 한 수평·수직 양 방향으로 확산이 일어나면서 광 휘도는 급격히 떨어지게 되는데 이 광을 다시 굴절, 집광시켜 광 휘도를 높이기 위하여 프리즘 시트를 사용한다.

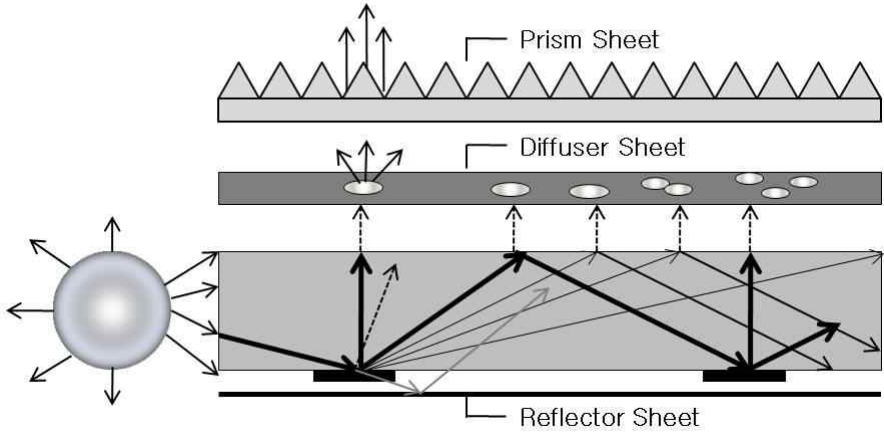


Figure 16. Light path to the Prism Sheet.

프리즘 시트의 단면을 살펴보면 산모양의 단면을 갖는 미세한 골을 갖고 있는데, 띠 모양(Strip type)의 Micro-prism이 모재(base materials : PET) 상부에 형성된 것으로 보통 수평·수직 두 장을 한 세트로 사용지만 최근에는 한 장의 프리즘 시트만으로 처리하기도 한다. 그림 16은 프리즘 시트 내부에서 빛의 경로를 설명하고 있다. 최종적으로 프리즘 시트를 통과한 빛은 약 70도의 시야각을 가지면서 전면을 향하게 되고 휘도 또한 개선된다.

제 3장 실험 및 측정

본 장에서는 산란체의 휘도분포제어가 가능하도록 하기 위해 도광판 내부에 산란체를 형성하는 방법을 토대로 투명한 PMMA(polymethyl methacrylate) 아크릴판의 하부에 패턴 형성의 한 방법인 “V”홈을 레이저 가공에 의해 형성시켜 측면에서 들어오는 빛의 방향을 수직으로 전환하고자 내부 산란패턴을 설계하여 전산모사 하였다.

도광판의 광학적 패턴 설계와 가공형태 및 PMMA의 레이저 가공성에 대한 데이터를 확보하기 위한 첫 번째 전산모사로 평면패턴의 가공조건 변화에 따른 휘도분포변화를 비교분석하고, 변화에 따른 평균휘도와 균일도의 증가율을 제시하였다. 그리고 전산모사의 결과에 보완하기 위한 조건을 부여해 형상변화에 따른 휘도분포 및 균일도의 변화를 비교 분석하였다. 두 번째 전산모사로 휘도와 균일도를 향상시킬 수 있는 가장 적합한 경사패턴에 도광판의 다양한 광학적 특성을 고려하여 휘도분포조절과 산란패턴에 영향을 줄 수 있는 조건을 적용하여 결과를 분석하였다.

전산모사 결과를 바탕으로 휘도와 균일도를 향상시킬 수 있는 조건을 실제 도광판에 적용시켜 레이저를 이용한 외부산란패턴을 가공하고 이 실험 결과를 통해 최적의 산란패턴으로 구성된 도광판을 제작하였다.

제 1절 샘플 제작

1. 도광판

본 연구에서 도광판의 재질은 기계적 강도가 높아 깨지거나 변형되지 않으며 가볍고 내화성이 강해 일반적으로 가장 많이 사용되는 투명아크릴수지인 굴절률 1.49의 PMMA(Polymethyl methacrylate)를 사용하였고, 모바일 기기 등에 사용되는 소형의 도광판의 크기와 유사하도록 그림 17과 같이 50 mm×40 mm×3 mm(길이×폭×두께)로 하였다. 그림 18과 같이 CO₂ 레이저를 이용하여 마킹 영역 38 mm×38 mm 이내에 패턴 및 광원 고정부를 가공하였으며, CO₂ 레이저를 이용하여 광원 고정부가 가공된 도광판은 그림 19와 같다. 내부 산란패턴의 형상변화에 따른 모델의 가공높이는 두께의 90 %인 2.7 mm 이내로 설정하였으며, 보다 정확한 비교 분석을 위해 전산모사에도 동일하게 적용하였고 실험에 사용된 PMMA의 일반적 특성은 표 3과 같다.

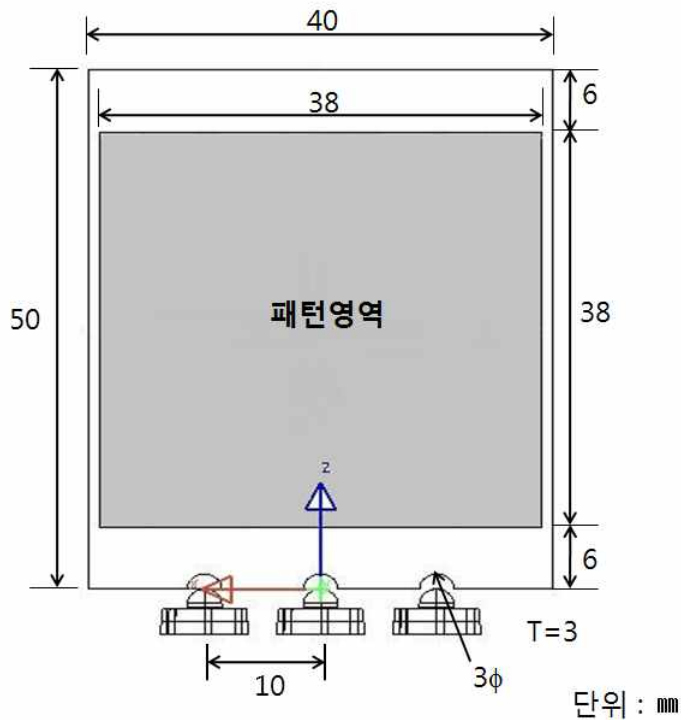


Figure 17. The proposed light guide panel plate and patterning area.

Table 3. General properties of the PMMA.

Classification	Properties
Hue	Transparent
Refractive index	1.49
Transmittance	93%
Critical angle	42.2
Absorption	0.25 %
Tensile Strength	85.4(kg/cm ²)

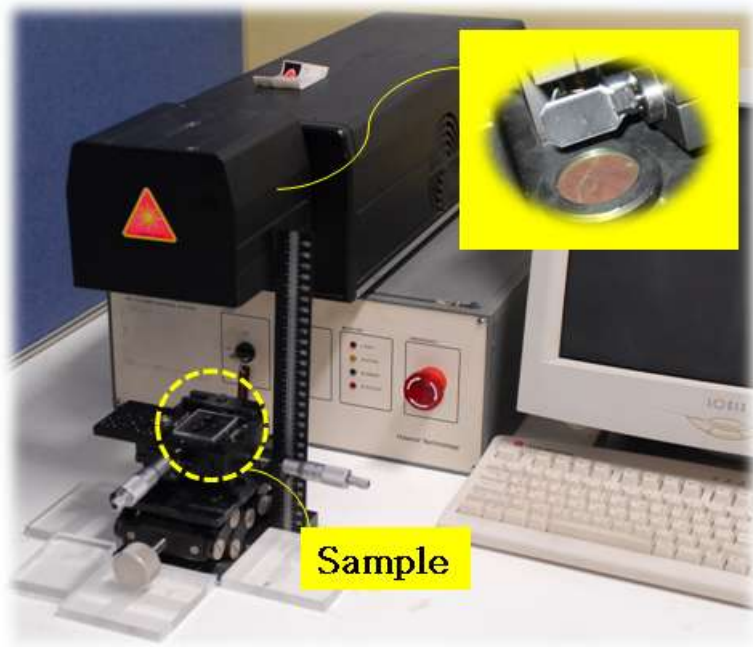


Figure 18. Photo processing of LGP patterning use of CO₂ laser.

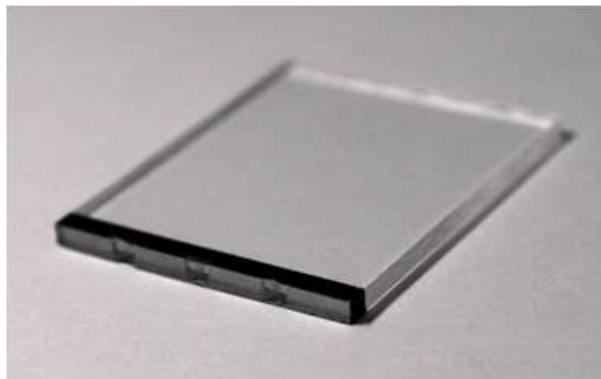


Figure 19. Photo processed LGP fixed part of the light source use of CO₂ laser.

2. 광원 및 광원모듈

실험에 사용된 광원으로는 전기신호가 인가되었을 때 빛을 발산하는 화합물 반도체의 일종으로 모바일 기기 등에 흔히 사용되고 있는 발광(發光)다이오드라고 하는 LED(Light Emitting Diode)를 사용했고, 빛을 전면으로 출력하는 특성을 가지고 있어 광원반사판은 별도로 사용하지 않았다.

LED는 SEOUL SEMICONDUCTOR에서 생산하고 있는 고휘도 White LED인 HW321A를 사용하였으며 광학적 특성은 표 4와 같고, 외형규격은 그림 20과 같다. 발광 스펙트럼은 GaN계 청색 LED에 YAG나 질화물계의 노랑 형광체를 입힌 백색 광LED의 전형적인 특성을 보여준다. Blue LED는 GaN를 기초로 해서 만들어진 제품으로 그림 21과 같이 발광파장은 약 460 nm이다. 그러므로 LED의 기본적인 전기적 특성은 Blue LED와 비교하여 거의 동일한 값을 나타내고 있으며 백색광 LED의 색 좌표는 그림 22와 같이 상온 25 °C, 순방향 전류 15 mA에서 x축 0.31, y축 0.31을 나타낸다. 방사각은 약 30°에서 85°의 power angle을 갖고 60°에서 약 42%의 power angle을 갖는다. 전산모사에서는 실제 제품과 동일한 규격과 특성을 갖는 광원을 그림 23과 같이 LED 3개를 각각 10 mm간격으로 배열하여 도광판 측면에 위치시키기 위해 반경 1.5 mm의 홈을 가공하였으며, 동일한 광원에 제작한 도광판만을 교체하여 고정시킬 수 있도록 그림 24와 같은 광원모듈을 제작하였다.

Table 4. Optical properties of white LED.

Manufacturers	SEOUL SEMICONDUCTOR Co.
Model	HW321A
Color	GaN White
Chromaticity coordinate	x=0.31 nm, y=0.31 nm
view angle($2\theta^{1/2}$)	70°
Thermal Resistance	130 °C/W
Luminous Flux	4.4 lm
Forward voltage	3.4 V
DC Forward current	30 mA

Unit : mm

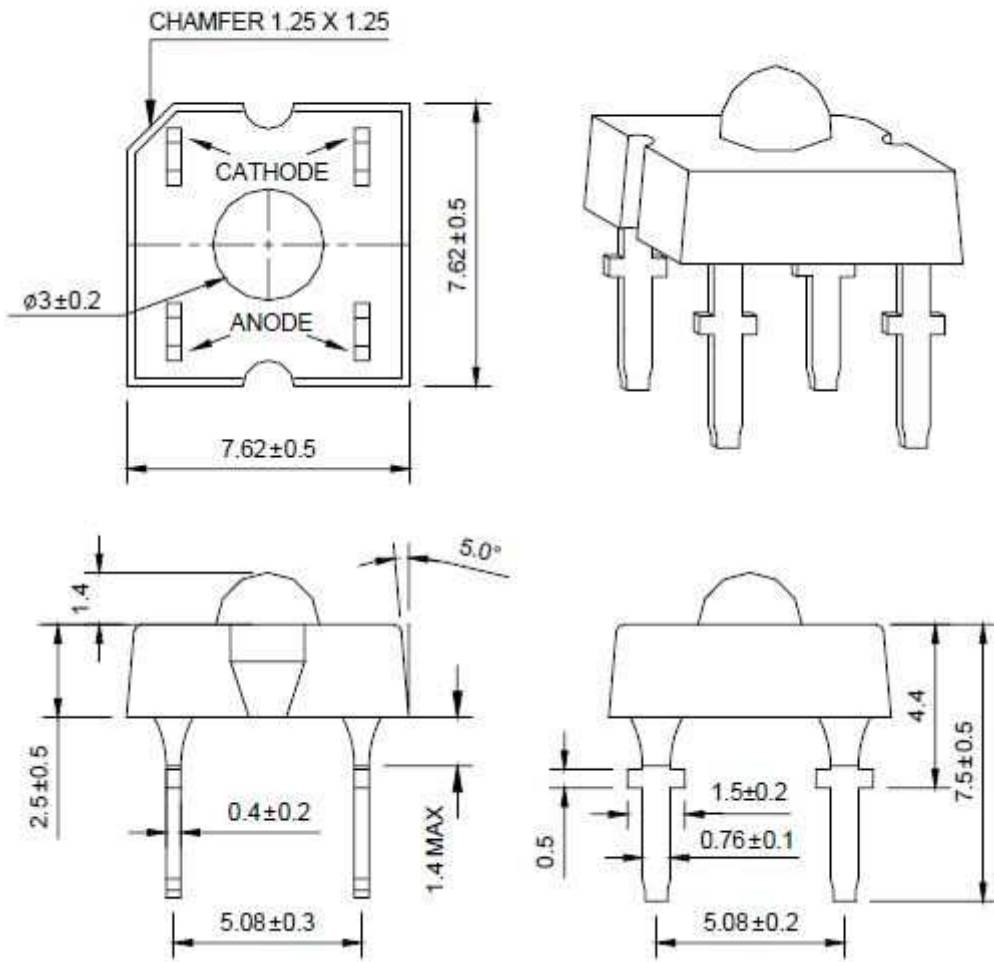


Figure 20. LED standard used by experiment.

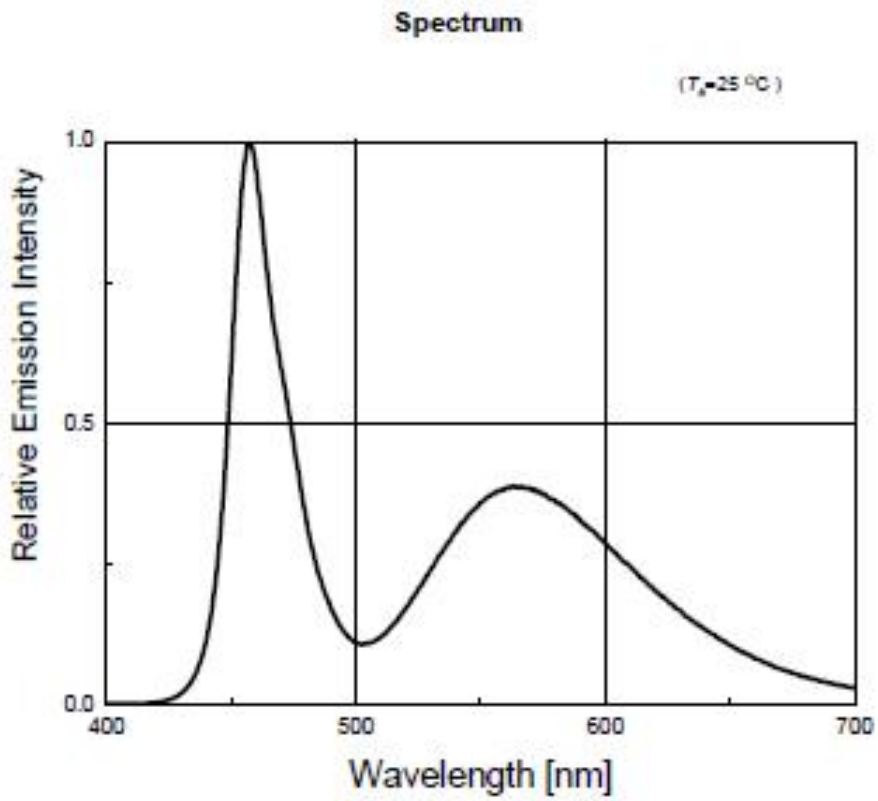


Figure 21. Spectrum of applied white LED.

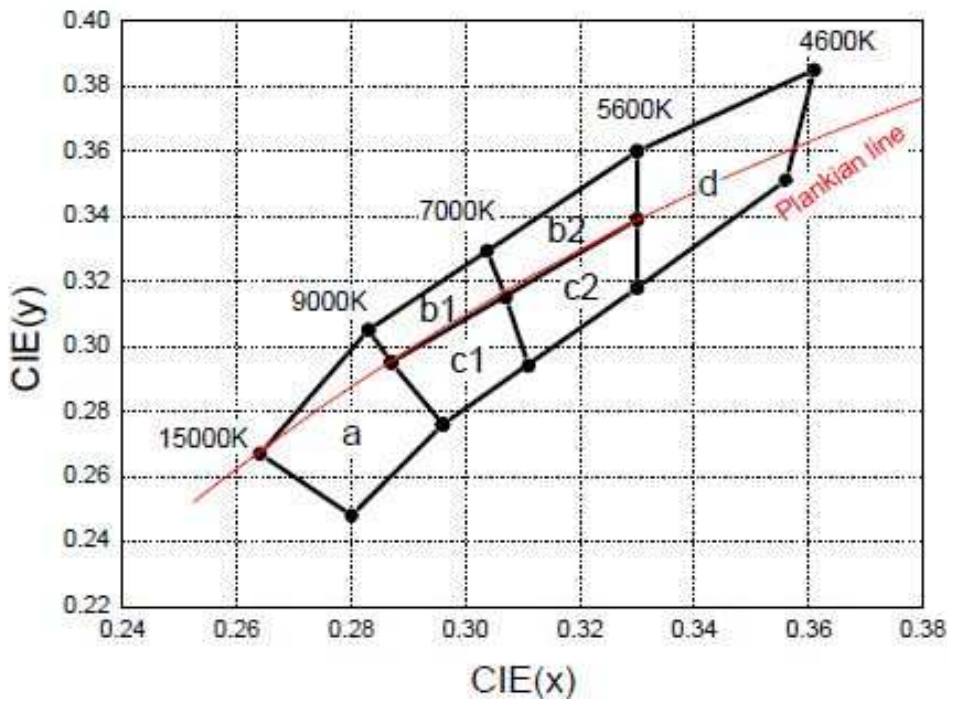


Figure 22. Color & Binning.

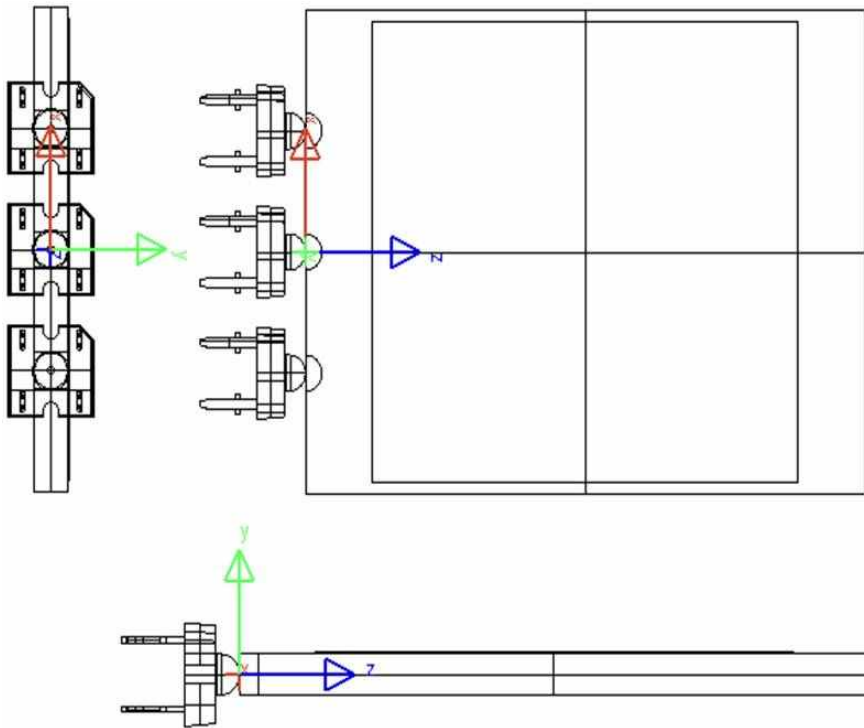


Figure 23. Arrangement of light source to the LGP.

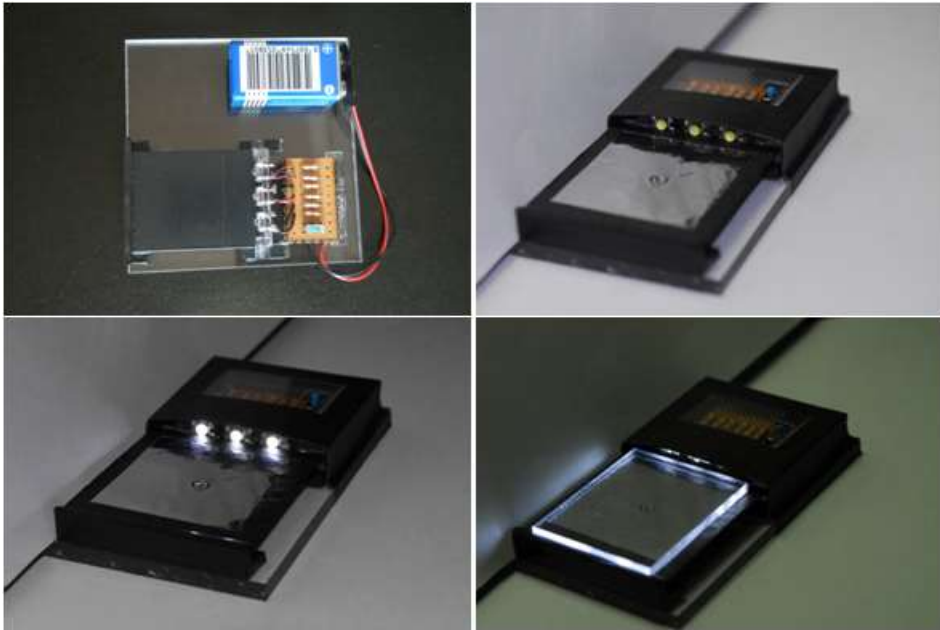


Figure 24. Light source module for supply for the light to LGP.

제 2절 도광판의 외부 산란패턴 설계

빛은 광원으로부터 멀어지면 투명한 PMMA 재질이라 할지라도 그 내부에서 투과되는 빛의 양은 대기 중에서보다 더 빨리 감소한다. 따라서 도광판의 한 쪽 광원으로부터 거리가 최대로 멀어지는 중앙부까지 균일하게 빛을 전면부로 반사시키기 위해 도광판의 배면에 특정한 패턴을 형성시켜 반사체의 역할을 하게 한다.

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. BLU에서 패턴에 따라 균일도와 휘도의 차이가 대단히 많이 나기 때문에 도광판의 밑면에 패턴을 설계하는 것이 핵심 기술이다.

본 논문에서는 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° 이상이 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 하고 이것이 산란패턴이다. 패턴은 일반적으로 도광판 하부에 존재하며 도광판 내부를 진행하는 빛을 밖으로 빠져나오도록 도와주는 역할을 한다.

LED는 도광판의 측면에 위치하므로 만약 산란패턴이 도광판 전체에 걸쳐 균일한 분포를 가질 경우, 광원에 가까운 가장자리가 중앙부위보다 밝아지게 되므로 산란패턴은 이를 고려하여 광원에서 가까운 부분은 작게 또는 듬성듬성하게 설계하여 입사부분에 광량이 몰리는 문제를 해결하고자 하였고, 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.

1. 도광판의 산란패턴 설계

패턴 설계는 도광판의 성능을 최적화시키는 작업이다. 또한 백라이트 개발에 있어 가장 중요한 기술 중의 하나이며 본 논문의 주제인 레이저 가공 산란패턴의 유형에 따른 도광판의 휘도 및 균일도 향상에 관한 연구의 근거가 되고 있다. 본 장에서는 도광판의 패턴설계의 의미와 원리에 대해 기술하도록 한다.

가. 패턴의 정의 및 역할

백라이트에서 패턴이란 단어는 많은 것을 함축하고 있다. 도광판 밑면에는 산란 물질을 포함하거나 기하학적인 형상을 가지는 요소들이 있어서, 도광판 내부로 진행되는 광선의 진행방향을 변경시켜 백라이트 외부로 나오도록 하는 역할을 한다. 이러한 요소들은 특별한 형상 및 분포 형태를 가지고 있어서 마치 그림의 도안과 같이 보인다. 백라이트 업계에서는 이 요소들 전체를 가리키는 말로써 패턴이라는 단어를 사용한다. 그것은 한편으로는 패턴 구성원의 향상을 가리키는 말로서도 쓰인다. 따라서 패턴 구성원의 형상이 원형이면 원형패턴, 마름모형이면 마름모형 패턴, 구형이면 구형패턴, 브이컷(v-cut)형상이면 브이컷 패턴 등으로 칭한다. 인쇄형 도광판에 사용하는 원형패턴이나 마름모형패턴의 경우는 2차원적인 형상만을 가지고 있고 멀리서 보면 개개의 요소들이 점으로 보이기 때문에 도트(dot)패턴이라고도 부른다. 본 논문에서도 도광판에서 광분포를 균일하게 하는데 기여하는 요소들의 전체를 가리키는 말로써 패턴이라는 단어를 사용하도록 하고, 각 요소들 사이의 간격을 패턴간격이라는 단어를 사용하도록 한다.

도광판 내부로 들어오는 광선은 법선과 이루는 각이 모두 임계각(42°)보다 작다. 이것은 도광판의 윗면과 아랫면의 입장에서 광선의 입사각이 모두 임계각보다 크기 때문에 도광판 내부에서는 전반사만 일어나게 되어 광선이 도광판 윗면으로 나올 수 없게 한다. 따라서 도광판 내부에 광선의 방향을 변경시킬 수 있는 요소들이 필요하게 된다. 이것이 앞에서 정의한 패턴이다. 패턴은 일반적으로 도광판 밑면에 존재하며 도광판 내부를 진행하는 빛을 밖으로 빠져나오도록 도와주는 역할을 하며, 선광원을 면광원으로 바꾸어주는 역할을 한다. 또한 패턴은 백라이트의

휘도분포를 조절하며 한정된 광원을 효율적으로 사용하는 역할을 해야 하며, 액정 패널과 간섭하여 모아레(Moire) 무늬를 발생하지 않도록 제작되어야 한다[52].

광선은 패턴요소와 반응하여 산란을 일으키는데 일부 산란반사된 광선은 도광판 윗면으로 직접향하고, 투과 산란된 광선은 밑면의 반사시트에 의해 다시 산란되어 위쪽으로 올라간다. 이후로 광선은 패턴요소들과 각 부품들에 의해 그 방향이 지속적으로 변화하다가 도광판 윗면으로 빠져나오게 된다. 패턴은 도광판에서 빠져나오는 빛들이 전체 화면에서 균일한 분포를 가질 수 있도록 밀도변화를 가지며 분포한다.

나. 패턴설계 시 고려사항

백라이트의 성능은 휘도의 분포와 광의 효율적인 사용으로써 평가된다고 할 수 있는데, 여기서 가장 중요한 역할을 하는 것일 패턴이다. 패턴설계는 패턴요소의 형상을 선택하는 것과 분포를 결정짓는 것으로 인쇄형도광판에서는 패턴요소의 형상, 패턴간격(각 패턴요소들 사이의 간격), 면적비함수를 정하는 것으로 구분 지을 수 있다. 면적비는 단위면적당 패턴요소가 차지하는 면적의 비율로 패턴요소의 면적비가 높은 위치에서는 산란이 많이 일어나기 때문에 빛이 쉽게 도광판을 빠져나오게 된다. 하나의 함수로써 전체영역에 대한 면적비를 정의하는 것이 가능한데 이를 면적비함수라고 한다. 패턴설계에 있어서 패턴의 형상 및 패턴간격은 미리 정해진 고정값이기 때문에 면적비함수를 정하는 것이 설계과정의 대부분을 차지한다고 할 수 있다[53].

(1) 빛의 특성

빛은 거리가 멀어지면 대기 중에서 자연스럽게 그 밝기가 약해진다. 빛의 양은 투명 아크릴이라 할지라도 아크릴 내에서 투과되는 양은 대기 중에서보다 더욱 더 빨리 감소하게 된다. 아크릴 내의 빛은 일정한 반사각도(42.5°)가 넘어가면 그 빛은 대기 중으로 투과되지 못하고 전반사를 일으킨다.

(2) PMMA의 특성

도광판으로 주로 사용하고 있는 재질은 PMMA(polymethylmethacrylate)로 표 5와 같이 가시광선 영역에서 광에 대한 흡수성이 적어 광택이 우수하고 투명하다. 이는 기계적 강도가 높아 깨지거나 변형되지 않으며, 가볍고 내화학성이 강할 뿐 아니라 가시광 투과율이 90~91 % 정도로 높다. 또한 내부 손실이 대단히 적고 인장강도나 신장강도 등 기계적 성질과 화학적 내성 등에서 강하여 도광판의 소재로는 가장 적합하다고 할 수 있다. 제조방법과 원료나 첨가제의 양에 따라 투명도나 기계적 강도가 조금씩 달라지며, 광투과율은 파장 380~760 nm인 가시광선에 대해서 측정된 것으로 일정한 두께의 시편에 대해 자외선 분광광도계에 의해 행해진다. 380 nm이하의 광선, 즉 자외선에 대해서도 PMMA는 잘 투과되지만 이 파장 범위에 있어서는 PMMA 속에 첨가된 불순물에 예민하게 영향을 받는 광 흡수대가 나타날 때가 있기 때문에 도광판 재질은 순도가 높은 PMMA를 사용해야 된다.

PMMA의 굴절률 또한 합성수지 중에서 비교적 높으며, 굴절률의 크기는 입사된 광의 내부 반사율과 관계되므로 신중하게 검토되어야 한다. 표 6에서 일반적인 PMMA의 광학적, 열적, 기계적인 물성치를 나타내고 있다. PMMA는 세밀하게 압출 성형될 때 광학적으로 등방성을 나타내며 압출 또는 사출 성형될 때 재료의 일부 배향성은 성형품을 광학적으로 비등방성을 갖게 한다.

평행 방향에서 측정된 주요 굴절률과 주요 배향의 방향에 따른 오른쪽 각도에서의 굴절률 차이는 약 10^{-3} 정도이다. 하지만 이러한 큰 차이는 상당한 신장에 의해서만 나타나며 일반적으로 높은 방향성의 성형품에서 최대 쌍굴절성은 약 10^{-4} 이다. 즉 온도가 15°C로부터 점차 벗어남에 따라 두 제품들 사이의 굴절률 차이는 Haze를 받아들일 만큼 커지게 된다. 굴절률(N_d)은 빛의 파장에 좌우되며 임계각 X_d 는 (41)식과 같이 굴절률에 의해 정의된다.

$$\sin X_d = \frac{1}{N_d} \quad (41)$$

가시광선 파장에 따른 굴절률의 변화는 그림 25에 나타나 있다.

Table 5. Material properties of the PMMA.

	Item	Test method	Properties	Unit
General	Specific Gravity	ASTM D792	1.19	-
	Absorptivity	ASTM D570	0.3	%
Optical	Reflectance	ASTM D542	1.49	
	Transmittance	ASTM D1003	93.0	%
	Haze	ASTM D1003	0.2	%
Thermal	Specific Heat		cal/cm · g · °C	0.35
	Heat Deflection Temperature	ASTM D648	°C	100
	Mold Shrinkage	ASTM D696	cal/cm · g · °C	$7 \cdot 10^{-5}$
	Thermal Conductivity	-	°C	$4.5 \cdot 10^{-4}$
Mechanical	Tensile Stress	ASTM D638	kgf/cm ²	760
	Tensile Strain	ASTM D638	%	5
	Flexural Strength	ASTM D970	kgf/cm ²	1200
	Flexural Modulus	ASTM D970	kgf/cm ²	$3.3 \cdot 10^{-4}$
	Rockwell Hardness	ASTM D781		2H

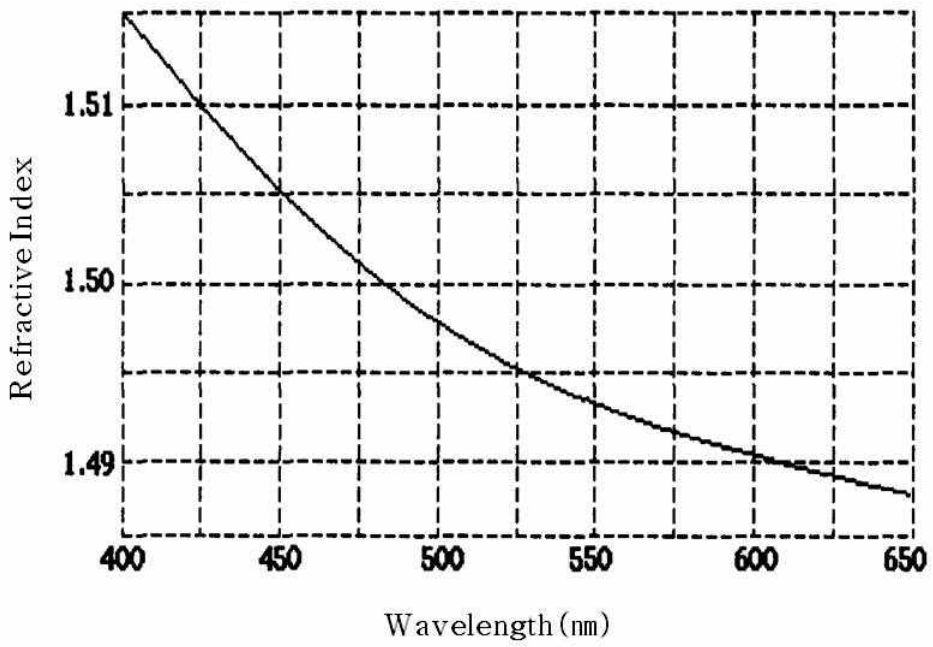


Figure 25. Refractive Index and Wavelength of PMMA.

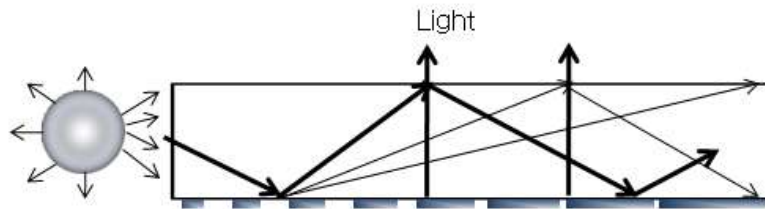
(3) 도광판에서의 빛 반사

도광판에서 빛은 램프에서 제공되고, 그 빛은 PMMA의 측면을 통해 도광판 내부로 투과가 이루어진다. 이때 PMMA 표면에서는 램프에서 제공되는 일정한 양의 빛을 반사시키게 되고 나머지 빛이 PMMA 내부로 들어가게 된다. PMMA 내부로 들어간 빛은 PMMA 자체의 광 투과율로 인해 점점 더 그 양이 감소하게 된다. 위에서 보았듯 여러 가지 환경에 따라 도광판 내부의 광량이 차이가 난다. 광량을 도광판 표면에 동일한 광량으로 반사시키기 위해서는 광량이 상대적으로 많은 광원쪽에 가까운 곳에서는 빛을 반사시키는 반사체를 작게 형성시켜 도광판 내부의 많은 빛 중 소량만 도광판 밖으로 반사시키고, 광원에서 멀어져서 광량이 적은 쪽에서는 빛을 반사시키는 반사체를 크게 형성시켜 비록 광량은 적지만 도광판 앞쪽으로 방출되는 광량이 많아져 전체적으로 도광판에서 방출되는 광량의 균형을 맞추게 된다.

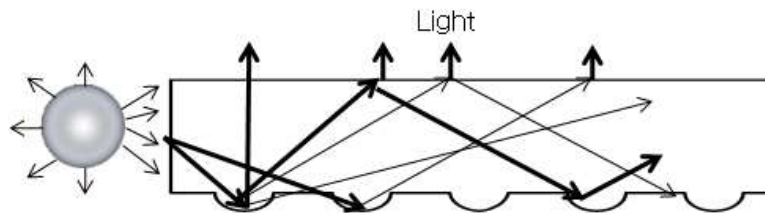
도광판에서는 램프로부터 입사되는 빛을 보다 효과적으로 반사시키고자 도광판의 배면에 인쇄나 V-Cutting 등의 방법을 통해 특유의 반사체를 형성시킨다. 이 반사체들은 모두 입사되는 빛을 앞부분으로 반사시키는 역할을 하는데 인쇄방식은 그림 26(a)에서와 같이 PMMA 뒷면에 특수 잉크를 소재로 점들을 인쇄하여 입사되는 빛을 그 점들에서 반사시키도록 하는 방법이다.

패터닝 방식으로는 그림 26(b)과 같이 보편적으로 스크린 프린트방식을 오랫동안 사용해 왔으며, 이러한 스크린 프린트방식의 패터닝 방식은 비교적 높은 생산성과 재현성 등이 안정화된 기술이나 다른 옵셋 등의 인쇄와는 달리 필름의 해상도, 제판 작업 시 망사의 종류와 장력, 각도 등이 인쇄하고자 하는 도광판의 패턴 크기와 피치 등이 긴밀하게 상관이 있어 이들의 상관관계를 규명하고 조절하는 것이 실로 많은 노하우를 필요로 하고 있다.

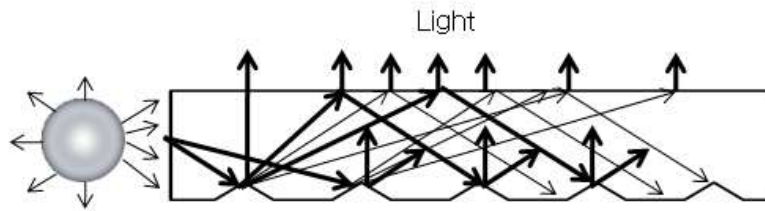
V-Cutting 방식은 그림 26(c)과 같이 PMMA 뒷면에 홈을 내어 그 홈들이 반사체 역할을 하여 빛의 방향을 바꾸어 전면으로 방출시시도록 하는 방법이다.



(a) Dot Printing method



(b) Screen Printing method



(c) V-Cutting method

Figure 26. LGP Patterning method.

(4) BLU의 광 손실

램프에서 출사한 빛은 BLU의 각 구성부분에 의하여 반사·투과의 반복된 경로를 따라 빛의 세기가 줄어든다. 각 Unit별 손실은 대체적으로 제조회사나 구조, 구동방식 및 재질에 따라 달라지며 그림 27은 광 손실의 원인을 나타낸다.

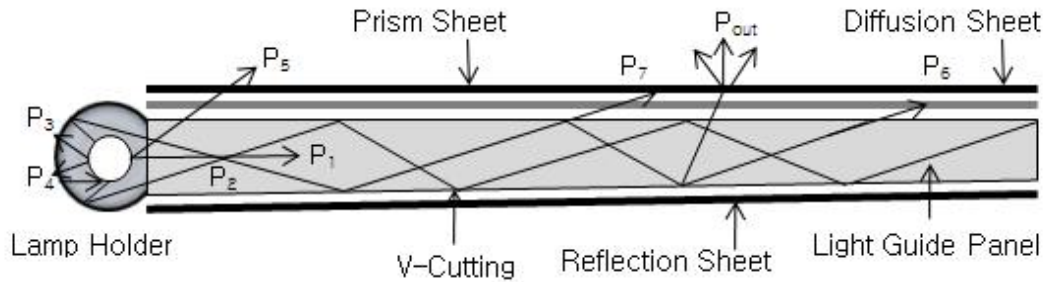


Figure 27. The cause of light loss.

P_0 는 Lamp로부터 나오는 전체 출력광

P_1 는 Lamp로부터 LGP로 직접 입사되는 광

P_2 는 Lamp Reflector에 의해 반사되어 LGP로 입사되는 광

P_3 는 Lamp Reflector속으로 흡수되는 광

P_4 는 Lamp Reflector에 의해 반사되어 램프에 의해 소실되는 광

P_5 는 Lamp로부터 나온 빛의 전체 출력 중 LGP로 입사되지 않는 광

P_6 는 도광판에서 확산필름으로 입사되는 광

P_7 는 확산필름에서 프리즘필름으로 입사되는 광

P_{out} 는 Backlight Unit 표면으로부터 나오는 전체 출력광

$$P_0 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 \quad (42)$$

$$\text{전체 광효율(Total Efficiency)} = \frac{P_{out}}{P_0} \times 100(\%) \quad (43)$$

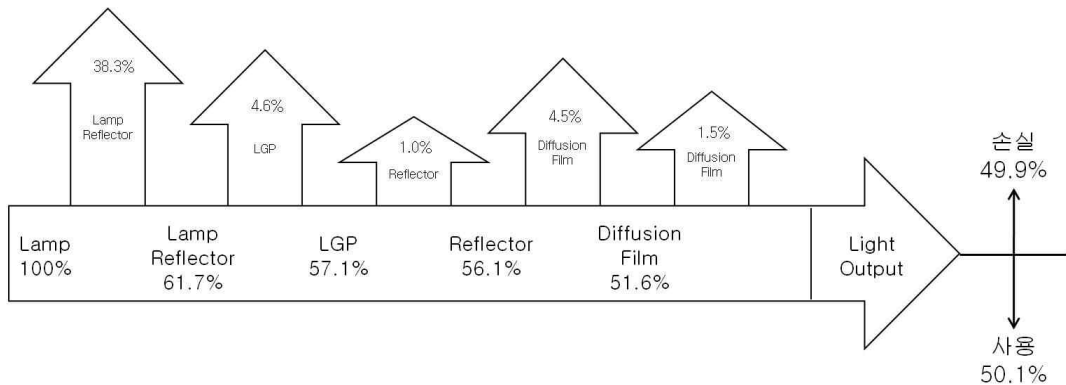


Figure 28. Loss factor according to the light path of BLU.

램프 사용 시 일반적인 손실은 그림 28과 같이 램프에서 출사한 빛은 Lamp Reflector에 의해 38.3 %의 손실이 생기며, 도광판으로 입사한 빛은 도광판에서 4.6 %의 손실이 생긴다. 밀면의 반사필름, 확산필름, 프리즘필름에 의해서 약 7 %의 손실이 생긴다. 램프에서 도광판으로 입사한 전체 광 중에 49.9 %는 각각의 구성요소들에 의해 손실되고, 남은 50.1 %를 이용해 면광원으로 이용하게 된다.

다. 패턴 설계

도광판 내에서 산란패턴에 부딪히는 빛은 다양한 각도로 입사된다. 입사 후 산란되는 광 특성도 패턴의 모양이나 종류에 따라 다양한 양상을 나타내기 때문에 모든 산란 패턴은 각각의 고유한 광산란 특성을 갖게 된다. 또한 도광판 시작부분에서 전반사되어 진행되는 빛이 많아야하기 때문에 패턴의 크기나 밀도를 작게 하는 반면 광원에서 떨어져 광량이 적은 부분은 반사체를 많이 형성시켜 도광판 전면부로 방출하는 광량을 증가시켜 도광판 전체에서 방출되는 광량의 균형을 맞추게 된다. 이러한 반사체의 역할을 하는 것이 외부산란패턴인데, 이 패턴의 간격과 형상을 조절하는 것은 도광판에서 전면부로 방출되는 빛의 균일도를 높이는데 가장 중요한 요소로 작용한다[54-55].

패턴 설계는 도광판의 성능을 최적화시키는 작업이며 이는 백라이트 개발에 있어 가장 중요한 기술 중의 하나라 할 수 있다. 본 연구는 이런 점들을 감안하여 가

로, 세로 38 mm×38 mm 가공깊이 2.7 mm이내의 기본패턴영역을 설정하였고, 레이저 가공 시 출력에 따른 가공 폭과 가공깊이의 기초실험에 의거하여 기본적인 가공폭을 0.5 mm로 설정하였다. 외부산란패턴의 특성을 파악하고자 그림 29와 같이 도광판 밑면에만 가공될 산란패턴을 설계하여 가공높이와 패턴간격에 변화를 주면서 동일한 가공변수를 적용시켜 전산모사 하였다.

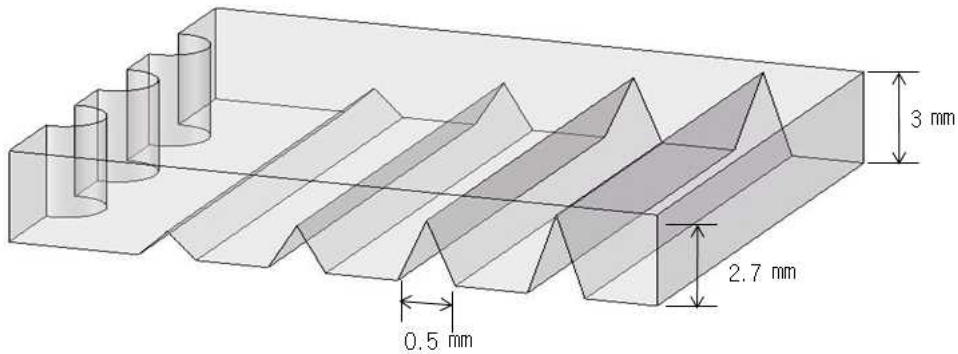


Figure 29. Design of laser-induced scatterer patterns.

도광판 내부에 산란체를 형성시켜 내부에서 야기되는 광량의 손실을 감소시켜 줄 뿐 아니라 보다 나은 휘도 분포와 균일도 향상에 기여할 수 있는 도광판 설계 및 패턴조건을 파악하고자 패턴의 가공 폭은 0.5 mm로 동일한 조건에 가공높이의 가공변수를 0.1 mm, 0.3 mm, 0.5 mm로 설정하고, 그림 30, 31, 32와 같이 패턴 간격에 대한 가공변수로 1.5 mm, 2.5 mm, 3.5 mm를 설정하여 평면패턴을 설계하였다.

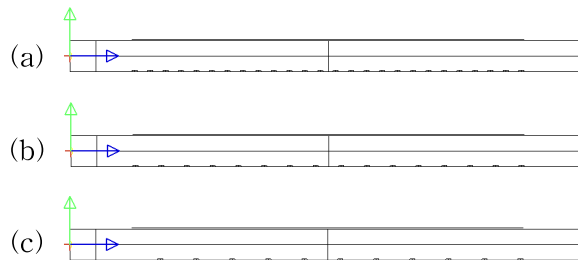


Figure 30. Distance change of plane patterns(depth 0.1 mm); (a)distance 1. 5mm, (b)distance 2.5 mm, (c)distance 3.5 mm.

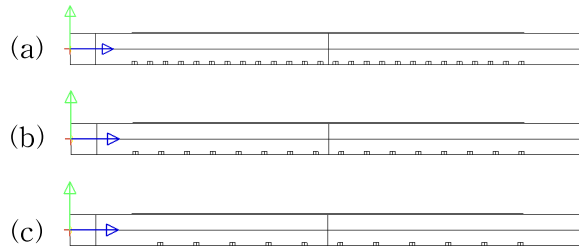


Figure 31. Distance change of plane patterns(depth 0.3 mm); (a)distance 1.5 mm, (b)distance 2.5 mm, (c)distance 3.5 mm.

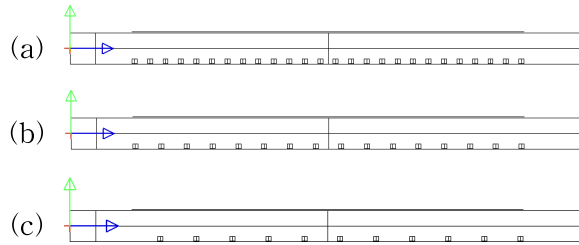


Figure 32. Distance change of plane patterns(depth 0.5 mm); (a)distance 1.5 mm, (b)distance 2.5 mm, (c)distance 3.5 mm.

가공높이 및 패턴간격의 증가에 따른 평균휘도와 균일도 변화를 전산모사 하였고, 변화에 따른 평균휘도와 균일도를 비교 분석하였다. 도광판 하부에만 패턴이 적용된 평면패턴의 경우에는 후면의 산란패턴에 부딪힌 광이 난반사되어 진행하는 빛이 적으므로 상부로 방출되지 않음으로 인해 휘도분포와 균일도가 현저히 낮음을 확인할 수 있었다. 이 문제를 해결하기 위해 광원으로부터 멀어지는 쪽의 산란체를 위로 올려주어 가급적 산란패턴에 더 많은 광이 상부로 방출되어 휘도분포와 균일도 향상시킬 수 있도록 패턴을 조절하는 것이 중요하다.

이에 패턴간격과 가공높이의 제어에 따라 휘도분포와 균일도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단되는 바, 광원으로부터 멀어지는 쪽의 산란체를 위로 올려주어 가급적 산란패턴에 더 많은 광이 상부로 방출되어 휘도분포와 균일도 향상시킬 수 있도록 설계하였다.

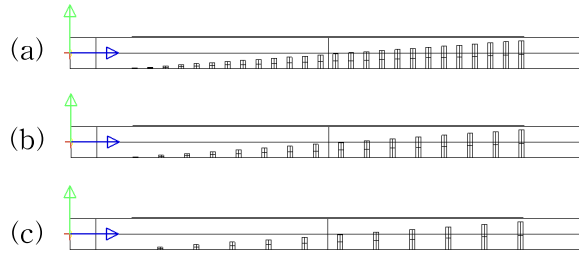


Figure 33. Distance change of slope patterns(slant 90 %); (a)distance 1.5 mm, (b)distance 2.5 mm, (c)distance 3.5 mm.

도광판 후면의 패턴영역에 위치한 가공높이를 그림 33과 같이 도광판 두께의 90%인 2.7 mm로 설정하여 기울기를 4.06°로 경사패턴을 설계하였고, 평면패턴의 경우와 동일하게 패턴 간격의 변화에 따른 평균회도와 균일도를 비교 분석하였다.

또한 기울기의 변화에 따른 도광판의 휘도분포와 균일도 향상을 위해 도광판 후면의 패턴영역에 위치한 가공높이를 그림 34, 35, 36과 같이 도광판 두께의 50 % 인 1.5 mm로 설정하여 기울기를 2.26046°로, 70%인 2.1 mm로 설정하여 기울기를 3.16294°로, 90%인 2.7mm로 설정하여 경사패턴의 기울기에 따른 평균회도와 균일도를 비교 분석하였다.

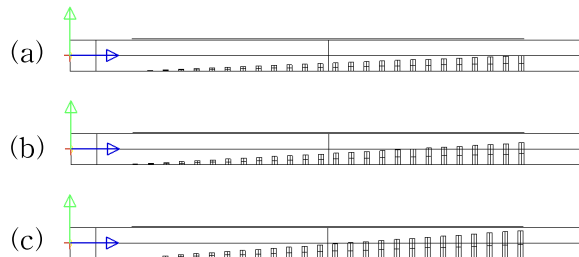


Figure 34. Slant change of slope patterns(distance 1.5 mm); (a)Slant 50 % about thickness(3 mm), (b)Slant 70 % about thickness(3 mm), (c)Slant 90 % about thickness(3 mm).

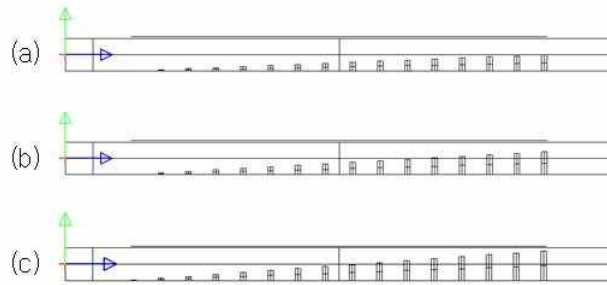


Figure 35. Slant change of slope patterns(distance 2.5 mm); (a)Slant 50 % about thickness(3 mm), (b)Slant 70 % about thickness(3 mm), (c)Slant 90 % about thickness(3 mm).



Figure 36. Slant change of slope patterns(distance 3.5 mm); (a)Slant 50 % about thickness(3 mm), (b)Slant 70 % about thickness(3 mm), (c)Slant 90 % about thickness(3 mm).

2. 전산모사 조건

본 연구에서 전산모사를 대상으로 설정한 도광판은 최근 중요한 기술적 진보로 받아들여지고 있는 LED 백라이트를 이용한 LCD TV용 도광판으로 보통 박형화를 위해 3 mm의 두께를 가진 도광판의 세 개의 입광면에 백색 LED를 배치하여 균일광을 구현한다.

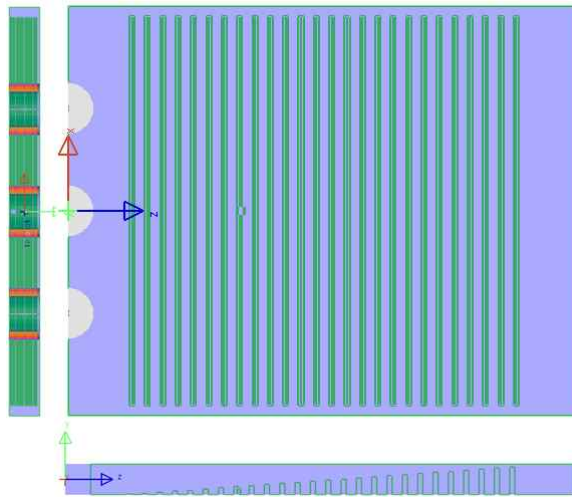


Figure 37. Scatterer pattern processed by Simulation (beam width : 500 μm).

그림 37과 같이 도광판의 좌표 (0, 0, 0)를 중심으로 x축 좌우 10 mm간격에 각각 3개의 광원을 위치시켜 도광판에 의해 유도된 빛이 y축으로 방사되도록 설계하였다. 또한 외부산란패턴이 휘도 균일도 향상에 효과적인지를 판단하기 위해서 면적이 50×40 mm²이고 두께 3 mm인 작은 사이즈의 도광판에 마킹 영역은 38 mm×38 mm (가로×세로)에 도광판의 두께 90 %인 가공높이 2.7 mm이하의 조건으로 산란패턴을 설계하였다. 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 그림 38과 같은 광학 및 조명기구 설계 및 해석프로그램으로 LightTools(Optical Research Associates)라는 광선추적기법 (ray tracing technique) 소프트웨어를 활용하였다.

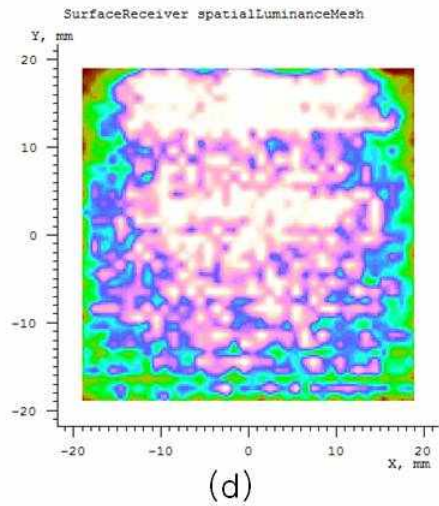
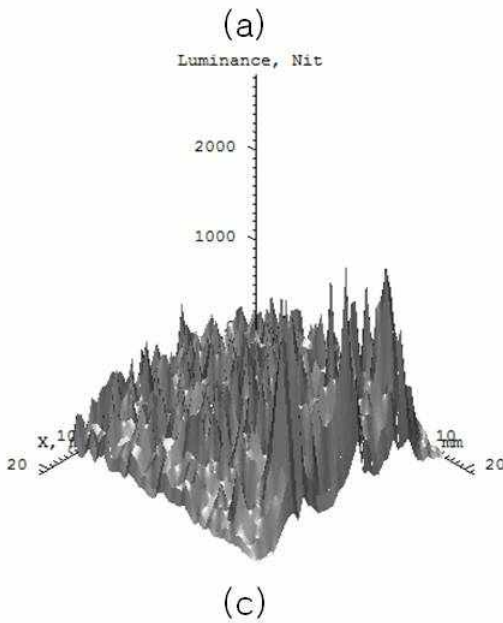
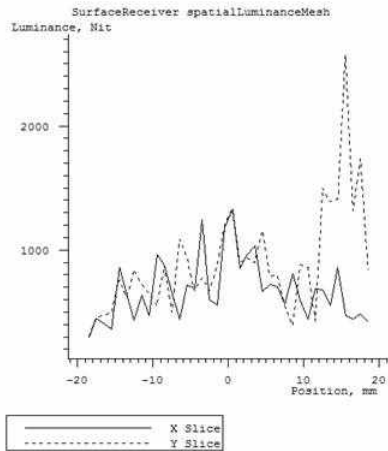
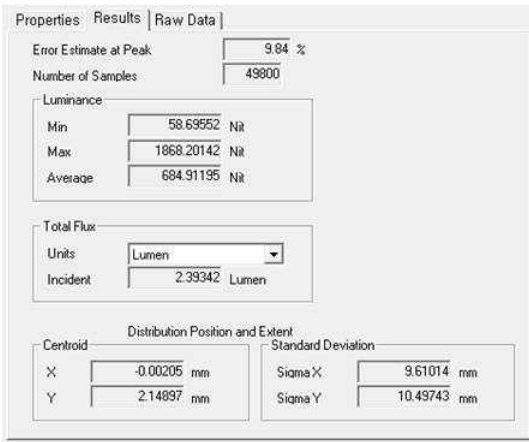


Figure 38. Construction implement about results of Simulation; (a)Summary to the construction results of LGP, (b)Distribution of luminance according to the LGP area, (c)Three-dimensional distribution of luminance to the all over LGP, (d)Two-dimensional distribution of luminance to the all over LGP.

3. 백라이트 모델의 구성 및 분석방법

도광판 내부 산란패턴을 제작하여 전산모사를 수행하기 위해 적용한 도광판의 재질은 굴절률 1.49의 PMMA(Polymethylmethacrylate)로 각 면의 광학특성은 투과율 100 %로 설정하였으며, 광원은 현재 시판중인 LED 모델인 Phtometric Flux 4.4Lumen, view angle이 70°이고 Total Induced angle이 100°인 고휘도 White LED인 HW321A와 동일한 규격과 특성을 같은 광원을 설계하여 3개를 각각 y=10 mm, 0 mm, -10 mm 위치에 놓고, 빛은 z축으로 진행하도록 하였다. 또한 휘도는 방향성을 가진 개념이므로 z축 방향으로 10.375 mm떨어진 부분에 Surface receiver를 설치하여 평가하도록 하였다. 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 광선의 개수는 조건 당 500,000개로 설정하여 5 %이내의 오차 범위로 평균휘도와 이에 따른 균일도를 정량화 하였다.

BLU용 광학 부품들을 전산모사 했을 경우 보다 정확하고 효율적으로 구현하기 위해서 부품의 본질적인 특성들만 정확하게 반영하여 가능한 한 단순하게 모델을 구축하는 것이 중요하다. 따라서 그림 39와 같이 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 산란패턴 설계에 목적을 두고 가공변수의 조건에 따른 결과를 비교하여 이중 가장 적합한 패턴의 데이터를 분석하였다.

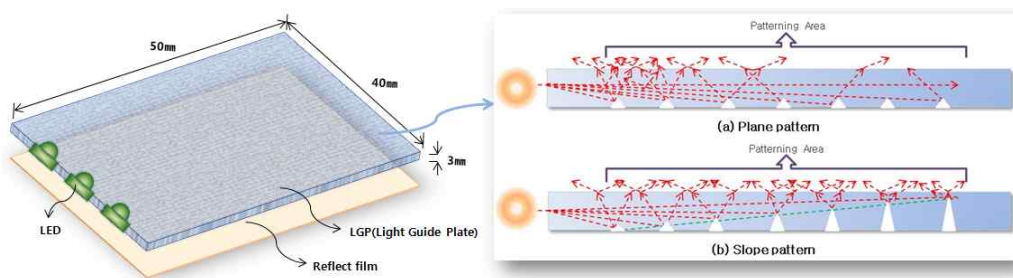


Figure 39. The proposed LGP model based on outside scattering pattern design.

제 3절 산란패턴의 가공 및 측정

1. 레이저에 의한 산란패턴의 가공

본 연구에서 사용된 CO₂ 레이저 발생장치는 표 6과 같이 미국 SYNRAD사의 HC-20이고, 평균 출력은 14 W, 최대 출력 17 W로 TEM₀₀ mode의 빔스캔 방식 CW(연속출력)레이저빔을 사용하고, PWM(Pulse Width Modulation)의 동작 방식을 채택하고 있다. 공진기에서 발생하는 레이저 빔의 직경은 3mm 이지만 이를 ZnSe가 코팅된 X-Y 초점 위치 제어 반사 거울(galvanometer scan mirror)의 규격에 맞추기 위해 볼록렌즈와 오목렌즈를 혼합한 2.7배의 빔 확대기를 사용하였다. 이는 레이저 빔을 집광시켰을 때 빔의 에너지 밀도를 높여주고, 초점 렌즈와 가공물 사이의 적당한 간격을 유지시켜주기 위함이다.

일반적으로 레이저의 빔 발산각은 3 ~ 6mR 정도를 유지하는데 본 실험에 사용된 장비는 4mR의 빔 발산각을 가진다. 가공헤드의 집속 광학계는 초점거리가 6 inch인 반사형광학계가 사용되고, 가공에 적합한 출력밀도의 빔을 제어할 수 있다. 마킹 시 렌즈의 수차를 최소화 시켜주기 위해 초점렌즈는 152.4 mm의 ZnSe코팅의 평면-볼록(Plano-convex) f- θ 렌즈를 사용하였다. 레이저 특성상 공진기에서 빔을 발생시킬 때 많은 열을 동반하기 때문에 본 실험에 사용된 CO₂ 레이저는 공진기 양쪽에 팬을 부착시킨 공기 냉각 방식을 채택하였다.

또한 레이저에서 생성된 빔을 소프트웨어에서 설정한 가공 경로를 따라 2차원 평면에 주사시키기 위한 레이저 가공 시스템을 활용하였다. 가장 우선적으로 고려한 사항은 빠른 시간 내에 정확한 형상을 가공할 수 있도록 시스템을 구성하는 것인데 소프트웨어 부분에서 설정한 경로를 따라 도광관을 최소한의 오차로 신속하게 가공하기 위해서 높은 정밀도와 민첩한 특성을 가진 갈바노미터 제어기가 필요하다. 본 연구에서는 투명 재질로 광 투과율이 높은 PMMA 수지에 대한 가공 적합성을 고려하여 CO₂ 레이저를 이용하였으며, 그림 40과 같이 고속 가공을 위해 컴퓨터 제어 방식의 빔 스캐닝 장치를 이용하여 기존의 V-cutting 방식과 유사한 패턴의 마킹을 수행하였다.

Table 6. Specifications of CO₂ laser system.

Model	Synrad HC-20
Wavelength	10.6 μm
Operation Mode	PWM(Pulse Width Modulation)
Out Power	Max. 17 W Ave. 14 W
Beam Diameter	3 mm
Beam Divergence	4mRad
Beam Expander	$\times 2.7$
Focus Lens	152.4 mm, f- θ lens
Spot Size	120 μm
Power Supply	AC 220 V three-phase, 60 Hz, 15 A
Cooling Method	Air

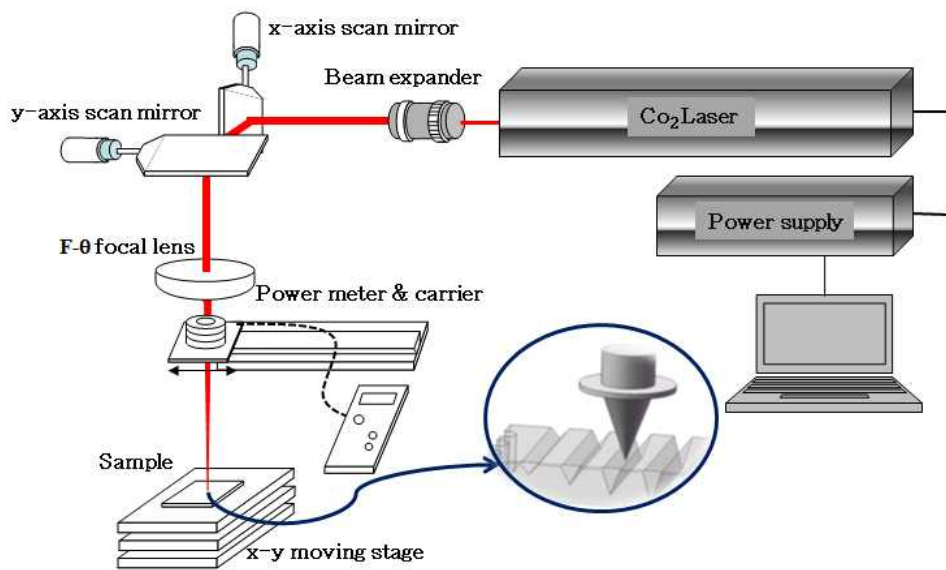


Figure 40. Schematic of CO₂ laser system include focusing diagram.

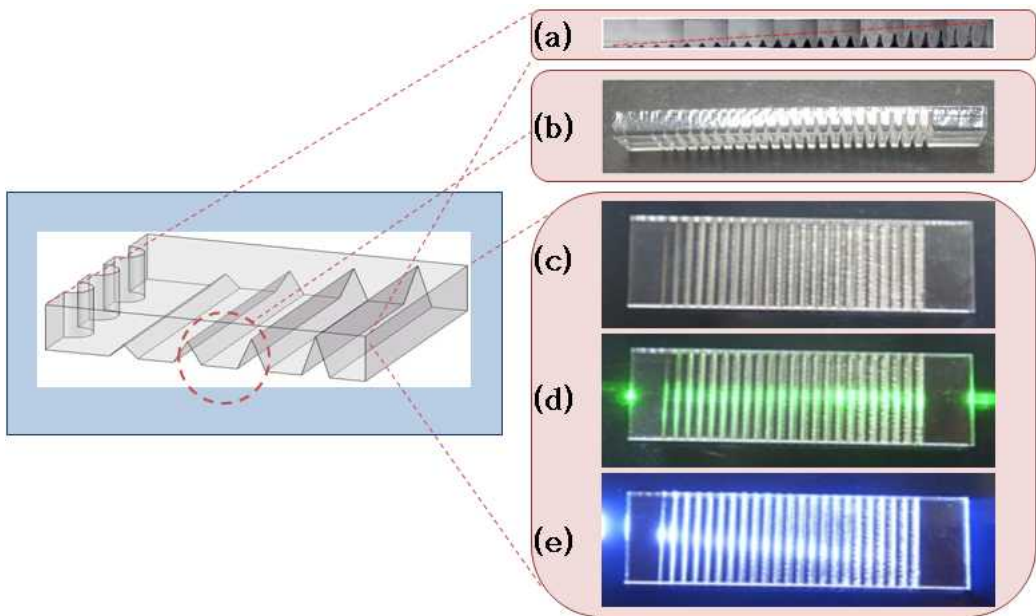


Figure 41. Scattering pattern by CO₂ laser; (a)image of Optics microscope of processing scattering patterns (b)side view made by scattering pattern (c)diagram of LGP made by scattering pattern in case of the no light source (d)scattering by Laser (e)scattering by LED.

2. 면휘도계에 의한 측정

CO₂ 레이저를 이용하여 가공된 샘플의 휘도와 균일도의 측정을 위해 표 7의 사양을 갖는 면휘도 측정기(Minolta사의 Chroma Meter CS-100A)를 사용하였다. 그림 42와 같은 면휘도 측정기는 광원의 휘도, 색도 및 반사물체색 측정이 가능하며 휘도계의 기준점에서 피측정 면적으로 퍼지는 측정각이 1도인 고정도 비접촉식 휘도계이다. 1도 측정각 적용으로 직경 14.4 mm(측정 거리 1014 mm)까지 측정이 가능하고, Close-up lens 적용 시에는 직경 1.3 mm까지도 측정 할 수 있다. 색차 측정 가능하고 User calibration 가능하며, cd/m² 및 fL의 Luminance Unit를 선택 할 수 있다. 배터리로 구동이 가능하고 Compact한 디자인으로 휴대성이 매우 우수하며, 간단한 시스템을 꾸미기에 적당한 경량의 장비이다. 디스플레이 장치 및 각종 광원과 조명 장치의 휘도와 색도 측정에 적용할 수 있는 Spot 방식의 휘도계이다.

기존 휘도계를 이용한 점 측정방식은 측정 대상의 휘도값을 기입하는 방식으로 휘도 측정에 있어 수치에 의한 표현 방식이다. 면 측정방식은 이러한 점 측정방식의 집합체로 이루어진 방식이라 할 수 있다. 휘도계는 대부분 렌즈식이므로 렌즈계에 의해 피측정면의 상을 연결하면 그 상면에 작은 구멍이 뚫린 차광판을 놓고 구멍을 통과한 빛만을 광전 소자에 입사시키도록 한 것으로 일정면적에 입사하는 광속을 측정하는 방법으로 상면조도의 측정기라 할 수 있다.

휘도분포를 조사하려면 휘도계의 측정각 안이 일정한 휘도가 되어야 하므로 휘도계의 측정각이 작은 휘도계를 사용하여 되도록 다수의 측정 위치에 대하여 측정하는 것이 바람직하다. 휘도계는 측정대상물이 휘도계의 측정각에 들어가는 부분의 평균휘도를 측정값으로 표시하므로 측정값의 정확성을 위해서는 휘도계의 측정각이 측정 대상물로 완전히 채워지고 휘도계 측정각내의 휘도가 일정한 것이 바람직하다.

Table 7. Specifications of luminance measurement setup.

Model	Chroma Meter CS-100A
Type	SLR spot colorimeter for measuring light-source and surface luminance and chromaticity
Measuring angle	1°
Optical system	85mm f/2.8 lens ; SLR viewing system; flare factor less than 1.5%
Angle of view	9° with 1° measurement area indication
Luminance units	cd/m ² or fL
Power source	One 9V battery
Operating temperature/humidity range	0 to 40°C, relative humidity 85% or less(at 35°C) with no condensation

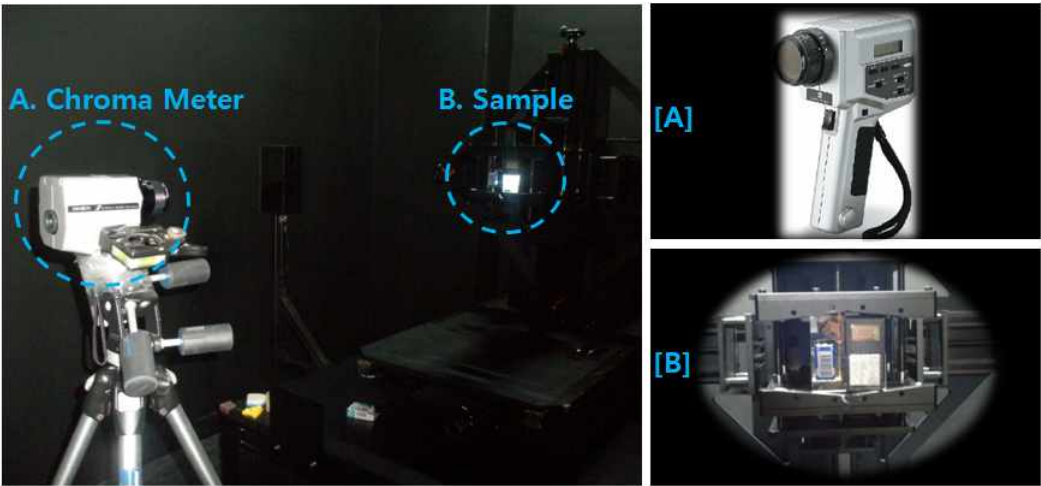


Figure 42. Specification of luminance measurement setup.

제 4장 결과 및 고찰

빛은 광원으로부터 멀어지면 투명한 PMMA 재질이라 할지라도 그 내부에서 진행하는 빛의 세기는 대기 중에서 보다 더 빨리 감소하기 때문에 광원으로부터 거리가 최대로 멀어지는 후면부에서도 균일한 빛의 반사를 유도하기 위해서 도광판의 바닥면에 특정한 산란패턴을 형성시켜 산란체 역할을 하도록 하였다. 우선 하단의 표면에 산란패턴의 가공높이와 간격의 변화를 적용하여 측면의 광원으로부터 동일하게 입사되는 광량에 대하여 도광판 상단에서 투과되는 빛의 평균밝기와 이에 따른 균일도를 전산모사하여 비교 분석 하였다. 이 결과를 바탕으로 도광판 전면부에서 균일한 휘도분포를 가지게 하기 위해 실제 레이저를 이용한 산란패턴을 가공하여 가공변수에 따른 도광판 성능의 변화를 전산모사의 결과와 비교하였다.

이를 통해 패턴의 간격과 형상을 조절하는 것은 도광판에서 전면부로 방출되는 빛의 균일도를 높이는데 가장 중요한 요소로 작용함을 알 수 있었다. 도광판의 휘도는 산란패턴에 영향을 받을 뿐만 아니라 입사 광원의 광 세기에도 영향을 받기 때문에 본 연구에서는 도광판 패턴을 제작할 때 휘도세기보다는 평균휘도 및 균일도에 집중하여 분석하고자 하였다.

실험결과 평균휘도는 산란패턴이 형성된 도광판 상부에서의 전체적인 밝기의 평균값을 의미하며 균일도는 산란패턴이 형성된 도광판 상단부에서의 최소밝기 값을 최대밝기 값으로 나눈 것을 의미한다. 도광판 입사부에 위치한 LED에서 입사된 빛이 도광판 내부로 전달되고, 도광판에 생성된 산란패턴에 산란된 광의 상당부분이 상부로 방출되는데 이때 상부로 방출되는 빛의 밝기와 밝기분포 균일도에 주요한 영향을 미치는 인자를 패턴 간격의 비율과 가공높이로 선정하고 그 수준을 결정하였다.

제 1절 평면산란패턴의 조건에 따른 특성

실제 가공할 레이저의 빔 사이즈를 고려하여 가공 폭을 0.5 mm로 설정하였고, 패턴의 간격은 가공 폭이 0.5 mm임을 고려하여 최소 1.5 mm부터 1 mm씩 간격을 증가시켜 설계하였다. 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 전사모사 결과를 비교 분석하였다.

평면산란패턴의 결과를 바탕으로 평균휘도와 균일도 향상을 기대할 수 있는 동일한 조건의 가공 폭 0.5mm인 경사패턴을 제작하였으며, 더불어서 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.

분석조건을 동일하게 적용시켜 전산모사의 경우와 실제 레이저 가공의 측정결과를 비교하기 위하여 그림 43과 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.

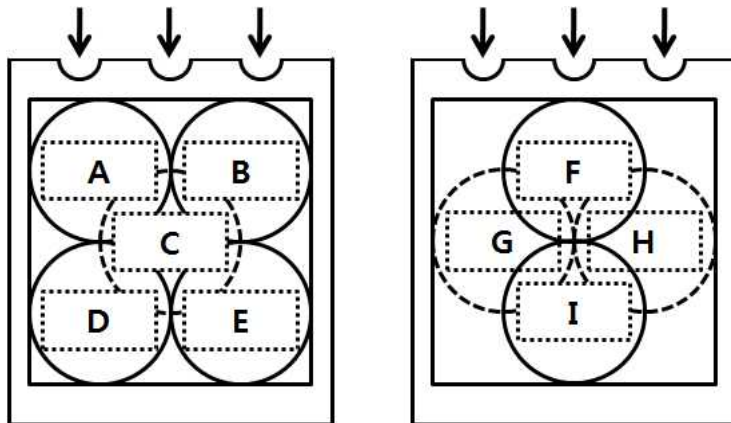


Figure 43. The method of Calculation about Measurement value.

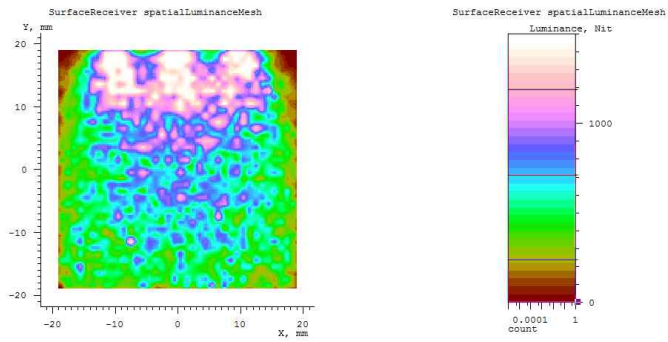
1. 평면산란패턴의 조건에 따른 전산모사 결과 분석

가. 가공높이의 변화에 따른 결과

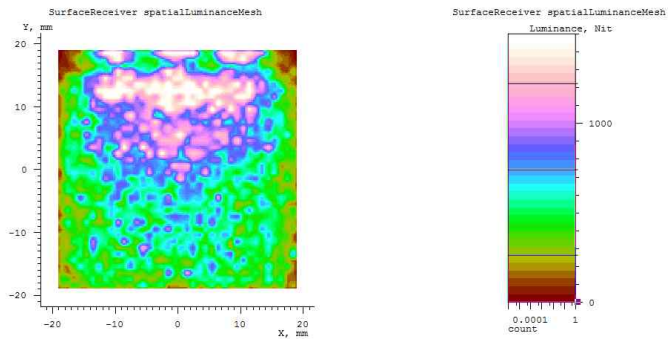
평면산란패턴의 간격이 1.5 mm인 경우 가공 높이가 0.1 mm, 0.3 mm, 0.5 mm로 증가함에 따른 실험결과는 그림 44와 같고, 이에 따른 평균휘도와 균일도는 표 8과 같다. 그림 45에서 평면산란패턴의 간격이 1.5 mm인 경우 패턴의 가공높이의 증가에 따른 평균휘도와 균일도를 비교 분석하였다.

그림 44(a)와 같이 도광판에 가공 높이 0.1 mm인 산란패턴을 형성시켰을 경우 평균휘도는 571.4 cd/mm²로 이는 입사부와 가까운 부분의 패턴과 입사광에 의한 강한 산란으로 인하여 상부로 방출되어지는 광량이 많아져 입사부와 가까운 부분의 밝기가 두드러지게 된 결과로 보이지만, 도광판 후면으로 들어갈수록 밝기가 어두워져 균일도는 11.7 %정도 밖에 미치지 못한다. 그림 44(b)에서와 같이 도광판에 가공 높이 0.3mm인 산란패턴을 형성시키면 평균휘도는 559.4 cd/mm²로 가공 높이 0.1 mm인 패턴에 비해 입사부 쪽에서의 산란이 다소 감소됨을 보여 상부로 방출되어지는 광량이 줄어들게 되어 평균 휘도가 감소함을 보였지만 상대적으로 균일도는 23.2%정도로 약 2배 증가함을 보였다.

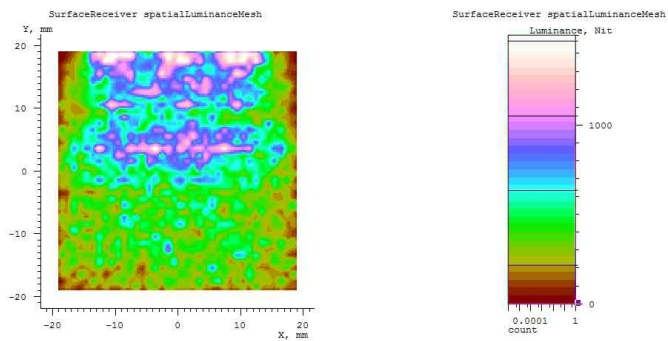
그림 44(c)와 같이 가공 높이를 0.5 mm로 증가시켰을 때의 평균휘도는 502.2 cd/mm²로 가공 높이가 0.1 mm인 패턴에 비해 입사부 쪽에서의 산란이 상당부분 감소되었고, 이에 상부로 방출되어지는 광량이 줄어들게 되어 평균 휘도가 감소함을 보였지만 균일도는 31.5 %로 약 2.7배 향상됨을 나타냈다. 평면산란패턴의 가공 높이가 증가할수록 입사부와 가까운 패턴에 의해 후면으로 향하게 되는 광을 차단하게 되어 도광판 후면으로 들어갈수록 상대적으로 상부로 방출되어지는 광량이 감소함에 따라 밝기가 어두워지게 된다. 결과적으로 패턴 간격이 1.5 mm인 평면산란패턴의 경우는 그림 45와 같이 가공 높이의 증가에 따라 평균 휘도는 감소하는 반면 균일도는 향상됨을 알 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

Figure 44. The measurement to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by Simulation; (a)Depth 0.1 mm, (b)Depth 0.3 mm, (c)Depth 0.5 mm.

Table 8. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by Simulation.

Pattern shape	Depth (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P1.5	0.1	571.4	11.7
P1.5	0.3	559.4	23.2
P1.5	0.5	502.2	31.5

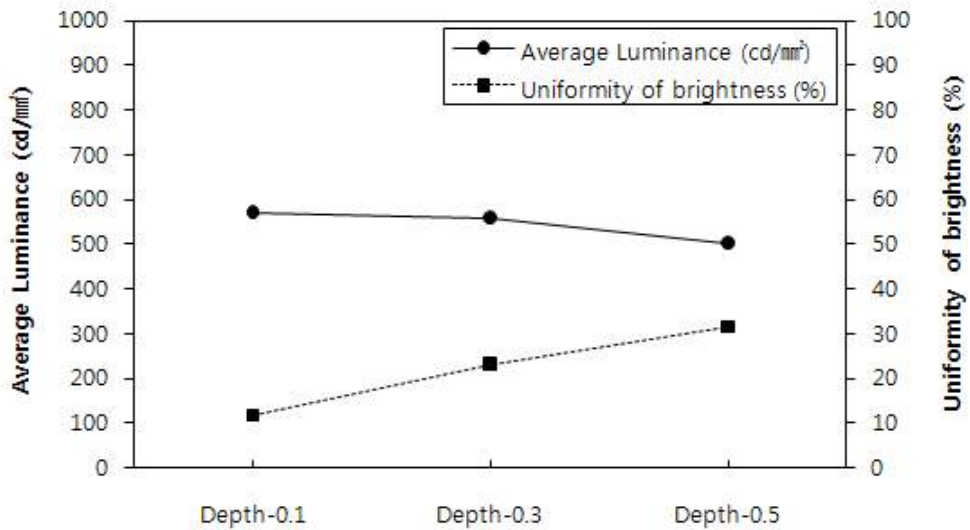
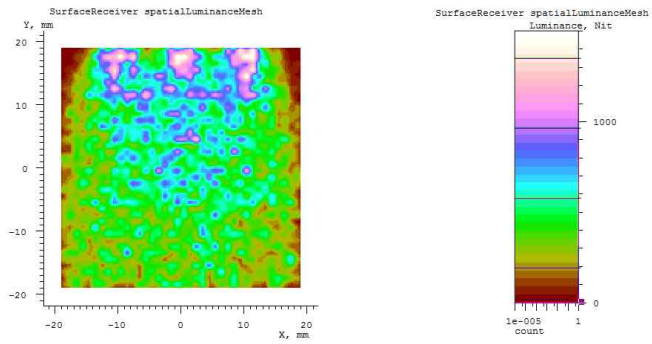


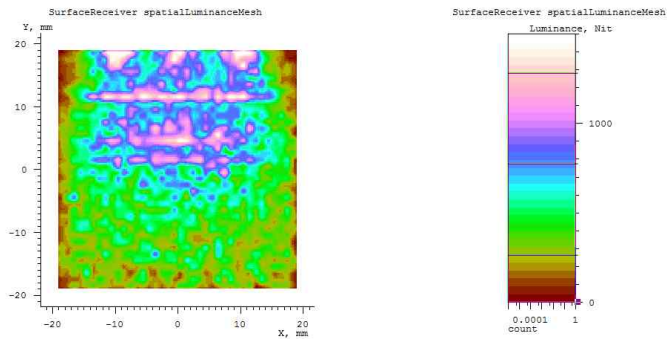
Figure 45. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by Simulation.

그림 46은 평면산란패턴의 간격이 2.5 mm인 경우 가공 높이가 0.1 mm, 0.3 mm, 0.5 mm로 증가함에 따른 실험결과를 보여준다. 이에 따른 평균휘도와 균일도는 표 9와 같고, 그림 47은 평면산란패턴의 간격이 2.5 mm인 경우 패턴의 가공높이의 증가에 따른 평균휘도와 균일도를 비교 분석하였다. 그림 46(a)과 같이 도광판에 가공 높이 0.1 mm인 산란패턴을 형성시켰을 경우 평균휘도는 454.7 cd/mm²로 이는 입사부와 가까운 부분의 패턴과 입사광에 의한 강한 산란으로 인하여 상부로 방출되어지는 광량이 많아져 입사부와 가까운 부분의 밝기가 두드러지게 된 결과로 보이지만, 도광판 후면으로 들어갈수록 밝기가 어두워져 패턴의 간격이 1.5 mm인 경우와 마찬가지로 균일도는 14 %정도 밖에 미치지 못한다. 그림 46(b)에서와 같이 도광판에 가공 높이 0.3 mm인 산란패턴을 형성시키면 평균휘도는 536.5 cd/mm²로 가공 높이가 0.1 mm인 패턴에 비해 입사부 쪽에서의 산란이 다소 감소되면서 후면의 패턴에 의해 산란되어 상부로 방출되어지는 광량이 많아지게 되므로 평균 휘도가 증가함을 보였고 이로 인해 균일도 또한 32.7 %정도로 약 2.3배 증가함을 알 수 있었다. 그림 46(c)은 가공 높이가 0.5 mm인 경우로 가공 높이 0.1 mm인 패턴과 비교했을 때 평균휘도가 458.1 cd/mm²로 거의 변화가 없음에 비해 균일도는 39.1 %로 약 2.8배 향상됨을 나타냈다.

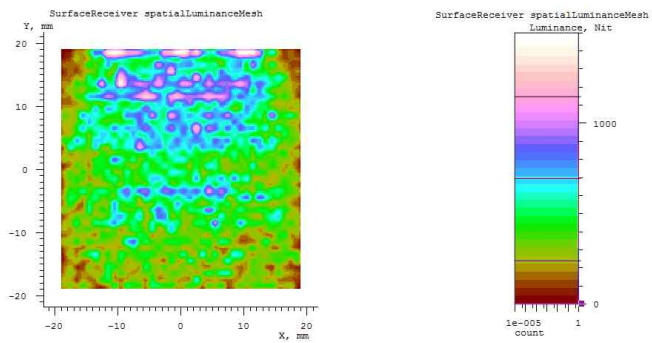
평면산란패턴의 가공 높이가 증가할수록 입사부와 가까운 패턴에 의해 후면으로 향하게 되는 광을 차단하게 되어 도광판 후면으로 들어갈수록 상대적으로 상부로 방출되어지는 광량이 감소함에 따라 밝기가 어두워지게 된다. 패턴 간격이 1.5 mm인 평면산란패턴의 경우와 비교했을 때 패턴간의 간격이 넓어짐에 따라 산란체의 개수가 감소하게 되어 도광판 상부로 방출되는 광량이 적어짐으로 인해 평균휘도는 다소 감소하였지만 그림 47과 같이 결과적으로 가공 높이의 증가에 따라 평균휘도는 감소하는데 반해 균일도는 향상됨을 알 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

Figure 46. The measurement to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by Simulation; (a)Depth 0.1 mm, (b)Depth 0.3 mm, (c)Depth 0.5 mm.

Table 9. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by Simulation.

Pattern shape	Depth (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P2.5	0.1	454.7	14.0
P2.5	0.3	536.5	32.7
P2.5	0.5	458.1	39.1

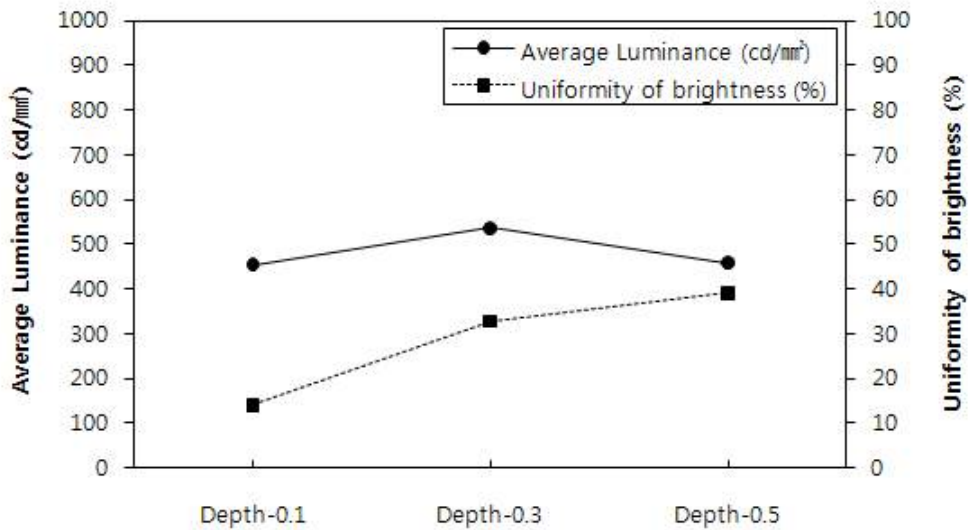
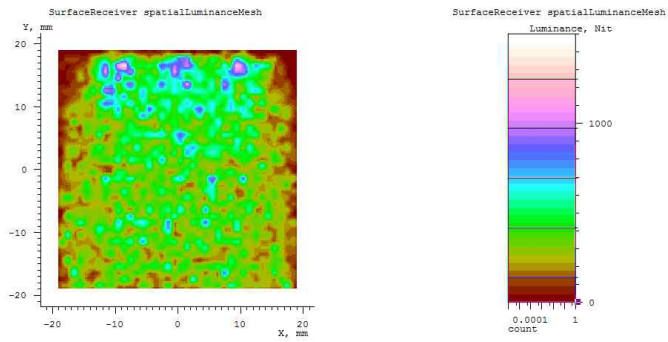


Figure 47. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by Simulation.

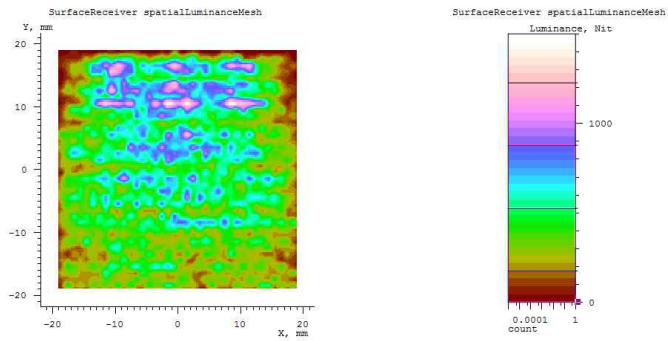
그림 48은 평면산란패턴의 간격이 3.5 mm인 경우 가공 높이가 0.1 mm, 0.3 mm, 0.5 mm로 증가함에 따른 실험결과를 보여준다. 이에 따른 평균휘도와 균일도는 표 10과 같고, 그림 49는 평면산란패턴의 간격이 3.5 mm인 경우 패턴의 가공높이의 증가에 따른 평균휘도와 균일도를 비교 분석한 결과를 보여준다. 그림 48(a)과 같이 도광판에 가공 높이 0.1 mm인 산란패턴을 형성시켰을 경우 평균휘도는 328.4 cd/mm²로 이는 입사부와 가까운 부분의 패턴과 입사광에 의한 강한 산란으로 인하여 상부로 방출되어지는 광량이 많아져 입사부와 가까운 부분의 밝기가 두드러지게 된 결과로 보이지만, 도광판 후면으로 들어갈수록 밝기가 어두워져 패턴의 간격이 1.5 mm인 경우와 비슷하게 균일도는 19.9 %정도 밖에 미치지 못한다.

그림 48(b)에서와 같이 도광판에 가공 높이 0.3 mm인 산란패턴을 형성시키면 평균휘도는 423 cd/mm²로 가공 높이 0.1 mm인 패턴에 비해 입사부 쪽에서의 산란이 다소 감소되면서 후면의 패턴에 의해 산란되어 상부로 방출되어지는 광량이 많아지게 되므로 평균 휘도가 증가함을 보였고 이로 인해 균일도 또한 35.9 %정도로 증가함을 알 수 있었다.

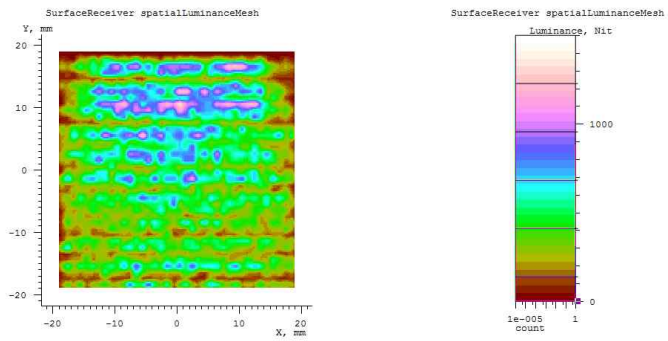
그림 48(c)은 가공 높이가 0.5 mm인 경우로 가공 높이 0.1 mm인 패턴과 비교했을 때 평균휘도가 380 cd/mm²로 거의 변화가 없음에도 불구하고 균일도는 36.9 %로 약 1.8배 향상됨을 나타냈다. 그림 49에서와 같이 평면산란패턴의 가공 높이가 증가할수록 입사부와 가까운 패턴에 의해 후면으로 향하게 되는 광을 차단하게 되어 도광판 후면으로 들어갈수록 상대적으로 상부로 방출되어지는 광량이 점차 감소함에 따라 밝기가 어두워지게 됨을 확인 하였다.



(a)



(b)



(c)

Figure 48. The measurement to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5 mm) by Simulation; (a)Depth 0.1 mm, (b)Depth 0.3 mm, (c)Depth 0.5 mm.

Table 10. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5mm) by Simulation.

Pattern shape	Depth (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P3.5	0.1	328.4	19.9
P3.5	0.3	423.0	35.9
P3.5	0.5	380.0	36.9

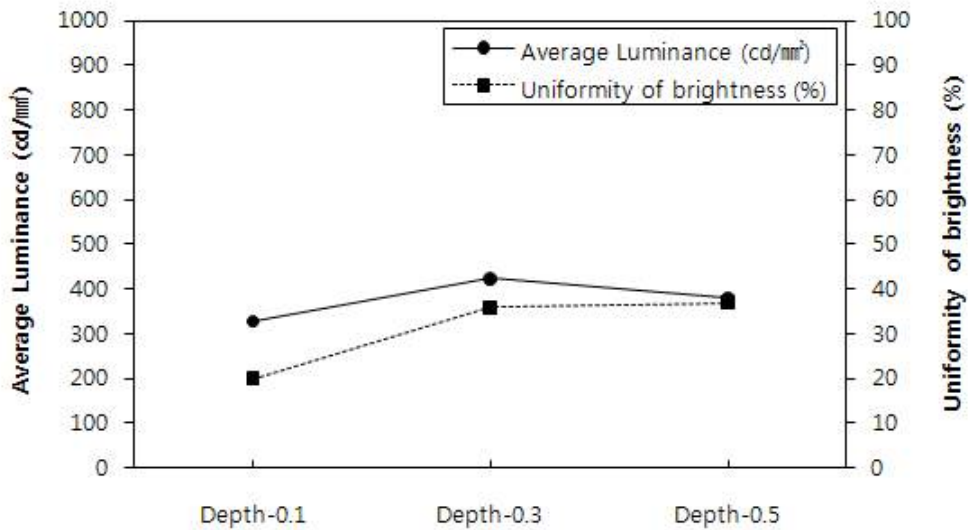


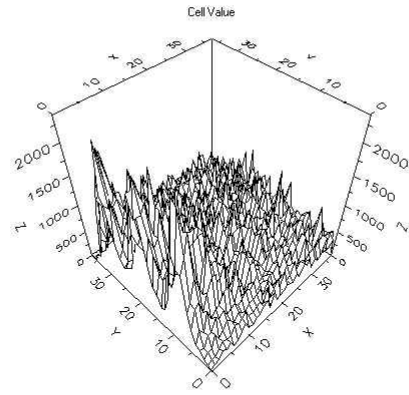
Figure 49. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5 mm) by Simulation.

패턴 간격이 1.5 mm인 평면산란패턴의 경우와 비교해봤을 때 패턴간의 간격이 넓어짐에 따라 산란체의 개수가 2배 이상 감소하게 되어 도광판 상부로 방출되는 광량이 적어짐으로 인해 평균휘도는 다소 감소하였지만 결과적으로 그림 49에서와 같이 가공 높이의 증가에 따라 평균휘도는 감소하는데 반해 균일도는 향상됨을 알 수 있었다. 평면산란패턴의 간격이 증가할수록 산란체가 감소함에 따라 상부로 방출되어지는 광량이 줄어들기 때문에 도광판 후면까지 입사광이 도달하는 정도가 매우 낮아지므로 그에 따른 평균휘도가 감소하고, 이로 인해 균일도는 향상됨으로 보이나 산란패턴의 가공 높이가 0.5 mm이상으로 증가할 경우 그에 따른 균일도는 패턴 간격의 증가에 따라 감소할 것으로 판단된다.

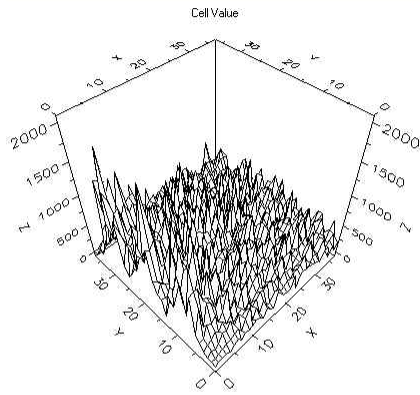
나. 패턴간격의 변화에 따른 결과

이상의 평면산란패턴의 가공높이 변화에 대해 전산모사한 2차원적 휘도분포 결과를 바탕으로 각각 세 가지 유형으로 나누어 가공높이에 따른 패턴 간격의 변화에 대한 평균휘도와 균일도에 대하여 분석한 결과를 그림 50과 같이 3차원적 휘도분포 차트로 나타내었다. 표 11은 평면패턴의 가공높이가 0.1 mm인 경우 패턴이 1.5 mm간격으로 26개 형성되었을 때 평균휘도는 571.4 cd/mm², 2.5 mm간격의 16개 패턴이 형성되었을 경우 454.7 cd/mm², 3.5 mm간격으로 패턴이 11개 형성되어있는 경우 328.4 cd/mm²를 나타내었다.

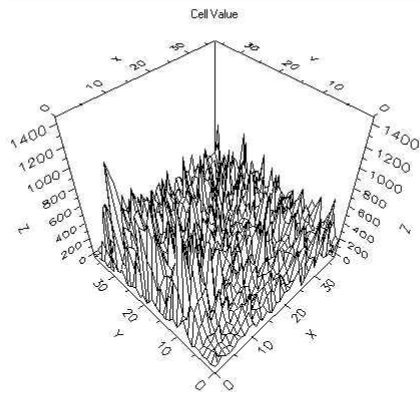
그림 50과 같이 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 알 수 있다. 또한 그림 51과 같이 평면패턴의 가공높이가 0.1 mm인 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 11.7 %, 2.5 mm간격으로 16개 패턴이 형성되었을 경우 14 %, 3.5 mm간격으로 패턴이 형성되어있는 경우 19.9 %로 증가함을 알 수 있다. 이는 입사부와 가까운 부분에 패턴 간격이 증가함에 따라 입사광과 강한 산란을 야기할 패턴 개수가 줄어들게 되고, 도광판 후면으로 갈수록 광원을 많이 나누어 도광판 전체에 걸쳐 광원을 전달하게 되므로 패턴의 간격이 증가함에 따라 균일도는 향상됨을 확인할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Figure 50. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.1 mm) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm.

Table 11. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.1 mm) by Simulation.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P0.1	1.5	571.4	11.7
P0.1	2.5	454.7	14.0
P0.1	3.5	328.4	19.9

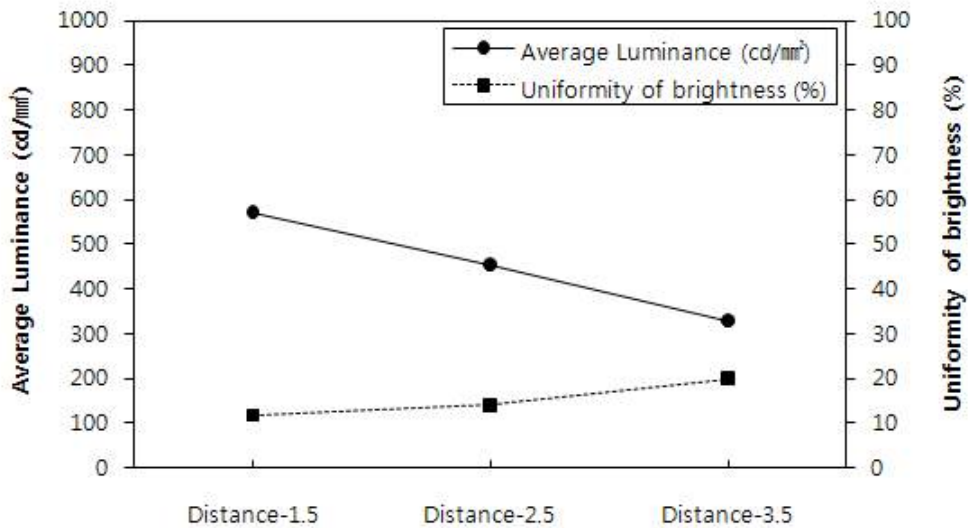
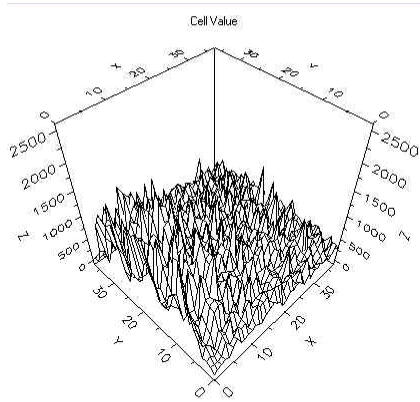


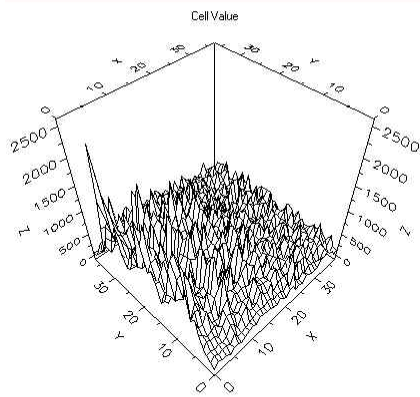
Figure 51. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.1 mm) by Simulation.

평면패턴의 가공높이가 0.3 mm인 경우는 표 12와 같고 전산모사의 결과 가공높이가 0.1 mm인 경우와 거의 일치함을 알 수 있다. 패턴이 1.5 mm간격으로 26개 형성되었을 때 평균휘도는 559.4 cd/mm², 2.5 mm간격의 16개 패턴이 형성되었을 경우 536.5 cd/mm², 3.5 mm간격으로 패턴이 11개 형성되어있는 경우 423 cd/mm²로 그림 52과 같이 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 알 수 있다.

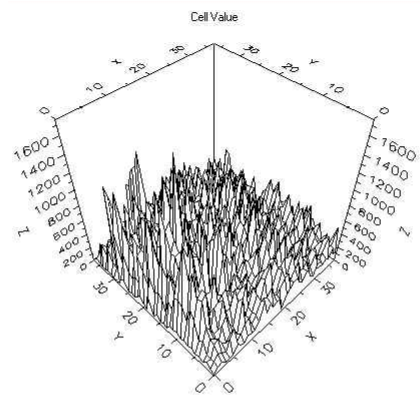
또한 그림 53과 같이 평면패턴의 가공높이가 0.3 mm인 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 23.2 %, 2.5 mm간격으로 16개 패턴이 형성되었을 경우 32.7 %, 3.5 mm간격으로 패턴이 형성되어있는 경우 35.9 %로 증가함을 알 수 있다. 이는 입사부와 가까운 부분에 패턴 간격이 증가함에 따라 입사광과 강한 산란을 야기할 패턴 개수가 줄어들고, 도광판 후면으로 갈수록 광원을 많이 나누어 도광판 전체에 걸쳐 광원을 전달하게 되므로 패턴의 간격이 증가함에 따라 균일도는 향상됨을 확인하였다.



(a)



(b)



(c)

Figure 52. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm.

Table 12. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by Simulation.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P0.3	1.5	559.4	23.2
P0.3	2.5	536.5	32.7
P0.3	3.5	423.0	35.9

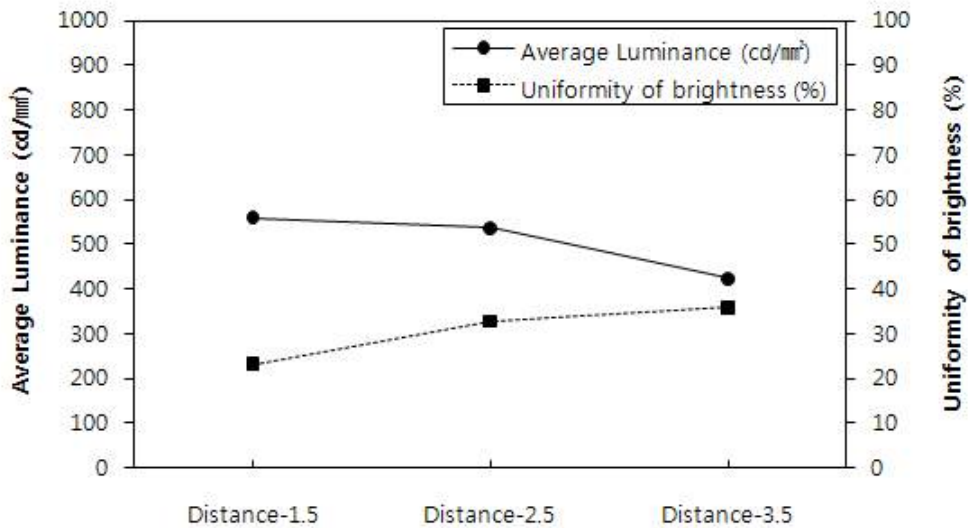
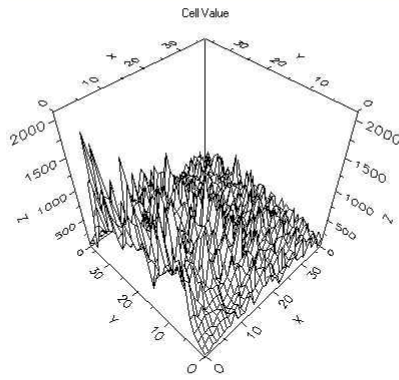


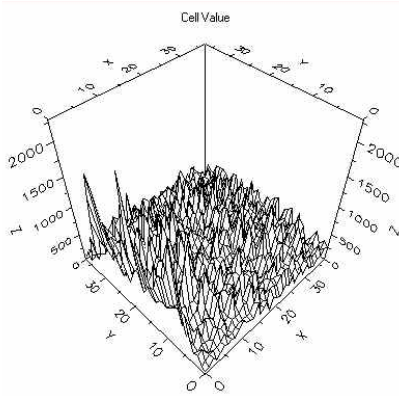
Figure 53. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by Simulation.

평면패턴의 가공높이가 0.5 mm인 경우는 그림 54와 같고 전산모사의 결과 가공높이가 0.1 mm인 경우나 0.3 mm인 경우와 거의 일치함을 알 수 있다. 표 13과 같이 패턴이 1.5 mm간격으로 26개 형성되었을 때 평균휘도는 502.2 cd/mm², 2.5 mm간격의 16개 패턴이 형성되었을 경우 458.1 cd/mm², 3.5 mm간격으로 패턴이 11개 형성되어있는 경우 380 cd/mm²로 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 알 수 있었다.

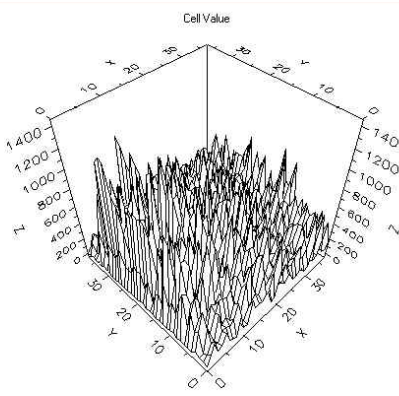
하지만 그림 55와 같이 평면패턴의 가공높이가 0.5 mm인 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 31.5 %, 2.5 mm간격으로 16개 패턴이 형성되었을 경우 39.1 %, 3.5 mm간격으로 패턴이 형성되어있는 경우 36.9 %로 2.5 mm간격으로 패턴이 형성되었을 경우의 균일도가 가장 높음을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

Figure 54. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm.

Table 13. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by Simulation.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P0.5	1.5	502.2	31.5
P0.5	2.5	458.1	39.1
P0.5	3.5	380.0	36.9

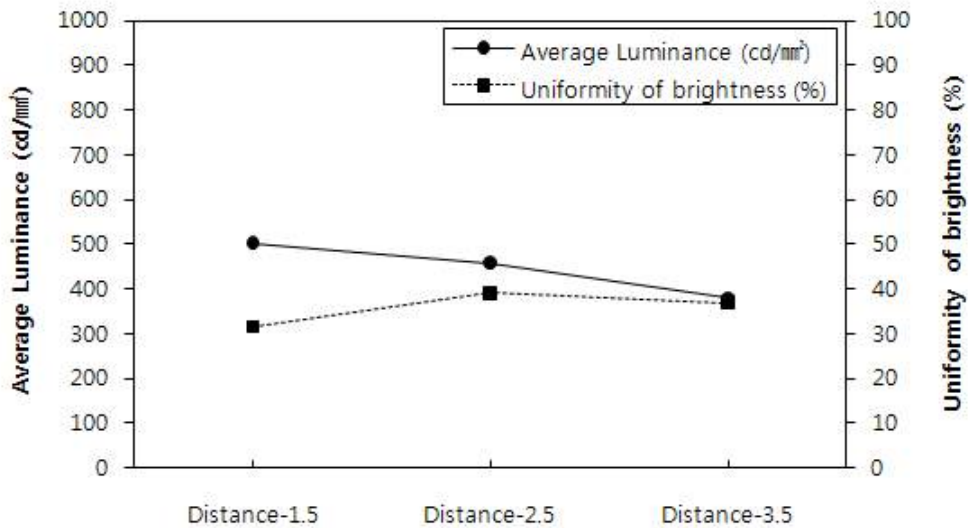


Figure 55. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by Simulation.

전산모사에 의한 평면패턴의 가공높이별 패턴간격의 변화에 따른 평균휘도와 균일도의 측정 결과에 대해 분석해보았다[표14]. 가공높이가 0.1 mm인 패턴이 1.5 mm간격으로 26개 형성되었을 때의 평균휘도(Type A)가 571.4 cd/mm²로 가장 높았고, 가공높이가 0.1 mm인 패턴이 3.5 mm간격으로 11개 형성되었을 때의 평균휘도(Type G)는 328.4 cd/mm²로 가장 낮음을 확인하였다. 또한 평면패턴의 균일도면에서는 그림 56과 같이 가공높이가 0.5 mm인 패턴이 2.5 mm간격으로 형성되었을 때의 균일도(Type F)가 39.1 %로 가장 높고, 가공높이가 0.1 mm인 패턴이 1.5 mm간격으로 26개 형성되었을 때의 균일도(Type A)는 11.7 %로 가장 낮음을 확인하였다. 이는 입사부와 가까운 부분의 패턴과 입사광에 의한 강한 산란으로 인하여 상부로 방출되어지는 광량이 많아지기 때문에 입사부와 가까운 부분의 밝기가 두드러지게 된 결과로 보이지만, 도광판 후면으로 들어갈수록 밝기가 어두워져 균일도가 저하되는 것으로 판단된다.

Table 14. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance about depth of plane patterns by Simulation.

Pattern shape	Type	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P1.5-d0.1	A	571.4	11.7
P1.5-d0.3	B	559.4	23.2
P1.5-d0.5	C	502.2	31.5
P2.5-d0.1	D	454.7	14
P2.5-d0.3	E	536.5	32.7
P2.5-d0.5	F	458.1	39.1
P3.5-d0.1	G	328.4	19.9
P3.5-d0.3	H	423	35.9
P3.5-d0.5	I	380	36.9

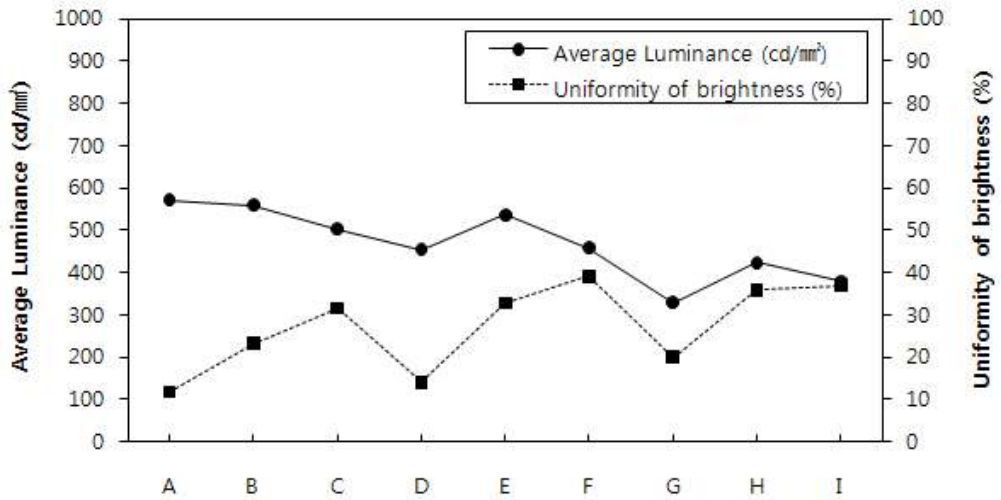


Figure 56. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance about depth of plane patterns by Simulation.

이로 인해 패턴의 가공높이가 0.5 mm 이상일 경우 도광판 내부로 전달되는 광원이 산란되어 상부로 균일하게 방출되도록 유도하기 위해서는 도광판 안쪽으로 형성되어있는 산란패턴의 가공높이와 간격을 보정 할 필요가 있다고 판단된다.

2. 평면산란패턴의 레이저 가공 및 측정 결과 분석

가. 가공높이의 변화에 따른 결과

그림 57은 레이저로 가공된 평면패턴의 간격이 1.5 mm인 경우 가공높이에 따른 평균휘도와 균일도의 측정 결과를 보여준다. 표 15와 같이 도광판에 가공 높이 0.1 mm인 산란패턴이 형성된 도광판의 경우 평균휘도는 69.1 cd/mm²로 전산모사의 결과에 비해 약 8.2배 정도 낮게 측정되었으나 균일도는 12.3 %로 거의 일치함을 알 수 있다. 이는 도광판에 형성된 패턴의 높이가 거의 낮게 존재함으로 인해 입사된 광원으로부터의 산란을 유도하는데 있어서 전면으로 소량의 광만이 방출되어 전산모사의 경우와 차이가 나는 것으로 판단된다.

또한 도광판에 가공 높이 0.5 mm인 산란패턴이 형성된 도광판의 경우 평균휘도는 253.6 cd/mm²로 전산모사의 결과와 비교했을 때 약 2배 정도 낮게 측정되었으나 균일도는 34.4%로 거의 일치함을 알 수 있다. 또한 패턴의 가공높이가 증가함에 따른 균일도가 2.8배 향상됨을 확인하였다.

Table 15. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by laser processing.

Pattern shape	Depth (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P1.5	0.1	69.1	12.3
P1.5	0.3	235	14.7
P1.5	0.5	253.6	34.4

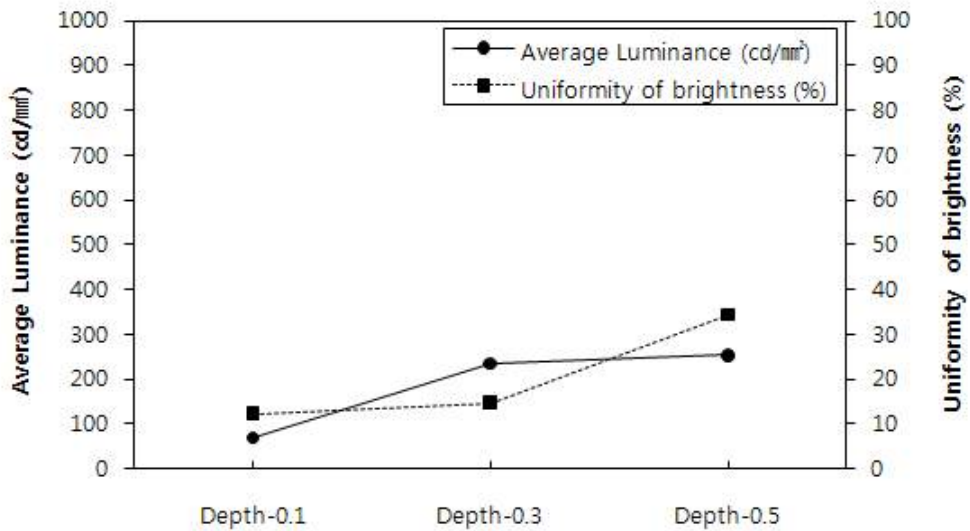


Figure 57. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 1.5 mm) by laser processing.

표 16은 레이저로 가공된 평면패턴의 간격이 2.5 mm인 경우 가공높이에 따른 평균휘도와 균일도의 측정 결과를 보여준다. 도광판에 가공 높이 0.1 mm인 산란패턴이 형성된 도광판의 경우 평균휘도는 36.9 cd/mm²로 전산모사의 결과에 비해 약 12배 정도 낮게 측정되었고, 이는 도광판에 형성된 패턴의 높이가 낮게 존재함으로 인해 입사된 광원으로부터의 산란을 유도하는데 있어서 전면으로 소량의 광만이 방출되어 전산모사의 경우와 차이가 나는 것으로 보인다.

또한 그림 58과 같이 도광판에 가공 높이 0.3 mm인 산란패턴이 형성된 도광판의 경우 평균휘도는 231.2 cd/mm²로 가장 높았으며 패턴의 가공높이가 증가함에 따른 균일도가 향상되어 전산모사의 결과와 비교했을 때 거의 일치함을 알 수 있었다.

Table 16. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by laser processing.

Pattern shape	Depth (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P2.5	0.1	36.9	20.9
P2.5	0.3	231.2	33.1
P2.5	0.5	74.2	37.7

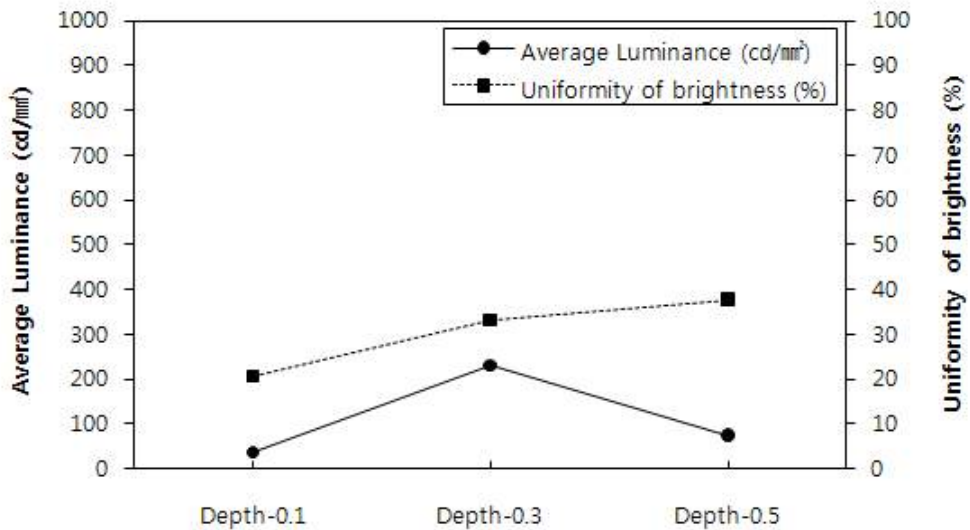


Figure 58. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 2.5 mm) by laser processing.

표 17은 레이저로 가공된 평면패턴의 간격이 3.5 mm인 경우 가공높이에 따른 평균휘도와 균일도의 측정 결과를 보여준다. 도광판에 가공 높이 0.1 mm인 산란패턴이 형성된 도광판의 경우 평균휘도는 23.4 cd/mm²로 전산모사의 결과에 비해 약 14배 정도 낮게 측정되었고 전체 평면패턴의 평균휘도 중 가장 낮게 나타나 전산

모사의 결과와 일치함을 알 수 있다. 그림 59에서와 같이 도광관에 가공 높이 0.5 mm인 산란패턴이 형성된 도광관의 경우 평균휘도는 401.8 cd/mm²로 가장 높은 휘도 값을 보였고 전산모사의 결과와 비교했을 때 약 2배 정도 낮게 측정되었으나 균일도는 41 %로 거의 비슷한 양상을 보임을 알 수 있다. 또한 패턴의 가공높이가 증가함에 따른 균일도가 1.7배 향상됨을 확인하였다.

Table 17. The measurement results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5 mm) by laser processing.

Pattern shape	Depth (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P3.5	0.1	23.4	24.8
P3.5	0.3	45.9	38.6
P3.5	0.5	401.8	41.0

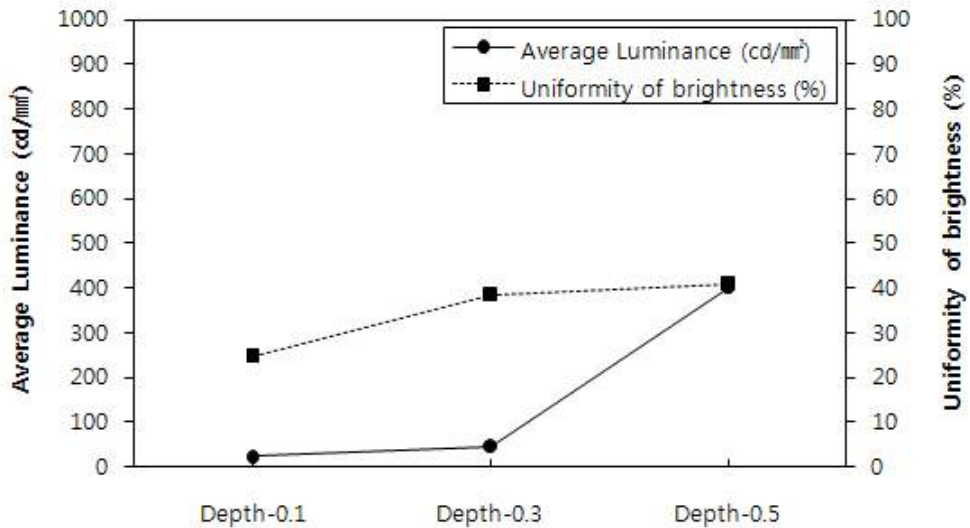


Figure 59. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the depth of plane patterns(distance 3.5 mm) by laser processing.

나. 패턴간격의 변화에 따른 결과

이상의 레이저로 가공된 평면패턴의 가공높이 변화에 의한 결과를 바탕으로 각 세 가지 유형으로 나누어 가공높이별 패턴 간격의 변화에 대해 측정된 평균휘도와 균일도에 대하여 분석하였다.

Table 18. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.1 mm) by laser processing.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P0.1	1.5	69.1	12.3
P0.1	2.5	36.9	20.7
P0.1	3.5	23.4	24.8

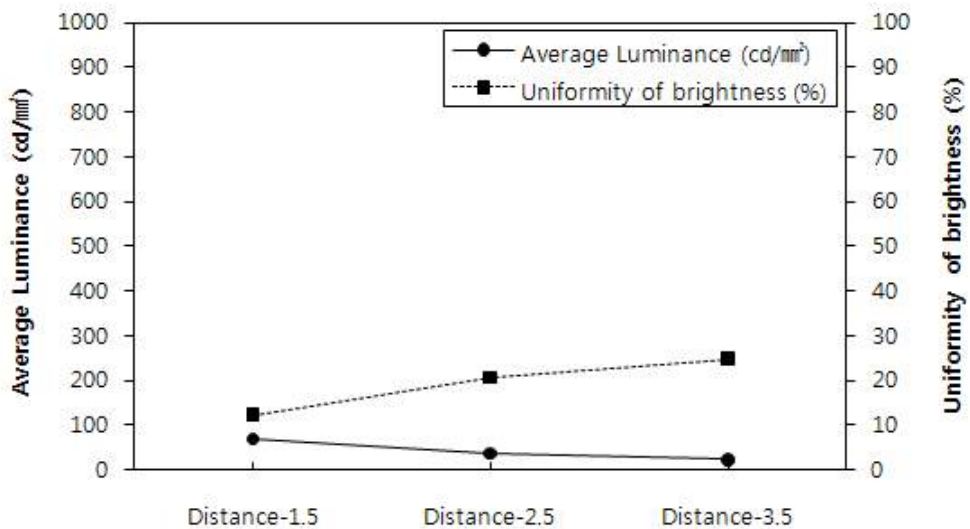


Figure 60. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.1 mm) by laser processing.

표 18은 평면패턴의 가공높이가 0.1 mm인 경우 패턴이 1.5 mm간격으로 26개 형성되었을 때 평균휘도는 69.1 cd/mm², 2.5 mm간격의 16개 패턴이 형성되었을 경우 36.9 cd/mm², 3.5 mm간격으로 패턴이 11개 형성되어있는 경우 23.4 cd/mm²를 나타내었다. 그림 60과 같이 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 알 수 있다. 이에 따른 균일도는 입사부와 가까운 부분에 패턴 간격이 증가함에 따라 입사광과 강한 산란을 야기할 패턴 개수가 줄어들게 되고, 도광판 후면으로 갈수록 광원을 많이 나누어 도광판 전체에 걸쳐 광원을 전달하게 되므로 패턴의 간격이 증가함에 따라 균일도는 향상됨을 확인할 수 있다.

평면패턴의 가공높이가 0.3 mm인 경우 표 19와 같이 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되었을 때 평균휘도는 235 cd/mm², 2.5 mm간격의 패턴이 형성되었을 경우 231.2 cd/mm², 3.5 mm간격으로 패턴이 형성되어있는 경우 45.9 cd/mm²로 감소하였다.

Table 19. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by laser processing.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P0.3	1.5	235.0	14.7
P0.3	2.5	231.2	33.1
P0.3	3.5	45.9	38.6

그림 61은 평면패턴의 가공높이가 0.3 mm인 경우 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 보인다. 이에 따른 균일도는 입사부와 가까운 부분에 패턴 간격이 증가함에 따라 입사광과 강한 산란을 야기할 패턴 개수가 줄어들게 되고, 도광판 후면으로 갈수록 광원을 많이 나누어 도광판 전체에 걸쳐 광원을 전달하게 되므로 패턴의 간격이 증가함에 따라 균일도는 약 2.6배 향상되었으며 이는 전반적으로 전산모사의 결과와 일치함을 확인할 수 있다.

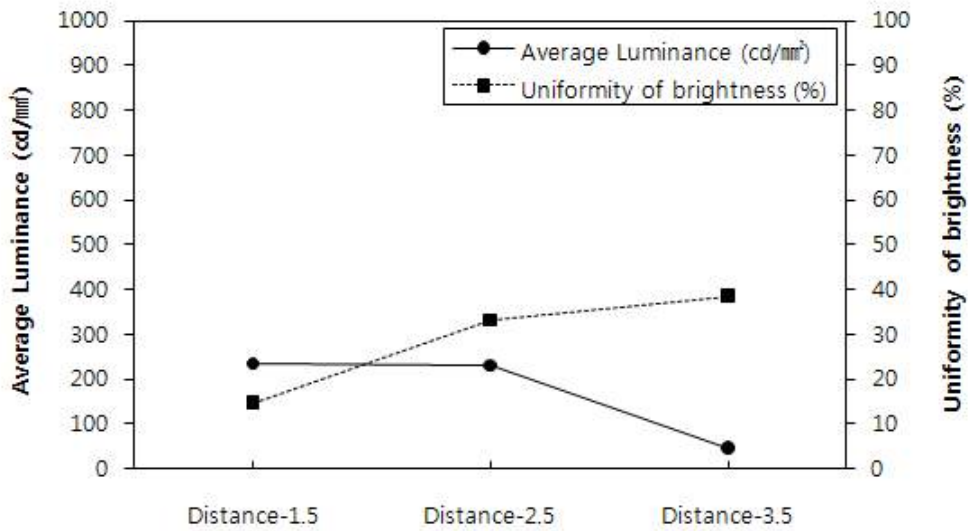


Figure 61. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.3 mm) by laser processing.

레이저로 가공된 평면패턴의 가공높이가 0.5 mm인 경우 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되었을 때 평균휘도는 253.6 cd/mm², 2.5 mm간격의 패턴이 형성되었을 경우 74.2 cd/mm², 3.5 mm간격으로 패턴이 형성되어있는 경우 401.8 cd/mm²로 표 20과 같다.

Table 20. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by laser processing.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P0.5	1.5	253.6	34.4
P0.5	2.5	74.2	37.7
P0.5	3.5	401.8	41.0

그림 62는 평면패턴의 가공높이가 0.5 mm인 경우 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 보이나 3.5 mm간격의 경우 401.8 cd/mm²로 1.6배 향상됨을 보여 도광판 내부에 패턴의 높이 조절에 따른 평균휘도 향상을 기대할 수 있었다. 이에 따른 균일도 역시 입사부와 가까운 부분에 패턴 간격이 증가함에 따라 입사광과 강한 산란을 야기할 패턴 개수가 줄어들게 되고, 도광판 후면으로 갈수록 광원을 많이 나누어 도광판 전체에 걸쳐 광원을 전달하게 되므로 패턴의 간격이 증가함에 따라 균일도가 향상되었으며 이는 패턴의 간격을 증가시키며 따라 오히려 전산모사의 결과보다 향상됨을 확인할 수 있었다.

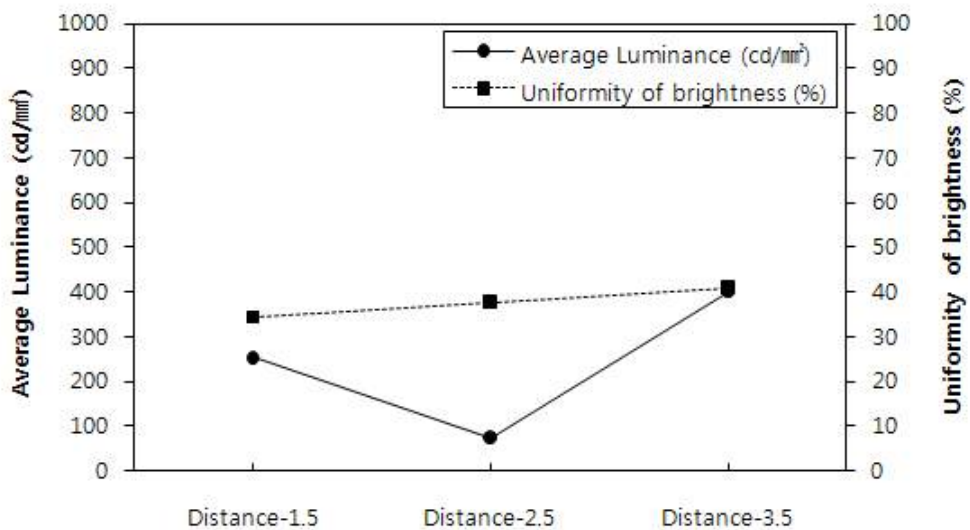


Figure 62. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of plane patterns(depth 0.5 mm) by laser processing.

레이저로 가공된 평면패턴의 가공높이별 패턴간격의 변화에 따른 평균휘도와 균일도의 측정 결과에 대해 표 21과 같이 분석해보았다. 전산모사의 경우와는 달리 가공높이가 0.5 mm인 패턴이 3.5 mm간격으로 형성된 평면패턴(Type I)의 평균휘도가 401.8cd/mm²로 가장 높은 반면, 가공높이가 0.1mm인 패턴이 3.5mm간격으로 형성된 평면패턴(Type G)의 평균휘도는 23.4cd/mm²로 가장 낮아 전산모사의 결과와 일치함을 확인하였다.

또한 가공높이가 0.5 mm인 패턴이 3.5 mm간격으로 형성되었을 때의 균일도는 41 %로 가장 높고, 가공높이가 0.1 mm인 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되었을 때의 균일도는 12.3 %로 가장 낮아 전산모사의 결과와 일치함을 알 수 있었다. 이는 입사부와 가까운 부분의 패턴과 입사광에 의한 강한 산란으로 인하여 상부로 방출되어지는 광량이 많아지기 때문에 입사부와 가까운 부분의 밝기가 두드러지게 된 결과로 보이지만, 도광판 후면으로 들어갈수록 밝기가 어두워져 균일도가 저하되는 것으로 보인다.

Table 21. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance about depth of plane patterns by laser processing.

Pattern shape	Type	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
P1.5-d0.1	A	69.1	12.3
P1.5-d0.3	B	235.0	14.7
P1.5-d0.5	C	253.6	34.4
P2.5-d0.1	D	36.9	20.7
P2.5-d0.3	E	231.2	33.1
P2.5-d0.5	F	74.2	37.7
P3.5-d0.1	G	23.4	24.8
P3.5-d0.3	H	45.9	38.6
P3.5-d0.5	I	401.8	41.0

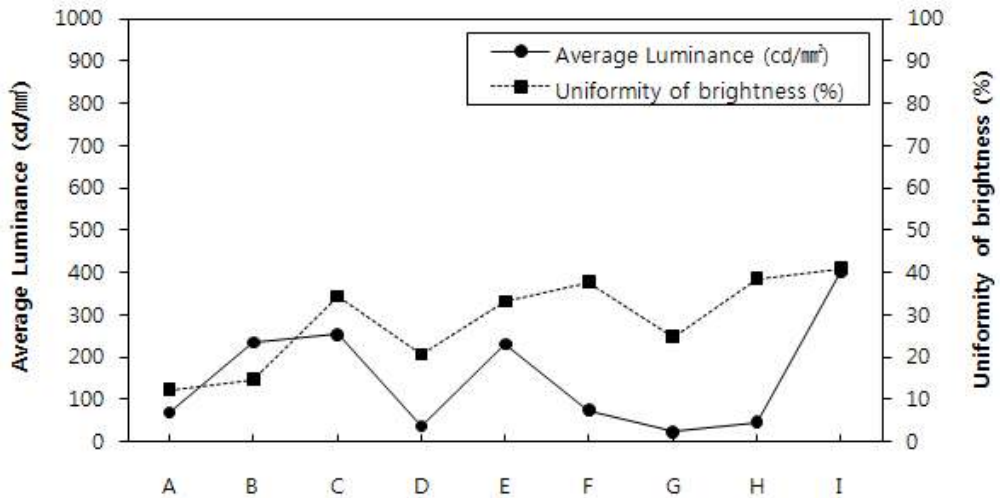


Figure 63. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance about depth of plane patterns by laser processing.

그림 63과 같이 전산모사와 레이저로 가공된 평면패턴의 경우를 비교하여 분석해본 결과 패턴의 가공높이가 0.5 mm 이상일 경우 도광판 내부로 전달되는 광원이 산란되어 상부로 균일하게 방출되도록 유도하기 위해서는 도광판 안쪽으로 형성되어있는 패턴의 높이를 보정 할 필요가 있다고 판단된다. 이를 바탕으로 도광판 전체에 방출되는 광량의 균형을 맞추기 위해서 패턴의 높이를 보정한 경사산란패턴을 설계하여 전산모사하였고, 실제 레이저로 가공하여 측정한 결과와 비교 분석하였다.

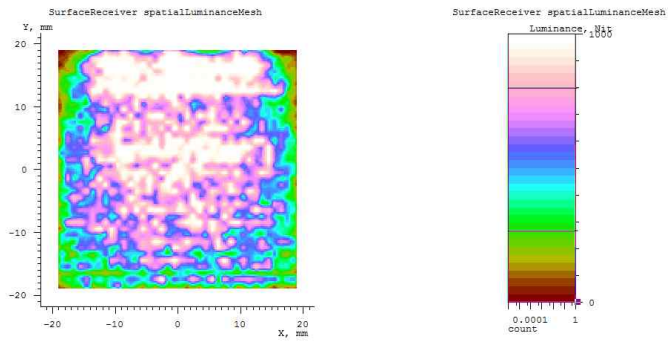
제 2절 경사산란패턴의 조건에 따른 특성

광원과 가까운 입사부분에 광량이 몰리는 문제를 해결하고 도광관 내부로 전달되는 광원이 산란되어 상부로 균일하게 방출되도록 유도하기 위해 도광관 안쪽으로 형성되어있는 패턴의 높이를 보정하여 도광관 전체에서 방출되는 광량의 균형을 맞추도록 하기위해 경사산란패턴을 설계하였다. 평면산란패턴의 결과를 바탕으로 평균휘도와 균일도 향상을 기대할 수 있는 동일한 조건의 가공 폭 0.5 mm인 경사패턴을 제작하였으며, 더불어서 경사패턴의 기울기 정도는 도광관의 두께 3 mm의 90 %인 2.7 mm로 설정하여 기울기를 4.06°으로 설계하였다. 평면산란패턴의 전반적인 결과와 비교하기 위해 패턴의 간격은 1.5 mm, 2.5 mm, 3.5 mm인 경우만 보이도록 한다. 또한 평면산란패턴의 경우와 같이 분석조건을 동일하게 적용시켜 전산모사와 실제 레이저 가공의 측정결과를 비교하기 위하여 패턴영역을 9구간으로 나누어 입사부의 A, B, F와 중반부의 C, G, H 그리고 도광관의 입사부로부터 뒷부분에 위치한 D, E, I 이와 같이 세 부분으로 나누어 각각의 휘도값을 측정한 후 평균휘도를 계산하였고, 최대값과 최소값을 계산하여 균일도를 정량화 하였다.

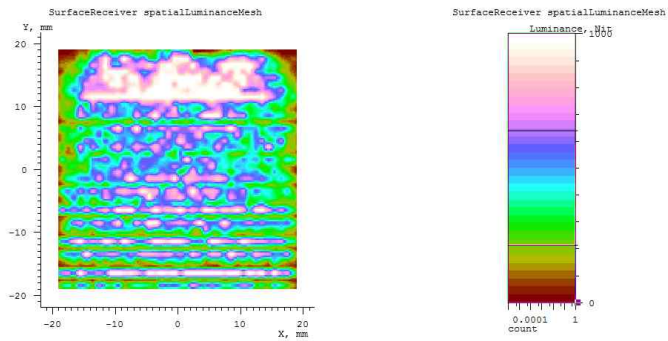
1. 경사산란패턴의 패턴간격 변화에 따른 전산모사 결과 분석

그림 64는 경사산란패턴의 간격에 따른 전산모사 결과를 보여준다. 표 22와 같이 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되었을 때 평균휘도는 684.9 cd/mm², 2.5 mm간격의 경우 637 cd/mm², 패턴의 간격이 3.5 mm로 형성되어있는 경우 557.1 cd/mm²로 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광관 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광관 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 알 수 있다.

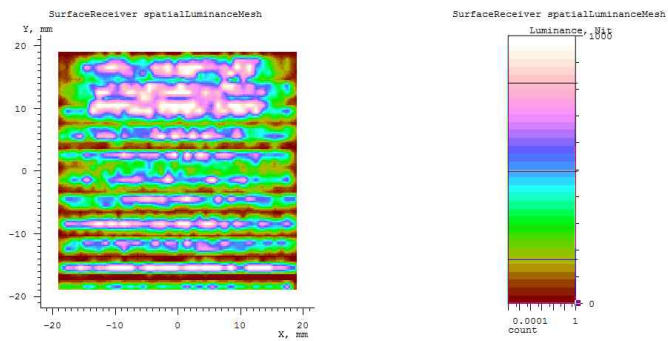
또한 그림 65와 같이 경사패턴이 1.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 83.1 %, 2.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 82.6 %, 3.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 80.6 %로 다소 감소함을 알 수 있다. 이는 입사부와 가까운 부분에 패턴 간격이 증가함에 따라 입사광과 강한 산란을 야기할 패턴 개수가 줄어들게 되고, 도광관 후면으로 갈수록 광원을 많이 나누어 도광관 전체에 걸쳐 광원을 전달하게 되므로 패턴의 간격이 증가함에 따라 균일도는 저하됨을 확인할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Figure 64. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm.

Table 22. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by Simulation.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope90	1.5	684.9	83.1
Slope90	2.5	637.0	82.6
Slope90	3.5	557.1	80.6

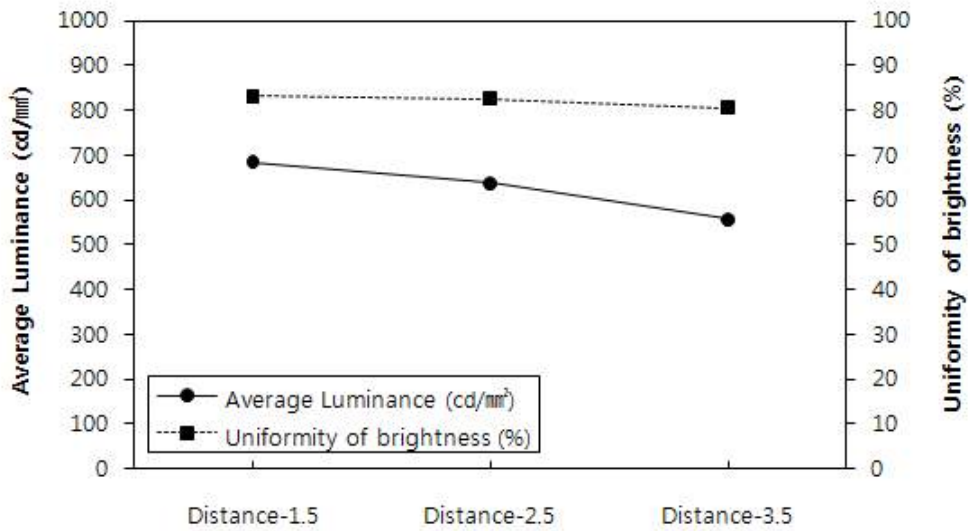


Figure 65. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by Simulation.

2. 경사산란패턴의 패턴간격 변화에 따른 레이저 가공 및 측정 결과 분석

표 23은 레이저로 가공된 경사산란패턴의 간격에 따른 평균휘도와 균일도 측정 결과를 보여준다.

Table 23. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by laser processing.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope90	1.5	566.1	53.4
Slope90	2.5	414.4	88.5
Slope90	3.5	343.0	41.3

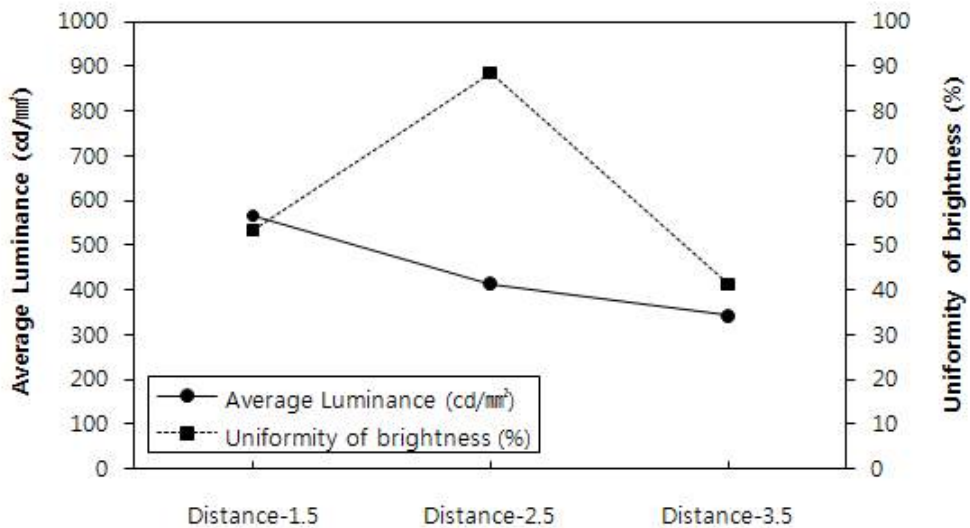


Figure 66. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(90°) by laser processing.

전산모사 결과와 같이 경사산란패턴의 간격 1.5 mm씩 26개 형성되어있는 경우 레이저가공 측정 결과 평균휘도는 566.1 cd/mm², 2.5 mm간격의 경우 414.4 cd/mm², 패턴의 간격이 3.5 mm로 형성되어있는 경우 343 cd/mm²로 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 알 수 있다.

하지만 균일도의 경우 경사패턴의 간격이 증가함에 따라 점차 감소하는 전산모사 결과와는 달리 그림 66과 같이 경사패턴이 1.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도 53.4 %에서 2.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 88.5 %로 1.6배 향상되었으나, 3.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 41.3 %로 약 2.1배 저하되었다. 이는 패턴의 간격이 2.5 mm이상으로 증가할 경우 입사부와 가까운 부분에 입사광과 강한 산란을 야기할 패턴 개수가 줄어들게 되고, 도광판 후면으로 갈수록 광원을 많이 나누어 도광판 전체에 걸쳐 광원을 전달하게 되므로 패턴의 간격이 2.5 mm이상으로 증가하게 될 경우 이에 따른 균일도는 저하됨을 확인할 수 있다.

제 3절 도광관 휘도 균일도의 효율증대

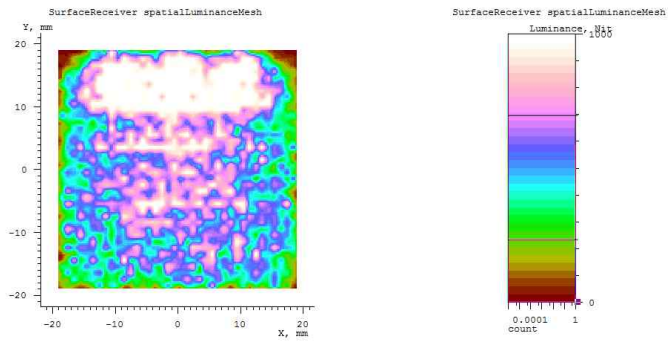
1. 경사산란패턴의 기울기 변화

광원과 가까운 입사부분에 광량이 몰리는 문제를 해결하고 도광관 전체에서 방출되는 광량의 균형을 맞추도록 하기위해 경사 90°인 패턴을 설계하여 전산모사하였고, 이를 바탕으로 실제 레이저로 가공하여 측정된 결과를 비교 분석하였다. 그 결과 평균휘도와 균일도의 조건을 동시에 만족할 수 있도록 기울기에 대한 보정이 필요하다고 판단되어 도광관의 휘도와 균일도의 효율 증대를 위해 도광관 두께 3 mm의 50 %인 2.26°기울기를 갖는 경사패턴과 70 %인 3.16°기울기를 갖는 경사패턴을 설계하여 90 %인 기울기를 4.06°의 경사패턴과 비교 분석하여 기울기 변화에 따른 평균휘도와 균일도에 대해 보이도록 한다.

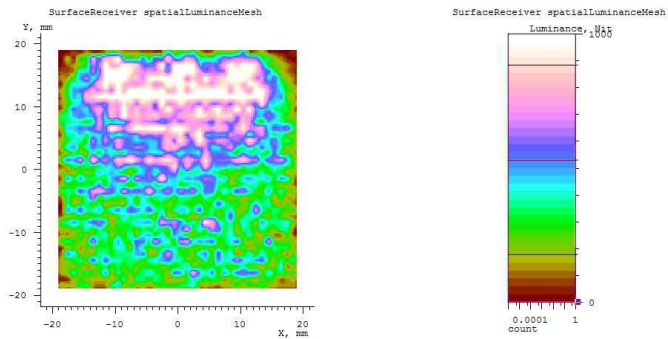
가. 전산모사 결과 분석

그림 67은 도광관 두께 3 mm의 50 %인 기울기 2.26°의 경사산란패턴의 간격에 따른 전산모사 결과를 보여준다. 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되었을 때 표 24와 같이 평균휘도는 644.8 cd/mm², 2.5 mm간격의 경우 620.9 cd/mm², 패턴의 간격이 3.5 mm로 형성되어있는 경우 543 cd/mm²로 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광관 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광관 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 기울기 4.06°의 경사패턴과 같이 평균휘도가 감소함을 알 수 있다.

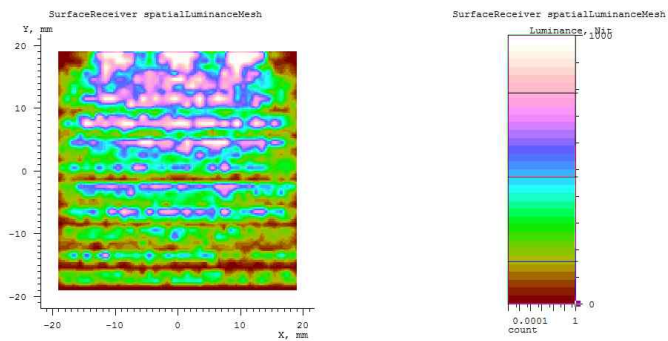
또한 그림 68과 같이 1.5 mm간격인 경사패턴의 경우 균일도는 72.9 %, 2.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 67.6 %, 3.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 39.3 %로 패턴간격이 증가함에 따라 감소하여 기울기 4.06°의 경사패턴의 결과와 일치함을 알 수 있다. 하지만 기울기 4.06°의 경사패턴의 경우 패턴의 간격의 증가에 따라 감소하는 균일도에 큰 차이를 보이지 않았으나, 기울기 2.26°인 경사산란패턴의 간격이 증가할수록 균일도가 약 1.8배 저하되는 것을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

Figure 67. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm.

Table 24. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by Simulation.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope50	1.5	644.8	72.9
Slope50	2.5	620.9	67.6
Slope50	3.5	543.0	39.3

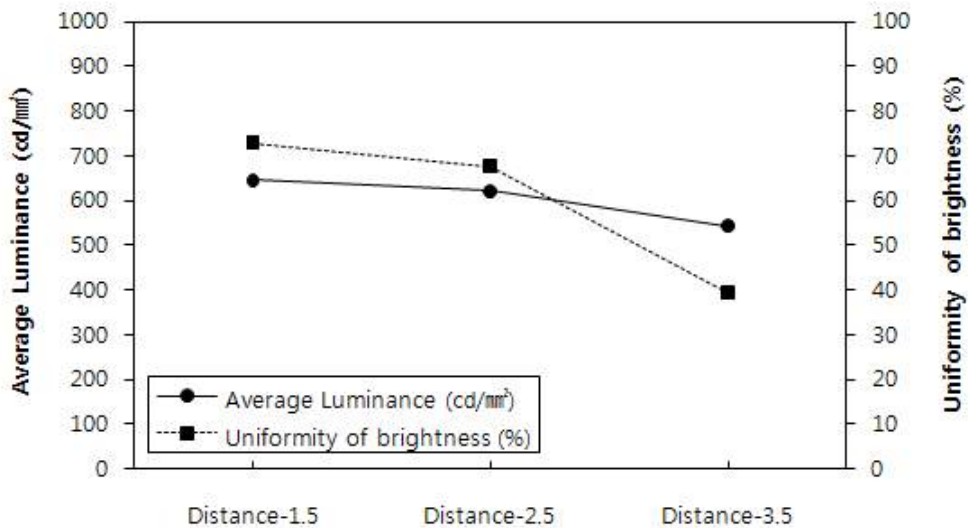


Figure 68. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by Simulation.

그림 69는 도광판 두께 3 mm의 70 %인 기울기 3.16°의 경사패턴의 간격에 따른 전산모사 결과를 보여준다. 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되었을 때 표 25와 같이 평균휘도는 677.3 cd/mm², 2.5 mm간격의 경우 590 cd/mm², 패턴의 간격이 3.5 mm로 형성되어있는 경우 533.1 cd/mm²로 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 기

울기 4.06°의 경사패턴과 같이 평균휘도가 감소함을 알 수 있다. 또한 그림 70과 같이 1.5 mm간격인 경사패턴의 경우 균일도는 84.3 %, 2.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 72.5 %, 3.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 50.9 %로 패턴간격이 증가함에 따라 감소함을 알 수 있었고 이는 기울기 4.06°의 경사패턴의 결과와 일치하였다. 또한 3.16° 기울기를 갖는 경사패턴의 간격이 1.5 mm일 경우의 균일도에 비해 3.5 mm로 패턴의 간격이 증가함으로 인해 균일도가 약 1.8배 저하됨을 확인할 수 있었다.

Table 25. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by Simulation.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope70	1.5	677.3	84.3
Slope70	2.5	590.0	72.5
Slope70	3.5	533.1	50.9

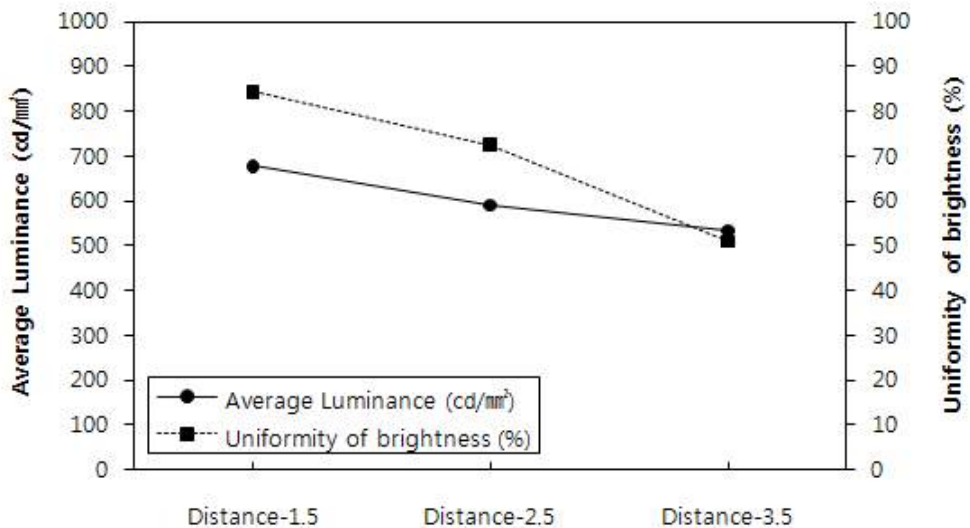
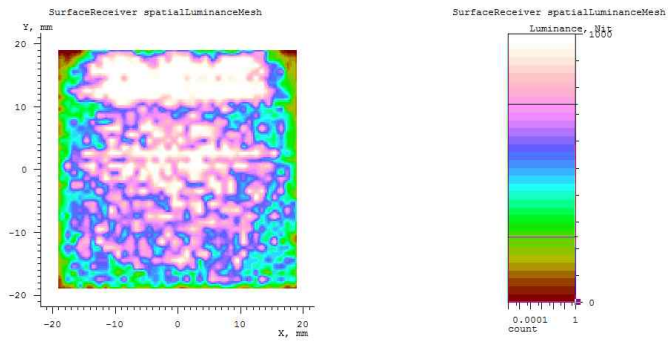
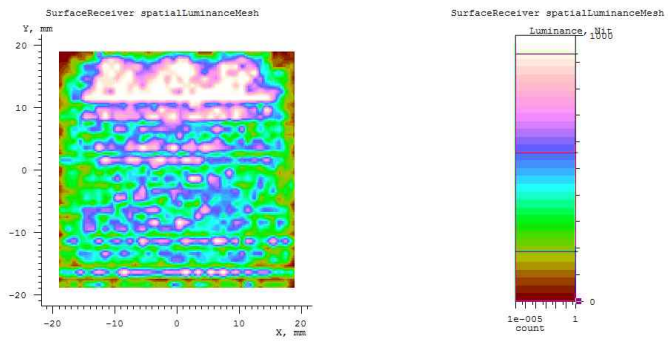


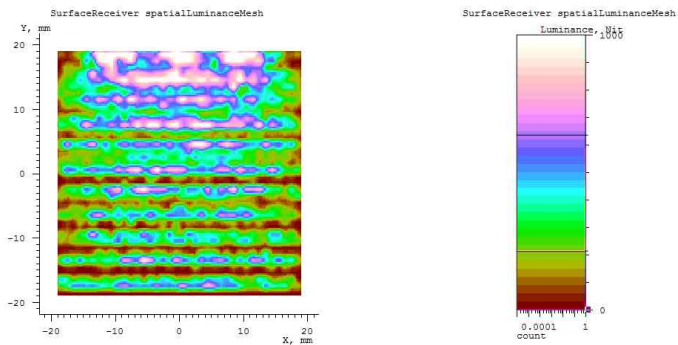
Figure 69. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by Simulation.



(a)



(b)



(c)

Figure 70. The measurement to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by Simulation; (a)Distance 1.5 mm, (b)Distance 2.5 mm, (c)Distance 3.5 mm.

나. 레이저 가공 및 측정 결과 분석

도광판 두께 3 mm의 50 %인 기울기 2.26°의 경사패턴을 실제 레이저로 가공하여 측정된 결과를 분석하였다. 패턴이 1.5 mm간격으로 형성되었을 때 표 26과 같이 평균휘도는 601 cd/mm², 2.5 mm간격의 경우 484.1 cd/mm², 패턴의 간격이 3.5 mm로 형성되어있는 경우 379.4 cd/mm²로 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 전산모사와 같이 평균휘도가 감소하는 결과를 나타내었다.

Table 26. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by laser processing.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope50	1.5	601.0	87.3
Slope50	2.5	484.1	76.1
Slope50	3.5	379.4	84.7

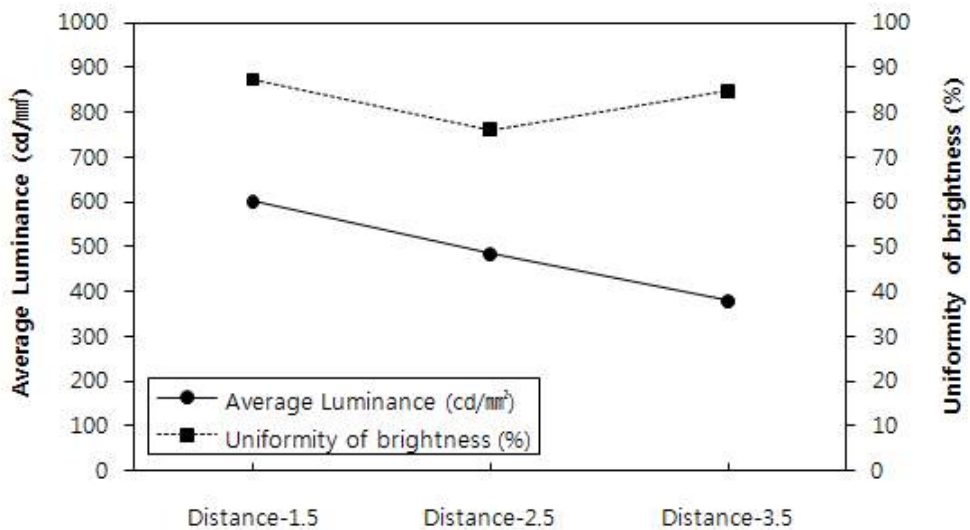


Figure 71. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(50°) by laser processing.

또한 그림 71에서와 같이 1.5 mm간격인 경사패턴의 경우 균일도는 87.3 %, 2.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 76.1 %, 3.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우 균일도는 84.7 %로 전산모사의 경우와는 달리 본 연구에서 제안된 경사패턴의 기울기를 보정한 패턴의 경우 중 평균휘도와 이에 따른 균일도에 있어서 가장 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

도광판 두께 3 mm의 70 %인 기울기 3.16°의 경사패턴을 실제 레이저로 가공하여 측정된 결과를 분석하였다. 그 결과 패턴이 1.5mm간격으로 형성되었을 때의 평균휘도는 571.2cd/mm², 2.5mm간격의 경우 492cd/mm², 패턴의 간격이 3.5mm로 형성되어 있는 경우 412cd/mm²로 표 27과 같고, 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 도광판 두께 3 mm의 90 %인 기울기 4.06°의 경사패턴과 같이 평균휘도가 감소함을 알 수 있었다.

Table 27. The measurement results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by laser processing.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm²)	Uniformity of brightness (%)
Slope70	1.5	571.2	86.8
Slope70	2.5	492.0	71.8
Slope70	3.5	412.0	76.5

또한 그림 72와 같이 1.5 mm간격인 경사패턴의 균일도는 86.8 %, 2.5 mm간격으로 패턴이 형성되어 있는 도광판의 균일도는 71.8 %, 3.5 mm간격으로 형성되어 있는 경우의 균일도가 76.5 %로 확인되었다. 도광판 두께 3 mm의 50 %인 기울기 2.26°인 경사패턴의 결과와 마찬가지로 패턴 간격이 1.5 mm인 기울기 3.16°의 경사패턴이 형성된 도광판의 평균휘도와 그에 따른 균일도에 있어서 향상된 성능을 보이고 있음을 알 수 있었다.

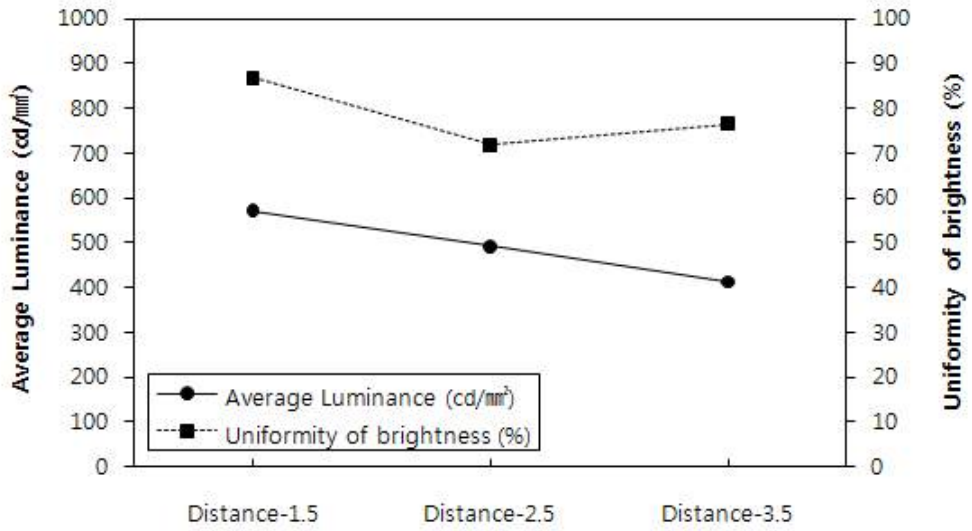


Figure 72. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(70°) by laser processing.

2. 경사산란패턴의 기울기에 따른 간격변화

도광판의 제작에 있어서 도광판의 성능을 결정짓는 가장 중요한 부분은 밝기분포의 균일도이다. 앞서 평면패턴의 조건에 따른 결과를 전산모사하였고, 이를 토대로 레이저로 가공한 후 측정된 결과 도광판 내부로 전달되는 광원이 산란되어 상부로 균일하게 방출되도록 유도하기 위해서는 도광판 안쪽으로 형성되어있는 패턴의 높이를 보정 할 필요가 있음을 제시하였다.

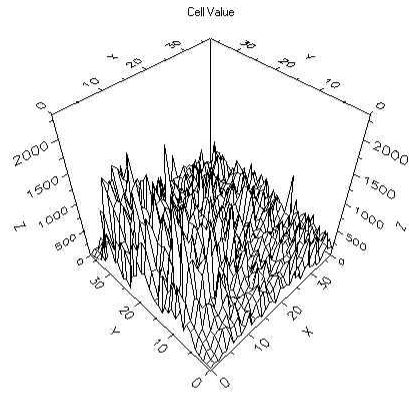
이에 본 연구에서 제안한 내부패턴의 균일도 향상을 위한 제어방법을 분석하였다. 이를 바탕으로 도광판 전체에 방출되는 광량의 균형을 맞추기 위해서 패턴의 높이를 보정하는 방법을 검토하여 경사산란패턴을 설계하여 전산모사하였고, 실제 레이저로 가공하여 측정된 결과와 비교 분석하였다.

또한 추가적으로 패턴의 기울기를 보정하여 평면패턴의 경우보다 효율적인 평균휘도와 균일도 조건을 동시에 만족할 수 있음을 확인하였다. 이에 패턴의 간격별 경사패턴의 기울기 변화에 따른 평균휘도와 균일도의 효율증대를 보이하고자 두께 3 mm의 50 %인 2.26° 기울기를 갖는 경사패턴과 70 %인 3.16° 기울기를 갖는 경사패턴 그리고 90 %인 기울기를 4.06°의 경사패턴의 결과를 비교해보았다.

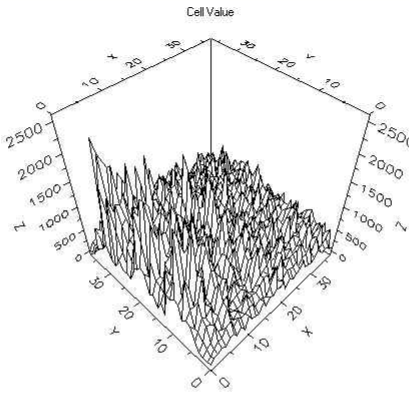
가. 전산모사 결과 분석

이상의 경사산란패턴 간격 변화에 대해 전산모사한 2차원적 휘도분포 결과를 바탕으로 각각 세 가지 유형으로 나누어 패턴 간격에 따른 산란패턴의 기울기변화에 대한 평균휘도와 균일도에 대하여 분석한 결과를 그림 73과 같이 3차원적 휘도분포 차트로 나타내었다. 표 28과 같이 패턴의 간격이 1.5 mm인 경사패턴이 형성된 도광판 두께 3 mm의 50 %인 2.26° 기울기를 갖는 경사패턴의 평균휘도는 645 cd/mm²이고 이에 따른 균일도는 72.9 %로 가장 결과가 낮음을 알 수 있다.

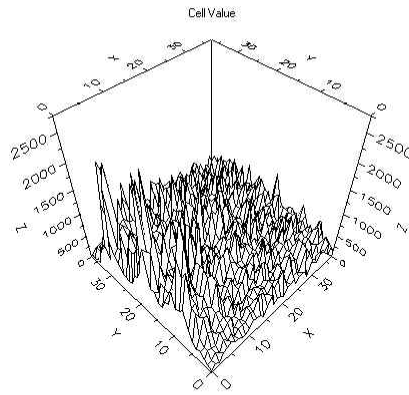
반면 도광판 두께 3 mm의 70 %인 3.16° 기울기를 갖는 경사패턴의 평균휘도는 677.3 cd/mm²이고 균일도는 84.3 %로 가장 높음을 알 수 있으며, 그림 74와 같이 90 %인 4.06° 기울기를 갖는 경사패턴의 경우 평균휘도는 684.9 cd/mm²로 가장 높고 이에 따른 균일도는 70 %인 3.16°기울기를 갖는 경사패턴과 거의 차이가 없음을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

Figure 73. The measurement to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 1.5mm) by Simulation; (a)Slope 50%, (b)Slope 70%, (c)Slope 90%.

Table 28. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 1.5mm) by Simulation.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope50	1.5	644.8	72.9
Slope70	1.5	677.3	84.3
Slope90	1.5	684.9	83.1

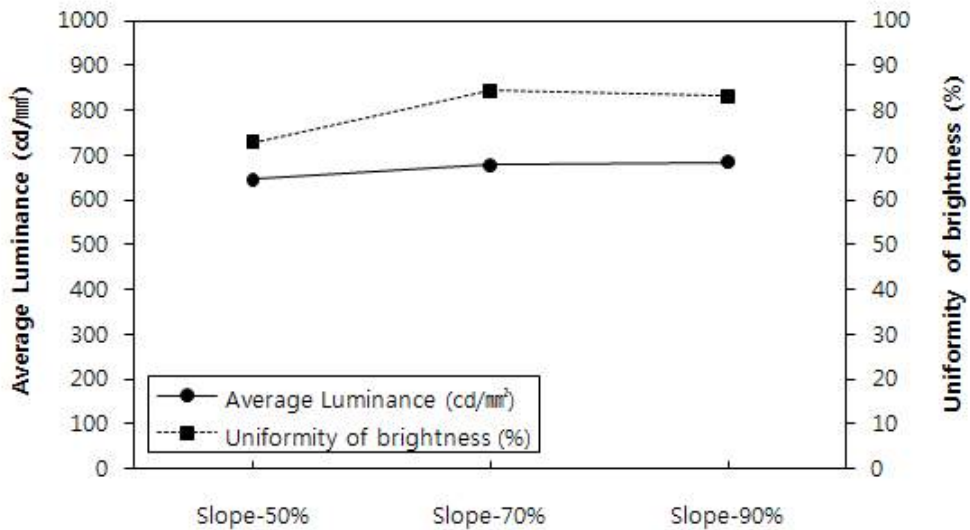
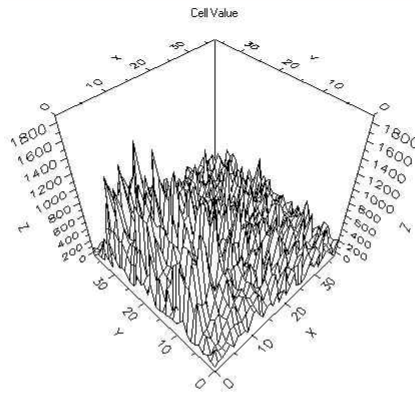
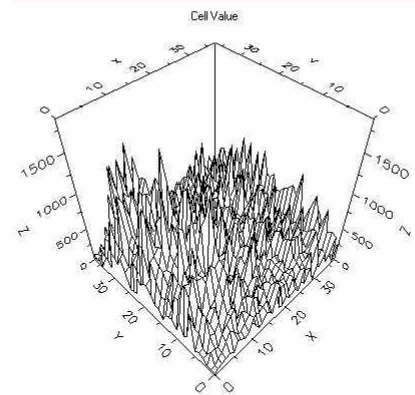


Figure 74. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 1.5 mm) by Simulation.

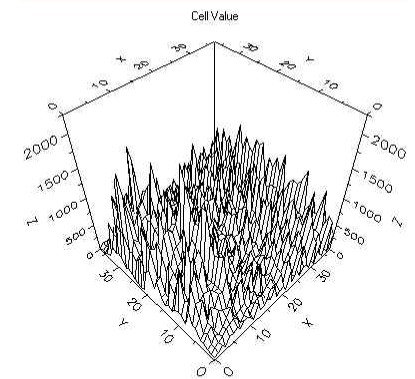
그림 75에서와 같이 패턴의 간격이 2.5 mm인 경사패턴의 경우 도광판 두께 3 mm의 50 %인 2.26° 기울기를 갖는 경사패턴의 평균휘도는 620.9 cd/mm²이고 이에 따른 균일도는 67.6 %로 결과가 낮음을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Figure 75. The measurement to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 2.5mm) by Simulation; (a)Slope 50%, (b)Slope 70%, (c)Slope 90%.

Table 29. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 2.5 mm) by Simulation.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope50	2.5	620.9	67.6
Slope70	2.5	590.0	72.5
Slope90	2.5	637.0	82.6

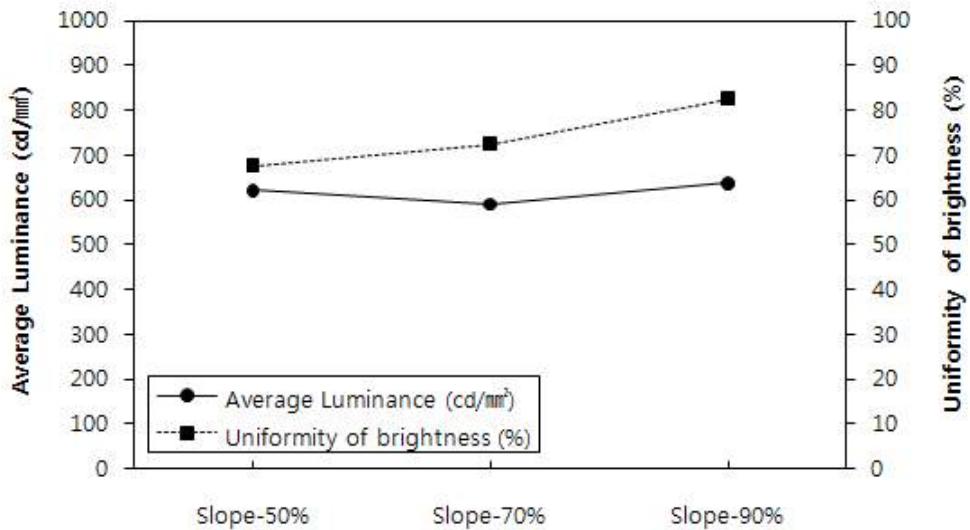
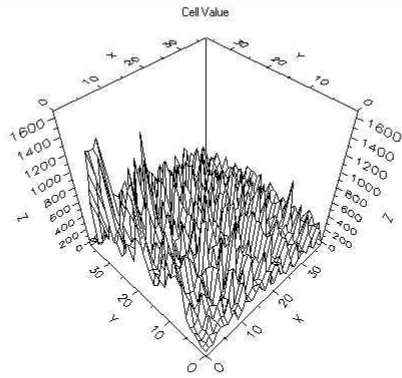
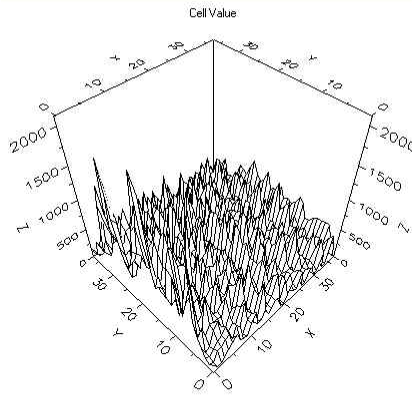


Figure 76. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 2.5 mm) by Simulation.

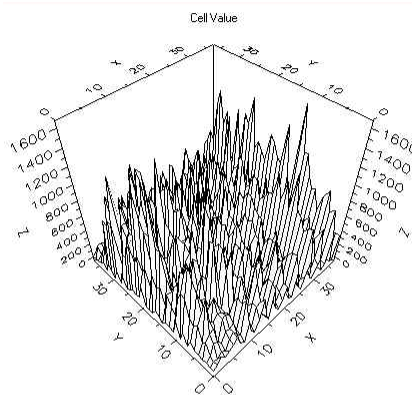
반면 표 29와 같이 70 %인 3.16° 기울기를 갖는 경사패턴의 평균휘도는 590 cd/mm²이고 균일도는 72.5 %로 평균휘도가 다소 저하됨을 확인하였으며, 90 %인 4.06° 기울기를 갖는 경사패턴의 경우 평균휘도는 637 cd/mm²로 가장 높고 이에 따른 균일도는 82.6 %로 효율이 높음을 그림 76에서 확인할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Figure 77. The measurement to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns (distance 3.5 mm) by Simulation; (a) Slope 50 %, (b) Slope 70 %, (c) Slope 90 %.

Table 30. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 3.5 mm) by Simulation.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope50	3.5	543.0	39.3
Slope70	3.5	533.1	50.9
Slope90	3.5	557.1	80.6

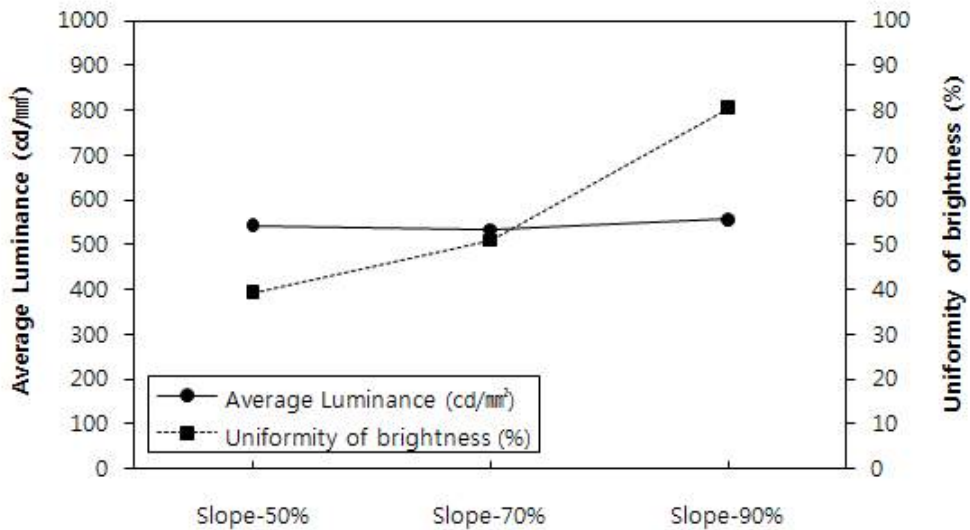


Figure 78. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 3.5 mm) by Simulation.

표 30을 보면 패턴의 간격이 3.5 mm인 경사패턴의 경우는 기울기에 따른 평균 휘도에 큰 차이가 없었으나 도광판 두께 3 mm의 50 %인 2.26° 기울기를 갖는 경사 패턴의 균일도가 39.3 %로 90 %인 4.06° 기울기를 갖는 경사패턴의 균일도가 80.6 %임에 비해 2배 정도 저하됨을 확인할 수 있었다. 결과적으로 그림 78과 같이 기울기가 50%인 경사패턴의 경우는 평면산란패턴의 경우와 거의 비슷한 형상으로

입사부에서의 산란이 강한 반면 도광판 뒤쪽으로 전달되는 광량이 급격히 저하되어 생기는 결과라고 판단된다.

전산모사에 의한 경사패턴의 간격에 따른 기울기의 변화에 대하여 평균휘도와 균일도의 측정 결과를 표 31로 분석해보았다. 먼저 패턴의 간격이 1.5 mm이고 가공높이가 0.1 mm인 평면패턴의 평균휘도가 571.4 cd/mm²로 평면패턴의 경우 중 가장 높은 결과 값을 나타내었으나, 기울기를 90 %로 가공높이를 보정한 경사패턴의 경우 최고 684.9 cd/mm²로 약 1.2배 향상됨을 보였다. 또한 패턴의 간격이 1.5 mm이고 가공높이가 0.1 mm인 평면패턴의 균일도가 11.7 %임에 비해 가공높이를 보정한 경사패턴의 경우 84.3 %로 약 7.2배 향상되는 결과를 확인 할 수 있었다.

평면패턴의 결과에 의해 패턴의 간격 및 가공 높이를 보정하여 전산모사한 결과 그림 79에서와 같이 기울기 90 %인 경사패턴의 간격이 1.5 mm로 26개 형성되었을 때의 평균휘도(Type L)가 684.9 cd/mm²로 가장 높았고, 기울기 70 %인 경사패턴의 간격이 3.5 mm로 11개 형성되었을 때의 평균휘도(Type Q)가 533.1 cd/mm²로 가장 낮음을 확인하였다. 또한 경사패턴의 균일도면에서는 기울기 70 %인 경사패턴의 간격이 1.5 mm로 26개 형성되었을 때의 균일도(Type K)가 84.3 %로 가장 높았으나, 평균휘도가 가장 높은 Type L의 균일도가 83.1 %로 거의 차이가 없음을 알 수 있었다. 전체적으로 본 논문에서 제시한 평균휘도와 균일도를 동시에 만족시키기 위한 외부산란패턴은 패턴의 간격과 가공높이의 보정에 의한 경사패턴이 적합함을 확인 하였다.

결과적으로 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 내부로 입사된 광이 패턴과 산란하는 양이 상대적으로 급격히 저하된다. 따라서 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 알 수 있다. 또한 패턴의 간격이 증가할수록 입사된 광이 충분히 도광판의 뒷부분까지 도달하지 못하여 입사부에서 강한 산란에 의해 휘도가 높게 측정된 반면 뒷부분에서의 측정값이 상대적으로 낮게 측정되기 때문에 균일도 역시 감소하게 된다.

따라서 보다 효율적인 도광판을 제작하기 위해서는 본 연구에서 제시한 바와 같이 도광판 내부로 전달되는 광원이 산란되어 상부로 균일하게 방출되도록 도광판 안쪽으로 형성되어있는 패턴의 높이와 간격의 조절만으로도 충분히 효율적인 도광판을 제작할 수 있음을 확인하였다.

Table 31. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant about distance of slope patterns by Simulation.

Pattern shape	Type	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
S50-d1.5	J	644.8	72.9
S70-d1.5	K	677.3	84.3
S90-d1.5	L	684.9	83.1
S50-d2.5	M	620.9	67.6
S70-d2.5	N	590.0	72.5
S90-d2.5	O	637.0	82.6
S50-d3.5	P	543.0	39.3
S70-d3.5	Q	533.1	20.9
S90-d3.5	R	557.1	80.6

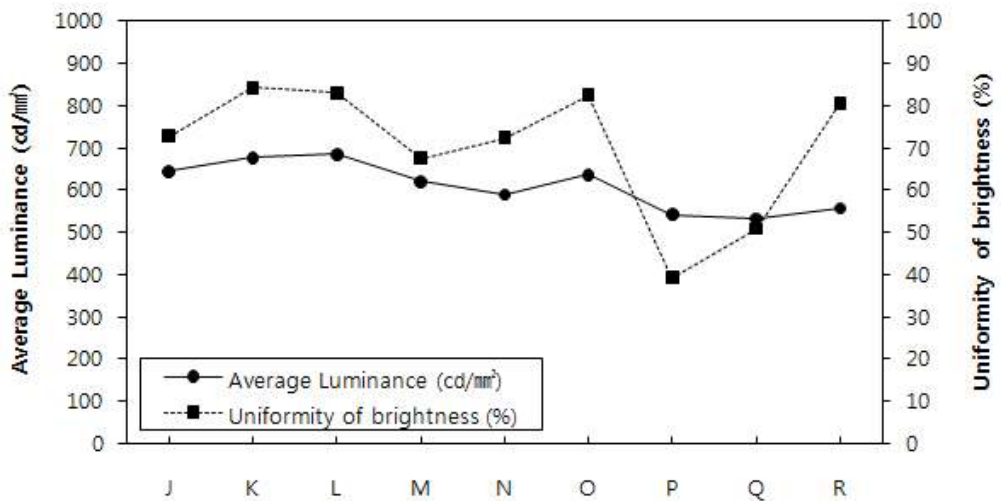


Figure 79. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant about distance of slope patterns by Simulation.

나. 레이저 가공 및 측정 결과 분석

간격 1.5 mm로 레이저 가공된 경사패턴이 형성된 도광판을 측정한 결과 표 32와 같이 두께 3 mm의 50 %인 2.26°기울기를 갖는 경사패턴의 평균휘도가 601 cd/mm²이고 이에 따른 균일도는 87.3 %로 전산모사의 결과와는 달리 가장 높음을 보여준다.

Table 32. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 1.5 mm) by laser processing.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope50	1.5	601.0	87.3
Slope70	1.5	571.2	86.8
Slope90	1.5	566.1	53.4

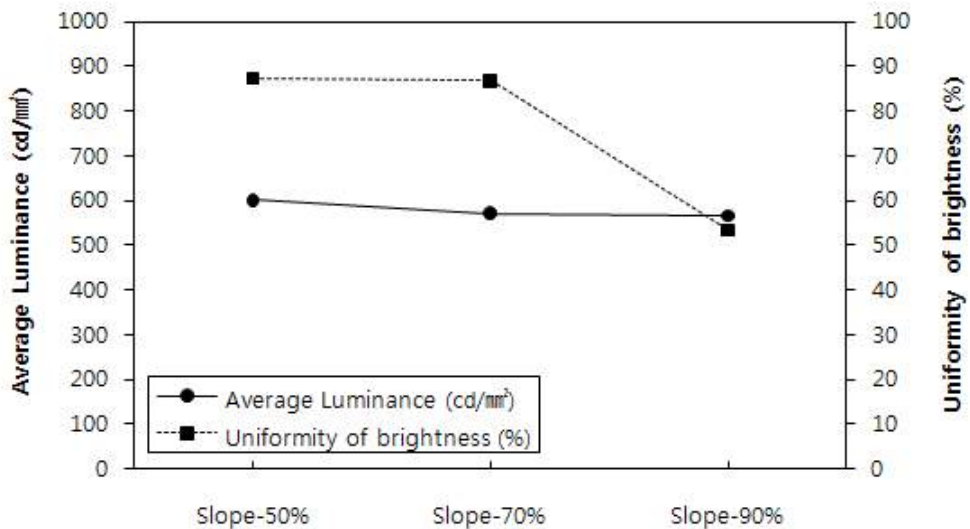


Figure 80. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(distance 1.5 mm) by laser processing.

또한 패턴의 기울기가 커질수록 평균휘도와 균일도가 저하됨을 그림 80에서 확인할 수 있다. 기울기의 증가에 따른 평균휘도의 감소는 큰 차이를 보이지 않은 반면 90 %인 4.06°기울기를 갖는 경사패턴의 경우 균일도는 53.4 %로 약 1.6배가량 저하됨을 알 수 있었다.

Table 33. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 2.5mm) by laser processing.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope50	2.5	484.1	76.1
Slope70	2.5	492.0	71.8
Slope90	2.5	414.4	88.5

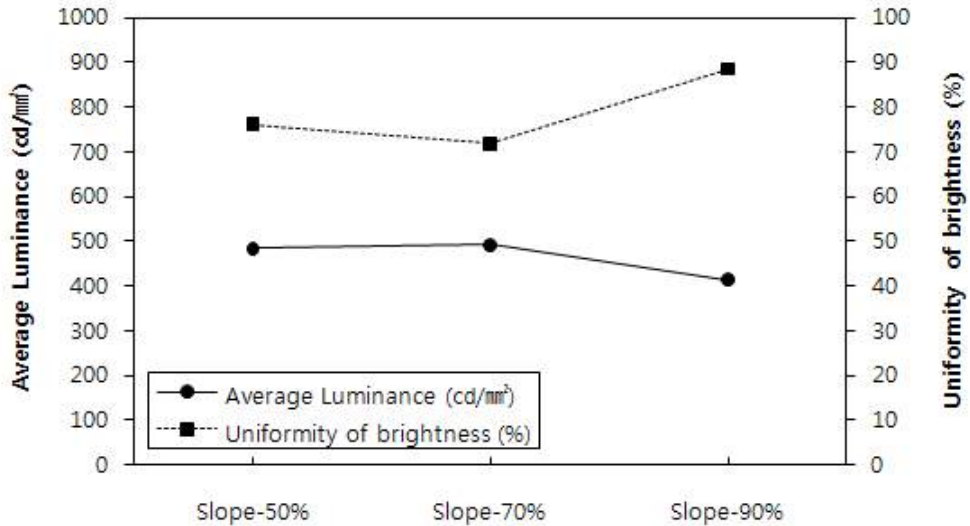


Figure 81. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(distance 2.5 mm) by laser processing.

표 33은 간격 2.5 mm로 레이저 가공된 경사패턴의 기울기 변화에 따른 측정 결과를 보여주고 있다. 그림 81과 같이 기울기 가 증가함에 따라 평균휘도는 다소 저하됨을 보이나 90 %인 4.06°기울기를 갖는 경사패턴의 균일도가 88.5 %로 본 연구에서 제시한 보정된 경사패턴 중 가장 높은 균일도를 확인할 수 있었다.

Table 34. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant of slope patterns(distance 3.5 mm) by laser processing.

Pattern shape	Distance (mm)	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
Slope50	3.5	379.4	84.7
Slope70	3.5	412.0	76.5
Slope90	3.5	343.0	41.3

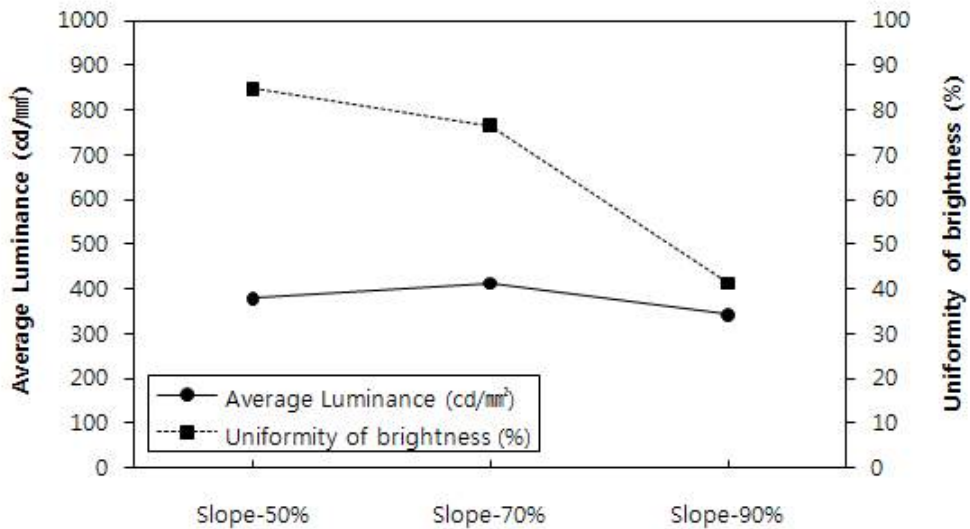


Figure 82. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the distance of slope patterns(distance 3.5 mm) by laser processing.

표 34는 간격 3.5 mm로 레이저 가공된 경사패턴에 대한 기울기 변화에 따른 측정 결과를 나타낸다. 그림 82와 같이 90 %인 4.06°기울기를 갖는 경사패턴의 평균 휘도가 343 cd/mm²이고 이에 따른 균일도가 41.3 %로 본 연구에서 제시한 보정된 경사패턴의 균일도 중 가장 낮음을 확인할 수 있었다. 반면 50 %인 2.26°기울기를 갖는 경사패턴의 평균휘도가 379.4 cd/mm²이고 이에 따른 균일도가 84.7 %인 것으로 보아 등간격의 패턴에 있어서 기울기가 증가할수록 균일도가 저하됨을 알 수 있었다.

레이저로 가공된 경사패턴의 간격에 따른 기울기의 변화에 대한 평균휘도와 균일도의 측정 결과에 대해 표 35로 분석해보았다. 전산모사의 경우와는 달리 기울기 50 %인 경사패턴의 간격이 1.5 mm로 26개 형성되었을 때의 평균휘도(Type J)가 601 cd/mm²로 가장 높았고, 기울기 90 %인 경사패턴의 간격이 3.5 mm로 11개 형성되었을 때의 평균휘도(Type R)가 343 cd/mm²로 가장 낮음을 확인하였다. 또한 경사패턴의 균일도면에서는 기울기 90 %인 경사패턴의 간격이 2.5 mm로 26개 형성되었을 때의 균일도(Type O)가 88.5 %로 가장 높았으나, 평균휘도가 가장 높은 Type J의 균일도가 87.3 %로 거의 차이가 없음을 알 수 있었다. 전체적으로 본 논문에서 제시한 평균휘도와 균일도를 동시에 만족하는 외부산란패턴은 패턴의 간격이 1.5 mm인 기울기 50 %의 경사패턴임을 확인하였다. 또한 그림 83과 같이 레이저 가공 측정결과 경사패턴의 기울기가 크고 패턴의 간격이 증가하여 내부 산란체가 감소할수록 평균휘도와 이에 따른 균일도가 현저히 저하됨을 알 수 있었다.

결과적으로 패턴의 간격이 증가함에 따라 도광판 내부의 산란체가 감소하게 되므로 도광판 내부로 입사된 광이 패턴과 산란하는 양이 상대적으로 급격히 저하된다. 따라서 상부로 방출되어지는 광량이 점차 줄어들게 되어 이에 따라 평균휘도가 감소함을 알 수 있다. 또한 패턴의 간격이 증가할수록 입사된 광이 충분히 도광판의 뒷부분까지 도달하지 못하여 입사부에서 강한 산란에 의해 휘도가 높게 측정된 반면 뒷부분에서의 측정값이 상대적으로 낮게 측정되기 때문에 균일도 역시 감소하게 된다.

따라서 보다 효율적인 도광판을 제작하기 위해서는 본 연구에서 제시한 바와 같이 도광판 내부로 전달되는 광원이 산란되어 상부로 균일하게 방출되도록 도광판 안쪽으로 형성되어있는 패턴의 높이와 간격의 조절만으로도 충분히 효율적인 도광판을 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 35. The measurement results to the average luminance and brightness according to the slant about distance of slope patterns by laser processing.

Pattern shape	Type	Average Luminance (cd/mm ²)	Uniformity of brightness (%)
S50-d1.5	J	601.0	87.3
S70-d1.5	K	571.2	86.8
S90-d1.5	L	566.1	53.4
S50-d2.5	M	484.1	76.1
S70-d2.5	N	492.0	71.8
S90-d2.5	O	414.4	88.5
S50-d3.5	P	379.4	84.7
S70-d3.5	Q	412.0	76.5
S90-d3.5	R	343.0	41.3

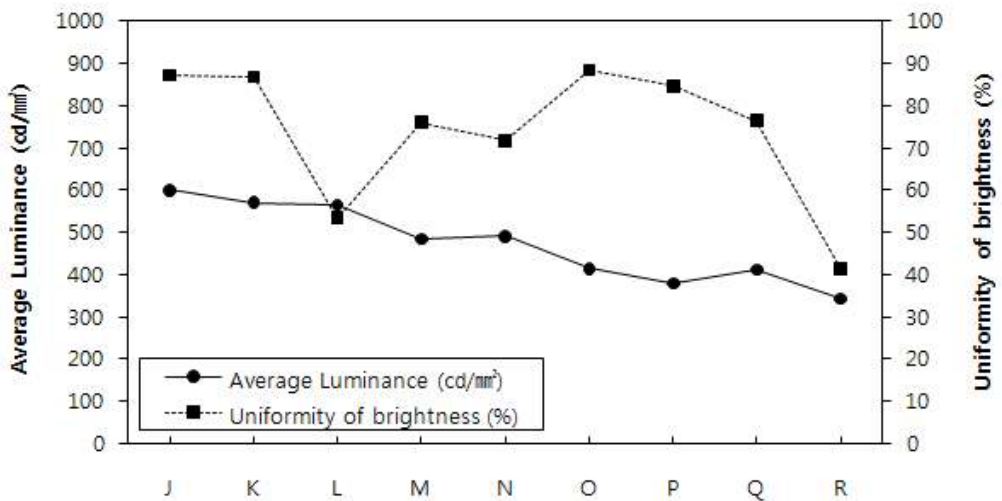


Figure 83. The Comparison of results to the average luminance and brightness according to the slant about distance of slope patterns by laser processing.

제 5장 결 론

산란체의 공간적 분포제어를 통한 휘도분포제어가 가능한 내부산란체의 장점을 이용하고자 3차원 레이저 가공시스템을 이용하여 도광판 내부에 산란체를 형성하는 방법이 연구되었다. 하지만 도광판에 있어서 레이저 가공에 의한 평면산란패턴 제작의 경우 상부로 방출되는 광이 광원과 가까운 쪽에 다소 많이 분포됨으로 인해 휘도 분포가 균일하지 않고 가공 시간이 많이 소요되는 등의 문제점이 야기된다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 기존의 설계 기술을 토대로 도광판 설계에서 가장 중요한 휘도분포 조절과 그에 따른 산란패턴의 관계에 대해 제시하고자 레이저로 가공된 산란패턴을 설계하여 도광판에 제작한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) CO₂ 레이저를 이용하여 도광판 제조시스템의 장점인 짧은 제조시간과 높은 휘도를 극대화시키기 위해 휘도와 균일도를 향상시킬 수 있는 가공조건을 각각 선정하여 패턴을 설계하였다. 또한 레이저를 이용하여 도광판 내부 쪽으로 특징적인 기울기를 가지는 산란패턴을 설계하여 가급적 후면의 산란패턴에 의해 상부로 방출되는 광의 유도를 제안하였다.

2) 산란패턴의 간격과 가공 깊이를 다르게 조절하여 설계된 산란패턴에 따른 도광판의 성능의 차이점을 전산모사 하여 비교 분석하였고, 이 결과를 바탕으로 CO₂ 레이저를 이용하여 실제 도광판에 적용시켜 휘도분포와 균일도를 측정하였다. 본 연구의 핵심이기도한 도광판의 제작에 있어서 도광판의 성능을 결정짓는 가장 중요한 부분은 밝기분포의 균일도이다. 앞서 평면패턴의 조건에 따른 결과를 전산모사하였고, 이 결과 평면패턴의 가공 높이에 따라 평균휘도에 차이는 크지 않았으나 균일도가 향상됨을 알 수 있었으며, 이를 토대로 레이저로 가공한 후 측정한 결과 도광판 내부로 전달되는 광원이 산란되어 도광판 전체에 방출되는 광량의 균형을 맞춰 상부로 균일하게 방출되도록 유도하기 위해서는 도광판 안쪽으로 형성되어있는 패턴의 높이를 보정 할 필요가 있음을 제시하였다.

3) 이에 본 연구에서 제안한 내부패턴의 균일도 향상을 위한 제어방법으로 패턴의 높이를 보정하는 방법을 검토하여 경사산란패턴을 설계하여 전산모사하였다. 이 결과 평면산란패턴의 평균휘도값이 571.4 cd/mm^2 임에 비해 경사산란패턴의 평균 휘도값은 684.9 cd/mm^2 로 약 1.2배가량 향상되었고, 이에 따른 균일도 또한 평면산란패턴의 경우 31.5 %임에 비해 경사산란패턴의 균일도는 83.1 %로 2.6배 이상 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 이를 바탕으로 실제 레이저로 가공하여 측정한 결과 평면산란패턴의 평균휘도값이 69.1 cd/mm^2 임에 비해 경사산란패턴의 평균휘도값은 566.1 cd/mm^2 로 약 8배 향상되었고, 평면산란패턴의 균일도가 34.4 %임에 비해 경사산란패턴의 균일도는 88.5 %로 2.5배 이상의 효율적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한 추가적으로 패턴의 기울기를 보정하여 평면패턴의 경우보다 평균휘도가 약 15배가량 향상되었고, 이에 따른 균일도는 약 5배 이상 향상되어 동시에 만족할 수 있음을 확인하였다.

4) 실제 제작에 있어서 패턴의 가공높이 및 간격의 최적 조건을 도입한다면 레이저를 이용한 도광판 제조시스템의 장점인 짧은 제조시간과 휘도의 극대화를 기대할 수 있고, 전산모사로 구축된 패턴 설계를 통해 쉽고 빠르게 패턴을 디자인하여 도광판 패턴 설계에 필요한 시간을 절감할 수 있으며, 빠른 시작품 제작이 가능하여 설계에서 평가단계까지 필요한 시간과 공정을 단축시킬 수 있을 것으로 예상된다. 뿐만 아니라 외부산란패턴 설계에 있어 최적의 가공조건을 선정하여 실제 도광판에 도입한다면 기존에 사용되는 일반적인 방법에 비해 빛의 손실을 최대한 줄이고 광 효율이 향상된 도광판 제작에 힘을 실어줄 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] M. Anandan, “ED backlight for LCD/TV monitor: issues that remain,”in Proc. SID ‘6 Tech. Digest (San Francisco,USA, May 2006), pp. 1509-1512.
- [2] A. Mills, “ED backlights poised to penetrate larger liquid crystal displays”, LEDs Magazine May/June, 2007, pp. 36-38.
- [3] R. S. West et al., “High brightness direct LED backlight for LCD-TV”, SID, Int’l Symposium Digest Technical Papers, 2003, pp. 1262-1265.
- [4] A. Horibe, et al., “High-Efficiency and High Quality LCD Backlight Using Highly Scattering Optical Transmission,” ICE Trans. Electron, Vol. E81-C, 1999, pp. 1697-1702.
- [5] G. Harbers et al., “High performance LCD backlighting using high intensity red, green and blue light emitting diodes”, SID, Int’l Symposium Digest Technical Papers, 2001, pp. 702-706.
- [6] Di Feng et al., “High quality light guide plates that can control the illumination angle based on microprism structures”, Applied physics letters, Vol. 85, No. 24, 2004, pp. 6016-6018.
- [7] Feng, Di et al., “Novel integrated light-guide plates for liquid crystal display backlight”, Journal of optics A, Pure and applied optics, Vol. 7 No. 3, 2005, pp. 111-117.
- [8] Feng, D. et al., “Integrated light-guide plates that can control the illumination angle for liquid crystal display backlight system”, Proceedings of SPIE-the international society for optical engineering, Vol. 6034, 2006, pp. 6034-06.

- [9] 최규만, “도광판 백라이트의 설계 및 제작”, 대한전자공학회, Vol. 3, No. 1, 1997, pp. 95-105.
- [10] Z.Q. Liu et al., “Coupling effects of the number of pulse repetition rate and fluence during laser PMMA ablation” Elsevier, Applied Surface Science, No. 165, 2000, pp. 303-308.
- [11] GeunHyung Kim, “A PMMA composite as an optical diffuser in a liquid crystal display backlighting unit(BLU),” Elsevier, European Polymer Journal, Vol. 41, 2005, pp. 1729-1737.
- [12] **Sohee Park** et al., “Investigation of the shape of the dots in laser irradiated crystal and PMMA using optical coherence tomography”, 한국레이저가공학회, 제 8권, 제 2호, 2005, pp. 1-6.
- [13] 박은철, “LCD Backlight Unit 설계를 위한 3차원 모의실험도구 개발에 관한 연구”, 국민대학교 대학원 석사학위논문, 2001, pp. 3-21.
- [14] 김태훈, “레이저 3차원 가공으로 제작된 도광판에 관한 연구”, 아주대학교 대학원 박사학위논문, 2007, pp. 66-127.
- [15] Taehun Kim et al., “Analysis of the laser patterning inside light guide panel”, Optics & Laser Technology, Vol. 39, 2007, pp. 1437-1442.
- [16] 박소희 외 “3차원 Laser engraving에 의해 형성되는 내부산란체를 갖는 도광판”, 한국물리학회, Vol. 24, No. 2, 2006, pp. 534.
- [17] Shin, Y., Park, S. et al., “Analysis of laser engraving image inside crystal and PMMA”, SPIE, Vol. 5713, 2005, pp. 539-544.

- [18] 김태훈 외, “백라이트 도광판 패턴의 레이저 가공에 관한 연구”, 한국레이저가공학회, 2006, pp. 66-67.
- [19] 김영섭 외, “레이저 가공에 의한 백라이트 도광판 성능 향상”, 한국레이저가공학회, 제10권, 제1호, 2007, pp. 29-34.
- [20] Eunseo Choi et al., “Light Manipulation in a Transparent Medium with Laser-Periodic Three-Dimensional and Surface Scatterers”, Journal of Korean Physical Society, Vol. 55, No. 6, 2009, pp. 2646-2649.
- [21] 박소희 외, “레이저 가공 산란패턴의 유형에 따른 도광판의 휘도 및 균일도 향상에 관한 전산모사”, 한국광학회, Vol. 21, No. 6, 2010, pp. 225-229.
- [22] 박은철 외, “광추적 기법에 기반한 LCD Backlight UNIT의 모의실험에 관한 연구”, 한국정보과학회, Vol. 28, No. 2, 2001, pp. 538-540.
- [23] J. M. Hammersly, D. C. Handscomb, 『Monte Carlo Methods』, Chapman and Hall Ltd, 1964. pp. 31-36.
- [24] 류양선, “직하형 LCD Back-light Unit 설계를 위한 최적화에 관한 연구”, 국민대학교 대학원 석사학위논문, 2004, pp. 4-16.
- [25] 이원용, “LCD 백라이트 시뮬을 위한 빠른 광선추적 알고리즘 및 시뮬 도구 연구”, 고려대학교 대학원 박사학위논문, 2003, pp. 5-23, 76-95.
- [26] Chern-Sheng Lin et al., “A digital image-based measurement system for a LCD backlight module”, Optics & Laser Technology, No. 33, 2001, pp. 499-505.
- [27] Jurgen R. Meyer-Arendt, 장수 · 조재홍 외 공역, 『응용광학(Introduction to Classical and Modern Optics)』, 도서출판 대응, 1999, pp.276-279.

- [28] Hecht, Eugene, 『Optics』, Fourth Ed, Addison Wesley, 2001. pp. 86-104.
- [29] G. R. Fowels, 김종오 역, 『현대광학(Introduction to modern optics)』, 2nd Edition, 과학서적센터, 1990. pp. 187-189
- [30] 유재성, “Micro Fresnel Lens Array를 이용한 Backlight Unit 설계”, 청주대학교 대학원 석사학위논문, 2004, pp. 3-15.
- [31] 서희경 외, “Simplex search를 이용한 LCD Backlight Unit 내부의 도광판 인쇄패턴의 자동 최적화”, 한국정보과학회, Vol. 30, No. 2, 2003, pp. 515-516.
- [32] 장타관, 『조명-원리와 응용』, 북스힐, 2004, pp. 1-41.
- [33] 최경호 외, 『조명의 이해와 설계』, 태영문화사, 2005, pp. 11-30.
- [34] GyungDong Kim et al., “Laser-marking process for liquid-crystal display light guide panel”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part B, Journal of engineering manufacture, Vol. 219, No. 7, 2005, pp. 565-569.
- [35] 송순달, 『레이저의 기초원리와 응용』, 청문각, 2001, pp. 1-149.
- [36] J. Lawrence, L. Li, “Modification of the wettability characteristics of polymethyl methacrylate(PMMA) by means of CO₂, Nd:YAG, excimer and high power diode laser radiation”, Material Science and Engineering A303, 2001, pp. 142-149.
- [37] 황경현 외, “레이저를 이용한 재료가공”, The Journal of Optical Society of Korea(Korean Edition), Vol. 1, No. 1, 1990, pp. 98-105.

- [38] 김도훈, “레이저에 의한 재료가공에서 레이저빔의 특성과 조절” 대한금속학지, 제24권, 제 1호, 1986, pp.59-65.
- [39] 김도훈, 『레이저 가공학』, 경문사, 1996, pp. 187-209, 217-233.
- [40] J. Wilson et al., “Laser principles and applications”, Prentice Hall International Ltd., UK, 1987, pp. 106-118.
- [41] 최종운, 『레이저 응용 기술의 현황과 전망』 레이저기술 1월호, 2001, pp. 13-47.
- [42] M. Boutinguiza et al., “CO₂ laser cutting of slate”, Optics Laser Engineering, Vol. 37, No. 1, 2002, pp. 15-25.
- [43] Lilli Manolis Sherman, “Laser Marking has a Bright Future in Plastics”, Plastics Technology, Vol. 47, No. 8, 2001, pp. 52-57.
- [44] 박기수, “Galvanometer를 이용한 광학적 자동초점조정 시스템”, 한국물리학회지, Vol. 6, No. 1, 1996, pp. 1-6.
- [45] Peter A. Atanasov et al., “Aspects of CO₂ laser engraving of printing cylinders”, Optical society of America, Applied Optics, Vol. 38, No. 9, 1999, pp. 1759-1763.
- [46] 양성민, “CO₂ laser beam을 이용한 backlight용 도광판 개발”, 인하대학교 대학원 석사학위논문, 2001, pp. 3-15.
- [47] K. Watkins, W.M. Steen, “CO₂ laser cutting of slate”, Optics and Lasers in Engineering, No. 37, 2002, pp.15-25.

- [48] 사종엽 외, “LCD 백라이트 도광판의 광학적 특성에 대한 연구”, 대한기계학회, Vol. 28, No. 4, 2004, pp. 362-369.
- [49] 임성규, “액정디스플레이 백라이트”, 단국대학교출판부, 2005, pp. 67-84.
- [50] 장우진 외, 『고효율 조명기술』, 아진, 2006, pp. 5-15.
- [51] 이광훈 외, “신개념 백라이트유닛 모델링”, 한국광학회지, Vol. 21, No. 2, 2010, pp. 41-45.
- [52] T. Ide et al., “Moire-Free Collimating Light Guide with Low-Discrepancy Dot Patterns”, Digest of Technical Papers (Society for Information Display), 2002, pp.1232-1235.
- [53] 김경동, “LCD 백라이트 도광판 제조를 위한 레이저 패터닝 공정에 관한 연구”, 경상대학교 대학원 석사학위논문, 2002, pp. 5-18.
- [54] 사종엽 외, “LCD 백라이트 도광판의 패턴설계”, 영남대 산업기술연구소 논문집, Vol. 31, No. 1, 2003, pp. 15-22.
- [55] 이정호 외, “옛지형 LED 백라이트의 균일도 향상을 위한 도광판의 광구조 최적화”, 한국광학회지, Vol. 21, No. 2, 2010, pp. 61-68.

저작물 이용 허락서

학 과	물리학과	학 번	10341041	과 정	박사
성 명	한글: 박 소 희 한문:朴 昭 姬 영문: Park so hee				
주 소	광주 광역시 광산구 산월동 부영사랑으로 APT 1204동 1404호				
연락처	e-mail : psh0222@nate.com				
논문제목	한글 : 레이저 가공 산란패턴의 유형에 따른 도광판의 휘도 및 균일도 향상에 관한 연구				
	영문 : A Study on the Luminance and Uniformity Improvement of Light Guide Panel according to the Scattering Pattern by Laser processing				

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()

2011년 2월

저작자 : 박 소 희 (인)

조선대학교 총장 귀하