

## 회절 광학 소자 기반 적응형 전조등 시스템 연구

신성욱<sup>1</sup>, 박승호<sup>1</sup>, 유경선<sup>2</sup>, 노명재<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한국공학대학교 IT반도체융합공학과 박사 과정, <sup>2</sup>한국공학대학교 나노반도체공학과 교수, <sup>3</sup>메타틱스 연구소장

# A Study on Adaptive Front-Lighting System based on Diffractive Optical Element

Seong-Uk Shin<sup>1</sup>, Seung-Ho Park<sup>1</sup>, Kyoung-Sun Yoo<sup>2</sup>, Myeong-Jae Noh<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Student, Department of IT Convergence Semi-Conductor Engineering, Tech. University of Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Nano Semi-Conductor Engineering, Tech. University of Korea

<sup>3</sup>Research Director, Metatics

**요약** 본 논문에서는 적응형 전조등 시스템 규정 중 일반도로 모드, 고속도로 모드, 젖은도로 모드를 만족하는 배광의 형성을 위한 회절 광학 소자를 설계하였으며, 이를 GDSII 스트림 형식의 파일로 도출하였다. 회절 광학 요소를 통해 형성된 배광의 유효성 및 백색광 구현 여부 확인을 위하여 각각 Field Tracing, Ray Tracing 기반의 시뮬레이션을 진행하여 변환빔 측정점에 대한 위치 요구사항 및 광도 요구사항의 만족을 확인하였다. 본 연구를 기반으로 적응형 전조등을 구현하는 경우, 광도의 대비 재현 및 단순한 구조의 적응형 전조등 시스템 구현이 가능할 것으로 예상된다.

**주제어** : 회절 광학 소자, 레이저 다이오드, 적응형 전조등, 회절, 반사프리즘

**Abstract** In this paper, a diffractive optical element was designed to create lighting patterns that satisfy the requirements of adaptive headlight systems for normal road mode, highway mode, and wet road mode, and this was rendered into a GDSII stream format file. To verify the effectiveness of the light distribution formed by the diffractive optical elements and the realization of white light, simulations based on Field Tracing and Ray Tracing were conducted, confirming the satisfaction of position and luminance requirements at the transformation beam measurement points. Based on this research, it is anticipated that the implementation of adaptive headlights would be possible, enabling the reproduction of luminance contrast and the creation of a simple-structured adaptive headlight system.

**Key Words** : Diffractive Optical Element, Laser diode, Adaptive Front-lighting System, Diffraction, Reflective Prism

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경

도로 주행 시 운전자 시야 감소는 운전자의 대응력

을 떨어뜨려 사고 발생의 가능성 증가 및 치명률의 증가로 이어진다. 일례로 2003년부터 2007년까지 미국 플로리다주에서 발생한 교통사고 데이터를 분석하여 안개와 관련된 사고가 야간 도로에서 훨씬 발생하기가

\*This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20224000000200).

\*This work was supported by the Korea Environmental Industry & Technology Institute(KEITI) funded by the Ministry of Environment(MOE) (Training DX-based carbon supply network environmental experts).

\*Corresponding Author : Myeong-Jae Noh(noyin@hanmail.net)

Received November 15, 2023

Revised December 8, 2023

Accepted December 20, 2023

Published December 30, 2023

쉽고, 더욱 심각한 부상을 초래한다는 것이 확인하였다 [1].

이처럼 시야 감소로 인한 사고 방지를 위하여 시선 유도 시설의 설치 혹은 차량용 전조등 성능 연구가 지속되고 있다<sup>[2]</sup>. 이 중 적응형 전조등 시스템(Adaptive Front-Lighting System:AFS)은 주변 환경 및 도로의 상황에 따라 차량의 전조등을 제어하여 운전자의 안전성을 개선한다.

현재 전조등에 관한 연구는 기존 전통 조명 광원 시스템과 동일한 패러다임(Paradigm)으로 진행되고 있어 LED 조명시스템이 단순화된 구조로 전환되지 못하고 있다. 특히, Low-beam(하향등, 변환빔) 시스템의 성능에 대한 법적 규제가 까다로워서 이를 만족하기 위해 광학 시스템이 복잡한 형태를 가진다. 미래형 Low-beam의 경우 상황에 따른 선택적인 조명(적응형)을 필요로 하는데 Beam Target에 대한 기준 규정 [3]이 포함하는 성능의 국소적 밝기에 대한 Contrast 비가 매우 높다.

이러한 이유로 현재 기존 회사들은 디지털 방식의 개발 접근방법 대신 아날로그 방식의 개발 접근방법을 채택하고 있다. 현재 시중의 적응형 전조등 시스템의 구동 방식은 다수의 LED를 컨트롤러를 통해 제어하는 방식을 활용하고 있어 복잡한 구조를 가진다[4].

본 논문에서는 회절을 기반으로 한 회절 광학 소자(Diffractive Optical Element, DOE)를 설계하고 적응형 전조등 규격의 일반도로 모드, 고속도로 모드, 젖은도로 모드에서 요구하는 광도 기준을 만족하는 배광을 구현하고자 한다. 배광의 구현을 시뮬레이션 소프트웨어(VirtualLab Fusion (Lighttrans), LightTools (Synopsis))를 사용하여 확인하고자 하였다.

1.1.1 적응형 전조등 시스템

적응형 전조등 시스템이란 차량의 주행 환경뿐 아니라, 도로 환경에 따라 전조등의 조사각 및 배광을 조절한다. 또한, 차량의 주행속도에 맞추어 전조등의 광도에 대한 조절이 가능하다.

Fig. 1 및 Table 1은 상황에 따른 적응형 전조등의 Beam Target에 대한 기준 규정이다. 이는 주행 환경에 따라 일반도로 모드 Class C, 시가지도로 모드 V, 고속도로 모드 E, E1, E2, E3, 젖은도로 모드 W로 구분된다.

본 논문에서는 60km/h 이하 주행 시의 Class C, 120km/h 이상 주행 시의 Class E, 우천 시의 Class W에 대한 Beam Target을 형성하고자 한다.

Table 1 Passing-beam Photometric Requirements

(Unit : cd)	Class C		Class E		ClassW	
	min	max	min	max	min	max
B50L	50	350	50	625	50	625
HV	50	625	50		50	
BR	50	1,750	50	1,750	50	2,650
seg.BRR	50	3,550		3,550		5,300
seg.BLL	50	625		880		880
50R						
75R	10,100		15,200		20,300	
50V	510		10,100		10,100	
50L	3,550	13,200	6,800		6,800	26,400
25LL	1,180		1,180		3,400	
25RR	1,180		1,180		3,400	
Seg 20						17,600
Seg 10		12,300		12,300		7,100
B50L	50	530				790
E_max	16,900	44,100	16,900	79,300	29,530	70,500

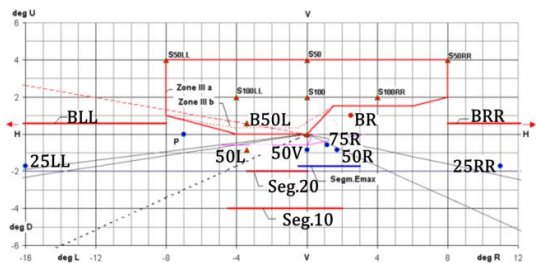
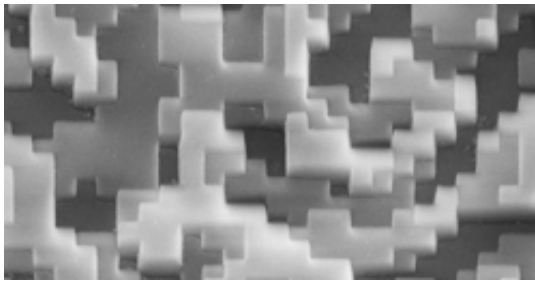


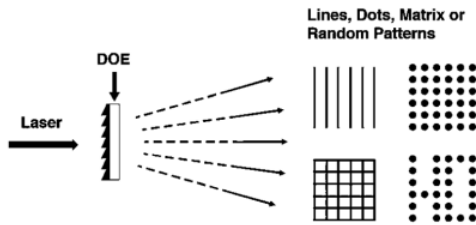
Fig. 1. Angular Positions of Passing-beam Photometric Requirements

1.1.2 회절 광학 소자

전통적 방식의 광학계는 여러 개의 렌즈 혹은 광학 소자를 중첩하여 광학계 내의 빛을 반사·굴절시켜 상을 형성한다. 회절 광학 소자(Diffractive Optical Elements; DOE)는 Fig. 2 (a)와 같이 마이크로 또는 나노 구조의 표면을 가진 광학 부품으로, 표면에 입사하는 빛을 회절하여 상을 형성한다. 회절 광학 소자 표면에서 나노구조의 배치와 크기 및 모양을 통해 투과하는 광에 대한 회절 영향을 결정한다. 회절 광학 소자는 일반적으로 레이저 다이오드(Laser Diode)를 광원으로 사용하며, Fig. 2 (b)와 같이 단일 직진광을 여러 갈래로 분할하거나 특정 패턴으로 형성하는 데 사용된다.



(a) Surface of Diffractive Optical Elements



(b) Function of Diffractive Optical Elements

Fig. 2. Diffractive Optical Elements

### 1.2 배경 이론

본 논문에서는 시인성에 대하여 다음과 같은 수식을 참고하였다. 식 1은 램버트-비어의 법칙(Lambert-Beer's Law)으로, 균일한 물질층을 통과하는 빛의 흡수에 대하여 입사광의 세기와 투과광의 세기로 투과율을 계산할 수 있다.

$$\frac{I}{I_0} = \tau = e^{-\sigma l} \quad (1)$$

- $I_0$  : 입사광의 세기
- $I$  : 투과광의 세기
- $\tau$  : 물질층의 투과율
- $\sigma$  : 대기층에서 빛의 감쇠계수

대기에 혼탁함이 있으면 빛이 감쇠되고 대상물과 그 주변의 색이나 휘도 대비가 감소되어 시각에 의한 정보 전달이 저하된다. 해당 관계는 식 2와 같다.

$$L_1 = L_0 e^{-\sigma l} + L_H (1 - e^{-\sigma l}) \quad (2)$$

- $L_x$  : 대상물을 거리  $l$ 에서 보았을 때의 휘도
- $L_0$  : 대상물의 원래 휘도
- $L_H$  : 배경 휘도

대상물 및 배경의 휘도는 거리에 따라 변화하기 때문에 대비가 변화한다. 이러한 변화를 식 3과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_l = \frac{L_l - L_H}{L_H} = \frac{L_0 - L_H}{L_H} e^{-\sigma l} = C_0 e^{-\sigma l} \dots\dots\dots (3)$$

- $C_l$  : 대상물을 거리  $l$ 에서 보았을 때의 대비
- $C_0$  : 대상물의 원래 대비

시인성은 대기의 혼탁함의 정도를 나타내는 척도로 나타낼 수 있으며 대상물의 존재 여부와 형상을 육안으로 식별할 수 있는 최대 수평거리로, 식 4와 같이 정의할 수 있다.

$$C_l = e^{-\sigma l} = \tau^l \quad (4)$$

- $C_l$  : 거리  $l$ 에서의 시인성
- $\tau$  : 대기의 투과율

## 2. 본론

### 2.1 연구 방법

회절 광학 소자 표면 패턴 설계는 VirtualLab Fusion(Lighttrans)을 사용하여 수행하였다. 광원은  $\phi$  1mm 크기의 발광부에서 X축 0.04°, Y축 0.04°의 확산 각을 가지고 광을 방출하는 레이저 다이오드로, 각각 색상에 따라 445nm, 525nm, 638nm의 파장을 가지도록 설정하였다. 회절 광학 소자 표면 패턴은 4개의 단계를 가져 2개의 Mask로 제작하도록 설계하였으며, 회절 광학 소자를 통과하여 형성되는 광 패턴은 프라운호퍼 회절을 고려하여 Paraxial Far Field 설정을 통하여 초점이 없이 진행하도록 하였다. 회절 광학 소자를 통과하여 형성되는 광 패턴의 Diameter Factor를 2로 설정하여, Beam Target의 크기가 1,100mm × 300mm에 따라 2,200mm × 600mm 영역에서 광 세기를 분석하였다. 이때, 분해능은 2mm × 2mm로 설정하였다, 회절되지 않는 최대 미광의 세기는 0.1%의 값으로 설정하였다.

Ray Tracing 시뮬레이션은 LightTools(Synopsis)를 사용하여 수행하였다. 파장 445nm, 525nm, 638nm의 빛에 대한 Fused Silica의 굴절계수는 각각 1.4660, 1.4610, 1.4569로 설정하였다. 광원 전방 1m에 1,100mm × 300mm 크기의 리시버를 설정하였으며, 각 구조물

에 대하여 총 10,000,000개의 광선을 시뮬레이션하여 각 광원에서 방사되는 빛이 회절 광학 소자를 통과하여 형성되는 배광을 확인하였다.

## 2.2. 연구 결과

### 2.2.1 회절 광학 소자 설계

Fig. 3은 Fig. 1과 Table 1의 조건을 만족하는 각 Class 별 Beam Target이다. 해당 Beam Target은 Adobe Photoshop을 활용하여 1,100mm × 300mm의 크기로 제작하였으며, 75R 지점의 광도를 최대치로 두어 Gray Scale 0~255 범위에서 16단계로 세분하였다.

일반도로 모드를 기준으로 고속도로 모드는 측정점 75R 대비 주변 측정점의 광도가 적도록 하여 해당 측정점에 높은 광도를 적용하여 고속 주행 시 더욱 먼 거리의 시야를 확보하도록 하였다.

젖은도로 모드는 주변 측정점의 광도가 커 다른 모드와의 25RR 25LL 지점에서 광도 분포와 차이가 높으며, 이를 통하여 우천 시 도로와 대기 중의 물방울로 인한 난반사의 발생으로 인한 시야 감소에 대응한다.

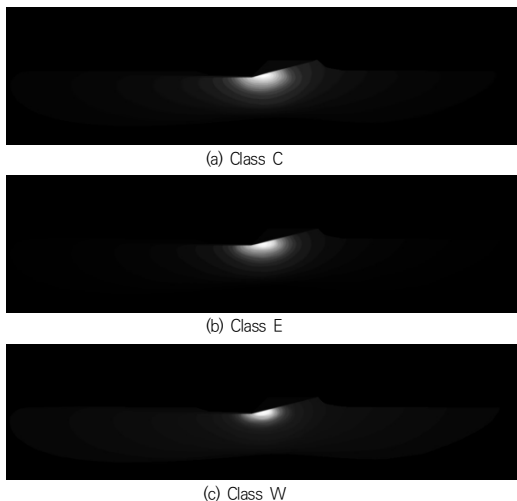


Fig. 3. Beam Target

Table 2, 3과 같이 회절 광학 소자의 Pixel을 광원의 파장에 따라 다르게 설계하였다. Fig. 4, 5, 6은 파장에 따른 각 모드의 회절 광학 소자의 형태 일부를 확대한 것이다.

Table 2. Mask Parameters of DOEs by Wavelength

Wavelength [nm]	Mask No.	Width [μm]	Length [μm]	Height [nm]
445	1	222.8	222.6	477.38
	2			238.69
525	1	262.5	262.5	569.20
	2			284.60
638	1	319	318.9	698.03
	2			349.02

Table 3. Pixel Size of DOEs by Wavelength

Wavelength [nm]	Parameter	Width [nm]	Length [nm]
445	Pixel	405	742
525		477.27	875
638		580	1,063

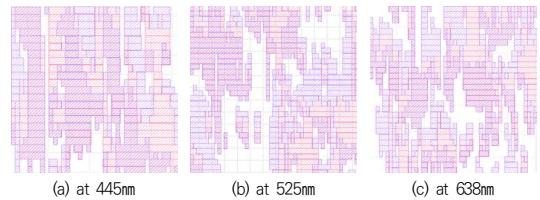


Fig. 4. 4-Level DOE for Class C

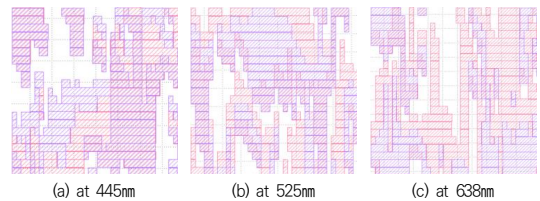


Fig. 5. 4-Level DOE for Class E

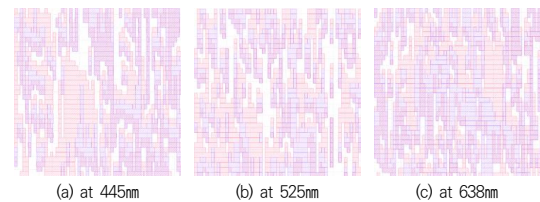


Fig. 6. 4-Level DOE for Class W

설계한 회절 광학 소자를 통하여 형성되는 광도 분포에 대한 Parameter를 Field Tracing 기반의 시뮬레이션을 진행하여 확인하였다. 확인한 Parameter 중 Window Efficiency는 회절 광학 소자를 통과하는 광이 Diameter of Light Pattern의 면에 도달하는 효율을 의미하는 것이며, Conversion Efficiency는 광원에서 방출된 빛이 회절 광학 소자를 통과하며 광 패턴

으로 변환되는 효율을 나타낸다.

젓은도로 모드, 일반도로 모드, 고속도로 모드 순으로 주변 측정점의 광도가 컸으며, 주변 측정점의 광도가 클수록 미광의 감소 하였으나 전체적인 광 효율이 감소함을 확인하였다.

Table 4. Efficiency of 4-Level DOE for Class C

Parameters	445nm	525nm	638nm
Window Efficiency	78.236	78.357	77.073
Conversion Efficiency	76.644	76.773	75.505
Signal-to-Noise Ratio	16.916	16.945	16.913
Max. Relative Intensity of Stray Light	5.6822	5.6142	6.4622

Table 5. Efficiency of 4-Level DOE for Class E

Parameters	445nm	525nm	638nm
Window Efficiency	79.519	79.495	79.483
Conversion Efficiency	77.888	77.874	77.882
Signal-to-Noise Ratio	16.881	16.906	16.957
Max. Relative Intensity of Stray Light	5.7237	7.5319	4.3699

Table 6. Efficiency of 4-Level DOE for Class W

Parameters	445nm	525nm	638nm
Window Efficiency	71.657	71.651	71.627
Conversion Efficiency	70.210	70.181	70.184
Signal-to-Noise Ratio	16.950	16.880	16.960
Max. Relative Intensity of Stray Light	5.6297	4.6896	4.7182

### 2.2.2 반사프리즘 광학계 설계

앞 절에서 설계한 회절 광학 소자에 대하여 백색광의 구현 여부를 확인하였다. 시뮬레이션 상의 광원은 시준된 레이저 다이오드로 설정하였고, 각 광원의 발광면의 크기는  $\phi 1.3\text{mm}$ , 간격은  $9.2\text{mm}$ 이며 파장에 따라 각각 녹색광인  $525\text{nm}$ 에서  $0.72\text{W}$ , 적색광인  $638\text{nm}$ 에서  $1.00\text{W}$ , 청색광인  $0.42\text{W}$ 를 인가하여 백색광을 구현하고자 하였다. 이를 통하여 얻은 광도 분포를 Fig. 7을 통하여 나타내었다. 그러나, 측정점 75R-B50L 구간 사이에서 색 번짐의 발생을 확인하였으며, 이때의 최대 채도값 97%를 확인하였다.

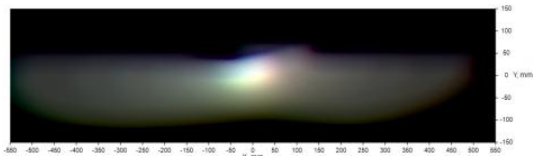


Fig. 7. Light Distribution by Source Array

색 번짐 현상은 광원의 크기에 의한 발광 면의 간격에 의하여 배광이 동일한 위치에 있지 못하는 것이 원인으로, 이를 최소화하기 위한 광학계를 설계하여 시뮬레이션을 진행하였다. 광학계는 전반사를 활용한 반사프리즘의 형태로 설계하였으며, 이때 전반사 임계각을 스넬의 법칙(Snell's Law)에 따라 계산한 결과, Fused Silica에서 진행하는 파장  $445\text{nm}$ ,  $525\text{nm}$ ,  $638\text{nm}$ 의 빛에 대한 전반사 임계각은 각각  $43.010^\circ$ ,  $43.193^\circ$ ,  $43.345^\circ$ 임을 확인하였으며, 내부 매질(Fused Silica)에서 진행하는 빛이 외부 매질(공기)과의 경계면에  $43.345^\circ$ 를 초과하는 각도로 입사하는 경우 내부전반사가 일어난다.

$\phi 10\text{mm}$ 의 크기를 가지는 Disk Source를  $9.2\text{mm}$  간격으로 배열하고 반사프리즘에 시준광을 입사하여 광원의 간격 변화에 대한 시뮬레이션을 진행하였다.

Fig. 8은 광원에서 출발하여 반사프리즘을 통과한 후 방출된 광을 조도 분포로 나타낸 것이다. 반사프리즘에 입사한 빛이 경사면에서 전반사되어 경로가 변화하였으며, 이를 통하여 방출된 빛의 간격이 기존 광원의 간격  $9.2\text{mm}$ 에서  $1.5\text{mm}$ 로 감소함을 확인하였다.

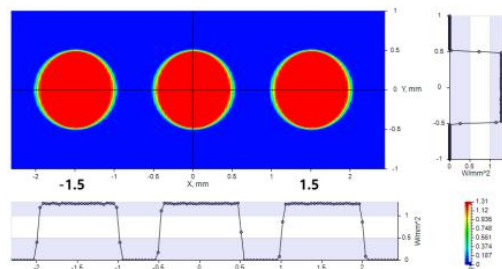


Fig. 8. Illuminance Distribution by Refl. Prism

Fig. 9는 각 모드에 대하여 반사프리즘을 적용하여 광원의 간격  $1.5\text{mm}$ 에서 광도 분포를 Color Chart View로 나타낸 것이다. 색번짐 현상에 대한 수치는 식 5를 통하여 계산하였다.

$$\frac{S_1 - S_2}{S_1} = \nabla S (\%) \quad (5)$$

$S_1$  : 광원 간 거리 9.2mm에서의 채도 값

$S_2$  : 광원 간 거리 1.5mm에서의 채도 값

일반도로 모드에서 색번짐 현상은 최대 채도값이 97%에서 22%로 감소하여 색번짐 현상이 77.32% 감소를 확인하였다. 고속도로 모드에서 최대 채도값이 99%에서 27%로 감소하여 색번짐 현상이 72.73% 감소함을 확인하였다. 젖은도로 모드에서 최대 채도값이 99%에서 34%로 감소하여 색번짐 현상이 65.66% 감소함을 확인하였다.

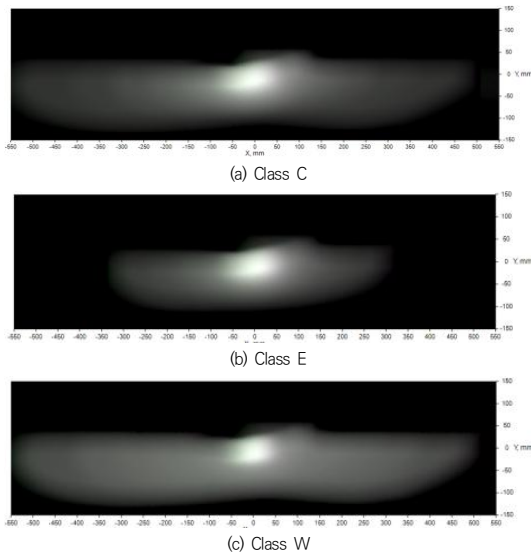


Fig. 9. Light Distribution by 4-level DOEs

### 2.3 광도 요구사항 분석

각 전조등 모드의 주요 측정점에 대하여 최대 광도 지점인 측정점 75R에서 각 모드 변환범 측정점에 대한 광도 요구사항의 최대치인 Class C에서 44,100cd, Class E에서 79,300cd, Class W에서 70,500cd을 가지는 경우의 시뮬레이션을 진행하여 각 주요 측정점의 광도를 확인하였으며, 그 결과를 표 7을 통하여 나타내었다. 이를 통하여 전 구간에서 광도 요구사항을 만족함을 확인하였다.

Table 7. Intensity of Each Class by Position

(Unit : cd)	Class C	Class W	Class E
75R	44100	70500	79300
50V	38434.86	55757.99	67801.03
Segment 20	23716.40	24267.48	38602.48
50L	7490.28	6722.20	10232.43
Segment 10	5483.67	5716.25	7125.34
25RR, 25LL	1833.79	3755.247	1932.15
B50L	184.10	271.00	525.68

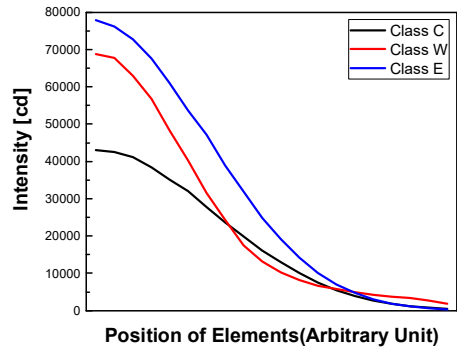


Fig. 10. Intensity of Each Class by Position of Elements

### 3. 결론

본 연구에서는 운전자의 시인성 개선을 위하여 적응형 전조등 시스템의 새로운 배광 형성 방식에 관한 연구를 수행하였다.

기존 적응형 전조등 시스템은 다수의 LED를 제어하는 방식으로 배광의 변화를 구현하였으나, LED를 사용하는 경우 광도의 높은 대비의 구현이 어려워 관련 규정을 만족하기 위해 복잡한 구조를 가지는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 전조등 시스템의 구현을 위한 회절 광학 소자를 설계하고 이에 대한 시뮬레이션을 진행하여 성능을 측정하였다.

회절 광학 소자는 일반도로 모드인 Class C, 고속도로 모드인 Class E, 젖은도로 모드인 Class W의 배광을 만족하도록 4-Level로 설계하였다. 각 Pixel 크기는 파장에 따라 445nm, 525nm, 638nm에서 405nm × 742nm, 477.27nm × 875nm, 580nm × 1,063nm으로, 가로 550개, 세로 300개로 회절 광학 소자를 구성한다.

시뮬레이션 결과 각 주요 측정점에서 광도 및 위치 요구사항을 만족함을 확인하였고, Class C에서의 광효율 77.73 Class E에서 광효율 79.50%, Class W에서 광효율 71.65%를 가짐을 확인하였다. 추가로 백색

광 구현 시뮬레이션의 진행 과정에서 색 번짐 효과의 발생을 확인하였고 색 번짐 현상의 최소화를 위한 반사 프리즘 광학계를 추가로 설계하여 색 번짐 현상을 최소 65.66%에서 최대 77.32%까지 개선하여 백색광을 구현하였다.

추후 본 연구의 결과를 통하여 적응형 전조등 시스템을 구현하는 경우, 각 모드의 회절 광학 소자를 연속 배열하여 슬라이드함으로써 상황에 맞는 배광을 형성할 수 있으며, 높은 광도 대비와 구조의 단순화를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- [1] Yu, J. H., Ro, S. J., Lee, J. H., Hwang, C. K., & Go, D. J. (2013). Smart Headlamp Optics Design with Multi-array LEDs. *Korean Journal of Optics and Photonics*, 24(5), 231-236.  
DOI : 10.3807/KJOP.2013.24.5.231.
- [2] Choi, C. H. et al. (2011). A Study of the Upper Layer for Improvement of the Extraction Efficiency in LED. *Korean Journal of Optics and Photonics*, 22(1), 53-57.  
DOI : 10.3807/KJOP.2011.22.1.053
- [3] Park, M. S. (2022). A Study on the Comparative Analysis of Changes in Temperature and Illuminance According to the Type of Power Supply(DC, AC) for LED Lighting Fixtures. *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, 17(1), 23-34  
DOI : 10.34163/jkits.2022.17.1.003
- [4] Yoon, Y. H. (2020). Research Method of Driving Driver to improve Stability and Reliability of AC LED. *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 20(1), 205-210  
DOI : 10.7236/JIIBC.2020.20.1.205
- [5] Korea National Law Information Center. (2018). *Adaptive headlight installation and luminance standards*. Korea National Law Information Center(Online). <http://www.law.go.kr>
- [6] Cho, H. J. et al. (2022). Design of High Efficiency Transmission Dielectric Grating for Chirped Pulse Amplification. *Korean Journal of Optics and Photonics*, 33(6), 260-266  
DOI : 10.3807/KJOP.2022.33.6.260
- [7] Jang, D., & Jeon, D. (2019). Spatial Light Modulator Used as Diffraction Apertures for Advanced Optics Study. *New Physics: Sae Mulli*, 69(12), 1257-1262  
DOI : 10.3938/NPSM.69.1257
- [8] Shin, K. et al. (2021). Experimental study on a driver perception of just noticeable differences for intensities of headlights during night driving. *Transactions of KSAE*, 30(7), 537-545  
DOI : 10.7467/KSAE.2022.30.7.537
- [9] Seo, J. H. et al. (2018). Design of a Reflector for LED Light Sources with Asymmetric Light Distribution. *Korean Journal of Optics and Photonics*, 29(6), 253-261  
DOI : 10.3807/KJOP.2018.29.6.253
- [10] Park, Y. (2021). Output Optimization of a Q-switched Composite YAG/Yb:YAG/Cr:YAG laser. *New Physics: Sae Mulli*, 71(9), 787-793  
DOI : 10.3938/NPSM.71.787
- [11] Choi, J. H. (2022). Output Characteristics of the Dual-Pumped Nd:YVO<sub>4</sub> Laser with 808 nm and 888 nm Laser Diode. *New Physics: Sae Mulli*, 72(3), 231-237  
DOI : 10.3938/NPSM.72.231
- [12] Kwon, Y. (2016). Current Status and Prospects of High-Power Fiber Laser Technology (Invited Paper). *Korean Journal of Optics and Photonics*, 27(1), 1-17  
DOI : 10.3807/KJOP.2016.27.1.001
- [13] Lee, S. S., Kim, T. H., & Son B. S. (2014). Study on Effect of Low Visibility Condition at Nighttime on Traffic Accident. *The journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, 13(2), 12-26  
DOI : 10.12815/kits.2014.13.2.012
- [14] Lee, W. Y. (2018). Fog Effect Generation from Approximated Image Depth. *The Journal of Korea Knowledge Information Technology Society*, 13(5), 553-560  
DOI : 10.34163/jkits.2018.13.5.005

신 성 욱(Seong-Uk Shin) [정회원]



- 2023년 2월 : 한국공학대학교 나노반도체공학 전공(공학석사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 한국공학대학교 IT반도체융합학과 전공(공학박사)
- 관심분야 : LED, Laser, Optical System, 광학 해석
- E-Mail : seonk6221@gmail.com

박 승 호(Seung-Ho Park) [정회원]



- 2020년 2월 : 한국공학대학교 기계공학과(공학사)
- 2022년 2월 : 한국공학대학교 AI제조융합공학과(공학석사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 한국공학대학교 IT반도체융합공학과(박사과정)

- 관심분야 : 3D 기구설계, 데이터 게더링, 머신러닝, 탄소중립
- E-Mail : psh9408@tukorea.ac.kr

유 경 선(Kyoung-Sun Yoo) [정회원]



- 2015년 3월 : 한국산업기술대학교광 나노전공(공학박사)
- 2008년 12월 ~ 현재 : Smart Energy Platform E/H 수석연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국공학대학교 나노반도체공학과 연구교수

- 관심분야 : 스마트시티, 스마트팩토리, 스마트LED조명, 광학 &방열 해석
- E-Mail : yks077@naver.com

노 명 재(Myeong-Jae Noh) [정회원]



- 2018년 8월 : 한국산업기술대학교 광 나노학 전공(공학박사)
- 2021년 10월 ~ 현재 : 메타틱스 연구소장
- 관심분야 : MicroLED, Laser, DOE, 광학 해석
- E-Mail : noyin@hanmail.net