https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.3.218

Technical Papers

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. ISSN 2508-5107(Online)

# 논리회로 방식 적용을 통한 자동차 전조등용 광원 및 그 시스템 연구

노명재<sup>a\*</sup>, 이수영<sup>a</sup>, 현동훈<sup>a</sup>

# Study on Light Source and Its System for Automotive Headlight Using Logic Circuit

Myeong-Jae Noh<sup>a\*</sup>, Soo-Young Lee<sup>a</sup>, Dong-Hoon Hyun<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Course for Knowledge-based Technology (Opto-Nanotronics), Korea Polytechnic University, 237, Sangidaehak-ro, Siheung, Gyeonggi-do, 15073, Korea

#### **ARTICLE INFO**

Article history:							
Received	29	January	2018				
Revised	3	April	2018				
Accepted	9	April	2018				
<i>Keywords:</i> Automotive headlight Logic circuit LED SAE standard							
ECE regulation							
AFS							

#### ABSTRACT

We herein study the more advanced form of the Light Emitting Diode (LED) light source used as an automotive headlight. We have attempted to convert the existing system configuration paradigm comprising a fixed simple light source and a traditional illumination optical system that can convert or manipulate, to a system comprising a combination of variously switched light sources and a fixed illumination optical system. To achieve the above-mentioned objectives, we studied the internationally recognized North American Standard Light Distribution Regulations [specifically, UB1, LB1M, and LB1V of Type F], and the European Standard Light Distribution Regulations [specifically Class B of normal mode, and Class V, Class E and Class W of adaptive front-lighting systems (AFS)]. The results show that the customized optical system paradigm with an existing fixed light source can be converted into a fixed optical system paradigm with a convertible light source.

# 1. 서 론

최근 자동차용 전조등(Head light) 조명의 광원으로 LD (Laser diode)<sup>[1-3]</sup>나 LED (light emitting diode)<sup>[4,5]</sup>의 적용이 일부 고급 자동차 기종에 활용되고 있음은 물론 LED의 효과적인 사용을 위 한 조명 광학계의 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 규정이 비교적 단순한 주행빔에 대해서는 일부 선도기업의 선행기술팀이 논리회 로회<sup>[6-8]</sup>하는 시도가 이루어지고 있으나 규정이 매우 까다로운 전 환빔은 아직까지 기존 전통조명광원 시스템과 유사한 형태인 고정 광원(Fixed optical source: mono-function)과 적합한 광학계

(Various optical systems: functions)의 합성곱(Convolution)구 조에서 벗어나지 못하고 있다.

전조등 전체에 대해서는 기존 전통조명 광원 시스템과 동일한 패러다임(Paradigm)으로 연구가 진행됨에 따라 LED조명 시스템 이 전체적으로 단순화된 구조로 전환이 힘들며 자동차용 전조등 규격인 북미 표준배광 규정(SAE standard)이나 우리나라가 따르 고 있는 유럽 표준배광 규정(ECE regulation)의 배광을 만족하기 위해서는 오히려 더 복잡한 구성을 가지게 되는 등 불합리한 점이 많아 Solid state lighting 광원의 특징을 효과적으로 적용하지 못 하는 실정이다.

<sup>\*</sup> Corresponding author. Tel.: +82-31-8041-1784 Fax: +82-31-8041-1786

E-mail address: noyin@kpu.ac.kr (Myeong-Jae Noh).

본 연구는 상기와 같은 문제점 등을 감안하여 연구가 시작되었으 며, 반도체 광원인 LD나 LED광원을 사용하면서도 기존 전통조명 광원을 사용하는 광학계 방식과 유사하게 LED 조명시스템을 개발 하게 되면서 발생하는 불합리한 점을 접근 패러다임을 전환함으로 서 이 모든 누적된 문제를 개선함과 동시에 자동차용 전조등 국제 규격인 북미 표준배광 규정이나 유럽 표준배광 규정을 손쉽게 만족 할 수 있는 논리회로를 가진 자동차 전조등 광원 및 그 시스템을 연구하는데 그 목적이 있다.

상기한 목적을 달성하기 위하여 본 연구에서 제시한 논리회로를 가진 자동차용 전조등 광원 및 그 시스템은 개별광원 및 그룹광원 을 일정패턴으로 배열(footprint)하여 각 그룹별 직병렬 구조로 회 로를 구성하고 밝기패턴을 논리 회로화 하여 밝기의 강도가 위치적 으로 다르게 구성하였다. 여기에서, 논리 회로 및 배열구성은 기본 모드, 동적모드, 전환모드의 3단계로 확장하여 시뮬레이션이 가능 하다.

본 논문에서는 기본모드와 동적모드를 시뮬레이션 진행하였으 며, 전환모드는 단순 거울상이므로 여기에서는 시뮬레이션을 생략 하였다. 시스템은 개별광원 및 그룹광원의 위치 및 밝기가 변환될 수 있는 광원과 고정된 광학계의 합성곱 구조를 기본 구성으로 하 여 연구하였다.

# 2. 배광기준 분석 및 설계법

#### 2.1 SAE 및 ECE 표준 배광 기준 분석

북미 표준배광 규정(Table 1, Table 2)<sup>[9]</sup>에서 분류한 전조등 시 스템의 종류는 매립형은 Type A부터 H까지 다양하며, 또한 매립 이 아닌 구조에 따라 조합형, 복합형, 벌브교환형까지 다양하다. 북 미 표준배광 규정에는 적응형(AFS: Adaptive front-lighting systems)에 대한 언급은 아직 없어 본 논문에서는 매립형 중에서 Type F (Table 1)를 기본모드 기준으로 하여, Upper beam에 대 해서는 UB1 (Table 2a), Lower beam에 대해서는 LB1M과 LB1V (Table 2b)에 각각 맞추어 광원 최적 설계 및 시뮬레이션을 진행하였다.

유럽 표준배광 규정(Table 3<sup>[10]</sup>, Table 4<sup>[11]</sup>)에서 분류한 전조등 시스템의 종류는 기본형은 밝기에 따라 Class A와 B로 나뉘지만 본 논문에서는 Class B (Table 3)로 진행 했으며, 북미 표준 배광 규정에서 Upper beam이라 명명한 것을 Driving beam으로, Lower beam이라 명명한 것은 Passing beam으로 부르며, 그 중 Passing beam의 경우 Table 4와 같은 적응형 혹은 지능형 구조가 추가된 4가지 Class와 Driving beam과 Passing beam 모두에 대 해 Bending mode로 나뉜다. Class 구분은 C는 기본형(Class B와

System Designation	Unit	Photometry Requrements Reference				
		Tables XVIII	Tables XIX-A,	XIX-b, XIX-c		
	Nominal Size	Upper Beam Mechanical & Visual Aim	Lower Beam Mech. Aim	Lower Beam Visual Aim		
Trme E	92×150	UB1	N.A.	N.A.		
Type F	mm	N.A.	LB1M	LB1V		

#### Table 1 Headlighting system type F

# Table 2 Upper beam & lower beam standards

(a) UB1

		Upper Beam #1 (UB1)			
(De	egrees)	Maximum Photometric	Minimum Photometric		
		Intensity (cd)	Intensity (cd)		
2U	V	-	1,500		
1U	3L & 3R	-	5,000		
Н	V	70,000	40,000		
Н	3L & 3R	-	15,000		
Н	6L & 6R	-	5,000		
1.5D	V	-	5,000		
2.5D	V	-	2,500		
4D	V	5,000	-		

#### (b) LB1M / LB1V

		Lower Be	eam #1M	Lower Beam #1V		
		(LB	1M)	(LB1V)		
Test	t Point	Maximum Minimum		Maximum	Minimum	
(De	egrees)	Photometric	Photometric	Photometric	Photometric	
		Intensity	Intensity	Intensity	Intensity	
		(cd)	(cd)	(cd)	(cd)	
2U	4L	-	135	-	135	
1.5U	1R to 3R	-	200	-	200	
1.5U	1R to R	1,400	-	1,400	-	
1U	1.5L to L	700	-	700	-	
0.5U	1.5L to L	1,000	-	1,000	-	
0.5U	1R to 3R	2,700	500	2,700	500	
Н	V	5,000	-	5,000	-	
0.5D	1.5L to $L$	3,000	-	-	-	
0.5D	1.5R	20,000	10,000	-	-	
0.6D	1.3R	-	-	-	10,000	
0.86D	V	-	-	-	4,500	
0.86D	3.5L	-	-	12,000	1,800	
1.5D	2R	-	15,000	-	15,000	
4D	V	7,000	-	10,000	-	

Headlam	ps for RH Traffic	Class B Headlamp		
Test Point	Test Point Angular	Required Luminous Intensity (cd)		
Designation	Coordinates - Degrees	Max	Min	
B 50 L	0.57U, 3.43L	350		
BR	1.0 U, 2.5R	1,750		
75R	0.57D, 1.15R		10,100	
75L	0.57D, 3.43L	10,600		
50L	0.86D, 3.43L	13,200		
50R	0.86D, 1.72R		10,100	
50V	0.86D, 0		5,100	
25L	1.72D, 9.0L		1,700	
25R	1.72D, 9.0R		1,700	

Table 3 Class B

(b) Passing beam wide test point

(a) Passing beam narrow test point

Headlamps for RH Traffic						
Test Doint	Angular	Required Luminous				
Test Tollit	Coordinates - Degree	Intensity-cd Min				
1	4U, 8L	D: ( 1)0)2				
2	4U, 0	Points 1+2+3				
3	4U, 8R	150				
4	2U, 4L					
5	2U, 0	Points 4+5+6				
6	2U, 4R	515				
7	0, 8L	65				
8	0, 4L	125				

(c) Driving beam test point

		Class B Headlamp		
	Angular	Required luminous intensity		
Test Point	Coordinates - Degrees	cd		
		Min		
Imax		40,500		
H-5L	0.0, 5.0 L	5,100		
H-2.5L	0.0, 2.5 L	20,300		
H-2.5L	0.0, 2.5 R	20,300		
H-5R	0.0, 5.0 R	5,100		

유사하므로 본 논문에서는 생략), Class V는 도심형, Class E는 고속형, Class W는 우천형으로 나뉜다. 상기와 같이 Class Mode 는 4가지 외부조건에 적응하여 국소적으로 빛의 밝기가 변하며 커 브길에서는 Bending mode가 추가되어 배광이 커브길 운전 시 같 이 움직이는 형태로 규정 되어있다.

본 논문에서는 기본형의 Class B를 기본모드로, 적응형의 Class C는 Class B와 유사하므로 생략하고 Class V, E, W를 동적모드 로 각각 최적 광원 설계 및 시뮬레이션 하였으며, Bending mode 는 본 논문에서는 생략하였다.

향 후 실험의 결과로는 앞서 언급한 북미 표준배광 규정의 매립 형 중에서 Type F의 Lower beam 모드의 LB1V에 맞추어 제작 진행 할 예정이다.

#### 2.2 자동차 조명 광학계 설계 배경이론

자동차용 전조등 조명으로 LD나 LED는 고체 광원(Solid state lighting)으로서 점광원과 면광원에 각각 해당하며, 기본 배광에 있 어서는 LD가 가우시안(Gaussian) 배광형태를 가지고 LED가 램 버시안(Lambertian) 배광형태를 갖는 것으로서, 이러한 광원에 대 해 일정면적의 평판에 임의의 사이즈와 패턴으로 조명을 조율하도 록 광학계가 사용되고 있으며, 북미 표준배광 규정이나 유럽 표준 배광 규정을 만족하도록 하고 있다.

하지만, 아직까지는 종래 전통조명광원과 유사한 형태로 자동차 용 전조등 시스템을 개발하고 있는 추세로서, 고체 광원의 장점인 소형화와 단순화된 구조로 전환하는데 어려움이 있으며, 특히 자동 차용 전조등 규격인 북미 표준배광 규정이나 우리나라가 사용하고 있는 유럽 표준배광 규정의 배광을 만족하기 위해서는 오히려 더 복잡한 구성을 가지게 되는 등 불합리한 점이 많아 고체 광원의 특징을 효과적으로 적용하지 못하고 있는 실정에 있다.

여기에서, LED를 자동차 램프용 광원으로 사용 시 Fig. 1(a)에 서 보여주는 바와 같이, 종래 조명시스템에 사용되고 있는 저가형 LED 시준렌즈를 적용하게 되면, 이는 광원의 발산광에 대해 굴절 과 전반사를 유도하는 광학계로서 광로차가 발생되는 구간이 존재 하여 전사정보가 왜곡되는 문제점 및 자동차용 램프에 적합한 면광 원으로의 확장이 힘든 문제점이 있다. 특히 연속적인 배광형태가 요구되는 북미 표준배광 규정이나 유럽 표준배광 규정을 만족하는 배광을 만들지 못하게 된다. 또한, LED 면광원을 자동차 램프용 광원으로 사용 시 Fig. 1(b)에서 보여주는 바와 같이, 일반 디스플 레이용 프로젝터 광학계를 적용하게 되면, 이는 일정면적의 평판에 임의의 사이즈와 패턴으로 구성된 광원을 그대로 전사하는 것이 가능하나, 입사광에 입사각 제약이 존재하고 광이 잘리는 현상에 의해 광손실이 발생되는 문제점이 발생하게 된다. 다시 말해 개구 수(Numerical aperture, NA) 한계에 따라 광효율이 저하된다.

또한, Fig. 2(a)에서 보여주는 HID, 할로겐이 사용되는 종래 전 통적인 자동차용 프로젝션 조명의 연장선상에서 이를 응용하여 Fig. 2(b)에서 보여주는 바와 같이 광원으로 LED를 채택 및 광학 계를 함께 적용하는 경우도 있으나, 이는 고비용과 저효율의 단점 이 있고 조명의 패턴 구현이 더 까다로우며, 특히 광학계가 LED의 장점을 제대로 살리지 못함은 물론 광 제어를 위해 컷오프(Cut off) 기구물을 사용하는데 이에 의한 효율저하를 해결하지 못하는 문제

Tabled requirements expressed in cd		Position/deg		Passing-beam							
		Horiz	zontal	Vertical	Clas	ss V	Clas	ss E	Class W		
	No	Element	at/from	to	at	min	max	min	max	min	max
	1	B50L	L3.43		U0.57	50	50	50	6258	50	625
	2	HV	V		Н	50	625	50		50	2650
	3	BR	R2.5		U1	50	880	50	1750	50	5300
	4	Srgment BRR	R8	R20	U0.57		880		3550		880
	5	Segment BLL	L8	L20	U0.57		880		880		
	6	Р	L7		Н					63	880
	7	50R	R1.72		D0.86	5100					
Part A	8	75R	R1.15		D0.57			15200		20300	
	9	50V	V		D0.86	5100		10100		10100	
	10	50L	L3.43		D0.86	3550	132009	6800		6800	264009
	11	Segment 02 and below it	3.5	V	D2						176002
	12	Segment 01 and below it	4.5	R2.0	D4		123001		123001		71002
	13	Emax3				8400	44100	16900	793008	19530	705002
Part B(b	ending m	odes) : Table 4 Par	t A applies	, however	with the li	nes Nos. 1	,2,10 and 1	3 being re	placed by t	hose listed	hereunder
	1	B50L	L3.43		U0.57		530				7901

D0.86

1700

5100

Table 4 Passing beam photometric requirements



HV4

50L

Emax6

(a) LED lighting

2

10

13

Part B

(b) Projection type display

L3.43

Fig. 1 Methods for LED lighting & Projection type display



Fig. 2 Conventional method of headlight projection systems

점이 있었다.

#### 2.3 광학 설계법

본 연구에서는 상술한 종래 문제점을 해소 및 이를 감안하여, 램 버시안 배광형태를 가지는 면광원 모듈에 대해 광분포를 조정하되 손실광 없이 프로젝션 처리할 수 있도록 하며, 광로차에 의한 편차 가 발생되는 현상 없이 연속적인 배광을 가능하게 하면서 전방향 발산각을 모두 프로젝션 가능하게 하고 효율 높은 프로젝션광을 만들 수 있도록 하되 광손실 없이 원거리 조사를 가능하게 하며, 소형 및 콤팩트한 구조로 이루어질 수 있도록 한 자동차 전조등용 전방향 발산각 프로젝션 광학계와 이것이 적용된 자동차용 전조등 시스템을 연구하였다.

793008

3400

20300

705002

3400

10100

880

44100

본 연구에 적용한 광학계는 기본적으로 Collimate Lens를 기초 로 진행하였으며 다만 본 논문에서 필요한 사양을 만족하기 위해서 는 두 가지 주요 쟁점이 해결되어야 했다.

그 하나는 면광원의 LD나 LED에서 나오는 광량 전부를 굴절에 의해서만 Collimate가 되어야 한다는 것이다. 이를 만족하기 위해 서는 Fig. 3에서 보여주는 것 같이 광학설계상에서 광원과 1차렌즈 (L1)의 제 1면(L1R1) 입사각범위와 1차렌즈 제2면(L1R2)의 굴 절각의 범위가 제약되어야 함을 알 수 있다. 이 부분이 제약되지 않을 경우 전반사 혹은 발산을 하게 되며, 이는 통상적인 렌즈기술 에서 Ghost나 Vignetting의 원인이 된다. 이러한 Ghost광과 Vignetting되는 광이 전혀 없는 렌즈형태로 구속조건이 주어져야 하며 이때 중요한 것은 설계 초반에는 구속하지 않고 중반에 구속 조건이 주어져야 한다. 이는 광학설계상의 Trick이다.

광학설계는 순차적인 Ray tracing을 하나 실제 설계는 동시에 이루어지므로 2차렌즈(L2) 또한 1차렌즈에 상보적으로 구속조건 이 주어져야 한다. 여기서 서술한 1차렌즈의 구속조건과 2차렌즈 의 구속조건은 하기와 같이 줄 수 있다.

$$t1 < b$$
 (1)  
1/16 < tang=b/a < 1/8 (2)

$$1/10 < \tan(-0)a < 1/0$$
 (2)

$$27^{\circ} < \beta^{1/2} < 37^{\circ}$$
(3)  
$$37^{\circ} < \beta^{3/4} < 50^{\circ}$$
(4)

$$50^{\circ} < \beta 1 < 75^{\circ}$$
 (5)

$$30^{\circ} < \gamma < 40^{\circ} \tag{6}$$

여기에서, L1의 L1R1 중심에서 L2의 L2R2 중심까지의 거리를 t2, 상기 t1과 상기 P점에서 수평으로 ½t1만큼 이동 후 수직선을 연장하여 L1의 L1R2과 만나는 지점(S1)을 잇는 선분 PS1과의 사잇각(∠S0PS1)을 β½, 상기 t1과 상기 P점에서 수평으로 ¾t1 만큼 이동 후 수직선을 연장하여 L1의 L1R2과 만나는 지점(S2) 을 잇는 선분 PS2과의 사잇각(∠S0PS2)을 β¾, t1과 P점에서 수 평으로 t1만큼 이동 후 수직선을 연장하여 L1의 L1R2과 만나는 지점(S3)을 잇는 선분 PS3과의 사잇각(∠S0PS3)을 β1, t2와 P점 에서 수평으로 ½t2만큼 이동 후 수직선을 연장하여 L2의 L2R2 과 만나는 지점(S4)을 잇는 선분PS4과의 사잇각(∠S0PS4)은 γ 로 두었다.

또 하나의 쟁점은 세부 광학설계 진행시, NA 최대치를 유지하면 서 백색광을 유지하기가 통상적인 비구면 기술만으로는 어렵다는 것이다. 일반적인 광학소재의 굴절률 범위는 1.4~2.0이며, 분산계 수의 범위는 23~90(분산계수가 큰 것이 저분산 렌즈)이다. 백색광 을 유지하기 위해서는 저분산 렌즈를 사용하여야 하나 저분산 렌즈 는 저굴절률이라는 딜레마에 빠지게 된다. 또한 글라스 렌즈는 비 구면확장에 소재 제약이 크다.

이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 비구면 위에 회절 소자를 올리는 복합된 회절소자가 포함된 비구면<sup>[12]</sup>으로 색수차를 최소화 하는 최적화 기술을 적용하였다. 식 (7)은 비구면 위에 회절소자면 이 복합된 방정식이고, 식 (8)은 비구면 방정식이며, 식 (9)의 우변



Fig. 3 Lens sketch

첫 번째 항은 전체위상면의 방정식이고 두 번째 항은 위상변위 방 정식이다.

Fig. 4는 Lambda research사의 Oslo program상에서 최적 설 계된 결과의 Ray lay-out이고, Table 5는 Oslo program에서 최적 설계한 결과 Data에서 식 (8)과 식 (9)가 연관된 비구면 위에 회절 소자면이 복합된 톱니모양의 비구면(Kino-form surface)으로 된 제 2렌즈(L2)를 형성하는 주요 Data만을 추출한 내용이며, Fig. 5은 Microsoft사의 Excel program을 활용하여 식 (7)을 적용하여 Table 5의 Data에서 보여주는 것 같이 최적 설계 후 L2R1면과



Fig. 4 Lens design in OSLO



(a) Converting of the design data to kino-form surface in Excel

(b) Generating of kino-form surface in Excel





(c) 2D drawing elements with kino-form surface

(d) Converting 2D elements to 3D optical elements

Fig. 5 Generating of 3D kinoform elements

Table 5 Lens Surface Data

Surface	L2R1	L2R2	
CV	1/160.024	-1/28.8458	
сс	6.506304	-1.299755	
AS2	-1.4858E-06	-3.4644E-06	
AS3	4.5684E-11	4.62E-10	
Refractive rate of lens	1.4	49	
Center wavelength	0.58756 μm		
DF1	-0.0000526	-0.000289	

L2R2면에 해당하는 비구면 위에 회절소자면이 복합된 톱니모양의 비구면(Kino-form surface)을 생성하여 3D cad로 전환하는 과정 이다.

일반적인 비구면 기술만으로 설계된 Data와 복합된 회절소자가 포함된 비구면 기술을 비교하게 되면, Fig. 6(a)는 비구면 기술만을 사용하여 설계상의 색수차 최소화 성능이며 Fig. 6(b)는 회절소자 가 복합된 비구면 기술을 사용하였을 경우의 색수차 최소화 성능으 로 그 차이가 가시광 전 영역에서는 1/4로 줄었으며 특히 육안 상 으로 문제가 되는 500~700 nm대의 파장대는 1/8까지 색수차가 줄어 들었음을 알 수 있다. Fig. 7은 Fig. 6의 설계치를 직관적으로 확인 할 수 있는 시뮬레이션 비교 Data이다. Fig. 7 (a)에서는 비구 면 기술만을 사용했을 때의 고 굴절각에 대한 무지개 현상(색수차) 을 쉽게 확인 할 수 있으나, 회절소자가 복합된 비구면 기술이 사용 된 결과인 Fig. 7(b)에서는 무지개 현상이 상당히 줄었음을 쉽게 확인 가능하다.

$$Sag_{combined}(r) = sag_{asphere}(r) + sag_{diffractive}(r)$$
(7)

$$sag_{asphere}(r) = \frac{cv \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (cc+1)cv^2 \cdot r^2}} + \sum_{i=1} AS_i r^{2i}$$
(8)







Fig. 7 Comparison of simulation results

$$sag_{diffractive}(r) = \frac{1}{n-1} \sum_{i} DF_{i}r^{2i} - \frac{\lambda}{n-1} \left[\frac{1}{\lambda} \left(\sum_{i} DF_{i}r^{2i}\right)\right]$$
(9)

여기서, cv는 렌즈의 곡률, cc는 코닉상수, r은 광축에 수직인 반경거리, AS<sub>i</sub>는 비구면 계수, []는 정수, n은 렌즈의 굴절률, λ는 중심 파장 그리고 DF<sub>i</sub>는 회절 위상 계수이다.

# 3. 광원패턴 설계

#### 3.1 광원패턴 설계법

본 연구에 따른 자동차용 전조등 광원은 면광원 배열구조를 갖는 광원이며, 칩 LED 배열을 갖는 COB(Chip on board)형 LED모 듈 또는 Mocro LED 배열을 갖는 Micro LED 모듈로 설정하여 개별광원 및 그룹광원을 일정패턴으로 배열하여 각 그룹별 직병렬 구조로 회로를 구성하고 밝기패턴을 논리회로화 하여 밝기의 강도 가 위치적으로 다르게 구성하였다.

여기에서, 논리 회로 및 배열구성은 기본모드, 동적모드, 전환모 드의 3단계로 확장 하여 시뮬레이션 하였으며, 각 구성은 아래와 같이 진행하였다. 기본모드는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 Lower beam 내지 Passing beam은 광원의 밝기를 국소적으로 지역을 구분하여 광원의 밝기를 조율하여 진행 하였고 Upper beam 내지 Driving beam은 PB광원의 특정부위의 LED가 Off된 상태를 On 상태로 하거나 기존 On상태의 LED를 밝기만 조절하여 진행 하 였다.

동적모드는 기본모드에 더하여 운전조건이 바뀔 때마다 국소적 으로 밝기가 조절 되는 것으로 진행 하였으며, 전환모드는 상기 기 본모드와 동적모드가 수직축을 기준으로 단순 거울상이므로 본 논 문에서는 생략하였다. 시스템은 개별광원 및 그룹광원의 위치 및 밝기가 변환될 수 있는 광원과 고정된 광학계의 합성곱 구조를 기본 구성으로 연구하였다.



(c) On state of UB(DB) on LB(PB) LEDs footprint Fig. 8 Footprints of LEDs

# 3.2 북미 표준배광 규정(SAE Standard) 광원패턴 설계

광원패턴 설계에 앞서 우선 고려해야 하는 사항이 있다. COB형 LED모듈의 Sample 목업 제작을 위해서 기본적으로 칩LED의 가 능한 물리적 사이즈가 매우 중요하다.

접은 방사각 내에서 빛의 밝기차가 매우 큰 배광패턴인 cut-off 배광을 만들어야 하기 때문이다. 이를 위해 수급이 가능한 일반적 인 Lateral LED Chip 0.4W급 Small Chip중에서 가장 작은 LED Chip중에 하나인 Table 6의 삼안광전사의 S-30KBMUP 모델<sup>[13]</sup>을 1차로 선택하였고, 이보다 조금 더 크나 패키지 상태로 활용할 수 있는 Table 6의 CSP(Chip scale package) LED 서울 반도체사의 Z8Y11 모델<sup>[14]</sup>을 2차로 선택하여 시뮬레이션을 추가 하였다.

Micro-LED모듈의 경우 LED Chip사이즈 문제나 논리회로 제 어에 보다 자유로워 COB형태에 비해 보다 고성능의 결과물을 얻 을 수 있으나 아직은 본 논문에서 제시한 시스템에 적합한 제품을 구하기 어려워 Table 6에서 보는 오스람사의 Prototype Eviyos 사양<sup>151</sup>을 참조하였으며, 시뮬레이션을 원활히 하기 위해 Unit간





Fig. 10 Footprints of Z8Y11 for LB1V

Pitch를 Minimum pitch보다 좀 더 큰 385 µm로 설정하여 컴퓨터 메모리 부하를 줄여 최적화 시간을 단축하고 Pixel당 Maximum brightness는 사양을 참조하여 4.6 lm/pixel까지 허용하는 것으로 진행하였으나 설계치에서는 Typical brightness인 3 lm/pixel만 으로도 충분히 규격을 만족하였다.

Fig. 9는 삼안광전사의 S-30KBMUP 모델로 패턴 설계한 배열이며, Fig. 10은 서울반도체사의 Z8Y11 모델로 LB1V규 격으로 패턴 설계한 배열이고, Fig. 11은 오스람사의 Micro LED (Evioys)인 Table 6의 사양으로 LB1V규격으로 패턴 설 계한 배열이다. Z8Y11 모델과 Micro LED의 경우, UB1과 LB1M규격에 대한 패턴 설계 및 시뮬레이션은 본 논문에서는 생략하였다.





(d) Class W Fig. 12 Footprints of S-30KBMUP

#### Table 6 Specification of LEDs

LED Mocule	Lateral LED Chip	CSP LED	Micro-LED
Model no.	S-30KBMUP	Z8Y11	Eviyos
Unit size	$30 \times 15$ mil (mil = 1/1000 inch) = 0.8×0.4 mm	1.14×1.14 mm	115×115 μm
Minimum pitch (Simulation pitch)	NA (200 μm)	NA (100 µm)	125 μm (385 μm)
Typical brightness (Maximum brightness)	NA	70 lm/pixel (140 lm/pixel)	3 lm/pixel (4.6 lm/pixel)

### 3.3 유럽 표준배광 규정(ECE Regulation) 광원패턴 설계

유럽 표준배광 규정의 경우 Driving beam의 경우는 북미 표 준배광 규정에서 이미 진행한 UB1과 유사하여 본 논문에서는 생략하였고, 기본모드는 Class B에 맞추어 Fig. 12(a)와 같이 최적 패턴 설계 하였고, 적응형의 경우 Class C는 기본모드의 Class B와 거의 동일하므로 생략하고, Fig. 12(b), (c), (d)에서 보여지는 것과 같이 Class V, E, W를 각각 최적 설계 하였다. 적응형의 개별 모드에 대한 세부 추가 모드가 있으나, 이에 대해 서는 유사한 원리로 가능함을 알 수 있으므로 본 논문에서는 생 략하였다.

또한, 앞선 북미 표준배광 규정에서 Chip 종류에 따라 구분하여 패턴 설계 하였으나, 유럽 표준배광 규정에서는 생략하고 일괄 Fig. 9인 삼안광전사의 S-30KBMUP 모델로 최적 패턴 설계 하 였다.

# 4. 성능 시뮬레이션

## 4.1 북미 표준배광 규정 시스템 성능 시뮬레이션

시뮬레이션 진행은 다양한 광원의 종류와 상태에 대응하여 동일 한 광학계를 적용하여 Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11의 모든 조건을 하였 으나, 본 논문에서는 규격조건에 만족하는 다른 결과는 분량관계로



Fig. 13 Simulation with Z8Y11 for LB1V



Fig. 14 Simulation with S-30KBMUP for Class W

생략하고, 실 샘플제작 진행을 하였던 Fig. 10의 광원을 기준으로 하여 Fig. 5의 결과물인 광학계와 조합을 ORA사의 Light tools program에서 시뮬레이션하고 Fig. 13의 결과를 얻었다.

## 4.2 유럽 표준배광 규정 시스템 성능 시뮬레이션

유럽 표준배광 규정 시스템의 성능 시뮬레이션도 앞선 북미 표준 배광 규정 시스템의 성능 시뮬레이션과 같이 모든 조건을 하였으 나, 본 논문에서는 규격조건에 만족하는 다른 결과는 분량관계로 생략하고, 최적화에 다소 애로사항이 있었던 동적모드 우천형 규격 인 Class W인 Fig. 12(d) 조건으로 시뮬레이션하고 Fig. 14의 결 과를 얻었다.

# 5. 시뮬레이션 성능분석 및 평가

Table 7은 북미 표준배광 규정 기준과 본 논문에서 패턴 설계한 LB1V에 대한 시뮬레이션 성능 비교자료이다. Table 2(b)의 규정

Table 7 Comparison of SAE Standard & Simulation

		-					
Test Point	Н	v	Min.	Max.	Actual	*STD	Result
1	-8	4	64	N/A	822.1664	15.77832	PASS
2	8	4	64	N/A	881.0336	14.50172	PASS
3	-4	2	135	N/A	1101.871	13.69772	PASS
4	1	1.5	200	N/A	996.7869	13.61244	PASS
5	2	1.5	200	N/A	1007.259	11.70062	PASS
6	3	1.5	200	N/A	1033.256	14.7709	PASS
7	1	1.5	N/A	1400	996.7869	13.61244	PASS
8	0	1.5	N/A	1400	326.5217	9.360092	PASS
9	-1.5	1	N/A	700	107.0563	5.765653	PASS
10	-1	1	N/A	700	70.02566	5.391566	PASS
11	-0.5	1	N/A	700	99.51966	8.912911	PASS
12	0	1	N/A	700	237.6511	12.72528	PASS
13	-1.5	0.5	N/A	1000	238.6723	14.44402	PASS
14	-1	0.5	N/A	1000	285.6659	23.4866	PASS
15	-0.5	0.5	N/A	1000	442.5482	33.58362	PASS
16	0	0.5	N/A	1000	685.6792	45.16106	PASS
17	1	0.5	500	2700	1620.187	72.77842	PASS
18	2	0.5	500	2700	2093.178	74.38894	PASS
19	3	0.5	500	2700	1287.017	52.69803	PASS
20	0	0	N/A	5000	2113.951	90.63861	PASS
21	-4	0	135	N/A	2340.915	25.64257	PASS
22	-8	0	64	N/A	2150.986	25.8689	PASS
23	1.3	-0.6	10000	N/A	10677.11	243.9242	PASS
24	0	-0.86	4500	N/A	13612.32	220.9684	PASS
25	-3.5	-0.86	1800	12000	2713.008	32.09753	PASS
26	2	-1.5	15000	N/A	47839.45	551.6594	PASS

Test Point	Н	V	Min.	Max.	Actual	*STD	Result		
27	-9	-2	1250	N/A	2333.431	29.31684	PASS		
28	9	-2	1250	N/A	1973.932	23.8414	PASS		
29	-15	-2	1000	N/A	1605.471	21.8689	PASS		
30	15	-2	1000	N/A	1632.364	21.02537	PASS		
31	0	-4	N/A	10000	3598.045	42.81543	PASS		
32	4	-4	N/A	12500	6096.226	74.44543	PASS		
33	-20	-4	300	N/A	624.4019	15.13312	PASS		
34	20	-4	300	N/A	629.9543	15.31175	PASS		
*STD :	*STD · Standard Deviation								

Table 7 Comparison of SAE Standard & Simulation (continued)

Case of Z8Y11 for LB1V

과 비교할 시, Table 7의 test point 23,24,26의 경우 Minimum candela값이 각각 10,000 cd, 4,500 cd, 15,000 cd보다 높은 값을 가져야 하는 것이 기존 전통조명광원 시스템에서 가장 까다로운 과제였으나, Table 7에서 보듯이 test point 23,24,26의 값은 각각 10,677 cd, 13,612 cd, 47,839 cd이고, 다른 기준치도 Table 2(b) 의 규정 대비 모두 만족(All green)하였다.

Table 8은 유럽 표준배광 규정 기준과 본 논문에서 패턴 설계한 Class W에 대한 시뮬레이션 성능 비교자료이다. Table 4의 Class W규정과 비교할 시, Table 8의 test point 50 V, 75 R의 경우 Minimum candela값이 각각 10,100 cd, 20,300 cd 보다 높은 값 을 가져야 하며, 50 L의 Minimum ~ Maxium candela 6,800 ~ 26,400 cd 중간 값을 유지해야 하는 것이 기존 전통조명광원 시스 템에서 가장 까다로운 과제였으나, Table 8에서 보듯이 test point

Table 8 Comparison of ECE Regulation & Simulation

	Test Point	Н	v	Min.	Max.	Actual	STD	Result
	B50L	-3.43	0.57	N/A	625	57.55654	12.23842	PASS
	HV	0.01	0.01	50	N/A	1788.974	126.2719	PASS
	BR	2.5	1	50	2650	365.6852	14.36706	PASS
	50L	-3.43	-0.86	6800	26400	7349.375	389.6261	PASS
	25LL	-16	-1.72	3400	N/A	4001.969	190.0198	PASS
	25RR	11	-1.72	3400	N/A	5790.503	234.3467	PASS
	50V	0	-0.86	10100	N/A	19287.52	688.9613	PASS
Ì	75R	1.15	-0.57	20300	N/A	29401.41	873.1923	PASS
	1	-8	1	N/A	880	120.1782	17.62666	PASS
	2	-8	4	N/A	880	47.24757	13.32533	PASS
	3	8	4	N/A	880	37.90698	12.98192	PASS
	4	8	2	N/A	880	110.0114	16.19141	PASS
	5	6	1.5	N/A	880	256.2851	16.97102	PASS
	6	1.5	1.5	N/A	880	10.07268	6.426909	PASS
	7	-4	0	N/A	880	368.7524	35.32545	PASS

Case of S-30KBMUP for Class W

50 V, 75 R, 50 L의 값은 각각 19,287 cd, 29,401 cd, 7,349 cd으로 앞선 조건을 충분히 만족함을 볼 수 있었고, 다른 기준치도 Class W 규정 대비 모두 만족(All green)하였다.

결과에 대하여 평가해 보면 무엇보다 사용자가 임으로 조율할 수 없는 기존 전통조명광원을 가지고 아날로그 방식으로 배광을 조율했던 방식에 비해 디지털 방식으로 광원을 직접 배광 조율함으 로서 기존 시스템에서 까다로웠던 문제가 간단한 문제로 바뀌게 되었음을 알 수 있다.

# 6. 결 론

고정 된 간단한 광원과 변환 또는 조작 할 수 있는 광학 시스템으 로 구성된 기존의 시스템 구성 패러다임을 다양한 광원과 고정 된 조명 광학 시스템의 조합으로 구성된 시스템으로 변환하려 하였다. 상기 목적을 달성하기 위해 우리는 국제적으로 인정 된 북미 표

준 배광 규정과 유럽 표준 배광 규정에 집중하였다.

우선, 이에 맞는 안정된 광학계가 필요함을 인지하여 비교적 큰 면광원에 대하여 손실광이 거의 없는 개구수에 자유로운 광학계를 설계하는 것이 무엇보다 우선이었다. 이에 맞게 특정한 제약조건을 두어 설계를 하였으나 큰 굴절각에 의해 백색광이 무지개광이 되는 색수차가 발생하여 이 부분을 비구면 위에 회절소자가 복합된 회절 소자가 포함된 비구면 기술을 도입하여 색수차를 최소화하는 최적 화 기술을 적용하여 백색광을 유지하고 눈에 띄는 색 번짐을 최소 화 하였다.

다음으로, 앞서 안정화 된 광학계에 면광원 상태의 광원을 북미 표준 배광 규정과 유럽 표준 배광 규정의 세부 규정에 맞게 국소적 으로 밝기 편차를 가지게 하는 최적설계를 하였다. 이를 위해 광원 의 밝기패턴과 리시버 밝기패턴을 광학수차를 감안하여 최적화 해 주는 방식을 사용하였다.

결론적으로 기존 고정 광원을 사용하는 각각의 규정 조건에 맞는 맞춤형 광학 시스템 패러다임을 가변 광원을 사용하며 하나의 고정 된 광학 시스템 패러다임으로 변환 할 수 있음을 확인하였다.

다만, 본 시스템의 실제 제조가능성에 대하여 검토하게 되면, 설 계상의 적용공차는 Lens부의 Decenter 총 공차는 0.1 mm이상이 며(대형렌즈에 속하며, Kino-form을 적용하여 전체적인 Sag값이 낮아져 Decenter 공차가 커지는 효과도 얻음), 간격공차도 0.1 mm까지 가능하며, Metal PCB의 구멍 위치 공차 0.05 mm이며 초점거리는 나사산으로 임의 조절 가능하다.

실가공 가능공차는 Lens부 Decenter는 Φ100 기준 0.02 mm, 조립 Decenter는 Φ100 기준 0.02~0.05 mm, 누적 Decenter 공차 는 0.1 mm이하 가능하며, Metal PCB 구멍 위치공차는 0.02 mm [직가공]~0.05 mm[금형]까지 가능하다.

가장 문제가 되는 것은 성능 민감도가 큰 광원중심부의 SMT공 정상의 위치공차이며, Lateral Chip이나 CSP Chip의 경우 보정의 한계가 있으나, Micro LED의 경우 단위 픽셀이 매우 작아 논리회 로에 따른 광원패턴의 전체 Shift(Digital method) 보정에 의하여 조율이 가능 할 것으로 사료된다.

본 논문에서는 광원을 논리회로화 한다는 가정 하에 각각의 자동 차 전조등 국제규격에 적합한 Solution을 찾을 수 있는지를 확인하 였다면, 추후 연구과제로는 물리적인 단일광원에서 외부 상황변화 에 대한 Big data형태의 Signal input에 능동적으로 처리 대응하 는 논리회로 광원을 실재 구현하는 방법을 개발하는 것이 있다.

# References

- Plucinsky, T., 2011, BMW Develops Laser Light for the Car, BMW Group Press Release.
- [2] James W. Raring, 2016, LASER DIODES FOR NEXT GENERATION LIGHT SOURCES, Providing the Brightest, Most Efficient Laser Light Source to the World, DOE.
- [3] NXP Semiconductors, 2017, Automotive LED Headlamp with a Laser Channel Provides Versatile and Flexible Solution Multi Phase Driver IC Enables Flexible Topology for Headlamp LCU Design, NXP Press Release SSL R&D Workshop.
- [4] Ford Motor Company, 2005, Next Generation of Ford Motor Company's Headlights Make Nighttime Driving Safer, Ford Press Release.
- [5] Giesen, N., 2014, New Generation CLS with the Future's High-Resolution Precision LED Technology: Leading the Way with Better Light, Daimler Group Press Release.
- [6] Robert. T., Eriko, N., Abhishek, C., Mei, C., Anthony, R., Takeo, K., Srinivasa G. Narasimhan, 2014, Programmable Automotive Headlights,

Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA USA, Intel Research, Pittsburgh, PA USA.

- [7] Mercedes Benz, 2013, Mercedes-Benz Announces New Active Multibeam LED Headlights, Press Release.
- [8] Wiese, M., 2011, BMW Innovations in Vehicle Lights. \Dynamic Light Spot" for Actively Illuminating Persons, the "Glare-Free High Beam Assistant" and Full-LED Headlights Provide Even More Safety at Night, BMW Press Release.
- [9] SAE Standard, 2007, 49 CFR Parts 564 and 571, Federal Motor Vehicle Safety Standards; Lamps, Reflective Devices, and Associated Equipment; Final Rule, National Highway Traffic Safety Administration, DOE.
- [10] ECE Regulation, 2013, Addendum 111: Regulation No. 112, Uniform Provisions Concerning the Approval of Motor Vehicle Headlamps Emitting an Asymmetrical Passing-beam or a Driving-beam or Both and Equipped with Filament Lamps and/or Light-emitting Diode (LED) Modules, UNITED NATIONS.
- [11] ECE Regulation, 2013, Addendum 122: Regulation No. 123, Uniform Provisions Concerning the Approval of Adaptive Front-lighting Systems (AFS) for Motor Vehicles, UNITED NATIONS.
- [12] Vicente, M., Juan Félix, R., José Ramón, S., 1997, High Efficiency Diffractive Lenses: Deduction of Kinoform Profile, University of Santiago De Compostela and University of Vigo, Spain.
- [13] San'an Optoelectronics, Viewed 28 December 2016, http://www. sanan-e.com/en/led-chip.html.
- [14] Seoul Semiconductor, Viewed 10 October 2017, Reviewed 13 February 2018, http://www.seoulsemicon.com/upload2/Specification\_ Y11\_Rev7.0\_carrier+tape\_180202.pdf.
- [15] Osram Group, Viewed 2 October 2017, https://www.led-professional. com/technology/light-generation/eviyos-led-prototype-revolutionizes -smart-headlights.