고휘도 발광다이오드(LED)의 광학적 특성에 관한 연구

황명근*, 임종민, 신상욱
*한국조명기술연구소

A Study of Optical Characteristics for High Intensity LED

Myung Keun Hwang*, Jong Min Lim, Sang Wuk Shin
Korea Institute of Lighting Technology(KILT)

Abstract - The LEDs are used for signal lights including traffic signals and telecommunication equipments. Advanced foreign countries are making R&D of ultra high intensity LEDs, and the LEDs are expected to new light source.

Optical characteristics by measurements of 14 LEDs; each 2 of 3Φ R/G/Y LEDs, each of 5Φ Y/G/Y LEDs and each of high intensity 5Φ R/G/B/A/W LEDs. Comparison on chromaticity coordinate of high intensity 5Φ White LED by forward V/I.

1. 서 론

본 연구는 특수 제작된 100Φ 적분구(Integrating Sphere)를 사용하였으며 광속(luminous flux)의 측정 및 상대 분광분포(relative spectral power distribution)측정 등을 위하여 제작된 것이며, 적분구를 포함한 광속구(Integrating Sphere Photometer)시스템은 PC급 Windows98 운영체계하에서 실행하였고 프로그램은 OPT-LSControl을 사용 하였다.

그리고 표준으로 사용한 LED는 직경이 5Φ로서 호주의 국제공인시험기관 NML(National Measurement Laboratory)에서 측정, 공급된 것으로써 공급전압은 직류2.091V, 전류 20mA, 피크파장은 591nm이며 광속은 0.577lm인 표준 발광다이오드(Reference LED)를 사용하였으며, 측정에 사용된 각각의 LED 공급전류는 각 회사별, LED의 색갈별로 공급전류가 크게 상이 하여 일정한 전류 20mA를 기준으로 측정하였다.

본 논문에서는 아래와 같이 LED의 광학적 특성을 측정, 검토하여 보았다.

- LED의 Luminous flux
- LED의 Luminous efficacy
- LED의 Peak wavelength, λp
- LED의 Weighted average wavelength
- LED의 FWHM, △λ
- LED의 x,y Chromaticity coordinate
- LED의 Dominant wavelength
- LED의 Excitation purity
- LED의 Colorimetric purity 등

광학적 특성을 측정하기 위한 분광계 시스템에서의 데이터를 취득하기 위한 DAS(Data Acquisition System)의 구성은 분광계(monochromator), Optical fiber input, Filter wheel system, CCD Array등으로 구성되어져 있고, LED의 작은 빛을 적분구에서 분광계의 입력단(input stage)까지 전달시키는 광케이블(Optical Fiber)은 케이블내부(fiber bundle)가 분광계의 출입구(entrance slit)까지 연결 되도록 되어 있으며, 분광계내에서는 빛을 spectral component로 분산시키는 회절격자(diffraction grating)가 부착되어 있다.

분광계의 CCD array는 각각의 파장대에서 광원의 상대분광(relative spectral power)을 측정하고, 이것은 파장 간격이 사용자에 의해 설정될 수 있다는 중요한 장점을 가지고 있는데, 파장의 간격 범위는 0.1nm에서 20nm까지로 되어 있다.

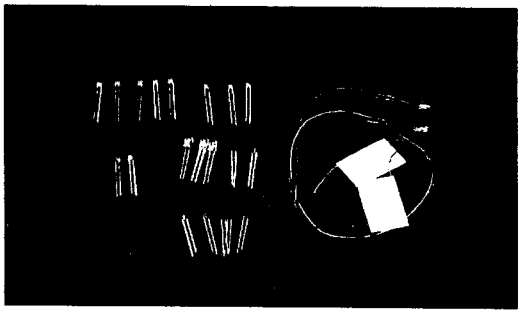


그림1. 측정에 사용된 3Φ,5Φ LED종류와 표준LED

2. 본 론

2.1 측정

분광 측정(Spectral Measurements)은 LED와 같은 아주 적은 빛의 광속(luminous flux)측정에 대하여 1000Φ, 2000Φ의 큰 적분구는 사용할수 없으므로 LED의 정밀측정을 위해서 작은 적분구를 사용하는데, 구가 너무 작기 때문에 정밀한 V(λ)를 얻을수 없으므로 LED의 광속(luminous flux)측정은 상대 스펙트럼으로 측정되는데 분광 측정(spectral measurement)을 위하여 광케이블(optical fiber)을 적분구에 연결하고, 광케이블의 다른 한쪽 끝은 분광계(monochromator)의 입력단자(input port)

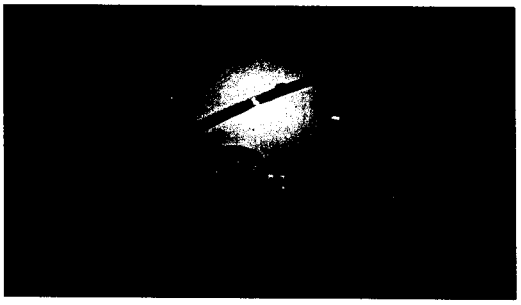


그림2. LED 측정용 적분구

에 연결되며, CCD Array는 분광계(monochromator)의 출력단자(output port)에 부착된다. 분광계는 광케이블에서 들어오는 광을 스펙트럼 조성(constituent spectrum)으로 분리시키기 위하여 회절격자(diffraction grating)를 사용한다. 회절격자는 CCD Array에 다른 파장을 주기 위하여 회전되는데 2개의 회절격자(diffraction grating)

를 포함하고 있다. 첫번째 격자(grating)는 250nm의 불꽃각도(blaze angle), 즉 최대능력(maximum efficiency)을 갖고 있어서 자외선 영역 측정(UV band measurement)에 적합하며, 두번째 격자는 500nm의 불꽃각도(blaze angle)를 갖고 있어서 가시광 영역 측정(visible measurement)에 적합하다.

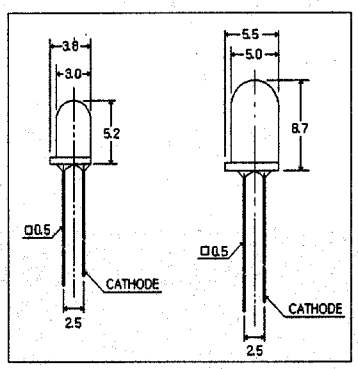


그림 3. 측정에 사용된 3Ø, 5Ø LED의 외형도

표1. 발광색을 표시하는 기호 및 파장범위와 보색관계
(단위 : nm)

발광색	청색 (Blue)	녹색 (Green)	황색 (Yellow)	오렌지색 (Orange)	적색 (Red)	기타
기호	B	G	Y	A	R	Z
파장범위	380~490	490~570	570~590	590~620	620~780	-
보색관계	Yellow	Purple	Blue	Green-Blue	Blue-Green	-

발광다이오드의 종류로는 반도체 재료에 따라 InGaN (Blue, Green), AlInGaP, GaAsP (Yellow, Orange), AlGaAs, GaAsP(Red)등의 구별과 LED창의 재료로는 적색 산란수지, 투명수지, 유리렌즈등을 사용하고 파장범위는 피크파장을 포함하여 발광 스펙트럼의 범위를 나타

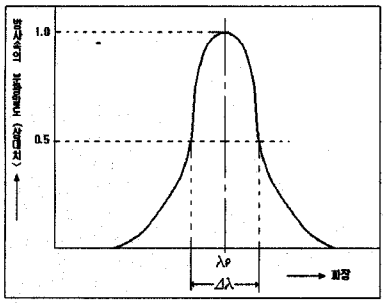


그림 4. 피크발광파장(λp) 대 스펙트럼 반치폭(△λ)

내며 주로 많이 사용되는 3Ø, 5Ø용 'LED의 외형도는 그림 3.과 같다.

표4 및 표 5의 일반 LED(Gen.5Ø, Gen.3Ø)의 주파장, 자극순도 및 휘도순도의 측정치를 살펴보면

-황색의 주파장은 Y5, LED2, Y3순으로 587, 591, 592nm 이고, 자극순도는 1.01, 0.95, 0.78이며, 휘도순도는 33, 33, 28%로 나타났다.

-녹색의 주파장은 G5, LED3, G3순으로 568, 573, 569nm 이고 자극순도는 0.99, 1.00, 1.00이며, 휘도순도는 25, 27, 25%로 나타났다.

-적색의 주파장은 R5, LED1, R3순으로 627, 638, 635nm 이고 자극순도는 0.99, 0.72, 1.00이며, 휘도순도는 47, 35, 50%로 나타났다.

자극순도의 평균값은 0.937으로 측정되었으며, 휘도순도의 평균값은 황색LED가 31.3, 녹색LED가 25.6, 적색LED가 44.0로서 적색LED의 휘도분포가 황색LED에 비해 12.7%, 녹색LED에 비해 18.4% 휘도분포가 더 높음을 알수 있었다.

표2. 광속의 측정치

Catalogue No		Burning time(분)	공급전압 (Vdc)	공급전류 (mA)	광속 (mLm)	효율 (lm/W)
Gen. 5Ø	Y5	16	1.99	20	30	0.75
	G5	14	2.19	20	20	0.50
	R5	15	2.20	20	50	1.25
Gen. 3Ø	LED1(Red)	15	1.62	20	10	0.33
	LED2(Yellow)	15	2.17	20	50	1.25
	LED3(Green)	15	2.12	20	50	1.25
	Y3	10	2.08	20	30	0.75
	G3	15	2.15	20	20	0.50
	R3	16	2.17	20	30	0.75
High Intensity 5Ø	적색 R-1	13	2.11	20	430	108
	녹색 G-1	14	3.25	20	141	23.5
	호박색 A-1	16	2.15	20	59	14.8
	청색 B-1	15	3.19	20	128	21.3
	백색 W-1	14	3.48	20	65	9.29

표3. 분광분포 측정치

Catalogue No		Burning time(분)	공급전압 (Vdc)	공급전류 (mA)	λp (nm)	Weighted Average Wavelength (nm)	△λ (nm)
Gen. 5Ø	Y5	12	1.99	20	580	591	35
	G5	12	2.19	20	570	573	28
	R5	15	2.20	20	700	706	98
Gen. 3Ø	LED1(Red)	15	1.62	20	680	668	32
	LED2(Yellow)	20	2.17	20	590	588	33
	LED3(Green)	15	2.12	20	570	586	30
	Y3	10	2.08	20	590	578	36
	G3	19	2.15	20	570	568	30
	R3	14	2.17	20	700	703	86
High Intensity 5Ø	적색 R-1	15	2.11	20	640	640	24
	녹색 G-1	14	3.26	20	520	527	38
	호박색 A-1	14	2.15	20	600	596	34
	청색 B-1	16	3.19	20	460	468	38
	백색 W-1	15	3.48	20	470	555	35

또한 황색LED는 녹색LED에 비해 휘도순도가 5.7% 더 높음을 알수 있었다. 고휘도 LED의 R,G,A,B,W순으로 주파장은 각각 632, 527, 593, 471, 581nm이고, 자극순도는 0.98, 0.78, 0.99, 0.91, 0.07이며, 휘도순도는 48, 16, 35, 148, 3%로 나타났다.휘도순도의 크기로 보면 청색, 적색, 호박색, 녹색, 백색 순이었으며, 청색(B-1)LED의 휘도분포는 148%로 가장 높고 백색(W-1)LED의 휘도순도는 3%로 가장 적었으며 청색LED와 백색 LED의 휘도순도 비는 약 50배의 차이가 남을 알수 있었다.

광원의 연색성은 원칙적으로 평균 연색 평가수(Ra) 및 특수연색 평가수(R9~R15)에 의해 평가되며, 평균연색 평가수는 시험색을 기준 광원으로 조명하였을 때와 시료 광원으로 조명하였을때와의 CIE-UCS색도좌표에 있어서 변화의 평균치에서 구하는 연색 평가수로써 많은 물체색에 대한 평균적인 연색성을 표시한다.

표 4. 색도좌표 및 주파장의 측정치

Catalogue No		색도좌표		주파장
		x	y	
Gen.5Φ	Y5	0.560	0.440	587
	G5	0.431	0.564	568
	R5	0.698	0.298	627
Gen.3Φ	LED1(Red)	0.605	0.296	638
	LED2(Yellow)	0.568	0.415	591
	LED3(Green)	0.462	0.536	573
	Y3	0.525	0.395	592
	G3	0.438	0.560	569
	R3	0.714	0.286	635
High Intensity 5Φ	적색 R-1	0.703	0.291	632
	녹색 G-1	0.173	0.710	527
	호박색 A-1	0.589	0.407	593
	청색 B-1	0.137	0.088	471
	백색 W-1	0.327	0.340	581

표 5. 자극순도 및 휘도순도의 측정치

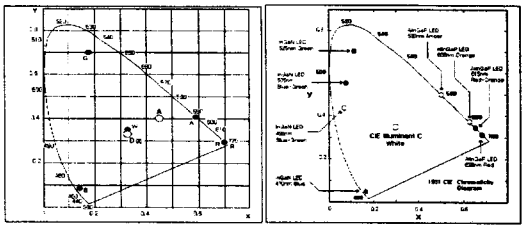
Catalogue No		자극순도(Pe)	휘도순도(%)(Pc)
Gen.5Φ	Y5	1.01	33
	G5	0.99	25
	R5	0.99	47
Gen.3Φ	LED1(Red)	0.72	35
	LED2(Yellow)	0.95	33
	LED3(Green)	1.00	27
	Y3	0.78	28
	G3	1.00	25
	R3	1.00	50
High Intensity 5Φ	적색 R-1	0.98	48
	녹색 G-1	0.78	16
	호박색 A-1	0.99	35
	청색 B-1	0.91	148
	백색 W-1	0.07	3

표 6. 고휘도 백색 LED의 연색평가수

시료광원			고휘도 백색 LED W-1
색도좌표	x		0.327
	y		0.340
색온도			5070
구분	번호	색의3속성에 의한 표시기호	측정치
연색 평가수	R1	7.5R6/4	93
	R2	5Y6/4	87
	R3	5GY6/8	74
	R4	2.5G6/6	64
	R5	10BG6/4	85
	R6	5PB6/8	85
	R7	2.5P6/8	69
	R8	10P6/8	69
평균 연색 평가수	Ra		78
특수 연색 평가수	R9	4.5R4/13	57
	R10	5Y8/10	76
	R11	4.5G5/8	64
	R12	3PB3/11	66
	R13	5YR8/4	97
	R14	5GY4/4	86
	R15	1YR6/4	87

표 7. 표준광 A,C, D_{65}의 색도좌표

표준광의 종류	XYZ색 표시계	$X_{10}Y_{10}Z_{10}$색 표시계
표준광 A	x=0.447 6 y=0.407 4	x_{10}=0.451 2 y_{10}=0.405 9
표준광 C	x=0.310 1 y=0.316 2	x_{10}=0.310 4 y_{10}=0.319 1
표준광 D_{65}	x=0.312 7 y=0.329 0	x_{10}=0.313 8 y_{10}=0.331 0



(a) (b)

그림 5. 표준광 D65의 색도좌표와 측정된 고휘도 LED의 색도좌표(a) 및 LED의 종류별 색도좌표(b)

3. 결 론

일반적으로 사용되는 LED의 광속(Luminous flux)평균값은 32.2mlm, 고휘도 LED의 평균 광속값은 164.6 mlm으로써 약 5.1배의 광속 차이를 알수 있었으며, LED의 색깔별, 제조회사별 큰 차이가 난다는 것을 측정을 통해 알수 있었다.

광속값이 최고 큰 것은 고휘도 R-1으로 430mlm으로서 일반 LED의 평균값에 비해 13.3배의 차이를 알수 있었고 LED의 효율(Luminous efficacy)은 일반 신호용 3Φ는 0.805lm/W, 5Φ는 0.833lm/W, 그리고 고휘도 5Φ LED는 35.38lm/W로서 기존에 일반적으로 사용되는 3Φ, 5Φ LED에 비해 각각 43.9, 42.5배로 큰 차이가 나타났다. 고휘도 LED R-1은 108lm/W 로써 일반 LED에 비해 무려 135배나 큰 차이를 알수 있었다.

고휘도 LED의 반치폭(FWHM,△λ)은 R, G, A, B, W 순으로 각가 24, 38, 34, 38, 35nm로써 평균 33.8nm이며, 고휘도 백색 LED의 x,y 색도좌표(Chromaticity coordinate)는 0.327, 0.340으로써 CIE 표준광 D_{65}에 근접함을 측정을 통해 알수 있었다.

고휘도 LED의 주파장(Dominant wavelength)은 R, G, A, B, W 순으로 각각 632, 527, 593, 471, 581nm로 측정되었고 LED의 자극순도(Pe)와 휘도순도(Pc)에서 고휘도 청색의 휘도순도는 148%로 가장 높았고 고휘도 백색 LED의 휘도순도 3%에 비교하면 약 50배의 큰 휘도순도의 차이가 있음을 알수 있었다.

현재의 고휘도 LED는 항공장애등, 교통신호등, 자동차의 테일램프, 브레이크 램프용 등에 사용되고 있으며, 이는 선진외국의 HP, NICHIA, Osram등에서 전량 수입에 의존하고 있다. 또한 이들 회사에서는 막대한 개발투자를 하여 차후, 조명용 광원 개발에 박차를 가하고 있다.

우리나라도 전기, 전자, 통신, 조명산업의 핵심부품인 고휘도 LED를 대량생산을 목표로 한 연구개발이 정부의 적극적인 지원과 산·학·연의 적극적인 참여로서 선행 되어 져야 한다고 본다.

[참고문헌]

[1] KS C 7121 발광다이오드(표시용) 측정방법
[2] KS A 0061 XYZ색 표시계 및 $X_{10}Y_{10}Z_{10}$색 표시계에 따른 색의 표시방법
[3] KS A 0062 색의 3속성에 의한 표시방법
[4] KS A 0074 측색용 표준광 및 표준광원
[5] 황명근 외 2, "고휘도 LED를 이용한 항공장애등 개발" 연구개발보고서, 1997년.
[6] CIE 127 Measurement of LEDs
[7] CIE 15.2 Colorimetry, 2nd ed.