Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2014) 28(8) : 32~39
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2014.28.8.032 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)

논문 28-8-5

확산형 LED램프와 백열램프의 각도별 광속에 관한 비교연구

(A Comparative Study on the Luminous Flux by Degree of Non-directional LED Lamps and Incandescent lamp)

박창용* · 서정현**
(Chang-Yong Park · Jeong-Hyun Seo)

Abstract

In general, non-directional LED lamps including high transmittance cover are more advantageous than directional LED lamps, which are efficient enough to improve luminous efficacy and obtain certification, allowing wide manufacture, sale, and distribution. Although KS C 7651(Self-ballasted LED lamps - Safety and performance requirements) was revised in July 2013, however, many companies are having a lot of difficulties in keeping the certification and product development for the lack of the photometric analysis for non-directional LED lamps. In this paper, through the measurement of the angular distribution of luminous flux of incandescent lamp and non-directional LED lamps, we examined the reasonability of non-directional LED lamps' standards as suggested in KS C 7651.

According to the results, even if non-directional LED lamps satisfy KS C 7651, when compared to an incandescent lamp, they showed less diffusive than the incandescent lamp and the distribution of the luminous flux depending on the angle fluctuated greatly even among LED lamps. Judging by the result, the current standard of the non-directional LED lamps, KS C 7651, has been comprehended that the angular distribution of the luminous flux needs to be presented after being much more thoroughly standardized.

Key Words : Non-Directional LED Lamps, Directional LED Lamps, Diffuse Lighting, Luminous Flux, KS C 7651

* 주저자 : 인천대학교 전자공학과 박사과정
** 교신저자 : 인천대학교 공과대학 전자공학과 교수
* Main author : Incheon National University, Electronics Engineering Ph.D. course
** Corresponding author : Incheon National University, Electronic Engineering, Professor
Tel : 02-2230-6385, Fax : 02-2230-6391
E-mail : p1c2y3@lycos.co.kr
접수일자 : 2014년 6월 29일
1차심사 : 2014년 7월 15일
심사완료 : 2014년 8월 1일

1. 서 론

LED(Light emitting diode)는 기존 광원과 비교할 때 광변환 효율이 높고 외부 디바이스와 인터페이스를 통해 광제어가 용이할 뿐만 아니라 수은 등 환경 유해물질을 사용하지 않는 우수한 장점을 가지고 있어 현재, 백열램프, 형광램프 등 기존 광원을 대체할

Copyright ⓒ 2014 KIIEE All right's reserved

수 있는 고효율 친환경 광원으로 다양한 LED조명 제품이 개발되어 판매되고 있다[1].

세계 각국의 백열램프 퇴출과 관련하여, EU 및 대만은 2012년 사용금지, 미국은 2014년까지 단계적 퇴출, 중국은 2017년 사용금지 등 40여 개국이 동참하고 있다. 중국의 경우 백열램프 수입 · 판매금지 등의 강력한 규제 정책과 LED조명을 중심으로 조명산업에 대한 성장세가 꾸준하게 이어지는 신흥국가로 분류되고 있으며, 일본의 경우 2011년 후쿠시마 원전사고 피해로 인한 정부의 절전정책 영향으로 전 세계에서 LED조명의 교체가 가장 빠르게 진행되고 있다. 국내의 경우, 고효율 조명기기 보급 확산을 통한 국가 에너지효율 향상을 위하여 이미 '08년 백열램프의 시장퇴출을 결정하였으며, 퇴출정책으로 '에너지소비효율등급표시제도'의 대상품목인 백열램프의 의무적 최저소비효율기준*을 용량별로 2단계에 걸쳐 강화함으로써 사실상 표 1과 같이 시장에서의 퇴출을 유도하고 있다[2-4].

표 1. 백열램프의 최저소비효율기준
Table 1. MEPS of incandescent lamp

구분	최저소비효율(lm/W)		
	2011년 12월 31일까지	2012년 1월 1일부터	2014년 1월 1일부터
25W 이상 40W 미만	8.3	8.3	20.0(퇴출)
40W 이상 70W 미만	11.4	11.4	20.0(퇴출)
70W 이상 150W 이하	13.2	20.0(퇴출)	20.0(퇴출)

* 최저소비효율기준(MEPS : Minimum Energy Performance Standard) : 정부가 제시하는 에너지효율 하한치로, 미달하는 저효율 제품에 대한 생산 · 판매 금지 조치

우리나라를 포함하여 미국, EU 등 국가별 필라멘트전구(백열램프) 퇴출 프로그램은 표 2와 같다[5].

표 2. 국가별 필라멘트전구(백열램프)퇴출 프로그램
Table 2. Program of Phase out filament bulb by region (Incandescent lamps)

국가	제도 및 에너지효율 관련 프로그램	프로그램 목적 및 근거 법령
한국	에너지소비효율 등급표시제도	- 제품의 에너지 절약 - 제조 및 수입 단계에서의 원천적 에너지 절약형 제품 생산 · 판매 - 효율관리기자재운용규정 (지식경제부고시 제2012-320호)
일본	Uniform Energy-Saving Label/Top Runner	- 제품의 에너지 절약 - The replacement policy for Incandescent to CFLi by 2012(METI)<산업용 백열램프 제외>
중국	MEELS (Mandatory Energy Efficiency Labelling Scheme) / Energy Conservation Label Program	- 제품의 에너지 절약 - 제조 및 수입 단계에서의 원천적 에너지절약형 제품 생산 · 판매 - The Energy Efficiency (Labelling of Products) Ordinance, Cap. 598 등<산업용 백열램프 제외>
미국	MEPS (Minimum Energy Performance Standards)	- 제품의 에너지 절약 - 제조 및 수입 단계에서의 원천적 에너지 절약형 제품 생산 · 판매 - Energy Independence and Security Act Sec. 321 <산업용 백열램프 제외>
캐나다	Energy Efficiency Regulations	- 제품의 에너지 절약 - 에너지 사용량 데이터 수집 - Clean Energy 정책 <산업용 백열램프 제외>
스웨덴	Green Light Program	- 실내 · 외 에너지 소비율 감소 - The Eco design Directive 2009/125/EC(2009년 일반조명용 백열램프를 시작으로 2016까지 산업용으로 확대)
EU	Green Light Program	- 실내 · 외 에너지 소비율 감소 - The Eco design Directive 2009/125/EC(2009년 일반조명용 백열램프를 시작으로 2016까지 산업용으로 확대)
호주	MEPS (Minimum Energy Performance Standards)	- 제품의 에너지 절약 - 제조 및 수입 단계에서의 원천적 에너지 절약형 제품 생산 · 판매 - Energy Labelling and MEPS Program Regulatory Ruling 43호

그림 1. 컨버터 내장형 LED램프의 사진
Fig. 1. Self-ballasted LED lamps

그림 1은 대표적인 컨버터 내장형 LED램프의 사진으로, LED램프의 주요 광속이 비추는 각도를 가지는 지향형 LED램프(Directional LED lamps)보다는 LED램프의 주요 광속이 비추는 각도를 가지지 않는 확산형 LED램프(Non-directional LED lamps)가 투과율이 높은 커버를 사용하여 광효율을 향상시키기에 더 유리하고 인증 취득에 용이한 면이 있기 때문에 대부분 제조·판매·유통되고 있다.

KS C 7651(컨버터 내장형 LED램프의 안전 및 성능 요구사항)이 2013년 7월에 개정되었음에도 불구하고 기업체에서는 정확한 확산형 타입의 광특성에 대한 분석이 제대로 이루어지고 있지 않아 KS C 7651의 제품개발 및 인증유지에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 KS C 7651에서 제시하고 있는 확산형 LED램프의 확산형 기준과 백열램프의 각도별 광속에 대한 광 특성의 비교 분석으로 정확한 확산형 LED램프의 대체 광원을 안내하고, 이러한 광 특성의 분석과 차이점 등 데이터 제공을 통해 백열램프와 같은 형태의 확산형 LED램프 개발의 어려움과 개발 비용을 줄이고, 표 2와 같은 백열램프 퇴출 프로그램으로 인한 확산형 LED램프의 보급 확대 연구의 기초 자료로 활용하는 것에 있다.

또한, Thomas Edison에 의해 1880년 발명된 이래 역사상 가장 오래된 광원 중 하나이며, 가장 많이 사용되는 램프[6] 중 하나인 60W 불투명 백열램프의 측정을 통해 KS C 7651의 확산형 LED램프 영역별 기준 설정에 있어 추가적인 검토가 필요한지도 파악하고자 한다.

2. 본 론

2.1 확산형 및 지향형 LED램프 기준 (KS C 7651)

2.1.1 확산형 LED램프 기준

확산형 LED램프(Non-directional LED lamps) 는 LED램프의 주요 광속이 비추는 각도를 가지지 않는 것으로, 그림 2와 같이 C의 영역은 120° 각도 내에 총광속의 80% 미만의 특성을 갖고, D의 영역은 120° 이외의 각도 내에 총광속의 20% 이상의 특성을 갖을 때 확산형 LED램프의 기준이 된다[7].

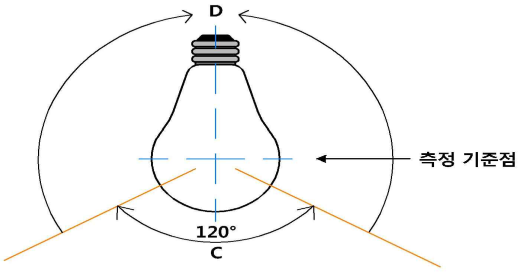


그림 2. 확산형 LED램프
Fig. 2. Non-directional LED lamps

2.1.2 지향형 LED램프 기준

지향형 LED램프(Directional LED lamps)는 LED램프의 주요 광속이 비추는 각도를 가지는 것으로, 그림 3과 같이 A의 영역은 120° 각도 내에 총광속의 80% 이상의 특성을 갖고, B의 영역은 120° 이외의 각도 내에 총광속의 20% 미만의 특성을 갖을 때 지향형 LED램프의 기준이 된다[7].

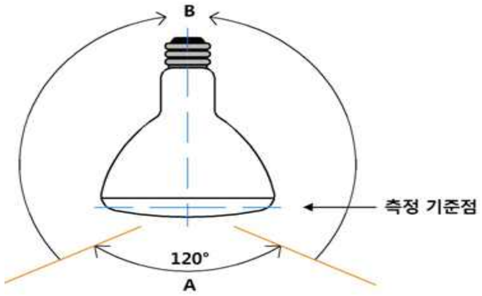


그림 3. 지향형 LED램프
Fig. 3. Directional LED lamps

2.1.3 최소 광속 기준

최소광속(Minimum luminous flux)은 기존에 사용하던 백열램프를 LED램프로 교체시 갖추어야 할 최소 광속이다. 백열램프의 사양은 보통 소비전력을 기준으로 하고 있으나, LED램프의 소비전력은 백열램

프와 달리 매우 낮기 때문에 백열램프와 LED램프의 광속을 비교하여 대체하게 된다. 확산형 LED램프의 광속은 대체될 백열램프의 최소 광속(정격 전력에 상응하는 최소 광속) 90% 이상이어야 한다. 이를 기준으로 백열램프를 대체하는 확산형 LED램프의 적합성은 표 3을 만족하여야 하며, 확산형 LED램프의 정격광속의 표시사항은 최소 광속에 규정된 기준 이상이어야 한다[7].

표 3. 확산형 LED램프의 최소 광속 기준
Table 3. Minimum luminous flux standards of Non-directional LED lamps

대체될 백열램프의 정격전력(W)	확산형 LED램프의 최소 광속(lm)
15	136
25	249
40	470
60	806
75	1 055
100	1 521
150	2 452
200	3 452

2.2 측정 장비

그림 4는 본 실험에서 사용한 절대광속측정기(Absolute goniometer, PSI社)를 도식화하여 보여주고 있다. 절대광속 측정기는 전자랙(rack), 컴퓨터와 프린터, 센서부 등으로 구성되어 있으며, 총광속, 각도별 광속 등을 측정할 수 있다. 장비의 주요사양은 다음과 같다.

- Detector rotation : 360 degree rotation
- Resolution : 0.005 deg
- Accuracy : 0.1 deg
- Axis moving : by DC servo motor
- Z-axis adjustment : Semi-automatic adjustment
- Test item : Max. 900mm(Diagonal Line)

본 논문에서는 KS C 7651에서 규정한 환경조건인 (25 ± 3)℃와 최대 65%의 상대습도 환경을 갖는 통풍이 없는 환경에서 측정하였다. 인가전압은 220V, 60Hz를 사용하였다.

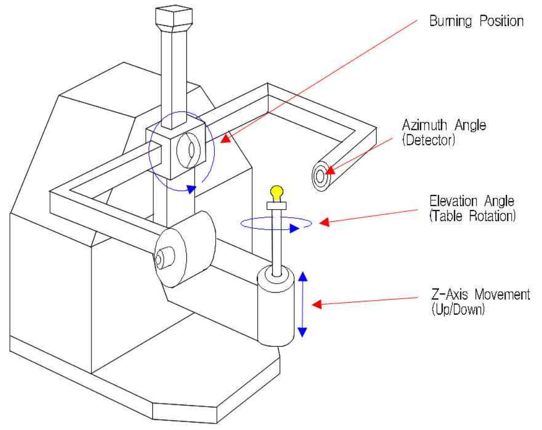


그림 4. 절대광속측정기
Fig. 4. Absolute goniometer

2.3 특성 분석 및 측정

2.3.1 백열램프의 각도별 광속 측정

그림 5는 확산형 LED램프의 대표격인 60W 불투명 백열램프에 대해서 측정한 배광분포를 나타낸 것이다. 백열램프의 베이스(Base) 부분인 뒤쪽 부분을 제외하고는 각도별로 상당히 고른 광속분포를 갖고 있음을 알 수 있다.

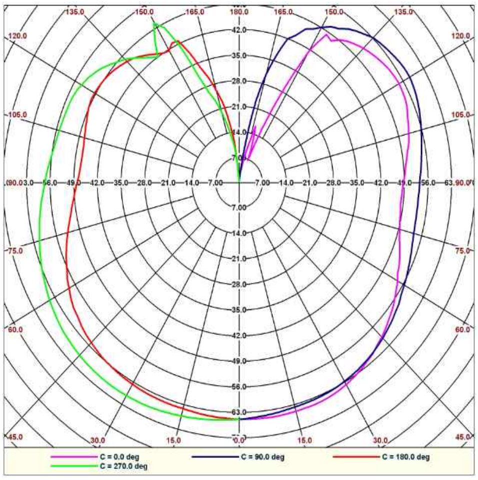


그림 5. 배광분포 데이터
Fig. 5. Luminous intensity distribution

그림 6은 그림 5에서 얻어진 결과를 각도가 0도에서 180도(그림 4의 세로축에 대해서 대칭임으로)로 바뀔 때에 각도별로 누적된 광속 데이터를 보여주고 있다. 그림의 X축은 각도를 나타내며, Y축은 각도별로 누적된 광속(왼쪽 축)과 광비율(오른쪽 축)을 나타낸다.

확산형 LED램프의 기준과 비교할 때에 백열램프는 C의 영역에 30.1%, D의 영역에 69.9%의 광속을 갖는 것으로 나타났다. C의 영역에 광속의 비율이 낮을수록 광원의 광 확산성은 우수하기 때문에 백열램프는 확산형 LED램프에 비해서 매우 우수한 확산 특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 총광속의 80% 미만이 되는 백열램프의 각도를 계산해 보면, 대략 235도로 확산형 LED램프의 120도에 비해 크게 차이가 난다.

확산형과 지향형의 구분은 LED램프가 갖는 광의 지향 특성이 기존의 백열램프와 다른 것 때문에 생긴 것으로 확산형 램프의 원형은 백열램프로 볼 수 있다. 백열램프의 각도별 광속결과를 보면, 현재 제시되고 있는 확산형 LED램프의 기준은 백열램프의 광 특성과 크게 동떨어져 있음을 알 수 있다. 향후, 이러한 결과를 바탕으로 KS C 7651의 확산형 LED램프의 영역별 기준 설정에 있어 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

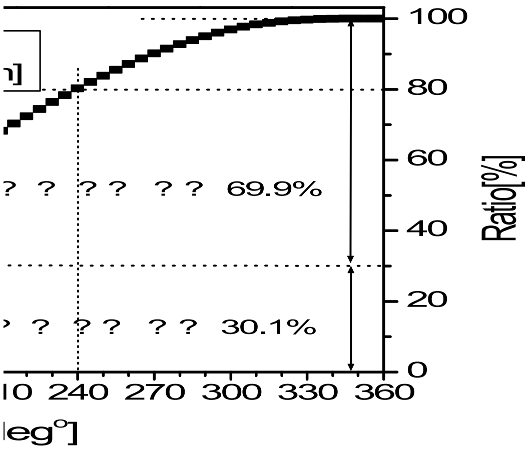


그림 6. 백열램프의 각도별 누적 광속
Fig. 6. Cumulative luminous flux of incandescent lamp as a function of emission angle

2.3.2 LED램프의 총광속 측정

다양한 광 특성 형태를 갖는 8개의 LED램프에 대해 총광속(lm)을 측정한 후, 표 3을 참고로 해서 각각의 LED램프와 대체될 백열램프 전력간의 관계, 광효율, 소비전력을 표 4에 나타내었다. 커버부분의 재질을 PC(Polycarbonate)사용한 8개 제품을 측정한 결과, 25W 백열램프를 대체할 수 있는 제품이 2개, 40W를 대체할 수 있는 제품이 3개, 60W를 대체할 수 있는 제품이 2개, 75W를 대체하는 제품이 1개이다. 같은 정격전력의 백열램프를 대체하는 확산형 LED램프라도 광속의 편차가 크게 존재하며, 특히 낮은 전력을 대체하는 제품군에서는 편차가 더 크게 나타났고, 광효율은 다른 제품군에 비해 현저히 낮게 측정되었다. 이것은 같은 정격전력의 백열램프를 사용하여도 빛을 확산시키는 커버부분의 길이와 투과율, LED소자의 광속과 LED소자를 PCB에 배치하는 형태의 차이로 인해 발생할 수 있다.

표 4. 측정 결과 데이터
Table 4. Testing result data

No	제품사진	대체될 백열램프 정격전력(W)	확산형 LED램프 최소 광속(lm)	측정 광속 (lm)	광효율 (lm/W)	소비 전력 (W)
1-1		25	249	294.5	45	6.6
1-2		25	249	401.1	35	11.5
2-1		40	470	549	81	6.8
2-2		40	470	650.5	94	6.9
2-3		40	470	631.1	70	9.0
3-1		60	806	927	79	11.7
3-2		60	806	1 025.8	88	11.6
4		75	1 055	1 190.6	105	11.3

이러한 측정결과를 통해 확산형 LED램프가 같은 정격전력별 백열램프를 대체하기엔 충분한 광속을 나타내고 있음을 알수 있다. 또한, 많은 기업체에서 표시사항 표기에 어려움을 겪고 있는 내용 중 한 가지의 해결점은 이러한 제품에 따른 광속을 측정하여 KS C 7651의 6.1.2(포장표시사항)에 따라 대체광원을 사용설명서 또는 최소단위포장에 표시하면 된다.

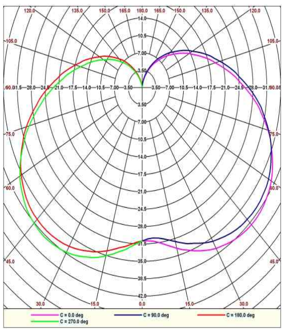
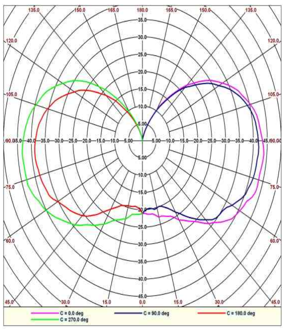
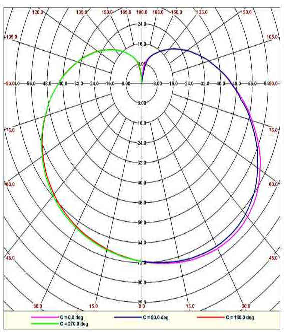
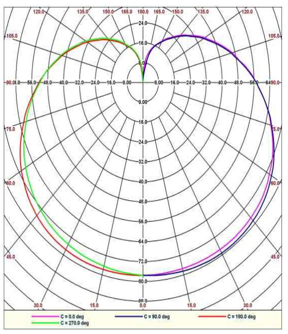
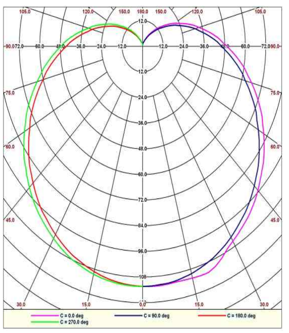
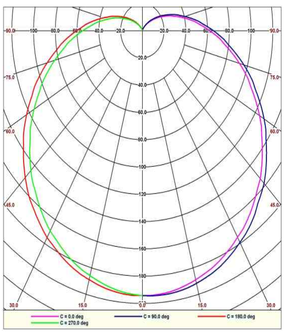
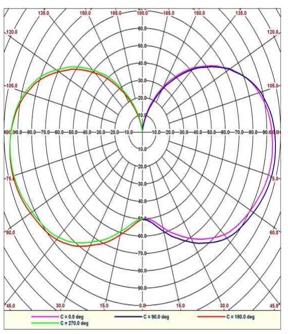
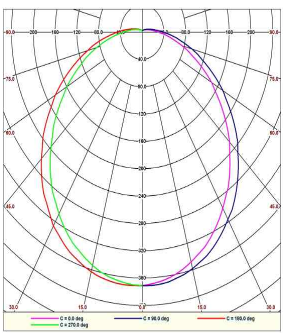
2.3.3 LED램프의 각도별 광속 측정

표 5는 8개의 LED램프들에 대한 배광분포 그림을 나타내고 있다. 4번 제품의 경우에 베이스(Base) 부분인 뒤쪽으로 방출되는 빛이 가장 적고 전체적으로 전면부 발광이 두드러지게 나타났으며, 1-2번과 3-2번 제품은 측면 쪽으로 발광이 두드러지고 후면 방향의 발광도 백열램프 못지않게 크게 나타났다.

표 4의 LED램프 그림을 보면 어느 정도 예측할 수 있듯이, 3-1번과 4번 형태의 LED램프는 아무래도 커버의 형태가 측면과 후면 발광에는 불리하게 만들어져 있다. 1-2번과 3-2번 제품을 제외한 나머지 제품은 LED소자를 PCB에 평면으로 조립한 형태이다. 반면에 1-2와 3-2번 형태는 내부적으로 중심축의 측면에 LED소자를 부착하는 형태이고, 커버의 형태도 측면 발광에 유리하게 만들어져 있어 LED램프에서 광의 확산이 용이한 형태를 띠고 있으나, 백열램프와 같은 가장 유사한 배광분포는 LED소자를 중심축의 측면에 부착하거나 커버의 형태, 렌즈 등 기타 광학계를 사용하면 용이하게 실현할 수 있다.

그림 7은 다양한 광 특성 형태를 갖는 8개의 LED램프에 대해 각도별 광속의 변화를 측정한 결과이다. 표 6에는 각각의 LED램프가 확산형의 조건을 만족하는지 평가하기 위해 C영역과 D 영역에서의 광속의 비율을 계산하고, 백열램프와 비교하여 어느 정도 차이가 나는지를 나타내었다. 일단 8개의 제품 모두 C 영역의 광속 비율이 80% 미만이 되기 때문에 확산형 LED램프의 조건을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 백열램프와 비교했을 때에는 많은 차이가 있었다. 그림 7 (b)를 보면 1-2번과 3-2번 제품이 백열램프와 가장 유사한 각도별 광속을 갖는 것으로 나타났다. 백열램프의 경우에는 누적광속 비율이 300도 정도까지 완만하

표 5. 배광분포 데이터
Table 5. Luminous intensity distribution

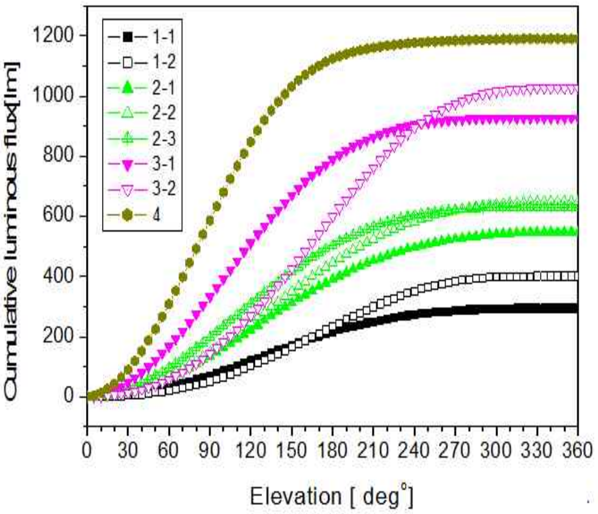
No 1-1	No 1-2
	
No 2-1	No 2-2
	
No 2-3	No 3-1
	
No 3-2	No 4
	

게 증가하고 있는 것에 비해서 LED램프들의 경우에는 대체로 훨씬 더 가파르게 증가하고 있어서, 빛이 확산되는 범위가 좁다는 것을 알 수 있다.

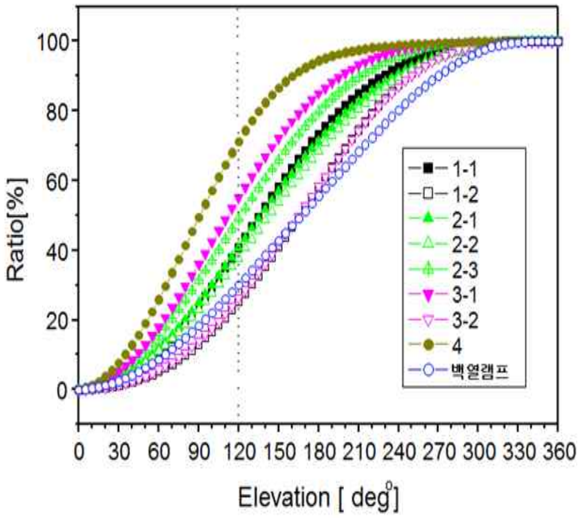
표 6. 제품에 따른 영역별 광속 비율
Table 6. Testing result data of Luminous flux by degree

No	제품 사진	C 영역		D 영역	
		LED램프 (%)	백열램프 대비 차이	LED램프 (%)	백열램프 대비 차이
1-1		40.8	40.8-30.1 (10.7)	59.2	59.2-69.9 (-10.7)
1-2		25.2	25.2-30.1 (-4.9)	74.8	74.8-69.9 (4.9)
2-1		40.9	40.9-30.1 (10.8)	59.1	59.1-69.9 (-10.8)
2-2		37.9	37.9-30.1 (7.8)	62.1	62.1-69.9 (-7.8)
2-3		49.1	49.1-30.1 (19.0)	50.9	50.9-69.9 (-19.0)
3-1		55.1	55.1-30.1 (25.0)	44.9	44.9-69.9 (-25.0)
3-2		26.3	26.3-30.1 (-3.8)	73.7	73.7-69.9 (3.8)
4		71.2	71.2-30.1 (41.1)	28.8	28.8-69.9 (-41.1)

1-2번과 3-2번 제품의 경우, 다른 제품에 비해 전체 램프 길이 대비 광원부의 비율이 50%를 훨씬 넘어서기 때문에 C의 영역(%)이 25.2~26.3, D의 영역(%)이 73.7~74.8로 측정되었다. 이는 다른 제품에 비해 빛을 확산시키는 커버 부분이 길고, 내부적으로 중심축의 측면에 LED소자를 부착하는 형태이고, 커버의 형태도 측면 발광에 유리하게 만들어져 있어 LED램프에서 광의 확산이 용이한 형태를 띠고 있는 구조이기 때문이다. 3-2번 제품의 경우, 불투명 백열램프 대비 C의 영역과 D의 영역의 차이가 ± 5%이내를 나타내고 있어 백열램프와 가장 유사한 영역별 분포를 나타내고 있음을 알 수 있었다.



(a)



(b)

그림 7. 다양한 LED 램프의 (a) 각도별 누적광속과 (b) 각도별 누적광속의 비율
Fig. 7. Angular distributions of cumulative luminous flux((a)) and ratio((b)) in various LED lamps

그러나, 4번 제품의 경우는 커버 부분이 거의 Flat한 형상을 하고 있기 때문에 C의 영역(%)이 71.2, D의 영역(%)이 28.8로 측정되어 각도별 광속 분포 등 다른 제품과 차이가 있음을 알 수 있었고, 불투명 백열램프 대비 C의 영역과 D의 영역의 차이를 보면 ± 40%이상의 배광분포를 나타냄을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, KS C 7651의 표준 개정으로 처음 도입된 확산형 타입에 대해 각도별 기준, 대체될 백열램프의 정격전력 및 정확한 최소광속기준 설정을 위한 가이드라인을 제시하였다. 둘째, 60W급 불투명 백열램프에 대해 각도별 광속 및 영역별(C의 영역, D의 영역)각도의 특성을 분석하였다. 셋째, 확산형 LED램프와 불투명 백열램프의 각도별 광속 및 배광 분포 측정 · 분석을 통해 영역별(C의 영역, D의 영역)차이를 파악할 수 있었다. 본 연구의 결과는 KS C 7651에서 제시하고 있는 확산형 LED램프의 확산형 기준과 백열램프의 각도별 광속에 대한 광 특성의 비교 분석으로 정확한 확산형 LED램프의 대체 광원을 안내하고 이러한 광 특성의 분석과 차이점 등 데이터 제공을 통해 백열램프와 같은 형태의 확산형 LED램프 개발의 어려움과 개발 비용을 줄이고, 백열램프 퇴출 프로그램으로 인한 확산형 LED램프의 보급 확대 연구의 기초자료로 활용하는 것에 있다. 또한, 측정결과를 통해 백열램프와 같은 유사한 배광분포는 LED소자를 중심축의 측면에 부착하거나 커버의 형태, 렌즈 등 기타 광학계를 사용하면 실현할 수 있으며, KS C 7651의 확산형 LED램프에 대한 영역별 기준 설정에 있어 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

References

[1] Chang-Yong, Park, "A Study on the light Distribution and Angles Characteristics of Incandescent lamps for diffusion LED lamps development", KIIEE Annual Spring Conference 2013, pp. 55-56, 2013.
[2] LED/OLED latest industry trends and innovations in Trend Analysis, Business Information Research, 2011.
[3] Domestic LED lighting/application availability and business strategy, industry, Industry economy research, 2013.
[4] Urban agriculture and plant status and future prospects of plant, ISSUE QUEST, 2013.
[5] Filament bulbs such as research and analysis of relevant foreign regulatory research project report, KEMCO, pp. 6-7, 2013.
[6] Se-Hwan, Jhin, "Comparative analysis of the LED A-19 lamp for Suitable Replacement of 60W light bulb", KIIEE Annual Spring Conference 2012, pp. 105-108, 2012.
[7] KS C 7651, Self-Ballasted LED lamp converters safety and performance requirements, 2013.

◇ 저자소개 ◇

박창용(朴昶勇)
1975년 5월 13일생. 2002년 2월 서강대 전자공학과 졸업. 2006년 8월 고려대 전기공학과 졸업(석사). 2012년~현재 인천대 전자공학과 박사과정. 2003~2013년 한국조명연구원 시험평가본부 기업지원팀장. 2014년 1월~현재 도로교통공단 교통과학연구원 연구원.

서정현(徐正炫)
1971년 7월 12일생. 1993년 2월 서울대 전기공학부 졸업. 1995년 2월 서울대 전기공학부 졸업(석사). 2000년 8월 서울대 전기공학부 졸업(박사). 2002년 8월 삼성 SDI 천안연구소 PDP 개발 center 과장. 2002년 9월~2013년 9월 인천대학교 전자공학과 (전임강사, 조교수, 부교수). 2013년 10월~현재 인천대 전자공학과 정교수.