Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, No.9, pp. 1~7 September 2008 논문 22-9-1

LED조명기구의 조도 · 휘도분포 특성 분석에 관한 연구

(Study on Analysis of Characteristics of Illuminance and Luminance Distribution of LED Luminaires)

이진숙* · 김원도 · 김병수 · 한원탁
(Jin-Sook Lee · Won-Do Kim · Byoung-Soo Kim · Won-Tak Han)

요 약

본 연구의 목적은 형광등조명기구와 LED조명기구와의 물리적 특성을 비교하여 LED조명기구의 기본적인 특성을 분석하는데 있다. 여기서 두가지 조명기구의 균제도 및 휘도분포 측면에서 비교 · 분석하여 LED조명기구를 건축실내공간에 적용하기 위한 자료를 작성하였다. 연구는 4단계로 나누어 진행하였다. 첫째, 기존의 조명기구와 비교한 LED조명광원의 이론적인 검토를 하였다. 둘째, 연구의 목적에 부합되도록 실험변인을 조절할 수 있는 실물대모형(Mock-up)을 제작하였다. 셋째, 설치된 실물대모형을 이용하여 조명기구별 균제도 · 휘도분포를 측정하였다. 최종적으로, 기존의 형광등기구와 LED조명기구간의 균제도 · 휘도분포 특성을 비교분석하였다.

연구결과 LED조명기구가 균제도 0.569로 기존 형광등조명기구의 균제도 0.522보다 높아 균일한 조도분포 특성을 보이고 전반확산이 양호한 것으로 나타났다. 또한 휘도분포를 측정한 결과 LED조명기구가 보다 균일한 휘도분포특성을 보였고, 벽면의 휘도분포는 형광등조명기구에 의한 최대휘도가 180.6[cd/㎡], LED조명기구는 155.26[cd/㎡]로 형광등이 높고, 평균휘도는 형광등조명기구가 44.32[cd/㎡], LED조명기구가 58.65[cd/㎡]로 LED조명기구가 높게 나타났다. 이상의 결과로 볼 때, LED조명기구가 형광등조명기구보다 재실자에게 보다 쾌적한 작업환경을 구성할 수 있는 조명이라 판단된다.

Abstract

This study is intended to compare physical properties of fluorescent luminaires with ones of LED luminaires so as to analyze fundamental characteristics of LED luminaires. For this, a comparative analysis of uniformity ratio of illuminance and luminance distribution of these two luminaires was made, and materials for applying LED luminaires to interior construction space were prepared.

This study was carried out in four stages. First, a theoretical review on LED illumination light source was made compared with the existing luminaires. Second, a mock-up to control experimental variables to meet the objective of this study was manufactured. Third, uniformity ratio of illuminance and luminance distribution of each luminaire were measured by using the mock-up. Fourth, a comparative analysis of uniformity ratio of illuminance and characteristics of luminance distribution of the existing fluorescent luminaires and LED ones was made.

As a result of the study, the uniformity ratio of illuminance of LED luminaires, 0.569, was higher than one of the existing fluorescent luminaires, 0.522. Namely, it was shown that illuminance distribution of LED luminaires was uniform and global diffuse was good. As a result of measuring luminance distribution, it was found that luminance distribution of LED luminaires was more uniform than one of the existing fluorescent luminaires. The maximum luminance of fluorescent luminaires and LED luminaires over the wall was 180.6[cd/㎡] and 155.26[cd/㎡] respectively. Namely, the maximum luminance of fluorescent luminaires was higher than one of LED luminaires. The average luminance of fluorescent luminaires and LED luminaires was 44.32[cd/㎡] and 58.65[cd/㎡]. Like this, the average luminance of LED luminaires was higher than one of fluorescent luminaires. Considering these results, it's thought that LED luminaires can give a person in the room a more comfortable working environment than fluorescent luminaires.

Key Words : LED Luminaire, Uniformity ratio of illuminance, Mock-up

* 주저자 : 충남대학교 건축학부 교수, 공학박사
Tel : 042-821-6573, Fax : 042-823-9467, E-mail : js_lee@cnu.ac.kr
접수일자 : 2008년 5월 26일, 1차심사 : 2008년 6월 9일, 2차심사 : 2008년 6월 18일,
3차심사 : 2008년 8월 5일, 심사완료 : 2008년 9월 5일

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

산업기술의 발전을 통하여 조명기구분야에서도 고효율의 조명기구의 생산과 보급이 가능해졌다. 특히 최근에는 지속가능한 건축이란 주제와 더불어 에너지절약 및 친환경 측면이 모든 산업분야에 주요한 관심사가 되고 있다.

이에 정부 및 지자체에서는 조명분야에서의 에너지절약을 위해 한등 끄기, 네온사인 소등, 심야 사무실 소등, 간선도로 가로등 소등 등의 다양한 대책들을 발표하고 실행되어져왔다. 그러나 이러한 방법들은 사무실의 능률저하, 광고효과 저하, 교통사고, 범죄 증가 등의 원인이 되면서 다양한 부작용을 초래한다. 따라서 조명분야에서의 에너지절약을 위한 최선의 방법은 고휴율의 조명기구를 사용하는 것이다.

이러한 저에너지 고효율의 조명기구의 대표적인 예가 LED를 이용한 조명기구이다.

LED는 전류가 흐르면 빛을 내는 화합물 반도체로 단파장발광으로 고순도 색상을 표현할 뿐만아니라 단파장색의 혼합에 의해 중간색의 표현도 가능하며, LED의 특성상 기존전구보다 저전력을 소비하는 에너지절약형 광원이다[1]. 또한, 기존의 유리전구 형태의 광원들과 다르게 소형의 고체형태 점광원으로 견고하고 수명이 긴 특성을 가지고 있어 조명기기의 유지보수 측면에서도 상당한 장점을 가지고 있다. LED조명기구는 소형 LED 다수를 결합하여 만든 제품으로 단순히 LED를 조합하여 제작하면 재실자에게 불쾌글레어 및 눈의 피로감을 유발하게 되므로 용도에 맞는 배광을 가질 수 있도록 적절한 렌즈 및 확산판의 결합이 중요한 특성으로 인식된다[3].

이러한 LED조명을 건축실내에 적용하기 위해서는 실내조명환경에 있어서의 거주자에 대한 최소한의 조명질을 확보하기 위한 기초적인 사항들을 검토할 필요가 있다. 그러나 아직까지는 건축실내공간에 적용된 LED조명기구에 대한 연구가 미미한 시점이고 기존 광원과의 적절한 대비가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존의 대표적인 조명기구인 형광등기구와 LED조명기구와의 조명성능을 실내의 벽체 및 작업면의 균제도 및 휘도분포 측면에서 비교하여 LED조명기구의 기본적인 특성을 분석하였다. 주변의 일반적인 사무실 건물의 조명환경을 대상으로 기본단위로 최소화시켜 구획하여 실물대모형(Mock-up)을 제작하였으며 실험 · 측정을 실시하였다. 실험 분석결과를 통하여 LED조명기구를 건축실내공간에 적용하기 위한 기초적인 자료를 작성하는 것에 본 연구의 목적이 있다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 다음과 같이 4단계로 나누어 연구를 진행하였다. 첫째, 기존의 조명기구와 비교한 LED조명광원의 특성을 검토하였다. 둘째, 연구의 목적에 부합되도록 실험변인을 조절할 수 있는 실물대모형(Mock-up)을 제작하였다. 셋째, 설치된 실물대 모형을 이용하여 조명기구별 균제도 · 휘도분포를 측정하였다. 최종적으로, 기존의 형광등기구와 LED조명기구간의 균제도 · 휘도분포 특성을 비교분석하였다.

2. 이론적 고찰

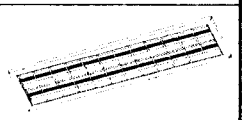
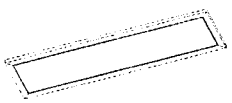
2.1 균제도

균제도는 일정공간에서의 빛의 균일한 분포정도를 나타내는 것으로 조도균제도와 휘도균제도가 있는데 대부분의 경우 조도균제도를 의미한다. 균제도는 어떤 면의 조도값중 한정된 범위에 있어서의 평균조도값에 대한 최소조도값으로 나타낸다. 건축 실내공간에 있어서는 주로 전반조명에 있어서 작업면 전역에 걸친 평균조도와 작업면 내의 최소조도와의 비로 취급된다[2].

2.2 LED조명광원의 특성

LED조명광원을 기존의 조명광원과 비교하여 LED광원의 특성을 이해하고 조명기구 설계시 적절히 반영하는 것이 중요하다. LED조명광원의 특성은

표 1. 실물대모형에 적용된 조명기구
Table 1. Luminaries used in Mock-Up

구분	길이	폭	소비전력	광속	색온도	구성 특징	비 고
T5형광등 기구	1230[mm]	293[mm]	56[W]	4800[lm]	8000[K]	- 고조도 반사갓 적용 - 16×2의 루버 적용 - 배광곡선 : BZ4	
LED 조명기구	1230[mm]	300[mm]	60[W]	2592[lm]	7920[K]	- 4장의 패널(각 패널별 81개의 White LED)로 구성 - 2T 확산판 사용(55.4[%]의 전체광선투과율)[1]	

다음과 같다[3-4].

1) 구조적으로 기존광원과 달리 작은 점광원으로써 전극, 필라멘트, 수은을 사용하지 않는 견고하고, 수명이 길며, 환경친화적이다.
2) 광학적으로 선명한 단색광을 발광하여 연색성이 나쁜 반면, 특정색을 필요로 하는 조명기구에 적용시 시인성이 향상되며, 지향성 광원으로 적합하다.
3) 전기적으로 특정전압 이상에서 점등하고, 점등 후에는 작은 전압변화에 민감하게 반응하여 광도가 변화하여 광출력제어가 용이하다.
4) 작업면이 특정지역으로 제한될 경우 목적조명이 가능하여 기존광원보다 2배의 등기구효율이 가능하다.

3. 실험의 개요

본 연구에서의 대상광원으로 조광(Dimming)이 가능한 28[W]의 T5형광램프를 적용한 조명기구와 동일한 작업면조도를 나타내는 같은 크기의 LED조명기구를 대상으로 실험을 실시하였다.

연구의 목적에 부합되도록 실험변인과 조건들을 조절할 수 있고, 조명기구의 교체가 용이하도록 실물대 모형(Mock-up)을 제작하였고, 주광을 비롯한 주변광의 영향을 배제하기 위해 무창공간으로 제작하여 실험을 실시하였다.

3.1 실물대(Mock-up) 실험장치

실험실의 크기는 가로×세로×높이를 3,200×6,860×2,800[mm]로 하였다. 천정면에 조광이 가능한 조명기구를 그림 1과 같이 배치하였다. 다음의 표 1에 실험에 적용된 조명기구의 종류를 나타냈고, 표 2에는 실물대모형의 내부 마감재 색채 및 반사율을 나타냈다.

3.2 측정방법

표 1에 나타낸 각각의 조명기구별로 조도를 370[lux]로 고정하고 정면, 좌측면, 우측면, 작업면의 조도를 측정하여 각각의 표면별로 균제도를 산정할 수 있도록 그림 2와 같이 각 표면에 300[mm]×300[mm]의 그리드를 표시하여 조도를 측정할 수 있게 하였다. 그림 3, 4는 각각의 조명기구를 적용한 측정대상을 나타낸다.

표 2. 실물대모형의 내부 마감재 색채 및 반사율
Table 2. Color and Reflexibility of Inside Finishing Material of Mock-up

구 분	마감재의 색채 및 반사율	
	색 채	반사율([%])
벽	6Y 9.4/0.6	87.46
천 정	6.5Y 9.2/0.2	82.59
바 닥	4.3Y 5.4/0.9	28.27

1) KS M 3832 : 1991(측정법 A) 로 측정

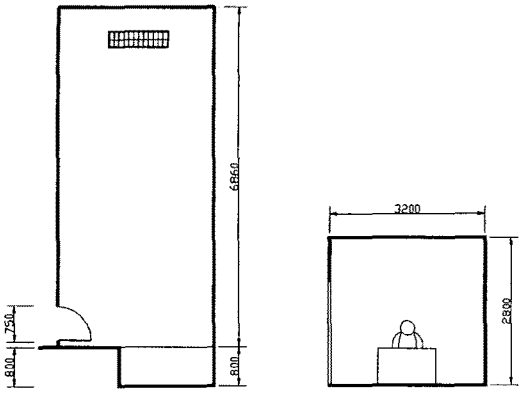


그림 1. 실물대(Mock-up)의 개요
Fig. 1. Synopsis of Mock-up

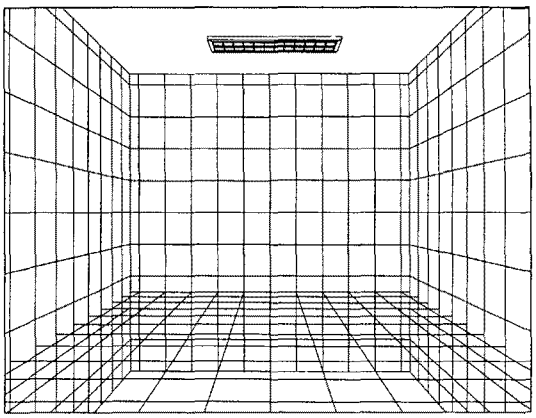


그림 2. 평가대상 벽면 · 작업면의 측정점
Fig. 2. Measurement point

조도계(Minolta Illuminance Meter T-10)를 이용하여 정면, 좌측면, 우측면에서의 조도를 측정하고, 작업면조도는 바닥에서 750[mm] 높이에서 측정하였다.

또한, 대상공간의 휘도분포를 파악하기 위해 공간휘도계(Monolta CA-2000A)를 이용하여 측정하였고 이것을 통해서 광원의 최대휘도, 최소휘도, 평균휘도 등을 구하여 광원휘도의 균일성을 확인하였고, 뿐만아니라 각 벽면의 최대휘도, 최소휘도, 평균휘도를 구하여 조명기구에 따른 벽면휘도의 균일성을 확인하였다.

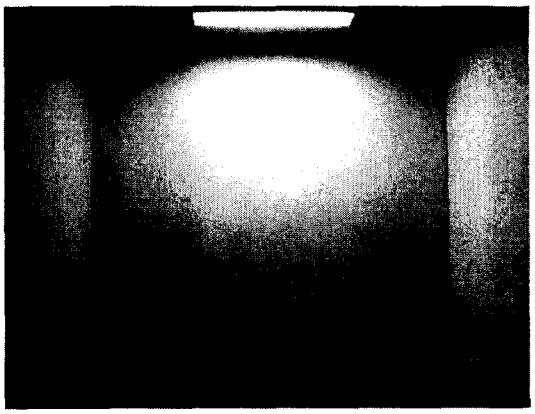


그림 3. 측정대상(LED조명기구)
Fig. 3. The Measurement Object(LED Luminaire)

4. 균제도 · 휘도분포 측정

4.1 측정 개요

그림 2와 같이 각 측정점별 조도를 측정하여 각 벽면 및 작업면의 평균조도 · 균제도를 구하여 형광등기구와 LED조명기구의 값을 비교 · 분석하였다. 또한 휘도분포를 공간휘도계로 측정하여 조명기구에 따른 휘도분포의 차이를 비교 · 분석하였다.

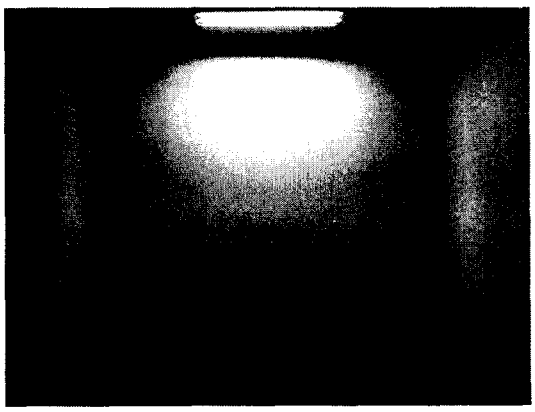


그림 4. 측정대상(형광등조명기구)
Fig. 4. The Measurement Object(Fluorescent Luminaire)

4.2 균제도 측정결과

형광등기구와 LED조명기구의 각 벽면 · 작업면의 조도를 측정한 결과를 표 3의 그림들과 같이 등조도 곡선으로 나타내었다.

표 3. 조도분포 · 균제도 측정결과
Table 3. Illuminance Distribution / Uniformity ratio of illuminance

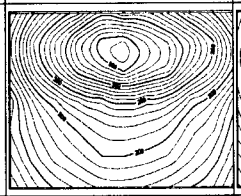
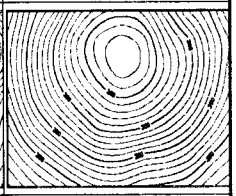
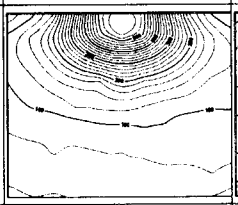
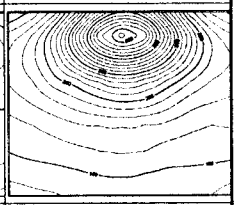
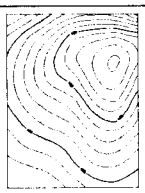
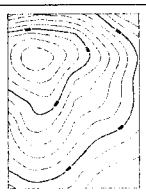
구분	형광등기구	LED조명기구
작업면		
균제도	0.522	0.569
정면벽		
균제도	0.357	0.382
좌측벽		
균제도	0.558	0.583
우측벽		
균제도	0.558	0.571

표 3의 작업면 조도분포를 보면 조명기구 바로 아래에서는 직하조도 370[lux]로 동일하나, 형광등기구는 등기구의 형상에 따라 좌우로 길게 조도가 확산되는 형상을 나타내고 있고, LED조명기구는 조도분포가 균일한 형상으로 보다 넓게 확산되어 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 표 4에서 작업면의 균제도를 보면 LED조명기구는 0.569, 형광등기구는 0.522를 나타내고 있는데, 같은 직하조도를 나타내더라고 LED조명기구가 보다 균일한 작업면 조도를 형성할 수 있다는 것을 나타낸다. 또한 작업면 평균조도에서도 LED조명기구는 261.8[lux], 형광등기구는 214.7[lux]로 나타났는데 LED조명기구가 균제도가 높아서 같은 출력의 형광등기구보다 넓은 면적에 효율적으로 조명이 가능한 것으로 나타났다.

표 5에서와 같이 정면벽의 조도분포에서도 마찬가지로 LED조명기구의 균제도가 0.382로 형광등기구 0.357보다 높고, 최대조도가 530[lux]로 형광등기구의 558[lux]보다 낮지만 평균조도가 172.3[lux]로 형광등기구의 144.4[lux]보다 높은 것으로 나타나 LED조명기구의 균일한 조도분포 특성을 보여준다. 이것은 표 3의 정면벽 등조도곡선 그림을 통해서도 확인할 수 있다.

표 3의 좌측벽 · 우측벽의 등조도곡선과 균제도를 보면 작업면과 정면벽의 조도분포 특성이 그대로 측벽에도 나타나는 것을 볼 수 있다. LED조명기구의 조도분포가 형광등기구보다 부드럽게 확산분포되고 균일한 분포특성을 보이므로 형광등기구보다 조명예측이 용이할 것으로 판단된다.

이상을 측정결과로 볼 때, LED조명기구가 기존 형광등조명기구보다 균일한 조도분포 특성(높은 균제도)을 보이고 전반확산이 양호한 양질의 조명기구임을 알 수 있다.

표 4. 작업면 조도([lux])
Table. 4. Illuminace of Work Surface([lux])

구분	형광등기구	LED조명기구
최대조도	362	377
최소조도	112	149
평균조도	214.7	261.8
균제도	0.522	0.569
표준편차	63.42	60.37

표 5. 정면벽 조도([lux])
Table 5. Iluminance of Front Wall([lux])

구분	형광등기구	LED조명기구
최대조도	558	530
최소조도	51.6	65.8
평균조도	144.4	172.3
균제도	0.357	0.382
표준편차	115.41	100.94

4.3 휘도분포 측정결과

각 조명기구를 동일한 작업면조도 조건하에서 휘도를 측정하고 그 결과를 그림 7, 8과 표 6, 7에 나타내었다. 광원의 최대휘도는 표 6와 같이 형광등조명기구가 14,087[cd/㎡], LED조명기구 3,294[cd/㎡]로 형광등이 훨씬 높았지만 평균휘도는 형광등 2,220[cd/㎡], LED 2766[cd/㎡]로 LED조명기구가 더 높은 것으로 나타났다. 표준편차를 확인하면 형광등기구의 휘도 편차가 상당히 큰데 비하여 LED조명기구의 휘도편차는 상대적으로 작아 휘도분포가 균일한 광원인 것을 알 수 있다.

정면벽의 휘도분포를 보면 표 7에서와 같이 형광등기구에 의한 최대휘도가 180.6[cd/㎡], LED조명기구는 155.26[cd/㎡]로 형광등이 높고, 평균휘도는 형광등이 44.32[cd/㎡], LED가 58.65[cd/㎡]로 LED가 높게 나타났다. 또한 표준편차를 보면 형광등 36.67, LED 29.32로 정면벽에서도 LED조명기구에 의한 휘도분포가 형광등기구보다 상당히 균일하게 확산·분포되어 있는 것을 확인하였다.

표 6. 광원휘도([cd/㎡])
Table 6. Luminance of Light source([cd/㎡])

구분	형광등기구	LED조명기구
최대휘도	14087	3294
최소휘도	45.91	789
평균휘도	2220	2766
표준편차	3862	454

표 7. 정면벽의 휘도([cd/㎡])
Table 7. Luminance of Front Wall([cd/㎡])

구분	형광등기구	LED조명기구
최대휘도	180.6	155.26
최소휘도	3.01	11.39
평균휘도	44.32	58.65
표준편차	36.67	29.32

그림 7, 8에 형광등조명기구와 LED조명기구의 휘도분포를 한눈에 알아볼 수 있도록 등휘도분포 그림을 나타냈다. 정면벽뿐만아니라 측면벽의 휘도분포에서도 LED조명기구가 형광등기구보다 더 밝고 고른 휘도분포를 나타내고 있다.

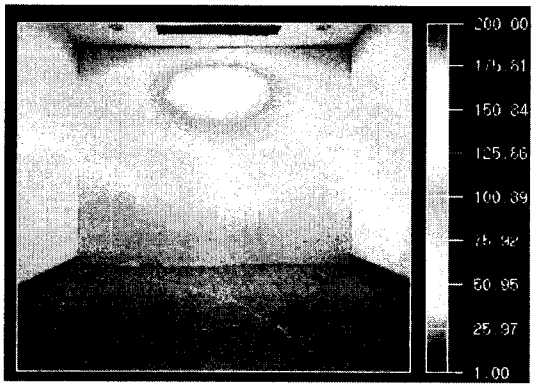


그림 7. 휘도분포(LED조명기구)
Fig. 7. Luminance Distribution(LED Luminaire)

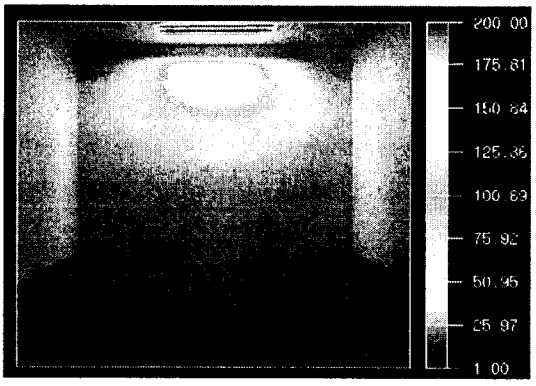


그림 8. 휘도분포(형광등조명기구)
Fig. 8. Luminance Distribution(Fluorescent Luminaire)

5. 결 론

이상의 연구에서 형광등조명기구와 LED조명기구의 조도·휘도분포 특성을 확인하기 위한 측정실험을 실시한 후, 각 조명기구의 균제도·휘도분포특성을 비교·분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 작업면의 균제도를 보면 LED조명기구는 0.569, 형광등기구는 0.522를 나타내고 있는데, 같은 직하조도를 나타내더라고 LED조명기구가 보다 균일한 작업면 조도를 형성하는 것으로 나타났다. 또한 작업면 평균조도에서도 LED조명

기구는 261.8[lux], 형광등기구는 214.7[lux]로 나타났는데 LED조명기구가 균제도가 높아서 같은 출력의 형광등기구보다 넓은 면적에 효율적으로 조명이 가능한 것으로 나타났다.

2) 정면벽의 조도분포에서 LED조명기구의 균제도가 0.382로 형광등기구 0.357보다 높고, 최대조도가 530[lux]로 형광등기구의 558[lux]보다 낮지만 평균조도가 172.3[lux]로 형광등기구의 144.4[lux]보다 높은 것으로 나타나 LED조명기구가 보다 균일한 조도분포 특성을 나타냈다.
3) 벽면의 휘도분포를 보면 형광등기구에 의한 최대휘도가 180.6[cd/㎡], LED조명기구는 155.26[cd/㎡]로 형광등기구가 높고, 평균휘도는 형광등기구가 44.32[cd/㎡], LED조명기구가 58.65[cd/㎡]로 LED가 높게 나타났다. 또한 표준편차를 보면 형광등 36.67, LED 29.32로 벽면에서 LED조명기구에 의한 휘도분포가 형광등기구보다 상당히 균일하게 확산 · 분포되어 있는 것을 확인하였다. 형광등조명기구와 LED조명기구의 휘도분포를 한눈에 알아볼 수 있도록 등휘도분포 그림을 나타냈다. 정면벽뿐만아니라 측면벽의 휘도분포에서도 LED조명기구가 형광등기구보다 더 밝고 고른 휘도분포 특성을 보였다.

이상의 연구결과, LED조명기구가 형광등조명기구보다 작업면 · 벽면 모두에서 균제도가 뛰어나 조도분포특성이 양호한 것으로 나타났고, 휘도분포에서도 LED조명기구가 형광등조명기구보다 밝고 고른 분포특성을 보이는 것으로 나타나, 이를 통하여 LED조명기구를 통한 건축실내에 양질의 조명환경을 구성할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 LED조명기구의 기성제품을 구입하여 사용하였다. 기성제품은 제조회사별로 광원을 일정휘도이상 조광이 불가능하도록 회사별 적정휘도로 세팅이 되어 있는 상태였다. 따라서, 실험시 조절할 수 있는 휘도 범위가 상당히 제한적일 수 밖에 없었다. 차후의 연구에서는 조명기구를 계획하고 제작업체에 휘도제한설정을 삭제한 조명기구를 제작을 의뢰하여 보다 다양한 광원휘도별로 LED조명기구의 특성을 분석하도록 할 것이다.

이 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 : R01-2007-000-21020-0)의 지원으로 수행되었음.

References

[1] 장우신 ; 광원의 신기술 동향, 조명 · 전기설비학회지, Vol.20, No.1, 2006. 2.
[2] 한국조명 · 전기설비학회 ; 조명디자이너 자격인증교재, 1999. 4.
[3] 정봉만 ; 반도체 LED조명기술의 특성과 응용, 조명 · 전기설비학회지, Vol.20, No.3, 2006. 6.
[4] 정봉만 ; 조명측면에서 본 LED광원 특성과 조명시스템 응용, 조명 · 전기설비학회지, Vol.18, No.3, 2004. 6.
[5] 김영민, 김한성, 김창성, 김강수 ; 워크스테이션의 조명성능 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 19권10호, 2003.10.
[6] IESNA Lighting Handbook Nine Edition, 2000.
[7] ISO-8995:2002 CIE S 008/E-2001 : Lighting of indoor work places, 2002.
[8] Lighting Research Center ; Lighting Applications Guideline for LEDs, 2002.
[9] Lighting Research Center ; LED Life for General Lighting: Measurement Method for LED Components, Vol1, issue2, 2005.02.
[10] http://www.irc.rpi.edu.

◇ 저자소개 ◇

이진숙 (李眞淑)
1960년 6월 17일생. 1982년 충남대학교 건축공학과 졸업. 1984년 동대학원 건축공학과 졸업(석사). 1989년 일본 Tokyo Institute of Technology 졸업(박사). 1989년~현재 충남대학교 건축학부 교수.

김원도 (金元燾)
1974년 8월 17일생. 1997년 충남대학교 건축공학과 졸업. 1999년 동대학원 건축공학과 졸업(석사). 동대학원 건축공학과 졸업(박사). 2008년~현재 충남대학교 건축연구소 전임연구원.

김병수 (金炳秀)
1974년 2월 20일생. 1997년 한밭대학교 건축설비공학과 졸업. 1999년 충남대학교 대학원 건축공학과 졸업(석사). 2003년 동대학원 건축공학과 졸업(박사). 2003년~현재 건양대학교 인테리어학과 겸임교수.

한원탁 (韓元鐸)
1980년 5월 2일생. 2006년 충남대학교 건축공학과 졸업. 2006년~현재 동대학원 건축공학과 석사과정.