


실내 공간에서 사용하는 LED 조명의 인간 중심 조명(HCL) 적용을 위한 플리커 특성에 대한 연구

손원국¹, 김충혁² 

¹ 광운대학교 대학원 플라즈마바이오디스플레이학과

² 광운대학교 인제니움학부

Study on the Flicker Characteristics for Human Centric Lighting (HCL) Application of the LED Lighting used in Indoor Spaces

Won-Kuk Son¹ and Chung-Hyeok Kim²

¹ Department of Plasma-Bio and Display, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea

² Department of Ingenium, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea

(Received August 14, 2024; Accepted August 22, 2024)

Abstract: Human-centric lighting (HCL) aims to enhance well-being and performance by tailoring lighting to human needs. However, LED flicker-rapid brightness changes-remains a critical issue, causing discomfort and reduced productivity. This paper addresses flicker problems in living and industrial spaces with LED lighting. We propose solutions to mitigate flicker by examining causes like power supply variations and LED driver design. Techniques such as high-quality LED drivers, advanced dimming methods, and digital control systems are explored. Our findings show these techniques can significantly reduce flicker, achieving less than 1% flicker performance while meeting HCL's diverse requirements. Implementing flicker-free lighting in residential spaces enhances comfort and reduces eye strain, while in industrial settings, it improves productivity and safety. This paper emphasizes the importance of control circuits that maintain sub-1% flicker performance while integrating various HCL solutions, enhancing indoor lighting quality, and promoting better health and performance.

Keywords: Human centric lighting, LED flicker mitigation, LED lighting, Health and performance in lighting

1. 서론

1.1 연구의 배경

인간 중심 조명(HCL)은 인간의 시각적, 생체적, 심리적 요구를 고려한 조명 설계 방식으로, 최근 들어 인간의 건강과

생산성 향상에 대한 관심이 높아지면서 연구가 활발히 진행되고 있다. 인간 중심 조명은 적절한 조명을 통해 인간의 생체 리듬을 조절하고, 심리적 안정감을 제공하며, 시각적 피로를 줄여주는 등 다양한 긍정적 효과를 가지고 있으며, 이러한 조명 방식은 현대 사회에서 점점 더 중요해지고 있기 때문에 주거공간뿐만 아니라 사무실 및 산업용 실내 공간에서도 인간 중심 조명의 적용이 증가하고 있다.

그러나 인간 중심 조명을 실내 조명에 적용할 때 발생할 수 있는 중요한 문제 중 하나는 LED 조명의 플리커이다. 플리커는 빛의 밝기가 빠르고 반복적으로 변하는 현상으

✉ Chung-Hyeok Kim; hyeokkim@kw.ac.kr

Copyright ©2024 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

로, 시각적 피로, 집중력 저하, 두통, 건강 문제 등을 초래할 수 있다. 이러한 문제는 특히 장시간 동안 조명에 노출되는 실내 환경에서 더욱 두드러지며, 생활의 질과 작업 효율성을 저하시키는 주요 요인이 된다. 따라서 플리커 문제를 해결하는 것은 인간 중심 조명의 효과를 극대화하고, 안전하고 쾌적한 실내 조명 환경을 조성하는 데 필수적이다 [1,3].

본 연구는 실내 공간에서 사용되는 여러 가지 형태의 LED 조명 제품에 대한 플리커 특성을 분석해 보고, 인간 중심 조명 기술을 적용하기 위한 LED 조명의 개선점을 제시함으로써 플리커 특성과 함께 요구되는 다양한 실내 공간의 조명 요구 사항에 대한 특성을 평가한다. 이러한 분석을 통해 LED 조명의 플리커 특성에 따른 문제 해결 방안을 탐구하고, 인간 중심 조명 적용을 통한 실내 조명 환경의 질을 향상시키기 위한 구체적인 방법을 모색하고자 한다.

1.2 연구의 목적 및 방법

본 연구의 목적은 실내 공간에서 사용되는 LED 조명 중 최근 확대되고 있는 인간 중심 조명으로의 적용을 위해 근본적으로 해결해야 하는 플리커 문제를 해소하고, 인간 중심 조명에 최적으로 활용할 수 있는 가장 적합한 LED 조명의 조건을 제시하는 데 있다. 플리커 문제는 시각적 피로

(두통 등 유발), 집중력 저하(작업 효율 감소, 실수 발생 등), 건강 문제(만성피로, 불안, 우울증 발생) 등과 같은 건강 문제를 유발할 수 있는데, 이는 인간 중심 조명의 효과를 저해하는 주요 요인이기 때문에 플리커를 최소화하고, 인간 중심 조명의 다양한 요구 특성을 만족시키는 조명 조건을 찾는 것이 중요하다.

본 연구를 위해 시중에서 판매되고 있는 다양한 실내용 LED 조명 제품을 구입하여 각 제품의 사용 목적에 따라 분류하고 각각에 대한 플리커 특성을 측정 및 분석하여, 분석 결과를 바탕으로 각 LED 조명 제품이 인간 중심 조명에 적용하기에 적합한지를 판단하고자 하였으며, 이러한 플리커 특성이 인간 중심 조명의 기준에 부합하는지에 대해 알아보기 위하여, 인간 중심 조명 기술에서 요구되는 다양한 핵심 요소를 파악하고, 인간 중심 조명에서 필요로 하는 제어 기술과 연동될 수 있는지에 대한 내용을 검토해 봄으로써 보다 우수한 인간 중심 조명의 선택을 할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 인간 중심 조명 핵심 요소와 플리커

인간 중심 조명의 핵심 요소는 표 1에서와 같이 플리커, 연색성, 색 온도, 조도, 광 스펙트럼, 동적 조명, 눈부심, 조명 제어, 자연광 모사, 사용자 맞춤 조명 등 대표적으로 10 가지 정도의 핵심 기술 요소들의 특성을 요구한다 [2].

이러한 인간 중심 조명의 핵심 요소 중에서 플리커는 눈 건강과 사용자의 편안함에 직접적인 영향을 미친다는 점에서 가장 중요한 요소로 간주되고 있는데, LED를 이용한 디지털 조명에서 발생하는 플리커는 눈의 피로를 유발하고, 일부 사람들에게는 두통이나 불안감을 초래할 수 있기 때문에 장시간 노출 시 더 큰 문제로 나타날 수 있어, 작업 효율성과 직결된 사항이다. 따라서 조명 시스템이 플리커 없이 안정적으로 작동하는 것은 사용자 시야의 편안함과 함께 건강을 보장하기 위해 중요한 기준으로 간주된다.

2.2 실내용 LED 조명 제품의 플리커 특성 분석

플리커를 측정하는 방법은 주로 energy-star에서 제시하는 광원 플리커 측정법을 따르는데, 제시하고 있는 퍼센트 플리커의 기준은 20% 미만이고, 일반적으로 LED 조명 제품의 역률은 0.85~0.9가 기준값이다 [2].

Table 1. Key elements of human centric lighting.

Key element	Importance
Flicker	Reduces eye strain and prevents headaches
CRI	Enhances task accuracy and visual satisfaction
Color temperature	Regulates mood and circadian rhythms
Illuminance	Reduces eye strain and increases work efficiency
Light spectrum	Specific wavelengths impact physiological responses
Dynamic lighting	Supports circadian rhythms by mimicking natural light changes
Glare	Provides visual comfort
Lighting control	Enhances energy efficiency and user convenience
Natural light simulation	Positively impacts health and productivity
Personalized lighting	Provides tailored lighting to meet individual needs


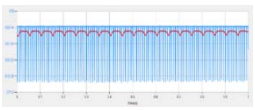

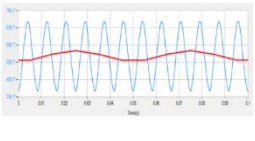
	LED lighting type	Flicker waveform characteristics
(a)		
(b)		

Fig. 1. LED Lighting products with poor flicker characteristics: (a) fluorescent tube replacement LED light & flicker waveform characteristics and (b) down light & flicker waveform characteristics.



Fig. 2. Flat-panel LED lighting installed office.

그림 1은 시중에 유통되고 있는 다양한 실내용 LED 조명 제품 중 대표적인 2종의 제품으로 그림 1(a)는 34 W LED 평판 조명 제품이고, (b)는 15 W LED 다운라이트에 대한 제품사진과 각 제품에 대한 플리커 특성을 보여주고 있다. 각 조명 제품에 대한 퍼센트 플리커와 역률을 측정해 본 결과 LED 평판 조명 (a)는 역률 0.68에 퍼센트 플리커 18.7%이고, LED 다운라이트 (b)는 역률 0.87에 퍼센트 플리커 32.1%의 값이 나왔다. (a)의 경우 퍼센트 플리커 특성은 만족하지만, 역률이 매우 낮게 나왔으며, (b)의 경우 역률은 기준값을 만족하고 있지만, 퍼센트 플리커는 기준치를 벗어나 있음을 확인할 수 있었다. 이렇듯 시중에서 유통되고 있는 대부분의 LED 조명 제품은 인증기관의 측정 기준에 부합하는 특성으로 인증받았지만, 상당수는 인증 기준에 적합하지 못한 플리커 특성이나 역률 등 특성을 가지고 있다.

2.3 실내 조명환경의 플리커 특성 조사

실제 사무환경에서 이러한 LED 조명을 활용할 경우 어떠한 플리커 특성이 있는지 확인하기 위해 그림 2에서와 같이 소비전력 34 W, 사이즈 1,200 mm × 300 mm인 LED 평판 조명이 설치된 연구실 내부의 조명 제품에 대한 플리커 특성을 조사해 보았다.

일반적으로 이러한 사무환경에서 인간이 플리커를 인지하는 것은 극심한 떨림 현상이나 시각적으로 드러나는 깜빡임을 제외하고는 매우 어렵지만, 그림 2와 같이 주어진 환경에서 화상회의나 영상 촬영 등과 같은 행위를 할 경우, 앞서 언급한 조명 제품의 인증 기준에 부합하지 못하는 조명 제품이 설치된 환경에서는 LED 조명 제품의 플리커에

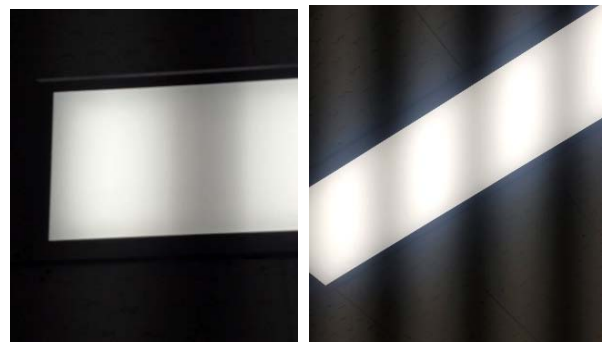


Fig. 3. Flicker afterimage phenomenon in LED lighting.

의한 잔상현상(블랙라인) 등이 그림 3과 같이 선명하게 나타난다. 이러한 조명환경은 인간 중심 조명으로서의 LED 조명 적용에 있어서 가장 큰 문제점으로 지적될 수 있다.

2.4 실내 조명용 인간 중심 조명 적용을 위한 필요사항

우수한 플리커 특성뿐만 아니라 인간 중심 조명에서 요구되는 색 온도 제어, 연색성, 휘도 제어, 개인 맞춤형 조명, 조명 통합 제어 및 스마트 조명 기술을 활용하기 위해서는 플리커 감소 필터나 광학 필터 등의 사용을 통한 플리커 개선이 아닌 플리커프리 AC driver IC 혹은 플리커프리 SMPS 등을 사용해야 할 필요가 있다 [4].

그림 4는 인간 중심 조명에서 요구되는 제어 요소의 기능적 특성에 연계하여 활용할 수 있는 LED 조명의 플리커프리 솔루션이 적용된 조명 제품에 대한 특성을 보여주고 있다.

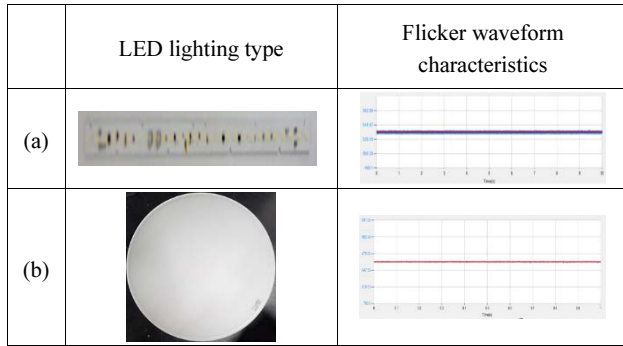


Fig. 4. Flicker-free solution and flicker characteristics: (a) flicker-free AC driver IC applied module and (b) flicker-free SMPS applied ceiling light.

그림 4(a)는 플리커프리 AC driver IC를 적용한 모듈로 퍼센트 플리커 0.5%, 역률 0.97이고, (b)는 플리커프리 SMPS를 적용한 LED 방등으로 퍼센트 플리커 0.19%, 역률 0.97로 우수한 특성을 보이고 있다.

하지만 인간 중심 조명에 적용하기 위해서는 이러한 기본적인 특성을 만족하는 것 이외에도 고급 드라이버 기술과 효율적인 전력 변환, 적응형 조명 제어 및 스펙트럼 조정 가능성을 통합화할 수 있어야만 한다. 그래서 그림 4(a)와 (b)에 적용된 AC driver IC와 SMPS는 우수한 역률과 플리커 특성 이외에도 인간 중심 조명에서 요구되는 다양한 부가기능들을 함께 연동 및 제어할 수 있어야 한다.

2.5 AC driver IC 적용 LED 조명의 인간 중심 조명 활용 방안 제안

본 연구에서는 그림 5에서와 같이 최근 활용도가 확대되고 있는 AC driver IC를 적용한 실내용 LED 조명 3종을 분석했는데, 그림 5(a)는 낮은 플리커 AC driver IC 모듈, (b)는 매우 낮은 플리커 AC driver IC 모듈, (c)는 인간 중심 조명에 적용하기 위해 제안한 AC driver IC 구동회로로써, 다양한 제어기와 연동이 가능한 매우 낮은 플리커 AC driver IC 모듈이다.

각 모듈에 대한 퍼센트 플리커, 역률, THD, 소비전력과 실질 소비전력에 대한 측정값은 표 2에서 확인할 수 있다.

(a)의 경우 퍼센트 플리커가 35.6%로 비교적 플리커가 높은 편이지만, 역율이나 다른 전기적 특성은 비교적 우수한 데 반해 (b)의 경우 퍼센트 플리커가 1.32%로 플리커 특성은 매우 우수하지만, THD와 같은 전기적 특성이 매우 나쁘기 때문에 일상에서 사용 시 주의가 요구된다. 또한, (a)와 (b)는 일반 조명으로서의 활용에는 큰 문제가 없지만,

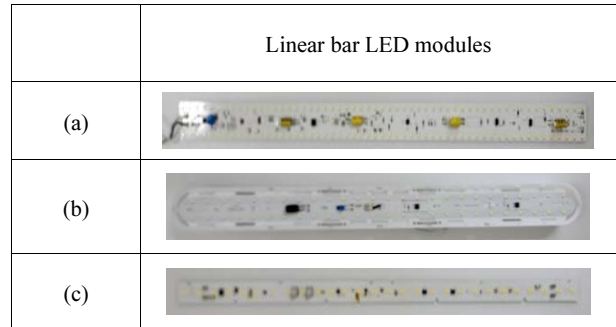


Fig. 5. Samples of linear LED bar modules powered by Individual AC direct drive: (a) low flicker AC driver LED module, (b) very low flicker AC driver LED module, and (c) controller and highly scalable very low flicker AC driver LED module.

Table 2. Measured results of characteristics for different types of AC power drives.

NO	Percent flicker (%)	Power factor	THD (%)	Rated power consumption (W)	Measured power consumption (W)
(a)	35.6	0.994	10.1	10	10.1
(b)	1.32	0.564	128.7	30	25.9
(c)	0.7	0.969	24.6	25	24.6

외부 제어기기와의 연동이 원활하지 않아 인간 중심 조명으로 적용이 불가능하다. 하지만 (c)는 0.7%의 퍼센트 플리커와 함께 역률 0.969 등의 전기적 특성 또한 모두 양호한 값을 나타내면서 인간 중심 조명에서 요구되는 다양한 부가기능을 연동할 수 있도록 프로토콜을 제공하고 있어 색온도와 연색성, 디밍 등 다양한 제어가 가능하다.

3. 결론

실내에 사용되는 LED 조명 제품의 인간 중심 조명 적용을 위해서는 기본적으로 플리커 문제를 해결하는 것이 매우 중요한 요소이지만, 플리커 특성과 함께 고려해야 할 사항이 역률과 THD, 소비전력 등과 같은 전기적 특성 사항과 함께 인간 중심 조명에서 요구하는 다양한 핵심 요소(색온도, 연색성, 눈부심, 조광, 조도, 자연광 특성 등)를 동시에 호환할 수 있도록 해야지만 보다 올바른 인간 중심 조명 환경을 구현할 수 있다. 뿐만 아니라 인간 중심 조명에 대한 수요가 확대됨에 따라 퍼센트 플리커도 1% 미만으로 요구하고 있어 이에 적합한 SMPS나 AC driver IC의 선택과

설계가 필요할 것으로 판단된다 [5].

이에 본 연구에서는 1% 미만의 퍼센트 플리커 성능을 유지하면서 동시에 다양한 인간 중심 조명에서 요구하는 제어 기술과 함께 사용할 수 있는 방안을 제안하면서 실제 조명 제품의 사용과 선택에 있어서 플리커와 전기적 특성만을 고려할 것이 아니라 다양한 확장성과 활용성에 따른 올바른 조명의 선택에 대해 확인하였다.

ORCID

Chung-Hyeok Kim

<https://orcid.org/0000-0003-2694-0431>

REFERENCES

- [1] A. J. Wilkins, J. Veitch, and B. Lehman, *Proc. 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition* (IEEE, Atlanta, USA).
doi: <https://doi.org/10.1109/ECCE.2010.5618050>
- [2] K. H. Noh and U. C. Ryu, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **31**, 75 (2017).
doi: <https://doi.org/10.5207/JIEIE.2017.31.9.075>
- [3] Y. Wang, J. M. Alonso, and X. Ruan, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, **64**, 5754 (2017).
doi: <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2677335>
- [4] Y. Yoon, *J. Inst. Internet Broadcast. Commun.*, **20**, 205 (2020).
doi: <https://doi.org/10.7236/IIIBC.2020.20.1.205>
- [5] H. J. Jung, I. T. Kim, and A. S. Choi, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **29**, 22 (2015).
doi: <https://doi.org/10.5207/JIEIE.2015.29.1.022>