

이동형 UV 공간 살균 기기의 안전성 확보 방안에 관한 연구

정한석¹, 김충혁¹ , 김진사²

¹ 광운대학교 플라즈마디스플레이학과

² 조선이공대학교 자동화시스템과

A Study on Ensuring the Safety of Potable UV Space Germicidal Equipment

Han-Seok Cheong¹, Chung-Hyeok Kim¹, and Jin-Sa Kim²

¹ Department of Plasma Biodisplay Engineering, Kwangwoon University, Seoul 01890, Korea

² Department of Automatic System, Chosun College of Science & Technology, Gwangju 61452, Korea

(Received October 24, 2023; Revised November 1, 2023; Accepted November 11, 2023)

Abstract: Recently, as interest in personal hygiene has increased due to the community spread of COVID-19 and variant viruses, fixed and potable UV germicidal equipment to sterilize indoor spaces and hand-held UV germicidal equipment to sterilize household items such as masks and mobile phones are continuously being developed and sold. However, the development and sales of the product are difficult because appropriate testing methods have not yet been established. In this situation, if an uncertified product is distributed in the market, it can cause serious harm to consumers. In this study, we investigate the photobiological risks and safety devices against UV exposure of UV germicidal equipment distributed domestically, and propose appropriate test methods for portable UV germicidal equipment based on the research results.

Keywords: UV, Space germicidal equipment, Safety standards for electrical appliances

1. 서론

1.1 연구의 배경

최근 코로나-19 및 변종 바이러스의 지역사회 확산으로 개인위생에 관한 관심이 증가함에 따라 UV 광원을 사용하는 공간을 살균하는 살균 기기와 마스크, 휴대전화 등 생활 용품을 소독하기 위한 휴대용 살균 기기 등의 살균 제품이 지속적으로 개발 및 판매되고 있다 [1].

살균 목적으로 사용하는 UV 파장은 복사 에너지가 매우 큰 데 비하여 눈에 보이지 않기 때문에 위험도가 상당히 높아 국제암연구소(IARC)는 100~400 nm 파장의 자외선(UV-A/B/C)을 인체 발암 물질(group 1)로 분류하고 있다.

국제표준화기구의 하나인 IEC TC34 CSA (국제전기위원회 조명분과)에서 제품의 성능과 안전성에 대한 표준을 지속적으로 논의 중이나 아직 표준화가 완료되지 않은 상황이다.

또한, 제조자들은 국내에서 제조 및 판매를 하기 위해서는 전기용품 및 생활용품 안전관리법에 따른 안전인증을 취득하여 적합한 제품을 판매하여야 하나 이에 적합한 안전기준이 마련되지 않아 제품의 개발 및 판매가 어려운 상황이다. 이러한 상황에서 인증을 득하지 않은 제품이 시장

✉ 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.

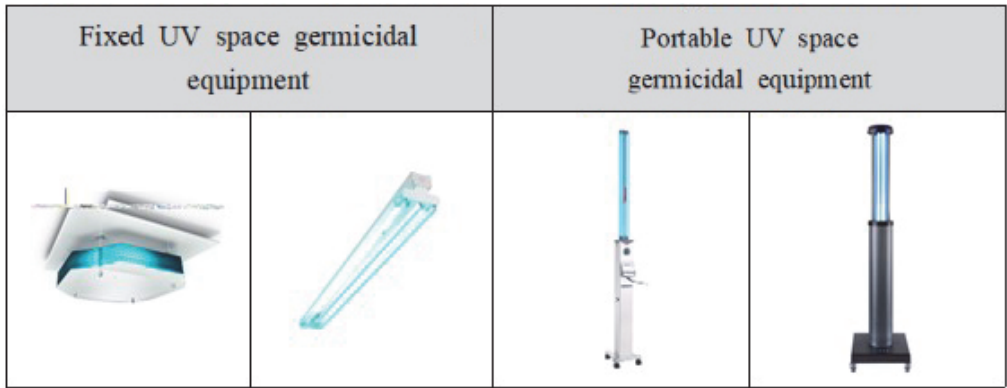


Fig. 1. Examples of UV germicidal equipment.

에 유통될 경우 소비자에게 심각한 피해를 초래할 수 있으며, 나아가서는 시장 전체의 질서를 무너뜨리는 계기가 될 수 있다.

따라서 본 연구를 통하여 이동형 UV 공간 살균 기기를 사용하였을 때 인체의 UV 노출에 대한 위험성이 없도록 안전성 확보 방안에 관하여 연구하고자 하며, 최종적으로 안전한 제품이 시중에 유통될 수 있도록 안전기준(안)을 국내 실정에 맞게 마련하고자 한다.

2. 본 론

본 연구에서는 이동형 UV 살균 기기가 시판되었을 때 문제가 될 것으로 예상되는 항목을 분석하고 해당 위험에 대한 안전을 확보할 수 있는 시험 방법을 개발하여 전기용품 안전기준(안)에 반영하고자 한다.

따라서 본 논문의 선행 연구에서 시중에 판매되고 있는 이동형 UV 살균 기기가 인체의 UV 노출에 대한 안전이 취약한 것으로 조사되었으며, 이에 따라 해당 위험성에 대한 안전을 확보할 수 있는 표시, 광생물학적 안전성 평가 및 UV 방사에 대한 요구사항에 대하여 조사 및 분석하였다.

2.1 표시

국내에서 시판되고 있는 UV 살균 기기 총 10종의 표시 사항을 조사한 결과 경고 표시를 한 제품은 5종(50%)으로 나머지 5종(50%)에 대해서는 자외선 방사 및 오존 발생에 대한 경고 표시가 없어 사용자가 자외선 및 오존 발생에 대한 위험성을 인지하지 못하여 사용자의 피해가 발생할 가능성이 상당히 컸다.

따라서 UV 살균 기기 제조자는 제품의 UV 위험 그룹에 따라 사용자가 제품을 안전하게 동작하고 UV에 대한 위험성에 대하여 인지할 수 있도록 제품 정보 및 주의해야 할 사항을 사용자가 쉽게 볼 수 있도록 제품 표시 사항 및 사용설명서 등에 명기하도록 제안하였다.

UV 살균 기기의 제품 표시 사항은 제품의 위험 그룹별로 상이하게 적용할 필요가 있으며, 위험 그룹 2 (RG2) 이상의 UV 살균 기기는 UV에 인체가 일정 시간 이상 노출될 경우 눈과 피부에 상해가 발생할 위험성이 크다. 따라서 UV에 노출되었을 때 발생할 수 있는 위험성에 대하여 제품 표시 사항 및 사용설명서에 표시하여 사용자에게 자외선 노출 위험성에 대한 정보 제공이 필요하다. 제안한 안전 지침은 표 1과 같다 [2].

Table 1. Safety guidelines for UV hazards.

Risk	Risk group 1	Risk group 2	Risk group 3
	Caution - This product emits ultraviolet (UV) radiation.	Caution - This product emits ultraviolet (UV) radiation.	Caution - This product emits ultraviolet (UV) radiation.
UV hazard	Minimize eye or skin exposure.	Exposure may cause eye or skin irritation. Avoid direct exposure	Direct exposure may cause physical harm. Avoid eye or skin exposure.
Follow the installation instructions and user manual.			

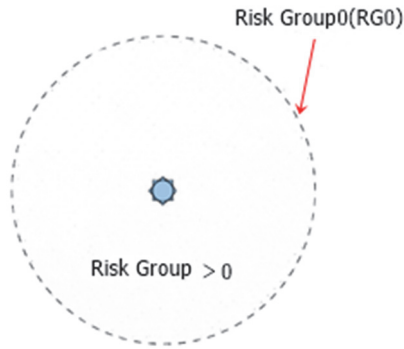


Fig. 2. Example of exempt perimeter.

또한, UV 배광 분포(UV 방사의 각도 분포)와 면제 경계를 사용설명서에 제공하여 설치자 및 사용자가 해당 제품의 UV 방사에 대한 정보를 알 수 있도록 제안하였다. 면제 경계의 경우 UV 살균 기기는 제품 중심에서부터 수평면으로 면제 그룹(RG0)이 되는 영역의 경계선을 그림 2와 같이 구체적인 그림으로 나타내어야 한다.

사용설명서에는 다음 주의 문구를 기입하여 사용자가 UV 살균 기기를 안전하게 설치 및 사용할 수 있도록 제안하였다.

- 본 기기에는 UV 광원이 포함되어 있음
- 전문 설치자의 기술 감독하에 점유 공간에서 UV 방사에 대한 시운전 및 현장 평가가 필요함
- 부적절한 설치로 인해 사람이 예상 점유 공간에서 과도한 UV에 노출될 수 있음
- 제품을 분해하지 말 것
- 파손이 확실한 기기는 작동시키지 말 것
- 사용자가 수리 및 광원의 교체를 할 수 없음. 자격을 갖춘 사람에게 의뢰할 것

사용설명서에는 정상적인 사용법, 설치 요구사항 및 설치 후 방사선 평가방법이 상세하게 설명되어야 하며 필요한 경우 교육 및 제한구역 요구사항이 사용설명서에 명시되어야 한다.

2.2 광생물학적 안전성 평가

광생물학적 안전성 평가는 제품 유형별로 인체에 노출되는 방식이 다르므로 설치 방식별로 구분하여 측정이 필요하다.

이동형 UV 살균 기기의 경우 사용자가 점유하는 공간에 설치되고 사용자가 제품에 직접적으로 접근할 수 있기 때문에 가장 가혹한 시험 결과를 도출할 수 있는 IEC 62471:2006

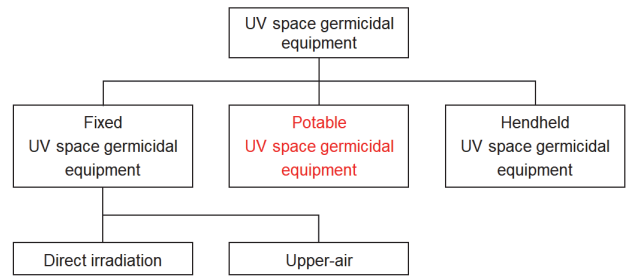


Fig. 3. Classification of UV germicidal equipment for measuring photobiological safety.

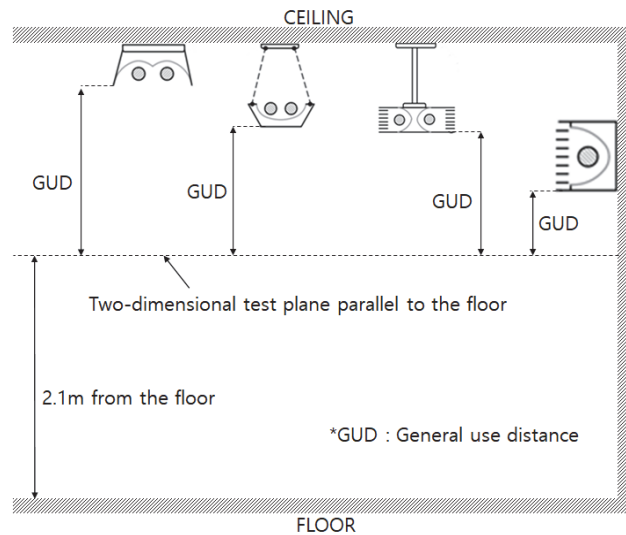


Fig. 4. Photobiological safety test measurement distance of UV germicidal equipment.

의 표준 측정 거리인 200 mm에서 화학적 자외선(actinic UV) 영역과 근자외선(Near UV) 영역의 위험 그룹 평가를 수행하도록 제안하였다 [3,4].

그림 4는 바닥 면에서 2.1 m의 공간을 사람이 점유할 수 있는 일반 사용 공간(general use distance)으로 구분하고 있으며, IEC 62471:2006의 표준 측정 거리인 200 mm 측정 거리를 포함한 2.3 m 이상에 설치되는 UV 공간 살균 기기에 대해서는 제조자가 제시한 최소 설치 높이에서 2.3 m를 뺀 거리에서 광생물학적 안전성 측정을 하도록 요구하고 있다. 또한, 광생물학적 안전성 시험 결과를 통하여 표 2와 같이 UV 살균 기기의 위험 그룹을 결정할 수 있다.

UV 살균 기기의 화학적 자외선(actinic UV) 및 근자외선(near UV)에 대한 위험 그룹은 면제 그룹(RG0)에 대해서만 허용하고 위험 그룹 1 (RG1) 이상의 UV 살균 기기는 추가적인 안전장치를 통해서 위험성을 면제 그룹(RG0) 수준으로 낮추도록 제안하였다.

Table 2. Limits of emission of hazardous groups to actinic ultraviolet and near ultraviolet.

Risk	Wave length range (nm)	Symbol	Emission limit			Units
			RG0	RG1	RG2	
Actinic UV	200~400	Es	0.001	0.003	0.03	W·m ⁻²
Near UV	315~400	E _{UVA}	10	33	100	W·m ⁻²

2.3 UV 방사에 대한 요구사항

이동형 UV 살균 기기의 동작 단계를 ① UV 방사 준비 단계, ② UV 방사 단계로 구분하여 단계별로 안전성을 확보할 수 있는 요구사항을 제시하였으며, UV 살균 기기 제어 장치에 대한 요구사항을 제시하였다.

2.3.1 UV 방사 준비 단계

이동형 UV 살균 기기의 동작이 시작되기 전에 사용자 및 살균 공간을 점유하고 있는 사람이 해당 공간을 벗어날 수 있도록 일정 시간 동안 점등을 지연하고 점등 전에 동작 감지를 통하여 해당 공간에 사람의 유무를 확인 후 점등하여 안전성을 확보한다.

시중에 판매되고 있는 이동형 UV 살균 기기 10종에 대하여 UV 방사 지연 점등 기능 유무를 조사한 결과는 표 3과 같다. 위험 그룹 1 (RG1) 이상의 제품인 10개의 제품 중 4개(40%)의 제품만 지연 점등 기능이 있었다. 하지만 지연 점등 기능이 있더라도 동작 전에 동작 감지기를 사용하여 인체 감지를 하지 않기 때문에 지연 점등 시간 안에 UV 방사 공간을 벗어나지 못하면 UV에 노출되기 때문에 사용자의 위해가 발생할 가능성이 있다.

따라서 광생물학적 안전성 시험 결과 화학적 자외선 (actinic UV) 및 근자외선(near UV) 위험성이 위험 그룹

1 이상(UV RG≥1)인 UV 살균 기기의 제품을 작동시켰을 경우 UV 방사가 시작되기 전에 사용자가 처리 공간을 떠날 수 있도록 지연 점등 기능을 사용하도록 제안하였다. 또한, 해당 지연 점등 시간이 끝나고 UV 방사가 시작되기 전 동작 감지기를 통해 최종적으로 해당 영역의 움직임을 감지하여 움직임이 없을 경우에만 UV 방사를 시작하고 움직임이 감지되었을 경우 즉시 동작을 중단하여 UV 노출에 대한 안전성을 확보할 수 있도록 제안하였다. 지연 점등 시간은 UL8803 (outline of investigation for portable UV germicidal equipment with uncontained UV sources) 표준을 참조하여 최소 30초 이상 5분 이하로 제안하였다 [5].

2.3.2 UV 방사 단계

시중에 판매되고 있는 이동형 UV 살균 기기 10종에 대하여 UV 방사 경고 기능 유무 및 UV 방사 시간 제어 기능 유무를 조사한 결과는 표 4와 같다. 위험 그룹 1 (RG1) 이상의 제품인 10개의 제품 중 6개(60%)의 제품만 UV 방사 경고 기능이 있었으며 9개 제품이 UV 방사 시간 제어 기능을 포함하고 있었다.

UV 살균 기기는 UV 방사 전 단계의 조건을 모두 만족할 경우 UV 방사를 시작할 수 있도록 제안하였다. UV 방사 단계에서 면제 그룹(RG0) 수준을 초과하는 UV를 방출할

Table 3. Investigation result of delayed-on timer.

No.	Product type	Risk group	Delayed-on timer
#1	Handheld	RG3	X
#2		RG3	X
#3		RG3	X
#4		RG3	X
#5		RG3	X
#6	Portable	RG3	Delay on after 15 seconds
#7		RG3	Delay on after 10 seconds
#8		RG3	Delay on after 10 seconds
#9		RG3	Delay on after 30 seconds
#10		RG3	X

Table 4. Investigation result of UV radiation warning function and operation time control function.

No.	Product type	UV radiation warning function	Operation time control function
#1	Handheld	X	3 minutes
#2		X	5 minutes
#3		sound alarm	5 minutes / 2 hours / continuous
#4		X	X
#5		X	5 minutes
#6	Portable	light on	15 minutes / 30 minutes
#7		light on	30 minutes / 60 minutes / 120 minutes
#8		light on	15 minutes / 30 minutes / 60 minutes
#9		light on	30 minutes / 40 minutes / 60 minutes / 90 minutes
#10		light on	120 minutes

경우, 시각적이나 청각적으로 UV 방출을 알려 사용자가 UV 방사를 인지하여 해당 영역에 접근할 수 없도록 해야 하며, 자동 차단 기능을 통해서 의도된 UV 방사를 멈춘 후 사용자가 제품에 접근할 수 있도록 UV 방출을 차단하는 기능을 제공하여 안전성을 확보할 수 있도록 제안하였다.

위험 그룹별 최대 UV 방사 시간은 IEC 62471-6 (photobiological safety of lamps and lamp systems - part 6: ultraviolet lamp products)과 UL 8803 (outline of Investigation for portable UV germicidal equipment with uncontained UV sources)의 요구사항을 인용하여 위험 그룹 3 (RG3)은 1시간, 위험 그룹 2 (RG2)은 3시간, 위험 그룹 1 (RG1)은 8시간으로 제안하였다 [6].

2.3.3 제어 기기

사용자가 UV 살균 기기를 안전하게 취급할 수 있도록 제품의 동작, 중단 등 기능을 하는 제어 장치에 대한 요구사항을 제안하였다.

첫 번째로 제어 장치는 키, 접근 코드 등을 사용하도록 하여 동작 권한이 없는 사용자가 제품을 동작할 수 없도록 해야 한다.

두 번째로 권한이 있는 사용자가 공간이 비어 있음을 확인하고 동작을 시킬 수 있도록 이동형 UV 살균 기기는 제어 장치를 일체형으로 제공하여야 한다. 또한, 일정 시간 후 자동으로 작동을 시작하도록 장비를 예약할 수 있는 기능은 허용될 수 없으며 제품을 UV 방사 준비 단계로 동작시키기 위해서는 제품과 물리적으로 상호작용하도록 해야 한다.

세 번째로 우연히 제품이 동작하는 것을 방지하기 위해 4초 이내에 최소한 두 번의 연속적이고 의도적인 작동을 수행하도록 요구해야 한다. 의도적인 작동의 예로는 버튼

누르기, 버튼을 누른 상태로 유지, 노브 회전 또는 스위치 작동 등을 포함한다.

네 번째로 무선 제어 장치를 제공하는 이동형 UV 살균 기기의 경우 무선 제어 장치는 장비의 작동, 연장 및 예약 등의 기능을 포함할 수 없도록 하여야 한다.

2.4 오존 노출 한계

인체 유해 물질로 알려진 오존(O₃)은 240 nm 이하 파장에서의 광방사로 인하여 공기 중에 생성될 수 있다. 따라서 UV-C를 방사하는 제품에 대해 오존 발생이 가능한 UV 살균 기기의 경우, 제품은 위험 수준을 감지하고 경고할 수 있는 수단을 포함해야 하며 제품 근처의 오존 수준 감시 또는 제어를 위한 지침이 제조자 제공 지침에 명시되어야 한다.

오존 측정 시험은 국제 표준인 IEC 60335-1 household and similar electrical appliances - safety - part 1: general requirements 표준 시험 방법 [7]으로 진행하였다. 표 5는 광원별 유효복사조도가 가장 높은 제품(휴대용: #1, #3, 이동형: #18, #20)의 시험 결과이다.

시험 결과 살균 목적의 살균 조명 기기 대부분이 250 nm 이상의 파장을 사용하기 때문에 모든 제품이 제한값인 0.05 ppm을 초과하지 않았다. 하지만 UV-C 광원을 사용하는 살균 기기의 광원이 240 nm 이하의 파장을 포함할 가능성이 있기 때문에 오존 측정 시험을 통해 안전성을 확보할 필요성이 있다.

오존 농도 측정 시험 방법과 허용값은 가정용 기기 국제 표준인 IEC 60335-1 household and similar electrical appliances - safety - part 1: general requirements 표준을 [7] 인용하여 1회 연속 동작 시간이 1시간 이내인

Table 5. Ozone production measurement test of UV germicidal equipment.

No.	Product type	Rating	Light source	Ozone (ppm)	Irradiance spectrum
#1	Handheld	DC 5 V	UV-C LED	0.001	
#3		DC 12 V	UV-C lamp	0.0006	
#10	Portable	220 V~, 60 Hz	UV-C LED	0.001	
#12		DC 5 V	UV-C lamp	0.0006	

경우 1×10^{-5} (0.1 ppm)으로 오존 발생량은 0.2 mg/m^3 이고, 1회 연속 동작 시간이 1시간 초과되는 경우 5×10^{-6} (0.05 ppm)으로 0.1 mg/m^3 의 오존 발생량을 허용값으로 안전기준(안)을 제안하였다.

3. 결론

이상과 같이 이동형 UV 살균 기기의 안전성 확보 방안을 연구한 결과 시중에 판매되고 있는 UV 살균 기기에서 야기될 수 있는 문제점들을 발견할 수 있었으며, 안전기준 제정에 앞서 국제표준화가 진행되고 있는 국제표준(안)과 UL 표준을 분석하여 우리나라의 실정에 맞게 사용자 중심의 안전성이 확보된 안전기준(안) 마련을 위한 필수 안전성 확보 방안을 아래와 같이 제시하였다.

- 표시: UV에 노출되었을 때 발생할 수 있는 위험성에 대하여 제품 표시 사항 및 사용설명서에 표시하여 사용자에게 자외선 노출 위험성에 대한 정보 제공과 사용설명서에 제공하여 설치자 및 사용자가 해당 제품의 UV 방사에 대한 정보를 알 수 있도록 제안하였다.
- 광생물학적 안전성 평가: UV 살균 기기의 화학적 자외선(actinic UV) 및 근자외선(near UV)에 대한 위험 그룹은 면제 그룹(RG0)에 대해서만 허용하고 위험 그룹 1 (RG1) 이상의 UV 살균 기기는 추가적인 안전장치를 통해서 위험성을 면제 그룹(RG0) 수준으로 낮추도록 제안하였다.
- 오존의 노출 한계: 1회 연속 동작 시간이 1시간 이내인 경우 1×10^{-5} (0.2 mg/m^3), 1회 연속 동작 시간이 1시간 초과되는 경우 5×10^{-6} (0.1 mg/m^3)으로 안전기준(안)을 제안하였다.

위의 연구 결과는 이동형 UV 살균 기기를 사용하는 장소에서 UV의 방사에 의한 인체의 위험을 예방할 수 있으며, 이동형 UV 살균 기기에 대한 연구 결과지만 향후 고정형 및 매입형 UV 살균 기기에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 지속적인 시험 및 연구를 통해 제시된 안전기준에 의하여 적합성 평가를 시행한 후 보완 사항 및 추가사항이 있을 경우 안전기준을 보완해 나가야 할 것이다.

ORCID

Chung-Hyeok Kim

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

REFERENCES

- [1] K. H. Noh and J. W. You, *Proc. Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers* (Korean Inst. of Illumination and Electrical Installation Engineers, Seoul, Korea, 2022) p. 20.
 - [2] IEC PAS 63313: Position Statement on Germicidal UV-C Irradiation-UV-C Safety Guidelines, May 27, 2021.
 - [3] IEC 62471:2006: Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems, July 26 2006.
 - [4] J. J. Ko and K. H. Noh, *Proc. Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers* (Korean Inst. of Illumination and Electrical Installation Engineers, Seoul, Korea, 2018) p. 43.
 - [5] UL 8803: Outline of Investigation for Portable UV Germicidal Equipment with Uncontained UV Sources, September 02, 2021.
 - [6] IEC 62471-6: Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems - Part 6: Ultraviolet Lamp Products, October 11, 2022.
 - [7] IEC 60335-1: Household and Similar Electrical Appliances - Safety - Part 1: General Requirements, September 2, 2020.
- [1] K. H. Noh and J. W. You, *Proc. Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers* (Korean Inst. of