

## A study on the design development of a domestic disinfectant using UV LED

Wang Zhu, Ying Sheng, Seung-Min Kang<sup>\*,†</sup> and Moon-Hwan Jee<sup>\*\*</sup>

Dept. of Convergence Design, Hanseo University, Seosan 31962, Korea

<sup>\*</sup>International Graduate School of Design Convergence, Hanseo University, Seosan 31962, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Industrial Design, Hanseo University, Seosan 31962, Korea

(Received November 11, 2019)

(Revised December 9, 2019)

(Accepted December 13, 2019)

**Abstract** The design for household sterilizer applying UV LED was studied. Based on UV LED sterilization distance and time data, the concept of home disinfectant design was presented. Using technologies such as computer aided design software, 3D printing and laser cutting, etc., three different UV LED operating method models were produced. The final design was derived by conducting an analysis of the product's merits and demerits on the three plans from the result of each model.

**Key words** UV LED chip, Sterilization, Design development

## UV LED를 이용한 가정용 소독기의 디자인 개발에 관한 연구

주왕, 성영, 강승민<sup>\*,†</sup>, 지문환<sup>\*\*</sup>

한서대학교 융합디자인학과, 서산, 31962

<sup>\*</sup>한서대학교 국제디자인융합전문대학원, 서산, 31962

<sup>\*\*</sup>한서대학교 산업디자인학과, 서산, 31962

(2019년 11월 11일 접수)

(2019년 12월 9일 심사완료)

(2019년 12월 13일 게재확정)

**요약** UV LED 적용하여 가정용 소독기를 제조하기 위한 디자인을 연구하였다. UV LED 살균거리 및 시간데이터에 근거하여 가정용 소독기 디자인 개념을 제시하였다. 컴퓨터 보조디자인 소프트웨어, 3D 프린트, 레이저 절단 등 기술을 사용하여 3가지 서로 다른 UV LED 작동방식의 모델을 제작하였다. 이 모델 대해 장단점 분석을 진행하여 최종 디자인 방안을 도출하였다.

### 1. 서론

소독 캐비닛이란 적절한 용적과 장비가 있고 물리적, 화학적 또는 둘을 결합한 원리로 소독하는 기구이다. 또 일반 장식장보다 밀폐성이 뛰어나 개미와 해충피해를 막고 소독에 이은 2차 오염을 차단하는 효과가 있어 가정용 식기 소독캐비닛이 많이 보급되어 있다[1].

살균기 제품은 다년간의 발전을 거쳐 관련 기술이 점차 성숙한 단계에 이르렀으며, 이미 점점 더 많은 가정에서 사용되고 있다[2]. 그러나 현재 자외선 기술을 사

용하여 소독하는 살균기는 대부분 수은램프를 사용하는 데[3], 수은램프는 UV LED 칩에 비해 부피가 너무 크고, 출력이 낮으며 최근 친환경성과는 부적합할 수 있을 뿐 아니라 사용수명도 짧은 단점이 있다[4]. 또한 지금까지 가정용 소독 캐비닛은 일반적으로 도어개폐방식이 여닫이 방식으로 되어있어 제품을 넣고 꺼내기가 불편하고 제품들이 고정되어 있기 때문에 살균효과가 낮은 단점이 있다. 본 연구에서는 이들을 해결하기 위하여 향후 친환경성 살균, 소독 시스템에 적용될 수 있는 UV LED를 사용하여 가정용 살균기에 적용하고, 서랍식의 개폐 방식을 적용하고 회전구동방식을 적용함으로써 살균효과를 높인 제품디자인 개발에 대한 연구이다.

<sup>†</sup>Corresponding author  
E-mail: smkang@hanseo.ac.kr

## 2. 실험

### 2.1. UV LED의 선정

가장 자주 볼 수 있는 자외선은 주로 태양복사에서 비롯되며, 파장에 따라 자외선을 장파자외선(ultraviolet A, UVA), 중파자외선(ultraviolet B, UVB)과 단파자외선(ultraviolet C, UVC)으로 나눌 수 있으며, 파장은 각각 320~400 nm, 280~320 nm, 100~280 nm이다. Figure 1은 자외선 파장과 광출력에 따른 응용분야를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 275 nm 대역의 자외선 LED의 소독 효과를 최적화하기 위한 디자인을 연구하였으며, Fig. 1에서와 같이 적용 및 응용가능성을 보였다.

미생물(세균, 진균, 바이러스 및 각종 포자 등) 핵산물질(DNA, RNA)의 흡수스펙트럼은 220~280 nm 사이이며, 자외선을 미생물에 조사하면 미생물 핵산물질이 훼손됨으로써 소독 및 살균이 될 수 있다고 보고되었다[2].

또한 UV LED는 MOCVD 설비를 이용한 증착공정을 통해 사파이어 기판 상에 AlN 템플릿층, N형 AlGaIn 층, 다중양자우물 발광층, 전자방어층 그리고 P형 GaN

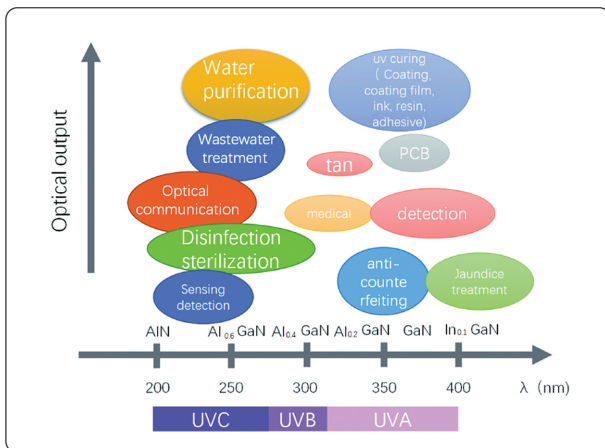


Fig. 1. Main USES of UV LED [5].

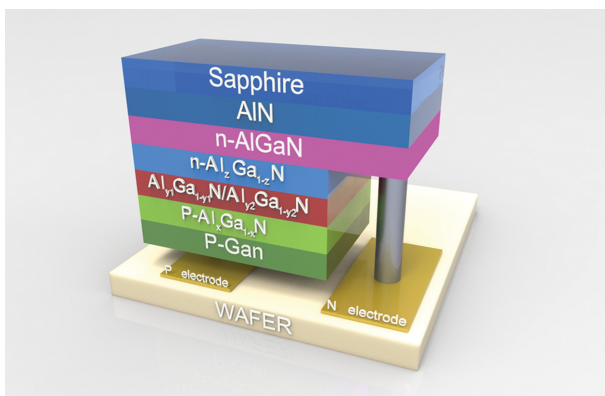


Fig. 2. UV LED production materials and technology [6].

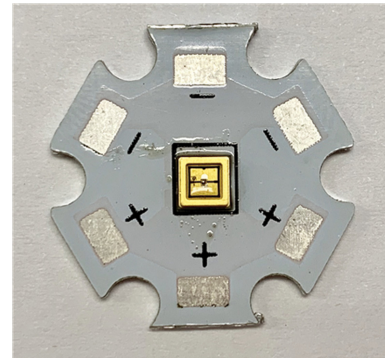


Fig. 3. A photograph of UV LED chips and package set made by China guangsheng semiconductor co. ModelGS3535UVC.

층이 차례로 증착되어 제조된다(Fig. 2).

하관영현(G.Y.X. Xia) 등은 UV LED의 살균효과를 연구하여 파장  $275 \pm 5$  nm, 출력 0.12 W의 UV LED를 이용하여 거리에 따른 살균효과를 보고하였다. 그들은 UV LED의 대장균에 대한 살균효과를 실험한 결과는 다음과 같다, UV LED를 수직으로 2~6 cm되는 곳에 15분 이상 조사하면 대장균 살균률이 100%에 도달하는 것을 보고 하였으며, 각 조사거리에서 조사시간이 연장될수록 살균효과는 더 높아진다고 보고하고 있다[7].

Figure 3에 본 연구에서 선택한 UV LED 칩(Mo. GS3535UVC.중국) 제시하였으며, 파장은  $275 \pm 5$  nm, 출력은 0.12 W, 칩 크기는 3.5\*3.5 mm였다. Figure 3에서 받침대로 보이는 부분은 알루미늄으로 제작된 방열판이며, 중앙에 UV LED 칩이 위치하고 있다.

### 2.2. 디자인 concept

#### 2.2.1. 디자인 concept 1

모양은 직육면체 형태이며 자외선이 위에서 아래로 조사되는 방식이다, 제품의 도어(door)가 정면에서 보았을 때 위에서 아래로 열리게 하여 물건을 넣고 꺼내기가 용이하도록 디자인하였다. 하관영현(G.Y.X. Xia) 등의 실험결과에 따라 UV LED와 피소독물간의 거리가 가까울수록 소독효과가 우수하므로[7], 이들이 보고한 실험결과에 근거하여 평균 살균거리를 6 cm로 하며 살균기 내 상하 간격을 약 12 cm로 디자인 하였으며, 12개의 UV LED 칩을 사용하여 3 × 4 형태로 배열하였다. UV LED 들은 병렬 연결한 다음, 다시 각 조를 직렬로 연결하였다(Fig. 4 참조).

또한 UV LED는 발광시 일부가 열로 발산되기 때문에[8] UV LED 뒷면에 직경 2.6 cm의 알루미늄 방열판을 사용하였다. 소독기 내부 크기는 길이 16 cm, 폭 8 cm, 높이 12 cm의 직육면체로 디자인하였다. Figure 5(a)에 디자인 스케치 사진을 작성하였다.

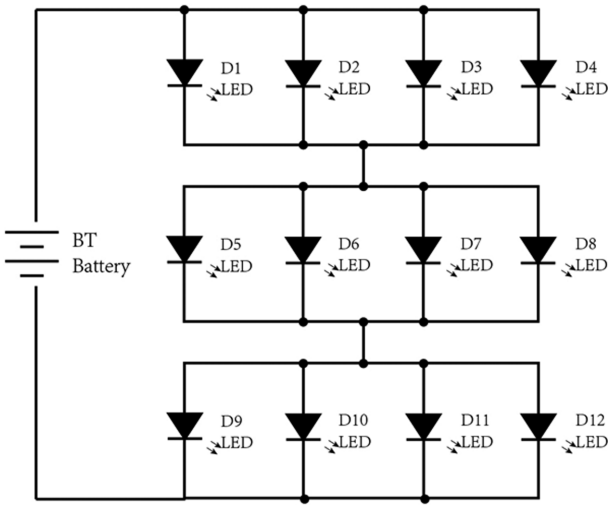


Fig. 4. Schematic diagram of circuit connection.

2.2.2. 디자인 concept 2

모형의 크기와 형태는 concept 1과 동일하다. 12개의 UV LED를 사용 할 경우, 제품 생산 원가가 높아지므로 UV LED의 수량을 4개로 줄여 일렬로 배열하였다. 모형의 상단에는 가로 방향으로 이동 가능한 레일을 설치하여 UV LED 판이 모형 상단에서 평행으로 움직일 수 있도록 하였다. Figure 5(b)에 디자인 스케치 사진을 작성하였다.

2.2.3. 디자인 concept 3

한면에 고정된 UV LED 조사 방식으로는 살균효과가 적어지므로, 하나의 UV LED가 피소독물을 에워싸며 회전하는 형태의 모형을 디자인하였다. 4개의 칩이 일렬로 배열된 부품을 직경 16 cm의 원형 구조물에 배치하였다. 제품의 도어(door)는 물건을 넣고 꺼내기 쉽도록 모형의 정면에 설치하고, 서랍식 형태로 디자인 하였으며 한 변의 길이가 18 cm인 정육면체 형태로 디자인하였다. Figure 5(c, d)에 디자인 스케치 사진을 작성하였다.

컴퓨터 보조디자인 소프트웨어CAD(Computer Aided

Design, CAD2014)를 사용해 도면을 작성하였고, 3D 디지털 디자인 소프트웨어 Rhino 5를 사용하여 얻어낸 3D 모형 데이터를 3D 프린터(250MC, Fortus, USA)에 입력하여 모형을 프린트하여 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

앞의 디자인 컨셉트에 근거하여 3가지 제품 모형을 디자인 하고 제작하였으며 디자인 컨셉1은 Fig. 6(a), 디자인 컨셉2은 Fig. 6(b), 디자인 컨셉3은 Fig. 6(c, d)에 각각 나타내었다.

모델1은 12개의 UV LED 칩을 사용하여 살균용기 상단에 고정하여 용기내의 살균물품에 조사함으로써 살균하도록 제작하였다. 모델1의 특징은 UV LED들이 고정 방식을 적용하였다. 제품의 단점은 아직까지는 UV LED 칩의 가격이 비싸기 때문에 12개의 UV LED 칩을 사용하면 제품 생산비용이 높다는 점이다. 살균물품 바닥부분에는 자외선을 조사하여 살균할 수 없는 점도 단점이다. 제품의 장점은 12개의 UV LED 칩으로 강력 살균이 가능하며, 제품이 간단하면서도 살균효과가 크다.

모델2는 4개의 UV LED 칩을 병렬로 연결하여 살균용기 상단에 장착하고, 두 개의 축을 따라 평행으로 왕복 운동함으로써 용기 내의 살균물품을 이동방식으로 조사하며 살균하도록 제작했다. 모델2의 특징은 UV LED들이 평행이동방식을 적용하였다. 제품의 단점은 수평운동 명령이 추가되어 소음 및 고장률이 높아진다는 점이다. 살균물품 바닥부분에는 자외선을 조사하여 살균할 수 없는 점도 단점이다. 제품의 장점은 UV LED 칩 비용을 절약하여 제작비용을 낮춤으로써 저렴한 가격으로 상품의 경쟁력을 높일 수 있는 점이다.

모델3은 12개의 UV LED 칩을 3조로 나누어 살균용기 내부의 살균물품을 주변에 배치하고 회전운동을 하도록 제작하였다. 모델3의 특징은 UV LED들이 회전시스템을 적용하였다. 모델의 장점은 12개의 UV LED 칩으

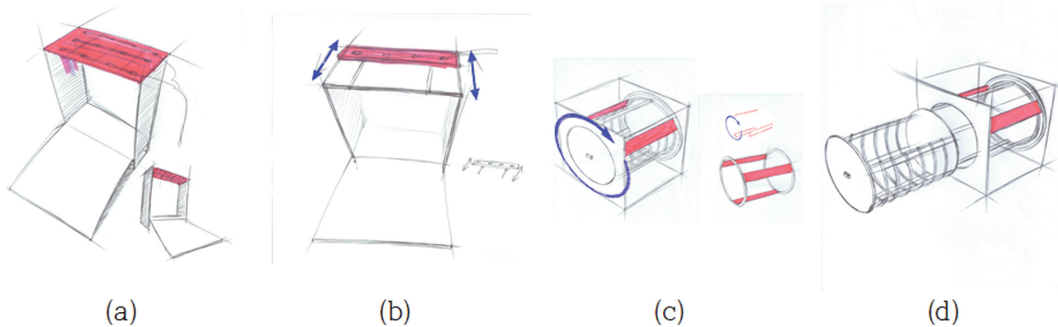


Fig. 5. Photographs of design sketches (a) Design concept 1 (b) Design concept 2 (c) Design concept 3 (d) concept 3 open mode. red part is UV LED components. blue arrow is the direction of motion of the UV LED components.

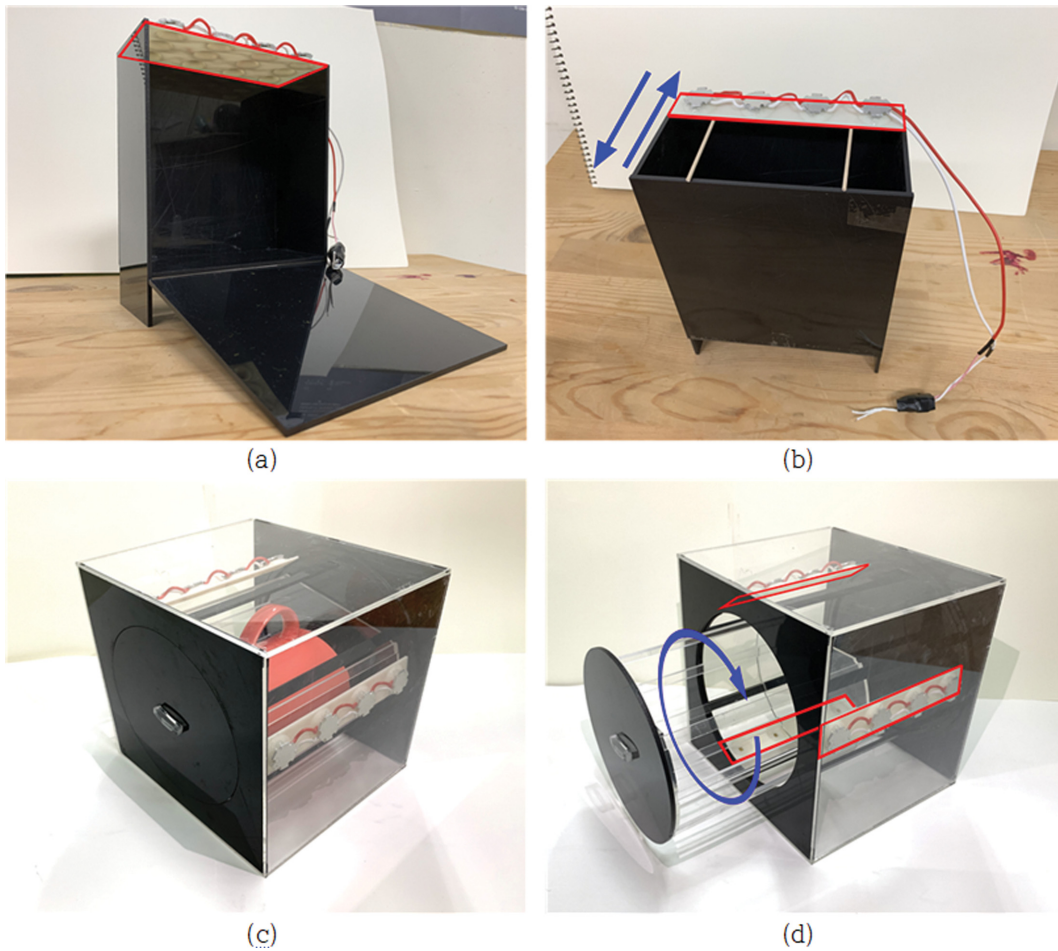


Fig. 6. Photographs of design scheme models (a) Design scheme 1 (b) Design scheme 1 (c) Design scheme 3 usage (d) Design scheme 3 open mode. Red colored part is UV LED components. blue arrow is the direction of motion of the UV LED components.

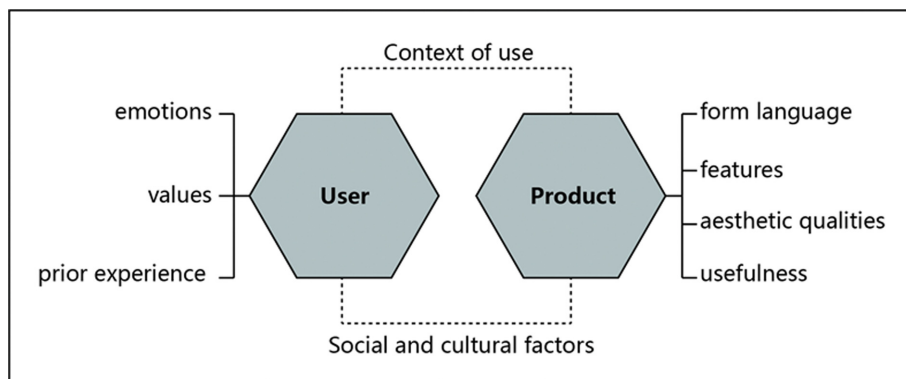


Fig. 7. Forlizzi and Ford's interaction structural model [11].

로 강력 살균이 가능하며, 살균물품 주위에 살균 사각지대가 발생하지 않아 살균효과가 더 우수하다는 점이다. 또한 살균물품을 서랍에 넣어 더 간편하며 기능적으로도 우수하다고 사료된다.

최근의 제품 디자인은 사용자 체험을 중시하여, 인터랙션(interaction)디자인 방법은 디자이너가 사용자의 수요와 기대를 더 잘 이해할 수 있도록 해야 하고[9], Forlizzi와

Ford의 인터랙션디자인 이론에 의하면 인터랙션디자인 요소에는 사용자, 제품, 그리고 사용상황과 사회적 문화적 요소를 포함하여야 한다. 그중 사용자 요소는 감정, 가치, 사전 경험을 포함하고 제품의 요소는 형태언어, 기능, 미적 감각과 유용성을 포함한다고 알려져 있다. 이를 Fig. 9에 나타내었다.

사용자의 감정, 가치, 그리고 사전 경험은 사용자의 체

품 사용 이전의 심리적 예상에 영향을 미치며, 사용자는 이 심리적 예상에 기초하여 현재의 사용 상황과 특정한 사회 문화적 배경에서 제품 특성을 감지함으로써 완전한 경험을 형성하게 되므로[10]. 제품의 특성이 사용자 체험에 직접적인 영향을 미친다고 보고하고 있다.

이 이론 따르면 사용자 요소와 제품의 요소를 모두 고려해야 하지만 본 연구에서는 제품요소의 측면에서 고려

하였다.

제품요소 측면에 형태언어(form language), 기능(features), 미적감각(aesthetic qualities), 유용성(usefulness) 요소를 사용하여 3가지 모델 분석 해 보았다.

형태 언어의 경우, 모델 3은 서랍의 투입방식을 운용하기 때문에 형태적으로 보았을 때 가장 편리 한다.

제품 기능측면에서 3가지 모델들은 모두 기능적 요소

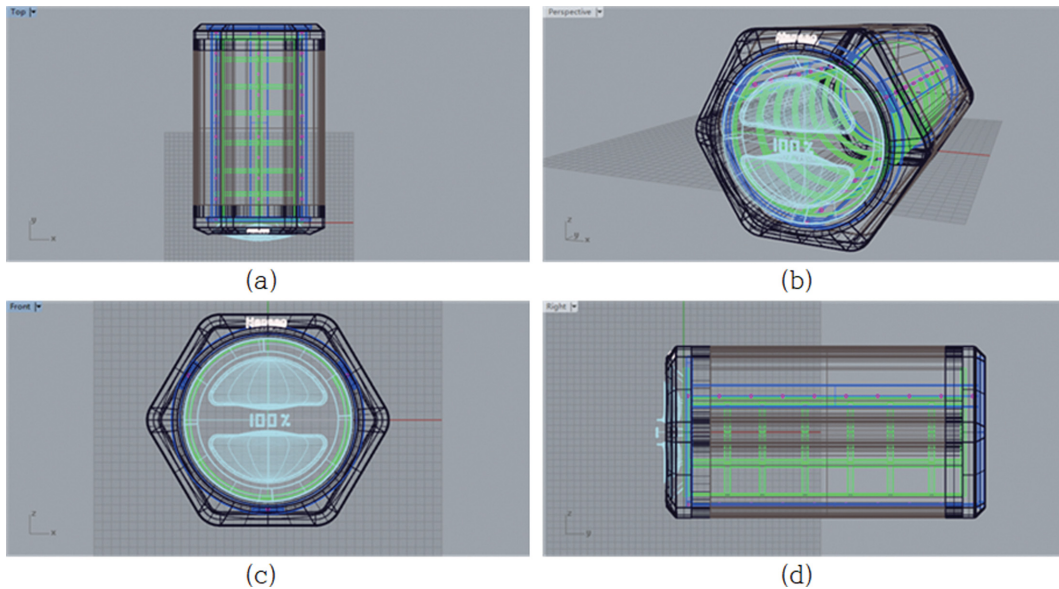


Fig. 8. Schematic diagrams of product design (a) top (b) perspective (c) front (d) right side view using Rhino 5.

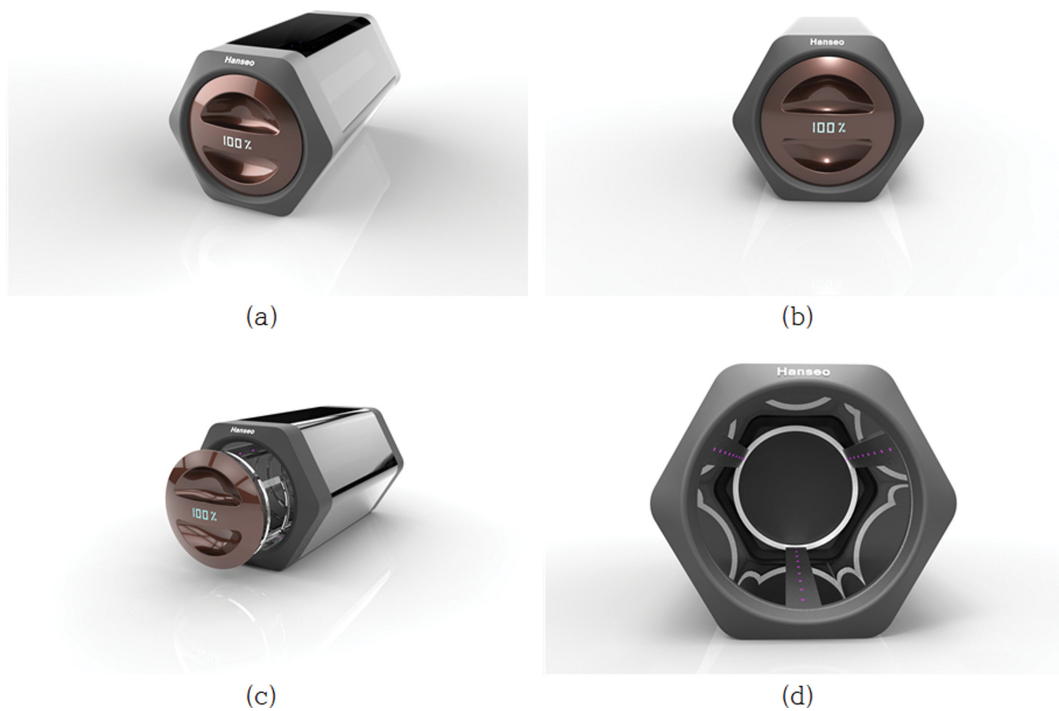


Fig. 9. Schematics drawing of product design rendering (a) Household disinfection cabinet side (b) Household disinfection cabinet front (c) Household disinfection cabinet open way (d) Internal UV LED chip arrangement.

가 포함되어 있다.

제품의 미적감각의 경우, 모델3의 회전 실행은 사용자가 소독 과정을 볼 수 있도록 가시화된 디자인을 통해 제품 구조의 미감을 느끼게 함으로써 미적 요소를 충족시키고 있다고 사료된다.

제품 유용성측면에서 모델1과 2는 효율적 측면에서 볼 때 단면 소독에 따는 제한성이 있으며, 모델3은 회전 작동 방식을 사용함으로 입체적 소독이 가능하기 때문에 소독 효과가 높다는 장점이 있다고 사료된다.

이를 종합 분석한 결과 모델3의 개념이 본연구의 목적이 부합 하다고 사료되며, 모델3을 기본으로 하여 최종 디자인을 개발하였다.

본 연구의 디지털 3D 모형제작 결과를 Fig. 8에 보였으며 (a)는 평면도, (b)는 3차원도, (c)는 정면도, (d)는 측면도를 나타내었다. Figure 9에 최종 디자인방안을 제안하였으며 (a)는 제품 3차원도, (b) 제품 정면도, (c) 제품 열린 형태, (d) 제품 내부도이다.

최종 적으로 살균기의 용량을 늘려 크기를 높이 25 cm, 길이 47 cm로 확대하여 디자인하였다. 기존의 정면은 사각형이었으나 사용자에게 심리적 안정감을 줄 수 있는 육각형으로 개선하였다. 6개의 각을 등각계 하여 미관이 좋고, 안정감을 줄 수 있도록 하였다. 정면 서랍 손잡이에 디스플레이와 터치패드 패널을 설치하여 살균 작업과 진행과정을 시각화 하여 시인성과 신뢰성을 높이도록 하였다.

제품 배색의 경우, 전반적으로 검정색을 사용하며 정면과 후면에는 무광 검정색을 사용하였고, 수납 부분에는 검정색과 반투명한 색깔을 사용하여 살균 과정을 직관적으로 볼 수 있도록 하였다. 서랍판은 골드커피색을 사용하여 제품의 고급스러운 이미지를 추구하였다.

한편, 자외선은 플라스틱에 손상을 일으키기 때문에 [12] 소독기의 내부기구들 및 편면은 자외선을 차단 토팅이 필요하며, 사용할 수도 있을 것으로 사료된다. 비결정상태의 산화규소( $\text{SiO}_2$ )와 산화아연( $\text{ZnO}$ )로 구성된 박막 코팅은 자외선을 차단할 수 있으며 [13], 제품 제작할 때 플라스틱 및 유리에  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{ZnO}$ 로 구성된 박막을 코팅막이 필요하다.

#### 4. 결 론

본 연구는 UV LED를 적용한 소독기기를 개발한 것

으로써 동작원리와 외형적 심미성을 중심으로 연구된 것이고 실질적인 살균효과에 대해서는 향후 연구를 계속 진행할 계획이다. 또한, 기존 수은형 살균기의 저효율, 고에너지소모, 환경 부적합, 제품을 넣고 꺼내기가 불편 등의 단점을 개선하고, UV LED와 같은 새로운 기술과 디자인이 결합된 새로운 생활가전 개발에 기여할 수 있다고 사료된다.

#### References

- [1] Z.C. Zang, "Home intelligent disinfection cabinet design", Hebei Agricultural Machinery 7 (2018) 58.
- [2] T. Wang, S.Y. Ma, Y.Q. Jang and Z. Han, "Research and application of the optical wave disinfection in household tableware cabinet", J. Appliance Science & Technology 12 (2018) 24.
- [3] W.S. Yu, "Simulation and optimization design of the drying and ozone decomposition system in a sterilizer", M.S. Thesis (Southeast Univ., 2019) p. 9.
- [4] B.S. Kim, "The study of polymer hardened characteristic using the UV-LED multiplex concentrate lighting method", M.S. Thesis (Wonkwang Univ., 2017) p. 3.
- [5] Y. Li, "AlGaIn base deep uv LED MOCVD epitaxial growth", D.S. Thesis (Huazhong Univ., 2015) p. 12.
- [6] G.H. Zang and J.S. Yue, "Research and application of deep UV LED", China Light & Lighting 3 (2012) 4.
- [7] G.Y.X. Xia, X.Q. Nu, Y.Y. Chen, Q. Xu and W.T. Li, "Experimental study of disinfection effect of LED ultraviolet light", Chinese Journal of Disinfection 34 (2017) 1.
- [8] B. He, "Study on LED Lighting and UV Germicidal Lamp and Its Key Technology", M.S. Thesis (Beijing Jiaotong Univ., 2014) p. 18.
- [9] X.Q. Huang, "The applied research of interaction design in industrial design", M.S. Thesis (Qilu Industrial Univ., 2014) p. 2.
- [10] L.T. Hu, "Study of co-experience design for internet product", M.S. Thesis (Beijing Posts and Telecommunications Univ., 2015) p. 18.
- [11] J. Forlizzi and S. Ford, "The Building Blocks of Experience: An Early Framework for Interaction Designers", In D. Boyarski & W.A. Kellogg (Eds.), (Communications of the ACM, New York, 2000) p. 419.
- [12] Y.Y. Ding, L. Jiang and Y. Dan, "The destructive effect of ultraviolet irradiation on ABS", Automobile Technology & Material 4 (2017) 10.
- [13] S.Z. Wang, "Uv-proof glass research", China Building Materials Science and Technology 6 (1995) 23.