

◆ 특집 ◆ 녹색생산 및 응용기술

환경전과정평가에 기반한 UV-LED 를 사용한 복합식 가습기에 관한 연구

Study on Compound Humidifier Employing UV-LED using Environmental Life Cycle Assessment

최원식¹, 박시현^{1,✉}, 이시왕², 정영미³, 이화조²
 Won-Sik Choi¹, Si-Hyun Park^{1,✉}, Si-Wang Lee², Young Mi Jung³, and Hwa Cho Yi²

1 영남대학교 전자공학과 (Department of Electronics Engineering, Yeungnam Univ.)

2 영남대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Yeungnam Univ.)

3 영남대학교 화학공학과 (Department of Chemical Engineering, Yeungnam Univ.)

✉ Corresponding author: sihyun_park@ynu.ac.kr, Tel: 053-810-3096

Manuscript received: 2012.6.4 / Accepted: 2012.6.30

In this study, we assessed environmental impacts of compound humidifiers using environmental life cycle assessment and presented the ways to improvements in energy consumption of them. We found eco-design parameters and CO₂-eq emissions in each stage of raw material acquisition, manufacturing, transportation, use and disuse in life cycle of the compound humidifiers. The highest CO₂ emission is found to be in the stage of use among all stages of life cycle, which is mainly due to power consumption in thermal heating of heating coil for sterilization during humidification. The power consumption and CO₂ emission in the stage of use can be reduced to 1/4 and 1/3 at the highest estimate through improvement of sterilization method, respectively. We suggested the replacement of conventional thermal heating coil by ultra violet light-emitting diodes (UV-LED) for sterilization and then presented the experimental results on the sterilization effects of UV-LEDs.

Key Words: Life Cycle Assessment (전과정평가), Compound Humidifier (복합식 가습기), Sterilization (살균), Ultra-violet Light-emitting Diodes (자외선 발광다이오드)

1. 서론

1980년대 이후 환경운동이 가속화되면서, 폐기물을 줄이고, 지구의 자원을 아껴 쓰자는 운동이 발생하기 시작하였고 이에 수반하여 실용적, 환경적 측면에서의 좋은 디자인이 우리의 삶과 질을 바꿀 수 있음이 널리 알려지고 인식되게 되었다. 이에 따라 기능성, 경제성, 아름다움, 건강, 안전성 등을 고려하는 친환경적 에코디자인이 이 시대의

트렌드가 되고 있으며 앞으로 다가올 미래에도 없어서는 안 될 산업 중 하나로 자리매김 하고 있다.

다양한 가전기기에 대한 친환경적 설계는 그 중요성과 더불어 그 필요가 점점 증가하고 있다. 그 중 가습기는 우리 일상생활에서 매우 널리 사용되는 가전제품중의 하나로, 일반 가정 및 사무실 그리고 병원 등에서 수요가 급격히 증가하고 있는 제품 중의 하나이지만, 친환경적 설계의 시도는 아직 까지 없었다. 가습기에서는 분무를 통

해 주위환경의 습도를 조절하는 기능에 더해, 분무를 통하여 이동하는 세균의 제거 기능이 중요한 두 가지 요소이며 이를 바탕으로 다음과 같이 제품을 분류 할 수 있다. 먼저 가열식 가습기는 열선을 이용해 물을 가열하여 분무의 기능과 살균의 기능을 동시에 도모하는 방식을 사용하고 있으며 열선에 의한 전력 소모량이 매우 많다는 단점이 있다. 이에 반해, 초음파 가습기는 초음파 진동자를 사용하여 분무하는 방식을 채택하여 높은 분무량 대비 전력소모량이 매우 낮고, 살균을 위해서는 살균제를 첨가하는 방식을 사용한다. 그러나 이 경우 최근에 살균제의 인체 유해성이 밝혀지고 있어 사용에 큰 문제가 되고 있다. 이에 따라, 최근에는 두 타입의 장점을 복합한 복합식 가습기의 제작 및 사용이 증가하고 있다.

본 연구에서는 그 수요에서 대세로 자리 잡고 있는 복합식 가습기의 친환경성을 평가하고 환경고려 설계를 통해 에너지소비 개선안을 도출하였다. 이를 위해 현재 시중에서 널리 사용되고 있는 복합식 가습기 2 종을 분해하여 친환경성 평가를 수행 하였고, 이를 바탕으로 CO₂-eq 발생량이 가장 많은 부분을 찾았으며, 이에 대한 개선방안으로 자외선 발광다이오드를 접목시키는 연구를 수행 하였다

2. 에코 디자인과 환경전과정평가

에코디자인은 기존의 제품개발 과정을 그대로 따르면서 단지 특정개발과정에서 원재료나 에너지의 소모를 최소화하고, 제품을 폐기하는 단계에서 재활용과 분해가 용이하도록 친환경적으로 제품을 설계하는 것을 말한다.^{1,2} 예를 들면, 제품의 포장재의 경우 제품자체의 보호기능을 넘어선 불필요한 원재료를 제거하거나 또는 재활용률이 높은 재료를 사용하였을 때 친환경적으로 제품을 설계하였다고 할 수 있다. 에코 디자인 프로세스를 위해서는 일반적으로 “제품(서비스 포함)의 전과정에 걸쳐 소모되는 자원과 발생하는 배출물의 양을 정량화하여, 이들이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가하는 환경영향 평가기법”, 즉 환경전과정평가(environmental life cycle assessment; ELCA)가 필요하다.

환경전과정평가는 일반적으로 다음의 단계를 순차적으로 포함한다. 처음단계는 제품 모델링(product modeling) 단계로, 제품의 기초데이터를 수

집하여 DB 화시킴으로서 제품을 에코디자인 프로세스에서 취급하기 쉬운 물리적인 데이터로 재구성하는 단계이다. 물질분석표 (Bill of Material; BOM) 작성 등이 이 단계에서 수행된다. 그 다음은 환경성 품질기능전개 (Environmental Quality Function Deployment; EQFD)의 단계로, 이해관계자들의 요구사항을 파악하고 이들 요구사항을 관련 환경성 파라미터로 전환하여 설계자 및 개발자들이 이해 할 수 있는 언어로 전환하는 단계이다. 이어서, 환경성 파라미터를 다시 사용하여 경쟁사 제품과 비교한 자사의 환경적 취약점을 파악하는, 환경성 벤치마킹(Environmental Benchmarking; EBM)의 단계를 거친다. 제품의 중요환경성 측면을 파악하기 위해 간략화된 전과정평가(Simple-LCA)를 수행하고, 이를 통해 환경적으로 개선이 필요한 부분을 도출한다. 그 이후, 전반적인 개선 전략과 과업을 도출하고, 이를 바탕으로 재설계 과업을 규명하게 된다 (Fig. 1).





Fig. 1 Flow chart of environmental life cycle assessment

3. 복합식 가습기의 환경전과정평가

본 연구에서는, 열선을 이용하여 저온살균기능으로 세균을 억제하는 가열식 가습기와 초음파 진동자를 이용하여 높은 분무량을 발생 시키는 초음파가습기의 장점을 합친 복합식 가습기에 대해, A社의 H 제품과 B社의 C 제품을 선정하여, 환경전과정평가를 수행 하였다. Table 1 은 두 제품의 제품 사양을 나타낸다.

제품의 분해 前, 두 제품의 성능 비교를 위해 다음의 측정을 수행 하였다. 전력 측정은 가습기의 대기전력 및 사용 중 소비전력을, ㈜다윈디엔에스社의 PM-B200 전력측정기를 이용하여 측정하였다. 이 때 B社의 분무량 조절은 4 단계로 터보 기능까지 있지만 A社의 분무량 조절은 터보 기능을 제외한 3 단계이기 때문에 비교실험을 위해 B

Table 1 Specification of products

Model H, Company A		Model C, Company B	
Picture	Specification	Picture	Specification
	<ul style="list-style-type: none"> sterilization weight: 5.7 kg size: 320×320×450 mm³ 		<ul style="list-style-type: none"> sterilization weight: 4.4 kg size: 270×330×400 mm³

社의 분무량 중 터보에서의 측정치를 제외하였다. 가습기의 진동자부 (진동자에서 약 1 cm 떨어진 거리)에서의 온도를 측정 하였고, 분무구 및 분무구에서 40 cm 까지 떨어진 위치에서의 온도를 10 cm 구간별 나누어 측정하여 살균력 측정을 수행 하였다. 수행결과는 표 2 에 나타내었다 (Fig. 2).

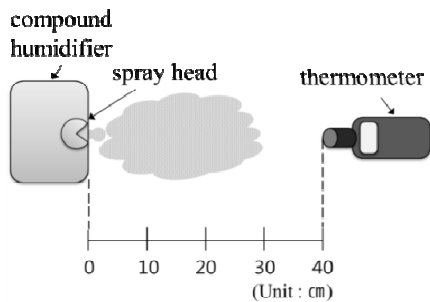


Fig. 2 Schematic diagram showing temperature measurements with a distance from the spray head of the compound humidifier

Table 2 Measured temperatures with a distance from the spray head of the compound humidifier

Distance from spray head (cm)	0	10	20	30	40
Temperature (°C)					
Model H, Company A	37	30	25	24	21
Model C, Company B	37	31	25	24	22

(Room temperature: 21.3°C)

분무량을 중 (medium) 살균효과로 선택하여 정해진 공간 (400×800×300 cm³) 에서 30 분 동안 가

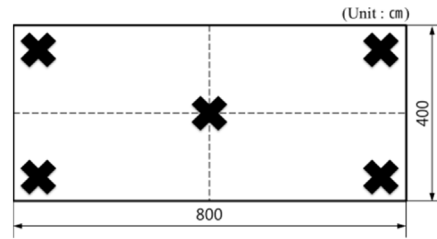


Fig. 3 Schematic diagram indicating humidity measurement points

Table 3 Performance of compound humidifiers

	Temperature (°C)		Humidity (%RH)	Standby power (W)	Operating condition		Operating power (W)
	Vibrator	Spray head			Sterilization	Spray level	
Model H, company A	53	37	40.52	7.1	off	low	22.5
						medium	26.5
						high	33.7
					on	low	143.0
						medium	147.0
						high	154.0
Model C, company B	57	37	43.40	4.8	off	low	28.3
						medium	30.4
						high	41.4
					on	low	119.0
						medium	121.0
						high	132.0

(Reference humidity: 31.00%)

동 후 공간의 정 중앙과 방안의 끝부분 네 방면으로 나누어 150 cm 높이에서 습도를 측정하여 가습력 측정을 수행하였다 (Fig. 3). 이를 위해 Tenmars 社의 TM-184 온/습도계를 이용하여 측정을 수행하였다. Table 3 는 두 제품의 성능에 대한 측정 결과를 나타내고 있다.

성능 비교에 필요한 실험 후 LCA 과정의 BOM 작성을 위해 각각의 제품을 최하 물질 단위까지 분해하였다 (Fig. 4). 완제품에 대해서 포장단계부터 분해하여 재질, 조립단위, 중량, 분해시간, 원재료 취득 시 재질, 지구온난화 지수(Global Warming Potential; GWP), 재활용 중량 등 제품 상세정보를 파악하여 BOM 을 작성하였다. 작성된 BOM 정보와 출고시의 제품정보를 함께 고려하여, 제품의 원재료 취득, 제조, 운송, 사용, 폐기의 전과정에



(a)



(b)

Fig. 4 Pictures of disassembly of compound humidifiers (a) model H of company A, (b) model C of company B

걸쳐 원재료물질과 유해물질의 유/무, 부품의 수, 분해 시 공구의 수 등의 환경성 파라미터별 자료를 수집, 도출 하였다.

복합가습기의 전과정(life cycle)에 대해, 원재료 취득, 제조, 운송, 사용, 폐기의 각 과정별로 CO₂-eq 배출량을 계산하였다. 탄소성적표시 에너지사용 제품 공통기준³을 참고하여, 최하 단계까지 분해한 각 원재료 물질에 대해서 재료 취득시 발생하는 CO₂-eq 발생량을 계산하였다. 완제품을 제조할 때 사용되는 전기, 프레스, 사출성형, 용착 등의 각 작업에 대하여 발생하는 CO₂-eq 발생량을 일반적인 시나리오에 근거해서 계산하여, 제조 시 발생하는 총 CO₂-eq 배출량을 계산하였다. 운송단계에 대해서는, 우리나라에서 다수의 전자제품 생산체가 있는 구미를 원 생산지로 고려하고, 최종 소비처를 대륙성 기후를 가지는 독일로 고려하여,

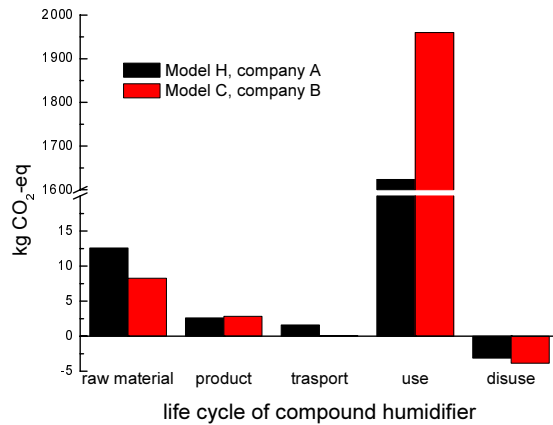


Fig. 5 CO₂-eq emissions in each stage of life cycle for compound humidifiers

구미에서 부산까지 육로운송(159 km)과 부산에서 독일까지 해양운송(20,496 km)으로 시나리오를 가정하였고, 이에 따른 CO₂-eq 배출량을 계산하였다.

그리고 사용단계 대해서는 제품의 대기전력과 동작 중 소비전력을 실측하여 얻은 값을 7년 동안 연 180 일, 하루에 5 시간 사용한다고 가정하여 전력 소모 값을 측정하고 이를 발전할 때 발생하는 CO₂-eq 발생량으로 환산 하였다. 마지막으로 폐기단계에서는 재활용률을 고려한 CO₂-eq 발생량을 계산하였다.

Fig. 5 에서 볼 수 있듯이, 가습기라는 가전제품의 특성으로 인해 사용단계에서 환경에 가장 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서 제품 전과정 중 가장 부정적인 영향을 미치는 사용단계에서의 에너지 소비를 절감시킬 필요가 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6 은 복합기의 동작 조건에 따른 CO₂-eq 배출량을 나타낸다. 분무량의 강도(low, medium, high) 및 살균가습기능의 유무에 따른 CO₂-eq 배출량을 보여주고 있다. 두 제품 모두, 분무량의 강도보다 살균 가습기능의 유무에 따라 CO₂-eq 배출량이 크게 차이가 남을 보이고 있다.

살균가습기능은, 저온 살균의 방법을 사용하는 것으로, 물을 약 60~80°C 로 가열하여 살균의 효과를 얻는다. 이를 위해 물이 지나가는 통로에 장착되어 있는 열선에 전기를 흘려주고 전기에너지가 열에너지로 변환되어 물을 가열하게 된다. A 사 H 제품 기준, 분무량의 강도 high 상태, 살균가습 작동 중 소비전력은 154.0 W 이고 살균가습 정지 중

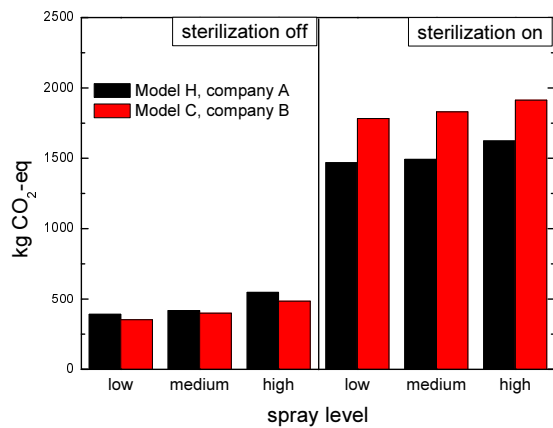


Fig. 6 CO₂-eq emissions with operating conditions in compound humidifiers

소비전력은 33.7 W 으로, 4 배의 차이를 보인다. CO₂ 발생량으로는 1623 kg CO₂-eq 과 548 kg CO₂-eq 로 약 3 배 이상의 차이를 보인다.

4. 소비에너지 개선 방안

두 제품에서의 CO₂-eq 배출량 결과 분석을 통해, 제품 전과정중 사용단계의 에너지 소비가 개선해야 할 대상임을 알 수 있고, 또한 이 단계에서의 에너지 소비 중 주된 전력 소모는 살균가습기능 동작 중 가동되는 열선이 대부분의 전력을 차지함을 알 수 있다.

이를 개선할 수 있는 방안으로 열선에 의한 살균이 아닌 다른 방법에서의 살균을 고려 할 수 있다. 그 중의 하나로 자외선 조사에 의한 살균 방법을 고려 할 수 있다. 일반적으로 자외선 조사에 의한 살균은, 자외선형광등 (Ultra-Violet Cold Cathode Fluorescent Lamp; UV CCFL)을 광원으로 하여 수행된다.⁴ 가습기와 유사한 용량의 정수기에 살균의 목적으로 사용되고 있는 CCFL 을 열선과 비교하였을 전력소모는 1/10 로 줄어듬을 알 수 있고, (Table 4) 따라서 자외선 조사 살균 방법은 열선에 의한 저온 살균 대비 장점을 가짐을 알 수 있다. 그러나 자외선 램프를 이용한 살균의 경우, 높은 초기 램프 가격과 주기적인 램프 교체에 따른 높은 유지보수 비용으로 인해 보급에 어려움을 주고 있다. 더욱이 선진 각국의 위험물질 생산금지의 강화로 인해 램프 타입 자외선 등의 생산과 사용은 점점 어려움을 겪고 있다.

Table 4 Comparison for various sterilization methods which can be used in humidifier

Part	Heating coil	UV-CCFL	UV-LED
Power (W)	100	~10	~0.14
Lifetime (y)	10	1	6
Sterilization method	Low Temperature	UV Radiation	UV Radiation
Hazardous substances	asbestos	mercury	-
Size (cm)	5~8	12~29	0.5~3.0

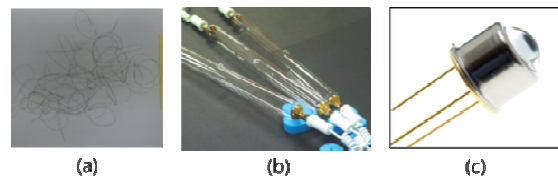


Fig. 7 Parts for sterilization (a) heating coil for low temperature sterilization in compound humidifier (model H, company A), (b) UV-CCFL for UV Radiation sterilization (LICHTZEN Company), (c) UV-LED for UV Radiation sterilization (Seoul Semiconductor Company)

최근에 전통적인 램프형 광원대신 발광다이오드(Light-Emitting Diode; LED)가 주목을 받고 있다. LED 는 p 형 반도체와 n 형 반도체를 접합시키고 순방향으로 전류를 흘려, 접합 면에서 전자와 정공의 결합으로 인한 빛의 방출을 유도하는 반도체 소자이다. LED 에서는 전기 에너지가 빛 에너지로 직접 변환하므로 발광 에너지 효율이 매우 높고, 부가적인 열 발생이 상대적으로 작게 된다. 또한 발생하는 빛의 파장이 기본적으로 반도체의 밴드갭 에너지와 동일하므로 원하는 파장의 빛만을 발생시킬 수 있어 매우 효율적이다. 수명이 일반적인 램프 타입의 광원에 비해 반영구적이며, 외부충격에 의한 물리적인 안정성에도 램프타입에 비해 월등히 좋다. 수은을 포함하지 않으므로 EU 에서 발표한 특정위험물질 사용제한지침 (Restriction of Hazardous Substances; RoHS) 규격에서도 적합한 광원이고 물리적인 사이즈가 매우 작으므로 설치 시 자유도가 높아지고 및 심미적 디자인을 고려한 설치의 가능성도 높아진다. 이러한 장점으로 인해 가시광 영역 LED 는 현재 옥외 디스플레이, LCD (Liquid Crystal Display), BLU(Back

Light Unit), 자동차용 전조등 등에서 널리 사용되고 있다.

기본적으로 반도체의 밴드갭 엔지니어링을 통해 광학 스펙트럼 영역 안에서, 원하는 어떤 파장이라도 만들어 낼 수 있으므로 가시광 LED 뿐 아니라 자외선 LED 또한 가능하며, 실제로 최근에는 자외선의 광원으로도 전통적인 CCFL 대신 자외선 발광다이오드(Ultra-Violet Light-Emitting Diode; UV LED)가 주목을 받고 있다. 본 연구에서는 이러한 다양한 장점을 가지는 UV-LED 를 광원으로 사용한 살균을 제안한다.⁵⁻⁷

우리는 UV-LED 의 살균효과를 보여주는 실험을 수행하였다. 자외선 파장의 스펙트럼은 일반적으로 UV-A (320~400 nm), UV-B (280~320 nm), UV-C (200~280 nm)의 세 부분으로 나누어 그 특징을 고려한다. 따라서 UV-LED 에 의한 살균을 실험하기 위해, 위 세 영역을 대표할 수 있는 파장의 UV-LED 를 선택하여, 각각 365 nm, 310 nm, 265 nm 의 파장을 가지는 UV-LED 를 선택 하였다. 살균을 위한 균주로는 대장균 (*Escherichia coli*; *E. coli*)를 사용하였고, 배양을 위한 배지로 Luria-Bertani (LB)를 사용하였다. 대장균이 배양된 배지를 페트리디쉬 안의 고체 배지 위에 도말한 후, 상온에서 UV-LED 를 조사 하였다 (Fig. 8). 그 후 고체 배지를 다시 성장 시키고, 최종적으로 고체 배지 위의 세균의 균체 수를 측정하였다.

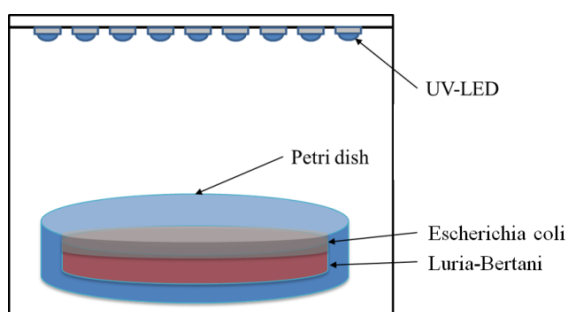


Fig. 8 Schematic diagram of experimental setup of *Escherichia coli* sterilization using UV-LEDs

Fig. 9 는 15 시간 조사 후의 대장균 균체의 사진이다. (c) 365 nm, (d) 310 nm, (e) 265 nm 에 대한 결과 사진에 더해서, 비교를 위해 동일한 조건에서 (a) 자외선을 조사하지 않은 것과 (b) UV-lamp 를 조사한 것을 준비하였다. (a) 자외선을 조사하지 않

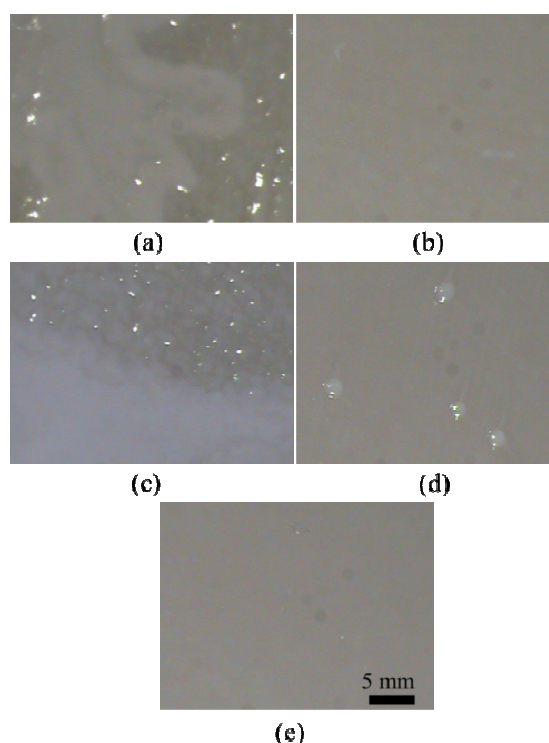


Fig. 9 Microscopic images of colonies of *E. coli* onto LB inside Petri-dish after 15 hour (a) no radiation (b) UV-lamp (c) 365 nm (d) 310 nm (e) 265 nm

은 것의 경우 대장균은 페트리디쉬의 전체 면에 분포되어 있었다. 반면 (b) UV-lamp 를 조사한 경우 전체 면에서 대장균 균체가 전혀 발견되지 않았고 살균 효과가 완전함을 알 수 있다. (c) 365 nm 경우 (a)와 비교해서 대장균 균체가 많이 줄어들었고 살균 효과가 있었음을 알 수 있지만, 여전히 전체면의 반 정도 면적에 걸쳐 대장균 균체가 존재하였다. (d) 310 nm 의 경우 소수의 대장균 균체가 띄엄 띄엄 존재하는 정도로 살균 효과가 (c)에 비해 매우 증가했음을 알 수 있고, (e) 265 nm 의 경우 전체 면에서 대장균 균체가 전혀 발견되지 않아서, (b)와 동일하게 살균 효과가 완벽함을 알 수 있다.

이를 통해 UV LED 는 대장균에 대한 살균 효과를 가지며, 특히 265 nm 의 경우 UV CCFL 램프와 비교할 만한 높은 살균력을 가짐을 알 수 있다.

UV-LED 를 복합식 가슴기에 접목시킴으로써 기존 열선을 사용한 방법에 비해, 사용 중 에너지 소비를 직접적으로 줄일 수 있을 뿐 아니라, 열선

을 감싸고 있던 유해물질인 단열제(석면)와 PVC 전선, 열선, 유리관 등이 제거되면서 복합식 가습기의 에너지 소비개선 및 친환경적인 제품으로의 변환을 이룰 수 있을 것이다. 부가적으로 소비자가 기존의 열선에 의해 살균이 되는지조차 모르면서 살균기능을 사용하는 것 보다 UV-LED 에서 나오는 푸른빛이 물통 속의 물을 투과하여 굴절되는 모습을 시각적으로 볼 수 있다면 심리적으로 살균 효과에 신뢰성을 가질 수 있다고 판단한다.

5. 결론

복합식 가습기에 대한 환경전과정평가를 통해, 복합식 가습기의 전단계(life cycle) 중, 사용단계에서 가장 많은 CO₂-eq 를 배출하며, 특히 사용 단계 중에서도 열선을 사용한 살균 가습 동작이 가장 많은 에너지를 소모함을 보였다. 살균 가습 동작의 개선을 통해, 사용 중 소비전력을 기존대비 최대 1/4 수준으로 줄이고 제품 사용 중 CO₂-eq 발생량을 최대 1/3 로 줄일 수 있음을 밝혀 내었다. 기존 살균 가습기의 열선을 사용한 저온 살균방법을 UV-LED 를 사용한 자외선 조사 살균의 방법으로 바꾸는 것을 제안할 수 있고, UV-LED 의 살균 효과 실험을 통해 265 nm UV-LED 는 대장균에 대해 매우 높은 살균 효과를 가짐을 보였다. 살균을 위해 UV-LED 를 사용함으로써 살균 시 직접적인 에너지 소모량을 줄일 수 있을 뿐 아니라, 기존 열선 방법에서 필요한 유해물질 1 종(석면)을 비롯한, 불필요한 부품들의 제거로 CO₂-eq 배출량을 줄일 수 있음을 보였다.

본 연구를 기반으로 하여 향후 열을 이용한 저온살균과 자외선 살균의 정량적 특성 비교 및 저전력 최적의 살균 효과를 위한 UV-LED 의 최적의 배치 등의 주제가 연구되어야 할 것으로 판단되며, 최종적으로 LED 를 사용한 가습기 제품의 제작 및 이에 대한 구체적인 환경전과정평가와 기존 제품과의 비교연구는 향후 연구 주제로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 환경부의 2011 년도 에코디자인 특성화 대학원 사업과 지식경제부 기술혁신사업 (산업 원천기반구축사업, 10033630)에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Hong, D.-S., "The research on eco design and green design in the visual communication design - Focussed on Triennial exhibition of the eco poster 4th BLOCK, "Ekoplagat Triennial in Zilina", The Korea Contents Association Review, Vol. 9, No. 3, pp. 37-42, 2011.
2. Joo, H.-H., Yi, H.-C., and Cho, K.-I., "Disassemblability Evaluation for the Products Using an Ease-of-Disassembly Design Method," J. of the KSPE, Vol. 16, No. 8, pp. 88-99, 1999.
3. KEITI, "Carbon Labelling_Energy-using Products Common Criteria," <http://www.edp.or.kr/carbon>
4. Choi, Y.-K., Jung, K.-S., Park, D.-W., and Kil, G.-S., "Comparison of Disinfection Performance by UV Lamp," Proc. of the Korean Society of Marine Engineering Conference, pp. 403-404, 2010.
5. Yagi, N., Mori, M., Hamamoto, A., Nakano, M., Akutagawa, M., Tachibana, S., Takahashi, A., Ikehara, T., and Kinouchi, Y., "Sterilization using 365 nm UV-LED," Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., pp. 5842-5845, 2007.
6. Lopez-Malo, A. and Palou, E., "Ultraviolet light and food preservation," CRC Press, pp. 405-421, 2005.
7. Jeong, H.-S., "Study on Bacteria Sterilization Effects of UV-LEDs," M.Sc. Thesis, Department of Photonic Engineering, Chosun University, 2010.