

공기전리 현상과 광촉매를 이용한 공기정화 장치 개발에 관한 연구

심충한[†] · 이원대 · 이동훈 · 정용철

부경대학교 안전공학과

(2006. 3. 28. 접수 / 2006. 10. 10. 채택)

A Study for Development the Air Cleaner Using Air Ionizing Phenomena and Optical Catalizer

Chung-Han Shim[†] · Won-Dae Lee · Dong-Hoon Lee · Yong-Chul Jung

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received March 28, 2006 / Accepted October 10, 2006)

Abstract : The rapidly advanced industrial society takes advantage of high-technology, but it also suffered from the side effects such as various diseases by contamination. Of these problems, air pollution is considered as the most important problem nowadays. Air contamination is not only limited outdoors, but it also causes more serious effect in our indoor air environment. Depending on the notion that indoor air effects physical health seriously, the needs of the air cleaner is more earnest.

Therefore, the main purpose of this study is to develop the air cleaner to meet the standard and get rid of poisonous and harmful material from the atmosphere by using a Corona Discharge. According to the purpose of this study, We set the negative ion generator, the UV, TiO₂ optical catalyzer, the electrical dust collector and the air filter in series order. It emits a lot of negative ions. We use these ions to purify harmful factors and contaminated materials. We collect the dust using static power that comes from the discharge of corona. At the same time, we try to develop the air cleaner to keep the air quality to meet the standard and kill the various viruses using UV LED and TiO₂ optical catalyzer. In this study, we use the UV LED that is smaller and efficient than a existing UV lamp. What is more, the UV LED has a features that a stabilizer occupying much space is not needed any more.

Key Words : air cleaner, UV, catalizer, ionizer

1. 서 론

고도성장한 산업화 사회는 문명의 이기를 제공하는 대신에 각종 오염물질로 둘러싸여 있는 환경과 이로 인한 호흡기질환 및 피부질환 등으로 우리생활에 되돌아오고 있다. 오염물질로 인한 문제 중 최근 가장 부각되고 있는 것은 바로 공기의 오염이라 할 수 있을 것이다^{1,2)}. 이러한 공기오염은 실외에 국한되지 않고 갈수록 밀폐화 되고 있는 실내 환경에서 더 심각하며, 실내에 존재하는 오염물질 배출원이 증가함에 따라 실내 환경 (Indoor Air Environment)에 대한 공기 정화 장치의 필요성이 대두되었으며, 급속히 발전하고 있는 추세이다³⁾. 우리나라는 현재 대기 중

공기오염의 정도가 매우 심각한 나라로 분류되어 있다. 오염된 실외공기 질의 악화는 실내 공기 질에도 악영향을 주며, 오염물질의 종류에 따라서는 실외보다 실내공기 환경에서 더 악영향을 미치는 경우도 많다. 그러나 실제 우리가 하루 중 대부분의 시간을 실내에서 보내고 있다는 사실에 비추어 볼 때 상대적으로 실내 공기의 질에 대한 관심과 개선 노력은 매우 미약한 실정이다. 이와 같은 실내에서의 공기오염은 건축물 내에 다양한 오염원(각종 건축자재)과 VOCs(Volatile Organic Compounds), HCHO, 라돈, 석면, CO, CO₂, NO₂, O₃, 미세먼지(PM10 : Particulate Matter 10-직경 10 μ m 이하의 분진을 일컫음), 병원성세균 등 유해한 오염물질이 존재하며, 각 오염원에서의 유해오염물질 방산정도(emission rate)에 따라 그 피해가 인체에 직접적인 피해를 미치게 된다. 이러한 오염물질 방산정도는 실내의 환경조건,

[†] To whom correspondence should be addressed.
shamp00@paran.com

적용 건축자재의 종류 및 공법, 환기설비의 특성 및 유형 등에 따라 큰 차이를 나타낸다. 앞서 설명한 바와 같이 다양한 실내 환경에 적합한 공기 정화 장치나 시스템을 구축하기는 매우 어려운 문제임에도 불구하고 현재 우리나라에서 시판 중인 약 100여개 업체의 각기 다른 기능을 갖춘 공기정화 장치들은 대부분 해외 유명 브랜드 제품의 성능에 따라가지 못하거나 인체에 유해한 다량의 오존(O₃)을 배출함으로써 오히려 소비자의 건강에 악 영향을 미치고 있다. 우리나라의 한국 공기 청정 협회 오존 권고 기준이 0.05ppm 임에도 불구하고 이 수치를 상회하고 있는 경우가 대다수 이다^{4,6)}. 또한, 기존의 광촉매 작용을 활성화시키기 위하여 쓰여진 UV LAMP는 소형화에 한계가 있고, 유리재질의 파손우려가 있어, 그 적용에 한계가 있다. 이전의 연구에서는 UV LED를 이용하여 TiO₂ 광촉매 반응을 구현하여 정화 장치에 적용한 예가 없어 광촉매를 이용한 정화 장치의 소형화와 내구성 상성에 획기적으로 기여 할 수 있다는 의미를 부여할 수 있다. 또한, UV LAMP와 UV LED는 수명에 있어서도 LAMP의 경우 5,000~8,000hr인 반면, LED의 수명은 10,000~15,000hr으로 내구성 면에서도 UV LED가 훨씬 뛰어난을 알 수 있다.

따라서, 본 연구는 코로나 방전을 이용한 음이온 발생 장치 및 전기집진 장치를 UV LED·TiO₂ 광촉매와 직렬구조로 설치하여 코로나 방전식으로 발생하는 다량의 이온으로 공기 중의 UV LED를 사용한 광촉매 방식을 채택함으로써 정화장치의 소형화 및 내구성 확보를 이루고 오염물질 및 악성 물질을 중화시키고, 코로나 방전 시 발생하는 정전력을 이용하여 미세먼지를 집진하는 동시에 UV LED와 TiO₂ 광촉매 반응을 이용한 살균 작용과 공기 정화 작용의 성능 평가 및 음이온 생성과정에서 코로나 방전으로 발생하는 약 0.05ppm의 오존(O₃)과 UV LED의 살균작용 시 발생하는 약 0.2~0.3ppm 정도의 오존(O₃)의 농도를 TiO₂ 광촉매를 이용하여 오존(O₃)을 0.02ppm이하로 유지하여 발생 오존(O₃)양의 제어 능력과 대장균과 포도상구균과 같은 실제 세균을 제거할 수 있는 특성을 갖춘 공기정화 장치의 개발에 관한 것이다.

2. 실험 장치 및 방법

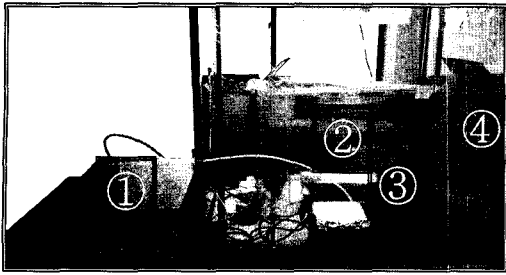
2.1. 공기 정화 장치

방전침을 이용한 코로나 방전으로 발생된 풍부한

양의 음이온과 더불어 집진판을 이용하게 되면 오염물질 뿐만 아니라 공기 중에 부유하고 있는 미세먼지를 흡착시킬 수 있는데 이는 지속적인 음이온의 발생으로 인한 이온 풍에 의하여 발생하는 대류 현상을 이용하여 장치 외부의 공기 흡입부 측에 대전판을 설치하여 가능하다. 또한 코로나 방전으로 발생된 음이온 중 O⁻ 이온은 재결합하여 오존을 생성하는 경우가 있는데 이는 공기청정기의 청정기능의 목적에 역행하는 문제가 발생하는 것으로 대부분의 기존에 개발되고 시판되는 공기 청정기에서 볼 수 있는 문제점이라고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 오존 발생의 문제를 TiO₂ 광촉매의 오존 분해 기능으로 발생 오존량을 0.003ppm 이하로 제어할 수 있으며, 대기 중의 VOCs를 분해할 수 있다. 또한, UV 광원에 있어, 기존방식인 LAMP를 사용하지 않고, UV LED 다수개를 장방형 매트릭스 형태로 장착함으로써 소형화를 이루고, LED의 단점인 좁은 광(光)조사 면적을 극복하였다. 이러한 구조의 공기청정기는 기존 공기청정기의 단점인 오존발생 문제와 단순 먼지 흡착기로서의 공기 청정기 기능만을 가진 것이 아니라 공기오염물질의 분해에도 탁월한 성능과 공기청정기의 구조 또한 매우 단순하고 소형화된 구조를 가지게 하는데 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

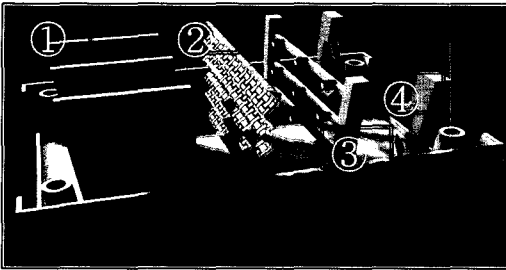
2.2. 기체 상태의 오염물질 분해 능력 평가 실험

코로나 방전으로 생성되는 이온의 공기 정화 능력과 전기 집진판의 성능, TiO₂ 광촉매 및 UV LED 광원을 이용한 광반응 작용으로 인한 공기 정화 능력을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같은 가로, 세로, 높이를 1미터(m)로 제작한 아크릴 챔버(Chamber)에 설치하고, 실내 공기 오염물질 및 악취 물질 중 대표적인 톨루엔, 암모니아, 황화수소를 검지관법을 이용하여 시간에 따른 오염농도의 변화량 측정하였다. 또한, 각 장치에서 발생하는 오존(O₃) 농도를 O₃ Analyzer(오존 농도 측정기)로 측정하여 오존(O₃) 발생 및 감쇄 농도를 측정하였다. 본 실험에 사용된 코로나 방전식 이온 발생장치는 텅스텐 재질(99.99%)의 방전침을 사용하였으며, 방전침의 경우 -4kV의 고압을 인가하여 이온을 생성하였다. 전기집진판은 SUS 304를 가공하여 장착하고, UV LED는 이츠웰사의 (IWU-TB 365 MXX)를 사용하였다. UV LED는 365nm의 파장의 빛을 조사 한다. 실험 결과는 1시간 동안의 농도 변화를 검지관법을 이용하여 3회 측정 후 평균치를 그래프로 나타내었다. Fig. 2는 공기 정화 장치의 구성도를 나타낸 것이다⁷⁾.



① O₃ Analyzer ② Detection Drop
③ Air cleaner ④ chamber(1m×1m×1m)

Fig. 1. Outline view of air cleaning capability evaluation apparatus.



① Electrical precipitator ③ UV LED
② TiO₂ Photonic Catalyst ④ Electrode

Fig. 2. Constitution of air cleaner.

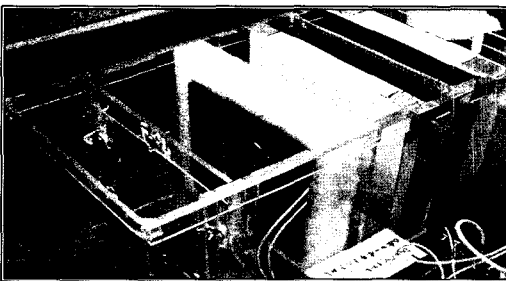


Fig. 3. Outline view of air cleaner.

Fig. 4는 시간의 경과에 따른 오존농도의 변화량을 나타낸 것이다. Fig. 4의 결과에서 알 수 있듯이 기존의 제품("S"사, S1627) 초기 오존 농도(16ppb)가 60분 동안 꾸준히 증가하여 60분경과 시 약 60ppb의 오존 농도를 보이는 반면, UV LED/TiO₂ 광촉매 반응을 이용한 실험장치의 경우 발생된 오존이 광촉매(TiO₂)의 작용으로 감소할 뿐 아니라, 초기 오존 농도의 수치도 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 시험시작 후 60분 후의 오존농도는 약 3ppb로 한국공기청정협회(CA)의 권고기준인 50ppb에 비해 현저히 낮은 수치를 보여주고 있다.

Fig. 5는 시간의 경과에 따른 황화수소 농도의 변

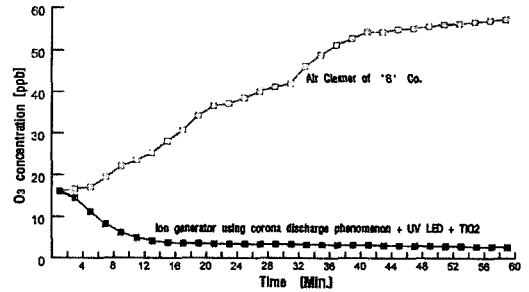


Fig. 4. Variations of Ozone Concentration as a function of time.

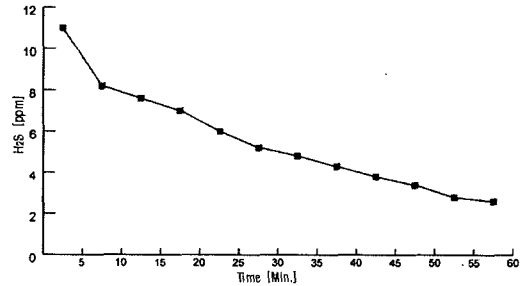


Fig. 5. Variations of H₂S Concentration as a function of time.

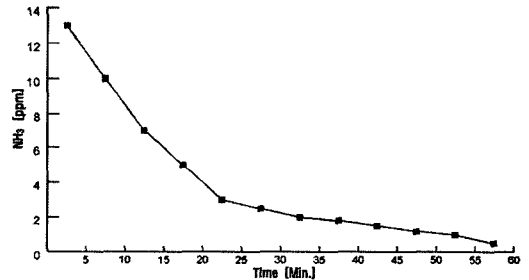


Fig. 6. Variations of NH₃ Concentration as a function of time.

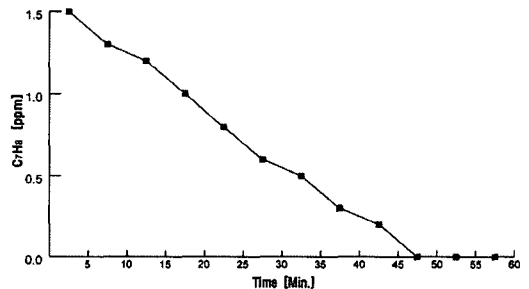


Fig. 7. Variations of C₇H₈ Concentration as a function of time.

화량을 나타낸 것으로, Fig. 5의 결과에서 알 수 있듯이 황화수소(H₂S)의 정화능력 시험에서는 60분경과 시 약 80%의 황화수소(H₂S)를 분해되는 것으로 나타났다. 분해 능력은 입증되었으나, 분해 시간이 다소 오래 걸리는 경향을 보이고 있다.

Fig. 6은 시간의 경과에 따른 암모니아 농도의 변화량을 나타낸 것으로 Fig. 6의 결과에서 알 수 있듯이 분해능력 시험에서 30분경과 시 약 80%의 암모니아(NH₃)가 분해되며, 60분경과 시 1ppm 미만의 암모니아(NH₃)가 검출되었다.

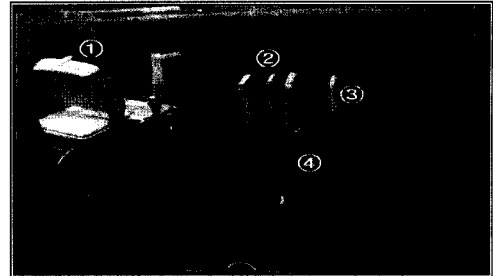
Fig. 7은 시간의 경과에 따른 톨루엔 농도의 변화량을 나타낸 것으로, 휘발성유기화합물(VOC ; Volatile Organic Compounds)인 톨루엔(C₇H₈)의 정화능력 시험의 결과 초기 농도(1.5ppm)가 시험시작 후 약 45분 이후에는 톨루엔(C₇H₈)이 전혀 검출되지 않았다. 최근 새집 증후군 등으로 많이 거론되고 있는 톨루엔(C₇H₈)의 정화능력이 매우 뛰어난 것으로 나타났다.

대표적인 악취 물질인 황화수소(H₂S), 암모니아(NH₃)와 휘발성 유기화합물의 분해 능력을 시험한 결과 휘발성 유기화합물의 분해 능력이 매우 뛰어난 것으로 판명되었으며, 발생된 오존의 농도가 0.003 ppm 이하로 매우 적게 검출되었으나, 악취물질의 경우 분해시간이 다소 많이 소요되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 UV LED와 광촉매(TiO₂)의 오존(O₃) 분해 능력 및 공기 정화능력이 매우 우수한 것으로 입증 되었으나 악취물질에 대한 연구는 향후 보완이 필요하다고 생각된다⁸⁾.

2.3. 세균제거 능력 평가에 대한 실험

앞서 시행한 기체상태의 오염물질 제거 능력에 대한 실험과 더불어 세균의 살균능력에 대한 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 세균은 대장균과 포도상 구균이며, Fig. 8은 공기 중에 부유하는 세균에 대한 포집 능력 및 살균 능력을 파악하기 위한 실험으로서, 가로 세로 높이가 각각 1m 크기의 아크릴 챔버에 분사기를 이용하여 분사시킨 후, 내부의 fan으로 세균을 강제 순환시켜 자유낙하하는 세균을 페트리 디쉬(Petri Dish)에 포집하여, 생균수를 측정하여, 세균에 대한 살균능력을 파악하였다.

각 실험결과 Fig. 8과 같이 세균을 챔버 내에 분사 후, 필터 및 광촉매를 제외하고 팬만을 구동한 경우를 Blank로 하고, 동일한 조건에서 필터 및 UV-LED 광촉매를 적용한 청정기를 작동한 경우를 비교하기 위하여, 60분 동안의 세균의 낙하하여 포집되는 세균의 감소량을 비교하는 방식으로 산정하였다. 시험 균체로 대장균과 포도상구균을 선택한 이유는, 이 두 가지 세균은 세균 중 가장 대표성을 가지는 것으로, 이 두 가지의 세균에 대한 살균능력이 입증된다면, 다른 세균들에 대한 살균력의 비교평가가 가능하기 때문이다.



① Bacteriological dispenser ③ Petri dish
② Air cleaner ④ Circulation fan

Fig. 8. Experimental apparatus of bacteriological examination.

Table 1. Decrement rate of E.coli

	Blank	Air cleaner	Decrement rate
E.coli	1196	28	97.7%

(unit : each)

Table 2. Decrement rate of S.aureus

	Blank	Air cleaner	Decrement rate
S.aureus	580	1	99.8%

(unit : each)

Table 1 및 2는 포도상구균 및 대장균의 감소를 실험결과를 나타낸 것이다. 이 실험은 공기 중에 부유하는 세균에 대한 포집 능력 및 살균 능력을 파악하기 위한 실험이며, 실질적인 살균능력의 평가를 위하여, 실험용 챔버에 직접세균을 분사한 후, 페트리 디쉬에 검출되는 세균의 수를 파악하여 실질적인 살균력에 대한 평가를 실시하였다⁸⁾.

60분 동안 동일한 조건에서 Blank와 시험체를 작동하여, 바닥으로 낙하하는 세균을 포집한 후, 24시간 동안 배양하여 생균수를 측정하였다.

이는 바닥으로 낙하한 세균 수의 차이를 비교함으로써 인하여, 얼마나 많은 수의 세균이 청정기에 포집되어 사멸하였는가를 판단해 볼 수 있다.

Blank 및 시험체의 작동시간을 60분으로 설정한 것은, 챔버 내부에서 순환되는 세균이 낙하하여 충분히 포집될 수 있는 일반적인 시간을 산정하여 기준한 것이다.

Fig. 9 및 Table 1~2에서 보여주는 바와 같이, 같은 조건에서 포집된 세균의 수가 적게는 97.7%에서 많게는 99.8%까지 차이가 남으로서, 공기 중에 부유하는 세균에 대한, 포집사멸 능력이 매우 뛰어난 것으로 나타났다.

- 시간당 흡입량 : 0.5~0.6m³/min
- 챔버의 전체 부피 : 1m³

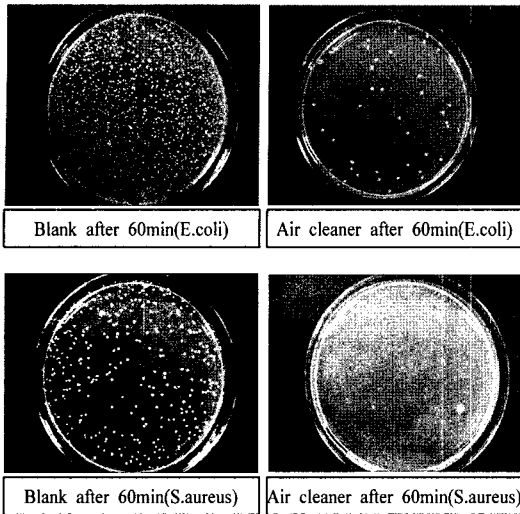


Fig. 9. Bacteriological number detected at petri dish.

- 오염방법

- ① Bacteriological Dispenser에 세균샘플 투입.
- ② 챔버내 순환 용 팬 가동
- ③ 공기청정기 가동
- ④ 챔버 내 Bacteriological Dispenser를 이용하여 세균 분사.

여기서, 같은 시간 60분 동안 포도상구균의 전체적인 포집량이 대장균에 비하여 적은 것은, 대장균의 크기가 2~4 μm 이데 반하여, 포도상구균은 1 μm 로, 크기가 차이남에 따라, 자유낙하되는 포도상구균의 균체의 수가 시간에 대비하여 대장균보다 더 오래 걸리기 때문으로 사료된다.

2.4. 미세 먼지에 대한 집진 능력 평가 실험

공기 중에 부유 하는 미세 먼지의 집진 능력을 평가하기 위하여 일정양의 미세 먼지의 무게를 측정후 20분 동안의 미세 먼지의 무게 변화를 통하여 집진 능력에 대한 성능을 평가하였다. 실험은 1 m^3 챔버 내에 초기 농도 1070 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (국내 실내기준의 약 7 배)의 먼지 대체 입자인 향 연기(입자 크기 : 0.01~1 μm)로 측정 하였다. Fig. 10은 시간의 변화에 따른 미세먼지의 농도변화량을 나타낸 것이다.

일반 실내 미세먼지 오염농도보다 높은 환경에서 미세먼지의 기준 입자크기 10 μm 보다 현저하게 낮은 향 연기 입자를 이용하여 먼지제거시험을 실시함으로써, 일반 실내에서의 집진성능의 신뢰성을 극대화할 수 있다.

Table 3. Human effect against minute particles

Concentration of minute particle	The action of particles upon the human body
100~135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Increase of the death rate of people with chronic respiratory disease.
150~350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	A Increase in the number of case of bronchial trouble or worsening disease under 15 years old.
300~1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Taking a turn for the worse sharply of bronchial trouble patients.
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lungs damage of adult person(Inhale 24-Hours).

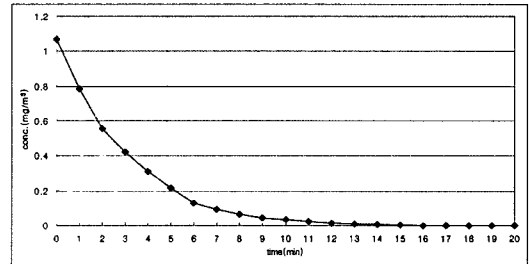


Fig. 10. Variation of minute particles concentration as a function of time.

먼지는 대략 0.005~500 μm 의 크기를 가지고 있으며 입자의 직경이 10 μm (PM10)미만의 미세입자와 2.5 μm (PM2.5)이상의 거대 입자로 분류된다. 거대입자와 미세입자의 총합을 총 부유분진(TSP)이라고 한다. 미세입자는 비교적 장시간 대기 중에 체류하기 때문에 거주자들의 경우 지속적인 노출로 인한 피해가 우려되는 물질로서, 기도를 통해 체내에 들어와 폐 깊숙이 안착하여 각종 호흡기 질환을 일으킨다. 미세입자가 유발하는 질환으로서는 만성호흡기 질환, 호흡곤란, 흉부압박감 등의 증상을 일으키고, 또한 중금속의 농축과 관련하여 중요하게 다루어진다. Table 3은 미세먼지의 농도에 따른 인체의 생리적영향을 나타낸 것이다⁸⁾.

3. 결론

3.1. 기체상태의 대표 오염물질 분해 능력 평가 실험

대표적인 악취 물질인 황화수소(H_2S), 암모니아(NH_3)와 휘발성 유기화합물의 분해 능력을 시험한 결과 휘발성 유기화합물의 분해 능력이 매우 뛰어난 것으로 판명되었으며, 발생된 오존의 농도가 3ppb 이하로 매우 적게 검출되었으나, 악취물질의 경우 분해 시간이 다소 많이 소요되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 코로나 방전으로 발생하는 이온과 UV LED

와 광촉매(TiO₂)의 오존(O₃)분해 능력 및 공기 정화 능력이 매우 우수한 것으로 입증 되었으나 악취물질에 대한 연구는 향후 보완이 필요하다고 생각된다.

이 연구를 통하여, TiO₂를 이용한 광촉매 메커니즘의 구현에 있어, 기존의 UV LAMP에 국한 되었던 광촉매 반응 현상을 UV LED를 통하여서도 구현함으로써, 향후, 공기 정화기를 비롯한 광촉매 메커니즘을 이용한 대부분의 살균, 정화제품의 소형화 및 내구성향상에 기여할 것으로 생각된다.

3.2. 세균능력 제거 능력 평가에 대한 실험

살균 능력 실험에서 사용한 세균은 대장균과 포도상구균이며, 이 두 가지 세균은 제거하기 어려운 세균으로 살균 능력에 대한 평가 기준이 될 수 있다.

Air Cleaner의 세균제거 결과는 대장균의 경우, Fan 이외의 다른 부분을 배제하여 작동한 Blank와 비교했을 때, 97.7%의 제거율을 나타내었으며, 포도상구균의 경우에는 99.8%까지의 제거율을 보여주었다.

이는 부유 세균에 대한 뛰어난 포집, 사멸능력을 보여주는 것이며, 실험에 사용된 Air Cleaner 용량이 0.5~0.6m³/min(1.5~2평형)인 점을 감안할 때, 작은 공부방, 또는 화장실 등의 좁은 공간에서 약 8시간 정도의 지속적인 동작을 하면, 충분히 위와 같은 부유세균 제거 능력을 가질 수 있음을 의미한다.

3.3. 미세 먼지에 대한 집진 능력 평가 실험

미세 먼지에 대한 집진 능력 실험은 미세 먼지의 무게를 측정하여 무게의 변화량을 1분 단위로 측정하였다. 그 결과 20분 이후에는 미세먼지가 검출되

지 않아 미세 먼지 제거에 우수한 결과를 나타냈다. 기체상태의 오염물질의 분해 능력과 살균 능력 및 미세먼지 집진 능력에 대한 평가의 결과 기체상태 오염물질 중 악취물질에 대한 보완이 이루어진다면, 탁월한 공기 정화 능력과 살균 능력을 구비 하면서 공기 정화 장치의 내부가 매우 단순한 구조를 가지게 하는데 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

참고문헌

- 1) Richard A. Wadden, Peter A. Scheff, "Indoor air Pollution", John Wiley & Sons Inc, pp. 1~2, 1983.
- 2) Ken Murray, Vaughn Gross, "Ozone and Small Particle Production by Steady state DE Hood Ionization", EOS/ESD Symposium Proceeding, 1989.
- 3) 이승우, "실내공기질 공정 시험방법 도출 연구", 국립환경연구원, 2004.
- 4) 김보경 "UV/광촉매 산화 복합공정을 이용한 실내 공기 정화에 관한 연구", 동아대학교 박사학위논문, 2004.
- 5) W. E. Schwinkendorf et al., "Evaluation of alternative nonflame technologies for destruction of hazardous organic waste", U.S. Department of Energy, 1997.
- 6) 영창건설주식회사 환경사업, "고급산화공법을 이용한 독성 및 난분해성 유기오염물질 처리 기술, 환경보전", pp. 14~21, 1997.
- 7) 김태관, "플라즈마 표면 처리를 이용한 광촉매 TiO₂의 특성 개발 연구", 과학기술부, pp. 3~23, 2002.
- 8) 김윤신, "공중이용시설 실내공기정화 청소기준에 관한 연구", 보건복지부, pp. 37~78, 1999.