

工學碩士 學位論文

이오나이지와 광촉매를 이용한 공기
정화 장치 개발에 관한 연구



이 論文은 釜慶大學 沈忠韓 提出함

2006年 2月

釜慶大學校 大學院

安全工學科

沈 忠 韓

沈忠韓의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2006년 2월

主審 工學博士

張 聖 祿



委員 工學博士

崔 載 旭



委員 工學博士

李 東 勳



목 차

1. 서론	1
2. 이론적 배경	3
2. 1. 코로나 방전	3
2. 2. 오존에 대한 안전성	5
2. 3. TiO ₂ 광촉매	9
2. 4. 공기정화 장치의 개발	13
3. 결과 및 고찰	14
3. 1. 기체상태의 대표 오염물질 분해 능력 평가 실험	14
3. 2. 세균 제거 능력 평가에 대한 실험	23
3. 3. 미세 먼지에 대한 집진 능력 평가 실험	28
4. 결론	31
4. 1. 기체상태의 대표 오염물질 분해 능력 평가 실험	31
4. 2. 세균 제거 능력 평가에 대한 실험	31
4. 3. 미세 먼지에 대한 집진 능력 평가 실험	31
참고문헌	33

표 목차

Table. 1. 사무기기에서 발생하는 오존농도에 관한 규제(UL114)	6
Table. 2. 공기청정기에서 발생하는 오존농도에 관한 규제(UL867)	7
Table. 3. 포도상구균감소율실험결과	27
Table. 4. 대장균감소율실험결과	27
Table. 5. 미세먼지의 영향	29

그림 목차

Fig. 1. The band gap energy of semiconductor	12
Fig. 2. 시간에 따른 오존(O ₃) 농도의 변화량	17
Fig. 3. 시간에 따른 황화수소(H ₂ S) 농도의 변화량	18
Fig. 4. 시간에 따른 암모니아(NH ₃) 농도의 변화량	19
Fig. 5. 시간에 따른 톨루엔(C ₇ H ₈) 농도의 변화량	20
Fig. 6. 미세 먼지 농도 변화량	30

사진 목차

Photo. 1. 공기 정화 능력 평가 장치	15
Photo. 2. 공기정화 장치의 구성도	16
Photo. 3. 세균 제거 능력 평가 실험 장치	24
Photo. 4. 공기정화장치의 외형	25
Photo. 5. Petri Dish에서 검출 된 세균의 수	26

1. 서론

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. 이러한 공기 오염은 실외에 국한되지 않고 갈수록 밀폐화 되고 있는 실내 생활환경에서 더 심각하며, 실내에 존재하는 오염물질 배출원이 증가함에 따라 실내환경(Indoor Air Environment)에 대한 공기 정화 장치의 필요성이 대두되었으며, 급속히 발전하고 있는 추세이다.

우리나라는 현재 대기 중 공기오염의 정도가 매우 심각한 나라로 분류되어 있다. 오염된 실외공기 질의 악화는 실내공기질에도 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 실내공기질에 대한 관심과 개선 노력은 매우 미약한 실정이다.¹⁾ 이와 같은 실내에서의 공기 오염은 건축물 내에 다양한 오염원(각종 건축자재)과 VOCs, HCHO, 라돈, 석면, CO, CO₂, NO₂, O₃, 미세먼지(PM10), 병원성세균 등 유해한 오염물질이 존재하며, 각 오염원에서의 유해오염물질 방산정도(emission rate)에 따라 그 피해가 인체에 직접적인 피해를 미치게 된다. 이러한 오염물질 방산정도는 실내외 환경조건, 적용 건축자재의 종류 및 공법, 환기설비의 특성 및 유형 등에 따라 큰 차이를 나타낸다. 앞서 설명한 바와 같이 다양한 실내환경에 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 오

존(O_3)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.²⁾

따라서, 본 연구에서는 코로나 방전을 이용한 음이온 발생 장치 및 전기집진 장치를 UV· TiO_2 광촉매와 직렬구조로 설치하여 코로나 방전식으로 발생하는 다량의 이온으로 공기 중의 1)오염물질 및 악성 물질을 중화 시키고, 코로나 방전 시 발생하는 2)정전력을 이용하여 미세먼지를 집진하는 동시에 UV LED와 TiO_2 광촉매 반응을 이용한 3)살균 작용과 공기 정화 작용의 성능 평가 및 음이온 생성과정에서 코로나 방전으로 발생하는 약 0.05ppm의 오존(O_3)과 UV LED의 살균작용 시 발생하는 약 0.2ppm~0.3ppm 정도의 오존(O_3)의 농도를 TiO_2 광촉매를 이용하여 오존(O_3)을 0.02ppm이하로 유지하여 발생 오존(O_3)양의 제어능력과 대장균과 포도상구균과 같은 실제 세균을 제거할 수 있는 특성을 갖춘 공기정화 장치의 개발에 관한 연구이다.

2. 이론적 배경

2. 1. 코로나 방전

코로나 방전은 바늘모양의 방전전극(방전침)에 대한 전계집중에 의해 공기를 국소적으로 절연파괴 하여 코로나 방전을 발생시키고, 공기이온을 생성하는 것이다.³⁾

2개의 전극이 모두 평판 또는 지름이 큰 구(球)와 같은 경우의 전기장은 거의 균일하지만, 한쪽 극 또는 양극이 봉 형태나 침 형태로 되어 있으면, 그 극 부근의 전기장이 특히 강해져 부분적인 방전이 일어나 빛이나 소리를 낸다. 이와 같은 상태를 코로나 방전이라고 한다. 일반적으로 양극의 코로나인 경우가 음극의 코로나에 비하여 강하고 특히 코로나 방전은 돌기부에서 발생하기 쉬우며 이때 미세한 발광현상도 함께 동반하게 된다. 코로나 방전은 직류전압이나 교류전압에서도 일어나는데, 뾰족한 전극이 양(陽)쪽이나 또는 음(陰)쪽이나에 따라 발광하는 모양이 달라지며, 교류일 경우에는 주기마다 양·음의 코로나가 교대로 나타난다.⁴⁾

플러스 방전침 근방의 집중전계 내에서 공기분자는 그 외각전자를 잃고 플러스 이온이 된다. 이 때, 전자는 플러스 방전침에 붙어서 방전침으로 들어가고, 플러스이온은 방전침에 반발 하여 자유공간으로 방출된다.⁵⁾ 반대로 마이너스 방전침 근방에서의 이온생성은 플러스 방전침의 경우와 마찬가지로 집중전계 내에서 공기분자는 그 외각전자를 잃고 플러스 이온이 된다. 이탈한 전자는 다른 공기분자에 잡혀서 마이너스 이온을 형성한다. 여기에서 플러스 이온은 방전침에 붙어 방전침 표면에서 전자를 받아서 원래의 공기분자로 돌아간다. 한편 마이너스 이온은 방전침에 반발 하여 자유공간으로 방출된다.

코로나 방전의 경우 방전침에 플러스전압을 인가하였을 때에 플러스의 공기이온이 생성되며, 마이너스의 전압을 인가하였을 때에는 마이너스의 공기이온이 생성된다. 공기이온의 형태는 플러스 공기이온은 주로 물 클

러스티이온 $H^+(H_2O)_N$ 으로 구성되며 마이너스 공기이온은 O_2^- 가 주성분으로 CO_2^- , NO_2^- 등 여러 가지로 구성된다.

앞서 설명한 바와 같이 방전침의 극 부근에서 발생한 코로나 방전은 공기의 절연성을 파괴하여 이온(Ion) 상태로 만들고 이 이온은 양과 음의 극성을 띠게 되는데 이들 중 방전침에 인가되는 전압과 같은 극성의 이온들은 방전침으로부터 밀려 나아가게 되고, 다른 극성의 이온들은 방전침에 인력으로 인하여 발생과 동시에 순간적으로 방전침 쪽으로 끌려 오게 된다. 따라서 방전침에 “-” 전압을 인가하게 되면 공기가 이온화되어 양이온은 방전침 주위에 머물게 되고, 음이온은 지속적으로 방전침으로부터 밀려나오게 된다. 이러한 현상을 이온풍 현상이라고 하며 어떤 공기유체학적 에너지의 투입 없이 이온은 동일극성의 반발력에 의해 밀려 공기 중으로 분사되어지고 추가적인 장치로서 이러한 분사능력을 높여주기 위하여 압축 공기주입 또는 전기 팬 방식의 기계적 보조기기를 사용하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 이때 발생된 음이온은 공기 중의 부유 물질과 결합하여 낙하 하거나, 주로 양이온으로 구성되어 있는 오염물질과 결합하여 중화되는 과정을 통하여 공기 정화 작용을 하게 된다. 또한 음이온은 호흡을 통해 헤모글로빈과 반응하여 혈액에 녹아들고, 혈액순환을 통해 신체 각 기관의 세포로 운반되어 신진대사를 통해 각종 영양소와 에너지를 생산한다. 결과적으로 음이온은 신진대사를 원활히 하여 건강을 증진하고, 면역체계를 활성화하여 자연치유력을 증진한다.

2. 2. 오존에 대한 안전성

코로나 방전 시 방전부에서 플러스와 마이너스의 공기 이온이 생성된다. 마이너스의 코로나 방전부에서는 공기 중의 산소(O₂)가 이온화 되어 산소이온(O₂⁻)이 되지만 동시에 각종 화학반응이 일어나 활성산소(O)도 발생하므로 이 활성산소는 산소(O₂)와 반응하여 오존(O₃)를 생성한다.



오존은 소량이면 건강에 좋다고 하지만 공기 중의 농도가 높아지면 신체에 해가 있으며, 환경 상으로도 문제가 된다. 그것은 식(1)의 반응이 가역반응이고 오존은 상온에서도 분해하여 활성산소가 생성되어 강력한 산화제, 살균제가 되기 때문이다. 따라서 오존의 취급에 대해서는 주의하여야 한다.

현재 오존농도에 대한 규정과 규격 등으로 사무기기의 규제(UL114)의 발취를 표 2. 1에 나타낸다. 이 규제에서는 8시간의 가동시간의 평균농도로서 0.1ppm 이상을 상회하지 않거나 일시적인 최고 농도가 0.3ppm 이상이 되지 않을 것으로 되어 있다. 또한 공기청정기의 규제(UL867)의 발취를 표 2. 2에 나타낸다. 이 규제에서는 가정에서 사용되는 휴대용 제품을 규정 조건에 따라 시험한 경우, 오존농도가 체적비로 0.05ppm을 상회하지 않도록 되어 있다. 다음은 오존농도에 대한 국제 규격 이다.⁶⁾

UL114 : 사무기기에서 발생하는 오존농도에 관한 규제

UL478 : 정보처리 및 사무용 기기에서 발생하는 오존농도에 관한 규제

UL867 : 공기청정기에서 발생하는 오존농도에 관한 규제

TITLE40 : Protection of Environment PART 50 USA, EPA STD.

ACGH : American Conference of Governmental industrial Hygienists

Table. 1. 사무기기에서 발생하는 오존농도에 관한 규제(UL114)

28.오존시험	
28.1	28.2 및 28.3에 따라 시험한 경우, 청정가동 중에 오존을 발생시키는 장치의 시가조정이 완료된 평균농도는 백그라운드와 비교해서 0.1 ppm 이상을 상회하지 않는 혹은 일시적인 농도가 0.3 ppm 이상이 되지 않는 것으로 한다. 시간조정이 끝난 평균농도는 8 시간의 가동기간의 평균농도로 생각한다.
28.2	오존농도측정은 약 1,000 제곱피트(8 × 12 × 높이 10피트)의 밀폐한 방의 중앙에 장치를 설치하고 각 조작자 위치에서 실시하도록 한다. 27장에서 해설한 대로 온도시험과 같은 방법으로 장치를 동작시킨다. 시험실은 표준온도 및 상대습도로 유지하고 정상적인 기기의 운전에서 발생하는 이외의 공기순환은 없도록 한다.
28.3	송풍기나 히터의 일부를 작동시키지 않은 상태 혹은 페이퍼 또는 작동액, 또는 그 양쪽이 없어진 상태에서 기기의 가동이 가능한 경우, 28.2에서 해설한 시험을 각종 부품을 작동시키지 않은 상태, 혹은 종이나 작동액이 없어진 상태에서 반복해서 실시한다. 그 때, 이 상태에 따라 오존농도가 28.1의 규정을 상회하지 않는다는 것을 명확히 할 수 있는 횟수, 반복하도록 한다.

Table. 2. 공기청정기에서 발생하는 오존농도에 관한 규제(UL867)

36. 오존	
36.1	가정에서 사용되는 휴대용 제품은 36.2~36.7에 따라 시험한 경우, 오존 농도가 체적비로 0.05 ppm을 상회하지 않도록 한다.
36.2	시험실은 개구부가 없는 8 × 12 × 10 피트(2.4 × 3.7 × 3.0 m)로 한다. 시험실의 벽은 모두 폴리에틸렌시트로 덮는다.
36.3	시험 중에 시험실은 온도를 약 25℃, 상대습도를 약 50 %로 유지한다. 본 시험의 개시 전 및 직후에 제품을 제거하고 오존의 백그라운드 수준을 측정한다. 백그라운드 수준의 평균을 계산하여 시험 중의 최대값에서 뺀다.
36.4	제품은 시험실 바닥의 중앙에 설치하거나 탁상용 제품의 경우는 바닥 위 30인치(762 mm)에 설치한다.
36.5	오존 감시장치의 시료채취관은 제품의 배기구에서 2 인치(50mm) 떼고 직접 배기류 안에 넣도록 설치한다.
36.6	오존의 배출을 24 시간 감시하고 농도를 측정한다.
36.7	송풍기의 일부를 작동시키지 않은 상태 혹은 필터를 뗀 상태에서 제품의 가동이 가능한 경우, 36.1~36.6에서 해설한 시험을 각종 부품을 작동시키지 않은 상태 혹은 필터를 뗀 상태에서 반복한다. 이 때, 이런 상태에 의해 오존농도가 0.05 ppm을 상회하는 일이 없다는 것을 명확히 할 수 있는 횟수, 반복하도록 한다.

오존의 작업환경농도의 기준 값은 러시아를 포함한 동유럽이 0.05ppm으로 엄격한 기준 값을 설정하고 있지만, 일본, 미국, 서유럽 등의 대부분의 국가에서는 0.1ppm을 규제 기준 값으로 하고 있다. 일본에서는 오존의 환경 기준 값으로서 1973년에 환경청에서 광화학 옥시던트(90% 가까이 오존)로 0.06ppm(1 시간 측정값)이라는 값이 제시되었다.⁷⁾ 또한 1985년에 일본산업위생학회에서 오존의 허용농도 등의 권고 값으로 0.1ppm이 나와 있다.

2. 3. TiO₂ 광촉매

환경오염물질 중에서 대부분의 유기화합물은 TiO₂의 광산화 촉매작용으로 이산화탄소와 물로 분해할 수 있다. 또는 무기 오염물질인 질소산화물과 황산화물 등을 산화시켜 질산과 황산으로 만들고 물로 회수할 수 있다. TiO₂를 이용한 광촉매 산화는 상대적으로 값이 싸고, 다른 첨가제의 사용이 필요치 않으며, 독성오염물의 제거에 효과적이며, 반응 부산물로 H₂O, CO₂, HCl(염소를 포함하는 유기 화합물의 경우)이 생성되는 등의 장점을 가지고 있다. 이러한 광촉매 산화 기술은 액상 오염물 처리를 위하여 폭넓게 연구되어져 왔으며, 최근에는 실내공간 오염물질 중 HCHO와 VOCs처리에 적용되어 연구되어지고 있다.⁸⁾ 광촉매 반응에 대한 연구는 촉매화학 분야에 있어서 비교적 그 역사가 짧은 분야이다. 1921년 Renz⁹⁾가 TiO₂ 와 자외선을 이용하여 유기물 산화를 관찰한 이후 Bickley¹⁰⁾ 등에 의해 rutile TiO₂ 상에서의 광촉매 산화반응이 처음 연구되었으며, 1970년대 이후에 광촉매 반응에 대한 연구가 활발히 진행되었다.

광분해는 유해한 반응 부산물을 줄이기 위한 광자와 화합물의 반응으로 유기화합물의 화학적 결합을 파괴시켜 유기화합물을 분해시키는 반응이다. 즉, 광분해는 광을 연속적으로 흡수할 수 있는 더 작은 분자의 부산물을 생성하여 연속적인 광흡수를 통해 더 작고 거의 무해한 분자로 분해시킨다. 오염물 분자의 결합 파괴가 일어나기 위해서는 광원이 오염물에 의해 흡수되어질 수 있는 자외선 영역의 파장을 방사하여야 한다. 그러나 모든 오염물과 반응 부산물의 흡수 밴드와 광원의 파장을 일치시키는 것은 매우 어렵기 때문에 유기화합물은 일반적으로 OH 라디칼을 생성하기 위해 과산화수소나 오존을 광분해하는데 자외선 에너지를 이용하는 간접적인 광화학 과정을 통하여 분해된다.¹¹⁾

이러한 UV 광산화, 광분해 기술은 수 처리 분야에서는 그 적용에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 반면에 대기 중의 VOCs이와 같은

자외선 광산화, 광분해 기술은 수 처리 분야에서는 적용에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 반면에 대기 중의 VOCs 처리에의 적용에 관한 연구는 아직까지 활발하게 이루어지지 않고 있다. 수 처리 분야에선 미국 및 캐나다에서는 이미 10여 년 전에 UV를 이용한 균일계 광분해 산화 시스템인 AOT 공법(Homogeneous Photolysis : UV/Oxidation AOT)이 실용화되어 독성 및 난분해성 유기물질 정화에 널리 적용되고 있으며, 최근에는 국내에서도 활발한 연구와 현장 적용이 이루어지고 있다.¹²⁾

광촉매는 촉매의 일종으로 빛을 받으면 촉매작용을 일으키는 물질을 말하며, 이러한 광촉매에는 이산화티탄과 같은 금속산화물과 복수의 금속을 포함한 복합산화물, CdS와 같은 금속 황화물, CdSe과 같은 금속 칼코게나이트, 그리고 Si, Ga, As 등이 있다. 이들 모두는 빛을 쬐이면 전기를 통하므로 광 반도체라 불리며, 전도대(Conduction Band; CB)와 가전도대(Valence Band; VB) 사이의 에너지 차(Band Gap Energy)에 해당하는 에너지를 가진 빛을 쬐이면 고온에서와 같이 전자가 전도대로 튀어 올라갈 수 있다.

Band Gap Energy는 반도체에 따라 변화가 크며, 주요 반도체의 Band Gap Energy를 아래 Fig. 1에 나타내었다.

이산화티타늄의 Band Gap Energy인 3.0eV는 빛의 파장으로 약 400nm의 근자외선에 해당되며, ZrO₂의 5.0eV는 250nm의 자외선에, Si는 1.1eV로 약 1,130nm의 근적외선에 해당된다. 태양광의 파장분포를 고려하며, 4.1eV 즉, 300nm보다 작은 Band Gap을 가진 반도체는 태양광을 이용할 수 있다. Fig. 1의 종축은 물의 환원(수소생성)과 물의 산화(산소생성)의 전위를 나타내고 있는데, 반도체 전도대(CB)의 전위가 수소생성 전위보다 크면 수소생성이, 가전도대(VB)가 산소생성전위보다 작으면 산소생성이 가능함을 의미 한다.

그리고 가전도대(VB)의 깊이는 그 반도체의 산화력의 세기를 나타내고 전도대(CB)의 높이는 환원력의 세기를 나타내며, 환경오염물질의 분해나 처리에는 광촉매의 산화력이 중요한 고리가 된다. 금속 황화물과 금속 칼코게나이트는 가시광을 이용할 수 있다는 점에서 아주 유리하지만 가전도대(VB)가 얇은 것이 많다. 그러므로 가시광을 이용하기는 어렵지만 가전도대(VB)가 깊은 금속 산화물이 오염물질의 분해나 처리에 위력을 발휘한다.

특히 TiO_2 는 지구상의 암석 등 지각을 구성하는 주요 구성 성분으로 그 양이 풍부하여 가격이 저렴하고, 화학적으로 매우 안정하며 중독성과 발암성이 없는 안전한 물질로 광촉매의 원료로 가장 많이 사용되고 있다.

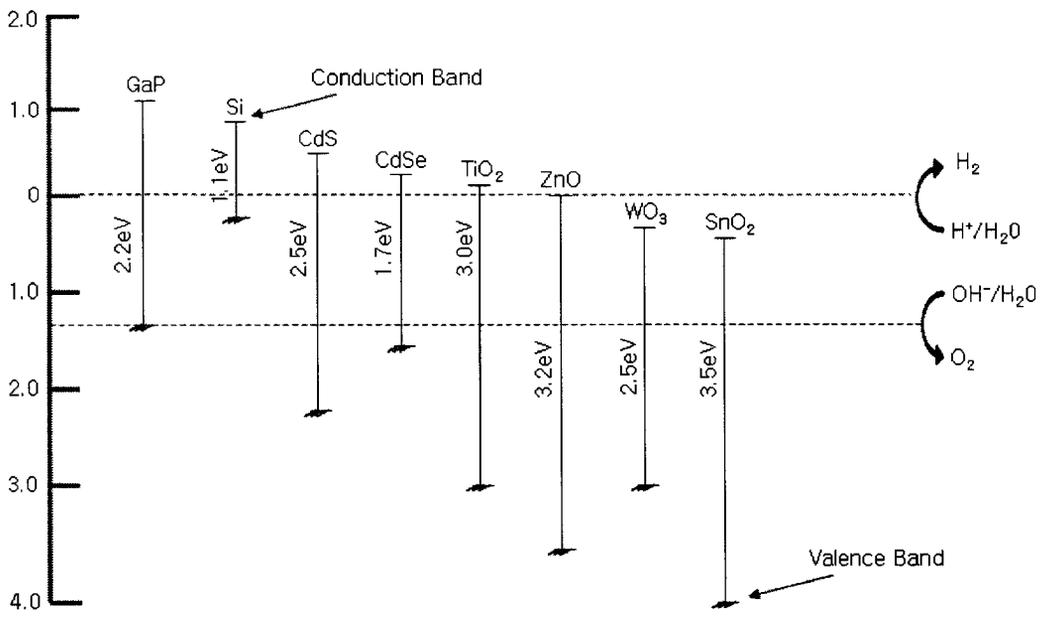


Fig. 1. The band gap energy of semiconductor.

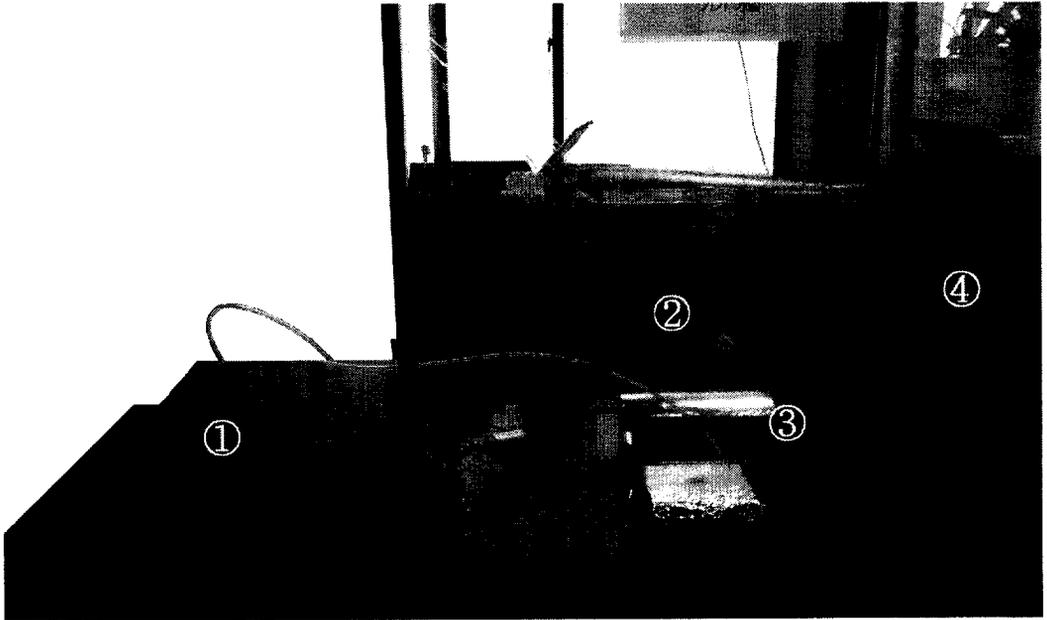
2. 4. 공기정화 장치의 개발

방전침을 이용한 코로나 방전으로 발생된 풍부한 양의 음이온과 더불어 집진판을 이용하게 되면 오염물질 뿐만 아니라 공기 중에 부유하고 있는 미세먼지를 흡착 시킬 수 있는데 이는 지속적인 음이온의 발생으로 인한 이온풍에 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 TiO_2 광촉매의 오존 분해 기능으로 발생 오존량을 0.003ppm 이하로 제어할 수 있으며, 대기 중의 VOCs 를 분해할 수 있다. 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 단순한 구조를 가지게 하는데 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. 기체상태의 대표 오염물질 분해 능력 평가 실험

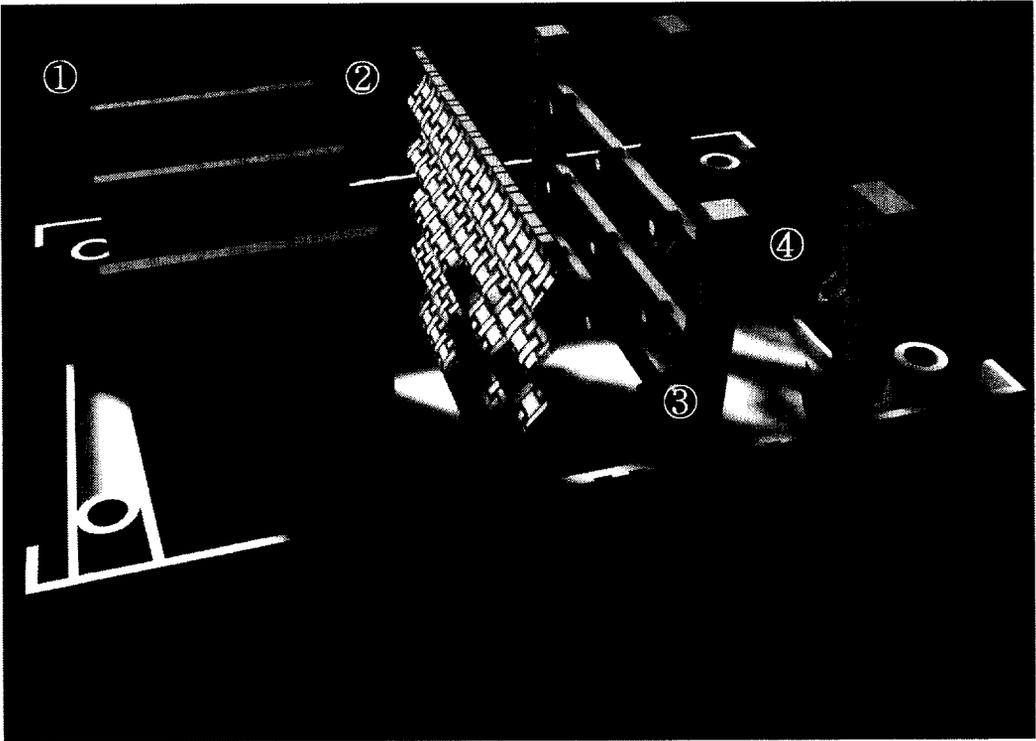
코로나 방전으로 생성되는 이온의 공기 정화 능력과 전기 집진판의 성능 및 TiO_2 광촉매를 이용한 광반응 작용으로 인한 공기 정화 능력을 평가하기 위하여 그림 1과 같은 가로, 세로, 높이를 1미터(m)로 제작한 아크릴 챔버(Chamber)에 설치하고, 실내 공기 오염물질 및 악취 물질 중 대표적인 톨루엔, 암모니아, 황화수소를 검지관법을 이용하여 시간에 따른 오염농도의 변화량 측정하였다. 또한, 각 장치에서 발생하는 오존(O_3) 농도를 O_3 Analyzer(오존 농도 측정기)로 측정하여 오존(O_3) 발생 및 감쇄 농도를 측정하였다. 본 실험에 사용된 코로나 방전식 이온 발생 장치는 텅스텐 재질(99.99%)의 방전침을 사용하였으며, 방전침의 경우 -4 kV의 고압을 인가하여 이온을 생성하였다. 전기 집진판은 SUS 304를 가공하여 장착하고, UV LED는 이츠웰사의 (IWU-TB365MXX)를 사용하였다. UV LED는 365nm의 파장의 빛을 조사 한다. 실험 결과는 1시간 동안의 농도 변화를 검지관법을 이용하여 3회 측정 후 평균치를 그래프로 나타내었다. 또한 음이온의 작용으로 인한 오염물질 분해 능력과 UV LED의 분해 능력 평가를 위하여 이 두 가지 요소를 적용한 상태의 오염물질 분해 능력을 평가 하였다.



각부의 명칭

- | | |
|---------------------------------------|----------------|
| ① O ₃ Analyzer (오존 농도 측정기) | ③ 공기 정화 장치 |
| ② 검지관 투입구 | ④ 챔버(1m×1m×1m) |

Photo. 1. 공기 정화 능력 평가 장치



각부의 명칭

① 전기 집진판

③ UV LED

② TiO₂ 광촉매 필터

④ 방전전극

Photo. 2. 공기정화 장치의 구성도

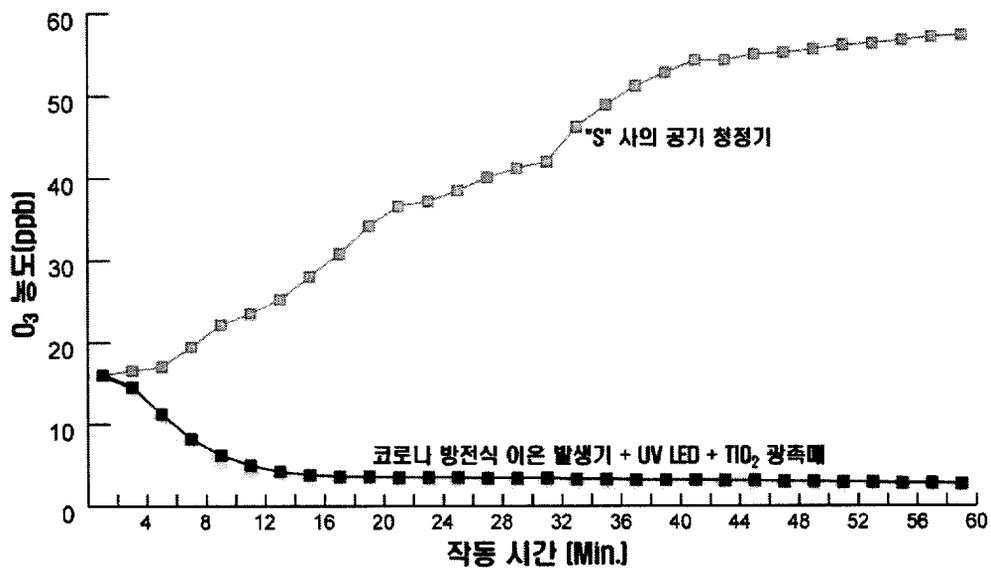


Fig. 2. 시간에 따른 오존(O₃) 농도의 변화량

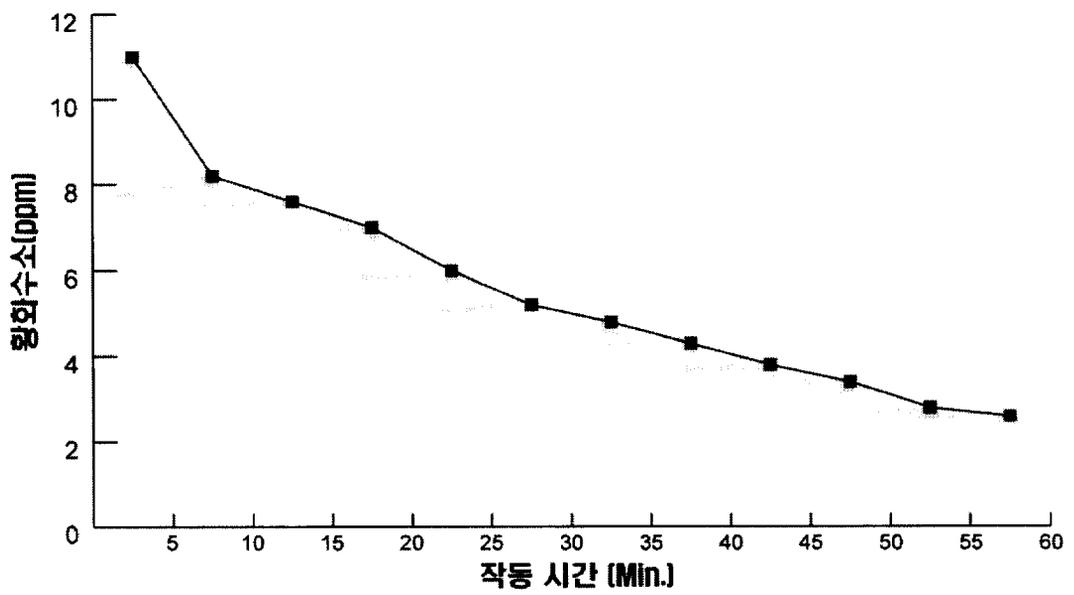


Fig. 3. 시간에 따른 황화수소(H₂S) 농도의 변화량

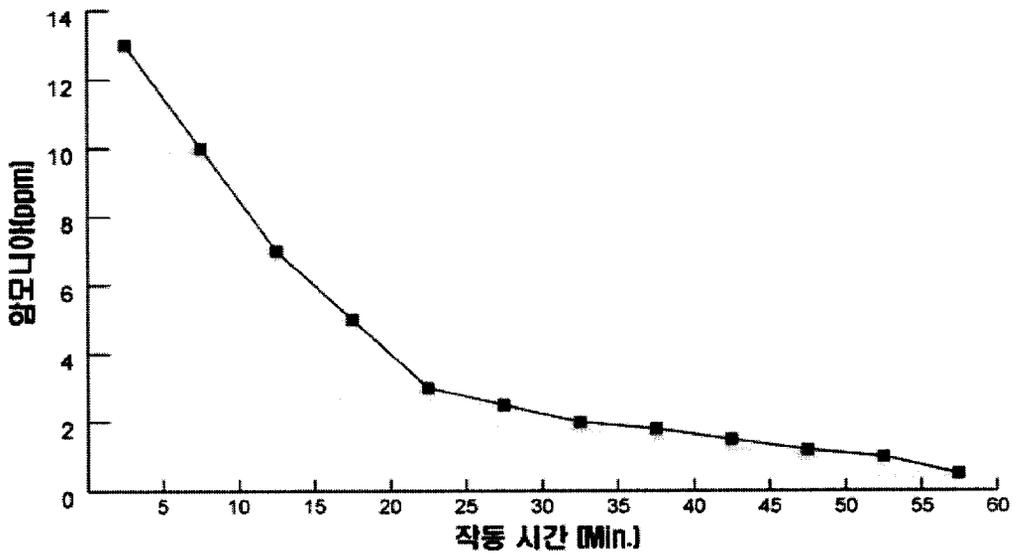


Fig. 4. 시간에 따른 암모니아(NH₃) 농도의 변화량

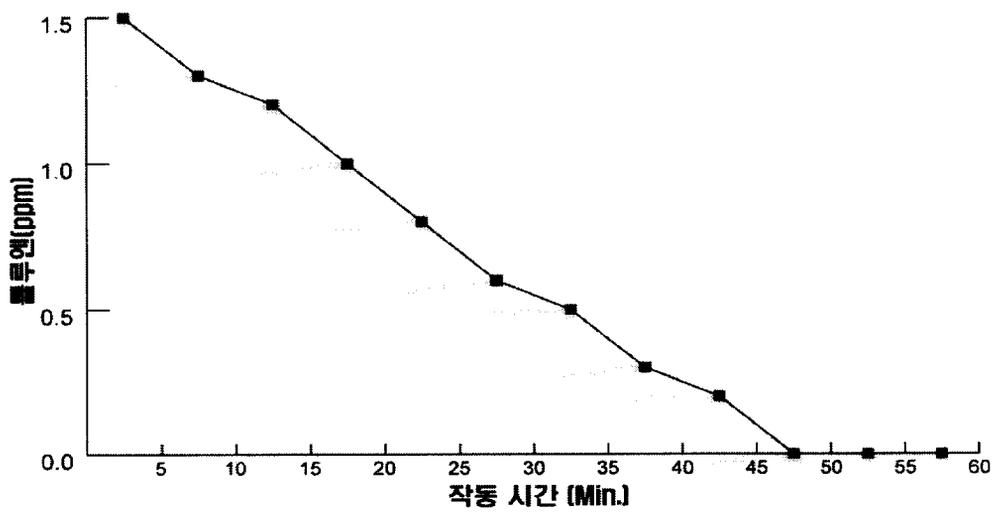


Fig. 5. 시간에 따른 톨루엔(C₇H₈) 농도의 변화량

Fig. 2는 시간의 경과에 따른 오존농도의 변화량을 나타낸 것이다. Fig. 2의 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, 코로나 방전식 이온 발생기와 UV/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. 3은 시간의 경과에 따른 황화수소 농도의 변화량을 나타낸 것으로, Fig. 3의 결과에서 알 수 있듯이 황화수소(H₂S)의 정화능력 시험에서는 60분경과 시 약 80%의 황화수소(H₂S)를 분해되는 것으로 나타났다. 분해 능력은 입증은 되었으나, 분해 시간이 다소 오래 걸리는 경향을 보이고 있다.

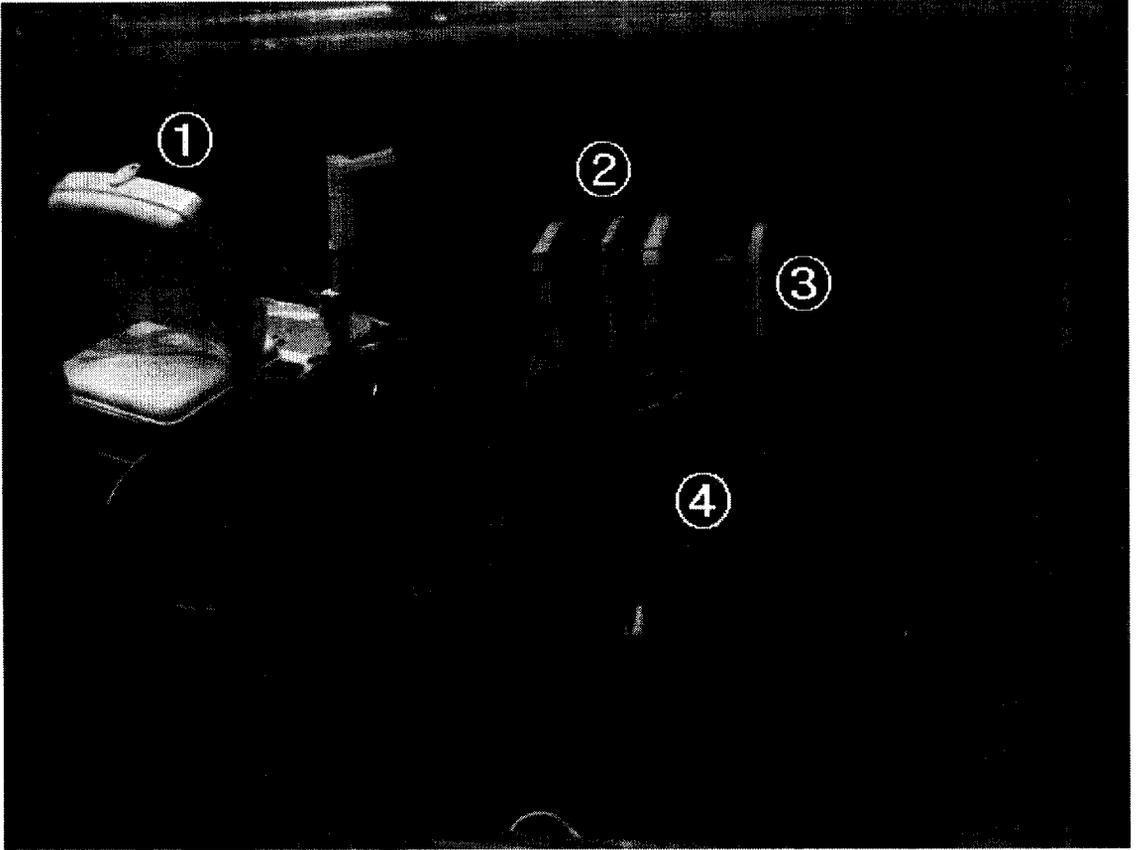
Fig. 4는 시간의 경과에 따른 암모니아 농도의 변화량을 나타낸 것으로 Fig. 4의 결과에서 알 수 있듯이 분해능력 시험에서 30분경과 시 약 80%의 암모니아(NH₃)가 분해되며, 60분경과 시 1ppm 미만의 암모니아(NH₃)가 검출되었다.

Fig. 5는 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(H_2S), 암모니아(NH_3)와 휘발성유기화합물의 분해 능력을 시험한 결과 휘발성유기화합물의 분해 능력이 매우 뛰어난 것으로 판명되었으며, 발생된 오존의 농도가 0.003ppm 이하로 매우 적게 검출되었으나, 악취물질의 경우 분해시간이 다소 많이 소요되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 코로나 방전으로 발생하는 이온과 UV LED와 광촉매(TiO_2)의 오존(O_3)분해 능력 및 공기 정화능력이 매우 우수한 것으로 입증 되었으나 악취물질에 대한 연구는 향후 보완이 필요하다고 생각된다.

3. 2. 세균 제거 능력 평가에 대한 실험

앞서 시행한 기체상태의 오염물질 제거 능력에 대한 실험과 더불어 세균의 살균능력에 대한 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 세균은 대장균과 포도상구균이며, 가로 세로 높이 각각 1m 크기의 아크릴 챔버에 분사기를 이용하여 분사 시킨 후 페트리 디쉬(Petri Dish)에 포집 되는 세균의 숫자를 파악하여, 세균의 살균능력을 파악 하였다. 각 실험결과를 세균을 챔버 내에 분사 후 페트리 디쉬에 검출되는 균의 숫자를 30분 간격으로 직접 세는 방법으로 산정하였으며, 대장균과 포도상구균을 선택한 이유는 세균 중 가장 대표적인 세균으로 이 두 가지의 세균의 살균능력이 입증된다면, 다른 세균들에 대한 살균력을 비교 평가가 가능하기 때문이다. 이 실험은 공기 중에 부유하는 세균에 대한 포집 능력 및 살균 능력을 파악하기 위한 실험이고 실질적인 살균능력의 평가를 위하여 실험용 챔버에 직접 세균을 분사하여 페트리 디쉬에 검출되는 세균의 수를 파악하여 실질적인 살균력에 대한 평가를 실시하였다. 실험에 사용된 대장균과 포도상구균은 각각 24시간 동안 배양하여 실험 하였다.



각부의 명칭

① 세균 분사기

③ Petri dish

② 공기정화 장치

④ 내부 공기 순환 용 Fan

Photo. 3. 세균 제거 능력 평가 실험 장치

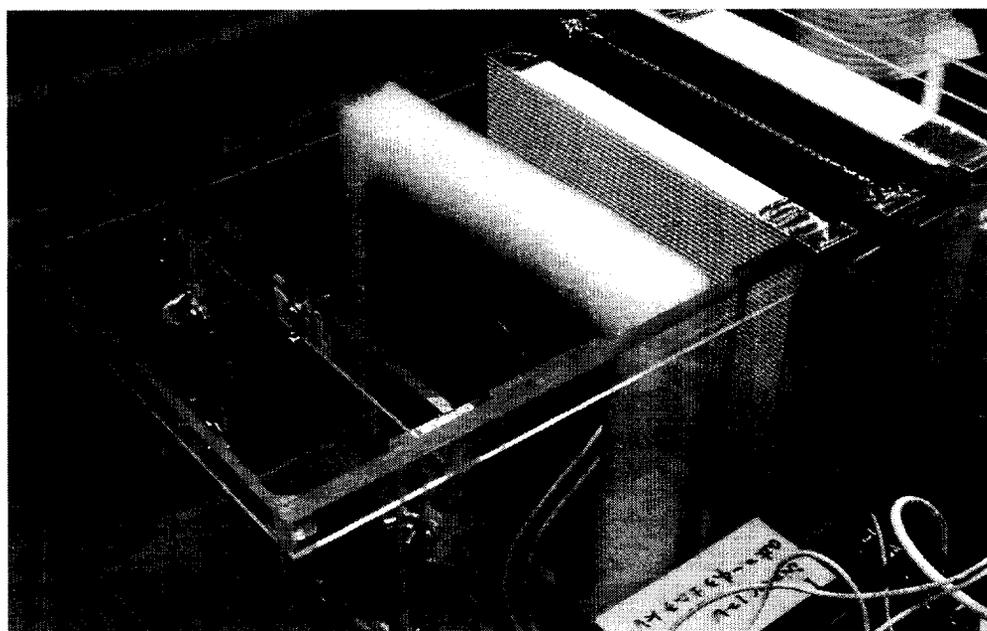
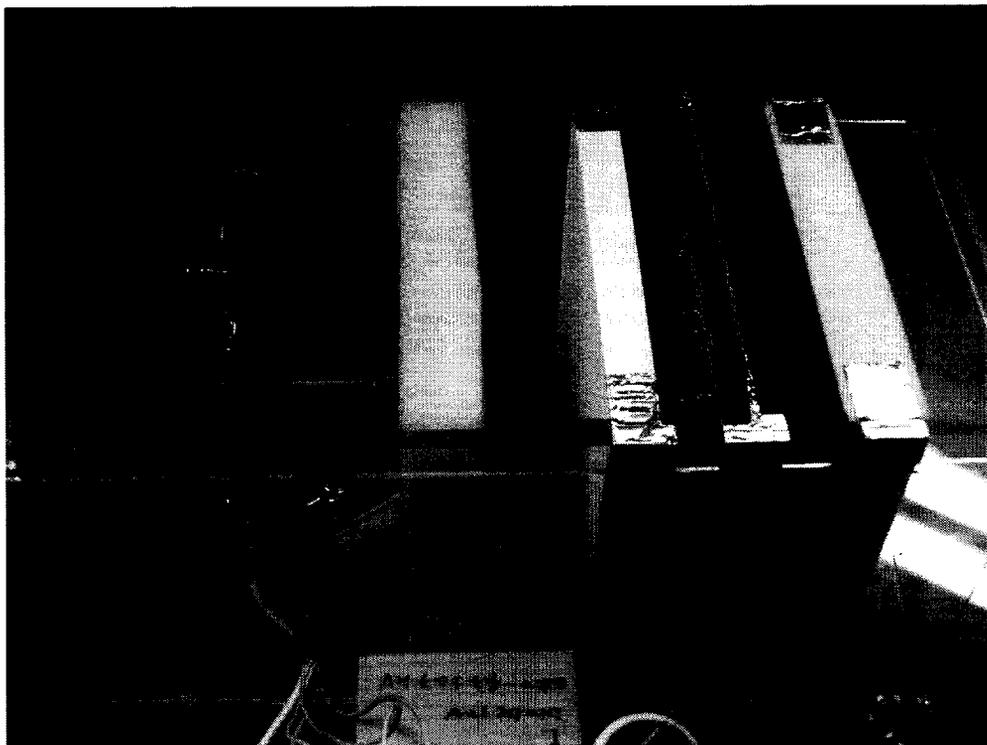
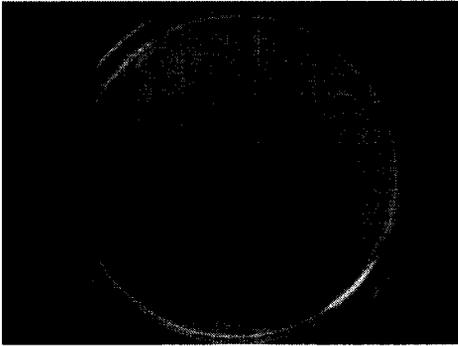
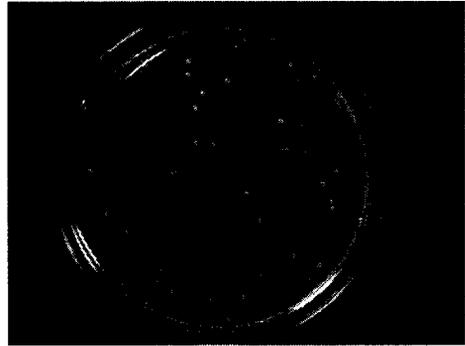


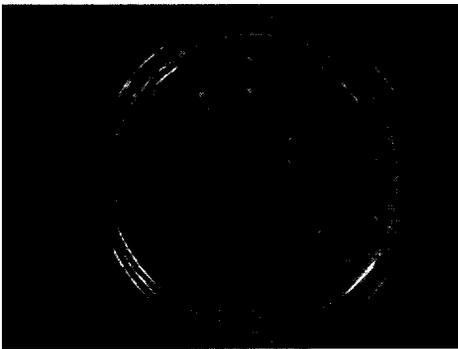
Photo. 4. 공기정화장치의 외형



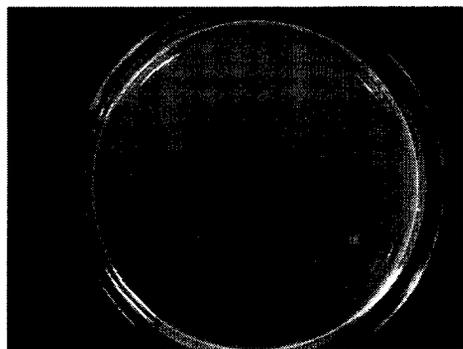
30분경과 후 의 세균



60분경과 후 의 세균



90분경과 후 의 세균



120분경과 후 의 세균

Photo. 5. Petri Dish에서 검출 된 세균의 수

포도상구균(*S. aureus*) 감소율

(단위 : 개)

	30 min	60 min	90 min	120 min
Subject	9220	95	22	3
감소율(%)		(98.9%)	(99.8%)	(99.9%)

Table. 3. 포도상구균 감소율 실험결과

대장균(*E.coli*) 감소율

(단위 : 개)

	30 min	60 min	90 min	120 min
Subject	3265	278	4	1
감소율(%)		(91.4%)	(99.8%)	(99.9%)

· 감소율의 계산은 30분제 검출된 균수를 기준으로 하여 산정함.

Table. 4. 대장균 감소율 실험결과

3. 3. 미세 먼지에 대한 집진 능력 평가 실험

공기 중에 부유 하는 미세 먼지의 집진 능력을 평가하기 위하여 일정 양의 미세 먼지의 무게를 측정 한 후 20분 동안의 미세 먼지의 무게 변화를 통하여 집진 능력에 대한 성능을 평가 하였다. 실험은 1m³ 챔버 내에 초기 농도 1070 μ g/m³(국내 실내기준의 약 7배)의 먼지 대체 입자인 향 연기(입자 크기 : 0.01 ~ 1 μ m)로 측정 하였다.

일반 실내 미세먼지 오염농도보다 높은 환경에서 미세먼지의 기준 입자크기 10 μ m보다 현저하게 낮은 향 연기 입자를 이용하여 먼지제거시험을 실시함으로써, 일반 실내에서의 집진성능의 신뢰성을 극대화 할 수 있다.

먼지는 대략 0.005 ~ 500 μ m 의 크기를 가지고 있으며 입자의 직경이 10 μ m(2.5 μ m)미만의 미세입자와 10 μ m(2.5 μ m)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.

미세먼지의 농도	인체의 영향
100~135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	만성호흡기 질환자의 사망률 증가.
150~350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15세 미만 어린이 집단에서 기도질환이 악화하거나 발생 빈도증가.
300~1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	기관지염 환자의 병세가 급격히 악화.
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상	24시간 이상 흡입 시 일반인 폐기능 손상.

Table. 5. 미세먼지의 영향

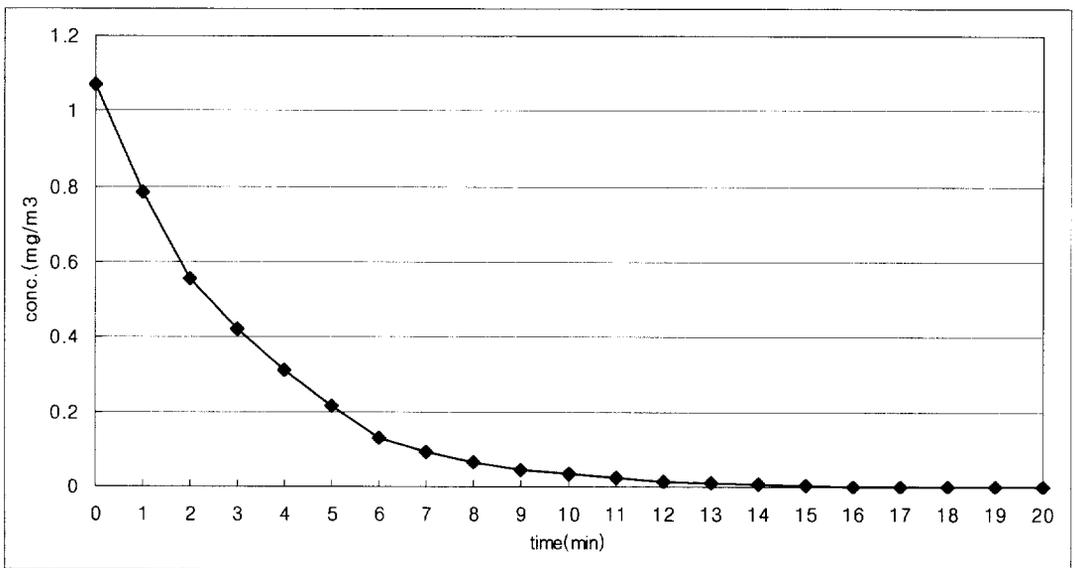


Fig. 6. 미세 먼지 농도 변화량

4. 결론

4. 1. 기체상태의 대표 오염물질 분해 능력 평가 실험

대표적인 악취 물질인 황화수소(H_2S), 암모니아(NH_3)와 휘발성유기화합물의 분해 능력을 시험한 결과 휘발성유기화합물의 분해 능력이 매우 뛰어난 것으로 판명되었으며, 발생된 오존의 농도가 3ppb 이하로 매우 적게 검출되었으나, 악취물질의 경우 분해시간이 다소 많이 소요되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 코로나 방전으로 발생하는 이온과 UV LED와 광촉매(TiO_2)의 오존(O_3)분해 능력 및 공기 정화능력이 매우 우수한 것으로 입증 되었으나 악취물질에 대한 연구는 향후 보완이 필요하다고 생각된다.

4. 2. 세균 제거 능력 평가에 대한 실험

살균 능력 실험에서 사용한 세균은 대장균과 포도상구균이며, 이 두 가지 세균은 제거하기 어려운 세균으로 살균 능력에 대한 평가기준이 될 수 있다. 결과는 포도상구균의 경우 60분경과 후 측정결과 98.9%의 효율을 보였으며, 120분경과 후에는 99.9%의 살균 능력을 보여 주었다. 대장균의 경우는 60분경과 후에는 69.2%, 120분경과 시 99.9%의 살균 능력을 보여 주었다.

4. 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 검출되지 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 이

루어진다면, 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) 이승우, "실내공기질 공정 시험방법 도출 연구", 국립환경연구원, 2004.
- 3) Ken Murray, Vaughn Gross, "Ozone and Small Particle Production by Steady state DE Hood Ionization" : EOS/ESD Symposium Proceeding(1989)
- 4) 김두현 등, "전기안전공학" 신평문화사, 1998, pp 151, 435~436.
- 5) 村上俊郎, "정전기 방전 장애방지 대책" : 정전 제어용 이온라이저의 평가 방법에 대한 표준화 연구, 산업자원부 기술표준원, 2005, pp 226
- 6) "ESD에 민감한 디바이스 시스템의 장애방지대책에 관한 조사연구, 일본전자부품신뢰성센터, 1999
- 7) "ESD 손상모델", pp.186-187(플라스틱에이지 1992. 10)
- 8) 김보경 "UV/광촉매 산화 복합공정을 이용한 실내공기 정화에 관한 연구", 동아대학교, 박사학위논문, 2004.
- 9) Renz, C., *helv. Chmistry. Acta.*, 4, 961, 1994
- 10) Gickley, R. I., Munera, G. and Stone, F. S., *J. catal.*, 31, 398, 1973
- 11) W. E. Schwinkendorf et al., "Evaluation of alternative nonflame technologies for destruction of hazardous organic waste", U.S. Department of Energy(1997)
- 12) 영창건설주식회사 환경사업, "고급산화공법을 이용한 독성 및 난분해성 유기오염물질 처리 기술, 환경보전", 1997, pp. 14-21.

Study about developing air cleaner with an Ionizer and an optical catalyzer

Chung-han Shim

Department of Safety Engineering

Graduate School of Industry

Pukyong national University

ABSTRACT

The rapidly advanced industrial society takes advantage of high-technology, but it is also suffered from the side effects such as a respiratory disease, a skin disease and 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. As the resource of Indoor air contamination is growing, the needs of air cleaner on Indoor Air Environment is more

Recently, Korea is classified into one of the countries that have the most serious degree of air pollution in atmosphere. In many cases, the quality of contaminated out door air environment affects the quality of Indoor Air Environment. By the component of contaminated air, Indoor Air Environment is given to more severe influence. Although we spend most of our e time in indoors, we often overlook this severe problem. In addition, our effort to developthe quality of Indoor Air Environment is weak. There are a lot of resources and harmful materials to contaminate Indoor Air

Environment such as various dusts in the structure, radon, VOCs, HCHO, asbestos, CO₂, NO₂, O₃, PM₁₀, Virus. Each contamination resource directly influences harmful effect to the human body according to the degree of emission rate. The emission rate has big differences according to the environmental condition of indoors and outdoors air environment, building material, the method of construction and the character of ventilation system. As I mentioned earlier in this paper, it is difficult to find appropriate air cleaner system under various circumstances. The quality of domestic air cleaners is far behind comparing to foreign goods. Even, domestic goods emit much quantity of O₃ that is harmful for human body. Therefore, many consumers are exposed to the risk of contaminated air using the domestic goods. Although the association of Korea Clean Air sets up the standard of recommendation of Ozone as 0.005ppm, most domestic goods' emission rate exceeds the standard.

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. According To this purpose of study, we use the negative ion generator and the electrical dust collector, which are connected with UV, TiO₂ optical catalyzer using series way. This device emits a lot of 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.