

# 코로나 방전식 이온 발생장치와 전기 집진 장치 및 UV 광촉매를 이용한 실내공기정화 장치의 개발에 관한 연구

심충한 · 이동훈\*

부경대학교 대학원 안전공학과 · \*부경대학교 안전공학과

## 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 공기오염이라 할 수 있을 것이다. 이러한 공기오염은 실외에 국한되지 않고 밀폐화 되고 있는 실내에서 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 공기오염이 매우 심각한 나라로 분류되고 있다. 실외공기 질의 악화는 실내공기질에도 악영향을 주며, 오염물질에 따라서는 실외보다 실내공기질이 더 좋지 않는 경우도 많다. 그러나 실제 우리가 대부분의 시간을 실내에서 보내고 있다는 사실에 비추어 볼 때 실내공기질에 대한 관심과 개선 노력은 매우 미약한 실정이다.<sup>1)</sup> 실내공기오염은 건축물 내에 다양한 오염원과 VOCs, HCHO, 라돈, 석면, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, 미세먼지(PM10), 병원성세균 등 유해한 오염물질이 존재하며, 각 오염원에서의 유해오염물질의 방산정도(emission rate)가 실내의 환경조건, 적용 건축자재의 종류 및 공법, 환기설비의 특성 및 유형 등에 따라 큰 차이를 나타낸다. 이와 같이 다양한 실내환경에 적합한 공기 정화 시스템을 구축하기는 매우 어려운 문제임에도 불구하고 현재 우리나라에서는 약 100여개 업체에서 각기 다른 기능을 갖춘 공기정화 장치를 시판 중이다. 그러나 대부분의 제품들이 해외 유명 브랜드 제품의 성능에 따라가지 못하는 실정이다. 또한 현재의 출시된 제품 중 대부분이 다량의 오존(O<sub>3</sub>)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.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 코로나 방전을 이용한 음이온 발생 장치 및 전기집진 장치를 UV-TiO<sub>2</sub> 광촉매와 직렬로 설치하여 코로나 방전식으로 발생하는 다량의 이온으로 공기 중의 오염물질 및 악성 물질을 중화 시키고, 정전력을 이용하여 미세먼지를 집진하는 동시에 UV TiO<sub>2</sub> 광촉매를 이용한 살균 작용과 공기 정화 작용 및 코로나 방전으로 발생하는 이온이 다시 결합하여 약 0.05ppm의 오존(O<sub>3</sub>)을 형성하는 작용을 방지하고, UV LED에서 발생하는 약 0.2ppm~0.3ppm 정도의 오존(O<sub>3</sub>)을 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 이용하여 완전히 중화시키는 특성을 갖춘 공기정화기의 개발에 관한 연구이다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 코로나 방전

코로나 방전은 2개의 전극사이에 고 전압을 가하면, 아크-방전이전에 일어나는 것으로, 전기장의 강한 부분만이 발광하여 전도성을 갖는 현상을 말한다. 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.<sup>3)</sup>

방전 침의 극 부근에서 발생한 코로나 방전은 공기의 절연성을 파괴하여 이온(Ion) 상태로 만들고 이 이온은 양과 음의 극성을 띄게 되는데 이들 중 방전침에 인가되는 전압과 같은 극성의 이온들은 방전침으로부터 밀려 나아가게 되고, 다른 극성의 이온들은 방전침에 인력으로 인하여 발생과 동시에 순간적으로 방전침 쪽으로 끌려오게 된다. 따라서 방전침에 “-” 전압을 인가하게 되면 공기가 이온화 되어 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 공기중으로 분사되어지고 추가적인 장치로서 이러한 분사능력을 높여주기 위하여 압축 공기주입 또는 전기 팬 방식의 기계적 보조기기를 사용하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 이때 발생된 음이온은 공기중의 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. UV TiO<sub>2</sub> 광촉매

환경오염물질 중에서 대부분의 유기화합물은 TiO<sub>2</sub>의 광산화 촉매작용으로 이산화탄소와 물로 분해할 수 있다. 또는 무기 오염물질인 질소산화물과 황산화물 등을 산화시켜 질산과 황산으로 만들고 물로 회수할 수 있다. TiO<sub>2</sub>를 이용한 광촉매 산화는 상대적으로 값이 싸고, 다른 첨가제의 사용이 필요치 않으며, 독성오염물의 제거에 효과적이며, 반응 부산물로 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, 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 적용되

어 연구되어지고 있다.<sup>4)</sup>

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.<sup>5)</sup> 이와 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.<sup>6)</sup>

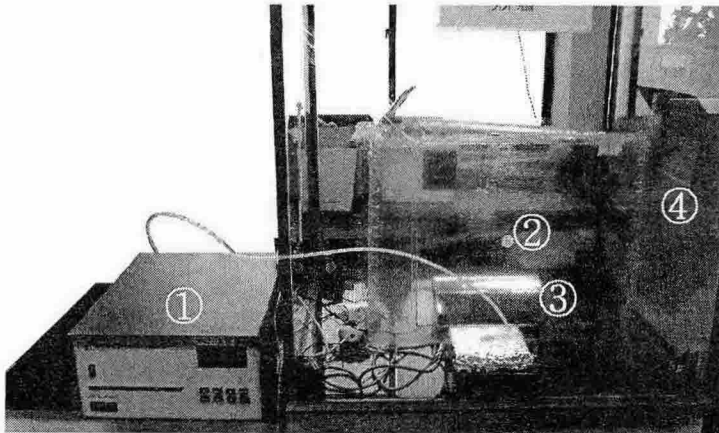
### 2.3. 공기정화 장치의 개발

방전침을 이용한 코로나 방전으로 발생된 풍부한 양의 음이온과 더불어 집진판을 이용하여 하면 오염물질 뿐만 아니라 공기중에 부유하고 있는 미세먼지를 흡착 시킬 수 있는데 이는 지속적인 음이온의 발생으로 인한 이온풍에 의하여 발생하는 대류 현상을 이용하여 장치 외부의 공기 흡기부 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 UV  $TiO_2$  의 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 공기 청정기의 구조 또한 매우 단순한 구조를 가지게 하는데 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

### 3. 결과 및 고찰

코로나 방전으로 생성되는 이온의 공기 정화 능력과 전기 집진판의 성능 및 UV  $TiO_2$ 의 공기 정화 능력을 평가하기 위하여 그림 1과 같은 가로, 세로, 높이를 1미터(m)로 제작한 아크릴 챔버(Chamber)에 설치하고, 실내 공기 오염물질 중 대표적인 톨루엔, 암모니아, 황화수소를 투입하여 시간에 따른 오염도를 측정하였다. 또한, 각 장치에

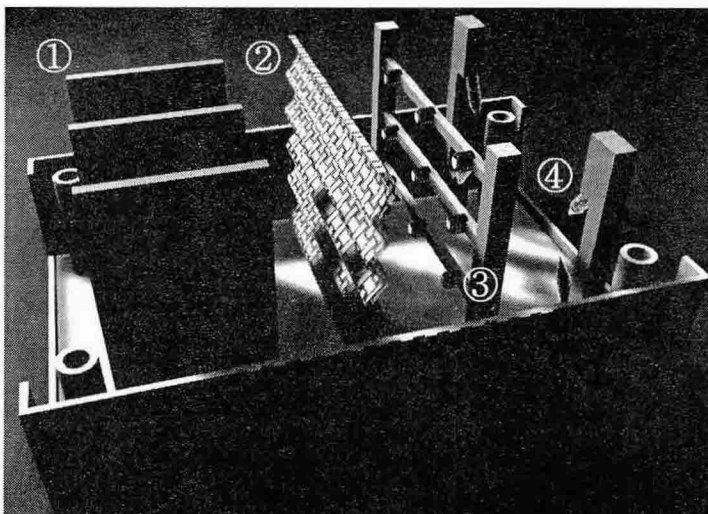
서 발생하는 오존(O<sub>3</sub>) 농도를 측정하여 오존(O<sub>3</sub>) 발생 및 감쇄 농도를 측정하였다. 본 실험에 사용된 코로나 방전식 이온 발생장치는 텅스텐 재질(99.99%)의 방전침을 사용하였으며, 전기 집진판은 SUS 304를 가공하여 장착하고, UV LED는 이즈웰사의 (IWU-TB365MXX)를 사용하였다. UV LED는 365nm의 파장을 발생한다. 실험 결과는 1시간 동안의 농도 변화를 3회 측정하여 평균치를 그래프로 나타내었다.



각부의 명칭

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

그림 1. 공기 정화 능력 평가 장치



각부의 명칭

- ① 전기 집진판
- ② TiO<sub>2</sub> 광촉매 필터
- ③ UV LED
- ④ 방전전극

그림 2. 공기정화 장치의 구성도

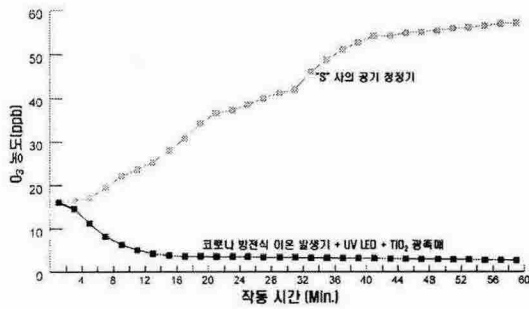


그림 3. 시간에 따른 오존(O<sub>3</sub>) 농도의 변화량

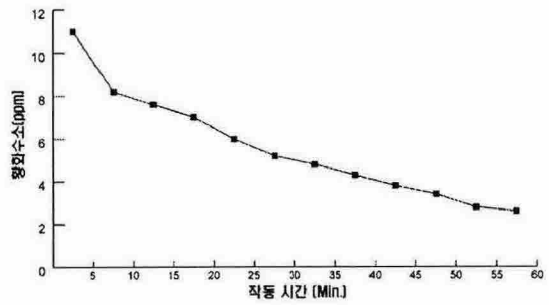


그림 4. 시간에 따른 황화수소(H<sub>2</sub>S) 농도의 변화량

그림3은 시간의 경과에 따른 오존농도의 변화량을 나타낸 것이다. 그림 3에서 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 LED를 적용한 실험장치의 경우 발생된 오존이 광촉매(TiO<sub>2</sub>)의 작용으로 감소할 뿐 아니라, 초기 오존 농도의 수치도 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 시험시작 후 60분 후의 오존농도는 약 3ppb로 한국공기청정협회의 권고기준인 50ppb에 비해 현저히 낮은 수치를 보여주고 있다.

그림 4는 시간의 경과에 따른 황화수소 농도의 변화량을 나타낸 것으로, 그림 4에서 알 수 있듯이 황화수소(H<sub>2</sub>S)의 정화능력 시험에서는 60분경과 시 약 80%의 황화수소(H<sub>2</sub>S)를 분해 하는 것으로 나타났다. 분해 능력은 입증되었으나, 분해 시간이 다소 오래 걸리는 경향을 보이고 있다.

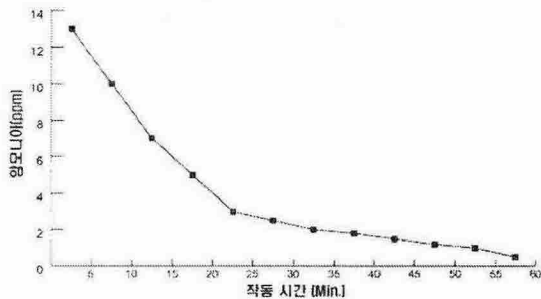


그림 5. 시간에 따른 암모니아(NH<sub>3</sub>) 농도의 변화량

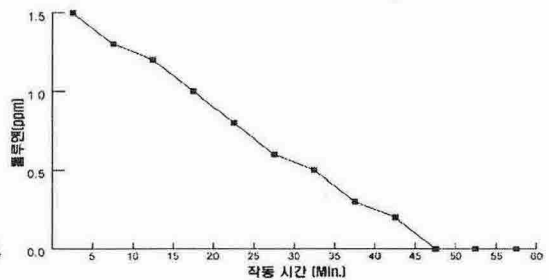


그림 6. 시간에 따른 톨루엔(C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>) 농도의 변화량

그림 5는 시간의 경과에 따른 암모니아 농도의 변화량을 나타낸 것으로 그림 5에서 알 수 있듯이 분해능력 시험에서 30분경과 시 약 80%의 암모니아(NH<sub>3</sub>)가 분해되며, 60분경과 시 1ppm 미만의 암모니아(NH<sub>3</sub>)가 검출되었다.

그림 6은 시간의 경과에 따른 톨루엔 농도의 변화량을 나타낸 것으로, 휘발성유기화합물(VOC ; Volatile Organic Compounds)인 톨루엔(C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>)의 정화능력 시험의 결과 초기 농도(1.5ppm)가 시험시작 후 약 45분 이후에는 톨루엔(C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>)이 전혀 검출되지 않았다. 최근 새집 증후군 등으로 많이 거론되고 있는 톨루엔(C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>)의 정화능력이 매우 뛰어난 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

대표적인 악취 물질인 황화수소(H<sub>2</sub>S), 암모니아(NH<sub>3</sub>)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<sub>2</sub>)의 오존(O<sub>3</sub>)분해 능력 및 공기 정화능력이 매우 우수한 것으로 입증 되었으나 악취물질에 대한 연구는 향후 보완이 필요하다고 생각된다.

#### 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) 김두현 등, "전기안전공학" 신광문화사, 1998, pp 151, 435~436.
- 4) 김보경 "UV/광촉매 산화 복합공정을 이용한 실내공기 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)