제 출 문

경남지역환경기술개발센터장 귀하

본 보고서를 “광촉매/광산화를 이용한 VOCs 처리장치 개발”에 관한 최종보고서로 제출합니다.

연구기관명 : 밀양대학교

연구책임자 : 서 정 민 교수(밀양대 환경공학과)

연 구 원 : 전 보 경, 정 문 섭, 박 진 훈

공동연구기관명 : (주)삼 봉 환 경

요 약 문

Ⅰ. 제목

광촉매/광산화를 이용한 VOCs 처리장치 개발

Ⅱ. 연구의 목적 및 필요성

산업발달은 인간생활에 많은 편리함과 혜택을 주지만 최근에 들어 환경오염과 같은 큰 문제점을 야기하고 있으며, 건물이 밀폐화되고 실내에 존재하는 오염물질 배출원이 증가함에 따라 공기오염은 비단 실외뿐만 아니라 실내에서도 중요한 문제로 거론되고 있다.

실내환경(Indoor Air Environment)은 인간을 둘러싸고 있는 실내의 총체라고 정의할 수 있으며, 21세기에는 생활환경의 측면에서 다루어져야 할 부분이다.

실내환경(Indoor Air Environment)은 일반 대기환경(Outdoor Air Environment)과는 달리 물리적, 화학적, 생물학적으로 매우 다양한 오염물질이 존재하며, 내부에서는 공기의 순환이 잘 안되고 정체 할 가능성이 크다는 점에서 대기환경과 구별되나 국가에서의 실내오염에 대한 정책은 대기환경에 비하여 아직 미흡한 실정이다. 이러한 실내오염물질들은 복합적인 배출원에서 기인되며 그 배출량은 물질에 따라 상당한 편차가 있을 뿐만 아니라 오염물질의 농도 분포 역시 시간적, 공간적 특성에 따라 매우 다양하게 나타날 수 있다.

국내에서의 실내공기질에 관한 연구는 다른 선진국에 비하여 늦은 감은 있지만 몇몇 연구자들에 의하여 서울 등 대도시를 중심으로 연구가 수행되어오고 있는 실정이다.

실내오염물질 중 포름알데히드(HCHO, Formaldehyde)는 주로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 건축자재, 실내가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 접착제, 흡연 등에서 발생될 뿐만 아니라 약, 화장품 및 음식물의 방부제 등으로 그 사용범위가 광범위함은 이미 조사 보고되고 있다.

이는 알러지 증상을 가져오는 자극제이고 또한 발암물질로서 실내오염물질 중 하나이며, 특히 sick building syndrome(SBS) 의 주 원인 물질이기도 하다. 실내공기환경에 있어서 포름알데히드의 기준은 미국 EPA에서 설정한 기준과 ASHRAE에 의해 비사업장 환경에 적용될 수 있는 단기 최대 허용치에서 120㎍/㎥

(약 100ppb) 을 OSHA(Occupational Safety and Health Adminstration)의 산업보건기준은 TWA 0.3ppm으로 규정하고 있다.

한국의 경우에도 2004년 5월에 기존 지하생활공간 공기질 관리법이 다중 이용시설 등의 실내공기질 관리법으로 전문 개정·시행됨에 따라 실내공기질 중 포름알데히드 단기 최대 허용치를 120㎍/㎥(약100ppb)로 재정하여 이미 포름알데히드에 대한 관리를 시작했다.

이에 본 연구에서는 대표적인 실내오염물질인 휘발성유기화합물(VOC, Volatile Oranic Compound) 중 B.T.(Benzene, Toluene)와 HCHO(Formaldehyde)를 제어대상물질로 선정하여 이들 물질을 제어하기 위한 하이브리드기술로 TiO_2 광촉매에 자외선을 조사시켜 ① 자외선 영역의 빛을 이용한 광촉매 산화반응, ② 활성탄을 이용한 흡착, 그리고 ③ 광촉매 산화 및 활성탄 흡착 복합공정 등 세 가지의 공정들이 가지고 있는 핵심기술을 도입·병합하여 사무실, 일반가정집 등의 배출원에 적용할 수 있는 새로운 제어기술의 개발 하고자 한다.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

VOCs란 Volatile Organic Compounds의 약어로서 우리나라에서는 휘발성유기화합물질이라 부른다. 이것은 프로판, benzene, toluene 등의 탄화수소, 알코올류, 케톤류, 에스테르류, 에테르류 등의 산소함유계 탄화수소, 아민류 등의 질소함유계 탄화수소, 이황화탄소 등의 유황함유계 탄화수소, 트리클로로에틴렌 등의 염소계 탄화수소 등 대기 중의 휘발성 탄화수소류를 총칭하는 것이며, 모든 도시지역이나 산업지역의 대기 중 지표면 수준에서 주로 발견되는 주요한 오염물질 그룹 중의 하나에 속한다. VOCs의 영역에는 헤아릴 수 없을 정도로 많은 화합물이 포함되어 있으며, 아직까지 국제적으로 통일된 정의나 대상물질의 범주가 마련되어 있지는 않다. 따라서 현실적으로 행정적 혹은 법적인 규제대상으로 분류되는 VOCs에 대한 정의나 범위는 VOCs 규제의 배경 및 대기 중 오존오염 정도에 따라 국가 및 지역에 따라 조금씩 다르게 적용되고 있다.

실내 VOCs 발생원은 건물의 유지관리를 위해 사용되는 각종 세척제와 방향제, 스프레이와 같이 인간의 일상생활과 밀접한 관계가 있는 소비상품, 흡연, 연소기구의 사용, 거주자들의 활동 그리고 외부공기의 유입 등 매우 다양하다. 특히, 페인트, 카페트, 접착제, 벽지 등 건축자재에서 다량의 VOCs 가 방출되는 것으로 알려져 있다. 또한 VOCs는 건축자재 자체에서 방출되는 것 이외에 시공 시

작업자들의 기술부족으로 인하여 사용되는 과다한양의 접착제 등에서 발생되기도 한다.

실내에서의 VOCs 발생원은 방출농도와 방출기간, 방출특성에 따라 연속성 발생원과 불연속성 발생원으로 구분할 수 있다. 연속성 발생원은 VOCs의 방출농도가 일정하고 장기간에 걸쳐 배출되며, 발생되는 오염물질의 농도는 온도, 습도, 기류 등에 영향을 받는다. 불연속성 발생원은 시간의 경과에 따라 발생농도가 변하고 단기간 방출되며, 방출되는 시간대에 따라 농도가 많이 변하는 특성이 있다. 또한, VOCs 배출원의 특성이나 실내공간의 구조적 변화, 환기상태 등은 실내환경에서 VOCs의 공기역학적 거동을 지배하는 것으로 알려져 있다.

광촉매의 오염물질 산화 특성 외 광촉매가 가지고 있는 또 하나의 주목할 특성은 촉매의 흡착특성이 있다. 흡착능력은 광촉매산화 반응시간을 지속시켜주는 역할 및 빛이 없을 때에 흡착하여 빛이 조사되었을 때 흡착한 오염물질을 산화시킬 수 있도록 하기 때문에 광촉매의 흡착능은 촉매의 산화능력을 평가하는 또 하나의 기준이 될 수 있다. Luo와 Ollis는 Pellet형의 TiO_2 촉매를 제조하여 트리클로로에틸렌(Trichloroethylene; TCE)과 톨루엔(Toluene)의 전환율을 고찰하였으며 촉매의 흡착계수 및 반응속도상수를 산출하였다.

또한 이들은 실험에 사용한 TiO_2 촉매를 메탄올용액에 넣어 흡착된 층을 추출해 UV로 관찰하여 메탄올로 추출 가능한 중간체인 Benzoic acid를 발견하였다.

본 연구에서는 TiO_2 광촉매 산화공정과 활성탄 흡착공정을 이용하였으며 주반응부를 UV/TiO_2 공정으로 선택하였으며 미량의 부산물을 처리하기 위한 부반응부로서 활성찬 흡착공정을 고려하였다.

광산화 반응부는 253.7nm와 380nm의 파장을 동시에 방사하는 램프(G11T8 Germicidal lamp)를 자외선출력이 11W의 램프에 대하여 소형 공기청정기 크기로 제작하여 처리대상 오염물질의 유입농도, 유량의 변화 등을 조절변수로 하여 HCHO, B.T.의 처리효율을 분석하였다.

대상물질의 분석에는 HCHO는 HPLC를 사용하여 분석하였고, Benzene과 Toluene은 가스크로마토그래피(GC-MSD)를 이용하였다. 또한 Benzene, Toluene 과 HCHO의 실시간 농도를 알아보기 위해 SnifferⅡ Indoor Air Monitor를 이용하여 농도를 관찰하였다.

연구의 주된 목적은 개별 실험조건에서 얻어진 처리효율을 분석하여 처리조건을 도출하여 향후 실내오염물질 처리를 위한 공기정화기에 적용 가능한 UV/TiO_2/흡착 Hybrid공정을 개발하는데 주된 연구의 목적이 있다.

① 반응기 거리에 대한 제거효율 파악
② 상용되는 HCHO 표준설정
③ 각종 실험
- 농도에 따른 효율파악
- 처리가스유량 대한 효율파악
- 2차처리 필요의 유·무에 따른 효율파악
④ 결과의 Data Base화 및 분석
⑤ 반응기의 설계인자 도출
⑥ HCHO 및 VOCs 처리장치 개발

Ⅳ. 연구결과

본 연구는 실내공기 오염물질의 처리를 목적으로 UV/TiO2 광촉매 산화공정을 단독 구성하고 UV/TiO2 광촉매 산화-활성탄 복합공정으로 하여 실내공기오염의 대표적인 물질인 HCHO와 Benzene, toluene 처리의 제거율을 높이기 위해 영향인자들을 고찰하였으며, 단독 및 복합공정의 적용가능성을 검토하였다.

예비실험결과 UV 광산화/광촉매 공정에서 HCHO의 제거효율은
유입농도 1 ppm에 대한 유량별 제거효율은 약 99% ~ 80%,
유입농도 2 ppm에 대한 유량별 제거효율은 약 98% ~ 65%,
유입농도 3 ppm에 대한 유량별 제거효율은 약 96% ~ 70%
로 조사되었다.

Benzene의 제거효율은 유입농도 2ppm 유입유량 1 LPM → 94%, 2 LPM → 83%, 3 LPM → 72%,5 LPM → 63%로 조사되었다. Toluene의 제거효율은 1 LPM에서의 약 99%, 2LPM, 3LPM까지도 80% 이상의 제거효율을 나타내었고 5LPM의 유량에서는 67%로 나타났다.

UV 광산화/광촉매 공정에서의 제거효율은 유량이 증가할수록 제거효율이 점차 낮아짐을 확인하였다. 유입농도가 저 농도일 때 적정유량이 1LPM~3LPM인 것을 확인하였다. 실내공기 정화장치로서는 고 유량으로 저 농도를 처리할 수 있어야 한다. 따라서 단일장치로서 TiO_2 광촉매반응기 만으로는 부족함을 알 수 있었다.

활성탄 단독공정에서 처리농도 1ppm에서 HCHO의 흡착 제거 효율은 활성탄

단독공정에서의 흡착효율은 1LPM에서 약 62%로 조사되었고 2LPM, 3LPM, 5LPM은 각각 55%, 51%, 50%으로 나타났다. 2ppm일 때의 유량에 따른 흡착효율을 살펴보면 1LPM에서 5LPM까지의 흡착효율이 66% ~ 55%로 나타났다. 3ppm에서의 흡착효율은 1LPM, 2LPM, 3LPM, 5LPM의 유량에서 약 61%, 56%, 50%, 49%의 흡착효율을 조사할 수 있었다. 이는 광촉매 산화 공정에 비해 효율이 많이 떨어지는 것으로 나타났다. Benzene의 경우 흡착효율이 77%~65%의 범위로 조사되었으며, Toluene은 1LPM 일 경우 88%, 2LPM 에서 84%, 3LPM 일 때 80%, 5LPM 에서 74%로 조사되었다. 특이한 점은 유량에 변화에 따른 흡착효율이 광촉매산화 단독 공정보다 많이 차이가 나지 않는다는 것이다.

UV광산화/광촉매-활성탄 복합공정에서의 처리효율은 HCHO: 약 98% ~90%, Benzene: 약98% ~ 93%, Toluene: 약99% ~ 97%로 조사되었다.

본 예비실험에서 알 수 있는 것은 UV광산화/광촉매-활성탄 복합공정에서는 저농도, 고 유량의 공기정화 장치에 적용이 가능하리라는 것을 알 수 있다. 이는 UV광산화/광촉매 공정에서의 문제점인 유량이 증가할수록 제거효율이 급격히 낮아지는 문제를 해결 할 수 있게 되었다. UV광산화/광촉매-활성탄 복합공정에서는 유량이 증가하더라도 제거효율이 급격하게 떨어지는 현상은 나타나지 않았다. 이는 실내공기 정화 장치로서 유량이 높아진다고 하더라도 높은 제거효율을 기대할 수 있으리라 사료된다.

UV/TiO_2 광촉매 산화-활성탄 복합공정 실내정화장치를 이용한 챔버 실험을 통해서 각 오염물질의 적정유량을 조사할 수 있었다. HCHO, benzene, toluene 모두 유량 1m^3/min에서 가장 높은 제거율을 나타냈다.

챔버 실험의 결과를 바탕으로 하여 UV/TiO_2 광촉매 산화-활성탄 복합공정이 실내공기 정화장치로서 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Ⅴ. 연구결과의 활용계획

1 기술적 측면

① UV/TiO2 광촉매 산화를 이용한 오염물질의 제거 실험 및 해석의 실시로 산업장이 아닌 실내공간에서의 UV/TiO2 광촉매 산화를 이용한 장치의 최적의 설계인자를 도출함.

② 광촉매 필터, 활성탄 필터 등의 실내공간 공기질 관리 부품의 개발.

2 경제·산업적 측면

① 실내정화 장치에 자외선 광촉매 산화 공정을 도입하여 실내공간에서의 가스상 물질의 제거효율의 향상과 필터의 교체주기를 연장하고 기존의 출시되어 있는 장치보다 운전비용 및 유지 보수비용이 절감될 것으로 판단됨.

② 자외선 광촉매 산화공정을 채택하여 제작된 공기정화 장치는 기존의 출시되어 있는 정화장치보다 간편한 설계로 생산비용의 원가를 절감함.