



광촉매를 이용한 공기청정기 개발



설 용 건

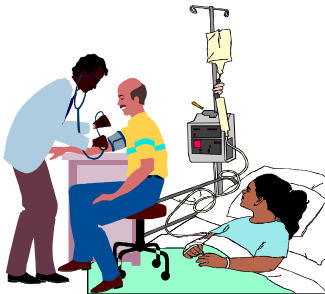
연세대학교 화학공학과



공기청정기 개발의 필요성

실내 공기오염 증가 요인들

1. 밀폐된 공간에서 80% 이상의 시간 활용
2. 실내공기 오염 물질의 축적
3. 기능성 건축자재에서의 새로운 오염물 발생
4. 사회적 요구의 계속적인 증가 (시기적 긴급성)



☞ 공기오염 원인 사망자 :

280만/600만 (WHO관보 2000, 9)

☞ 사무직장인 증상 : 두통,
안질, 졸음, 후두염, 알레르기 등



실내공기 오염원 및 인체영향

오염물질	발생원	인체영향
먼지	대기 중의 먼지가 실내유입, 실내바닥의 먼지, 담배지	규폐증, 진폐증, 탄폐증 등
담배연기	담배, 켄연	두통, 피로감, 기관지염, 폐렴, 기 관지 천식, 폐암
연소가스 (CO, NO ₂ , SO ₂ 등)	각종 난로(연탄, 가스, 석유), 벽난로, 연료연소, 가스렌지 등	만성폐질환, 기도저항증가, 중추신경영향
라돈	콘크리트, 흙, 지하수, 화강암	폐암 등
포름알데히드	각종 합판, 보드, 가구, 단열재, 소취제, 담배연기, 화장품, 옷감, 실험실 등	눈, 코, 목 자극증상, 어지러움, 기침, 설사, 피부질환, 정서불안, 기억력 상실 등
석면	단열재, 절연재, 석면타일, 방열재	피부질환, 호흡기질환, 석면증, 폐암
미생물성 물질 (곰팡이, 박테리아, 꽃가루)	가습기, 냉방장치, 냉장고, 세탁소, 애완동물, 왁스, 방향제	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경억제작용
유기용제 (알데히드, 케톤 등)	페인트, 접착제, 스프레이, 세탁소, 연소과정, 왁스, 방향제 등	피로감, 정신착란, 두통, 구역, 현기증, 중추신경억제작용
악취	각종 악취 발생원	식욕감퇴, 구토, 불면, 알레르기, 정신신경증 등



실내공기 환경관리기준

Contaminant	WHO 환경 기준 Average Level (mg/m ³)	공중위생보건법/건축법
부유분진 (TSP)	0.01 ~ 0.15	0.15 mg/m ³ 이하
일산화탄소 (CO)	1 ~ 11	10 ppm 이하
이산화탄소 (CO ₂)	300 ~ 2,000	1,000 ppm 이하
질소산화물 (NO ₂)	0.02 ~ 0.4	-
아황산가스 (SO ₂)	0.01 ~ 0.08	-
옥시던트 (O ₃)	0.01 ~ 0.06	-
포름알데히드 (HCHO)	0.02 ~ 0.06	-



악취물질 규제 현황

악취 물질	규제 기준	주요 발생원
NH_3 (암모니아)	1-5 ppm	비료제조, 분뇨처리장, 전분제조업, 화학공장, 축산농업, 쓰레기처리장, 도금처리장 하수처리장 등
CH_3SH (메칠머캅탄)	0.002 ~ 0.01 ppm	크라프트펄프 제조업, 화학공장, 석유화학공장, 쓰레기처리장, 분뇨처리장, 하수처리장 등
H_2S (황화수소)	0.02 ~ 0.2 ppm	비스코스레이온 제조업, 크라프트펄프 제조업, 화학공장, 축산농업, 석유 정제, 분뇨처리장, 하수처리장 등
$(\text{CH}_3)_2\text{S}$ (황화메칠)	0.01 ~ 0.2 ppm	크라프트펄프 제조업, 화학공장, 비료제조, 쓰레기처리장, 분뇨처리장 등
$(\text{CH}_3)_3\text{N}$ (트리메칠아민)	0.005 ~ 0.07 ppm	축산업종, 화학비료제조, 화학공장, 피혁제조, 사료제조, 수산물통조림 제조공정 등
CH_3CHO (아세트알데히드)	0.05 ~ 0.5 ppm	화학공장, 제철공장, 석유정제공장, 하수처리장, 인쇄공장 등
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$ (스티렌)	0.4 ~ 2 ppm	스티렌 모노머 제조공장, FRP 제품 제조공장, 플라스틱 가공공장, 석유정제공장, 하수처리장 등
$(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$ (이황화메칠)	0.009 ~ 0.1 ppm	크라프트펄프 공장, 화학공장, 하수처리장, 석유정제공장, 인쇄공장 등



기술개발 현황

연구기관	개발기술	개발 제품
Mcleod Russel Hodings	필터방식	개발중
Interfiltra Ltd	필터방식	개발중
Dekaert company	광촉매	개발중
Aguadoc	오존 산화법	Air-Care TM
Neslic	오존 산화법	개발중
동경대, 오사카 부립대	저온플라즈마	개발중



상용 공기청정기 (1)



대아 엔지니어링(오존과 음이온)



청풍(음이온)



팜콘(광촉매)



웅진코웨이(HEPA정전 항균 필터 방식)



라우(오존산화법)



LG(저온플라즈마-광촉매)



상용 공기청정기 (2)



삼성인버터(5단계 HEPA필터 방식)



미국EcoQuest industries(이온발생)



McLeod Russell Hodings(필터방식)



일본트윈버드(3중필터방식)



스위스Axair(3중 필터 방식)



미국honeywell(2중 필터방식)



실내 오염물질 조절방법 및 최소환기량

실내공기오염 물	영향	실내 농도제한	통제수단	최소환기량	대처방안
담배연기	불쾌감, 자극 건강상 위해	건강한 사람의 경우 1~2ppm 의 CO농도가 불 쾌감, 자극을 유 발	금연정책 및 흡 연구획설치	담배1개피당 50~120 m ³ 또는 1인당 8~20 ml/s	가능한 한 흡연 공간의 분리 또 는 제한, 허용되 었을 경우 적당 한 환기필요
분진	불쾌감, 자극 건강상 위해	75 g/m ³	금연정책 및 흡 연구획설치	1인당 17.5ml/s	흡연이 주원인 이므로 상기와 동일
體臭 / 臭氣	불쾌감	0.10% CO ⁴ (0.15% CO ⁴)	-	1인당 8.0ml/s (1인당 3~4 ml/s)	재실자수가 예 측가능할 때, 재 실자수에 따른 가변환기
습도	건물구조 피해	70% 이하의 상 대습도 유지(총 분조건 아님)	주방, 욕실의 환 기	약 0.5~1.0 ach	최소환기량 범 위내에서 발생 장소의 국부환 기
방사성물질(라 돈)	건강상 위해	ALARA의 규정 또는 200~400/ m ³	실내부압(-) 방 지, 지층구조 밀 폐	적정환기량설정 안됨	토양으로부터의 라돈유입방지, 실내부압(-)방 지, 적절한 기계 환기
연소시 발생 물질	불쾌감, 자극 건강상 위해	WHO 지침	연소기구 배기 장치 국부환기장치	적정환기량설정 안됨	연소장치의 제 거, 국소환기, 적당한 외기유 입
휘발성유기화 합물	불쾌감, 자극 건강상 위해	일부물질에 대 한 제한치 설정	발암물질의 제 한 및 방출을 제 한	확실한 환기량 없음	방출량 제한/금 지 건축자재 또 는 비품에 대한 조절



시험조건 및 대상가스

시험조건

온도 : $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$

상대습도 : $55 \pm 10\%$

분진 및 가스농도 :

공중위생법의 실내환경기준 이하

시험대상가스

암모니아 (NH_3)

아세트알데히드 (CH_3CHO)

초산 (CH_3COOH)

트리메틸아민 ($(\text{CH}_3)_3\text{N}$)

시험챔버

$2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m}$

시험체는 시험챔버의 중앙에 위치

대상가스 초기농도

가 스	탈취효율시험	탈취용량시험
암모니아	10 ppm	100 ppm
아세트알데히드	10 ppm	20 ppm
초 산	10 ppm	10 ppm
트리메틸아민	10 ppm	70 ppm



탈취효율의 산출

각 가스성분 제거 능력

$$P_i = \frac{V}{t} \ln \frac{C_{0,i}}{C_{t,i}}$$

P_i : 시험대상 i 가스의 제거능력 (m^3/min)

$C_{t,i}$: 운전 t 분 후의 i 가스의 농도 (ppm)

$C_{0,i}$: 운전개시에서의 i 가스의 농도 (ppm)

V : 시험챔버의 체적 (m^3)

t : 측정종료시간 (min)

각 가스의 제거율

$$\eta_i = \frac{P_i}{Q} \times 100$$

η_i : i 가스의 제거율 (%)

Q : 공기청정기의 풍량 (m^3/min)

P_i : i 가스의 제거능력 (m^3/min)

전체 탈취효율

$$\eta_T = \frac{\eta_1 + 2\eta_2 + \eta_3 + 2\eta_4}{6}$$

η_T : 탈취효율 (%)

η_1 : 암모니아 제거율 (%)

η_2 : 아세트알데히드 제거율 (%)

η_3 : 초산 제거율 (%)

η_4 : 트리메틸아민 제거율 (%)



기타 시험법 (1)

Test box : 1m × 1m × 1.2m (완전밀폐형 투명상자)

오염물질 : 담배 12개비 연소시 발생하는 담배연기

검사방법 : 육안으로 담배연기의 제거상태를 검사

오염상태	담배연기로 제품이 육안 으로 식별되 지않는 상태	제품이 육안 으로 식별되 는 상태	BOX내부의 담배연기가 거의 제거된 상태	BOX내부의 담배연기가 완전히 제거 된 상태
작동시간 측정				
웅진코 웨이 카나리 아	초기	15초	45초	60초
국내G 사	초기	150초	240초	420초



기타 시험법 (2)

(1) 테스트 방법

3평용 바퀴벌레 연막탄을 1.2루베의 공간에 넣은 후 가동시킨 후 작동



(2) 테스트 방법

32m3 알루미늄 Chamber에서 smoking machine을 이용하여 오염물질 발생
Model Ram-1 real-time aerosol monitor를 사용하여 분석

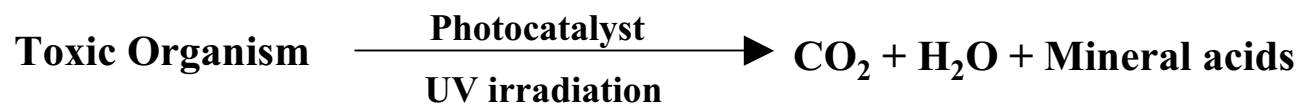
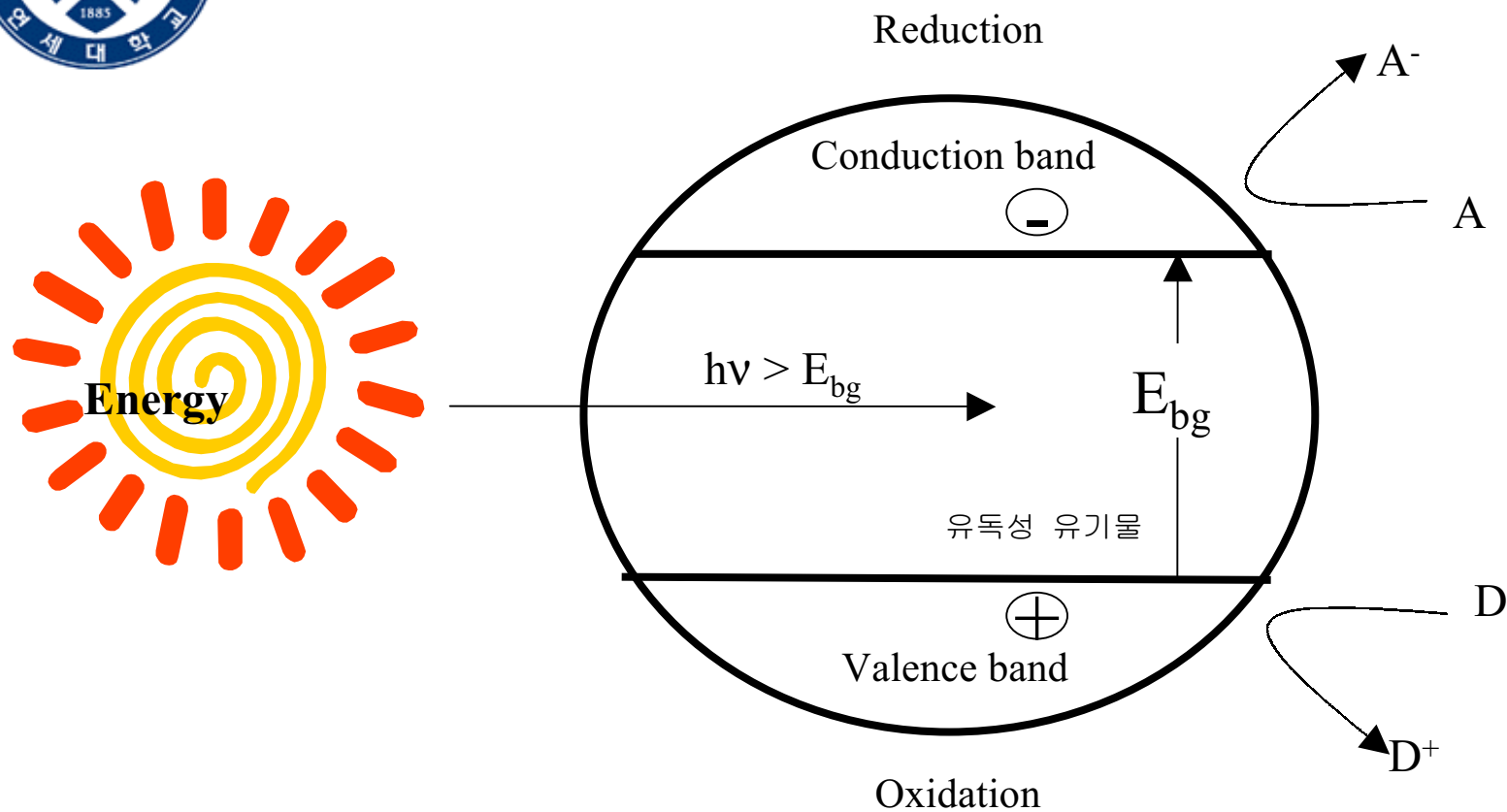


광촉매의 장점

	PHOTOCATALYSIS	PHOTOELECTRO CATALYSIS	ACTIVE CARBON FIBER	AIR OZONATION	CHEMICAL/ BIOCIDAL	HIGH ENERGY UV	ELECTROSTATIC FILTER
살균효과	○	○		○	○	○	
유해성 부산물 생성			○	○	○	○	○
Ozone 생성		○ (극소량)		○		○	○
고분자량 VOC 분해	○	○		○		○	
저분자량 VOC 분해	○	○					
용량 제한			○		○		
온도 상승			○	○		○	
탈취	○	○	○	○		○	
설치비	낮음	낮음	높음	낮음	높음	높음	낮음
유지비	낮음	낮음	높음	낮음	높음	높음	낮음



광촉매의 원리





광촉매에 의한 분해 가능 유기물

Class	Examples
Alkanes	Methane, isobutane, pentane, heptane, cyclohexane, paraffin
Haloalkanes	Mono-, di-, tri- and tetrachloromethane, trichloroethane, 1,1,1-trifluoro-2,2,2-trichloroethane
Aliphatic alcohols	Methanol, ethanol, isopropyl alcohol, glucose, sucrose
Aliphatic carboxylic acids	Formic, ethanoic, dimethylethanoic, propanoic, oxalic acids
Alkenes	Propene, cyclohexene
Haloalkenes	Perchloroethene, 1,2-dichloroethene, 1,1,2-trichloroethene
Aromatics	Benzene, naphthalene
Haloaromatics	Chlorobenzene, 1,2-dichlorobenzene, bromobenzene
Nitrohaloaromatics	3,4-Dichloronitrobenzene, trichloronitrobenzene
Aromatic carboxylic acids	Benzoic, 4-aminobenzoic, phthalic, salicylic, m- and p-hydroxybenzoic, chlorohydroxybenzoic acids



광촉매에 의한 유기물의 제거

Reactants	Initial concentration (ppm)	Conversion (%)
Isooctane	500	98.9
Acetone	500	98.5
Methyl ethyl ketone	500	97.1
t-butyl isopropyl ketone	500	88.5
TCE	34,000	100
Methyl chloride	500	90.4
Benzene	2,200	72
Benzene	8,000	33
Isopropyl benzene	500	30.3
Methyl chloroform	500	20.5
Pyridine	500	15.8

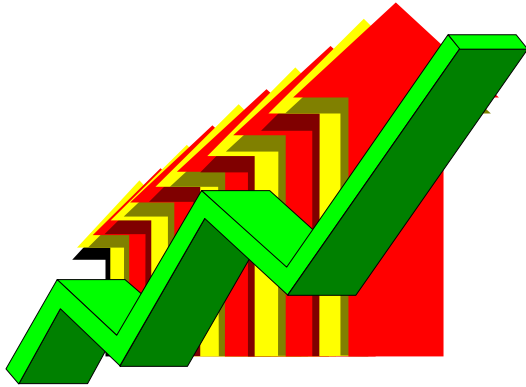


광촉매에 의한 탈취

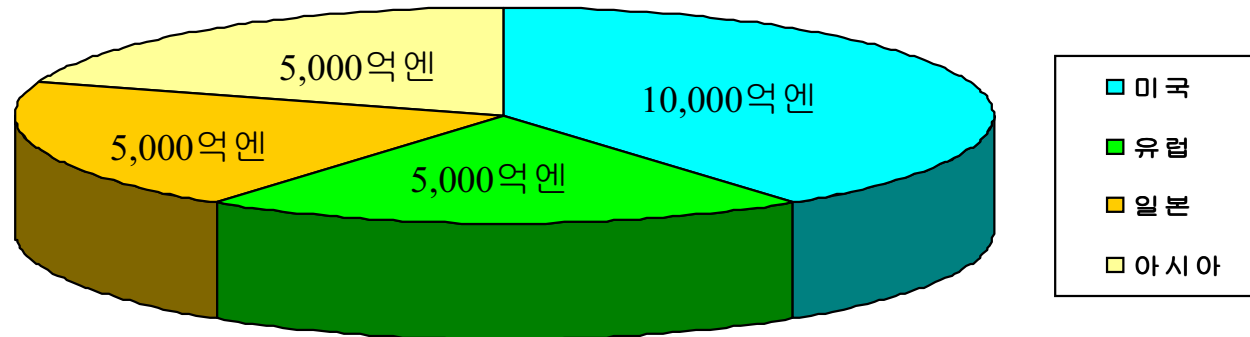
Odor	Rate constant (min^{-1})
CH_3CHO	0.11
H_2S	0.13
CH_3SH	0.13
$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5$	0.059
$(\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$	0.0078



광촉매 공기청정기 제품의 시장성



업체명	광촉매 제품 매출 목표
<i>TOTO, Ishihara sangyo</i>	년 간 1000 억 엔 매출
<i>Dai Nippon Toryo</i>	년 간 10 억 엔 매출
<i>Nippon Soda</i>	3 년 내 50 억 엔 매출





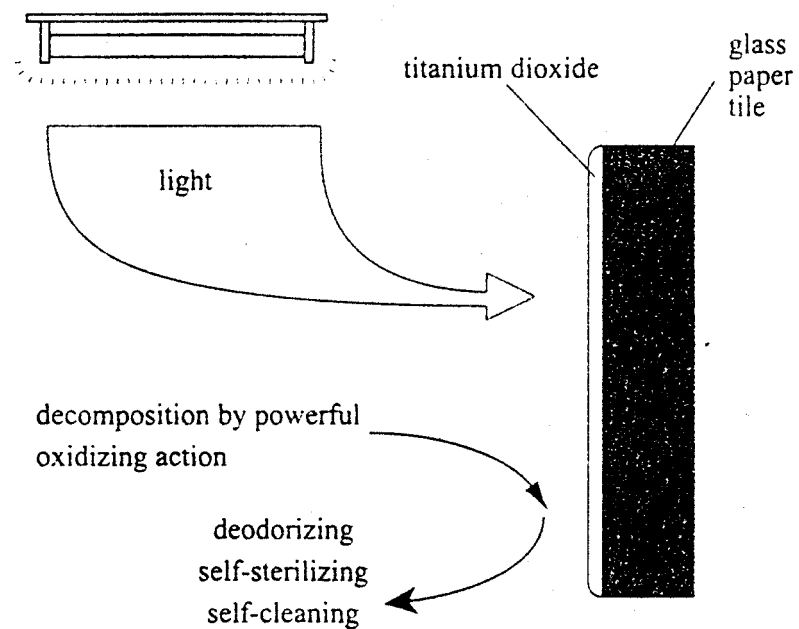
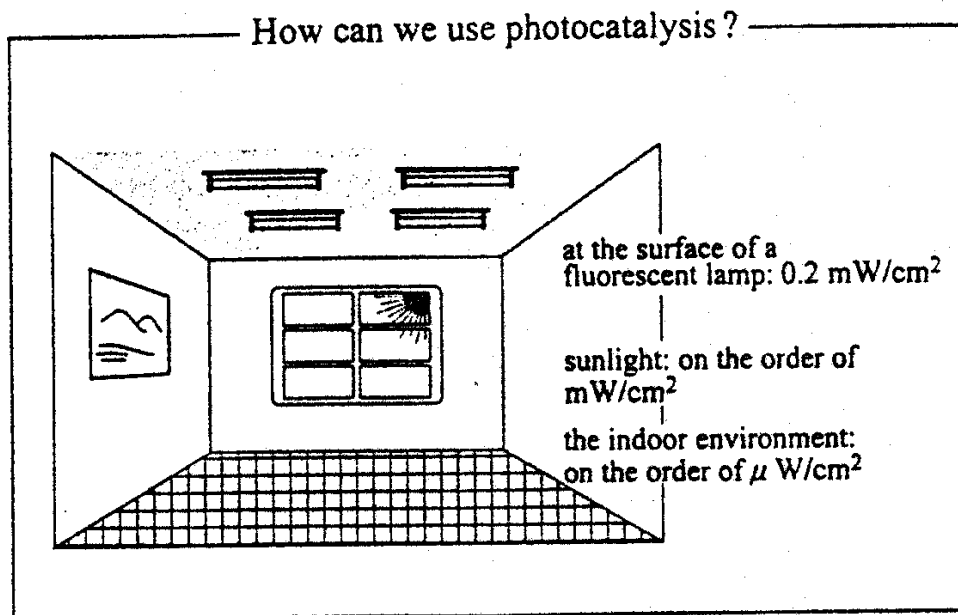
상용화 TiO_2 광촉매

- Photocatalytic reactivity :
 $\text{TiO}_2(\text{anatase}) > \text{TiO}_2(\text{rutile}) > \text{ZnO} > \text{ZrO}_2 > \text{SnO}_2 > \text{V}_2\text{O}_3$
- Photochemically stable
- Inexpensive

<i>Properties</i>	<i>Anatase</i>	<i>Rutile</i>
Crystalline form	Tetragonal system	Tetragonal system
Lattice constant a	4.58 Å	3.78 Å
Lattice constant c	2.95 Å	9.49 Å
Specific gravity	4.2	3.9
Refractive index	2.71	2.52
Hardness	6.0 – 7.0	5.5 – 6.0
Melting point	1858 °C	Changes to rutile at high temperature



실내공기정화를 위한 광촉매의 활용

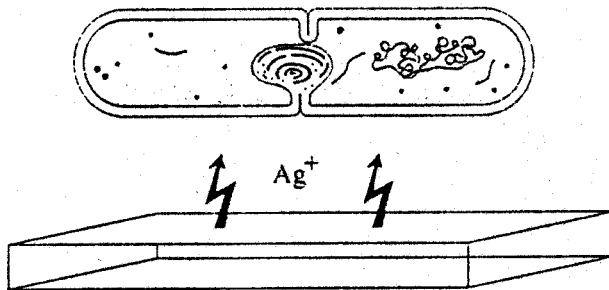




광촉매의 항균 효과

Silver-treated surface

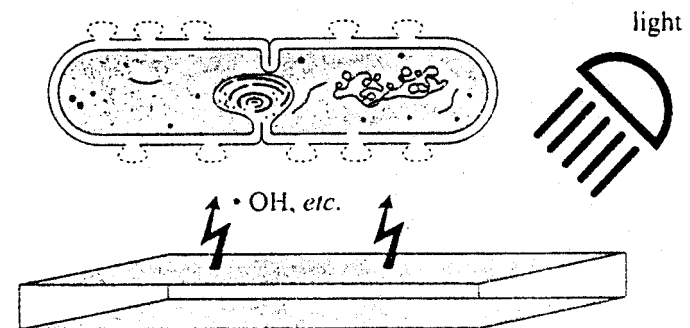
self-sterilizing action



Dead *E. coli* cells remain on the surface.

Photocatalytic thin film

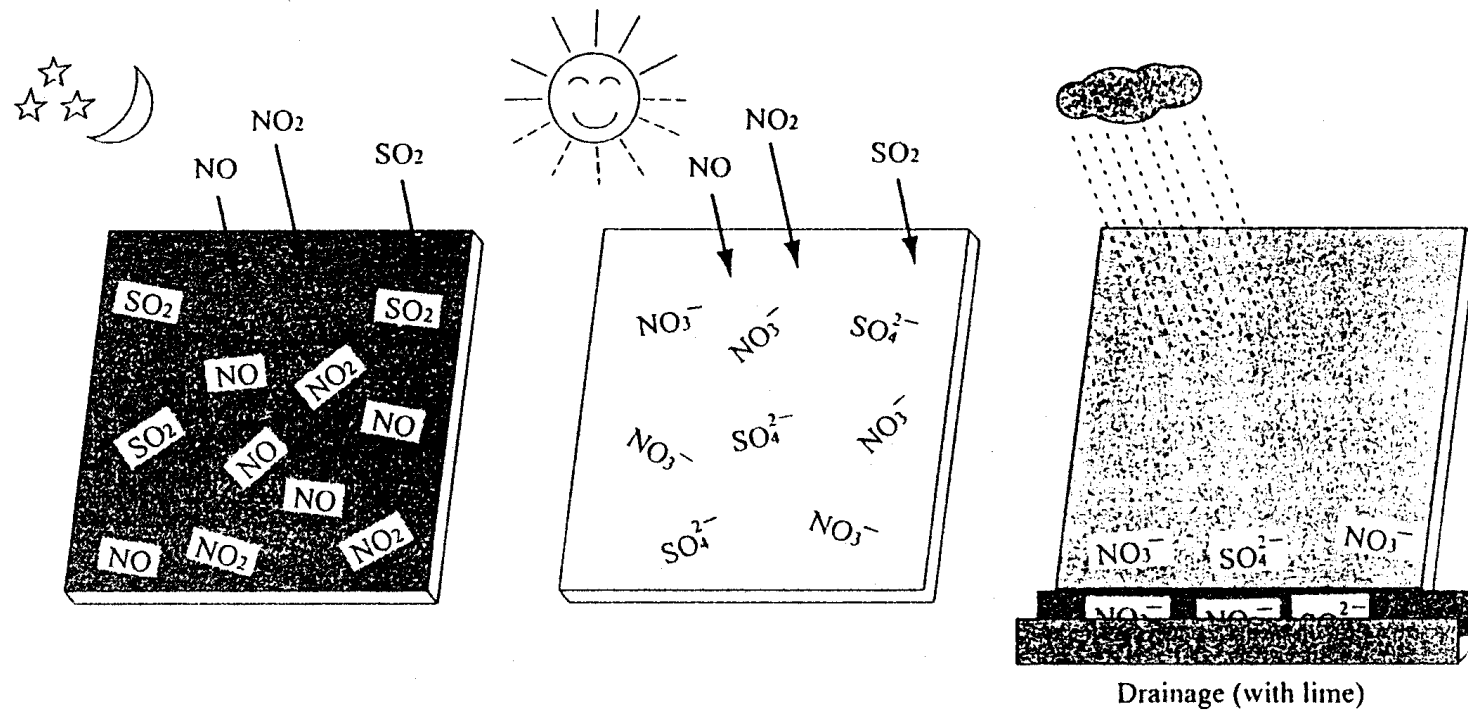
sterilizing action
detoxification action (decomposition of endotoxin)



Dead *E. coli* cells are decomposed quickly and completely.



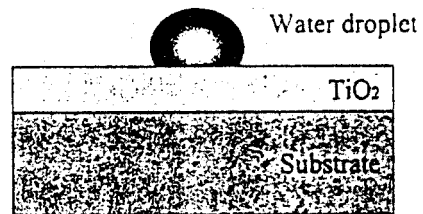
광촉매에 의한 공기정화



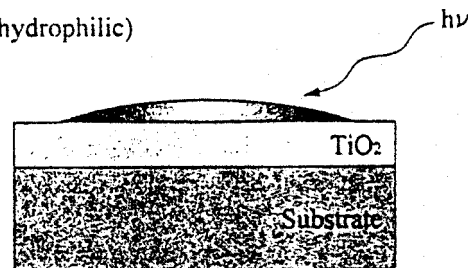


TiO₂의 초친수성

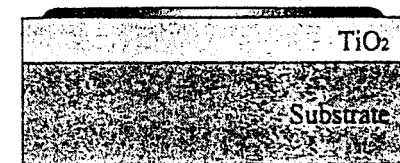
Initial (hydrophobic)



Under UV (hydrophilic)



In the dark (hydrophilic)





최종 목표

광촉매 **복합공정**을 이용한 실내공기청정기 개발

세부 목표

- 시스템 소재 및 부품 가공, 시스템 **설계**
 - 구성요소 최적화 기술 확보
 - 복합 시스템 설계의 최적화
- 가정용 공기 청정기 및 지하 공간용 **POF 시스템 개발**
 - 실내공간, 이동공간, 지하공간용 복합 모듈 제조
 - 자연광 이용률 최대화
- 실내 공기 청정기 **상용화**
 - 시제품 활용 문제점 해결
 - 경제성을 고려한 설계의 최적화



연구내용

☞ 광촉매 LED 시스템 (**PCLED**) 설계

- LED 표면 TiO_2 코팅
- 최적 LED 기판의 설계

☞ 광촉매 POF 시스템 (**PCPOF**) 설계

- POF 번들구조 설계
- POF내의 광특성 분석
- POF 시스템의 최적화
- POF 표면 코팅의 안정성

☞ 광전자 광촉매 시스템 (**PECS**) 설계

- 전력량의 최적화
- 전극 및 촉매 등의 시스템 최적화
- 전극 표면 코팅의 안정성

☞ 실내 오염 공간 정화 실험

- 단일 성분
- 복합 성분

☞ 광촉매 코팅 재료의 개발

- LED 용
- POF 용
- PCES 용