

## TiO<sub>2</sub> 광촉매 졸(Sol)의 벽지코팅에 의한 실내공기질에서의 포름알데히드 분해

안상우 · 조일형\* · 박재홍<sup>†</sup>\*\* · 장순웅\*\*\* · 김영규\*\*\*\*

한국건설기술연구원 · \*전략환경연구소 · \*\*국립환경과학원 수질총량관리센터 · \*\*\*경기대학교 · \*\*\*\*용인대학교

(2006년 7월 22일 접수, 2006년 9월 4일 채택)

### Degradation of Formaldehyde in Indoor Air Quality by TiO<sub>2</sub> Sol Coated Wall Paper

Sang-Woo An · Il-Hyoung Cho\* · Jae-Hong Park<sup>†</sup>\*\* · Soon-Woong Chang\*\*\* · Young-Gyu Kim\*\*\*\*

Environment Research Department, Korea Institute of Construction Technology · \*Institute of Strategy Environmental Research

\*\*Watershed Management Research Division, National Institute of Environmental Research

\*\*\*Department of Environmental Engineering, Kyonggi University · \*\*\*\*Department of Environmental Science, Yong-In University

**ABSTRACT :** It has been concerned about the indoor air contaminants because of the hours spend in indoor space. These contaminants are emitted from various indoor facilities. Therefore, even though there concentrations are very low, adverse effects can't be ignored. However, treatment technologies are insufficient to deal with these contaminants. For this reason, the objective of this study was to investigate the feasibility of artificial ultraviolet(UV) detoxification using TiO<sub>2</sub> system for degrading formaldehyde contaminated indoor air. The experiment was also performed to investigate the formaldehyde removal effect of fluorescence lamp as an alternative UV light source because it is used in indoor as a light source. The results presented demonstrated that as the TiO<sub>2</sub> dosage is more and the reaction area is wider, the photo-catalytic degradation rate does more enhanced. Degradation of TCE was more rapid used in UV<sub>254</sub> lamp than in fluorescence lamp. However, if it is operated during enough time, it will be able to remove the considerable quantity of TCE in case of using fluorescence lamp.

**Key Words :** Formaldehyde, TiO<sub>2</sub> Sol, UV<sub>254</sub>, Fluorescence Lamp

**요약 :** 하루 중 대부분의 시간을 실내에서 보내는 생활패턴으로 인해 실내오염물질의 영향에 대한 관심이 증가하고 있는 실정이다. 이러한 오염물질은 다양한 실내장식물로부터 배출되고 있으며 실내에서 생활하는 시간이 많기 때문에 비록 저농도로 배출된다 하더라도 그 영향은 간과될 수 없을 것이다. 하지만 국내 현실은 실내오염물질에 대한 제도적 기반이 미흡하며 실내오염물질이 발생될 경우 저감 방안에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 실내오염물질의 하나인 포름알데히드를 대상으로 광촉매와 인공자의 선을 사용하여 실내에서의 저감특성을 파악하였으며 또한 인공자외선의 대안으로 실내에서 형광등을 켜고 생활하는 시간이 많은 점을 고려하여 광촉매/형광등의 실험을 통해 실내 환경정화에 형광등의 잠재적인 사용가능성을 파악하고자 하였다. 실험결과 광촉매량, 반응면적이 증가할 수 록 포름알데히드의 제거율도 증가하였다. 광원으로 UV<sub>254</sub> 램프를 사용할 때가 형광등을 사용할 때보다 효과적이었으나 형광등을 사용한 경우도 일정수준의 포름알데히드의 제거가 가능하였으며 반응시간이 증가할수록 제거율은 증가하기 때문에 실내에서 형광등을 켜고 생활하는 시간이 길다는 점을 고려할 때 형광등을 이용할 경우도 실내환경에서 포름알데히드의 제거가 가능할 것으로 판단된다.

**주제어 :** 포름알데히드, 이산화티탄 졸, UV<sub>254</sub>, 형광등

## 1. 서론

인구의 증가와 경제성장은 생활공간의 부족과 교통난을 발생시키고 있다. 따라서 각종 도시 활동의 수용은 지상공간뿐 아니라 지하공간에서의 생활 활동에 다양성을 가져왔다. 최근에는 우리나라에서도 지하생활환경(지하철, 지하상가, 지하주차장 등)의 이용이 다양해지고, 하루 중 대부분의 시간을 실내에서 보내고 있어 각종 실내오염물질과 관련된 보건학적 영향에 대한 관심이 증대되고 있는 실정이다.

주택 환경에 있어서 고단열·고기밀화가 진행된 결과 에너

지 절감의 효과는 얻을 수 있으나 실내공기오염이라는 측면에서의 주거 환경은 더욱 악화되는데 문제가 있다. 이에 대한 대책으로 실외공기에 의한 환기의 중요성이 대두되고 있으며, 이와 병행하여 건축자재로부터 방출되는 화학물질의 저감을 위한 연구도 병행되어야 할 필요성이 증가하고 있다. 1970년대 초에 들어 선진각국의 실내 재실자들에게 각종 건강장애와 관련된 두통, 안질, 후두염, 알레르기성질환, 어지러움 등을 일으키는 sick building syndrome(SBS) 또는 tight building syndrome(TBS)등이 빈번히 발생되어 재실자의 건강을 크게 위협하고 있는 실정이다. 지하생활 및 실내생활에서의 환경학적 문제성은 많은 사람이 거주, 이용 또는 왕래를 하고 있는데도 외부와의 공기순환이 잘 이루어지지 않고 거의 차단된 상태의 한정된 공간으로 인해 각종 유해물질 등

<sup>†</sup> Corresponding author  
E-mail: jhong@me.go.kr  
Tel: 032-560-7556

Fax: 032-560-7561

이 조금만 발생되더라도 축적이 된다는데 있다. 그리고 현대에 있어서는 비교적 단시간의 고농도 오염물질에 의한 급성적인 결과뿐만 아니라 장시간에 걸친 저농도 오염물질의 노출에 의한 만성적인 결과에도 관심을 가져야 할 것이다.

실내공기질의 오염물질인 formaldehyde는 주로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 건축자재, 실내가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 접착제, 흡연 등에서 발생될 뿐만 아니라 약, 화장품 및 음식물의 방부제 등 그 사용범위가 다양하다. 이는 알러지 증상을 가져오는 자극제이고 또한 발암성 실내오염물 중 하나이며, 특히 SBS의 주원인 물질이기도 하다. 미국의 독극물 화학산업 연구소(chemical industry institute of toxicity)는 formaldehyde 농도 6 ppm(기준농도)에서 쥐와 토끼를 24개월간 매일 6시간씩 접촉시킨 결과 암이 발생하였다는 보고를 하였다.<sup>1)</sup> 또한 1989년에 연구된 결과를 살펴보면 현재 우리나라 지하시설별 formaldehyde의 평균농도는 지하철역, 지하상가, 지하도, 터널, 지하주차장이 각각 60.1, 122.2, 72.1, 39.7, 75.9 ppb로 조사되었다.<sup>2)</sup> 따라서 이러한 formaldehyde 방출의 문제점을 개선하기 위한 방안이 다양하게 연구되고 있다. 그중에서 TiO<sub>2</sub>/UV를 이용한 오염물질의 분해(무해/무기화)는 고도산화처리법(advanced oxidation process; AOPs)의 일종으로 강력한 산화제인 hydroxyl radical( $\cdot$ OH)을 생성하여 오염물질을 액상이나 기상상태에서 무기화(mineralization)시킬 수 있으며, 운전조건의 용이성, 그리고 2차 처리가 필요없는 장점이 있다. 또한 반응속도의 차이는 있지만 액상/기상 모두에 적용할 수 있다는 장점이 있어 근래에는 탈취, 휘발성 유기화합물(VOCs)처리 등에 적용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 인공자외선 및 실내에서 사용되고 있는 형광등을 벽지에 코팅된 TiO<sub>2</sub> 광촉매층에 조사시킴으로써 실내공기질의 formaldehyde 저감효과를 검증하여 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위한 기술적인 방법론을 정립하고자 하는데 그 목적이 있다.

## 2. 이론 및 실험방법

### 2.1. Photocatalysis reaction

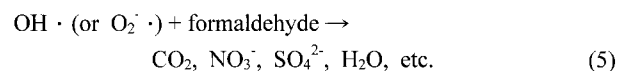
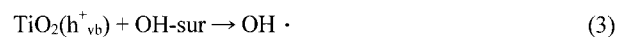
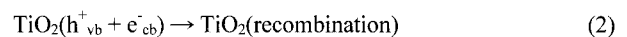
난분해성, 독성물질등을 처리하는 방법으로 많이 사용되고 있는 고도산화처리법(AOPs)은 강력한 산화력을 지닌 hydroxyl radical( $\cdot$ OH)을 이용한다. 처리대상 물질의 성장(액상, 기상)에 상관없이 오염물질을 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 형태로 무기화(mineralization)시키며 부산물(반응생성물)의 2차 처리가 필요 없는 장점이 있어 다양한 오염물질의 처리에 이용되고 있다. 그중에서 TiO<sub>2</sub>/UV가 대기 중의 VOCs 제거에 효과적임이 여러 연구를 통하여 알려져 있다.

유독성 유기물질을 광에너지에 의한 화학적 반응으로 분해시키는 과정을 광화학 반응이라 하며, 이때 보조역할을 하는 기본 물질을 광촉매라고 한다. 광촉매 반응은 homogeneous photocatalysis reaction과 heterogeneous photocatalysis reaction으로 구분할 수 있다.

Heterogeneous photocatalysis reaction에서는 반응물이 촉매로 흡착되고, 촉매표면에서 반응하며, 생성물이 촉매로부터 탈착되는 단계를 거쳐 화학반응이 진행된다. 일반적으로 흡착속도나 생성물의 탈착속도가 느리면, 이 단계가 촉매 반응의 속도 결정단계가 될 수 있으나 자외선이 조사된 TiO<sub>2</sub> 광촉매 반응의 경우 반응물이 흡착된 이후 표면에서 발생하는 반응이 속도 결정단계인 것으로 알려져 있다.

또한, 광촉매 반응에서는 촉매반응과는 달리 촉매의 이용 효율 대신에 광의 이용효율(양자효율)로 반응의 효율을 기술한다. 즉, 광을 충분히 흡수할 수 있는 촉매가 존재할 때는 촉매량을 많이 해도 반응량은 광량으로 결정되며, 이와 같은 광량당속도의 상태에서 사용됨을 의미한다.<sup>3,4)</sup>

TiO<sub>2</sub> 광촉매반응에 의한 formaldehyde의 광화학적 분해는 다음과 같은 경로를 통해 이루어진다. 즉, 광화학분해의 최초단계는 식 (1)에 제시된 반응식에 따라 UV가 조사된 TiO<sub>2</sub> 입자에 전자(electrons)와 전공(holes)의 생성단계이다. 다음 단계에서는 식 (2)에서와 같이 열의 발산과 함께 TiO<sub>2</sub> 입자의 재결합이 일어난다. 그러나 용존산소나 전자공여체(electron donor)가 존재하면 식 (3)에서 보는 바와 같이 valence band holes(h<sup>+</sup>)과 표면의 active OH group이나 H<sub>2</sub>O와의 반응에 의해 OH radical이 형성된다. 다음 단계에서는 식 (4)와 같이 광화학반응에 의해 생성된 conduction band electron(e<sup>-</sup>)과 용존산소의 반응에 의해 superoxide(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)가 생성된다. Hydroxyl radicals(OH $\cdot$ )과 superoxide(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)는 많은 유기화합물의 광촉매 분해반응에 관계하는 강력한 반응성종들로서 이들에 의해 formaldehyde가 광분해 되어 식 (5)에 나타난 바와 같이 무기화 된다.<sup>5,6)</sup>



### 2.2. 실험재료 및 장치

본 실험에 사용된 반응기(Fig. 1)는 아크릴 재질로 제작하였고, 전동팬을 설치하여 밀폐된 반응기 속에서 formaldehyde가 균일하게 확산될 수 있도록 하였다. TiO<sub>2</sub> sol로 코팅된 벽지샘플(G사, 2종합지)을 반응조 내부에 부착하였으며, 광원으로는 20 W 일반 형광등(K전기)과 254 nm 중심파장을 갖는 UV lamp(Sankyo denki, Japan)를 사용하였다. 벽지샘플과 광원간의 거리는 3.5 cm를 유지하였다.

Formaldehyde(Sigma, 37 wt%, solution in water) 원액 1 mL를 증류수 1 L에 첨가한 후 교반을 통하여 휘발시켜 휘발된 formaldehyde gas를 반응기에 주입하였다. 이때 formal-

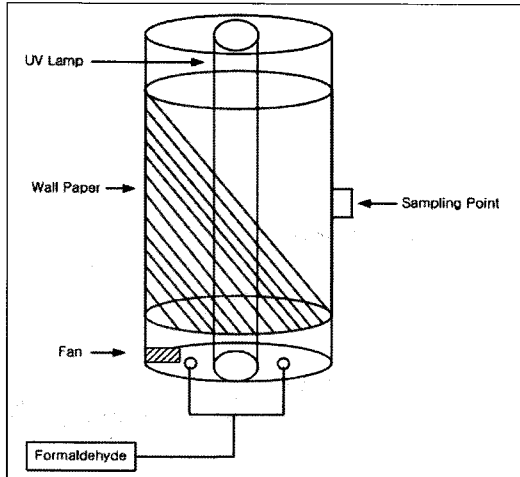


Fig. 1. Schematic diagram of the photocatalytic reactor.

Table 1. Operation condition of the photocatalytic reactor

Total volume(batch volume)	D = 20 cm, H = 35 cm(1,099 cm <sup>3</sup> )
Light source	UV, Fluorescent lamp
Coated TiO <sub>2</sub>	1, 3, 6 mg/cm <sup>2</sup>
Reaction area	120, 240, 480 cm <sup>2</sup>

dehyde의 농도는 반응기 체적을 고려하여 1 ppm(v/v)으로 조정하였다. 시료는 반응기 중앙부에서 gas type syringe를 이용하여 sampling 하였으며, 실험장치의 사양과 운전조건은 Table 1에 나타내었다.

2.3. TiO<sub>2</sub> sol 제조 및 코팅

벽지표면에 광촉매를 코팅하기 위하여 TiO<sub>2</sub> sol을 다음의 과정으로 제조하였다. 먼저, 전구물질로 Ti[OCH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sub>4</sub>, iso-propanol(50 : 50 v/v%), 첨가제로 dimethylamine을 혼합한 후 100~150°C, 10~20 atm의 조건<sup>7,8)</sup>에서 4시간 반응시켰다. 또한 반응중에 binder로서 SiO<sub>2</sub> sol 수용액 일정량을 첨가하였다. 위의 제조방식에 의해 만들어진 TiO<sub>2</sub> sol을 컴퓨터를 이용하여 spray coating 방법으로 벽지에 코팅하였다.

2.4. 실험 및 분석방법

Formaldehyde는 Agilent 6890N gas chromatography(GC) system을 사용하여 분석하였으며 검출기는 FID(Flame Ionization Detector)를 사용하였다. 분석에 사용된 column은 길이 50 m, 내경은 0.2 mm, 두께 0.33 μm의 Agilent사 HP-5를 사용하였다. 운반기체로는 99.999%의 질소를 사용하였다 (Table 2).

수많은 분석물이 종류가 서로 다른 수착재(fiber)에 의해 추출되기 때문에 몇 가지 fiber가 SPME에서 사용되어져 왔다. 극성 코팅물은 페놀류, 카르복실산류와 같은 극성 물질이 매우 잘 추출되는 반면 무극성 코팅물은 탄화수소류 등의 무극성 물질이 잘 추출된다(Table 3). 따라서 실험을 통하여 분석물에 대한 최적의 fiber를 선택하였으며, 최적의 fiber는 CAR/PDMS로 나타났다.<sup>9)</sup>

Table 2. Operation condition for GC

Class	Condition
Carrier gas	Nitrogen 1.0 mL/min, set to constant flow
Make-up gas	Nitrogen 30 mL/min
Split ratio	2 : 1
Septum	11 mm high temp/low bleed septa (Agilent part NO : 5182-3413)
Inlet liner	Split/splitless, ID 4 mm
Injector temperature	270°C
Detector temperature	270°C
Oven	40°C for 10 min, 10°C/min to 80°C, held to 10 min

Table 3. Kind of fibers used in this study

Stationary Phase	pH	Max. temp.	Operating temp.	Used
PDMS 100 μm	2-10	280°C	220-280°C	Volatiles Nonpolar semivolatiles Nonpolar high molecular weight compound
PDMS/DVB 65 μm	2-11	270°C	200-270°C	Volatile, amine nitro aromatic compound
CAR/PDMS 75 μm	2-11	320°C	220-310°C	Gases low molecular weight compound
Polyacrylate 85 μm	2-11	320°C	250-310°C	Polar semivolatiles

3. 결과 및 고찰

광촉매 산화반응에 있어서 요구되는 자외선과 TiO<sub>2</sub>의 영향을 실험적으로 규명하기 위하여 formaldehyde 농도를 1 ppm으로 하였을 때에 반응 면적과 광촉매량에 따른 분해정도를 알아보았으며, 실생활에 적용가능성을 살펴보기 위하여 20 W 형광등을 이용하여 비교실험을 실시하였다. 실험은 TiO<sub>2</sub>분말이 벽지 표면에 균일하게 고착되도록 하였으며, formaldehyde의 농도가 균일하게 존재하도록 10분간 반응기 내에서 전동 팬을 이용하여 충분히 혼합되도록 한 후 batch type으로 실험하였다. 실험결과는 광원을 배제한 바탕실험값을 고려하여 나타내었다.

또한 반응면적의 효과 및 광촉매량에 따른 분해정도 및 광원에 따른 분해정도를 알아보기 위한 방법으로 kinetic study를 실시하여 여기서 구한 속도상수를 비교함으로써 각각의 분해정도를 알아보았으며, 이때 사용된 수식은 다음과 같다. 일반적으로 15~60%의 수분과 저농도의 조건에서 기상 formaldehyde의 광촉매 분해는 1차 반응을 따르는 것으로 알려져 있다.<sup>10)</sup>

$$-\frac{dC}{dt} = kC \tag{6}$$

위 식 (6)을 적분하면

$$\ln \frac{C_0}{C} = kt \quad (7)$$

여기서 C<sub>0</sub>는 t=0일 때 오염물의 농도(mg/L), C는 일정 시간 후 오염물의 농도, k는 속도상수(t<sup>-1</sup>), t는 광촉매 산화 반응 시간(min)을 나타낸다. 따라서 위의 식으로 구한 속도 상수 k를 이용하여 각각 실험조건에서의 formaldehyde의 분해정도를 알아보았다.

### 3.1. TiO<sub>2</sub> sol의 특성

TiO<sub>2</sub> sol의 특성을 파악하기 위하여 X-ray diffraction analysis (XRD)(Siemens D-500, Cu K radiation)을 통해 결정구조를 파악하였다. TiO<sub>2</sub> sol의 XRD peak 패턴은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 25.0°에서 가장 민감한 peak를 나타내고 있어 제조된 TiO<sub>2</sub> sol이 광촉매 활성이 우수한 anatase 구조를 나타낼을 알 수 있다. Fig. 3은 본 연구에 사용된 TiO<sub>2</sub> sol의 Scanning Electron Microscope(SEM) 사진이며 입자의 크기는 약 10 nm로 나타났다.

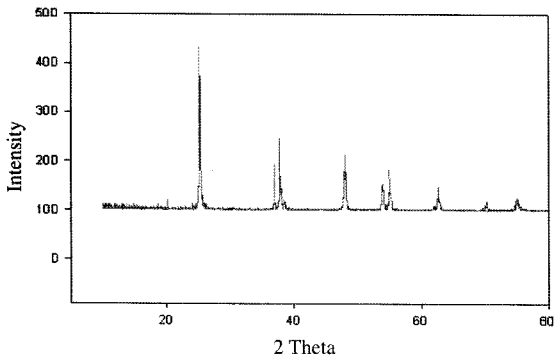


Fig. 2. X-Ray diffraction analysis(XRD) of TiO<sub>2</sub> sol.

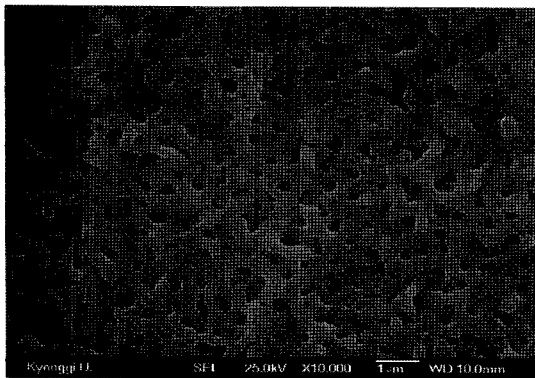


Fig. 3. SEM analysis of TiO<sub>2</sub> sol used in this study.

### 3.2. 반응면적에 따른 formaldehyde의 제거량

반응면적에 따른 formaldehyde의 분해정도 및 제거량을 알아보기 위하여 3 mg/cm<sup>2</sup>의 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 도포하고, 벽지의 면적만을 다르게 하였으며, 광원으로는 254 nm 중심파장을 갖는 UV lamp를 사용하였다.

반응면적이 120, 240, 480 cm<sup>2</sup>로 증가함에 따라 formaldehyde의 제거율도 각각 14.3, 25.6, 34.2%로 증가하였는데 formaldehyde의 분해효율이 TiO<sub>2</sub>의 반응면적이 증가함에 따라 증가한다는 것을 나타내고 있다(Fig. 4). 또한 이때의 반응속도 상수는 Table 4와 같다.

반응면적(TiO<sub>2</sub> 도포면적)의 증가에 따라서 hydroxyl radical의 증가를 가져옴으로써 formaldehyde의 반응이 활발해지며, 이에 따라 formaldehyde의 제거율이 증가하는 것으로 판단된다.

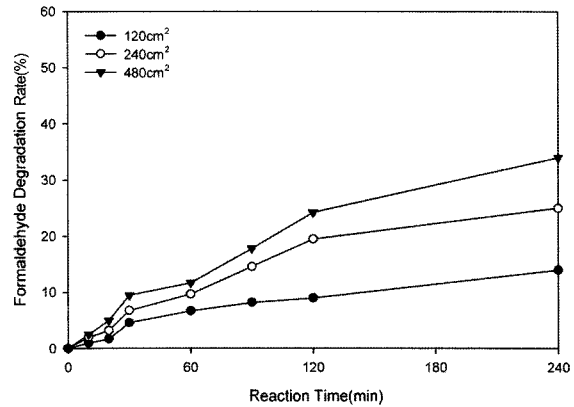


Fig. 4. Effect of reaction area on the removal efficiency of HCHO.

Table 4. Rate constants of formaldehyde with various TiO<sub>2</sub> reaction area

A(cm <sup>2</sup> )	k(min <sup>-1</sup> )	t <sub>1/2</sub> (min)	R <sup>2</sup>
0	0	0	0
120	0.0006	1.155(9.25 hr)	0.93
240	0.0012	577.5(9.625 hr)	0.94
480	0.0017	40	0.97

### 3.3. TiO<sub>2</sub> 광촉매량에 따른 formaldehyde의 제거량

TiO<sub>2</sub> 광촉매량에 따른 formaldehyde의 분해정도 및 제거량을 알아보기 위하여 480 cm<sup>2</sup>의 반응면적에 1, 3, 6 mg/cm<sup>2</sup>의 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 도포하였으며, 광원으로는 254 nm 중심파장을 갖는 UV lamp를 사용하였다.

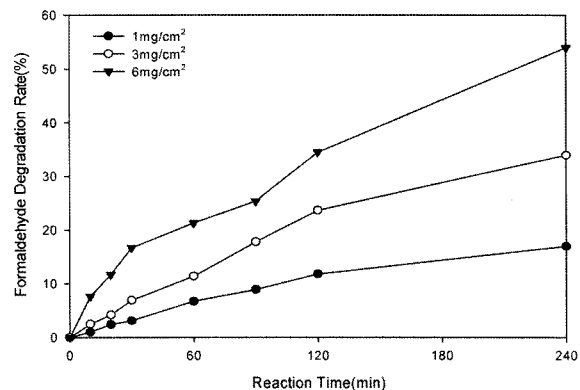


Fig. 5. Effect of TiO<sub>2</sub> amounts on the removal efficiency of HCHO.

TiO<sub>2</sub>의 주입량이 1, 3, 6 mg/cm<sup>2</sup>일 때 각각 17.3, 34.2, 54.6%의 제거율을 보였으며, 분해효율은 일정한 반응면적에서 TiO<sub>2</sub> 광촉매량이 증가함에 따라 증가하였다(Fig. 5). TiO<sub>2</sub>의 주입량에 따른 반응속도 상수는 Table 5와 같다.

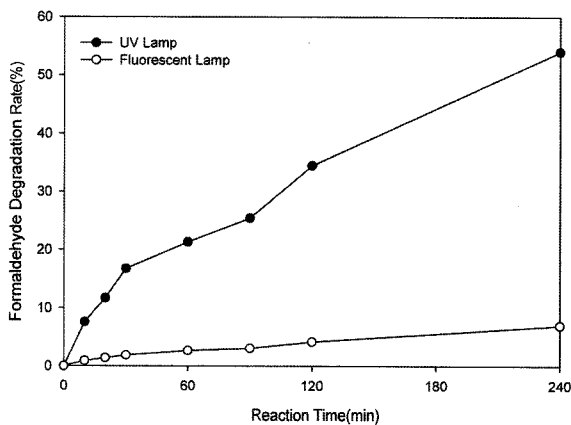
일정한 반응면적(TiO<sub>2</sub> 도포면적)에서 TiO<sub>2</sub> 광촉매량의 증가는 hydroxyl radical의 발생을 증가시켜 궁극적으로 제거율의 향상을 나타내지만 단위 촉매량당 제거율은 어느 수준에 이르면 더 이상 증가하지 않고 오히려 감소됨으로 적정량의 광촉매를 벽지에 도포하여야 할 것으로 판단된다. 이는 촉매량이 적을 때는 분해속도는 낮지만 촉매의 활성도는 높아지며, 촉매량이 많을 때는 분해속도는 높아지지만 촉매의 활성도는 낮아지기 때문이다.

**Table 5.** Rare constants of formaldehyde with various TiO<sub>2</sub> concentration

TiO <sub>2</sub> (mg/cm <sup>2</sup> )	k(min <sup>-1</sup> )	t <sub>1/2</sub> (min)	R <sup>2</sup>
0	0	0	0
1	0.0008	866.25(14.49 hr)	0.964
3	0.0018	385(6.42 hr)	0.977
6	0.0031	223(3.73 hr)	0.987

**3.4. 광원에 따른 formaldehyde의 제거량**

광원에 따른 formaldehyde의 분해정도 및 제거량을 알아보기 위하여 480 cm<sup>2</sup>의 반응면적에 6 mg/cm<sup>2</sup>의 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 도포하였으며, 광원으로는 254 nm 중심파장을 갖는 UV lamp와 20 W 일반 형광등을 사용하였다. 일반 형광등은 인공자외선의 대안으로 적용하였으며, 벽지에 코팅된 TiO<sub>2</sub>졸과 반응하여 실내에 유출된 formaldehyde와 같은 유해물질의 분해에 어느 정도 적용가능함을 알아보기 위하여 사용하였다.



**Fig. 6.** Effect of light source on the removal efficiency of formaldehyde.

**Table 6.** Rare constants of formaldehyde with various light sources

Light source	k(min <sup>-1</sup> )	t <sub>1/2</sub> (min)	R <sup>2</sup>
UV <sub>254</sub> lamp	0.0031	224(3.73 hr)	0.987
Fluorescence lamp	0.0003	2,310(38.5 hr)	0.976

UV lamp와 형광등을 광원으로 사용한 경우 2 hr의 반응 시간에서 각각 54.6, 7.4%의 제거율을 나타내어 형광등을 사용할 때가 UV lamp를 사용하였을 때보다 formaldehyde의 제거율이 낮게 나타났다. 하지만 반응시간이 길어짐에 따라 제거율도 점차적으로 증가하고 있고 실내에서 형광등을 켜놓고 생활하는 시간이 매우 길다는 점을 감안하면 형광등을 광촉매반응의 광원으로 사용할 경우도 formaldehyde의 제거가 어느 정도 가능하리라 판단된다.

**4. 결론**

벽지에 도포된 TiO<sub>2</sub> 졸과 인공자외선/형광등의 광화학적 반응으로 실내 대기중에서 발생 가능한 formaldehyde의 제거 가능성에 대한 실험결과 다음의 결론을 도출하였다.

- 1) 반응면적에 따른 영향을 살펴본 결과 면적이 120, 240, 480 cm<sup>2</sup>로 증가함에 따라 formaldehyde의 제거율도 각각 14.3, 25.6, 34.2%로 증가하였다.
- 2) TiO<sub>2</sub> 광촉매량에 따른 영향을 살펴보기 위해 480 cm<sup>2</sup>의 반응면적에 1, 3, 6 mg/cm<sup>2</sup>의 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 도포하였을 때 각각 17.3, 34.2, 54.6%의 제거율을 나타내었다.
- 3) 광원에 따른 영향을 파악하기 위해 480 cm<sup>2</sup>의 반응면적에 6 mg/cm<sup>2</sup>의 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 도포한 후 광원으로 254 nm 중심파장을 갖는 UV lamp와 20 W 일반 형광등을 사용하였을 때 반응시간 2 hr에서 각각 54.6, 7.4%의 제거율을 나타내었다.
- 4) 인공자외선의 대안으로 형광등을 사용한 경우도 비록 낮은 제거효율을 나타내었으나 일정수준의 제거는 가능한 것으로 측정되었고 실내에서 형광등을 켜놓고 생활하는 시간이 많기 때문에 형광등을 이용할 경우도 실내 환경정화에 어느 정도는 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**참고문헌**

1. 강은창, 박종영, 박현, “요소, 멜라민 접착제의 수지 조성에 따른 마루판의 천연무늬단판 접착성 및 포름알데히드 방출에 대한 연구,” 목재공학, **30**(2), 165~171(2002).
2. 김윤신, 김미경, “실내의 포름알데히드 농도에 관한 조사연구,” 한국환경보건학회지, **15**(2), 1~9(1989).
3. 박재홍, 안상우, “광촉매반응에 의한 DBP와 Bisphenol A의 제거,” 한국폐기물학회지, **21**(7), 732~739(2004).
4. 박재홍, 안상우, 장순웅, “TiO<sub>2</sub> 광촉매를 이용한 Atrazine 과 PCP의 분해,” 한국물환경학회지, **20**(6), 577~582(2004).
5. Zhao, J., Wu, T., Wu, K., Oikawa, K., Hidaka, H., and Serpone, N., “Photoassisted Degradation of Dye Pollutants. 3. Degradation of the Cationic Dye Rhodamine B in Aquous Anionic Surfactant/TiO<sub>2</sub> Dispersions under Visible Light Irradiation: Evidence for the Need of Substrate Adsorption on TiO<sub>2</sub> Particle,” *Environ. Sci. Technol.*, **32**,

- 2394~2400(1998).
6. Vinodgopal, K. and Wynkoop, D., "Environmental Photochemistry on Semiconductor Surfaces: Photosensitized Degradation of a Textile Azo Dye, Acid Orange 7, on TiO<sub>2</sub> Particle Using Visible Light," *Environ. Sci. Technol.*, **30**(5), 1660~1666(1996).
  7. 김승민, 윤태관, 홍대일, "TiO<sub>2</sub> 광촉매 활성에서 소성온도의 영향," *한국환경과학회지*, **14**(9), 889~896(2005).
  8. 양원호, 김대원, 정문호, 양진섭, 박기선, "이산화티탄 광촉매 졸(sol)의 실내 환경 코팅에 의한 실내공기질 개선," *한국환경보전학회*, **30**(2), 92~98(2004).
  9. 안상우, 장순용, "SPME-GC/FID를 이용한 MTBE, TBA 분석에 관한 연구," *한국환경분석학회지*, **7**(2), 83~89(2004).
  10. Lixin, C., Aimin, H., Franz, J., and Steven, L. S., "Gas-phase oxidation of 1-butene using nanoscale TiO<sub>2</sub> photocatalysts," *J. Catal.*, **188**, 48~57(1999).