

## 도장공정 배기가스 내 VOC 처리를 위한 활성탄-광촉매 복합시스템

이찬† · 차상원 · 이태규\*

수원대학교 기계공학과, 환경청정기술연구센터, \*나노팩  
(2005년 2월 24일 접수, 2005년 5월 3일 채택)

### Activated Carbon-Photocatalytic Hybrid System for the Treatment of the VOC in the Exhaust Gas from Painting Process

Chan Lee<sup>†</sup>, Sang Won Cha and Tae Kyu Lee\*

Department of Mechanical Engineering, University of Suwon,  
Center for Environmental and Clean Technology (CECT)

\*Nanopac

(Received 24 February 2005, Accepted 3 May 2005)

#### 요 약

도장공정에서 발생하는 VOC의 처리를 위한 활성탄-광촉매 복합시스템을 제안하였고, VOC 제거성능을 실험적으로 평가하였다. 활성탄 탑은 톨루엔 흡착특성에 근거하여 설계하였고, 광촉매 시스템은 TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 유동층 반응기와 TiO<sub>2</sub> 코팅된 필터의 연계시스템으로 설계하였다. 본 활성탄-광촉매 복합시스템은 서로 다른 VOC 화학종 및 농도에 따라 75~100%에 이르는 VOC 제거효율을 보여주었다.

**주요어** : 도장공정, 휘발성 유기화합물, 활성탄 탑, 광촉매 반응기

**Abstract**— An activated carbon-photo catalysis hybrid system is proposed for the treatment of VOC produced from paint booth, and its VOC removal performance is experimentally evaluated. Activated carbon tower is designed on the basis of the adsorption characteristics of toluene. Photocatalytic system is designed as the series of TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> fluidized bed reactor and TiO<sub>2</sub>-coated filters. The present activated carbon-photo catalysis hybrid system shows the VOC removal efficiency within 75~100% under different VOC species and concentrations.

**Key words** : Painting process, VOC, Activated carbon tower, Photocatalytic reactor

#### 1. 서 론

도장(coating)은 모든 산업의 공통적이며 필수적인 공정으로서, 제품의 품질 및 외양을 결정하는데 매우 중요한 효과를 가져다준다. 많은 산업적 수요에 의해 산업현장에서 많은 도장작업이 이루어지고 있으나, 도장 시 사용되는 대부분의 도료는 다량의 유기화합물을 포함하

고 있는 관계로, 도장부스에서 배출되는 배기가스 내에는 상당한 양의 휘발성 유기화합물(VOC: volatile organic compound)이 포함되어 있는 실정이다. 최근의 조사에 따르면, 국내 전체 VOC 발생량 중 약 40%가 도장 공정에서 발생하는 것으로 나타나고 있다<sup>1)</sup>.

Fig. 1에서 보여 지듯이, 기존의 액체 도장 공정의 도장부스에서 발생된 VOC 포함 가스는 도장부스 후방에 위치한 와류실 및 eliminator를 거치며 습식 세정 공정을 거치게 되며, 도장부스로부터 배출되는 배기가스는 VOC 처리시설을 거친 후 대기 중으로 방출된다. 그러나 대부분의 국내 도장업체들은 도장공정에서 발생하는 VOC를 처리하기 위한 시설로 도장부스 후방에 활성탄

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

Department of Mechanical Engineering, University of Suwon,  
Center for Environmental and Clean Technology (CECT)  
Tel: 031-220-2219  
E-mail: clee@suwon.ac.kr

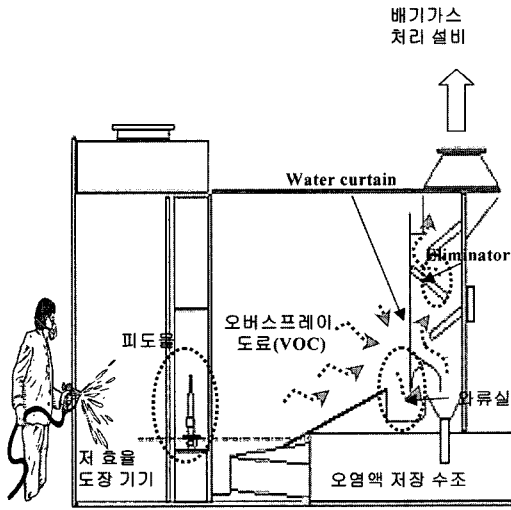


Fig. 1. VOC formation in paint booth.

탑만을 설치하고 있으며, 잘 알려진 바와 같이 활성탄 탑은 시간이 흐름에 따라 흡착능력이 급격히 저하되므로, 도장부스에서 발생하는 VOC도 도장조업 시간이 증가됨에 따라 잘 제거되지 않는 경향을 보인다. 그리고 제대로 처리되지 못하고 배출되는 VOC는 도장산업체 주변지역의 환경오염을 유발할 뿐만 아니라, 도장부스 내부 공기 중의 VOC 농도도 높아져 도장산업체 작업자들의 작업환경을 매우 악화시킨다. 또한 활성탄 탑의 경우 도장공정에서 발생하는 다양한 종류의 VOC 화학종들을 모두 효과적으로 처리하는데 한계가 있으며, VOC 제거효율도 저농도 VOC인 경우에는 비교적 양호하나 고농도 VOC의 경우에는 효율이 저하되는 경향을 보인다.

다<sup>[2]</sup>. 이러한 이유로, 최근 들어 강화되는 환경규제와 환경친화적 설비에 대한 사회적 관심은 도장부스 및 배기가스 후처리 설비에도 VOC 저감을 위한 좀더 효과적인 여러 가지 공정 설계 개념 도입 및 운전 조건의 최적화를 요구하고 있다<sup>[3,4]</sup>.

그러므로, 본 연구는 기존의 도장공정 배기가스 처리제동의 VOC 저감성능 개선을 위하여 활성탄과 광촉매 기술이 복합된 VOC 처리 시스템을 제안하였고, 실증시험 설비를 이용하여 본 시스템의 VOC 처리 효과 및 제거 효율을 검토하였다. 시험 결과로부터, 본 처리 시스템이 기존의 활성탄 흡착기술에 비해 훨씬 높은 VOC 제거 효율과 다양한 VOC 화학종 및 농도에 대해 우수한 VOC 처리 효과를 보여주었다.

## 2. 도장 부스 및 VOC 처리 시스템의 설계

본 연구는 VOC 저감형 도장설비의 개발을 위한 도장 부스 및 배기가스 처리 설비들에 대한 공정 설계 개념을 Fig. 2와 같은 연속적인 공정 흐름형태로 구성하였다.

Fig. 2에서 보여 지듯이, 본 연구에서는 도장공정의 배기가스 중 VOC의 처리를 위해 도장 부스(booth), 활성탄 탑, 광촉매 시스템의 연계공정을 고려하였다. 본 시스템의 실증 시험을 위해서, 본 연구에서는 120 m<sup>3</sup>/min 용량의 파이롯트 급(pilot scale) 시험 설비에 대한 기본 설계를 수행하였고, 기본 설계 결과를 바탕으로 AHU(Air Handling Unit), 도장 부스 및 활성탄 탑과 같은 일부의 설비를 자체 제작하였으며, 광촉매 시스템은 유동층반응기/필터 연계시스템으로 구성하였다. 본 시스템의 기본 설계 결과를 요약하면 다음과 같다.

도장 부스는 밴두리형 액체 도장실 형태를 기본으로

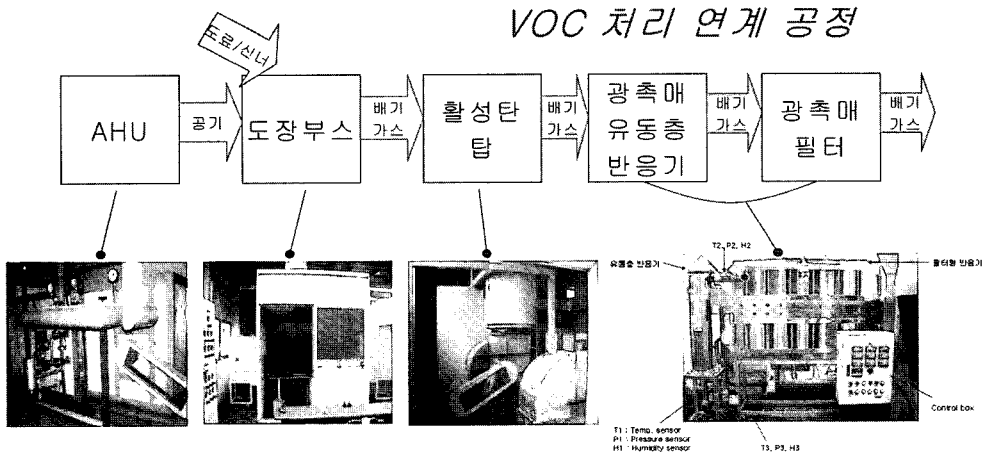


Fig. 2. Process design concept of VOC treatment system.

**Table 1. Design requirements of activated carbon tower.**

Item	Quantity
Exhaust gas capacity	120 m <sup>3</sup> /min
Exhaust gas temperature	288 K
Design VOC concentration of the exhaust gas at paint booth outlet	100 ppm
Adsorbing material in tower	activated carbon 4-10 mesh

강제 급, 배기형으로 설계하였고, 도장부스 설계 단면풍속은 0.5 m/s로 설정하였다. 또한 도장 부스의 와류실과 격판 구조의 eliminator는 전산유체역학적 방법을 이용하여 설계하였다. 도장 부스 설계에 대한 상세한 내용은 김관엽 등<sup>[5]</sup>에 기술되어 있다.

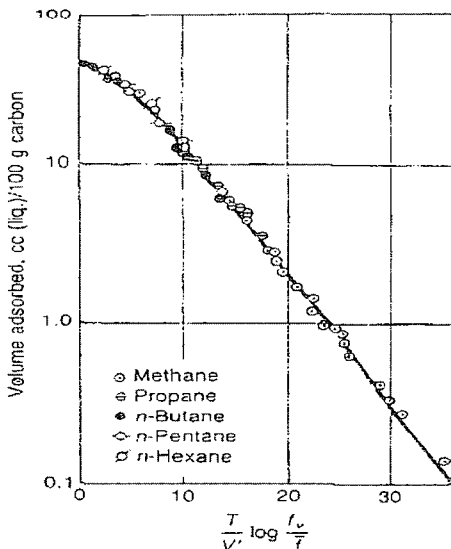
활성탄 탑은 고정층(fixed-bed) 방식으로 설계하였고, 활성탄 탑의 설계과정은 Cooper와 Alley가 제시한 방법<sup>[6]</sup>을 따랐다. 그리고 본 연구의 활성탄 탑 설계요구사항은 Table 1과 같다.

또한 도장부스 배기가스 중의 VOC를 톨루엔(toluene)이 대표한다고 가정하였고, 이때 톨루엔의 물성은 액체 밀도( $\rho_l$ )=866 kg/m<sup>3</sup>, 증기밀도( $\rho_v$ )=3.91 kg/m<sup>3</sup>, 분자량(MW<sub>toluene</sub>)=92.1이다.

Fig. 3으로부터 톨루엔에 대한 활성탄의 흡착성능을 구하기 위해, 그림의 횡축 좌표인  $(T/V')\log(P_v/P^o)$ 를 구할 필요가 있다. 이때 T는 가스의 온도, V'는 비 몰랄 체적(specific molal volume), P<sub>v</sub>는 톨루엔의 포화증기압, P<sup>o</sup>는 톨루엔의 분압을 나타낸다.

$$P^o = 0.001 \times 1 \text{ atm} = 0.001 \text{ atm}, P_v = 0.02 \text{ atm} @ T = 15^\circ\text{C}$$

$$V' = MW_{\text{toluene}} / \rho_{\text{toluene}} = 92.1 / 0.866 = 106.35 \text{ cm}^3/\text{gmol}$$



**Fig. 3. Adsorption potential for hydrocarbons<sup>[6]</sup>.**

$$\frac{T}{V'} \log \frac{P_v}{P^o} = \frac{288 \text{ K}}{106.35 \text{ cc/gmol}} \log \left( \frac{0.3}{0.00147} \right) = 6.26$$

그러므로 Fig. 3에서 활성탄의 흡착성능은 약 30 cc liquid/100 g-C이고, 이론 평형 흡착용량(theoretical equilibrium adsorption capacity)은

$$\frac{30 \text{ cc}}{100 \text{ gC}} \times \frac{1 \text{ gmol}}{106.35 \text{ cc}} \times \frac{92.1 \text{ g}}{\text{gmol}} = \frac{25.9 \text{ g-toluene}}{100 \text{ gC}}$$

이때 실제 흡착용량은 흡착 등온선(adsorption isotherm) 값의 25~30% 이고 톨루엔은 휘발성이 강하므로, 30%의 용량인자를 가정할 수 있으며<sup>[6]</sup>,

$$\text{carbon capacity for design} = 0.3 \times 25.9 = 7.8 \text{ g-toluene/100 g C}$$

로 계산된다.

본 연구에서는 활성탄의 시간에 따른 성능 저하를 고려하여, 경험적으로 60% 흡착효율을 가정하였다<sup>[5]</sup>. 그러므로, 활성탄 탑 층(bed)의 활성탄 필요량은 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{\text{kgC}}{\text{bed}} = 28.15 \frac{\text{kg-toluene}}{\text{hr}} \times \frac{100 \text{ kgC}}{7.8 \text{ kg-toluene}} \times \frac{1}{0.6} = 601 \frac{\text{kgC}}{\text{bed}}$$

활성탄의 밀도(bulk density)가 480 kg/m<sup>3</sup> 이므로,

$$\text{bed-volume} = \frac{601 \text{ kgC}}{480 \text{ kgC/m}^3} = 1.25 \text{ m}^3 \approx 1.2 \text{ m}^3$$

최종적으로 처리가스의 공탑속도(superficial velocity)를 0.6 m/s로 설계하면, Table 2와 같이 활성탄 탑의 설계 제원이 결정되어 진다.

**Table 2. Design specifications of activated carbon tower.**

Item	Quantity
Area of bed	3.33 m <sup>2</sup> ≈ 3 m <sup>2</sup>
Required adsorbion bed thickness	0.4 m
Gas residence time	0.67 sec
Spec. of activated carbon filter	1500 mm(W) × 1050 mm(L) × 2set=3.15 m <sup>2</sup> ≈ 3 m <sup>2</sup>

**Table 3. Design specifications of photocatalytic fluidized bed.**

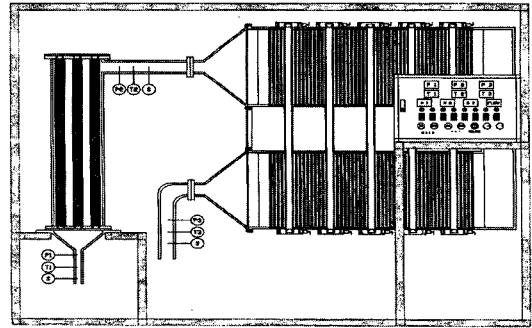
Items	Quantity
Fluidized particle	SiO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub> particles with 3 mm diameter and 20 kg gross weight
Minimum fluidization velocity	1.0 m/sec
Photocatalytic lamp	- Black Light Blue (UV-A lamp), 4 ea - Lamp wattage: 40 W - Lamp current: 0.42 A - UV output: 7.8 W - Average useful life: 5,000 hr

본 연구의 광촉매 시스템은 유동층 반응기와 필터의 연계시스템으로 구성하였다. 광촉매 유동층 반응기는 SiO<sub>2</sub> 지지체(support) 물질에 TiO<sub>2</sub> 코팅을 한 담체를 사용하였고, 유동층 반응기의 주요 설계 사양 및 특징은 Table 3과 같다.

앞서 언급한 바와 같이 TiO<sub>2</sub>의 지지체 물질은 SiO<sub>2</sub>를 이용하였다. 그러나 본 연구의 가스 유량에 대해서 비산 분말 되지 않고, 안정적으로 유동이 되기 위해서는 비교적 큰 입자가 필요하므로<sup>[7]</sup>, 현재 시판되고 있는 실리카겔 중에서 이에 적합한 크기와 질량을 지니는 입자를 선택하였으며, 평균 입자 크기는 3 mm이고 밀도는 약 2.2 g/cm<sup>3</sup>로서 Geldart 입자 분류로는 type-D에 속한다(Sigma chemical co. for desiccation, type II). 그러나, 기존의 지지체로 사용되던 실리카겔과는 달리 일반적으로 흡습용으로 사용되는 무른 입자이므로 소결을 시켜서 입자의 경도를 높여주었으며, 이때 코팅된 TiO<sub>2</sub>의 상 전이(phase transition)를 막기 위해서 약 600°C 이하에서 소결을 시켰다. 지지체 물질의 특성상 기존의 실리카겔과 달리 흡습제로 사용되던 실리카겔이므로, 흡착력이 매우 우수하여 TiO<sub>2</sub> 용액중에 존재하는 다량의 아몰포스 상(amorphous phase)의 TiO<sub>2</sub>를 흡착할 수 있기 때문에 1회 코팅으로도 충분한 양의 TiO<sub>2</sub> 광촉매를 담지시킬 수 있었다.

본 연구에서 사용한 광촉매의 최소 유동화 속도가 약 1.0 m/sec이므로, 이 유속을 기준으로 본 처리 용량에서 반응기의 면적을 계산하면, 내부에 삽입될 UV-램프의 면적을 제외하고 대략 360 cm<sup>2</sup>의 단면적이 필요하고, 직경으로는 약 23 cm의 길이를 갖는 유동층 반응기가 설계된다. 또한, 분산판의 직경에 약 3배 이상 광촉매를 충전시키기 위해서 요구되는 지지체 물질의 양을 계산하면, 약 20 kg이 필요하였다.

광촉매 필터는 유동층 반응기 후방에 설치하였고, 최대 80개의 벌집형태(honeycomb type) 필터가 설치가능하도록 시스템을 구성하였으며 필터 표면에 광촉매를 코

**Fig. 4. Photocatalytic fluidized bed and filter systems.**

팅하였다. 광촉매 필터 램프는 암청색 UV램프(black light blue UV-A lamp @ 40 W)로서 10개의 램프를 사용하였다. 광촉매 유동층 반응기 및 필터 시스템 설계 내용은 김관엽 등<sup>[8]</sup>에 상세히 기술되어 있다.

유동층반응기 및 필터 설비 전체를 스테인리스 스틸(stainless steel)로 제작하였으며, 내부의 유동상태 및 램프의 작동여부를 판단하기 위해 유동층 반응기, 필터층 반응기에 투시창을 만들었다. 또한 유동층 반응기 입구, 유동층 반응기와 필터층 반응기 사이, 필터층 반응기 출구에 분석을 위한 샘플링 포트(port), 압력 손실정도를 알 수 있는 압력계, 그리고 온도와 습도를 측정할 수 있는 온, 습도계를 설치하였다. Fig. 4는 본 연구에서 사용한 유동층-필터 연계 시스템의 개요도를 보여주고 있다.

### 3. 실증 시험 설비를 통한 VOC 처리 성능 평가

앞서 언급한 설계사양을 가지고 제작된 Fig. 2와 같은 도장부스-활성탄 탑-광촉매 시스템의 연계 실증시험 설비에 대해, 실제 도장 작업과 동일한 조건하에서, 도장부스에서 배출되는 배기가스를 테프론 백에 채취하여 배기가스 중의 VOC 성분들을 G/C(Gas Chromatography)를 이용하여 3~4차례 분석하여, VOC 농도는 분석결과들의 평균값을 취하였으며 이때 각 분석 결과들 간의 상대오차는 최대 15% 이내 이었다.

본 시험에 있어서 도장부스의 환기량은 120 m<sup>3</sup>/min으로 고정하였고, 도장 부스 내에서 도료는 스프레이 건(spray gun)으로부터 분무되며, 스프레이 건 도료의 양은 기어펌프에 의해 조절이 가능하다. 즉 기어펌프를 통해 도장 부스 내 분무되는 도료의 양(또는 VOC 농도)을 가변적으로 조정할 수 있다.

본 연구의 배기가스 측정 실험 시 도장부스에서 사용된 도료는 서로 다른 조성을 가지는 3종의 유성 에나멜 도료 및 thinner 등을 사용하였으며, 이를 통해 서

로 다른 도료로부터 발생하는 VOC의 저감효과를 평가, 비교하였다. 또한 광촉매 시스템의 경우 광촉매 유동층 반응기+필터를 사용하는 경우와 광촉매 필터만을 사용하는 경우에 대한 VOC 저감 효과를 비교, 분석하여, 향후 이루어질 광촉매시스템의 도장설비 실용화 적용에 대비하였다.

배기가스 측정은 도장부스 후방(활성탄 탑 입구), 활성탄 탑 출구(광촉매 유동층 반응기 입구), 광촉매 유동층 반응기 출구(광촉매 필터 입구) 및 광촉매 필터 출구의 4개 지점에서 수행하였으며, 배기가스는 흡입펌프를 사용하여 백(bag)에 채취한 후 G/C를 이용하여 분석하였다. 서로 다른 도료를 이용한 경우의 배기가스 내 VOC 측정된 결과, 배기가스에 포함되는 VOC 성분들은 톨루엔(toluene), 자일렌(xylene), 에틸벤젠(ethyl benzene), 메틸아세테이트(methyl acetate), 에틸아세테이트(ethyl acetate), 메틸이소부틸케톤(methyl isobutyl ketone), 아세톤(acetone), 2-부탄(2-butane) 등이 관찰되었고, 이러한 VOC 성분들의 종류 및 비율은 사용 도료의 종류에 따라 달라질 수 있다.

Fig. 5는 도료를 혼합하지 않고 신너(thinner)만을 도장부스에서 분무한 경우를 보여주고 있으며, 어떤 종류의 VOC 성분도 활성탄 탑과 광촉매를 거치며 매우 잘 제거됨을 볼 수 있으며, 잘 분해 되지 않는 방향족 화합물인 톨루엔의 저감효율도 최고 84%까지 육박함을 알 수 있다.

Fig. 6은 에나멜도료와 신너를 혼합한 경우 도장부스에서 배출되는 배기가스 내 VOC의 조성을 보여주고 있으며, 이때 도료의 분무량이 도장부스의 급기량에 비해 비교적 적게 유지되는 경우이다(저농도 가스). 이 경우에도 VOC의 주성분은 주로 톨루엔임을 알 수 있으며, 본

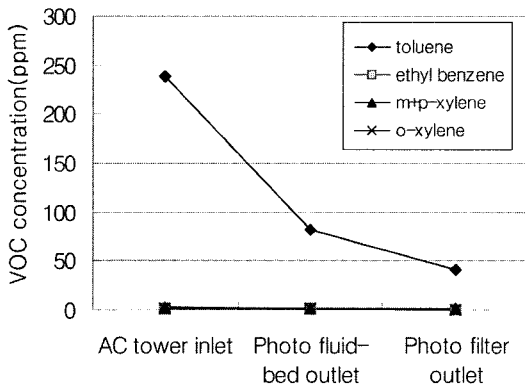


Fig. 5. Reduction in the VOC of the exhaust gas through activated carbon tower and photocatalytic system with fluidized bed and filters (thinner-case).

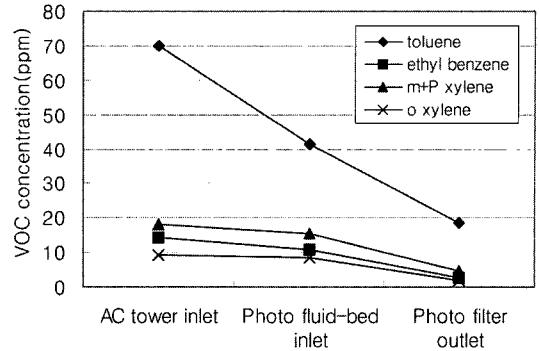


Fig. 6. Reduction in the VOC of low concentration exhaust gas through activated carbon tower and photocatalytic system with fluidized bed and filters (enamel-paint case).

연구의 배기가스 후처리 계통을 거치며 VOC가 도장부스 출구에 비해 약 20~25% 수준으로 줄어드는 것을 알 수 있다(저감효율 75~80%). 또한 본 배기가스 후처리 계통에서 활성탄 탑의 경우 입구조건을 기준으로 활성탄 탑의 출구 VOC 저감비율이 톨루엔의 경우 73%인 반면, 다른 VOC 성분들은 저감비율이 20~30% 수준으로 매우 낮은 수준이다. 그러나 광촉매 시스템의 경우 입구조건을 기준으로 한 출구에서 VOC 저감비율이 55% 수준이나, 오히려 다른 VOC 성분들은 VOC 저감비율이 70~75%에 이르는 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과들로부터, 도장작업에서 발생하는 다양한 종류의 VOC 성분들을 동시에 제거하는데 있어, 본 연구에서 제안한 활성탄 탑+광촉매 복합시스템이 서로 상호보완적 기능을 가지고 매우 효과적으로 작동함을 알 수 있다.

Fig. 7은 광촉매 유동층 반응기를 사용하지 않고 활성탄 탑 출구의 배기가스를 바로 광촉매 필터에 연결한

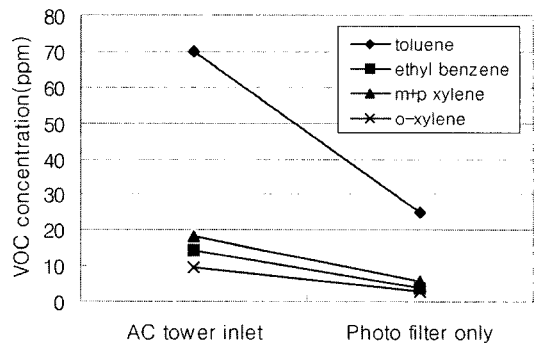
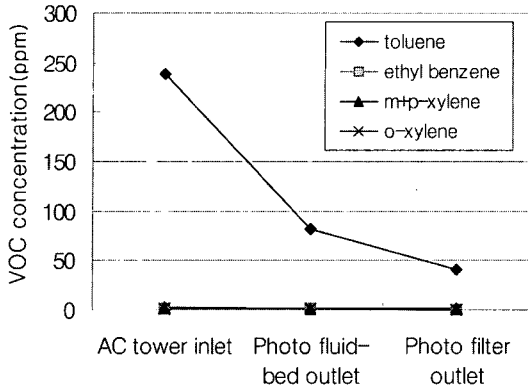


Fig. 7. Reduction in the VOC of low concentration exhaust gas through activated carbon tower and photocatalytic system with filters only (enamel-paint case).

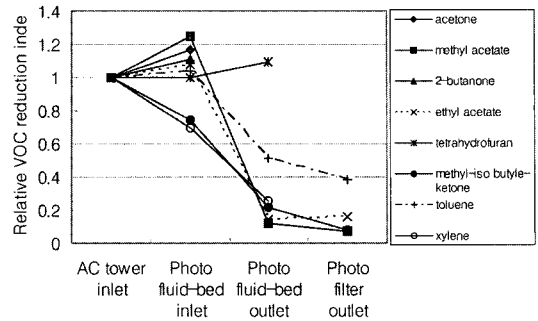


**Fig. 8. Reduction in the VOC of high concentration exhaust gas through activated carbon tower and photocatalytic system with fluidized bed and filter (enamel-paint case).**

경우이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 광촉매 유동층 반응기를 사용하지 않았음에도 불구하고, 톨루엔 및 다른 VOC 성분들이 활성탄 탑 과 광촉매 필터를 거치며 약 65~70% 가량 줄어드는 결과를 볼 수 있다.

Fig. 8은 앞서의 Figs. 6, 7에 비해 도장부스 배기가스 중 VOC 포함량이 최대 2배가량 많은 고농도 가스의 경우에 대한 실험결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 고농도임에도 불구하고 본 시스템의 톨루엔을 포함하는 모든 VOC 성분들에 대한 저감효과가 현저함을 알 수 있다. 그러나 고농도 가스의 경우 VOC 저감효율은 60~73% 수준으로 유지된다. 이러한 현상은 가스 중에 도료가 많이 포함되어 VOC 농도가 증가할수록, 도료 중에 있는 고형분도 배기가스 중에 많이 포함되고 이로 인해 순수 증기(vapor)상태에 비해 흡착(adsorption) 및 광촉매 반응에 의한 VOC 저감효과가 다소 둔화되는 것으로 생각된다. 그러나 실제 도장부스 조업조건에서는 도장부스 출구 배기가스 중의 VOC 농도가 100 ppm 이하로 유지되므로, 고농도 가스에서의 이러한 VOC 저감효과의 둔화는 실제 현장에서는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

Fig. 9는 앞서의 경우들과는 달리 좀더 다양한 VOC 성분을 가지는 우레탄 도료에 대한 실험을 수행한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보여 지듯이, 배기가스 중의 VOC 성분이 톨루엔(toluene), 자일렌(xylene) 이외에 2-프로판(2-propane or acetone), 메틸아세테이트(methyl acetate), 2-부타논(2-butanone), 에틸아세테이트(ethyl acetate), 테트라하이드로퓨란(tetrahydrofuran), 메틸이소부틸케톤(methyl isobutyl ketone)같은 다양한 유기화합물 성분이 관찰되었다. 그리고 VOC 주성분도 앞서의 예



**Fig. 9. Reduction in the VOC of the exhaust gas through activated carbon tower and photocatalytic system (urethane-paint case).**

나멜 도료와는 달리 메틸아세테이트, 톨루엔, 에틸아세테이트 순으로 나타나고 있다. 그림에서 보여 지듯이, 각 VOC 성분들에 대한 저감효율도 60~100% 수준으로 매우 높게 유지되었고, 이러한 결과는 우레탄 도료의 각 VOC 성분들에 대해서도 활성탄 탑의 흡착반응과 광촉매 반응이 상호보완적으로 효과적인 작용을 한 결과로 판단된다.

앞서의 신너, 에나멜 도료 및 우레탄 도료 실험결과들을 바탕으로 도장부스 내 발생 가능한 VOC 성분들에 대한 제거 효율들을 요약하였다. Table 4에서 볼 수 있듯이, 2-프로판, 2-부타논, 테트라하이드로퓨란, 메틸이소부틸케톤, 자일렌 등은 그 배출량이 비교적 소량이므로 90%에서 100%까지의 높은 VOC 제거 효율을 나타내었고, 또한 배출량이 상대적으로 많은 메틸아세테이트는 그 배출량에 비해서도 94%의 높은 제거율을 보인다. 또한 앞서의 결과들과 유사하게, 톨루엔은 방향족 벤젠고리화합물로서 다른 물질에 비해 상대적으로 낮은 처리효율을 나타내고 있다. Table 4에서 보여 지듯이, 도장 공정 내 배기가스 처리효율은, VOC 성분에 따라 다소 차이는 있으나 대략적으로 75~100% 범위에 있으며, 전

**Table 4. VOC removal efficiencies for various hydrocarbons.**

No.	VOC component	VOC removal efficiency (%)
1	2-propanone(Acetone)	100
2	Methyl acetate	94
3	2-butanone	100
4	Ethyl acetate	85
5	Tetrahydrofuran	100
6	Methyl isobutyl ketone	90
7	Toluene	63-84
8	Xylene	75-100

체 VOC 성분들에 대한 평균 처리효율은 91.37%를 보여주고 있다.

자 여러분에게도 감사드립니다.

#### 4. 결 론

도장 공정에서 발생하는 배기가스 내 VOC 처리를 위한 활성탄-탑·광촉매 복합 시스템을 제안하였다. 실증 시험결과 두 가지 처리기술을 복합한 VOC 처리시스템은 다양한 VOC 화학종들의 처리에 상호 보완적으로 매우 효과적으로 작용하였고, VOC 제거효율도 VOC 성분에 따라 75~100%에 이르렀다.

#### 후 기

본 연구는 수원대학교 환경청정기술연구센터의 지원과 청정생산사업 연구비 지원에 의해 이루어 졌음을 밝히며, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다. 또한 도장 실증시험설비를 이용하게 해주신 대한도장플랜트 관계

#### 참고문헌

1. 윤재호, 김영률. 청정도장기술개발 도장성능시험평가 설비 구축사업, 산업자원부, 1999.
2. 이정희. 산업환경공학, 원창출판사, 2000.
3. 장순익. 도장실무가이드, 세화, 1996.
4. Zhao, J.; Yang, X. "Photocatalytic Oxidation for Indoor Air Purification : A Literature Review", Building and Environment, 2003, 38, 645.
5. 김관엽; 이찬 외, 청정도장기기 및 시스템 개발, 산업자원부, 2004.
6. Cooper, C.D.; Alley, F.C. Air Pollution Control: A Design Approach, Waveland Press, 1986.
7. Davidson, J.F.; Schüler, B.O.G. Fluidization Engineering; Kunii, D. and Levenspiel, O. (Eds.), Butterworth-Heinemann, 1991.