

## 광산화-활성탄 복합공정에 의한 B.T.X. 분해에 관한 연구

정 창 훈 · 배 해 룡\*

동아대학교 환경공학과, \*경주대학교 건설환경공학부  
(2003년 10월 7일 접수; 2004년 1월 12일 채택)

### A Study on the removal of B.T.X. by UV Photooxidation-Activated Carbon

Chang-Hoon Jeong and Hae-Ryong Bae\*

Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea  
\*Dept. of Environmental Engineering, Gyeongju University, Gyeongju 780-712, Korea  
(Manuscript received 7 October, 2003; accepted 12 January, 2004)

In this study, The decomposition of gas-phase Benzene and Toluene, Xylene in air streams by direct UV Photolysis, UV/TiO<sub>2</sub> and UV/TiO<sub>2</sub>/A.C process was studied. The experiments were carried out under various UV light intensities and initial concentrations of B.T.X to investigate and compare the removal efficiency of the pollutant. B.T.X was determined by GC-FID of gas samples taken from the a glass sampling bulb which was located at reactor inlet and outlet by gas-tight syringe.

From this study, the results indicate that UV/TiO<sub>2</sub>/A.C system (photooxidation-photocatalytic oxidation-adsorption process) is ideal for treatment of B.T.X from the small workplace. Although the results needs more verifications, the methodology seems to be reasonable and can be applied for various workplace (laundry, gas station et al.).

Key words : B.T.X, Photooxidation, Photocatalytic oxidation, Adsorption process, UV

#### 1. 서 론

오늘날 대기오염은 현대를 살아가는 우리에게 심각한 환경오염 문제로 대두되고 있다. 이러한 대기오염의 문제는 지난 수 세기동안 인류가 발전시켜왔던 현대문명의 기반이 된 산업혁명을 필두로 화석연료의 대량사용, 인구의 도시집중화 및 급속한 도시화와 산업화, 자동차를 비롯한 다양한 수송수단의 증가 그리고 대량생산 및 소비과정과 복잡하게 연결되어있다. 대부분의 국가에서는 과거의 산업화와 도시화에 기인한 대기오염문제에 직면해있으며 이를 해결하기 위하여 다양한 방법을 모색하고 있다.<sup>1)</sup>

현재 우리 나라의 대기오염은 황산화물과 입자상 오염물질에 의한 오염이 주를 이루었던 과거의 대

기오염 형태에서 청정에너지의 도입과 다양한 방지 기술의 개발 및 보급 그리고 국민들의 교육수준 향상에 따른 환경보전의식고조 등으로 대도시의 질소산화물, 오존, 미세먼자 공단지역의 각종 악취 및 휘발성 유기화합물질(Volatile Organic Compounds: VOCs) 등이 대기오염의 주를 이루고있는 선진국형으로 전환되어가고 있다.

현재 국내에서는 VOCs를 처리하는 흡착, Scrubbing 등의 기존방법들이 가지고 있는 한계성을 극복하고자 광분해, 광촉매, 플라즈마 방전 및 전자빔 기술 등의 신기술에 대한 적용이 늘어나고 있다. 그러나 이러한 신기술들은 그 잠재적 가능성에도 불구하고 아직 기존의 방법을 대체 할 만한 효율과 경제성을 가지고 있지 못한 것이 현실이다. 또한 대기환경기준법에서 규제하고있는 세탁시설 및 자동차 정비소와 주유소 등과 같은 소규모 VOCs 배출업소에 적용할 수 있는 휘발성유기화합물 처리장치의 개발에 있어

Corresponding Author : Dept. of Environmental Engineering,  
Dong-A University, Busan 604-714, Korea  
Phone : +82-51-200-5574  
E-mail : jchun86@hanmail.net

서의 적절한 공정 개발은 시급한 실정이다.<sup>2)</sup> 이에 본 연구에서는 대표적인 VOCs인 B.T.X.(Benzene, Toluene, Xylene)을 제어대상물질로 선정하여 이들 물질을 제어하기 위한 원천기술로 ① 자외선 영역의 빛을 이용한 광분해<sup>3)</sup>와 ② 활성탄을 이용한 흡착 등 두 가지의 공정들이 가지고 있는 핵심기술을 도입,병합하여 세탁소, 자동차 정비소 및 주유소 등의 소규모 배출공정에 적용할 수 있는 새로운 제어 기술의 개발 및 평가를 하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 시료가스 도입부, 유량 조절부, 유입 시료 채취부, 광산화 반응부,활성탄 흡착부, 유출 시료 채취부 및 분석부로 구성되어 있다. 특히 광산화-활성탄 흡착부는 탈부착이 가능하므로 활성탄 흡착 단독 공정, 그리고 광산화-활성탄 흡착 복합 공정의 실험이 모두 가능하도록 설계되었고,본 실험장치의 개략도를 Fig. 1 에 나타내었다.

### 2.2. 실험방법 및 조건

본 실험에서는 UV 광산화 단독공정,UV 광산화-활성탄 흡착 연속공정시 VOCs 처리율을 비교하였다. 각각의 실험에서 UV 출력, 유량, 시료가스의 농도, 충전되는 활성탄의 주입량을 변화시키면서 각각의 변화에 따른 처리효율을 비교하였다.

#### 2.2.1 시료가스의 제조

본 실험에 사용된 B.T.X. 시료가스는 Standard Air bomb에 미세 유량계를 장착하여 Standard Air 를 Tedlar bag으로 정량 유입시키고, Air sampling standard method를 적용하여 구한 적정량의 B.T.X. 용액을 Tedlar bag에 주입하여 제조하였다. 즉, 일

정 유량의 Standard Air를 Tedlar bag에 주입한 후 Microsyringe(10 $\mu$ l)를 사용하여 B.T.X. 용액 적정량을 주입하고, 균일한 농도의 시료가스를 얻기 위하여 Magnetic stirrer와 Mixing chamber로 구성된 교반기를 통과시켜 충분한 혼합이 이루어질 수 있도록 구성하였다.<sup>4)</sup>

$$C_{ppm} = 22.4 \times 10^6 \left( \frac{\rho V_L}{M V} \right) \left( \frac{T}{273} \right) \left( \frac{760}{P} \right)$$

C : Concentration of test gas (ppm)      V : Volume of Tedlar bag (l)

$\rho$  : Density of liquid sample (g/ml)      T : Temperature (K)

M : Molecular weight of sample (g/mol)      P : Pressure(mmHg)

V<sub>L</sub> : Volume of liquid sample (ml)

시료가스의 농도는 B.T.X. 물질에 따라 각각 100~500ppm으로 제조되어 반응기로 유입되었다.

### 2.3. 측정 및 분석

#### 2.3.1. B.T.X.의 시료 분석

시료가스인 B.T.X.의 반응 전·후의 농도 분석은 GC/FID (HP 6890 series)를 사용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 광산화 단독 공정에 의한 처리 특성

#### 3.1.1. 자외선 출력 및 유량변화에 따른 처리 특성

UV 출력에 따른 B.T.X.처리 특성의 변화를 고찰하기 위하여 25W, 64W인 두 종류의 자외선 램프를 사용하여 실험을 수행하였다. 또한 유량변화에 따른 처리 특성을 보기 위하여 상기의 조건에서 0.5LPM, 1LPM에서 각각 실험을 수행하였다.

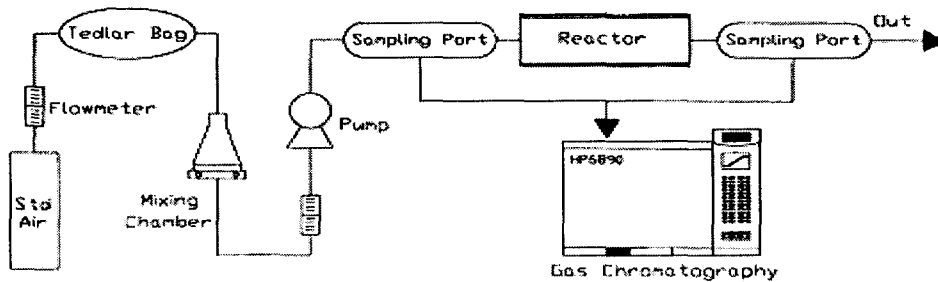


Fig. 1. Schematics diagram of experimental apparatus.

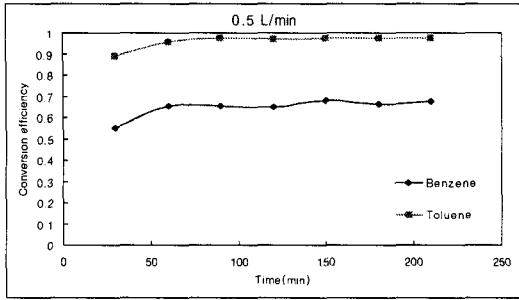


Fig. 2. Dependence of conversion efficiency of Benzene and Toluene on UV output.

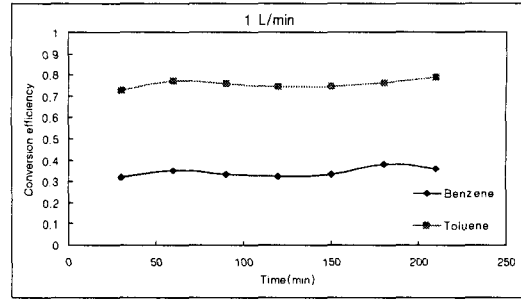


Fig. 3. Dependence of conversion efficiency of Benzene and Toluene on UV output.

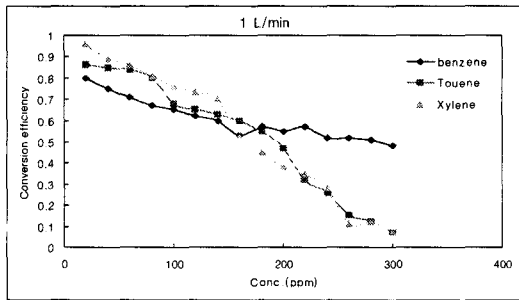


Fig. 4. Dependence of conversion efficiency of B.T.X. on UV output(UV output : 64W).

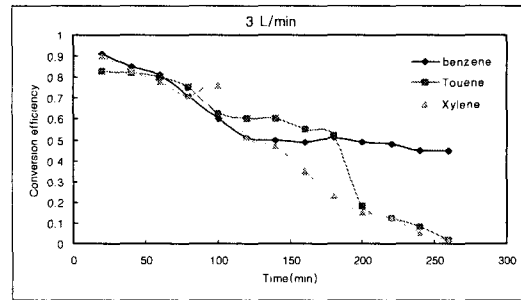


Fig. 5. Dependence of conversion efficiency of B.T.X.on UV output(UV output : 64W).

Fig. 2와 Fig. 3은 25W의 램프에서 유량이 0.5LPM과 1LPM일 때 Benzene과 Toluene의 처리효율을 실험한 결과이다. 1LPM의 결과에서 램프를 켜고 30분 후부터 안정적인 처리효율을 나타내었는데, 이것은 1LPM에 비해 0.5LPM으로 처리시 체류시간이 길어 광산화 효율이 높은 것에 기인된 것으로 볼 수 있다.

Fig. 4~Fig. 5에 1LPM과 3LPM에서 각 물질의 전환율을 나타내었다.

3LPM에서 Benzene은 100ppm이하의 농도에서 약 60%이상의 전환율을 보였고, 200ppm이상의 농도에서는 모든 유량에 있어서 전환율의 급감이 없이 50%정도의 전환율을 나타내었다. Toluene은 100ppm이하의 농도에서 약 60%이상의 전환율을 보였고, 180ppm이상에서는 전환율의 급감현상이 나타났으며, 200ppm이상의 농도에서는 50%이하로 전환율의 급격한 감소 곡선을 나타내었다. Xylene은 100ppm이하의 농도에서 약 67%이상의 전환율을 보였고, 200ppm이상에서는 10%이하의 전환율을 나타내었다.

UV광산화 단독공정 실험시 64W에서 25W보다 높은 전환율을 나타냄을 알 수 있으며, 두 실험 모

두에서 저농도, 저유량에서 전환율이 우수함을 알 수 있다. 산업 환경에 적용시 64W가 넓은 적용 범위를 가지며 후처리 복합 공정시 뛰어난 성능을 가질 것으로 사료된다.

### 3.2. UV광산화-TiO<sub>2</sub>광촉매-활성탄흡착 복합 공정의 처리 특성

기존의 광산화 단독공정, 광촉매 단독공정들의 단점을 보완하기 위하여 UV 광산화, TiO<sub>2</sub> 광촉매, 활성탄 흡착의 3공정을 복합하여 구성한 처리 system으로 실험을 수행하였다.

#### 3.2.1. 25WUV광산화-TiO<sub>2</sub>광촉매-활성탄흡착 복합 공정의 처리 특성

Fig. 6~Fig. 7은 25W 광산화 반응기에서 처리유량이 1LPM이고, 주입농도가 300~500ppm으로 변화할 때의 광산화-활성탄 흡착 연속 공정에 의한 Benzene, Toluene의 처리효율을 각각 나타낸 것이다. Fig. 8에서 보는 바와 같이, Benzene의 경우, 각각의 농도 모두가 1100분까지는 90% 이상의 효율을 보였다.

Fig. 8~Fig. 9는 25W 광산화 반응기에서 처리유량이 3LPM이고, 주입농도가 300~500ppm으로 변

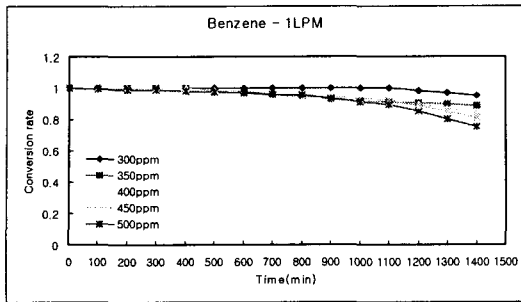


Fig. 6. Conversion efficiency of Benzene by hybrid process(25WUV/TiO<sub>2</sub>/A.C.).

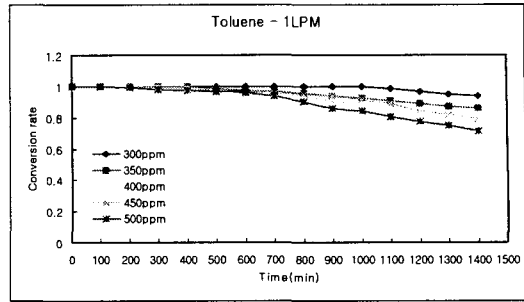


Fig. 7. Conversion efficiency of Toluene by hybrid process(25WUV/TiO<sub>2</sub>/A.C.).

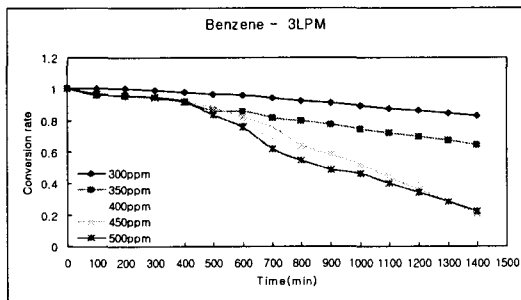


Fig. 8. Conversion efficiency of Benzene by hybrid process(25WUV/TiO<sub>2</sub>/A.C.).

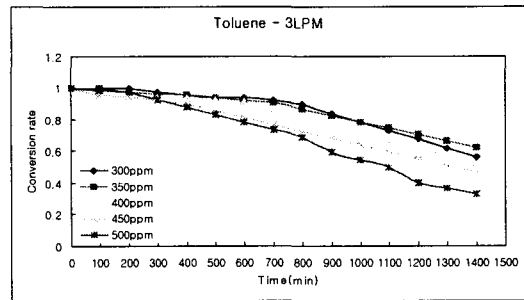


Fig. 9. Conversion efficiency of Toluene by hybrid process(25WUV/TiO<sub>2</sub>/A.C.).

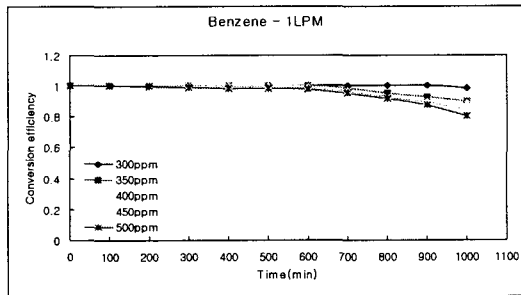


Fig. 10. Conversion efficiency of Benzene by hybrid process(64WUV/TiO<sub>2</sub>/A.C.).

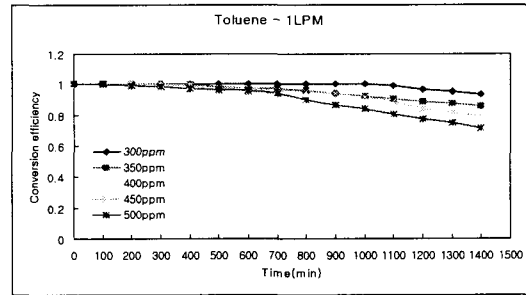


Fig. 11. Conversion efficiency of Toluene by hybrid process(64WUV/TiO<sub>2</sub>/A.C.).

화할 때의 광산화-활성탄 흡착 연속 공정에 의한 Benzene, Toluene의 처리효율을 각각 나타낸 것이다. Fig. 8에서 보는 바와 같이, Benzene의 경우, 각각의 농도 모두가 550분까지는 80% 이상의 효율을 보였다.

### 3.2.2 64WUV광산화-TiO<sub>2</sub>광촉매-활성탄흡착 복합 공정의 처리 특성

Fig. 10에서 보는 바와 같이, Benzene의 경우, 각각의 농도 모두가 850분까지는 90% 이상의 효율을 보였다. Fig. 11은 동일 조건의 Toluene에 대한 처

리효율을 나타낸 것으로, 각각의 농도 모두가 800분까지는 90% 이상의 효율을 보였다.

Fig. 12~Fig. 13은 64W 광산화 반응기에서 처리 유량이 3LPM이고, 주입농도가 300~500ppm으로 변화할 때의 광산화-활성탄 흡착 연속 공정에 의한 Benzene, Toluene의 처리효율을 각각 나타낸 것이다. Fig. 12에서 보는 바와 같이, Benzene의 경우, 각각의 농도 모두가 580분까지는 80% 이상의 효율을 보였다. Fig. 13은 동일 조건의 Toluene에 대한 처리효율을 나타낸 것으로, 각각의 농도 모두가 770

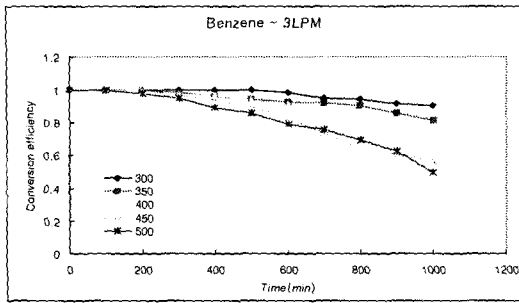


Fig. 12. Conversion efficiency of Benzene by hybrid process(64WUV/TiO<sub>2</sub>/A.C.).

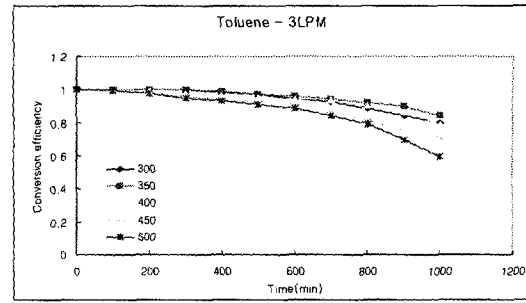


Fig. 13. Conversion efficiency of Toluene by hybrid process(64WUV/TiO<sub>2</sub>/A.C.).

분까지는 80% 이상의 효율을 보였다.

UV광산화 25W, 64W에서 복합 및 연속공정으로 실험을 한 결과 64W에서 보다 뛰어난 성능을 보임을 알 수 있다. 또한, 64W에서 후단의 활성탄 파괴점 도달 시간이 증대됨을 알 수 있다. 그러나, 산업장에서 적용시 25W의 UV광산화 공정을 적용 가능하다고 사료된다. UV광산화 공정은 높은 농도의 오존 및 분해되지 않은 물질의 라디칼을 발생시키므로 후처리 공정을 통한 제거가 필요하다 여겨진다.

#### 4. 결론

- 1) 광산화 반응기에 의한 휘발성 유기화합물의 처리 효율은 64W에서 농도범위가 넓게 적용될 수 있으며, 25W보다 훨씬 더 높은 처리효율로 처리되어, 광산화-광촉매 복합공정이나 광산화-활성탄 등 복합공정에 적용시 그 적용 가능성이 높다고 할 수 있다.
- 2) 광산화-흡착 복합공정에 대한 실험결과 광산화 단독 공정에 비하여 효율이 증가하였다. 자외선 출력 25w에 비하여 64w에서 약 10% 정도의 전환율 상승과 약 300분의 파괴시간 증대를 보여 주었으며 휘발성 유기화합물 농도가 300ppm 이하인 작업장에서는 25w UV광산화-광촉매-활성탄 흡착공정 적용이 가능할 것으로 사료된다.
- 3) 활성탄 흡착공정의 조합시 광산화 반응에서 발생

한 dichloroacetyl chloride, trichloro acetaldehyde GC의 중간생성물 peak도 상당량 감소되는 경향을 볼 수 있었다. 그러므로 오존을 포함한 라디칼 반응의 주요 중간생성물질들에 대한 위험을 제거하기 위해서는 광산화공정에 광촉매 및 활성탄의 흡착공정의 복합공정의 채택은 필수적인 요소로 판단된다.

#### 참고 문헌

- 1) Michael, E. J. and C. C. Kevin, 2000, Ozone and other secondary photochemical pollutants: chemical processes governing their formation in the planetary boundary layer, Atmospheric Environment, 34, 2499-2527.
- 2) 기준학, 2000, 21세기 유망 환경기술의 개발동향과 전망, 환경 VIP Report, 38, 1-8.
- 3) Trainer, M., D. D. Parrish, P. D. Goldan, J. Robert and F. C. Fehsenfeld, 2000, Review of observation-based analysis of the regional factors influencing ozone concentrations, Atmospheric Environment, 34, 2045-2061.
- 4) Wiederkehr, P., 1994, Emission reduction programmes for VOC in some OECD countries, Environmental Science, 61, 11-28.