

## 광화학적 방법을 이용한 휘발성 방향족 화합물의 분해

김 종 향

경남보건환경연구원

(1998년 1월 25일 접수, 1998년 7월 14일 채택)

### Decomposition of volatile aromatic compounds by photochemical treatment

Kim Jong Hyang

133-1 sarim-dong, Changwon-si, Kyung Sang Nam-do

Institute of Health & Environment, 641-241

#### 요 약

휘발성 유기화합물(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌)의 광분해를 단순 UV조사와  $TiO_2$  광촉매하의 UV조사를 이용하여 연구하였고 또한 여러 가지 반응조건에 따른 분해효율에 대해 고찰하였다. 광분해반응기는 중압 수은램프가 부착된 석영 annular 반응기를 이용하였다. UV조사에 의한 휘발성유기화합물의 분해정도는 톨루엔 92% ≥ 에틸벤젠 92% > 벤젠 83% > 크실렌 82% 였고,  $TiO_2$  광촉매하의 UV조사를 이용한 유기물의 분해정도는 톨루엔 92% > 크실렌 82% > 에틸벤젠 80% > 벤젠 53% 였다. 반응물의 분석은 Purge & Trap 농축기를 이용하여 FID가 부착된 GC로 분석하였고, GC-MS로 반응물의 중간생성물을 확인하였다.

**ABSTRACT :** Photodecomposition behaviors of volatile organic compounds (VOCs ; benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes) over UV irradiation and UV irradiation with  $TiO_2$  powder catalyst were studied and the extent of degradation were also investigated under various reaction conditions. The reactions were conducted in a quartz annular reactor equipped with a medium pressure mercury lamp. As a result, the extents of degradation were 92% for toluene and ethylbenzene, 83% for benzene, and 82% for xylenes under UV irradiation. And they were 92% for toluene, 82% for xylene and ethylbenzene, and 53% for benzene under UV irradiation with  $TiO_2$  powder. Analyses of reacted samples by FID-gas chromatograph with Purge & Trap concentrator and GC-MS indicated that the aromatics formed many intermediates.

#### 1. 서 론

많은 유독유기물, 무기이온등이 공장배수로 끊임없이 방출되고있으며, 지난 수년간 이들 물질들을 제거하기위한 많은 공정들이 개발되어왔다. 일반적

으로 물속에는 약 2,000 가지 이상의 화학물질이 존재하며 750가지의 물질이 음용수에서 확인되었고 이 중 600가지 이상의 물질이 유기오염물질로 판명되었으며, 이 오염물에는 발암성물질, 돌연변이성 물질등이 포함된다. 휘발성 유기화합물은 상온, 상

알라에서 휘발성 액체이며 용제, 그리스제거제 및 합성화학물질 제조 원료로 사용되는 염화알칸, 알켄류, 벤젠류 및 염화벤젠류 등 비교적 휘발성이 큰 유기화합물질을 총칭한다[1]. 이 물질의 오염원은 지표수원, 지하수원, 처리식수 등 공공식수계 전반에 걸쳐있으며, 오염수준은 보통 낮은 농도이나 자주 보고되고 있어 먹는물에서의 휘발성 유기화합물의 규제지침 및 법령제정이 날로 강화되는 추세에 있으며, 우리나라에서도 휘발성 유기화합물의 항목이 계속 추가되는 추세에 있다[2].

특히 낙동강오염의 주범으로 지적되고 있는 벤젠, 톨루엔 등의 유기오염물질의 관리가 시급한 것으로 알려져있다[3]. 이러한 유독물질을 제거하는 일반적인 처리법으로는 Packed-bed aeration 과 활성탄 흡착 등으로 알려져있지만, 이 방법들은 난분해성 유해 유기화합물의 처리에 문제점이 있는 것으로 보고되고있다[4].

그러므로 이러한 문제점을 보완하기위한 처리법중의 하나로서 반도체산화물을 촉매로 사용하는 고급산화법이 알려져 있으며, 촉매로 사용되는 반도체산화물 중에서  $TiO_2$ 를 광촉매로 이용하는 처리기술이 1980년대부터 연구가 되기시작하였다[5]. Terzian 등[6]은 UV와  $TiO_2$  광촉매를 이용하여 Cresol의 분해, Okamoto 등[7]은 Phenol의 분해특성에 관하여 연구를 하였다. 그러나,  $TiO_2$  분말을 광촉매로 사용하면 유기물의 분해속도를 증가시키지만, 처리후 침전, 회수하여 재사용은 매우 어렵기 때문에 수처리기술로서 실용적인 방법은 아니라고 알려져왔지만, 장치 설계면에서 처리용량에 한계가 있는 촉매 고정화방식이 아닌 촉매 회수장치를 이용한 광촉매의 현탁방식을 이용한 장치가 최근 개발되면서 Kim등[8]은 이러한 문제점을 해결할 수 있다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 대표적인 난분해성 방향족 화합물로 알려진 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 그리고 크실렌을 분해대상물질로 하여, 이러한 물질들을 단순 UV조사,  $TiO_2$  분말촉매하에서의 UV조사 조건에서 일정농도를 기준으로하여 분해되는 과정과 pH변화에 의한 분해정도 및 유기물의 제거정도 등을 비교검토하였으며, 또한 이 물질들이 분해되면서 생성되는 반응 중간생성물들을 조사하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2-1. 재료

광분해대상인 휘발성 유기화합물인 Benzene(Aldrich, 99.0%), Toluene(Aldrich, 99.5%), Ethylbenzene(Aldrich, 99.0%), Xylenes(Aldrich, 98.5%), 광촉매로 사용한 이산화티타늄 분말(Wako, - 5  $\mu$ m, 99.9%, anatase), 그의 나머지 시약들은 정제없이 사용하였다.

450 W( USHIO UM 452 )의 medium pressure Hg Arc를 UV 광에너지원으로 사용하였다. 증류수는 Milli-Q(Millipore Corp., Belford, MA)순수제조장치를 통과한 물을 사용하였으며, 실험에 사용된 물의 용존산소는 약 8.5mg/L 이었고, 초기 pH값들은 6.3-6.8 이며, Total Organic Carbon(TOC)는 약 0.2-0.5 mg/L 인 것을 사용하였다. pH조절은 HCl 과 NaOH 로 하였다.

### 2-2. 실험장치 및 분해실험

본 연구에 사용된 광분해 장치는 Min등[9] 과 같은 동일한 반응기를 사용하였다. 광원으로는 450 W의 UV램프를 이용하였으며, 이것은 석영채질로 만들어진 이중관으로 보호하여 반응용액(volume: 1,000 mL)중에 잠수시켰으며, 이 때 반응용액의 온도를 일정하게 유지시켜 주기 위하여 냉각수를 공급해 주었다. 특히 이 실험에서 주의해야 할 점은 분해대상이 휘발성 화합물이기때문에 실험을 한 후, 분석은 즉시 이루어져야만 정량이 가능하므로 이러한 점을 고려해야 한다.

분해실험은 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 그리고 크실렌을 대상 물질로 선택하여 메탄올을 stock solution의 용매로 하여 초기농도를 각각 300ppm으로 만들어 이를 반응용기에 용액 1,000 mL을 주입시켜 각 물질들의 UV조사 그리고  $TiO_2$  분말 촉매하의 UV조사와  $TiO_2$  분말촉매의 두 조건 및 pH변화 (pH 3.0, 5.0, 7.0 그리고 10.0)에 따라 분해실험을 행하였다.

시료분석은 일정간격으로 5mL를 채취하여 분석하였고, 각 물질에서 mineralization를 측정하기 위해서 30 mL를 채취하여 TOC분석을 하였다.

2-3. 분석방법

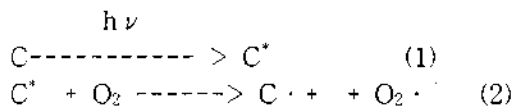
유기물은 Purge & Trap (Table 1)으로 전처리한 후 내경 0.53 mm, 길이 105 m의 HP-VOC 컬럼과 FID가 내장된 GC (Hewlett Packard 5890 series II plus)를 사용하여 분석하였다. GC의 분석조건은 검출기온도는 250 ℃, 오븐온도는 초기온도 70 ℃에서 3분으로하여 가열속도는 분당 5 ℃ 상승시킨 후, 최종온도를 150 ℃로 하여 3분 승온조작하였다. 위의 방법으로 휘발성 유기화합물이 300 ppm 포함된 표준용액 10 μL 를 Blank water 5 mL가 들어있는 시료용기 Sparger에 주입하고, Purge & Trap을 통하여 농축한 후, Capillary interface를 이용하여 GC에 주입하여 분석하고 각 VOC의 크로마토그램을 얻었다.

반응 중간생성물질의 확인은 Purge & Trap가 부착된 GC-MS (Hewlett Packard 5898 B)를 사용하였으며, 또한, TOC를 측정하기위해서 Shimadzu TOC- 5000A analyzer 으로 분석하였고, pH측정을 위해서는 25 ± 0.1 ℃ 항온조 내에서 pH meter(Orion Research 940)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 광분해

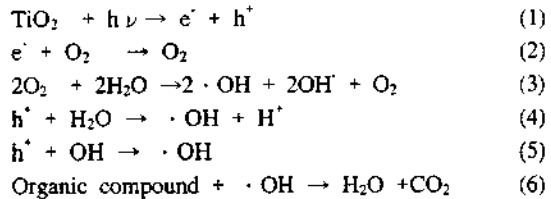
자외선-광분해에 의한 광산화(photo-oxidation)반응은 유기물 자체의 전자전이에 의해 일어난다. 이러한 대부분의 반응은 전자가 들뜬상태(excited-state(C\*)) (식 1)로 전이를 하고 정상상태에서의 산소분자와 함께 라디칼 이온을 연속적으로 생성하게 된다(식 2).



유기물의 전자 들뜸에 의한 이러한 광산화 반응의 속도는 유기매체의 흡수도, 반응에서의 양자수를 및 들뜬상태를 야기시키는 파장에서의 광자생성율, 용해된 산소분자의 농도에 의존하는 것으로 알려져 있다[10].

3-2. 광촉매분해

반도체산화물을 그 band gap 이상의 에너지를 갖는 파장의 빛으로 조사시키면 이 산화물들은 전자(electron) 와 정공(positive hole)이 생성되는데 일반적인 반응기구는 다음과 같다[11].



이들 전자와 정공들은 물속에서 산소 그리고 처리대상 화합물들과 산화환원반응을 유발시켜 강력한 산화제인 hydroxy radical이 생성되고 최종적으로는 유기물들을 이산화탄소와 물 등으로 분해시키는 것으로 알려지고 있다.

3-3. 휘발성 유기화합물들의 분해

벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 그리고 크실렌의 분해 정도를 Fig.1 ~ 4에 나타내었다.

Fig. 1는 초기농도 300 mg/L에서의 벤젠 분해율을 나타낸 것이다.

이 물질은 UV조사에 의해서는 반응 1 시간 후 83% 정도의 분해율을 나타내었으나, TiO<sub>2</sub> 광촉매를 사용한 UV조사에서는 분해율이 약 53% 정도로 오히려 분해율이 떨어졌다. 일반적으로 유기물분해에서 광촉매를 사용하면 분해를 촉진시켜주는 것으로 알려져 있지만 이 실험에서는 그 반대현상을 볼 수가 있었다.

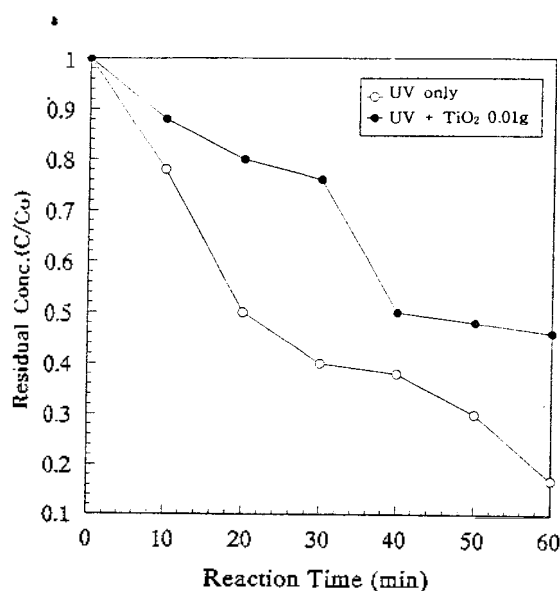


Fig.1. Photodegradation of benzene in different photocatalytic system. ([aq]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL)

톨루엔의 분해율은 Fig.2에서 보는 바와 같이 UV조사, TiO<sub>2</sub> 광촉매하 UV조사의 두 반응에서 분해율은 92%로 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

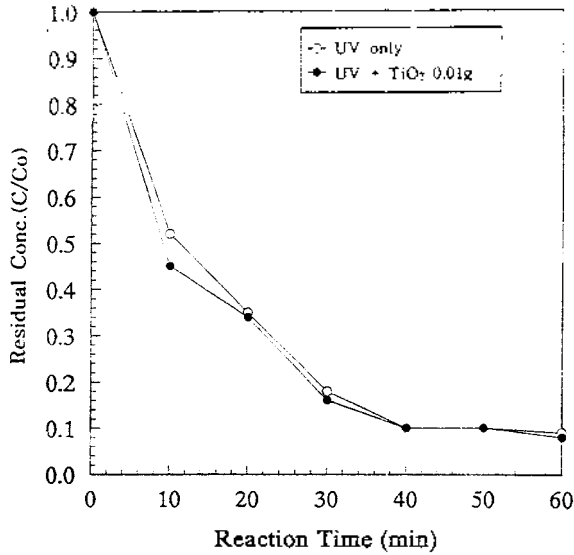


Fig. 2. Photodegradation of toluene in different photocatalytic system. ([aq]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL)

Fig. 3은 에틸벤젠이 다음조건에서 분해된 결과 를 나타낸것이다.

에틸벤젠을 이용한 광분해에서는 UV조사에서 분해율이 92%로, TiO<sub>2</sub> 광촉매하의 UV조사를 이용한 실험에서는 분해율이 80% 정도였다.

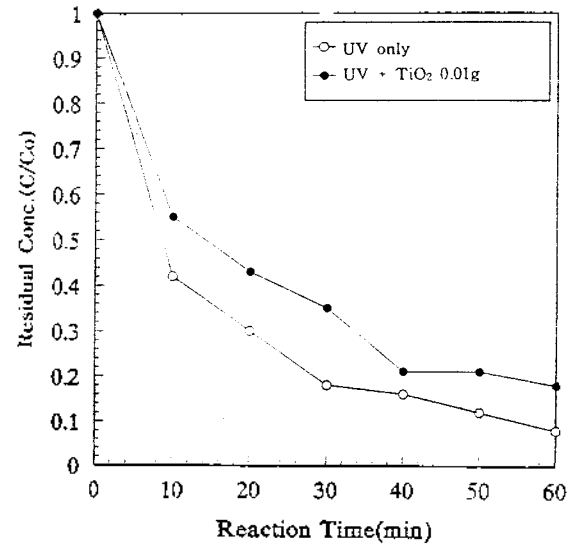


Fig.3. Photodegradation of ethylbenzene in different photocatalytic system. ([aq]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL)

크실렌의 광분해 결과를 Fig. 4에서 보는바와같이 톨루엔과 비슷한 결과를 얻을 수 있었으며, 결과 들은 UV조사와 TiO<sub>2</sub>광촉매하의 UV 조사를 사용한 것과 비슷한 분해율을 얻을 수 있었으며 분해율은 82%였다.

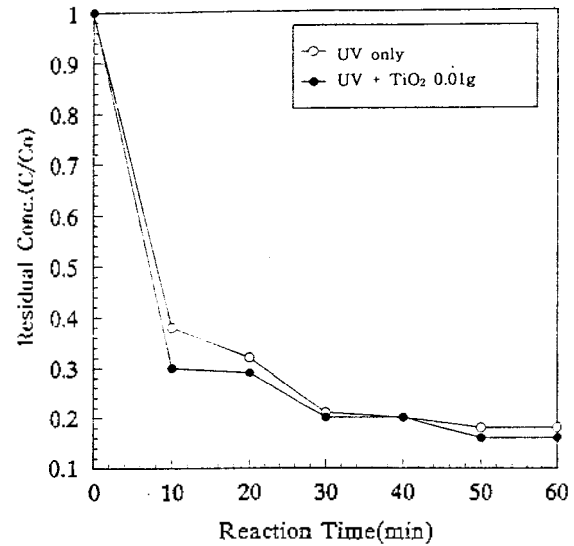


Fig.4. Photodegradation of xylenes in different photocatalytic system. ([aq]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL)

이상의 실험결과에서 벤젠은 촉매를 사용하여 광분해시키기보다는 UV에 의한 광분해효과가 더 뛰어나음을 알 수 있었고, 일반적으로 광촉매를 사용하여 분해시킨 결과들이 UV에 의한 분해율보다 떨어지는 용액에 있는 광촉매 입자들이 UV에서 발생 되는 광자(photons)의 흡수를 감소시키기 때문에, 촉매를 사용한 광분해보다 촉매를 사용하지 않은 경우 분해가 더 잘 일어난다고 추정된다[12].

### 3-4. 4종류의 혼합성분에서의 휘발성유기화합물의 광분해

다음 Fig. 5는 4가지 성분을 같은 농도를 기준으로하여 동시에 실험한 결과이다.

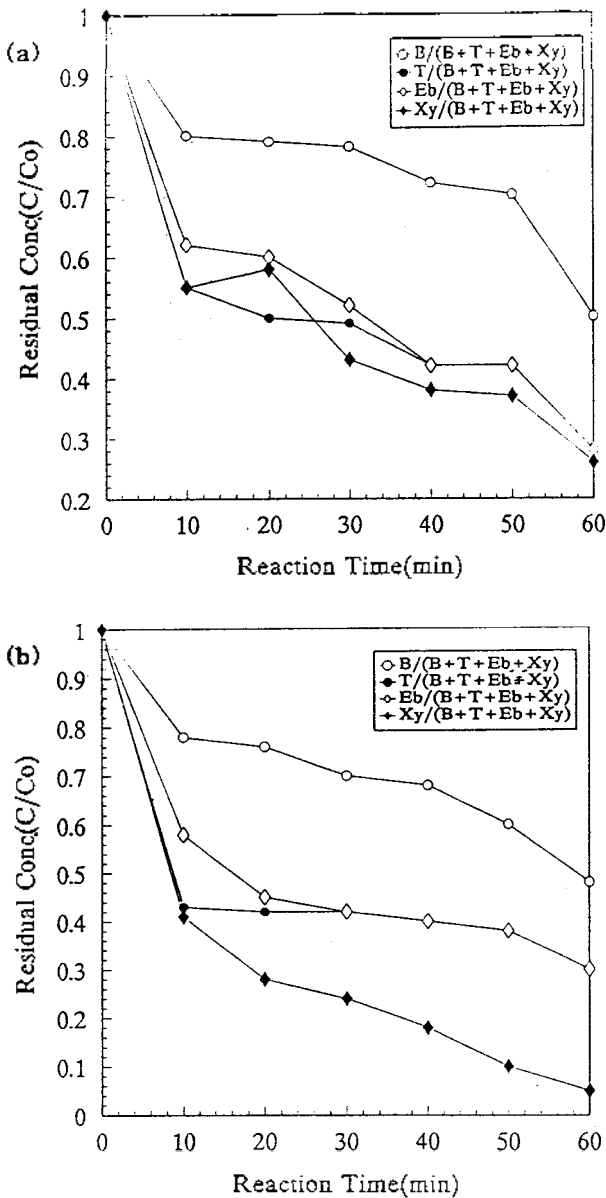


Fig. 5. Photodegradation of mixing solution (benzene, toluene, ethylbenzene, xylene) by (a) UV irradiation (b) UV irradiation with TiO<sub>2</sub> powder ([aq]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL, TiO<sub>2</sub> powder : 0.01 g)

Fig.5 (a)에서는 벤젠은 48%, 톨루엔과 에틸벤젠은 78% 그리고 크실렌은 74%의 분해율을 각각 나타내었고, Fig. 5(b)에서는 벤젠은 48%, 톨루엔과 에틸벤젠은 70% 그리고 크실렌은 95% 정도의 분해율을 나타내었다.

이 실험의 결과에서 볼 수 있듯이 벤젠의 분해율이 다른 물질들에 비하여 분해율이 떨어짐은 위의 화합물들은 분자구조에서 공통적으로 벤젠고리를 가지고 있으며, 벤젠고리와 각각 결합한 알킬기 (CH<sub>3</sub>-, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>-)와 결합에너지와 결합길이를 서로 비교하면, 톨루엔에서 메틸기의 C-H 결합에너지는 4.3 eV이고, 메틸기와 벤젠고리사이의 C-C결합에너지는 3.6 eV이다. 그리고 벤젠 고리내의 결합에너지에서 C-C(ring) 결합에너지는 5.3 eV이고, C=C (ring) 이중결합은 6.3 eV의 결합에너지를 가진다[13]. 그러므로 이러한 물질들은 UV에너지를 받아 활성을 띄게되면 가장 낮은 결합에너지를 가진 메틸기와 벤젠고리가 먼저 끊어지고, 그 다음 메틸기의 C-H결합들이 OH라디칼이나 전자와 반응하면서 mineralization가 되기 때문이다. 그리고 Table 1에서 보는바와 같이 벤젠의 물 흡광계수가 다른 물질들에 비하여 낮은 값을 가지는 것도 벤젠이 분해율이 낮은 이유가 되며, 그리고 크실렌은 다른 물질들과는 달리 TiO<sub>2</sub> 광촉매에 의한 분해율이 뛰어난 이들 물질의 화학적 구조차이에 의한 결과라고 생각된다.

Table 1. The molar extinction coefficient of VOCs in UV region

| Compounds     | ppm | M[mol/L]                | λ[nm] | Absorbance | ε[L · cm <sup>-1</sup> · mol <sup>-1</sup> ] |
|---------------|-----|-------------------------|-------|------------|--|
| Benzene       | 300 | 3.85 × 10 <sup>-3</sup> | 260   | 0.3394     | 88.1   |
|               |     |                         | 254   | 0.4903     | 127.4  |
|               |     |                         | 248   | 0.3962     | 102.9  |
|               |     |                         | 207   | 2.4115     | 626.0  |
| Toluene       | 300 | 3.26 × 10 <sup>-3</sup> | 268   | 0.5076     | 155.7  |
|               |     |                         | 261   | 0.6387     | 195.9  |
|               |     |                         | 213   | 2.5693     | 788.1  |
| Ethyl benzene | 300 | 2.83 × 10 <sup>-3</sup> | 261   | 0.3654     | 129.0  |
|               |     |                         | 213   | 2.5483     | 900.0  |
| Xylene        | 300 | 2.83 × 10 <sup>-3</sup> | 265   | 0.4176     | 147.6  |
|               |     |                         | 216   | 2.6227     | 926.7  |

### 3.5. pH변화에 의한 휘발성 유기화합물의 광분해

용액의 pH가 휘발성 유기화합물의 분해반응에 미치는 영향을 알아보기 위하여 HCl과 NaOH를 사용하여 그 결과를 Fig.6 ~ 9 나타내었다.

Fig. 6의 (a)는 UV조사에 의한 벤젠의 광분해

결과를 나타낸 것이다.

그 결과를 살펴보면 염기성조건에서의 분해율은 50%이며, 중성에서는 82%, 산성영역에서는 60%의 분해율을 나타내었다. (b)는 TiO<sub>2</sub> 분말촉매하의 UV조사를 이용한 벤젠의 광분해결과이다. 그림(b)에서의 결과를 보면 염기성조건에서는 20%, 중성에서는 50%, 산성영역에서는 34%의 분해율을 각각 나타내었다. (a)와 (b)에서 분해율을 서로 비교하여 보면 pH영역의 변화는 없지만 분말촉매를 사용한 결과들의 분해율이 낮음을 알 수가 있었다.

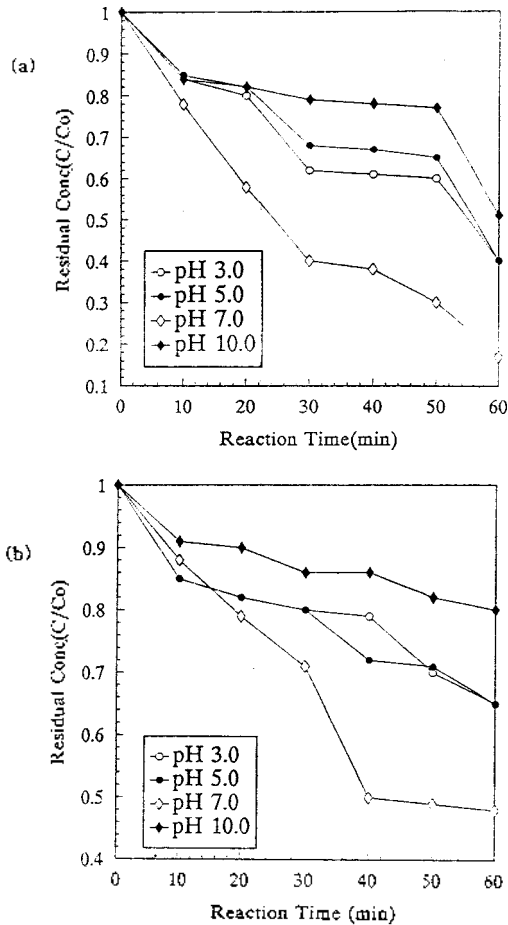


Fig. 6. Effect of pH on the photodegradation of benzene by (a) UV irradiation and (b) UV irradiation with TiO<sub>2</sub> powder. ([aq]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL, TiO<sub>2</sub> powder : 0.01 g)

Fig. 7의 (a)와 (b)는 UV조사와 TiO<sub>2</sub> 분말촉매하의 UV조사를 이용하여 실험한 결과를 나타낸 것이다. 이들의 결과를 서로비교하여보면, pH 7.0의 분해율은 UV조사와 UV조사와 TiO<sub>2</sub> 분말촉매, 두

조건에서는 거의 비슷한 90%의 분해율을 보였으나, pH 3.0, 5.0 그리고 10.0에서는 UV조사에서 분해율이 더 나은 결과를 얻을 수 있었다.

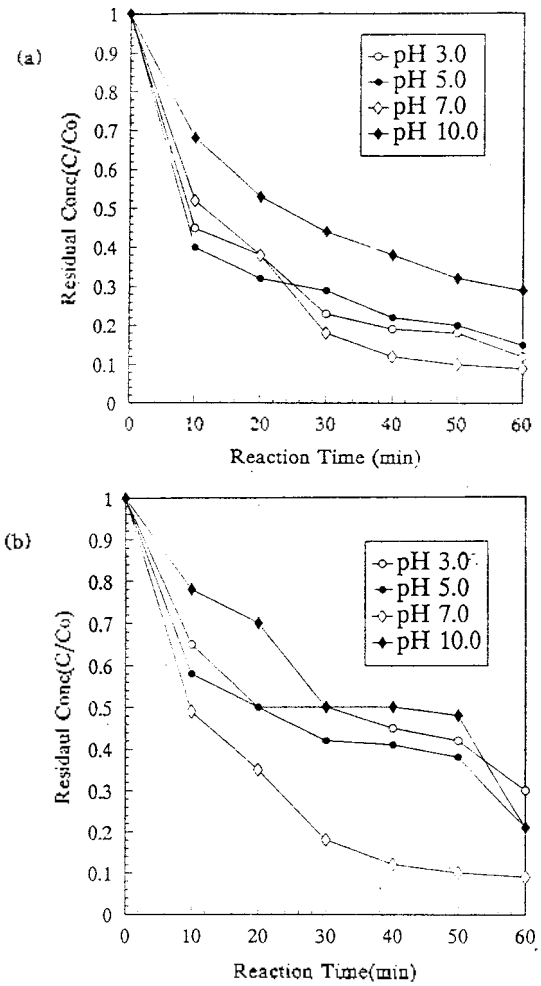


Fig. 7. Effect of pH on the photodegradation of toluene by (a) UV irradiation and (b) UV irradiation with TiO<sub>2</sub> powder. ([aq]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL, TiO<sub>2</sub> powder : 0.01 g)

Fig. 8은 (a) UV조사 그리고 (b)는 TiO<sub>2</sub> 분말촉매하의 UV조사를 이용하여 에틸벤젠의 광분해율을 나타낸것이다. (a)에서는 pH 10.0에서는 72%, pH 3.0과 5.0에서는 82%, pH 7.0에서는 92%의 분해율을 각각 나타내었다. 그리고 (b)에서는 pH 3.0, 5.0에서는 62%, pH 10.0에서는 60%, pH 7.0에서는 82% 로서 UV조사에 의한 광분해보다 분해율이 줄어들었으며, 산성과 염기성영역에서의 분해율은 서로 비슷하였다.

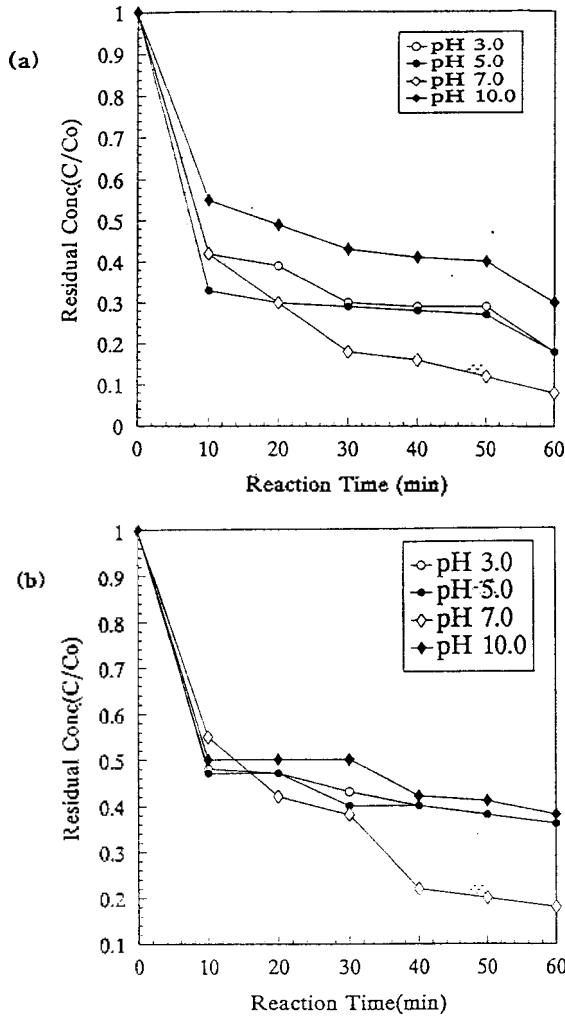


Fig. 8. Effect of pH on the photodegradation of ethylbenzene by (a) UV irradiation and (b) UV irradiation with TiO<sub>2</sub> powder. ([aq]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL, TiO<sub>2</sub> powder : 0.01 g)

UV조사와 TiO<sub>2</sub> 분말촉매하의 UV조사를 이용하여 pH변화에 의한 크실렌의 광분해에 대한 실험의 결과인 Fig. 9를 살펴보면 UV조사에 의한 광분해에서는 pH 3.0에서의 분해율이 pH 5.0, 7.0 그리고 10.0 보다 뛰어났으며, TiO<sub>2</sub> 분말촉매하의 UV조사를 이용한 광분해에서는 pH 3.0, 7.0 그리고 10.0의 조건에서의 분해율은 거의 비슷한 80% 였으며, pH 5.0에서는 65% 였다.

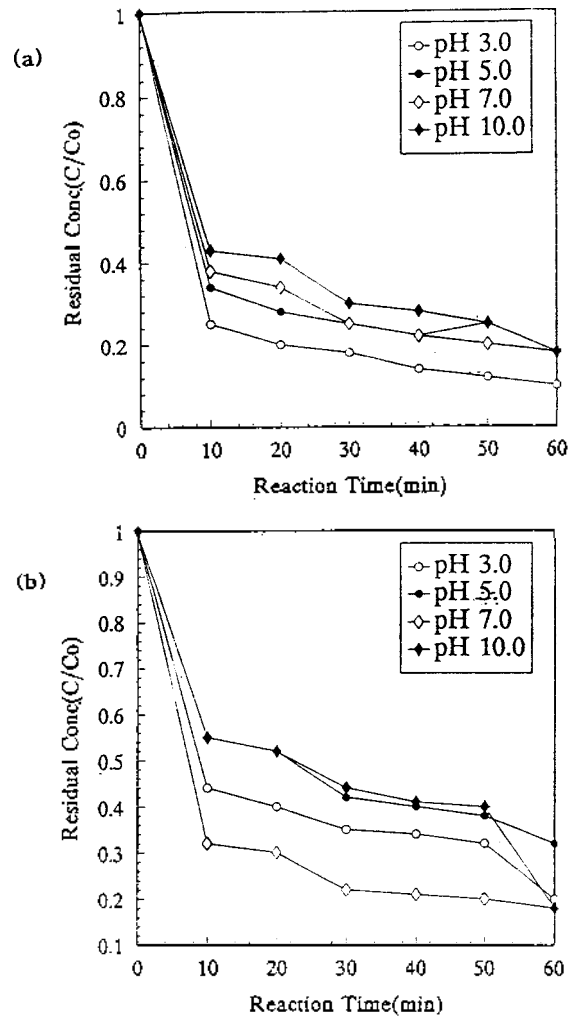


Fig. 9. Effect of pH on the photodegradation of xylenes by (a) UV irradiation and (b) UV irradiation with TiO<sub>2</sub> powder. ([aq]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL, TiO<sub>2</sub> powder : 0.01 g)

Saralka 등[14]은 pH가 높을수록 superoxide ion이 많이 생성되므로 분해율이 높고, pH가 중성에서는 분해율이 낮다고 하였으며, Castrantas 등[15]은 10ppm의 페놀이 pH 4.0에서 반응시간 40분에서 23%가 제거되었으나, pH 10.0에서는 분해가 일어나지 않았다고 하였다. 그러나, 본 실험의 결과에서 pH 변화에 의한 휘발성 유기화합물의 분해에서 일반적인 경향은 중성영역에서의 분해율이 산성영역과 염기성영역에서 보다 분해효율이 더 뛰어남을

알 수 있었다. 또한  $TiO_2$ 를 광촉매로 이용한 실험에서는  $TiO_2$ 가 pH변화에 따른 분해율에 영향을 미치지 않음을 알 수가 있었다.

### 3.6. 휘발성 유기화합물의 TOC 감소

반응용액을 pH 3.0, 5.0 그리고 7.0 조건에서 UV조사에 의해 휘발성 유기화합물의 TOC 감소를 Fig. 10에 나타내었다.

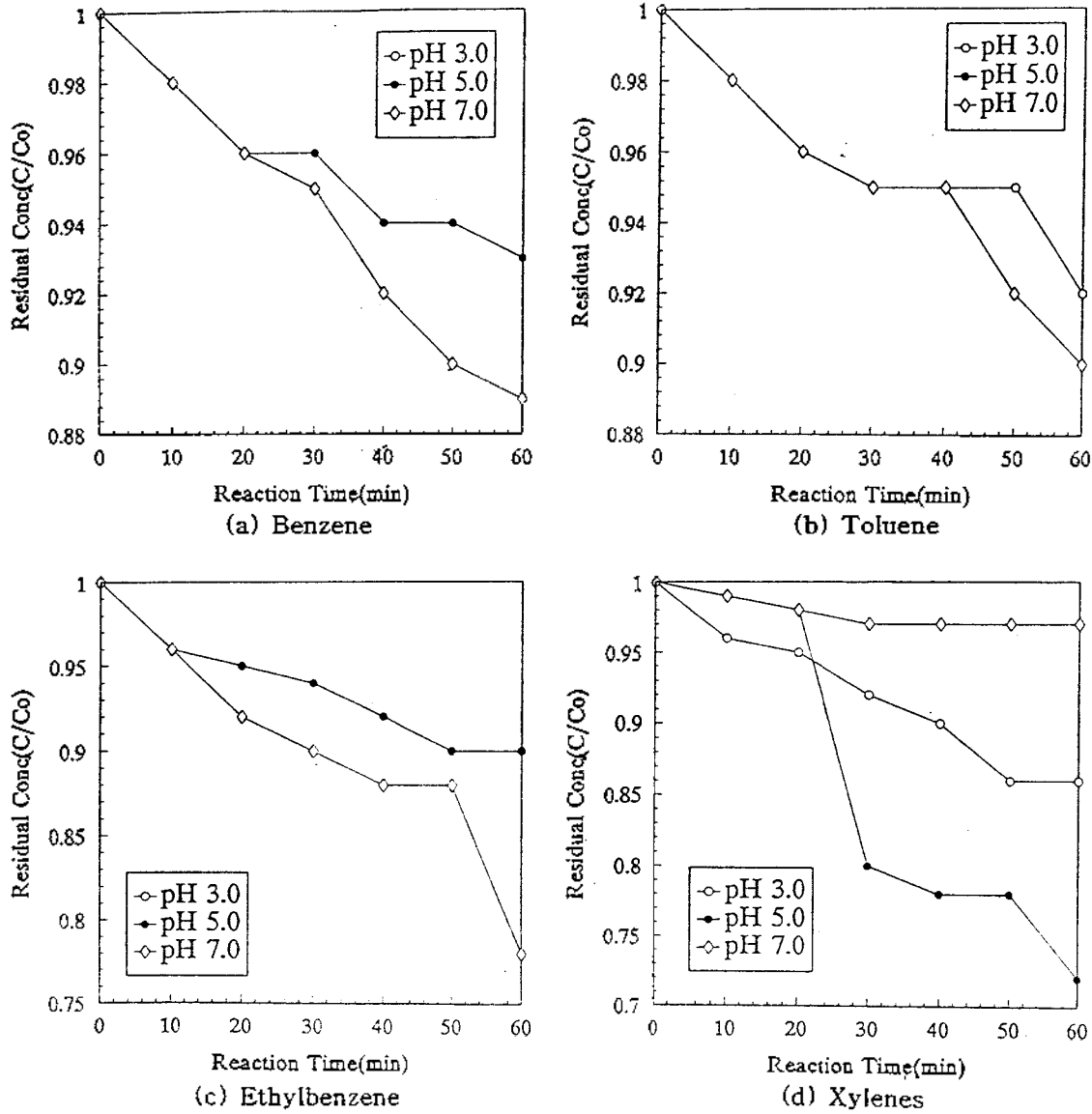


Fig. 10. Photomineralization of VOCs in the presence of various pH.

( $[aq]_0$  : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL)

그림에서 볼 수 있듯이 위의 4 종류 물질들의 TOC는 주어진 반응시간에서 시간이 지남에 따라 감소의 폭이 pH 조건에 관계없이 매우 적은 결과를 보이므로 이 물질들의 완전산화를 위해서는 산화제의 첨가가 필요함을 알 수가 있고[16], 또한 감소 폭 크기가 크실렌, 에틸벤젠, 톨루엔 그리고 벤젠의

순서였다. 또한, 이 물질들의 TOC 감소가 매우 적게 나타났으므로, 이 물질들이 광분해되면서 생성되는 반응중간 생성물의 확인이 필요한 것으로 생각되며, 위의 물질들이 분해되면서 생성되는 반응중간 생성물 중에서 공통적으로 생성되는 물질을 Fig. 11에 나타내었다.



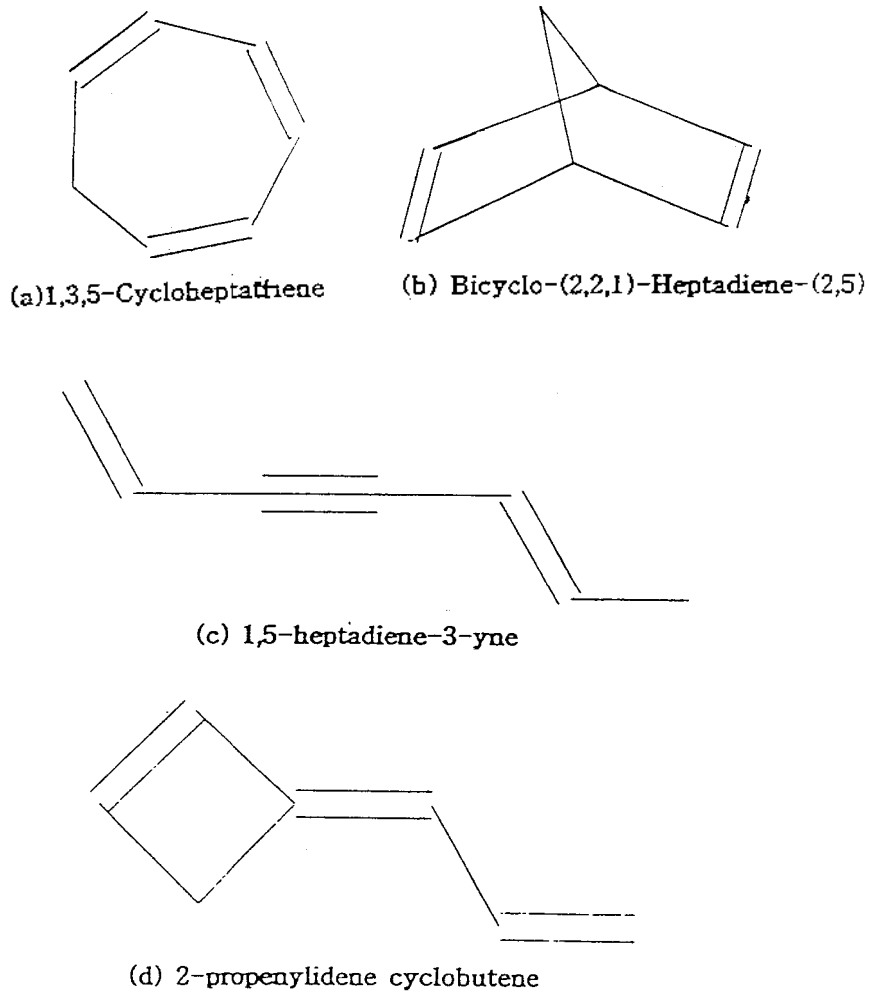


Fig. 11. Reaction intermediates of VOCs by GC-MS  
 ([ $aq$ ]<sub>in</sub> : 300 mg/L, Volume : 1,000 mL)

이러한 방향족 유기화합물의 광분해에 의해 생성되는 반응중간생성물들은 Coyle 등[17]이 벤젠류 화합물의 광화학반응에서 생성되는 물질들과 일치하였으며, 이러한 물질들이 생성되는 이유를 Legrini 등[10]은 대부분의 유기분자들의 전자전이에 의한 재배열과 homolytic 와 heterolytic fragmentation 반응 등에 의해서 생성된다고 하였다.

#### 4. 결 론

수중에 함유되어있는 휘발성 유기화합물의 처리를 위해 UV조사와 TiO<sub>2</sub>분말촉매하의 UV조사를 이용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) UV조사에 의한 휘발성 유기화합물의 분해 정도는 톨루엔 92% ≥ 에틸벤젠 92% > 크실렌 85% > 벤젠 83% 였다.
- 2) TiO<sub>2</sub> 광촉매하의 UV조사를 이용한 휘발성 유기화합물의 분해정도는 톨루엔 93% > 크실렌 85% ≥ 에틸벤젠 82% > 벤젠 50% 였다.
- 3) pH 변화에 의한 휘발성 유기화합물의 분해는 염기성영역과 산성영역보다는 중성영역에서 분해율이 뛰어났다.
- 4) 휘발성 유기화합물의 TOC 감소는 pH변화에 의한 감소는 적었지만, pH조건과는 관계없

이 전체적인 감소폭의 크기는 치환기가 있는 크실렌 > 에틸벤젠 > 톨루엔 > 벤젠 순서였으며, 반응중간생성물로서는 1,3,5-Cycloheptatriene, Bicyclo[2,2,1]-heptadiene-[2,5] 등이 생성됨을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. Collahan, M., et. al.,: Water-related environmental fate of 129 priority pollutants, EPA-440/479-029, USEPA Washington D.C., 1979.
2. 정용 외 4인: 수질보전학회, 5(1), 57-69(1989)
3. 환경처: 팔당호시험 준업 영향조사 보고서, 1994.
4. Sundstrom, D.W., Weir, B.A., and Kiehl, H.E.,: Environmental progress, 8(1), 6-11(1989)
5. T.Kawai, : Ceramics (Japan), 21(4), 326-333(1986)
6. Terzian, R., Serpone, N., Minero, C., and Pelizzetti, E.,: J of catalysis, 128, 352-365(1991)
7. Okamoto, K., Yamamoto, Y., et al.,: Bull.Chem.Soc.Jpn, 58, 2023(1985)
8. Kim, S.J and Moon, J.U.,: J. of KSSE., 19(3), 391-402(1997)
9. Min, B.C., Kim, J.H., and Kim, B.K., : J. of Korean Ind & Eng.Chemistry, 18(3), 502-509 (1997)
10. Legrini, O., Oliveros, E., and Braun, A.M.,: Chem.Rev., 93, 671-698(1993)
11. Serpone, N., and Pelizzetti, E.,: Photocatalysis - Fundamentals and Applications, John Wiley & Sons. Inc., New York, pp.1-7(1989)
12. Puma, G.Li and Yue, P.L., : " Photodegradation of pentachlorophenol", Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, D.F.Ollis and H.Al-Ekabi(Ed.) Elsevier Science Publishers, B.V. pp.689(1993).
13. Horspool, W.M.,: Aspects of organic photochemistry, Academic Press Inc., New York, pp.124, 1976
14. Sarakha, M and Dauphin, G., : Chemosphere, 18(7-8), 1391-1399(1989).
15. Castrantas, H.M., Gibilisco, R.D. : ACS Symp.Ser. 422, 77-99(1990).
16. Al-Ekabi, H., Buters, B., Delany, D., Ireland, J., Lewis, N., Powell, T., and Story, J.,: Photocatalytic purification and treatment of water and air, D.F.Ollis and H.Al-Ekabi(Ed.) Elsevier Science Publishers, B.V., pp.321(1993).
17. Coyle, J.D., : Photochemistry in organic synthesis, The Royal Society of Chemistry, Great Britain pp.226, 1989.