

UV조사에 의한 방향족오염물의 분해

민 병 철 · 김 종 향* · 김 병 권**

창원기능대학 환경관리기술학과, *경남보건환경연구원, **창원대학교 공업화학과
(1997년 2월 17일 접수, 1997년 4월 14일 채택)

Degradation of Aromatic Pollutants by UV Irradiation

Byoung-Chul Min, Jong-Hyang Kim*, and Byung-Kwan Kim**

Dept. of Environmental Technology, Changwon Polytechnic College, Changwon 641-772, Korea

*Institute Health & Environment, Changwon 641-241, Korea

**Dept. of Chemical Technolgy, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

(Received February 17, 1997, Accepted April 14, 1997)

요 약 : 방향족 오염물을 UV산화- 고도산화처리기술로 처리할 때, 여러 가지 반응조건에 따른 분해효율에 대해 고찰하였다. 벤젠 50 ppm, 에틸벤젠 150 ppm, 크실렌 250 ppm을 각각 초기농도로하여 UV조사 하에서 시간변화에 따른 분해실험을 행한 결과, 반응 1시간 후 약 95% 이상의 분해율을 나타내었으나, 톨루엔의 경우에는 43%의 분해율을 보였다. 단일성분이 혼합성분에서 보다 분해가 좋았으며, pH변화에서는 벤젠은 pH변화에 관계없이 분해가 잘되었으며, 에틸벤젠 92%(pH 4.0), 90%(pH 6.4), 91%(pH 10.0), 크실렌 95%(pH 4.0), 90%(pH 6.4), 92%(pH 10.0), 그러나 톨루엔은 80%(pH 4.0), 43%(pH 6.4), 70%(pH 10.0)의 분해율을 나타내었다. 방향족 오염물의 TOC 감소는 에틸벤젠을 제외하고는 유사 1차 반응속도식에 일치하였으며, 이로부터 속도상수를 결정할 수 있었다.

Abstract : Aromatic pollutants(benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes) were photodegraded by using a UV oxidation and the rates of degradation were investigated under various reaction conditions. Each of the solution containing 50 ppm benzene, 150 ppm ethylbenzene and 250 ppm xylenes was found UV-photodegraded over 90% in 1 hour of reaction time, whereas the only was 43% of degradation was obtained with 350 ppm toluene solution. A single component solution was more degradable than a mixed component solution and benzene was almost photodegraded at a pH 4.0, 6.4 and 10.0 after reaction time is 1 hr, ethylbenzene was photodegraded about 92%(pH 4.0), 90%(pH 6.4) and 91%(pH 10.0), xylenes was photodegraded about 95%(pH 4.0), 90%(pH 6.4) and 92%(pH 10.0), but toluene was photodegraded about 80%(pH 4.0), 43%(pH 6.4) and 70%(pH 10.0), respectively. Kinetics studies show that the rate of decay in TOC(total organic carbon) were pseudo first-order rate except ethylbenzene, and then we could evaluate mineralization rate constants(k) of aromatics.

1. 서 론

각종 산업체로부터 배출된 유기독성 화합물, 농약 등으로 인한 상수원의 오염은 커다란 전세계적인 문제점으로 대두되고 있다. 유기오염물질들은 그 양이 미량이라 할지라도 인체에 유해할 가능성이 매우 높은 것으로 알려지고 있어 기존의 재래식처리방법으로는 제거하기

어려워 보다 획기적인 처리방법으로의 전환과 개발이 시급하다[1].

유독성 유기물들을 제거하기위한 방법중에서 광화학 적 기술인 고급산화법에 의해서 유기물을 무해화할 수 있는 신기술로 알려지면서 이 부분에 대한 연구가 진행 중에 있다[2]. 고급산화법을 열거하면 UV[3], UV와 과산화수소[4], UV와 오존[5] 등을 이용하는 균일계 산화

법과 UV와 반도체 산화물을 촉매[6]로 사용하는 불균일 계 산화법으로 구분하고 있다.

UV조사에 의한 광분해 대상물질로는 염소화 및 질산화 방향족화합물, 페놀 그리고 할로젠화 지방족화합물 등의 난분해성 유기화합물의 분해에 효율적인 것으로 알려지고 있으며, UV영역은 UV-A (320-380 nm), UV-B (280-320 nm), 그리고 UV-C (200-280 nm)로 파장이 짧을수록 높은 에너지를 방출하는 것으로 알려져 있다[7].

UV-C 영역인 253.7 nm 파장이 조사되는 저압 UV램프를 이용하여 Weir[8] 등은 벤젠(초기농도 2×10^{-4} M, 반응기용량 : 3.3 L, 25 °C, pH 6.8)을 90분에서 약 50% 정도가 제거된다고 하였으며, Sundstrom[9] 등은 할로젠화 지방족 화합물로서 58 ppm의 트리클로로에틸렌을 UV조사 40분에서 약 80%가 제거될 수 있다고 하였다.

Peterson[10] 등은 250~400 nm 사이의 스펙트럼영역에서 강한 세기를 갖는 중압 수은램프를 이용하여 물속에 함유된 농약을 광분해에 대한 연구를 하는 등, UV조사에 의한 난분해성 유해 유기화합물의 분해에 관한 연구들이 많이 보고되어 있다.

따라서 본 연구에서는 중압 수은램프를 이용하여 수중에 함유된 난분해성 유기화합물로 알려진 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 그리고 크실렌을 단일성분, 이성분 그리고 pH 변화에 의한 분해과정과 휘발성 유기화합물의 TOC 감소에 대한 kinetics 연구를 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 재 료

광분해대상인 휘발성 유기화합물은 Benzene(Aldrich, 99.0%), Toluene(Aldrich, 99.5%), Ethylbenzene(Aldrich, 99.0%), Xylenes(Aldrich, 98.5%)를 각각 사용하였고, 그외 나머지 시약들은 정제없이 사용하였다.

450 W (USHIO UM 452)의 medium pressure Hg Arc를 광에너지원인 UV 램프를 사용하였다. 증류수는 Milli-Q(Millipore Corp., Belford, MA) 순수제조장치를 통과한 물을 사용하였으며, 실험에 사용된 물의 용존산소는 약 8.5 mg/L이었고, 초기 pH값들은 6.3-6.8 이며, Total Organic Carbon (TOC)는 약 0.2-0.5 mg/L인 것을 사용하였다. pH 조절은 HCl과 NaOH로 하였다.

2.2. 실험장치 및 분해실험

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1에 나타내었다. 반응기(부피: 1,500 mL)는 파이렉스재질로 주문제작하였으며, UV램프는 석영으로 된 이중관으로 보호하여 반응

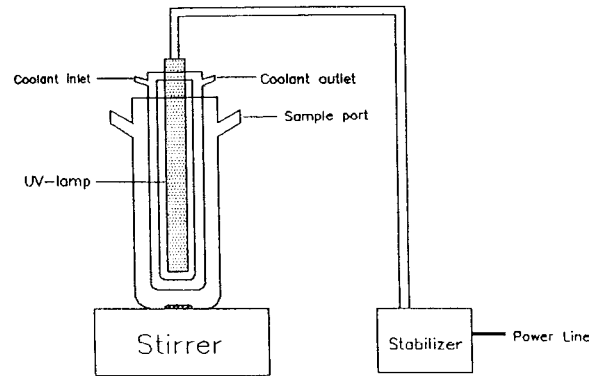


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental set-up.

용액(용액량: 1,000 mL)에 잠수시켰으며, 광분해시 반응기의 온도를 일정하게 유지시켜주기 위하여 냉각수를 공급해주었다. 또한, 분해대상물질이 휘발성이므로 실험을 하는 동안 이들의 손실을 최소로 줄이는 것이 필요하기 때문에 실험 즉시 분석을 하였다.

분해실험은 벤젠 50 ppm, 톨루엔 350 ppm, 에틸벤젠 150 ppm, 그리고 크실렌 250 ppm을 초기농도로 하여 UV조사 하에서 시간 및 pH 변화 (pH 4.0, 6.4, 10.0)에 따라 분해실험을 행하였고, 두 가지 또는 그 이상의 휘발성 유기화합물을 서로 혼합한 조건에서 위와 같은 방법으로 실험을 행하였다.

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

2.3. 분석방법

유기물은 Purge & Trap(Table 1)으로 전처리한 후 내경 0.53 mm, 길이 HP-VOC 105 m의 칼럼과 FID가 내장된 GC(Hewlett Packard 5890 series II)를 사용하여 분석하였다. GC의 분석조건은 검출기온도는 250 °C, 오븐온도는 초기온도 70 °C, 초기시간 3분, 5 °C/분, 150 °C, 3분으로 승온조작하였다.

위의 방법으로 휘발성 유기화합물이 50 ~350 ppm이 포함된 표준용액 1 μ l, 10 μ l, 10 μ l, 10 μ l를 Blank water 5 mL에 첨가한 후, 분석용기인 Sparger에 주입하고, Purge & Trap을 통하여 농축한 후, GC로 유기화합물의 농도를 분석하였다. TOC 측정하기 위해서는 Shimadzu TOC-5000 A analyzer으로 분석하였으며, pH는 25 ± 0.1 °C 항온조내에서 pH meter(TOAHM-30 S)를 이용하여 측정하였다.

Table 1. Purge & Trap Parameters

· Purge gas	: 20 mL/min.(He gas)
· Purging time	: 8 min
· Dry purge time	: 2 min
· Desorb preheat	: 180 °C
· Desorb	: 1 min at 185 °C
· Bake	: 10 min at 225 °C

Autosampler : Tekmar 2016
 Purge & Trap Concentrator : Tekmar 3000

Table 2. The Value of Decay in TOC Compared to Decay in VOCs by UV Irradiation

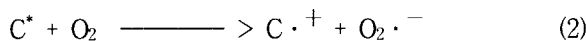
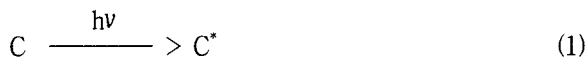
	C ₆ H ₆	C ₆ H ₅ CH ₃	C ₆ H ₅ C ₂ H ₅	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂
A = Photodegradational rates of VOCs [%].	98.0	80.0	96.0	95.0
B = Removal rates of Org. Compounds [%].	76.0	75.0	80.5	83.0
A - B values [%]. = Productional rates of byproducts or intermediaters.	22.0	5.0	15.5	12.0

(Reaction Time : 4hr, UV irradiation, [aq]_{in} : Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, respectively 50, 350, 150, 250ppm)

3. 결과 및 고찰

3.1. 광분해

자외선-광분해에 의한 광산화(photo-oxidation)반응은 유기물자체의 전자전이에 의해 일어난다. 이러한 대부분의 반응은 전자가 들뜬상태(excited-state (C*)) (식 1)로 전이를 하고 정상상태에서의 산소분자와 함께 라디칼이온을 연속적으로 생성하게된다(식 2).



유기물의 전자들뜸에 의한 이러한 광산화 반응의 속도는 유기매체들의 흡수도, 반응에서의 양자수율 및 들뜬상태를 야기시키는 과정에서 광자생성율, 용해된 산소분자의 농도에 의존하는 것으로 알려지고 있다[7].

3.1.1. UV 조사에 의한 휘발성 유기화합물의 분해

200~400 nm의 범위에서 여러종류의 파장을 나타내는 medium/high pressure 수은램프를 사용하여 오염된 지하수에 광화학적처리를 하였다[7].

본 연구에서는 음용수 허용기준농도를 기준하여 UV 조사하에서 각 유기화합물의 광분해에 대한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

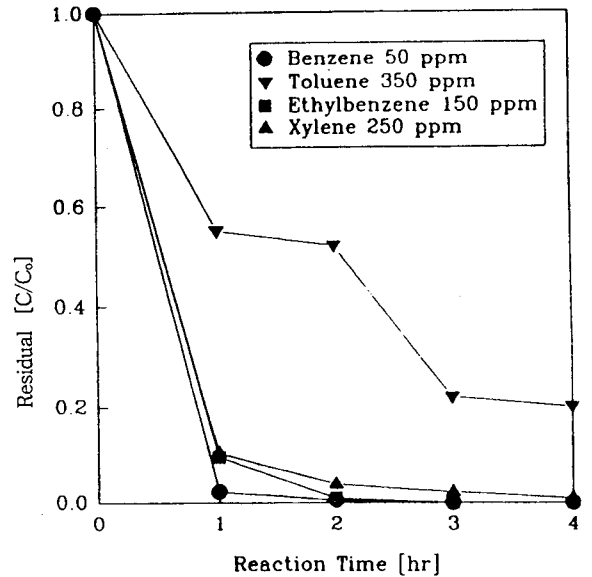


Fig. 2. Photodegradation of aromatics with UV irradiation(Volumn : 1000 mL).

반응 1시간 후 벤젠은 98%, 에틸벤젠은 96%, 크실렌은 95%의 분해율을 나타내었으나, 톨루엔의 경우는 다른 물질들에 비해 분해효율이 45% 정도로 떨어짐을 알 수 있었다. 이것은 톨루엔의 농도가 다른 물질들에 비해 고농도이기 때문에 분해율이 낮은 것으로 생각된다. Jakob 등[11]은 125 W 중압수은램프를 이용하여 1,2-dimethyl-3-nitrobenzene (초기농도 120 mg/L)의 광분해 실험결과, UV 조사시간 40분내에 95%의 제거율을 나타내었다고 보고하였다.

3.1.2. 혼합용액에 대한 광분해율

두 성분 및 그 이상의 성분을 포함한 휘발성 유기화합물의 분해에 대한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3은 벤젠 50 ppm과 에틸벤젠 150 ppm의 혼합용액을 UV 조사하에서 광분해한 실험결과를 나타낸 것이다. 벤젠과 에틸벤젠 두 물질 모두 단일성분일 때보다는 분해율이 떨어짐을 알 수 가있고, 반응 4시간에서는 거의 같은 분해율을 나타내지만, 1시간 간격에서의 분해율에서 에틸벤젠이 벤젠보다 분해율이 뛰어난은 에틸벤젠은

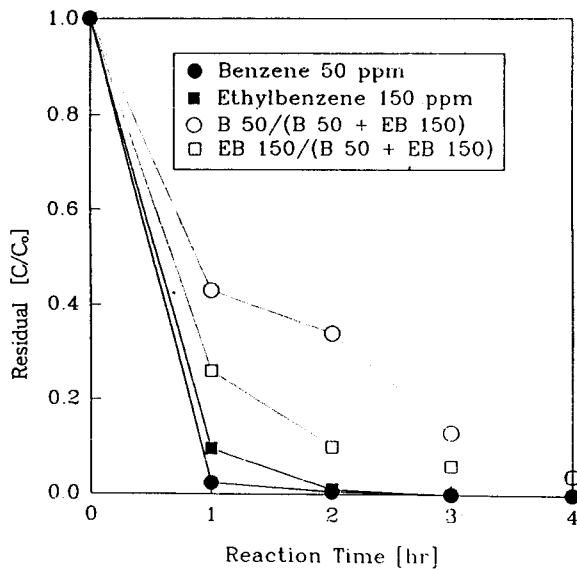


Fig. 3. Photodegradation of mixing solution (benzene and ethylbenzene) with UV irradiation (Volumn : 1000 mL).

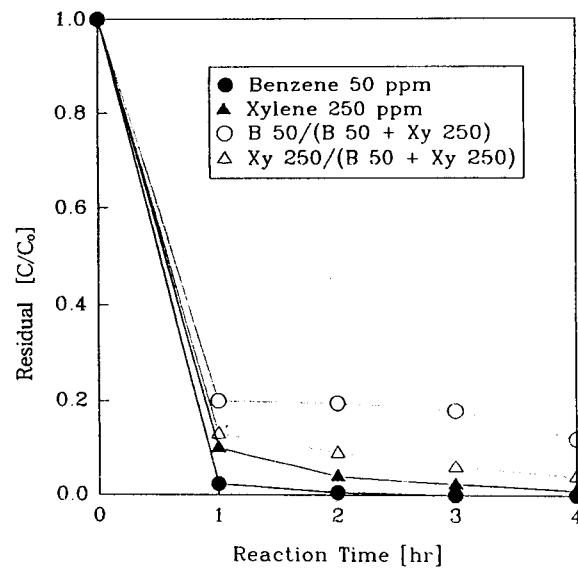


Fig. 4. Photodegradation of mixing solution (benzene and xylenes) with UV irradiation (Volumn : 1000 mL).

벤젠의 화학구조보다 $-C_2H_5$ 를 가지고 있기 때문에 광에너지를 받아서 분해되는 속도가 더 크기 때문이라고 생각된다. 이러한 이유는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 그리고 크실렌 등의 유기화합물들은 그 분자구조에서 공통적으로 벤젠고리를 가지고 있으므로 벤젠고리와 각각 결합한 알킬기(CH_3- , C_2H_5-)의 결합에너지에서 톨루엔의 메틸기의 C-H 결합에너지는 4.3eV이고, 메틸기와 벤젠고리사이의 C-C 결합에너지는 3.6eV이다. 그리고 벤젠고리내의 결합에너지중에서 C-C(ring) 결합에너지는 5.3eV이고, C=C(ring) 6.3eV의 결합에너지를 가진다. 따라서 이 물질은 UV 에너지를 받아 활성을 띄게되면 최고 낮은 결합에너지를 가진 메틸기와 벤젠고리가 먼저 단리되고 그 다음에 메틸기의 C-H 결합이 OH 라디칼이나 전자와 반응하면서 단리될 것이다.

벤젠 50 ppm과 크실렌 250 ppm의 혼합용액에서의 광분해율을 Fig. 4에 나타내었다. 혼합용액에서의 벤젠의 광분해율은 85%이었으며, 크실렌의 분해율은 95% 정도였으며, 단일성분에서보다 분해율은 조금씩 떨어졌다.

Fig. 5는 벤젠 50 ppm과 톨루엔 350 ppm의 혼합성분에서의 실험결과이다. 여기서는 벤젠의 경우에는 단일성분에서보다 혼합성분일때의 분해율은 떨어지지만, 톨루엔의 경우에는 단일성분에서보다 혼합성분일때 분해효과가 뛰어난 것을 볼 수가 있었다.

Cater 등[12]에 의하면, 20L 시료에 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 혼합물(약 20 ppm BTX; 벤젠 8 ppm, 톨루엔 7

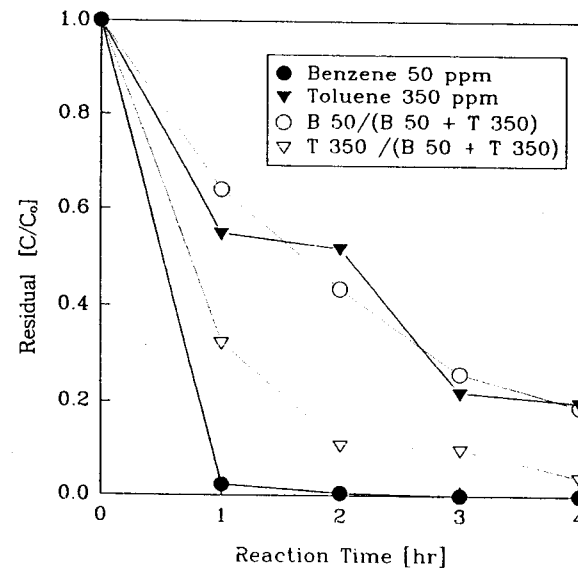


Fig. 5. Photodegradation of mixing solution (benzene and toluene) with UV irradiation (Volumn : 1000 mL).

ppm, 크실렌 4 ppm)의 광분해에서 UV 조사후 약 70%의 제거효율을 나타내었다고 보고하였다.

다음은 4성분을 혼합한 용액에서의 각 성분에 대한 분해율을 Fig. 6에 나타내었으며, 4시간 반응완료 후의 분해율은 거의 비슷하였지만, 1시간 간격으로 분해되는 각 화합물들 중에서 벤젠의 분해율은 다른물질들에 비하여 서서히 분해가 진행되었다.

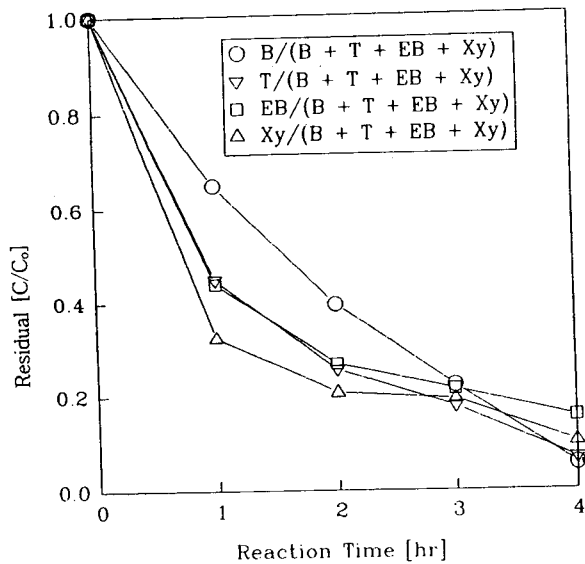


Fig. 6. Photodegradation of mixing solution (benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes) with UV irradiation (Volume : 1000 mL).

이상의 실험결과에서 보면, 각 물질들은 톨루엔을 제외하고는 단일성분일때보다 혼합성분의 분해실험에서 분해율이 떨어지며, 벤젠을 중심으로 한 다른 물질들은 벤젠보다 분해율이 더 좋음을 알 수가 있었다. 이것은 벤젠은 공명구조를 가진 물질로서, 다른 치환기를 가진 방향족 화합물보다 더 안정한 구조를 가지고 있기 때문이라고 생각된다.

3.1.3. pH변화에 의한 광분해율

본실험은 pH 4.0, pH 6.4, 그리고 pH 10.0의 조건에서 UV 조사에 의해 각각의 휘발성 유기화합물에 대한 광분해실험을 행하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

벤젠의 경우 pH 4.0, pH 6.4, pH 10.0의 조건에서 반응 1시간일 때 거의 모든분해가 이루어짐을 알 수 있었고, 에틸벤젠은 약 92%(pH 4.0), 90%(pH 6.4), 91%(pH 10.0)이고, 크실렌은 약 95%(pH 4.0), 90%(pH 6.4), 92%(pH 10.0) 정도의 분해율을 나타내었다. 이 실험의 결과에서는 벤젠, 에틸벤젠, 크실렌의 광분해율은 pH에 영향과는 관계가 없음을 볼 수 있었으며, 톨루엔의 분해율은 80%(pH 4.0), 43%(pH 6.4), 70%(pH 10.0)의 분해율을 보였다. Sarakha 등[13]은 pH가 높을수록 superoxide ion이 많이 생성되므로 분해율이 높고, pH가 중성에서는 분해율이 낮다고 하였으며, Castrantas 등[14]은 초기농도 10ppm의 페놀의 23%가 pH 4.0에서 40분에서 제거되었으나, pH 10에서는 분해가 일어나지 않았다고 하였다.

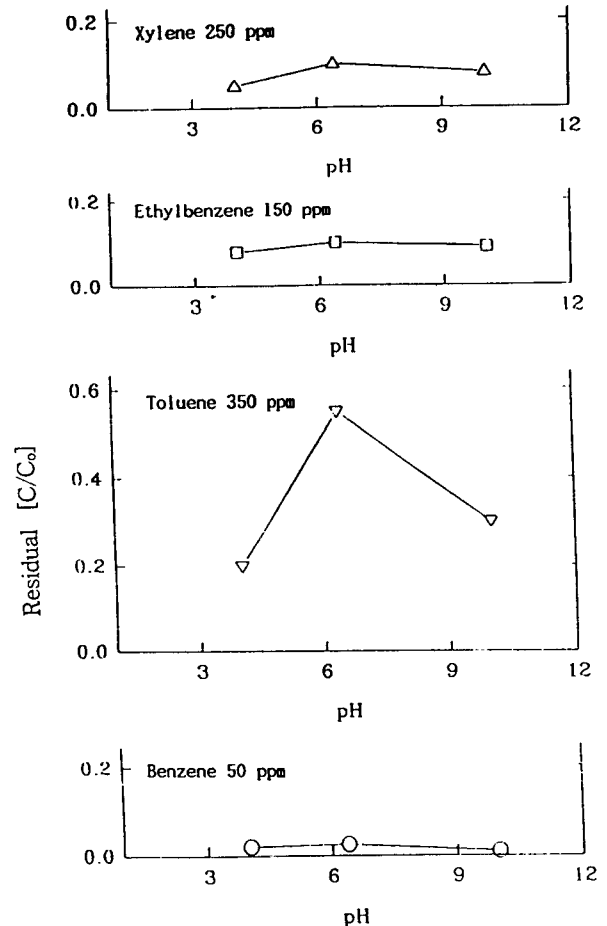


Fig. 7. Effect of pH on the photodegradation of aromatics with UV irradiation (Volume : 1000 mL).

본 실험에서는 위의 네 물질들의 분해정도의 일반적인 경향은 산성영역에서의 분해율이 염기성영역에서의 분해율보다 효율이 뛰어난 결과를 얻을 수 있었다.

3.2. 휘발성 유기화합물에 대한 TOC 변화

광분해실험을 행한 후, 네가지 물질에 대한 TOC 감소정도를 측정하기 위하여 TOC-5000A analyzer (Shimadzu Co.)로 분석한 결과를 Fig. 8, 9, 10, 그리고 11에 각각 나타내었다.

벤젠은 반응 4시간 완료 후 약 76% 정도의 유기물의 제거효율을 나타내었으며, 톨루엔은 약 75%, 에틸벤젠 80.5%, 그리고 크실렌 83%의 유기물 제거율을 나타내었다. 3.1.1에서의 유기물의 분해율과 비교해보면, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 그리고 크실렌 등의 유기물분해율과 제거율값의 차는 반응이 완결된 후 각각 22%, 5%, 15.5%, 12%의 차이를 나타내었다. 여기서 광분해 후, GC-FID로 분석한 휘발성 유기화합물의 분해율과 TOC-

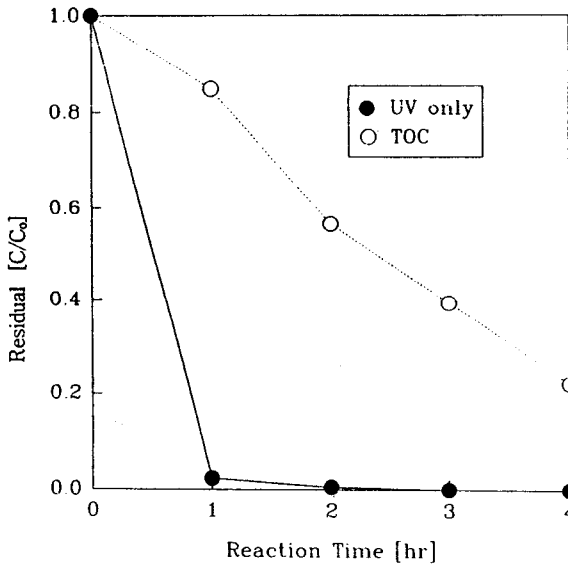


Fig. 8. Mineralization of benzene(50 ppm) with UV irradiation(Volumn : 1000 mL).

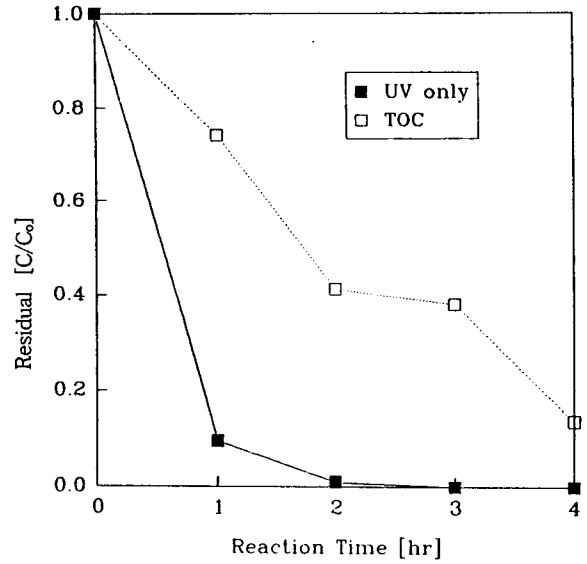


Fig. 10. Mineralization of ethylbenzene(150 ppm) with UV irradiation(Volumn : 1000 mL).

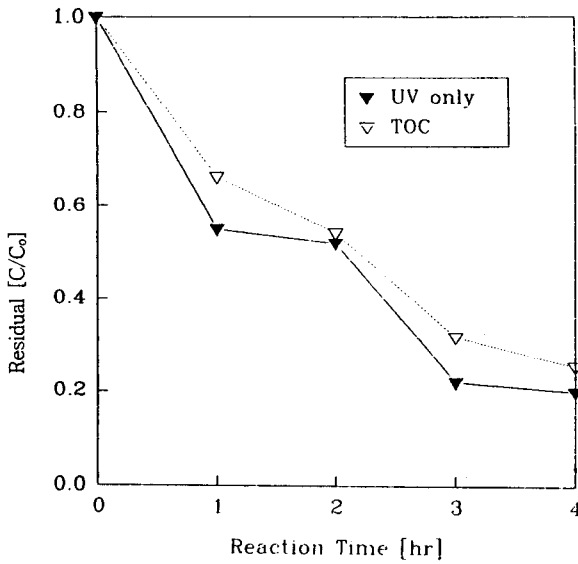


Fig. 9. Mineralization of toluene(350 ppm) with UV irradiation(Volumn : 1000 mL).

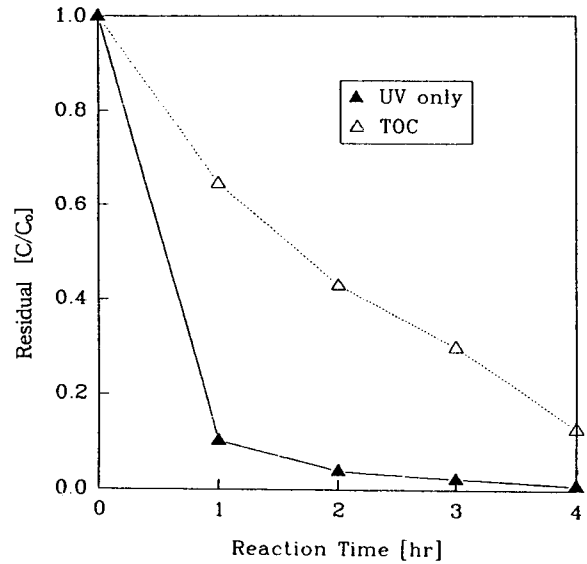


Fig. 11. Mineralization of xylenes(250 ppm) with UV irradiation(Volumn : 1000 mL).

5000 analyzer로 측정된 유기물의 제거효율과의 차이는 각각의 휘발성 유기화합물들이 UV 조사하에서 반응중간생성물 또는 반응부산물들이 생성되었기 때문이라고 생각된다.

3.3. TOC결과로부터 Kinetics식 유도

다음은 액체상의 회분식 반응기를 사용하여 얻은 TOC 결과로부터 Kinetics식을 유도하고 속도상수를 결정하고자 한다.

일반적으로 회분식반응기에서 Kinetics 식을 유도하기 위해서는 몇 가지의 가정이 필요하다. 첫째로, 회분식 반응기에서는 모든 반응물질들의 inflow와 outflow가 없으며, 그 안에서는 완전한 혼합이 이루어질거라는 가정이 필요하다. 본 실험에서는 반응 4시간 동안 40 mL 정도로 반응물을 취하였지만, 전체반응 용액인 1L에 비해 작은 양이므로 outflow를 거의 무시할 수 있고, 당연히 inflow가 없다고 할 수 있다. 그리고 회분식 장치에서는 dead zone 즉, 잘 섞이지 않는 영역이 생기지만, 본 실

험에서는 반응기의 용량이 1.5L이며, 반응물을 교반하면서 실험을 하였기 때문에 완전혼합되어 dead zone이 생기지 않는다고 볼 수 있다.

대부분의 액상반응에 대해서는 반응의 부피 및 밀도 변화가 작고, 그 변화량을 무시할수 있으므로 다음과 같은 mole balance식을 얻을 수 있다.

$$\frac{1}{V} \left(\frac{dN_A}{dt} \right) = r_A$$

윗 식에서 부피변화가 없을 때($V = V_0$), 농도의 항으로 다시 표현하면 아래와 같다.

$$\left(\frac{dC_A}{dt} \right) = r_A$$

만약, 본 실험의 광분해반응이 비가역적인 1차 반응이라 가정하면, 그 속도식은 $-r_A = kC_A$ 이 되고, 여기서 k 는 VOCs의 각 물질의 속도상수이고 C_A 는 VOCs의 농도이다. mole balance와 속도식을 결합하면

$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A = -r_A$ 이 되고, $t=0$ 에서 $C_A = C_{A0}$ 로 접근하면,

$$\ln \frac{C_{A0}}{C_A} = kt \text{가 된다.}$$

따라서 시간 t 의 함수로 $[\ln(C_{A0}/C_A)]$ 를 그리면, 기울기 k 를 가지는 직선이 된다. 그러나 휘발성 유기화합물의 광분해반응이 비가역적인 1차 반응이 아니라면 위의 함수를 만족시키지 못하고, 또한, 원래의 가정이 부적합하므로 2차, 3차 반응에 대한 속도식이 필요하다.

먼저 분해속도식이 1차식이라 가정하고(pseudo-first order rate), 각각의 VOCs들의 TOC 결과에 대해 속도식을 유도해 보고자 한다. Table 3에는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 그리고 크실렌의 시간 t 와 TOC와의 관계를 도시하였다.

이에 대한 1차 속도식을 유도하기 위해 시간 t 와 $\ln(C_{A0}/C_A)$ 의 함수로부터 그 결과를 Fig. 12에 나타내었고, 에틸벤젠을 제외한 모든 유기화합물에 대해 pseudo-1차 속도식의 적용이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 이 결과로부터 각 물질에서의 유기물의 제거속도상수(Table 4)를 결정할 수 있었다.

에틸벤젠을 제외한 나머지물질들의 실험결과에서 Yue 등[15]은 여러 유기화합물의 제거에 대한 TOC 분해속도에 관해 연구를 하였는데, 그 결과 TCE, Phenol, 4-

Table 3. The Relationship of Time and TOC Concentration

VOCs	Time [hr]	C_{A0} / C_A	$\ln(C_{A0} / C_A)$
Benzene	1	1.20	0.16
	2	1.77	0.57
	3	2.55	0.94
	4	4.52	1.51
Toluene	1	1.50	0.41
	2	2.04	0.71
	3	3.15	1.15
	4	3.94	1.37
Ethylbenzene	1	1.35	0.30
	2	2.42	0.89
	3	2.63	0.97
	4	7.27	1.98
Xylene	1	1.55	0.44
	2	2.32	0.84
	3	4.41	1.48
	4	7.69	2.04

Table 4. The Mineralization Rate Constants(k) of VOCs

VOCs	k [hr^{-1}]
Benzene	0.30
Toluene	0.35
Ethylbenzene	—
Xylene	0.50

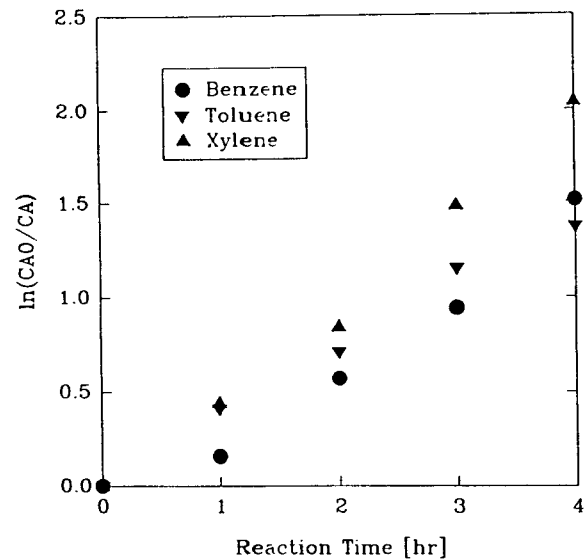


Fig. 12. The relationship between time t and $\ln(C_{A0}/C_A)$.

chlorophenol, 그리고 Catechol 등 모든 유기물질들의 분해에 관한 TOC 제거속도는 1차 속도식에 따른다고 보고한 것과 일치하였다.

4. 결 과

벤젠 50 ppm, 톨루엔 350 ppm, 에틸벤젠 150 ppm, 그리고 크실렌 250 ppm을 초기농도로 하여 450 W 중압수 은램프를 이용하여 광분해한 결과를 다음에 나타내었다.

1) UV 조사하에서 반응 1시간 후 벤젠은 98%, 톨루엔 43%, 에틸벤젠 96%, 그리고 크실렌 95%의 분해율을 나타내었다. 또한 단일성분의 광분해율은 두 성분 및 4 성분의 혼합용액에 비해 분해율이 뛰어났다.

2) pH 4.0, 6.4, 그리고 10.0의 조건에서 벤젠, 에틸벤젠, 크실렌은 pH 변화에 관계없이 분해율이 좋았으며, 톨루엔은 산성영역과 염기성영역에서보다 중성영역에서 분해율이 43%로 제일 낮았다.

3) 휘발성유기화합물의 TOC 감소는 반응 4시간 후, 벤젠 76%, 톨루엔 75%, 에틸벤젠 80.5%, 그리고 크실렌 83%로 나타났다.

4) 에틸벤젠을 제외한 세 물질들은 pseudo-1차 속도식의 적용이 가능하다는 것을 알 수 있었고, 이로부터 각 물질에서의 유기물제거에 대한 속도상수를 결정할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 한국과학기술원, 고도정수처리를 위한 기술개발, 1993.
2. Serpone, N., Pelizzetti, E., Photocatalysis Fundamentals and applications, John Wiley & Sons, 604-634(1989).
3. Bunce, N. J., Diodato, G. D., and Safe, S. H., *Chemosphere*, **24**, 433-438(1992).
4. Kawaguchi, H., *Chemosphere*, **24**, 1707-1712 (1992).
5. Peyton, G. R., et al., *Environ.Sci.Technol.*, **16**, 448-453(1982).
6. Mansour, M., Parlar, H., and Korte, F., Proc. 4th Intern. Conf. Chem. Prot. Environ., Toulouse, 457 (1984).
7. Legrini, O., Oliveros, E., and Braun, A. M., *Chem. Rev.*, **93**, 671-698(1993).
8. Weir, B. A., Sundstrom, D. W., and Klei, H. E., *Hazard.waste Hazard.mater.*, **4**, 165-176(1987).
9. Sundstrom, D. W., Weir, B. A., and Klei, H. E., *Environ. Progress*, **8**, 6-11(1989).
10. Peterson, D. Watson, D and Winterlin, D. *Bull. Environ. Contam.Toxicol.*, **44**, 744(1990)
11. Jakob, L., Legrini, O., Oliveros, E, Braun, A. M., Photocatalytic degradation of 1,2-dimethyl-3-nitro-o-xylenes containing industrial waste waters, EPFL : Lausanne, Switzerland, 1992(unpublished results).
12. Cater, S. R., Brown, P. M., Buckley, J. A., and Stenvens, R. D. S. U.S. Patent. 5,043,080, 1991.
13. Sarakha, M., Dauphin, G., and Boule, P., *Chemosphere*, **18**, 1391-1399(1989).
14. Castrantas, H. M., Gililisco, R. D., *ACS Symp. Ser.* **422**, 77-99(1990).
15. Yue, P. L. and Legrini, O. AIChE Natl.Meeting, San Francisco, 1989.