

## 과산화수소가 옥살산의 광분해에 미치는 영향

김응호<sup>†</sup> · 김영환 · 정동용 · 유재형 · 최청송\*

한국원자력연구소

\*서강대학교 화학공학과

(1997년 1월 17일 접수, 1997년 4월 10일 채택)

## Effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> on Photodestruction of Oxalic Acid

Eung-Ho Kim<sup>†</sup>, Young-Hwan Kim, Dong-Yong Chung, Jae-Hyung Yoo and Cheong-Song Choi\*

Korea Atomic Energy Research Institute

\*Dept. of Chemical Engineering, Sogang Univ.

(Received 17 January 1997; accepted 10 April 1997)

### 요 약

질산이 첨가되었을 경우와 첨가되지 않았을 때의 과산화수소와 옥살산 혼합물의 광분해 연구와 아울러 과산화수소 단독의 광분해 연구가 수행되었다. UV 조사시 과산화수소 분해반응은 과산화수소가 고농도일 경우에는 1차 반응, 저농도에서는 0차 반응으로 나타났다. 옥살산 자체는 UV 조사에 의해서 분해되지 않지만, 과산화수소가 존재할 때 UV 조사에 의해 급격히 분해되었다. 그러나 질산 매질에서 과산화수소는 더 이상 옥살산 분해에 영향을 미치지 않았다. 이것은 과산화수소의 광분해에 의해 발생하는 수산화 라디칼이 옥살산과의 반응으로는 소모되지 못하고, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 광분해 생성물인 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>과의 반응으로 소모됨을 알 수 있었다.

**Abstract**—Photodestruction of hydrogen peroxide alone as well as mixture of hydrogen peroxide and oxalic acid with and without nitric acid were carried out in this study. Decomposition reaction of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> under UV radiation showed that rate equation was first order with respect to [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] for high concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and zero order for low concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Oxalic acid itself was not decomposed by UV radiation, whereas in the presence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> decomposed rapidly under UV radiation. But, the presence of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the nitric acid media affected no longer on decomposition of oxalic acid. This was attributed that OH radical generated by photolysis of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was not consumed by reaction with oxalic acid, but by reaction with NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ion to be photolysis product of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

**Key words:** Photodestruction, Oxalic Acid, Hydrogen Peroxide, UV Radiation, Decomposition

### 1. 서 론

원자력 산업분야에서는 TBP(Tributyl phosphate), HDEHP(di-2-ethyl-hexylphosphoric acid), 옥살산 등 다양한 종류의 유기용매가 사용되고 있고 사용 후 폐용매들의 처리를 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다[1]. 이 중 옥살산은 수용액 상에서 방사성 핵종들의 침전제[2]나 방사능 물질의 오염제거를 위한 용출제[3]로 사용되고 있다. 특히 고준위 폐액내 함유된 장수명 핵종인 Am 및 Cm의 침전 분리를 위해 옥살산이 사용되고 있고 최근까지 이에 관한 많은 연구가 진행되고 있다[4-8]. 그런데 옥살산 침전 후 침전 여액내 Cs, Sr 등과 같은 발열성 방사성 핵종들이 존재하고 있고 이들은 분자체를 이용한 흡착공정에서 거의 모두 제거된다[9]. 그러나 흡착공정에서 이들 핵종들을 효과적으로 제거하기 위해 먼저 침전여액내 잔류하고 있는 옥살산을 제거해야만 한다[10].

수용액상에 존재하는 옥살산의 제거를 위해 다양한 방법이 제시

되고 있다. 이 중 산화력이 강한 크롬산[11], MnSO<sub>4</sub>[12], KMnO<sub>4</sub>[13] 등의 사용은 최종 수용액 상에 금속 이온을 잔류시키기 때문에 사용이 억제되고 있다. 이에 반해 과산화수소의 경우 금속이온을 폐기물에 남기지 않는 장점을 지니고 있어 최근 많이 연구되고 있으나[14, 15] 이 경우도 적지 않은 양의 과산화수소가 요구되고 있고 또한 수용액 상에서 90 °C의 비교적 고온이 요구되고 있다. 그러나 이런 재래식 산화처리공정외에 근래 UV를 이용하여 산업 폐수 중 유기 독성 물질을 분해시키려는 노력이 매우 광범위하게 수행되고 있다. 특히 고급 산화법(Advanced Oxidation Process)이라고 부르는 UV-O<sub>2</sub>/과산화수소계가 유기 물질에 대한 놀라운 산화력을 지니고 있음이 밝혀지고 있다[16, 17].

UV에 의한 옥살산의 광분해는 1930년대부터 주로 UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>에 의한 광량측정법(actinometry) 연구와 관련하여 많이 연구되어 왔다[18, 19]. 그러나 원자력 분야의 액체 폐기물내 옥살산 처리와 관련해서는 비교적 최근에 연구되고 있다[20]. 그리고 고준위 방사성 액체폐

기물을 포함하여 원자력 분야에서 배출되는 액체폐기물은 주로 질산 매질로 되어 있는데[21] 질산 매질하에서 옥살산의 광분해에 관한 연구는 최근 Wang 등[20]의 연구결과 외에는 전무한 상태이다. 그러나 Wang 등은 간단한 실험결과만 제시했을 뿐 원인 규명은 이루어지지 않았다. 본 연구는 방사성 액체 폐기물내 존재하는 옥살산 제거를 위한 사전 연구로서 UV조사하에서 과산화수소에 의한 옥살산 분해 연구가 체계적으로 수행되었고, 특히 질산 매질에서 과산화수소가 옥살산 분해에 미치는 영향이 함께 조사되었다.

## 2. 실험

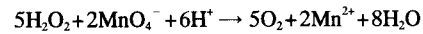
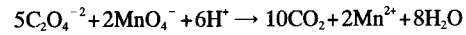
### 2-1. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 옥살산, 과산화수소 그리고 질산은 각각 시약급으로 각각의 실험농도는 옥살산은 0.1 M, 과산화수소는 0.05-1 M, 질산은 0-3 M 범위였다. 유기산 수용액의 광 분해에 사용된 장비는 Rayonet Model RPR-208으로 2537 Å의 파장을 내는 수은 램프로 구성되어 있고 출력은 120 W이다. 실험장치는 Fig. 1과 같이 수은 램프가 원통형 반응기 가장자리에 위치해 있고 빛의 방향은 반응기 가장자리에서 중앙으로 향하게 되어 있다. 반응물이 채워지는 시료 튜브의 재료는 석영(quartz)이며 크기는 15 ml로서 그림에서 보는 바와 같이 아크릴 수평 지지대에 8개의 시료 튜브가 동시에 실험되도록 설치하였고 가능한 한 램프 가까이 위치하게 하였다. 자외선이 시료에 조사되는 과정에서 온도 상승을 막기 위해 반응기 하부에 설치된 공기 순환 포트를 통해 공기 냉각을 시켰다. 광 분해에 사용된 시료량은 매 실험 당 10 ml가 사용되었다. 광 조사에 따른 옥살산의 분해 정도를 측정하기 위해 광 조사를 일시 중단하고 분석에 필요한 시료를 10-100 µl 범위로 채취하고 난 후 다시 시료 튜브를 광 조사시키는 방법으로 실험하였다.

### 2-2. 분 석

옥살산, 과산화수소 그리고 질산의 빛 흡수 파장대를 조사하기 위해 UV 분광 광도계(Model: Shimadzu UV-160A)가 사용되었고, 광 조

사되는 과정에서 채취된 수용액 시료로부터 옥살산 및 과산화수소를 0.1 N-KMnO<sub>4</sub> 적정으로 다음과 같은 화학반응식에 의해 각각의 분해율을 구하였다[22].



그러나 옥살산, 과산화수소 혼합물의 경우 0.1 N-KMnO<sub>4</sub>로는 개별 측정을 할 수 없기 때문에 두 물질의 전체량을 측정하고, 다시 과산화수소는 광 회절을 이용한 Reflectoquant[Merck]로 분석하였다. 이렇게 얻어진 과산화수소의 농도를 전체 측정량에서 소거하여 옥살산 농도를 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 과산화수소, 옥살산 및 질산의 광 흡수

Fig. 2는 0.5 M의 질산 용액과 0.1 M 옥살산 용액 그리고 0.1 M의 과산화수소 용액의 UV spectra들이다. 세 용액 모두 350 nm 이하에서 빛을 흡수하였다. 특히 과산화수소를 이용한 수용액 중의 유기물질 분해 실험의 경우 대부분 253.7 nm 파장을 사용해 오고 있다[23]. 그러므로 본 연구에서도 옥살산의 광분해에 사용되는 빛으로 2537 Å 파장을 방출하는 수은 램프가 사용되었다.

### 3-2. 과산화수소의 광분해

Fig. 3은 과산화수소의 광분해 결과를 나타내고 있다. 과산화수소

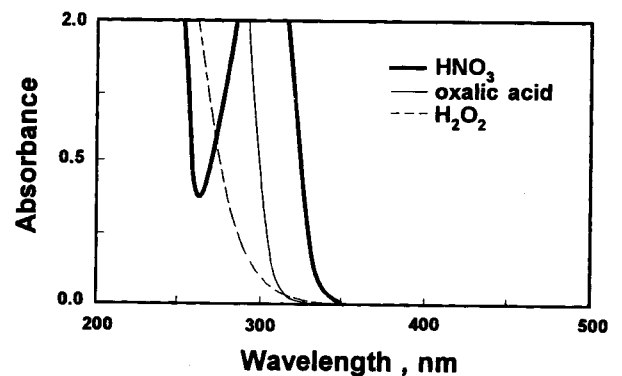


Fig. 2. UV absorption spectra of hydrogen peroxide, oxalic acid and nitric acid.

([HNO<sub>3</sub>]=0.5 M, [H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>]=0.1 M and [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]=0.1 M)

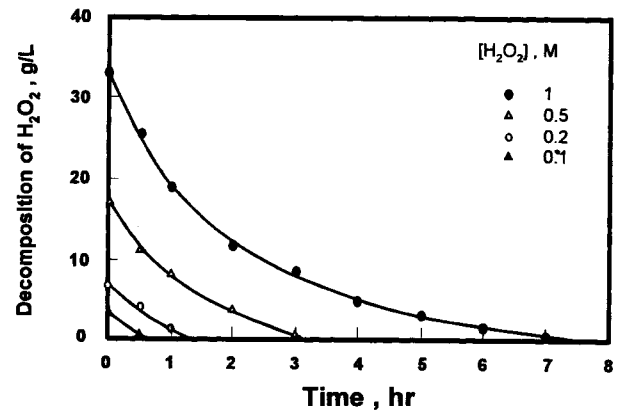


Fig. 3. Photodecomposition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with four different initial concentrations.

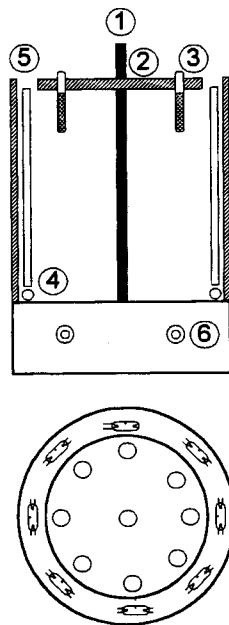
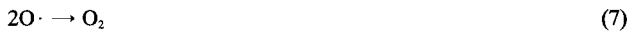


Fig. 1. Schematic diagram of photolysis system.

① Vertical supporter, ② Horizontal acryl supporter, ③ Sample tube, ④ Airation port, ⑤ Hg-Lamp, ⑥ Power generator

의 초기 농도에 관계없이 광 조사 시간이 경과함에 따라 거의 일정하게 감소하고 있다. 과산화수소의 광분해에 관한 연구는 오래 전부터 상당히 많이 연구되어졌고[24, 25], 다음과 같은 연쇄반응을 통해 과산화수소가 광 분해되는 것으로 보고되고 있다.



반응식 (1)은 과산화수소의 primary photoreaction에 해당되어 과산화수소 광분해의 초기 반응이고 반응식 (2)와 (3)은 전파(propagation) 그리고 반응식 (4), (5), (6) 및 (7)은 광화학반응으로 유발된 2차 화학반응들이 종료되는 반응식들이다. 그러나 일반적으로 반응식 (1), (2), (3)과 (4)만으로 과산화수소의 광화학반응을 표현한다[25]. Volman 등[24]은 과산화수소의 분해에 대한 양자 수율( $\Phi$ )을 다음과 같이 정의하였다.

$$\Phi = 2 \phi + 2k_4 \left( \frac{\phi}{k_3 I_a} \right)^{1/2} [\text{H}_2\text{O}_2] \quad (8)$$

여기서  $k_3$ ,  $k_4$ 는 화학반응식 (3)과 (4)의 속도 상수이고  $I_a$ 는 단위 시간당 반응계에 흡수된 양자 수이며  $\phi$ 는 화학반응식 (1)의 양자 수율이다.

과산화수소 분해 속도는 다음과 같다.

$$-\frac{d[\text{H}_2\text{O}_2]}{dt} = \Phi I_a \quad (9)$$

(8)식은 (9)식에 대입하면 과산화수소 분해 속도식은 다음과 같다.

$$-\frac{d[\text{H}_2\text{O}_2]}{dt} = 2 \phi I_a + 2k_4 \left( \frac{\phi I_a}{k_3} \right)^{1/2} [\text{H}_2\text{O}_2] \quad (10)$$

과산화수소가 광분해되어 생성된 수산화 라디칼( $\text{OH}\cdot$ )이 2차 화학반응에 의해 계속적으로 과산화수소를 분해시키는 연쇄반응이 일어나기 때문에 과산화수소의 분해 속도는 과산화수소 농도에 의존하게 된다. Fig. 4는 광화학반응에 의해 분해되는 과산화수소 분해 속도가 과산화수소 농도의 1차에 의존하고 있음을 보여주고 있으며 식 (10)에 잘 적용됨을 알 수 있다. 그러나 과산화수소가 물을 경우

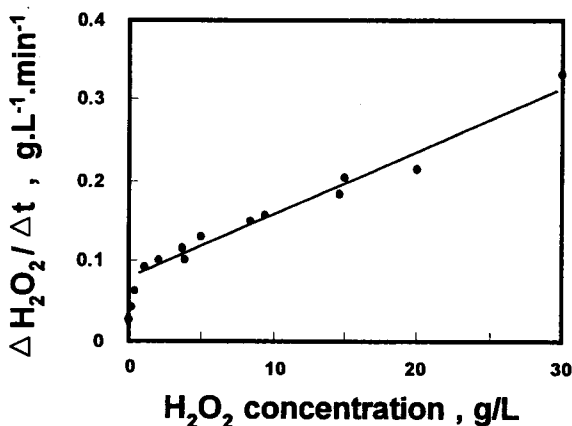


Fig. 4. Concentration dependency of  $\text{H}_2\text{O}_2$  on rates of photolysis.

그림을 보면 과산화수소 분해 속도가 새로운 의존성을 보여주고 있다. 이와 같은 현상을 현재 연구결과로 분명히 설명할 수 없다. 하여튼 과산화수소 농도가 묽어져 거의 소멸되어 간다면 식 (10)의 오른쪽 두 번째항은 소거되어 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$-\frac{d[\text{H}_2\text{O}_2]}{dt} = 2 \phi \cdot I_a \quad (11)$$

식 (11)은 과산화수소가 photolysis되어 수산화 라디칼을 생성시키는, 즉 연쇄반응이 배제된 속도식으로서 반응계에 흡수되는 광자 수가 일정하고 또한 양자 수율이 일정하다면 식 (11)의 오른쪽 항은 상수가 되어 결국 수산화 라디칼을 생성시키는 과산화수소 분해 속도는 0차 반응이 된다. 본 연구 결과 Fig. 4를 보면 식 (11)을 설명할 수 있는 과산화수소 속도는 2가지가 제시되고 있다. 즉, 농도 분기점으로부터 과산화수소의 고농도 영역에서 직선을 좌표축 원점까지 외삽한 분해 속도를 약  $0.08 \text{ g/L} \cdot \text{min}$ 과 묽은 농도 영역에서 과산화수소가 완전히 소멸될 때의 속도  $0.02 \text{ g/L} \cdot \text{min}$ 으로 나타난다. 그러나 연쇄반응(chain reaction)이 배제된 반응식 (1)만 고려한다면 과산화수소 분해 속도는  $0.02 \text{ g/L} \cdot \text{min}$ 이 보다 더 논리적인 것으로 판단된다.

### 3-3. 과산화수소에 의한 옥살산의 광분해

Fig. 5는 옥살산 농도가  $0.1 \text{ M}$ 인 용액과 여기에 과산화수소가 첨가된 용액의 광분해 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 옥살산은 UV  $2537 \text{ \AA}$  파장에서 분해가 매우 느리게 나타나고 있다. Photolysis 시간이 20시간 경과하더라도 5% 미만의 분해율을 보여주고 있다. Carter와 Weiss[18]는 옥살산이 다음과 같은 반응으로 분해된다고 보고하였다.



그러나 Forbes와 Heidt[26]는 unsensitized된 옥살산 단독 용액의 광분해 경우 양자 수율(quantum yield,  $\Phi$ )이 0.02 정도로 매우 낮다고 보고하였다. 이것은 현재 연구 결과를 잘 설명하고 있다. 이러한 현상은 아마도 충분히 빛을 흡수하여 여기 상태에 있는 옥살산분자가 광분해 되는 경로를 진행되기 보다는 오히려 발광(luminiscence)이나 활성감소(deactivation) 과정을 거치는 것으로 판단할 수 있다. 이에 반해 과산화수소가  $0.2 \text{ M}$  첨가된 용액의 경우 급속히 분해가 일어나 5시간내에 거의 모든 옥살산을 분해시키고 있다. 이러한 결과

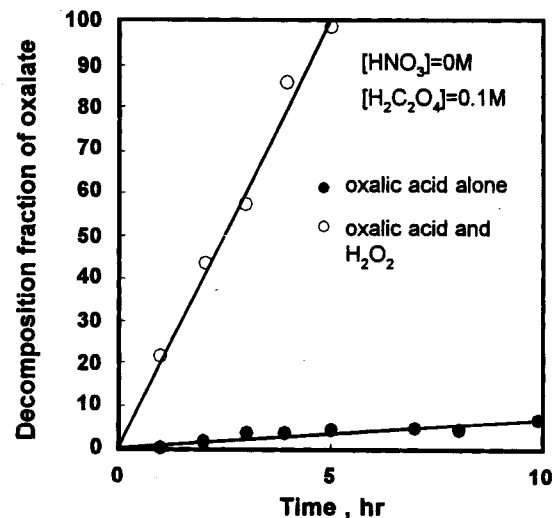


Fig. 5. Decomposition fractions of oxalate with and without  $\text{H}_2\text{O}_2$  during photolysis.

는 앞서 언급되었듯이 과산화수소가 UV 하에서 두 개의  $\text{OH}\cdot$ 로 분해되고 수산화 라디칼이 다음과 같이 옥살산을 공격하여 분해시키는 것으로 판단된다.



Fig. 5를 보면 옥살산의 분해 속도는 거의 선형적으로 나타나고 있다. 실제 옥살산은 과산화수소가 광분해되어 생성된 수산화 라디칼에 의해 화학반응으로 산화되는 것이기 때문에  $\text{OH}\cdot$ 의 생성 속도 즉 과산화수소의 광분해 속도에 영향을 받을 수 있다.  $\text{OH}\cdot$ 의 생성 속도는 앞서 언급되었듯이 과산화수소의 primary reaction 속도가 된다. 이것은 용액 중의 과산화수소의 몰농도에 관계없이 반응 용액에 흡수되는 유효 광자수에 의해 결정되기 때문에 본 연구와 같이 흡수되는 빛의 강도가 일정할 경우 용액내 과산화수소의 농도에 관계없이 생성되는  $\text{OH}\cdot$ 은 일정할 것으로 판단된다. 이것은 과산화수소의 primary reaction rate인 식 (11)로부터 쉽게 예측할 수 있다. 그러므로 옥살산은  $\text{OH}\cdot$ 와 반응하여 재빨리 분해되기 때문에 옥살산의 분해 속도는  $\text{OH}\cdot$ 의 생성 속도에 의해 결정되어지게 된다. 따라서 옥살산 분해 속도 역시 0차를 보일 수 있을 것으로 판단한다. 이와 같은 현상은 Fig. 6을 보면 보다 쉽게 이해할 수 있다. 옥살산 농도를 0.1M로 고정시키고 과산화수소 농도만 변화시켰을시 과산화수소 농도에 관계없이 옥살산은 거의 선형으로 분해되고 있다. 이것은 반응계에 입사되는 일정량의 광자를 과산화수소가 흡수하여 생성된  $\text{OH}\cdot$ 이 옥살산과 반응하고 있음을 알 수 있다. 특히 Fig. 6 내부를 보면 과산화수소의 분해가 시간에 대해 선형임을 보여주고 있다. 즉 0차임을 나타내고 있다. 이것은 과산화수소가 옥살산과 공존시 광분해 기구는 연쇄반응이 배제된 primary reaction에 의해 분해가 진행됨을 의미한다. 그리고 과산화수소 초기 농도가 0.05 M, 0.07 M의 경우 2-3시간내에 과산화수소가 모두 소멸되고 있음을 볼 수 있다. 이것을 옥살산의 분해 속도와 비교해 보면 역시 2-3시간내에 옥살산의 분해가 종료됨을 보여주고 있다. 이 결과로부터 과산화수소에 의해 옥살산이 분해될 때 과산화수소 분해 속도는 거의 순수한 primary photoreaction으로 진행되고 옥살산 분해 속도는 수산화 라디칼의 생성 속도에 의해 결정됨을 알 수 있다. Fig. 6에 나타난 과산화수소 초기 농도에 따른 과산화수소 분해 속도 상수를 Table 1에 재구성하였다. Table 1을 보면 과산화수소 농도가 감소할수록 과산화

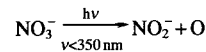
Table 1. Variations of rate constant for photodecomposition of hydrogen peroxide with its concentration

$[\text{H}_2\text{O}_2]$ , M	0.2	0.07	0.05
K, g/l·min	0.028	0.015	0.017

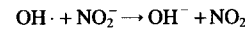
수소 분해 속도 상수가 감소함을 보여주고 있다. 이것은 과산화수소 농도가 낮을수록 광분해 생성물인 수산화 라디칼이 다시 과산화수소와 반응할 기회보다는 오히려 옥살산에 의해 scavenging되어 옥살산을 산화시킬 가능성이 훨씬 높음을 시사하고 있고 과산화수소의 순수 광분해 속도 상수는 현재 실험결과로 보아 0.016 g/l·min 정도에 수렴하는 것으로 판단된다. 이 수치는 앞서 과산화수소의 단독 분해 실험에서 얻어진 결과인 0.02 g/l·min보다 약간 낮게 제시되고 있지만 거의 유사한 결과로 판단한다. 옥살산의 경우 분해 속도 상수는 과산화수소 농도에 관계없이 거의 2.31 g/l·min로 계산되었다.

### 3-4. 질산 매질하에서 과산화수소에 의한 옥살산 분해

Fig. 7은 과산화수소 농도가 0.5M일 때 질산 농도에 따른 과산화수소 분해율을 나타내고 있다. 질산이 첨가되지 않았을 경우 분해 속도가 가장 빨랐으며 질산 농도가 증가할수록 분해 속도는 늦어지는 것으로 나타났다. 질산 이온이 존재하지 않을 경우 앞서 제시된 반응 기구로부터 예측할 수 있듯이 과산화수소가 광분해되어 생성된 수산화 라디칼이 계속 과산화수소를 분해시키므로써 과산화수소는 급격히 분해되게 된다. 그러나 Daniels 등[27]은  $\text{NO}_3^-$  이온은 수용액상에서 다음과 같이 광분해됨을 보고하였다.



그러므로  $\text{NO}_3^-$  이온의 광분해 생성물인  $\text{NO}_2^-$  이온이  $\text{OH}\cdot$ 과 다음과 같은 반응을 유발시키기 때문에[27] 용액 중에  $\text{NO}_2^-$  농도가 높을수록  $\text{OH}\cdot$ 은



쉽게 소모되어 과산화수소의 분해 속도를 낮출 것으로 기대되어진다. Fig. 8은 순수 질산 용액의 photolysis 결과이다. 광 조사 시간이 경과함에 따라 용액 중의  $\text{NO}_2^-$  농도는 증가하고 있음을 보여주고 있다. 또한 질산 농도에 따라  $\text{NO}_2^-$  농도도 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유로 해서 질산 농도가 높아짐에 따라 과산화수소 분해 속도는 낮아지는 것으로 해석할 수 있다. 그러므로 옥살산이 존재할 경우 과산화수소의 광분해로 생성된  $\text{OH}\cdot$ 이  $\text{NO}_2^-$  이온에 의

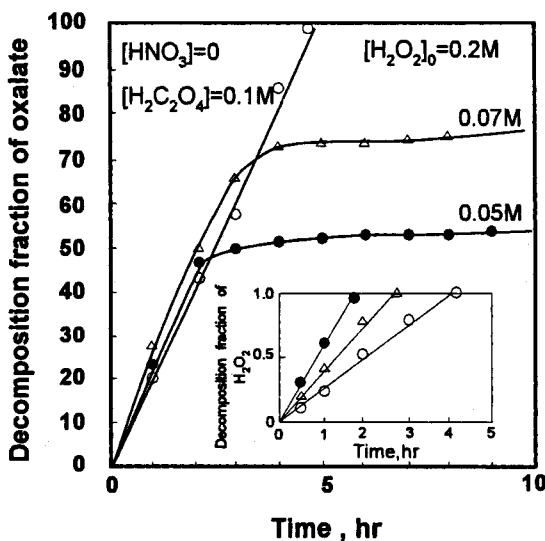


Fig. 6. Variations of oxalic acid and  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrations during photolysis.

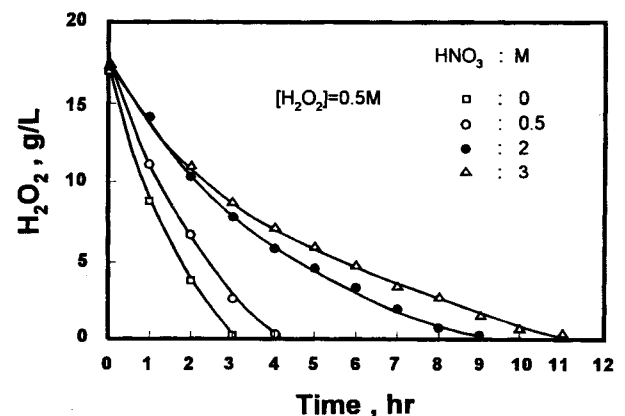


Fig. 7. Effect of nitric acid on photolysis of  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

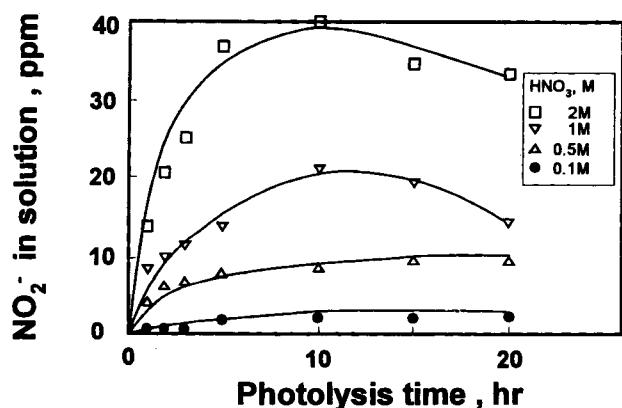


Fig. 8. Effect of nitric acid concentration on nitrite formation during photolysis.

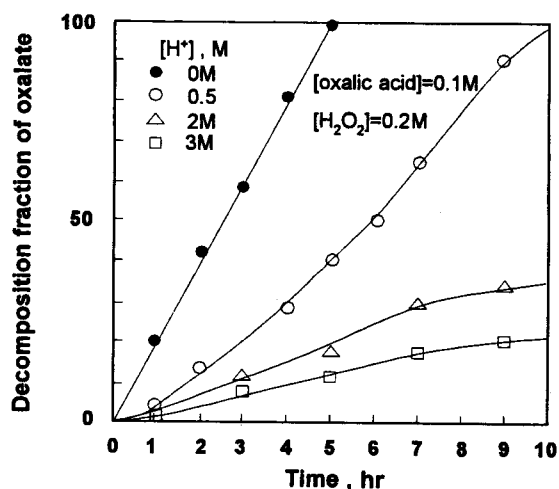


Fig. 9. Effect of  $H_2O_2$  on decomposition of oxalic acid in the presence of nitric acid under UV radiation.

해 소모되기 때문에 옥살산의 분해 속도는 늦출 것으로 예측될 수 있다. Fig. 9를 보면 과산화수소에 의한 옥살산 분해 속도가 질산 농도에 크게 영향을 받고 있음을 볼 수 있다. 이 결과로부터 고농도의 질산 매질에서는 과산화수소에 의한 옥살산의 광분해는 별 효과가 없음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

UV 2537 Å 파장을 이용하여 옥살산이 광분해될시 과산화수소가 분해에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 과산화수소 단독 용액에서 과산화수소의 농도가 높을 경우 분해는 연쇄반응에 의해 진행되며, 분해 속도는 과산화수소 농도의 1차에 의존하였다. 그러나 농도가 묽을 경우 과산화수소의 분해 속도는 농도에 의존하지 않는 순수한 광분해 속도를 나타내었다.

(2) 옥살산 자체는 거의 광분해가 일어나지 않지만 과산화수소가 첨가되면 급격히 광분해되며, 옥살산의 분해 속도는 과산화수소의 분해 속도에 의존함을 알 수 있었다.

(3) 옥살산과 과산화수소의 혼합 용액에서 두 물질의 광분해 속도는 모두 영차 반응을 보였으며 속도 상수는 각각  $2.31 \text{ g/l} \cdot \text{min}$ 와  $0.016 \text{ g/l} \cdot \text{min}$ 을 나타내었다.

(4) 옥살산과 과산화수소의 혼합 용액에 질산이 첨가되면 옥살산

의 분해 속도는 감소하였으며 질산 농도가 증가할수록 옥살산 분해 속도는 더욱 더 감소하였다. 이것은  $NO_3^-$ 의 광분해 생성물인  $NO_2^-$ 가 수산화 라디칼과 반응함으로써 옥살산 분해 속도를 늦추는 것으로 해석되었다.

#### 참고문헌

- Choppin, G., Rydberg, J. and Liljenzin, J. O.: "Radiochemistry and Nuclear Chemistry", Butterworth-Heinemann Ltd.(1995).
- Rankin, T., Burney, G. A., Smith, P. K. and Sisson, R. D. Jr.: *Ceramic Bulletin*, **56**, 478(1977).
- 歲國正美: 日本 特許, 昭 61-104299(1986).
- IAEA Technical Reports Series No. 214: "Evaluation of Actinide Partitioning and Transmutation", IAEA, Vienna(1982).
- Yoo, J. H.: "Development of Long-lived Radionuclide Partitioning Technology", KAERI/RR-1632/95, Most(1996).
- Kobayashi, T., Morita, Y. and Kubota, M.: "Development of Partitioning Method; Method of Precipitating Transuranium Elements with Oxalic Acid", JAERI-M88-026(1988).
- Forberg, C. W.: *Nuclear Technology*, **49**, 2431(1980).
- Kim, E. H., Shin, Y. J., Chung, D. Y., Kim, S. S., Yoo, J. H. and Choi, C. S.: *Korean J. Chem. Eng.*, **12**(5), 557(1995).
- Mimura, H., Akiba, K. and Igarashi, H.: *J. Nucl. Sci. and Tech.*, **31**(2), 136(1994).
- Kim, E. H., Kim, Y. H., Chung, D. Y., Lee, E. H. and Yoo, J. H.: *HWAHAK KONGHAK*, to be published, (1997).
- Bakore, G. V. and Jain, C. L.: *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **3**, 2527(1969).
- Barek, S., Berka, A. and Cvisora, O.: *Coll. Czechoslovak Chem. Commun.*, **49**, 954(1984).
- Malcom, J. M. and Noyes, R. M.: *J. Am. Chem. Soc.*, **7**, 2769(1952).
- Mailen, S. C., Tallent, O. K. and Arweed, P. C.: "Destruction of Oxalate by Reaction with Hydrogen Peroxide", ORNL/TM-7474(1980).
- Chung, D. Y., Kim, E. H., Shin, Y. J., Yoo, J. H., Choi, C. S. and Kim, J. D.: *J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters*, **201**(6), 495(1995).
- Glaze, W. H., Peyton, G. R., Lin, S., Huang, R. Y. and Burleson, J. L.: *Environ. Sci. Tech.*, **16**, 454(1982).
- Wang, F., Cassidy, K. and Lum, B.: "Incineration Alternatives for Combustible Waste Ultraviolet/Hydrogen Peroxide Process", UCRL-ID-112284(1992).
- Carter, A. H. and Weiss, J.: *Proc. Roy. Soc. A*, **174**, 351(1940).
- Volman, D. H. and Seed, J. R.: *J. Am. Chem. Soc.*, **86**, 5095(1964).
- Wang, F. and Lum, B. Y.: "Photolytic Destruction of Oxalate in Aqueous Mixed Waste", UCRL-JC-119739(1995).
- Benedict, M., Pigford, T. H. and Levi, H. W.: "Nuclear Chemical Engineering", McGraw-Hill Book Co.(1981).
- Kolthoff, I. M., Sandell, E. B., Meehan, E. J. and Bruckenstein, S.: "Qualitative Chemical Analysis", Fourth ed. Macmillan Co., London(1971).
- Patai, S.: "The Chemistry of Peroxides", John Wiley and Sons Ltd.(1983).
- Volman, D. H. and Chen, J. C.: *J. Am. Chem. Soc.*, **81**, 4141 (1959).
- Lunak, S. and Sedlak, P.: *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **68**, 1(1992).
- Forbes, G. S. and Heidt, L. J.: *J. Am. Chem. Soc.*, **56**, 2363(1934).
- Daniels, M., Meyers, R. V. and Belardo, E. V.: *J. Phys. Chem.*, **72**(2), 389(1968).