

## *E. coli* 불활성화와 산화제 생성에 미치는 소독 공정 결합의 영향

김동석 · 박영식<sup>1)\*</sup>

대구가톨릭대학교 환경과학과, <sup>1)</sup>대구대학교 기초교육원  
(2011년 3월 23일 접수; 2011년 4월 18일 수정; 2011년 5월 23일 채택)

## Effect of Disinfection Process Combination on *E. coli* Deactivation and Oxidants Generation

Dong-Seog Kim, Young-Seek Park<sup>1)\*</sup>

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

<sup>1)</sup>Faculty of Liberal Education, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea

(Manuscript received 23 March, 2011; revised 18 April, 2011; accepted 23 May, 2011)

### Abstract

The aim of this research was to evaluate the effect of combination of disinfection process (electrolysis, UV process) on *Escherichia coli* (*E. coli*) disinfection and oxidants (OH radical, ClO<sub>2</sub>, HOCl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>) generation. The effect of electrolyte type (NaCl, KCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) on the *E. coli* disinfection and oxidants generation were evaluated. The experimental results showed that performance of *E. coli* disinfection of electrolysis and UV single process was similar. Combination of electrolysis and UV process enhanced the *E. coli* disinfection and 4-carboxybenzaldehyde (4-CBA, indicator of the generation of OH radical) degradation. It is clearly showed synergy effect on disinfection and OH radical formation. However chlorine (ClO<sub>2</sub>, HOCl) and oxygen type (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) oxidants were decreased with the combination of two process. In electrolysis + UV complex process, electro-generated H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> were reacted with UV light of UV-C lamp and increased 4-CBA degradation (increase OH radical). Disinfection of electrolyte of chlorine type was higher than that of the sulfate type electrolyte due to the higher generation of OH radical and oxidants.

**Key Words :** *E. coli* Disinfection, Oxidant, Electrolysis, UV process, Electro+UV process, Synergy effect

### 1. 서론

개발도상국에서는 장티푸스, 콜레라, 세균성 이질 등의 세균에 의한 질병이 대규모 전염성 질병의 주원인이 되고 있다. 그러나 하·폐수처리, 상수도 급수 시설 등 위생시설이 발달한 선진국에서는 세균에 의한

발병건수는 감소하고 있다. 그러나 바이러스나 원생동물과 같은 새로운 병원균의 발견에 의한 발병건수가 증가하고 있어 문제가 되고 있다(Yeom 등., 2003).

기존의 정수 공정이나 하수 처리 공정에서 가장 많이 사용하고 있는 염소의 경우 *Cryptosporidium*과 같은 미생물이 18시간의 접촉이후에도 소독이 완전히 이루어지지 않아 염소 소독제에 내성이 있는 것으로 보고되고 있다(Betancourt와 Rose, 2004). 오존의 경우 온도의 영향을 많이 받아 수온이 떨어지는 겨울에는 원생동물의 저항성이 증가하며, 잔류성이 없어 후

\*Corresponding author : Young-Seek Park, Faculty of Liberal Education, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea  
Phone: +82-53-850-4571  
E-mail: ysparkk@daegu.ac.kr

처리로 염소처리가 필요하다(Kim 등, 2007). 자외선을 이용한 소독은 운전조작이 간단하고 접촉시간이 짧으며, 2차 반응부산물이 발생하지 않는 등의 장점을 가지고 있는 소독법이지만 잔류소독효과가 발생하지 않고 근자외선 등에 노출되었을 때 자외선에 의해 손상된 DNA가 회복되는 광회복(photoreactivation)이 발생하는 단점을 가지고 있다(Karl과 Jeannie, 1994; Kim 등, 2007).

최근 전기화학적 기술에 의한 폐수처리 및 소독에 대한 연구가 염소 소독이나 기존 소독 공정의 대안으로 진행되기 시작하였다. 전기화학적 기술은 초기 투자비가 저렴하고 운전 및 유지관리가 용이한 기술로 알려져 있다(Park 등, 2007). 전기화학적 반응에 의한 소독은 물에 직류를 통전시키면 전위차(0.7-2.7 V)가 발생하는데, 전위차에 의해 세포막이 파괴되는 직접 소독효과와 전극의 표면에서 발생하는 하이드록실 라디칼( $\cdot\text{OH}$ ), 하이드로퍼옥시칼( $\cdot\text{OOH}$ ) 등의 라디칼과 과산화수소 및 오존 등의 산소계 산화제와 전해질로 첨가하는 NaCl에서 유래하는  $\text{ClO}_2$ 와 HOCl과 같은 염소계 산화제에 의해 소독되는 간접 소독효과로 나눌 수 있다(Kim과 Park, 2009a; Park과 Kim, 2007b).

이와 같은 새로운 공정의 개발 외 개별 소독 공정을 조합할 경우 각 공정의 단점을 보완하여 시너지 효과가 발생하는 복합 소독 공정에 대한 연구가 진행되고 있다. 오존과 자외선 소독 공정을 단점을 보완하기 위하여 오존 및 과산화수소와 자외선이 반응하면 OH 라디칼이 생성되는 반응기작을 이용한  $\text{O}_3/\text{UV}$ ,  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$  공정 등이다(Oh 등, 2004; Rosenfeldt 등, 2006). 본 연구진은 전기분해 반응에서 발생하는  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ 를 이용하기 위해 전기분해 반응과 UV 공정을 결합한 경우 시너지 효과가 발생하여 염료인 Rhodamine B 분해와 *Escherichia coli* (*E. coli*) 소독 효율이 각각의 개별공정의 산술적인 제거율보다 높다는 것을 보고한 바 있다(Park, 2008; Kim과 Park, 2009b).

본 연구는 전기분해 공정과 UV 공정을 결합할 경우 소독에 미치는 효과를 고찰하고  $\cdot\text{OH}$  라디칼의 probe로 널리 알려진 4-carboxybenzaldehyde (4-CBA)의 분해(Rosenfeldt 등, 2006) 및 염소계 산화제와 산소계 산화제 생성에 미치는 영향 및 복합공정에서 전류와 전해질 변화에 따른 소독 효과와 산화제 생성 경향에

대해 고찰하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료 및 실험 방법

실험 균주는 *E. coli* (ACTC 15489)로 한국미생물 배양센터에서 분양받았다. 배지로는 nutrient broth (beef extract 3 g/L, peptone 5 g/L)를 사용하였고, 균의 배양은 300 mL의 삼각 플라스크에 접종한 후, 37°C로 유지되는 배양기에서 대수성장기를 유지하도록 48시간 동안 연속 배양하였다. 48시간이 경과한 후 원심분리기에서 10,000 rpm에서 15분간 원심 분리시켜 3회 이상 세척한 다음 균 stock을 확보하였다. 실험에 사용한 전극은 메시형 전극으로 Pt, Ru 및 Ir 전극을 사용하였으며 전극의 크기는 63 mm x 110 mm이었다. 전기분해 단일반응은 직류 전원공급기의 전류를 조절하여 20 W, UV 단일공정은 10 W UV-C 램프(Lighttech, G12T5L)를 사용하여 20 W로 조절하여 실험하였고, 전기+UV 복합공정은 각각 10 W로 구성하여 10(전기) + 10(UV) W에서 실험하였다. 반응기는 아크릴로 제작하였으며, 반응 부피는 1 L이고, 전해질로 NaCl과  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 를 사용하여 실험하였다. Fig. 1에 전기+UV 공정의 복합공정 반응기에 대하여 나타내었다.

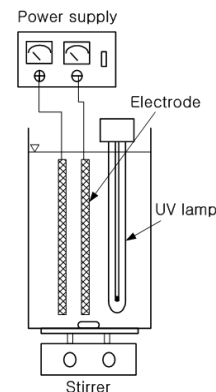


Fig. 1. Schematic diagram of UV+electrolysis process.

### 2.2. 분석 및 측정

소독 실험은 균 stock 용액 1 mL를 1 L의 반응기에 넣고  $10^6$  CFU/L로 농도를 조절한 다음, 소독 실험을 수행하여 시료 1 mL를 채취하였다. 균의 접종은 pour

plate method에 의해 무균실에서 이루어졌다. 시료 채취 후에는 수중에 잔존하는 산화제에 의해 계속적인 소독이 진행되는 것을 막기 위해 중화제 (neutralizer, 14.6% sodium thiosulphate와 10% sodium thioglycolate) 10 µL를 투입하여 연속적으로 희석하여 nutrient agar에 투입한 다음 37°C로 유지되는 BOD 배양기에서 48 시간동안 배양한 뒤 형성된 집락을 colony counter를 이용하여 계수하였다. 실험은 5회 실시하고 평균값과 표준편차를 그림에 나타내었다.

반감기가 매우 짧은 OH 라디칼은 직접 농도를 측정하기 어려워 간접적으로 측정하는 방법을 사용하며, OH 라디칼과 선택적으로 반응한다고 알려진 4-CBA의 분해를 통하여 간접적으로 확인한다. 4-CBA 용액은 1 L의 acetone에 10 g의 4-CBA를 녹인 stock 용액을 100 mmol/L의 phosphate buffer와 혼합하여 제조하였다. 4.8 mL의 phosphate buffer, 0.48 mL의 4-CBA stock 용액, 777.6 mg Na<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>를 초순수에 혼합하여 4.8 L가 되게 하였다. Phosphate buffer와 4-CBA의 최종 농도는 0.1 mmol/L와 1 mg/L가 되게 하였다. 4-CBA는 UV-VIS detector와 ODS column을 가진 HPLC (Shimadzu LC-10AD)를 이용하여 측정하였다. 이때 주입 시료는 200 µL이고, carrier는 acetonitrile (70%)와 0.1% phosphoric acid (30%)로서 1 mL/min의 유량으로 흘리고, 234 nm의 UV detection에서 분석하였다.

HOCl 및 이산화염소는 HACH pocket colorimeter와 측정용 시약을 사용하여 DPD방법(N, N-diethyl-p-phenylenediamine)으로 측정하고, 오존 농도는 Indigo법을 이용하여 측정하였다. 과산화수소의 측정은 1 M NaOH 50 µL를 첨가하여 phenol red를 알칼리 용액으로 발색시켜 UV-Vis spectrophotometer (Genesis 5, Spectronic)를 사용하여 596 nm에서 흡광도를 측정하고, 과산화수소 표준용액으로 작성한 검량선과 비교하여 농도를 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 단일공정과 복합공정의 성능 평가

##### 3.1.1. E. coli 소독

Fig. 2에 전력이 20 W로 일정한 조건에서 전기분해

단일공정(a)과 UV 단일공정(b) 및 전기분해와 UV 공정을 각각 10 W로 유지하여 총 전력이 20 W인 전기+UV 복합공정에서 전극의 종류에 따른 E. coli 집락수 변화를 나타내었다. Fig. 2(a)에서 보듯이 전기분해 단일공정에서 전극의 종류에 따른 E. coli 집락수는 Ru > Ir > Pt 전극의 순서로 나타났다. 이는 전기분해 반응을 이용한 염료 분해에서의 전극 성능과 같은 것으로 나타났다(Kim과 Park, 2007b). 전력이 20 W

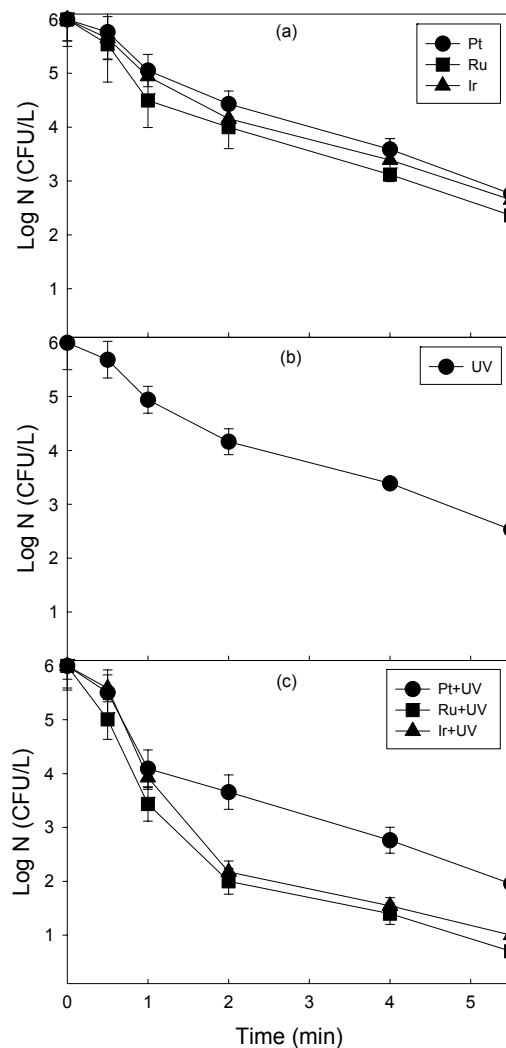


Fig. 2. Effect of process and electrode type on the disinfection of E. coli.:(a) UV (b) Electrolysis (c) UV+electrolysis process.

인 전기분해 반응에서 5분 30초의 소독시간에서  $10^6$  CFU/L가  $10^2$  CFU/L까지 감소하였으나 그 이상의 소독 효과를 보기 위해서는 소독시간을 늘리거나 전력을 높일 필요성이 있는 것으로 사료되었다. UV 단일 공정도 5분 30초의 소독시간에서 Ru 전극과 Ir 전극의 소독 성능의 중간에 해당하는 잔류 *E. coli* 집락수를 나타내어 UV 단일공정의 소독 효과도 전기분해 단일공정과 성능이 유사한 것으로 나타났다. Fig. 2(c)는 전기분해 공정과 UV 공정 10 W씩을 결합한 복합공정에서의 *E. coli* 집락수 변화를 나타내었다. 전극 종류에 따른 소독 경향은 전기분해 단일공정과 같은 효과를 나타내었다. Pt 전극+UV 공정의 결합공정에서의 *E. coli* 집락수는 다른 전극을 이용한 결합공정보다 집락수가 높은 것으로 나타났다. 복합공정과 각 단일공정의 소독능을 비교해 보았을 때 Ru 전극을 이용한 전기분해+UV 공정의 잔류 *E. coli* 집락수는 5분 30초의 소독시간에서 5 CFU/L로 나타나 단일공정보다 낮은 것으로 나타나 공정의 결합으로 인한 시너지 효과가 나타났다.

### 3.1.2. 4-CBA 분해

Fig. 3에 전기분해 단일공정 (a), UV 단일공정 (b) 및 전기+UV 복합공정 (c)에서의 4-CBA 분해를 나타내었다. OH 라디칼과 선택 반응하는 4-CBA 분해농도가 높을수록 OH 라디칼이 많이 생성되는 것을 의미한다. Fig. 3 (a)에서 보듯이 전기분해 단일공정에서의 4-CBA 분해농도는 소독 경향과 같은 Ru > Ir > Pt 전극의 순서로 나타났으나 4-CBA 분해율이 가장 높은 Ru 전극의 경우도 불과 8.9% 밖에 제거되지 않아 전기분해 단일반응에서의 OH 라디칼 생성량은 적은 것으로 사료되었다. UV 단일공정의 경우 1.6%밖에 제거되지 않은 것으로 나타났는데 오차를 생각한다면 거의 제거되지 않은 것으로 생각할 수 있어 UV 공정에서는 OH 라디칼이 생성되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 반면 전기+UV 복합공정의 경우 Fig. 3(c)에 나타난 바와 같이 Pt 전극을 이용한 경우에도 51.0%의 제거율을 나타내었으며, Ru 전극의 경우 74.1%의 제거율을 나타내어 공정의 결합으로 인한 OH 라디칼 생성량이 산술적인 OH 라디칼 생성량보다 높아 시너지 효과가 분명하게 나타나 것으로 사료되었다. 공정

의 결합으로 인한 OH 라디칼 발생량 증가는 UV 램프에서 발생하는 자외선과 전기분해 반응에서 생성된  $O_3$ ,  $H_2O_2$ 가 결합할 때 식 (1)과 (2)와 같이 부수적인 OH 라디칼이 생성된다.

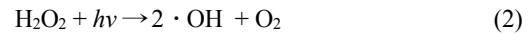
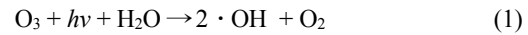


Fig. 3의 결과에서 보듯이 단일공정에서 직접 생성되는 OH 라디칼 생성농도보다 공정의 결합으로 인한

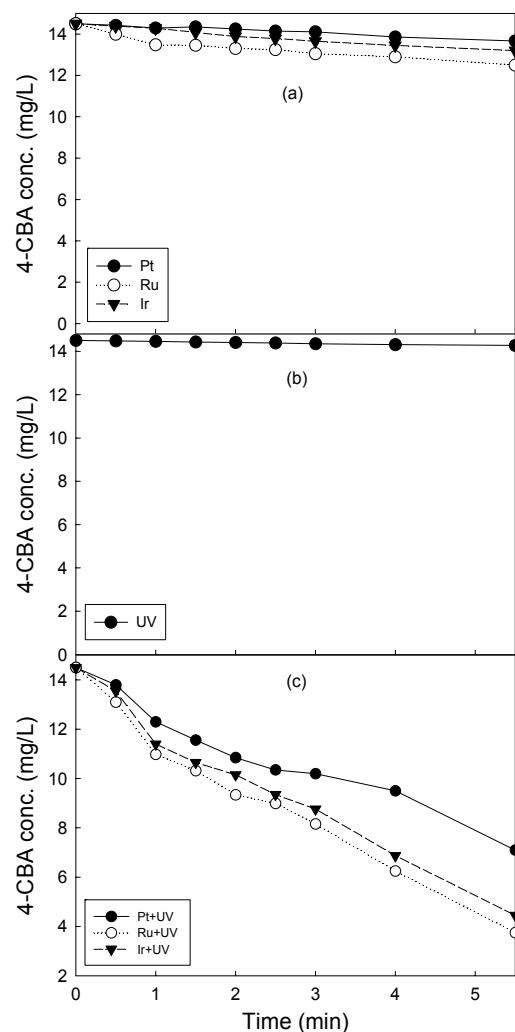


Fig. 3. Comparison electrolysis, UV and UV+electrolysis process on the 4-CBA degradation: (a) electrolysis, (b) UV process, (c) UV+electrolysis.

부수적인 OH 라디칼 생성농도가 더 높은 것으로 나타났고, 복합공정에서의 높아진 OH 라디칼 농도가 소독 성능을 높이는 것으로 사료되었다(Kim과 Park, 2007a). Fig. 2 (c)의 복합공정에서 전극의 종류에 따른 소독 경향과 Fig. 3 (c)의 4-CBA 분해 경향이 유사하게 나타났는데, 소독 효과의 증가와 직접적인 관련이 있는 것으로 사료되었다. 복합공정(AB)의 유기물 제거율이 단일공정의 제거율 합보다 클 경우(즉,  $AB > A + B$ ) 시너지 효과가 나타난다고 알려져 있다(Park, 2008; Matos 등., 1999). Fig. 3 (a)와 (b)에서 보듯이 단일공정에서의 4-CBA 제거농도보다 복합공정에서의 4-CBA 분해가 훨씬 높아 공정의 결합으로 인한 시너지 효과가 나타나는 것이 확인되었다.

3.1.3. 생성 산화제 농도의 변화

3.1.2. 절에서 전기분해 단일공정과 UV 단일공정의 결합은 OH 라디칼 생성 농도를 높여 소독 성능을 증가시키는 역할을 하는 것으로 밝혀졌다. 두 단일공정의 결합이 OH 라디칼 생성에는 긍정적인 역할을 하지만 전기분해 반응에서 생성되는 산화제 농도가 변화가 있는지 고찰하기 위하여 전기분해 단일공정과

복합공정에서의 염소계 산화제인  $ClO_2$ 와  $HOCl$  및 산소계 산화제인  $O_3$ ,  $H_2O_2$  농도변화를 Fig. 4에 나타내었다.

그림에서 보듯이 전기분해 단일공정에서 발생하는 산화제는 UV 공정과 결합시 생성되는 농도가 모두 감소하는 것으로 나타났다 식 (1)과 (2)에서처럼 UV 광과 반응하여 OH 라디칼을 생성시키는데 소모되는  $O_3$ ,  $H_2O_2$ 는 물론 OH 라디칼 생성과는 관계없는 염소계 산화제인  $ClO_2$ 와  $HOCl$  농도가 감소하는 것은 특이한 현상으로 사료되었다(Muguganandham과 Swaminathan, 2004). 공정 결합시의 염소계 산화제의 농도감소는 향후 연구해야할 과제인 것으로 사료되었다.

3.2. 생성 산화제 변화 고찰

Fig. 4에서 전기분해 단일공정과 UV 단일공정의 결합시 전기분해 단일공정에서 발생하는 산소계 산화제와 염소계 산화제의 농도가 모두 감소하는 것으로 나타나 이의 명확한 확인을 위해 10 W로 운전되는 전기분해 단독공정에서 6분간 운전하여 산화제를 생성시킨 후 전기분해 반응은 계속 유지하면서 10 W UV 램프를 6분간 점등한 후 소등하여 두 공정이 결합할

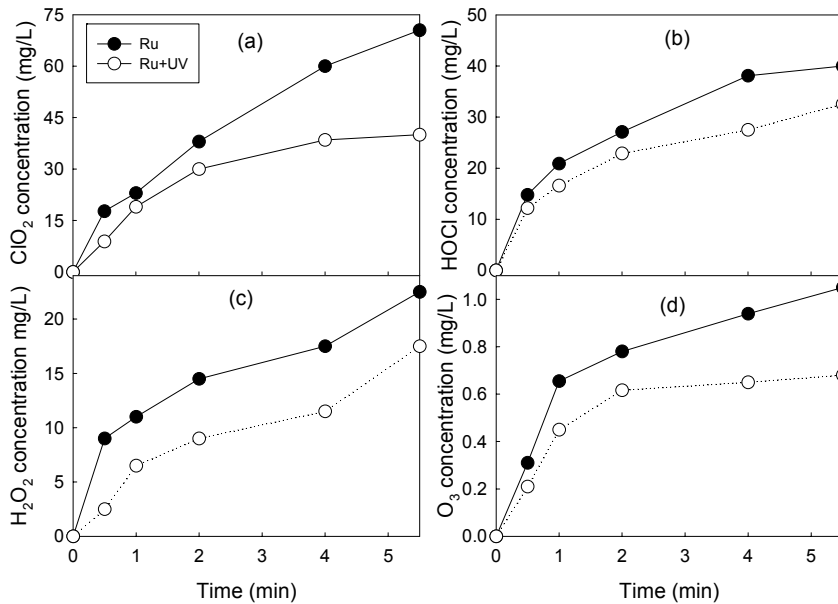


Fig. 4. Comparison electrolysis and UV+electrolysis process on the oxidants generation:(a)  $ClO_2$ , (b)  $HOCl$ , (c)  $H_2O_2$ , (d)  $O_3$ .

경우 염소계 산화제와 산소계 산화제의 생성농도 변화에 미치는 영향을 고찰하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4에서 관찰된 전기분해 단일공정과 UV 단일공정의 결합으로 인한 염소계 산화제와 산소계 산화제의 농도 감소가 Fig. 5에서 명확하게 나타났다.

$\text{ClO}_2$ 의 경우 UV 램프 조사 전 70 mg/L에 이르는  $\text{ClO}_2$  농도가 조사 6분 만에 11.2 mg/L까지 감소하였으며, UV 램프를 소등한 후 전기분해 반응을 지속시켰을 때 4분 만에 38.5 mg/L까지 증가하였다. 염소계 산화제 중  $\text{HOCl}$ 은 초기 3.27 mg/L에서 UV 램프 조사 6분에 18.9 mg/L로 감소한 후 UV 램프 소등시 26.8 mg/L까지 증가하는 경향을 보였는데,  $\text{ClO}_2$  보다 UV 램프로 인한 농도 감소 효과는 적은 것으로 나타났다.  $\text{H}_2\text{O}_2$ 의 경우 농도 변화폭은  $\text{ClO}_2$ 와 유사하게 나타났고,  $\text{O}_3$ 의 경우  $\text{HOCl}$ 과 경향이 유사한 것으로 나타났다. 산소계와 염소계 산화제 모두 초기농도가 높은  $\text{ClO}_2$ 와  $\text{H}_2\text{O}_2$ 의 농도 변화 폭이 높은 것으로 나타났다. 모든 산화제는 UV 램프를 6분간 운전 후 소등한 후 전기분해 반응을 지속시켰을 때 염소계 산화제와 산소계 산화제 모두 생성농도가 증가하는 것으로 나타났으며, 공정의 결합으로 인한 산화제 농도 감

소는 공정이 결합하는 순간에만 지속되는 것을 의미하며, 잔류성이 없다는 것을 의미한다. 두 공정의 결합으로 인한 염소계 산화제의 농도 감소효과는 정확한 메커니즘은 아직까지 확인할 수 없었다.

### 3.3. 전해질 변화에 따른 소독 성능과 산화제 변화

전기전도도를 같게 유지하여 전기전도도의 영향을 배제한 뒤 Fig. 6에 염소계 산화제를 생성시키는  $\text{NaCl}$ 과 염소계 산화제가 발생되지 않는 황산계 전해질인  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 를 사용하여 전해질 종류에 따른 *E. coli* 소독 경향을 나타내었다.  $\text{NaCl}$ 의 경우 5분 30초의 시간이 경과하였을 때 잔류 *E. coli* 집락수는 5 CFU/L로 나타났으나  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 는 595 CFU/L로 나타나 소독 효과가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 전기분해 공정에서의 유기물 분해에서  $\text{NaCl}$ 을 사용한 경우의 분해율이 높은 결과와 소독의 경우도 같은 경향을 나타내었다 (Kim과 Park, 2007a). 이는 전기전도도가 차이가 없어 전위차에 의해 발생하는 직접 소독효과는 두 전해질을 이용한 반응에서 차이가 없지만  $\text{NaCl}$  이용시 상대적으로 다량으로 존재하는 염소계 산화제가  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 의 경우 생성되지 않기 때문에 염소계 산화제

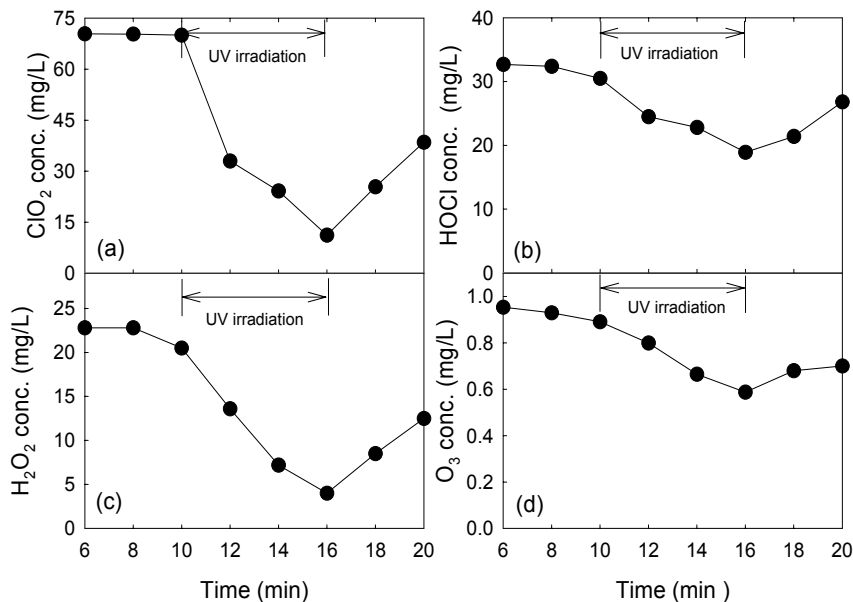


Fig. 5. Variation of generated oxidants with combination of pre-electrolysis and post-UV process: (a)  $\text{ClO}_2$ , (b)  $\text{HOCl}$ , (c)  $\text{H}_2\text{O}_2$ , (d)  $\text{O}_3$ .

에 의한 간접 소독효과가 적은 것이 한 원인으로 사료되었다(Kim과 Park, 2009b). 전해질 종류가 OH 라디칼 생성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 따른 4-CBA 분해 경향을 Fig. 7에 나타내었다. NaCl의 경우 초기농도가 14.5 mg/L에서 3.75 mg/L까지 분해되어 74.1%의 제거율을 나타내었으나 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 경우 11.5 mg/L로 20.7%의 제거율을 나타내어 50% 이상의 제거율이 감소되었다. Fig. 7에서 보듯이 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 사용은 염소계 산화제가 생성되지 않을 뿐만 아니라 OH 라디칼의 생성량도 크게 줄여 소독 효과를 감소시키는 것으로 사료되었다. 전해질 종류가 산소계 산화제의 생성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 생성 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>농도를 Fig. 8에 나타내었다. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>는 염소 성분이 없어 염소계 산화제는 생성되지 않기 때문에 측정하지 않았다. Fig. 8을 보면 전해질이 NaCl인 경우와 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 경우 생성되는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>농도가 상당한 차이를 보이고 있다. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 경우 5.5분에서 NaCl은 17.5 mg/L가 생성되지만 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>는 4.5 mg/L가 생성되어 NaCl에 비해 약 26%만 생성되고, O<sub>3</sub>는 각각 0.68 mg/L와 0.1 mg/L로 15%에 지나지 않았다. Fig. 7과 8을 종합해보면 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 경우 염소계 산화제는 존재하지 않고 산소계 산화제 농도가 낮아, 자외선과 반응하여 발생하는 OH 라디칼 발생량도 적어 전극에서 발생하는 산화제에 의한 간접 산화에 해당하는 부분이 NaCl을 사용하였을 경우보다 적기 때문에 소독은 주로 전극 표면에서 전위차에 의한 직접 산화에 의한 소독효과가 높고 간접 산화 효과는 적은 것으로 사료되었다.

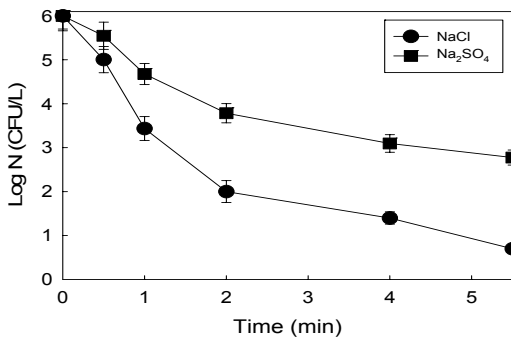


Fig. 6. Effect of electrolyte on the disinfection of *E. coli* in UV+electrolysis.

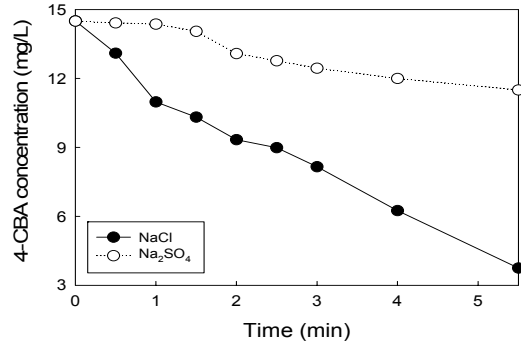


Fig. 7. Effect of electrolyte on the 4-CBA degradation in UV+electrolysis.

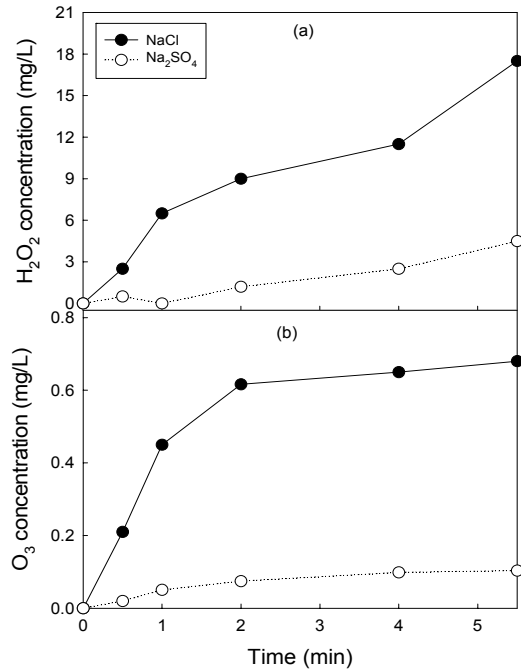


Fig. 8. Comparison NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on the oxidants generation:(a) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, (b) O<sub>3</sub>.

#### 4. 결론

본 연구는 전기분해, UV 단일공정과 두 공정을 결합한 경우의 *E. coli* 소독능을 비교하고 OH 라디칼 생성지표인 4-CBA 분해와 전기분해 반응에서 발생하는 산화제의 변화 양상에 따른 시너지 효과와 전해질이 소독능과 산화제에 미치는 영향을 고찰하여 다음

의 결과를 얻었다.

1) 전기분해 단일공정에서 전극의 종류에 따른 소독 효과는 Ru > Ir > Pt 전극의 순으로 나타났고 UV 단일공정의 소독효과는 전기분해 단일공정과 유사한 것으로 나타났다. 전기분해+UV 공정을 결합할 때 소독 성능이 증가하는 것으로 나타나 공정의 결합으로 인한 시너지효과가 존재하는 것으로 나타났다. 단일 공정에서 4-CBA 농도 감소는 적었으나 복합공정에서 증가하는 경향을 나타내어 OH 라디칼 생성량이 공정의 복합에 따라 증가하는 것으로 사료되었다.

2) 전기분해 단독 공정에서 운전하여 산화제를 생성시킨 후 10 W UV 램프를 점등하여 전기분해 반응과 UV 반응이 결합할 경우 생성 산화제 농도가 감소되고 UV 램프 소등시 다시 생성량이 증가하는 것으로 나타났다.

3) Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 경우 염소계 산화제는 존재하지 않고 산소계 산화제 농도가 낮아, 자외선과 반응하여 발생하는 ·OH 라디칼 발생량도 적어 전극에서 발생하는 산화제에 의한 간접 산화에 해당하는 부분이 NaCl을 사용하였을 경우보다 적기 때문에 산화제의 의한 간접 산화효과는 적고 전극 표면에서 전위차에 의한 직접 산화에 의한 소독효과가 높은 것으로 사료되었다.

### 감사의 글

이 연구는 2011년도 대구가톨릭대학교의 교내 연구비 지원에 의한 것입니다.

### 참고 문헌

- Betancourt, W. Q., Rose, J. B., 2004, Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*, *Veterinary Parasitology*, 26, 219-234.
- Karl, G. U., Jeannie, L. D., 1994, Ultraviolet disinfection of wastewater: effect of dose on subsequent photoreactivation, *Water Research*, 28(4), 805-817.
- Kim, D. S., Park, Y. S., 2007a, Decolorization of Rhodamine B by Fenton, Fonton-Like and Photo-Fenton-Like Oxidation, *Journal of Environmental Health Sciences*, 33(2), 150-157.
- Kim, D. S., Park, Y. S., 2009a, Effect of operating parameters on electrochemical degradation of Rhodamine B by three-dimensional electrode, *Journal of Environmental Health Sciences*, 35(4), 295-303.
- Kim, D. S., Park, Y. S., 2007b, Electrochemical decolorization of a Rhodamine B using dimensionally stable anode, *Journal of the Korean Society of Water Quality*, 23(3), 377-384.
- Kim, D. S., Park, Y. S., 2009b, Inactivation of *E. coli* by electrolysis+UV process, *Journal of the Korean Society of Water Quality*, 25(5), 667-693.
- Kim, Y. H., Lee, C. H., Lee, S. H., 2007, Inactivation effect of *Cryptosporidium* by ozone and UV, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 29(1), 31-39.
- Matos, J., Laine, J., Herrmann, J. M., 1999, Association of activated carbons of different origins with titania in the photocatalytic purification of water, *Carbon*, 37, 1870-1872.
- Muguganandham, M., Swaminathan, M., 2004, Solar photocatalytic degradation of a reactive azo dye in TiO<sub>2</sub>-suspension, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 81, 439-457.
- Oh, B. S., Kang, M. G., Oh, H. J., Kang, J. W., 2004, Production property of hydrogen formed from ozone photolysis and optimization of ozone/UV process, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 26(5), 573-578.
- Park, Y. S., Kim, D. S., 2007, Inactivation of *Legionella* by electrochemical disinfection, *Journal of Korean Society on Water Quality*, 23(5), 613-619.
- Park, Y. S., Jeong, N. S., and Kim, D. S., A study on *Escherichia coli* disinfection by the electrochemical method for small sewerage system, *Journal of the Environmental Sciences*, 16(4), 441-447, 2007.
- Park, Y. S., 2008, Removal of Rhodamine B in water by ultraviolet radiation combined with electrolysis ( I ), *Journal of Environmental Health Sciences*, 34(6), 439-445.
- Rosenfeldt, E. J., Linden, K. G., Canonica, S., von Gunten, U., 2006, Comparison of the efficiency of ·OH radical formation during ozonation and the advances oxidation processes O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, *Water Research*, 40, 3695-3704.
- Yeom, C. M., Kim, D. K., Chung, K. Y., Yoo, Y. S., Cho, C. H., 2003, UV disinfection regulations for drinking water in foreign countries, *Journal of the Korean Society of Water Quality*, 17(6), 741-747.