

# RuO<sub>2</sub>를 양전극으로 사용한 무격막 전해셀에서의 이산화염소수 제조

권태옥 · 박보배 · 노현철 · 문일식<sup>†</sup>

국립순천대학교 공과대학 화학공학과  
(2009년 2월 16일 접수, 2009년 3월 25일 채택)

## Preparation of Chlorine Dioxide Aqueous Solution by Un-divided Electrochemical Cell using RuO<sub>2</sub> anode

Tae Ok Kwon, Bo Bae Park, Hyun Cheul Roh, and Il Shik Moon<sup>†</sup>

Department of Chemical Engineering, Sunchon National University, Cheonnam 540-742, Korea  
(Received February 16, 2009; accepted March 25, 2009)

RuO<sub>2</sub>/Ti를 양전극으로 사용한 무격막 전해셀(un-divided electrochemical cell) 시스템에서의 이산화염소수(ClO<sub>2</sub>) 제조 연구를 수행하였다. 이산화염소의 전구체로는 아염소산나트륨(NaClO<sub>2</sub>)이 사용되었으며, 무격막 전해셀에서 전구체 용액의 전해셀 주입유량, 전구체 용액 초기 pH, 아염소산나트륨과 전해질인 염화나트륨의 주입농도 그리고 전류밀도(current density)가 생성된 이산화염소수의 농도 및 pH에 미치는 영향을 조사하였다. 생성된 이산화염소수의 농도와 pH는 초기 전구체 용액의 pH와 전해셀 주입유량에 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 전해질로 사용된 염화나트륨은 전해질로서의 역할 뿐만 아니라 이산화염소의 전구체로도 작용함을 알 수 있었다. 이산화염소수 제조를 위한 무격막 전해셀에서의 전구체용액의 최적 주입유량은 90 mL/min, 전구체 용액의 초기 pH는 2.3, 아염소산나트륨 주입농도는 4.7 mM, 염화나트륨 주입농도는 100 mM 그리고 전류밀도는 5 A/dm<sup>2</sup>로 나타났으며, 이때 발생된 이산화염소수의 pH는 약 3, 이산화염소 농도는 약 350 mg/L이었다.

Generation of chlorine dioxide (ClO<sub>2</sub>) was studied by the un-divided electrochemical cell system using RuO<sub>2</sub> anode material. Sodium chlorite (NaClO<sub>2</sub>) was used as a precursor compound of chlorine dioxide. Effect of various operating parameters such as feed solution flow rate, initial solution pH, NaClO<sub>2</sub> and NaCl conc., and applied current density on the produced chlorine dioxide concentration and solution pH were investigated in un-divided electrochemical cell system. Produced chlorine dioxide concentration and solution pH were strongly depends on the initial solution pH and feed solution flow rate. Sodium chloride (NaCl) was not only good electrolyte, it was also used as a raw material of chlorine dioxide with NaClO<sub>2</sub>. Observed optimum conditions were flow rate of feed solution (90 mL/min), initial pH (2.3), NaClO<sub>2</sub> concentration (4.7 mM), NaCl concentration (100 mM), and current density (5 A/dm<sup>2</sup>). Produced chlorine dioxide concentration was around 350 mg/L and solution pH was around 3.

**Keywords:** un-divided cell, RuO<sub>2</sub>/Ti, chlorine dioxide, sodium chlorite, disinfectant

### 1. 서 론

이산화염소(chlorine dioxide; ClO<sub>2</sub>)는 염소(Cl<sub>2</sub>) 산화제보다 높은 산화력과 물에 대한 용해도로 인해 음료 제조공정, 식품가공 및 저장 공정의 살균, 하폐수 처리장의 유기물 및 악취 제거공정 등에 이르기까지 다양한 산업분야에 적용되고 있다[1-6]. 특히 수처리 공정에서 염소 소독에 의해 유발되는 트리할로메탄(trihalomethanes; THMs) 또는 할로아세트산(haloacetic acids; HAAs)과 같은 소독 부산물을 생성시키지 않을 뿐만 아니라 넓은 pH 범위에서 다양한 종류의 미생물 및 박테리아에 대한 광범위하고 높은 살균력을 가지고 있어, 염소의 대체 소독제로서 관심이 점차 증가되고 있다[2,7,8]. 이에 안전하면서도

경제적인 이산화염소의 제조방법에 관한 연구가 필요한 실정이다. 일반적으로 살균 소독공정에서 사용되고 있는 이산화염소수는 아염소산나트륨(NaClO<sub>2</sub>)과 염소(Cl<sub>2</sub>)의 가-액 반응, 강산(HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 이용한 산화 반응, 그리고 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 같은 환원제를 이용한 화학반응 등 주로 화학적 방법에 의해 제조되고 있다[9-11]. 그러나 최근 제조 공정의 편리성과 안전성 그리고 경제적 관점에서 기존 화학적 제조방법 대신 전기화학적 방법에 의한 이산화염소수의 제조 기술이 새롭게 주목을 끌고 있다[9,12,13]. 현재 개발 또는 상업화되고 있는 전기화학적 방법에 의한 이산화염소수 제조 공정은 주로 격막 전해셀(divided electrochemical cell)을 이용한 아염소산나트륨의 양극 산화 반응이 이용되고 있다. 격막 전해셀의 내부는 아염소산나트륨이 산화되는 양전극(anode)과 염화나트륨(NaCl)이 순환되는 음전극(cathode)으로 별도 구성되어 있으며, 양극과 음극은 다양한 형태의 이온

<sup>†</sup> 교신저자 (e-mail: ismoon@sunchon.ac.kr)

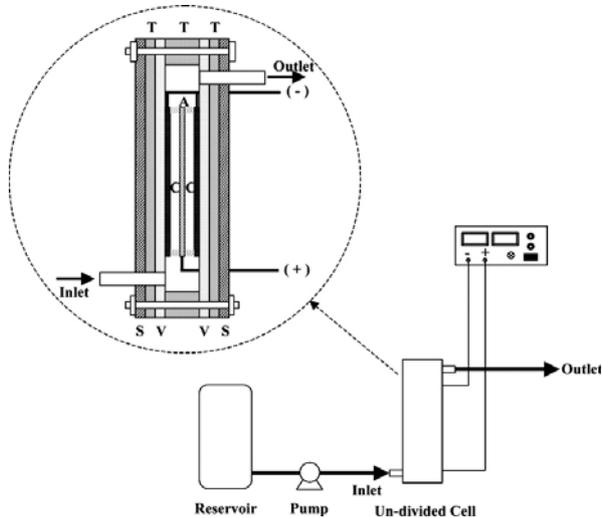


Figure 1. Schematic diagram of the experimental setup and details of un-divided electrochemical cell. (A) anode; (C) cathodes; (V) viton gaskets; (T) Teflon cell housing; (S) stainless steel plates.

교환 수지층(ion exchange resin) 또는 이온교환막(ion exchange membrane)으로 분리되어 있다. 이처럼 격막 전해셀 방식은 고가의 이온교환막을 사용하고 양극과 음극이 별도의 용액 순환장치에 의해 운전되는 복잡한 방식을 취하고 있어, 최근 전해셀 및 장치가 단순한 무격막 전해셀(un-divided electrochemical cell) 방식을 이용한 이산화염소수의 제조 방법이 다양한 측면에서 높은 관심을 끌고 있다.

본 연구에서는 일반적으로 할로겐화(halogenation) 반응에 유리하다고 알려져 있는 RuO<sub>2</sub>[13,14]를 양전극으로 하고, Pt를 음전극으로 사용하여 기존 격막 전기분해 반응과 달리 이온교환막을 사용하지 않는 무격막 전기분해 반응에 의한 이산화염소수의 제조에 관한 연구를 수행하였으며, 무격막 전해셀 반응을 이용한 이산화염소수의 제조반응에서 최적 이산화염소수 제조 조건을 도출하기 위한 아염소산나트륨 전구체 용액의 전해셀 주입유량, 전구체 용액의 초기 pH, 가해진 전류 밀도(current density), 전구체 용액 중 아염소산나트륨 및 염화나트륨의 농도와 같은 다양한 무격막 전해셀 공정 파라미터가 이산화염소수 발생 농도 및 pH에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 재료 및 장치

이산화염소의 전구체와 전해질로 사용된 아염소산나트륨(Junsei chemical co. Ltd., Japan)과 염화나트륨(Duksan pure chemicals co. Ltd., Korea)은 각각 특급 시약을 구입하여 사용하였으며, 아염소산나트륨 용액은 18.3 MΩ-cm의 순수(Human Power III+, Human corporation co. Ltd. Korea)를 이용하여 실험 농도에 맞게 제조한 후 갈색병(brown bottle)에 보관하였다. 전구체 용액의 pH는 5 M의 황산(95%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, DC chemical co. Ltd. Korea) 용액을 이용하여 실험범위에 맞게 조절하였으며, 무격막 전해셀을 이용한 이산화염소수 제조 실험은 19 ± 0.5 °C의 흡 후드(fume hood) 내에서 수행되었다.

이산화염소 발생용 무격막 전해셀(60 × 100 mm)에 사용된 전극은 망상형(mesh) 전극을 사용하였으며, 양전극으로는 1개의 RuO<sub>2</sub>/Ti, 음전극으로는 2개의 Pt/Ti를 사용하였다. 실험에 사용된 RuO<sub>2</sub>/Ti와 Pt/Ti

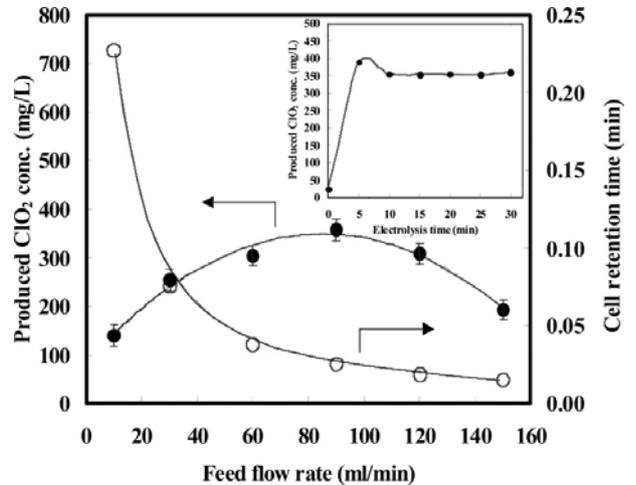


Figure 2. Dependence of ClO<sub>2</sub> concentration and cell retention time on feed solution flow rate. Inset: Produced ClO<sub>2</sub> concentration versus electrolysis time.

전극은 옥영전해시스템(주)(WESCO co. Ltd., Korea)에서 구입하였으며, 공극률을 고려한 유효 전극 면적은 0.12 dm<sup>2</sup> 그리고 전극 간격은 1 mm로 테플론(teflone) 재질의 스페이서(spacer)를 이용하여 조절하였다. 무격막 전해셀에 공급된 전류는 한국 스위칭(Korea switching co. Ltd., Korea)의 가변형 전원 공급 장치(15 V, 100 A, switching power supply)를 이용하여 일정하게 공급하였다. Figure 1에 실험에 사용된 무격막 전해셀을 이용한 이산화염소수 제조 장치를 나타내었다.

### 2.2. 이산화염소수 농도측정

무격막 전해셀 반응에 의해 생성된 이산화염소수의 농도는 U.S. EPA DPD Method를 기반으로 한 UV spectrophotometric (DR 2500, HACH co. Ltd. Loveland, U.S.A.) 방법으로 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 전해셀 유입 유량에 따른 영향

RuO<sub>2</sub>/Ti를 양전극으로 사용한 무격막 전해셀 반응에서 전구체 용액의 주입유량이 이산화염소수의 발생농도에 미치는 영향을 알아보기 위해 전구체 용액의 초기 pH를 2.3, 아염소산나트륨 농도 47 mM, 염화나트륨 농도 100 mM, 공급 전류밀도 5 A/dm<sup>2</sup>의 조건하에서 전구체 용액의 전해셀 주입 유량을 10 mL/min ~ 150 mL/min까지 증가시켜가며 전구체 용액의 전해셀 주입유량에 따른 전해셀 내부 용액의 체류 시간과 이산화염소수의 농도변화를 Figure 2에, 전구체 용액의 전해셀 체류시간에 따른 발생된 이산화염소수의 pH를 Figure 3에 각각 나타내었다. Figure 2에 보인바와 같이 모든 전구체 유량 변화 조건에서 전기분해 반응 개시 후 약 10 min 이후부터 발생하는 이산화염소의 농도는 일정하게 나타났다. 이에 본 연구에서의 모든 이산화염소수 농도는 전기분해 반응 개시 후 20 min에서의 농도를 취하였으며, 4회 반복하여 평균값을 사용하였다. 전구체 용액의 전해셀 주입유량이 10 mL/min에서 90 mL/min까지 증가함에 따라 발생하는 이산화염소수의 농도도 점차 증가하여 90 mL/min에서 최대 농도를 보인 후 전구체 용액 주입유량이 90 mL/min 보다 증가하면서 발생하는 이산화염소수의 농도는 다시 감소하는 결과를 얻었다. 그리고 Figure 3에 보인바와 같

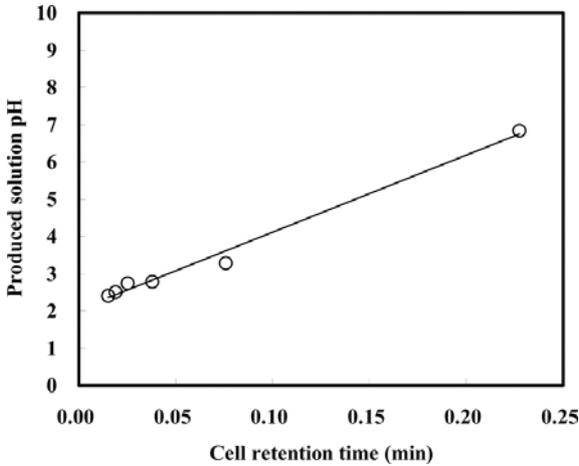
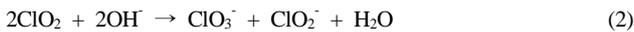
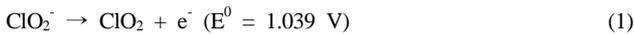


Figure 3. Produced solution pH versus cell retention time.

이 전구체 용액의 전해셀 체류시간에 따른 생성된 이산화염소수의 pH는 전구체 용액의 전해셀 내부 체류시간이 증가함에 따라 제조된 이산화염소수의 pH도 2.3에서 6.8까지 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 Figure 2의 결과에서 낮은 전구체 주입 유량(10 mL/min)에서는 상대적으로 무격막 전해셀 내부에서 긴 체류시간(0.23 min)으로 인해 양극 영역에서 아래 반응식 (1)과 같은 산화반응에 의해 생성된 이산화염소가 반응식 (2)와 같이 용액중의 수산화이온(hydroxyl ion, OH<sup>-</sup>)에 의해 바로 아염소산 이온(chlorite ion, ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>) 또는 염소산 이온(chlorate ion, ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>)로 전환됨으로써 용액중 이산화염소수의 농도가 낮아진 것으로 판단된다[12,13,15].



그러나 90 mL/min 이상의 빠른 유속에서는 상대적으로 너무 짧은 체류시간(0.015 min)으로 인해 전구체 용액과 전극과의 충분한 접촉 시간을 확보하지 못함으로써 발생하는 이산화염소의 농도도 감소된 것으로 판단된다. 주어진 무격막 전해셀 반응 조건에서의 최적 전구체 주입유량은 90 mL/min, 이때 발생된 이산화염소수 평균 농도는 350(± 14.06) mg/L로 나타났다.

### 3.2. 전구체 용액 초기 pH에 따른 영향

일반적으로 용액 중 이산화염소의 농도는 낮은 pH에서는 비교적 안정적이거나 용액의 pH가 증가할수록 반응식 (2)에 의해 생성된 이산화염소가 아염소산 이온 또는 염소산 이온 등으로 급격히 전환된다고 알려져 있다. 특히 Lee 등[17]의 연구에 의하면 pH 10 이상에서는 이산화염소가 아염소산 이온과 염소산 이온으로 급격히 환원되었다고 보고한 바 있어, 본 연구에서는 높은 pH에서의 이산화염소 환원현상을 억제하고 최적 이산화염소수 발생 조건을 확보하기 위해 pH 10 이하의 조건에서 전구체 용액의 초기 pH가 무격막 전해셀 반응에서 이산화염소의 발생농도와 생성된 이산화염소수의 pH에 미치는 영향을 조사하였다. 전구체 용액의 전해셀 주입유량을 90 mL/min, 아염소산 나트륨의 농도를 4.7 mM, 염화나트륨 농도는 100 mM, 공급된 전해셀 전류밀도를 5 A/dm<sup>2</sup>로 하여 아염소산나트륨 전구체 용액의 초기 pH가 2.3~9.4까지 증가하면서 발생하는 이산화염소수의 농도와 생성된 용액의 pH 변화를 측정하였다. Figure 4에 보인 결과와 같이 발

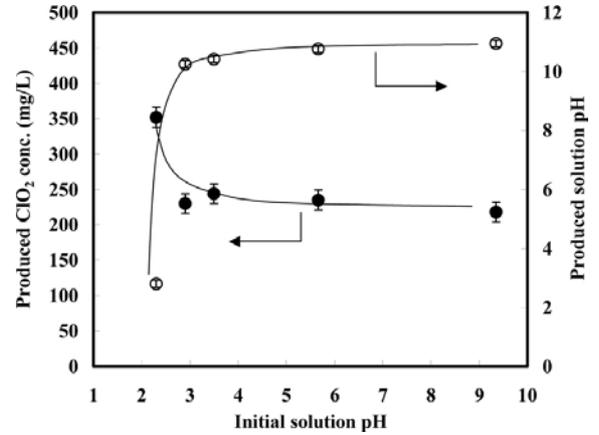


Figure 4. Produced ClO<sub>2</sub> concentration and solution pH versus initial feed solution pH.

생되는 이산화염소의 농도는 아염소산나트륨 전구체 용액의 pH가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났으며, 초기 전구체 용액의 pH가 2.3 일 때 발생된 이산화염소수의 pH는 약 2.7(±0.03)로 비교적 큰 변화가 없었으나, 전구체 용액의 초기 pH가 2.9 이상에서는 발생하는 이산화염소수의 pH도 10.2(±0.11)~10.9(±0.02) 범위로 초기 pH 2.9에 비해 급격히 증가한 것을 볼 수 있다. 또한 발생하는 이산화염소수의 농도 역시 초기 전구체 용액 pH가 2.3일 때는 약 350(±6.44) mg/L로 높게 나타났으나, 초기 용액의 pH가 2.9 이상으로 증가함에 따라 발생하는 이산화염소수의 농도도 220(±3.44)~230(±4.22) mg/L로 초기 pH 2.3에 비해 약 100 mg/L 이상 급격히 감소함을 알 수 있었다. 이는 Bergmann 등[13,15,16]의 연구결과에서 설명한 것과 같이 반응식 (2)에서 보인 알칼리 영역에서 이산화염소의 아염소산 또는 아염소산 이온으로의 전환반응 때문으로 추정된다.

### 3.3. 아염소산나트륨 농도에 따른 영향

반응식 (1)에서 보인바와 같이 아염소산나트륨은 이산화염소의 전구체 물질로 작용한다. 이에 아염소산나트륨 농도에 따른 무격막 전해셀 반응에서의 이산화염소 발생 농도와 생산된 이산화염소수의 pH 변화를 Figure 5에 나타내었다. 실험조건은 전구체 용액의 전해셀 주입유량은 90 mL/min, 전구체 용액 초기 pH는 2.3, 전해질인 염화나트륨 농도는 100 mM, 공급된 전류밀도는 5 A/dm<sup>2</sup>의 조건하에서 전구체 용액 중 아염소산나트륨의 농도를 1.6 mM에서 7.7 mM 까지 달리하여 실험을 수행하였다. 전구체 용액 중 아염소산나트륨의 농도가 1.6 mM에서 4.7 mM까지 증가시 발생하는 이산화염소수의 농도도 최초 84(±2.17) mg/L에서 약 350(±14.06) mg/L로 증가하였으나, 주입된 아염소산나트륨의 농도가 4.7 mM 이상일 경우 오히려 발생하는 이산화염소의 농도가 감소하는 경향을 보였다. 그러나 전체 실험조건에서 생성된 이산화염소수의 pH는 약 2.3(±0.01)~2.7(±0.03)의 범위로 아염소산나트륨의 주입농도에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이산화염소의 전구체 물질인 아염소산나트륨의 농도가 증가하였음에도 불구하고 일정 농도 이상에서 오히려 이산화염소의 생성 농도가 감소한 원인은 아염소산 이온이 다음 반응식 (3)에 의해 이산화염소로 전환이 되지만, Deshwal 등[9,17]의 연구에서와 같이 낮은 pH에서 반응식 (4)와 용액 중 차아염소산(hypochlorite, HOCl)이 존재시 반응식 (5)와 같이 생성된 이산화염소의 일부가 염소산 이온으로도 전환되기 때문으로 추정되며, 용액 중 염소산 이온과 이산화염소의 생성비

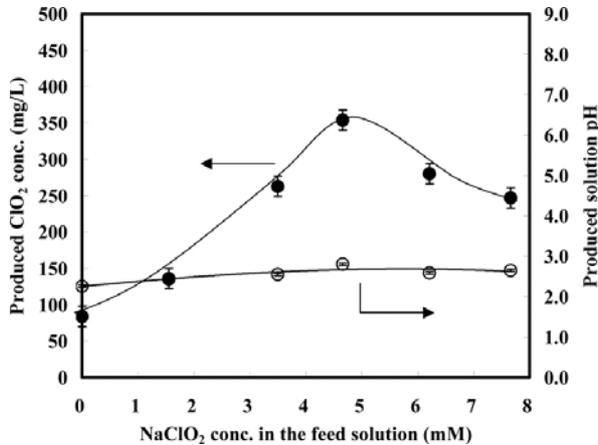
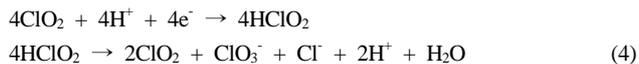
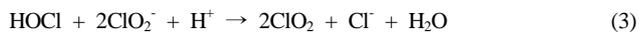


Figure 5. Effect of NaClO<sub>2</sub> concentration on the produced ClO<sub>2</sub> concentration and solution pH.

는 용액의 pH, 염소이온(Chloride ion, Cl<sup>-</sup>)의 존재 또는 차아염소산의 비율 등 다양한 변수에 영향을 받는다고 보고된 바 있다.



### 3.4. 염화나트륨 전해질 농도에 따른 영향

아염소산나트륨의 무격막 전해셀 반응에 의한 이산화염소의 생성 반응에서 전해질로 사용된 염화나트륨의 주입농도에 따른 이산화염소수의 발생 농도와 전해셀에 부가되는 전압변화를 Figure 6에 나타내었다. 실험은 초기 전구체 용액의 pH를 2.3, 전구체 용액의 전해셀 주입유량을 90 mL/min, 아염소산나트륨 농도는 4.7 mM, 공급된 전류밀도 5 A/dm<sup>2</sup>에서 전해질인 염화나트륨의 농도를 34 mM에서 170 mM까지 증가시켜가며 실험을 수행하였다. 전구체 용액 중 염화나트륨의 농도가 34 mM일 때 발생한 이산화염소수의 농도는 약 210 (±2.89) mg/L, 염화나트륨의 농도가 100 mM일 때는 약 347(±2.88) mg/L의 이산화염소수가 생성되어 염화나트륨의 농도가 약 66 mM 증가함에 따라 발생한 이산화염소수의 농도는 약 137 mg/L의 증가를 보였다. 그러나 염화나트륨의 농도가 170 mM일 때는 약 384(±3.94) mg/L의 이산화염소수가 생성되어 염화나트륨 농도가 100 mM에서 170 mM까지 약 70 mM 증가하였음에도 불구하고 생성된 이산화염소수의 농도 증가는 약 37 mg/L로 상대적으로 낮은 증가를 보였다. 또한 전구체 용액 중 염화나트륨 농도 증가에 따른 무격막 전해셀의 전압 변화는 염화나트륨의 농도가 34 mM일 때 약 3.96(±0.023) V, 염화나트륨 농도가 100 mM일 때 약 3.26(±0.008) V 그리고 염화나트륨 농도가 170 mM일 때 약 3.01(±0.012) V로 전구체 용액의 염화나트륨 농도가 증가함에 따라 전해셀에 부가되는 전압은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 주어진 조건에서 생성된 이산화염소수의 pH 변화는 약 2.5(±0.01) ~ 2.9(±0.023)의 범위로 큰 변화를 보이지 않았다.

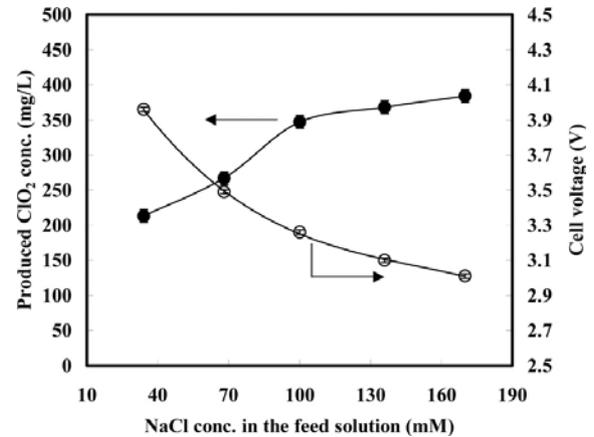
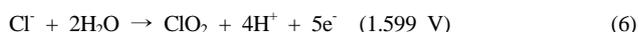
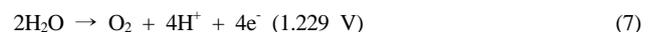


Figure 6. Effect of NaCl concentration on the produced ClO<sub>2</sub> concentration and cell voltage.

앞서 Figure 5의 실험결과에서 보인바와 같이 아염소산나트륨이 없 이 100 mM 농도의 염화나트륨만의 무격막 전기분해 반응에 의해서도 약 84(±2.17) mg/L의 이산화염소가 발생됨을 확인하였다. 이와 같이 Figures 5와 6의 결과 전구체 용액 중 염화나트륨은 무격막 전해셀에서 전해질로서의 역할뿐만 아니라 반응식 (3), (6)에 의해 아염소산나트륨과 함께 이산화염소의 전구체 물질로도 작용함을 보여주고 있다. 주어진 조건에서 발생하는 염화나트륨 농도 증가에 따른 이산화염소의 농도 증가율과 전해셀 전압 감소비율을 고려한 최적 염화나트륨 주입농도는 약 100 mM로 나타났다.

### 3.5. 무격막 전해셀에 공급된 전류밀도에 따른 영향

초기 전구체 용액의 pH를 2.3, 전구체 용액의 전해셀 주입유량을 90 mL/min, 전구체용액 중 아염소산나트륨의 농도를 4.7 mM 그리고 염화나트륨의 농도는 100 mM에서 RuO<sub>2</sub>/Ti를 양전극으로 사용한 무격막 전해셀에 가해지는 전류밀도의 변화에 따른 생성된 이산화염소수의 농도변화를 Figure 7, 그리고 생성된 이산화염소수의 pH 및 전해셀 전압변화를 Figure 8에 각각 나타내었다. 전해셀에 가해지는 전류밀도가 1 A/dm<sup>2</sup>에서 5 A/dm<sup>2</sup>까지 증가함에 따라 이산화염소수의 농도도 약 80(±3.54) mg/L에서 350(±15.47) mg/L까지 급격히 증가한 후 5 A/dm<sup>2</sup> 이상의 전류밀도에서는 더 이상 이산화염소수 농도가 증가하지 않고 일정한 값을 유지하는 것으로 나타났다. 이와 같이 이산화염소수의 농도가 더 이상 증가하지 않고 일정해지는 이유는 무격막 전해셀에서 전류밀도가 증가함에 따라 반응식 (1)에 의한 이산화염소의 생성 반응도 증가되지만, 반응식 (7)에 의해 생성된 수소이온(H<sup>+</sup>) 그리고 염화나트륨의 전기분해에 의해 생성된 차아염소산의 농도도 점차 증가하여 반응식 (4), (5)에서와 같이 이산화염소가 염소산 이온으로도 전환되기 때문으로 판단된다.



또한 전류밀도 증가에 따른 생성된 이산화염소수의 pH 변화는 초기 2.3에서 약 3.7(±0.08)까지, 무격막 전해셀에 부가되는 전압변화 역시 2.5(±0.038)에서 4.3(±0.018) V까지 증가하는 것으로 나타났다. 주어진 실험조건에서 생성된 이산화염소수의 농도와 전해셀에 부가된 전압을 고려한 최적 전류밀도는 5 A/dm<sup>2</sup>로 이때, 발생된 이산화염소

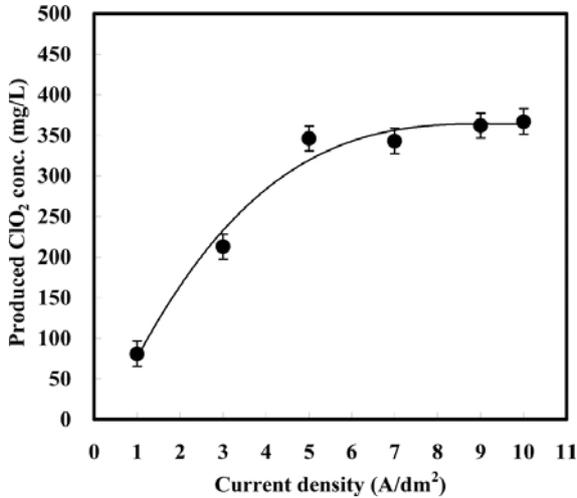


Figure 7. Effect of applied current density on the produced ClO<sub>2</sub> concentration.

수의 농도는 350(±2.53) mg/L, 전해셀에 부가된 전압은 3.3(±0.015) V 그리고 이산화염소수의 pH는 3(±0.03)이었다.

#### 4. 결 론

RuO<sub>2</sub>/Ti 전극을 양극으로 사용한 무격막 전해셀에서 아염소산나트륨을 전구체로 한 이산화염소수 제조 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 기존 이온교환막을 사용하는 격막 전해셀 방식이 아닌 무격막 전해셀 반응에 의해서도 효과적으로 아염소산나트륨을 전기분해하여 약 350 mg/L 이상의 고농도 이산화염소를 생성할 수 있음을 확인하였다. 둘째, 양극 반응과 음극 반응이 동일한 전해셀 내부에서 일어나는 무격막 전기분해 반응에서 전구체 용액의 체류시간이 증가하게 되면 발생된 이산화염소가 용액상에 존재하는 수산화이온에 의해 아염소산 이온 또는 염소산 이온으로 급격히 전환되어 이산화염소수의 농도가 낮아지게 되고, 너무 낮은 체류시간에서는 전극과 전구체 용액의 충분한 접촉시간을 확보하지 못하게 됨으로써 이산화염소의 발생농도가 감소하므로 전구체 용액의 적절한 전해셀 내부 체류시간(0.07 min, 90 mL/min) 확보가 발생하는 이산화염소수의 농도와 pH에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 셋째, 무격막 전해셀 반응에서 아염소산나트륨과 함께 사용된 염화나트륨은 전해질로서의 역할뿐만 아니라 고농도(100 mM)에서는 아염소산이온과 함께 이산화염소의 생성에도 기여하는 보조 전구체로서의 역할도 수행함을 알 수 있었다. RuO<sub>2</sub>/Ti 전극을 양전극으로, Pt/Ti 전극을 음전극으로 사용한 무격막 전해셀에서 아염소산나트륨을 전구체로 한 이산화염소수의 최적 생성조건은 전구체용액 주입유량 90 mL/min, 초기 전구체 용액 pH 2.3, 아염소산나트륨 농도 4.7 mM, 염화나트륨 농도 100 mM 그리고 전류밀도는 5 A/dm<sup>2</sup>로 나타났다. 또한 최적 조건에서 생성된 이산화염소수의 농도는 약 350 mg/L, 전압은 약 3.3 V 그리고 생성된 이산화염소수의 pH는 약 3이었다.

#### 사 사

본 연구결과는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 “지역혁신

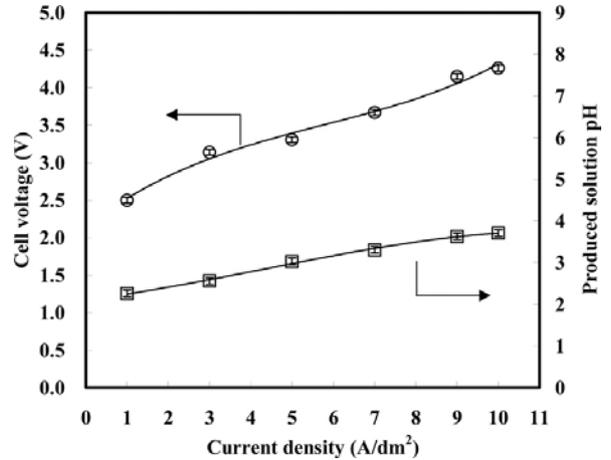


Figure 8. Cell voltage and produced solution pH versus applied current density.

인력양성사업”과 산업자원부의 출연금으로 수행한 “지역협력연구사업(RIC)”으로 수행된 연구결과임.

#### 참 고 문 헌

- H. Y. Shin, Y. J. Lee, I. Y. Park, J. Y. Kim, S. J. Oh, and K. B. Song, *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.*, **50**, 42 (2007).
- S. Navalon, M. Alvaro, and H. Garcia, *J. Hazard. Mater.*, **164**, 1089 (2009).
- B. Casini, P. Valentini, A. Baggiani, F. Torracca, S. Frateschi, L. Ceccherini Nelli, and G. Privitera, *J. Hosp. Infect.*, **69**, 141 (2008).
- Y. Y. Jin, Y. J. Kim, K. S. Chung, M. Won, and K. B. Song, *Food Sci. Biotechnol.*, **16**, 1018 (2007).
- L. Jinquan, H. Junli, S. Liqiang, C. Xiangyu, and J. Ying, *Sci. China Ser. B-Chem.*, **49**, 565 (2006).
- W. C. Fu, Q. J. Peng, and C. Huang, *Chem. Eng. Commun.*, **193**, 1110 (2006).
- C. J. Volk, R. Hofmann, C. Chauret, G. A. Gagnon, G. Ranger, and R. C. Andrews, *J. Environ. Eng. Sci.*, **1**, 323 (2002).
- S. Navalon, M. Alvaro, and H. Garcia, *Water Res.*, **42**, 1935 (2008).
- B. R. Deshwal and H. K. Lee, *J. Ind. Eng. Chem.*, **11**, 125 (2005).
- G. Yin and Y. Ni, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **38**, 3319 (1999).
- B. R. Deshwal and H. K. Lee, *J. Hazard. Mater.*, **B108**, 173 (2004).
- K. C. Pillai, T. O. Kwon, B. B. Park, and I. S. Moon, *J. Hazard. Mater.*, **164**, 812 (2009).
- H. Bergmann and S. Koparal, *Electrochim. Acta.*, **50**, 5218 (2005).
- K. Macounova, M. Makarova, J. Jirkovsky, J. France, and P. Krtil, *Electrochim. Acta.*, **53**, 6126 (2008).
- D. R. Svenson, J. F. Kadla, H. M. Chang, and H. Jameel, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **41**, 5927 (2002).
- X. B. Sun, F. Y. Cui, J. S. Zhang, F. Xu, and L. J. Liu, *J. Hazard. Mater.*, **142**, 348 (2007).
- Y. J. Lee, H. T. Kim, and U. G. Lee, *Korean J. Chem. Eng.*, **21**, 647 (2004).