

Rutile-Type 금속산화물전극에 의한 요오드산염의 생성(I)

남종우·이충영·강범학*

인하대학교 공과대학 화학공학과

*대우자동차공업(주)

(1987년 7월 27일 접수, 1988년 1월 14일 채택)

Formation of Iodate on Rutile-Type Metal Oxide Electrode (I)

Chong-Woo Nam, Choong Young Lee and Byung-Hak Kang*

Department of Chemical Engineering, College of Engineering, Inha University, Incheon, Korea

*Dae Woo Motor Co. Ltd., Incheon, Korea

(Received 27 July 1987; accepted 14 January 1988)

요 약

열분해법으로 제작한 Ti/RuO₂ 전극을 사용하여 요오드화칼륨에 대한 cyclic voltammogram 및 전류-전위곡선을 측정하여 요오드이온의 양극산화반응 내용을 검토하고 매크로전해에 의하여 요오드화칼륨용액으로부터 요오드산염을 전해제조할 경우 최적 전해조건을 검토하였다.

요오드이온은 가역적인 제 1단계의 전극반응에 의하여 요오드로 산화되며 요오드는 전해액의 액성에 따라 비가역적인 제 2단계의 전극반응 또는 화학반응에 의하여 요오드산이온으로 산화된다.

요오드산염의 전해제조는 pH 10의 약알칼리성용액에서 가장 유리하였으며 정전위 및 정전류전해 결과 1.05V 및 30A/dm²에서 가장 높은 전류효율을 나타내었다.

Abstract—Cyclic voltammogram and current-voltage curve of potassium iodide were measured on Ti/RuO₂ electrode, prepared by thermal decomposition method, to study the reaction for iodate formation by oxidation of iodide and macro-electrolysis was carried out to investigate the optimum conditions for electrolytic preparation of iodate from potassium iodide solution.

At first, iodide is oxidized to iodine by reversible electrode reaction and then iodine is oxidized to iodate, depends on the pH of electrolyte, by irreversible electrode reaction or chemical reaction.

The electrolytic preparation of iodate is effective in weak alkaline solution (pH 10). As a result of electrolysis at constant voltage and constant current, maximum current efficiency was obtained at 1.05 V and 30 A/dm².

1. 서 론

요오드이온의 양극산화에 의한 요오드산염의 전해제조에 관해서는 이미 많은 연구 보고[1~6]가 되어 있다.

요오드이온은 제 1단계의 요오드생성($I^- \rightarrow I_2$)반응 및 제 2단계의 요오드산염생성($I_2 \rightarrow IO_3^-$)반응을 통하여 요오드산이온으로 산화되며[1, 7, 8] 이 경우 대부분은 백금과 같은 비활성의 양극이나 다공성인 전착 이산화 납전극을 사용하였을 뿐 최근 식염전해공업에서 새로이

각광을 받고 있는 ruthenium oxide 등과 같은 rutile-type의 천이금속산화물 전극[9, 10]을 사용한 경우는 거의 찾아볼 수 없다. 이들 금속산화물 전극은 낮은 역소과전압과 전극의 내구성으로 인하여 많은 관심이 집중되어 왔다[11, 12]. 그중에서도 titanium 기판에 ruthenium oxide를 피복시킨 Ti/RuO₂ 전극은 dimensionally stable anode(D. S. A.)의 성질을 가지며[13, 14] 100 A/dm² 이하의 전류밀도에서는 비교적 양호한 내구성을 나타내지만[15] 1.15V 이상의 전극전위에서는 RuO₄의 형성에 의하여 산화물피막 자체의 용출이 일어난다고 보고[14]되어 있다.

본 연구에서는 470~480°C의 온도에서 열분해법에 의하여 제작한 이들 Ti/RuO₂ 전극을 사용하여 요오드이온의 양극산화반응 내용을 검토하고 무격막 전해조에서 요오드화칼륨용액으로부터 요오드산염을 전해제조할 경우 최적 전해조건 및 전극의 성능에 관하여 검토하였다.

요오드이온의 산화반응 내용은 주로 cyclic voltammogram(이하 C.V라 칭함)에 의하여 검토하였으며 매크로전해 및 전류-전위곡선측정 결과로부터 최적 전해조건 및 전극의 성능을 검토하였다. 또한 종래에 사용되어온 이산화납전극과도 비교하였다.

2. 실험

2-1. 시약 및 전해질용액

C.V 측정 및 매크로전해에 사용한 시약은 Wako제의 특급품이었으며 전극제작용 RuCl₃·3H₂O는 Aldrich제였다.

용액조제용 물은 1차증류 후 이온교환수지를 통과시켜 사용하였으며 모든 전해질용액은 사용하기 전에 10분간 질소가스를 통하여 용존산소를 제거하였다.

2-2. 전극 제작

Ti기판의 전처리; 순도 99.9%의 Ti기판을 trichloroethylene으로 탈지시킨 후 3%의 HF중에서 3분간 침적하고 이어서 80°C의 60% H₂SO₄중에서 20분간, 80°C의 10% oxalic acid에서 3시간 동안 앓침한 것을 ruthenium oxide 피복용 기판으로 사용하였다.

Ti/RuO₂의 제작; 전처리된 Ti기판에 butanol 9 ml에 1.57g의 RuCl₃·3H₂O를 용해시켜 염산으로 산성화한 피복용 용액을 코팅하여 80°C에서 건조시킨 후 공기가 대류되는 470~480°C의 전기로에서 10분간 소

성하였다. 이상의 조작을 4회 반복하고 최종적으로 동일한 조건의 전기로에서 2시간 동안 가열하여 공기중에서 급냉시켰다.

본 실험에서는 생성된 RuO₂층의 물리적 특성 및 전기화학적 특성이 소성온도에 크게 의존되며 450~500°C의 소성온도에서 가장 양호한 분극특성을 갖는 산화물층이 형성된다는 보고[16]를 참고로 하여 470~480°C의 범위에서 소성시켰다.

이와같이 제작된 Ti/RuO₂ 전극은 사용하기 전에 0.1N의 HClO₄ 용액중에서 2 A/dm²의 정전류로 30분간 공전해한 후 실험용 전극으로 하였다.

2-3. 실험장치

C.V를 측정하기 위하여 제작한 전극은 직경 1.2 mm의 디스크형이었으며 매크로전해용 전극은 12×15 mm의 판상이었다. 상대전극으로는 15×15 mm의 18-8 stainless steel 전극을 사용하였다.

C.V측정은 Beckman제 Electroscan 30을 사용하였으며 매크로전해 장치는 Yanaco제 VE-705 controlled potential electrolyser였다. 정전위 및 정전류 전해의 경우 통전량은 digital coulometer를 이용하였다.

2-4. 실험방법

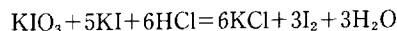
2-4-1. C.V측정

전극의 전기화학적 거동을 관찰하기 위하여 요오드이온이 첨가되지 않은 지지전해질용액중에서 C.V를 측정하였으며 요오드이온의 양극산화반응 내용은 부극제인 요오드화칼륨을 일정한 농도로 첨가한 후 동일한 방법으로 C.V를 측정하여 비교 검토하였다.

모든 측정은 25°C의 항온조에서 진행되었으며 참조전극으로는 포화칼로멜전극(S. C. E.)을 사용하였다.

2-4-2. 매크로전해 및 전류-전위곡선 측정

매크로전해; C.V의 결과를 토대로 전해조건을 설정하였으며 전해후 생성된 요오드는 전해액의 일부를 취하여 희석한 다음 0.1N 치오황산나트륨 표준용액으로 적정하여 분석하였다. 또한 요오드산염은 다음과 같은 반응에 의하여 유리된 요오드를 같은 방법으로 정량하였다.



전류-전위곡선 측정; 백금과 이산화납전극을 사용한 Nam 등의 보고[4, 5]를 참고하여 1M 농도의 요오드화칼륨용액에 음극환원방지제로서 0.1g/l의 중크롬산

칼륨을 첨가한 전해질용액을 사용하였다.

측정은 300ml 용량의 무격막 전해조에서 진행되었으며 전해조의 온도는 50°C로 조절하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 0.1 N HClO₄ 용액에서의 C.V

Ti/RuO₂ 전극의 전기화학적 거동을 검토하기 위하여 0.1N HClO₄ 용액중에서 측정한 C.V는 Fig. 1과 같다. 그 결과 양극주사의 경우 약 0.32V 및 0.87V의 전위에서 산화파 1과 2가 나타나며 음극주사의 경우에는 약 0.29V 및 0.79V의 전위에서 환원파 3과 4가 나타났다. 이들 산화환원파는 대칭형인 점으로 미루어 peak 1, 4 및 peak 2, 3을 각 산화환원반응의 대응 peak로 생각할 수 있다. 또한 peak 1, 4의 경우 각각의 peak potential인 E_{p1} 및 E_{p4} 의 차이는 약 30mV이며 peak 2, 3의 경우 E_{p2} 및 E_{p3} 의 차이는 약 60mV임을 알 수 있다. 따라서 peak 1, 4 및 peak 2, 3의 대응 peak는 각각 가역적인 전극반응에 의한 산화환원파로 생각할 수 있으며 가역적인 전극반응의 경우에는 다음의 관계식이 성립되므로 [18-20]

$$E_p - E_{p/2} = 2.2 \frac{RT}{nF} \text{ mV} \quad (1)$$

위의 식으로부터 반응에 관여하는 전자수 n 을 구하기

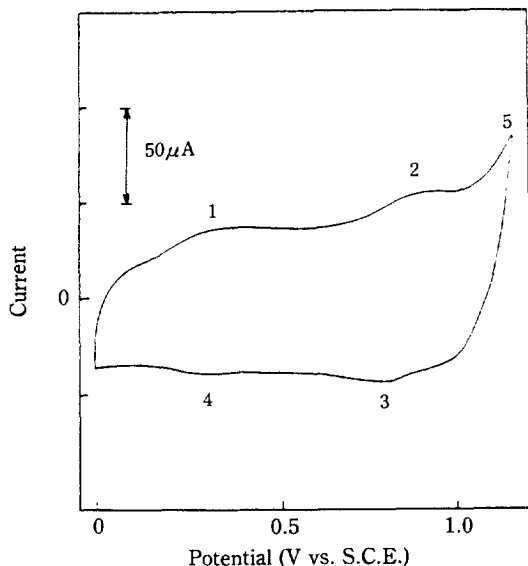


Fig. 1. Cyclic voltammogram of Ti/RuO₂ electrode in 0.1N HClO₄. Scan rate: 100mV/sec.

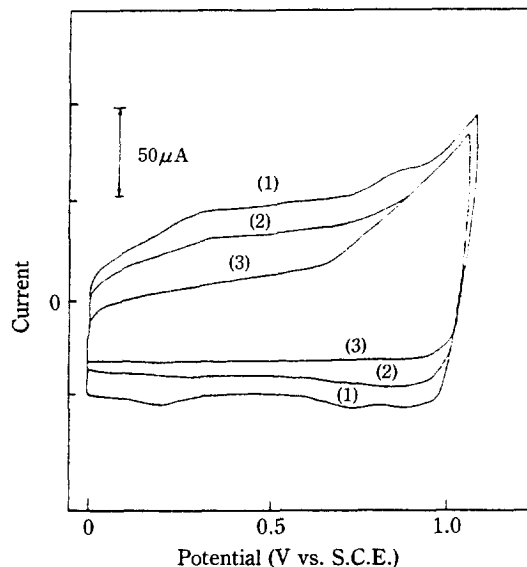
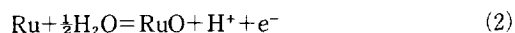


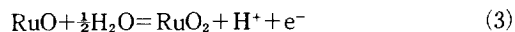
Fig. 2. Cyclic voltammograms of Ti/RuO₂ electrode obtained with different pH values. Scan rate: 100 mV/sec. (1) pH 1; (2) pH 3.7; (3) pH 6.8

위하여 산화파인 peak 1과 peak 2로부터 구한 $E_p - E_{p/2}$ 의 값은 약 60mV 및 55mV이다. 따라서 (1)식으로부터 각각의 산화환원파에 있어 전자수 n 은 각각 1임을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 각 peak에서의 전극반응은 D. Michell 등[21]의 연구결과를 참고할 때 peak 1, 4에서는



peak 2, 3에서는



의 반응이 일어나는 것으로 추정된다.

한편 위의 전해계에서 산소발생은 1.07V에서 시작되며 (peak 5) 강산성용액의 경우에는 1.15V 이상의 전위에서 용해성이 큰 RuO₄의 생성이 용이하게 되므로 [14] 1.1V 이상에서의 전해는 바람직하지 않음을 알 수 있다.

Fig. 2는 Ti/RuO₂ 전극의 산화환원 과정에 대한 액성의 영향을 검토하기 위하여 각기 다른 pH의 용액중에서 측정한 C.V이다. 그 결과 용액의 pH가 증가할수록 전극 자체의 산화환원반응에 기인하는 것으로 추정되었던 1~4의 peak가 현저히 감소되었으며 중성에 가까운 pH 6.8의 경우에는 curve(3)에서 볼 수 있는 바와 같이 모든 peak는 나타나지 않았다. 이는

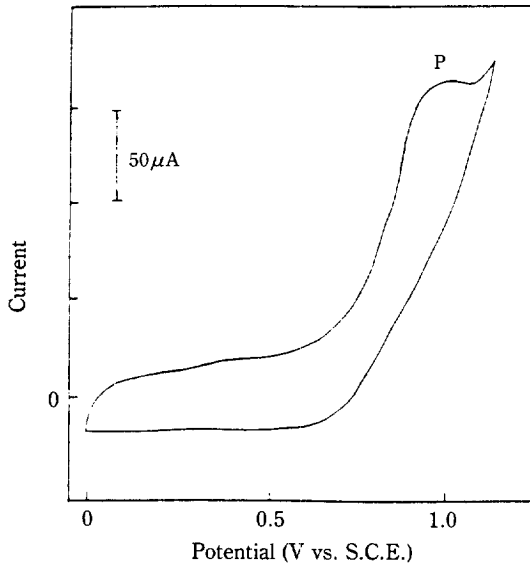


Fig. 3. Cyclic voltammogram of Ti/RuO₂ electrode in 0.1N KOH.

Scan rate: 40 mV/sec.

Arikato[22] 및 Iwakura[14] 등의 보고를 참고할 때 용액의 pH가 증가함에 따라 전극주위의 OH⁻의 농도가 커져서 RuO₂의 균열부분[15]을 통한 OH⁻의 침투가 용이하게 일어나 낮은 전도성의 TiO₂ 피막이 형성됨에 기인하는 것으로 추정된다. pH 6.8의 경우 약 0.65V에서부터 상승되기 시작하는 전류는 액성을 고려할 때 OH⁻의 방전에 의한 산소발생과[23]임을 알 수 있다.

한편 Fig. 3은 알칼리성용액중에서의 Ti/RuO₂ 전극의 거동을 살펴보기 위하여 0.1N KOH 용액중에서 측정한 C.V이다. 그 결과 산성 및 중성용액의 경우에는 볼 수 없던 새로운 P의 산화파($E_p \approx 0.97V$)가 나타났다. 이는 $RuO_2 \rightarrow RuO_4^{2-}$ 의 전극반응에 기인하는 파[15, 24]로 추정할 수 있으며 위의 전해계에서 산소발생은 약 0.55V에서부터 시작된다[23]. 따라서 강알칼리성용액의 경우는 전극의 퇴화가 용이하고 산소과전압이 낮음으로 인하여 불리함을 알 수 있다.

또한 각 지지전해질에서 동일한 조건으로 50회 이상 반복하여 C.V를 측정하였을 경우에도 같은 결과의 C.V를 얻을 수 있었으므로 Ti/RuO₂ 전극의 재현성은 우수하였다.

3-2. 요오드화칼륨용액에서의 C.V

Ti/RuO₂ 전극에 의한 요오드이온의 산화반응 내용

을 검토하기 위하여 0.1N HClO₄ 용액에 상이한 농도로 요오드화칼륨을 첨가한 후 C.V를 측정하였다. 그 결과는 Fig. 4와 같으며 blank의 경우인 Fig. 1과 비교할 때 새로이 A~D의 산화환원파가 나타남을 알 수 있다. 또한 A와 D파의 경우 각각의 peak potential은 요오드화칼륨의 농도에 관계없이 일정($E_{pA} \approx 0.54V$, $E_{pD} \approx 0.52V$)하며 그 차이는 약 20mV이다. 그러나 B파의 경우에는 요오드화칼륨의 농도가 증가함에 따라 E_{pB} 가 귀측전위로 전이되며 C파의 경우도 $10^{-4}M$ 의 요오드화칼륨에서는 거의 나타나지 않지만 농도가 증가함에 따라 명확히 나타났다. 따라서 peak A, D 및 B, C를 각각의 대응파로 생각할 때 전술된 보문[1~8]을 참고하여 peak A에서는 가역적인



의 반응에 의하여 요오드가 생성되며 B의 산화파에서는 A파의 영역에서 생성되어 전극표면에 흡착되어 있던 요오드가 비가역적인 전극반응에 의하여 요오드산이온으로 산화되는 것으로 추정된다.

한편 요오드로부터 요오드산이온이 생성될 경우 가능한 전극반응 및 화학반응은 다음과 같다.

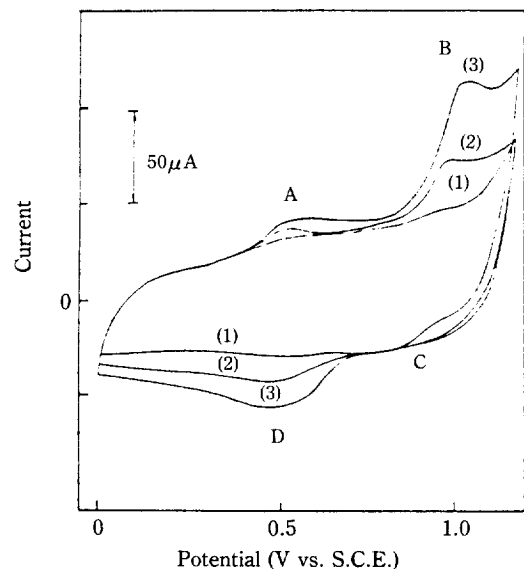
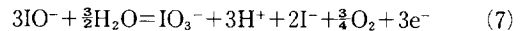
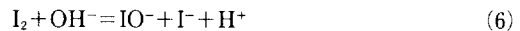
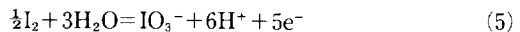


Fig. 4. Cyclic voltammograms of KI on Ti/RuO₂ electrode in 0.1N HClO₄.

Scan rate: 40 mV/sec. (1) $10^{-4}M$ KI; (2) $10^{-3}M$ KI; (3) $2 \times 10^{-3}M$ KI

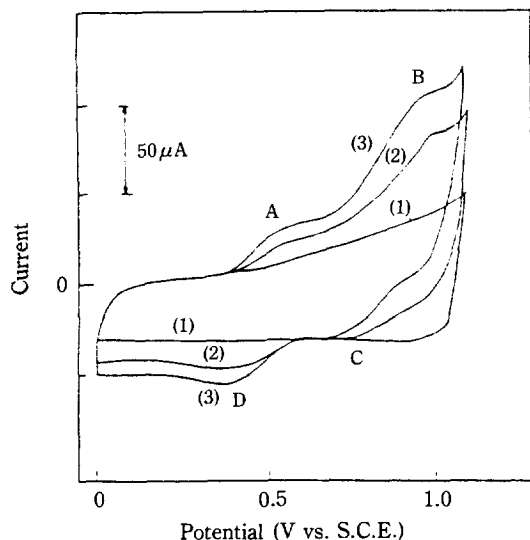


Fig. 5. Cyclic voltammograms of KI on Ti/RuO₂ electrode in 0.1N NaClO₄.

Scan rate: 40 mV/sec. (1) blank; (2) 10⁻³M KI; (3) 2 × 10⁻³M KI

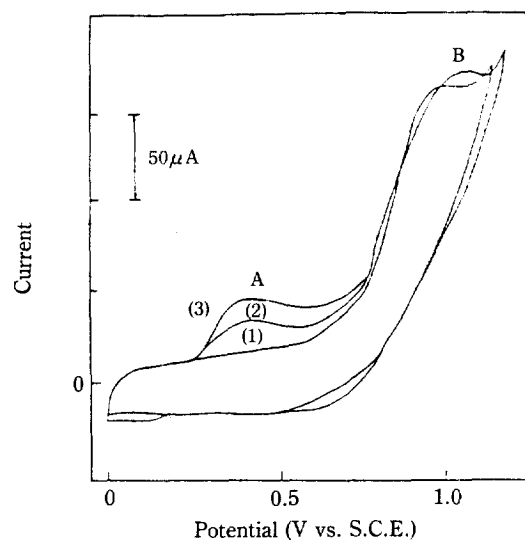
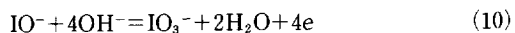
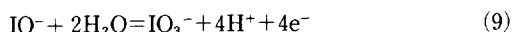


Fig. 6. Cyclic voltammograms of KI on Ti/RuO₂ electrode in 0.1N KOH.

Scan rate: 40 mV/sec. (1) blank; (2) 10⁻³M KI; (3) 2 × 10⁻³M KI



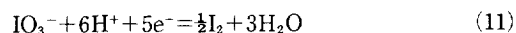
따라서 이들 반응중 B의 산화파에 해당하는 반응이 어느 반응인가를 검토하기 위하여 0.1N의 NaClO₄ 및 KOH 용액중에서 C.V를 측정하였다. 그 결과는 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었으며 0.1N HClO₄에서의 C.V인 Fig. 4와 비교할 때 Fig. 5의 경우에는 산화파 B에 있어 peak의 형성없이 한계전류 현상이 나타나며 약 1.0V에서 산소발생에 기인하는 전류가 급상승하기 시작함을 알 수 있다. 이 결과로부터 0.1N NaClO₄의 경우 요오드산이온의 생성은 산소발생을 동반하는 것으로 추정된다.

또한 0.1N KOH의 경우에는 산화파 A가 현저히 비촉전위에서 나타나며 B파의 경우도 산성 및 중성용액의 경우에는 대조적으로 요오드화칼륨의 농도에 관계없이 blank의 경우와 거의 유사함을 알 수 있다. 이는 blank에서 언급하였던 바와 마찬가지로 B파의 영역에서는 산소발생 및 RuO₂ → RuO₄²⁻의 반응이 용이하게 되므로 요오드산이온의 생성이 이들 반응과 더불어 일어나기 때문인 것으로 해석되며 B의 파가 요오드화칼륨의 농도에 무관한 결과로부터 강알칼리성용액의 경우 요오드산이온의 생성은 전극반응에 비하여 오히려 화학적인 반응에 의존하는 것으로 추정된다.

한편 0.1N HClO₄ 용액에서는 OH⁻의 농도가 낮음

으로 (6)의 화학반응은 용이하지 못할 것이나 중성 및 알칼리성용액의 경우에는 비교적 활발히 진행될 수 있다[25]. 따라서 0.1N HClO₄의 경우 B파의 영역에서 요오드산이온의 생성은 (5)의 전극반응에 의한 것으로 추정되며 0.1N NaClO₄의 경우 A파의 영역에서 생성된 요오드는 일단 (6)의 화학반응에 의하여 차아요오드산이온으로 되고 이어 반응(7)에 의하여 요오드산이온으로 산화되는 것으로 해석된다. 또한 0.1N KOH의 경우 요오드산이온의 생성은 (6)과 (8)의 화학반응에 의한 것으로 추정된다.

한편 음극전위주사의 경우 환원파 C는 요오드화칼륨의 농도에 비례하여 현저히 나타나며 산성 및 중성용액의 경우에는 대조적으로 0.1N KOH에서는 전혀 측정되지 않았다. 따라서 C파의 반응내용을 알아보기 위하여 요오드산염에 대한 C.V를 측정하였다. 그 결과는 Fig. 7과 같으며 0.7V에서 음극주사전위를 반전시켰을 경우 B파가 미세하게 나타났지만 0.5V(≅E_{PD})에서 반전시켰을 경우에는 현저히 증가되었다. 이 결과로부터 C파는 요오드산이온의 환원파임을 알 수 있으며 그 반응은 다음과 같이 추정된다.



또한 Fig. 4에서 $i_{PA} < i_{PB}$ 인 것은 D파에서 요오드이온이 생성됨과 동시에 다음의 반응을 촉진시켜[7] 전극표면의 요오드농도가 증가하기 때문으로 해석된다.

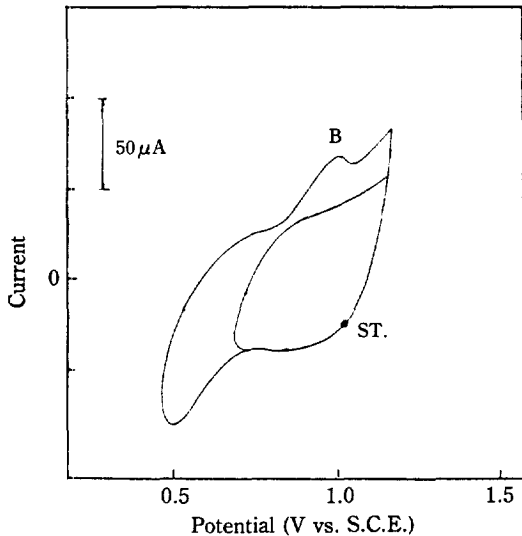
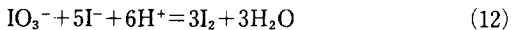


Fig. 7. Cyclic voltammograms of 10^{-3}M KIO_3 on Ti/RuO_2 electrode in 0.1N HClO_4 . Scan rate: 40 mV/sec .



3-3. 매크로전해 및 전류-전위곡선

3-3-1. 매크로전해

이상의 결과로부터 요오드산염을 전해제조할 경우 전해액의 액성의 영향을 검토하기 위하여 각종 액성의 전해액중에서 Table 1의 조건하에 매크로전해를 행하였다. 그 결과 요오드산염에 대한 전류효율은 pH 10에서 가장 높게 나타났으며 요오드에 대한 전류효율은 pH 1의 경우가 가장 높았다. 또한 pH가 증가함에 따라 요오드에 대한 전류효율은 급격히 감소되었으며 pH 13의

Table 1. Relation between current efficiency and pH of electrolyte.

pH	Current efficiency (%)	
	I_2	IO_3^-
1.0	92.2	5.4
6.8	45.5	46.3
8.5	10.4	82.2
10.0	5.7	87.6
13.0	—	74.4

Electrolysis conditions
Electrolyte; 1.0M KI
Current density; 30 A/dm^2
Temperature; 50°C
Amount of current; 10000 Coulomb

Table 2. Relation between current efficiency and anode potential for iodate formation.

Anode potential (V vs. S.C.E.)	Current efficiency (%)
0.90	84.5
0.95	86.1
1.00	87.8
1.05	88.2
1.10	87.6
1.15	85.7
1.20	84.1

Electrolysis conditions

Electrolyte; 1.0M KI

Addition agent; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Temperature; 50°C

Amount of current; 10000 Coulomb

경우에는 전혀 검출되지 않았다.

산성 및 강알칼리성용액의 경우 요오드산염에 대한 전류효율이 낮게 나타난 것은 C, V 결과로부터 검토하였던 바와 같이 산성용액의 경우 생성된 요오드산염이 (12)의 반응에 의하여 요오드로의 환원이 용이하게 되며[7], 강알칼리성용액의 경우에는 (8)의 반응에 의한 요오드산이온의 생성에 비하여 전극자체의 $\text{RuO}_2 \rightarrow \text{RuO}_4^{--}$ 반응 및 전극의 낮은 산소과전압으로 인한 OH^- 의 방전이 활발하게 일어나기 때문인 것으로 해석된다.

위의 결과로부터 pH 10에서의 요오드산염 생성은 주로 (7)의 반응에 의존되며 전체 반응은 ECE 반응임을 알 수 있다.

이상의 결과를 바탕으로 매크로계의 무격막전해조에 정전위 및 정전류 전해를 행하여 요오드산염의 전해제조에 있어 최적 전해전압과 전류밀도를 알아 보았다. 그 결과 정전해의 경우 Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 1.05V 의 양극전위에서 최대 전류효율을 나타내었으며 정전류의 경우에는 Fig. 8에서와 같이 30 A/dm^2 의 전류밀도에서 최대 전류효율을 얻을 수 있었다. 각각의 경우 전해액은 Table 1의 결과를 토대로 pH 10으로 조절하였으며 음극환원방지의 효과를 고려하여 0.1g/l 의 중크롬산칼륨을 첨가하였다.

3-3-2. 전류-전위곡선

Ti/RuO_2 전극의 내구성을 알아보기 위하여 pH 10으로 조절된 1M 농도의 요오드화칼륨용액중에서 측정된 전류-전위곡선은 Fig. 9와 같다. Curve(1)은 새로 제작한 Ti/RuO_2 전극에서 측정된 결과이며 curve

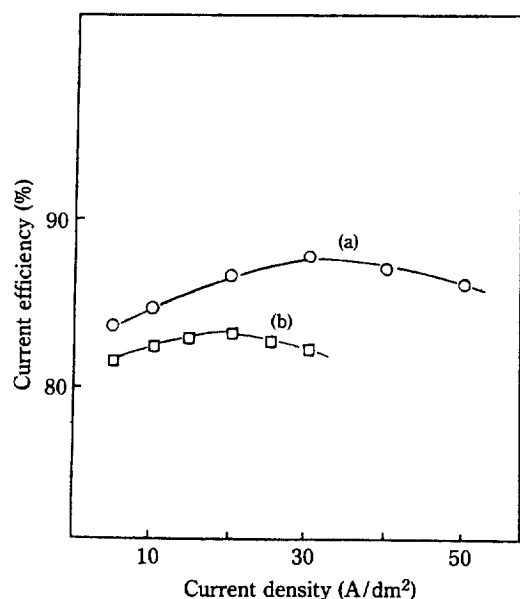


Fig. 8. Current efficiency for iodate formation on current density of Ti/RuO₂ (a) and lead dioxide(b) electrodes.

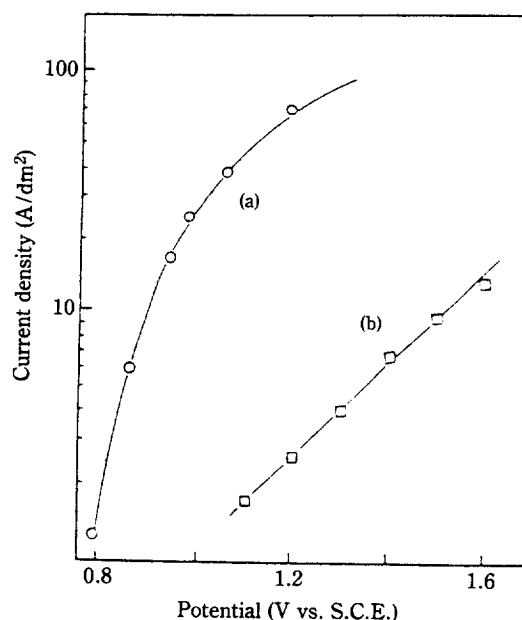


Fig. 10. Polarization curves of Ti/RuO₂ (a) and lead dioxide(b) electrodes for electrolytic formation of iodate.

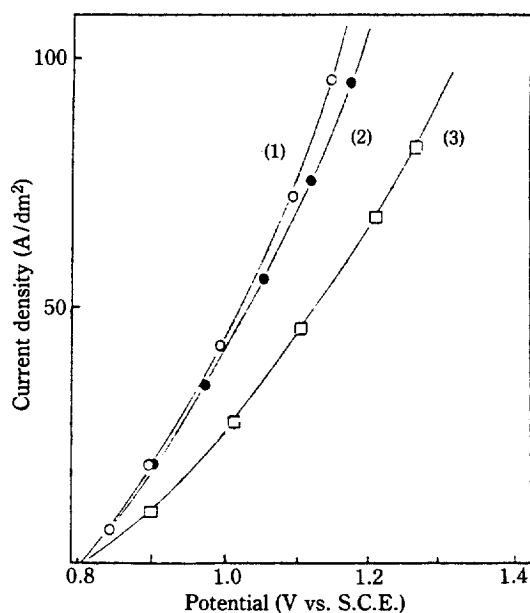


Fig. 9. Polarization curves of fresh and degraded Ti/RuO₂ electrodes in 1M KI (pH 10). (1) fresh; (2) degraded at 80 A/dm²; (3) degraded at 120 A/dm²

(2)와 (3)은 새로 제작하여 2N의 HClO₄ 용액중에서 각각 80 A/dm² 및 120 A/dm²의 전류밀도로 10시간 동안 공전해 하여 퇴화시킨 전극을 사용한 경우이다.

그 결과 curve(3)은 curve(1)과 (2)의 경우에 비하여 산소과전압이 현저히 높아졌다. 이는 강산성용액중에서 100 A/dm² 이상의 전류밀도로 전해를 행할 경우 RuO₄의 생성이 용이하다고 한 Hine[15] 등의 보고와 일치하는 것으로 이들 전극의 경우 산소과전압이 높아짐으로 인하여 전극의 성능이 향상될 것으로 생각되지만 실제로는 RuO₂의 퇴화가 심하게 일어나 그 성능이 감소하게 되므로 고전류밀도에서의 전해는 비합리적임을 알 수 있다.

또한 종래에 사용되었던 이산화납전극과 비교하기 위하여 각각의 전극에 대한 전류-전위곡선을 측정하였다. 그 결과는 Fig 10과 같으며 10 A/dm² 및 20 A/dm²의 전류밀도에서 두 전극의 cell voltage 차이는 0.6V 및 0.7V로 나타났다. 따라서 전력소모의 측면에서 볼 때 본 실험에서 사용한 Ti/RuO₂ 전극은 이산화납전극보다 우수함을 알 수 있으며 이는 Fig. 8의 정전류전해 결과에서도 확인할 수 있다.

4. 결 론

열분해법으로 제작한 Ti/RuO₂ 전극을 사용하여 요오드화칼륨용액으로부터 요오드산염을 전해제조할 경우 요오드이온의 양극산화반응 내용 및 최적 전해조건을

검토한 결과는 다음과 같다.

1. 요오드이온은 가역적인 제 1단계의 전극반응에 의하여 요오드로 산화되며 요오드는 전해액의 액성에 따라 비가역적인 제 2단계의 전극반응 또는 화학반응에 의하여 요오드산이온으로 산화된다.

2. 요오드산염의 전해제조는 pH 10에서 가장 유리하였으며 그 반응은 ECE 반응에 의존되는 것으로 해석된다.

3. 1.05V의 양극전위 및 30 A/dm²의 전류밀도에서 가장 높은 전류효율을 얻을 수 있었다.

4. 강알칼리성 또는 고전류밀도에서의 전해는 전극과 복물질의 용출 및 산소발생으로 인하여 불리함을 알 수 있다.

NOMENCLATURE

E_p	: peak potential
$E_{p/2}$: half peak potential
R	: gas constant
T	: temperature
n	: number of electron
F	: faraday constant
ECE	: electrode chemical electrode

REFERENCES

1. Anson, F.C. and Lingane, J.J.: *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 1015 (1957).
2. Mehlretter, C.L. and Wise, C.S.: *Ind. Eng. Chem.*, **51**, 511 (1959).
3. Aiya, Y., Ejiji, S. and Sugino, K.: *J. Electrochem. Soc.*, **109**, 419 (1962).
4. Nam, J.W. and Kim, H.J.: *J. Kor. Chem. Soc.*, **17**, 378 (1973).
5. Nam, J.W. and Kim, H.J.: *ibid.*, **18**, 373 (1974).
6. Lane, R.F. and Hubbard, A.T.: *J. Phys. Chem.*, **79**, 808 (1975).
7. Beran, P. and Bruchenstein, S.: *Anal. Chem.*, **40**, 1044 (1968).
8. Takamura, T.: *Denki Kagaku*, **39**, 445 (1971).
9. Sergio Trasatti: "Electrodes of Conductive Metallic Oxides", Elsevier, Amsterdam (1980).
10. Horkans, J. and Shafer, M.W.: *J. Electrochem. Soc.*, **124**, 1202 (1977).
11. Atanasoski, R.T., Nikolic, B.Z., Jaksic, M.M. and Despic, A.R.: *J. Appl. Electrochem.*, **5**, 155 (1975).
12. Kuhn, A.T. and Moitimer, C.T.: *J. Electrochem. Soc.*, **120**, 231 (1973).
13. Iwakura, C., Tada, H. and Tamura, H.: *Electrochimica Acta*, **22**, 217 (1977).
14. Iwakura, C., Inai, M., Manabe, M. and Tamura, H.: *Denki Kagaku*, **48**, 91 (1980).
15. Hine, F., Yasuda, M., Noda, T., Yoshida, T. and Okuda, J.: *J. Electrochem. Soc.*, **126**, 1439 (1979).
16. Iwakura, C., Hirao, K. and Tamura, H.: *Electrochimica Acta*, **22**, 335 (1977).
17. Bard, A.J. and Faulkner, L.R.: "Electrochemical Methods", John Wiley, N.Y. (1980).
18. Nicholson, R.S. and Shain, I.: *Anal. Chem.*, **36**, 706 (1964).
19. Reinmuth, W.H.: *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 635 (1957).
20. Matsuda, H. and Aybe, Y.: *Z. Elektrochem.*, **59**, 494 (1955).
21. Michell, D., Rand, D.A. and Woods, R.: *J. Electroanal. Chem.*, **89**, 11 (1978).
22. Arikato, T., Iwakura, C. and Tamura, H.: *Electrochimica Acta*, **22**, 513 (1977).
23. Lodi, G., Sivieri, E., Battisti, A.D. and Trasatti, S.: *J. Appl. Electrochem.*, **8**, 135 (1978).
24. Pourbaix, M.: "Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions", Pergamon Press, Oxford (1966).
25. Weast, R.C.: "CRC Handbook of Chem. and Phys.", 60th ed., CRC Florida (1979).