

제3전극에 의한 전기변화가 수중 전기물리화학적 특성에 미치는 영향

(The Effects of Electric Field Variation by The Third Electrode on Water Electrophysicochemical Characteristics)

김진규*

(Jin-Gyu Kim)

Abstract

In this paper, after the third electrode type oxidant generator which could format non-uniform electric field in water had been manufactured and installed, by direct electrolysis, the effects of the hydrogen potential and oxidation reduction potential characteristics attendant upon electric field change on a higher concentration oxidant generation characteristics were investigated. Consequently, as the third electrode was installed in the middle of two slit electrodes and the polarity of applied power was changed, it was observed that the third electrode system with the positive electrode can generate a higher concentration oxidant, hydrogen potential and oxidation reduction potential as compared with that of the negative electrode. It is because the positive electrode was bombarded mostly energetic electrons and the negative electrode was bombarded mainly by less energetic positive ions.

Key Words : Electrophysicochemical, Third Electrode, Slit Electrode, Non-Uniform Field, Oxidant, Hydrogen Potential, Oxidation Reduction Potential

1. 서 론

최근 환경에 대한 관심이 커지고 수질오염문제가 심각하게 사회적 문제로 대두되면서 그 오염원 제거에 대한 연구가 다방면에서 수행되고 있는 실정이다. 수중에서 직접적인 전기분해에 의해 발생하는 산화성물

질의 경우 강력한 산화력과 자기분해능력을 가지고 있어서 무공해성의 장점을 가지면서도 염소나 기타 살균제보다 살균, 탈취, 유기물 분해, 중금속의 산화 및 제거 능력이 우수하여 수처리 관련 등 산업계의 다방면에서 적용되고 있으며 새로운 영역으로의 확대와 응용분야에서의 학문적, 기술적으로 큰 관심을 불러일으키고 있다[1-5].

종래의 산화성물질 발생장치의 경우 수중에서 평등 전계가 인가되는 전극형태로써 파라데이 석출법칙에 의한 전력소비와 수중 이온들의 분리 집속면에서 비효율적이었다. 따라서 수도수를 원료수로 사용하는

* 주저자 : 경북대학교 산업전자전기공학부 부교수
Tel : 054-530-1326, Fax : 054-530-1329
E-mail : kjg@knu.ac.kr
접수일자 : 2010년 7월 21일
1차심사 : 2010년 7월 22일
심사완료 : 2010년 8월 3일

경우 물의 전기저항이 커지면 높은 전류를 얻기 위해 인가전압을 증가시켜야 하며 상대적으로 큰 전력이 요구되어 효율이 저하하게 되고 산화성물질 발생장치 내의 전극수명도 단축시키는 문제점이 있었다[6-9].

본 논문은 종래의 평판형 산화성물질 발생장치에서의 비효율적인 전극구조와 전력소비 문제점 등을 보완하고 강산화성물질 발생장치로서의 최적 조건을 도출하기 위한 실험결과이다. 인입수의 경우 실적용화를 위해 전기화학적으로 촉매작용을 증진시키는 도전성 첨가물을 용해시키지 않고 인입수의 유속을 가변시키면서 실험하였다. 그리고 강한 산화력을 가진 활성종과 활성이온들을 발생시키기 위해서 불평등전계 형성이 가능한 제3전극을 대향된 슬릿전극 사이에 설치하고 인가된 전원의 극성을 변하시킴으로써 제3전극과 대향전극사이에서 강한 전기분해작용을 유도하였다. 제3전극이 정극성인 경우 전자의 충돌로 인해 활성 산소류(O , O_3 , H_2O_2)와 이에 따른 연쇄반응으로 OH라디칼이 발생되고 반면에 부극성의 경우 이온의 충돌로 인한 직접반응을 통해 OH라디칼을 형성시켰으며, 제3전극과 대향전극간의 공격을 적절히 조절함으로써 전기분해작용 시 발생하는 산소와 수소기포에서의 기포방전[10]을 유발 가능하게 하여, 이와 같은 전기물리화학작용에 의한 수소이온농도와 산화환원전위가 산화성물질발생에 미치는 영향을 실험적으로 조사 검토하였다.

2. 실험방법 및 장치

그림 1은 본 실험에 사용된 제3전극형 산화성물질 발생장치의 실험장치 개략도이다. 인입수는 수도수 공급장치를 통해서 산화성물질 발생장치내의 전해조로 유입되며, 이때 수도수에는 향후 실적용화를 위해 전기화학적으로 촉매작용을 증진시키는 도전성 첨가물을 용해시켜 인입하지 않았다. 산화성물질 발생장치내로 유입된 인입수는 대향된 슬릿전극사이에 설치된 제3전극(SUS304, 0.2[mm], 100×50[mm²]) 사이를 0.25~2.00[LPM]의 유속으로 분리 집속되어 배출되게 된다. 제3전극과 대향된 슬릿전극과의 공격은 전력손실, 산소와 수소기포의 발생 그리고 기포 상승 시 기포

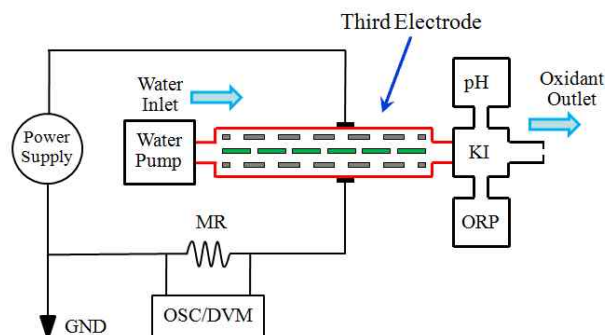


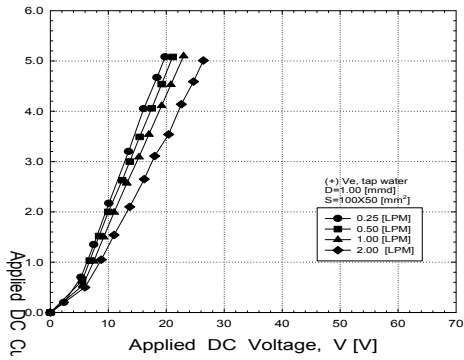
그림 1. 실험장치 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup

방전에 의한 전극손상 문제 등을 고려하여 1.0~3.0[mm]로 가변하였으며, 장치내로 인입된 인입수의 온도는 20 ± 2 [$^{\circ}C$]이다. 본 실험에 사용된 전원은 직류 전압을 사용하였으며 제3전극에 정극성과 부극성 전압을 인가하고 전계변화에 의한 전기물리화학특성 변화가 산화성물질발생에 미치는 영향을 실험하였다. 발생된 수소이온농도, 산화환원전위 그리고 산화성물질은 디지털 pH메타(pH and ORP Meter InoLab Level 3, Germany)와 KI 적정법(KI Titration)으로 측정하였다.

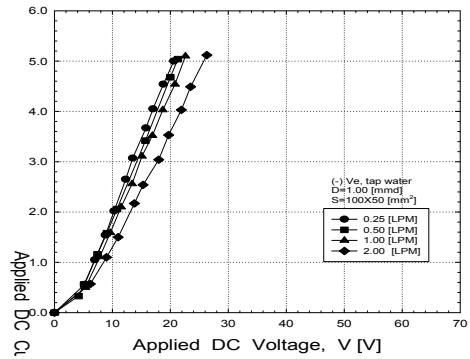
3. 실험결과 및 고찰

그림 2의 (a), (b), (c)는 산화성물질 발생장치에 수도수를 0.25~2.00[LPM]의 유속으로 인입하고 제3전극에 정극성 전압을 인가시켰을 때 전류-전압특성곡선이다. 제3전극과 대향된 슬릿전극과의 공격은 전력손실, 산소와 수소기포의 발생 그리고 기포상승 시 기포방전에 의한 전극의 손상문제 등을 고려하여 1.0~3.0[mm]로 가변시키면서 실험하였다. 전기전도도인 전압상승분에 대한 전류상승분 즉, 기울기는 약 10[V] 이하에서 변곡하기 시작하였고 그 이상의 전압에서는 급격히 증가되는 모습을 보여주었다. 또한 방전공격 내에 인입된 인입수의 유속이 0.25, 0.50, 1.00, 2.00[LPM]으로 빨라질수록 수중 이온들이 전계에 의해 분리집속 가능한 시간이 짧아지게 되어 기울기($S = \Delta I / \Delta V$)가 0.46, 0.43, 0.40, 0.30[A]/2[V]로 낮아지는

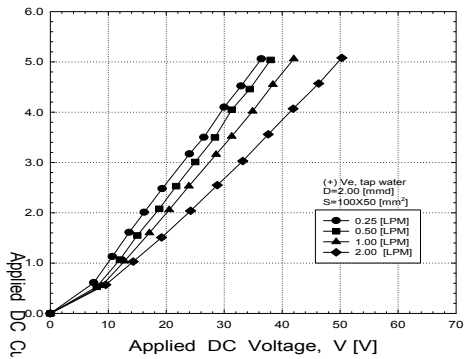
제3전극에 의한 전계변화가 수중 전기물리화학적 특성에 미치는 영향



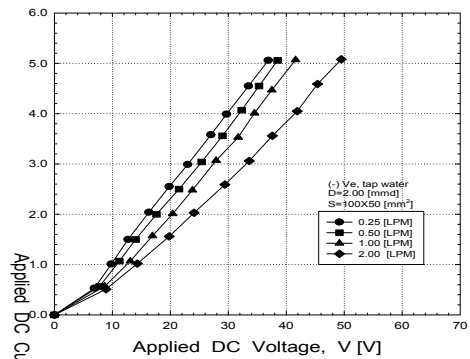
(a) (+)Ve 1.0[mmd]



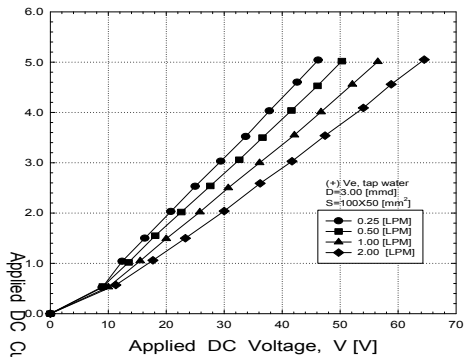
(a) (-)Ve 1.0[mmd]



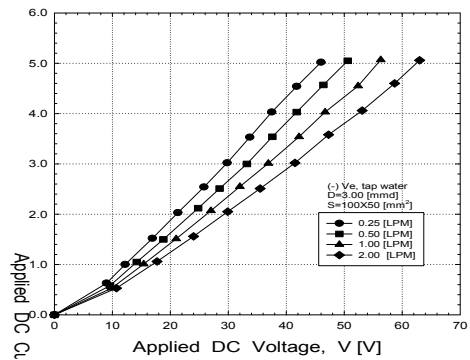
(b) (+)Ve 2.0[mmd]



(b) (-)Ve 2.0[mmd]



(c) (+)Ve 3.0[mmd]



(c) (-)Ve 3.0[mmd]

그림 2. 정극성의 경우 유속변화에 따른 전류-전압특성
Fig. 2. I-V characteristics as a various water flow in positive electrode case

그림 3. 부극성의 경우 유속변화에 따른 전류-전압특성
Fig. 3. I-V characteristics as a various water flow in negative electrode case

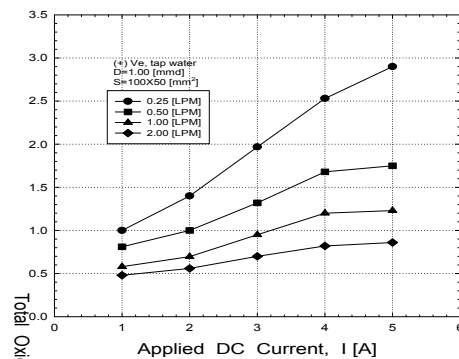
것으로 나타났다. 그리고 대향된 슬릿전극과 제3전극 간의 공격이 1.0, 2.0, 3.0[mmd]로 넓어질수록 전체적인 기울기는 낮아지는 것으로 나타났다.

그림 3의 (a), (b), (c)는 산화성물질 발생장치에 수도수를 0.25~2.00[LPM]의 유속으로 인입하고 제3전극에 부극성 전압을 인가했을 때의 전류-전압특성 곡

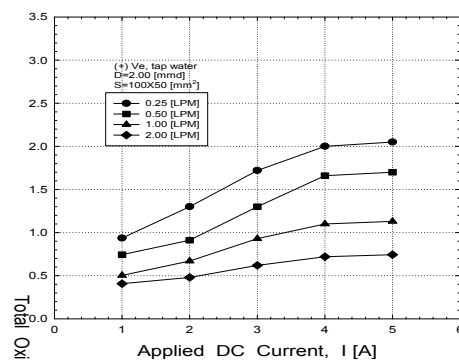
선이다. 제3전극에 부극성 전압을 인가한 경우 정극성 전압을 인가한 그림 2의 (a), (b), (c)와 유사한 전류-전압특성을 나타내었다. 이와 같은 결과는 일반적으로 불평등전계 형성이 가능한 제3전극에 정극성 전압을 인가한 경우 대부분 전자에 의한 충돌현상이 발생하고 부극성 전압을 인가한 경우 대부분 양이온에 의한 충돌작용이 발생되지만 방전공격내의 인입수 유속과 불순물 등에 의해 충돌작용이 약해진 것으로 사료된다.

그림 4의 (a), (b), (c)는 산화성물질 발생장치에 수도수를 0.25~2.00[LPM]의 유속으로 가변하여 인입하고 제3전극에 정극성 전압을 인가한 경우 산화성물질-전류특성곡선이며, 이때 제3전극과 대향된 슬릿전극과의 공격은 1.0~3.0[mm]로 가변하여 실험하였다. 전해조 내에서 강한 산화력을 가진 활성종과 활성이온들을 발생시키기 위해서 불평등전계 형성이 가능한 제3전극을 대향된 슬릿전극사이에 설치하고 인가된 전계를 변화시켜 제3전극과 대향전극사이에 강한 전기분해작용 유도시킨 결과 정극성 전압을 인가한 경우 전자의 충돌작용으로 인해 다량의 활성 산소류(O, O₃, H₂O₂)를 발생시켰다. 대향전극간격이 1.0, 2.0, 3.0[mm]로 넓어질수록 인가 전류증가분에 대한 산화성물질발생량은 감소함을 나타냈으며, 인입된 인입수의 유속이 낮아질수록 대향 전극간에 이온들의 체류시간이 길어져 전기분해에 의한 분리집속이 용이한 것으로 나타났다. 동일 유속인 0.25 [PLM]인 경우 방전공격이 1.0[mm]가 3.0[mm]에 비해 약 1.5배인 2.90[ppmm]의 산화성물질을 발생시켰다.

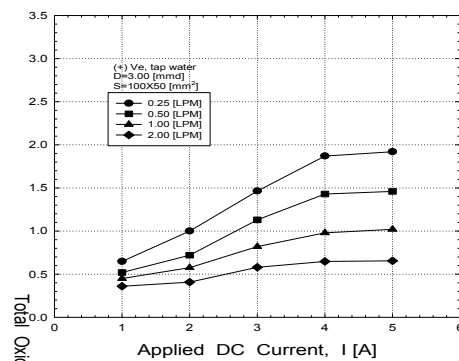
그림 5의 (a), (b), (c)는 제3전극에 부극성 전압을 인가한 경우 산화성물질-전류특성곡선이다. 제3전극에 부극성 전압을 인가한 경우 대향 전극간에는 대부분 이온충돌로 인한 직접반응을 통해서 OH라디칼을 형성하게 된다. 제3전극에 부극성 전압을 인가한 경우 정극성의 경우에 비해 전류-전압특성 차이는 발생하지 않았지만 산화성물질 발생량은 전반적으로 낮게 나타났으며, 인입수의 유속이 0.25[LPM]이고 대향전극간의 공격이 1.0[mm]인 경우 최대 2.70[ppmm]의 산화성물질을 발생시켰다.



(a) (+)Ve 1.0[mm]



(b) (+)Ve 2.0[mm]

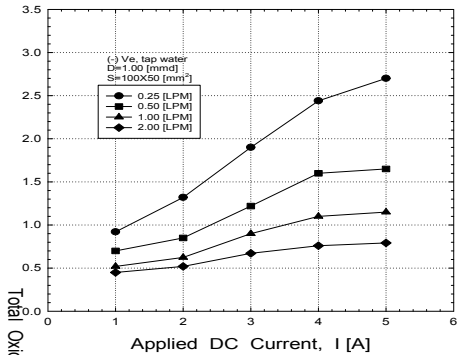


(c) (+)Ve 3.0[mm]

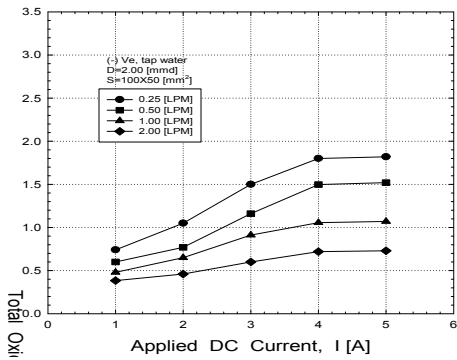
그림 4. 정극성의 경우 유속변화에 따른 산화성물질-전류특성
Fig. 4. Oxidant-I characteristics as a various water flow in positive electrode case

그림 6은 산화성물질 발생장치내의 방전공격을 1.0[mm]로 고정하고 수도수를 0.25~2.00[LPM]의 유속으로 가변하여 인입하였을 때 산화환원전위-수소이온농도-전류특성곡선이다. 불평등전계 형성이 가능

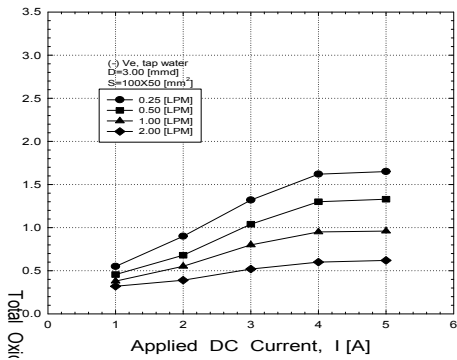
제3전극에 의한 전계변화가 수중 전기물리화학적 특성에 미치는 영향



(a) (-)Ve 1.0[mmd]



(b) (-)Ve 2.0[mmd]



(c) (-)Ve 3.0[mmd]

그림 5. 부극성의 경우 유속변화에 따른 산화성물질-전류특성
Fig. 5. Oxidant-I characteristics as a various water flow in negative electrode case

한 제3전극에 정극성 및 부극성 전압을 인가하여 극성 효과에 따른 특성을 비교한 결과 인가된 전류분이 증가할수록 수소이온농도와 산화환원전위는 감소하는 것으로 나타났으며, 제3전극이 정극성인 경우가 부극

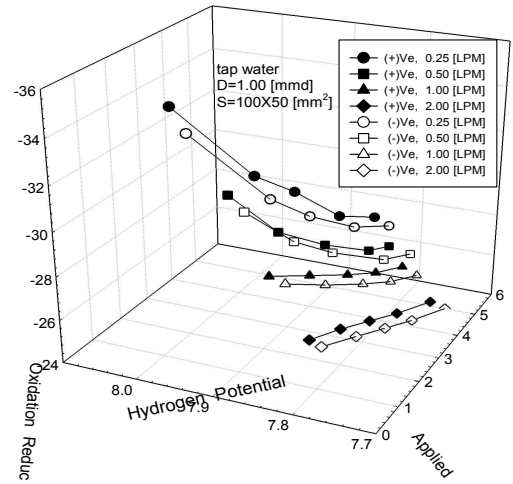


그림 6. 정/부극성의 경우 유속변화에 따른 산화환원전위-수소이온농도-전류특성

Fig. 6. Oxidation reduction potential-Hydrogen potential-I characteristics as a various water flow in positive/negative electrode case

성인 경우보다 수소이온농도 및 산화환원전위는 높게 나타났다. 수소이온농도와 산화환원전위의 경우 감소량은 미소하게 나타났지만 산화성물질 발생량은 그림 4 (a)와 같이 약 1.5배의 큰 차이를 보여주었다.

4. 결론

본 논문은 종래의 평판형 산화성물질 발생장치에서의 비효율적인 전극구조와 전력소비 문제점 등을 보완하고 강산화성물질 발생장치로서의 최적 조건을 도출하기 위해 불평등전계 형성이 가능한 제3전극을 대향된 슬릿전극사이에 설치하고 인가전원의 극성을 변화시켰을 때 수소이온농도와 산화환원전위변화가 산화성물질 발생에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전해조내의 인입수 유속이 증가하고 방전공격이 넓어질수록 수중 이온들이 전계에 의해 분리집속 가능한 체류시간이 짧아지게 되어 전압상승분에 대한 전류상승분인 기울기($S = \Delta I / \Delta V$)가 완만해지는 것으로 나타났다
- (2) 불평등전계 형성이 가능한 제3전극에 정극성 전

압을 인가한 경우 전자의 충돌작용으로 인해 다량의 활성산소류(O, O₃, H₂O₂)를 발생시켰으며, 부극성인 경우 이온충돌작용으로 인한 직접반응을 통해 OH라디칼을 형성하였다. 인가 전류분에 대한 산화성물질 발생 농도는 정극성의 경우가 부극성의 경우에 비해서 1.5배인 2.90 [ppmm]으로 큰 차이를 보여주었다.

- (3) 산화성물질 발생장치에 인가된 전류분이 증가할수록 수소이온농도와 산화환원전위는 미소하게 감소하는 것으로 나타났으며, 제3전극이 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 수소이온농도와 산화환원전위는 높게 나타났다.

이 논문은 2009학년도 경북대학교 연구교수 연구비에 의하여 연구되었음.

References

[1] P. Lubicki, J. D. Cross, S. Jayaram., "Removal of VOCs in Water using Low-energy Electron- Beam", IEEE Trans. Dielec. & Elec. Insulation,5:2:219, 1998.

[2] Anto Tri Sugiarto, Shunsuke Itoa, etal, "Oxidative Decoloration of Dyes by Pulsed Discharge Plasma in Water", Journal of Electroanalytical Chemistry, Vol. 58, Issues 1-2, pp.135-145, 2003.

[3] J. L. Boudenne, O. Cerclier, etal, "Electrochemical Oxidation of Aqueous Phenol at a Carbon Black Slurry Electrode, Applied Catalysis A: General Vol. 143, pp.185-202, 1996.

[4] PA. Michaud, M. Panizza, etal, "Electrochemical Oxidation of Water on Synthetic Boron-Doped Diamond Thin Film Anodes", Journal of Applied Electrochemistry, Vol. 33, No. 2, pp.151-154, 2004.

[5] Abe, etal, "Inactivation Effects of Oxidation Potential Water to HB Virus", Journal of Dental Prevention, Vol. 37, No. 33, 1994.

[6] 김진규, 김광태, "불평등전계에 의한 기포방전이 수소이온농도와 산화환원전위변화에 미치는 영향", 조명·전기설비학회논문지, 제17권, 제16호, pp.77-82, 2003.

[7] Petr Lukes, Bruce R Locke, "Plasmachemical Oxidation Processes in a Hybrid Gas-Liquid Electrical Discharge Reactor", Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 38, No. 22, pp.4074-4081 2005.

[8] Anto Tri Sugiarto, Takayuki Ohshima and Masayuki Sato, "Advanced Oxidation Processes Using Pulsed Streamer Corona Discharge in Water", Thin Solid Films, Vol. 407, Issues. 1-2, pp.174-178, 2002.

[9] Petr Lukes, Martin Clupek, etal, "Generation of Ozone by

Pulsed Corona Discharge over Water Surface in Hybrid Gas-Liquid Electrical Discharge Reactor", Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 38. No. 3, pp.409-416, 2005.

- [10] A. H. Sharbaugh, J. C. davins and S. J. Rzd, "Progress in the Field of Electric Breakdown in Dielectric Liquids", IEEE Insulation, EI-13, No. 4, pp.249-276, 1978.

◆ 저자소개 ◆



김진규 (金振圭)

1967년 2월 24일생. 1990년 경일대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년 경북대학교 전자전기공학부 BK21조교수. 2001~2008년 상주대학교 전자전기공학부 부교수. 2008년~현재 경북대학교 산업전자전기공학부 부교수.