Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 19, No.4, pp. 79~84 June 2005 논문 19-4-11

펄스전압의 극성에 따른 액중 전위변화에 관한 연구

(A Study on Electric Potential Change by Pulse Voltage Polarity in Liquid)

김진규* · 김형표 · 박영호
(Jin-Gyu Kim · Hyung-Pyo Kim · Young-Ho Park)

요 약

본 논문은 액중 이온교환수 발생장치 내에 양·음이온교환격막을 중심으로 불평등전계를 형성할 수 있는 사선빗살형 전극을 설치하였다. 그리고 정극성과 부극성의 펄스전압을 인가하여 펄스전압의 극성변화에 의한 산화환원전위 변화가 이온교환수 발생장치 내에서 발생된 용존산소량에 미치는 영향을 비교 검토하였다. 실험결과, 이온교환수 발생장치 내에 인가된 펄스전압의 극성변화와 전기비저항의 차에 의한 산화환원전위 및 용존산소농도 변화를 관찰할 수 있었다. 그리고 인가된 펄스전압의 극성변화와 전기 비저항 차에 의한 전위변화가 용존산소농도를 증가시켜 액중에서 고농도의 이온들을 생성시킴을 알 수 있었다.

Abstract

This paper proposes the new type of an ion exchange water generator system. The system has an +/- ion exchange membrane located in center and a diagonal-interdigit type electrode applied to a pulsed power. This system is studied in the liquid for the oxidation/reduction potential and the dissolved oxygen concentration by the polarity effects. Consequently, as a diagonal-interdigit type electrode is installed in each side of device, the oxidation/reduction potential and dissolved oxygen concentration by polarity changes and electrical resistivity differences be observed. An ion concentration in the ion exchange water generator system is increased by dissolved oxygen generated from oxidation/reduction potential changes.

Key Words : Pulse Power, Electrical Resistivity, Oxidation/Reduction Potential, Dissolved Oxygen

1. 서 론

이온교환수 발생장치에서 발생하는 산화환원수는 인체에 대한 안정성과 2차 공해를 유발하지 않는 무공해성의 장점을 가지면서도 산화수의 경우 강한 산화력에 의한 살균소독효과와 이중결합을 가진 유기물의 분해, 살균, 탈색 그리고 탈취 등에 사용되고 있다[1-5]. 그리고 이온교환수 발생장치에서 발생되는 환원수의 경우 생명체의 생장촉진[6] 및 산화된 세포를 활성화시켜 활성산소 제거기능 등[7,8] 매우 다양하고 광범위하게 적용할 수 있기 때문에 고효율의 이온교환수 발생장치의 개발과 새로운 분야에서의

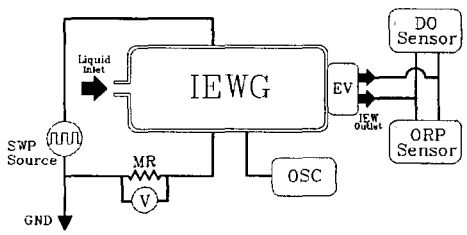
* 주저자 : 상주대학교 전자전기공학부 조교수
Tel : 054-530-5326, Fax : 054-530-5329
E-mail : kjg@sangju.ac.kr
접수일자 : 2005년 3월 16일
1차심사 : 2005년 3월 21일
심사완료 : 2005년 4월 11일

실적용 연구가 활발하게 수행되고 있는 실정이다 [9-12].

종래의 이온교환수 발생장치는 이온분리격막을 중심으로 대향된 전극간에 맥류나 직류전압을 인가하여 액중의 하전입자를 각각의 대향전극으로 분리집속하는 방법이 사용되고 있다. 이와 같은 종래의 이온교환수 발생장치는 액중의 산화환원전위 변화 및 용존산소농도가 낮고 액중 이온의 분리집속효율이 높지 못한 단점이 있었다.

본 논문은 종래의 이온교환수 발생장치의 단점을 보완하고 고효율화하기 위한 실험결과로서 액중 이온을 양·음이온교환격막을 중심으로 효율적으로 분리집속하기 위하여 이온교환수 발생장치 내의 양 전극측을 사선빗살형으로 형성함으로써 강한 불평등전계를 유발시킬 수 있는 구조로 제안하였다. 그리고 사선빗살형 전극에 정극성과 부극성의 펄스전압을 인가하여 펄스전압의 극성변화에 의한 산화환원전위 변화가 이온교환수 발생장치 내에서 발생된 용존산소량에 미치는 영향을 비교 검토하였다.

2. 실험방법 및 장치



SWP : square wave pulse MR : measuring resistor
IEWG : ion exchange water generator
OSC : oscilloscope EV : electronic valve
IEW : ion exchange water DO : dissolved oxygen
ORP : oxidation reduction potential

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

그림 1은 본 실험에 사용된 액중 이온교환수 발생장치의 실험장치 개략도를 나타낸 것이다. 이온교환수 발생장치에 사용된 전극구조는 대향전극의 중심에 설치된 양·음이온교환격막을 중심으로 방전전극인 사선빗살형 스테인레스 전극(diagonal-interdigit type electrode, SUS304, 0.1[mmt], 100×25[㎟])과 유도전극인 평판형 스테인레스 전극을 설치하였다. 이 때 사용된 사선빗살형 전극은 사선의 폭이 1.5[mm]로서 전극 개부의 면적은 전 전극면적(S)의 50[%], 즉, S=50[%]로 고정하고 전극폭과 길이와 개부의 폭과 길이는 동일하게 설정하였다. 본 실험에 인가된 전압은 구형파 펄스전원(square wave pulse, Vp=400[V], Ip=10[A], t_{on}=50.0[ms], t_{off}=1.0[ms])을 제작하여 사용하였다. 이온교환수 발생장치 내에 인입된 인입수는 pH가 약 7.0이고 전기 비저항 값이 약 7[kΩ]인 액체와 이온증가 및 전기전도도 향상을 위한 전기 비저항 값이 약 5[Ω]인 염화나트륨 용해수를 실사용 시 적절한 유량으로 사용 가능한 0.25~2.00[LPM]으로 가변하여 실험하였으며, 인입수의 온도는 상온에서 실험하였다. 그리고 이온교환수 발생 시 대향전극 및 양·음이온교환격막에 부착된 오염물질은 부극성 구형파 펄스전압을 약 2분간 역으로 인가하여 제거하였다. 액중 이온교환수 발생장치에서 발생된 이온농도, 산화환원전위 변화 그리고 용존산소농도는 디지털 pH메타(pH, ORP and Oxi Meter InoLab Multi Level 3, Germany)로서 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2와 3은 이온교환수 발생장치 내에 전기 비저항 값이 약 7[kΩ]이고 pH가 약 7.0인 액체를 0.25~2.00[LPM]의 유량으로 가변해서 인입하고 정극성 펄스전압을 t_{on}=50.0[ms], t_{off}=1.0[ms]로 이온교환수 발생장치 내의 사선빗살형 전극에 인가하였을 때의 인가 펄스전압 증가에 따른 산화환원전위 변화 및 용존산소농도 특성을 나타낸 것이다. 인입된 액체의 유량이 0.25~2.00[LPM]로 증가할수록 산화환원전위 및 용존산소량은 점차적으로 낮아져서 포화함을 나타냈으며, 인입된 유량이 적을수록 그리고 인가된 펄스전압이 증가할수록 산화환원전위 변화 및 용존산소농도는 증가하여 포화하는 경향을 나타내었다. 이러한 이유는 인입된 액체의 유량이 느려질수록 이온교한수 발생장치 내의 단면적을 통과하는 시간이

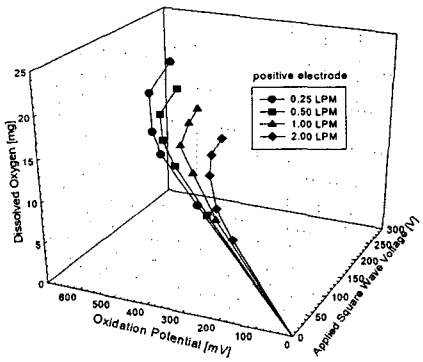


그림 2. 액중에서 유량과 정극성 펄스전압의 변화에 따른 소자의 산화전위-용존산소특성
Fig. 2. OP-DO characteristics of cell with various water flow and positive square wave pulse voltage in liquid

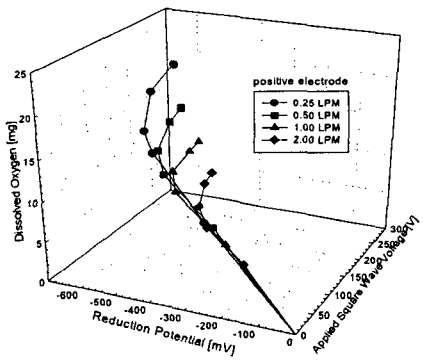


그림 3. 액중에서 유량과 정극성 펄스전압의 변화에 따른 소자의 환원전위-용존산소특성
Fig. 3. RP-DO characteristics of cell with various water flow and positive square wave pulse voltage in liquid

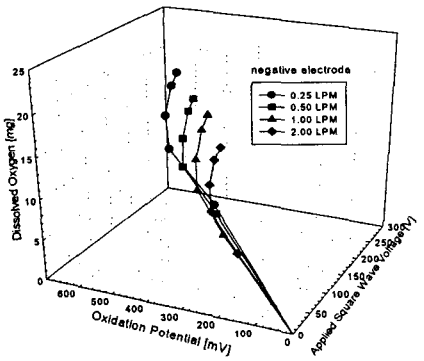


그림 4. 액중에서 유량과 부극성 펄스전압의 변화에 따른 소자의 산화전위-용존산소특성
Fig. 4. OP-DO characteristics of cell with various water flow and negative square wave pulse voltage in liquid

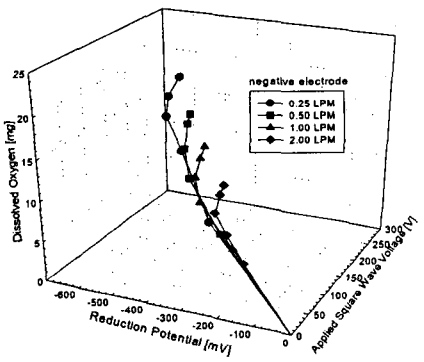


그림 5. 액중에서 유량과 부극성 펄스전압의 변화에 따른 소자의 환원전위-용존산소특성
Fig. 5. RP-DO characteristics of cell with various water flow and negative square wave pulse voltage in liquid

길어져서 액중 이온들이 양쪽으로 분리 대향된 전극으로 용이하게 분리 집속되기 때문이다. 그리고 이온교환수 발생장치 내에 펄스전압을 인가함으로써 빠른 상승시간을 갖는 간헐적인 펄스열로써 전류는 펄스지속시간 동안의 짧은 순간만 인가되어 소비전력을 순수 직류전원에 비해 줄일 수 있는 장점이 있다. 즉 순수 직류전원과 비교할 경우 동일 소비전력에서 펄스전원의 인가전압이 펄스의 시비율에 반비례하여 증가함으로 순수 직류에 비하여 같은 소비전력으로 더 높은 전압을 인가 할 수 있게 된다.

그리고 이온교환수 발생장치에 정극성 펄스전압을 인가한 경우 인입된 액체의 유량이 2.00~0.25[LPM] 느려질수록 이온교환수 발생장치 내의 단면적을 통과하는 시간이 길어지고 사선빗살형 전극에 의한 불평등전계가 발생하여 액중 이온들이 각각의 대향된 전극으로 용이하게 분리 집속되었다. 즉 인입된 유량이 2.00[LPM]이고 펄스전압을 240[V] 인가 시 455, -490[mV]의 산화환원전위 변화에서 11.0, 6.3[mg]의 용존산소를 발생시켰으며, 인입된 액체의 유량이 0.25[LPM]에서 240[V] 인가 시

615, -610[mV]의 산화환원전위 변화에서 20.0, 19.7[mg]의 용존산소를 발생시켰다.

그림 4와 5는 이온교환수 발생장치 내에 전기 비저항 값이 약 7[kΩ]이고 pH가 약 7.0인 액체를 0.25~2.00[LPM]의 유량으로 가변해서 인입하고 부극성 펄스전압을 ton=50.0[ms], toff=1.0[ms]로 이온교환수 발생장치의 사선빗살형을 가지는 전극에 인가하였을 때의 인가 펄스전압에 따른 산화환원전위 변화 및 용존산소농도 특성을 나타낸 것이다. 이온교환수 발생장치 내의 사선빗살형 전극에 부극성 펄스전압을 인가한 경우 인입된 액체의 유량이 2.00~0.25[LPM] 느려질수록 산화환원전위 변화 및 용존산소농도는 증가하는 것을 나타내었다. 인입된 유량이 2.00[LPM]이고 인가된 구형파 펄스전압이 240[V]인 경우 455, -440[mV]의 산화환원전위에서 9.4, 5.0[mg]의 용존산소를 발생시켰으며, 유량이 0.25[LPM]에서 240[V] 인가 시 590, -578[mV]의 산화환원전위에서 18.7, 18.4[mg]의 용존산소를 발생시켰다. 이는 동일 펄스전압을 사선빗살형 전극에 인가한 경우 인입된 유량이 0.25[LPM]으로 감소할수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 정극성 펄스전압을 인가한 경우가 부극성 펄스전압을 인가한 경우에 비해서 높은 산화환원전위 변화와 용존산소농도를 나타내었다.

그림 6과 7은 이온교환수 발생장치 내에 전기 비저항 값이 약 5[Ω]인 염수를 0.25~2.00[LPM]의 유량으로 가변해서 인입하고 정극성 펄스전압을 ton=50.0[ms], toff=1.0[ms]로 이온교환수 발생장치의 사선빗살형 전극에 인가하였을 때의 인가 펄스전압에 따른 산화환원전위 변화 및 용존산소농도 특성을 나타낸 것이다. 이온교환수 발생장치에 정극성 펄스전압을 인가한 경우 인입된 염소용해 액체의 유량이 2.00~0.25[LPM] 느려질수록 이온교환수 발생장치의 단면적을 통과하는 시간이 길어지고 사선빗살형 전극에 의한 불평등전계가 발생하여 액중 이온들이 각각의 대향된 전극으로 용이하게 분리 집속되었다. 인입된 액체가 이온교환수 발생장치의 단면적을 통과하는 시간이 길어질수록 액중 이온들의 양이 증가하고 전기전도도가 증가하여 저전력에서 높은 산화환원전위 변화 및 고농도의 용존산소를 발생시켰다.

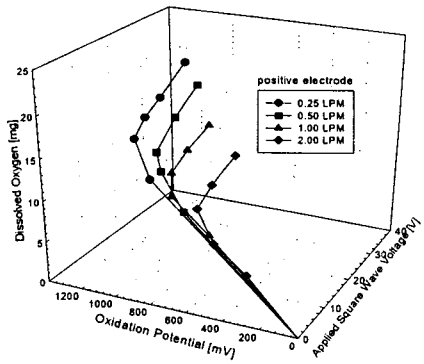


그림 6. 염수에서 유량과 정극성 펄스전압의 변화에 따른 소자의 산화전위-용존산소특성

Fig. 6. OP-DO characteristics of cell with various water flow and positive square wave pulse voltage in NaCl dissolved liquid

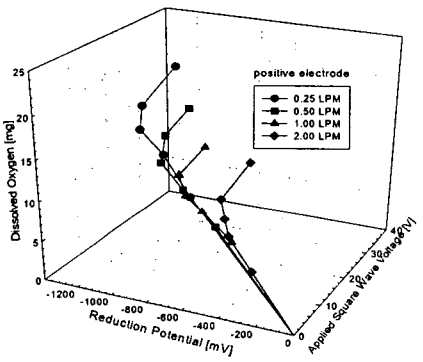


그림 7. 염수에서 유량과 정극성 펄스전압의 변화에 따른 소자의 환원전위-용존산소특성

Fig. 7. RP-DO characteristics of cell with various water flow and positive square wave pulse voltage in NaCl dissolved liquid

액중 이온교환수 발생장치 공간 내에서의 액중 이온의 이동속도는 이온들의 액중에서의 역학 방정식인 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, 이 방정식으로 액중 이온들의 이동속도(migration velocity, ω)는 식 (2)와 같이 나타내어진다.

$$m\frac{d\omega}{dt} = qE - 6\pi\eta a\omega \tag{1}$$

$$\omega = \frac{qE}{6\pi\eta a}(1 - e^{-(6\pi\eta a/m)t}) \tag{2}$$

여기서 m은 입자질량, q는 전하량, η는 물의 점성계수, a는 입자반경, λ는 이동도, E는 인가 전계이다. 액중 이온들의 이동속도에서 입자경이 1.0[μm] 이하가 되면 $(1-e^{-(6\pi\eta a/m)t})$항은 무시되고 보정계수(Cunningham correction factor, Cm) 식 (3)을 적용하면 식(4)와 같이 간략화 할 수 있다.

$$Cm = 1 + 2.514\frac{\lambda}{2a} + 0.80\frac{\lambda}{2a}\exp(-0.55\frac{2a}{\lambda}) \quad (3)$$

$$\omega = \frac{CmqE}{6\pi\eta a}\ [\mathrm{m/s}] \quad (4)$$

액중 이온교환수 발생장치 내의 대향전극 간격이 양 · 음이온교환격막을 중심으로 각각 1.0[mmd]이고 인가 펄스전압이 100[V]일 때 식(4)를 이용하여 계산하면 액중 이온들의 이동속도는 Na^+의 경우 8.0×10^{-3}[m/s]이고 Cl^-의 경우는 3.4×10^{-3}[m/s]의 속도로 이동하여 대향전극으로 분리집속하게 된다. 그리고 인입된 유량이 2.00[LPM]이고 펄스전압을 35[V] 인가 시 900, -780[mV]의 산화환원전위에서 8.2, 7.8[mg]의 용존산소를 발생시켰으며, 유량이 0.25[LPM]에서 35[V] 인가 시 1,210, -1,247[mV]의 산화환원전위 변화에서 19.5, 19.0[mg]의 용존산소를 발생시켰다.

그림 8과 9는 이온교환수 발생장치 내에 전기 비저항 값이 약 5[Ω]인 염수를 0.25~2.00[LPM]의 유량으로 가변해서 인입하고 부극성 펄스전압을 t_{on}=50.0[ms], t_{off}=1.0[ms]로 이온교환수 발생장치의 사선빗살형 전극에 인가하였을 때의 인가 펄스전압에 따른 산화환원전위 변화 및 용존산소농도 특성을 나타낸 것이다. 이온교환수 발생장치에 부극성 펄스전압을 인가한 경우 인입된 액체의 유량이 2.00~0.25[LPM] 느려질수록 산화환원전위 변화 및 용존산소농도는 증가하는 것을 나타내었다. 인입된 유량이 2.00[LPM]이고 펄스전압을 35[V] 인가 시 860, -800[mV]의 산화환원전위 변화에서 8.0, 7.0[mg]의 용존산소를 발생시켰으며, 유량이 0.25[LPM]에서 35[V] 인가 시 1190, -1100[mV]의 산화환원전위 변화에서 18.5, 18.0[mg]의 용존산소를 발생시켰다. 그리고 이온교환수 발생장치에 동일한 펄스전압 인가 시 사선빗살형 전극에 정극성 펄스전압을 인가한 경우가 부극성 펄스전압을 인가한 경우에 비해서 액체의 전기 비저항 값이 약 7[kΩ]과 5[Ω]에서 모두 높은 산화환원전위 변화에서 고농도의 용존산소량을 나타내었으며, 발생된 용존산소는 액중에서 pH변화와 O, O_3, H_2O_2, HOCl등을 추가로 생성시킴으로써 고효율의 이온교환수를 발생시킬 수 있었다.

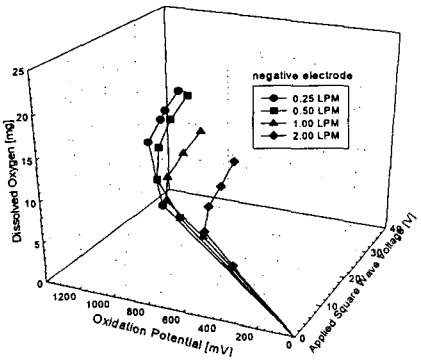


그림 8. 염수에서 유량과 부극성 펄스전압의 변화에 따른 소자의 산화전위-용존산소특성

Fig. 8. OP-DO characteristics of cell with various water flow and negative square wave pulse voltage in NaCl dissolved liquid

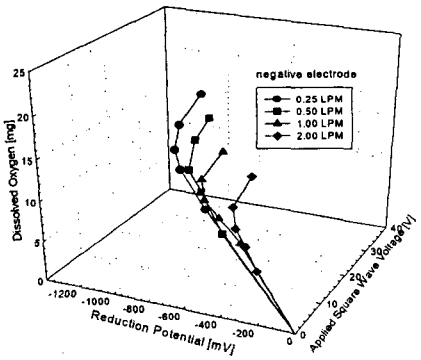


그림 9. 염수에서 유량과 부극성 펄스전압의 변화에 따른 소자의 환원전위-용존산소특성

Fig. 9. RP-DO characteristics of cell with various water flow and negative square wave pulse voltage in NaCl dissolved liquid

4. 결 론

이온교환수 발생장치 내의 양전극측을 사선빗살

형 전극구조로 형성하여 정극성과 부극성 펄스전압을 인가하고, pH가 약 7.0이고 전기 비저항 값이 약 7[kΩ]과 5[Ω]인 액체를 인입수로 사용하여 유량을 0.25~2.00[LPM] 가변하였을 때의 인가된 펄스전압의 극성변화가 산화환원전위 변화 및 용존산소농도에 미치는 특성을 실험적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 사선빗살형 전극을 이온교환수 발생 공간 내에 설정함으로써 사선빗살형 전극부분에서 발생된 불평등전계에 의해 저전력에서 높은 산화환원전위 변화와 고농도의 용존산소를 발생시킬 수 있었다.

(2) 이온교환수 발생장치 내에 pH가 약 7.0이고 전기 비저항 값이 7[kΩ]인 액체를 0.25[LPM]의 유량으로 인입하고 사선빗살형 전극에 정극성 펄스전압을 인가한 경우 동일전압 240[V]에서 615, -610[mV]의 산화환원전위 변화와 20.0, 19.7[mg]의 용존산소를 발생시켰다.

(3) 이온교환수 발생장치 내에 전기 비저항 값이 5[Ω]인 액체를 0.25[LPM]의 유량으로 인입하고 사선빗살형 전극에 정극성 펄스전압을 인가한 경우 동일전압 35[V]에서 1,210, -1,247[mV]의 산화환원전위 변화와 19.5, 19.0[mg]의 용존산소를 발생시켰다.

(4) 사선빗살형 전극에 정극성 펄스전압을 인가한 경우가 부극성 펄스전압을 인가한 경우에 비해서 높은 산화환원전위 변화에서 고농도의 용존산소량을 나타내었으며, 발생된 용존산소는 액중에서 pH변화와 O, O_3, H_2O_2, HOCl등을 추가로 생성시킴으로써 고효율의 이온교환수를 발생시킬 수 있었다.

References

[1] Shimizu, "Inactivation of Virus by High Oxidation Potential Water", The Medical and Test Journal, Vol. 398, No. 28, 1994.

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

[3] Iwasawa, etal, "Inactivation Effects to Micrograms of Aqua Oxidation Water", Clinical diagnosis, Vol. 37, pp.918-919, 1992.

[4] A. Shiba and K. Shiba, "Applications to Dental Remedy of Aqua Oxidation Water", Medical Technology, Vol. 22, pp.693-694, 1994.

[5] Saito, "Disinfection of Medical Tools", Journal of the Tokyo Dentist Association, Vol. 42, pp.25-32, 1994.

[6] Kisida, "Functional Water Technology to Agricultures", New Agriculture and Forest Co. pp.97-99, 1996.

[7] Sanetaka Shirahata, etal, "Electrolyzed-Reduced Water Scavenges Active Oxygen Species and Protects DNA from Oxidative Damage", Biochemical and Biophysical Research Communications, Vol. 234, Issue. 1, pp.269-274, 1997.

[8] Kenji Kikuchi, etal, "Hydrogen particles and Supersaturation in Alkaline Water from an Alkali-Ion-Water Electrolyzer", Journal of Electroanalytical Chemistry, Vol. 506, pp.22-27, 2001.

[9] J. L. Boudenne, O. Cerclier, J. Galea, E. Vander Vlist, Electrochemical oxidation of aqueous phenol at a carbon black slurry electrode, Applied Catalysis A: General Vol. 143, pp.185-202, 1996

[10] Okada, "Great Concerns to Effects of High Oxidation Potential Water", The Medical and Test Journal, Vol. 388, No. 251, 1994.

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

[12] 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.

◇ 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. 현재 상주대학교 전자전기공학부 조교수.

김형표 (金光泰)

1967년 2월 5일생. 1992년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년 보국전기공업(주) 기술연구소. 현재 상주대학교 전자전기공학부 부교수.

박영호 (朴暎昊)

1966년 10월 17일생. 1989년 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 1991년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 2003~2004년 미국 오레곤 주립대학 교환교수. 현재 상주대학교 전자전기공학부 부교수.