

불평등전계에 의한 기포방전이 수소이온농도와 산화환원전위변화에 미치는 영향

(Effects of Bubble Discharge on pH and Oxidation/Reduction Potential Change by Non-Uniform Electric Field)

김진규* · 김광태

(Jin - Gyu Kim · Kwang - Tae Kim)

요 약

본 논문에서는 강한 불평등전계를 형성시킬 수 있는 다선형전극을 강전해수 발생장치내에 설치하여 전계집중효과에 의해 발생하는 기포내의 선행방전의 형태와 기포방전이 수소이온농도와 산화환원전위반응에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 실험결과, 강전해수 발생장치내의 양전극측을 다선형으로 함으로써 양전극측에서 발생하는 기포내에서 비유전율 차이에 의한 기포내의 선행방전을 관찰할 수 있었다. 그리고 기포방전에 의해 발생된 이온들이 강전해수 발생장치내에 용해됨으로써 전해수의 이온농도를 증가시켰다. 이때 발생된 고농도의 이온들을 분리집속시키고 산화환원작용을 크게 증가시켜 고농도의 강전해수를 발생시킬 수 있었다.

Abstract

In this paper, as the new type of multi-lines electrode which can formulate strong non-uniform electric field was installed in strong electrolytic water generator, shapes of pre-discharge in bubble and effects of bubble discharge on pH and oxidation/reduction potential change were intended to investigate. Consequently, as multi-lines electrode was installed in side of anode, pre-discharges generated from anode electrode could be observed. This pre-discharge was generated from differences of permittivities between bubble and water in strong non-uniform electric field. And ion concentration in electrolytic water generator was increased by dissolving of ions generated from bubble discharge. So, as generated high concentration ions were separated and assembled to each electrode and reaction of oxidation/reduction was increased, it was shown that strong electrolytic water could be generated.

Key Words : Bubble Discharge, pH, Oxidation/Reduction Potential, Non-uniform Field

* 주저자 : 상주대학교 전자전기공학부 조교수
Tel : 054-530-5326, Fax : 054-530-5329
E-mail : kjg@sangju.ac.kr
접수일자 : 2003년 4월 29일
1차심사 : 2003년 5월 9일
심사완료 : 2003년 10월 2일

1. 서 론

전해수는 대향전극간에 이온분리격막을 설치하고 전계를 인가하면 수중 이온들이 이온분리격막을 중심으로 쿨롱력에 의해 반대극성을 갖는 대향전극으

불평등전계에 의한 기포방전이 수소이온농도와 산화환원전위변화에 미치는 영향

로 분리집속되는 작용과 양전극과 음전극사이에 발생하는 전기분해작용에 의해서 만들어진다. 강전해수는 인체에 대한 안정성과 잔류독성을 갖지 않는 무공해성의 장점을 가지면서도 매우 뛰어난 살균소독효과와 작물의 생장효과를 가지고 있는 것으로 알려져 있다[1-3]. 양전극측에서 발생하는 강산성 전해수의 경우 의료기구용 살균소독수[4,5] 및 작물의 병해방지[6] 등에 적용되고 있고, 음전극측에서 발생하는 강알칼리성 전해수의 경우 종자의 발아촉진,[7] 작물의 생장효과,[8] 단백질이나 지방 용해성이 뛰어난 강한 세정효과 등 매우 다양하고 광범위하게 적용할 수 있기 때문에 학문적 및 기술적으로 큰 관심을 불러일으키고 있다[9-11].

종래의 전해수 발생장치는 전해조내에 평등전계형 전극과 맥류전압을 사용하였기 때문에 이온분리집속능력 향상을 위한 인가전압의 상승으로 전극수명 단축을 초래하는 등의 문제점과 동일 전압하에서 전계를 상승시키기 위하여 좁은 전극간격을 설정하게 되어 수중 이온의 분리집속효율이 높지 못한 단점이 있었다.

본 논문은 종래의 전해수 발생장치의 단점을 보완하고 고 효율화하기 위한 실험결과이다. 인입 원료수는 수도수와 수중 이온농도 증가를 위한 염화나트륨이 용해된 수도수를 적용하였다. 수중 이온을 효율적으로 분리집속하기 위하여 강전해수 발생장치내의 양전극측을 다선형전극(multi-lines electrode)으로 형성함으로써 강한 불평등전계를 형성시켰다. 이때 대향전극사이에서 전기분해현상에 의해 산소와 수소기포들이 발생하게 되고 인가된 전계의 세기가 물과 발생된 기포의 비유전을 차이로 인한 기포내에 기체방전(bubble theory)[12]이 먼저 유발되어서 수중 전기분해작용을 크게 증가시킨다. 또한, 분리집속이 가능한 이온들의 숫자가 급격히 증가하게 되어 수중에 자연적으로 존재하는 이온과 기포방전에 의해 발생된 이온들이 합해짐으로써 이를 전해작용에 중첩시켜 더욱 고효율의 강전해수 발생을 실현시킬 수 있게 하고, 이와 같은 현상이 산화환원전위와 수소이온농도변화에 미치는 영향을 실험적으로 조사 검토하였다.

2. 실험방법 및 장치

그림 1은 본 실험에 사용된 수중 강전해수 발생장치의 실험장치 개략도이다. 인입수는 수도수 공급장

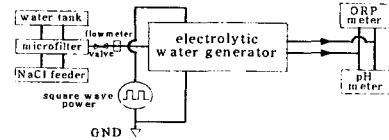


그림 1. 실험장치 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup

치와 여과장치를 거쳐서 강전해수 발생장치 중의 전해 및 이온분리공간으로 주입된다. 이때 인입수 중의 이온들은 다선형 평행평판전극(SUS306, 0.2[mm], 150×50[mm²])간에 설치된 이온분리격막(0.0001 μ m)의 양측으로 분리집속되어 배출된다. 이온분리격막과 양쪽 대향전극간의 거리는 전력손실, 산소와 수소기포의 발생문제 그리고 기포방전에 의한 전극손상 문제를 가장 효율적으로 해결할 수 있는 최소 이격거리인 1.5[mm]로 고정 설치하였다. 본 실험에 인가된 전압은 구형파펄스(square wave pulse)로서, 펄스지속시간(pulse on-time, t_{on})을 100.0[ms], 휴지시간(pulse off-time, t_{off})은 1.0[ms]로 고정하여 실험하였다. 공급수의 온도는 11±2[$^{\circ}$ C]이며, 이온분리 공간내에서의 공급수의 유속을 상용화가 가능한 0.25~1.00[LPM]으로 고정하여 실험하였다. 발생된 수중 이온농도와 산화환원전위는 디지털 pH메타(pH and ORP Meter InoLab Level 3, Germany)로서 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 불평등전계에 의한 방전특성

그림 2는 강전해수 발생장치에 수도수를 0.25~1.00[LPM]의 유속으로 가변해서 인입하고 인가된 구형파 펄스전압의 휴지시간을 1.0[ms], 지속시간을 100.0[ms] 그리고 전해조내의 대향전극간의 간격을 전력손실, 산소와 수소기포 발생 그리고 기포방전에

의한 전극간 손실을 최소화 할 수 있는 거리인 1.5 [mm]로 고정하였을 때의 전압-전류특성을 나타낸 것이다. 전기전도도($1/\Delta R = \Delta I/\Delta V$)를 나타내는 전압 상승분 ΔV 에 대한 전류 상승분 ΔI , 즉, 기울기 ($\text{slope} = \Delta I/\Delta V$)는 전압이 약 25 [V]까지는 $\Delta I/\Delta$

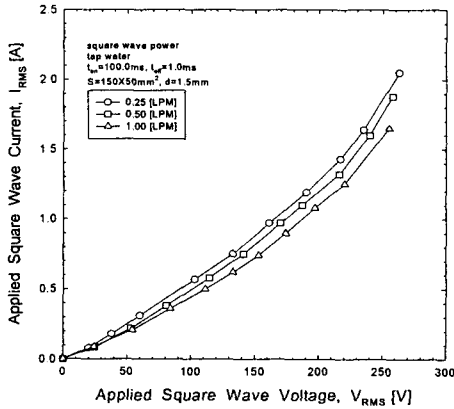


그림 2. 수도수에서 유속변화에 따른 소자의 전류-전압 특성

Fig. 2. I-V characteristics of cell with various water flow rate in tap water

$V=0.04A/10V$ 정도로 일정하다. 그러나 30[V]에서 기울기가 변곡하기 시작하였고 이 이상의 전압에서는 $\Delta I/\Delta V=0.14A/10V$ 로 크게 증가하여 변곡하는 것을 보여준다. 또한 인입수의 유속이 각각 1.00, 0.50, 0.25[LPM]로 느려짐에 따라 인가전압(100V)이 동일함에도 불구하고 1.60, 1.75, 1.85[A]로 증가됨을 보여준다. 이는 인입수의 유속이 느려질수록 동일전압에서 가장 높은 전류치를 나타내며 효율적인 강전해수 발생장치의 가능성을 보여준다.

그림 3은 강전해수 발생장치에 인입수를 수중 이온농도 증가를 위한 염화나트륨이 0.1[wt%] 용해된 수도수를 인입하였을 때의 전압-전류특성을 나타낸 것이다. 전기전도도는 약 8[V]까지는 $\Delta I/\Delta V=0.40A/10V$ 로 일정하다. 그러나 곡선의 기울기가 약 10[V] 부근에서 변곡하기 시작하였고 이 이상의 전압에서는 인입수의 유속이 0.25[LPM]일 경우 $\Delta I/\Delta V=1.80A/10V$ 로 크게 증가하여 변곡하는 것을 보여준다. 염화나트륨 용해수를 인입한 경우 수중 이온의 증가뿐만 아니라 전기전도도를 크게 상승시켜 전체적으

로 약 7~8배 정도 증가하는 것을 보여준다. 그리고 전압-전류특성이 비직선적인 것은 인가 펄스전압의 증가에 따라 추가의 하전체가 수중에서 생성됨을 나타내며, 비유전율 차이에 의한 기포내의 선행방전을 저전압에서 용이하게 발생시킬 수 있음을 보여준다.

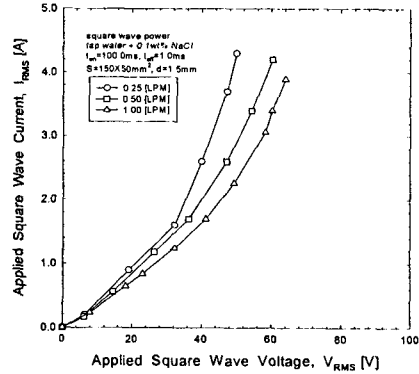


그림 3. 염화나트륨 용해수에서 유속변화에 따른 소자의 전류-전압 특성

Fig. 3. I-V characteristics of cell with various water flow rate in NaCl dissolved tap water

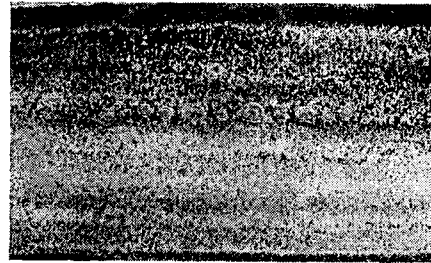


그림 4. 수중 기포방전 흔적사진

Fig. 4. Photographs of bubble discharge on the electrode surface in water

그림 4는 강전해수 발생장치내의 다선형전극 구조로 형성된 양전극측에서 발생한 산소기포내의 선행기포방전흔적 사진이다. 물의 전기분해 시에 발생되는 산소와 수소기체는 일부가 수중에 용해되기도 하지만 발생된 기포의 대부분은 기포상태로 수면 상으로 1.5~4.0[cm/sec]의 속도로 수직 상승한다. 대향전극의 양전극측에서 발생한 산소기포의 크기는 약 1.0[mmφ] 정도의 크기이며, 기포방전흔적이 큰 것은 기포방울이 상승하면서 결합되어 방전이 형성된

불평등전계에 의한 기포방전이 수소이온농도와 산화환원전위변화에 미치는 영향

것이다. 전해조내에 형성된 다선형전극과 평판전극 간에는 전기분해 시 산소와 수소기포들이 발생되며 이러한 기포들은 인가된 전계가 물의 비유전율이 $\epsilon_w \approx 80$ 이고 공기의 비유전율이 $\epsilon_a \approx 1$ 인 이유로 유전상수가 적은 기포내에서의 전계가 물에 인가되는 전계의 약 80배만큼 커져서 기포내에 기체방전이 먼저 발생되어, [12] 이로 인해 수중에 다량의 이온들이 존재하게 되어 산화환원전위 및 수소이온농도변화에 영향을 미치게 된다.

3.2 수소이온농도와 산화환원전위특성

그림 5는 강전해수 발생장치내에 인입수로 수도수를 인입하였을 때 양전극측의 유속변화에 따른 수소이온농도와 산화환원전위-전압특성을 나타낸 것이다. 강전해수 발생장치내에 인가된 평균펄스전압이 높아질수록 출력 수소이온농도는 급속히 감소하여 포화하고 산화전위는 급격히 증가하여 포화하는 것으로 나타났다. 전해조내의 양전극측인 다선형 평행평판전극에서는 다침전극의 역할과 같은 강한 불평등전계 부분이 다량으로 발생되어 전계분포 집중효과와 전기분해시 발생된 기포들에 의한 기포방전이 유발되어 전기분해작용을 크게 증가시켰다.

그림 6은 강전해수 발생장치내의 음전극측의 유속변화에 따른 수소이온농도와 산화환원전위-전압특성을 나타낸 것이다. 강전해수 발생장치내에 인가된 평균펄스전압이 높아질수록 출력 수소이온농도는 급속히 증가하여 포화하고 환원전위는 급격히 감소하여 포화하는 것으로 나타났다. 다선형전극 구조의 경우 인가전압, 전류가 높아짐에 따라 방전이 크게 발생하게 되며, 날카롭게 대향된 다선부분에서 다량의 불평등 전계부분이 발생되고 이러한 다선형 평행평판전극측의 면에서 전기분해에 의해 생성된 기포속에서는 강력한 전계에 의해 방전이 일어나서 기포가 분열하게 된다. 이는 다선형으로 형성된 전극면들에 의해 수중 방전이 원활하게 발생되기 때문이다. 또한 물의 비유전율이 $\epsilon_w \approx 80$ 이고 공기의 비유전율이 $\epsilon_a \approx 1$ 인 이유로 비유전율이 80배 작은 기포내에서의 전계가 물에서의 경우보다 약 80배 커져서 기포내의 기체방전이 먼저 형성되고 이때 발생하는 열에 의하여 고온으로 되어 파열과 생성을 반복

하면서 기포방전을 유도하게 되어 산화환원전위와 수소이온농도변화에 영향을 미치게 된다.

그림 7은 강전해수 발생장치내에 인입수로 염화나트륨 용해수를 인입하였을 때 양전극측의 유속변화

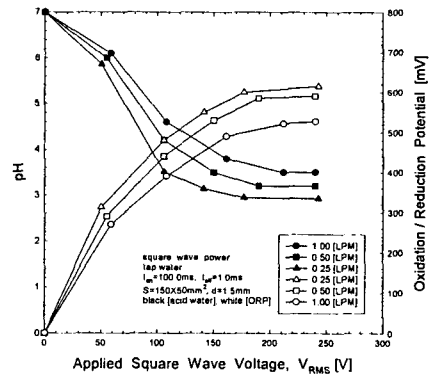


그림 5. 수도수에서 양전극측의 유속변화에 따른 소자의 수소이온농도와 산화환원전위-전압특성
Fig. 5. pH and ORP-V characteristics of cell with various water flow rate of positive electrode side in tap water

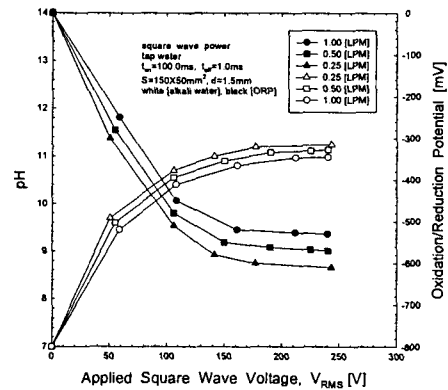


그림 6. 수도수에서 음전극측의 유속변화에 따른 소자의 수소이온농도와 산화환원전위-전압특성
Fig. 6. pH and ORP-V characteristics of cell with various water flow rate of negative electrode side in tap water

에 따른 수소이온농도와 산화환원전위-전압특성을 나타낸 것이다. 인가된 평균펄스전압이 높아질수록 출력 수소이온농도는 급속히 감소하여 포화하고 산화전위는 급격히 증가하여 포화하는 것을 나타내었

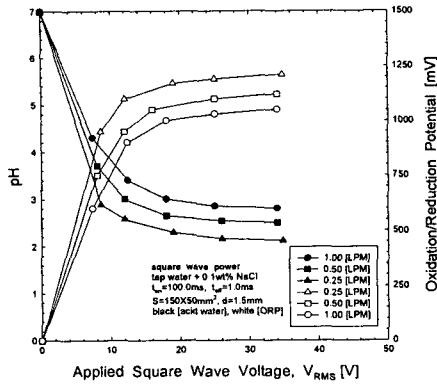


그림 7. 염화나트륨 용해수에서 양전극측의 유속변화에 따른 소자의 수소이온농도, 산화환원전위-전압특성
 Fig. 7. pH, ORP-V characteristics of cell with various water flow rate of positive electrode side in NaCl dissolved tap water

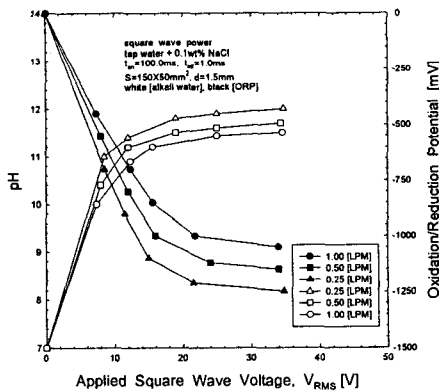


그림 8. 염화나트륨 용해수에서 음전극측의 유속변화에 따른 소자의 수소이온농도, 산화환원전위-전압특성
 Fig. 8. pH, ORP-V characteristics of cell with various water flow rate of negative electrode side in NaCl dissolved tap water

다. 이와 같이 염화나트륨 용해수를 인입수로 사용하는 경우 인입수중의 이온농도가 근원적으로 크게 증가하기 때문에 수도수에 비해 매우 낮은 펄스전압에서 높은 수소이온농도와 산화환원전위변화를 나타내었다. 평균펄스전압이 35.0[V]이고 인입수의 유속이 0.25[LPM] 경우 pH 12.12의 강산성수와 1,210 [mV]의 산화전위를 나타내었다.

그림 8은 염화나트륨 용해수를 인입수로 사용한

경우의 강전해수 발생장치내의 음전극측의 유속변화에 따른 수소이온농도와 산화환원전위-전압특성을 나타낸 것이다. 평균펄스전압이 35.0 [V]이고 인입수의 유속이 0.25 [LPM] 경우 pH 12.01의 강알칼리수와 -1,247 [mV]의 환원전위를 나타내었다.

4. 결론

종래형의 전해수 발생장치의 평행평판전극의 양전극측을 다선형전극 구조로 형성하여 구형과 펄스전압을 인가하고, 수도수 및 염화나트륨이 0.1 [wt%] 용해된 수도수를 인입수로 사용하고 유속을 가변하였을 때의 인가된 구형과 펄스전압변화에 따른 수중 이온분리집속특성과 산화환원전위변화특성을 실험적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 다선형전극을 전해공간내에 설정함으로써 다선 부분에서 발생된 산소기포 중에 기포방전을 유발시켜 전해작용에 추가 중첩 발생시킴으로서 산화환원전위와 수중 이온농도를 증가시킬 수 있었다.
- (2) 전해조내에 수도수를 0.25[LPM]의 유속으로 인입한 경우 pH 2.93, 11.25의 강전해수를 얻었으며, 염화나트륨 0.1[wt%] 용해된 수도수의 경우 pH 2.12, 12.01의 강전해수를 발생시켰다.
- (3) 전해조내에 수도수를 0.25[LPM]의 유속으로 인입한 경우 산화전위 615[mV]와 환원전위 -610 [mV]의 변화를 나타내었고, 염화나트륨 0.1 [wt%] 용해된 수도수의 경우 산화전위 1,210 [mV]와 환원전위 -1,247[mV]의 변화를 나타내었다.

References

- (1) Abe, etal, "Inactivation Effects of Oxidation Potential Water to HB Virus", Journal of Dental Prevention, Vol. 37, No. 33, 1994.
- (2) Shimizu, "Inactivation of Virus by High Oxidation Potential Water", The Medical and Test Journal, Vol. 398, No. 28, 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] 日本 BW 技術資料 T-3.
- [8] 日本 BW 技術資料 T-2.
- [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] Iwasawa, etal, "What is the Aqua Oxidation Water?", Expert Nurse, Vol. 10 pp.40-45, 1994.
- [12] A. H. Sharbaugh, J. C. davins and S. J. Rzađ, "Progress in the Field of Electric Breakdown in Dielectric Liquids", IEEE Insulation, E-13, No. 4, pp.249-276, 1978.

◇저자소개◇

김진규 (金振圭)

1967년 2월 24일생. 1990년 경일대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사), 2000년 경북대학교 전자전기공학부 BK21조교수, 현재 상주대학교 전자전기공학부 조교수.

김광태 (金光泰)

1985년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 1987년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1998년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사), 1989년 1월~1993년 2월 국방과학연구소 연구원. 1994년 3월~현재 상주대학교 전자전기공학부 부교수.