

A High Efficiency Electrolytic Cell by Superposing Pulsed Corona Discharge in Water

李在容* · 金振圭** · 鄭成珍*** · 朴勝祿**** · 文在德[§]

(Jae-Yong Lee · Jin-Gyu Kim · Sung-Jin Jung · Seung-Lok Park · Jae-Duk Moon)

Abstract - A conventional electrolyzing cell has been made by an ion exchange membrane inbetween parallel plate electrodes. A low dc voltage is applied to the electrodes for electrolyzing and the efficiency is remained in low. In this study, a novel electrolyzing cell with a pair of slit-type third electrodes installed inbetween parallel plate electrodes has been proposed and investigated experimentally. And pulse power wa supplied to between each electrodes. This slit type of third electrodes can concentrate the strong electric fields at the every its edges to accelerate the electrolyzing powers, and to generate oxygen bubble discharges for generating oxidants. And moreover the slits eliminate the space charge limiting action and the temprature of the water by leaking out through the slits from electrolyzing region to outside of the main electrode region. As a result, it was found that a strong electrolyzed water of pH 2.8 and pH 10.5 and oxidants dissolved water of 1 [ppm] in acidic water were obtained with a tap water fed at the electric current of 2 [A], which however were several times higher oxidant and ion concentration quantity compared with the conventional cell.

key words : electrolyzed water, slit electrode, oxidant and ion concentration, pH, pulsed corona discharge, space charge limiting effect

1. 서 론

수중 평판전극계에 의해 만들어지는 고농도 산성수(acidic water)는 현존 소독수의 20배의 살균력을 가지고 있어서 10초 이내에 바이러스나 미생물을 99%이상 살균시키는 것으로 알려진 이후, 에이즈균(HIV virus)의 각종 병원균 및 포자류의 살균,[1~4] 작물의 병해방지[5] 등에 적용되고 있다. 그래서 최근 강전해수장치 개발과 응용에 많은 연구가 수행되고 있다.[1~5]

한편, 종래의 전해수 발생장치[5]는 이온분리막의 양측에 평행평판전극이 좁은간격 1~3 [mm]으로 대향설치하여 직류전압을 인가하는 방식이 적용되고 있으나 소비전력과 전기분해에서 비효율적이다.[5] 즉, Faraday석출법칙에서와 같이 석출량 Q는 인가전류 I에만 의존하므로 가능하면 인가 펄스전압 V는 줄이고 I만 크게 한다. 그러나 물의 전기저항 R이 커지면 큰 I를 얻기 위해서는 큰 V가 요구되므로 결국 큰 전력 (P=IV)이 요구되어 석출효율이 낮게 된다. 따라서 큰 평판전극으로 구성하고 전극간격은 줄이게 된다. 이는 좁은 공간내에 전해작용과 이온을 집중시키

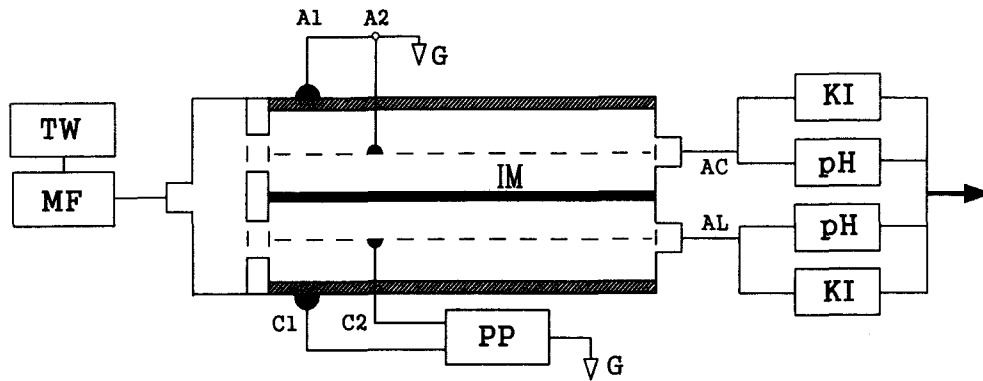
로 고온의 Joule열에 의해 생성된 강산화성물질을 급속히 분해시킬 뿐만 아니라 집중된 밀집이온들에 의한 공간전하 제한작용을 증가하게 하며 결과적으로 전해효율을 저하시키는 결과를 초래하게 한다.

본 연구에서는 종래형의 수중 전해수발생장치의 이온분리막의 양측에 평판형 주전극과 또한 슬릿(流通開部, slit)을 설정한 제3의 한쌍의 대향전극, 즉, 3전극을 설치하여 이들 슬릿을 통하여 좁은 전해공간내의 집중된 고밀도 이온들은 물론 고온의 Joule열이 축적되지 않고 슬릿을 통하여 용이하게 3전극 외측으로 확산시켜 추가의 이온집적이 용이하고 또한 강산화성물질의 열분해가 최소화되도록 하였다. 또 직류전원 대신에 펄스전력을 제어할 수 있는 구형과 펄스전압을 주전극과 3전극에 교번하여 인가함으로써 효과적으로 이온을 가속 포집할수 있게 하였다. 또한, 슬릿 측면에 강한 불평등 전계가 형성되어 산소기포방전(bubble theory)[6~8]을 유발시키고 이를 전해작용에 중첩시켜서 강전해물질을 추가로 생성시킴으로서 더욱 고효율의 강전해수발생을 실현시킬 수 있게 하여 이 결과를 실험을 통하여 검토하고자 하였다.

2. 전해수발생 이론

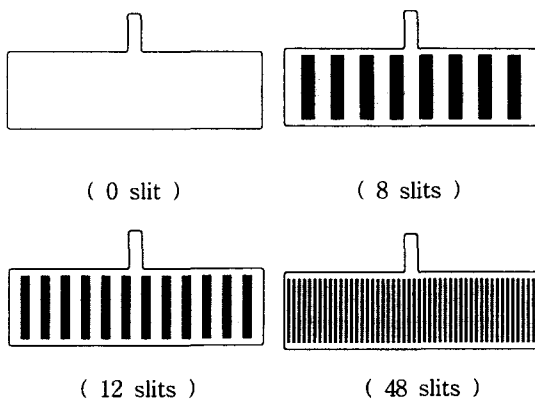
수중의 평판전극간에 전압을 인가하면 식(1), (2)와 같이 물의 전기분해작용이 일어나서, 양극에는 O₂가 그리고 음극에는 H₂가 발생된다. 또한 정전력(Coulomb Force)에 의해 양극에는 인입수중의 음이온(Ca²⁺, SO₃⁻, S²⁻등)이 집중되어 산성수가 되고, 음극에는 인입수중의 양이온(Ca⁺⁺, Fe⁺⁺,

* 正 會 員 : 慶北大學校 大學院 電氣工學科 博士課程
 ** 正 會 員 : 慶北大學校 電子電氣工學部 BK21 助教授 · 工博
 *** 正 會 員 : 慶北大學校 大學院 電氣工學科 博士修了
 **** 正 會 員 : 慶北大學校 大學院 電氣工學科 博士修了
 § 正 會 員 : 慶北大學校 大學院 電氣工學科 教授 · 工博
 接受日字 : 2000年 9月 4日
 最終完了 : 2001年 1月 18日

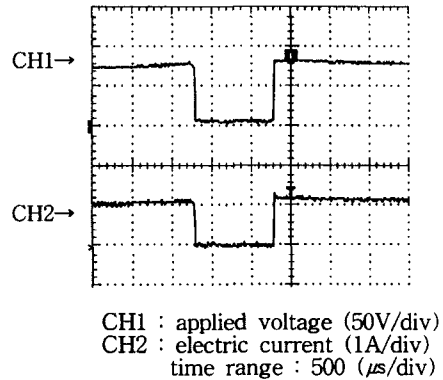


- A1 : main anode
- A2 : 3rd anode
- AC : acid water
- AL : alkali water
- C1 : main cathode
- C2 : 3rd cathode
- KI : KI titration
- PP : pulse power
- TW : tap water tank
- IM : ion membrane
- MF : micro filter
- pH : pH meter
- G : ground

(a) experimental setup and cell configuration



(b) electrode shapes

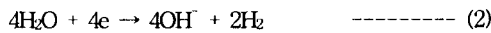
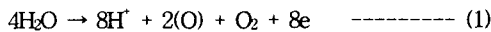


(c) oscillogram of applied pulse forms

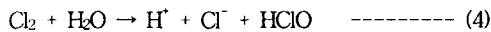
그림 1 실험장치, 펄스파형 및 3전극형 강전해수 발생장치의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup, pulse forms and third electrode shapes and cell configuration

Mg²⁺, Na⁺, 등)이 집속되어 알칼리수가 된다.[11, 12]

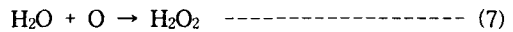
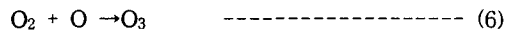
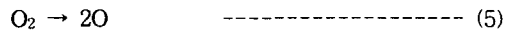


인입수중에 염소가 존재하게 되면, 양극측에는 식(3)과 식(4)와 같은 반응을 유발하게 되어 강력한 살균력을 갖는 활성염소(HClO)가 생성되어 양극측 수중에 용존하게 된다.[11]



한편, 슬릿 가장자리와 같이 날카로운 전극에는 강한 전계가 형성되면 식(1)과 같이 생산소기포내에 코로나방전이 발생[11~13]되어 식(5)와 같은 반응이 일어남은 물론 양극측에서는 식(6), (7)과 같이 강산화성물질이 용이하게 축진

생성될 수 있게 되고, 음극에서는 식 (2), (4)와 같은 반응이 더욱 용이하게 일어날 수 있게 된다.



본 연구에서는 이와같은 강전해수가 효과적으로 생성될 수 있는지의 가능성을 확인하기 위해 이하의 구체적인 실험을 수행하였다.

3. 본 론

3.1 실험방법 및 장치

그림 1(a)는 본 연구에 사용된 3전극형 강전해수 발생장

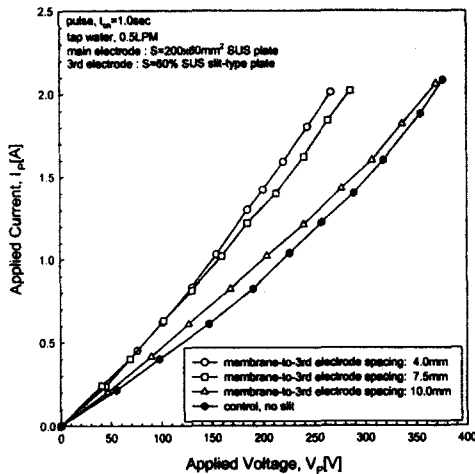


그림 2 3전극 간격변화에 따른 전해조의 I_p - V_p 특성
Fig. 2 I_p - V_p characteristics of cell for various third electrode spacings

치의 실험장치 개략도로서, 강전해수 발생용 전해조, 인가 주전극인 펄스전원, 인입수 공급장치, 그리고 출력수중의 pH와 강산화성물질 농도측정장치로 구성되어 있다. 전해조는 종래의 평판전극간에 그림 1(b)과 같이 가장자리에서 전계가 집중될 수 있고 수류도 용이하게 통과할 수 있는 적정한 구멍(流通開口, slit)이 형성된 평판전극을 전해공간중에 설정시킴으로써 슬릿 측면에서 발생된 산소기포중에 펄스코로나 방전(pulsed corona discharge)을 유발시켜 전해작용에 추가로 중첩발생할 수 있고 수중의 공간전하를 제어할 수 있는 제3의 제어전극 즉, 3전극을 형성한 전해조를 제안하여 실험하였다. 그리고 전원은 그림 1(c)와 같은 구형파 펄스전압(square wave pulse voltage)으로 시비율(duty ratio, $t_{on}/(t_{on}+t_{off})$) 즉, 펄스지속시간(pulse on-time, t_{on})과 휴지시간(pulse off-time, t_{off})의 비를 적절히 조절할 수 있게 하였으며, 이 펄스전압을 3전극(3rd electrode, SUS 316, 0.2 [mmt], 200×60 [mm²])과 주전극(main electrode, SUS 316, 0.2 [mmt], 200×60 [mm²]) 쌍(A1과 C1, A2와 C2)에 전자회로적으로 교번하여 인가하였다. 이온분리막과 3전극간의 거리는 4.0, 7.5 10.0 [mm]로 가변하면서 실험하였으며, 이온분리막에서 주전극간의 거리는 15 [mm]로 고정하여 실험하였다. 또한 그림 1(b)와 같이 3전극의 슬릿의 면적은 총전극면적의 40 [%], 유효 전극면적(S) = 60 [%]로 고정하고 유효전극과 슬릿의 폭과 길이는 동일하게 설정하고 3전극의 슬릿개수를 8, 12, 16, 48개로 가변하면서 이들이 수중 이온분리집속과 전해수 발생특성에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였으며, 3전극의 설정없는 평행평판전극만을 사용한 대조구(control)와 비교하였다. 전원장치로는 주전원용의 직류전원($V_0=0\sim 400V$, $I_0=0\sim 7A$, variable)과 3전극용으로는 펄스 주파수와 펄스 시비율(duty ratio)이 조절되는 펄스전원($V_p=0\sim 400V$, $I_p=0\sim 7A$, $t_{on}(t_{off})=0\sim 20sec$, variable)을 사용하였다. 강전해수 발생장치 내에서의 인입수는 수도수를 여과장치를 거쳐서 전해조내로 0.5 [LPM]의 고정 유량으로 인입하였다. 발생된 전해수의 pH는 디지털 pH측정기(pH meter, HM-40V, PST-5421C, TOA Electronics Ltd.,

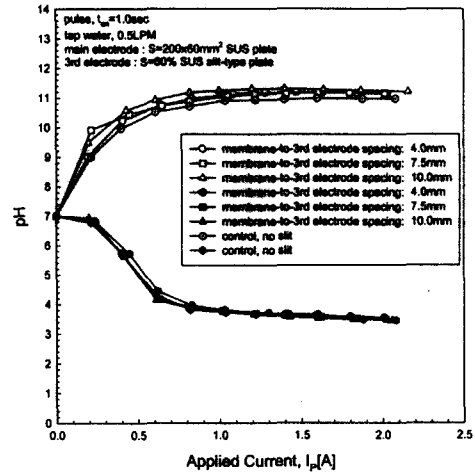


그림 3 3전극 간격변화에 따른 전해조의 pH- I_p 특성
Fig. 3 pH- I_p characteristics of cell for various third electrode spacings

Japan)로서 측정하였고, 강산화성물질의 농도는 KI 적정법(KI titration)[10]을 사용하여 측정하였다.

3.2. 실험결과 및 고찰

그림 2는 t_{on} 을 1.0 [sec], t_{off} 를 2 [msec]로 고정해 둔 상태에서 주전극은 이온분리막으로부터 15 [mm]거리에 설정하고, 8개의 슬릿이 형성되어있는 3전극을 이온분리막으로부터 4.0, 7.5, 10.0 [mm]의 위치변화에 따른 I_p - V_p 특성을 나타낸 것이다. 10.0, 7.5, 4.0 [mm]순으로 3전극을 이온분리막에 가까이 설정할수록 동일전압에서의 전류증가분 즉, 기울기(slope)가 대조구인 5.5 [$\mu A/V$]에 비해 각각 5.7, 7.0, 7.6 [$\mu A/V$]로 크게 증가함을 보여준다. 한편, 그림 2에서의 I_p - V_p 특성이 비직선적(nonohmic)인 것은 인가 펄스전압의 증가에 따라 추가의 하전체가 수중에서 생성됨을 나타내며, 이는 전술한 기포방전이론(bubble theory)[6~8]에서 확인되고 있는 펄스 코로나방전(pulsed corona discharge)에 의한 것이라고 판단된다.[6]

그림 3은 3전극을 이온분리막으로부터 10.0, 7.5, 4.0 [mm]에 가변하였을 때 8개 슬릿의 3전극의 위치변화에 따른 인가전류와 출력 pH특성을 나타낸 것이다. 산성수는 3전극의 위치변화에 따라 작은 차이를 나타내나, 알칼리수의 경우 대조구에 비해 pH 10.5에서 pH 11.0로 증가하는 것을 보여 주며, 알칼리수의 경우 전류증가분이 큰 4.0 [mm] 간격쪽보다 7.5 [mm] 간격쪽의 pH 증가분이 큰 것은 4.0 [mm] 전해간격중의 인입수량이 7.5 [mm] 전해간격중의 인입수량에 비해 약 4.0/7.5로 작기 때문에 수중에 용존이온량도 작아지기 때문에 나타난 결과로서 사료된다. 그러나, 이는 3전극의 설정없는 평행평판전극만을 사용한 대조구의 경우보다는 높은 특성을 나타내었는데 이는 뒤에서 언급하는 3전극의 효과에 의한 것으로 사료된다.

그림 4는 인가 펄스전압의 증가에 따른 출력 pH특성을 8개 슬릿의 3전극의 위치변화에 나타낸 것이다. 인가 펄스전압이 낮은 때에 특히 큰 pH차이를 보여주며, 수도수의 경우

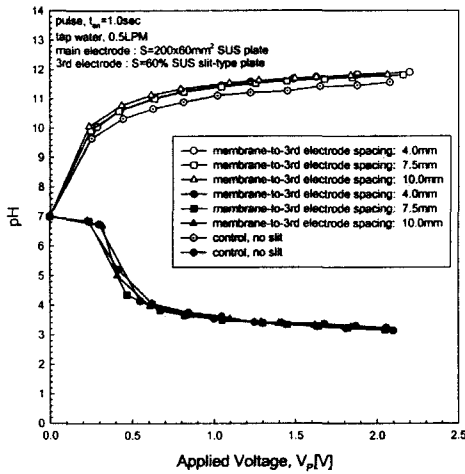


그림 4 3전극 간격변화에 따른 전해조의 pH-V_p특성
Fig. 4 pH-V_p characteristics of cell for various third electrode spacings

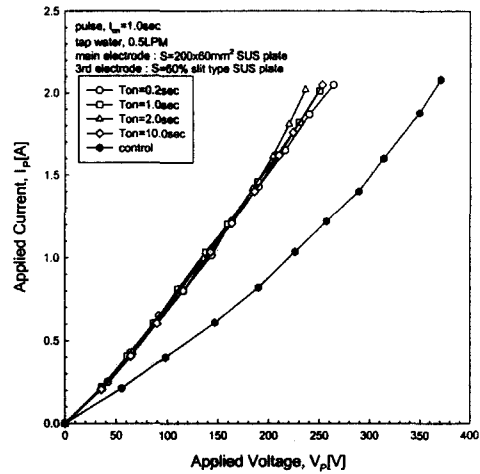


그림 5 펄스 지속 시간변화에 따른 전해조의 I_p-V_p특성
Fig. 5 I_p-V_p characteristics of cell for various t_{on}

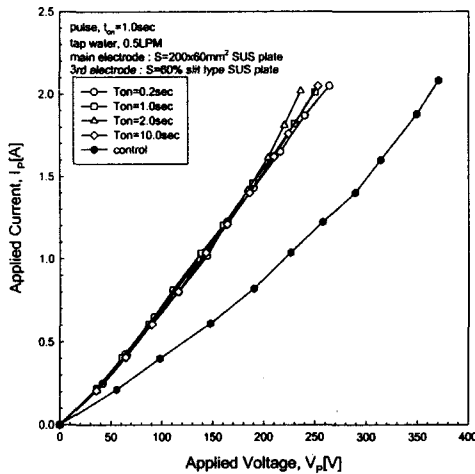


그림 5 펄스 지속 시간변화에 따른 전해조의 I_p-V_p특성
Fig. 5 I_p-V_p characteristics of cell for various t_{on}

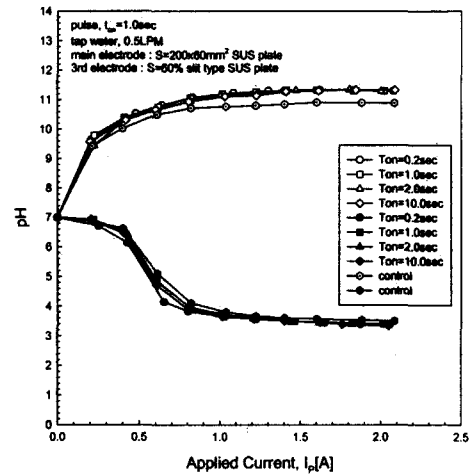


그림 6 펄스 지속 시간변화에 따른 전해조의 pH-I_p특성
Fig. 6 pH-I_p characteristics of cell for various t_{on}

알카리수축의 경우 100 [V]에서 수배정도의 이온농도 차이인 pH 10.0에서 pH 10.6을, 그리고, 산성수축의 경우 수십배의 이온 농도차이인 pH 6.3에서 pH 4.2를 보여준다. 그러나 인가 펄스전압이 높아지면 그 차이는 줄어드는데 이는 인가 펄스전압이 증가하면 대조구쪽도 정전력이 커져서 이온집속 능력도 커지게 될 뿐만아니라 상대적으로 3전극의 작용력도 약해지기 때문인 것으로 판단된다. 염수 경우도 인가 펄스 전압 10 [V]에서 알카리수축과 산성수축 모두 수배 및 수십 배정도의 매우 높은 이온농도특성을 나타내었다.

한편, 수중이온의 경우 전계이동도(electrical mobility)와 열운동속도(thermal velocity)가 물분자에 비해 크지 않기 때문에[9] 정전력에 의해 이동되어 온 이온들은 분리막과 3전극간의 공간전하에 주로 집속되어 존재하게 되고, 이들은 다음에 집속되어 들어오는 동극성 이온들에게 공간전하(space charge)로서 집속억제효과(space charge limit effect)로서 작용하게 된다. 즉, 고농도의 이온수가 얻어지기 어렵

게 작용한다. 본 실험의 경우 3전극에 이온이 용이하게 확산출될 수 있게 한 슬릿을 설정하고 외측 주전극에 전압을 인가시킴으로 전해공간에 밀집집속된 이온들이 용이하게 슬릿을 통해 3전극 외측으로 유출되게 하여 공간전하제한작용을 효과적으로 줄일 수 있게 됨은 물론 3전극의 슬릿측면에서 강한 불평등전계를 유발시켜 전해작용에 중첩하게 되어 이온 집속능력을 촉진시키는 것에 의한 효과라고 사료된다.

그림 5는 주전극을 이온분리막으로부터 15 [mm]거리에 대향설정하고, 8개의 슬릿이 형성되어있는 3전극을 이온분리막으로부터 7.5 [mm]거리에 설정한 상태에서 펄스 시비율은 50[%]로 고정하고 t_{on}을 각각 0.2, 1.0, 2.0 10.0 [sec]로 변화시켰을 때의 I_p-V_p특성을 나타낸 것이다. 펄스전압이 인가된 3전극의 설치는 대조구에 비해 동일 전압에서 1.7배의 높은 전류값을 나타내었는데, 이는 3전극과 주전극사이의 전해공간의 거리가 짧아져서 상대적으로 전계가 높아졌기 때

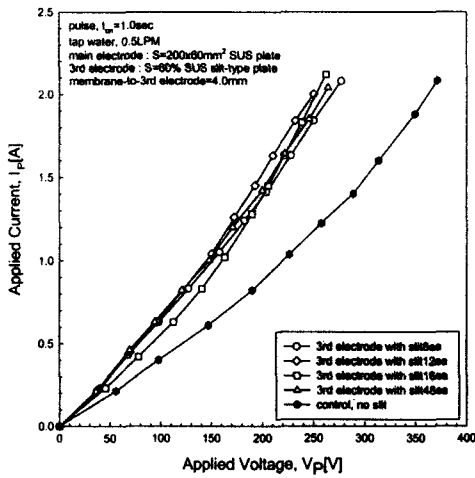


그림 7 3전극의 슬릿 개수변화에 따른 전해조의 I_p - V_p 특성
Fig. 7 I_p - V_p characteristics of cell for various number of slit on third electrode

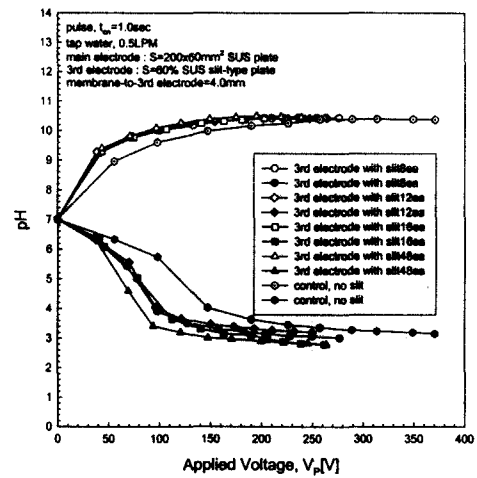


그림 9 3전극의 슬릿 개수변화에 따른 전해조의 pH- V_p 특성
Fig. 9 pH- V_p characteristics of cell for various number of slit on third electrode

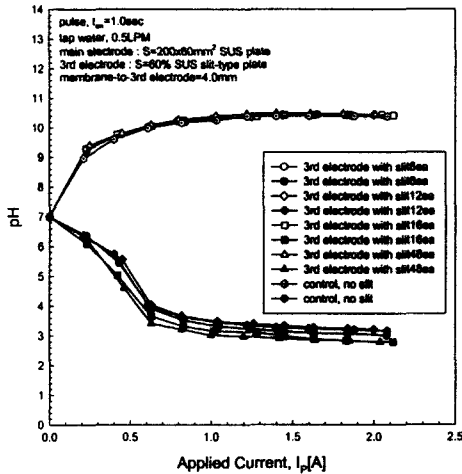


그림 8 3전극의 슬릿 개수변화에 따른 전해조의 pH- I_p 특성
Fig. 8 pH- I_p characteristics of cell for various number of slit on third electrode

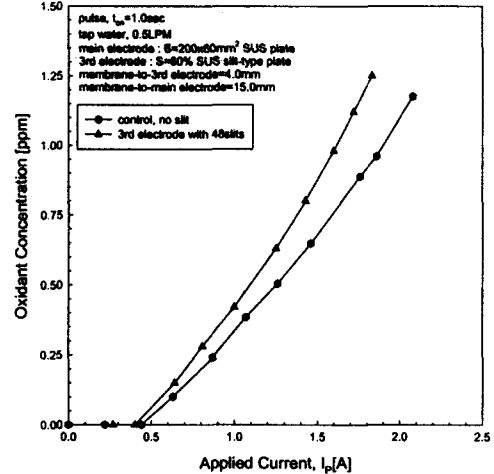


그림 10 대조구와 3전극형 전해조의 oxidant- I_p 특성 비교
Fig. 10 Comparison of oxidant- I_p characteristics of third electrode type cell to control one

문으로 이는 3전극의 설치효과에 의한 것이라고 할 수 있다. 한편, t_{on} 이 0.2부터 10.0 [sec]로 변화하여도 인가 펄스전압이 200[V]이하로 낮은 경우 특성곡선상에 큰 차이점은 나타나지 않는데, 이는 수중 이온이동에 미치는 점성율(viscosity)이 비교적 큰 물의 특성에서 비롯된 결과라고 사료된다.

그림 6은 그림 5와 같은 조건에서 t_{on} 변화에 따른 인가전류에 대한 pH출력 특성을 나타낸 것이다. t_{on} 증가, 즉 전력($P=I_p V_{pt_{on}}$)의 증가에 따른 출력 pH는 증가하며, 특히 산성수의 경우 전류가 0.75 [A]부근의 작은 경우 그리고 알칼리수의 경우 큰 전류에서 비교적 큰 pH출력증가를 나타내고 있으나, 전반적으로 t_{on} 의 변화가 pH에 큰 영향을 미치지 않음을 보여 주었다.

그림 7은 주전극을 이온분리막으로부터 15.0 [mm]거리에 설정하고 3전극은 이온분리막으로부터 4.0 [mm]에 고정적으

로 설정해 둔 상태에서 8, 12, 16, 48개로 3전극의 슬릿개수를 변화시켰을 때의 I_p - V_p 특성을 나타낸 것이다. 동일전압에서의 3전극형의 전류값은 대조구에 비해 약 1.7배의 높은 값을 나타내었다.

그림 8은 3전극의 슬릿개수변화가 출력pH에 미치는 영향을 나타낸다. 1 [A]부근까지 슬릿개수가 많은 쪽이 pH특성이 높아짐을 보여준다. 이는 슬릿이 많은 쪽이 강한 불평등전계가 형성되는 가장자리가 많게 되어 기포발생 및 기포방전을 많이 유도하게 되고 따라서 보다 많은 이온들이 생성되며 수중에 존재하는 이온이나 분자들이 효과적으로 집속되기 때문인 것으로 사료된다. 또한 3전극쪽으로 집속된 이온들이 슬릿을 통해 외출되어 고농도의 이온수를 발생시킬 수 있게 되는 것으로 사료되며, 특히 이와 같은 효과는 무거운 금속이온인 양이온(Ca^{++} , Fe^{++} , Mg^{++} , Na^+ 등)쪽보다 가벼운 음이온(SO_3^- , S^{--} , Cl^- 등)쪽이 수배로 높게 됨을 보여준

4. 결 론

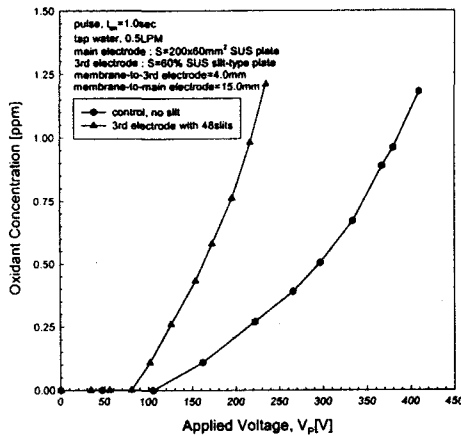


그림 11 대조구와 3전극형 전해조의 oxidant- V_p 특성 비교
 Fig. 11 Comparison of oxidant- V_p characteristics of third electrode type cell

다.

그림 9는 3전극의 슬릿개수변화에 대한 pH출력과 인가 펄스전압과의 관계를 나타낸 것이다. 100 [V]부근까지 특히 출력 pH의 현저한 증가를 보여준다. 즉, 알칼리수의 경우 대조구의 pH 9.6에 3전극형의 경우 pH 10.0까지, 산성수의 경우 대조구의 pH 5.6에서 pH 4.0 이상으로, 특히 슬릿이 48개의 경우는 pH 3.3까지로 매우 높은 값을 보여준다. 특히, 인가전압 250 [V] 부근에서 pH 10.5의 강알칼리수와 pH 2.8의 강산성수가 얻어짐을 보여준다. 이것은 전술한 바와 같이 슬릿에 의해 공간전하제한효과와 방열효과, 불평등전계가 형성되어 기포방전[6~8]을 유발할 수 있는 전극형태인 슬릿형 3전극의 효과에 의한 것이라고 사료된다.

그림 10은 대조구의 경우와 3전극형의 경우의 인가전류변화에 따른 출력 강산화성물질 발생특성을 비교하여 나타낸 것이다. 평행평판전극의 대조구는 이온분리막을 기준으로 15.0 [mm]간격에 설정해 두고 직류전압을 인가한 경우이며, 슬릿이 형성된 3전극형의 경우는 pH출력특성에서 가장 높은 특성을 나타낸 조건, 즉 주전극은 이온분리막으로부터 15.0 [mm]에 설정해두고 48개의 슬릿이 형성되어있는 3전극을 이온분리막으로부터 4.0 [mm]에 설정한 후 t_{on} 을 1.0 [sec]로 인가한 경우이다. 그림 10에서 보는바 같이 3전극형의 경우는 0.45 [A]에서 그리고 대조구는 0.63 [A]에 각각 강산화성물질을 발생시키기 시작하여 3전극형은 1.6 [A]에서 그리고 대조구의 경우 약 1.3배 큰 1.9 [A]에서 약 1 [ppm]의 강산화성물질을 발생시켰다.

그림 11은 인가 펄스전압에 따른 산화성물질 발생특성을 대조구와 3전극형을 비교하여 나타낸 것으로서, 각각 100[V]와 80 [V]에서부터 산화성물질이 발생하여 390 [V]와 215 [V]에서 약 1 [ppm]에 이르는 것을 보여주며, 3전극형의 경우 슬릿의 효과에 의해 대조구의 6.4[ppm]/30[V]에 비해 10.6[ppm]/30[V]로 약 1.7배의 많은 강산화성물질을 발생시킬 수 있음을 보여주며, 동일한 1 [ppm] 강산화성 물질을 생성시킬 수 있어서 소비전력적으로는 약 대조구의 약 42 [%](215x1.6/390x1.9)로 매우 저전력화 되는 것을 보여준다.

본 연구에서는 종래의 전해수 발생장치에서 사용된 평행평판전극에 슬릿이 형성된 3전극을 추가 설정한 새로운 형태의 전극계를 최초로 제안하고, 구형과 펄스전압을 주전극과 3전극에 교번하여 인가함으로써, 강전해수발생에 미치는 슬릿개수와 펄스전원의 영향을 실험적으로 연구 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 슬릿이 형성된 3전극을 전해공간 중에 설정시킴으로 슬릿 측면에서 발생된 산소기포중에 펄스코로나 방전(pulsed corona discharge)을 유발시켜 전해작용에 추가로 증첩 발생시켜 수중 전기분해작용을 더욱 증가시키고, 또한 전해공간중의 공간전하제한효과를 슬릿을 통해 저하시킬 수 있었다.
2. 슬릿이 형성된 3전극형의 경우, I_p - V_p 특성이 비직선(non ohmic)특성을 나타내어 대조구의 전류증가분($slop=I_p/V_p$)이 5.5 [$\mu A/V$]에서 3전극의 간격이 10.0, 7.5, 4.0 [mm]로 좁아짐에 따라 5.7, 7.0, 7.6 [$\mu A/V$]로 크게 증가되었다.
3. 슬릿의 개수가 48개인 경우의 100 [V]부근에서 대조구의 pH 9.6의 알칼리수와 pH 5.6의 산성수를 나타내던 3전극을 형성하는 경우 각각 pH 10.6과 pH 3.3을, 그리고, 250 [V] 부근에서는 pH 10.0의 강알칼리수와 pH 2.8의 강산성수를 발생시켰으며, 이들 값들은 종래형(대조구)에 비해 알칼리수의 경우 수십배, 산성수의 경우 수백배의 증가된 이온 밀도를 얻을 수 있었다.
4. 3전극의 형상을 슬릿형으로 설정하고 대조구와 슬릿개수가 48개인 3전극을 사용한 경우 각각 1.8 [A]와 2.1 [A]에서, 그리고, 인가 펄스전압에서는 각각 215 [V]와 390 [V]에서 강산성수를 1.25 [ppm]의 산화성물질 용존 산성수를 얻을 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비지원(#1998-001-E00651)에 의한 연구결과로서 당 재단에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 芝燁彦ほか, "強電解水の殺菌作用と齒科領域における應用", 齒科衛生士, Vol. 84, pp. 23-29, 1994
- [2] 清水義信, "強酸性水の殺ウイルス作用", The Medical & Test Journal, Vol. 398(臨時増刊), p. 28, 1994
- [3] 安倍 敏ほか, "酸化電位水のHBウイルスに對する不活化作用", 日齒保誌, Vol. 37, p. 33, 1994
- [4] 一色由紀惠ほか, "アクア酸化水による消毒の效果", 醫學檢査, Vol. 40, pp. 787, 1991
- [5] 松尾昌樹, 島淳人, 電氣分解が 水耕植物の生育にあよぼす 影響[第1,2,3報] 植物工場學會誌 Vol. 6, No. 2, pp. 128-141, 1994

- [6] J. D. Moon, J. G. Kim and D. H. Lee, "Discharges of Point-to-Plate Gaps in Pure Water", Record of IEEE/IAS 1993 Annual Meeting, pp. 1611-1616, 1993
- [7] Y. Takahasi and K. Ohtsuka, "Corona Discharge and Bubbling in Liquid Nitrogen" J. Phys. D : Appl. Phys., Vol. 8 pp 165-169, 1975
- [8] A. H. Scarbaugh, J. C. Davins and S. J. Rzas, "Progress in the Field of Electric Breakdown in Dielectric Liquids", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 13, No. 4, pp. 249-276, 1978
- [9] Harry J. White, Industrial Electrostatic Precipitation, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., pp. 126-195, 1963
- [10] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 13th ed., pp. 271-273, 1971
- [11] A. K. N. Reddy, Modern Electrochemistry, pp. 714-734, 1970
- [12] Harry J. White, Industrial Electrostatic Precipitation, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., pp. 126-195, 1963
- [13] J. D. Moon, J. G. Kim and D. H. Lee, et al. "Ozone Generation from Hole Gaps in Water", Proceedings of 1994 Annual Meeting of the Institute of Electrostatics japan, Int'l Section, 1994

저 자 소 개



이재용 (李在容)

1972년 3월 12일생 1998년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 2000년 경북대학교 대학원 전기공학과 석사 졸업(공박·석박). 2001년 동 대학원 전기공학과 박사과정. 현재 (주)에코에이드 연구원

Tel : 053-950-5601, Fax : 053-950-6600
E-mail : jy@ecoaid.com



박승록 (朴勝錄)

1971년 2월 2일생. 1995년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1997년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 경북대학교 대학원 전기공학과 박사과정 수료.

Tel : 053-940-8601, Fax : 053-950-6600
E-mail : psl@palgong.knu.ac.kr



김진규 (金振圭)

1967년 2월 24일생. 1990년 경일대학교공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박) 현재 경북대 공대 전자전기공학부 BK21 조교수

Tel : 053-950-7325, Fax : 053-950-6600
E-mail : kjg@bh.knu.ac.kr



문재덕 (文在德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대 사대 물리교육과 졸업. 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1979~1982년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1982년~1983년 일본 Simon사 동경대 파견연구원. 1986년~1987년 캐나다 Western Ontrio대 전기공학과 및 응용정전기연구센터 초청조교수. 1983년 일본정전기학회 학술논문상. 1990년 ISESP Harry J. White Award. 1992년 대한전기학회 학술상 수상. 1996년 당학회 방전고전압분과회 간사장. 1998년 현재 경북대학교 공학연구원장, 전자기술연구소 소장. 현재 경북대 공대 전자전기공학부 교수

Tel : 053-950-5601, Fax : 053-950-5600
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr



정성진 (鄭成珍)

1974년 1월 6일생. 1996년 경북대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 현재 유니셈(주) 연구원

Tel : 031-372-9421, Fax : 031-372-9410
E-mail : sjini@hanmail.net