

코로나방전과 공간전하제어에 의한 고효율 기능수 발생특성

(A High Efficiency Functional Water Generation Characteristics by Corona Discharge and Space Charge Control)

김진규*

(Jin-Gyu Kim)

요 약

본 논문은 종래형 전해수 발생장치의 평판전극을 슬릿형 평행평판전극 구조로 함으로써 고효율의 강전해수 발생장치를 제안하였다. 염화나트륨이 용해된 수도수와 일반 수도수를 본 강전해수 발생장치에 인입하였을 때 전해수 생성공간내의 공간전하제한작용을 크게 감소시키면서 또한 이 전해수 생성공간내의 전계분포를 집중시킬 수 있는 슬릿형 평행평판전극을 설정하고, 이러한 슬릿의 형태와 개수증가가 수중 이온분리집속성능에 미치는 영향과 산화성물질 생성에 미치는 영향을 연구 검토하였다. 실험결과 수중 강전해수 발생장치내에 슬릿을 형성함으로써 전해수 발생공간내의 전계를 집중시키고 분리집속된 고농도의 이온들에 의한 공간전하 제한작용을 크게 감소시켜 저전력에서 기존의 전해수 발생장치보다 훨씬 고농도의 강전해수와 산화성물질 용존수를 얻을 수 있었다.

Abstract

A novel oxidant generation and ion precipitation cell with slits on parallel plate electrodes was proposed instead of the conventional parallel plate type. An investigation was carried out on the effect of the number and size of slits on ion precipitation and oxidant generation characteristics, evidenced by eliminated space charge limiting action and by elevated electric fields in active interelectrode spacing. Consequently, very high ion precipitation and dense oxidant generation characteristics can be realized by having slits on the electrodes of conventional cells as these slits increase the electric fields and decrease the space charge limiting actions in interelectrode spacing.

Key Words : Slit, Space Charge, Corona Discharge, pH, Oxidant, Functional Water

1. 서 론

* 주저자 : 상주대학교 전자전기공학부 전임강사
Tel : 054-530-5326, Fax : 054-530-5329
E-mail : kig@sangju.ac.kr
접수일자 : 2002년 4월 22일
1차심사 : 2002년 4월 26일
심사완료 : 2002년 6월 12일

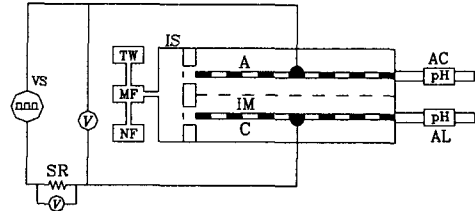
전계에 의한 수중 이온의 분리집속작용과 전기분해작용에 의해 만들어지는 강전해수는 매우 뛰어난 살균소독효과와 작물의 생장효과를 가지고 있는 것으로 알려져 있다[1~3]. 강산성수의 경우, 의료기구

코로나방전과 공간전하제어에 의한 고효율 기능수 발생특성

용 살균소독수[4,5] 및 작물의 병해방지[6] 등에 적용되고 있고, 강알카리수의 경우, 종자의 발아촉진[7], 작물의 성장효과[8] 등 매우 다양하고 광범위하게 적용할 수 있기 때문에 최근 선진 각국에서 학문적 및 기술적으로 큰 관심을 불러일으키고 있다[6,9,10].

종래의 전해수 발생장치는 평행평판전극간에 이온분리막(membrane)을 설치하고 전극간에 직류전압을 인가하여 전해작용과 수중의 이온들(H^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Fe^{++} , Mg^{++} , Na^+ , OH^- , Cl^- , SO_4^{--} , S^{--} , 기타)을 양극과 음극전극으로 분리집속하는 것이 사용되고 있다. 종래의 전해수 발생장치에서는 효율향상을 위한 인가 전압을 상승시키거나 동일 전압하에서 전계를 상승시키기 위하여 전극간격을 좁게 설정하게 되며, 이 경우 전해작용은 증가하나 상대적으로 고열이 발생되어 효율을 저하시키며, 또한 전극간에 집속된 이온들에 의한 공간전하제한작용이 발생하여 이온집속을 방해하기 때문에 수중 이온의 분리 및 집속효율이 높지 못한 단점이 있었다.

이에 본 연구에서는 종래의 전해수 발생장치의 단점을 보완하고 고효율화하기 위한 실험결과이다. 인입 원료수는 수도수와 수중 이온농도 증가를 위한 염화나트륨이 용해된 수도수를 적용하였다. 이온을 효과적으로 분리집속하기 위하여 종래의 평행평판전극상에 수류(水流)의 유통(流通)이 가능한 슬릿(開部, slit)을 형성함으로써 열을 외부로 방출시키는 물론 공간전하제한효과를 감소하게 하며, 또 슬릿변에의 전계를 상대적으로 크게 하여 전해작용과 이온분리 및 집속효과를 크게 할 수 있는 가능성을 검토하고자 하였다. 따라서 슬릿이 형성된 평행평판형 전극을 제작, 설치하여 슬릿면적과 분포상태가 강전해수 발생특성에 미치는 영향을 실험적으로 조사 검토하였다. 본 수중 슬릿형 평판전극계에서 발생하는 강전해수의 경우 양전극측이나 음전극측 모두에 산화성물질이 생성되며, 미량의 NaCl을 용존시킴으로써 매우 높은 농도의 산화성물질 용존수를 제조할 수 있음을 보여준다. 그리고 양전극측과 음전극측에서 발생된 강산성 전해수와 강알카리 전해수를 적절히 혼합함으로써 pH 7의 중성수를 만들고 이 중성수에서도 산화성물질 농도를 최고 11.2[ppmm]까지 용존할 수 있게 함으로써 pH 2에서 pH 12까지 얻을 수



A : anode	AC : acid water
AL : alkali water	C : cathode
IS : ion separation cell	IM : ion separation membrane
KI : KI titration	MF : microfilter
NF : NaCl feeder	pH : pH meter
SR : shunt resistor	TW : tap water tank
V : voltmeter	VS : source voltage

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

있는 다양한 목적의 기능수를 만들 수 있음을 보여준다.

2. 실험방법 및 장치

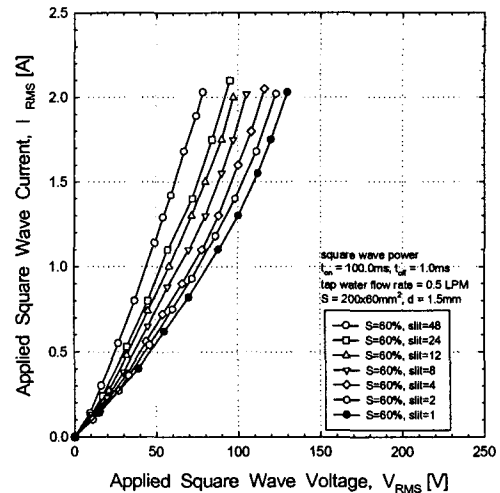
그림 1은 본 실험에 사용된 수중 강전해수 발생장치의 실험개략도이다. 인입수는 수도수 공급장치(TW)와 여과장치(MF)를 거쳐서 전해수 발생장치(IS)중의 전해 및 이온분리공간으로 주입된다. 이때 인입수중의 이온들은 슬릿형(slit type) 평행평판전극(SUS306, 0.2[mmt], 60x200[mm²](A와 C)간의 공간중의 전계에 의해 중앙부에 설치된 이온분리막(IM)의 양측으로 분리집속되어 배출된다. 이온분리막과 양쪽 슬릿형 평행평판전극간의 거리는 각각 1.5[mm]로 고정 설치하였으며, 개부의 면적은 전전극면적(S)의 40[%], 즉, S = 60[%]로 고정하고 전극폭과 길이와 개부의 폭과 길이는 동일하게 설정하였다. 즉, 슬릿개수가 적으면 각 슬릿의 면적이 커지며 슬릿개수가 많으면 각 슬릿의 면적은 작아지게 하였다. 이때 평행평판전극의 슬릿개수는 1~48개로 가변하면서 이들이 수중 이온분리집속 및 전해특성에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다. 본 실험에 인가된 전압은 구형파펄스(square wave pulse)로서, 펄스지속시간(pulse on-time, ton)을 100.0[ms], 휴지시간(pulse off-time,

toff)은 1.0[ms]로 고정하여 실험하였다. 공급수의 온도는 $17 \pm 3[^\circ\text{C}]$ 이며, 이온분리공간내에서의 공급수의 유속을 0.5[LPM]으로 고정하여 실험하였다. 발생된 이온농도는 디지털 pH메타(pH meter HM-40V, Japan)로서 측정하였고, 발생된 강산화성 전해물질의 농도는 KI 적정법[11]을 사용하여 측정하였다.

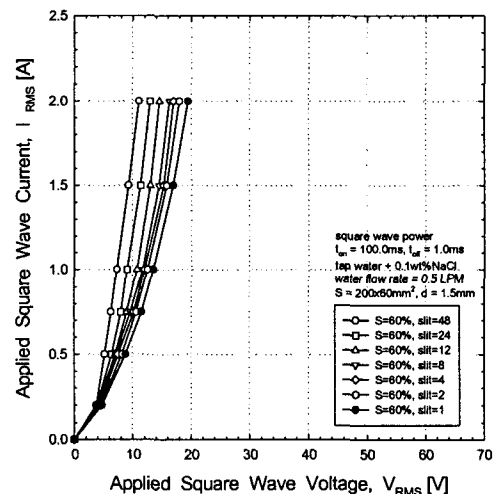
3. 실험결과 및 고찰

그림 2의 (a), (b)는 강전해수 발생장치에 슬릿형 평행평판전극을 설치하여 수도수와 0.1[wt%] NaCl 용해수를 0.5[LPM]의 유속으로 인입하고 인가된 구형파전압의 $t_{off}=1.0[\text{ms}]$, $t_{on}=100.0[\text{ms}]$ 로 고정하고 슬릿형 평행평판전극의 간격을 1.5[mm]로 하였을 때의 전극판상의 슬릿형태와 개수변화에 따른 I-V특성을 나타낸 것이다. 전기전도도($1/\Delta R = \Delta I / \Delta V$)를 나타내는 전압 상승분 ΔV 에 대한 전류 상승분 ΔI , 즉, 기울기(slope= $\Delta I / \Delta V$)는 NaCl 0.1[wt%]가 용해된 수도수를 인입한 경우가 $\Delta I / \Delta V = 1.7\text{A}/10\text{V}$ 로서 수도수만을 인입한 그림 2(a)의 경우 $\Delta I / \Delta V = 0.3\text{A}/10\text{V}$ 보다 전기전도도가 전체적으로 약 5.6배 정도 증가하는 것을 보여준다. 그림 2(b)의 경우에는 매우 낮은 전압(약 3~6V)에서부터 I-V특성의 기울기가 변곡하기 시작하여 부분방전이 발생됨을 보여준다. 또한 슬릿 개수가 증가할수록 강전해수 발생공간 내에서의 유통개부 효과인 공간전하효과의 제어작용과 전기분해시 발생된 기포내의 방전도 수도수의 경우와 같은 경향을 나타낸다.

그림 3의 (a), (b)는 강전해수 발생장치내에 대향된 전극판상의 슬릿형태와 개수변화에 따른 pH-V특성을 나타낸 것이다. 슬릿개수가 증가하고 인가된 평균 펄스전압이 높아질수록 강전해수를 효과적으로 얻을 수 있음을 보여준다. 인가된 평균펄스전압이 증가할수록 음극측의 알칼리 전해수중에서의 출력 수소 이온농도는 급속히 증가하여 포화하고, 양극측의 강산화성 전해수중에서는 수소이온농도가 급격히 감소하여 포화하는 것으로 나타났다. 슬릿개수가 1~48개로 증가함에 따라 다침전극과 같은 강한 불평등전계 부분이 다량으로 발생되어 전계분포 집중효과와 전기분해시 발생된 기포들에 의한 기포방전이 유발되어



(a) tap water case



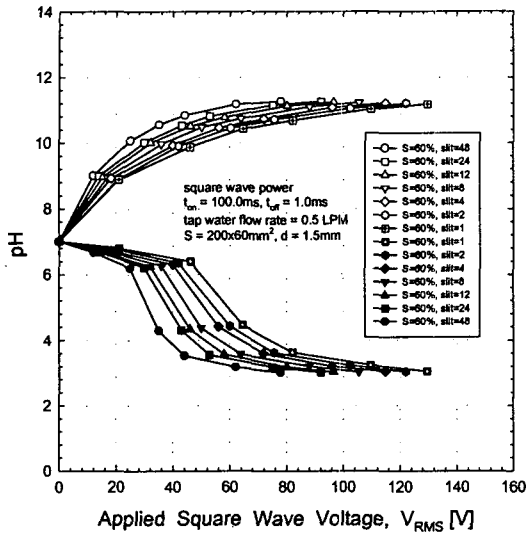
(b) 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water case

그림 2. 수도수와 염화나트륨 0.1 (wt%) 가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성

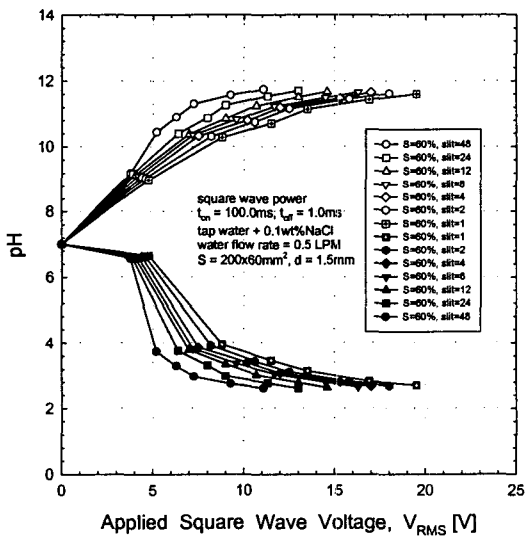
Fig. 2. I-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water and 0.1 (wt%) NaCl dissolved tap water

전기분해작용을 크게 증가시켰다. 그리고 유통개부로 인하여 공간전하들을 전극내측에 축적시키지 않고 전극외측으로 용이하게 확산시킴으로서 음전극측에서는 고농도의 알칼리수와 양전극측에서는 고농도의 산성수를 발생시켰다. 그림 3(a)의 경우에 평균펄스 전압이 77.8[V]이고 슬릿개수가 48개인 경우 pH 11.3

코로나방전과 공간전하제어에 의한 고요율 기능수 발생특성



(a) tap water case



(b) 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water case

그림 3. 수도수와 염화나트륨 0.1 [wt%] 가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

Fig. 3. pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water and 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water

의 강알카리수와 pH 3.0의 강산성수를 효과적으로 발생시킴을 보여주었다. 그림 3(b)의 경우 평균펄스전압이 11.1[V]이고 슬릿개수가 48개인 경우 pH 11.2의 강알카리수와 pH 2.6의 강산성수를 저전압에서 발생

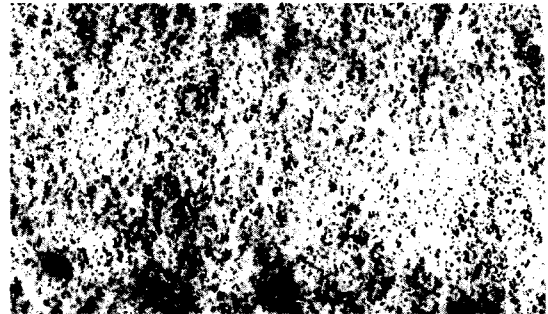


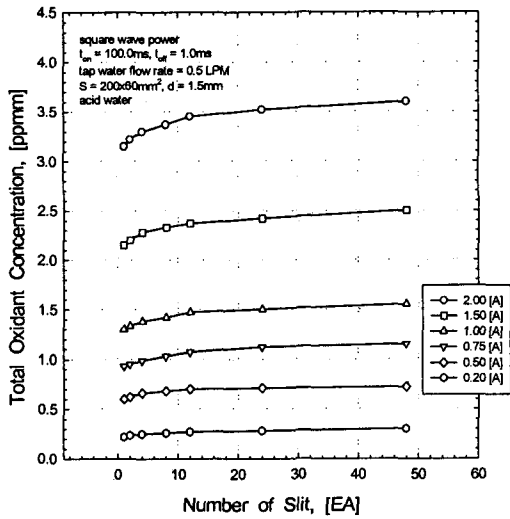
그림 4. 30시간 사용 후 산화철 부착에 의한 이온분리막의 오손

Fig. 4. Contamination of ion exchange membrane by attachment of iron oxide after 30 hours

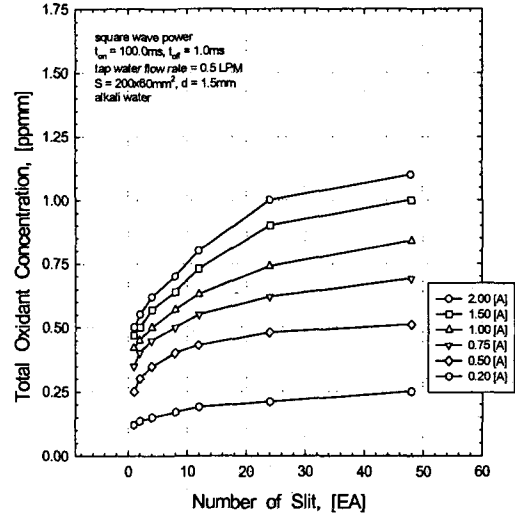
시켰다. 이러한 이유는 NaCl을 수도수에 용해시킴으로서 수중 이온농도를 크게 증가시킨 결과(NaCl → Na⁺+Cl⁻)에 의한 것으로 판단된다. 그리고 염화나트륨 용해수를 인입수로 사용한 결과 수중 이온들의 증가현상과 전기전도도의 증가현상으로 인해 저전력에서 고농도의 강산성수와 강알카리수를 발생시켰다.

그림 4는 대향된 슬릿형 평행판전극 중앙부에 이온분리막을 고정하고 30시간 사용 후 산화철 부착에 의해 이온분리막이 오손된 모습으로서, 50배 확대사진이다.

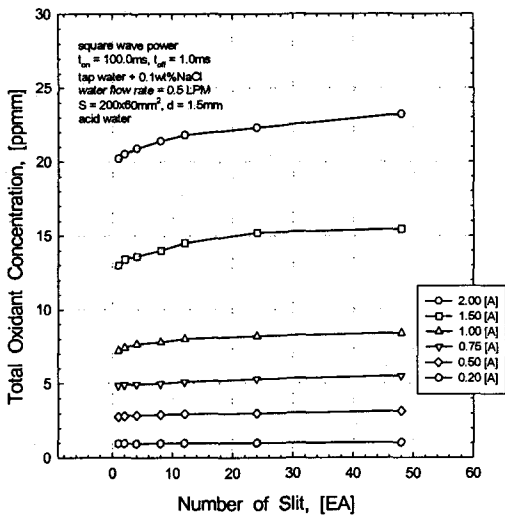
그림 5의 (a), (b)는 강전해수 발생장치내의 양전극 측수의 슬릿개수의 증가에 따른 강산화성물질 발생특성곡선이다. 인가전류가 높아짐에 따라 전해작용이 크게 발생하게 되며 또한 슬릿개수가 증가함에 따라 침전극과 같은 날카로운 전극측면수가 증가하고 따라서 발생 강산화성물질 량도 크게 증가하게 되는 것을 보여준다. 따라서 슬릿개수가 증가함에 따라 고농도의 강산화성물질수가 발생되었으며, 특히, 슬릿개수가 48개이고 인입수로써 수도수만을 인입한 경우 2.0[A]일 때 3.6[ppmm] 정도의 강산화성물질을 발생시켰으며 NaCl 0.1[wt%] 용해수를 인입한 경우가 수도수만을 인입한 경우보다 2.0[A]에서 최고 6.5배인 23.2[ppmm] 정도의 고농도 산화성물질 용해수를 발생시켰다. 이는 슬릿개수가 증가할수록 슬릿의 날카로운 측면(edge side)이 증가되고 따라서 고전계발생면이 증가하기 때문에 수중 고전계분포는 전극전면에 걸쳐 커지게 되기 때문에 나타나는 결과라고 판단된다.



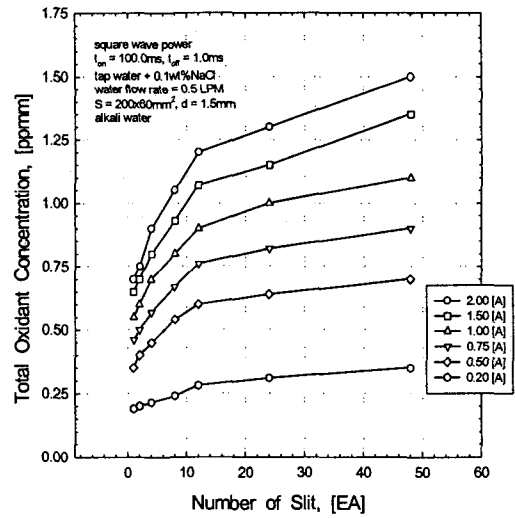
(a) tap water case



(a) tap water case



(b) 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water case



(b) 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water case

그림 5. 수도수와 염화나트륨 0.1 (wt%) 가 용해된 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성

Fig. 5. Total oxidant-slit number characteristics for acid water of positive electrode side in tap water and 0.1 (wt%) NaCl dissolved tap water

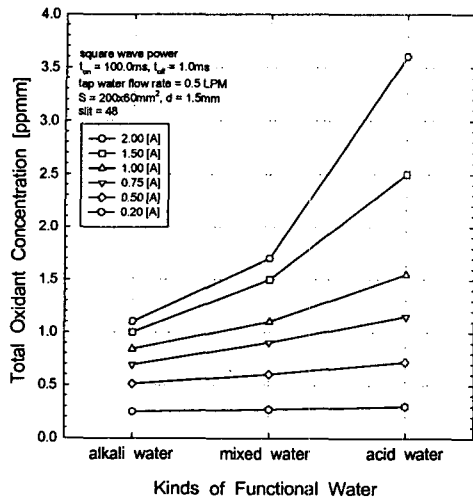
그림 6. 수도수와 염화나트륨 0.1 (wt%) 가 용해된 수도수에서 음전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성

Fig. 6. Total oxidant-slit number characteristics for acid water of negative electrode side in tap water and 0.1 (wt%) NaCl dissolved tap water

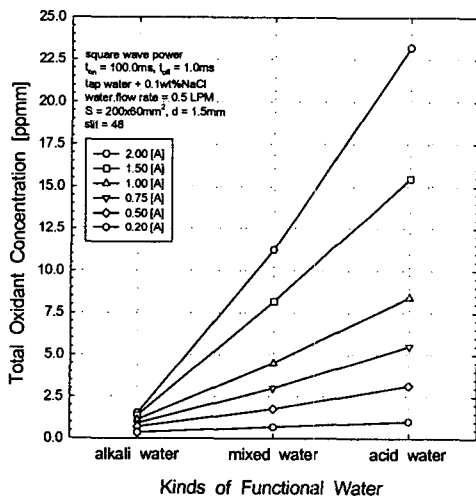
그림 6의 (a), (b)는 강전해수 발생장치내의 음전극 측수의 슬릿개수 증가에 따른 강산화성물질 발생특 성곡선이다. 슬릿개수가 증가함에 따라 고농도의 강 산화성물질수가 발생되었으며, 특히, 슬릿개수가 48

개이고 인입수로서 수도수만을 인입한 경우 2.0[A]일 때 1.1[ppmm] 정도의 강산화성물질을 발생시켰으며, NaCl 0.1[wt%] 용해수를 인입한 경우가 수도수만을 인입한 경우보다 2.0[A]에서 1.5[ppmm] 정도의 고농

코로나방전과 공간전하제어에 의한 고요율 기능수 발생특성



(a) tap water case



(b) 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water case

그림 7. 수도수와 염화나트륨 0.1 [wt%] 가 용해된 수도수에서 총산화성물질-기능수특성
 Fig. 7. Total oxidant-functional water characteristics in tap water and 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water

도 산화성물질을 발생시켰다. 이러한 이유는 슬릿형 평행평판전극의 강전계발생에 의한 효과와 염화나트륨 용해수로 인한 수중 이온의 증가에 따른 결과라고 판단된다.

그림 7 (a), (b)는 강전해수 발생장치의 양전극측에서 발생된 강산성수, 음전극측에서 발생된 강알칼리

수, 그리고 이들의 혼합수에서의 평균펄스전류 증가에 따른 산화성물질 발생특성곡선이다. 실험결과, 강전해수 발생장치내에 설치된 슬릿형 평행평판전극간의 대향 전극간격 및 슬릿개수가 가장 효율적인 전기 이중층[12] 두께, 즉 최소 대향 전극간격이 1.5[mm]이고 슬릿개수가 48개인 경우 양전극측수, 음전극측수 그리고 혼합수중의 산화성물질농도가 평균펄스전류가 2.0[A]일 때 각각 23.2, 15, 11.2[ppmm], 그리고 수도수의 경우 각각 3.6, 1.1, 1.7[ppmm]로 나타났다. 본 강전해수 발생장치의 경우, 전극형상을 통하여 평행평판전극에 슬릿을 형성하므로써 수류의 유통이 가능한 개부가 형성되어 강한 불평등전계, 기포방전을 효과적으로 발생시키고 공간전하효과를 감소시킴으로써 양전극측이나 음전극측 모두에 산화성물질이 생성되며, 미량의 NaCl을 용존시킴으로써 매우 높은 농도의 산화성물질 용존수를 제조할 수 있음을 보여 준다. 이와 같은 경우, 양전극측수는 강산성수로 음전극측수는 강알칼리수로서 사용할 수 있으며, 이들을 혼합시킴으로써 pH 7의 중성수로 만들고 이 중성수 중에도 산화성물질을 다소 용존하게 할 수 있을 뿐만 아니라 혼합비에 따라 pH 2에서 pH 12까지 가변 출력할 수 있는 다양한 목적의 기능수를 만들 수 있는 장점도 있게 된다.

4. 결 론

종래형의 전해수 발생장치의 평행평판전극을 슬릿형으로 하여 수류유통이 가능한 개부를 형성하여 구형과 펄스전압을 인가하고, 수도수 및 염화나트륨이 0.1[wt%] 용해된 수도수를 인입수로 사용하여 0.5[LPM]의 유속으로 일정하게 흘렸을 때의 슬릿의 형태와 개수의 변화에 따른 수중 이온분리집속, 강산화성물질 발생특성, 기능수 발생특성을 실험적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 전극형상을 유통개부를 가지는 슬릿형으로 하여 전극간의 공간전하제한작용을 억제함으로써 수도수의 이온분리 결과 구형과 펄스전류가 2.0[A], 인입수의 유속이 0.5[LPM]일 때 pH 3.0, pH 11.3의 강전해수를 얻었으며, 염화나트륨이 0.1[wt%] 용해된 수도수의 경우 pH 2.6의 강산성수와 pH 12.2의 강알카

리수를 발생시킴을 보여주었다.

(2) 슬릿이 48개인 평행평판전극을 사용한 경우는 수도수의 경우 3.6[ppmm]과 1.1[ppmm]의 산화성물질 용존수를 얻었으며, 염화나트륨 0.1[wt%] 용해된 수도수의 경우 23.2[ppmm]과 1.5[ppmm]의 고농도 산화성물질 용존수를 발생시켰다.

(3) 양전극측의 강산성 전해수와 음전극측의 강알칼리 전해수를 적절히 혼합시킴으로서 pH 7의 중성수로 만들고 이 중성수중에도 산화성물질농도를 최고 11.2[ppmm]까지 용존하게 할 수 있었다. 그리고 혼합비에 따라 pH 2에서 pH 12까지 얻을 수 있는 다양한 목적의 기능수를 만들 수 있었다.

◇ 저자소개 ◇

김진규(金振圭)

1967년 2월 24일생. 1990년 경일대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사). 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2000년 경북대학교 전자전기공학부 BK21조교수. 현재 상주대학교 전자전기공학부 전임강사.

References

- [1] 安倍 敏 外, “酸化電位水のMRSAおよび緑膿菌に對する殺菌作用”, 日齒保誌, 37, 34, 1994.
- [2] 安倍 敏 外, “HBウイルスに對する不活性作用”, 日齒保誌, 37, 33, 1994.
- [3] 一色由紀惠 外, “アクア酸化水による消毒效果”, 醫學検査, 40, 787, 1991.
- [4] 岩澤篤郎 外, “臨床分離株に對するアクア酸化水の效果”, 日環感, 8, pp.11~16, 1993.
- [5] 齊藤 毅, “醫用材料の滅菌と消毒”, 東齒醫師 會誌, 42, pp.25~32, 1994.
- [6] 岸田義典, “機能水農業”, 株式會社 新農林社, 1997.
- [7] 日本 BW 技術資料 T-3.
- [8] 日本 BW 技術資料 T-2.
- [9] Jae Duk Moon, Jin Gyu Kim and Dae Hee Lee, “Discharges of Point-to-Plate Caps in Pure Water”, Record of IEEE/IAS 1993 Annual Meeting, pp.1611~1616, 1993.
- [10] 岡田 淳, “注目を集める強酸性電解水の效用”, The Medical & Test Journal, 388, 351, 1994.
- [11] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 13th ed., pp.271~273, 1971.
- [12] E. Gileadi, “Interfacial Electrochemistry”, pp.1~27, 1945.