Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2016) 30(3) : 59~64
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2016.30.3.059 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)
논문 30-3-8

중첩형 다단전극에 의한 효율적인 전해 이온수 발생 특성

(Effective Electrolytic Water Generation Characteristics by Overlapped Multi-layer Electrode)

신동화* · 황덕현 · 정재승 · 김형표 · 김진규**
(Dong-Hwa Shin · Deok-Hyun Hwang · Jae-Seung Jung · Hyung-Pyo Kim · Jin-Gyu Kim)

Abstract

Applications of electrolytic ion water generated by the oxidation-reduction have gradually been expanded due to their strong sterilizing power and a surface active force. We demonstrate the effect of the multi-layer type electrode for effective ion water generation. The multi-layer type electrode has ability to generate stronger acid and alkali water by increase of the electrode reactive area. Also power consumption efficiency enhances because the electrodes disposed in middle position of the reactive cell raise the usage rate by overlapped effect as an electrolysis electrode.

Key Words : Multi-Layer, Electrolytic Ion Water, Acid Water, Alkali Water

1. 서 론

오늘날 현대인들은 수명의 증가와 생활의 질 향상으로 인하여 건강한 삶에 대한 욕구가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이 중 피부의 건강 문제를 개선하기 위한 방법의 일환으로 전해 이온수의 효능을 이용한 제품들이 개발되고 있다. 전해 이온수는 수소이온의 농도에 따라 산성수와 알칼리수로 구분되며 각각 다른 기능성을 가지고 있다. 산성수는 강한 살균력과 가지고 있어 습진, 무좀 등의 세균성 피부 질환 치료와 상하수도 고도정수처리 등에 이용되고 있다. 그리고 알칼리수는 계면 활성력 및 신진대사촉진 효과를 가지고 있어 피부미용 분야에 이용되고, 활성산소를 제거하는 효과를 가지고 있어 음용수로도 이용이 가능하다[1-5].

산성수와 알칼리수를 생성하기 위해 일반적으로 수중전기분해 방식을 이용한다. 수중에 흐르는 직류 전류는 패러데이 전기분해법칙, 식 (1)에 의해 각 전극에서의 전해 이온수 발생 시 수소이온농도 변화에 영향을 미치게 된다[6-7].

양극(산화반응)

$$2H_2O(l) \Rightarrow O_2(g) + 4H^+ + 4e^- \quad (1)$$

음극(환원반응)

$$4H_2O(l) + 4e^- \Rightarrow 2H_2(g) + 4OH^-$$

* Main author : Ph D. Course, Dept. of Electrical Engineering, Kyungpook National University
** Corresponding author : Professor, Dept. of Electrical Engineering, Kyungpook National University
Tel : 053-950-7226, Fax : 053-950-6600
E-mail : kjg@knu.ac.kr
Received : 2015. 11. 10.
Accepted : 2015. 12. 29.

Copyright ⓒ 2016 KIIEE All right's reserved
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

일반적으로 전해 이온수 발생장치를 단층으로 사용할 경우 전극 이용률이 저조하기 때문에 전해 이온수 발생량에 비례하여 장치의 크기와 전력소비량이 증가하게 된다[8-10].

본 연구는 수중 전극을 다단(Multi-layer)으로 중첩 적용함에 따른 효율적인 전해 이온수 발생 특성에 관한 것으로 다단전극의 전극면 이용률에 따른 전기물리화학적 변화가 전해 이온수 발생에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 실험장치 개략도를 나타낸 것으로, 인가전원으로 직류전원을 사용하였으며 다단전극 양단의 전압은 디지털멀티미터(DVM, Fluke, 179)로 측정하였다. 그리고 전기펌프(WP, water pump), 유량계(FM, flowmeter), pH 측정기(pHM, potential of Hydrogen meter, TOA-DK, HM-30R)로 수소이온농도를 측정하였으며, 모든 실험에는 상수도의 물(수온 : 25.5℃, 전기 전도도 : 265μS)을 사용하였다. 전해조의 입출구 유량은 장치 입구측 1개와 출구측 2개를 이용하여 각각 조절하였고 인입구 측 유량 1.0LPM에 따른 출구측 2곳의 유량은 각각 0.5LPM으로 설정하였다.

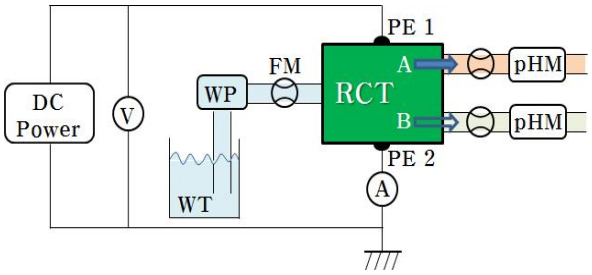


Fig. 1. Schematics of the experimental setup

PE1와 PE2 사이에 직류전압을 인가하여 토출구 A와 B에서 각각 산성수와 알칼리수가 토출되도록 하였고, 각 전해 이온수의 pH는 전압변경 후 그 영향이 충분히 나타나도록 2분 간격으로 측정하였다.

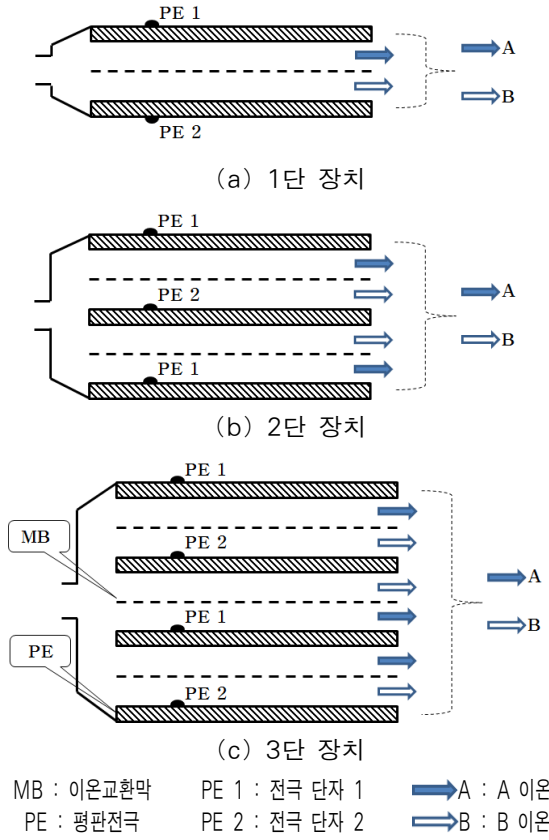


Fig. 2. Schematic diagram of the multi-layer array

그림 2는 본 실험에 사용된 다단형 반응 장치의 단수별 전극 배치 개략도이다. 전해 이온수 발생장치는 SUS 전극(SUS 304, 74㎜×114㎜×0.4㎜) 2개와 이온교환막(74㎜×114㎜) 1개로 구성된 1단 장치를 기본으로 하여, 전극 3개와 이온교환막 2개로 구성된 2단, 전극 4개와 이온교환막 3개로 구성된 3단으로 중첩할 수 있도록 하였다. 다단전극에 사용된 단별 전극들은 각각 5㎜로 이격하였으며 이온교환막은 전극간의 정중앙에 위치하도록 설정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 전해 이온수 발생장치에 직류전압(V_{DC})인가 시 다단전극 전해조의 단수(layer number) 변화에 따른 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 전류(I_E)는 인가전압의 증가에 따라 선형적으로 증가하는 특성을

보여주며, 이는 다단전극의 단수가 증가할수록 전극의 반응면적(S)이 증가되어 식 (2)와 같이 물의 전기저항(R_w)이 감소하였기 때문이다.

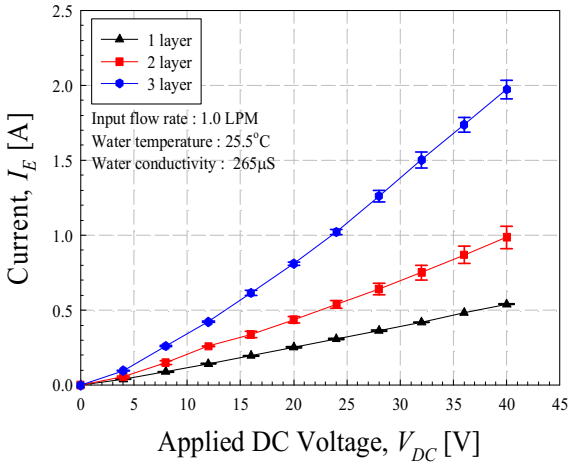


Fig. 3. I-V Characteristics of the multi-layer type reactor

$$R_w = \rho_w \frac{l}{S} \tag{2}$$

전해조에 흐르는 전류는 인가전압 40V에서 1, 2, 3단에서 각각 0.54, 0.98, 1.97A가 흘렀으며, 실험 변수의 최저단인 1단과 최고단인 3단을 비교하면 3단은 1단에 비하여 약 3.65배의 전류가 흘러 단수 증가량보다 더 큰 전류 증가가 나타났다. 이는 1단에 비해서 3단의 경우 전극의 중첩 효과에 의한 반응 면적이 증가한 것으로 인한 결과이다.

그림 4는 다단전극 전해조의 단수를 변수로 하여 나타낸 pH-전압 특성이다. 양전극부의 토출구에서 측정한 전해 이온수의 pH는 인가전압의 증가와 더불어 중성인 pH 7에서 서서히 감소하여 강한 산성수의 성질을 나타낸다. 음전극부의 토출구에서 측정한 전해 이온수의 pH는 인가전압이 증가할수록 산성수의 경우보다 더 큰 변화율을 보이며 알칼리수의 성질을 나타낸다. 양 · 음 전극부 모두 전극을 3단으로 배열하였을 경우에 1, 2단으로 배열한 경우보다 더 강한 산성수와 알칼리수를 발생시키는 특성을 보여준다. 그러나 알칼리수의 경우 단수의 증가에 따른 pH 증가량이 선형

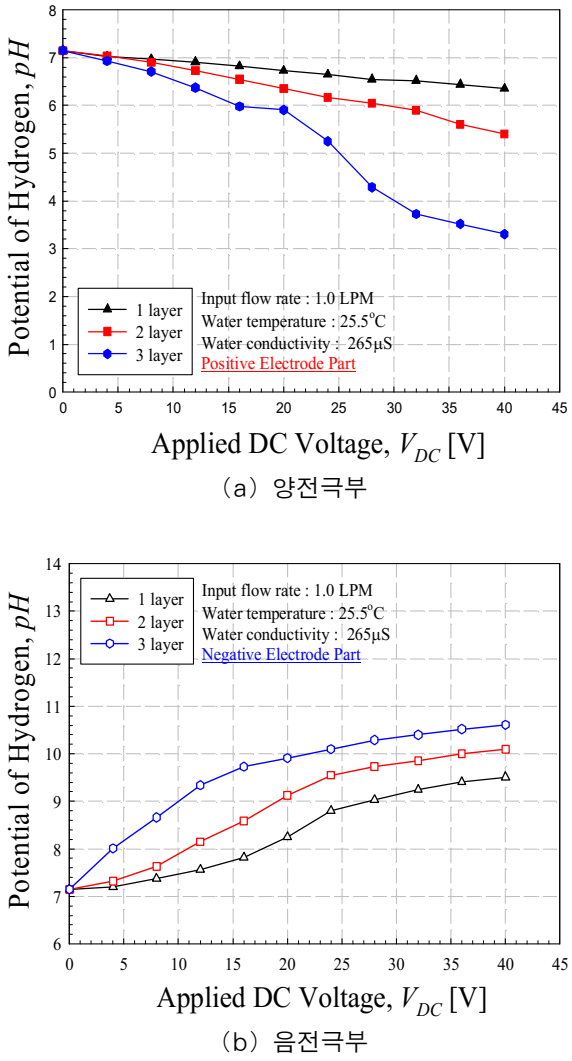


Fig. 4. pH-V Characteristics changes in multi-layer type reactor

성을 보이는데 반하여 산성수는 지수적인 pH 감소량을 보인다. 전해조에서 생성된 산성수의 pH는 인가전압 40V에서 1, 2, 3단의 경우 각각 6.35, 5.40, 3.31로 측정되었으며, 실험 변수의 최저단인 1단과 최고단인 3단을 비교하면 3단의 경우 1단에 비하여 pH가 3.04 더 낮은 산성수를 얻을 수 있었다. 알칼리수의 pH는 1, 2, 3단의 경우 각각 9.51, 10.10, 10.61로 측정되었으며, 3단의 경우 1단에 비하여 pH가 1.10 더 높은 알칼리수를 얻을 수 있었다. 인가전압 증가 시 전 구간에

서 1단과 3단에서 가장 pH가 차이나는 구간은 인가전압이 16V일 때이며, 3단은 1단에 비하여 pH가 1.91 더 높은 알칼리수를 얻을 수 있었다. pH 변화가 가장 크게 나타나는 구간은 1단에서는 약 16~24V이며, 3단에서는 0~12V구간으로, 단수가 증가할수록 낮은 전압에서 pH 변화가 크게 나타난다. 이는 단수가 증가할수록 물과 반응할 수 있는 전극면의 증가로 인한 결과이다.

그림 5는 단수 변화별 인가전압에 따른 pH 변동에 대한 전력효율 특성이다. 양전극부에 비하여 음전극부는 전압이 낮을 경우 효율이 월등하게 우수한 특징을 보여주지만 인가전압이 증가할수록 전력효율이 감소하여 점차적으로 정극성의 산성수 발생 효율과 부극성의 알칼리수 발생 효율이 거의 같아짐을 알 수 있다.

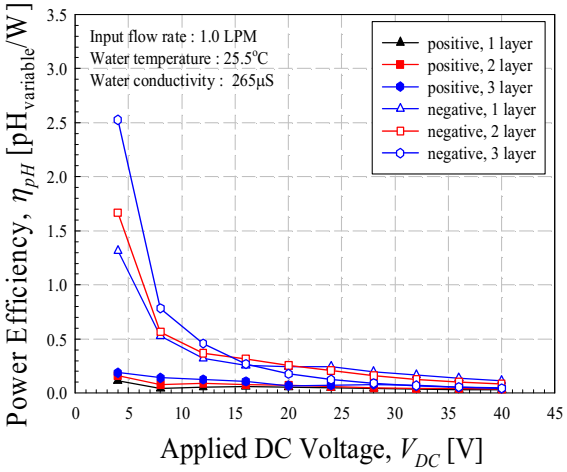
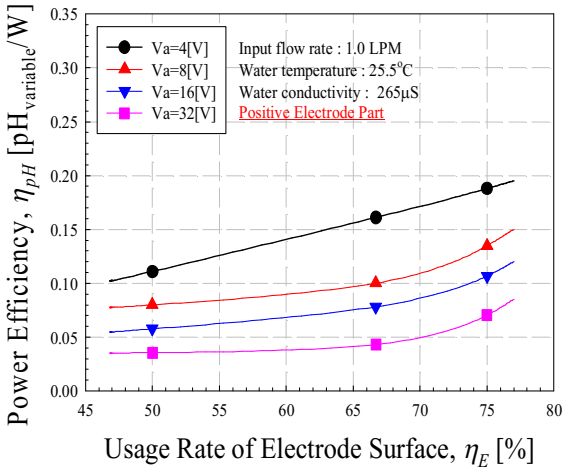


Fig. 5. Power consumption efficiency of the multi-layer type reactor

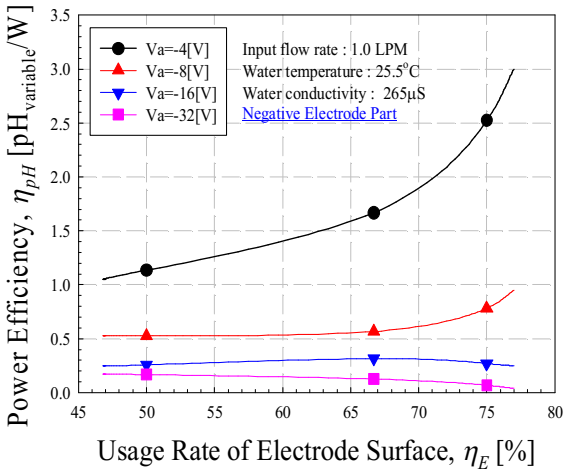
식 (3)은 다단전극 전해조의 단수 변화에 따른 전극면 이용률을 구하기 위한 식으로서 그림 2의 각 단별 전극면 이용률을 구해보면 다음과 같다.

$$\eta_E = \frac{N_{used}}{N_E \times 2} \times 100\,\% \qquad (3)$$

(η_E : 전극면 이용률, N_{used} : 반응 전극면수, N_E : 전극수)



(a) 양전극부



(b) 음전극부

Fig. 6. Power consumption efficiency for the usage rate of electrode surface

그림 2-(a)의 N_E는 2개, N_{used}는 2면 이므로 제 1단의 경우 η_E=50% 이고, 그림 2-(b)의 N_E는 3개, N_{used}는 4면 이므로 2단의 경우 η_E=67% 이고, 그림 2-(c)의 N_E는 4개, N_{used}는 6면 이므로 3단의 경우 η_E=75% 이다. 다단전극 전해조의 1단에서는 양면 이용 전극이 없기 때문에 전극면 이용률은 50%에 불과하고, 다단전극 전해조의 단수가 증가할수록 전극면 이용률(η_E)의 값은 100%에 수렴한다. 그림 6에 나타난 것처럼, 전극면 이용률이 증가할수록 전력효율이 증가하지만,

그림 4에 나타난 것처럼 알칼리수의 경우 산성수보다 빨리 pH가 포화되며 이후에는 전력효율은 감소하게 된다. 다단전극의 단수를 높일수록 pH 변화율, 전극면 이용률의 증가와 더불어 전력효율도 높아지므로 전해 이온수 효율적인 발생과 더불어 발생량 대비 전해조의 부피를 줄일 수가 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 전해 이온수 발생장치에서 다단전극 전해조의 단수 변동이 pH와 산성/알칼리 전해 이온수 발생효율에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 다단전극 전해조의 단수 변화에 따른 전류-전압 특성은 층수가 증가할수록 전극의 반응 면적이 증가하므로 이에 따른 전기저항의 감소로 동일한 인가전압에서 더 큰 전류가 흐르게 된다. 따라서 전력 소모량도 증가하게 된다.
2) 단수 변화에 따른 양·음전극부에서의 전해 이온수 발생 특성으로는 양·음 전극부 모두 층수가 증가할수록 보다 더 강한 산성수와 알칼리수를 발생시킬 수 있다.
3) 전력효율은 양전극부에 비하여 음전극부가 저전압에서 월등하게 우수한 특성을 보여주지만, 인가전압이 증가할수록 급격히 감소하여 그 차이가 감소한다.
4) 가장 기본적인 전극 구조인 1단의 경우, 전극면 이용률, η_E은 50%이며, 단수가 증가할수록 전극면 이용률이 증가한다. 전극면 이용률이 증가할수록 pH가 변화량과 전력효율이 증가하지만, 알칼리수의 경우 산성수보다 빨리 pH가 포화되므로 이후에는 전력효율은 감소하게 된다.

본 연구는 2차 공해를 유발하지 않으면서 강한 산화환원작용을 가진 전해 이온수 발생장치에 대한 기초연구이다. 향후 전극 구조 연구와 더불어 전원, 유량, 물의 성분 등의 요소들이 pH 발생 특성과 ORP에 미치는 영향에 대한 연구를 추가적으로 수행함으로서 전해 이온수 발생장치의 효율 및 성능 향상이 가능할 것으로 사료된다.

References

[1] Hotta K, Suzuki T. 1999. Electrolyzed water: Formation principle, physicochemical property and function. Bioscience & Industry 57: 22-26.
[2] Suzuki T. 1996. Bactericidal effect of electrolyzed water. Bioindustry 13: 15-27.
[3] Yamanaka S. 1995. Technology using electrolyzed oxidizing water sanitation. Food Processing Technology 15: 103-112.
[4] Sharma RR, Demirci A. 2003. Treatment of Escherichia coli O157:H7 inoculated alfalfa seeds and sprouts with electrolyzed oxidizing water. Int J Food Microbiol 86: 231-237.
[5] 芝紀代子, 芝 燁彦, "アクア酸化水(强酸性電解水)の医療への應用", Medical Technology, 22, pp. 693-694, 1994.
[6] Selkon JB, Babb JR, Morris R "Evaluation of the anti-microbial activity of a new super-oxidized water" Sterilox, for the disinfection of endoscopes. J Hosp Infect 41:59-70, 1999.
[7] Yunjung kwon, Sangyep Nam, "The PWM Control Which used Microprocessor for Intensity Control of Acid Ion Water" The institute of electronics engineers of korea, v.50 no.7, pp.269 - 274, 2013.
[8] Jin-Gyu Kim, Kwang-Tae Kim, "Effects of Bubble Discharge on pH Oxidation/Reduction Potential Change by Non-Uniform Electric Field", KIIEE, Vol. 17, No. 6, pp.77-82, 2003.
[9] Jin-Gyu Kim, "The Effects of Electric Field Variation by The Third Electrode on Water Electrophysicochemical Characteristics", KIIEE, Vol. 24, No. 9, pp.136-141, 2010.
[10] 芝紀代子, 芝 燁彦, "アクア酸化水(强酸性電解水)の医療への應用", Medical Technology, 22, pp.693~694, 1994.

◇ 저자소개 ◇

신동화(申東和)
1970년 5월 19일생. 1994년 2월 경일대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1998년 2월 영남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2013년~현재 영남이공대학교 전기자동화과 조교수. 2014년 9월~현재 경북대학교 대학원 전기공학과 박사과정.

황덕현(黃德賢)
1978년 6월 30일생. 2002년 금오공대 제어계측과 졸업. 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 졸업(박사). 2015년~현재 휴먼니즈 대표.

정재승 (鄭在勝)
1978년 4월 14일생. 2004년 경북대학교 공대 전자전기공학부 졸업. 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부 졸업(박사). 2015년~현재 기초전력연구원 선임연구원.

김형표 (金亨杓)
1967년 2월 5일생. 1992년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년 보국전기공업(주) 기술연구소. 1998~2008년 상주대학교 전자전기공학부 교수. 2008~2012년 경북대학교 산업전자전기공학부 교수. 2012년~현재 경북대학교 IT대학 전기공학과 교수.

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. 2008~2012년 경북대학교 산업전자전기공학부 부교수. 2012년~현재 경북대학교 IT대학 전기공학과 교수. 현재 본 학회 대구·경북지회 재무이사.