

일체형 전해조에서 생산된 강알칼리성 전해수의 특성

이호일, 이영우^{†*}, 강경석[‡]

충남대학교 산업시스템공학과
305-764 대전광역시 유성구 대학로 99

[†]충남대학교 녹색에너지기술학과
305-764 대전광역시 유성구 대학로 99

[‡](주)시온텍
305-500 대전광역시 유성구 테크노2로 167-2

(2012년 10월 16일 접수; 2012년 11월 19일 수정본 접수; 2012년 11월 19일 채택)

Characteristics of Strong Alkaline Electrolyzed Water Produced in All-in-one Electrolytic Cell

Ho Il Lee, Young Woo Rhee^{†*}, and Kyung Seok Kang[‡]

Department of Industrial System Engineering, Chungnam National University
99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

[†]Graduate School of Green Energy Technology, Chungnam National University
99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

[‡]Siontech Co., LTD.
167-2 Techno 2-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-704, Korea

(Received for review October 16, 2012; Revision received November 19, 2012; Accepted November 19, 2012)

요 약

격막식 전해조에서 전해질(염화나트륨, 탄산칼륨 등)을 첨가시킨 수용액을 전해하여 음극에서 생산되는 강알칼리성 전해수는 세정효과가 있고, 친환경적이어서 화학적 세정제의 대체물질로 검토되고 있다. 일본에서는 일부 자동차나 정밀부품업계 등에서 세정제로 사용되고 있다. 격막식 전해조를 사용하여 강알칼리성 전해수를 생산할 경우 필연적으로 양극에서 강산성 전해수가 생성된다. 생성되는 강산성 전해수는 용도를 찾지 못할 경우 배출되어 폐기되므로 결과적으로 전해수의 생산효율이 저하된다. 또한 격막의 오염으로 인하여 전해효율이 저하되는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 전극반응실과 희석실이 일체화된 무격막 일체형 전해조를 사용하고 전해질의 조성을 변화시키면서 강알칼리성 전해수를 생성하였으며, 이의 물성 및 특성을 확인하였다. 격막식 전해조에서 생산된 강알칼리성 전해수와 일체형 전해조에서 생산된 강알칼리성 전해수의 물성을 비교한 결과 산화환원전위(oxidation reduction potential, ORP), 염소농도에서 차이가 관찰되었다. 계면활성력을 확인하기 위한 유화시험에서도 유사한 결과를 얻었으며 이로부터 무격막 일체형 전해조에서 생산된 강알칼리성 전해수는 격막식 전해조에서 생산된 강알칼리성 전해수처럼 세정용도로 사용 가능함을 확인하였다. 방청력 시험에서는 격막식 전해조에서 생산된 강알칼리성 전해수가 우수함을 확인하였다. 무격막 일체형 전해조에서 생산된 강알칼리성 전해수는 격막식 전해조에서 생산된 강알칼리성 전해수와 달리 유효염소를 함유하고 있어 살균력을 보유하고 있을 것으로 사료된다.

주제어 : 일체형 전해조, 강알칼리성 전해수, 세정제, 산화환원전위, 계면활성력

Abstract : Strong alkaline electrolyzed water which is produced in cathode by electrolyzing the solution where electrolytes (NaCl, K₂CO₃ etc.) are added in diaphragm electrolytic cell, is eco-friendly and has cleaning effects. So, it is viewed as a substitution of chemical cleaner. In addition, strong alkaline electrolyzed water is being used by some Japanese automobile and precision parts manufacturing industries. When strong alkaline electrolyzed water is produced by using diaphragm electrolytic cell, it is necessarily produced at the anode side. Since strong acidic electrolyzed water produced is discarded when its utilization cannot be found, production efficiency of electrolyzed water is consequently decreased. Also, there is a weakness electrolytic efficiency is decreasing due to the pollution of diaphragm. In order to overcome this, non-diaphragm all-in-one electrolytic cell

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ywrhee@cnu.ac.kr

doi:10.7464/ksct.2012.18.4.446

integrated with electrode reaction chamber and dilution chamber was applied. Strong alkaline electrolyzed water was produced for different composition of electrolytes, and their properties and characteristics were identified. In comparing the properties between strong alkaline electrolyzed water produced in diaphragm electrolytic cell and that produced in all-in-one electrolytic cell, the differences in ORP and chlorine concentration were found. In emulsification test to confirm surface-active capability, similar results were obtained and strong alkaline electrolyzed water produced in non-diaphragm all-in-one electrolytic cell was identified to be useable as a cleaner like strong alkaline electrolyzed water produced in diaphragm electrolytic cell. Strong alkaline electrolyzed water produced in non-diaphragm all-in-one electrolytic cell is thought to have sterilizing power because it has active chlorine which is different from strong alkaline electrolyzed water produced in diaphragm electrolytic cell.

Keywords : All-in-one electrolytic cell, Strong alkaline electrolyzed water, Cleaner, Oxidation reduction potential, Surface-active capability

1. 서론

세정이란 물질 표면에 잔류하고 있는 각종 오염을 산, 알칼리, 용제 등의 세정성, 용해성, 화학반응성을 이용한 화학적 세정과정 또는 물리적, 기계적 세정과정을 통하여 요구수준의 청정표면을 만들기 위한 작업을 말하며, 세척이라고도 한다[1].

세정은 가정, 병원, 식품분야, 각종 공업분야, 미용, 청소업과 같은 서비스 분야 등 인류의 전반적인 분야에서 다양하게 적용되고 있다. 가장 일반적으로 사용되는 세정방법은 각종 세정제를 사용한 화학적 세정방법이다[2].

화학적 세정방법에 사용되는 세정제는 일반수계 세정제(알칼리계, 중성계(계면활성제), 산계 등), 준수계 세정제(glycol ether, N-methyl pyrrolidone계, terpene계, 탄화수소계 등) 용제계 세정제(methylene pyrrolidone계, 실리콘, 불소계(HCFC-141b, HCFC-225, HFC-4310, HFE), 염소계 세정제(methylene chloride, trichloroethylene, tetrachloroethylene)) 등이 있다[3,4].

이러한 화학적 세정제의 사용은 대기오염, 지구온난화처럼 환경적으로 많은 유해성을 내포하고 있으므로 전 세계적으로 세정제에 대한 규제가 강화되고 있다. 이로 인하여 세정제의 기본적인 요구사항인 세정성, 경제성, 안정성을 만족시키면서도 친환경적인 세정제의 개발이 진행되고 있다[5].

강알칼리성 전해수는 친환경적이면서도 세정제의 기본요구사항을 만족시켜 대체 세정제로 검토되고 있고 일본의 경우 자동차업계, 가전-OA기업계, 정밀부품업계 및 기타 분야에서 적용되고 있다. 현재 알려진 강알칼리성 전해수를 생성하는 방법은 격막식 전해조를 이용하는 것이다[6]. 격막식 전해조에서 염화나트륨, 탄산칼륨과 같은 미량의 전해질을 전해하여 양극(anode)측에서는 강산성전해수를 음극(cathode)측에서는 강알칼리성 전해수를 분리 생산할 수 있다[7]. 격막식 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수의 물성은 pH 11 이하, ORP -800 mV 이상이며, 계면활성과 단기방청효과의 특성이 있는 것으로 알려져 있다[6].

막식 전해조를 이용한 강알칼리성 전해수 생산 시 양극에서 생성되는 강산성 전해수는 활용 방안을 찾지 못하고 배출될 경우 전해수의 생성효율이 저하되는 것은 물론 격막의 오염으로 인하여 전해효율이 저하되는 단점이 있다.

본 논문에서는 강알칼리성 전해수를 생성하기 위하여 일반적으로 사용되는 격막식 전해조가 아닌 무격막 전해조, 특히 전극반응부와 희석부가 일체화된 일체형 전해조를 사용하였다[8,9]. 일체형 전해조에서 강알칼리성 전해수의 생성 가능성

을 알아보기 위하여, 전해질의 조성을 변경하면서 일체형 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수의 물성을 파악하였다. 또한 격막식 전해조에서 생성된 강알칼리성 전해수와 일체형 전해조에서 생성된 강알칼리성 전해수의 특성을 비교 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 시약 및 실험방법

전해질을 제조하기 위하여 염화나트륨(삼천화학, 99%), 수산화나트륨(삼천화학, 98%), 탄산칼륨(삼천화학, 99.5%)을 사용하였다.

격막식 전해조의 경우 티타늄에 백금을 소결 피복한 전극을 사용하였으며 산화전극 면적은 396 cm², 전극간격은 3 mm였다. 원수에 전해질을 희석하여 전극하단부에서 투입하였으며, 격막을 사용하여 양극과 음극에서 생성되는 강산성 전해수와 강알칼리성 전해수를 분리하여 생산하였다.

일체형 전해조의 경우 티타늄에 루테늄/이리듐을 소결 피복한 산화전극을 사용하였고, 환원전극은 티타늄을 사용하였다. 전극은 평판형 전극으로, 전극 한 장의 규격은 1 × 55 × 120 (mm)이다. 산화전극 면적은 264 cm²이며, 전극간격은 3 mm로 제작하였다. 고농도의 전해질이 일체형 전해 셀 전극반응부의 하단부로 유입되도록 하였고, 원수는 희석실로 유입

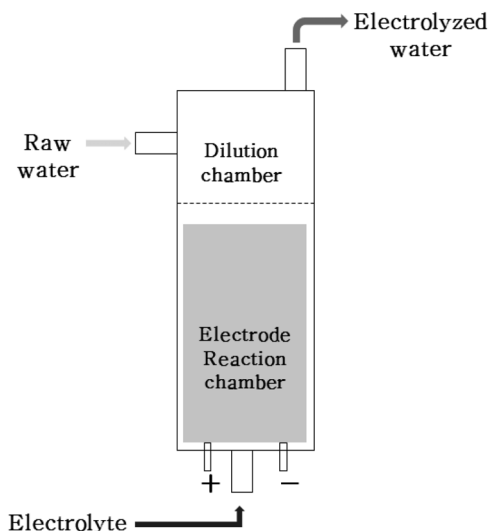
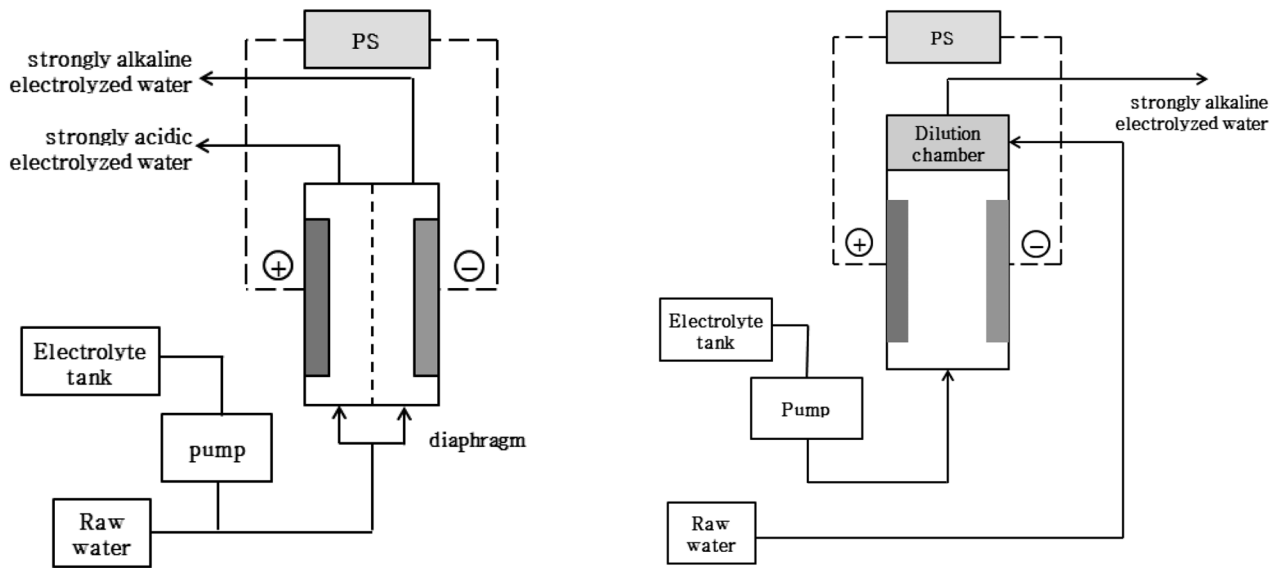


Figure 1. Non-diaphragm all-in-one electrolytic cell.



(a) Electrolyzed water production in diaphragm electrolytic cell.
Figure 2. Schematic diagram for electrolyzed water production.

(b) Electrolyzed water production in all-in-one electrolytic cell.

되어 전극반응부에서 생성되는 전해생성물이 원수와 희석되어 전해살균수로 배출될 수 있도록 하였다.

격막식 전해조, 일체형 전해조에서 전해질이 연속적으로 공급될 수 있도록 하였으며, 0~40 mL/min로 조절 가능하도록 하였다. 전해질은 25% 염화나트륨, 20% 탄산칼륨과 180 g 염화나트륨 + 수산화나트륨 60 g, 180 g 염화나트륨 + 탄산칼륨 150 g을 물에 용해시켜 전체 부피가 1 L가 되도록 하였다.

Figure 1에 일체형 전해조의 구조를 나타내었고, Figure 2에 격막식 전해조와 일체형 전해조를 적용한 전해수 생성 시스템의 개략도를 나타내었다.

2.2. 물성측정

전해살균수의 pH는 pH 측정계(Samsan, CRN-96PH)를 사용하여 측정하였다. ORP는 ORP 측정계(Samsan, CRN-96ORP)를 사용하여 측정하였다. Photometer Chlorine HR(Aqualytic)을 사용하여 염소농도를 측정하였으며, Clamp on AC/DC Hi-Tester 3290/9691 (Hioky)을 사용하여 전압(V)과 전류(A)를 측정하였다.

격막식 전해조와 일체형 전해조에서 생성된 강알칼리성 전해수의 계면활성을 확인하기 위하여 각각의 전해조에서 생성

된 강알칼리성 전해수를 비이커에 넣고 강알칼리성 전해수의 10%에 해당하는 광유를 첨가한 후 20분간 일정한 속도로 교반하여 유화현상을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강알칼리성 전해수 물성

전해조와 전해질의 조성을 변경하여 생성한 강알칼리성 전해수의 물성을 Table 1에 나타내었다. 일체형 전해조에서 전해질의 변경을 통하여 pH 11 이상의 강알칼리성 전해수를 생성할 수 있음을 확인하였다. 전해질의 조성을 변경하여 격막식 전해조와 일체형 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수의 가장 큰 차이점은 ORP값이었다.

격막식 전해조를 사용하여 생성한 강알칼리성 전해수의 ORP는 -918 ~ 920 mV를 나타낸 반면 일체형 전해조 사용하여 생성한 강알칼리성 전해수의 ORP는 352~409 mV를 나타내었다. ORP는 전자의 교환으로 상호 간에 산화 또는 환원하는 물질을 함유한 용액의 표준 산화환원 전위와 산화체 및 환원체의 존재비율(근사적으로는 농도)에 의해 정해지는 산화력 또는 환원력의 강도를 나타내는 값이다. 정(+)의 값이 클 때에는 산화력이 강하고, 부(-)의 값이 클 때에는 환원력이 강하다.

Table 1. Properties of strong alkaline electrolyzed water produced in diaphragm electrolytic cell and all-in-one electrolytic cell

Electrolytic cell	Electrolyte	Electrolyte feedrate (mL/min)	Flow rate (L/min)	Ampher (A)	pH	Chlorine conc. (ppm)	ORP (mV)
Diaphragm	25% NaCl	8		19.8	12.0	-	-918
	20% K ₂ CO ₃	8		19.8	12.0	-	-920
All-in-one (non-diaphragm)	180 g NaCl + NaOH 60 g	8		19.8	11.6	59	352
	180 g NaCl + K ₂ CO ₃ 200 g	8		19.8	10.5	51	409

격막식 전해조 적용 시 양극에서 생성되는 강산성 전해수의 ORP는 1,100 mV 이하이고, 음극에서 생성되는 강알칼리성 전해수의 ORP는 -800 mV 이상인 것으로 보고되고 있으며 무격막 전해조에서 염화나트륨을 전해하여 생성하는 차아염소산나트륨수의 ORP는 700 mV 이하로 알려져 있다[10]. 이러한 전해수에서 ORP와 관련된 주요 인자는 양극에서 생성되는 활성산소와 음극에서 생성되는 활성수소인 것으로 추정된다. 즉, 전해반응이 진행됨에 따라 H⁺ 이온과 OH⁻ 이온이 증가하게 되고, 외부 힘에 의해 전해반응이 일어나기 좋은 조건(전자가 충분한 여건)에서는 중간 생성물인 라디칼이 증가하는 연쇄반응이 일어날 수 있으므로 활성산소와 활성수소가 존재하게 된다.

공기 중의 산소 분자는 삼중항 산소(triplet oxygen, ³O₂)로, 2개의 홀 전자를 가지고 있으면서도 안정한 편이다. 그러나, 산소가 변해 불안정한 상태가 되면 다른 성질을 띠게 된다. 활성산소(reactive oxygen species)는 모든 종류의 변형된 산소를 말한다. 과산화수소(hydrogen peroxide, H₂O₂), 초과산화 이온(superoxide ion, O₂⁻), 수산화 라디칼(hydroxyl radical, ·OH)이 대표적인 활성산소들이며 이들은 매우 큰 산화력을 가지고 있다. 활성산소는 양극에서 생성된다.

수소는 원자 2개가 결합하여 수소분자의 형태로 존재하고 있으나 전해반응을 통하여 생성된 강알칼리성 전해수에는 이 수소분자를 분리해 놓은 수소원자 형태의 활성수소가 음극에서 생성되며 매우 강력한 환원력을 가지게 된다.

격막식 전해조에서는 격막을 이용하여 양극과 음극에서 생성한 전해생성물을 분리 생산할 수 있으므로 양극과 음극에서 각각 생성된 활성산소와 활성수소 역시 분리 생산된다. 활성산소와 활성수소가 가지는 산화력과 환원력으로 인하여 양극에서 생성된 강산성 전해수는 매우 높은 전위의 ORP (1,100 mV 이하)를 음극에서 생성된 강알칼리성 전해수는 매우 낮은 전위의 ORP (-800 mV 이상)를 나타내게 된다[12]. 반면 일체형 전해조의 경우 본질적으로 무격막 전해조이므로 양극과 음극에서 생성된 활성산소와 활성수소가 분리 생산되지 않고 전해조 내에서 혼합되므로 일체형 전해조에서 생성된 전해수는 격막식 전해조에서 생성된 강알칼리성 전해수와 유사한 수준의 pH를 나타내지만 격막식 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수에 비하여 높은 전위의 ORP값을 가지게 되는 것으로 추정된다.

일체형 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수의 단기 방청 효과는 환원력 즉, 낮은 ORP에 기인하는 것으로 보고되고 있다. 일체형 전해조에서 전해질 변경에 의하여 생성한 강알칼리성 전해수는 격막식 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수에 비하여 높은 ORP값을 나타내므로 단기 방청효과는 격막식 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수에 비하여 낮을 것으로 예상된다. 반면 일체형 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수는 50 ppm 이상의 염소농도를 나타내고 있으므로 격막식 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수가 보유하지 못한 살균력을 보유한 것으로 판단된다.

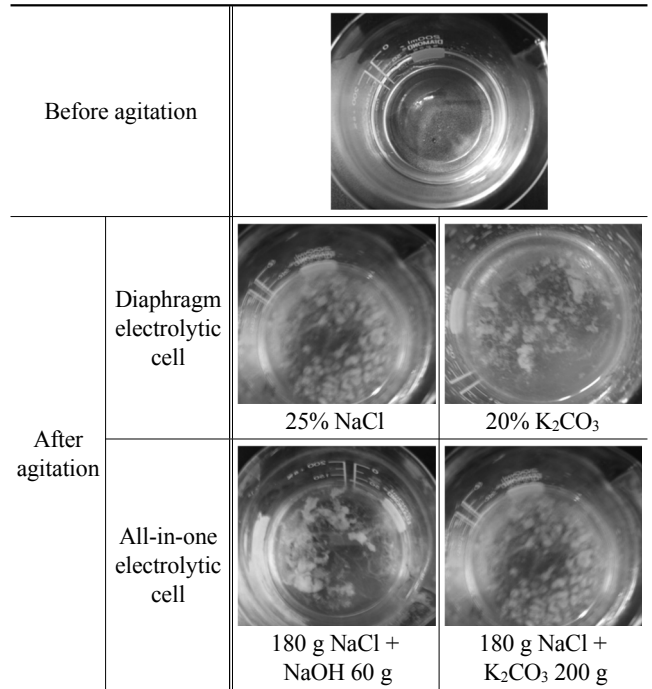


Figure 3. Emulsification by agitation.

3.2. 계면활성

Figure 3에 격막식 전해조와 일체형 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수의 계면활성을 확인하기 위하여 각각의 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수를 비커에 넣고 강알칼리성 전해수의 10%에 해당하는 광유를 첨가한 후 20분간 일정한 속도로 교반하여 유화현상을 관찰한 결과를 나타내었다. 광유를 첨가한 초기에는 격막식 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수, 일체형 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수에서 상분리를 관찰하였다.

일정한 속도로 30분간 교반한 후에는 격막식 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수, 일체형 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수에서 유화현상을 관찰하였다. 이러한 결과로 판단

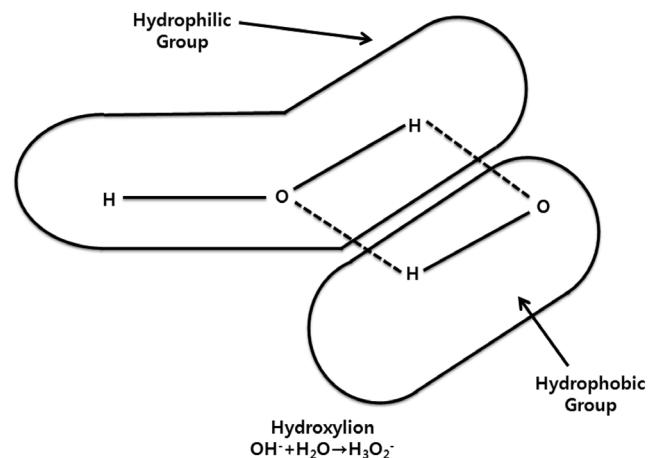


Figure 4. Structure of hydroxyl ion.

할 때 일체형 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수 역시 격막식 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수와 동일하게 계면활성 효과가 있으며, 유분에 대한 세정효과도 보유하는 것으로 판단된다. 격막식 전해조에서 생성한 강알칼리성 전해수의 계면활성효과는 수산화이온(OH^-)으로 인하여 나타나는 것으로 보고되고 있다[13]. 즉, 물의 해리가 진행되면서 수산기(OH^-)는 물과 수화하여 수산화이온(H_3O_2^-)의 양이 증가하게 된다. 수산화이온(H_3O_2^-)은 계면활성을 갖는데 이는 수산기(OH^-)는 소수기, 수분기(H_2O)는 친수기 역할을 하기 때문으로 판단된다. Figure 4에 수산화 이온(H_3O_2^-)의 구조를 나타내었다.

4. 결론

전극반응부와 희석부가 일체화된 일체형 전해조에서 전해질의 조성에 따라 생성한 강알칼리성 전해수의 물성을 파악하였다. ORP값은 격막식 전해조에서 생성한 전해수와 비교하여 상승하였으며 이로 인해 일체형 전해조에서 생성한 전해수의 전기 방청효과는 저하되었다. 전해질의 조성을 변경하여 생성한 전해수의 계면활성효과는 격막식 전해조에서 생성한 전해수와 동등 수준이었으며 따라서 세정력도 격막식 전해조에서 생성한 전해수와 동등 수준일 것이다. 또한 일체형 전해조에서 생성한 전해수의 염소농도는 51~59 ppm로 살균력도 보유하고 있다고 판단된다.

참고문헌

- Abelson, D. C., "Denture Plaque and Denture Cleansers," *J. Prosthet Dent*, **45**, 376-379 (1981).
- Keng, S. B., and Lim, M., "Denture Plaque Distribution and the Effectiveness of a Perborate-containing Denture Cleanser," *Quintessence Int.*, **27**, 341-345 (1996).
- Douglass, C. W., Gammon, M. D. D., and Atwood, A., "Need and Effective Demand for Prosthodontic Treatment," *J. Rosthet Dent*, **59**, 94-104 (1988)
- Gordon, S. R., "Older Adults: Demographics and Need for Quality Care," *J. Prosthet Dent*, **61**, 737-741 (1989).
- Bae, J. H., "Recent Alternative Cleaning Agents and Alternative Cleaning Technology," *Prospectives Ind. Chem.*, **7**(6), (2004).
- Lee, S. P., Choi, S. S., Yoon, M. S., and Kim, S. I., "Environmental Technology Trends Report," *Ministry Environ.*, Korea (2011).
- Park, S. H., "Analysis of Electrochemical Characteristics of the Electrolyzed Water," Chungbuk National Univ., Cheongju (2011).
- Yun, S. J., and Park, S. G., "Corrosion Characteristics of Iron-plate in Prepared ERW by NaCl Solution," *Korea J. Waters*, **1**(2), 20-24 (2010).
- Choi, Y. C., "Characteristics of Electrolytic Water and their Application of Textile Processing," Chungnam National Univ., Daejeon, (2004).
- Lee, S. H., "Development of Green Process Based on Electrolyzed Water for Production of Print Circuit Board of High Density," Kwangwoon Univ., Seoul (2009).
- Kang, K. S., Park, H. J., and Lee, H. I., "A Equipment of Electrolytic Sterilizing Water, Manufacturing System and Method Thereof," R.O.K. Patent NO. 10-1029090 (2011).
- Koseki, S., "The Impact of Effective Chlorine Concentration of Strong Acidic Electrolyzed Water on the Bactericidal Effect of Cutting Vegetables," *J. Food Sci.*, **47**(12), 888-898 (2000).
- Kang, K. S., Kim, T. I., Lee, H. I., Han, H. J., Park, S. G., Kim, H. J., Han, S. D., Park, K. I., and Rhee, Y. W., "Investigation on the Technology Trend in Electrolyzed Sterilizing Water by the Patent Analysis," *Appl. Chem. Eng.*, **21**(2), 188-194 (2010).