

# 전해산성수를 이용한 암모니아 중화와 제거

최원경

단국대학교 경영공학과 초빙교수

## Ammonia neutralization and removal using electrolyzed-acidic water

Weon-Kyung Choi

Visiting Professor, Management Engineering, Dankook University

**요약** 전기분해 공정으로 제조한 전해산성수를 이용하여 생활 악취의 원인인 암모니아를 제거하는 방법을 연구하였다. 제조한 전해산성수는 pH와 ORP 변화 측정을 통해 안정적으로 알칼리성 암모니아를 중화 시킬 수 있는 전해수(중화제)로 확인되었다. 자외-가시선 흡광도 분석과 전기화학적 개방회로 전위 측정으로 전해산성수와 암모니아수를 혼합한 용액에서 암모니아가 제거되는 것을 확인하였다. 암모니아 가스 발생량 측정을 통해 전해산성수가 암모니아를 중화시켜 악취 발생시키는 암모니아를 효과적으로 제거되는 것으로 조사되었다. 친환경적인 전해산성수가 악취의 원인 물질인 암모니아를 효과적으로 안전하게 제거할 수 있는 것으로 확인되었다.

**주제어** : 용합기능수, 전해산성수, 암모니아, 기능수, 전해수, 개방회로전위

**Abstract** An electrolyzed-acidic water treatment was investigated as a methods for removing ammonia, which is a cause of odor in life environment. The prepared electrolyzed-acidic water was found out as stable solvent capable of neutralizing weak alkaline ammonia by measuring changes in pH and ORP. It was found out that ammonia was removed from the mixture solution of electrolyzed-acidic water and ammonia water by the UV-vis absorbance analysis and electrochemical open-circuit potential measurement. The neutralized ammonia by electrolyzed-acidic water and effectively removed odor was measured using ammonia gas detector. Consequently, we recommend the electrolyzed-acidic water can effectively and safely remove ammonia in eco-friendly.

**Key Words** : Convergence functional water, Electrolyzed-acidic water, Ammonia, Functional water, Electrolyzed water, Open-circuit potential

## 1. 서론

물을 전기분해하여 제조하는 전해수(전기분해수)는 산성수와 알칼리수로 분리되어 생산되고 재현성이 높은 유용한 기능을 가지고 있으며, 전기분해 기술과 제조 방법에 따라 다양한 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다 [1-3]. 전해산성수(EAW : Electrolyzed acidic water)

는 소독과 세정 등에 매우 효과적인 결과를 나타내는 것으로 최근 많은 연구가 되고 있으며, 전해환원수(ERW : Electrolyzed reduced water)는 음용 및 의료 기능을 비롯하여 추출 용매의 성능을 향상시키는 것으로 알려지면서 많은 관심을 받고 있다[4]. 전해수를 비롯한 다양한 기능을 발휘하는 물(water)들은 기능수로 명명되어 연구 개발되어 가정용, 보건용, 의료용, 산업용 등 여러 분야

\*Corresponding Author : Weon-Kyung Choi(cwk5145@dankook.ac.kr)

Received April 5, 2021  
Accepted May 20, 2021

Revised May 10, 2021  
Published May 28, 2021

에 사용되어 그 활용도가 점차 확대되고 있다[5-7]. 특별한 기능을 가진 활성수인 기능수는 그 생성원리 및 제조 과정이 목적과 용도에 따라 다양한 공정을 거치면서 산성수, 환원수, 산소수, 탄산수, 해양심층수 등으로 개발되어왔다.

다양한 기능수 중 전기분해 공정으로 제조한 전해수가 널리 알려졌으며 상용화되어 기능수 자체 제품과 제조 장비 등을 주변에서 쉽게 접할 수 있다. 산화력을 갖고 있는 전해산성수와 환원력을 갖고 있는 전해환원수가 대표적인 기능수이다. 전해산성수는 최근 많은 연구를 통해 차아염소산수 등 우수한 효과들이 널리 알려져 있으며 음용을 목적으로 하는 약알칼리성 전해수는 전해알칼리환원수, 전해알칼리이온수 등의 이름으로 널리 사용되고 있다. 음용 전해수는 활성탄 등으로 불순물을 제거한 물을 양극과 음극의 사이에 격막을 설치하고 전류를 흘려 음극에서 만들어지는 전해알칼리수이다[8]. 염화나트륨, 희석염 등을 희석하여 무격막 전해조에서 전해수를 제조하면 세균이나 바이러스 살균소독제로 효과가 우수한 미산성 차아염소산수가 생성된다[5-6]. 미산성전해수인 차아염소산수는 코로나바이러스, 사스 등 감염병에 대한 소독제로 사용이 가능하고 구제역, 조류독감 등 축산 방역에도 널리 사용되고 있다.

본 연구는 전해산성수의 산화력과 산성도를 이용하여 생활 주변에서 발생하는 악취 성분인 암모니아 제거하는 기능수로서의 성능을 조사하는 연구이다. 암모니아는 질소 원자를 포함한 NH<sub>3</sub>의 화학식을 갖는 물질로 청소가 잘 되지 않은 화장실이나 배수구 등에서 발생하는 악취 원인 물질로 일상생활 주변에서 흔하게 발생하는 물질이다. 축산업에서 발생하는 가축 분뇨, 도심 하수도와 하천, 쓰레기 매립장의 동/식물 부패 과정에서 발생하는 암모니아를 효과적으로 제거하기 위한 산업적 규모의 친환경 처리방법이 사회적 요구에 따라 점차 강조되고 있다[9]. 농도가 높은 암모니아는 사람의 건강이나 생활환경에 피해를 일으킬 우려가 있는 유해물질로 쾌적하고 안전한 보건 생활을 위해 안전하게 처리되어야 한다. 전해산성수는 약알칼리 물질인 암모니아를 중화시켜 효과적으로 제거할 수 있는 처리제로 기대되는 기능수이다.

제조한 전해산성수의 산화환원전위(ORP : Oxidation-reduction potential)와 pH 변화를 조사하여 암모니아를 분해, 제거할 수 있는 가능성을 조사하였다. 암모니아수와 전해산성수를 혼합한 후 자외-가시선 분광분석, 전기화학 분석 방법인 개방회로전위(Open-circuit potential) 그리고 암모니아 기체 발생 농도 변화를 측정

하여 전해산성수가 암모니아 중화와 제거에 미치는 효과를 평가하였다.

## 2. 실험 방법

암모니아 분해 실험에 사용된 전해산성수는 Fig. 1에 나타낸 구조의 전해조를 이용해서 제조하였다. 전해산성수 제조 원료로 공급된 수도수(tab water)를 탄소 필터를 이용하여 불순물을 제거하고 사용하였다. 전해조는 양극(anode)과 음극(cathode) 사이에 격막을 설치하여 전해산성수와 전해알칼리수가 각 격실에서 연속적으로 생산되었다. 양극이 설치된 격실(chamber)의 수도수에 외부로부터 전기에너지를 받아 전기화학적 산화반응으로 산소(O<sub>2</sub>)와 수소이온(H<sup>+</sup>)이 발생되어 용존된다[10,11]. 용존된 수소이온이 중성 수도수를 산성으로 변화시키고 용존된 산소로 인해 산화성을 갖는 전해산성수가 생성된다. 음극실에서는 전기화학적 환원 반응으로 생성된 수소(H<sub>2</sub>)와 수산화이온(OH<sup>-</sup>)이 수도수에 용존된다. 수산화이온이 용존된 수도수는 알칼리성으로 변하며 환원성 수소기체가 포함되어 전해알칼리수, 알칼리이온수 또는 전해환원수로 만들어진다. 직류전원을 사용하는 전기분해 전압은 3 V ~ 5 V 사이에서 진행되었고 정전류 밀도로 설정하여 실시되었다.

분해 물질로 사용한 암모니아(NH<sub>4</sub>OH)는 시약으로 공급되는 희석 암모니아수 18%를 사용하였다. 실험 목적과 방법에 따라 농도를 조정하여 전해산성수와 혼합하여 사용하였다.

제조한 전해산성수의 산성도를 조사하기 위해 pH/ORP 측정기(pH-221, Lutron)를 사용하여 pH 변

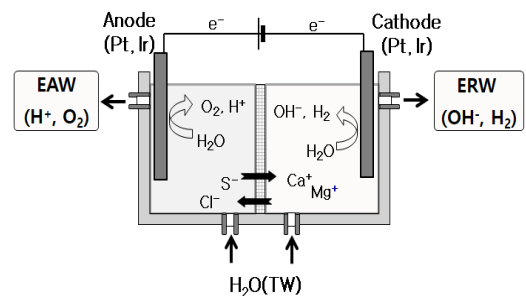


Fig. 1. Schematic image of electrolysis cell using for electrolyzed-acidic water preparation with membrane.

화를 측정하였고 산화성을 확인하기 위하여 ORP 측정을 실시하였다[12-14]. 전해산성수가 대기에 노출되었을 경우와 분리되었을 경우의 차이를 조사하기 위해 개방된 용기와 밀폐된 용기에 보관하면서 주기적으로 변화를 측정하였다. 전해산성수의 산화성은 용존된 산소로 인해 나타나는 특성이므로 전해 조건에 따라 생성된 각 전해산성수의 용존산소 농도를 조사하였다.

전해산성수를 혼합 후 중화되는 암모니아 농도 변화를 관찰하기 위하여 자외-가시선 분광광도계(UV-Visible Spectrophotometer, UV-1601, Shimadzu)를 이용하여 흡광도를 조사하였다[15]. 전해 조건을 변화시켜 산성도를 조절한 전해산성수를 혼합 후 10 분간 방치시키면서 시간 변화에 따른 흡광도를 측정하여 암모니아가 분해되는 과정을 조사하였다. 모든 전기화학측정은 Potnetio/Galvanostat(PGZ301, Voltalab)를 이용하였다. 암모니아를 분해하는 전해산성수의 거동을 개방회로전위(Open-circuit potential) 측정하여 조사하였다. 개방회로전위는 전극과 전해액의 평형을 확인 할 수 있는 전기화학적 측정방법이다. 전해산성수, 암모니아와 반응하지 않는 백금 전극을 작업전극(working electrode)과 상대전극(counter electrode)으로 사용하였다. 전해산성수가 암모니아를 분해하는 반응이 종료되면 개방회로전위의 변화가 멈추고 안정화되는 시간을 관찰함으로써 암모니아의 중화를 조사하였다.

전해산성수로 처리한 암모니아수의 중화와 제거를 측정하기 위하여 암모니아 가스 검출기를 이용하여 발생하는 암모니아 농도를 측정하였다. pH를 조절한 전해산성수와 암모니아수를 혼합 후 발생하는 암모니아 농도를 1 시간 동안 주기적으로 측정하였다.

### 3. 실험결과

격막 전해조에서 연속식 전기분해법으로 전해산성수를 제조하였고 pH와 ORP 측정으로 산성도와 산화성을 확인하였다. 제조 후 개방된 용기와 밀폐된 용기에 보관하면서 pH와 ORP 변화를 조사하였고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 전해산성수를 개방 용기와 밀폐 용기에서 120 시간 경과하는 동안 측정된 수소이온농도 지수인 pH 변화는 제조 직후와 거의 변화가 없이 120시간 동안 pH 3.20 정도를 유지하였다. 전기분해 반응으로 생성된 수소이온( $H^+$ )은 화학적 반응성이 높은 물질이지만 전해산성수에서 안정적으로 존재하는 것으로 확인되었다. 전기분해 과정에서 수소이온과 함께 생성된 용존 산소의 농도에 따라 나타나는 산화환원성 변화는 ORP 측정을 통해 관찰되었다. 개방용기와 밀폐용기에 보관하면서 측정된 ORP 변화는 용기의 밀폐 여부에 관계없이 거의 동일한 결과를 나타내었다. 전해산성수를 제조 후 24시간이 경과하면서 과포화 농도의 산소가 사라지면서 ORP가 228 mV에서 222 mV 감소하고 산화환원성이 약해지는 것이 확인되었다. 이후 보관 시간이 경과해도 산화환원성이 거의 변화하지 않는 일정한 ORP가 유지되는 것으로 관찰되었다. 전해산성수의 ORP가 변화하는 시간이 지나고 산화환원성의 변화가 없는 안정적인 전해산성수를 얻을 수 있었다. 안정화된 전해산성수는 암모니아를 중화에 일정하게 작용이 가능하므로 재현성이 높은 암모니아 중화와 제거를 기대 할 수 있다.

전기분해 시간을 증가시키면서 pH 4 ~ pH 8 사이의 수소이온농도와 용존산소 농도가 다른 전해산성수들을 제조하였다. 각 전해산성수의 pH와 용존산소 농도를 측정된 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 전해산성수 제조와 동시에 생성되는 전해환원수의 용존산소 농도와 pH도 나타내었다. pH 4.50인 전해산성수의 용존산소량은 6.1 ppm이고 pH가 증가하면서 용존산소량이 감소하여 pH 6.90 전해산성수의 용존산소량은 4.4 ppm으로 감소하였다. 전기분해 시간이 길어지면서 양극에서 물이 분해되어 발생한 수소이온의 증가로 pH는 낮아지고 용존 산소량은 증가하였다. 수소이온 농도 즉 pH의 변화와 용존 산소량이 동시에 변화하기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것이다. 전해알칼리수도 유사한 pH와 ORP 변화가 나타났다. 음극의 전기분해로 발생한 수소기체가 용존된 산소와 중화하여 물로 환원되면서 용존 산소가 감소하는 결과가 전해알칼리수에서 나타났다.

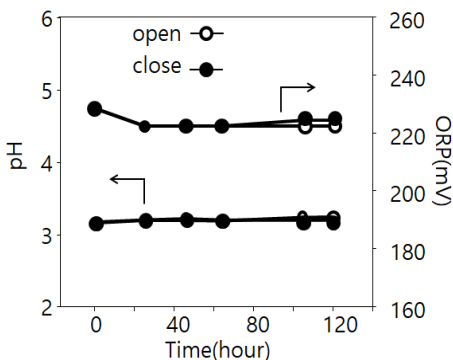


Fig. 2. pH and ORP changes of prepared electrolyzed-acidic water for 120 hr.

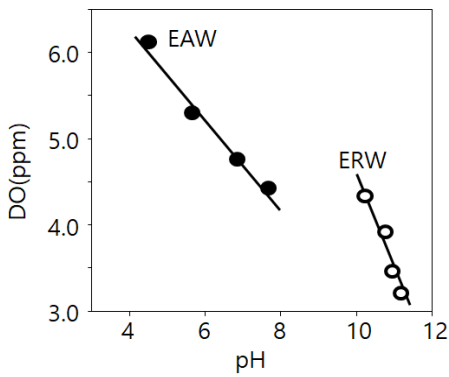


Fig. 3. Dissolved oxygen concentration vs. pH of prepared electrolyzed-acidic water and electrolyzed-alkaline water.

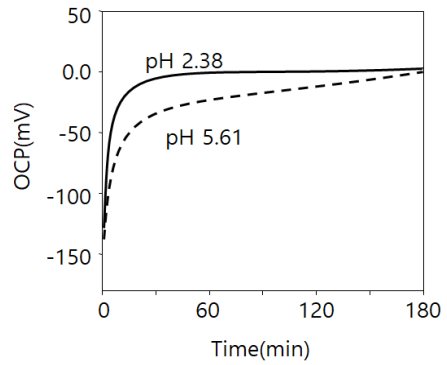


Fig. 5. Open-circuit potential changes of prepared electrolyzed-acidic water with different pH.

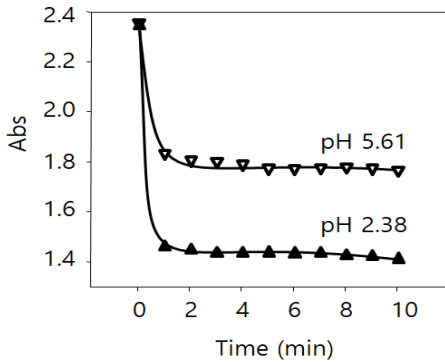


Fig. 4. UV-vis, absorbance changes of prepared electrolyzed-acidic water with different pH.

암모니아 중화, 제거에 대한 전해산성수의 효과를 조사하기 위해 전해산성수와 암모니아수를 일정 비율로 혼합하고 나타나는 변화를 자외-가시선 흡광도 측정하였다. 자외-가시선 분광분석은 높은 정밀도를 나타내는 분석법으로 낮은 농도의 물질 변화를 측정하는데 적합한 분석법이므로 본 연구에 적용하였다. 암모니아수에 pH 5.61과 pH 2.38의 전해산성수를 혼합하여 제조한 용액의 자외-가시선 흡광도 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 전해산성수와 혼합하기 전 암모니아수의 흡광도는 2.75로 측정되었고 전해산성수를 정제 수도수에 동량으로 혼합한 암모니아수의 흡광도는 2.38로 측정되었다. 전해산성수를 혼합하면서 흡광도는 급격히 감소하여 1.82와 1.47로 측정되었고 이후 10분간 변화를 측정한 결과 흡광도가 서서히 감소하는 것으로 나타났다. 전해산성수와 암모니아수의 혼합 후 2분 이내에 흡광도가 급격히 변화하는 것은 암모니아가 빠르게 중화하는 것을 설명한다.

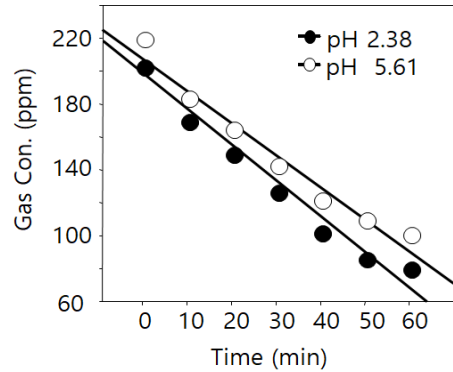


Fig. 6. Ammonia gas concentration changes of prepared electrolyzed-acidic water with different pH.

전해산성을 이용한 암모니아의 중화반응 변화는 Fig. 5의 개방회로전위 측정 결과에 나타내었다. 전기화학 분석은 반응물과 생성물로부터 직접적으로 변화를 조사할 수 있는 방법으로 불활성 전극의 개방회로 전위는 전해액의 상태와 변화를 관찰할 수 있다. 전해산성수와 암모니아수를 혼합하여 용액의 변화를 조사하는 본 연구에 적합한 분석법이다. 전해산성수와 암모니아수가 혼합되면 두 용액이 평형이 되기까지 지속적으로 변화하는 용액 내부의 화학적 변화가 개방회로전압으로 나타난다. 암모니아가 전해산성수에 포함된 산화성 성분과 반응이 끝나고 평형이 되면 전압 변화가 나타나지 않고 안정화된다. Fig. 5는 3시간 동안 관찰한 암모니아수와 전해산성수 혼합 용액의 개방회로 전압 변화이다. 다른 측정이나 분석과 동일하게 pH와 ORP가 다른 두 전해산성수 용액을 사용하였다. pH 2.38의 전해산성수를 사용한 암

모니아수 혼합 용액의 개방회로전압은 30분 정도 측정 시간이 경과 후 전압이 0.0 mV로 안정화 되어 이후 변화가 나타나지 않았다. pH 5.61 전해산성수와 암모니아수를 혼합한 용액의 개방회로전압은 약 30 분간 전압의 변화가 급격히 증가하는 것으로 나타났고 이후 측정이 종료 될 때까지 서서히 증가하는 것으로 나타났다 낮은 pH 2.38 전해산성수에는 산성 물질이 충분히 용존되어 빠른 시간에 암모니아가 중화되고 평형전위에 도달한 것으로 설명된다. pH 5.61 전해산성수에는 산성 물질이 부족하여 개방회로전위가 안정적인 평형에 이르지 못하였다. 전해산성수의 암모니아 중화가 30 분간 진행되었으나 평형에 도달하지 못하고 이 후 용액에 남아있는 암모니아가 대기 중에 확산하면서 3시간 후 평형에 도달한 것으로 설명된다. 전해산성수와 암모니아수를 혼합하여 중화 반응이 진행되면서 나타나는 암모니아 가스 발생량 변화를 암모니아 가스 측정기를 이용하여 조사하였다. Fig. 6은 암모니아 가스 측정 결과를 나타낸 것으로 pH 5.61과 pH 2.38의 전해산성수를 혼합 후 측정시간이 경과 후 암모니아 가스 농도가 직선적으로 감소하는 것이 나타났다. 암모니아 기체의 농도 변화 측정은 가시-자외선 분광분석과 개방회로전위 측정과 다르게 용액 외부로 확산과정을 거치는 물질의 변화에 대한 측정으로 검출이 느리게 때문에 암모니아의 감소 경향이 다르게 나타났다. 그러나 전해산성수를 혼합하여 암모니아를 중화하고 제거하는 결과는 다른 측정이나 분석과 동일한 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

전해산성수를 이용한 암모니아 중화 및 제거에 대한 조사를 하였다. 다음과 같은 결과들은 암모니아를 효과적으로 제거하는 방법으로 전해산성수에 대한 기대와 가능성이 설명한다.

1. 격막식 전해조에서 제조한 전해산성수의 제조 후 pH는 변화가 없이 수소이온 농도가 유지되어 암모니아 중화, 제거에 장시간 보관하며 지속적으로 사용이 가능하였다.
2. 전해산성수 ORP는 전해 생성된 용존산소 농도, pH와 비례하여 변화하였으며 과산화 산소가 사라진 후 ORP는 다소 감소하였으나 이후 장시간 일정한 용존산소가 유지되는 것으로 확인되었다.
3. 자외-가시선 흡광도 분석과 암모니아 발생 농도 측

정으로부터 전해산성수가 암모니아를 빠르게 중화하는 것으로 확인되었다.

4. 개방회로전위를 측정하여 암모니아가 전해산성수를 혼합 후 빠르게 분해(중화)되는 것을 확인하였다. pH값이 2.38과 5.61인 두 전해산성수를 비교하여 용존 산소농도가 높은 pH=2.38에서 암모니아 분해가 더 효과적인 것을 확인 할 수 있었다. 위와 같은 결과들로부터 전기분해로 제조한 전해산성수를 이용하여 암모니아를 효과적으로 중화, 제거 할 수 있음을 확인하였다.

#### REFERENCES

- [1] C. Kim, Y. C. Hung & R. E. Brackett. (2000). Efficacy of electrolyzed oxidizing(EO) and chemically modified water on different types of foodborne pathogens. *International Journal of Food Microbiology*, 61(2-3), 199-207. DOI: 10.1016/S0168-1605(00)00405-0
- [2] Y. Nagamatsu, K. K. Chen, K. Tajima, H. Kakigaw & Y. Kozono. (2003). Corrosion Behavior of Dental Alloys in Various Types of Electrolyzed Water. *Dental Materials Journal*, 22(4), 482-493. DOI: 10.4012/dmj.22.482
- [3] M. A. Deza, M. Araujo & M. J. Garrido. (2005). Inactivation of *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* on stainless steel and glass surfaces by neutral electrolysed water. *Letters in Applied Microbiology*, 40(5), 341-346. DOI: 10.1111/j.1472-765X.2005.01679.x
- [4] S. B. Jonnalagadda, N. R. Gollapalli. (2000). Kinetics of Reduction of Toluidine Blue with Sulfite—Kinetic Salt Effect in Elucidation of Mechanism. *Journal of Chemical Education*, 77(4), 506-509. DOI: 10.1021/ed077p506
- [5] K. Kikuchi, H. Takeda, B. Rabolt, T. Okaya, Z. Ogumi, Y. Saihara & H. Noguchi. (2001). Hydrogen particles and supersaturation in alkaline water from an Alkali-Ion-Water electrolyzer. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 506(1) 22-27. DOI: 10.1016/S0022-0728(01)00517-4
- [6] J. Hao, H. Wuyundalai, T. Liu, Y. Chen, Y. C. Zhou & L. L. Su. (2011). Reduction of Pesticide Residues on Fresh Vegetables with Electrolyzed Water Treatment. *Journal of Food Science*, 76(4), C520-524. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2011.02154.x
- [7] S. Shirahata et al. (1997). Electrolyzed-reduced water scavenges active oxygen species and protects DNA from oxidative damage. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 234(1), 269-274. DOI: 10.1006/bbrc.1997.6622

- [8] K. Ryoo, B. Kang & O. Sumita. (2002). Electrolyzed Water as an Alternative for Environmentally Benign Semiconductor Cleaning. *Journal of Materials Research*, 17(06), 1298-1304.  
DOI: 10.1557/JMR.2002.0194
- [9] Z. Ding, L. Liu, Z. Li, R. Ma & Z. Yang. (2006). Experimental study of ammonia removal from water by membrane distillation (MD): The comparison of three configurations. *Journal of Membrane Science*, 286(1-2), 93-103
- [10] Y. Tanaka, S. Uchinashi, Y. Saihara, K. Kikuchi, T. Okaya & Z. Ogumi. (2003). Dissolution of hydrogen and the ratio of the dissolved hydrogen content to the produced hydrogen in electrolyzed water using SPE water electrolyzer. *Electrochimica Acta*, 48(27), 4013-4019.  
DOI: 10.1016/S0013-4686(03)00541-3
- [11] K. S. Venkitanarayanan, G. O. Ezeike, Y. C. Hung & M. P. Doyle. (1999). Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivating Escherichia coli O157:H7, Salmonella enteritidis, and Listeria monocytogenes. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(9), 4276-4279.  
DOI: 10.1128/AEM.65.9.4276-4279.1999
- [12] M. Koseki, Y. Tanaka, H. Noguchi & T. Nishikawa. (2007). Effect of pH on the taste of alkaline electrolyzed water. *Journal of Food Science*, 72(5), S298-302.  
DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00384.x
- [13] D. G. Kim et al. (2013). Agro-industrial Wastewater Treatment by Electrolysis Technology. *International Journal of Electrochemical Science*, 8(7), 9835-9850.
- [14] N.V. Vorobjeva. (2005). Selective stimulation of the growth of anaerobic microflora in the human intestinal tract by electrolyzed reducing water. *Medical Hypotheses*, 64(3), 543-546.  
DOI: 10.1016/j.mehy.2004.07.038
- [15] K. H. Kim, S. Y. Park & S. T. Kim. (2005). Some considerations for the analytical approaches to measure atmospheric ammonia: tests on a relative performance of a portable colorimeter against UV/VIS spectrophotometer. *Analytical Science & Technology*, 18(5), 425-430.

최 원 경(Weon-Kyung Choi)

[정회원]



- 1996년 2월 : 단국대학교 공업화학과 (석사)
- 2000년 3월 : 오사카부립대학교 응용화학과 (박사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 경영공학과 초빙교수
- 관심분야 : 금속-공기전지, 2차전지,

기능수

· E-Mail : cwk5145@naver.com