

전기분해 격막 및 전해액에 따른 전해수의 특성 비교

정진웅 · 김종훈 · 김병삼 · 정승원
한국식품개발연구원

Characteristics of Electrolyzed Water Manufactured from Various Electrolytic Diaphragm and Electrolyte

Jin-Woong Jeong, Jong-Hoon Kim, Byung-Sam Kim and Seung-Weon Jeong

Korea Food Research Institute

Abstract

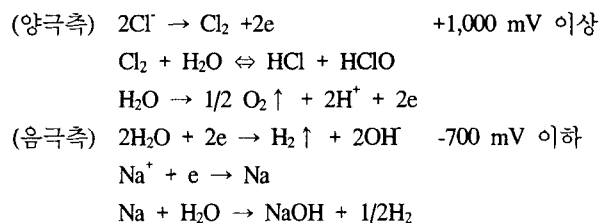
This study was carried out to investigate the efficacy of surface sterilization and the physicochemical properties of electrolyzed water manufactured from various electrolytic diaphragm and electrolyte. Physical properties of electrolyzed water manufactured from the diaphragm system were the most effective at the following conditions; the distance between diaphragms was 1.0 mm and the supplying rate of 20% NaCl was 6 mL/min. The ORP, HClO content and pH at above conditions were 1,170 mV, 100 ppm and 2.5, respectively. And two stage electrolyzed system was more effective than one stage. Electrolyzed water manufactured from non-diaphragm system, with 4 mL/min supplying rate of 20% NaCl, was similar to the most effective diaphragm system. But ORP, HClO content and pH were about 800 mV, 200 ppm and 9 level, respectively. Sealed electrolyzed water could be preserved more than one month at room temperature with ORP of 750 mV in non-diaphragm system and 1,150 mV in diaphragm system, and HClO content of 100 ppm. Twelve kinds of microorganism tested were sterilized within 30 seconds from initial total counts of $10^5 \sim 10^6$ cfu/ml by electrolyzed water. Though the ORP and HClO contents of electrolyzed water manufactured from various electrolyte were higher in order of NaCl > KCl > CaCl₂, there were no difference between the electrolytes in the efficacy of sterilization. *Salmonella typhi* and *Vibrio Proteolyticus* were also sterilized by electrolyzed water manufactured from electrolytes of NaCl, CaCl₂ and KCl

Key words : electrolyzed water, surface sterilization, electrolytic diaphragm, electrolytes

서 론

과채류의 세정은 통상적으로 부착된 이물질 즉, 흙, 먼지, 유충, 농약 등의 오염물질 제거를 목적으로 한다. 이 중 흙, 먼지 등의 이물질은 일반적인 수처리에서 의해서 가시적 효과를 기대할 수 있으나 오염 미생물 등은 1 log cycle 이상의 감소를 기대하기는 어렵다(1, 2). 세정에 보편적으로 사용되고 있는 차아염소산은 과다 사용시 작업환경 악화, 잔류약취, 잔류염소 등과 채소조직의 과도한 손상을 초래할 수 있으며 이를 최소화할 수 있는 대체 세정제의 개발시도가 진행되고 있다(3). 이들 중 전해산화수는 속효성의 살균력과 잔류물이 없으며 물 자체의 오염에 따른 2차적 오염 가능성이 없다는 특징으로 세정매체로서의 적용에 대한 연구가 진행되고 있

다(4~6). 전해산화수는 소량의 식염을 수도수에 첨가, 전기 분해하는 것으로 얻어지는데 산화-환원전위(Oxidation-reduction potential: ORP)가 +1,000mV 이상이며, pH 2.7 이하이다. 일본에서 1992년 전해산화수에 대한 공적인 연구과제가 탄생되어 이에 대한 연구가 진행되어 오고 있는데 일반적인 화학적 생성 기작은 다음과 같다.



이와같이 생성된 전해산화수의 일반적인 특징은 강력한 살균력, 처리대상의 제약이 적으며, 잔류물이 없고 물 자체의 오염에 따른 2차적인 오염 가능성이 없다는 것이다(7). 산화수에 존재하는 Cl⁻는 기체수화의 상태로 녹아 있어 전해산화

Corresponding author : Jin-woong Jeong, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-ku, Sungnam-si, Kyungki-do 463-420, Korea
e-mail : jwjcong@kfri.re.kr

수가 갖는 살균력은 결국 이 염소가스의 산화력에 의한다는 주장이 있고, 이 외에도 살균력 부여 기작은 높은 산화환원 전위력, 용존산소 등에 의한다는 연구가 주로 발표되고 있으나 정확한 기작은 아직 밝혀져 있지 않은 상태이다(8, 9). 그러나 살균력 외에는 아직 과학적으로 입증할 만한 물성에 관련된 특성이 규명된 바 없어 향후 물성과 관련된 응용 범위의 확대를 위한 기초적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 전해산화수의 신선 과채류의 살균 매체로서의 활용성 및 기타 식품 제조에의 응용 가능성을 검토하기 위한 기초연구로, 직접 전기분해수 제조 시스템을 제작하여 전기분해 격막 및 전해액에 따른 전해산화수의 물리적 특성 및 미생물의 표면살균 효과를 검토하였다.

재료 및 방법

시스템 제작

실험에 사용한 전기분해수 제조 시스템의 개략도는 Fig. 1과 같다. 본 장치의 특징은 격막식 방식으로 1단 및 2단 전기분해, 무격막식 방식에서 1단 및 2단 전기분해를 동시에 적용할 수 있도록 제작하였다. 전극은 이리듐 도금 티타늄 재질의 판형(70×140×1 mm)으로 제작하고, 격막식에서는 격막 간격에 따른 전해수 특성을 살펴보기 위하여 격막 간격을 0.5, 0.8, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 mm로 각각 변경하면서 실험할 수 있도록 하였다. 또한, 전해액 공급은 연속적으로 유수하는 방식이며 조절레버를 이용하여 0~10 ml/min로 조절 가능하도록 하였다.

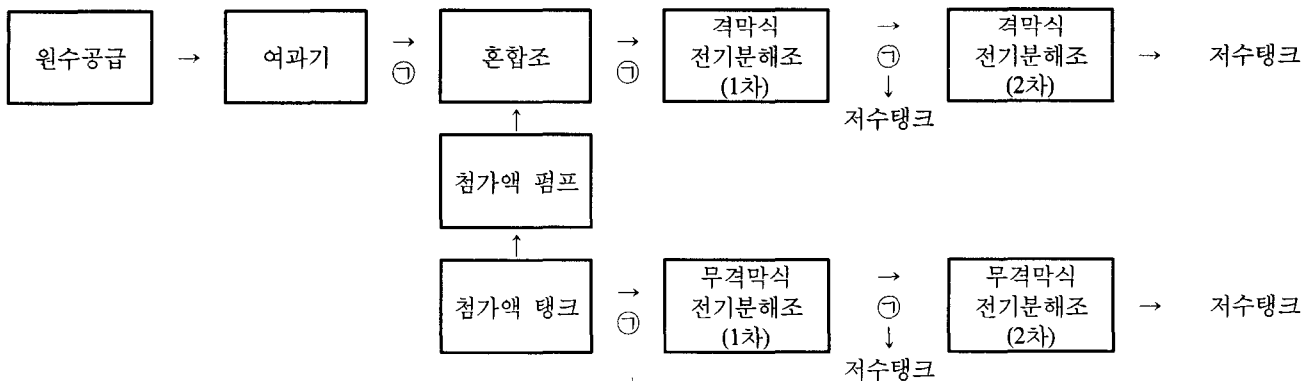
전해수의 물성 측정

전해수의 pH는 pH meter(Suntex, 2000A, USA)를 사용하였으며, 산화환원전위(oxidation- reduction potential; ORP)의 측정은 ORP meter (RM-12P, TOA Electronics, Japan)를, 그리고

차아염소산(HClO) 함량은 전해산화수 50 mL에 요오드화칼륨 2 g, 초산 10 mL와 전분 지시약을 0.5 mL 가하여 흑갈색이 되도록 한 후 치오황산나트륨 용액 10 mL로 흑갈색의 용액이 투명해질 때까지 적정하였다.

미생물 측정

전해수의 미생물 살균효과를 살펴보기 위하여 *Botrytis cinerea*(ATCC 6973), *Glomerella cingulata*(ATCC 6075), *Bacillus cereus*(ATCC 1012), *Vibrio Proteolyticus*(ATCC 2730), *Salmonella typhimurium*(ATCC 1925), *Clostridium perfringens*(ATCC 3269), *Pseudomonas fluorescens*(ATCC 2344), *Escherichia coli*(ACTC 1039)는 유전공학연구소 유전자은행에서 분양받아 사용하였으며, *Aspergillus niger*(K 993), *Lactobacillus plantarum* (K 464), *Staphylococcus aureus*(K 171), *Clostridium butyricum*(K 750)는 당 연구원에서 분양받아 사용하였다. *Botrytis cinerea*의 배양과 계수는 Potato Sucrose Agar(Difco 사), *Glomerella cingulata*는 Potato Dextrose Agar(Difco 사), *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas fluorescens* 및 *Staphylococcus aureus*는 Nutrient Agar(Difco 사), *Vibrio Proteolyticus*는 Nutrient Agar with 3% NaCl을, *Aspergillus niger*는 Malt Extract Agar(Difco 사), *Lactobacillus plantarum*는 MRS medium with 5% Lactose를, *Clostridium perfringens* 및 *Clostridium butyricum*의 배양과 계수는 Reinforced Clostridial Medium(Difco 사)을 사용하였다. 미생물 측정은 대상 균주를 20 mL의 배지에 접종하여 30~37°C에서 24~48시간 동안 배양한 후 원심분리(3,000 rpm, 15분)하여 얻은 균체에 20 mL 인산완충용액(pH 7.2, 10 mM)을 넣어 현탁하였다. 현탁균액 1 mL씩을 미리 멸균한 시험관에 분주하고, 준비해 둔 전해수를 가하여 10 mL로 한 다음 25°C 수조에 넣어 진탕하면서 노출시간에 맞추어 1 mL씩 취하여 멸균생리식염수로 단계 희석한 다음, 배지에 pour plating 한 후 배양하였다. 대조구는 제조수 대신 멸균 증류수를 사용하였다(10).



㉠ 스톱밸브

Fig. 1. Schematic diagram of electrolyzed oxidizing water system.

Table 1. Comparison of physicochemical properties of electrolyzed oxidizing water produced with various conditions

	Gap of diaphragm (mm)	NaCl content (mL/min)	Ampere (A)	Water volume (mL/min)	Physicochemical property			
					ORP(mV)	pH	HClO(ppm)	
Diaphragm (1 stage)	0.5	4	14.66±0.57	733.33±5.77	1,137.00±16.52	3.19±0.18	53.12±2.92	
		6	16.00±0.00	733.33±11.54	1,138.00±6.24	3.25±0.04	55.27±2.58	
	0.8	4	11.75±1.25	676.66±15.27	1,158.75±3.94	2.78±0.04	70.37±1.37	
		6	14.33±2.08	695.00±21.21	1,165.00±5.29	2.55±0.01	84.48±5.64	
	1.0	4	11.50±0.79	714.28±36.90	1,154.50±7.30	2.76±0.06	59.05±3.89	
		6	16.00±0.00	760.00±0.00	1,171.25±0.95	2.52±0.02	100.32±0.00	
	2.0	4	8.00±2.82	715.00±21.21	1,021.25±133.53	4.66±1.83	36.43±3.03	
		6	8.00±0.00	730.00±0.00	902.00±22.62	6.20±0.01	44.72±0.00	
	3.0	4	8.00±0.00	680.00±0.00	1,128.00±7.07	3.07±0.07	62.62±0.00	
		6	10.00±0.00	680.00±0.00	1,159.50±0.70	2.74±0.04	84.51±7.79	
	4.0	4	6.00±0.00	705.00±7.07	1,036.00±14.14	4.54±0.30	53.01±0.50	
		6	6.00±0.00	700.00±0.00	1,036.50±33.23	4.34±0.53	54.64±0.00	
	Diaphragm (2 stage)	0.5 →1.0	4	26.66±1.15	773.33±5.77	1,168.33±1.15	2.79±0.01	84.5±1.56
			6	26.66±1.15	746.66±23.09	1,170.00±1.73	2.79±0.02	91.08±2.68
0.8 →1.0		4	30.00±0.00	680.00±0.00	1,180.00±1.41	2.50±0.01	164.94±3.68	
		6	30.00±0.00	680.00±0.00	1,178.00±0.00	2.43±0.00	162.80±0.00	
1.0 →1.0		4	21.33±1.15	746.66±11.54	1,181.60±2.07	2.45±0.05	110.48±6.40	
		6	28.00±0.00	770.00±0.00	1,185.50±0.57	2.27±0.02	174.37±43.74	
2.0 →1.0		4	16.00±0.00	730.00±0.00	1,160.00±4.24	2.88±0.03	77.20±0.00	
		6	18.00±0.00	730.00±0.00	1,166.50±2.12	2.78±0.01	93.38±6.18	
3.0 →1.0		4	20.00±0.00	705.00±7.07	1,179.50±0.70	2.39±0.01	84.12±14.63	
		6	30.00±0.00	730.00±0.00	1,182.00±00.00	2.25±0.00	142.69±0.00	
4.0 →1.0		4	22.00±0.00	725.00±7.07	1,176.00±0.00	2.43±0.02	162.28±11.20	
		6	22.00±0.00	710.00±0.00	1,174.50±0.70	2.34±0.00	146.77±0.00	
Non-diaphragm (1 stage)		1.0	4	17.00±1.00	746.00±5.47	785.40±8.90	9.05±0.17	174.67±11.94
			6	17.66±2.08	886.66±80.20	749.80±38.49	8.81±0.13	166.73±31.92
Non-diaphragm (2 stage)	1.0 →1.0	4	19.50±1.00	975.00±5.77	813.50±50.73	8.78±0.09	132.63±6.09	
		6	31.00±4.00	922.00±38.34	833.60±28.26	9.10±0.13	266.96±55.06	

결과 및 고찰

격막 조건에 따른 전해산화수의 물성 비교

직접 제작한 전해수 제조 시스템의 성능을 평가하고자 격막식 및 무격막식으로 구분하고, 격막식에 있어서는 판형 격막 간극에 따른 물성을 1단 및 2단으로 각각 운전하여 pH, ORP, 차아염소산함량, 전류 및 생성 수량 등을 측정된 결과는 Table 1과 같다.

Table 1에서 보는 바와같이 격막 방식의 전기분해수 제조 시스템의 최적조건은 간극이 1.0 mm, 20% NaCl 첨가량이 6 mL/min 일 때 제조된 전해산화수의 물성치가 ORP 1,170 mV 수준, HClO 함량 100 ppm 수준, pH 2.5 수준으로 가장 우수하게 나타났으며, 그 다음 0.8 mm의 간극이 양호한 것으로 나타났다. 그러나 2단 격막 방식에서는 1단의 격막 간극에는 관계없이 2단의 격막 간격이 1.0 mm이면 최적의 조건으로 물성치가 나타나므로써 기존의 1단 전기분해 시스템 보다 2단 전기분해 시스템으로 운전하는 것이 우수함을 알

수 있었다.

한편, 전기분해시 격막을 사용하는 것은 작은 수소방울이 전극에 달라붙어 전압을 떨어뜨리는 분극현상을 억제하기 위한 것인데 반하여 무격막 방식은 전해하고자 하는 액체의 유속을 조절하여 아래에서 위를 향하여 계속적으로 액체가 흘러가면서 전극에 발생하는 기포를 떨어뜨림으로써 분극현상을 방지할 수 있도록 하였다(9). 그 결과 무격막 방식으로 전해시킨 전해산화수는 차아염소산 함량은 132~266 ppm 수준, 산화환원전위는 750~830 mV 수준, pH는 9 수준으로 격막 방식과는 크게 달라지는 것을 알 수 있었다. 그 중에서, 무격막 방식의 최적조건은 간극이 1mm, 20% NaCl 첨가량이 4 mL/min 일 때 제조된 전해산화수의 물성치가 격막 방식의 최적조건과 가장 근접하게 나타났으며, 특히 2단의 무격막 방식에서 NaCl 첨가량이 6 mL/min의 경우에는 HClO 함량이 높은 것이외는 ORP 및 pH 측면에서 볼 때 1단의 방식과 별 차이가 없는 것으로 판단되어 본 연구에서는 2단의 무격막 방식, 20% NaCl 첨가량이 4 mL/min의 경우가 가장 최적인 것으로 선정하였다.

Table 2. Changes in number of microorganisms by electrolyzed oxidizing water produced with non-diaphragm and diaphragm type

Sample	Treatments	Exposure time(min)						
		0	0.5	1	2	5	10	20
<i>Botrytis cinerea</i>	A	6.2×10^6	6.1×10^6	6.3×10^6	6.2×10^6	6.3×10^6	6.1×10^6	6.3×10^6
	B	6.0×10^6	N.D. ¹⁾	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	2.0×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Glomerella cingulata</i>	A	4.8×10^6	4.8×10^6	4.5×10^6	4.4×10^6	4.6×10^6	4.5×10^6	4.7×10^6
	B	8.0×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	2.0×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Bacillus cereus</i>	A	8.2×10^5	8.0×10^5	8.1×10^5	8.2×10^5	8.3×10^5	8.5×10^5	8.4×10^5
	B	8.7×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	7.2×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Salmonella typhimurium</i>	A	1.4×10^6	1.1×10^6	1.3×10^6	1.5×10^6	1.4×10^6	1.7×10^6	1.5×10^6
	B	1.1×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	1.7×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Clostridium perfringens</i>	A	3.5×10^5	3.0×10^5	3.1×10^5	3.2×10^5	3.4×10^5	3.5×10^5	3.5×10^5
	B	5.0×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	2.0×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Vibrio Proteolyticus</i>	A	3.3×10^5	3.1×10^5	3.2×10^5	3.4×10^5	3.3×10^5	3.5×10^5	3.6×10^5
	B	3.0×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	3.0×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Clostridium butyricum</i>	A	5.2×10^5	5.1×10^5	5.3×10^5	5.3×10^5	5.5×10^5	5.4×10^5	5.6×10^5
	B	5.5×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	4.4×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Escherichia coli</i>	A	7.6×10^6	7.6×10^6	7.8×10^6	7.5×10^6	7.3×10^6	7.7×10^6	7.9×10^6
	B	7.1×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	8.4×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Lactobacillus plantarum</i>	A	5.6×10^6	5.0×10^6	5.3×10^6	5.1×10^6	5.6×10^6	5.5×10^6	5.8×10^6
	B	9.6×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	3.4×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	A	9.1×10^6	9.4×10^6	9.2×10^6	9.5×10^6	9.6×10^6	9.8×10^6	9.5×10^6
	B	9.1×10^6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	1.2×10^7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Staphylococcus aureus</i>	A	4.2×10^5	4.0×10^5	4.1×10^5	4.2×10^5	4.5×10^5	4.3×10^5	4.7×10^5
	B	5.2×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	4.1×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<i>Aspergillus niger</i>	A	1.8×10^5	1.7×10^5	1.8×10^5	2.1×10^5	1.9×10^5	2.0×10^5	2.1×10^5
	B	2.2×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	C	1.3×10^5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

¹⁾ $< 10^1$ CFU/ml.

A: Sterilized distilled water

B: Electrolyzed oxidizing water produced by non-diaphragm type

C: Electrolyzed oxidizing water produced by diaphragm type

전해산화수의 보관조건에 따른 특성 변화

전해산화수의 살균 기작에 대해서는 현재까지 산화수에 존재하는 Cl-이온, 높은 산화환원전위, 용존산소 등에 의한다는 주장이 주를 이루고 있다(8, 9). 따라서 전해산화수의 보관에 있어서는 보관 온도 및 개폐 유무가 이들 염소함량, 산화환원전위, 용존산소 등에 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

기 보고된 연구결과(10)에 의하면 밀폐하지 않은 용기에서는 5°C 보관 3일째, 20°C 보관 2일째의 ORP는 1,100 mV 이하로 저하하고, 차아염소산 함량 및 pH값도 5°C 및 20°C 저장에서 모두 1일째부터 급격히 변화를 나타내므로써 전해산화수의 살균력에 큰 영향을 받는다는 점을 고려할 때, 본 실험에서는 전해산화수를 밀폐 용기에 담아 5°C 및 15°C에

보관하면서 산화환원전위(ORP), 차아염소산(HClO) 함량 및 pH를 살펴보았다.

먼저, 본 실험에 사용한 전해산화수는 제조 초기의 산화환원전위가 1,170 mV 수준의 산화환원력을 지니는 전해 산화수로 수도수의 통상적인 산화환원전위가 750 mV 전후인 것에 비해 약 1.5배의 높은 전위차를 지니고 있다. 저장온도 및 기간에 따른 산화환원전위는 보관온도 및 격막 방식에 관계없이 보관 33일까지는 초기치와 비교하여 약 15 mV 정도 감소 수준으로 거의 차이를 보이지 않았다(Fig. 2).

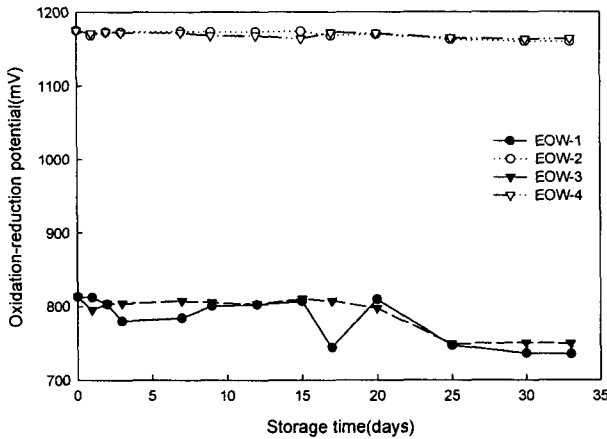


Fig. 2. Changes in oxidation-reduction potential of electrolyzed oxidizing water during storage.

EOW-1: Electrolyzed oxidizing water produced by non-diaphragm type (storage at 5°C), EOW-2: Electrolyzed oxidizing water produced by diaphragm type (storage at 5°C), EOW-3: Electrolyzed oxidizing water produced by non-diaphragm type (storage at 15°C), EOW-4: Electrolyzed oxidizing water produced by diaphragm type (storage at 15°C).

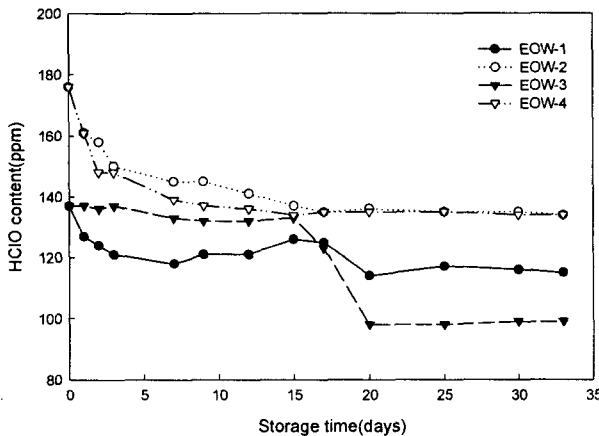


Fig. 3. Changes in HClO content of electrolyzed oxidizing water during storage.

EOW-1: Electrolyzed oxidizing water produced by non-diaphragm type (storage at 5°C), EOW-2: Electrolyzed oxidizing water produced by diaphragm type (storage at 5°C), EOW-3: Electrolyzed oxidizing water produced by non-diaphragm type (storage at 15°C), EOW-4: Electrolyzed oxidizing water produced by diaphragm type (storage at 15°C).

차아염소산 함량의 변화는 격막 방식으로 제조한 전해산화수는 저장 15일째까지 5°C 보관에서는 초기치 176 ppm에서 140 ppm 수준으로 감소하였으며, 15°C 보관에서는 135 ppm 수준으로 보관온도에 따른 약간의 차이를 보여 주었으나 저장 15일 이후에는 저장온도와 관계없이 저장 33일째까지 134 ppm 수준으로 거의 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다. 반면에 무격막 방식으로 제조한 전해산화수는 5°C 보관에서는 초기치 137 ppm에서 저장 15일째 126 ppm으로 약 10% 수준으로 감소하였으나 15°C 보관에서는 저장 20일째 98 ppm으로 약 30% 수준으로 급격히 감소하므로써 차아염소산 함량은 보관온도 및 격막 방식에 관계없이 제조 직후부터 감소함을 알 수 있었다(Fig. 3).

pH는 저장온도와 관계없이 저장 12일째까지는 격막 방식에서는 pH 2.59~2.94 수준으로 유지되다가 저장 15일째부터는 점차 증가한 후 저장 33일째 pH 5수준으로 증가하였다. 반면, 무격막 방식에서는 보관온도와 관계없이 저장 33일째까지 pH 8.87에서 pH 8.25 수준으로 거의 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다(Fig. 4). 따라서 전해산화수의 살균력이 산화환원전위 및 차아염소산 함량의 변화에 큰 영향을 받는다는 점을 고려할 때 실온에서 밀폐 용기에 보관할 경우, 격막 및 무격막 방식에서 각각 1,150 및 750 mV 수준, 100 ppm 수준을 1개월 이상 유지할 수 있는 것으로 판단되었다.

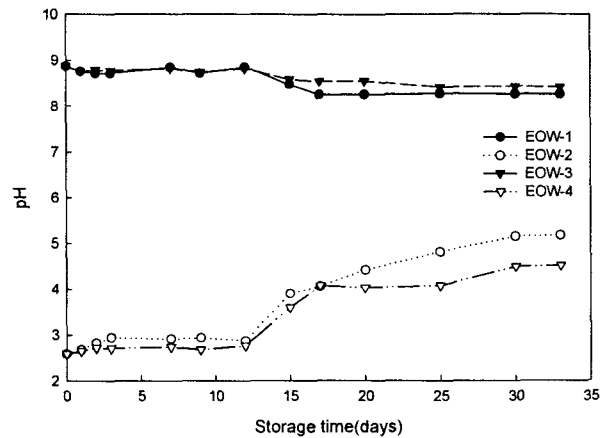


Fig. 4. Changes in pH of electrolyzed oxidizing water during storage.

EOW-1: Electrolyzed oxidizing water produced by non-diaphragm type (storage at 5°C), EOW-2: Electrolyzed oxidizing water produced by diaphragm type (storage at 5°C), EOW-3: Electrolyzed oxidizing water produced by non-diaphragm type (storage at 15°C), EOW-4: Electrolyzed oxidizing water produced by diaphragm type (storage at 15°C).

격막 및 전해액에 따른 전해산화수의 미생물 살균효과

토양과 직간접적으로 접해 있는 채소류는 재배기간중 토양으로부터, 또는 수확후 유통 단계에서 일반 미생물과 병원성 미생물 및 부패 미생물에 의한 오염이 일어나며 일반적으로 채소류 및 과일류에서 검출되는 총균수는 $10^4 \sim$

10^7 CFU/g, 대장균군은 $10^2 \sim 10^4$ CFU/g 수준, 효모는 10^2 CFU/g 수준으로 알려져 있다(11). 따라서 본 실험에서는 미생물학적으로 위해요인이 되는 대표적인 미생물 *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, 그리고 인축 특히 작업자에 의해 오염이 빈도가 높은 식중독균인 *Staphylococcus aureus* 와 부패균으로 작용하는 *Pseudomonas fluorescens*, *Lactobacillus plantarum*, 그리고 대표적인 곰팡이인 *Aspergillus niger*를 대상으로 격막 및 무격막 방식으로 제조한 전해산화수를 사용하여 시험관내에서의 전해산화수에 대한 감수성 시험을 통해 사멸효과를 검토하였다.

Table 2에서 보는 바와 같이 *Botrytis cinerea* 등 12 균주가 초기 $10^5 \sim 10^6$ CFU/mL에서 30초 후에 모두 사멸되는 것으로 나타났다.

한편, 전해액에 따른 전해수 물성에 미치는 영향 조사하기 위하여 전해액으로 NaCl 및 CaCl_2 , KCl을 사용하여 *Salmonella typhi*와 *Vibrio Proteolyticus*을 대상으로 시험관내에서의 전해산화수에 대한 감수성 시험을 통해 사멸효과를 검토하였다. 그 결과 전해액에 따른 전해산화수의 ORP 및 HClO 함량은 NaCl, KCl, CaCl_2 순으로 높게 나타났으나 큰 차이는 없었다. *Salmonella typhi*는 멸균 증류수 내에서 초기 7.24 log CFU/mL에서 10분 후까지 균수의 변화를 보이지 않는 반면에 모든 전해산화수 처리구에서는 처리 즉시 사멸하는 것으로 나타났다(Table 3). 그리고 *Vibrio Proteolyticus*도 멸균 증류수 내에서 초기 5.61 log CFU/mL에서 10분 후까지 균수의 변화를 보이지 않는 반면에 KCl을 전해액으로 한 전해산화수는 30초 이후, 그 밖의 전해산화수 처리구에서는 처리 즉시 사멸하는 것으로 나타났다(Table 4). 또한, 이들 전해산화수를 30일 저장한 후에 사멸효과를 검토한 결과에서도 *Vibrio Proteolyticus* 인에서 KCl 및 CaCl_2 을 전해액으로 한 전해산화수는 30초 이후, NaCl을 전해액으로 한 전해산화수 처리구에서는 처리 즉시 사멸하는 것으로 나타났다(Table 5, 6). 이상의 결과에서와 같이 전해산화수를 시험관내에서 실험했을 경우 매우 높은 사멸효과를 확인할 수 있었는데, 위해미생물의 오염이 우려되는 생체류 식품 및 가공식품에의 이용과 저장성 향상을 기대할 수 있어 식품산업에서의 이용이 기대된다고 하겠다(11). 한편, 본 실험은 전해산화수를 시험관내에서 별도의 중간매체 없이 실험한 것이므로 실제의 식품에 비해 전해산화수의 사멸작용 환경이 매우 좋았다는 점을 감안한다면 결국 식품의 처리에 있어서는 다소 그 효율이 감소될 것으로 예상할 수 있으나 식품 특히 채소, 과실류에 존재하는 위해미생물의 수가 10^3 CFU/g이하인 점을 감안한다면 그 효과는 매우 클 것으로 생각된다(12).

Table 3. Inactivation of *Salmonella typhimuum* by electrolyzed oxidizing water produced with various electrolytes

Treatments	Surviving bacterial population (log CFU/mL) after exposure for					Physicochemical properties		
	0.5min	1min	2min	5min	10min	pH	ORP (mV)	HClO (ppm)
0.85% saline ¹⁾	7.24	7.24	7.25	7.24	7.24	7.09	501	0
EOW-1	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	4.51	1163	128.37
EOW-2	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	4.95	1155	122.69
EOW-3	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	4.67	1151	120.21

¹⁾ Sterile physiological salt water

^a Negative by enrichment and no detectable survivors by a direct plating procedure

EOW-1 : Electrolyzed oxidizing water produced with NaCl

EOW-2 : Electrolyzed oxidizing water produced with KCl

EOW-3 : Electrolyzed oxidizing water produced with CaCl_2

Table 4. Inactivation of *Vibrio proteolyticus* by electrolyzed oxidizing water produced with various electrolytes

Treatments	Surviving bacterial population (log CFU/mL) after exposure for					Physicochemical properties		
	0.5min	1min	2min	5min	10min	pH	ORP (mV)	HClO (ppm)
0.85% saline ¹⁾	5.61	5.59	5.53	5.61	5.57	7.09	501	0
EOW-1	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	4.51	1163	128.37
EOW-2	1.20	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	4.95	1155	122.69
EOW-3	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	4.67	1151	120.21

¹⁾ Sterile physiological salt water

^a Negative by enrichment and no detectable survivors by a direct plating procedure

EOW-1 : Electrolyzed oxidizing water produced with NaCl

EOW-2 : Electrolyzed oxidizing water produced with KCl

EOW-3 : Electrolyzed oxidizing water produced with CaCl_2

Table 5. Inactivation of *Salmonella typhimuum* by electrolyzed oxidizing water produced with various electrolytes at 30th storage day

Treatments	Surviving bacterial population (log CFU/mL) after exposure for					Physicochemical properties		
	0.5min	1min	2min	5min	10min	pH	ORP (mV)	HClO (ppm)
0.85% saline ¹⁾	7.35	7.35	7.35	7.34	7.35	7.10	503	0.00
EOW-1	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	5.91	1157	130.71
EOW-2	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	5.96	1145	79.79
EOW-3	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	5.94	1136	47.52

¹⁾ Sterile physiological salt water

^a Negative by enrichment and no detectable survivors by a direct plating procedure

EOW-1 : Electrolyzed oxidizing water produced with NaCl

EOW-2 : Electrolyzed oxidizing water produced with KCl

EOW-3 : Electrolyzed oxidizing water produced with CaCl_2

Table 6. Inactivation of *Vibrio proteolyticus* by electrolyzed oxidizing water produced with various electrolytes at 30th storage day

Treatments	Surviving bacterial population (log CFU/mL) after exposure for					Physicochemical properties		
	0.5min	1min	2min	5min	10min	pH	ORP (mV)	HClO (ppm)
0.85% saline ¹⁾	5.16	5.17	5.17	5.17	5.11	7.10	503	0.00
EOW-1	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	5.91	1157	130.71
EOW-2	0.60	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	5.96	1145	79.79
EOW-3	1.28 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	5.94	1136	47.52

¹⁾ Sterile physiological salt water

^a Negative by enrichment and no detectable survivors by a direct plating procedure

EOW-1 : Electrolyzed oxidizing water produced with NaCl, EOW-2 : Electrolyzed oxidizing water produced with KCl, EOW-3 : Electrolyzed oxidizing water produced with CaCl₂.

요 약

본 연구에서는 전기분해 격막 및 전해액에 따른 전해산화수의 물리적 특성 및 미생물의 표면살균 효과를 검토하였다. 격막 방식의 전기분해수 제조 시스템의 최적조건은 간극이 1.0 mm, 20% NaCl 첨가량이 6 mL/min 일 때 제조된 전해산화수의 물성치가 ORP 1,170 mV 수준, HClO 함량 100 ppm 수준, pH 2.5 수준으로 가장 우수하게 나타났으며, 1단 방식보다는 2단의 전기분해 방식이 물성 측면에서 우수함을 알 수 있었다. 무격막 방식의 전해수는 간극이 1.0 mm, 20% NaCl 첨가량이 4 mL/min 일 때 격막 방식의 최적조건과 가장 유사하게 나타났으나 차아염소산 함량은 132~266 ppm 수준, pH는 9 수준으로 격막 방식과는 크게 달라지는 것을 알 수 있었다. 전해산화수는 실온에서 밀폐 용기에 보관한 경우에 있어 격막 및 무격막 방식에서 각각 1,150 및 750 mV 수준, 100 ppm 수준을 1개월 이상 유지할 수 있었다. 격막 및 무격막 방식으로 제조한 전해산화수는 *Salmonella typhimurium* 등 12 균주가 초기 10⁵~10⁶CFU/ml에서 30초 이내에 모두 사멸되는 것으로 나타났다. 전해액으로 NaCl 및 CaCl₂, KCl을 사용하여 제조한 전해산화수의 ORP 및 HClO 함량은 NaCl, KCl, CaCl₂ 순으로 높게 나타났으나 큰 차이는 없었으며, 미생물 사멸효과는 동일하게 나타났다.

참고문헌

1. 内藤茂三 (1991) 食品保存へのオゾンの利用に関する研究. 日本食品工業學會誌, 38(4) 360-365
2. 内藤茂三 (1995) 食品加工によるオゾン殺菌の効果と使用. 食品と科學, 5, 101-107
3. 식품산업 (1998) 유화제를 이용한 식품용 계면활성제. 식품산업, 98년 9월호, 112
- 4.鈴木鐵也 (1999) 電解水の食品分野での利用. 食品と開發, 33, 10-15
5. 堀田國元 (1999) 強酸性電解水の殺菌機構と應用. 食品と開發, 33, 5-9
6. 酒井重男 (1995) 機能水の開發と應用的現況. 食品工業, 4, 35-43
7. 小宮山 寬機 (1998) Toxicological studies of electrolyzed water. 食品と開發, 33, 8-9
8. 米安 實 (1994) 食品加工における電解處理水 應用. 食品加工技術, 14, 332-339
9. 松尾昌樹 (1999) 電解水の基礎と利用技術. 技報堂出版, 47-67
10. Jeong, J.W., Jung, S.W. and Kim, M.H. (2000) Applicable properties of electrolyzed acid water as cleaning water. Korean J. Postharvest Sci. Technol., 7(4), 395-402
11. 농림부 (1995) 청과물의 표면 살균 처리기술 개발. 농림수산특정연구사업보고서, G1108-0684
12. Venkitanarayanan, K.S., Ezeike, G.O. Hung, Y.C. and Doyle, M.P. (1999) Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivating *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enteritidis*, and *Listeria monocytogenes*. Applied and environmental microbiology, 65, 4276-4279
13. Smooth, L.A. and Pierson, M.D. (1979) Effect of oxidation-reduction potential on the growth and chemical inhibition of *Clostridium botulinum* 10755A spores. J. Food Sci., 44, 700-707

(접수 2003년 2월 4일, 채택 2003년 2월 18일)