

전해인자에 따른 전기분해수의 특성 비교

김명호 · 정진웅* · 조영제¹

한국식품개발연구원, ¹부경대학교 식품생명공학부

Comparison of Characteristics on Electrolyzed Water Manufactured by Various Electrolytic Factors

Myung-Ho Kim, Jin-Woong Jeong*, and Young-Je Cho¹

Korea Food Research Institute

¹Division of Food Science and Biotechnology, Pukyong National University

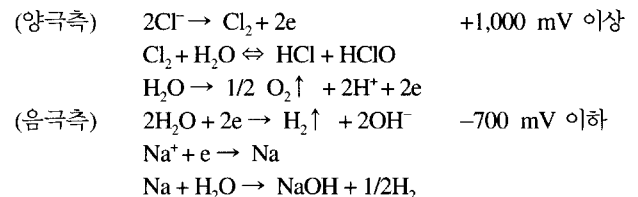
Efficacy of surface sterilization and physicochemical properties of electrolyzed water manufactured depending on electrolyte, materials, and type of electrolytic diaphragm used were investigated. Physical properties of electrolyzed water manufactured from diaphragm system showed the highest effectiveness under at distance between diaphragms of 1.0 mm and 20% NaCl supplying rate of 6 mL/min. ORP, HClO (should defined) content, and pH at above conditions were 1,170 mV, 100 ppm, and 2.5, respectively. Two-stage electrolyzed system was more effective than one-stage one. Electrolyzed water manufactured from non-diaphragm system at 4 mL/min supplying rate of 20% NaCl was similar to the most effective diaphragm system, whereas ORP, HClO content, and pH were 800 mV, 200 ppm, and 9, respectively. Sealed electrolyzed water could be preserved more than one month at room temperature with ORPs of 750 and 1,150 mV in non-diaphragm and diaphragm systems, respectively, and at HClO content of 100 ppm. Physicochemical properties of electrolyzed water manufactured from electrolytic diaphragm of IrO₂ and Pt+Ir were more effective than that of Pt. ORP and HClO contents of electrolyzed water manufactured from various electrolytes were high in order of NaCl>KCl>CaCl₂, whereas no differences were observed among electrolytes in sterilization efficacy. Twelve kinds of microorganisms tested (initial total count, 10⁵-10⁶ CFU/mL) were sterilized within 1-2 min by electrolyzed water.

Key words: electrolyzed water, physicochemical properties, efficacy of surface sterilization, electrolytic diaphragm, electrolytes

서 론

과채류의 세정은 통상적으로 부착된 이물질 즉, 흙, 먼지, 유충, 농약 등의 오염물질 제거를 목적으로 한다. 이중 흙, 먼지 등의 이물질은 일반적인 수처리에 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 개발 시도가 진행되고 있다(3,4). 이들 중 전해산화수는 속효성의 살균력과 잔류물이 없으며 물 자체의 오염에 따른 2차적 오염 가능성이 없다는 특징으로 세정매체로서의 적용에 대한 연구가 진행되고 있다(5-8). 전해산화수는

소량의 식염을 수도수에 첨가, 전기분해한 것으로 얻어지는데 산화-환원전위(oxidation-reduction potential: ORP)가 +1,000 mV 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(9,10). 산화수에 존재하는 Cl₂는 기체수화의 상태로 녹아 있어 전해산화수가 갖는 살균력은 결국 이 염소가스의 산화력에 의한다는 주장이 있고, 이 외에도 살균력 부여 기작은 높은 산화환원전위력, 용존산소 등에 의한다는 연구가 주로 발표되고 있으나 정확한 기작은 아직 밝혀져 있지 않은 상태이다(11-13). 그러나 살균력

*Corresponding author: Jin-woong Jeong, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-gu, Sungnam-si, Kyunggi-do 463-420, Korea
 Tel: 82-31-780-9137
 Fax: 82-31-709-9876
 E-mail: jwjjeong@kfri.re.kr

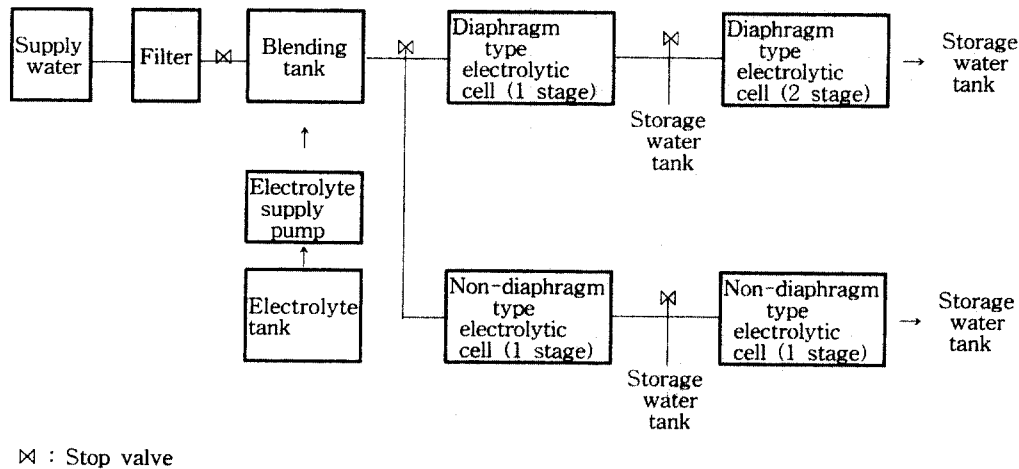


Fig. 1. Schematic diagram of electrolyzed water system.

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 전기분해수의 신선 과채류 및 어패류의 살균매체로서의 활용성 및 기타 식품 제조에의 응용 가능성을 검토하기 위한 기초연구로, 직접 전기분해수 제조 시스템을 제작하여 전기분해 격막의 재질 및 방식, 전해액에 따른 전기분해수의 물리적 특성 및 미생물의 표면살균 효과를 검토하였다.

재료 및 방법

시스템 제작

본 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. 전극 재질은 이리듐 도금 등 3종의 판형(70×140×1 mm)으로 주문 제작(현대시스템, 경기 부천)하고, 격막식에서는 격막 간격에 따른 전기분해수 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.

전기분해수의 물성 측정

전기분해수의 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 전기분해수 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

전기분해수의 미생물 살균효과를 살펴보기 위하여 *Botrytis cinerea*(ATCC 6973), *Glomerella cingulata*(ATCC 6075), *Bacillus cereus*(ATCC 10112), *Vibrio proteolyticus*(ATCC 2730), *Salmonella typhimurium*(ATCC 1925), *Clostridium perfringens*

(ATCC 3269), *Pseudomonas fluorescens*(ATCC 2344), *Escherichia coli*(ATCC 1039)는 한국생명공학연구원 유전자은행에서 분양 받아 사용하였으며, *Aspergillus niger*(KFRI 993), *Lactobacillus plantarum*(KFRI 464), *Staphylococcus aureus*(KFRI 171), *Clostridium butyricum*(KFRI 750)는 한국식품개발연구원에서 분양 받아 사용하였다. *Botrytis cinerea*의 사용 배지는 potato sucrose agar(Difco Laboratories, Sparks, MD, USA), *Glomerella cingulata*는 potato dextrose agar(Difco Laboratories, Sparks, MD, USA), *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas fluorescens* 및 *Staphylococcus aureus*는 nutrient agar(Difco Laboratories, Sparks, MD, USA), *Vibrio proteolyticus*는 3% NaCl을 첨가한 nutrient agar를, *Aspergillus niger*는 malt extract agar(Difco Laboratories, Sparks, MD, USA), *Lactobacillus plantarum*는 5% lactose를 첨가한 MRS medium을, *Clostridium perfringens* 및 *Clostridium butyricum*는 reinforced clostridial medium(Difco Laboratories, Sparks, MD, USA)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 전기분해수를 가하여 10 mL로 한 다음 25°C 수조에 넣어 진탕하면서 노출시간에 맞추어 1 mL씩 취하여 멸균생리식염수로 단계 희석한 다음, 배지에 pour plating한 후 배양하였다. 대조구는 멸균 증류수를 사용하였다(14).

결과 및 고찰

격막, 전극재질 및 전해액에 따른 전기분해수의 물성 비교

일반적으로 전기분해에 영향을 미치는 인자는 전해질의 종류, 전해조 구조(전극 재질, 전극 간격, 전극면적 및 전극 구성) 및 전해 조건(전압 및 전류) 등으로 소개되고 있다(11). 그리고 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(12). 본 연구에서는 직접 제작한 전기분해수 제조 시스템의 성능을 평가하고자 격막식 및 무격막식으로 구분하

Table 1. Comparison of physicochemical properties of electrolyzed water manufactured from non-diaphragm and diaphragm type

	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

고, 격막식에 있어서는 관형 격막 간극에 따른 물성을 1단 및 2단으로 각각 운전하여 pH, ORP, 차아염소산함량, 전류 및 생성 수량 등을 측정된 결과 Table 1과 같이 나타났다. Table 1에서 보는 바와같이 전기분해수의 유효성분 지표인 ORP 및 HClO 함량의 수치가 전극 간격 1.0 mm을 기준하여 좁거나 넓어지면 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 격막 방식의 전기분해수 제조 시스템의 최적조건은 간극이 1.0 mm, 20% NaCl 첨가량이 6 mL/min 일 때 제조된 전기분해수의 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.

그리고 무격막 방식으로 전제시킨 전기분해수는 차아염소산함량은 132-266 ppm 수준, 산화환원전위는 750-830 mV 수준, pH는 9 수준으로 격막 방식과는 크게 달라지는 것을 알 수 있었다. 무격막 방식의 최적조건은 간극이 1 mm, 20% NaCl 첨

가량이 4 mL/min 일 때 제조된 전기분해수의 물성치가 격막 방식의 최적조건과 가장 근접하게 나타났으며, 특히 2단의 무격막 방식에서 NaCl 첨가량이 6 mL/min의 경우에는 HClO 함량이 높은 것 이외는 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 판단되었다.

또한, 전술한 실험결과를 토대로 하여 전극의 재질 특성에 따른 물성을 1단 및 2단으로 각각 운전하여 pH, ORP, 차아염소산함량, 전류 및 생성 수량 등을 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. 먼저, 격막 방식의 전기분해수를 살펴보면 IrO₂ 및 Pt+Ir 재질의 극판이 산화환원전위 1,144-1,142 mV 수준, 차아염소산 함량 190-235 ppm 수준, pH 2.24-2.73으로 Pt 재질에 비해 물성치가 다소 높음을 볼 수 있으며 제조 수량도 가장 양호하게 나타났다. 특히, Pt+Ir 재질의 극판은 HClO 함량이 타 재질의 극판 보다 상당히 높은 것이 특징적이다. 이와같은 결과는 Thuchii(13)가 전극재질에 따라 전력소모량과 염소 발생량이 크게 달라진다고 평가한 내용과 일치함을 알 수 있었다. 그

Table 2. Physicochemical properties of electrolyzed water manufactured from various electrolytic diaphragm conditions

Material and type of electrolytic diaphragm		Ampere (A)	Water volume (mL/min)	Physicochemical properties		
				ORP ³⁾ (mV)	pH	HClO (ppm)
Pt	Type ¹⁾	26.20 ± 3.19	720.00 ± 113.14	1,137.00 ± 5.92	2.39 ± 0.07	90.21 ± 27.81
	Type ²⁾	20.40 ± 1.67	808.00 ± 152.71	499.60 ± 24.19	8.84 ± 0.21	125.60 ± 58.53
Pt+Ir	Type	19.00 ± 3.63	836.67 ± 246.39	1,142.67 ± 11.62	2.73 ± 0.09	235.15 ± 53.56
	Type	22.33 ± 5.72	1,183.33 ± 305.05	538.83 ± 31.35	8.91 ± 0.26	264.59 ± 87.07
IrO ₂	Type	25.00 ± 4.82	900.00 ± 267.73	1,144.00 ± 5.33	2.24 ± 0.18	190.60 ± 84.55
	Type	16.86 ± 3.39	862.86 ± 296.52	567.57 ± 27.82	9.50 ± 0.30	164.77 ± 90.78

¹⁾Diaphragm type.

²⁾Non-diaphragm type.

³⁾Oxidation-reduction potential.

Table 3. Changes in number of microorganisms and physicochemical properties of electrolyzed water manufactured from various electrolytes

Treatments	Sample	Surviving bacterial population (log CFU/mL) after exposure for					Physicochemical properties		
		0.5 min	1 min	2 min	5 min	10 min	pH	ORP (mV)	HClO (ppm)
0.85% saline ¹⁾	<i>Salmonella typhimurium</i>	7.24	7.24	7.25	7.24	7.24	7.09	501	0
	<i>Vibrio proteolyticus</i>	5.61	5.59	5.53	5.61	5.57			
A ³⁾	<i>Salmonella typhimurium</i>	nd ²⁾	nd	nd	nd	nd	4.51	1,163	128.37
	<i>Vibrio proteolyticus</i>	nd	nd	nd	nd	nd			
B ⁴⁾	<i>Salmonella typhimurium</i>	nd	nd	nd	nd	nd	4.95	1,155	122.69
	<i>Vibrio proteolyticus</i>	1.20	nd	nd	nd	nd			
C ⁵⁾	<i>Salmonella typhimurium</i>	nd	nd	nd	nd	nd	4.67	1,151	120.21
	<i>Vibrio proteolyticus</i>	nd	nd	nd	nd	nd			

¹⁾Sterile physiological salt water.

²⁾<10¹ CFU/mL.

³⁾Electrolyzed oxidizing water produced with NaCl.

⁴⁾Electrolyzed oxidizing water produced with KCl.

⁵⁾Electrolyzed oxidizing water produced with CaCl₂.

리고 무격막 방식의 물성치에 있어서도 격막과 유사한 결과를 보여 주었다.

이러한 결과를 볼 때, 전기분해시스템에 있어 전극의 최적조건은 IrO₂ 또는 Pt+Ir 재질로써 간극이 1 mm, 20% NaCl 첨가량이 4-6 mL/min 일 때 제조된 전기분해수의 물성치가 가장 적합하게 나타났으며 또한, 격막 방식 및 재질의 선정은 적용 대상시료에 따라 선택하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

한편, 전해질에 따른 전기분해수 물성에 미치는 영향 조사하기 위하여 전해질로 NaCl 및 CaCl₂, KCl을 사용하여 제조한 전기분해수의 ORP 및 HClO 함량은 Table 3에서 보는 바와같이 NaCl > KCl > CaCl₂ 순으로 나타났으나 전해질에 따른 전기분해수 물성 차이는 그다지 크게 나타나지 않음을 알 수 있었다. 한편, Fig. 2는 전기분해수 물성치의 상관관계를 나타낸 것으로 동일 운전조건에서 제조 수량을 줄이면 ampere는 증가함에 따라 ORP 및 HClO 함량은 상승하며 pH는 낮아지며, 반대로 제조수량을 늘이면 ampere는 감소하면서 ORP, HClO함량은 낮아지며 pH는 높아지는 반대현상을 나타냄을 알 수 있다.

전기분해수의 물성에 따른 미생물 살균효과

토양과 직간접적으로 접해 있는 채소류는 재배기간 중 토양으로부터, 또는 수확 후 유통 단계에서 일반 미생물과 병원성

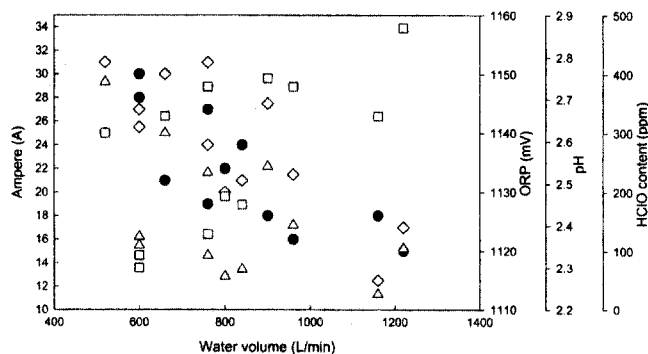


Fig. 2. Physicochemical properties of electrolyzed oxidizing water.
●: Ampere, ◇: ORP, □: pH, △: HClO content.

미생물 및 부패 미생물에 의한 오염이 일어나며 일반적으로 채소류 및 과일류에서 검출되는 총균수는 10⁴-10⁷ CFU/g, 대장균균수는 10²-10⁴ CFU/g 수준, 효모는 10² CFU/g 수준으로 알려져 있다(15). 따라서 본 실험에서는 미생물학적으로 위해요인이 되는 대표적인 미생물 *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, 그리고 인축 특히 작업자에 의해 오염이 빈도가

Table 4. Changes in number of microorganisms by electrolyzed water manufactured from non-diaphragm and diaphragm type

Sample	Treatment	Exposure time (min)						
		0	0.5	1	2	5	10	20
<i>Botrytis cinerea</i>	A ²⁾	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 ³⁾	6.0×10^6	nd ¹⁾	nd	nd	nd	nd	nd
	C ⁴⁾	2.0×10^6	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	2.0×10^6	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	7.2×10^5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	1.7×10^6	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	2.0×10^5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	3.0×10^5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	4.4×10^5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	8.4×10^6	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	3.4×10^6	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	1.2×10^7	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	4.1×10^5	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<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	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	C	1.3×10^5	nd	nd	nd	nd	nd	nd

¹⁾ $<10^1$ CFU/mL.

²⁾Sterile physiological salt water.

³⁾Electrolyzed water produced by non-diaphragm type.

⁴⁾Electrolyzed water produced by diaphragm type.

높은 식중독균인 *Staphylococcus aureus*와 부패균으로 작용하는 *Pseudomonas fluorescens*, *Lactobacillus plantarum*, 그리고 대표적인 곰팡이인 *Aspergillus niger*를 대상으로 격막 및 무격막 방식으로 제조한 전기분해수를 사용하여 시험관내에서의 전기분해수에 대한 감수성 시험을 통해 사멸효과를 검토하였다.

Table 4에서 보는 바와 같이 *Botrytis cinerea* 등 12균주가 초기 10^5 - 10^6 CFU/mL에서 30초 후에 모두 사멸되는 것으로 나타났다.

또한, 이와 같은 결과를 기초로 하여 극판의 재질 특성에 따

라 제조한 전기분해수를 사용하여 *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens* 및 *Staphylococcus aureus*를 대상으로 시험관내에서의 전기분해수에 대한 감수성 시험을 통해 사멸효과를 검토하였다. Table 5에서 보는 바와 같이 *Salmonella typhimurium*을 제외한 나머지 3균주는 초기 10^7 - 10^9 CFU/mL에서 30초 후에 모두 사멸되는 것으로 나타났으나, *Salmonella typhimurium*는 IrO_2 재질에서는 격막 방식에 관계없이 1-2분 이내에 사멸되고, Pt + Ir의 재질에서는 전기분해수에 있어서 사멸효과가 있는 것으로 나타난 것이 특징적이다.

Table 5. Changes in number of microorganisms by electrolyzed water manufactured from various electrolytic diaphragm conditions

Material and type of electrolytic diaphragm	Microorganism	Exposure time (min)						
		0	0.5	1	2	5	10	20
Pt/ Diaphragm type	<i>Salmonella typhimurium</i>	1.31×10^8	4.47×10^2	nd ¹⁾	nd	nd	nd	nd
	<i>Escherichia coli</i>	1.23×10^9	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.63×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Staphylococcus aureus</i>	7.63×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Non-diaphragm type	<i>Salmonella typhimurium</i>	5.13×10^8	5.53×10^3	5.67×10^3	6.03×10^3	5.87×10^3	5.47×10^3	6.17×10^3
	<i>Escherichia coli</i>	1.36×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.24×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Staphylococcus aureus</i>	5.33×10^7	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pt+Ir/ Diaphragm type	<i>Salmonella typhimurium</i>	1.03×10^7	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Escherichia coli</i>	1.32×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	2.67×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Staphylococcus aureus</i>	8.43×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pt+Ir/ Non-diaphragm type	<i>Salmonella typhimurium</i>	5.13×10^8	7.27×10^3	6.70×10^3	5.80×10^3	5.27×10^3	4.57×10^3	4.10×10^3
	<i>Escherichia coli</i>	4.83×10^7	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.24×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Staphylococcus aureus</i>	5.33×10^7	nd	nd	nd	nd	nd	nd
IrO ₂ / Diaphragm type (2 stage)	<i>Salmonella typhimurium</i>	2.63×10^8	1.53×10^2	9.00×10^1	nd	nd	nd	nd
	<i>Escherichia coli</i>	1.27×10^9	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	6.87×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Staphylococcus aureus</i>	1.09×10^9	nd	nd	nd	nd	nd	nd
IrO ₂ / Diaphragm type (1 stage)	<i>Salmonella typhimurium</i>	2.63×10^8	2.53×10^4	4.63×10^2	2.47×10^1	nd	nd	nd
	<i>Escherichia coli</i>	1.32×10^9	2.67×10^1	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.71×10^8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	<i>Staphylococcus aureus</i>	1.09×10^9	nd	nd	nd	nd	nd	nd

¹⁾<10¹ CFU/mL.

한편, 전해액에 따른 전기분해수 물성에 미치는 영향 조사하기 위하여 전해액으로 NaCl, CaCl₂, KCl을 사용하여 *Salmonella typhi*와 *Vibrio proteolyticus*을 대상으로 시험관내에서의 전기분해수에 대한 감수성 시험을 통해 사멸효과를 검토하였다. 그 결과 전해액에 따른 전기분해수의 ORP 및 HClO 함량은 NaCl, KCl, CaCl₂ 순으로 높게 나타났으나 *Salmonella typhi*는 멸균 증류수 내에서 초기 7.24 log CFU/mL에서 10분 후까지 균수의 변화를 보이지 않는 반면에 모든 전기분해수 처리구에서는 처리 즉시 사멸하는 것으로 나타났다. 그리고 *Vibrio proteolyticus*도 멸균 증류수 내에서 초기 5.61 log CFU/mL에서 10분 후까지 균수의 변화를 보이지 않는 반면에 KCl을 전해액으로 한 전기분해수는 30초 이후, 그 밖의 전기분해수 처리구에서는 처리 즉시 사멸하는 것으로 나타났다(Table 3). 이상의 결과에서와 같이 전기분해수를 시험관내에서 실험했을 경우 매우 높은 사멸효과를 확인할 수 있었는 바, 위해미생물의 오염이 우려되는 생체류 식품 및 가공식품에의 이용과 저장성 향상을 기대할 수 있어 식품산업에서의 이용이 기대된다고 하겠다. 한편, 본 실험은 전기분해수를 시험관내에서 별도의 중간매체 없이 실험한 것이므로 실제의 식품에 비해 전기분해수의 사멸작용 환경이 매우 좋았다는 점을 감안한다면 결국 식품의 처리에 있어서는 다소 그 효율이 감소될 것으로 예상할 수 있으나 식품 특히 채소, 과일류에 존재하는 위해미생물의 수가 10³ CFU/g이하인 점을 감안한다면 그 효과는 매우 클 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 전해 격막의 방식 및 재질, 전해액에 따른 전기분해수의 물리적 특성과 미생물의 표면살균 효과를 검토하였다. 격막 방식의 전기분해수 제조 시스템의 최적조건은 간극이 1.0 mm, 20% NaCl 첨가량이 6 mL/min 일 때 제조된 전기분해수의 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 전기분해수는 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. 전극의 재질에 따른 성능을 평가한 결과, IrO₂ 및 Pt+Ir 재질의 극판이 산화환원전위 1,144-1,142 mV 수준, 차아염소산 함량 190-235 ppm 수준, pH 2.24-2.73으로 Pt 재질에 비해 물성치가 다소 높음을 볼 수 있으며 제조 수량도 가장 양호하게 나타났다. 전극판의 재질 특성에 따라 제조한 전기분해수의 미생물 살균효과는 *Salmonella typhimurium*을 제외한 나머지 3균주는 초기 10⁷-10⁹ CFU/mL에서 30초 후에 모두 사멸되는 것으로 나타났다, *Salmonella typhimurium*은 IrO₂ 재질에서는 1-2분 이내에 사멸되었다. 전해액으로 NaCl 및 CaCl₂, KCl을 사용하여 제조한 전기분해수의 ORP 및 HClO 함량은 NaCl, KCl, CaCl₂

순으로 높게 나타났으나 큰 차이는 없었으며, 미생물 사멸효과는 동일하게 나타났다.

문 헌

1. Shigezo N. Studies on utilization of ozone in food preservation. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 38: 360-365 (1991)
2. Noriaki T, Noriko T, Tatsuya F, Toshiya D. The use of electrolyzed solutions for the cleaning and disinfecting of dialyzers. *Artif. Organs* 24: 921-928 (2000)
3. Anon. Detergent and cleaner for food using emulsifier. *Food Ind.* 9: 112-116 (1998)
4. Yuko N, Yuko M, Mihoko K. Evaluation of electrolyzed strong acid aqueous solution called the "function water". *Bunseki Kagaku* 45: 701-706 (1996)
5. Sano Y. The synthetical evaluation of functional water. *Food Ind.* 7: 58-64 (1997)
6. Suzuki S. Application of electrolyzed water on foods. *Food and Development* 33: 10-15 (1999)
7. Koukichi H. Physico-chemical properties of electrolyzed functional water and its application. *Fragr. J.* 3: 18-22 (1999)
8. Sakai S. Application and development of electrolyzed-oxidizing water. *Food Ind.* 30: 35-43 (1995)
9. Komiyama K. Toxicological studies of electrolyzed water. *Food Proc.* 33: 8-9 (1998)
10. Koukichi H. Physico-chemical properties of electrolyzed functional water and its application. *Fragr. J.* 3: 18-22 (1999)
11. Minoru K. Application of electrolyzed-oxidizing water on food processing. *Shokuhin Kagyo Gisyus* 14: 332-339 (1994)
12. Machuo S. The Technology of Foundation and Application of Electrolyzed-oxidizing Water. Kihotou Press, Tokyo, Japan (1999)
13. Thuchii T. Manufacture system of electrolyzed-oxidizing water. *J. Antifung. Agents* 28: 183-191 (2000)
14. Jeong JW, Jeong SW, Kim MH. Applicable properties of electrolyzed acid water as cleaning water. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 7: 395-402 (2000)
15. Kim DC, Kim BS, Jeong MC, Nahmgung B, Kim OW. Development of Surface Sterilization Technology for Fruit and Vegetables. G1158-0755. Korea Food Research Institute, Korea. pp. 87-104 (1996)

(2004년 2월 18일 접수; 2004년 5월 21일 채택)