

전해수 생성온도에 따른 그람양성균과 그람음성균의 살균 효과

- 연구노트 -

이정민¹ · 정현정² · 방우석¹

¹영남대학교 식품영양학과

²인하대학교 식품영양학과

Bactericidal Effect of Electrolyzed Activated Water Prepared at Different Water Temperatures on Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria

Jeong Min Lee¹, Hyun-Jung Chung², and Woo Suk Bang¹

¹Department of Food and Nutrition, Yeungnam University

²Department of Food and Nutrition, Inha University

ABSTRACT Electrolyzed activated water (EAW) has been reported to exhibit strong bactericidal effects on foodborne microorganisms. However, the disinfection efficacy of EAW is affected by factors such as water source and hardness. This study investigated bactericidal effects of EAW against three gram-positive (*Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, and *Staphylococcus aureus*) and three gram-negative (*Cronobacter sakazakii*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Salmonella* Enteritidis) foodborne pathogens. Six strains were treated with EAW prepared at different water temperatures (4, 22, and 40°C) for 15 min, and D-values were generated. The results show that the lowest D-values for *Lis. monocytogenes* by EAW produced at 4°C and 40°C were 6.60 and 1.57 min, respectively. The lowest D-value for *Sal. Enteritidis* by EAW produced at 22°C was 2.92 min. D-values of all strains treated by EAW produced at 40°C decreased significantly compared to those treated by EAW produced at 4°C ($P<0.05$). These results demonstrate that applying EAW produced at warm temperature is more effective for reducing foodborne pathogens for food safety.

Key words: electrolysis, electrolyzed water, sanitizer, gram-positive bacteria, gram-negative bacteria

서 론

최근 소비자들의 식생활문화가 변화하고 건강에 관한 관심이 높아지면서 자연식품과 최소가공처리 식품(minimally processed food)에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 식품들은 열처리가 제한되고 단순한 박피, 절단, 세척과 같은 특별한 가공 공정이 없으므로 식품 품질에 최소한의 영향을 주지만, 식품의 변질이나 병원성 미생물로 인한 오염이 발생하기 쉽다(1,2). 따라서 식품산업체에서는 식품의 품질 저하 및 관능적 특성의 변화를 최소화하면서 미생물학적 위해요소를 효과적으로 제어할 수 있는 비가열처리 살균 기술에 관심을 보인다. 비가열 살균기술로는 초고압처리, 오존 가스 처리, 방사선 조사, UV 조사 등이 있으나, 이는 가공 설비의 어려움이나 인체에 유해할 수 있고 속효성 등의 문제로 아직은 실제 산업에 적용하는 데 한계가 있다(3). 따라서 이를 보완할 수 있는 비가열 살균기술로 전해수라는 살균 소독제가 주목받고 있다.

전해수(electrolyzed activated water, EAW)는 수도수에 식염이나 염산 등을 넣어 약한 직류전압에서 전기분해하여 얻어지는 수용액으로 독성이나 해로운 잔류물이 없어 친환경적이며 제조가 간편하고 경제적인 장점이 있다(4,5). 전해수는 격막의 유무에 따라 두 종류가 생성되며 강산성 전해수는 격막 존재하에 전기분해하여 양극에서 얻어지는 수용액으로 낮은 pH(2.3~2.7)와 높은 산화환원전위(oxidation reduction potential, ORP) 값(>1,000 mV)을 나타낸다. 이는 살균 효과가 뛰어나지만 낮은 pH로 인해 금속 부식이나 Cl₂ 발생 등의 단점이 있다. 미산성 전해수는 무격막 상태에서 전기분해하여 얻어지는 수용액으로 pH가 중성에 가깝고 ORP 값은 약 700 mV를 나타낸다(6). 미산성 전해수는 강산성 전해수의 단점을 최소화하고, 강산성 전해수와 유사한 살균력을 나타내기 때문에 이용 가능성이 더욱 높다(7). 전해수는 병원성 세균, 바이러스, 조류 등 넓은 범위의 미생물에 강력한 살균 효과를 나타낸다고 알려져 있으며(8), 채소류, 가공류, 육류에 처리하였을 때 식품의 품질에 큰 영향을 미치지 않고 살균력을 나타낸다(4,9,10). 따라서 의료기구 소독용에만 쓰이던 전해수는 현재 농업, 축산업과 식품산업에 이르기까지 다양한 분야에서 활용되고 있다(6). 이에 맞춰 2002년에는 일본에서 전해수가 식품첨가물로 지정(후생

Received 9 May 2016; Accepted 2 June 2016

Corresponding author: Woo-Suk Bang, Department of Food and Nutrition, Yeungnam University, Gyeongsan, Gyeongbuk 38541, Korea

E-mail: wsbang@ynu.ac.kr, Phone: +82-53-810-2877

노동성령 75호)되었고 2007년에는 국내에서 차아염소산수가 과실류와 채소류 살균제로 지정되었다(식품의약품안전처 고시 제2007-74호).

전해수가 가지는 살균력에 대한 기전은 아직 명확하게 밝혀지지 않았으며 ORP가 주요한 살균 효과를 나타낸다(11)는 연구 결과가 있고 유효염소가 살균력의 가장 주요한 요인이라는 보고도 있다(12). 유효염소는 pH에 따라 염소의 형태와 존재하는 비율이 달라지는데 그중 차아염소산(hypochlorous acid, HOCl)이 가장 강력한 살균 효과를 나타낸다고 알려져 있다(13).

국내외 전해수와 관련한 선행연구를 살펴보면 전해수 생성방법에 따른 물리적인 특성 변화에 관한 연구로는 물의 유속과 온도에 따른 전해수의 물리적 특성 변화에 관한 연구(14), 전극재질과 전해 인자에 따른 전해수의 물리적 변화에 관한 연구(15) 등이 있으며 전해수 제조방법에 따라 그 특성이 달라진다고 한다. 하지만 전해수를 제조하는 물의 특성에 따라 살균력의 차이를 비교한 연구는 물의 경도에 따른 전해수의 살균력 비교(16)를 제외하고는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 전해수를 생성하는 물 온도의 변화에 따른 살균 효과를 확인하여 전해수 생성에 적합한 물 온도를 알아보고 그람양성균과 그람음성균 간의 살균력 차이를 비교하여 전해수의 특성을 확인해보고자 한다.

재료 및 방법

사용 균주 및 배지

본 실험에 사용된 균주는 그람양성균 3종(*Bacillus cereus* ATCC 13061, *Listeria monocytogenes* ATCC 19115, *Staphylococcus aureus* ATCC 43300)과 그람음성균 3종(*Cronobacter sakazakii* ATCC 29544, *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150, *Salmonella* Enteritidis ATCC 13076)이었다. 균주는 모두 -70°C에 stock culture로 보관된 균을 3회 이상 tryptic soy broth(TSB, Difco™, Sparks, MD, USA)에 계대배양 하여 활성화한 다음 실험에 이용하였다. 본 실험에 사용된 고체 배지는 tryptic soy agar(TSA, Difco™), 액체 배지는 TSB였으며, 희석은 0.1% peptone(Difco™)을 이용하였다.

전해수 생성

본 실험에서 사용된 전해수는 WATERLOX-DUO Reinerger(Waterlox 3010, KTCC, Seoul, Korea)를 이용하여 제조하였다. 전해수 생성용기에 멸균된 증류수(4, 22, 40°C) 380 g과 natural refined salt and citric acid 0.50 g을 넣어 용해하였다. 이는 전해수 생성기계에 장착한 다음 5분 동안 전기분해를 하여 전해수를 생성하였다. 이때 사용한 AC adapter는 3 A, 9 V였다.

전해수 물성 측정

본 실험에서 사용한 전해수의 pH와 ORP는 각각 pH probe와 ORP probe를 이용하여 pH meter(420A, Orion Research Inc., Boston, MA, USA)로 측정하였다. 유효 잔류염소 농도(available chlorine concentration, ACC)는 chlorine test kit(Water works, Industrial Test Systems Inc., Rock Hill, SC, USA)을 이용하여 측정하였다.

전해수 살균 효과 측정

균주는 활성화된 정지기 균을 희석하여 초기 균수가 6 log CFU/mL가 되도록 하였다. 각각 4, 22, 40°C의 멸균 증류수로 생성한 전해수 90 mL와 희석한 균주 10 mL를 멸균 광구병에 넣어 처리하였다. 이는 15분 동안 3분 간격으로 1 mL씩 취해 9 mL의 0.1% peptone에 희석하여 평판주입 배양을 하여 37°C에서 48시간 동안 incubator에서 배양한 후 25~250 사이의 집락을 계수하여 log CFU/mL로 나타내었다. 이때 대조군은 멸균 증류수(4, 22, 40°C)를 사용하였다.

통계처리

모든 실험은 3회 이상 반복 수행하였으며 본 실험에서 얻어진 결과는 SAS program(version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 회기분석으로 D 값(일정한 온도에서 90%의 미생물이 사멸하는 데 걸리는 시간)을 계산하였다. 각 처리군 간의 통계적 유의성은 ANOVA 분석으로 $P < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

전해수 물성 비교

대조군과 처리군, 전해수의 pH, ORP, ACC 값은 Table 1에 나타내었다. 각각의 물의 온도 4, 22, 40°C 멸균 증류수의 pH와 ORP 값은 4.75~4.98, 그리고 423.9~452.7 mV의 결과를 나타냈으며 유효염소는 존재하지 않았다. 온도 22°C의 물을 이용하여 생성한 전해수의 pH, ORP, ACC 값은 각각 6.06 ± 0.09 , 788.8 ± 6.71 mV 그리고 118.3 ± 2.89 mg/L였으며, 이는 Guentzel 등(17)의 연구에 이용된 전해수의 물성과 유사하였다. ORP 값은 온도의 영향을 받으며 pH가 높아질수록 ORP 값이 낮아진다고 알려져 있다(18). 본 연구에서는 전해수를 생성하는 물의 온도가 증가할수록 전해수의 pH 값이 증가하였고, 이에 따라 ORP 값이 감소하였다. 따라서 전해수를 생성하는 데 이용되는 물의 온도가 전해수의 물성에 영향을 주는 것을 알 수 있다. Forghani 등(16)의 연구에서 18°C의 물을 이용하여 생성한 전해수보다 40°C의 물을 이용하여 생성한 전해수의 pH가 높고 ORP 값이 낮게 나타나 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 전해수의 유효염소량은 pH 5에서 total chlorine과 free chlorine의 함량이 가장 높게 나타난다고 하였으나(19), 본 연구에서는

Table 1. Physicochemical properties of sterilized distilled water and electrolyzed activated water

Treatment	Temperature (°C)	ACC ²⁾ (mg/L)	pH	ORP ³⁾ (mV)
DW ⁴⁾	4	ND ⁶⁾	4.75±0.16 ¹⁾	452.7±3.45
	22	ND	4.98±0.23	423.9±5.11
	40	ND	4.87±0.18	424.8±7.48
EAW ⁵⁾	4	83.0±2.74	5.36±0.52	850.5±9.66
	22	118.3±2.89	6.06±0.09	788.8±6.71
	40	120.0±0.00	6.83±0.12	770.6±8.86

¹⁾Values are mean±SD. ²⁾Available chlorine concentration. ³⁾Oxidization reduction potential.

⁴⁾Sterilized distilled water (control). ⁵⁾Electrolyzed activated water. ⁶⁾Not detected.

pH가 5.36에서 6.83으로 증가함에 따라 ACC가 높게 나타나 다른 결과를 나타내었다.

살균력 평가

물의 온도(4, 22, 40°C)를 달리하여 생성한 전해수를 이용하여 6종의 균주를 15분 동안 처리한 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 멸균 증류수(4, 22, 40°C)를 이용하여 15분 동안 처리하였을 때 모든 균주에서 살균 효과를 나타내지 않았으나(data not shown), 전해수를 처리하였을 때 모든 균주에서 살균 효과를 나타내었다. 온도 22°C의 물에서 생성한 전해수에 3분 동안 균주를 처리한 경우 그람양성균인 *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*는 각각 1.45, 2.20, 1.50 log CFU/mL가 감소하였고 그람음성균인 *C. sakazakii*, *E. coli* O157:H7, *Sal. Enteritidis*는 각각 2.12, 1.62, 1.49 log CFU/mL 감소하였다. 그 외 4°C의 물을 이용하여 생성한 전해수에 3분 동안 균주를 처리한 경우 *B. cereus*가 0.32 log CFU/mL 감소하여 가장 높은 살균 효과를 보였으며, 40°C 전해수에서는 *L. monocytogenes*가 3.60 log CFU/mL 감소하여 가장 높은 살균력을 나타내었다. *E. coli* O157:H7은 4, 22, 40°C의 물을 이용하여 생성한 전해수에 15분 동안 처리하였을 때 각각 1.18, 4.47, 5.46 log CFU/mL 감소하였으며, *S. aureus*는 각각 0.72, 4.90, 5.54 log CFU/mL 감소하였다. 이는 Forghani 등(16)의 연구에서 18°C의 물을 이용하여 생성한 전해수에 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*를 처리한 것에 비해 40°C의 물을 이용하여 생성한 전해수에서 각각 1.20, 0.17 log CFU/mL 미생물이 더 감소했다는 연구 결과와 유사하였다. 또한, 22°C의 물을 이용하여 생성한 전해수는 15분 동안 처리하였을 때 모든 균주가 사멸하지 않았으나 40°C 전해수는 *S. aureus*를 제외한 모든 균주를 12분 이내에 사멸시켰다. 이를 종합하면 전해수를 생성하는 데 이용하는 물의 온도가 높아질수록 살균력이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 전해수를 생성하는 물의 온도가 높아지면 운동 에너지의 증가로 인해 전자의 이동이 빨라지고 전기분해 효율이 증가하며(20) 따뜻한 물과 염소 이온이 결합하면 살균 효과가 더욱 높게 나타난다는 연구 결과(21)에 따라 전해수를 생성하는 물의 온도가 증가하면서 살균 효과가 높아진 것으로 생각된다. 또한, Koide 등(9)의 연구에서 45°C로 저장한 전해수가 18°C로

저장한 전해수에 비해 1.6 log CFU/g 미생물이 더 감소하였고 전해수 저장 온도가 25°C에서 50°C까지 높아질수록 살균력이 증가했다(22)는 연구 결과에 따르면 전해수를 생성하는 물의 온도뿐 아니라 전해수의 저장 온도 또한 살균력에 영향을 주는 것으로 판단된다.

전해수의 살균기전은 아직 명확하게 밝혀지지 않았으나 Ding 등(23)의 연구에서 *S. aureus*에 전해수를 처리한 경우 단백질 유출로 인하여 세포막과 세포질 미세구조의 투과성에 영향을 주어 미생물의 생육을 방해한다고 보고되었다. 또한, 전해수 처리는 DNA 분해와 단백질 변성을 유도하여 미생물의 불활성화를 유도한다(24). 전해수가 가지는 살균력은 pH, ORP, 교반, 유효염소 등 다양한 요인의 영향을 받은 것이라 사료된다. Liao 등(11)의 연구에서 ORP 값이 높아질수록 전해수의 살균력이 향상하여 ORP가 주요한 살균력의 요인이라고 하였으며, Park 등(10)의 연구에서 전해수의 높은 ORP 값은 세포에 전류를 흐르게 하여 ATP 생성과 대사과정에 영향을 주어 미생물이 불활성화 된다고 하였다. 그러나 본 연구 결과 ACC 값에는 큰 차이가 없으나 ORP가 높은 22°C의 물로 생성한 전해수의 살균력이 40°C 전해수보다 낮게 나타난 것으로 보아 ORP는 전해수 살균력의 중요한 인자가 아닌 것으로 생각하며 이는 Koseki 등(25)의 연구 결과와 유사하였다. Honda(12)의 연구에 의하면 유효염소가 살균력의 주요한 요인이라고 한다. 특히 pH 5.0~6.5에서 95% 이상으로 존재하는 HOCl의 살균력이 가장 높고 알려져 있으며(13), 같은 유효염소 농도일 때 HOCl이 hypochlorite ion보다 *E. coli*에 대해 80배 높은 살균력을 나타낸다고 보고되었다(26). HOCl은 글루코오스 산화를 방해하여 ATP 생성을 저해하고 호흡과 관련한 효소의 불활성화, 세포표면의 산화에 의해 미생물의 불활성화를 유도한다(27). 본 연구에서 22°C와 40°C의 물을 이용하여 생성한 전해수의 ACC 값에는 큰 차이가 없었으나 모든 균주에서 22°C의 물을 이용하여 생성한 전해수보다 40°C 전해수를 이용한 경우 살균 효과가 높게 나타났다. 이는 pH가 상승함에 따라 유효염소 중 HOCl 함량의 증가로 인해 살균 효과가 높아진 것으로 판단된다. 또한, 전해수의 pH를 6.0~7.5 상태로 유지할 경우 염소 활성이 가장 높다는 보고(28)에 의하면 본 실험에서 4°C의 물을 이용하여 생성한 전해수의 pH 값이 5.36으로 ACC 값이 낮아짐에 따라 살균제로서 전해수

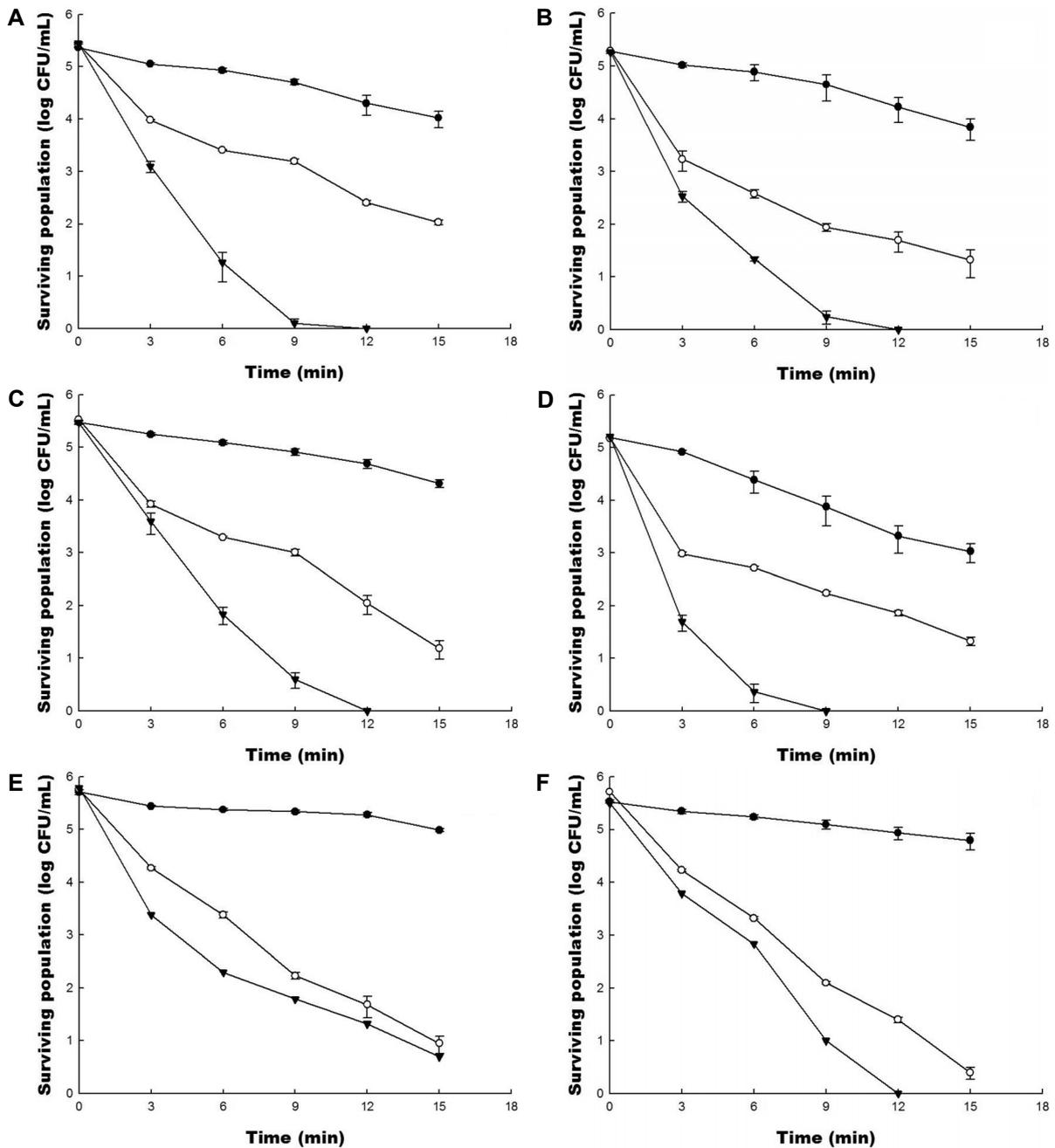


Fig. 1. Survival curves of foodborne pathogens treated by EAW prepared at different water temperatures. *B. cereus* ATCC 13061 (A), *C. sakazakii* ATCC 29544 (B), *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 (C), *L. monocytogenes* ATCC 19115 (D), *S. aureus* ATCC 43300 (E), and *Sal. Enteritidis* ATCC 13076 (F). ●: EAW prepared at 4°C, ○: 22°C, and ▼: 40°C. The bars showed standard deviation of triplicate assays.

기능이 감소한 것으로 생각한다.

전해수를 생성하는 물 온도에 따른 각 균주의 D 값은 Table 2에 나타내었다. 4, 22, 40°C의 물을 이용하여 생성한 전해수에 처리한 *E. coli* O157:H7의 D 값은 각각 14.02, 3.74, 2.32분이었으며 *S. aureus*의 D 값은 각각 25.61, 3.16, 2.29분으로 나타났다. *L. monocytogenes*는 4°C와 40°C의 물을 이용하여 생성한 전해수에서 각각 6.60분, 1.57분으로 가장 낮은 D 값을 나타내었으며, 22°C에서는

*Sal. Enteritidis*가 2.92분으로 가장 낮은 D 값을 나타내었다. *B. cereus*와 *L. monocytogenes*는 전해수를 생성하는 물의 온도가 증가함에 따라 D 값이 유의적으로 감소하였다 ($P < 0.05$). *C. sakazakii*, *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *Sal. Enteritidis*는 물의 온도가 증가함에 따라 D 값이 감소하였으나, 22°C에서 40°C의 물을 이용하여 생성된 전해수에 처리한 균주들의 D 값은 유의적인 차이가 나타나지 않았다 ($P > 0.05$).

Table 2. D-values of foodborne pathogens treated by EAW prepared at different water temperatures

Strain	D-value (min)		
	4°C	22°C	40°C
<i>B. cereus</i>	11.14±2.95 ^{bC1)2)}	4.78±0.16 ^{cB}	1.63±0.39 ^{aA}
<i>C. sakazakii</i>	10.06±3.63 ^{abB}	4.06±0.91 ^{cdA}	2.24±0.30 ^{abA}
<i>E. coli</i> O157:H7	14.02±3.40 ^{bB}	3.74±0.47 ^{bcA}	2.32±0.25 ^{bA}
<i>L. monocytogenes</i>	6.60±1.25 ^{aC}	4.55±0.21 ^{deB}	1.57±0.36 ^{abA}
<i>S. aureus</i>	25.61±2.69 ^{cB}	3.16±0.23 ^{abA}	2.29±0.95 ^{abA}
<i>Sal. Enteritidis</i>	20.72±6.79 ^{cB}	2.92±0.14 ^{aA}	1.86±0.28 ^{abA}

¹⁾Values are mean±SD.

²⁾Means followed by different letters within each column (a-e) and row (A-C) signify statistical differences at $P<0.05$.

일반적으로 그람양성균의 세포벽은 그람음성균보다 두꺼운 펩티도글리칸층으로 구성되어 외부 환경에 대한 저항성이 다소 높으며 비가열 살균에 대한 민감성이 다르게 나타난다(29). 그람양성균과 그람음성균을 전해수에 처리하였을 때 민감성 차이가 나타난다는 Tango 등(22)의 연구와 같은 농도의 유효염소를 가지는 전해수를 이용하여 실험한 결과 *S. aureus*는 세포 외막이 손상되었고 *E. coli* O157:H7은 세포 내외막 모두 손상되었다는 Nan 등(30)의 연구에 의하면 그람양성균과 그람음성균은 전해수에 대한 민감성 차이가 있는 것으로 보인다. 하지만 본 연구에서 그람양성균과 그람음성균의 D 값은 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 이는 Kim과 Lee(31)의 연구와 유사한 결과를 나타내었다. Rahman 등(32)의 연구에서는 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *Sal. Typhimurium*이 *S. aureus*보다 전해수에 대한 저항성이 크다고 보고되었고, Burnett과 Beuchat(33)의 연구 결과에 의하면 *L. monocytogenes*가 *Sal. Typhimurium*, *E. coli*보다 저항성이 크다고 한다. 따라서 전해수를 생성하는 물의 온도 외에도 전해수의 생성 장치, 전해질 종류 등 다양한 요인에 따라 전해수에 대한 그람양성균과 그람음성균의 민감성이 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

본 연구 결과 높은 온도의 물을 이용하여 전해수를 생성하는 경우 높은 살균력을 나타내는 결과를 보였으며 그람양성균과 그람음성균에 대한 전해수의 살균은 유의적인 차이가 없었다. 이러한 결과는 최소가공식품이나 자연식품 등의 미생물 살균효율을 최적화하는 데 이용할 수 있으리라 생각한다.

요 약

본 연구에서는 다양한 온도의 물로 제조한 전해수를 이용하여 그람양성균과 그람음성균에 대한 살균력을 확인하였다. 전해수의 물성은 물의 온도가 높아질수록 pH와 유효 잔류염소 농도 값이 높아졌으나, 산화환원전위 값은 감소하였다. 4, 22, 40°C의 물을 이용하여 생성한 전해수에 *Escherichia coli* O157:H7을 15분 동안 처리하였을 때 각각 1.18, 4.47, 5.46 log CFU/mL 감소하였으며, *Staphylococcus aureus*는 각각 0.72, 4.90, 5.54 log CFU/mL 감소하였다. 이를 통해 전해수를 생성하는 물의 온도가 증가할수록 살균 효과

가 높아지는 것을 알 수 있다. 4, 40°C의 물을 이용하여 생성한 전해수에 균주를 처리한 경우, *Listeria monocytogenes*의 D 값(일정한 온도에서 90 %의 미생물이 사멸하는 데 걸리는 시간)이 각각 6.60, 1.57분으로 나타나 가장 낮았으며, 22°C 전해수에서는 *Salmonella Enteritidis*의 D 값이 2.92분으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 그람양성균과 그람음성균을 비교하였을 때 모든 온도에서 D 값에 대한 유의적인 차이는 나타나지 않았다($P>0.05$). 본 연구 결과는 전해수를 제조할 경우 높은 온도의 물을 이용하여 제조하는 것이 미생물 살균 효과가 높다는 것을 보여주고 있다. 따라서 전해수를 생성할 때 물의 온도를 고려하여 높은 살균력을 나타내는 전해수를 생성할 수 있으며, 이는 물의 온도 외에도 물의 경도나 물의 종류 등을 고려하여 최적의 살균 전해수를 제조함으로써 식품산업에 적용하기 위한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 영남대학교 연구조교 지원비(214A251139)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Choi JH. 2013. Commercialization strategies for export markets of fresh-cut baby leaf vegetables. *Food Science and Industry* 46(4): 23-29.
- Oh TY, Kim HJ. 2013. Microbiological safety of fresh-cut vegetables and salads. *Safe Food* 8: 18-27.
- Shin JK, Kim BR, Kim AJ. 2010. Nonthermal food processing technology using electric power. *Food Science and Industry* 43(1): 21-34.
- Hricova D, Stephan R, Zweifel C. 2008. Electrolyzed water and its application in the food industry. *J Food Prot* 71: 1934-1947.
- Kang KS, Kim TI, Lee HI. 2010. Investigation on the technology trend in electrolyzed sterilizing water. *Functional Waters* 1: 1-7.
- Demirci A, Ngadi MO. 2012. *Microbial decontamination in the food industry: novel methods and applications*. Woodhead Publishing, Cambridge, UK. p 563-591.
- Hao J, Liu H, Liu R, Dalai W, Zhao R, Chen T, Li L. 2011. Efficacy of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) for reducing microbial contamination on fresh-cut cilantro. *J*

- Food Saf* 31: 28-34.
8. Gunaydin M, Esen S, Karadag A, Unal N, Yanil K, Odagasi H, Birinci A. 2014. In vitro antimicrobial activity of Mediox[®] super-oxidized water. *Ann Clin Microbiol Antimicrob* 13: 29.
 9. Koide S, Shitanda D, Note M, Cao W. 2011. Effects of mildly heated, slightly acidic electrolyzed water on the disinfection and physicochemical properties of sliced carrot. *Food Control* 22: 452-456.
 10. Park H, Hung YC, Brackett RE. 2002. Antimicrobial effect of electrolyzed water for inactivating *Campylobacter jejuni* during poultry washing. *Int J Food Microbiol* 72: 77-83.
 11. Liao LB, Chen WM, Xiao XM. 2007. The generation and inactivation mechanism of oxidation-reduction potential of electrolyzed oxidizing water. *J Food Eng* 78: 1326-1332.
 12. Honda Y. 2003. Improvement of the electrolysis equipment and application of slightly acidic electrolyzed water for dairy farming. *J Jpn Soc Agric Mach* 65: 27-79.
 13. Koseki S, Yoshida Y, Isobe S, Itoh K. 2001. Decontamination of lettuce using acidic electrolyzed water. *J Food Prot* 64: 652-658.
 14. Hsu SY. 2003. Effects of water flow rate, salt concentration and water temperature on efficiency of an electrolyzed oxidizing water generator. *J Food Eng* 60: 469-473.
 15. Kim MH, Jeong JW, Cho YJ. 2004. Comparison of characteristics on electrolyzed water manufactured by various electrolytic factors. *Korean J Food Sci Technol* 36: 416-422.
 16. Forghani F, Park JH, Oh DH. 2015. Effect of water hardness on the production and microbicidal efficacy of slightly acidic electrolyzed water. *Food Microbiol* 48: 28-34.
 17. Guentzel JL, Liang Lam K, Callan MA, Emmons SA, Dunham VL. 2008. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water. *Food Microbiol* 25: 36-41.
 18. James CN, Copeland RC, Lytle DA. 2004. Relationships between oxidant-reduction potential, oxidant, and pH in drinking water. https://www.google.co.kr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwuiquOI38nOAhUHsJQKHVHQBGgQFggrMAE&url=https%3A%2F%2Fcfpub.epa.gov%2Fsi%2Fsi_public_file_download.cfm%3Fp_download_id%3D460980&usg=AFQjCNFp-SMXvgjULx-M_YI EHOcy40ruiA&bvm=bv.129759880,d.dGo (accessed Mar 2016).
 19. Jang JH, Park KJ. 2008. Concentration of hypochlorous acid and hypochlorite ion and bactericidal effect of electrolyzed water as influenced by pH. *J Food Res Technol* 21: 29-31.
 20. Lee JM. 2012. A study on generation of hypochlorous acid in the underground water with using electrolysis. *MS Thesis*. Korea University of Technology and Education, Chungnam, Korea.
 21. Delaquis PJ, Stewart S, Toivonen PMA, Molys AL. 1999. Effect of warm, chlorinated water on the microbial flora of shredded iceberg lettuce. *Food Res Int* 32: 7-14.
 22. Tango CN, Mansur AR, Oh DH. 2015. Fumaric acid and slightly acidic electrolyzed water inactivate Gram positive and Gram negative foodborne pathogens. *Microorganisms* 3: 34-46.
 23. Ding T, Xuan XT, Li J, Chen SG, Liu DH, Ye XQ, Shi J, Xue SJ. 2016. Disinfection efficacy and mechanism of slightly acidic electrolyzed water on *Staphylococcus aureus* in pure culture. *Food Control* 60: 505-510.
 24. Kim YK, Min BS, Min JK, Lee JK, Lee YB, Ryoo KK, Lee MY. 2004. Biological characteristics of anodic electrolyzed water. *Korean J Environ Biol* 22: 265-272.
 25. Koseki S, Yoshida K, Isobe S, Itoh K. 2004. Efficacy of acidic electrolyzed water for microbial decontamination of cucumbers and strawberries. *J Food Prot* 67: 1247-1251.
 26. Marriott NG. 1994. *Principles of food sanitation*. 3rd ed. Chapman & Hall Inc., New York, NY, USA. p 114-132.
 27. Huang YR, Hung YC, Hsu SY, Huang YW, Hwang DF. 2008. Application of electrolyzed water in the food industry. *Food Control* 19: 329-345.
 28. Zagory D. <http://postharvest.tfrec.wsu.edu/pages/PC2000W> (accessed Mar 2016).
 29. Do JS, Bang WS. 2013. Bactericidal effect of 461 nm blue light emitting diode on pathogenic bacteria. *Korean J Food Preserv* 20: 419-423.
 30. Nan S, Yongyu LI, Baoming LI, Wang C, Cui X, Cao W. 2010. Effect of slightly acidic electrolyzed water for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Staphylococcus aureus* analyzed by transmission electron microscopy. *J Food Prot* 73: 2211-2216.
 31. Kim JJ, Lee MY. 2007. Bactericidal effects of anodic electrolyzed water on the selected Gram-negative and Gram-positive bacteria. *J Environ Sci* 16: 1295-1300.
 32. Rahman SM, Ding T, Oh DH. 2010. Effectiveness of low concentration electrolyzed water to inactivate foodborne pathogens under different environmental conditions. *Int J Food Microbiol* 139: 147-153.
 33. Burnett SL, Beuchat LR. 2000. Human pathogens associated with raw produce and unpasteurized juices, and difficulties in decontamination. *J Ind Microbiol Biotech* 25: 281-287.