pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 40, No. 1, pp. 78~85 (2025)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2025.40.1.78

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

Research note

미산성 전해수와 피트산 병용 처리가 신선 농산물과 바이오 필름에서 병원성 균 감소에 미치는 영향

김나현 · 안지민 · 박세은 · 윤기선*
경희대학교 식품영양학과

Effects of Slightly Acidic Electrolyzed Water and Phytic Acid Combination on Pathogen Contamination of Fresh Produce and Biofilm Formation on Various Food Contact Surfaces

Na-Hyeon Kim, Ji-Min Ahn, Se-Eun Park, Ki-Sun Yoon*
Department of Food and Nutrition, Kyunghee University, Seoul, Korea

(Received October 23, 2024/Revised November 25, 2024/Accepted November 25, 2024)

ABSTRACT - Maintaining the safety of fresh produce is crucial to prevent potential contamination by harmful pathogens. Biofilm formation on food contact surfaces further increases the cross-contamination risk in food service industry. A previous study evaluated the effect of washing with 30 mg/L slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and phytic acid (PA) combination (SAEW-PA) on the microbial count in fresh vegetables. In this study, we aimed to evaluate the effects of SAEW-PA solution on biofilm generation by *Salmonella* typhimurium on rubber, plastic, and stainless steel. Romaine lettuce, cherry tomatoes, and carrots were inoculated with *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. isolated from carrot and iceberg lettuce and subsequently washed with tap water or SAEW-PA solution for 5 min. Notably, pathogen count was more effectively reduced by the SAEW-PA solution (0.7-1.86 log CFU/g) than by tap water (0.04-0.88 log CFU/g). Specifically, highest reduction of *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. counts (1.77-1.86 log CFU/g) was observed in romaine lettuce, followed by cherry tomatoes (0.73-1.21 log CFU/g) and carrots (0.7-0.83 log CFU/g). Biofilm formation by *S.* typhimurium was most prominent on rubber, followed by plastic and stainless steel. Sanitization efficiency varied by the food contact surface and wash duration, with 1-min SAEW-PA solution wash being most effective for stainless steel (4.57 log CFU/coupon) but less effective for rubber (2.52 log CFU/coupon) and plastic (2.46 log CFU/coupon). However, extending the wash time to 5 min markedly reduced biofilm formation on all surfaces. Compared to sodium hypochlorite, 30 mg/L SAEW-PA solution was more effective in reducing biofilm formation on rubber alone, suggesting its potential to disinfect various rubber surfaces, such as rubber gloves, in the food service industry. Future studies should explore other disinfectant combinations to effectively prevent biofilm formation on different food contact surfaces and minimize the cross-contamination risk in the food service industry.

Key words: *E. coli* O157:H7, *Salmonella*, Slightly acidic electrolyzed water, Phytic acid, Biofilm

최근 건강에 대한 높은 관심과 더불어 기후변화대응을 위해 저탄소 식생활을 실천하는 비건 라이프의 확산으로 신선편이 채소의 인지도와 구매가 지속적으로 증가하고 있다[1]. 최소한의 가공을 거친 신선 농산물은 병원성 미생물의 증식을 억제하는 별도의 가열 조리를 거치지 않고 그대로 섭취되기 때문에 식중독을 일으킬 가능성이 높다[2].

병원성 대장균(pathogenic *Escherichia coli*) 식중독은 일반적으로 채소를 제대로 세척 및 가열하지 않고 생으로 섭취했을 때 발생한다. 식품의약품안전처의 보도자료[3]에 의하면, 최근 5년간 병원성대장균으로 인한 식중독 발생의 주요 원인 식품은 채소류가 31%로 가장 많았다. 미국 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and

*Correspondence to: Ki-Sun Yoon, Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 02447, Korea
Tel: +82-2-961-0264, Fax: +82-2-961-0261
E-mail: ksyoon@khu.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution,and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Prevention, CDC)에서는 2022년 식중독을 가장 많이 유발한 식품은 녹색 잎채소이며 주요 원인균은 Shiga toxin-producing *E. coli* (STEC)라고 보고하였다[4]. 2019년 미국에서는 167명이 로메인 상추를 섭취하고 *E. coli* O157:H7에 감염되었다[5]. 살모넬라(*Salmonella*) 식중독은 균에 오염된 육류 및 가금류, 계란 등의 섭취로부터 흔히 발병되지만, 신선 과일 및 채소의 섭취에 의한 식중독 사고가 보고되고 있다. 2022년 프랑스에서 방울토마토가 들어간 혼합샐러드에 의한 *Salmonella* 식중독 사고가 발생하였고, 이외 독일, 스웨덴 등 12개국에서도 방울토마토 섭취로 인한 식중독 발병이 보고되었다[6]. 2021년 미국에서도 포장된 샐러드 섭취로 31명이 *Salmonella*에 감염되었다[7].

신선채소의 식중독 발생을 예방하기 위하여 식품 표면의 유해 미생물을 제거하는 세척 및 살균 단계가 중요관리점(critical control points, CCP)으로 관리되고 있다. 학교급식 위생관리 지침서[8]에 따르면, 가열조리 없이 생으로 제공되는 식품은 식품위생법에 따라 식품에 대한 살균·소독제로 승인돼 식품첨가물로 허용된 제품을 사용하여 소독한 후 제공하도록 하고 있다. 우리나라에서 허용된 식품 용 살균제로는 과산화수소(H_2O_2), 차아염소산나트륨(NaClO), 차아염소산칼슘($Ca(ClO)_2$), 차아염소산수(HOCl), 이산화염소수(ClO_2), 오존수(O_3), 과산화초산(CH_3COOOH)이 있다[9]. 선행 연구에서 채소 표면의 미생물 제어를 위해 다양한 세척수의 살균·소독 효과가 확인되었다[10,11].

식품뿐만 아니라 식품조리에 사용되는 기구와 용기도 소독하여 식품 접촉 표면에 존재하는 미생물을 완전히 제거하거나 안전한 수준으로 감소시키고 사용하여야 한다. 주로 사용되는 조리도구로는 도마, 고무장갑, 식기 등이 있다. 식품 접촉 표면에 생성되는 바이오 필름은 일반적인 세척 방법으로 제거가 어려워 해당 표면과 접촉하는 식품이 오염될 위험이 있다[12]. 바이오 필름은 외부 고분자 물질(extracellular polymeric substances, EPS) 구조 내에 존재하는 미생물 복합체로, 환경에 대한 생존 전략으로 생성된다. 이로 인해 세척이나 살균에 대한 저항력이 증가하므로 바이오 필름을 효과적으로 제어하기 위해서는 강력한 살균·소독 과정을 수행해야 한다[13]. 특히 *E. coli* O157:H7 균주보다 *Salmonella* spp.가 바이오 필름을 더 잘 형성하며[14], Joseph 등[12] 은 식품 접촉 표면에 생성된 *Salmonella* spp. 바이오 필름 제거를 위해 사용한 차아염소산염 등의 살균제에 대한 저항성을 확인하였다.

전 세계에서 일반적으로 사용되는 살균제는 차아염소산나트륨(NaClO)으로, 식품에 불쾌한 맛과 냄새를 유발할 수 있고 발암물질인 트리할로메탄이 생성될 위험이 있다[9]. 이를 대체하여 사용할 수 있는 살균제로 미산성전해수(slightly acidic electrolyzed water, SAEW)가 있다[15]. SAEW는 비교적 낮은 유효 염소 농도(10-80 mg/L)와 중성에 가까운 pH(5.0-6.5)에서도 광범위한 살균 효능을 가져 건강과 환경에 미치는 부작용이 적다[16]. 이에 SAEW를 초음파, 방사선 조사 등과 병용 처리하여 식품의 세척 효과를 증대한 연구들이 보고되었다[17]. 피트산(phytic acid, PA)은 식물에서 발견되는 천연 항산화제로 식품의 유통기한을 연장하는 식품보존제로서 사용되며, *E. coli* 및 *Staphylococcus aureus* 등 병원성 미생물에 대해 항균 활성을 가진다[18].

본 연구에서는 신선 농산물인 로메인 상추, 방울토마토, 당근에 오염된 *E. coli* O157:H7과 *Salmonella* spp.를 제어하기 위한 방법으로 PA를 첨가한 SAEW의 항균 효과를 분석하였다. 또한 SAEW와 PA의 병용 처리가 식품 접촉 표면인 고무, 플라스틱, 스테인리스 스틸에 형성된 *S.* Typhimurium 바이오 필름 제거 능력을 평가하여 항균 세척수로서의 사용 가능성을 연구하였다.

Materials and Methods

사용 균주

신선채소의 병원성미생물 감소 효과 연구에서 사용된 *Escherichia coli* O157:H7 (EHEC; NCTC 12079)과 *Salmonella* 균주는 식품의약품안전처(Ministry of Food and Drug Safety, MFDS)로부터 분양 받았다. *Salmonella* 균주의 경우, 당근으로부터 분리된 *Salmonella* Bareilly[19]과 양상추로부터 분리된 *Salmonella* Enteritidis[19]을 칵테일하여 사용하였다.

식품 접촉 표면의 바이오 필름 형성 능력 시험 균주로는 *Salmonella* Typhimurium (NCCP 14760)을 사용하였다. 균주는 각각 20% glycerol이 포함된 멸균 tryptic soy broth (TSB, MB cell, Seoul, Korea) 와 brain heart infusion (BHI, Oxoid, Hampshire, England)에 각각 배양하여 -80°C에 냉동 보관하였다. 보관한 균주를 각각 상온 해동 후 멸균된 TSB 와 BHI 10 mL에 10 μL 접종하여 rotary shaker (VS-8480, Vision Scientific, Daejeon, Korea)에 140 rpm으로 36°C, 24시간 배양하였다. 전배양한 균주는 0.1% 멸균 펩톤 수(Difco™ Peptone Water, Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, USA)로 10진 희석하여 사용하였다.

식품시료 준비 및 균주 접종

신선 농산물 중 로메인 상추는 온라인 마트(쿠팡, Seoul, Korea)에서 구입하였고, 방울토마토와 세척 당근은 서울 동대문구에 있는 슈퍼마켓에서 구입하였다. 본 실험 전, 일반세균 건조필름배지(3M Petrifilm™ AC, 3M, Saint Paul, MN, USA) 및 대장균/대장균군 건조필름배지(3M Petrifilm™ EC, 3M)를 사용하여 시료의 위생지표세균을 분석하였다. 각각의 시료(로메인 상추, 방울토마토, 당근)는 clean bench (CB200B, Vision Scientific) 안에서 10 g씩 무균적으로 채취 후, 각각의 시료표면에 균주를 100 μL씩 접종하고 실온에서 1시간 건조하였다. 살균소독제의 세척 효과를 측정하

기 위해 초기 접종 농도가 5-6 log CFU/g이 되도록 하였다.

세척 처리를 통한 병원성 미생물 감소 효과 확인

각각의 시료를 14.32 ppm의 PA가 포함된 30 mg/L SAEW (Sani-pure, Sanigen, Korea) 또는 수돗물로 5분간 침지 세척하였다(200 mL). 세척 처리한 시료를 0.1% 멸균 펩톤 수와 함께 stomacher (Interscience, Paris, France)로 2분간 균질화 하였다. 이후 0.1% 멸균 펩톤 수로 10진 희석하여 병원성 대장균은 eosin methylene blue (EMB agar, KisanBio, Seoul, Korea)에, 살모넬라는 xylose lysine deoxycholate agar (XLD agar, Oxoid, Hampshire, England)에 도말하고 36°C에서 24시간 배양하였다. Colony counter (Scan 1200, Interscience Paris, France)를 사용하여 집락을 계수하였으며, log CFU/g으로 나타내었다.

식품 접촉 표면에서의 *S.* Typhimurium 바이오 필름 형성

본 연구에서 사용한 식품 접촉 표면인 스테인레스 스틸, 플라스틱, 고무는 온라인 마트(쿠팡)에서 구입하였다. 3가지 식품 접촉 표면 모두 3 cm×2 cm 면적으로 절단한 coupon으로 준비하였고, 모두 70% 알코올을 사용하여 표면 이물질을 제거하였다. 스테인레스 스틸과 플라스틱은 121°C에서 15분간 멸균하였고, 고무는 70% 알코올에 30분간 침지 한 후에 80°C에서 20분 건조하였으며, clean bench (CB200B, Vision Scientific) 내에서 UV (G40T10, SANKYO, Japan)로 10분 조사한 후 사용하였다. 3가지의 식품 접촉 표면에서 *S.* Typhimurium의 바이오 필름 형성 능력을 비교하기 위해, 각 멸균된 coupon을 1 mL(10^6 CFU/mL)의 *S.* Typhimurium가 접종된 25 mL Brain Heart Infusion (BHI)이 담긴 conical tube에 넣어 36°C에서 3일간 흔들림 없이 배양하여 균이 쿠폰에 부착되도록 하였다. 3일 후, coupon을 멸균 증류수로 세척하여 쿠폰 겉면에 느슨하게 부착된 세포를 제거한 뒤, beads assay 방법을 사용하여 각 coupon에 생긴 바이오 필름 형성 정도를 측정하였다[20]. 각 coupon을 12 mL의 0.1% 멸균 펩톤 수와 3개의 유리 구슬이 들어있는 50 mL의 멸균된 conical tube에 침지 한 후, 2분간 vortex 하였다. vortex 한 용액은 XLD agar에 바로 분주하거나 10진 희석 후 분주하여 도말 하였다.

세척 처리를 통한 바이오 필름 제거 효과 확인

식품 접촉 표면의 *S.* Typhimurium 바이오 필름에 대한 PA가 포함된 30 mg/L SAEW의 세척 효과를 조사하기 위해, 각 coupon을 60 mL의 SAEW-PA 용액에 침지 한 후 교반 하면서 1분 및 5분간 세척하였다. SAEW-PA 용액의 세척 효과는 가장 일반적으로 사용되는 세척소독제 NaClO 100 mg/L와 200 mg/L을 제조하여 비교분석 하였다. 세척 후 coupon에 남아있는 균은 바이오 필름 형성 능력 확인과 동일하게 beads assay를 사용하여 측정하였다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복 수행되었으며, Statistical Analysis System SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)의 analysis of variance (ANOVA) 분석을 통해 유의성(P<0.05)을 검정하였다. 두 그룹 간 차이의 유의성은 t-test를 통해 확인하였고, Duncan's multiple range test를 통해 평균간 다중비교를 하였다.

Results and Discussion

신선 농산물에서 PA가 포함된 미산성 전해수 (SAEW-PA) 소독수 효과

본 연구에 사용한 시료에서 세척 소독수 효과를 분석하기 전에 시료의 일반세균 및 대장균군/대장균 정량분석을 진행하였으며, 그 결과는 다음 Table 1과 같다. 일반세균의 오염도는 로메인상추에서 4.23±0.01 log CFU/g, 당근에서 2.70±0.03 log CFU/g, 방울토마토에서 0.59±0.16 log CFU/g으로 모든 시료에서 일반세균수가 5 log CFU/g 미만으로 검출되었으며, 대장균군 및 대장균은 모두 검출되지 않았다.

로메인 상추, 방울토마토, 당근을 수돗물 및 SAEW-PA 소독수로 5분간 침지 처리하여 *E. coli* O157:H7과 *Salmonella* spp. (*S.* Bareilly 와 *S.* Enteritidis 칵테일 균주) 저감 효과를 나타낸 결과는 다음 Fig. 1a와 1b와 같다. 본 연구에서 각 시료를 수돗물로 5분 침지 세척한 결과, 로메인 상추의 경우 *E. coli* O157:H7와 *Salmonella* spp.가 약 0.65, 0.88 log CFU/g 감소하였고, 방울토마토에서는 약 0.26, 0.22 log CFU/g, 당근에서는 약 0.14, 0.04 log CFU/g 감소하였다.

그러나 모든 시료에서 PA가 포함된 30 mg/L SAEW로 세척하였을 때 3가지 식중독 균이 모두 유의적으로 감소하였다(P<0.05). 특히 로메인 상추의 경우, SAEW-PA 소독수로 세척 후 *E. coli* O157:H7와 *Salmonella* spp.가 약 1.77, 1.86 log CFU/g 감소로 가장 높은 저감화 효과를 보였다. 선행 연구에 따르면 8-9 log CFU/g의 *E. coli* 및 *Salmonella* spp.가 접종된 상추를 SAEW으로 5분간 세척하였을 때, 각각 2.84, 2.91 log CFU/g 감소로 *Salmonella* spp.가 더 높은 저감화 효과를 보였으며[15], 이는 본 연구결과와 일치하

Table 1. Microbial contamination levels of indicator bacteria in fresh produces

Sample	Contamination levels (log CFU/g)		
	Total aerobic bacteria	Coliforms	*E. coli*
Romaine lettuce	4.23±0.01	ND[1)]	ND
Cherry tomato	0.59±0.16	ND	ND
Carrot	2.70±0.03	ND	ND

[1)]ND: not detected. n=2.

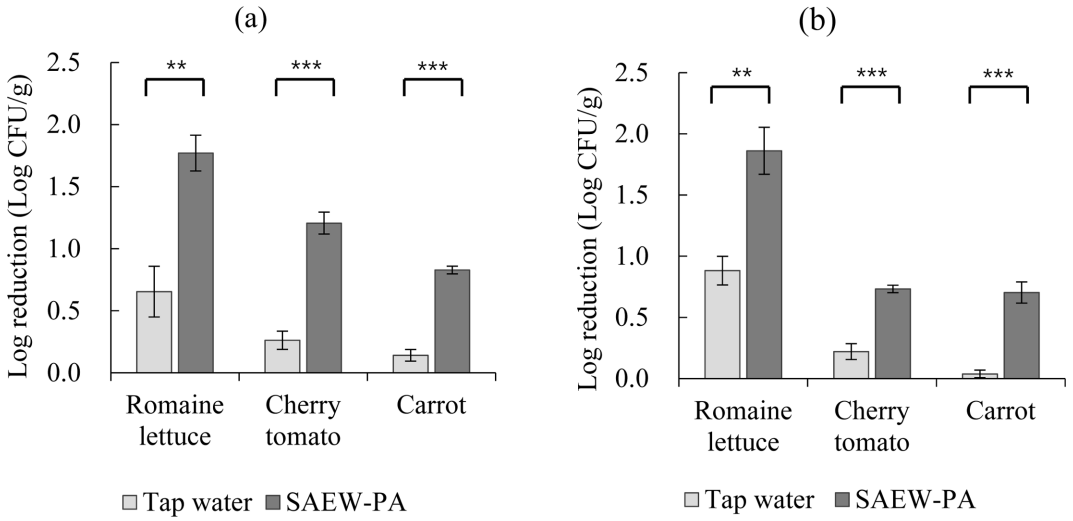

Fig. 1. Comparison for log reduction of tap water and 30 mg/L slightly acidic electrolyzed water with phytic acid (SAEW-PA) on *Escherichia coli* O157:H7 (a) and *Salmonella* spp. (b) in romaine lettuce, cherry tomato, and carrot.
Significant difference between tap water and SAEW-PA was observed in each pathogen and fresh produce by *t*-test (***P*<0.01, ****P*<0.001).

였다. 반면 Kondo 등[21]의 연구에서는 5-6 log CFU/g의 *E. coli* O157:H7 및 *S.* Typhimurium이 접종된 상추를 200 mg/L의 NaClO으로 10분간 세척하였을 때 약 1.2 log CFU/g 감소되어 균주에 따른 유의적 차이는 확인되지 않았다. 또한 7 log CFU/g의 *E. coli* O157:H7가 접종된 로메인 상추를 20-200 mg/L의 ClO_2로 2분간 처리하였을 때 약 1.06-1.45 log CFU/g 감소[22] 가 보고되었는데, 본 연구에서 사용한 SAEW-PA 보다는 낮은 저감화 효과를 보였다. Beuchat 등[23]의 연구에서는 약 4.5 log CFU/g의 *Listeria monocytogenes*가 접종된 로메인 상추를 100 mg/L의 염소수로 처리 시 1.68 log CFU/g의 감소가 보고되었다. 세척 소독수 연구의 경우, 시료의 표면 특성 및 균주에 따라 그 효과에 차이를 보이고 있으며 각 연구마다 균주 접종 및 세척 방법에도 차이가 있어 일괄적으로 단순 비교하는 것은 매우 어려운 일이나 종합적으로 상추와 같은 엽채류의 경우 평균적으로 1-2 log CFU/g 세척소독 효과가 있는 것으로 확인되었다.

방울토마토의 경우, SAEW-PA 소독수로 세척하였을 때 *E. coli* O157:H7과 *Salmonella* spp.가 약 1.21, 0.73 log CFU/g 감소하여 로메인 상추와는 반대로 *E. coli* O157:H7의 감소효과가 더 컸다. Inatsu 등[24]의 연구에서는 약 6.8 log CFU/g의 *E. coli* O157:H7가 접종된 방울토마토를 100 mg/L의 염소수로 5분간 세척 시 1.3 log CFU/g의 감소를 보였으며, 이는 본 연구 결과와 유사한 것으로 나타났다. 또한 Chen 등[25]에 의하면, 200 mg/L 염소수로 방울토마토 세척 시 *E. coli* O157:H7과 *S. enterica*가 각각 1.98, 1.78 log CFU/g 감소로 *E. coli* O157:H7에 더 높은 저감화 효과를 보였는데, 토마토에서는 전반적으로 *Salmonella*보다 *E. coli* 저감화가 더 효과적인 것으로 확인되었다. Kim 등[26]의 연구에서는 30 mg/L SAEW로 방울토마토를 3분간 침지 처리 후 *S. aureus* 와 *L. monocytogenes*가 약 1.13, 1.12 log CFU/g 감소해 균주 간 비슷한 세척효과가 보고되었다. 또한 본 연구에서는 당근을 SAEW-PA 소독수로 세척하였을 때 *E. coli* O157:H7와 *Salmonella* spp.가 약 0.83, 0.7 log CFU/g 감소로 본 연구에 사용된 시료 중 가장 낮은 저감화 효과를 보였다. 선행 연구에서는 7-8 log CFU/g의 *S.* Typhimurium가 접종된 방울토마토와 당근을 100 mg/L NaClO로 5분간 세척 시 각각 2.04, 2.00 log CFU/g 감소로 비슷한 수준의 저감화 효과가 보고되었는데[27], 본 연구에서는 방울토마토와 당근에서 SAEW-PA로 세척 시 *Salmonella* spp. 만 저감화 수준이 유사하게 나타났다.

본 연구에서는 전반적으로 로메인 상추에 비해 방울토마토와 당근에서 SAEW-PA 소독수의 세척 효과가 크지 않은 것으로 확인되었다. Gyawali 등[28]의 연구에서도 상추와 토마토에 구리(40 mg/L)와 젖산(0.2%) 병용 처리 시 *E. coli* O157:H7이 각각 3.93, 3.39 log CFU/g 감소되어 토마토보다 상추에서 세척 효과가 더 컸다. Guzel 등[29]의 연구에서는 200 mg/L 염소수로 10분간 멜론을 세척하였을 때 *L. innocua*가 0.50 log CFU/g의 감소된 반면, 로메인 상추를 세척하였을 때 약 1 log CFU/g 감소를 보여 멜론에 비해 로메인 상추에서 더 세척효과가 큰 것으로 확인되었다. 같은 종류의 시료라 할지라도 손상된 조직보다 손상되지 않은 상추 잎 표면에 접종된 *E. coli* O157:H7이 염소 수에 의해 더 효과적으로 제거되었다[22]. 그 외에도 시료별 단위 중량 당 표면적 차이를 고려해 볼 수 있는데, 선행연구에서 신선 채소(당근, 시금치, 피망, 무, 감자) 중 조직의 단위 중량 당 표면적이 가장 큰 시금치에서 전해수의 세척 효과가 가장 높게 나타났으며, 채소 종류마다 다른 조직의 표면적 및 미세 구조가 전해수와 미생물의

접촉 정도에 영향을 미친다고 보고하였다[30].

결과적으로 본 연구에서 사용한 SAEW-PA 소독수는 신선 농산물 중 특히 로메인 상추에서 식품 산업에 사용되는 살균소독제보다 우수한 저감화 효과를 보여 다른 엽채류에서 병원성 미생물 저감화를 위해 활용될 수 있는지에 대해 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

식품표면 바이오 필름에서 PA가 포함된 미산성 전해수 (SAEW-PA) 소독수 효과

3가지 식품 접촉 표면(고무, 플라스틱, 스테인리스 스틸)에서 *S.* Typhimurium의 바이오 필름 형성을 비교한 결과는 다음 Fig. 2와 같다. 바이오 필름 형성 정도는 표면 유형에 따라 유의한 차이를 보였으며, 고무, 플라스틱, 스테인리스 스틸 쿠폰에 형성된 바이오 필름의 평균값은 각각 4.93, 4.90, 4.57 log CFU/coupon으로 고무재질에서 바이오 필름이 가장 잘 형성되었다. 선행연구에 따르면 *Salmonella*는 플라스틱 재질에서 다량의 바이오 필름을 형성하며[31], 스테인리스 스틸에서도 바이오 필름 형성 능력이 있는 것으로 확인되었다[32]. 또한, *Salmonella* Weltevrede는 스테인리스 스틸보다 플라스틱 표면에서 더 많은 바이오 필름을 형성하는 것으로 보고하였으며[12], 표면 거칠기가 미생물 부착에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되었다[33]. 고무의 표면 거칠기가 스테인리스 스틸보다 크고[34] 플라스틱의 표면 거칠기가 스테인리스 스틸보다 커[35] 고무와 플라스틱에서 바이오 필름이 더 잘 형성된 선행 연구 결과는 본 연구의 결과와 일치하였다. 본 연구에서는 식품 서비스 현장에서 자주 활용되는 고무, 플라스틱, 스테인리스 스틸 표면에 *S.* Typhimurium의 바이오 필름 형성이 잘 된다는 점을 확인 후 바이오 필름 제거를 위해 SAEW-PA 소독수의 바이오 필름 제거 효과를 분석하였다.

세 가지 식품 접촉 표면에서 형성된 바이오 필름은 PA가 포함된 SAEW로 세척한 후 *S.* Typhimurium 바이오 필름이 유의적으로 감소하였다(P<0.05). 세척 1분 후 고무, 플라스틱, 스테인리스 스틸 쿠폰에서의 바이오 필름 평균값은 각

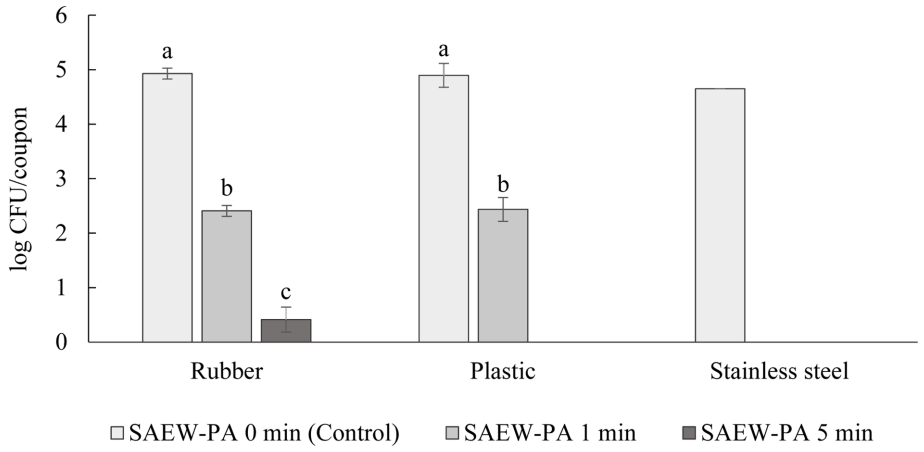

Fig. 2. Population of *S.* Typhimurium biofilms on rubber, plastic, and stainless steel after washing with 30 mg/L slightly acidic electrolyzed water with phytic acid (SAEW-PA).
[a-c] Values within each treatment time represent different by Duncan's multiple range test at P<0.05.

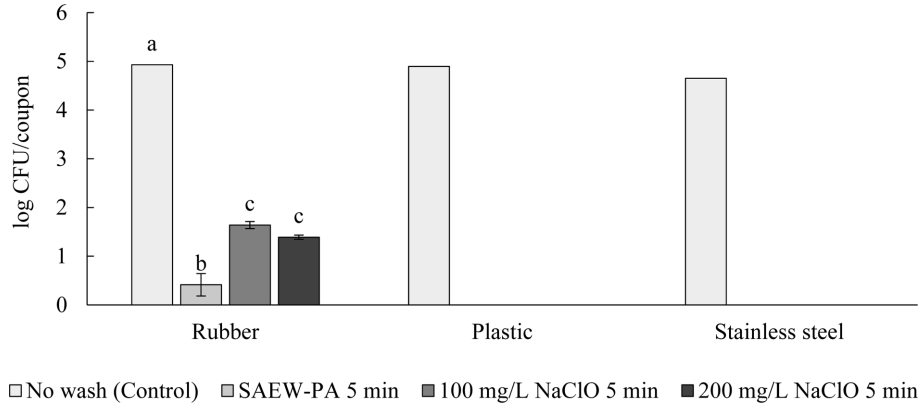

Fig. 3. Comparison of 30 mg/L slightly acidic electrolyzed water with phytic acid (SAEW-PA) and NaClO (100, 200 mg/L) on the population of biofilms on the various food contact surfaces after washing.
[a-b] Values within each treatment time represent different by Duncan's multiple range test at P<0.05.

각 2.41, 2.44, 0 log CFU/coupon으로 나타났다. 세척 시간을 5분으로 증가시켰을 때, 스테인리스 스틸을 제외한 고무 및 플라스틱 표면에서 세척 후 남아있는 바이오 필름의 세균 수는 각각 0.41, 0 log CFU/coupon으로 1분 세척과 비교하였을 때 세척 효과가 유의적으로 증가하였다(P<0.05).

SAEW의 바이오 필름 제거 효과에 대한 연구에서는 폴리스티렌에 부착된 *S. aureus*의 바이오 필름 제거에 효과적이라고 보고되었다[36]. 또한, 60-100 mg/L의 SAEW를 분무하였을 때, 스테인레스 스틸에 형성된 대장균군, 황색포도상구균, 효모, 곰팡이가 감소된다는 연구 결과도 보고된 바 있다[37]. 최근 연구에서는 PA와 유리 유효 염소가 복합 처리될 경우, 단독 처리하여 세척할 때보다 *Bacillus subtilis*와 *B. cereus* 포자를 더욱 효과적으로 제거할 수 있다는 결과도 보고되었다[38]. 본 연구 결과에서도 PA가 포함된 SAEW 처리가 *S.* Typhimurium 바이오 필름 제거에 효과가 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 식품서비스 분야에서 주로 많이 사용되는 NaClO와 PA가 포함된 SAEW의 세척소독 효과를 비교하였다. 100 mg/L 및 200 mg/L의 NaClO와 SAEW-PA를 사용하여 각 쿠폰을 5분 동안 세척한 결과는 다음 Fig. 3과 같다. 플라스틱 쿠폰과 스테인리스 스틸 쿠폰의 경우, SAEW-PA로 5분 세척 후 모든 바이오 필름이 제거된 것으로 나타났다. 반면, 고무 쿠폰에서는 SAEW-PA로 세척 후 남아있는 바이오 필름의 세균 수는 0.41 log CFU/coupon, 100 mg/L 및 200 mg/L NaClO 세척 시 각각 1.64 및 1.39 log CFU/coupon으로, SAEW-PA의 세척 효과가 더 유의적으로 큰 것으로 확인되었다. 선행 연구에 따르면, 유효 염소 농도가 70 mg/L인 SAEW와 200 mg/L인 NaClO이 식품 접촉 표면 유형에 관계없이 *L. innocua* 바이오 필름 감소 효과에는 유의미한 차이가 없는 것으로 확인되었다[39]. 본 연구에서는 70 mg/L보다 낮은 30 mg/L의 SAEW를 사용하였으나, PA와의 복합 처리를 통해 유효 염소 농도가 더 낮은 30 mg/L에서도 고무 표면에서 *S.* Typhimurium 바이오 필름 제거 효과가 나타났다. 이러한 결과는 고무 표면에서 SAEW와 PA의 복합 처리가 특히 효과적이었음을 시사한다.

Acknowledgement

본 연구에서 사용한 소독수 Sani-pure는 ㈜세니젠에서 제공받았으며, 이에 감사드립니다.

국문요약

본 연구에서는 신선 채소의 병원성 미생물 제어를 위해 phytic acid (PA)가 포함된 30 mg/L slightly acidic electrolyzed water (SAEW)의 세척 효과를 평가하였다. 로메인 상추, 방울토마토, 당근에 *Escherichia coli* O157:H7 및 *Salmonella* spp.를 접종하고 수돗물 또는 SAEW-PA 소독수로 5분간 세척하였다. 전반적으로, 시료를 SAEW-PA로 처리하였을 때 병원균이 유의적으로 감소하였으며, *E. coli* O157:H7 및 *Salmonella* spp. 모두 방울토마토와 당근보다 로메인 상추에서 더 효과적으로 감소하였다. 본 연구는 또한 식품 접촉 표면인 고무, 플라스틱 및 스테인리스 스틸의 *S.* Typhimurium 바이오 필름에 대한 SAEW-PA 소독수의 세척 효과를 평가하였다. *S.* Typhimurium 바이오 필름은 고무 재질에서 가장 잘 형성되었고, 플라스틱과 스테인리스 스틸이 그 뒤를 이었다. 세척 효과는 식품 접촉 표면 및 세척 시간에 따라 다르게 나타났는데, SAEW-PA 소독수로 1분간 세척하는 것이 스테인리스 스틸에 가장 효과적이었으며 고무 및 플라스틱에 미치는 영향은 적었다. 세척 시간을 5분으로 연장하면 모든 표면에서 바이오 필름 제거 효과가 향상되었다. 특히 고무 재질에서 NaClO에 비해 SAEW-PA 소독수가 바이오 필름을 더 효과적으로 감소시켰으며, 이는 식품 산업에서 고무 장갑과 같은 고무 표면을 소독하는 데 SAEW-PA 소독수를 활용할 수 있음을 시사한다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Na-Hyeon Kim https://orcid.org/0009-0003-0443-8704
Ji-Min Ahn https://orcid.org/0009-0001-3185-4813
Se-Eun Park https://orcid.org/0009-0006-0564-3920
Ki-Sun Yoon https://orcid.org/0000-0002-7492-4076

References

1. Kim, S.H., Lee, G.I., Heo, S.Y., Lee, W.J., Research on fresh-cut fruits and vegetables. *Korea Rural Economic Institute Research Report*, **R880**, 1-307 (2019).
2. Gu, M.S., Microbiological quality and characteristics of fresh produce. *Food Preserv. Process. Ind.,* **14**, 41-49 (2015).
3. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2023, June 15). Be especially careful of pathogenic *E. coli* food poisoning in the summer! Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=47357&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1
4. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), (2024, June 4). Summary of possible multistate enteric (intestinal) disease outbreaks in 2022. Retrieved from https://www.cdc.gov/foodborne-outbreaks/php/data-research/summary-2022.html
5. Centers for Disease Control and Prevention, (2024, August 15).

outbreak linked to romaine lettuce. Retrieved from https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/ecoli/2019/o157h7-11-19/index.html
6. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), (2024, August 15). Multi-country outbreak of *Salmonella* Senftenberg ST14 infections possibly linked to cherry-like tomatoes. Retrieved from https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/multi-country-outbreak-salmonella-senftenberg-st14-infections
7. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), (2024, August 15). outbreak linked to brightfarms pack- aged salad greens – investigation details. Retrieved from https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/salmonella/typhimurium-07-21/details.html
8. Ministry of Education, (2024, August 15), Guidelines for hygiene management in school meals. Retrieved from https://www.schoolkeepa.or.kr/cop/bbs/selectArticleDetail.do?nttId=431&bbsId=BBSMSTR_000000000021
9. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2024, August 15). Field guidelines for food sanitizers (Revised edition). Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_218/view.do?seq=33466
10. Wang, L., Xia, Q., Huang, P., Li, T., The application of slightly acidic electrolyzed water as a potential washing agent on shelf-life and quality of fresh cut vegetables (lettuce and carrot). *Inter. Proc. Chem. Biol. Environ. Eng.*, **95**, 57-61 (2016).
11. Lee, J.Y., Yang, S.Y., Yoon, K.S., Control measures of pathogenic microorganisms and shelf-life extension of fresh-cut vegetables. *Foods*, **10**, 655 (2021).
12. Joseph, B., Otta, S.K., Karunasagar, I., Karunasagar, I., Biofilm formation by *Salmonella* spp. on food contact surfaces and their sensitivity to sanitizers. *Int. J. Food Microbiol*., **64**, 367-372 (2001).
13. Yook, J.M., Biofilm and food safety (Proposal for biofilm solutions). *Food Sci. Anim. Resour.,* **8**, 8-13 (2019).
14. Adetunji, V., Odetokun, I.A., Assessment of biofilm in *E. coli* O157: H7 and *Salmonella* strains: influence of cultural conditions. *Am. J. Food Technol.*, **7**, 582-595 (2012).
15. Issa-Zacharia, A., Kamitani, Y., Miwa, N., Muhimbula, H., Iwasaki, K., Application of slightly acidic electrolyzed water as a potential non-thermal food sanitizer for decontamination of fresh ready-to-eat vegetables and sprouts. *Food control*, **22**, 601-607 (2011).
16. Ding, T., Ge, Z., Shi, J., Xu, Y.T., Jones, C.L., Liu, D.H., Impact of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and ultrasound on microbial loads and quality of fresh fruits. *LWT-Food Sci. Technol.*, **60**, 1195-1199 (2015).
17. Jiang, Y., Ai, C., Liao, X., Liu, D., Ding, T., Effect of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and ultraviolet light illumination pretreatment on microflora inactivation of coriander. *LWT-Food Sci. Technol.*, **132**, 109898 (2020).
18. Zhou, Q., Zhao, Y., Dang, H., Tang, Y., Zhang, B., Antibacterial effects of phytic acid against foodborne pathogens and investigation of its mode of action. *J. Food Prot.*, **82**, 826-833 (2019).
19. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2023. Risk analysis of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* in vegetables and vegetable products, Cheongju, Korea.
20. Desai, M.A., Soni, K.A., Nannapaneni, R., Schilling, M.W., Silva, J.L., Reduction of *Listeria monocytogenes* biofilms on stainless steel and polystyrene surfaces by essential oils. *J. Food Prot.*, **75**, 1332-1337 (2012).
21. Kondo, N., Murata, M., Isshiki, K., Efficiency of sodium hypochlorite, fumaric acid, and mild heat in killing native microflora and *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium DT104, and *Staphylococcus aureus* attached to fresh-cut lettuce. *J. Food Prot.*, **69**, 323-329 (2006).
22. Keskinen, L.A., Burke, A., Annous, B.A., Efficacy of chlorine, acidic electrolyzed water and aqueous chlorine dioxide solutions to decontaminate *Escherichia coli* O157: H7 from lettuce leaves. *Int. J. Food Microbiol.*, **132**, 134-140 (2009).
23. Beuchat, L.R., Adler, B.B., Lang, M.M., Efficacy of chlorine and a peroxyacetic acid sanitizer in killing *Listeria monocytogenes* on iceberg and romaine lettuce using simulated commercial processing conditions. *J. Food Prot.*, **67**, 1238-1242 (2004).
24. Inatsu, Y., Kitagawa, T., Bari, M.L., Nei, D., Juneja, V., Kawamoto, S., Effectiveness of acidified sodium chlorite and other sanitizers to control *Escherichia coli* O157: H7 on tomato surfaces. *Foodborne Pathog. Dis.*, **7**, 629-635 (2010).
25. Chen, H., Zhong, Q., Antibacterial activity of acidified sodium benzoate against *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enterica*, and *Listeria monocytogenes* in tryptic soy broth and on cherry tomatoes. *Int. J. Food Microbiol.*, **274**, 38-44 (2018).
26. Kim, G.H., Lee, C.L., Yoon, K.S., Combined hurdle technologies using UVC waterproof LED for inactivating foodborne pathogens on fresh-cut fruits. *Foods*, **10**, 1712 (2021).
27. Kwon, K.Y., Kang, K.A., Yoon, K.S., Effects of sodium hypochlorite and acidified sodium chlorite on the morphological, microbiological, and sensory qualities of selected vegetables. *Food Sci. Biotechnol.*, **20**, 759-766 (2011).
28. Gyawali, R., Ibrahim, S.A., Abu Hasfa, S.H., Smqadri, S.Q., Haik, Y., Antimicrobial activity of copper alone and in combination with lactic acid against *Escherichia coli* O157: H7 in laboratory medium and on the surface of lettuce and tomatoes. *J. Pathog.*, **2011**, 650968 (2011).
29. Guzel, M., Moreira, R.G., Omac, B., Castell-Perez, M.E., Quantifying the effectiveness of washing treatments on the microbial quality of fresh-cut romaine lettuce and cantaloupe. *LWT-Food Sci. Technol.*, **86**, 270-276 (2017).
30. Izumi, H., Electrolyzed water as a disinfectant for fresh-cut vegetables. *J. Food Sci.*, **64**, 536-539 (1999).
31. Stepanović, S., Ćirković, I., Ranin, L., Svabić-Vlahović, M., Biofilm formation by *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* on plastic surface. *Lett. Appl. Microbiol.*, **38**, 428-432 (2004).
32. Giaouris, E., Chorianopoulos, N., Nychas, G.J., Effect of temperature, pH, and water activity on biofilm formation by *Salmonella enterica* Enteritidis PT4 on stainless steel sur-

faces as indicated by the bead vortexing method and conductance measurements. *J. Food Prot.*, **68**, 2149-2154 (2005).
33. Busscher, H.J., Van Pelt, A.W. J., De Boer, P., De Jong, H.P., Arends, J., The effect of surface roughening of polymers on measured contact angles of liquids. *Colloids Surf.*, **9**, 319-331 (1984).
34. Chia, T.W.R., Goulter, R.M., McMeekin, T., Dykes, G.A., Fegan, N., Attachment of different *Salmonella* serovars to materials commonly used in a poultry processing plant. *Food Microbiol.*, **26**, 853-859 (2009).
35. Bang, J., Hong, A., Kim, H., Beuchat, L.R., Rhee, M.S., Kim, Y., Ryu, J.H., Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 in biofilm on food-contact surfaces by sequential treatments of aqueous chlorine dioxide and drying. *Int. J. Food Microbiol.*, **191**, 129-134 (2014).
36. Sun, J.L., Zhang, S.K., Chen, J.Y., Han, B.Z., Efficacy of acidic and basic electrolyzed water in eradicating *Staphylococcus aureus* biofilm. *Can. J. Microbiol.*, **58**, 448-454 (2012).
37. Ni, L., Cao, W., Zheng, W.C., Zhang, Q., Li, B.M., Reduction of microbial contamination on the surfaces of layer houses using slightly acidic electrolyzed water. *Poult. Sci.*, **94**, 2838-2848 (2015).
38. Yoon, Y., Seo, Y.S., Cho, M., Effect of phytic acid and free available chlorine on the inactivation of antibiotic-resistant and foodborne pathogenic *Bacillus* spores during combinational disinfection. *J. Water Process Eng.*, **58**, 104798 (2024).
39. Jeon, H.R., Kwon, M.J., Yoon, K.S., Control of *Listeria innocua* biofilms on food contact surfaces with slightly acidic electrolyzed water and the risk of biofilm cells transfer to duck meat. *J. Food Prot.*, **81**, 582-592 (2018).