

서해안(강화도, 이원면, 곰소만 해역) 패류에 대한 위생학적 안전성 평가 및 인공정화 연구

김지윤 · 정연겸¹ · 황진익 · 김영주 · 박보미² · 오은경*

국립수산과학원 서해수산연구소, ¹국립수산과학원 남해수산연구소, ²bioMérieux Korea Co., Ltd.

Evaluation of Microbiological Safety and Artificial Depuration System for Shellfish in the West Coast, Korea

Ji Yoon Kim, Yeon Gyeom Jeong¹, Jin Ik Hwang, Young Ju Kim, Bo Mi Park² and Eun Gyoung Oh*

West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Republic of Korea

¹South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Namhae 59780, Republic of Korea

²bioMérieux Korea Co., Ltd., Seoul 06243, Republic of Korea

In this study, the hygiene indicator bacteria and pathogenic bacteria in shellfish (oysters and short-neck clams) produced on the West Coast were analyzed. In addition, this study aimed to secure the microbiological safety of distributed shellfish by reducing the number of microorganisms in the shellfish using an artificial relaying depuration system. Fecal coliforms and *Escherichia coli* of the shellfish examined ranged from <18 to 1,300 MPN/100 g and <18 to 700 MPN/100 g, respectively, with total aerobic bacteria ranging from <30 to 36,000 CFU/g. For *Vibrio parahaemolyticus*, <30 to 11,000 MPN/100 g was detected. *V. vulnificus* ranged from <30 to 230 MPN/100 g and *V. cholerae* ranged from <30 to 11,000 MPN/100 g. *Salmonella* spp. and *Shigella* spp. were not detected in this investigation. In the reduction study using the artificial relaying depuration system, *E. coli* of oysters decreased by more than 99% after 24 h of purification, and *E. coli* of short-neck clams decreased by more than 99.9% after 24 h. This study is expected to ensure the hygienic safety of shellfish and provide basic data for the research and development of microbial reduction technologies.

Keywords: Depuration system, Microbiological safety, Oyster, Shellfish, Short-neck clam

서 론

굴(oyster *Crassostrea gigas*), 바지락(short-neck clam *Ruditapes philippinarum*) 등의 패류는 특유의 신선한 향미와 더불어 우수한 영양성분을 다량 함유하여 우리나라에서 소비가 많은 대표적인 수산물이다(Park et al., 2014). 그러나 우리나라에서 굴, 바지락 등의 패류를 생산하는 양식장은 대부분 육지와 가까운 연안에 위치하고 있어 생활하수, 농업용수 및 분변 등의 오염원으로부터 영향을 받을 가능성이 높다(Shin et al., 2014; Kim et al., 2021). 특히 여과섭이(filter feeding) 활동을 하는 굴, 바지락, 홍합 및 새꼬막 등의 이매패류는 해수 중에 부유하는 유해미생물이 체내에 쉽게 축적될 수 있어 미생물에 의한 식중독

발생이 우려되는 상황이다(Shim et al., 2009; Kim et al., 2023).

본 연구에서 조사지점으로 설정한 서해안은 조수간만의 차가 크게 나타나는 지역으로 굴, 바지락, 새꼬막 및 동죽 등 다양한 패류가 생장할 수 있는 수환경과 저서환경(갯벌)이 잘 조성되어 있다(Park et al., 2023). 서해권역(인천광역시~전라북도)에서 최근 10년(2013~2022년)간 생산된 패류는 평균 50,092톤이었으며, 해면양식에 의한 패류 생산량은 2022년 기준으로 바지락 22,009톤 및 굴 9,149톤으로 대부분을 차지하였다(Kang et al., 2024). 이와 같이 서해안에서 생산되는 다양한 패류가 여러 경로를 통해 판매 및 유통되고 있지만, 서해안 패류의 미생물학적 안전성 평가에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 서해안의 해역 특성에 따른 패류의 위생학적 안전성 확보를 위해 다방면에

*Corresponding author: Tel: +82. 32. 745. 0750 Fax: +82. 32. 745. 0619

E-mail address: ohdagu@korea.kr

 This is an Open Access article 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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0675>

Korean J Fish Aquat Sci 58(6), 675-682, December 2025

Received 4 August 2025; Revised 14 October 2025; Accepted 9 November 2025

저자 직위: 김지윤(연구사), 정연겸(연구사), 황진익(연구사), 김영주(연구사), 박보미(매니저), 오은경(연구관)

서의 지속적인 조사 및 기초 데이터가 필요할 것으로 생각된다. 한편, 미국, 유럽 및 일본 등 각 나라에서는 패류의 위생학적 안전성을 확보하기 위해 자국의 위생기준을 수립하여 관리하고 있다. 미국의 경우 National Shellfish Sanitation Program (NSSP)에 근거하여 해수의 분변계대장균(fecal coliform) 수에 따라 허가해역(approved area), 제한해역(restricted area), 금지해역(prohibited area) 및 폐쇄해역(closed area)으로 등급화하여 관리하고 있으며(US FDA, 2019), 유럽연합(European Union, EU)의 경우 미생물 기준(대장균 230 MPN/100 g 이하)에 따라 이매패류, 피낭류 및 복족류 등을 A등급, B등급, C등급으로 분류하여 패류의 유통을 엄격하게 관리 중에 있다(European Commission, 2019). 우리나라에서는 1960년대부터 현재 까지 주요 패류생산해역에 대한 위생조사를 지속적으로 실시해오고 있으며, 외국(미국, 유럽 등)의 패류 위생기준에 부합하는 해역을 수출용패류생산지정해역(이하 지정해역)으로 설정하여 현재 남해안의 7개 지정해역이 패류 수출을 위한 해역으로써 관리되고 있다(Shim et al., 2009). 서해안의 경우 현재 지정해역은 없으나, 다수의 해역이 패류생산해역(일반해역)으로 지정되어 있어 내수용 생산해역 또한 수출용 지정해역에 상응하는 기준으로 관리하여 국민들에게 안전한 패류가 공급될 수 있도록 신중하게 조사·관리를 하고 있다.

미국, 유럽 등 외국에서는 오래전부터 패류의 안전성 확보를 위해 유통 전 자연정화(relaying) 혹은 인공정화(depuration) 과정을 거쳐 출하를 진행하고 있다. 굴을 비롯하여 바지락, 담치 등 다양한 이매패류에 적용되고 있으며 대장균 등 설정된 기준 규격에 맞추어 정화처리한 후 출하하여 안전성을 확보하고 있다(Oh et al., 2012). 우리나라 또한 지리적, 계절적 영향을 받아 패류의 세균수가 증가하는 경우가 있어 이 시기에 채취되는 패류의 위생안전에 대처방안이 필요하나, 현재까지 오염해역에서 생산된 패류에 대한 특별한 규정이나 정화효과에 대한 연구도 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 패류의 안전성 확보 및 실제현장에 적용하기 위한 기초연구로써 인공정화장치에 의한 패류 중 미생물 감소효과에 대하여 검토하였다.

본 연구에서는 바지락과 굴 양식이 많이 이루어지고 있는 인천 강화도, 충남 이원면, 전북 곰소만 등 서해안 3개 해역에서 생산되는 패류(굴, 바지락)의 위생지표세균 및 병원성세균을 분석하고 인공정화장치를 사용하여 유통 패류의 미생물학적 안전성을 확보하고자 하였으며 또한 동 해역에서 생산되는 패류의 위생안전성 평가를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

조사지점 및 시료채취

서해안 패류의 안전성 조사를 위해 2021년부터 2023년까지 인천광역시 강화군 해역, 충청남도 이원면 해역 및 전북 곰소만 해역에 위치한 패류양식장을 대상으로 굴 5개소 및 바지락 2개

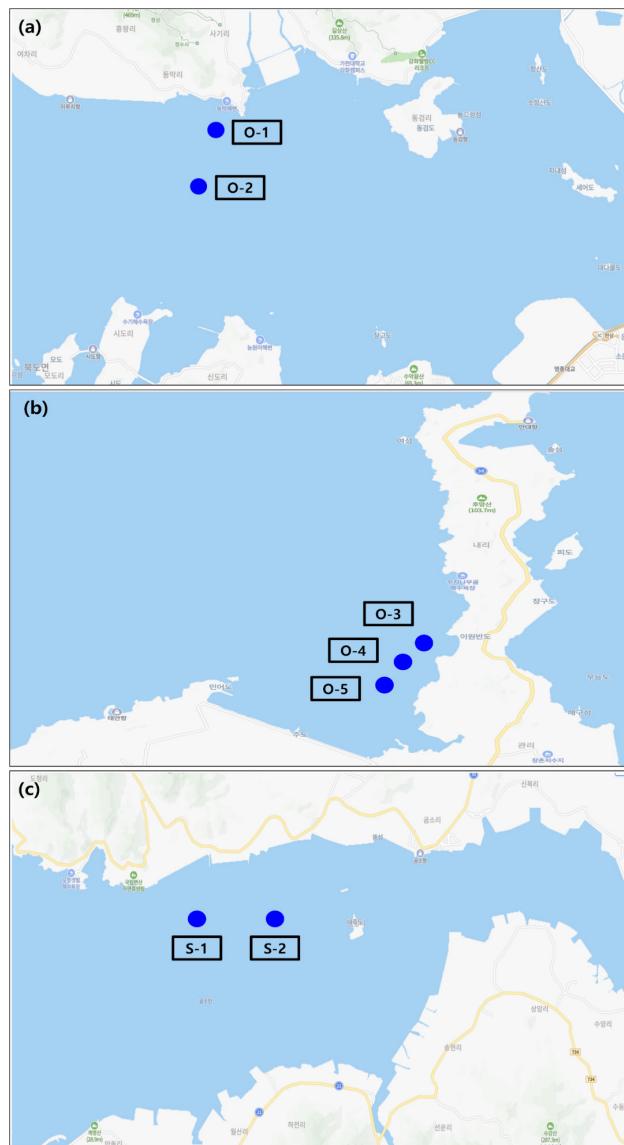


Fig. 1. Sampling stations of shellfishes in Westsea. a, Ganghwado; b, Iwonmyeon; c, Gomsoman.

소를 선정하여 시료를 채취하였다(Fig. 1). 채취한 패류는 아이스팩이 동봉된 아이스박스에서 냉장상태(10°C 이하)를 유지하며 실험실로 운반하였으며 24시간 이내에 실험을 실시하였다.

위생지표세균 분석

패류 중 위생지표세균의 분석을 위해 분변계 대장균(fecal coliform) 및 일반세균의 경우 recommended procedures for the examination of sea water and shellfish (APHA, 1970) 시험법에 따라 분석하였다. 15개체 이상의 패류 시료 200 g 이상을 취하여 동량의 PBS (phosphate-buffered saline) 용액을 첨가한 후 균질화(마쇄)하였으며, 균질화한 시료용액을 1 g, 0.1 g, 0.01

g이 되도록 희석하였다. 분변계 대장균의 분석을 위해 시료용액을 Lauryl tryptose broth (Difco, Sparks, MD, USA) 배지에 접종하여 $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 의 배양기에서 24시간 및 48시간 배양하였으며, 가스가 발생한 양성시험관의 배양액을 EC broth (Difco)에 접종한 후, 44.5°C 의 항온수조에서 24시간 배양하여 양성여부를 확인하였다. 일반세균수는 희석된 0.1 g, 0.01 g의 시료용액 1 mL와 standard plate count agar (Oxoid, Hampshire, England) 배지 약 20 mL를 페트리디시(petridish)에 분주하여 $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 의 배양기에서 48시간 배양한 후 전형적인 집락을 계수하여 결과를 도출하였다.

대장균(*Escherichia coli*)의 분석은 ISO 16649-3의 시험법에 준하여 분석을 진행하였다. 패류 시료와 2배 용량의 peptone water (Merck Co. Inc., Burlington, MA, USA)를 첨가하여 균질화하였으며, 균질화한 시료용액을 0.1 g, 0.01 g이 되도록 희석하였다. 시료용액을 mineral-modified glutamate medium (Oxoid Ltd., Hampshire, England) 배지에 분주하여 $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 배양 후 양성시험관의 배양액을 T.B.X. Medium (Oxoid Ltd.) 평판배지에 획선도말(steaking)한 후 $44 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 배양하여 전형적인 집락(푸른색)이 관찰되면 양성으로 결과를 판정하였다. 분변계 대장균 및 대장균의 분석은 100 mL 또는 100 g당 최확수법(most probable number, MPN)으로 결과를 산출하였다.

병원성세균 분석

병원성 세균인 비브리오(*Vibrio* spp.)의 분석을 위해 Bacteriological Analytical Manual (BAM) 9. *Vibrio* 시험법에 따라 비브리오 3종(*Vibrio parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *V. cholerae*)의 분석을 진행하였다. 균질화한 패류 시료와 동량의 PBS 용액을 첨가한 후 마쇄하였으며, 마쇄한 시료용액을 1 g, 0.1 g, 0.01 g이 되도록 희석하였다. 희석한 시료용액을 alkaline peptone water (Merck Co. Inc.)에 접종하여 $37 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 18–24시간 배양한 후 중균양성여부를 확인하였다. 양성으로 판정된 시험관의 배양액을 Chrom agar (CHROMagar, La Plaine Saint-Denis, France) 평판배지에 획선도말한 후 $37 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 18–24시간 배양한 후 양성결과를 판정하였다. 의심스러운 집락에 대해 2% NaCl이 첨가된 Triple sugar iron agar (Oxoid Ltd.)에 도말하여 $37 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 18–24시간 배양한 후 배지에 나타난 생화학적 성상이 비브리오 속과 유사한 균주를 미생물자동동정장치(VITEK2, Marcy-l'Etoile, France)를 이용하여 최종 비브리오균 양성여부를 판정하였다.

살모넬라(*Salmonella* spp.)의 분석은 식품의 기준 및 규격 제 8.4.11 살모넬라의 시험법에 따라 분석을 진행하였다. 패류 시료 25 g과 Buffered peptone water (Oxoid Ltd.) 225 g을 첨가하여 $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 20–24시간 1차 중균배양한 후 중균배양액을 Tetrathionate broth 및 Rappaport-Vassiliadis (RV) Enrichment broth에 각각 1 mL 및 0.1 mL 접종 후 $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 20–24시

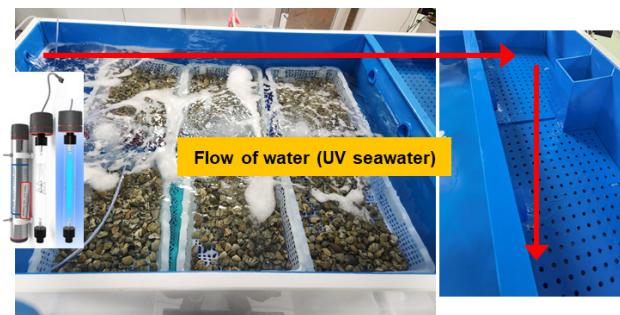


Fig. 2. Artificial relaying depuration system using UV sterilization

간 및 $42 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 20–24시간 2차 중균배양을 실시한다. 각각의 2차 중균배양액을 XLD agar (Oxoid Ltd.) 및 BG sulfa 한천배지(Oxoid Ltd.)에 획선도말하여 35°C 에서 20–24시간 배양한 후 의심스러운 집락에 대해 triple sugar iron agar (Oxoid Ltd.)에 도말하여 $37 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 20–24시간 배양하였다. 배지에 나타난 생화학적 성상이 살모넬라 속과 유사한 균주를 취하여 미생물자동동정장치(VITEK2)를 이용하여 최종 살모넬라균의 양성여부를 판정하였다.

이질균(*Shigella* spp.)의 분석은 2023년 식중독 원인조사 시험법 7. 쉬겔라의 시험법에 따라 분석을 진행하였다. 패류 시료 25 g과 *Shigella* broth (Oxoid Ltd.) 225 g을 첨가하여 혼기배양용기에 산소제거제(anaerocult)를 넣은 후 $42 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 16–20시간 혼기상태로 1차 중균배양 하였다. 중균배양액을 XLD agar 배지에 획선도말하여 $37 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 20–24시간 배양한 후 의심집락을 취하여 Triple sugar iron agar (Oxoid Ltd.)에 도말하여 $37 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 20–24시간 배양하였다. 배지에 나타난 생화학적 성상이 이질균 속과 유사한 균주를 취하여 미생물자동동정장치(VITEK2)를 이용하여 최종 이질균의 양성여부를 판정하였다.

인공정화실험

본 연구에서 인공정화실험을 위해 사용한 장비는 Fig. 2와 같다. 실험에 사용된 인공정화시스템은 자외선램프(UV, 6개)와 순환펌프 및 온도조절장치가 설치된 정화장치(W × D × H; 112 × 150 × 40 cm, 최대수용량 670 L)를 사용하였으며, 수온 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 용존산소량이 5 mg/L 이상이 유지된 상태에서 자외선 조사 살균된 해수를 유속 25–30 L/min으로 순환시키며 실험을 진행하였다. 또한 시료 투입 시에는 플라스틱 바스켓에 패류가 겹치지 않도록 잘 펼친 후 세균에 의한 재오염을 방지하기 위해 수조 바닥으로부터 약 10 cm 정도 띄워 실험하였다.

결과 및 고찰

서해안 패류(굴, 바지락)의 위생지표세균 분석

서해안 패류 7개소(굴5, 바지락2)의 위생지표세균(분변계 대

장균, 대장균, 일반세균수)을 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. 분변계 대장균과 대장균의 경우 2021년부터 2023년까지 분석한 결과의 범위(range), 기하학적 평균(geometric mean) 및 분석결과가 230 MPN/100 g 이상인 시료수와 그 비율을 나타내었으며, 일반세균수는 분석결과의 범위를 나타내었다.

강화도 남부 해역 굴 2개소(72점)의 분변계 대장균과 대장균의 범위는 <18~790 MPN/100 g 및 <18~230 MPN/100 g이었으며, 일반세균수는 80~12,000 CFU/g으로 나타났다. 이원면 해역 굴 3개소(108점)의 분변계 대장균과 대장균의 범위는 <18~330 MPN/100 g 및 <18~220 MPN/100 g이었으며, 일반세균수는 <30~36,000 CFU/g이었다. 전북 곰소만 해역의 바지락 2개소(70점)의 분변계 대장균과 대장균의 범위는 <18~1,300 MPN/100 g 및 <18~700 MPN/100 g이었으며, 일반세균수는 <30~35,000 CFU/g로 검출되었다. 우리나라의 경우 식품공전에 고시된 생식용 굴의 기준규격은 대장균 n=5, c=1, m=230, M=700 MPN/100 g으로 설정되어 있으며(MFDS, 2024), 본 연구에서 조사한 강화도 남부와 이원면 해역의 패류는 우리나라의 생식용 굴에 대한 기준규격에 적합한 것으로 나타났다. 또한 EU의 경우 생식용 패류를 생산할 수 있는 해역을 A등급으로 분류하고 있으며 패류시료 중 80%에서 대장균이 230 MPN/100 g을 초과하지 않아야 하며, 초과한 20%의 시료는 700 MPN/100 g을 넘지 않아야 한다고 규정하고 있다(European Commission, 2019). 이에 강화도 남부 및 이원면 해역은 EU의 생식용 패류에 대한 기준규격에 적합한 것으로 나타났으며, 곰소만 패류의 경우 2022년 7월 및 8월에 각각 1건씩 700 MPN/100 g으로 검출되었으나(data not shown), 시료의 80%에서 대장균이 230 MPN/100 g을 초과하지 않아 곰소만 해역 또한 A등급으로 위생기준이 양호한 것으로 판단되었다. 일반세균수의 경우 식품공전에 따르면 생굴이나 바지락에 대한 개

별기준은 없지만, 소비자가 바로 섭취할 수 있도록 위생처리하여 용기포장한 동물성 냉동수산물의 경우 500,000 CFU/g를 넘지 않도록 규정하고 있으며(n=5, c=2, m=100,000, M=500,000 MPN/100 g) 본 연구에서 실시한 3개 해역 모두 위생기준에 적합한 것으로 조사되었다. 본 연구결과, 대부분의 시료에서 위생지표세균(분변계 대장균, 대장균, 일반세균수) 오염도가 양호한 것으로 확인되었다. 그러나 본 연구에서 설정한 강화도, 이원면, 곰소만의 경우 지역특성상 식당, 펜션, 캠핑장 등을 찾는 방문객들의 영향으로 시기에 따라 세균 오염도가 높게 검출되지만 하수처리시설이 거의 없어 바다로 유입되는 육상오염원에 대한 대처가 미흡한 실정이다. 또한 해상의 경우에도 화장실이 설치된 낚시어선이나 해상화장실이 전무한 것으로 확인되어 수온이 상승하고 방문객들에 의해 오염도가 높아지는 여름철에는 이에 대한 지속적인 관리 및 구체적인 개선방안이 필요할 것으로 판단된다.

서해안 패류(굴, 바지락)의 병원성세균 분석

2021년부터 2023년까지 서해안 패류의 병원성 비브리오균 3종(*V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *V. cholerae*)을 분석한 결과는 Table 2와 같다. *V. parahaemolyticus*의 경우 강화도 남부에서 <30~11,000 MPN/100 g, 이원면은 <30~11,000 MPN/100 g, 곰소만은 <30~46,000 MPN/100 g으로 검출되었다. *V. vulnificus*는 강화도 남부에서 <30~160 MPN/100 g, 이원면은 <30 MPN/100 g, 곰소만은 <30~230 MPN/100 g으로 나타났다. *V. cholerae*는 강화도 남부에서 <30~200 MPN/100 g, 이원면은 <30~11,000 MPN/100 g, 곰소만은 <30~30 MPN/100 g이었다. *V. parahaemolyticus*는 장염비브리오 식중독의 원인세균으로써 해양환경에 널리 분포하고 있는 해양상재 세균이며, 주로 이균에 오염된 수산물을 생으로 섭취하거나 칼,

Table 1. Results of the bacteriological analysis of shellfish (oyster *Crassostrea gigas*, short-neck clam *Ruditapes philippinarum*) in St. 1~St. 3 (2021~2023)

Area	St.	Fecal coliform (MPN ¹ /100 g)			Escherichia coli (MPN/100 g)			Viable cell count (CFU/g)			NOS ³	
		Range	GM ²	>230		Range	GM	>230		Range		
				No.	%			No.	%			
St. 1	O-1	<18~790	<18	2	5.6	<18~220	47	0	0.0	80~3,100	36	
	O-2	<18~790	<18	4	11.1	<18~230	47	0	0.0	100~12,000	36	
Total		<18~790	<18	6	8.3	<18~230	47	0	0.0	80~12,000	72	
	O-3	<18~330	<18	1	2.8	<18~170	26	0	0.0	40~36,000	36	
St. 2	O-4	<18~310	<18	1	2.8	<18~130	23	0	0.0	<30~22,000	36	
	O-5	<18~230	<18	0	0.0	<18~220	26	0	0.0	30~26,000	36	
Total		<18~330	<18	2	1.9	<18~220	25	0	0.0	<30~36,000	108	
St. 3I	S-1	<18~790	<18	5	14.3	<18~700	45	4	11.4	110~31,000	35	
	S-2	<18~1,300	<18	4	11.4	<18~490	50	3	8.6	140~35,000	35	
Total		<18~1,300	<18	9	12.9	<18~700	47	7	10.0	<30~36,000	70	

¹Most probable number. ²Geometric mean. ³Number of samples.

Table 2. Results of the *Vibrio* spp. analysis of shellfish (oyster *Crassostrea gigas*, short-neck clam *Ruditapes philippinarum*) in St. 1–St. 3 (2021–2023)

Area	Year	Station	Range			NOS ²
			<i>Vibrio parahaemolyticus</i> (MPN ¹ /100 g)	<i>V. vulnificus</i> (MPN ¹ /100 g)	<i>V. cholerae</i> (MPN ¹ /100 g)	
St. 1	2021	O-1	-	-	-	-
	2022	O-1	<30–2,400 (5/12)	<30–150 (2/12)	<30–200 (2/12)	12
	2023	O-1	<30–11,000 (7/12)	<30–160 (2/12)	<30	12
St. 2	2021	O-3	<30–11,000 (5/12)	<30	<30–36 (1/12)	12
	2022	O-3	<30–930 (6/12)	<30	<30–11,000 (1/12)	12
	2023	O-3	<30–>1,000 (7/12)	<30	<30–30 (1/12)	12
St. 3	2021	S-1	-	-	-	-
	2022	S-1	<30–2,400 (6/12)	<30–230 (3/12)	<30–30 (1/12)	12
	2023	S-1	<30–46,000 (7/12)	<30–93 (2/12)	<30	12

¹Most probable number. ²Number of samples.

도마 등 주방기구의 교차오염에 의해 발생할 가능성이 높다. 국내에서 최근 5년간 18건(환자수 120여명)의 장염비브리오 식중독이 발생하였으며 수온이 상승하는 여름철(6–10월) 발생건수 및 환자수가 집중된 것으로 보고되었다(MFDS, 2024). 본 연구시료의 분석결과 또한 *V. parahaemolyticus*가 가장 많이 검출되었으며, 일부 지점의 특정 시점에서 다소 높게 검출되었다. 식품공전의 수산물 중 장염비브리오의 기준규격은 100 MPN/g (10,000 MPN/100 g) 이하로 설정되어 있다. *V. vulnificus*는 비브리오판혈증의 원인세균으로써 국내 법정감염병 제3군감염병에 속하며 해수온도가 상승하는 8–9월에 발생이 집중된다(Ha et al., 2019). 최근 5년간 비브리오판혈증의 평균 환자발생 수는 약 50여명이었으며 치명률 또한 38.6%로 높았다(Park et al., 2024). *V. cholerae*는 법정감염병 제1군감염병에 속하는 수인성 식품 매개 세균으로, 급성 및 중증 위장염을 일으키며 면역력이 약한 영유아, 노인 및 기저질환자의 경우 탈수 현상과 더불어 쇼크로 사망케 할 수 있는 위험한 세균이다(Ha et al., 2019). *V. vulnificus* 및 *V. cholerae*는 식품공전 상 기준규격이 불검출 ($n=5$, $c=0$, $m=0$ /25 g)로 설정되어 있으며 일부 시료에서 다소 검출되었으나, 식품공전에는 ‘더 이상의 가열조리를 하지 않고 섭취할 수 있도록 비가식부위 제거, 세척 등 위생처리한 수산물’로 규정되어 있으며 일반적으로 여름철에는 굴이나 바지락을 생으로 섭취하는 경우가 거의 없기 때문에 상대적인 위험성이 낮을 것으로 판단된다. 그러나 추후 국가, 공공기관 및 자체 차원에서 수산물 유래 비브리오 식중독 및 질병의 위험성을 지속적으로 홍보하며 이와 관련된 정책 수립 등이 필요할 것으로 생각되며, 기후변화로 인해 우리나라의 해양환경이 점차 변화함에 따라 수온이 높을 때 발생가능성이 증가하는 비브리오 속 세균에 대한 꾸준한 위생관리가 필요할 것으로 판단된다.

2021년부터 2023년까지 서해안 패류의 *Salmonella* spp. 및 *Shigella* spp. 분석결과를 Table 3에 나타내었다. 본 연구에서 실시한 3개 해역의 패류 모두 *Salmonella* spp.와 *Shigella*

spp.가 검출되지 않았다. *Salmonella* 식중독은 일반적으로 닭, 계란 등 가금류에 의한 발생이 가장 많지만, Zarei et al. (2012)는 식품 중 살모넬라의 검출이 인근의 가축 농장이나 분뇨, 양식장 등과 같은 몇 가지 요인에 따라 달라진다고 보고하였다. 실제로 가금류 농장이나 양식장에서 세척 등으로 배출하는 용수나 해안가에 서식하는 갈매기의 분변 등에 의해 연안에서 생육되는 패류가 오염될 가능성이 있으며, 몇몇 연구에서는 수산물 및 수산물가공품에서 *Salmonella* spp.가 검출되었다고 보고한 바 있다(Heinitz et al., 2000; Cho et al., 2009). *Shigella* spp.는 법정 제2급 감염병인 세균성 이질의 원인병원체이며, 오염된 물이나 수산물(새우, 패류 등)을 통해 감염되는 경우가 많은 것으로 알려져있다(Kumar et al., 2019). 건강한 성인은 경미한 위장염증상이 수주 지속되다가 자연치유 되나, 7세 이하의 영유아의 경우 치사율이 69%에 이르는 것으로 보고된 연구도 있다(Kotloff et al., 1999). 본 연구의 시료에서는 검출되지 않았지만 전세계적인 기후변화에 의해 해수의 수온이 점차 상승하며 특히 우리나라의 경우 여름철 고온다습한 기후 및 스콜성 폭우가 나타

Table 3. Results of the *Salmonella* spp. and *Shigella* spp. analysis of shellfish (oyster *Crassostrea gigas*, short-neck clam *Ruditapes philippinarum*) in St. 1–St. 3 (2021–2023)

Area	Station	<i>Salmonella</i> spp.		NOS ¹
		Qualitative analysis	<i>Shigella</i> spp.	
St. 1	O-1	Negative	Negative	36
	O-2	Negative	Negative	36
St. 2	O-3	Negative	Negative	36
	O-4	Negative	Negative	36
	O-5	Negative	Negative	36
St. 3	S-1	Negative	Negative	36
	S-2	Negative	Negative	36

¹Number of samples.

남에 따라 생으로 섭취하는 경우가 많은 수산물의 세균성 식중독에 대한 예방 및 안전관리가 반드시 필요할 것으로 사료된다.

패류의 인공정화실험 효과

앞서 Table 1에서 언급한 서해안 패류의 대장균 분석결과에서는 곰소만 패류 7건을 제외한 나머지 시료에서는 모두 기준치 이하로 나타나 양호한 것으로 확인되었으나, 최근 3년동안의 월별 대장균 검출결과를 살펴보면 기온이 상승하는 여름철(6~10월)에 패류의 대장균 검출량이 급격하게 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 여름철에는 해수의 수온이 상승할 뿐만 아니라 해안가 지역의 경우 휴가철 관광객들의 영향을 받아 인근 패류양식장에서 세균농도가 증가할 위험이 매우 높다. 특히 생활하수에서 가장 많이 검출되는 대장균은 앞서 언급한 바와 같이 위생지표세균으로써 분변오염의 척도가 된다. 이에 본 연구에서는 인공정화시스템을 활용하여 패류의 세균(*E. coli*)을 감소시키고자 하였다. 세균감소실험을 위해 굴 및 바지락에 *E. coli*를 각각 다른 농도로 오염시켜 두번씩 실험을 진행하였다. 굴의 경우 초

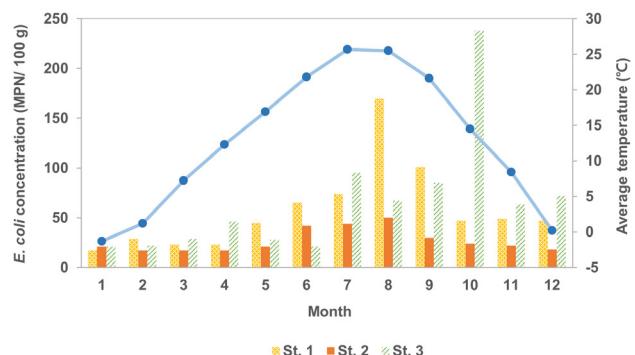


Fig. 3. Monthly GM results of the *Escherichia coli* of shellfish (oyster *Crassostrea gigas*, short-neck clam *Ruditapes philippinarum*) in St. 1-St. 3 (2021–2023). GM, Geometric mean.

기세균농도가 5.8 log MPN/100 g이었을 때 정화 12시간 이후 98% 이상 감소, 36시간 후에는 99.9% 이상 감소하였으며, 그보

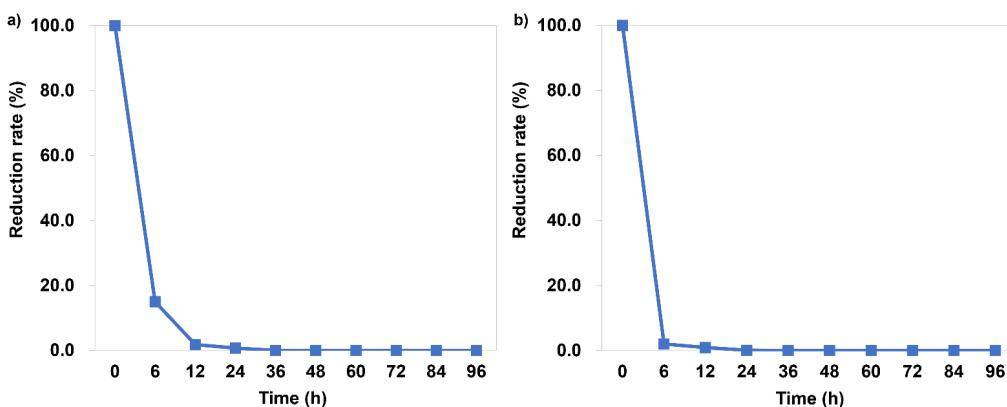


Fig. 4. Reduction of *Escherichia coli* in oysters *Crassostrea gigas* infected at different concentrations by artificial relaying depuration system. a, Reduction rate (%) at an initial concentration of 5.8 log MPN/100 g; b, Reduction rate (%) at an initial concentration of 4.1 log MPN/100 g.

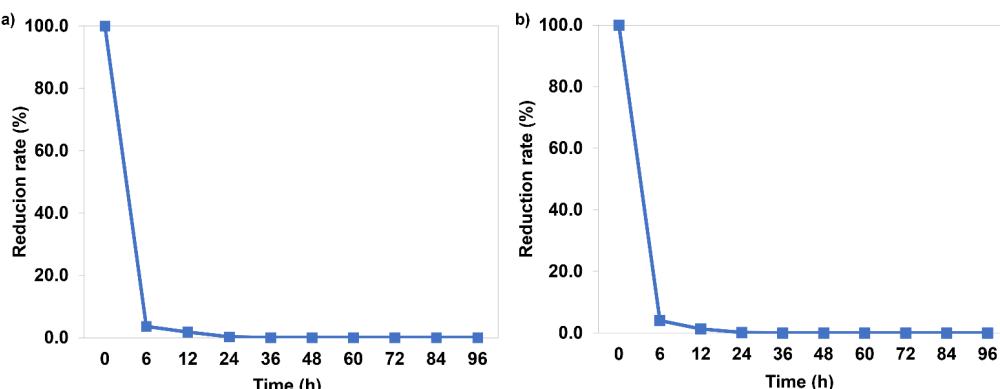


Fig. 5. Reduction of *Escherichia coli* in short-neck clams *Ruditapes philippinarum* infected at different concentrations by artificial relaying depuration system. a, Reduction rate (%) at an initial concentration of 5.7 log MPN/100 g; b, Reduction rate (%) at an initial concentration of 4.0 log MPN/100 g.

다 다소 낮은 초기농도(4.1 log MPN/100 g)에서는 12시간 이후 99% 이상, 24시간 이후 99.9% 이상 현저히 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 4). 바지락은 초기농도 5.7 log MPN/100 g 시 정화 12시간 후 98% 이상 감소, 24시간 후 99.9% 이상 감소하였으며, 낮은 초기농도(4.0 log MPN/100 g)에서는 12시간 후 98% 이상, 24시간 이후에는 99.9% 이상 감소하는 경향을 보여 굴과 바지락 모두 초기농도가 달랐음에도 유사한 감소 양상을 보여 인공정화시스템에 의한 효과가 있는 것으로 확인되었다 (Fig. 5). Oh et al. (2012)는 대장균(total coliform)에 오염된 굴을 전기분해수를 사용해 인공정화 했을 때 12시간 이후 94% 이상, 24시간 이후에는 검출되지 않았다고 보고하였다. Oh et al. (2012)는 본 연구에서 사용한 UV살균해수가 아닌 전기분해수를 사용하여 연구를 진행하였지만 본 연구장비와 동일한 방법으로 살균된 해수를 순환시키며 패류를 정화하였기에 세균감소에 유의미한 효과가 있다는 결론에 이르러 본 연구와 유사하였다. 인공정화의 경우 패종, 해수온도, 염도, 먹이생물 여부, 스트레스 등 다양한 환경요인에 따라 결과에 차이를 보일 수 있으며, 사용장비에서 설정되는 유속, 조사세기, 조사인자 등도 결과에 영향을 주는 요인이 될 수 있으므로 이에 따른 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 패류의 생산단계와 유통의 중간과정에서 인공정화시스템을 이용하여 소비자에게 안전한 패류를 공급하려 하였으며, 본 결과는 패류의 위생학적 안전성을 확보함과 동시에 패류의 미생물 저감화 기술연구 및 개발의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 국립수산과학원 수산과학연구사업 「수출패류 생산 해역 및 수산물 위생조사(R2025055)」의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- APHA (American Public Health Association). 1970. Recommended Procedures for the Examination of Seawater and Shellfish. 4th Edition. APHA, Washington, D.C., U.S.A.
- Cho SK, Moon BY and Park JH. 2009. Microbial contamination analysis to assess the safety of marketplace sushi. Korean J Food Sci Technol 41, 334-338.
- European Commission. 2019. Regulation (EU) 2019/627. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2019/627/oj/eng on May 9, 2025.
- Ha SM, Chalita M, Yang SJ, Yoon SH, Cho KH, Seong WK, Hong SH, Kim JY, Kwak HS and Chun JS. 2019. Comparative genomic analysis of the 2016 *Vibrio cholerae* outbreak in South Korea. Front Public Health 7, 228. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2019.00228>.
- Heinitz ML, Ruble RD, Wagner DE and Tatini SR. 2000. Incidence of *Salmonella* in fish and seafood. J Food Prot 63, 579-592. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-63.5.579>.
- Kang HW, Park KJ, Lee KM and Kim JH. 2024. A consideration on long-term (1970-2022) changes and productivity improvement of shellfish production in West Sea coastal region, Korea. Korean J Malacol 40, 7-23. <https://doi.org/10.9710/kjm.2024.40.1.7>.
- Kim JH, Yoon MC, Cho SR, Lee JW, Jung SH, Nam KH, Ha KS and Park KBW. 2023. Evaluation of the effect of the inland pollution source on seawater and shellfish after rainfall in the Goseong Bay, Korea. Korean J Malacol 39, 89-101. <https://doi.org/10.9710/kjm.2023.39.3.89>.
- Kim JY, Jeon EB, Choi MS and Park SY. 2021. Inactivation of human norovirus GII. 4 on oyster *Crassostrea gigas* by electron beam irradiation. Korean J Fish Aquat Sci 54, 16-22, <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0016>.
- Kotloff KL, Winickoff JP, Ivanoff B, Clemens JD, Swerdlow DL and Sansonetti PJ. 1999. Globalburden of *Shigella* infections: Implications for vaccine development and implementation of control strategies. Bull World Health Organ 77, 651-666.
- Kumar NR, Murugadas V, Joseph TC, Lalitha KV, Basha AK, Muthulakshmi T and Prasad MM. 2019. Need for an optimized protocol for screening seafood and aquatic environment for *Shigella* sp. Fishery Technol 56, 164-167.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2024. Korean Food Standards Codex. Retrieved from <https://various.foodsafe-tykorea.go.kr/fsd> on May 9, 2025.
- Oh EG, Yoo HD, Yu HS, Ha KS, Shin SB, Lee TS, Lee HJ, Kim JH and Son KT. 2012. Removal of fecal indicator bacteria from bivalves under natural and electrolyzed water. Korean J Fish Aquat Sci 45, 11-16. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0011>.
- Park JY, Shin JM, Kim NY, Kyoung DU, Shim SJ, Lee JC, Lee NK, Moon KR, Joo JH and Ki JS. 2023. Taxonomic characteristics and protease activity exploration of marine heterotrophic bacteria isolated from the coast of Eulgwangni in the West Sea, Korea. Korean J Microbiol 59, 135-141. <https://doi.org/10.7845/kjm.2023.3018>.
- Park SK, Park SY, Won JS, Kim HJ, Yang SC and Yang JS. 2024. Epidemiological characteristics of cases and deaths of *Vibrio vulnificus* sepsis, 2023. Public Health Wkly Rep 17, 675-689. <https://doi.org/10.56786/PHWR.2024.17.17.1>.
- Park SY and Ha SD. 2014. Influence of NaCl on the inactivation of murine norovirus-1 and hepatitis A virus in the Korean traditional salted oyster product “*Eoriguljeot*” during storage. Food Res Int 62, 382-387. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.039>.
- Shim GB, Kim JH, Kim SH, Kim MJ and Kim EJ. 2009. Evaluation of the bacteriological safety for the shellfish growing area in Jaranman-Saryangdo area, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 42, 442-448. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.5.442>.

- Shin SB, Oh EG, Lee HJ, Kim YK, Lee TS and Kim JH. 2014. Norovirus quantification in oysters *Crassostrea gigas* collected from Tongyeoung. Korea. Korean J Fish Aquat Sci 47, 501-507. <https://doi.org/10.5657/KJFAS.2014.0501>.
- US FDA (U.S. Food and Drug Administration). 2019. National Shellfish Sanitation Program (NSSP). Guide for the Control of Molluscan Shellfish. Retrieved from <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/FederalStateFoodPrograms/ucm2006754.htm> on May 9, 2025.
- Zarei M, Maktabi S and Ghorbanpour M. 2012. Prevalence of *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp. in seafood products using multiplex polymerase chain reaction. Foodborne Pathog Dis 9, 108-112. <https://doi.org/10.1089/fpd.2011.0989>.