

강우 발생에 따른 육상 오염원이 보길-노화 해역의 해수 및 전복 (*Haliotis discus hannai*) 에 미치는 영향 분석

이지희, 김덕훈, 조성래, 정연겸, 유홍식, 신주희, 최은실, 최우석¹

국립수산과학원 남해수산연구소 양식산업과, ¹국립수산과학원 남동해수산연구소

Evaluation of the Impact of the Inland Pollution on Seawater and Abalone (*Haliotis discus hannai*) after Rainfall in the Bogil-Nohwa Area, Korea

Ji hee Lee, Deok hoon Kim, Sungrae Cho, Yeongyeom Jeong, Hongsik Yu, Ju hee Shin, Eun sil Choi and Wooseok Choi¹

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

¹Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Republic of Korea

ABSTRACT

This study assessed the impact of inland pollution sources on the sanitary status of seawater and shellfish (Abalone) in the Bogil-Nohwa Area after rainfall events of 16.0 and 55.7 mm rainfall events. We analyzed sanitary indicator microorganisms including coliform group, fecal coliform and *Escherichia coli* (*E. coli*) in the discharge water from major inland pollution sources, seawater and shellfish for 4 days after rainfall events. After the 16.0 mm rainfall, coliform group and fecal coliform concentrations in the discharge water from 5 domestic wastewater sources increased, reaching a range from 49,000 to 230,000,000 MPN/100 ml and from 4,600 to 130,000,000 MPN/100 ml, respectively. The radius of the impacted area ranged from 173.6 to 2,208.7 m. After the 55.7 mm rainfall, coliform group and fecal coliform concentrations ranged from 11,000 to 24,000,000 MPN/100 ml and from 78 to 3,300,000 MPN/100 ml, with the radius of the impacted area ranging from 97.8 to 1,079.8 m. The fecal coliform levels in seawaters at 33 stations ranged from < 1.8 to 79 MPN/100 ml and the *E. coli* levels in shellfish at 4 stations ranged from < 18 to 130 MPN/100 g. *Salmonella* spp. was not detected in any shellfish samples.

Key words: Bogil-Nohwa area, Rainfall, Abalone, Fecal coliform, *Escherichia coli*

서 론

해양 환경은 다양한 육상 오염원으로부터 지속적인 영향을 받고 있으며, 특히 강우는 도시 및 농·어촌 지역의 배수로를 통해 미생물, 영양염류, 중금속 등 여러 오염물질이 연안으로 유입되도록 하는 주요 요인으로 작용한다 (Kim *et al.*,

2013). 이러한 오염물질의 유입은 해수의 미생물학적 품질을 저하시켜, 양식장 주변 환경과 양식 생물의 위생 안전성에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 대장균 (*Escherichia coli*) 을 포함한 분변계대장균 (Fecal coliform) 은 사람 또는 동물의 분변에서 유래하는 대표적인 미생물 오염 지표로, 해수 및 패류의 위생수준을 평가하는데 국제적으로 널리 사용되며, 패류 생산해역의 위생 등급을 분류하는 지표로 사용된다. 수산물 중 특히 패류는 해수 중의 미생물을 체내에 농축하는 특성이 있어 해수 내 분변계대장균 농도의 변화가 패류의 안전성에 영향을 미칠 수 있다 (Mok *et al.*, 2016; U.S. FDA, 2019; EU commission, 2019). 국내·외 다양한 연구에서 강우는 연안에서 분변계대장균 농도를 증가시키는 주요 원인 중 하나로 보고되고 있다. 강우에 의해 하천이나 배수로를 통한 육상 오염원에서 오염물질이 대량 유입될 경우, 해수 중 분변계대장균 농도가 급격히 증가하는 경향이 있으며, 이로 인해

Received: September 08, 2025; Revised: September 19, 2025; Accepted: September 30, 2025

Corresponding author: Wooseok Choi
Tel: +82 (55) 640-4762, e-mail: choiws8244@korea.kr
1225-3480/24905

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

영향을 받는 해역에 서식하는 패류의 미생물 오염 가능성도 함께 높아진다 (Park *et al.*, 2012). 특히 단기에 집중되는 강우는 해수 중 미생물 농도의 급격한 증가를 유발하며, 강우 이후의 분변계대장균 농도의 감소에 요구되는 기간은 패류 양식장 관리에 있어서 중요한 요소이다.

통계청의 2024년 어업생산동향조사에 따르면 우리나라 어업 생산량은 약 360만 톤으로 이 중 62.3% (225만 톤) 가 해면양식업에 의해 생산되며, 해조류 172만 톤, 패류 41만 톤, 어류 8만 톤 순으로 패류가 해조류 다음으로 생산이 많이 되고 있다. 패종별로는 굴 (31만 톤), 홍합 (5.8만 톤), 전복 (2.3만 톤), 가리비 (1.1만 톤) 순으로 생산되고 있고, 생산금액으로는 전복이 4,862억 (55.6%) 으로 가장 높은 비율을 차지하고 있다 (KOSIS, 2024). 전복은 해조류를 주된 먹이로 하는 전복과에 속하는 복족류로 비타민 B, 칼슘, 철분 등의 무기질, 단백질 및 타우린 등 영양성분이 풍부하여 피로회복, 항염증, 항산화 효과 등에 탁월한 수산식품으로 알려져 있다 (Ham *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2015). 전복은 전라남도에서 99.6%가 생산되고, 그 중 약 70%가 완도군에서 생산된다. 전라남도 완도군에 위치한 보길도 및 노화도 해역은 완도군 남부에 위치하고 있으며 완도군에서 생산되는 전복의 52.5%가 본 조사해역에서 생산되고 있다 (Wando-gun, 2024). 전복은 굴, 홍합과 같은 이매패류와 같이 이동성이 많지 않아 주변 해양 환경의 변화에 민감하고, 오염물질이 해역으로 유입 시 그 영향을 받을 가능성이 크다 (Shin *et al.*, 2022). Shin *et al.* (2022) 에 따르면, 보길-노화 해역의 해수 및 생산되는 전복은 미국의 허가해역, EU의 A등급에 해당하는 양호한 위생상태를 나타내지만, 해역 주변에 산재한 오염원의 영향을 받을 수 있는 것으로 확인되었다. 육상 기인 오염물질이 양식해역에 미치는 영향을 강우의 정도에 따라 조사한 연구 사례는 많이 찾아볼 수 있으나 (Kim *et al.*, 2023; Lee *et al.*, 2023; Lee *et al.*, 2024), 보길-노화 해역에 대한 연구는 아직 없었다. 또한, 미국의 패류위생관리프로그램 (National Shellfish Sanitation Program, NSSP) 에 따르면, 해역에 영향을 미칠 수 있는 오염원의 부하가 강우 등의 조건에 따라 증가하거나 해역에 영향을 미치는 경우 생산을 제한하거나 채취를 금지할 수 있도록 규정하고 있다 (U.S. FDA, 2019). 또한, 우리나라 수출패류 생산 지정해역 7개소의 경우에도 대미수출 패류에 한하여 강우량에 따른 패류 채취제한 기준이 설정되어 있으나 내수 판매를 목적으로 하는 그 외 대부분의 패류생산 해역에 대한 기준이 설정되어 있지 않다 (MOF, 2024).

따라서 본 연구에서는 강우 발생 시 해역 주변의 육상오염원이 보길-노화 해역의 해수 및 패류에 미치는 영향을 평가하여, 향후 보길-노화 해역의 패류채취제한 기준 설정을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

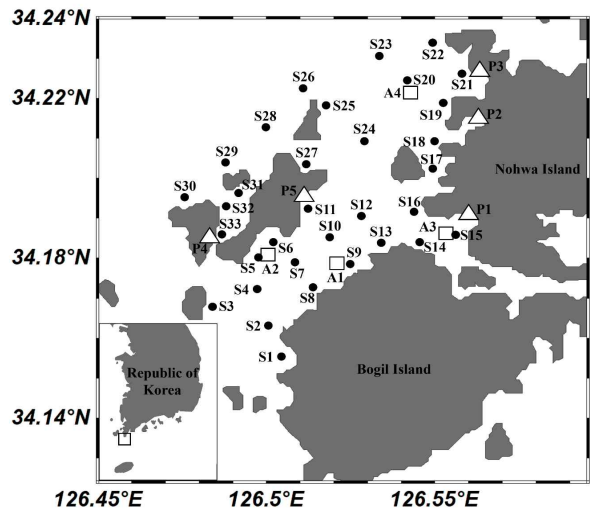


Fig. 1. Sampling station in the Bogil-Nohwa Area: ●, Seawaters; □, Shellfish(Abalone); △, Major inland pollution sources.

재료 및 방법

1. 조사지점 선정 및 시료채취

강우 발생에 의한 육상오염원의 미생물학적 위해요소가 보길-노화 해역 해수 및 패류에 미치는 영향을 평가하기 위하여 2021년에 실시한 보길-노화 해역 주변 육상오염원의 미생물학적 위해요소 전수조사 결과를 참고하여 배출되는 유량이 많거나 분변계대장균 농도가 높아 해역에 영향을 미칠 수 있는 주요 육상오염원 5개소 (생활하수) 를 조사지점으로 선정하였고, 육상오염원의 최종방류지점 인근 및 해역에 미치는 영향을 평가할 수 있는 해수 33지점과 주요 생산품종인 전복 4지점을 선정하였다 (Fig. 1).

2024년 8월 20일 10시부터 23시까지 내린 16.0 mm 강우에 의한 영향평가를 위한 분석시료는 강우 발생 후를 기준으로 4일간 (36시간, 60시간, 84시간 및 108시간) 채취하였고, 2025년 4월 22일 4시부터 13시까지 내린 55.7 mm 강우에 의한 영향평가를 위한 분석시료는 강우 발생 후를 기준으로 4일간 (24시간, 48시간, 72시간 및 96시간) 채취하였다. 해수 및 육상오염원 시료는 멸균처리된 용기에 채수하였고, 패류는 멸균처리된 Whirl-Pak (Nasco, Janesville, WI, USA) 에 보관하였으며 모든 시료는 저온 (10℃ 이하) 으로 실험실까지 운반하여 24시간 내에 분석하였다.

2. 미생물학적 위해요소 분석

해수 및 패류 시료의 대장균군 (Total coliform) 및 분변계대장균 (Fecal coliform) 분석은 Recommended Procedures for the Sea Water and Shellfish (APHA, 1970) 의 방법을

Table 1. Medium and culture conditions for Microbiological analysis

Item	Procedure	Medium and Temp.	Reference
Coliform Group	Presumptive test	Lauryl Tryptose Broth (BD, USA) (35 ± 0.5)℃, (24 ± 2) hr and (48 ± 3) hr	APHA, 1970
	Confirmed test	Brilliant Green Bile Lactose Broth (Merk, USA) (35 ± 0.5)℃, (24 ± 2) hr and (48 ± 3) hr	
Fecal coliform	Presumptive test	Lauryl Tryptose Broth (BD, USA) (35 ± 0.5) °C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	
	Confirmed test	EC broth (BD, USA) (44.5 ± 0.2) °C, (24 ± 2) hr	
<i>E. coli</i>	Presumptive test	Mineral modified glutamate medium (Oxoid, UK) (37 ± 1) °C, (24 ± 2) hr	ISO 16649-3:2015
	Confirmed test	Tryptone bile glucuronide agar (Oxoid, UK) (44 ± 1) °C, (22 ± 2) hr	
<i>Salmonella</i> spp.	Non selective pre-enrichment	Buffered peptone water (BD, USA), (36± 2) °C, (18± 2) hr	ISO 6579-1:2017
	Selective enrichment	Rappaport Vassiliadis medium (Merck, USA) (41.5± 1) °C, (24± 3) hr	
		Muller Kauffmann tetrathionate novobiocin broth (Biomerieux, France) (37± 1) °C, (24± 3) hr	
	Plating out	Xylose Lysine Deoxycholate and Hektoen Enteric agar (Merck and BD, USA) (37± 1) °C, (24± 3) hr	
	Confirmed test	Triple sugar/iron agar (Merck, USA), (37± 1) °C, (24± 3) hr Vitek 2 compact system (Biomerieux, France)	

Table 2. Calculation formulas to determine the impact range of pollutants

Item	Calculation
Determine loading (MPN/day)	Concentration of fecal coliform (MPN/100 mL) × Conversion (Liter to milliliter; 1,000 mL/L) × Conversion (Min per day; 1,440 min/day) × Flow (L/min)
Dilution water required (m ³ /day)	Determine loading (MPN/day) / [Standard (14 MPN/100 mL) × Conversion (Milliliter to m ³ ; 100,000mL/m ³)]
Area required (m ² /day)	Dilution water required (m ³ /day) / Averaged depth (m)
Radius of half-circle (m)	Area required (m ² /day) × 2 / 3.14

따라 분석하였고, 최확수법 (Most Probable Number, MPN) 으로 나타내었다. 또한, 패류 시료의 대장균 (*Escherichia coli*) 및 살모넬라 (*Salmonella* spp.) 분석은 Most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide (ISO 16649-3: 2015) 및 Microbiology of the food chain-Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella* - Part 1: Detection of *Salmonella* spp. (ISO 6579-1:2017) 의 방법을 따라 분석하였고, 분석항목 별 사용된 배지 및 배양 조건은 Table 1에 나타내었다.

3. 주요 육상오염원이 해역에 미치는 영향평가

보길-노화 해역 주변 주요 육상오염원의 미생물학적 위해요소 가 해역에 미치는 영향을 평가하기 위해 주요 육상오염원 배출수의 유량 측정 및 영향범위를 산출하였다. 유량측정은 유속계 (Hach FH950; Hach, Loveland, Co, USA) 를 사용하여 유속을 측정후 유속-면적법 (Velocity-Area Method) 을 이용하여 유량을 산출하였다. 보길-노화 해역 주변 주요 육상오염원의 영향범위는 미국 Food and Drug Administration (FDA) 에서 제시한 오염원 평가방법에 준하여 Table 2의 식을 사용하여 계산하였다 (Park *et al.*, 2012). 즉, 각각의 주요 육상오염원 배출수에서 검출된 분변

Table 3. Bacteriological water quality of the discharges from major inland pollution sources around the Bogil-Nohwa Area by lapse of time after 16.0 mm rainfall events

Station	Results			
	Hours after Rainfall	Coliform group (MPN ¹⁾ /100mL)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)
P1	36	130,000	14,000	11,000
	60	49,000	7,900	3,300
	84	49,000	4,600	490
	108	130,000	22,000	260
P2	36	490,000	46,000	33,000
	60	54,000,000	17,000,000	11,000,000
	84	3,300,000	3,300,000	3,300,000
	108	4,900,000	3,300,000	1,100,000
P3	36	3,300,000	3,300,000	3,300,000
	60	230,000,000	130,000,000	3,300,000
	84	24,000,000	3,300,000	790,000
	108	7,900,000	3,300,000	1,300,000
P4	36	23,000,000	4,900,000	4,900,000
	60	23,000,000	4,900,000	490,000
	84	7,000,000	790,000	220,000
	108	35,000,000	4,600,000	3,100,000
P5	36	3,300,000	3,300,000	3,300,000
	60	4,900,000	4,900,000	4,900,000
	84	4,900,000	460,000	210,000
	108	35,000,000	4,900,000	2,300,000

¹⁾MPN, Most probable number

계대장균의 농도를 곱하여 보길-노화 해역으로 유입되는 일일 부하량 (Determine loading, MPN/day) 을 계산한 후, 미국의 허가해역 수질 기준인 14 MPN/100 mL 이하로 희석시키는데 필요한 해수의 양 (Dilution water required) 을 계산하였다. 그리고 보길-노화 해역의 수심을 고려하여 위 해수의 양을 포함하는 구역의 면적 (Area required) 및 반경 (Radius of half-circle) 을 산출하였고, 조사지점과의 거리를 확인하여 오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 강우 발생 후 주요 육상오염원이 해역에 미치는 영향평가

강우 발생에 의한 주요 육상오염원의 미생물학적 위해요소가 보길-노화 해역에 미치는 영향을 평가하기 위하여 16.0 mm 및 55.7 mm의 강우가 발생한 후 4일동안 배수유역에 분포한 5개의 주요 육상오염원 (생활하수) 의 대장균군, 분변계대장균, *E. coli*의 변화를 분석하였다.

16.0 mm의 강우 발생 후 4일간 (36시간, 60시간, 84시간 및 108시간) 주요 육상오염원 배출수의 대장균군, 분변계대장균 및 *E. coli*를 분석한 결과, 49,000-230,000,000, 4,600-130,000,000 및 260-11,000,000 MPN/100 mL로 검출되었고 해역에 미치는 영향반경은 173.6-2,208.7 m로 계산되었다. P1 조사지점은 강우 발생 후 36시간 후 높게 검출된 분변계대장균 농도가 84시간까지 점차 감소하는 경향을 보이다가 108시간에 다시 오염도가 증가하였다. P2 및 P3 조사지점은 강우 발생 후 36시간에서 60시간까지 분변계대장균 농도가 높은 수준으로 증가하여 해역에 2 km 이상의 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났으나, 84시간에 감소하여 108시간까지 오염도가 유지되는 것으로 확인되었다. P4 및 P5 조사지점은 높게 검출되었던 분변계대장균 농도가 강우 발생 후 84시간에 감소되었으나 108시간에 다시 높은 수준의 농도로 검출된 것으로 확인되었으며, P5 지점의 경우 해역에 약 1-2 km 이상의 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다 (Table 3, 5, Fig 2).

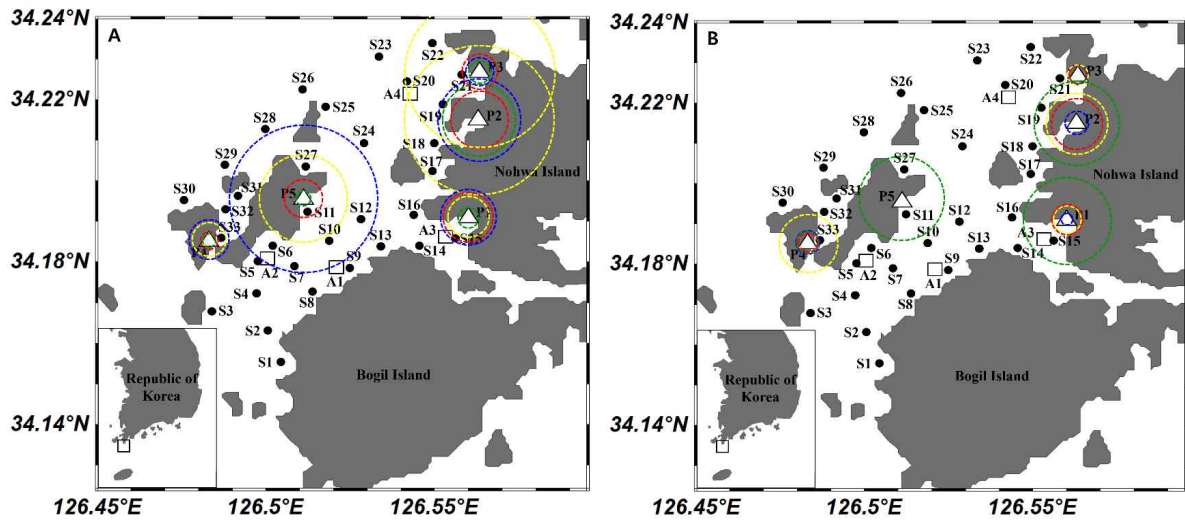


Fig. 2. The estimated diffusion range of the contaminants to the coastal area of the Bogil–Nohwa Area after rainfall; A, After 16.0 mm rainfall in 2024; B, After 55.7 mm rainfall in 2025; Red circle, Day 1; Yellow circle, Day 2; Green circle, Day 3; Blue circle, Day 4.

Table 4. Bacteriological water quality of the discharges from major inland pollution sources around the Bogil–Nohwa Area by lapse of time after 55.7 mm rainfall events

Station	Results			
	Hours after Rainfall	Coliform group (MPN/100 mL)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)
P1	24	11,000	490	490
	48	11,000	490	490
	72	130,000	17,000	17,000
	96	11,000	78	78
P2	24	790,000	33,000	17,000
	48	1,700,000	230,000	230,000
	72	16,000,000	1,700,000	700,000
	96	640,000	170,000	170,000
P3	24	24,000,000	170,000	130,000
	48	2,300,000	790,000	490,000
	72	1,700,000	170,000	46,000
	96	790,000	130,000	130,000
P4	24	920,000	540,000	540,000
	48	13,000,000	3,300,000	790,000
	72	13,000,000	430,000	170,000
	96	3,300,000	490,000	130,000
P5	24	- ¹⁾	-	-
	48	4,900,000	790,000	790,000
	72	-	-	-
	96	-	-	-

¹⁾-, There was no flow of inland pollution source

Table 5. Calculated impacted areas of the discharges from major inland pollution sources around the Bogil-Nohwa Area by lapse of time after 16.0 mm rainfall events

Station	Hours after Rainfall	Flow rate (L/min)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	Determine loading (MPN/day)	Dilution water required (m ³)	Area required (m ²)	Radius of half circle (m)
P1	36	120	14,000	2.42×10^{10}	1.73×10^5	5.96×10^5	616.1
	60	84	7,900	9.56×10^9	6.83×10^4	4.27×10^5	521.3
	84	18	4,600	1.19×10^9	8.52×10^3	8.52×10^4	232.9
	108	120	22,000	3.80×10^{10}	2.72×10^5	7.54×10^5	693.1
P2	36	21	46,000	1.39×10^{10}	9.94×10^4	7.10×10^5	672.3
	60	10.5	17,000,000	2.57×10^{12}	1.84×10^7	7.59×10^6	2,198.3
	84	10.5	1,700,000	2.57×10^{11}	1.84×10^6	1.53×10^6	987.2
	108	10	3,300,000	4.75×10^{11}	3.39×10^6	2.16×10^6	1,173.5
P3	36	1.2	3,300,000	5.70×10^{10}	4.07×10^5	2.70×10^5	414.5
	60	2.4	130,000,000	4.49×10^{12}	3.21×10^7	7.66×10^6	2,208.7
	84	0.5	3,300,000	2.14×10^{10}	1.53×10^5	1.48×10^5	307.3
	108	0.8	3,300,000	3.80×10^{10}	2.72×10^5	2.04×10^5	360.6
P4	36	0.1	4,900,000	7.06×10^9	5.04×10^4	1.36×10^5	294.6
	60	0.6	4,900,000	4.23×10^{10}	3.02×10^5	3.56×10^5	476.0
	84	0.1	790,000	1.14×10^9	8.13×10^3	8.13×10^4	227.5
	108	0.8	4,600,000	5.30×10^{10}	3.79×10^5	4.07×10^5	509.2
P5	36	0.1	3,300,000	4.75×10^9	3.39×10^4	3.39×10^5	465.0
	60	3.6	4,900,000	2.54×10^{11}	1.81×10^6	1.87×10^6	1,091.5
	84	0.1	460,000	6.62×10^8	4.73×10^3	4.73×10^4	173.6
	108	18	4,900,000	1.27×10^{12}	9.07×10^6	6.34×10^6	2,010.2

Table 6. Calculated impacted areas of the discharges from major inland pollution sources around the Bogil-Nohwa Area by lapse of time after 55.7 mm rainfall events

Station	Hours after Rainfall	Flow rate (L/min)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	Determine loading (MPN/day)	Dilution water required (m ³)	Area required (m ²)	Radius of half circle (m)
P1	24	440	490	3.10×10^9	2.22×10^4	2.22×10^5	375.7
	48	388.8	490	2.74×10^9	1.96×10^4	1.96×10^5	353.3
	72	1,026	17,000	2.51×10^{11}	1.79×10^6	1.83×10^6	1,079.8
	96	187.2	78	2.10×10^8	1.50×10^3	1.50×10^4	97.8
P2	24	17	33,000	8.13×10^9	5.80×10^4	5.80×10^5	608.0
	48	20	230,000	6.62×10^{10}	4.73×10^5	9.28×10^5	768.7
	72	12	1,700,000	2.94×10^{11}	2.10×10^6	1.64×10^6	1,021.8
	96	0.6	170,000	1.47×10^9	1.05×10^4	1.05×10^5	258.5
P3	24	1.5	170,000	3.67×10^9	2.62×10^4	5.83×10^4	192.7
	48	1.5	790,000	1.71×10^{10}	1.22×10^5	1.31×10^5	288.9
	72	1.5	170,000	3.67×10^9	2.62×10^4	5.83×10^4	192.7
	96	8.4	130,000	1.57×10^{10}	1.12×10^5	1.25×10^5	281.9
P4	24	1.5	540,000	1.17×10^{10}	8.33×10^4	1.60×10^5	319.5
	48	2.7	3,300,000	1.28×10^{11}	9.16×10^5	7.57×10^5	694.6
	72	2.7	430,000	1.67×10^{10}	1.19×10^5	1.99×10^5	356.1
	96	2.7	490,000	1.91×10^{10}	1.36×10^5	2.13×10^5	368.0
P5	24	-	-	-	-	-	-
	48	18	790,000	2.05×10^{11}	1.46×10^6	1.64×10^6	1,023.1
	72	-	-	-	-	-	-
	96	-	-	-	-	-	-

Table 7. Levels of fecal coliform in seawaters collected in the Bogil-NohwaArea under the wet weather conditions

Station	Fecal coliform (MPN/100 mL)							
	Hoursafter 16.0mm				Hoursafter 55.7mm			
	36	60	84	108	24	48	72	96
S1	< 1.8	1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S2	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S3	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S5	13	2.0	< 1.8	17.0	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S6	7.8	7.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S7	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S8	2.0	9.3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S9	6.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0
S10	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S11	79	< 1.8	< 1.8	7.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S12	< 1.8	4.5	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S13	4.5	< 1.8	4.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5
S14	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S15	< 1.8	11.0	< 1.8	2.0	4.5	1.8	< 1.8	2.0
S16	2.0	2.0	< 1.8	2.0	6.8	< 1.8	4.5	13.0
S17	< 1.8	6.8	< 1.8	< 1.8	11.0	< 1.8	4.5	2.0
S18	2.0	49.0	< 1.8	4.0	1.8	2.0	2.0	< 1.8
S19	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	6.8	< 1.8	2.0	< 1.8
S20	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S21	7.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S22	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0
S23	4.0	4.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S24	< 1.8	14.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	1.8
S25	22.0	1.8	< 1.8	1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S26	33.0	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S27	2.0	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S28	2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S29	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S30	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S31	7.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S32	4.5	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S33	31.0	4.5	< 1.8	7.8	4.5	2.0	< 1.8	< 1.8
Range	< 1.8-79	< 1.8-49	< 1.8-4.0	< 1.8-17	< 1.8-11	< 1.8-2.0	< 1.8-4.5	< 1.8-13

55.7 mm의 강우 발생 후 4일간 (24시간, 48시간, 72시간 및 96시간) 주요 육상오염원 배출수의 대장균군, 분변계대장균 및 *E. coli*를 분석한 결과, 11,000-24,000,000, 78-3,300,000 및 78-790,000 MPN/100 mL 로 검출되었고 해역에 미치는 영향반경은 97.8-1,079.8 m로 계산되었다. P1 및 P2 조사지점은 강우 발생 후 72시간까지 분변계대장균 농도가 점차 증가하여 해역에 1 km 이상의 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났으나, 96시간에 비교적 낮은 수준으로 감소하는 것으로 확인되었다. P3 및 P4 조사지점은 강우 발생 후 48시간까지 분변계대장균 농도가 증가하다가 72시간부터 비교적 감소된 농도로 확인 되었으나, P4 지점은 96시간에 증가한 것으로 확인되었다. P5 조사지점은 강우 발생 후 48시간에

만 배출수가 확인되어 분석한 결과, 오염도가 높아 해역에 1 km 이상의 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다 (Table 4, 6, Fig 2).

2. 강우 발생 후 해수의 위생상태 변화

16.0 및 55.7 mm의 강우 발생 후 해수 33개소의 위생상태 변화를 확인하기 위해 분변계대장균을 분석하였고, 그 결과를 Table 7에 나타내었다.

16.0 mm 강우 발생 후 36시간, 60시간, 84시간 및 108시간에 채취한 해수의 분변계대장균 농도는 각각 < 1.8-79, < 1.8-49, < 1.8-4.0 및 < 1.8-17 MPN/100 mL으로 확인되었다. 분변계대장균이 검출된 지점은 시간이 지날수록 오염도가

감소하는 것으로 확인되었으나, S5 지점에서 강우 발생 108시간 후에 분변계대장균 농도가 증가하는 것으로 확인되었다. 이는 조사지점이 해안선과 인접하여 육상에서 유입된 오염물질에 기인한 것으로 사료된다. 따라서, 16.0 mm의 강우 발생 시 육상 기인 오염물질에 의해 영향을 받지만, 분변계대장균이 84시간 후에 낮은 수준으로 회복되는 것으로 확인되었다.

55.7 mm 강우 발생 후 24시간, 48시간, 72시간 및 96시간에 채취한 해수의 분변계대장균 농도는 각각 < 1.8-11, < 1.8-2.0, < 1.8-4.5 및 < 1.8-13 MPN/100 mL로 확인되었으며, 분변계대장균이 검출된 지점은 시간이 지날수록 오염도가 감소하는 것으로 확인되었다. 본 연구에서는 55.7 mm의 강우 시 16.0 mm 보다 분변계대장균 농도가 낮은 수준으로 검출되었는데, 이는 비교적 많은 강우로 인해 육상 기인 오염물질이 해역으로 유입되지만, 동시에 유입된 담수에 의해 희석되어 해역으로 빠르게 배출된 것으로 사료된다.

3. 강우 발생 후 패류 (전복) 의 위생상태 변화

강우 발생으로 인해 오염도가 증가된 해수가 보길-노화 해역의 패류에 미치는 영향을 확인하기 위해 육상 오염원과 인접하여 영향을 받을 것으로 판단되는 4개의 패류 지점을 설정하여 조사를 수행하였다.

16.0 mm의 강우 후 36시간, 60시간, 84시간 및 108시간에 패류의 *E. coli* 농도는 각각 < 18-45, < 18-<18, < 18-18 및 < 18-18 MPN/100 g으로 확인되었으며, 살모넬라는 모든 시료에서 검출되지 않았다. P1 육상오염원과 인접한 A3 지점에서 강우 후 36시간에 45 MPN/100 g으로 검출되었으나 이후 오염도가 < 18 MPN/100 g 수준으로 회복되었고, 그 외 조사지점은 모두 < 18 MPN/100 g으로 *E. coli* 오염도가 양호하여 16.0 mm의 강우에도 육상에서 기인한 오염물질의 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

55.7 mm의 강우 후, 24시간, 48시간, 72시간 및 96시간에 패류의 *E. coli* 농도는 각각 < 18-<18, < 18-<18, < 18-130 및 < 18-< 18 MPN/100 g으로 확인되었으며, 살모넬라는 모든 시료에서 검출되지 않았다. A1 및 A3에서 강우 후 72시간에 45 및 130 MPN/100 g으로 검출되었으나 이후 오염도가 <18 MPN/100 g 수준으로 회복되었고, 그 외 조사지점은 모두 <18 MPN/100 g으로 *E. coli* 오염도가 양호하여 55.7 mm의 강우에도 육상에서 기인한 오염물질의 영향을 크게 받지 않는 것으로 사료된다.

EU의 규정에 따르면, 해역에서 수확한 패류에 대해 30회 이상의 조사 결과 모든 시료에서의 *E. coli* 농도가 700 MPN/100 g 이하이고, 시료수의 80%가 230 MPN/100 g 이하일 경우 신선, 냉동 상태로 시장에 출하할 수 있는 A등급 해역으로 분류하고 있다.

본 연구의 조사 결과는 특정 강우 이후 단기간 동안 실시되어 EU기준에 따른 해역 등급 분류에는 한계가 있다. 그러나 강우조건에서도 모든 패류의 *E. coli* 농도가 230 MPN/100 g 미만으로 EU의 A등급 수준에 부합하는 것으로 확인되었고, 이는 16.0 mm 및 55.7 mm의 강우에도 생식이 가능한 수준의 안전성을 확보할 수 있음을 보여준다.

요 약

본 연구는 보길-노화 해역에 강우발생 시, 육상오염원이 해역에 미치는 영향을 파악하고 해수와 패류의 미생물학적 위생상태를 평가하여 보길-노화 해역에서 생산되는 패류의 채취제한 기준 설정을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

보길-노화 배수유역에 위치한 주요 육상오염원 (생활하수) 5개소에서 검출된 분변계대장균의 농도와 영향방경은 78-130,000,000 MPN/100 mL 및 97.8-2,208.7 m로 확인되었고, 16.0 mm 및 57.7 mm의 강우에 일부 육상오염원이 해역까지 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 55.7 mm의 강우에 비해 16.0 mm의 강우 시 해역에 미치는 오염원의 영향이 더 큰 것으로 확인되었다.

보길-노화 해역 해수 조사지점 33개소의 분변계대장균의 농도는 < 1.8-79 MPN/100 mL로, 55.7 mm보다 16.0 mm의 강우 시에 더 높은 수준으로 검출되었으며, 대부분의 조사지점에서 농도가 점차 감소하는 경향을 보였다.

패류 (전복) 조사지점 4개소에서 살모넬라는 모두 검출되지 않았고, *E. coli*의 농도는 < 18-130 MPN/100 g으로, 16.0 mm 강우 후 36시간 및 55.7 mm 강우 후 72시간에 45-130 MPN/100 g 검출되었으나, 이후 < 18 MPN/100 g으로 회복되었다.

이상의 결과, 16.0 mm 및 55.7 mm의 강우에 의해 육상오염원이 보길-노화 해역으로 유입되고 해수의 미생물학적 위생상태에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 패류의 위생상태는 양호한 것으로 확인되어 향후 강우량을 세분화하여 연구가 수행될 필요가 있고 오염도가 높은 육상오염원의 유량이 많아질 경우 해역에 미치는 영향범위가 더 커지므로 오염원에 대한 지속적인 조사와 관리가 필요한 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2025년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 (R2025055) 의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- APHA. (1970) Recommended procedures for the examination of seawater and shellfish. Forth Edition. pp. 1-47. American Public Health Association. Washington.
- European Commission. (2019) Commission Regulation (EU) 2019/627 amending Annex II to Regulation (EC) No 2017/625 of the European parliament and of the council laying down specific rules for the organization of official controls on products of animal origin intended for human consumption as regards certain requirements for live bivalve molluscs, echinoderms, tunicates and marine gastropods and Annex I to Regulation (EC) No 2074/2005 on microbiological criteria for foodstuffs. Official Journal of the European Union.
- Ham, J.R., Lee, H.I., Kim, C.B., Shin, E.C. and Lee, M.K. (2021) Nutritional composition and taste properties of abalone and short-neck clam in Wando. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, **50**(9): 1010-1018.
- ISO. (2015) Microbiology of the food chain-Horizontal method for the enumeration of betaglucuronidasepositive *Escherichia coli* Part 3: Detection and most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl- β -D-glucuronide. International Organization for Standardization. 16649-3.
- ISO. (2017) Microbiology of the food chain-Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella* - Part 1: Detection of *Salmonella* spp. International Organization for Standardization. 6579-1.
- Kim, J.Y., Lee, H.T., Lee, J.E., Chung, M.S. and Ko, G.P. (2013) Identification of Human and Animal Fecal Contamination after Rainfall in the Han River, Korea. *Microbes and Environments*, **28**(2): 187-194.
- Kim, J.H., Yoon, M.C., Cho, S.R., Lee, J.W., Jung, S.H., Nam, K.H., Ha, K.S. and Park, K.B.W. (2023) Evaluation of the Effect of the Inland Pollution Source on Seawater and Shellfish after Rainfall in the Goseong Bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **39**(3): 89-101.
- KOSIS (2024) Fishery production survey on statistical database. Statistics Korea. Retrieved from <https://kosis.kr> on September 3.
- Lee, S.J., Oh, S.J., Kang, M.J., Shin, J.H. and Kang, S.K. (2015) Antioxidant and anti-fatigue effects of abalone (*Haliotis discus hannai*) composites containing natural plants. *Korean Journal of Food Preservation*, **22**(4): 598-606.
- Lee, J.W., Yoon, M.C., Kim, J.H., Jo, S.R., Nam, K.H., Ha, K.S. and Park, K.B.W. (2023) Impact of Land-based Pollution Sources on Seawater and Shellfish after Rainfall Event in the Jindongman Area. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **56**(6): 798-809.
- Lee, J.H., Kim, D.H., Hong, Y.W., Kim, P.H., Yu, H.S. and Choi, W.S. (2024) Evaluation of the Effect of the Inland Pollution Source and waste water treatment system on Seawater and Ark shell (*Anadara kagoshimensis*) after Rainfall in the Yeolja Bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **40**(4): 221-231.
- MOF. (2024). Korean Shellfish Sanitation Program. Retrieved from <http://www.mof.go.kr> on September 3.
- MOF. (2023) Sanitary Standard of Water Quality in Shellfish Growing Area. Retrieved from <http://www.law.go.kr> on August 29.
- Mok, J.S., Lee, T.S., Kim, P.H., Lee, H.J., Ha, K.S., Shim, K.B., Lee, K.J., Jung, Y.J. and Kim, J.H. (2016) Bacteriological quality evaluation of seawater and oysters from the Hansan-Geojeman area in Korea, 2011-2013: impact of inland pollution sources. *SpringerPlus*, **5**: 1412.
- Park, K. B. W., Jo, M. R., Kim, Y. K., Lee, H. J., Kwon, J. Y., Son, K. T. and Lee, T. S. (2012) Evaluation of the Effects of the Inland Pollution Sources after Rainfall Events on the Bacteriological Water Quality in Narodo area, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **45**(5): 414-422.
- Shin, S.B., Choi, W.S., Lee, J.H., Kim, M.J. and Lim, C.W. (2022) Assessment of Bacteriological Safety of the Seawater and Abalone (*Haliotis discus hannai*) in Bogil-Nohwa area, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **38**(3): 147-156.
- U.S. FDA (2019) National Shellfish Sanitation Program, Guide for the control of molluscan shellfish. U.S. Food and Drug Administration, Silver Spring. Retrieved from <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/FederalStateFoodPrograms/ucm2006754.htm> on September 3.
- Wando-gun (2024) Statistical yearbook. Retrieved from <https://www.wando.go.kr> on September 3.

