

강우 발생에 따른 육상 오염원이 고성만의 해수 및 패류에 미치는 영향 평가

김지훈, 윤민철, 조성래, 이장원, 정상현¹, 남기호², 허광수³, 박큰바위

국립수산과학원 남동해수산연구소, ¹국립수산과학원 연구기획과, ²국립수산과학원 기후변화연구과, ³국립수산과학원 식품안전가공과

Evaluation of the Effect of the Inland Pollution Source on Seawater and Shellfish after Rainfall in the Goseong Bay, Korea

Ji Hoon Kim, Minchul Yoon, Sung Rae Cho, Jang Won Lee, Sang Hyeon Jung¹,
Ki Ho Nam², Kwang Soo Ha³ and Kunbawui Park

Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Korea
¹*R&D Planning and Coordination Department, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*
²*Ocean Climate and Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*
³*Food Safety and Processing Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

ABSTRACT

In this study, we evaluated the effect of inland pollution sources on seawater and shellfish (Oyster and Scallop) in Goseong bay after rainfall events. We analyzed the sanitary indicator microorganism such as total coliform, fecal coliform and *Escherichia coli* (*E. coli*) in the discharge water of major inland pollutants, seawater and shellfish for 3 days after 25.5, 56.0 and 101.5 mm rainfall events. According to these results, the range of total coliform and fecal coliform was < 1.8-2,400 and < 1.8-2,400 after 25.5 mm rainfall and was from < 1.8 to 110 and from < 1.8 to 13 MPN/100 mL after 56.0 mm rainfall and was from 79 to 11,000 and from 79 to 11,000 MPN/100 mL after 101.5 mm rainfall in the discharge water of 2 waste water treatment plants. Also the range of fecal coliform and radius of impacted area of 9 contaminants (stream) was from 13 to 35,000 MPN/100 mL and from 14 to 2,249 m, respectively. The fecal coliform of seawater at 34 stations ranged from < 1.8 to 540 MPN/100 mL, respectively. And The *E. coli* level of shellfish (Oyster and Scallop) at 6 station ranged from < 18 to 5,400 MPN/100 g.

Key words: Goseong bay, Rainfall, Oyster, Scallop, Fecal coliform, *Escherichia coli*

서 론

패류는 이동성이 없고 여과섭식 (Filter feeding) 생물로서 바닷물을 여과하여 부유하는 플랑크톤과 같은 먹이생물을 섭취하기 때문에 해수 중의 세균과 바이러스 등의 미생물학적 위

해요소와 중금속과 같은 이화학적 오염물질을 체내에 축적하는 특성이 있어 서식하고 있는 해역의 해수보다 오염정도가 일반적으로 높다 (Lee, 2000; Jensen, 1996). 또한, 패류의 대부분은 육지와 인접한 연안 또는 갯벌 등에서 주로 양식, 채취되는데 이러한 지역은 육지의 주거지, 가축사육지 및 선착장 등에서 배출되는 오염물질에 의해서 패류가 쉽게 오염될 수 있다. 이러한 육상 오염원은 사람과 가축 유래의 분변에서 유래되어 전염병이나 식중독 등의 감염증을 유발하는 병원성 미생물이 함유되어 있을 우려가 있으며, 분변 등의 오염원이 하천이나 하수관로를 통하여 해상으로 유입됨으로써 하천 및 연안 해역 등의 환경오염에 영향을 주기도 한다 (Oh *et al.*, 2012; Lipp *et al.*, 2001). 특히 육상에서 배출된 분변은 다량의 강우 발생시 하천 및 배수유역을 통해 해역에 유입되어 패류의 위생안전성에 직접적인 위험을 초래한다 (Ha *et al.*, 2013;

Received: August 23, 2023; Revised: September 07, 2023;
Accepted: September 16, 2023

Corresponding author: Ji Hoon Kim

Tel: +82 (55) 640-4765, e-mail: kjhy1126@korea.kr
1225-3480/24843

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.

Oh *et al.*, 2012). 이러한 이유 때문에 미국, EU 등에서는 안전한 패류생산을 위하여 패류위생관리프로그램을 수립하여 운영하고 있으며 우리나라의 경우에도 이들 국가에 수출을 목적으로 하는 패류의 생산해역에 대한 위생관리 프로그램을 운영하고 있다 (MOF, 2019; MOF, 2021b, US FDA, 2019; EU commission, 2019). 또한, 우리나라의 수출용 패류생산해역 (7개소) 은 강우량에 따른 패류 채취 제한 기준이 설정되어 있다. 이렇듯 수출용 패류생산해역에 대한 체계적인 위생관리에 비하여, 수출용 패류생산해역 이외의 국내의 소비자들이 섭취하게 되는 해역에 대해서는 패류 채취 제한 기준 설정 등과 같은 제도적 장치는 미미한 실정이다.

본 연구 대상인 고성만해역은 경상남도 통영시 도산면, 고성군 고성읍 및 삼산면의 해안선에 접한 해역으로 총 수면적이 1,900 ha 인 반폐쇄성 내만이며, 이 중 859.7 ha 는 양식어업권이 허가되어 있다. 이 중에서 굴 양식장이 333.2 ha 으로 가장 많았으며, 다음으로는 가리비 양식장이 25.3 ha 으로 패류 양식이 주를 이루는 해역이다. 고성만해역에 대한 연구로는 해수와 퇴적물의 오염에 관한 연구와 해수 및 패류의 위생안전성에 관한 연구 등이 있지만 (Choi and Jeong, 1998; Choi, 1999; Lee *et al.*, 2016), 고성만해역의 강우량에 따른 해수 및 패류의 위생안전성에 관한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 강우 후, 고성만해역의 주요 육상 오염원이 해역의 위생상태에 미치는 영향을 평가하고, 강우량에 따른 해수와 패류의 위생상태를 변화를 확인하여, 향후 고성만해역에서 생산되는 패류의 위생안전성을 확보할 수 있는 패류 채취 제한 기준 설정 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 시료채취

강우 발생에 따른 육상 오염원이 고성만해역에 미치는 위생상태를 평가하기 위하여 육상에서 유래하는 주요 오염원들 최종 방류지점 인근에 해수 및 패류 조사지점을 설정하여 해수 34개소, 굴 5개소 및 가리비 1개소를 설정하였으며, 각 시료 채취지점은 양식장이 다수 분포되어 있고, 육상 오염원 인근 지점을 고려하여 선정하였다. 또한 고성만해역의 주요 육상오염원들은 2018년 육상 오염원 전수조사 결과를 바탕으로 분변 오염도가 높거나, 방류수의 유량이 많은 오염원 또는 거주 인구가 많은 마을 및 유동 인구가 많은 지역의 생활하수 배출구 등 해역에 영향을 줄 수 있는 육상 오염원 9개소와 고성만해역의 배수유역에 위치한 하수처리장 배출수 2개소까지 총 11개소의 주요 육상오염원을 조사지점으로 선정하였다 (Fig 1). 분석시료는 25.5 mm, 56.0 mm 및 101.5 mm의 강우가 발생한 2021년 2월 및 4월, 2022년 4월에 강우 발생 후 3일간

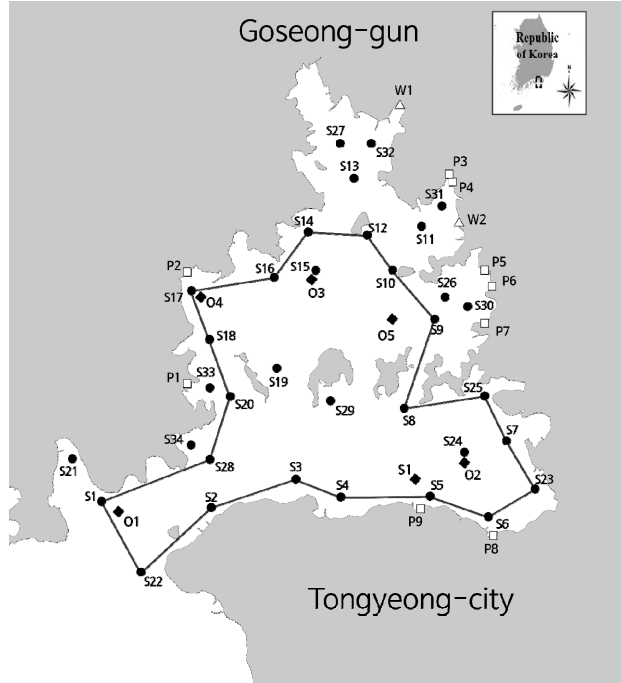


Fig. 1. Sampling stations in Goseong Bay; ●, Seawater; ◆, Shellfish; □, Pollution source; △, Waste water treatment plant.

(24시간, 48시간 및 72시간) 무균처리된 용기에 채취하여 저온상태로 (10℃ 이하) 실험실까지 운반하여 24시간 이내에 시료를 분석하였다. 주요 육상오염원에 대한 유량은 유속계 (HACH portable Flowmeter, ModelFH950.1, USA) 를 사용하여 측정하였다.

2. 위생지표세균 및 Mail-specific coliphage (MSC) 분석

시료에 대한 대장균군 (Total coliform), 분변계대장균 (Fecal coliform) 분석은 Recommended Procedures for the Sea Water and Shellfish (APHA, 1970), 대장균 (*Escherichia coli*) 분석은 ISO16649-3 (2015) 의 방법에 따라 분석하였다. 대장균군, 분변계대장균 및 대장균은 최확수법 (Most Probable Number, MPN) 으로 나타내었으며, MSC 는 Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2015) 를 참고하여 한천중침법으로 분석하였으며 최종 결과는 PFU (plaque-forming unit) 으로 나타내었다 (Table 1).

3. 강우량에 따른 주요 육상 오염원이 해역에 미치는 영향 범위 측정

고성만 배수유역에 위치한 주요 육상오염원이 해역에 미치는 영향범위는 미국 FDA에서 제시한 오염원 평가방법에 준하

Table 1. Medium and culture condition for microbiological analysis

Items	Procedure	Medium and Temp.	Reference
Total coliform	Presumptive test	Lauryl Tryptose Broth (Merck; Burlington, USA), (35 ± 0.5) °C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	APHA, 1970
	Confirmed test	Brilliant Green Bile Lactose broth (Merck; Billerica, USA), (35 ± 0.5) °C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	
Fecal coliform	Presumptive test	Lauryl Tryptose Broth (Merck; Burlington, USA), (35 ± 0.5) °C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	APHA, 1970
	Confirmed test	EC broth (Difco, Le pont de Claix, France), (44.5 ± 0.2) °C, (24 ± 2) hr	
<i>E. coli</i>	Presumptive test	Mineral modified glutamate medium (Oxoid; Basingstoke, UK), (37 ± 1) °C, (24 ± 2) hr	ISO/TS, 16649-3:2015
	Confirmed test	Tryptone bile glucuronide agar (Merck; Billerica, USA), (44 ± 1) °C, (22 ± 2) hr	
MSC	Mixed tryptone agar (with yeast extract, glucose, NaCl, CaCl ₂ , agar), (36.5 ± 2) °C, (24 ± 2) hr		APHA, 2015

Table 2. Method of calculating the impact range of pollutants

Items	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 ; 100,000 mL/m ³)]
Area required (m ² /day)	Dilution water required (m ³ /day) / Average depth (m)
Radius of half-circle (m)	Area required (m ² /day) × 2 / 3.14

여 실시하였다 (Shim *et al.*, 2012; Mok *et al.*, 2016). 주요 육상 오염원 배출수에서 검출되는 분변계대장균의 농도 및 유량을 근거하여 일일 부하량 (Determine loading (MPN/day)) 을 계산한 후, 이를 미국의 허가해역 수질 기준인 14 MPN/100 mL 이하로 희석시킬 수 있는 해수의 양 (Dilution water required) 을 계산하였다. 또한, 조사해역의 수심을 고려하여 이러한 해수의 양을 포함하는 구역의 면적 (Area required) 및 반경 (Radius of half-circle) 을 산출하였으며 조사지점과의 거리를 확인하여 최종적으로 오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하였다 (Table 2).

결과 및 고찰

1. 강우 발생 후 육상 오염원이 해역에 미치는 영향평가

강우 발생에 따른 육상 오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하기 위하여 25.5, 56.0 및 101.5 mm의 강우 발생 후 고성만 배수유역에 분포한 하수처리시설 및 주요 하천을 대상으로 방류수의 위생지표세균의 변화를 분석하였다. 고성만 배수유역에 위치한 하수처리시설은 2개소로 하수도법 시행규칙의 공공하수처리시설·간이공공하수처리시설의 방류수 수질기준에 따라 대장균군 3,000 CFU/mL (300,000/100 mL)의 기준이 적용된다. 본 연구결과, 25.5, 56.0 및 101.5 mm의 강우 발생 후 3일간 2개 하수처리시설 방류수에서 검출된 대장균군은 < 1.8-2,400, < 1.8-110 및 79-11,000 MPN/100 mL로 하수도법의 기준을 충족하는 것으로 확인되었다. 또한, 101.5 mm의 강우 발생 후 시료에서 검출된 분변계대장균의 농도는 79-11,000 MPN/100 mL로 검출되었으며, 특히 101.5 mm의 강우 발생 후에는 25.5 및 56.0 mm 강우 발생 후 보다 높

Table 3. Result of bacteriological analysis for waste water treatment plants (WWTPs) samples in the drainage basin of Goseong bay under the wet weather condition

Station	Rainfall (mm)	Day after rainfall	Coliform group (MPN ¹ /100 mL)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	MSC (PFU ² /100 mL)
W1	25.5	1	1,100	790	790	< 10
		2	1,100	1,100	1,100	190
		3	33	2.0	2.0	30
		Range	33-1,100	2.0-1,100	2.0-1,100	< 10-190
	56.0	1	23	2.0	2.0	< 10
		2	33	2.0	2.0	< 10
		3	110	13	4.5	< 10
		Range	23-110	2.0-13	2.0-4.5	< 10-< 10
	101.5	1	560	560	410	< 10
		2	350	350	280	< 10
		3	350	330	350	< 10
		Range	350-560	330-560	280-410	< 10-< 10
W2	25.5	1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		2	70	23	23	< 10
		3	2,400	2,400	2,400	40
		Range	< 1.8-2,400	< 1.8-2,400	< 1.8-2,400	< 10-40
	56.0	1	<1.8	<1.8	<1.8	< 10
		2	<1.8	<1.8	<1.8	< 10
		3	<1.8	<1.8	<1.8	< 10
		Range	< 1.8-< 1.8	< 1.8-< 1.8	< 1.8-< 1.8	< 10-< 10
	101.5	1	11,000	11,000	2,300	< 10
		2	700	700	700	< 10
		3	79	79	49	< 10
		Range	79-11,000	79-11,000	49-2,300	< 10-< 10

¹MPN, Most probable number, ²PFU, Plaque forming unit

은 농도로 확인되었다 (Table 3). 이는 101.5 mm 강우 시 하수처리장으로 유입되는 하수의 양이 증가하여 하수처리시설의 효율이 감소하는 것으로 판단되며 강우 3일 후부터는 방류수의 수질이 양호한 것으로 확인되었다 (Shin *et al.*, 2021).

2018년 고성만 배수유역에 위치한 오염원에 대한 전수조사 결과를 바탕으로 주요한 육상 오염원 9개소 (하천 9) 을 선정하여 이에 대한 영향을 평가하였다. 25.5 mm 강우 후 3일간 주요 오염원 9개소의 방류수에서 검출된 분변계대장균의 농도와 계산된 영향반경은 13-35,000 MPN/100 mL 및 14-606 m로 확인되었으며 P4 및 P9에서 해수 조사지점까지 영향을

미칠 수 있는 것으로 평가되었다 (Table 4, Fig 2). 조사지점 중 P4와 P9 지점에서 분변계대장균의 농도가 상대적으로 높았고 대부분의 조사지점에서 강우 1일 후에 그 영향반경이 가장 큰 것으로 나타났으며 P4 지점에서 강우 3일 후의 영향반경이 606 m로 가장 큰 것으로 확인되었다.

56.0 mm 강우 후의 결과, 주요 오염원 9개소의 방류수에서 검출된 분변계대장균의 농도와 계산된 영향반경은 17-4,900 MPN/100 mL 및 70-783 m로 확인되었으며 모든 조사지점에서 25.5 mm의 강우 후보다 그 영향범위가 증가하는 경향이 나타났다. 특히 조사지점 P3에서 3일 후까지 해수 조사지점에

Table 4. Calculated impacted area in the Goseong bay after 25.5 mm rainfall event (2021)

Station	Day after rainfall	Flow rate (L/min)	Fecal coliform (MPN ¹ /100 mL)	Determine loading (MPN/day)	Dilution water required (m ³)	Area required (m ²)	Radius of half-circle (m)
P1	1	179.6	790	2.0 x 10 ⁹	1.5 x 10 ⁴	1.5 x 10 ⁴	96
	2	251.2	35,000	1.3 x 10 ¹¹	9.0 x 10 ⁵	2.1 x 10 ⁵	362
	3	62.2	1,300	1.2 x 10 ⁹	8.3 x 10 ³	8.3 x 10 ³	73
P2	1	456.5	110	7.2 x 10 ⁸	5.2 x 10 ³	6.5 x 10 ³	64
	2	399.4	13	7.5 x 10 ⁷	5.3 x 10 ²	6.7 x 10 ²	21
	3	481.1	23	1.6 x 10 ⁸	1.1 x 10 ³	1.4 x 10 ³	30
P3	1	725.0	1,700	1.8 x 10 ¹⁰	1.3 x 10 ⁵	1.8 x 10 ⁵	340
	2	479.7	330	2.3 x 10 ⁹	1.6 x 10 ⁴	2.3 x 10 ⁴	122
	3	450.5	230	1.5 x 10 ⁹	1.1 x 10 ⁴	1.5 x 10 ⁴	98
P4	1	460.5	1,300	8.6 x 10 ⁹	6.2 x 10 ⁴	8.8x 10 ⁴	237
	2	341.9	4,900	2.4 x 10 ¹⁰	1.7 x 10 ⁵	2.5 x 10 ⁵	396
	3	482.0	13,000	9.0 x 10 ¹⁰	6.4 x 10 ⁵	5.8 x 10 ⁵	606
P5	1	410.0	790	4.7 x 10 ⁹	3.3 x 10 ⁴	2.4 x 10 ⁴	123
	2	201.6	2,400	7.0 x 10 ⁹	5.0 x 10 ⁴	3.6 x 10 ⁴	150
	3	143.7	3,300	6.8 x 10 ⁹	4.9 x 10 ⁴	3.5 x 10 ⁴	149
P6	1	2,244.0	140	4.5 x 10 ⁹	3.2 x 10 ⁹	2.5 x 10 ⁴	126
	2	462.0	49	3.3 x 10 ⁹	2.3 x 10 ⁹	1.8 x 10 ³	34
	3	495.0	33	2.4 x 10 ⁹	1.7 x 10 ⁹	1.3 x 10 ³	29
P7	1	1,110.7	240	3.8 x 10 ⁹	2.7 x 10 ⁴	2.1 x 10 ⁴	116
	2	362.8	110	5.7 x 10 ⁸	4.1 x 10 ³	3.2 x 10 ³	45
	3	288.8	13	5.4 x 10 ⁷	3.9 x 10 ²	3.0 x 10 ²	14
P8	1	750.1	220	2.4 x 10 ⁹	1.7 x 10 ⁴	1.3 x 10 ⁴	91
	2	475.2	170	1.2 x 10 ⁹	8.3 x 10 ³	6.4 x 10 ³	64
	3	291.6	33	1.4 x 10 ⁸	9.9 x 10 ²	7.6 x 10 ²	22
P9	1	491.6	7,900	5.6 x 10 ¹⁰	4.0 x 10 ⁵	3.1 x 10 ⁵	442
	2	131.4	1,300	2.5 x 10 ⁹	1.8 x 10 ⁴	1.4 x 10 ⁴	93
	3	74.4	4,900	5.2 x 10 ⁹	3.7 x 10 ⁴	2.9 x 10 ⁴	136
Range		62.2-2,244.0	13-35,000	5.4 x 10 ⁷ -1.3 x 10 ¹¹	3.9 x 10 ² -9.0 x 10 ⁵	3.0 x 10 ² -5.8 x 10 ⁵	14-606

¹MPN, Most probable number

영향을 미치는 것으로 나타났으며 이는 대부분 강우에 따른 오염원 방류수 유량의 증가가 주요 원인인 것으로 확인되었다 (Table 5, Fig 3).

101.5 mm 강우 후의 결과, 주요 오염원 9개소의 방류수에서 검출된 분변계대장균의 농도와 계산된 영향반경은

79-33,000 MPN/100 mL 및 127-2,249 m로 확인되었으며 모든 조사지점에서 앞서 조사한 강우에 대한 영향 평가보다 영향범위가 증가하였다. 모든 육상 오염원 조사지점에서 강우 2일 후까지 인접한 해수 및 패류 조사지점까지 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, P3, P7 및 P9는 강우 3일 후까지도 해

Table 5. Calculated impacted area in the Goseong bay after 56.0 mm rainfall event (2021)

Station	Day after rainfall	Flow rate (L/min)	Fecal coliform (MPN ¹ /100 mL)	Determine loading (MPN/day)	Dilution water required (m ³)	Area required (m ²)	Radius of half-circle (m)
P1	1	1,426.8	270	5.5 x 10 ⁹	4.0 x 10 ⁴	7.8 x 10 ³	70
	2	35,020.8	70	8.7 x 10 ¹⁰	6.2 x 10 ⁵	1.8 x 10 ⁵	336
	3	5,019.3	2,400	7.2 x 10 ⁹	5.1 x 10 ⁴	5.1 x 10 ⁴	181
P2	1	24,949.6	110	3.5 x 10 ¹⁰	2.5 x 10 ⁵	1.7 x 10 ⁵	325
	2	2,803.5	2,400	1.3 x 10 ¹⁰	9.2 x 10 ⁴	1.1 x 10 ⁵	270
	3	23,584.0	170	9.8 x 10 ⁹	7.0 x 10 ⁴	8.7 x 10 ⁴	236
P3	1	12,474.8	79	1.7 x 10 ¹¹	1.2 x 10 ⁶	9.6 x 10 ⁵	783
	2	8,723.9	79	2.6 x 10 ¹⁰	1.9 x 10 ⁵	2.7 x 10 ⁵	411
	3	4,488.8	130	6.8 x 10 ⁹	4.9 x 10 ⁴	6.9 x 10 ⁴	210
P4	1	1,231.2	4,900	1.0 x 10 ¹⁰	2.8 x 10 ⁵	4.0 x 10 ⁵	507
	2	18,214.2	49	8.1 x 10 ¹⁰	5.8 x 10 ⁵	5.4 x 10 ⁵	586
	3	2,287.5	790	2.8 x 10 ¹⁰	2.0 x 10 ⁵	2.8 x 10 ⁵	425
P5	1	11,521.1	490	9.7 x 10 ¹⁰	6.9 x 10 ⁵	4.2 x 10 ⁵	514
	2	1,316.7	2,400	4.6 x 10 ¹⁰	3.3 x 10 ⁵	1.9 x 10 ⁵	351
	3	14,219.7	330	1.1 x 10 ¹⁰	7.9 x 10 ⁴	5.7 x 10 ⁴	190
P6	1	8,424.9	240	5.8 x 10 ¹⁰	4.1 x 10 ⁵	2.9 x 10 ⁵	427
	2	6,285.8	110	6.8 x 10 ¹⁰	4.8 x 10 ⁵	3.5 x 10 ⁵	474
	3	2,848.5	1,300	1.7 x 10 ⁹	1.2 x 10 ⁴	9.5 x 10 ³	78
P7	1	1,017.6	490	1.4 x 10 ¹⁰	1.0 x 10 ⁵	7.8 x 10 ⁴	223
	2	8,595.9	79	2.9 x 10 ¹⁰	2.1 x 10 ⁵	1.6 x 10 ⁵	319
	3	1,965.6	240	2.5 x 10 ¹⁰	1.8 x 10 ⁵	1.3 x 10 ⁵	293
P8	1	5,835.4	330	9.9 x 10 ⁹	7.1 x 10 ⁴	3.9 x 10 ⁴	157
	2	592.2	1,300	1.0 x 10 ¹⁰	7.1 x 10 ⁴	3.9 x 10 ⁴	157
	3	7,048.8	17	1.2 x 10 ¹⁰	8.6 x 10 ⁴	4.2 x 10 ⁴	164
P9	1	5,168.0	330	8.4 x 10 ⁹	6.0 x 10 ⁴	2.5 x 10 ⁴	127
	2	1,701.0	490	5.3 x 10 ¹⁰	3.8 x 10 ⁵	9.6 x 10 ⁴	247
	3	1,267.2	220	4.0 x 10 ⁹	2.9 x 10 ⁴	2.2 x 10 ⁴	119
Range	592.2-35,020.8	17-4,900	1.7 x 10 ⁹ -1.7 x 10 ¹¹	1.2 x 10 ⁴ -1.2 x 10 ⁶	7.8 x 10 ³ -9.6 x 10 ⁵	70-783	

1)MPN, Most probable number

수 조사지점에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 대부분 강우에 따른 오염원 방류수 유량 및 분변계대장균 농도 증가가 원인인 것으로 확인되었다 (Table 6, Fig 4).

따라서 이상의 연구결과와 같이 강우 발생이 오염원의 오염 부하량을 증가시켜 그 영향범위가 인접한 해수 및 패류 양식장

까지 영향을 미칠 수 있으므로 하수처리구역 확대 및 하수처리장 신설이나 기존 처리장의 차집율을 개선하는 등의 대책이 요구된다.

2. 강우 발생 후 고성만해역 해수의 위생상태 변화

Table 6. Calculated impacted area in the Goseong bay after 101.5 mm rainfall event (2022)

Station	Day after rainfall	Flow rate (L/min)	Fecal coliform (MPN ¹ /100 mL)	Determine loading (MPN/day)	Dilution water required (m ³)	Area required (m ²)	Radius of half-circle (m)
P1	1	6,323.2	2,400	2.2 x 10 ¹¹	1.6 x 10 ⁶	4.3 x 10 ⁵	526
	2	3,838.1	490	2.7 x 10 ¹⁰	1.9 x 10 ⁵	9.7 x 10 ⁴	248
	3	1,791.7	110	2.8 x 10 ⁹	2.0 x 10 ⁴	2.5 x 10 ⁴	127
P2	1	45,144.0	790	5.1 x 10 ¹¹	3.7 x 10 ⁶	1.5 x 10 ⁶	967
	2	38,667.4	490	2.7 x 10 ¹¹	1.9 x 10 ⁶	9.3 x 10 ⁵	769
	3	14,560.4	79	1.7 x 10 ¹⁰	1.2 x 10 ⁵	1.3 x 10 ⁵	289
P3	1	9,246.3	7,900	1.1 x 10 ¹²	7.5 x 10 ⁶	3.6 x 10 ⁶	1,510
	2	3,907.1	33,000	1.9 x 10 ¹²	1.3 x 10 ⁷	5.1 x 10 ⁶	1,802
	3	2,608.2	24,000	9.0 x 10 ¹¹	6.4 x 10 ⁶	3.2 x 10 ⁶	1,432
P4	1	17,523.0	4,900	1.2 x 10 ¹²	8.8 x 10 ⁶	4.0 x 10 ⁶	1,599
	2	10,787.4	230	3.6 x 10 ¹⁰	2.6 x 10 ⁵	4.3 x 10 ⁵	520
	3	2,246.1	1,700	5.5 x 10 ¹⁰	3.9 x 10 ⁵	5.6 x 10 ⁵	598
P5	1	14,183	11,000	2.2 x 10 ¹²	1.6 x 10 ⁷	5.2 x 10 ⁶	1,816
	2	3,560	24,000	1.2 x 10 ¹²	8.8 x 10 ⁶	3.3 x 10 ⁶	1,440
	3	1,444	4,900	1.0 x 10 ¹¹	7.3 x 10 ⁵	5.2 x 10 ⁵	575
P6	1	13,068.0	7,900	1.5 x 10 ¹²	1.1 x 10 ⁷	4.1 x 10 ⁶	1,613
	2	7,291.2	2,400	2.5 x 10 ¹¹	1.8 x 10 ⁶	1.2 x 10 ⁶	874
	3	2,142.0	230	7.1 x 10 ⁹	5.1 x 10 ⁴	1.0 x 10 ⁵	254
P7	1	20,357.6	11,000	3.2 x 10 ¹²	2.3 x 10 ⁷	7.9 x 10 ⁶	2,249
	2	13,479.9	11,000	2.1 x 10 ¹²	1.5 x 10 ⁷	5.6 x 10 ⁶	1,897
	3	4,572.6	13,000	8.6 x 10 ¹¹	6.1 x 10 ⁶	2.8 x 10 ⁶	1,330
P8	1	47,801.6	4,900	3.4 x 10 ¹²	2.4 x 10 ⁷	5.1 x 10 ⁶	1,807
	2	7,781.4	2,400	2.7 x 10 ¹¹	1.9 x 10 ⁶	5.6 x 10 ⁵	600
	3	4,176.0	490	2.9 x 10 ¹⁰	2.1 x 10 ⁵	1.1 x 10 ⁵	259
P9	1	30,966.2	13,000	5.8 x 10 ¹²	4.1 x 10 ⁷	7.7 x 10 ⁶	2,210
	2	6,840.0	4,600	4.5 x 10 ¹¹	3.2 x 10 ⁶	6.7 x 10 ⁵	655
	3	2,217.6	13,000	4.2 x 10 ¹¹	3.0 x 10 ⁶	6.3 x 10 ⁵	634
Range		1,443.8-47,801.6	79-33,000	2.8 x 10 ⁹ - 5.6 x 10 ¹²	2.0 x 10 ⁴ - 4.1 x 10 ⁷	2.5 x 10 ⁴ - 7.9 x 10 ⁶	127-2,249

¹MPN, Most probable number

25.5, 56.0 및 101.5 mm의 강우 발생에 따른 고성만해역 내에 위치한 34개 조사지점에서 검출된 분변계대장균의 농도는 각각 < 1.8-13, < 1.8-23 및 < 1.8-540 MPN/100 mL로 나타났다 (Table 7).

먼저 25.5 mm의 강우 후, 고성만해역에서 채취한 해수의

분변계대장균의 경우 강우 1일 후, 2일 후 및 3일 후에 각각 < 1.8-4.5, < 1.8-13 및 < 1.8-13 MPN/100 mL으로 모든 시료에서 분변계대장균이 14 MPN/100 mL을 초과하지 않았다. 하지만 강우 2일 후 S5 및 S6에서 13 MPN/100 mL의 분변계대장균이 검출되어 강우 2일 차에 고성만해역 남측의 도산

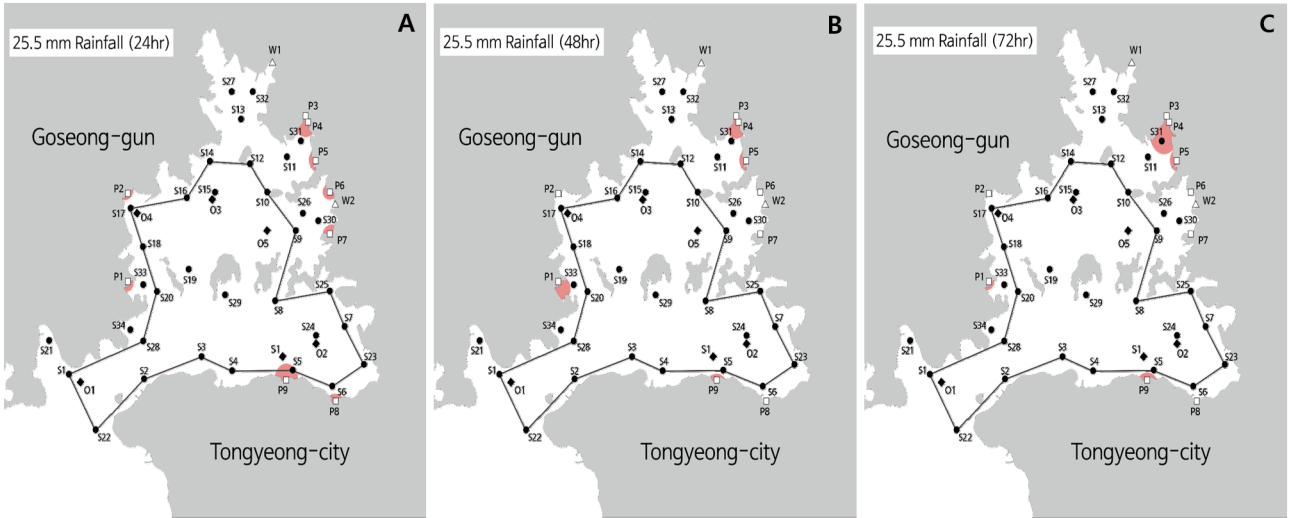


Fig. 2. The estimated diffusion range of the contaminants to coastal area in Goseong bay after 25.5 mm rainfall; A, After 24hr; B, After 48hr; C, After 72hr.

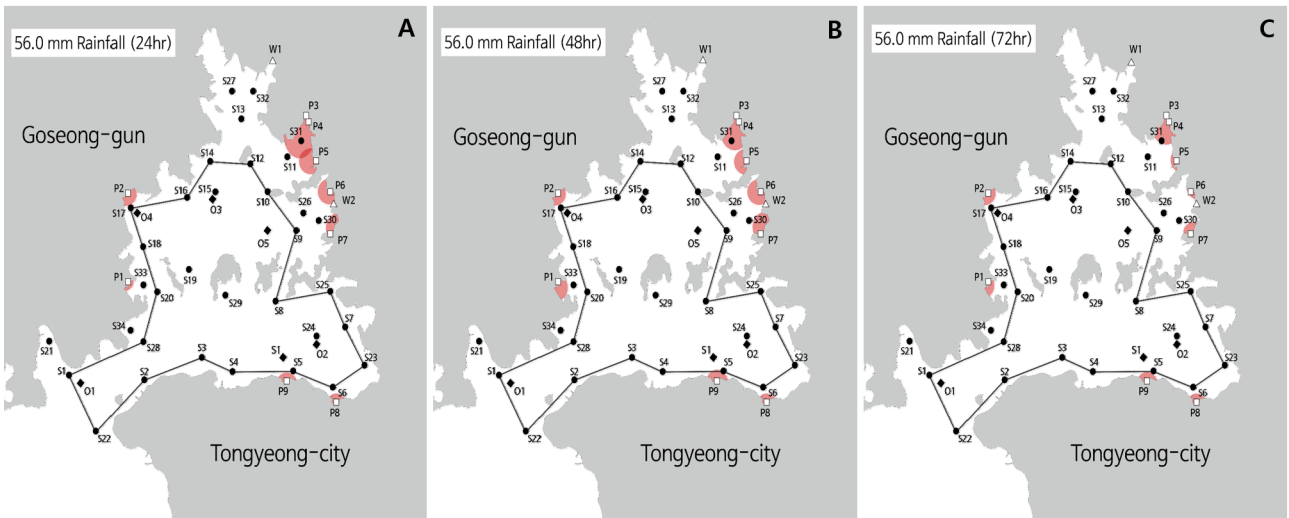


Fig. 3. The estimated diffusion range of the contaminants to coastal area in Goseong bay after 56.0 mm rainfall; A, After 24hr; B, After 48hr; C, After 72hr.

면 오룡동마을 및 마상촌마을에서 배출되는 미처리된 생활하수 등의 영향을 받는 것으로 판단된다 (Table 7). 미국은 자국의 패류 위생관리 프로그램 (National Shellfish Sanitation Program, NSSP) 에 따라 30회 이상의 모니터링을 수행하고, 해수에서 검출되는 분변계대장균의 기하학적 평균치가 14 MPN/100 mL 미만이고 90th percentile 값이 43 MPN/100 mL 이하 (또는 43을 초과하는 시료가 10% 미만) 인 해역을 허가해역 분류하여 상업적으로 판매되는 패류가 생산되며 우리나라는 기하학적 평균이 14 MPN/100 mL 미만 일 경우를 지정해역 수준으로 평가한다 (U.S. FDA, 2019; MOF, 2021c). 따라서 25.5 mm의 강우에도 고성만해역 내의

해수 조사지점은 미국 및 우리나라의 수질기준을 충족하는 양호한 위생상태를 나타내었다.

56.0 mm의 강우 후, 고성만해역에서 채취한 해수의 분변계대장균의 경우 강우 1일 후, 2일 후 및 3일 후에 각각 < 1.8-23, < 1.8-4.5 및 < 1.8-1.8 MPN/100 mL로 강우 발생 1일 후 고성만해역 남측 조사지점에서 분변계대장균이 높게 검출되었다 (Table 7). 고성만해역 남측의 도산면 가오치마을, 유촌마을 및 서촌마을의 영향을 받는 S2, S3 및 S22에서 분변계대장균이 17-23 MPN/100 mL 검출되었으나, 강우 2일 후와 3일 후에는 분변계대장균이 14 MPN/100 mL를 초과하지 않았으며 오염도가 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

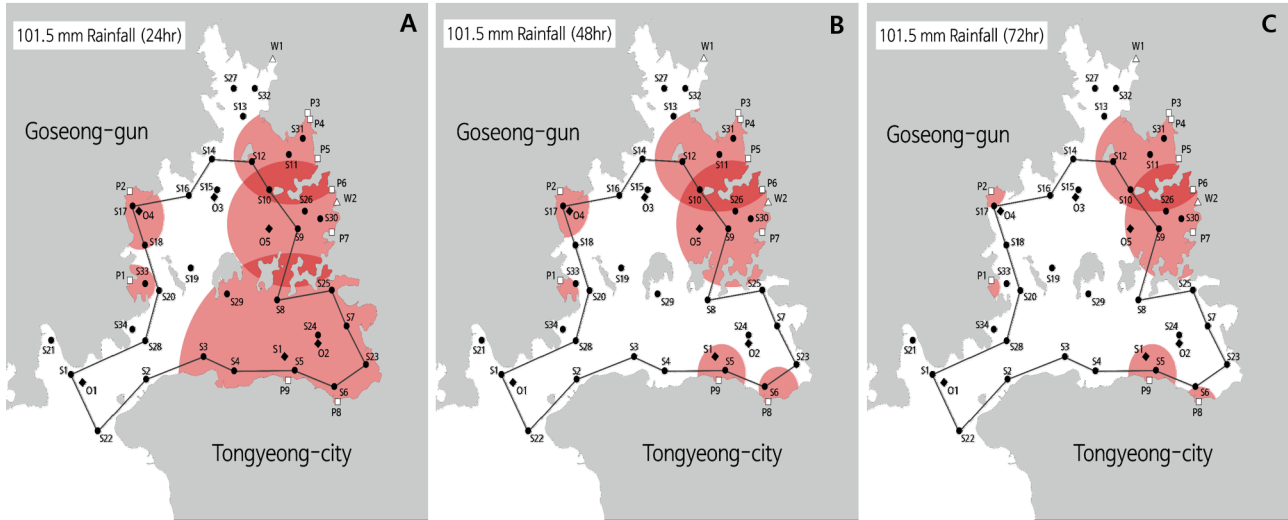


Fig. 4. The estimated diffusion range of the contaminants to coastal area in Goseong bay after 101.5 mm rainfall; **A,** After 24hr; **B,** After 48hr; **C,** After 72hr.

101.5 mm의 강우 후, 고성만해역에서 채취한 해수의 분변계대장균의 경우 강우 1일 후, 2일 후 및 3일 후에 각각 < 1.8-540, < 1.8-240 및 < 1.8-4.5 MPN/100 mL으로 강우 발생 1일 후부터 강우 발생 2일 후까지 고성만해역 전 지역에서 분변계대장균이 매우 높게 검출되었다 (Table 7). 강우 1일 후에는 분변계대장균이 14 MPN/100 mL을 초과한 해수 지점이 24개소 (70.6%)로 나타났으며, 강우 2일 후에는 30개소 (88.2%) 까지 증가하였으나 강우 3일 차에는 분변계대장균이 14 MPN/100 mL을 초과한 해수 지점이 검출되지 않아 3일 차에는 해역이 회복되는 것으로 나타났다.

본 연구의 오염원 영향평가 결과, 101.5 mm의 강우 발생 시, 조사한 모든 주요 육상 오염원 (P1-P9) 이 인근 해수 조사 지점에 영향을 미칠 수 있는 것으로 확인되었으며 고성만해역의 동측 조사지점에서 상대적으로 분변계대장균이 높게 검출되었다. 위와 같은 결과는 Lee *et al.*, (2010) 에서 보고 하였듯이 강우량이 증가할수록 오염원의 부하량이 증가하여 해수의 분변계대장균 농도가 강우량 의존적으로 증가하는 것으로 사료된다. 동 해역의 위생안전성을 평가한 Lee *et al.*, (2016) 에 따르면, 해역 조사 2일 전부터 조사 당일까지 98.5 mm의 강우가 발생한 고성만해역에 대한 위생조사 결과, 분변계대장균이 < 1.8-700 MPN/100 mL까지 검출된 것으로 보고되었다. 추가로 해역에 서식하는 패류는 여과섭식을 통해 해수의 오염물질을 100배 이상 농축할 수 있으므로 강우에 의한 영향 평가를 위해서는 패류의 위생상태에 대한 변화도 함께 고려해야 할 것이다 (US FDA 2019).

3. 강우 발생 후 고성만해역 패류 (굴 및 가리비) 의 위생상태 변화

강우 발생에 따른 육상 오염원의 배출로 인한 해수 오염도 증가가 패류의 위생상태에 미치는 영향을 확인 하기 위해서 고성만해역 내 육상 오염원의 영향을 받을 것으로 판단되는 위치에 6개의 패류 조사지점을 설정하여 채취한 패류에 대한 세균학적 분석을 수행하였다. 25.5, 56.0 및 101.5 mm의 강우 후, 패류에서 검출된 *E. coli* 농도는 각각 < 18-78, < 18-130 및 < 18-5,400 MPN/100 g으로 나타났다. 우리나라 식품의약품안전처의 식품의 기준 및 규격 (MFDS, 2023) 에 따르면 생식용 생굴의 경우, 230 MPN/100 g을 초과하지 않아야 하며, 우리나라 패류의 주요한 수입국인 EU의 규정에 따르면 30회 이상의 조사결과, 모든 시료의 *E. coli* 농도가 700 MPN/100 g을 초과하지 않고 시료의 80% 이상이 230 MPN/100 g을 초과하지 않는 해역을 A 등급으로 분류하여 생산되는 패류가 즉시 출하가 가능하다 (European Commission, 2019). 본 연구에서는 EU의 패류 안전성 판단 규정인 30회 조사를 1회 조사로 같음하여 분석하였다.

먼저 25.5 mm의 강우 후, 고성만해역에서 채취한 패류의 *E. coli* 농도는 강우 1일 후, 2일 후 및 3일 후에 각각 < 18-78, < 18-20 및 < 18-18 MPN/100 g으로 모든 시료가 국내의 생식용 생굴 기준 및 EU의 패류 안전성 수준을 모두 만족하는 위생상태를 나타내었다 (Fig 5). 강우 발생 후 해역의 위생상태가 안정화 됨에 따라 시간에 따라 점점 *E. coli* 농도가 낮아지는 것으로 확인되었다.

56.0 mm의 강우 후, 고성만해역에서 채취한 패류의 *E. coli* 농도는 강우 1일 후, 2일 후 및 3일 후에 각각 < 18-130, < 18-68 및 < 18-68 MPN/100 g으로 모든 시료가 국내의 생식용 생굴 기준 및 EU의 패류 안전성 수준을 모두 만족하는 위생상태를 나타내었다 (Fig 5). 하지만 앞서 분석한 25.5

Table 7. Result of Fecal coliform analysis for seawater samples in the Goseong bay under the wet weather condition

Station	Fecal coliform (MPN/100 mL)								
	Day after 25.5 mm rainfall event			Day after 56.0 mm rainfall event			Day after 101.5 mm rainfall event		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
S1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	49	49	< 1.8
S2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	17	4.5	< 1.8	2.0	79	2.0
S3	< 1.8	2.0	< 1.8	17	< 1.8	< 1.8	240	130	< 1.8
S4	2.0	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	110	49	2.0
S5	< 1.8	13	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	17	79	< 1.8
S6	< 1.8	13	< 1.8	< 1.8	1.8	< 1.8	6.8	110	< 1.8
S7	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	240	79	< 1.8
S8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	540	< 1.8	< 1.8
S9	< 1.8	1.8	13	< 1.8	2.0	< 1.8	4.5	49	< 1.8
S10	4.5	2.0	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	350	33	< 1.8
S11	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	49	33	2.0
S12	4.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	49	33	2.0
S13	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	140	11	< 1.8
S14	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	17	33	2.0
S15	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	1.8	< 1.8	7.8	49	4.5
S16	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	22	< 1.8
S17	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	33	49	< 1.8
S18	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	49	23	< 1.8
S19	< 1.8	< 1.8	< 1.8	7.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	240	4.5
S20	< 1.8	< 1.8	< 1.8	7.8	< 1.8	< 1.8	4.0	110	< 1.8
S21	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	33	2.0	< 1.8
S22	2.0	< 1.8	< 1.8	23	< 1.8	< 1.8	7.8	33	2.0
S23	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	45	33	< 1.8
S24	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	240	49	< 1.8
S25	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	350	49	< 1.8
S26	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	23	23	2.0
S27	< 1.8	< 1.8	< 1.8	1.8	< 1.8	< 1.8	220	6.8	2.0
S28	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	49	240	< 1.8
S29	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	13	130	< 1.8
S30	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	540	240	2.0
S31	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	49	22	2.0
S32	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	170	33	2.0
S33	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	4.5	130	< 1.8
S34	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	23	110	< 1.8
Range	< 1.8-4.5	< 1.8-13	< 1.8-13	< 1.8-23	< 1.8-4.5	< 1.8-< 1.8	< 1.8-540	< 1.8-240	< 1.8-4.5

mm의 강우 후 패류의 오염도 보다 상대적으로 높은 농도의 *E. coli*가 검출되었다.

101.5 mm의 강우 후, 고성만해역에서 채취한 패류의 *E.*

coli 농도는 강우 1일 후, 2일 후 및 3일 후에 각각 78-2,400, 110-5,400 및 18-230 MPN/100 g으로 강우 발생 1일 후와 2일 후에서 기준치를 초과하는 높은 농도의 *E. coli*가 검출되었

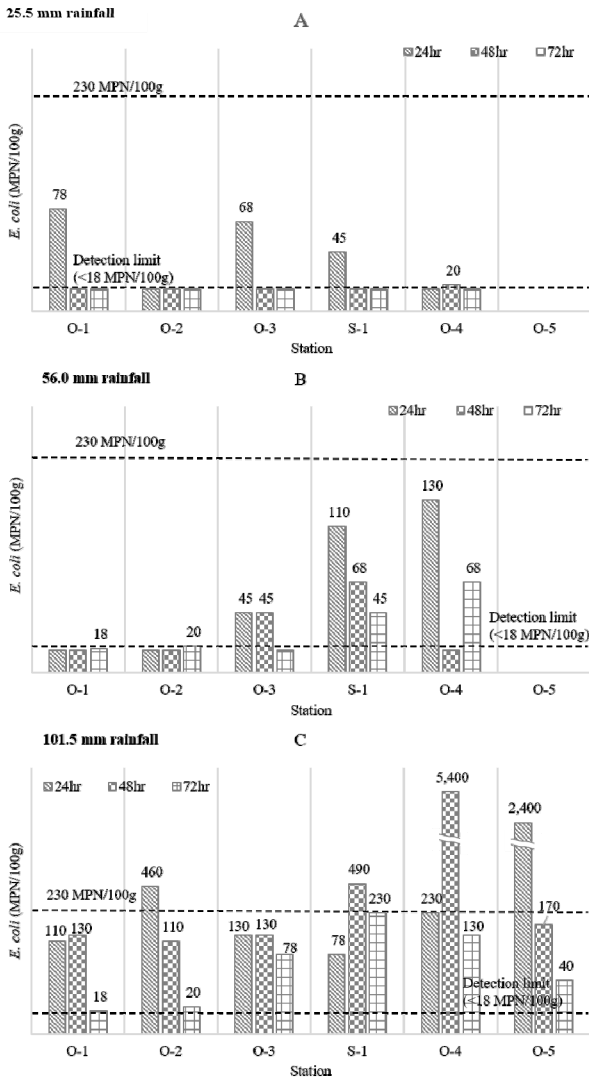


Fig. 5. Result of *E. coli* analysis for oyster samples in the Goseong bay under the wet weather condition; **A**, After 25.5 mm rainfall in 2021; **B**, After 56.0 mm rainfall in 2021; **C**, After 101.5 mm rainfall in 2022.

으며, 강우 3일 후에도 기준치는 초과하지 않았지만 S-1에서 230 MPN/100 g의 높은 *E. coli* 농도를 나타냈다 (Fig 5).

모든 패류 조사지점에서 *E. coli*가 검출되었지만 상대적으로 육상 오염원과 인접하지 않아 영향을 적게 받은 O-1 및 O-3에서는 *E. coli* 농도가 기준치를 초과하지 않았지만 육상 오염원과 인접한 O-2 및 O-5는 강우 1일 차에 S-1 및 O-4는 강우 2일 차에 각각 기준치를 초과하는 *E. coli*가 검출되었다. 강우 2일 차에 상대적으로 높은 오염도를 나타내었는데 이러한 결과는 해수는 외해수와와의 조류 소통으로 쉽게 오염정도가 낮아지지만, 패류는 시간의 경과에 따라 해수에 포함된 세균을

축적하였기 때문이라 사료된다 (Ha *et al.*, 2013). 또한 Lee *et al.*, (2010) 도 해역에 서식하는 굴에서 분변계대장균 오염도는 강우 직후보다 그 이후에 채취한 패류에서 높게 검출되었다고 보고한 바 있다. 따라서 해역에서 생산되는 패류의 위생학적 안전성을 위해서 해역 인근에 위치한 육상 오염원에 대한 영향평가와 해수 및 패류의 오염도에 대한 종합적인 분석이 필요하다.

본 연구 결과에 따르면, 고성만해역에서 25.5 및 56.0 mm의 강우에는 패류에서 강우량이 증가함에 따라 *E. coli*의 오염정도가 높아지는 경향이 확인되었으나 기준치를 초과하지 않는 것으로 확인되었으며 위생상태에 영향을 거의 미치지 않는 것으로 확인되었으며, 101.5 mm의 강우에는 3일 차까지 높은 농도의 *E. coli*가 유지되는 것으로 보아 최소 3일 (72시간)의 패류 채취 제한이 필요할 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구결과 외에 해역에 영향을 미치는 다양한 요인들이 있으므로, 명확한 해역의 관리 기준 확보를 위해 향후 지속적인 해역 및 오염원 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

요 약

고성만해역은 패류 양식이 주를 이루는 해역으로 다른 수출용 패류생산지정해역과 달리 강우량에 따른 패류 채취 제한 기준이 설정되어 있지 않은 해역이다. 이에 2021년과 2022년 강우 발생 후 오염원이 해역에 미치는 영향을 파악하고, 해수 및 패류의 위생상태를 평가하여 고성만해역에서 생산되는 패류의 채취 제한 기준 설정을 위한 기초자료로 활용하고자 본 연구를 수행하였다.

고성만 배수유역에 위치한 주요 육상오염원 중 하수처리시설은 2개소로 25.5, 56.0 및 101.5 mm의 강우 발생 후 3일간 방류수에서 검출된 대장균군은 < 1.8-2,400, < 1.8-110 및 79-11,000 MPN/100 mL로 하수도법의 기준을 충족하는 것으로 확인되었으나, 101.5 mm의 강우 발생 1일 후 대장균군 및 분변계대장균의 농도가 상대적으로 높게 검출되는 것으로 확인되었다. 또한, 하천 9개소의 방류수에서 검출된 분변계대장균의 농도와 계산된 영향반경은 11-35,000 MPN/100 mL 및 21-2,249 m로 확인되었고 25.5 mm의 강우는 해수 및 패류 조사지점까지 영향을 미치지 않았지만 56.0 mm 강우는 오염부하량이 증가하여 일부 오염원은 인근 해수 조사지점까지 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 101.5 mm의 강우에는 강우량 증가에 따른 오염원 방류수 유량 및 분변계대장균 농도 증가로 강우 발생 3일 후까지도 해수 및 패류 조사지점에 영향을 미칠 수 있는 것으로 확인되었다.

한편 25.5, 56.0 및 101.5 mm의 강우에 따른 고성만해역에 설정된 34개의 해수 조사지점에서 검출된 분변계대장균의

농도는 각각 < 1.8-13, < 1.8-23 및 < 1.8-540 MPN/100 mL으로 25.5 mm의 강우에는 국내·외 기준을 충족하여 영향을 받지 않는 것으로 평가되었으나, 56.0 mm의 강우는 최소 강우 1일 후까지, 101.5 mm의 강우에는 최소 강우 2일 후까지 영향을 받는 것으로 평가되었다. 특히 고성만 동부 조사 지점들이 육상 오염원에 의한 영향으로 높은 수치의 분변계대 장균이 검출되었다.

25.5 및 56.0 mm 강우 후의 고성만해역 내에 설정된 6개의 패류 조사지점에서 검출된 *E. coli*의 농도는 < 18-20, < 18-130 및 78-5,400 MPN/100 g으로 확인되었으며 25.5 및 56.0 mm의 강우 발생 후에는 모든 지점에서 3일간 국내·외 기준을 초과하지 않았으나 101.5 mm 강우의 경우, 1일 후 O-2 및 O-5 지점, 2일 후 S-1 및 O-4에서 높은 수치의 *E. coli*가 검출되어 국내의 생식용 생굴 기준을 초과하는 것으로 확인되었다.

이상의 결과, 25.5 mm 강우는 고성만 주변의 오염원이 해역에 미치는 영향이 크지 않으며 고성만의 해수 및 패류의 위생상태는 양호하였다. 하지만 56.0 및 101.5 mm 강우 후에는 주변 오염원의 오염 부하량이 증가하여 56.0 mm의 강우에는 1일 후까지 해수에 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 101.5 mm의 강우에는 강우 발생 3일 후까지 패류에 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

본 연구결과를 바탕으로 고성만해역의 패류 채취 제한 기준은 56.0 mm의 강우 발생 시 최소 1일 (24시간), 101.5 mm의 강우 발생 시 최소 3일 (72시간) 동안 제한해야 할 것으로 판단된다. 하지만, 보다 더 명확한 해역의 관리기준의 확보를 위해서는 향후 지속적인 해역 모니터링과 강우량 및 기간을 보다 등급화하여 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2023년도 국립수산물품질관리원 수산시험연구사업 (R2023054)의 지원으로 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- APHA (1970) Recommended procedures for the examination of seawater and shellfish. 4th Edition. pp. 1-47. American Public Health Association, Washington.
- APHA (2015) Standard methods for the examination of water and wastewater 23rd edition. American Public Health Association, Washington.
- Choi, J.D. and W.G. Jeong (1998) A Bacteriological Study on the Sea Waters and Oyster in Puk Man, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **14**(1): 19-26.
- Choi, J.D. (1999) Marine Bacteriological Quality and Dynamics in Tongyeong Coastal Area, Gyung-nam, Korea. *Journal of Food Hygiene and Safety*, **14**(4): 372-379.
- 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.
- FAO (2019) The state of world fisheries and aquaculture 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Retrieved from <http://www.fao.org> on September 2.
- FAO (2020a) The state of world fisheries and aquaculture 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Retrieved from <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.
- FAO (2020b) Yearbook fishery and aquaculture statistics 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Retrieved from <http://www.fao.org> on September 2.
- Ha, K.S., Yoo, H.D., Sshim, K.B., Kim, J.H., Lee, T.S., Kim, P.H., Lee, H.J. and Yu, H.S. (2013) The Effects of inland pollution sources around the port of Jeokyang and Jangpo after rainfall events on bacteriological water quality in the Changseon Area, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **46**(2): 160-167. Retrieved from <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0160>.
- 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-indoly-β-D-glucuronide. International Organization for Standardization. 16649-3.
- Jensen, E.T. (1996) Shellfish and public health. *Journal of Food Protection*, **19**(10): 281-283. Retrieved from <https://doi.org/10.4315/0022-2747-19.10.281>.
- Lees, D. (2000) Viruses and bivalve shellfish. *International Journal of Food Microbiology*, **59**: 81-116. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(00\)00248-8](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(00)00248-8).
- Lee, S.J., Jeong W.G., Koo J.H., Kwon J.N. (2016) Sanitary characteristics of Seawater and Oyster (*Crassostrea gigas*) in Goseong Bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **32**(3): 157-164. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.9710/kjm.2016.32.3.157>.
- Lee, T.S., Oh E.G., Yoo H.D., Ha K.S., Yu H.S., Byun H.S., and Kim J.H. (2010) Impact of rainfall events on the bacteriological water quality of the shellfish growing area in Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**(5): 406-414.
- Lipp, E.K., Farrah, S.A. and Rose, J.B. (2001) Assessment and impact of microbial fecal pollution and human enteric pathogens in a coastal community. *Marine*

- Pollution Bulletin*, **42**: 286-293. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00152-1](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00152-1).
- MFDS (2023) Korea food standards. Article 2023-29. The Notification of Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju. Retrieved from <http://www.law.go.kr> on April 28.
- MOF (2019) Korean Shellfish Sanitation Program. pp.1-94. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong. Retrieved from <http://www.mof.go.kr> on May 3. MOF (2021a) Fisheries information service. Retrieved from <http://stat.mof.go.kr> on September 5.
- MOF (2021b) Designation of the shellfish growing area for export. Article 2021-36. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong. Retrieved from <http://www.law.go.kr> on September 3.
- 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**(1), 1412. <http://doi.org/10.1186/s40064-016-3049-9>.
- Oh, E.G., Yoo H.D., Yoo H.S., Ha k.s., Shin S.B., Lee T.S., Lee H.J., Kim J.H. and Son K.T. (2012) Removal of Fecal Indicator Bacteria from Bivalves under Natural and Electrolyzed Water. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **45**: 11-16. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0011>.
- Shim, KB, Ha KS, Yoon HD, Lee TS and Kim JH. (2012) Impact of pollution sources on the bacteriological water quality in the Yongnam-Gwangdo shellfish growing area of western Jinha bay, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **45**: 561-569. Retrieved from <http://doi.org/10.5657/kfas.2012.0561>.
- Shin, S.B., Choi W.S., Lee J.H., and Lim, C.W. (2021) Evaluation of the Effect of the Inland Pollution Source on Seawater and Oyster (*Crassostrea gigas*) after Rainfall in the Kamak Bay, Korea *Korean Journal of Malacology*, **37**(3): 113-123 Retrieved from <https://doi.org/10.9710/kjm.2021.37.3.113>.
- US FDA (2019) National Shellfish Sanitation Program, Guide for the control of molluscan shellfish. U.S. Food and Drug Administration, Silver Spring. Retrieved from <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/FederalStateFoodPrograms/ucm2006754.htm>.

