

# 강우 영향에 의한 육상오염원이 자란만·사량도해역의 해수 및 굴 (*Crassostrea gigas*) 에 미치는 영향평가

남기호, 정상현<sup>1</sup>, 윤민철, 김지훈, 조성래, 이장원, 하광수

국립수산과학원 남동해수산연구소, <sup>1</sup>국립수산과학원 연구기획과

## Evaluation of the Effect of the Inland Pollution Source on Seawater and Oyster (*Crassostrea gigas*) after Rainfall in Jaranman · Saryangdo Area, Korea

Ki-Ho Nam, Sang Hyeon Jeong<sup>1</sup>, Minchul Yoon, Ji Hoon Kim, Sung Rae Jo, Jang Won Lee,  
and Kwang Soo Ha

Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Korea  
<sup>1</sup>R&D Planning and Coordination Department, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

### ABSTRACT

In this study, we evaluated the effect of inland pollution sources on sea water and oyster (*Crassostrea gigas*) in Jaranman · Saryangdo area after rainfall events. We analyzed the sanitary indicator microorganism such as coliform group, fecal coliform and *Escherichia coli* (*E. coli*) in the discharge water of major inland pollutants, sea water and oyster for 3 days after 24.5, 50.0 and 67.5 mm rainfall events. As the rainfall in this area became increased, the range of fecal coliform of 15 contaminants was increased gradually (24.5 mm; 4.5-54,000 MPN/100mL, 50.0 mm; < 1.8-92,000 MPN/100mL, 67.5 mm; 49-240,000 MPN/100mL). However, the range of radius of impacted area of 15 contaminants was decreased and getting better for 3 days. The peak pollution was observed in the Yongho-village domestic waste water. The calculated impact area of inland pollution sources was 0.03 km<sup>2</sup> immediately after 24.5 mm rainfall and expanded to 0.2 km<sup>2</sup> after 67.5 mm rainfall. These calculations of impacted area matched results from fecal coliform analyses with sea water. According to the evaluation of the influences of inland pollution sources and fecal coliform analyses on sea water and oyster this area, pollutants from inland sources did not reach the boundary line of the oyster growing area after rainfall events. The bacteriological water quality of the oyster growing this area met the Korea standard and US NSSP requirements for approved oyster growing area. And the *E. coli* level of oyster at 10 station in the designated area was met the EU regulation and the limit of raw oyster in Korea with ranged from < 18 to 230 MPN/100g.

**Keyword** : Jaranman · Saryangdo, Rainfall, fecal coliform, *E. coli*

### 서론

연안해역에서 주로 서식 및 양식되고 있는 패류는 이동성이

거의 없고 육상에서 유입되는 생활하수, 하천수 등으로부터 영양염류를 먹이로 섭취하기 때문에 주변 해수에서 부유하는 세균, 바이러스 등 생물학적 위해요소 등에 쉽게 오염될 수 있는 특징이 있어 위생적인 관리가 매우 중요하다. (Jensen, 1996; Wallace *et al.*, 1999; Feldhusen, 2000; Hold *et al.*, 2001). 즉, 해역에서 오염물질이 흘러 들어오면 패류는 영양분을 흡수하기 위하여 여과섭식 방식으로 오염물질을 체내에 축적하게 된다 (Potasman *et al.*, 2002; Iwamoto *et al.*, 2010). 또한 오염에 원인인 되는 강우는 패류생산해역의 세균학적 수질에 큰 영향을 미치는 요인으로 작용하기에 육상으로부터 발생하는 오염물질들을 해역으로 운반하는 중요한 매개

Received: November 22, 2022; Revised: December 20, 2022;  
Accepted: December 31, 2022  
Corresponding author: Kwang Soo Ha  
Tel: +82 (55) 640-4760, e-mail: ksha@korea.kr  
1225-3480/24827

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.

체로 알려져 (Sayler *et al.*, 1975) 있으며 해역으로 유입되는 오염원 중 강우에 따른 영향으로 해역으로 흘러가는 해수 및 패류에서 분변계대장균 농도가 높아지는 경향이 있다 (Park *et al.*, 2010; Yoo *et al.*, 2010; Shin *et al.*, 2021).

자란만·사랑도해역은 경남 고성군과 통영시에 걸쳐 위치하고 있으며, 1973-1974년 및 1983년에 실시한 위생조사결과를 근거로 1984년 5월 수면적 9,492 ha가 지정해역 제2호로 설정되었다. 북쪽으로는 경상남도 고성군 삼산면과 하일면, 그리고 남서쪽으로는 통영시 사랑도의 해안선과 접해있으며, 약 30 km<sup>2</sup>의 크기이다 (NIFS 2021). 한편, 우리나라는 미국과 EU, 일본 등의 국가와 위생협정을 체결하여 패류를 수출하고 있으며 농수산물관리법에 근거하여 수출이 가능한 해역을 수출용패류생산지정해역 (이하 지정해역) 으로 지정하여 관리하고 있다. 또한 해양수산부의 한국패류위생계획에 근거하여 해당 해역에 대한 해수 및 패류의 정기적인 위생조사 및 육·해상 오염원에 대한 현황파악과 영향평가를 하도록 규정되어 있다 (MOF, 2019; MOF, 2021). 본 연구의 대상해역인 자란만·사랑도해역은 위생관리를 위하여 지정해역 및 주변해역의 해수 및 패류에 대한 세균학적 조사를 연중 매월 1회 실시하고 있으며 조사해역의 배수유역에 존재하는 직·간접적인 오염원인 하천수, 생활하수, 식품공장 방류수 및 육상 축양장 방류수 등에 대한 전체적인 오염원 조사를 정기적으로 실시하여, 이들 오염원이 해역의 수질에 미치는 영향에 대한 평가를 실시하고 있다. 또한 우리나라의 지정해역 7개소는 대미수출패류에 대하여 강우량에 따른 채취제한 기준이 설정되어 있으며, 자란만·사랑도해역의 경우 강우량이 15-22 mm 범위에서는 1일 (24시간), 22-50 mm에서는 4일 (96시간) 그리고 50 mm를 초과하는 경우에는 7일 (168시간) 동안 패류 채취를 금지하고 있다 (MOF 2019). 현행의 채취금지 기준은 십여년 전 실시되던 조사결과를 근거로 하고 있으며, 최근 동 해역 주변 육상에는 하수처리장이 추가로 신설되어 가동 중이며, 해상에는 바다공중 화장실 등 오염을 저감화하는 여러 가지 관리 대책이 추진된 바 있다.

따라서 본 연구에서는 강우 후, 자란만·사랑도해역 주변 육상오염원이 해역의 위생상태에 미치는 영향을 평가하고, 강우량에 따른 해수와 패류의 위생상태를 확인하여, 향후 패류의 안전성을 확보할 수 있는 패류 채취 금지 조건을 확립하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 시료채취

강우에 따른 자란만·사랑도해역에 미치는 위생상태를 평가하기 위하여 육상에서 유래하는 주요 오염원들의 이동경로에

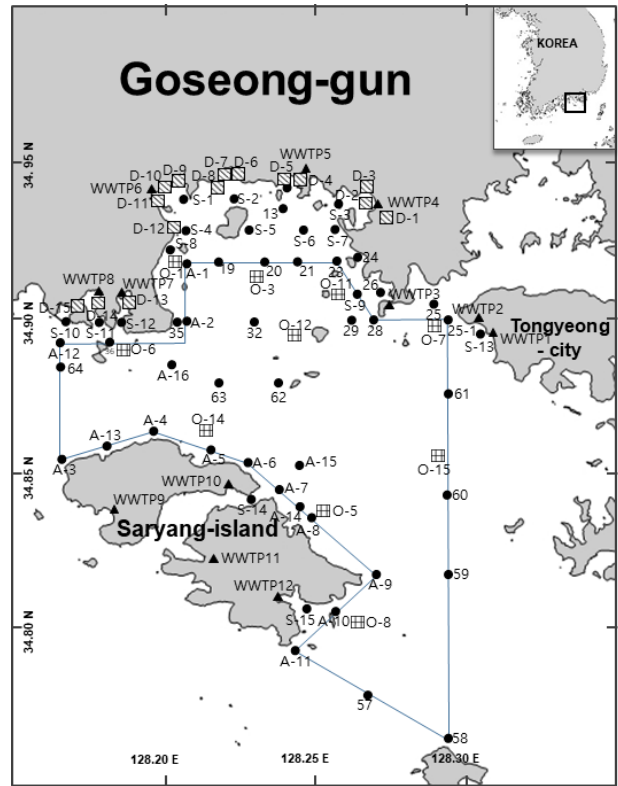


Fig. 1. Sampling stations in Jaranman·Saryagdo area: ●, Seawater; ▣, Oyster; ▤, Pollution source; ▲, Waste treatment plant; -, Designated area.

해수 및 패류 조사지점을 설정하여 해수 54개소, 굴 10개소를 설정하였으며, 각 시료 채취지점은 해안선 조사결과 등을 고려하여 선정하였다. 즉, 굴의 조사지점은 굴 양식장이 다수 분포되어 있고, 자란만·사랑도해역 경계선에서 가까운 어장을 대상으로 선정하였다. 해수시료는 지정해역은 물론 육상 오염원과 지정해역 사이의 완충해역에 위치한 기존의 위생조사 지점과 추가 설정한 조사지점에서 채취하였다. 또한 자란만·사랑도해역의 주변에 위치한 육상오염원들 중 현재 ‘경남일원 수출용패류생산해역 위생조사’ 연구사업으로 수행하고 있는 주요 육상오염원 8개소를 비롯하여, 2019년 육상오염원 전수조사 결과를 바탕으로 분변오염도가 높거나, 방류수의 유량이 많은 오염원 또는 거주 인구가 많은 마을의 생활하수 배출구 등 지정해역에 영향을 줄 수 있는 육상오염원 7개소를 추가로 선정하여 총 15개소의 육상오염을 조사 정점으로 선정하였다 (Fig 1).

분석시료는 24.5, 50.0 및 67.5 mm의 강우가 발생한 2020년 10월, 2021년 3월 및 10월에 강우 발생 후 3일 동안 24시간 간격으로 무균처리된 용기에 채취하여 저온상태로 실험실까지 운반하여 6시간 이내에 실험에 사용하였다. 조사지점에 대한 유량은 유속계 (HACH portable Flowmeter, Model FH950.1, USA) 를 사용하여 측정하였다.

**Table 1.** Medium and culture condition for Microbiological analysis

Items	Procedure	Medium and Temp.	Reference
Coliform group	Presumptive test	Lauryl Tryptose Broth (Difco, USA), (35 ± 0.5) °C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	APHA 1970
	Confirmed test	Brilliant Green Bile Lactose broth (Difco, USA), (35 ± 0.5) °C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	
Fecal coliform	Presumptive test	Lauryl Tryptose Broth (Difco, USA), (35 ± 0.5) °C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	APHA 1970
	Confirmed test	EC broth (Difco, USA), (44.5 ± 0.2) °C, (24 ± 2) hr	
<i>E. coli</i>	Presumptive test	Mineral modified glutamate medium (Oxoid, US), (37 ± 1) °C, (24 ± 2) hr	ISO/TS, 16649-3:2015
	Confirmed test	Tryptone bile glucuronide agar (Oxoid, US), (44.5 ± 1) °C, (22 ± 2) hr	
MSC	Mixed tryptone agar	(with yeast extract, glucose, NaCl, CaCl <sub>2</sub> , 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/100mL) × Conversion (Liter to milliliter; 1,000 mL/L) × Conversion (Min per day; 1,440 min/day) × Flow (L/min)
Dilution water required (m <sup>3</sup> /day)	Determine loading (MPN/day) / [Standard (14 MPN/100mL) × Conversion (Milliliter to m <sup>3</sup> ; 100,000 mL/m <sup>3</sup> )]
Area required (m <sup>2</sup> /day)	Dilution water required (m <sup>3</sup> /day) / Average depth (m)
Radius of half-circle (m)	Area required (m <sup>2</sup> /day) × 2 / 3.14

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

분석시료에 대한 대장균군 (Total coliform), 분변계대장균 (Fecal coliform) 및 대장균 (*Escherichia coli*) 분석은 Recommended Procedures for the Sea Water and Shellfish (APHA, 1970) 의 방법에 따라 시험하였다. 대장균군 및 분변계대장균은 최확수법 (Most Probable Number, MPN) 으로 나타내었으며, 콜리파지는 Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2015) 를 참고하여 한천중천법으로 분석하였다 (Table 1).

**3. 육상오염원 영향평가**

해역으로 직접 유입되는 하천, 생활하수 등의 오염원에 대한 해역 영향평가는 National Shellfish Sanitation Program (NSSP) Guide for the Control of Molluscan Shellfish (US FDA, 2009) 에 근거하여 실시하였다. 각 오염원에 대한

분당 배출량과 분변계대장균수를 이용하여 하루 동안 해역으로 유입되는 총 분변계대장균수를 산출하였으며, 육상오염원이 해역에 미치는 영향범위의 계산은 미국 NSSP에서 지정해역 해수 기준으로 사용하고 있는 분변계대장균이 14 MPN/100mL 이하로 희석되는데 요구되는 해수의 면적과 반경으로 계산하였다. 즉, 조사해역의 수심을 고려하여 해수의 양을 포함하는 구역의 면적 (Area required) 및 반경 (Radius of half-circle) 을 산출하였으며 조사지점과 거리를 확인하여 최종적으로 오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하였다 (Table 2).

**결과 및 고찰**

**1. 강우 발생에 따른 육상오염원 영향평가**

육상오염원이 강우 발생에 따라 해역에 미치는 영향을 살펴보고자 24.5, 50.0 및 67.5 mm의 강우가 발생 후 자란만·사량도해역 배수유역에 분포한 하천, 생활하수 및 하수처리시

**Table 3.** Calculated impacted area in the Jaranman · Saryangdo area after 24.5 mm rainfall event

station (Type) <sup>1)</sup>	Rainfall (mm)	Day after rainfall	Flow rate (L/min)	Fecal coliform (MPN/100mL)	Determine loading (MPN/day)	Dilution water required (m <sup>3</sup> )	Area required (m <sup>2</sup> )	Radius of half-circle (m)
D1- D3*	24.5	1	3,767.4	1,300-5,400	$1.6 \times 10^{11}$	1,111,351	555,675	595
		2	2,873.0	490-1,700	$4.9 \times 10^{10}$	352,983	470,645	548
		3	2,037.2	70-490	$7.6 \times 10^9$	54,266	542,662	588
	50.5	1	11,590.5	130-3,300	$8.6 \times 10^{10}$	616,101	466,743	545
		2	3,896.7	< 1.8-79	$1.5 \times 10^9$	10,680	106,801	261
		3	3,602.6	4.5-170	$3.4 \times 10^9$	24,191	120,957	278
	67.5	1	13,403.0	490-49,000	$8.3 \times 10^{11}$	5,934,651	1,869,182	1,091
		2	11,807.2	490-17,000	$5.9 \times 10^{11}$	4,216,363	1,756,818	1,058
		3	5,961.5	460-7,000	$1.0 \times 10^{11}$	711,875	474,583	550
D4- D5*	24.5	1	2,088.0	79-5,400	$6.9 \times 10^{10}$	491,478	558,498	596
		2	1,575.0	170-340	$5.1 \times 10^9$	36,100	300,832	438
		3	1,739.8	13-130	$1.5 \times 10^9$	10,796	107,961	262
	50.5	1	4,798.9	130-1,300	$2.3 \times 10^{10}$	161,538	461,536	542
		2	4,705.6	11-110	$1.4 \times 10^9$	10,130	101,304	254
		3	4,056.3	7.8-70	$8.3 \times 10^8$	5,929	59,286	194
	67.5	1	13,541.1	140-4,900	$1.6 \times 10^{11}$	1,108,684	908,757	761
		2	8,490.2	140-1,100	$3.4 \times 10^{10}$	240,098	480,196	553
		3	6,149.8	170-330	$1.7 \times 10^{10}$	122,564	306,411	442
D6- D8	24.5	1	954.1	330-54,000	$1.5 \times 10^{11}$	1,101,100	815,630	721
		2	565.0	130-2,200	$4.6 \times 10^9$	32,826	273,547	417
		3	295.0	170-7,900	$9.5 \times 10^9$	67,531	270,127	415
	50.5	1	1,943.2	79-24,000	$1.5 \times 10^{11}$	1,069,599	668,499	653
		2	1,285.5	33-79,000	$2.1 \times 10^{11}$	1,503,526	957,660	781
		3	1,834.4	120-92,000	$3.1 \times 10^{11}$	2,207,864	1,003,575	800
	67.5	1	2,656.0	330-11,000	$2.0 \times 10^{11}$	1,399,868	777,705	704
		2	1,123.4	170-4,900	$3.0 \times 10^{10}$	213,445	304,921	441
		3	644.0	2,300-4,900	$3.4 \times 10^{10}$	241,311	321,749	453
D9- D11*	24.5	1	2,351.0	790-16,000	$2.1 \times 10^{11}$	1,476,777	843,873	733
		2	1,428.0	790-13,000	$5.4 \times 10^{10}$	386,113	371,262	486
		3	931.7	49-3,300	$2.6 \times 10^{10}$	184,673	297,860	436
	50.5	1	4,161.6	13-3,300	$6.2 \times 10^{10}$	439,842	462,992	543
		2	1,632.1	< 1.8-460	$7.3 \times 10^9$	52,105	248,119	398
		3	1,098.0	< 1.8-230	$1.1 \times 10^9$	8,027	80,269	226
	67.5	1	4,370.7	490-4,900	$2.3 \times 10^{11}$	1,614,177	870,176	745
		2	2,297.5	49-1,300	$1.7 \times 10^{10}$	121,024	242,049	393
		3	1,552.9	49-7,900	$6.1 \times 10^{10}$	435,633	396,030	502
D12	24.5	1	15.1	1,300	$2.8 \times 10^8$	2,022	10,109	80
		2	Dried	330	-	-	-	-
		3	Dried	4.5	-	-	-	-
	50.5	1	137.7	3,300	$6.5 \times 10^9$	46,739	233,697	386
		2	129.6	490	$9.1 \times 10^8$	6,532	5,938	62
		3	Dried	2,200	-	-	-	-
	67.5	1	18.0	240,000	$6.2 \times 10^{10}$	444,343	321,988	453
		2	44.1	170,000	$1.1 \times 10^{11}$	771,819	192,955	351
		3	25.2	46,000	$1.7 \times 10^{10}$	119,232	59,616	195
D13	24.5	1	891.0	280	$3.6 \times 10^9$	25,661	128,304	286
		2	59.0	330	$2.8 \times 10^8$	1,986	19,857	112
		3	504.0	49	$3.6 \times 10^8$	2,540	25,402	127
	50.5	1	229.5	460	$1.5 \times 10^9$	10,859	54,293	186
		2	104.0	33	$4.9 \times 10^7$	353	3,531	48
		3	74.9	11	$1.1 \times 10^7$	85	847	23

D14- D15*	67.5	1	600.0	3,300	$2.9 \times 10^{10}$	203,657	299,496	437
		2	273.4	490	$1.9 \times 10^9$	13,778	125,258	283
		3	195.8	3,300	$9.3 \times 10^9$	66,471	265,886	412
	24.5	1	5,114.3	2,200-4,900	$1.7 \times 10^{11}$	1,199,772	1,199,772	874
		2	4,309.0	130-2,200	$1.1 \times 10^{10}$	80,003	516,150	573
		3	4,137.0	7.8-1,300	$1.3 \times 10^9$	9,300	93,000	243
	50.5	1	5,948.4	270-330	$2.8 \times 10^{10}$	200,780	717,072	676
		2	3,265.8	33-790	$2.6 \times 10^9$	18,560	185,599	344
		3	2,702.1	13-33	$5.3 \times 10^8$	3,376	37,668	155
67.5	1	5,921.3	490-4,900	$5.5 \times 10^{10}$	390,111	650,186	644	
	2	3,746.1	490-23,000	$8.8 \times 10^{10}$	629,474	899,249	757	
	3	2,921.4	49-3,300	$4.3 \times 10^9$	30,540	305,402	441	

설에 대한 방류수 위생지표 세균의 변화를 확인하였다.

2019년에 실시한 육상오염원 전수조사 결과를 바탕으로 분변오염도가 높거나, 방류수 유량이 많은 오염원 또는 거주 인구가 많은 마을 생활하수 배출구 등 지정해역에 영향을 미칠 가능성이 높은 15개소의 육상오염원 (하천 8, 생활하수 7) 을 선정하여 영향을 평가하였다. 24.5 mm 강우 후 3일간 주요 오염원 15개소의 방류수에서 검출된 분변계대장균의 농도와 영향반경은 4.5-54,000 MPN/100mL 및 80-874 m로 확인되었으며, 15개 지점 모두 자란만·사량도해역에 설정된 지정해역 경계까지 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다 (Table 3, Fig. 2-4). 조사지점 D6-D8 구간에서 분변계대장균의 농도가 강우 1일 후, 상대적으로 높았으나 시간이 지남에 따라 모든 조사지점에서와 마찬가지로 점차 낮아졌으며, 영향반경 또한 점차 줄어들었다. 50.0 mm 강우 후 주요 오염원 15개소의 방류수에서 검출된 분변계대장균의 농도와 영향반경은 < 1.8-92,000 MPN/100mL 및 80-800 m로 확인되었으며 24.5 mm 강우보다 분변계 대장균의 농도는 높게 나타났다. 특히, 조사지점 D6-D8에서 강우 후 3일까지 분변계대장균 및 영향범위가 증가하였으며 이는 강우에 의한 방류수의 유량 또는 분변계대장균의 농도가 일시적으로 증가하였기 때문이다. 67.5 mm 강우 후, 주요 오염원 15개소의 방류수에서의 분변계대장균 농도와 영향반경은 49-240,000 MPN/100mL 및 195-1,091 m로 확인되었으며, 강우량이 증가함에 따라 모든 조사지점에서 24.5 mm 및 50.0 mm 강우 후보다 분변계대장균 및 영향범위가 전체적으로 증가한 것으로 나타났다. 하지만 강우 후 시간이 지남에 따라 24.5 mm 및 50.0 mm 경우와 마찬가지로 점차 감소되었다. 이전의 연구에 따르면 거제만해역의 진기, 15, 21 mm 강후 후 강우량이 증가함에 따라 하천, 소하천, 생활하수 방류수의 유량은 점차 증가하였으나, 시간이 경과함에 따라 유량은 점차 감소하였으며, 분변계대장균은 강우 후 보다 24시간 경과 후에서 증가하였다. 이는 시간이 경과함에 따라 유량이 감소하면서 상대적으로 분변계대장균의 농도가 높아진 결과로 판단하였다 (Ha *et al.*, 2021). 강우량이 증가함에 따라 주요 육상오염의 오염량이 증가되었으나 그 영

향범위가 지정해역에는 영향을 미치지 않는 범위보다 넓어지는 것으로 확인되었다. 자란만·사량도해역 배수유역에 위치하고 있는 하수처리장은 12개소로 하수도법 시행 규칙의 공공하수처리시설·간이공공하수처리시설의 방류수 수질기준에 따라 대장균군 3,000 CFU/mL (300,000 MPN/100mL)의 기준이 적용된다. 24.5, 50.0 및 67.5 mm의 강우 발생 후 3일간의 12개소 하수처리장시설 방류수에서 검출된 대장균군은 < 1.8-160,000, < 1.8-24,000 및 < 1.8-17,000 MPN/100mL로 하수도법의 기준을 충족하는 것으로 나타났다 (Table 4). 하지만 강우 후 분변계대장균의 농도는 각각 < 1.8-92,000, < 1.8-24,000 및 < 1.8-9,200 MPN/100mL로 강후 후 1일에서 모두 높은 분변계대장균의 농도를 보였으며 2일부터 점차 감소하여 방류수의 수질이 개선되는 것으로 확인되었다. 각각의 강우량에 따른 자란만·사량도해역의 영향반경은 4-629 m, 0.4-731 m, 4-423 m로 조사되었으며 강우량이 50.0 mm 일 때, 진촌하수처리장의 영향이 731 m로 높게 나타났다. 하지만 W10 인근에 위치한 S-10 지점의 해수의 분변계대장균의 농도를 살펴 본 결과 < 1.8를 보임에 따라 강우로 인한 지정해역에 대한 영향은 해역까지 미치지 않는 것으로 판단된다. 또한 강우 후 1일차의 시료에서 대부분 높은 농도의 분변계 대장균이 검출되었으며 강우량이 증가할수록 더욱 높게 나타났다. 이는 강우량이 증가할수록 하수 관로에 우수의 유입 등으로 인해 하수처리시설의 효율이 감소함에 따라 분변계대장균의 농도가 증가하는 것으로 판단되며 (shin *et al.*, 2021) 2일부터는 점차 감소되었다. 하지만 강우량이 증가할수록 하천, 생활하수 및 하수처리장 방류수에서 해역으로 유입되는 오염원의 총량이 증가함으로 하수처리 구역의 확대 및 처리장의 신설과 우수 유입 관로에 대한 보수공사가 요구되며, 분변계대장균이 높게 나타난 하수처리장의 자외선 소독시설 증대 및 적절한 관리가 요구된다.

## 2. 강우 발생에 따른 해수의 위생상태 변화

24.5, 50.0 및 67.5 mm의 강우 발생에 따른 자란만·사량도해역의 지정해역 내에 위치한 33개 조사정점에서 검출된 분

강우 영향에 의한 육상오염원이 자란만·사량도해역의 해수 및 굴 (*Crassostrea gigas*) 에 미치는 영향평가

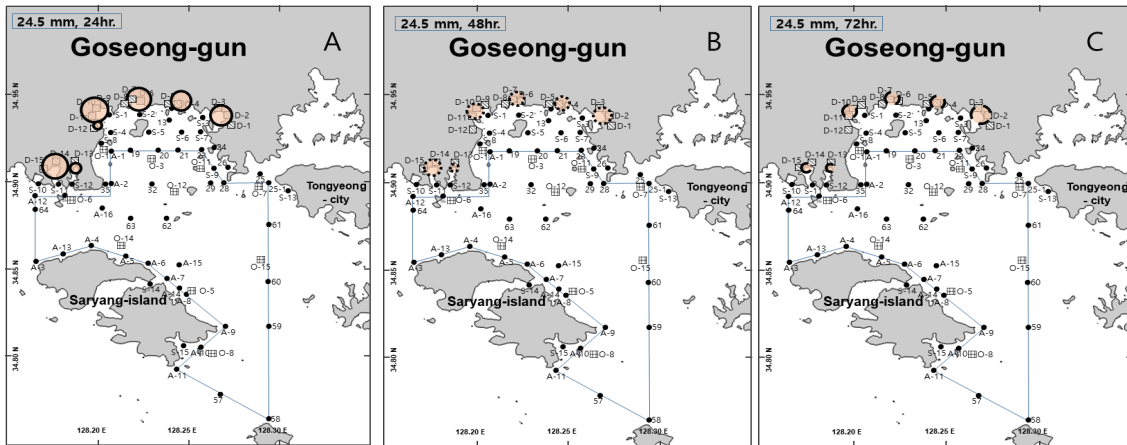


Fig. 2. The estimated diffusion range of the contaminants to coastal area in Jaranman · Saryangdo area 24.5 rainfall; A, After 24 hr; B, After 48 hr; C, After 72 hr.

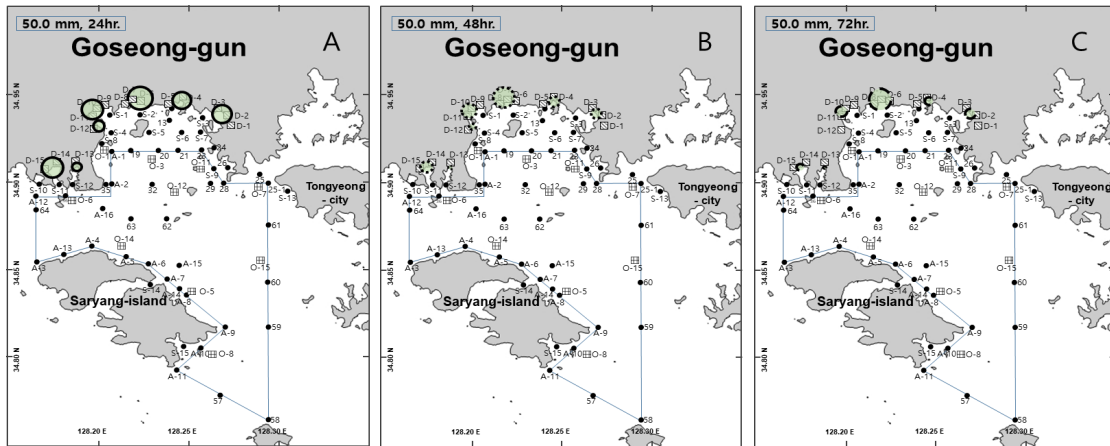


Fig. 3. The estimated diffusion range of the contaminants to coastal area in Jaranman · Saryangdo area 50.0 rainfall; A, After 24 hr; B, After 48 hr; C, After 72 hr.

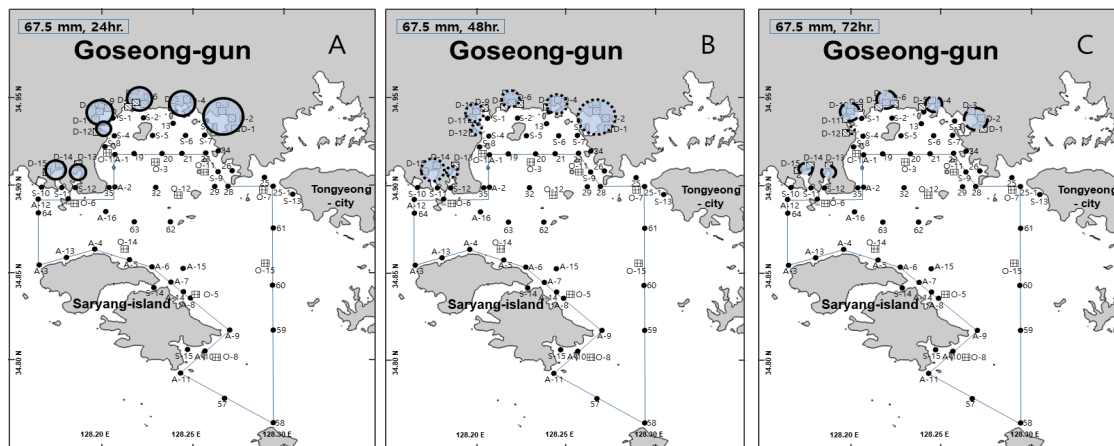


Fig. 4. The estimated diffusion range of the contaminants to coastal area in Jaranman · Saryangdo area 67.5 rainfall; A, After 24 hr; B, After 48 hr; C, After 72 hr.

**Table 4.** Result of bacteriological analysis for waste water treatment plants (WWTPs) samples in the drainage basin of Jaranman · Saryangdo area under the wet weather condition

Station (Type) <sup>1)</sup>	Rainfall	Results (24.5, 50.0, 67.5 mm rainfall)				
		Day after rainfall	Coliform group (MPN/100mL)	Fecal coliform (MPN/100mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100mL)	MSC <sup>1)</sup> (CFU/100mL)
W1	24.5	1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	2.0	1.8	1.8	< 10
	50.0	1	33	23	23	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
	67.5	1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	49	49	49	< 10
W2	24.5	1	7,000	7,000	7,000	< 10
		2	1,300	790	790	< 10
		3	2,400	2,400	2,400	< 10
	50.0	1	230	49	49	< 10
		2	790	230	230	< 10
		3	350	130	130	< 10
	67.5	1	170	79	33	20
		2	13,000	3,300	2,300	240
		3	3,300	3,300	3,300	70
W3	24.5	1	160,000	92,000	54,000	< 10
		2	33	< 1.8	11	< 10
		3	46	13	7.8	< 10
	50.0	1	490	330	330	< 10
		2	4.5	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	6.8	< 1.8	< 1.8	< 10
	67.5	1	16,000	9,200	9,200	20
		2	4,900	4,900	4,900	30
		3	1,700	330	330	< 10
W4	24.5	1	22	4.5	2.0	< 10
		2	4.0	4.0	4.0	< 10
		3	4.5	4.5	2.0	< 10
	50.0	1	79	49	49	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	330	130	130	< 10
	67.5	1	170	130	130	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	230	5.0	5.0	< 10
W5	24.5	1	< 1.8	2.0	< 1.8	< 10
		2	2.0	2.0	2.0	< 10
		3	23	23.0	23.0	< 10
	50.0	1	33	33	33	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
	67.5	1	< 1.8	130	130	< 10
		2	330	230	230	< 10
		3	330	110	110	< 10

강우 영향에 의한 육상오염원이 자란만·사랑도해역의 해수 및 굴 (*Crassostrea gigas*) 에 미치는 영향평가

W6	24.5	1	2.0	1.8	1.8	< 10	
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10	
		3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10	
	50.0	1	4.5	2.0	2.0	< 10	
		2	33	17	17	< 10	
		3	33	23	23	< 10	
	67.5	1	79	49	33	< 10	
		2	79	49	49	< 10	
		3	3,300	790	790	60	
	W7	24.5	1	240	240	130	< 10
			2	13	2.0	2.0	< 10
			3	2.0	2.0	2.0	< 10
50.0		1	330	110	79	< 10	
		2	230	79	79	< 10	
		3	130	49	49	< 10	
67.5		1	490	70	23	< 10	
		2	17,000	7,900	1,700	440	
		3	4,600	4,600	4,600	< 10	
W8		24.5	1	9,200	1,200	950	< 10
			2	4.0	2.0	2.0	< 10
			3	2.0	2.0	2.0	< 10
	50.0	1	790	790	330	< 10	
		2	49	13	13	< 10	
		3	2	2	2	< 10	
	67.5	1	23	< 1.8	< 1.8	< 10	
		2	79	33	17	< 10	
		3	2.0	2.0	2.0	< 10	
	W9	24.5	1	280	220	170	< 10
			2	23	2.0	< 1.8	< 10
			3	2.0	2.0	2.0	< 10
50.0		1	24,000	24,000	24,000	680	
		2	13	2.0	2.0	< 10	
		3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10	
67.5		1	130	49	49	< 10	
		2	17	2.0	2.0	< 10	
		3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10	
W10		24.5	1	490	230	230	< 10
			2	33	7.8	4.5	< 10
			3	6.8	4.0	4.0	< 10
	50.0	1	490	330	330	< 10	
		2	170	110	110	< 10	
		3	170	79	79	< 10	
	67.5	1	4,300	4,300	4,300	250	
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10	
		3	2.0	< 1.8	< 1.8	< 10	



W11	24.5	1	6.8	4.5	4.5	< 10
		2	17	6.8	6.8	< 10
		3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
	50.0	1	170	110	49	< 10
		2	79	33	33	< 10
		3	4.5	2.0	2.0	< 10
	67.5	1	240	130	49	< 10
		2	230	230	33	< 10
		3	33	13	5.0	< 10
W12	24.5	1	49	33	33	< 10
		2	13	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
	50.0	1	9.3	6.8	6.8	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
	67.5	1	220	33	< 1.8	< 10
		2	220	22	22	< 10
		3	490	49	< 1.8	< 10

변계대장균의 농도는 각각 < 1.8-4.5, < 1.8-2.0 및 < 1.8-9.3 MPN/100mL로 나타났다. 21개의 주변해역의 경우 각각 < 1.8-1.8, < 1.8-2.0 및 < 1.8-7.8 MPN/100mL로 검출되었다 (Table 5). 본 연구결과 각 강우량에 따른 자란만·사량도 해역 내의 해수에서는 양호한 위생 상태를 나타내었으며, 미국 및 우리나라의 수질기준을 만족하는 것으로 나타났으며 지정해역에는 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 67.5 mm 강우시 3일차의 해수에서 분변계대장균의 농도는 < 1.8-9.3 MPN/100mL로 통영시 도산면 서촌마을 인근에 위치한 주변해역 해수 조사정점인 25-1번이 다소 높게 나타났으며 이는 강우의 영향보다는 비점오염원에 의한 일시적인 상승으로 판단된다. 67.5 mm 강우 후, 육상오염원 영향평가에서 D1-D3 지점의 영향반경이 550-1,091 m로 넓게 나타남에 따라 주변해역에 영향을 미칠 수 있는 것으로 평가되었으나, 인근 해수 S-3의 조사지점의 분변계대장균의 농도가 < 1.8-7.8 MPN/100mL로 지정해역 수준인 것으로 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 농도는 점차 낮아졌다. 또한 통영시 도산면 서촌마을 인근에 위치한 해수 조사지점인 25-1 지점에서 < 1.8-9.3 MPN/100mL로 다른 지점에 비해 다소 높게 검출되었으나 이는 강우에 의한 일시적인 비점오염에 의한 영향으로 판단되며 지정해역에 영향을 줄 정도의 농도는 아니었다. 이전의 동 해역의 월별 모니터링 결과 (2019.1-2022.9), 분변계대장균 농도가 < 1.8-9.3 MPN/100mL로 나타났으며, 오염원 배출수에 의한 지정해역 오염은 없는 것으로 확인되었다. 미국의 패류 위생관리 프로그램 (National Shellfish Sanitation Program, NSSP) 에 준

하여 30회 이상의 모니터링을 수행하여 해수에서 검출되는 분변계대장균의 기하학적 평균치가 14 MPN/100mL 미만이고 90th percentile 값이 43 MPN/100mL 이하 (또는 43을 초과하는 시료가 10% 미만) 인 해역을 허가해역으로 분류하며, 우리나라는 기하학적 평균이 14 MPN/100mL 미만일 경우를 지정해역 수준으로 평가한다 (U.S. FDA. 2016; MOF, 2021b). 이상의 조사결과에서 24.5, 50.0 및 67.5 mm의 강우 후 자란만·사량도해역 해수의 분변계대장균 농도는 시간이 경과함에 따라 점점 낮아져 지정해역 내 해수의 위생상태는 양호한 것으로 확인되었다.

### 3. 강우 발생에 따른 패류 (굴) 의 위생상태 변화

강우 발생에 따른 해수의 오염 증가가 굴의 위생 상태에 미치는 영향을 확인하기 위해 지정해역 내에 육상오염원의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 위치에 10개의 패류 조사정점을 설정하여 채취한 시료에 대한 세균학적 분석을 수행하였다.

24.5, 50.0 및 67.5 mm의 강우 후, 굴에서 검출된 *E. coli* 의 농도는 각각 < 18-45, < 18-78 및 < 18-230 MPN/100g으로 나타났다. 강우량에 따른 조사 결과, 모든 정점에서 채취된 패류는 식품위생법 식품의 기준 및 규격 (MFDS, 2019) 에서 규정하는 생식용 생굴은 230 MPN/100g을 초과하지 않아야 한다는 기준을 만족하는 것으로 확인되었다. 또한 EU의 규정에 따르면 30회 이상의 조사결과에서 *E. coli* 농도가 모든 시료에서 700 MPN/100g을 초과하지 않고, 80% 이상이 230 MPN/100g을 초과하지 않는 해역을 A 등급으로 분류하고 있

**Table 5.** Result of Fecal coliform analysis for seawater samples in the Jaranman · Saryangdo area under the wet weather condition

station	Fecal coliform (MPN/100mL)								
	Day after 24.5 mm rainfall event			Day after 50.0 mm rainfall event			Day after 67.5 mm rainfall event		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
19	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8
20	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
21	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8
23	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
28	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0
29	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
32	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
36	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
57	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
58	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
59	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
60	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
61	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
62	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
63	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
64	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
25-1	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	9.3
A1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A10	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A11	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8
A12	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A13	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A14	2.0	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A15	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A16	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	1.8	< 1.8
A2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A6	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A7	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
A9	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	2.0	4.5
13	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	4.5	< 1.8	< 1.8
24	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8
25	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8
26	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
35	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	1.8	< 1.8	< 1.8
S1	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.0	< 1.8	2.0
S10	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S11	< 1.8	1.8	1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	2.0
S12	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8
S13	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S14	< 1.8	1.8	1.8	< 1.8	1.8	1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S15	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	7.8	< 1.8	< 1.8
S4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S6	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0
S7	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
S9	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8

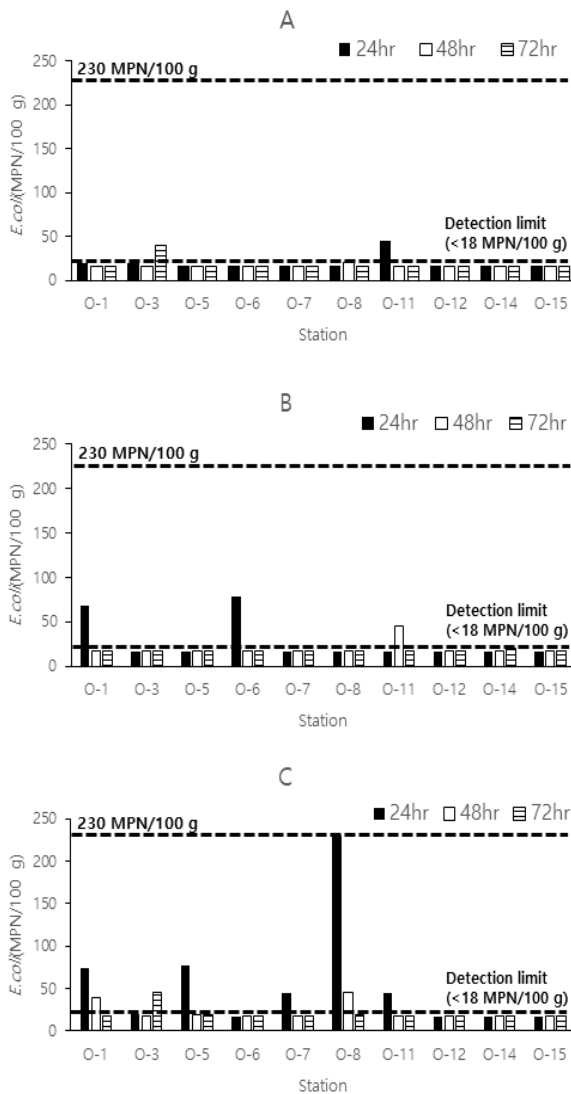


Fig 5. Result of *E. coli* analysis for oyster samples in the Jaranman · Saryangdo area under the wet weather condition; **A**, After 24.5 mm; **B**, After 50.0 mm; **C**, After 67.5 mm.

으며, 이 요건이 충족되는 패류는 생산 즉시 생식용으로 출하가 가능하다 (European Commission, 2015).

현재 한국패류위생계획에 따르면 자란만·사량도해역은 15-22 mm 강우 후에는 1일 (24시간), 22-50 mm 강우 후에는 4일 (96시간), 50 mm 초과한 강우 후에는 7일 (168시간) 동안 수출용 패류에 대한 패류채취가 금지되고 있다. 하지만 본 연구 결과에 따르면, 24.5 mm 강우는 패류의 위생상태에 영향을 거의 미치지 않는 것으로 확인되었으며, 67.5 mm의 강우는 강우 후 1일차에는 6개 조사지점에서 *E. coli* 농도가 20-230 MPN/100g으로 검출되어 영향이 있는 것으로 나타났

고, 3개 지점에서는 3일 후까지 20-45 MPN/100g으로 검출되어 영향이 크지 않았지만 지속되는 것으로 확인되었다. 따라서 자란만·사량도해역에 대한 패류채취 금지는 25-50 mm 강우에서는 1일, 50-70 mm 강우에서는 3일, 70 mm를 초과한 강우 후에는 3일 이상의 패류채취를 제한하는 조건이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

### 요약

자란만·사량도 해역은 패류생산 지정 2호 해역으로서 한국패류위생계획에 따라 해역 내에서 생산되는 패류는 미국 수출용으로 양식 및 채취되고 있으며 이에 채취제한 기준이 설정되어 있다. 본 연구에서는 2020년과 2021년 강우 발생에 따라 육상오염원이 해역에 미치는 영향을 알아보고자 24.5, 50.0 및 67.5 mm 강우에 따른 육상오염원의 유입으로 해수 및 패류의 위생상태를 평가하여 자란만·사량도 해역에서 생산되는 굴의 채취제한 기준에 대해 재평가하고자 하였다. 육상오염원 15개소에서는 67.5 mm 강우 후, 분변계대장균의 농도와 영향반경은 49-92,000 MPN/100mL 및 195-1,091 m로 자란만·사량도 해역에 설정된 지정해역 경계까지 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다. 전체적으로 강우량이 증가함에 따라 주요 육상오염의 오염량이 증가하였으나 영향범위는 지정해역에는 영향을 미치지 않았다. 각각의 강우 발생량에 따른 12개소의 하수처리장 방류수에서 검출된 대장균군의 범위는 < 1.8-160,000, < 1.8-24,000 및 < 1.8-17,000 MPN/100mL로 우리나라 하수도법의 기준을 충족하는 것으로 나타났으나, 분변계대장균의 농도는 < 1.8-92,000, < 1.8-24,000 및 < 1.8-9,200 MPN/100mL로 강우 후 1일에서 모두 높은 분변계대장균의 농도를 보였으나 2일부터 점차 감소되었다. 강우량에 따른 33개 지정해역의 조사지점에서 검출된 해수의 분변계대장균의 농도는 < 1.8-4.5, < 1.8-2.0 및 < 1.8-9.3 MPN/100mL로 나타났으며 21개의 주변해역 해수의 경우, 각각 < 1.8-1.8, < 1.8-2.0 및 < 1.8-7.8 MPN/100mL로 나타나 강우에 따른 큰 증가는 없는 것으로 확인되었다. 지정해역 내에 설정된 10개 조사지점에 대한 굴의 위생상태를 살펴 본 결과, 24.5, 50.0 및 67.5 mm의 강우 후, 검출된 *E. coli*의 농도는 < 18-45, < 18-78 및 < 18-230 MPN/100g으로 나타났으며, 이는 식품위생법의 식품의 기준 및 규격에서 규정하는 생식용 생굴은 230 MPN/100g을 초과하지 않아야 한다는 기준에 적합한 것으로 평가되었다. 전체적으로 강우량이 많을수록 분변계대장균의 농도는 높았으며, 점차 감소하는 경향을 보였다. 자란만·사량도해역에서 패류의 위생상태는 50 mm 이하의 강우 후에는 1일, 67.5 mm 강우에서는 3일 정도 영향을 받는 것으로 확인되었다.

## 사 사

본 연구는 2022년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 (R2022065)의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- APHA (1970) Recommended procedures for the examination of seawater and shellfish. 4<sup>th</sup> 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
- Feldhusen F. (2000) The role of seafood in bacterial food borne disease. *Microbes Infect* 2, 1651-1660. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(00\)01321-6](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(00)01321-6).
- Ha KS, Yoo HD, Shim KB, Kim JH and Lee TS. (2011) Evaluation of the influence of Inland pollution sources on shellfish growing areas after rainfall events in Geoje bay, Korea. *Kor. J. Fish Aquat Sci.*, **44**: 612-621.
- Hold GL, Smith EA, Rappe MS, Mass EW, Moore ERB, Stroempl C, Stephen JR, Prosser JI, Brikbeck TH and Gallacher S. (2001) Characterization of bacterial communities associated with toxic and non-toxic dinoflagellates: *Alexandrium* spp. and *Scrippsiella trochoidea*. *Fems Microbiology Ecology*, **37**: 161-173.
- Iwamoto, M., Ayers, T., Mahon, BE. and Swerdlow, DL. (2010) Epidemiology of seafood-associated infections in the United States. *Clinical Microbiology Reviews*, **23**(2): 399-411. Retrieved from <https://doi.org/10.1128/CMR.00059-09>.
- National Institute of Fisheries Science (NIFS) (2021) Sanitary survey of shellfish growing area in Jaranman · Saryangdo area. No. 11-1192266-000046-12, pp. 1-11. National Institute of Fisheries Science, Busan.
- Park KB, Jo MR, Kwon JY, Son KT, Lee DS and Lee HJ. (2010) Evaluation of the bacteriological safety of the shellfish growing area in the Gangjiman, Korea. *Kor. J. Fish Aquat Sci.*, **43**: 614-622.
- Potasman, I., Paz, A. and Odeh, M. (2002) Infectious outbreaks associated with bivalve shellfish consumption: A worldwide perspective. *Clinical Infectious Diseases*, **35**: 921-928. Retrieved from <https://doi.org/10.1086/342330>.
- Jensen ET. (1996) Shellfish and public health. *J Milk and Food Tech* 19, 281-283.
- MFDS (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 (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) 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.
- MOF (2021b) Sanitary Standard of Water quality in Shellfish growing area. Article 2021-105. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong. Retrieved from <http://www.law.go.kr> on September 3.
- Sayler GS, Nelson JD Jr, Justice A and Colwell RR. (1975) Distribution and significance of fecal indicator organisms in the upper Chesapeake Bay. *Appl. Microbiol.*, **30**: 625-638.
- Shin SB, Choi WS, Lee JH and Lim CH. (2021) Evaluation of the effect of the inland pollution source on seawater and oyster (*Crassostrea gigas*) after rainfall in the Kamak Bay. *Kor. J. Malacol.*, **37**: 113-123.
- US FDA (2016) 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/ucm\\_2006754.htm](https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/FederalStateFoodPrograms/ucm_2006754.htm) on September 5.
- Wallace, B.J., Guzewich, J.J., Cambrige, M., Altekruise, S. and Mores, D.L. (1999) Seafood-associated disease outbreak in New York, 1980-1984, *American Journal of Prevention Medicine*, **17**: 48-54.
- Yoo HD, Ha KS, Shim KB, Kang JY, Lee TS and Kim JH. (2010) Microbiological quality of the shellfish growing waters and mussels in Changseon, Namhae, Korea. *Kor. J. Fish Aquat Sci.*, **43**: 298-306.