

# 강우 발생에 따른 육상 오염원이 가막만의 해수 및 굴 (*Crassostrea gigas*) 에 미치는 영향 분석

신순범, 최우석, 이지희, 임치원

국립수산과학원 남해수산연구소 양식산업과

## Evaluation of the Effect of the Inland Pollution Source on Seawater and Oyster (*Crassostrea gigas*) after Rainfall in the Kamak Bay, Korea

Soon Bum Shin, Woo Suk Choi, Ji Hee Lee and Chi Won Lim

South Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Yeosu 59780, Republic of Korea

### ABSTRACT

In this study, we evaluated the effect of inland pollution sources on seawater and oyster (*Crassostrea gigas*) in Kamak bay 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, seawater and oyster for 3 days after 27.6 and 58.0 mm rainfall events. According to these results, the range of coliform group and fecal coliform was 1.8-540 and <1.8-240 after 27.6 mm rainfall and was from <1.8 to 54,000 and from <1.8 to 9,500 MPN/100 mL after 58.0 mm rainfall in the discharge water of 5 waste water treatment plants. Also The range of fecal coliform and radius of impacted area of 10 contaminants (stream and domestic waste water) was from 63 to 230,000 MPN/100 mL and from 10 to 2,044 m, respectively. The fecal coliform of seawater at 16 stations in the designated area and 19 stations non-designated area ranged from <1.8 to 4.5 and from <1.8 to 540 MPN/100 mL, respectively. And The *E. coli* level of oyster at 5 station in the designated area ranged from <18 to 330 MPN/100 g.

**Key words** : Kamak Bay, Rainfall, Oyster, Fecal coliform, *Escherichia coli*

### 서 론

세계적으로 식품으로 소비되는 수산물의 양은 해마다 늘어 2017년에는 약 15,320 만톤으로 2000년 약 96,000 만톤 보다 58%가 증가하였으며 이는 동물성 단백질의 공급원으로 수산물이 중요한 위치를 차지하고 있음을 확인해 주는 지표라고 한다 (FAO, 2019; NARS, 2020). 또한, 세계적인 수산물 생산량에서 양식 생산량이 차지하는 비중은 1990년대 10% 수준

에서 2018년 기준 46%로 증가하였고 2030년에는 53%로 증가할 것으로 예상되어 수산물 양식의 산업적 가치는 매우 높은 것으로 보고되고 있다 (FAO, 2020a, 2020b).

우리나라 경우 양식 수산업에서 높은 비중을 차지하는 품종은 해조류, 어류 및 패류로 이 중에 내수면을 제외한 천해양식업에서 패류가 차지하는 비중을 2020년 기준으로 확인하면 생산량에서는 약 41 만톤으로 해조류 다음이지만 생산금액에서는 약 1 조원으로 1위를 차지하고 있다. 패류의 종류별로는 굴, 홍합, 전복이 많이 생산되고 있으며 굴이 30 만톤으로 가장 많이 생산되었으며, 생산금액에서는 전복이 약 6,100 억으로 가장 많은 것으로 확인되고 있다 (MOF, 2021a).

이처럼 우리나라 수산업에서 중요한 위치를 차지하는 패류 양식업은 최근 세계적으로 추세와 마찬가지로 소비자들이 패류를 식중독 원인 식품 중 하나로 인식하고 있어 어려움에 직면해 있으며, 특히 굴은 생으로 먹는 식품관에 의해 비브리오톡시노스균과 같은 식중독 사균이 지속적으로 보고되고 있다. 굴은 포함하는 패류는 주로 내만에서 양식되고 있으며, 운

Received: September 12, 2021; Revised: September 22, 2021;  
Accepted: September 28, 2021

Corresponding author: Soon Bum Shin

Tel: +82 (61) 690-8993, e-mail: ssb0716@gmail.com  
1225-3480/24798

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.

동성이 적어 오염에 취약하다. 즉 육·해상 오염원에 의한 오염물질이 해역에 유입되면 영양분을 흡수하기 위한 여과섭식 과정에서 오염물질을 체내에 농축하게 된다 (Potasman *et al.*, 2002; Iwamoto *et al.*, 2010).

이처럼 오염에 노출되기 쉬운 패류는 생산단계에서부터 체계적인 관리가 필요하며 미국이나 EU 등의 선진국은 물론 우리나라에서도 정기적인 모니터링을 통한 위생관리 프로그램이 마련되어 있다. 미국이나 EU에서는 해당 해역의 해수 또는 패류에서 검출되는 분변계대장균이나 *Escherichia coli* (E.coli) 등과 같은 위생지표 세균의 농도에 따라 해역의 등급을 구분하여 즉시 출하 또는 정화나 가공처리 후 출하 등을 하고 있으며 이는 자국의 위생관리 프로그램에서 규정한 위생조사를 근거로 하고 있다 (U.S. FDA, 2016; European Commission, 2015). 특히 미국의 경우 해역에 영향을 미칠 수 있는 오염원은 사전에 파악하여 이러한 오염원이 강우 등의 상황에 따라 부하량이 증가하거나 해역에 영향을 미치는 경우 생산을 제한하거나 채취를 금지하는 관리계획을 수립하여 이행하고 있다.

우리나라는 미국과 EU 등 나라와 위생협정을 통하여 패류를 수출하고 있으며 농수산물품질관리법에 따라 수출이 가능한 패류가 생산되는 해역을 ‘수출용패류생산지정해역’(이하 지정해역)으로 설정하여 패류의 수출을 허용하고 있다. 또한, 이러한 해역은 해양수산부의 한국패류위생계획에 근거하여 관리되고 있으며 동 계획에는 해수 및 패류에 대한 정기적인 위생조사 및 오염원에 대한 관리가 규정되어 있다(MOF, 2019; MOF, 2021b).

본 연구의 대상인 가막만 해역은 주 생산 패류인 굴을 수출하여 위하여 지정해역 4호로 지정된 바 있으며, 국립수산물학원의 정기적인 위생조사 및 오염원 조사가 수행되고 있다 (MOF, 2019). 이전의 연구에서 동 해역의 해수 및 패류(굴 및 피조개)에서 검출되는 위생지표세균의 농도는 수출을 위한 국·내외 규정에 적합한 것으로 확인된 바 있으며, 해역 주변에 산재된 오염원 중 일부 오염원의 오염부하량이 높아 관리가 요구된다고 보고하였다 (Ha *et al.*, 2017; Shin *et al.*, 2019).

해역으로 유입되는 오염원의 방출수가 해역에 미치는 영향은 대부분 강우 발생에 따라 증가하며 이러한 보고는 지정해역인 한산·거제만, 나로도, 창선 해역 등에서 보고된 바 있다 (Ha *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2012; Ha *et al.*, 2013).

이처럼 강우 발생이 오염원이 해역에 미치는 영향을 증가시키기 때문에 우리나라 남해안의 지정해역 7개소는 대미수출 패류에 한하여 강우량에 따른 패류의 채취제한 기준이 설정되어 있으며, 가막만의 경우 15-22 mm 강우는 2일간 (48시간), 22 mm 초과 강우에는 7일간 (168시간) 패류(굴)의 채취가 금지된다 (MOF, 2019). 하지만 이러한 채취제한 기준은

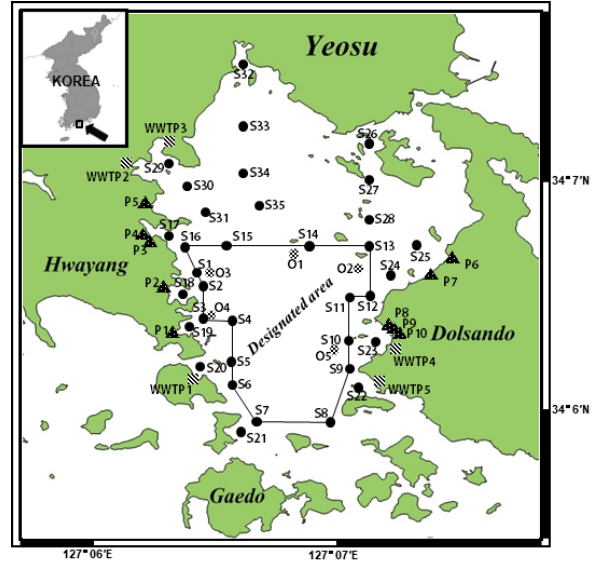


Fig. 1. Sampling stations in Kamak Bay; ●, Seawater; ○, Oyster; ▲, Pollution source; ■, Waste water treatment plant; —, Designated area.

과거의 모니터링 자료에 기초한 것으로 최근의 조사결과가 반영되지 않았으며 가막만의 경우 최근 강우 후의 해수 및 패류의 위생상태 변화에 연구결과는 아직까지 보고된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 2020년과 2021년 강우 발생 후 오염원이 해역에 미치는 영향을 파악하고, 해수 및 패류의 위생상태를 평가하여 가막만에서 생산되는 굴의 채취제한 기준의 재설정을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 시료채취

강우 발생이 가막만의 위생상태에 미치는 영향을 평가하기 위하여 해수 35개, 패류(굴) 5개 및 주요 육상오염원 10개소의 조사지점을 선정하였다 (Fig. 1).

해수 및 패류에 대한 조사지점은 가막만에 설정된 지정해역의 경계 및 배수유역에 분포한 오염원을 고려하여 선정하였으며, 주요 육상오염원에 대한 조사지점은 2019년 실시한 오염원 현황 분석 결과를 바탕으로 해역으로 배출되는 방출수의 유량, 마을분포 및 오염정도를 평가하여 선정하였다.

시료는 27.6 mm 및 58.0의 강우가 발생한 2020년 10월 및 2021년 6월에 강우 발생 후 3일간 (24시간, 48시간 및 72시간) 채취하였고, 무균처리된 용기에 보관하여 저온상태로 실험실까지 운반하였으며 시료 채취 후 24시간 이내에 실험에 사용하였다. 조사지점에 대한 유량 및 환경인자 (수온, 염분, pH 및 용존산소)는 유속계 (Marsh-McBirney portable

flowmeter, Flo-Mate Model 2000) 및 수질측정기 (Yellow Springs, YSI Life Science, OH, USA) 를 사용하여 측정하였다.

**2. 대장균군(Total coliform), 분변계대장균 (Fecal coliform), 대장균 (Escherichia coli) 및 콜리파지(Mail-specific coliphage, MSC) 분석**

시료에 대한 대장균군, 분변계대장균 및 대장균 분석은 Recommended Procedures for the Sea Water and Shellfish (APHA, 1970) 및 Most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide (ISO/TS 16649-3:2015) 을 참고하였으며, 추정시험 및 확정시험을 통하여 최확수법 (Most Probable Number, MPN) 으로 결과를 산출하였다.

콜리파지는 Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2015) 를 참고하여 한천 중첩법 (agar overlay method) 로 분석하였다. 분석을 위한 숙주세포는 *Escherichia coli* HS (pFamp)R (ATCC 700891) 을 사용하였으며 최종결과는 PFU (plaque-forming unit) 으로 나타내었다 (Table 1).

**3. 주요 육상오염원이 해역에 미치는 영향범위 측정**

가막만 배수유역에 위치한 주요 육상오염원이 해역에 미치는 영향범위는 방출수에서 검출되는 분변계대장균의 농도 및 유량을 근거하여 일일 부하량 (Determine loading (MPN/day) 을 계산한 후, 이를 미국의 허가해역 수질 기준인

14 MPN/100mL 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 오염원이 해역에 미치는 영향 평가**

강우 발생에 따른 육상오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하기 위하여 27.6 mm 및 58.0 mm의 강우 발생 후 가막만 배수유역에 분포한 하수처리시설, 주요 하천 및 생활하수를 대상으로 방류수의 위생지표 미생물의 변화를 분석하였다. 가막만 배수유역에 위치한 하수처리시설은 5개소로 하수도법 시행규칙의 공공하수처리시설·간이공공하수처리시설의 방류수 수질기준에 따라 대장균군 3,000 CFU/mL (300,000/100 mL) 의 기준이 적용된다. 본 연구결과, 27.6 및 58.0 mm의 강우 발생 후 3일간 5개 하수처리시설 방류수에서 검출된 대장균군은 1.8-540 및 < 1.8-54,000 MPN/100mL로 하수도법의 기준을 충족하는 것으로 확인되었다. 또한, 2회의 강우 발생 후 시료에서 검출된 분변계대장균의 농도는 < 1.8-240 및 < 1.8-9,500 MPN/100mL로 2회 모두 1일차 시료에서 가장 높은 농도로 검출되었으며, 특히 58.0 mm의 강우 발생 후에는 27.6 mm 후 보다 10배 이상 높은 것으로 확인되었다 (Table 3). 이는 58.0 mm 강우 시 하수처리장으로 유입되는 하수의

**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 ± 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

강우 발생에 따른 육상 오염원이 가막만의 해수 및 굴(*Crassostrea gigas*)에 미치는 영향 분석

**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

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

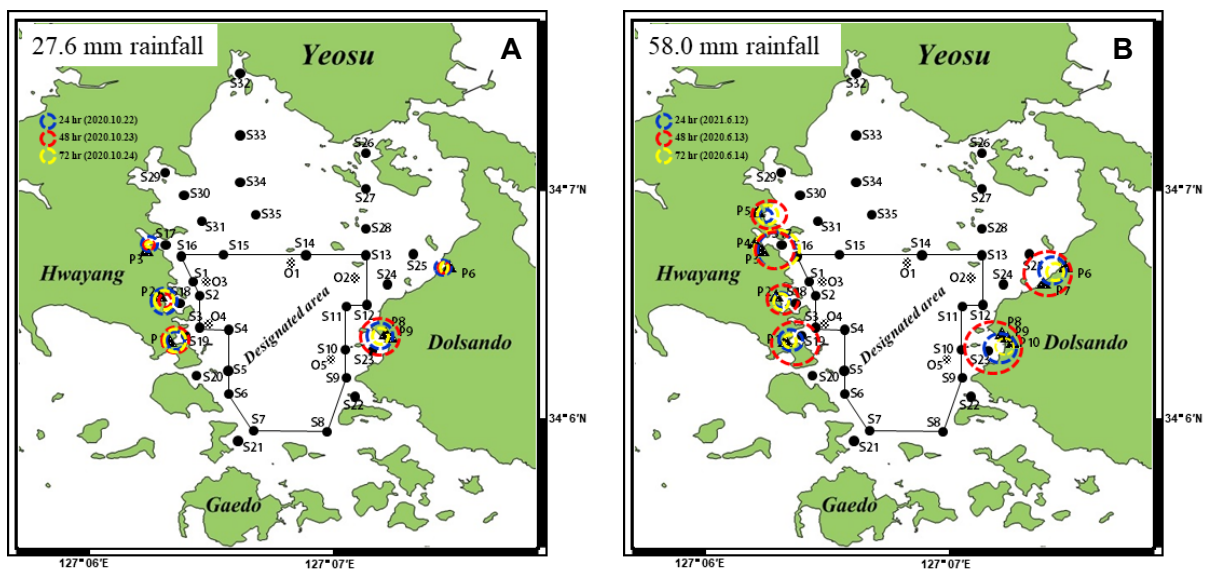
Station	Rainfall (mm)	Results (27.6 mm rainfall)				
		Day after rainfall	<i>Coliform</i> group (MPN/100mL)	<i>Fecal coliform</i> (MPN/100mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100mL)	<i>MSC</i> <sup>d)</sup> (CFU/100mL)
W1	27.6	1	4.5	4.5	4.5	< 10
		2	49	22	22	< 10
		3	1.8	1.8	< 1.8	< 10
	58.0	1	54,000	9,500	9,500	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	4.5	< 1.8	< 1.8	< 10
W2	27.6	1	540.0	240.0	240	< 10
		2	33	33	33	< 10
		3	17	2.0	2.0	< 10
	58.0	1	13,000	7,900	7,900	< 10
		2	2.0	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	4.0	4.0	4.0	< 10
W3	27.6	1	240.0	240.0	130	< 10
		2	4.5	< 1.8	2	< 10
		3	4.5	2.0	2.0	< 10
	58.0	1	1.8	1.8	1.8	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	4.5	< 1.8	< 1.8	< 10
W4	27.6	1	240.0	33.0	33	< 10
		2	4.5	4.5	4.5	< 10
		3	7.8	< 1.8	< 1.8	< 10
	58.0	1	24,000	2,300	2,300	40
		2	2.0	2.0	2.0	< 10
		3	4.5	< 1.8	< 1.8	< 10
W5	27.6	1	350.0	240.0	49	< 10
		2	6.8	6.8	6.8	< 10
		3	20	20	2.0	< 10
	58.0	1	13,000	7,900	4,900	< 10
		2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 10
		3	4.0	1.8	1.8	< 10

<sup>1)</sup> Mail-specific coliphage

**Table 4.** Calculated impacted area in the Kamak bay after 27.6 mm rainfall event (2020).

Station (Type) <sup>1)</sup>	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)
P1 (DW)	1	90.0	54,000	7.0 x 10 <sup>10</sup>	5.0 x 10 <sup>05</sup>	5.0 x 10 <sup>05</sup>	564
	2	384.0	49,000	2.7 x 10 <sup>11</sup>	1.9 x 10 <sup>06</sup>	1.3 x 10 <sup>06</sup>	907
	3	43.2	170,000	1.1 x 10 <sup>11</sup>	7.6 x 10 <sup>05</sup>	7.6 x 10 <sup>05</sup>	694
P2 (SW)	1	3,009.0	1,300	5.6 x 10 <sup>10</sup>	4.0 x 10 <sup>05</sup>	8.0 x 10 <sup>05</sup>	716
	2	2,040.0	230	6.8 x 10 <sup>09</sup>	4.8 x 10 <sup>04</sup>	9.7 x 10 <sup>04</sup>	248
	3	4,320.0	330	2.1 x 10 <sup>10</sup>	1.5 x 10 <sup>05</sup>	2.9 x 10 <sup>05</sup>	432
P3 (DW)	1	720.0	1,300	1.3 x 10 <sup>10</sup>	9.6 x 10 <sup>04</sup>	1.9 x 10 <sup>05</sup>	350
	2	180.0	330	8.6 x 10 <sup>08</sup>	6.1 x 10 <sup>03</sup>	1.2 x 10 <sup>04</sup>	88
	3	72.0	33	3.4 x 10 <sup>07</sup>	2.4 x 10 <sup>02</sup>	4.9 x 10 <sup>02</sup>	18
P6 (SW)	1	480.0	3,500	2.4 x 10 <sup>10</sup>	1.7 x 10 <sup>05</sup>	1.7 x 10 <sup>05</sup>	332
	2	122.0	3,300	5.8 x 10 <sup>09</sup>	4.1 x 10 <sup>04</sup>	4.1 x 10 <sup>04</sup>	162
	3	210.0	1,700	5.1 x 10 <sup>09</sup>	3.7 x 10 <sup>04</sup>	3.7 x 10 <sup>04</sup>	153
P8 (DW)	1	1,260.0	2,400	4.4 x 10 <sup>11</sup>	3.1 x 10 <sup>06</sup>	1.2 x 10 <sup>06</sup>	890
	2	2,856.0	13,000	7.0 x 10 <sup>11</sup>	5.0 x 10 <sup>06</sup>	1.7 x 10 <sup>06</sup>	1,030
	3	115.2	17,000	2.8 x 10 <sup>10</sup>	2.0 x 10 <sup>05</sup>	2.0 x 10 <sup>05</sup>	358
P9 (DW)	1	8.8	1,700	2.2 x 10 <sup>08</sup>	1.5 x 10 <sup>03</sup>	3.1 x 10 <sup>03</sup>	44
	2	0.3	79	3.4 x 10 <sup>05</sup>	2.4 x 10 <sup>00</sup>	4.9 x 10 <sup>00</sup>	2
	3	0.7	790	8.0 x 10 <sup>06</sup>	5.7 x 10 <sup>01</sup>	1.1 x 10 <sup>02</sup>	9

<sup>1)</sup> DW, Domestic waste water; SW, Steam water



**Fig. 2.** The estimated diffusion range of the contaminants to coastal area in Kamak bay after rainfall; **A**, After 27.6 mm rainfall in 2020; **B**, After 58.0 mm rainfall in 2021.

양이 증가하여 하수처리시설의 효율이 감소하는 것으로 판단되며 강우 2일 후부터는 방류수의 수질이 양호한 것으로 확인되었다. 해양수산부의 한국패류위생계획에 따르면 수출용 지정해역 1호인 한산·거제만 해역은 주변 하수처리장의 영향을 받는 해역으로 하수처리장 운용조건에 따른 조건부 관리계획이 수립되어 있으며 이처럼 지정해역 4호 해역인 가막만 또한 27.6 mm 이상의 강우 후에는 추가적인 조사를 수행하여 하수처리장의 관리를 수반하는 조건부 해역관리가 검토되어야 할 것으로 판단된다 (MOF, 2019).

이전 연구에 따르면 가막만 배수유역에 위치한 오염원은 약 300개소로 대부분 하천수 및 생활하수가 해역으로 주로 유입된다고 보고하였다 (Shin *et al.*, 2019). 본 연구에서 이러한 연구결과를 근거하여 주요한 오염원을 선정하였으며 1차 조사인 27.6 mm 강우 후에는 6개소 (하천 2, 생활하수 4), 2차 조사인 58.0 mm 강우 후에는 4개소 (생활하수 4) 를 추가하여 해역에 미치는 영향을 평가하였다. 27.6 mm 강우 후 3일간 주요 오염원 6개소의 방류수에서 검출된 분변계대장균의 농도와 계산된 영향반경은 33-170,000 MPN/100mL 및 2-1,030 m로 확인되었으며 6개 지점 모두 가막만에 설정된 지정해역 경계까지 그 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다 (Table 4, Fig 2). 조사지점 중 P1과 P8 지점에서 분변계대장균의 농도가 상대적으로 높았고 모든 조사지점에서 강우 1일 또는 2일 경과 후에 그 영향반경이 가장 큰 것으로 나타났으며 P8지점에서 강우발생 2일 후의 영향반경이 1,030 m로 가장 큰 것으로 확인되었다.

58.0 mm 강우 후의 결과, 주요 오염원 10개소의 방류수에서 검출된 분변계대장균의 농도와 계산된 영향반경은 68-230,000 MPN/100mL 및 10-2,044 m로 확인되었으며 모든 조사지점에서 27.6 mm의 강우 후보다 그 영향범위가 증가한 것으로 나타났다. 특히 조사지점 P1에서 2일 후, P3 (P4와 합산) 에서 3일간 및 P8에서 2일 후는 지정해역의 경계 인근까지 영향을 미치는 것으로 나타났으며 이는 대부분 강우에 따른 오염원 방류수의 유량 및 분변계대장균의 농도 증가가 원인인 것으로 확인되었다 (Table 5, Fig 2). 이전 연구의 2017년 조사결과에 따르면 P1과 P8 인근의 조사지점의 경우, 연중 분변계대장균의 농도가 높고 영향반경 또한 간헐적으로 1,000 m 내외로 확인된 바 있다 (Shin *et al.*, 2019). 따라서 이상의 연구결과와 같이 강우 발생이 오염원의 오염부하량을 증가시켜 그 영향범위가 지정해역 경계안으로 영향을 미칠 수 있으므로 하수처리시설 확충이나 기존 처리장의 차집율을 개선하는 등의 대책이 요구된다.

## 2. 강우 발생 후 가막만 해수의 위생상태 변화

27.6 및 58.0 mm 강우 후의 가막만 지정해역 내에 설정된

16개의 해수 조사지점에서 검출된 분변계대장균의 농도는 < 1.8-4.5 MPN/100mL이었으며, 지정해역 외부에 설정된 19개 지점에서는 < 1.8-540 MPN/100mL로 검출되었다 (Table 6).

미국은 자국의 패류 위생관리 프로그램 (National Shellfish Sanitation Program, NSSP) 에 따라 30회 이상의 모니터링을 수행하고, 해수에서 검출되는 분변계대장균의 기하학적 평균치가 14 MPN/100mL 미만이고 90th percentile 값이 43 MPN/100mL 이하 (또는 43을 초과하는 시료가 10% 미만) 인 해역을 허가해역 분류하여 상업적으로 판매되는 패류가 생산되며 우리나라는 기하학적 평균이 14 MPN/100mL 미만일 경우를 지정해역 수준으로 평가한다 (U.S. FDA, 2016; MOF, 2021c). 따라서 본 연구결과 가막만 내의 해수 조사지점은 미국 및 우리나라의 수질기준을 충족하는 양호한 위생상태를 나타내었으며, 27.6 및 58.0 mm 강우 발생은 가막만의 지정해역에는 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다. 본 연구의 오염원 영향평가 결과, 여수시 화양면 및 돌산읍의 오염원 P1, P3 (P4와 합산) 및 P4의 경우 58.0 mm 강우 후 지정해역의 경계 인근까지 영향을 미칠 수 있는 것으로 평가되었으나, 인근 해수의 조사결과 지정해역 경계를 포함 내부의 조사지점 모두 분변계대장균의 농도가 양호한 것으로 확인되었다. 이는 오염원에서 배출된 방류수가 인근 해수에 희석되고 이러한 해수가 유동되면서 계산된 오염원의 반경보다 오염원의 영향이 줄어든 것으로 판단된다.

한편 각 강우 시 가막만 북측에 설정된 지정해역 외부의 조사지점에서 분변계대장균이 높게 검출되었다. 가막만 북측 중앙의 소호동 인근 S32-S35 지점에서 27.6 mm의 강우 1일 후 분변계대장균이 95-240 MPN/100 mL로 높은 수치를 나타내다가 2일 이후 검출한계 이하로 감소하였다. 또한, 가막만 북동쪽 경도 인근 S26 및 S27 지점에서 3일간 13-540 MPN/100mL로 높은 농도를 유지하였으며 S26 지점은 강우 3일 후 가장 높은 농도를 나타내었다. 58.0 mm 강우 시에는 27.6 mm 강우와 동일한 S32-S33 및 S26-S27 지점에서 분변계대장균의 농도가 다른 지점에 비해 상대적으로 높았으나 오히려 27.6 mm 강우보다 높지 않았고 27.6 mm 강우와 달리 가막만 북좌측 용주리 인근의 S29 지점에서 강우 3일 후 240 MPN/100mL로 가장 높은 농도를 나타내었다 (Table 6, Fig. 3, 4).

전체적으로 가막만 북측의 조사지점은 지정해역 내의 조사지점보다 분변계대장균의 농도가 높으며 도심과 멀어질수록 분변계대장균의 농도가 현저히 감소하는 영향을 나타내었다. 이는 이전 연구의 동 해역의 월별 모니터링 결과 (1998-2008, 2014-2016) 와 유사한 결과로 가막만 북측은 여수시의 인구밀도가 가장 높은 도심권과 인접해 있으며, 대단위 하수처리시설을 통해 하수가 처리되어 가막만이 아닌 외해로 방류되지만 처

**Table 5.** Calculated impacted area in the Kamak bay after 58.0 mm rainfall (2021)

Station (Type) <sup>1)</sup>	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)
P1 (DW)	1	384.0	7,900	4.4 x 10 <sup>10</sup>	3.1 x 10 <sup>05</sup>	6.2 x 10 <sup>05</sup>	630
	2	768.0	110,000	1.2 x 10 <sup>12</sup>	8.7 x 10 <sup>06</sup>	3.5 x 10 <sup>06</sup>	1,488
	3	162.0	3,300	7.7 x 10 <sup>09</sup>	5.5 x 10 <sup>04</sup>	1.1 x 10 <sup>05</sup>	265
P2 (SW)	1	720.0	1,300	1.3 x 10 <sup>10</sup>	9.6 x 10 <sup>04</sup>	1.9 x 10 <sup>05</sup>	350
	2	4,416.0	1,100	7.0 x 10 <sup>10</sup>	5.0 x 10 <sup>05</sup>	1.0 x 10 <sup>06</sup>	798
	3	4,200.0	210	1.3 x 10 <sup>10</sup>	9.1 x 10 <sup>04</sup>	1.8 x 10 <sup>05</sup>	340
P3 (DW)	1	475.2	49,000	3.4 x 10 <sup>11</sup>	2.4 x 10 <sup>06</sup>	2.4 x 10 <sup>06</sup>	1,235
	2	1,660.0	4,900	1.2 x 10 <sup>11</sup>	8.4 x 10 <sup>05</sup>	8.4 x 10 <sup>05</sup>	730
	3	1,396.0	22,000	4.4 x 10 <sup>11</sup>	3.2 x 10 <sup>06</sup>	3.2 x 10 <sup>06</sup>	1,418
P4 (DW)	1	1,184.0	3,300	5.6 x 10 <sup>10</sup>	4.0 x 10 <sup>05</sup>	4.0 x 10 <sup>05</sup>	506
	2	8,640.0	1,700	2.1 x 10 <sup>11</sup>	1.5 x 10 <sup>06</sup>	1.5 x 10 <sup>06</sup>	981
	3	2,120.0	780	2.4 x 10 <sup>10</sup>	1.7 x 10 <sup>05</sup>	1.7 x 10 <sup>05</sup>	329
P5 (DW)	1	10.8	11,000	1.7 x 10 <sup>09</sup>	1.2 x 10 <sup>04</sup>	2.4 x 10 <sup>04</sup>	125
	2	3,150.0	11,000	5.0 x 10 <sup>11</sup>	3.6 x 10 <sup>06</sup>	1.2 x 10 <sup>06</sup>	870
	3	54.0	22,000	1.7 x 10 <sup>10</sup>	1.2 x 10 <sup>05</sup>	2.4 x 10 <sup>05</sup>	395
P6 (SW)	1	1,228.8	7,900	1.4 x 10 <sup>11</sup>	1.0 x 10 <sup>06</sup>	1.0 x 10 <sup>06</sup>	797
	2	1,037.0	33,000	4.9 x 10 <sup>11</sup>	3.5 x 10 <sup>06</sup>	2.3 x 10 <sup>06</sup>	1,222
	3	173.0	7,900	2.0 x 10 <sup>10</sup>	1.4 x 10 <sup>05</sup>	2.8 x 10 <sup>05</sup>	423
P7 (DW)	1	86.5	11,000	1.4 x 10 <sup>10</sup>	9.8 x 10 <sup>04</sup>	2.0 x 10 <sup>05</sup>	353
	2	227.0	790	2.6 x 10 <sup>09</sup>	1.8 x 10 <sup>04</sup>	3.7 x 10 <sup>04</sup>	153
	3	99.0	490	7.0 x 10 <sup>08</sup>	5.0 x 10 <sup>03</sup>	1.0 x 10 <sup>04</sup>	80
P8 (DW)	1	767.2	70,000	7.7 x 10 <sup>11</sup>	5.5 x 10 <sup>06</sup>	1.4 x 10 <sup>06</sup>	938
	2	2,496.0	230,000	8.3 x 10 <sup>12</sup>	5.9 x 10 <sup>07</sup>	6.6 x 10 <sup>06</sup>	2,044
	3	72.0	23,000	2.4 x 10 <sup>10</sup>	1.7 x 10 <sup>05</sup>	3.4 x 10 <sup>05</sup>	466
P9 (DW)	1	2.7	1,300	5.1 x 10 <sup>07</sup>	3.6 x 10 <sup>02</sup>	7.2 x 10 <sup>02</sup>	21
	2	22.0	68	2.2 x 10 <sup>07</sup>	1.6 x 10 <sup>02</sup>	3.1 x 10 <sup>02</sup>	14
	3	1.7	490	1.2 x 10 <sup>07</sup>	8.6 x 10 <sup>01</sup>	1.7 x 10 <sup>02</sup>	10
P10 (DW)	1	36.0	7,900	4.1 x 10 <sup>09</sup>	2.9 x 10 <sup>04</sup>	5.9 x 10 <sup>04</sup>	193
	2	45.0	2,300	1.5 x 10 <sup>09</sup>	1.1 x 10 <sup>04</sup>	2.1 x 10 <sup>04</sup>	116
	3	36.0	140	7.3 x 10 <sup>07</sup>	5.2 x 10 <sup>02</sup>	1.0 x 10 <sup>03</sup>	26

<sup>1)</sup> DW, Domestic waste water; SW, Stream water

리되지 않는 하수가 일부 해역으로 유입되는 것을 확인할 수 있다(Kwon *et al.*, 2012; NIFS, 2018). 또한, 가막만 해수의 유동에 관한 이전 연구에서 수심이 낮은 가막만 북측은 해수의 흐름이 원활하지 않으며, 특히 최내만인 북측 중앙의 소호동은 해수의 평균체류시간이 가장 길게 계산된다고 보고하였으며 (Kim *et al.*, 2016), 이러한 영향으로 본 연구결과에서처럼 가막만 북측 해수에서 검출되는 분변계대장균이 상대적으로 높게 유지되는 것으로 판단된다.

이상의 결과, 27.6 및 58.0 mm의 강우 발생 후 3일간 가막만 지정해역 내 해수의 위생상태는 양호하여 강우에 영향을 받

지 않은 것으로 평가되었고, 가막만 북측 도심유역 인근의 해수는 분변계대장균의 농도가 높아 오염원에 영향을 받는 것으로 확인되었으나, 이는 강우의 영향이 아닌 인근 오염원의 상시적인 유입, 해수의 유동 및 체류시간에 따른 영향으로 판단된다. 하지만 해역에 서식하는 패류는 여과섭식을 통해 해수의 오염물질을 100배 이상 농축할 수 있으므로 강우에 의한 영향 평가를 위해서는 패류의 위생상태 변화를 함께 고려해야 할 것이다(US FDA 2016).

**3. 강우 발생 후 가막만 패류(굴)의 위생상태 변화**

27.6 및 58.0 mm 강우 후의 가막만 지정해역 내에 설정된

**Table 6.** Result of *Fecal coliform* analysis for seawater samples in the Kamak bay under the wet weather condition

Station	<i>Fecal coliform</i> (MPN/100mL)						
	Day after 27.6 mm rainfall event			Day after 58.0 mm rainfall event			
	1	2	3	1	2	3	
Designated area	S1	2	7.8	< 1.8	11	2	< 1.8
	S2	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S3	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2	< 1.8
	S4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2	< 1.8
	S5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S6	< 1.8	< 1.8	2	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S7	< 1.8	< 1.8	< 1.8	27	< 1.8	< 1.8
	S8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S9	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S10	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8
	S11	2	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8	2
	S12	4	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2	< 1.8
	S13	< 1.8	2	< 1.8	2	< 1.8	< 1.8
	S14	2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S15	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S16	2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
Non-designated area	S17	2	< 1.8	< 1.8	11	2	< 1.8
	S18	< 1.8	< 1.8	< 1.8	17	1.8	< 1.8
	S19	< 1.8	< 1.8	2	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S20	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S21	< 1.8	< 1.8	< 1.8	4.5	< 1.8	< 1.8
	S22	< 1.8	< 1.8	< 1.8	7.8	< 1.8	< 1.8
	S23	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S24	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S25	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	< 1.8
	S26	49	110	540	11	22	130
	S27	13	110	46	2.0	4.5	2
	S28	4.5	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8
	S29	2	4.5	< 1.8	2.0	7.8	240
	S30	13	< 1.8	< 1.8	7.8	< 1.8	21
	S31	2	< 1.8	< 1.8	4.5	6.8	7.8
	S32	240	< 1.8	< 1.8	49	2	33
	S33	95	< 1.8	< 1.8	2.0	< 1.8	49
	S34	240	< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	22
	S35	2	< 1.8	< 1.8	< 1.8	2	< 1.8

5개의 굴 조사지점에서 검출된 *E. coli*의 농도는 < 18-110 및 < 18-330 MPN/100g으로 확인되었다.

우리나라 식품의약품안전처의 식품의 기준 및 규격 (MFDS, 2021) 에 따르면 생식용 생굴의 경우, 230 MPN/100 g을 초과하지 않아야 하며 본 연구결과 27.6 mm의 강우 발생 후에는 모든 지점에서 3일간 동 기준을 초과하지 않았으나 58.0 mm 강우의 경우, 1일 후 O-3 지점에서 330 MPN/100g으로 기준을 초과하는 것으로 확인되었다. 조사지

점 O-3은 여수시 화양면의 오염원들과 인접하고 있으며 본 연구의 오염원 조사결과 (Fig. 2), 그 영향반경이 P2와 P5의 경우 지정해역에 영향을 미치지 않고 P1 오염원은 2일 후, 및 P3와 P4의 오염원의 경우 3일간 지속적으로 지정해역 경계 인근까지 영향을 미치는 것으로 확인되어 P3와 P4의 오염원에 영향을 받을 가능성이 큰 것으로 판단된다. 또한, 58.0 mm 강우의 경우 O-3, O-4, O-5 조사지점에서 1일 후 78-330 MPN/100g으로 *E. coli*의 농도가 높아졌다가 2일 후부터는

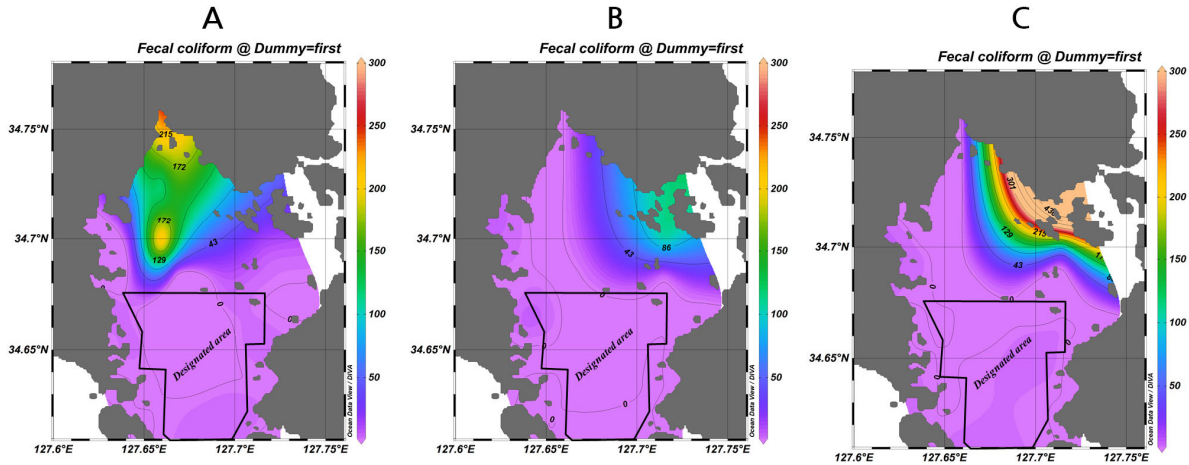


Fig. 3. Horizontal distribution of fecal coliform for seawater in Kamak bay after 27.6 mm rainfall in 2020; A, After 24 hr; B, After 48 hr; C, After 72 hr

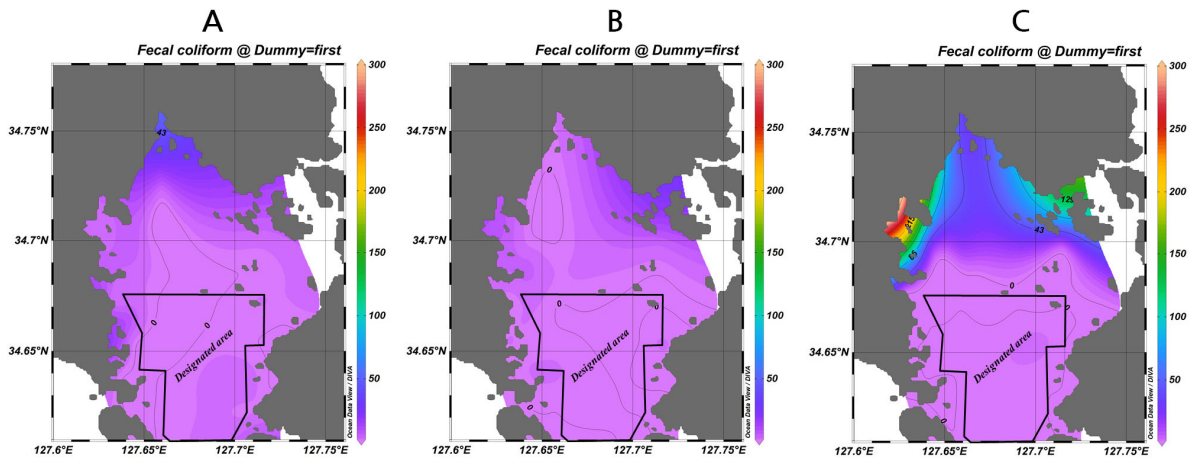


Fig. 4. Horizontal distribution of fecal coliform for seawater in Kamak bay after 58.0 mm rainfall in 2021; A, After 24 hr; B, After 48 hr; C, After 72 hr

모두 45 MPN/100g으로 감소하여 기준치 이하로 회복되는 것으로 확인되었다 (Fig. 5).

우리나라 패류의 주요한 수입국인 EU의 규정에 따르면 30 회 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, 2015). 본 연구결과 모든 시료에서 700 MPN/100g을 초과하지 않았으나, 230 MPN/100g을 초과하는 시료가 확인되었으며 정확한 EU 규정의 부합 여부는 지속적인 모니터링을 통한 자료확보가 필요하다.

이전 연구에 따르면 가막만 지정해역 내에서 생산된 굴에서 검출된 *E. coli* 농도는 2012년 1월부터 2016년 12월까지 < 18-220, 2017년 1월부터 2019년 9월까지 < 18-230

MPN/100g으로 보고된 바 있으며 모두 EU 규정 및 국내의 생식용 생굴의 기준을 충족하는 것으로 확인되었다 (Ha et al., 2017; Shin et al., 2019).

또한, 해양수산부의 ‘한국패류위생계획’ 따르면 가막만 지정해역 내에는 미국 수출용 패류에 한하여 채취제한 기준이 규정되어 있으며, 22 mm 초과의 강우에는 7일간 (168시간) 굴 채취가 금지된다. 하지만 본 연구결과, 27.6 mm의 강우에는 가막만 지정해역 내의 굴에는 그 영향이 없는 것으로 확인되었고, 58.0 mm 강우에는 일부 굴에서 *E. coli*의 농도가 증가하였으나 2일 후 회복하는 것으로 나타나 기존의 채취제한 기준의 재설정 필요성이 필요한 것으로 평가되었다. 또한, 58 mm의 강우 후 가막만 지정해역 내의 일부 굴에서 국내의 생식용 생굴의 국내 기준을 초과하여 검출되고 있으므로 내수용 굴을 포함하는 종합적인 채취제한 기준이 마련되어야 할 것이다.

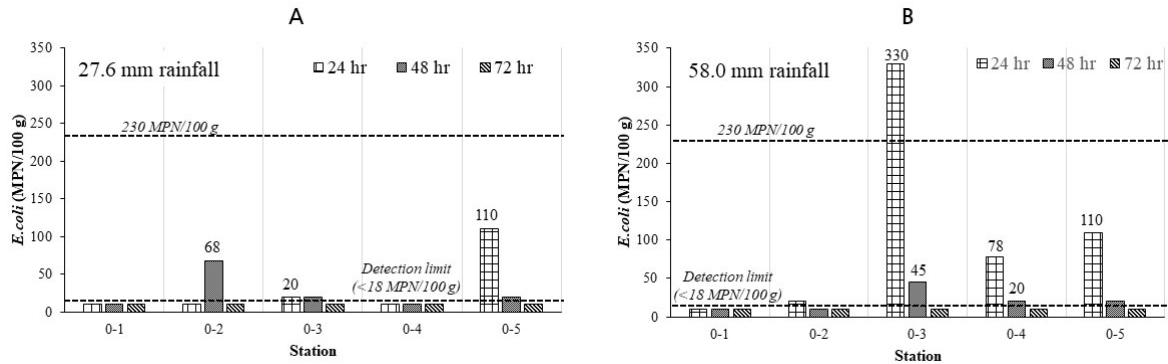


Fig. 5. Result of *E. coli* analysis for oyster samples in the Kamak bay under the wet weather condition; **A**, After 27.6 mm rainfall in 2020; **B**, After 58.0 mm rainfall in 2021

### 요 약

본 연구에서는 2020년과 2021년 강우 발생 후 오염원이 해역에 미치는 영향을 파악하고, 해수 및 패류의 위생상태를 평가하여 가막만에서 생산되는 굴의 채취제한 기준의 재설정을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

가막만 배수유역에 위치한 주요 육상오염원 중 하수처리시설은 5개소로 27.6 및 58.0 mm의 강우 발생 후 3일간 방류수에서 검출된 대장균군은 1.8-540 및 < 1.8-54,000 MPN/100mL로 국내 하수도법의 기준을 충족하는 것으로 확인되었으나, 58.0 mm의 강우 발생 1일 후 대장균군 및 분변계대장균의 농도가 상대적으로 높게 검출되는 것으로 확인되었다. 또한, 하천 및 생활하수 10개소의 방류수에서 검출된 분변계대장균의 농도와 계산된 영향반경은 63-230,000 MPN/100mL 및 10-2,044 m로 확인되었고 27.6 mm의 강우는 지정해역 경계까지 그 영향을 미치지 않았지만 58.0 mm 강우는 오염부하량이 증가하여 일부 오염원은 지정해역의 경계 인근까지 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

한편 지정해역 내에 설정된 16개의 해수 조사지점에서 검출된 분변계대장균의 농도는 < 1.8-4.5 MPN/100mL로 국내·외 기준을 충족하여 27.6 및 58.0 mm 강우에 영향을 받지 않는 것으로 평가되었다. 하지만 지정해역 외부에 설정된 19개 해수 조사지점에서의 분변계대장균의 농도는 < 1.8-540 MPN/100mL로 도심과 인접한 가막만 북부의 조사지점들이 오염원에 영향을 받은 것으로 확인되었다.

27.6 및 58.0 mm 강우 후의 가막만 지정해역 내에 설정된 5개의 굴 조사지점에서 검출된 *E. coli*의 농도는 < 18-110 및 < 18-330 MPN/100g으로 확인되었으며 27.6 mm의 강우 발생 후에는 모든 지점에서 3일간 국내·외 기준을 초과하지 않았으나 58.0 mm 강우의 경우, 1일 후 화양면 인근의 O-3 지점에서 330 MPN/100g으로 국내의 생식용 생굴기준을 초과하

는 것으로 확인되었다.

이상의 결과, 27.6 mm 강우는 가막만 주변의 오염원이 해역에 미치는 영향이 크지 않으며 가막만의 해수 및 패류의 위생상태는 양호하였다. 하지만 58.0 mm 강우 후에는 주변 오염원의 부하량이 증가하여 가막만 지정해역 내의 굴에 2일간 영향을 미치는 것으로 확인되었으며 이는 현재 미국 수출용 굴에 한하여 규정된 채취제한 기준 (22 mm 이상, 7일간)의 재설정이 필요한 결과라 할 수 있다. 아울러 가막만에는 지정해역 외부에도 굴을 포함한 지정해 담치, 피조개가 생산되고 있으므로 향후 강우량 및 기간을 보다 세분화하여 지속적인 연구가 수행되어야 하며, 내수용 패류를 포함하는 종합적인 패류채취 제한기준이 마련되어야 할 것이며 판단된다.

### 사 사

본 연구는 국립수산과학원 연구사업인 ‘수출패류 생산해역 및 수산물 위생조사 (R2021060)’에 의해 이루어졌습니다.

### REFERENCE

- 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 23<sup>rd</sup> edition. American Public Health Association, Washington.
- European Commission (2015) Commission Regulation (EU) 2015/2285 amending Annex II to Regulation (EC) No 854/2004 of the European parliament and of the council laying down specific rules for the organisation 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 2073/2005 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., Shim, K.B., Kim, J.H., Lee, T.S., Kim, P.H., Ju, J.H. and Lee, H.J. (2011) Evaluation of the influence of inland pollution sources on shellfish growing areas after rainfall events in Geoje Bay, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **44**(6): 612-621. Retrieved from <https://doi.org/10.5657/KFAS.2011.0325>.
- 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 Jeokyung 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>.
- Ha, K.S., Shin, S.B., Lee, K.J., Jeong, S.H., Oh, E.G., Lee, H.J., Kim, D.W. and Kim, Y.K. (2017) Evaluation of the bacteriological and toxicological safety for the shellfish growing area in the Kamakman area, Korea. *Journal of Food Hygiene and Safety*, **32**(6): 542-549. Retrieved from <https://doi.org/10.13103/JSFH.2017.32.6.542>.
- ISO (2015) Microbiology of the food chain-Horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase positive *Escherichia coli* Part 3: Detection and most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indoly- $\beta$ -D-glucuronide. International Organization for Standardization. 16649-3.
- Iwamoto, M., Ayers, T., Mahon, B.E. and Swerdlow, D.L. (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>.
- Kim, J.H., Lee, W.C., Hong, S.J., Park, J.H., Kim, C.S., Jung, W.S. and Kim, S.M. (2016) A study on temporal-spatial water exchange characteristics in Gamak bay using a method for calculating residence time and flushing time. *Journal of Environmental Science International*, **25**(8): 1087-1095. Retrieved from <https://doi.org/10.5322/JESI.2016.25.8.1087>.
- Kwon, J.Y., Park, K.B.W., Song, K.C., Oh, E.G., Lee, H.J., Jo, M.R., Kim, J.H. and Son, K.T. (2012) Variation of the bacteriological seawater quality in the Kamak Bay. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **45**(5): 460-464. Retrieved from <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0460>.
- MFDS (2019) Korea food standards. Article 2021-69. The Notification of Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju. Retrieved from <http://www.law.go.kr> on September 7.
- 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.
- MOF (2021c) 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.
- NARS (2020) International statistics: trends and analysis. National Assembly Research Service, 8: 1-24. Retrieved from <http://www.nars.go.kr> on September 2.
- NIFS (2018) Sanitary survey of shellfish growing area in Kamakman (Designated shellfish growing area No. 4). National Institute of Fisheries Science, Busan. 11-1192266-000223-14, 1-88.
- 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. Retrieved from <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0414>.
- 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>.
- Shin, S.B., Jeong, S.H., Lim, C.W., Choi, W.S., and Lee J.H. (2019) Impact of inland pollution sources on oysters (*Crassostrea gigas*) produced in Kamak Bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **34**(4): 321-328. Retrieved from <https://doi.org/10.9710/kjm.2018.34.4.241>.
- 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/ucm2006754.htm> on September 5.

