

여자만 새꼬막 (*Scapharca subcrenata*) 양식장의 위생상태에 영향을 주는 육상기원 분변균에 대한 조사연구

이지희, 최우석, 임치원, 신순범

국립수산과학원 남해수산연구소

Investigation of Terrestrial Fecal Bacteria Affecting the Sanitary Status of Ark shell (*Scapharca subcrenata*) Farm in Yeoja Bay, Korea

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

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

ABSTRACT

The influences of inland pollution sources on shellfish production area of Yeoja bay were investigated. According to survey results, 1-4 of inland pollution sources had high fecal contamination level and exceeded 6km of radius of influence during the survey period. Other pollutants have low flow rates, but fecal contamination levels were high and require management. And from January 2018 to June 2020, the range of Fecal coliform, geometric mean and 90th percentile for 21 seawaters were < 1.8-79.0 MPN/100mL, < 1.8-2.7 and < 1.8-9.1 MPN/100mL respectively. Also the range of Fecal coliform, *E. coli* and viable cell counts for 4 ark shell (*Scapharca subcrenata*) were < 18-490, < 18-490 MPN/100g and 30-4,500 CFU/100g respectively. As the results of the bacteriological evaluation, the sanitary state of Yeoja bay is level of designated area according to Korea criteria and conditionally approved area according to US criteria and Class A area according to EU criteria. For safe shellfish production in Yeoja bay, a semi-enclosed bay, it is necessary to expand the sewage treatment plant facilities and manage the pollutant.

Key words: Yeoja Bay, Arkshell, Pollution source, Total coliform, Fecal coliform, *Escherichia coli*

서론

여자만은 우리나라 남해안 중앙부에 위치하는 해역으로 동부는 여수시, 서부는 고흥군, 북부는 순천시와 보성군 별교읍과 접하고 있으며, 수역의 면적은 약 330 km² 이다 (Shin *et al.*, 2016). 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제 40조에 의거하여 1982년 1월 8일에 수산자원보호구역으로 지정되었으며, 여자만에 허가된 양식어업은 약 9,200 ha의 면적에 총 722건이 허가되어 있고 주요 생산품종은 새꼬막이다.

새꼬막 *Scapharca subcrenata*는 이매패강 (Bivalvia) 돌조개목 (Arcoidea), 돌조개과 (Arcidae) 에 속하는 이매패류로서 수심 4-6 m의 진흙 갯벌에 서식한다 (Min, 2004). 패류는 운동성이 적고 내만에 서식하며 여과섭식으로 먹이를 공급받는 특성이 있어 주변 오염물질에 영향을 받을 가능성이 크기 때문에 패류생산해역에 대한 관리가 필요하다 (Potasman *et al.*, 2002; Iwamoto *et al.*, 2010). 미국, EU 등에서는 패류 생산해역의 등급을 결정하여 체계적으로 관리하고 있다. 미국은 해수에서 검출되는 Fecal coliform의 농도에 따라 5개의 등급을 결정하는 반면, EU는 패류에서 검출되는 대장균 (*Escherichia coli*) 농도에 따라 3개의 등급을 결정하고 있다. 특히, 미국은 오염원의 상태에 따라 조건부 해역의 개념을 도입하고 있어, 하천이나 하수처리장 등의 오염원이 해역에 영향을 미치는 경우 또는 시기에는 해역의 등급을 한시적으로 낮추기도 한다. 이러한 해역의 등급에 따라 즉시 출하 가능 또는 출하 후 정화나 처리과정을 필요로 하는지를 결정한다 (US FDA, 2016; European Commission, 2015). 우리나라는 안

Received: December 13, 2020; Revised: December 22, 2020;
Accepted: December 28, 2020

Corresponding author: Soon Bum Shin

Tel: +82 (61) 690-8993, e-mail: sssb0716@gmail.com
1225-3480/24774

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.

전한 패류를 지속적으로 관리, 수출하기 위하여 농수산물품질 관리법과 한국패류위생계획 (Korea Shellfish Sanitation Program) 을 근거로 하여 패류생산해역을 관리하고 있으며, 미국 및 EU 등 수입국의 규정에 따라 7개의 지정해역을 관리하고 있다 (MOF, 2018).

해역의 위생안전성 확보를 위해서는 해수의 수질과 패류에 대한 평가뿐만 아니라 해역에 영향을 미칠 수 있는 육·해상 오염원 현황파악 및 해역에 미치는 영향 파악, 기상 요소가 미치는 영향 평가 등이 요구된다 (Lee *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2012; Shin *et al.*, 2019; Todd and Campbell., 2002; US FDA, 2016). 여자만 패류생산해역은 생산단계부터 위생적인 관리를 통해 국민들에게 안전한 수산물을 공급하고 국제 위생안전 기준에 부응하는 패류생산해역 위생관리체계를 구축하기 위해 2005년부터 조사가 시작되었다. 여자만 해역의 해수 및 새꼬막의 세균학적 위생상태를 평가한 연구는 이루어졌지만 (Shin *et al.*, 2016), 육상오염원이 해역에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다. 또한, 여자만 해역은 반폐쇄성 내만으로 직·간접적으로 배출되는 각종 오염물질들의 영향을 받기 쉬운 지형학적 위치에 있어, 수출용 패류생산 지정해역으로 인정받기 위해서 만으로 유입되는 오염원의 실태 및 패류에 미치는 영향 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 여자만 패류생산해역에 영향을 미칠 수 있는 주요 육상오염원을 파악하고 해역에 미치는 영향을 평가하였으며, 해역의 수질과 패류의 위생상태를 평가 하여 우리나라 수산물의 위생안전성을 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 선정 및 시료채취

여자만 패류생산해역의 위생성 파악 및 효과적인 위생관리를 위해서 배수유역에 산재한 각종 육상오염원의 현황을 파악하고자 해안선을 따라 직접 이동하면서 오염원의 특성 및 배출구의 크기를 확인하였다. 또한 유량이 발생되고 있는 오염원에 대해서는 YSI 556 multiprobe system (Yellow Springs, YSI Life Science, OH, USA) 및 유속계 (Marsh-McBirney portable flowmeter, Flo-Mate Model 2000) 를 사용하여 수온, 염분, pH 등의 환경인자 및 유량을 측정하였으며, Fecal coliform을 분석하여 분변오염 정도를 파악하였다. 이렇게 파악된 오염원 중 오염도가 높거나 유량이 많아 해역의 세균학적 수질에 영향을 미칠 수 있는 주요한 육상오염원 19개 조사지점을 선정하였고, 2019년 3월, 4월, 10월 및 11월 총 4회 시료를 채취하였으며 이들 오염원의 배출수가 해역에 미치는 영향을 평가하였다 (Fig 1).

여자만 패류생산해역의 위생상태 파악을 위해 해역의 해류

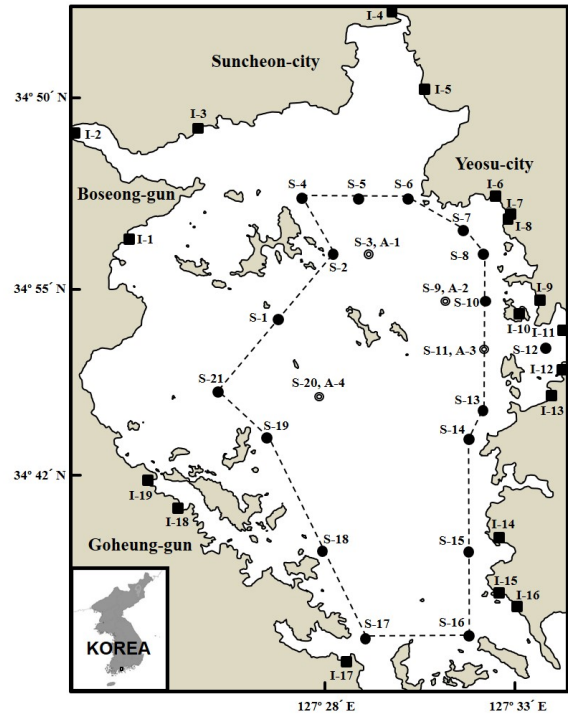


Fig. 1. Sampling stations in Yeosu Bay. ■; inland pollution source, ●; Seawater sampling point, ⊙; Seawater and shellfish sampling point.

유동상태, 지형적 여건 및 배수유역의 오염원 등을 고려하여 해수 조사지점 21개와 새꼬막 조사지점 4개를 선정하였으며 국내의 기준에 따라 2018년 1월부터 2020년 6월까지 30회 조사를 실시하였다 (Fig 1). 해수는 채수기를 사용하여 표면에서 약 10 cm 깊이의 표층수를 멸균된 유리병 (250 mL) 에 채수하였으며, 새꼬막은 양식장에 설치된 채취지점에서 형망을 이용하여 채취하였고 멸균된 황동계 솔로 오물 및 기타 부착물을 제거하고 깨끗이 씻은 후 물기를 없애고 멸균된 whirl-pak (Nasco, USA) 에 담았다. 육상오염원 시료는 해수가 유입되지 않는 간조시간 1시간 전후에 멸균된 유리병 (250 mL) 에 채수하였다. 모든 시료는 아이스팩을 이용하여 10℃ 이하로 유지하여 실험실로 운반한 즉시 분석을 실시하였다.

2. Fecal coliform, 일반세균수 및 E. coli 분석

Fecal coliform 및 일반세균수는 Recommended Procedures for the Examination of Sea water and Shellfish (APHA, 1970) 방법에 따라 시험하였다. Fecal coliform은 단계희석을 통한 3단, 5개 시험관법에 따라 시료를 접종하였으며 추정시험에는 Lauryl tryptose broth (Difco, US), 확정시험은 EC broth (Difco, US) 를 사용하여 35 ± 0.5 및 44.5 ± 0.2℃ 에서 각각 배양하였다.

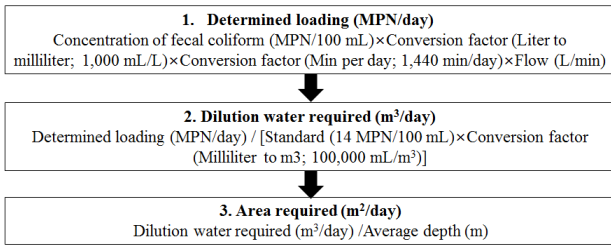


Fig. 2. Evaluation of influence pollutants.

*E. coli*는 Most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide (ISO/TS 16649-3:2015) 방법에 따라 시험하였다. 단계회석을 통한 3단, 5개 시험관법에 따라 시료를 접종하였으며 추정시험에는 Mineral-modified glutamate medium (Oxoid, US), 확정시험에는 Tryptone bile glucuronide agar (Oxoid, US) 를 사용하여 37 ± 1 및 44 ± 1°C 에서 각각 배양하였다. Fecal coliform 및 *E. coli*의 수는 100 mL당 또는 100 g당 최확수 (Most Probable Number, MPN) 로 표시하였다.

3. 주요 육상 오염원이 해역에 미치는 영향 평가

여자만 해역으로 유입될 수 있는 19개의 주요한 육상 오염원 배출수가 해역에 미치는 영향을 평가하기 위해 미국 FDA에서 제시한 오염원 평가방법에 따라 실시하였다. 먼저 오염원 배출수의 유량과 검출된 Fecal coliform의 농도를 분석하여 1일간 해역으로 유입되는 Fecal coliform의 농도를 계산하였고 미국이 권고하는 허가해역의 기준치인 14 MPN/100 mL으로 회석하는데 필요한 해수의 용적을 계산하였으며, 주변의 수심을 고려하여 오염원이 해역에 미치는 영향반경을 산출하였다 -> 영향반경을 산출하고 여자만 패류생산해역에 적용하여 오염원이 해역에 미치는 영향을 파악하였다 (Fig. 2).

4. 해수 및 패류의 위생학적 평가

여자만 해수의 위생상태 평가는 우리나라 및 미국의 해역 분류 기준에 준하여 Fecal coliform의 기하학적 평균치 (Geometric Mean) 및 계산된 백분위의 90번째 값 (Estimated 90th percentile) 의 수치를 계산하여 평가하였으며 90th percentile의 계산방법은 다음과 같다 (MOF, 2018; US FDA, 2016).

Est. 90th = Antilog [(Slog)1.28 + Xlog]
 Slog = 각 자료 그룹에서의 각각의 MPN의 대수값의 표준 편차
 Xlog = 각 자료 그룹에서의 각각의 MPN의 대수값의 평균

여자만 패류에 대한 위생상태 평가는 우리나라 및 유럽연합의 위생기준에 준하여 조사결과, 분변계대장균, *E. coli* 및 일

반세균수의 검출농도로 평가하였다 (MOF, 2018; European Commission, 2015).

결 과 및 고 찰

1. 주요 육상 오염원이 해역에 미치는 영향 평가

여자만 북부, 남부 해역의 배수구역에서 파악된 직·간접 오염원은 총 490개소였으며, 배출수가 해역으로 유입되고 있는 곳은 모두 47개소로 확인되었다. 북부 해역의 조사구역별로는 여주시 18개소 (소라면 9개소, 울촌면 9개소), 순천시 8개소 (해룡면 2개소, 별량면 6개소) 및 보성군 3개소 (별교읍 3개소)에서 배출수가 확인되었다. 배수구역에서 해역으로 유입되는 총 유입수량은 13,704.415 L/min로, 순천시 별량면과 보성군 별교읍에서 가장 많은 유량을 나타내었으며, 배출수의 종류는 대부분이 하천수 및 생활하수로 확인되었다. 남부 해역의 조사구역별로는 여주시 10개소 (화양면 10개소), 고흥군 8개소 (과역면 6개소, 점암면 1개소, 영남면 1개소)에서 배출수가 확인되었다. 배수구역에서 해역으로 유입되는 총 유입수량은 6,794.2 L/min였으며, 대부분이 생활하수로 확인되었다. (Table 1).

해역으로 유입되는 배출수 47개소 중 유량발생 가능성과 검출된 Fecal coliform 농도가 높아 해역의 세균학적 수질에 영향을 미칠 수 있는 주요한 육상오염원 19개 조사지점을 선정하였고 (Fig. 1), 2019년 3월, 4월, 10월 및 11월 총 4회 시료를 채취하여 이들 오염원의 배출수가 해역에 미치는 영향을 평가하였다.

조사지점별 오염원에서 발생된 유량, 검출된 Fecal coliform 및 Fecal coliform의 농도를 14 MPN/100mL로 감소시키기 위하여 필요한 해수량을 계산한 영향반경은 Table 2와 Fig 3에 나타내었다. 조사지점 중 I-1, I-6 및 I-19 지점은 연중 0.2 km 이하로 해역에 가장 영향을 미치지 않았으며, I-2, I-3 및 I-4 지점에서 최대 2 km 이상 가장 많은 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

전라남도 보성군 별교읍에 위치한 조사지점 I-1 및 I-2중, I-1는 인근마을의 생활하수가 유입되어 해역으로 방출되는 오염원으로 유량이 적고 분변오염도가 낮았으며, I-2는 별교읍 중심가를 가로지르는 하천수로, 별교읍 내에서 발생하는 각종 생활하수와 일부 비점오염원들의 영향을 받을 수 있지만, 연중 유량이 상당히 많고 분변오염도 값은 비교적 낮은 수준을 유지하고 있어서 패류생산해역 경계선까지는 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

전라남도 순천시에 위치한 조사지점 I-3, I-4 및 I-5중, I-3은 별량면에 위치한 하천수로 2019년 4월의 경우 Fecal coliform 농도가 13,000 MPN/100mL로 높은 오염도를 나타

Table 1. Summary of the pollution sources identified in the drainage area of Yeojaman area

Drainage area		No. of contaminants		Type and discharge volume (L/min)						
		Flow	No flow	Total	SW ¹⁾	DW ²⁾	AW ³⁾	RW ⁴⁾	QW ⁵⁾	
North-area	Yeosu-city	Sora-myeon	9	63	813.1	775.5	33.5	4.1	-	-
		Yulchon-myeon	9	23	862.8	660.0	148.2	54.6	-	-
		Hwajung-myeon	-	18	-	-	-	-	-	-
	Suncheon-city	Haereung-myeon	2	23	2.1	-	22.0	-	-	-
		Byeollyang-myeon	6	44	21,015.6	21,007.2	-	-	6.4	2.0
	Boseong-gun	Beolgyo-eup	3	55	12,005.4	12,000	-	-	5.4	-
	Goheung-gun	Donggang-myeon	-	10	-	-	-	-	-	-
		Namyang-myeon	-	32	-	-	-	-	-	-
	Total		29	268	1,711.02	34,442.7	203.7	58.7	11.8	2.0
South-area	Yeosu-city	Hwayang-myeon	10	102	4,317.2	3,654.0	627.2	36.0	-	-
		Namyang-myeon	-	2	-	-	-	-	-	-
	Goheung-gun	Gwayeok-myeon	6	43	461.0	-	220.8	240.2	-	-
		Jeomam-myeon	1	20	1,296.0	-	1,296.0	-	-	-
		Yeongnam-myeon	1	8	720.0	-	720.0	-	-	-
	Total		18	175	6,794.2	3,654	2,864	276.2	-	-

¹⁾Stream water, ²⁾Domestic waste water, ³⁾Aquaculture water, ⁴⁾Rainwater, ⁵⁾Aquaculture facility waste water

Table 2. Results of sanitary survey on pollution sources in the drainage area of Yeoja Bay in 2019

Station	Type	Discharge volume (L/min)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	Male-specific coliphage (CFU/100 mL)	Residue of half-circle (m)	No. of Samples
I-1	DW ¹⁾	21-30	< 1.8-32	< 10-< 10	< 2-9	4
I-2	SW ²⁾	13,650-26,400	220-4,900	< 10-20	393-2,059	4
I-3	SW	6,450-25,830	17-13,000	< 10-70	240-3,397	4
I-4	SW	12,000-42,000	220-23,000	< 10-410	930-6,179	4
I-5	DW	0.51-14.6	5,400-540,000	< 10-290	42-451	4
I-6	SW	15-224	8-700	< 10-20	6-143	4
I-7	SW	52.8-92.4	2,300-9,500	20-660	373-405	2
I-8	SW	1.8-142.8	950-14,000	< 10-4,630	128-593	4
I-9	DW	7.68-48	1,300-330,000	< 10-1,040	36-644	3
I-10	DW	3.6-58	13,000-790,000	< 10-10	317-881	4
I-11	DW	1.35-5	260-1,100,000	< 10-< 10	9-600	4
I-12	DW	21.6-223.2	2,700-280,000	< 10-6,760	128-813	4
I-13	DW	2.4-39.6	350-170,000	< 10-110	26-700	4
I-14	DW	1.8-79.2	< 1.8-33,000	< 10-7,160	< 2-116	4
I-15	DW	4.5-330	1,300-240,000	70-2,320	62-618	4
I-16	DW,AW ³⁾	1.27-10.5	4,900-350,000	< 10-< 10	39-388	4
I-17	DW	1.5-1057.1	2,200-350,000	< 10-74,000	93-404	4
I-18	DW	1.12-9	110,000-5,400,000	< 10-< 10	110-483	3
I-19	DW,AW	0.096-18	70-110,000	< 10-560	2-85	3
Total		0.096-42,000	< 1.8-5,400,000	< 10-74,000	< 2-6,179	71

¹⁾Domestic waste water, ²⁾Stream water, ³⁾Agricultural water

내었으며 계산된 영향반경은 3 km가 넘는 것으로 확인되었다. 그러나 4월을 제외한 조사기간 동안의 분변오염도는 대체로 낮고 연중 유량이 많아 계산된 영향반경은 1 km 이하로 해역에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 확인되었다. I-4는 순천시 중심가를 가로지르는 하천수로, 2019년 4월을 제외한 모든 조사기간 동안 Fecal coliform 농도가 10,000 MPN/100mL 이상으로 높은 오염도를 나타내었으며, 계산된 영향반경은 최대 6 km까지 해역에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 일부 비점오염원과 도심 인근 소규모 마을의 생활하수의 영향을 받을 수 있어 차집관로의 확충 및 보강공사를 통해 순천하수종말처리장의 하수처리율을 높이거나 마을단위의 하수처리장 신설을 통한 점진적 오염원 저감이 필요할 것으로 판단된다. I-5는 와온마을 인근 펜션의 생활하수가 유입되어 해역으로 방출되는 오염원으로, 유량이 적고 조사지점과 해역의 조사지점 사이에는 충분한 완충영역이 있어서 패류생산해역에 영향을 미치지 않았지만, 조사기간 모두 5,000 MPN/100 mL 이상으로 높은 분변오염도를 나타내어 하수처리장의 차집관로 확충 또는 가정집 정화조 수거를 통한 주기적인 오염원 관리가 필요할 것으로 판단된다.

전라남도 여수시에 위치한 조사지점 I-6, I-7, I-8, I-9, I-10 및 I-11중, 반월리에 위치한 하천수인 I-6은 양호한 위생상태를 나타내었고, I-7와 I-8은 복촌마을을 가로지르는 하천수로 유량은 많지 않지만 마을의 각종 생활하수들이 유입되는 오염원으로 분변오염도가 높아 하천으로 유입되는 하수의 관리가 필요할 것으로 판단된다. I-9는 달천마을 내 생활하수가 유입되어 방출되는 오염원으로 유량은 많지 않지만 분변오염 정도가 상당히 높아 하수처리장 신설이 되기 전까지는 가정집 정화조 수거를 통한 주기적인 오염원 관리가 필요할 것으로 판단된다. I-10은 달천도 내 생활하수가 해역으로 직접 방출되는 오염원 및 인근 생활하수와 농경수가 합쳐져 방출되는 오염원으로 모든 조사지점의 Fecal coliform 농도가 10,000 MPN/100mL 이상으로 분변오염도가 높지만 해역의 조사지점까지는 충분한 거리가 있어 영향을 미치지 않았다. 그러나 패류생산해역 경계선과 가까운 곳에 위치하고 있으며 분변오염도가 높은 생활하수를 기반으로 하고 있기 때문에 하수처리장 신설이 되기 전까지는 가정집 정화조 수거를 통한 주기적인 오염원 관리가 필요할 것으로 판단된다. I-11은 2019년 4월을 제외하고 모든 조사기간 동안의 Fecal coliform의 농도가 30,000 MPN/100mL 이상으로 분변오염도가 높았지만, 유량이 적고 조사지점과 패류생산해역 경계선 사이에 충분한 완충영역이 있어서 영향이 미치지 않은 것을 확인하였다. 그러나 분변오염도가 매우 높았기 때문에 생활하수로부터 방출되는 분변오염관리가 필요할 것으로 판단된다.

전라남도 여수시 화양면에 위치한 조사지점 I-12, I-13 및

I-14중, I-12와 I-13은 이천리에 위치한 생활하수로 이들 오염원의 분변오염도는 높지만, 유량이 적어 해역에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. I-14는 이목리에 위치한 생활하수로, 유량 발생량이 높지 않아 계산된 영향반경은 150 m 이하로 해역에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 확인되었다.

전라남도 여수시 화양면에 위치한 조사지점 I-15 및 I-16 이들 조사지점 모두 유량이 적고 계산된 영향반경이 700 m 이하로 해역에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 확인되었다.

전라남도 고흥군에 위치한 조사지점 I-17, I-18 및 I-19의 분변오염도가 높았지만, 유량이 적고 계산된 영향반경이 500 m 이하로 해역에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 확인되었다.

여지만 패류생산해역의 주 배출오염원은 생활하수이며, 대부분의 지역이 하수의 차집관로나 처리시설이 존재하지 않아 산재한 소규모 하천을 따라 본 해역으로 방류되고 있다. 오염원의 대부분은 유량이 적어 해역에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나, 일부 오염원에서 분변오염도가 높은 농도로 검출되었으며 이러한 지역에 대해서는 마을단위 하수처리시설의 신설, 보강 및 가정집 정화조 수거 등의 방법이 필요할 것으로 확인되었다. 유량이 많은 하천수 등의 오염원은 분변오염도가 낮은 수준으로 유지될 수 있도록 관리가 요구된다. 또한 강우 등의 영향에 따라 해역에 영향을 미칠 수 있기 때문에 강우가 패류생산해역의 세균학적 수질에 미치는 영향 연구 및 대책이 필요할 것으로 사료된다.

2. 해수 및 패류의 위생학적 평가

2018년 1월부터 2020년 6월까지 여지만 해역의 해수 21개소에 대한 Fecal coliform 검출 농도, 기하평균치 및 90th percentile 값을 Table 3에 나타내었다.

여지만에 대한 위생조사는 패류생산해역에 대한 생산단계부터 위생적인 관리를 통해 국민들에게 안전한 수산물을 공급하고 국제 위생안전 기준에 부응하는 패류생산해역 위생관리체계를 구축하기 위하여 여지만 해역을 북부와 남부로 나누어 조사를 하였다.

여지만 북부 해역의 해수 10개소를 매월 1회, 총 300개 시료를 조사한 결과 검출된 Fecal coliform 농도의 범위는 < 1.8-79.0 MPN/100mL이었으며, 기하학적 평균치와 90th percentile 값의 범위는 각각 < 1.8-2.7 및 1.8-9.1 MPN/100mL으로 나타났다. 조사지점 S-4, S-5 및 S-6의 경우, 각각 2018년 7월 10일, 2019년 5월 20일 및 2020년 5월 12일에 1회씩 43 MPN/100mL을 초과하였으며, 이는 조사지점 7일 전부터 당일까지 29.2, 69.5 및 44.4 mm의 강우가 발생하여 많은 오염물질이 일시에 해역으로 유입되어 분변대장균의 오염도가 증가한 것으로 사료되며, 북부해역에 위치한 오염원 조사지점 (I-2, I-3, I-4 및 I-5) 에 영향을 받았을 가능성

육상오염원이 여자만 새꼬막의 위생상태에 미치는 영향 평가

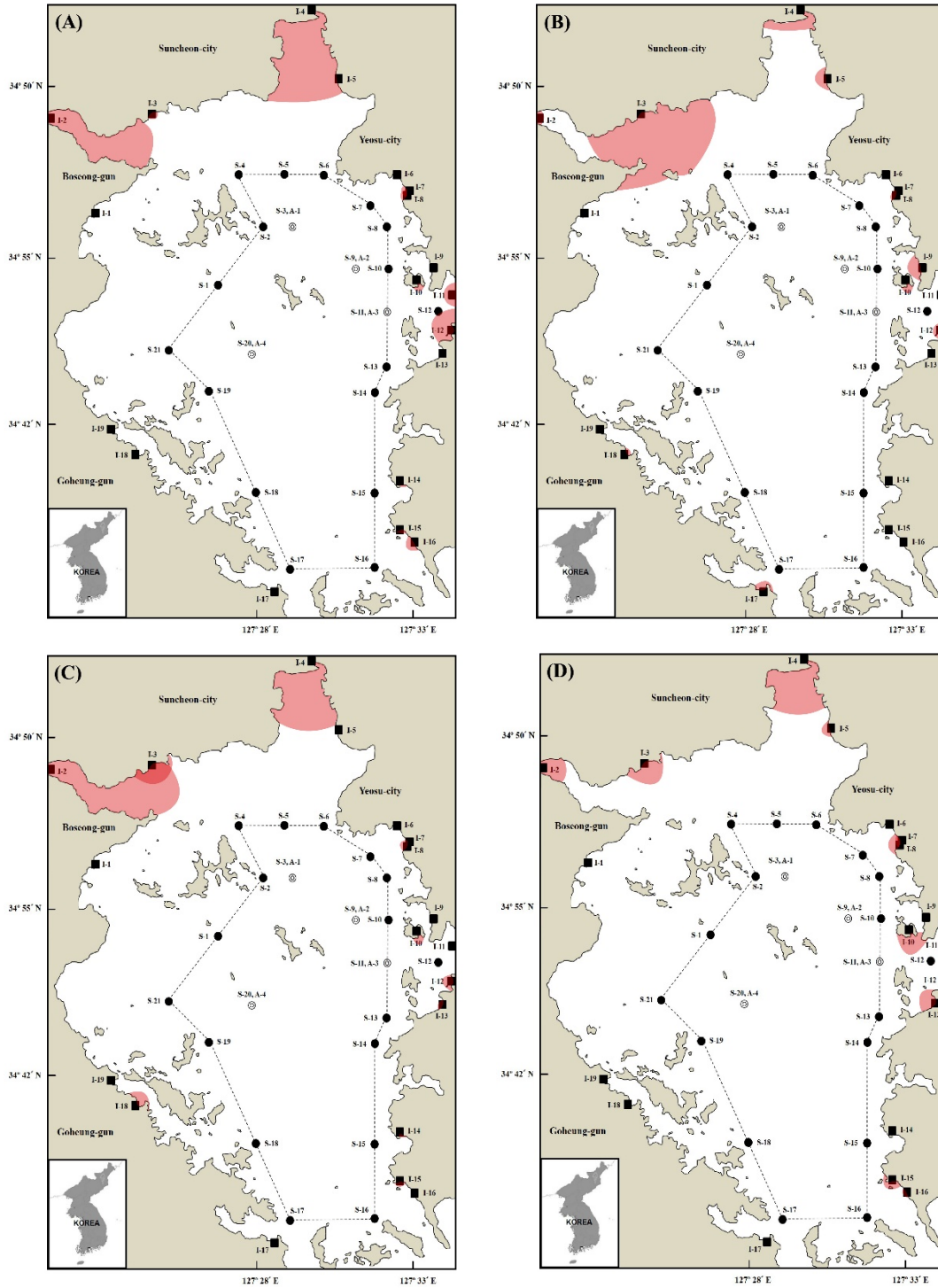


Fig. 3. Evaluation of radius of influence of major pollution sources impact in Yeosu Bay. (A); March 2019, (B); April 2019, (C); October 2019, (D); November 2019.

이 크다. 또한, S-2, S-5 및 S-6 지점의 경우 2회, S-3 및 S-7 지점의 경우 1회씩 14 MPN/100mL을 초과하였으며, 조사지점 7일 전부터 당일까지 최소 7.5 mm에서 최대 86.1 mm의

강우가 발생하여 분변대장균의 오염 정도가 증가한 것으로 보인다. 여자만 남부 해역의 해수 11개소를 매월 1회, 총 330개 시료를 조사한 결과 검출된 Fecal coliform 농도의

Table 3. Results of the bacteriological examination of each seawater sampling station in Yeolja Bay from Jan. 2018 to Jun. 2020

Station	Fecal coliform (MPN ¹⁾ /100g)									No. of Samples
	Range	Geometric mean	90th ²⁾	> 14		> 43		> 88		
				No.	%	No.	%	No.	%	
North-area										
S-1	< 1.8-13.0	1.8	3.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-2	< 1.8-33.0	2.1	5.4	2	6.7	0	0.0	0	0.0	30
S-3	< 1.8-33.0	2.1	4.8	1	3.3	0	0.0	0	0.0	30
S-4	< 1.8-49.0	2.1	4.8	1	3.3	1	3.3	0	0.0	30
S-5	< 1.8-49.0	2.7	9.1	3	10.0	1	3.3	0	0.0	30
S-6	< 1.8-79.0	2.6	8.7	3	10.0	1	3.3	0	0.0	30
S-7	< 1.8-33.0	2.1	4.8	1	3.3	0	0.0	0	0.0	30
S-8	< 1.8-2.0	< 1.8	1.9	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-9	< 1.8-7.8	1.9	3.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-10	< 1.8-4.5	1.8	2.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
Range	< 1.8-79.0	< 1.8-2.7	1.8-9.1	11	3.7	3	1.0	0	0.0	300
South-area										
S-11	< 1.8-2.0	< 1.8	1.9	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-12	< 1.8-13.0	2.0	3.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-13	< 1.8-4.5	1.9	2.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-14	< 1.8-4.0	< 1.8	2.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-15	< 1.8-4.5	1.9	2.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-16	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-17	< 1.8-2.0	< 1.8	1.9	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-18	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-19	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-20	< 1.8-4.0	< 1.8	2.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-21	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
Range	< 1.8-13.0	< 1.8-2.0	< 1.8-3.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	330

¹⁾MPN, Most probable number, ²⁾ The estimated 90th percentile

범위는 < 1.8-13.0 MPN/100mL이었으며, 기하학적 평균치와 90th percentile 값의 범위는 각각 < 1.8-2.0 및 < 1.8-3.7 MPN/100mL으로 나타났다. 남부 해역의 모든 조사지점에서 Fecal coliform의 농도가 14 MPN/100mL 미만으로 검출되어 해역의 위생상태가 양호한 것으로 확인되었다.

우리나라 및 미국의 경우 해수의 Fecal coliform 조사결과에 따라 해역을 분류하고 있다. 우리나라는 해양수산부의 패류생산해역 수질의 위생기준 (MOF, 2018)에 따라 지정해역 수준, 준지정해역 수준 및 조건부해역으로 생산해역별 위생등급을 구분하여 관리하고 있으며, 여자만 패류생산해역의 위생등급은 모든 조사지점의 Fecal coliform 기하학적 평균치가 14 MPN/100 mL 미만이므로, 지정해역 수준에 해당하는 결과를

나타내었다.

미국은 National Shellfish Sanitation Program (US FDA, 2016)에 따라 패류생산해역을 허가해역, 조건부허가해역, 제한해역, 조건부제한해역, 금지해역 5개 등급으로 분류하고 있다. 허가해역 또는 조건부허가해역의 경우, 해수의 Fecal coliform 기하학적 평균치가 14 MPN/100mL 미만이고 90th percentile 값이 43 MPN/100mL 이하 또는 43 MPN/100mL을 초과하는 시료가 10% 미만이어야 한다. 제한해역 또는 조건부제한해역의 경우, 기하학적 평균치가 88 MPN/100mL 미만이고 90th percentile 값이 260 MPN/100mL 이하 또는 260 MPN/100mL을 초과하는 시료가 10% 미만이어야 하며, 그 이상일 경우를 금지해역으로 분류하고 있다. 여자만 패류생

Table 4. Results of the bacteriological examination of Arkshell in Yejoa Bay from Jan. 2018 to Jun. 2020

Station	Fecal coliform (MPN ¹⁾ /100g)				<i>E. coli</i> (MPN/100g)				Plate count (CFU/g)			No of samples
	Range	> 230		Range	> 230		> 700		Range	> 50,000		
		No.	%		No.	%	No.	%		No.	%	
North-area												
A-1	< 18-330	1	3.3	< 18-330	1	3.3	0	0.0	30-4,500	0	0.0	30
A-2	< 18-490	1	3.3	< 18-490	1	3.3	0	0.0	30-4,000	0	0.0	30
Total	< 18-490	2	3.3	< 18-490	2	3.3	0	0.0	30-4,500	0	0.0	60
South-area												
A-3	< 18-490	1	3.3	< 18-490	1	3.3	0	0.0	50-1,400	0	0.0	30
A-4	< 18-330	1	3.3	< 18-490	1	3.3	0	0.0	30-2,500	0	0.0	30
Total	< 18-490	2	3.3	< 18-490	2	3.3	0	0.0	30-2,500	0	0.0	60

¹⁾MPN, Most probable number

산해역 해수 21개소에서 검출된 Fecal coliform의 기하학적 평균치 및 90th percentile가 < 1.8-2.7 및 1.8-9.1 MPN/100mL이고, 43 MPN/100mL을 초과한 시료가 0.5% 이하로 허가해역 등급 기준에 해당하는 결과를 나타내었다. 그러나 미국에서는 오염원의 영향을 고려하여 조건부 허가해역 및 조건부 제한해역 등급으로 분류하고 있다 (Chigbu *et al.*, 2005; US FDA, 2016). 여자만 패류생산해역의 해수 및 주변의 주요 육상오염원 조사한 결과, 수질은 허가해역 기준에 부합하나 해역 주변에 오염원이 산재하며 경우에 따른 오염원이 해역에 영향을 미칠 수 있으므로 미국의 해역분류 기준 중 조건부 허가해역에 해당한다.

조사기간 중 여자만에서 생산되는 새꼬막에 대한 위생상태를 평가하기 위해 북부 2개소, 남부 2개소 총 4개의 조사지점에서 세균학적 분석을 하였고, 결과는 Table 4에 나타내었다.

2018년 1월부터 2020년 6월까지 총 30회 조사결과, Fecal coliform, *E. coli* 및 일반세균수의 범위는 각각 < 18-490, < 18-490 MPN/100g 및 30-4,500 CFU/g로 검출되었다.

EU에서는 패류에서 검출되는 *E. coli* 농도에 따라, 해역을 3개의 등급 (A, B, C) 으로 분류한다. 조사시료의 80% 이상이 *E. coli* 230 MPN/100g을 초과하지 않으면서, 모든 시료가 700 MPN/100g을 초과하지 않을 경우 A등급으로 분류되며 즉시 출하가 가능하다. 그러나 시료의 90%의 *E. coli* 농도가 4,600 MPN/100g 이하인 B등급 해역 또는 46,000 MPN/100g 이하인 C등급 해역에서 생산된 패류는 유통되기 전에 반드시 인공정화 (Depuration) 또는 자연정화 (Relaying) 를 실시하여 패류의 품질이 A 등급에 해당될 때 유통하거나, 허가 받은 열처리 기법으로 가공한 제품의 형태로

판매하도록 규정하고 있다 (European Commission, 2015).

본 조사결과, 여자만 해역의 새꼬막에서 검출된 *E. coli*는 2019년 5월에 조사한 모든 시료에서 230 MPN/100g 을 초과하여 검출되었으나 700 MPN/100g 을 초과하는 시료는 없었다. *E. coli* 농도가 230 MPN/100g 을 초과하여 검출된 조사시점 7일 전부터 조사시기에 69.5-89.3 mm의 강우에 따른 오염원의 영향으로 갯벌이 오염되어 패류에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이상의 결과, 여자만의 새꼬막은 유럽연합 해역 분류기준에 따라 A등급으로 평가되었다.

우리나라는 패류생산해역의 등급을 해수의 Fecal coliform 농도 기준으로 부여하고 있으며, 수확 후 판매의 경우에는 식품의약품안전처의 식품의 기준 및 규격이 충족되어야만 한다 (MFDS, 2019). 소비자가 바로 섭취할 수 있도록 포장된 냉동 수산물의 경우에 일반세균수가 100,000 CFU/g 을 초과하지 않아야 하며, 본 조사결과 모든 시료에서 검출된 일반세균수는 4,500 CFU/g 이하로 우리나라의 식품 기준을 충족하는 것으로 확인되었다.

요 약

본 연구는 전남 여자만해역 주변의 주요 육상오염원을 파악하고 해수 및 패류에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 또한, 효과적인 위생관리와 안전한 패류생산을 위해 국·내외 기준에 따라 해수 및 패류의 위생상태를 평가하여 우리나라 정착성 수산물 등급기준에 따른 해역분류 및 한국패류위생계획에 근거하여 ‘수출용 패류생산 지정해역’의 가능성을 평가하고자 하였다.

여자만 배수유역에서 파악된 직·간접적 오염원은 북부 해

역 297개소, 남부 해역 193개소 총 490개소로 확인되었다. 배출수가 해역으로 유입되며, 유량이 많거나 Fecal coliform 농도가 높은 곳 19개소를 선정하여 2019년 3, 4, 10 및 11월 총 4회 분변 오염도 조사를 실시한 결과, 순천시에 위치한 하천수인 I-4는 4월을 제외한 모든 조사기간 동안의 Fecal coliform 농도가 10,000 MPN/100mL 이상으로 오염도가 높았으며 계산된 영향반경은 최대 6 km으로 확인되었다. 그 외 조사지점에서는, 유량이 적어 해역에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. Fecal coliform 농도가 높은 농도로 검출되어 강우 등의 영향에 따라 해역에 영향을 미칠 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

2018년 1월부터 2020년 6월까지 여자만 해역 북부 10개소, 남부 11개소 총 21개소의 해수조사지점에 대한 Fecal coliform 조사결과 검출된 Fecal coliform은 북부 < 1.8-79.0, 남부 < 1.8-13.0 MPN/100mL의 농도로 분석되었으며 계산된 기하학적 평균 및 90th percentile은 각각 < 1.8-2.7, < 1.8-2.0 MPN/100mL 및 1.8-9.1, < 1.8-3.7 MPN/100mL 으로 확인되었다. 또한, 여자만에서 생산되는 새꼬막의 위생상태를 평가한 결과 Fecal coliform, *E. coli* 및 일반세균수의 범위는 각각 < 18-490 MPN/100g 및 30-4,500 CFU/g로 검출되었다.

수출용 패류생산 지정해역으로 인정받기 위해서, 미국이나 유럽연합 등의 기준을 충족하여야 한다. 본 조사결과, National Shellfish Sanitation Program (US FDA, 2016)에 따라 해수의 수질은 허가해역 기준에 부합하나 해역 주변에 오염원이 산재하며 강우에 따른 영향을 받을 수 있으므로, 조건부 허가해역에 해당한다. 또한 유럽연합의 Regulation (EC) No 854 (European Commission, 2015)에 따라 패류(새꼬막)의 분석 결과, A등급으로 평가되었다.

여자만 패류생산해역의 안전한 패류 생산, 공급 및 수출을 위해서는 차집관로의 확충 및 보강공사를 통한 하수종말처리장의 처리율을 높이거나 하수처리장 확충이 시급하며, 확충 전까지 새꼬막의 위생 안전성을 강화하기 위해 가정집 정화조 수거 등 오염원 관리가 필요하다고 판단된다. 또한, 여자만 해역은 반폐쇄성 내만으로 직·간접적으로 배출되는 각종 오염물질들의 영향을 받기 쉬운 지형학적 위치에 있으며, 강우발생으로 인해 유량이 증가할 경우 해역에 영향을 미칠 수 있기 때문에 강우가 패류생산해역의 세균학적 수질에 미치는 영향 연구 및 대책이 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2020년도 국립수산물연구원 수산과학연구소사업 (R2020052)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCE

- APHA (1970) Recommended procedures for the examination of seawater and shellfish. 4th Edition. pp. 1-47. American Public Health Association, Washington.
- Chigbu, P., Gordon, S. and Tchounwou, P.B. (2005) The seasonality of fecal coliform bacteria pollution and its influence on closures of shellfish harvesting areas in Mississippi Sound. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2**: 362-373.
- 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.
- 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.
- Lee, J.H., Shin, S.B., Jeong, S.H., Ha, K.S., Lee, K.J., Son, K.T. and Lim, C.W. (2018) Assessment of Sanitary Safety of the Oyster (*Crassostrea gigas*) and Short neck clam (*Ruditapes philippinarum*) in Narodo Area, Korea, *Korean Journal of Malacology*, **34**(4): 241-249.
- MFDS (2019) Korea food standards. Article 2019-89. The Notification of Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju.
- MOF (2018) Sanitary Standard of Water quality in Shellfish growing area. Article 2018-63. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong.
- Min, D.K. (2004) Mollusks in Korea. 387pp. Hanguel Graphics, Busan.
- Park, K., 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.
- Potasman, I., Paz, A. and Odeh, M. (2002) Infectious Outbreaks Associated with Bivalve Shellfish Consumption: A Worldwide Perspective. *Clinical Infectious Diseases*, **35**: 921-928.
- Shin, S.B., Oh, E.G., Jeong, S.H., Lee H.J., Kim Y.K. and Lee T.S. (2016) Assessment of Bacteriological Safety of the Seawater and Ark shell (*Scapharca subcrenata*) in Yeoja Bay, Korea. *Journal of Fisheries and Marine Educational Research*, **28**(5): 1435-1443.
- 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*, **35**(4): 321-328.
Todd, K.E. and Campbell, A.R. (2002) Growing area 1508 sanitary survey report. Marlborough Public

Health Unit, Marlborough, New Zealand, 58.
US FDA (2016) National Shellfish Sanitation Program, Guide for the Control of Molluscan Shellfish. U.S. Food and Drug Administration, Silver Spring.