

육상 오염원의 가막만 굴 (*Crassostrea gigas*) 생산 영향 평가

신순범¹, 정상현², 임치원¹, 최우석¹, 이지희¹

¹국립수산과학원 남해수산연구소, ²국립수산과학원 남동해수산연구소

Impact of Inland Pollution sources on Oysters (*Crassostrea gigas*) produced in Kamak Bay, Korea

Soon Bum Shin¹, Sang Hyeon Jeong², Chi Won Lim¹, Woo Suk Choi¹ and Ji Hee Lee¹

¹South Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Yeosu 59780, Republic of Korea

²Southeast Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Tongyeong 53085, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, we examined influences of inland pollution sources on oysters (*Crassostrea gigas*) produced in Kamak bay. According to survey results, 3 sources of major inland pollution sources exceeded 1 km of radius of influence from January 2017 to December 2017. And from January 2017 to June 2019, the range of Fecal coliform, geometric mean and 90th percentile for 15 seawaters adjacent major pollution source were < 1.8-130 MPN/100 mL, < 1.8-2.3 and 1.8-7.3 MPN/100 mL. Also the range of Fecal coliform, *E. coli* and viable cell counts were < 18-790, < 18-230 MPN/100 g and < 30-850 CFU/g respectively. These results indicate that sweater and oyster of Kamak bay meets the standard of shellfish hygiene of Food Sanitation Act and assessed to be the Grade A. But some inland pollution sources affect Kamak Bay, so improvement or expansion of sewage treatment plant are necessary.

Key words: Kamak bay, Oyster, Pollution source, Fecal coliform, *Escherichia coli*

서 론

가막만은 만 중앙의 까막섬을 기준으로 북쪽으로 여수시 도심권, 동쪽으로 돌산읍, 서쪽으로 화양면 및 남쪽으로 화정면에 둘러싸인 타원형의 반 폐쇄성 내만이다. 총 수면적은 약 112 km²이며 남북의 길이는 약 15 km, 동서의 폭은 약 9 km이고 해역의 평균수심은 약 9 m로 영양염이 풍부하고 먹이생물의 번식이 원활하여 우리나라의 대표적인 패류 생산해역 중 하나로 알려져 있다 (NIFS, 2018). 가막만에서 주로 생산되는 패류는 굴, 지중해담치, 피조개, 새꼬막 등이 있으며 굴

면허 중 일부는 해양수산부의 고시에 따라 수출용 패류생산 지정해역 (이하 지정해역) 으로 지정되어 있다 (MOF, 2013).

국립수산과학원은 이러한 해역에 대한 체계적인 모니터링을 기반으로 수질 및 패류의 위생상태를 파악하고 있으며 관할 지자체에서는 해역에 영향을 미칠 수 있는 오염원에 대한 관리를 수행하고 있다 (MOF, 2019).

이처럼 패류가 생산되는 해역에 대한 관리가 필요한 이유는 패류가 위생학적으로 취약한 수산물이기 때문이다. 패류는 운동성이 활발하지 않고 내만에 서식하며 여과섭식을 하는 특성이 있어 주변 오염물질에 영향을 받을 가능성이 크기 때문이다. 특히 식중독을 유발하는 미생물이 연안에 출현할 경우 먹이과정 중 이러한 미생물을 체내에 농축할 가능성이 있으며 오염된 패류에 의한 식중독 사고는 전 세계적으로 보고된 바 있다 (Potasman *et al.*, 2002; Iwamoto *et al.*, 2010).

이러한 이유로 미국, EU 등에서는 패류가 생산되는 해역을 체계적으로 관리하고 있으며 그 관리의 일환이 해역의 등급을 결정하여 출하하는 방식이다. 미국은 해수에서 검출되는 Fecal coliform의 농도에 따라 5개의 등급을 결정하고 있으며, EU는 미국과는 달리 패류에서 검출되는 대장균

Received: November 11, 2019; Revised: November 27, 2019;
Accepted: December 03, 2019

Corresponding author: Ji Hee Lee

Tel: +82 (61) 690-8992, e-mail: wlgml5900@naver.com
1225-3480/24746

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.

(*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 등급이 가지는 의미는 등급이 결정된 해역에서 생산된 패류가 즉시 출하 가능한 상태인지 또는 출하 후 정화나 처리과정을 필요로 하는지를 결정한다는 것이다 (U.S. FDA, 2016; European Commission, 2015).

우리나라는 농수산물품질관리법 및 한국패류위생계획에 의거 미국 및 EU에 대해서는 수입국의 규정에 따라 지정해역을 관리하는 한편 우리 실정에 맞는 위생기준을 마련하여 내수용 패류생산해역 또한 관리하고자 노력하고 있다 (MOF, 2018; Lee *et al.*, 2018).

해역 관리에 가장 중요한 것은 수질이나 패류의 위생상태를 지속적으로 평가하는 것과 해역의 해역에 분포한 오염원의 현황을 파악하고 이러한 오염원이 해역에 미치는 영향을 파악하여 패류채취 가능 구역을 관리해 나가는 것이다. 이러한 연구들이 최근 남해안 패류생산해역을 중심으로 활발히 이루어지고 있으며 일부 해역의 위생상태에 대한 결과는 보고된 바 있다. 본 조사해역인 가막만의 경우, 2012년부터 2016년까지 패류에 대한 세균학적 및 독물학적 위생상태에 대한 보고가 있었으나, 수질 및 오염원을 종합하여 해역을 평가한 보고는 없었다 (Shin *et al.*, 2016; Ha *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2018).

본 연구에서는 가막만 지정해역에 영향을 미칠 수 있는 육상 오염원을 파악하고 주기적인 분변오염도 조사를 통하여 해역 관리의 과학적인 근거를 마련하고자 하였다. 또한 해역의 수질 및 패류의 위생상태를 국내의 기준에 따라 평가하여 가막만에서 생산되는 패류의 식품 안전성을 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 시료채취

가막만 배수유역에 분포한 육상오염원의 현황을 파악하기 위하여 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 유량의 발생량과 Fecal coliform 농도를 기준으로 주요한 8개 조사지점을 선정하였으며 2017년 1월부터 12월까지 8회 시료를 채취하였으며 이들 오염원의 배출수가 해역에 미치는 영향을 평가하였다 (Fig 1).

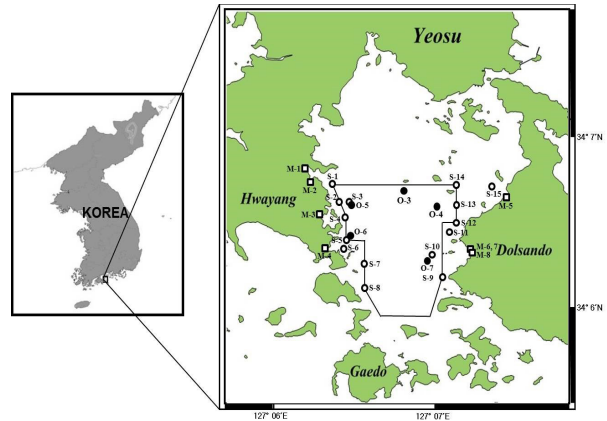


Fig. 1. Sampling stations in Kamak Bay. □; Major inland pollution source, ●; Oyster sampling point, ○; Seawater sampling point.

가막만 지정해역의 위생상태 파악을 위해 굴 오염원에 인접한 해수 조사지점 15개와 굴 조사지점 5개를 선정하였으며 국·내의 기준에 따라 2017년 1월부터 2019년 6월까지 30회 조사를 실시하였다 (Fig 1). 해수는 표면에서 약 10 cm 깊이의 표층수를 멸균된 유리병 (250 mL) 에 채수하였으며, 굴은 채취지점의 해수로 깨끗이 씻은 후 멸균된 whirl-pak (Nasco, USA) 에 담았다. 오염원 시료는 해수가 유입되지 않는 간조시간 1시간 전후에 채취하여 멸균된 유리병 (250 mL) 에 채수하였다. 모든 시료는 아이스팩을 이용하여 10℃ 이하로 유지하여 실험실로 운반하였으며, 도착 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) 에 준하여 분석하였다. 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 배양한 배양하였다.

*E. coli*는 Most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide (ISO/TS 16649-3:2015) 에 준하여 분석하였다. 단계희석을 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℃ 에서 각각 배양하였다. Fecal coliform 및 *E. coli*의 수는 100 mL당 최확수 (Most Probable Number, MPN) 로 표시하였다.

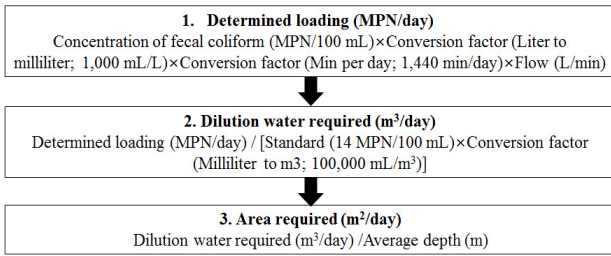


Fig. 2. Evaluation of influence pollutants.

3. 주요 육상 오염원에 대한 해역 영향 평가

주요 육상 오염원의 배출수에 대한 해역 영향평가는 미국 FDA에서 제시한 방법에 따라 실시하였다. 우선 배출수에서 검출된 Fecal coliform의 농도와 당시 발생한 유량을 참고하여 하루 동안 해역으로 유입되는 Fecal coliform의 농도를 계산하였다. 이 후 미국이 권고하는 허가해역의 기준치인 14 MPN/100 mL으로 희석에 필요한 해수의 양을 계산하고 이러한 해수를 포함하는 해역의 면적을 산출하였으며 수심을 고려하여 최종적으로 영향반경을 도출하였다 (Fig. 2).

4. 해수 및 폐류의 위생상태 평가

해수의 위생상태 평가는 우리나라 및 미국의 해역 분류 기준에 준하여 각 조사지점 30회 조사결과로부터 Fecal coliform의 중앙값, 기하학적 평균치 및 90th percentile의 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

폐류에 대한 해수의 분변오염도 평가는 우리나라 및 유럽연

합의 위생기준에 준하여 각 조사지점 30회 조사결과, 분변계대 장균, *E. coli* 및 일반세균수의 검출농도로 평가하였다 (MOF, 2018; European Commission, 2015).

결과 및 고찰

1. 주요 육상 오염원에 대한 해역 영향 평가

가막만 배수유역에서 만으로 유입되고 있는 하천과 하수구 수는 총 312개소이며 배출수가 있는 곳이 모두 55개소로 확인되었다. 조사유역별로는 화양면 23개소, 화정면 6개소 및 돌산읍 26개소에서 배출수가 확인되었다. 배수유역에서 해역으로 유입되는 총 유입수량은 76,437 L/min이었으며, 배출수의 종류별로는 하천 13개소에서 32,245, 생활하수 15개소에서 4,770, 육상 양식장 11개소에서 26,500, 기타 16개소에서 17,037 L/min의 배출수가 해역으로 유입되는 것을 확인하였다 (Table 1).

배출수가 확인된 오염원 55개소 중 유량발생 가능성과 검출된 Fecal coliform의 농도가 높은 곳을 기준으로 8개소의 주요 육상오염원을 선정하였으며 (Fig. 1), 가막만에서 굴이 생산되는 시기인 1월에서 5월, 10월에서 12월까지 월 1회 배출수의 수질을 분석하였다.

조사지점별 발생된 유량, 검출된 Fecal coliform 및 영향반경은 Fig. 3에 나타내었다.

여수시 화양면에 위치한 조사지점 (M-1, 2, 3, 4) 중에서 Fecal coliform의 농도는 M-4 지점에서 조사기간 모두 3,000 MPN/100 mL 이상으로 높은 오염도를 나타내었으며 계산된 영향반경은 2017년 2월의 경우, 1 km을 넘는 것으로 확인되었다. 즉 M-4 지점은 화양면 안포리에 존재하는 생활하수로 인근 마을의 하수가 그대로 해역으로 유입되고 있는 것을 확인할 수 있었다. M-2는 원포리에 존재하는 생활하수로 2017년 1월을 제외하고는 Fecal coliform 및 영향반경이 100

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

Drainage area	No. of pollution sources (Discharge volume, L/min)					
	Flow	No flow	SW ¹⁾	DW ²⁾	IW ³⁾	Others
Hwyang-myeon	23 (27,929)	156	7 (20,831)	5 (2,397)	3 (4,250)	8 (451)
Hwajeong-myeon	6 (15,726)	25	-	1 (84)	3 (15,589)	2 (54)
Dolsan-eup	26 (32,782)	76	6 (11,414)	9 (2,289)	5 (6,656)	6 (12,422)
Total	55 (76,437)	257	13 (32,245)	15 (4,770)	11 (26,500)	16 (17,037)

¹⁾Stream water, ²⁾Domestic waste water, ³⁾Inland Aquaculture facility waste water

육상 오염원의 가막만 굴 (*Crassostrea gigas*) 생산 영향

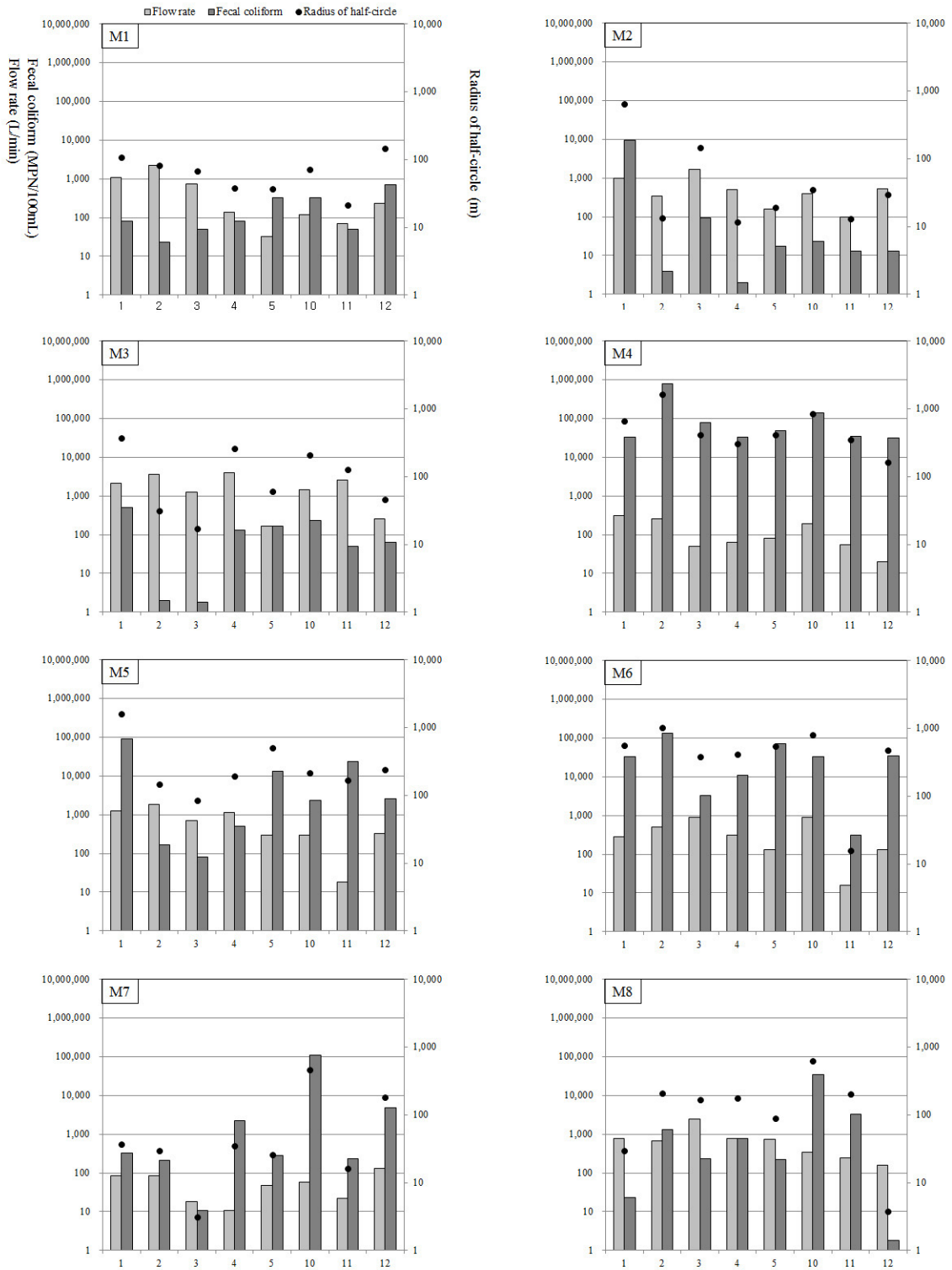


Fig. 3. Evaluation of major pollution sources impact in Kamak Bay.

MPN/100 mL 및 0.2 km 이하로 해역에 미치는 영향은 크지 않는 것으로 확인되었다. 또한 화양면에 위치한 하천인 M-1 및 M-3는 영향반경이 0.5 km 미만으로 오염 정도가 양호한 것으로 확인되었다.

여수시 돌산읍에 위치한 조사지점 (M-5, 6, 7, 8) 중에서 M-6에서 11월을 제외한 조사기간 모두 5,000 MPN/100 mL 이상으로 높은 오염도를 나타내었으며 계산된 영향반경은 2017년 2월의 경우, 1 km을 넘는 것으로 확인되었다. 조사지점 인근에는 마을단위 하수처리장이 운영되고 있으나, 결과에서처럼 처리되지 않은 하수가 해역으로 유입되고 있으므로 차집관로의 확충이 필요한 것으로 판단된다. M-5는 평사리에 존재하는 소하천으로 1, 5 및 12월의 경우 Fecal coliform이 10,000 MPN/100 mL로 높은 오염도를 나타내었으며 2017년 1월의 경우, 계산된 영향반경이 1 km을 넘는 것으로 확인되었다. M-7 (생활하수) 는 10월 및 12월 Fecal coliform이 4,000 MPN/100 mL 이상으로 검출되었으나, 유량 발생량이 높지 않아 계산된 영향반경은 0.5 km 이하로 해역에 미치

는 영향은 크지 않은 것으로 확인되었다. M-8 (하천수) 는 2017년 10월을 제외하고는 영향반경이 0.3 km 이하로 해역에 미치는 영향은 크지 않는 것으로 확인되었다. 최근 보고에 의하면 남해군 강진만의 경우, 10개소 이상의 하수처리장이 운영되고 있으나 일부 하천 및 생활하수에서 분변오염 정도가 높은 것으로 확인된 바 있다 (Shin *et al.*, 2018). 우리나라 하수도 통계에 따르면 본 연구의 조사지점 인근에는 M-6에서 M-8 주변에 1개소만 운영되고 있으며 (MOE, 2018), 따라서 가막만 주변에 생활하수 등이 해역으로 직접 유입되고 있는 것으로 확인된 화양면 원포리, 안포리 및 돌산읍 평사리에는 하수처리장의 확충 및 돌산읍에 운영 중인 하수처리장의 하수 차집율을 개선하는 대책이 필요할 것으로 판단된다.

2. 해수 및 폐류의 위생상태 평가

2017년 1월부터 2019년 6월까지 가막만에 위치한 15개의 해수조사지점에 대한 Fecal coliform 조사결과를 Table 2에 나타내었다. 조사지점별 30회, 총 450개의 해수 시료에서 검

Table 2. Summary of bacteriological examination of each seawater sampling station in Kamak Bay from Jan. 2017 to Jun. 2019

Station	Fecal coliform (MPN ¹⁾ /100					> 43		No. of Samples
	Range	Median	Geometric mean	90th ²⁾	No.	%		
Designated area								
S-1	< 1.8-14	< 1.8	2.0	3.9	0	0.0	30	
S-2	< 1.8-4.5	< 1.8	1.8	2.2	0	0.0	30	
S-3	< 1.8-7.8	< 1.8	1.9	3.0	0	0.0	30	
S-4	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	1.9	0	0.0	30	
S-5	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	30	
S-6	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	30	
S-7	< 1.8-17	< 1.8	1.9	3.5	0	0.0	30	
S-8	< 1.8-6.8	< 1.8	1.8	2.5	0	0.0	30	
S-9	< 1.8-11	< 1.8	1.9	3.3	0	0.0	30	
S-10	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	30	
S-12	< 1.8-33	< 1.8	1.9	4.0	0	0.0	30	
S-13	< 1.8-79	< 1.8	2.1	5.9	1	3.3	30	
S-14	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	30	
Range	< 1.8-79	< 1.8	< 1.8-2.0	1.8-5.9	0-1	0-3.3	30	
Non-Designated area								
S-11	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	30	
S-15	< 1.8-110	< 1.8	2.3	7.3	1	3.3	30	
Range	< 1.8-130	< 1.8	< 1.8-2.3	1.8-7.3	0-1	0-3.3	30	

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

출된 Fecal coliform의 농도는 < 1.8-130 MPN/100 mL로 분석되었으며 계산된 기하학적 평균 및 90th percentile은 각각 < 1.8-2.3 및 1.8-7.3 MPN/100 mL으로 확인되었다.

우리나라와 미국은 해수에서 검출되는 Fecal coliform의 농도를 기준으로 해역을 분류하여 관리하고 있다. 우리나라는 패류생산해역 수질의 위생기준에 따라 지정해역, 준지정해역 및 조건부 해역의 3개 등급으로 해역을 구분하며, 모든 조사지점에서 검출된 Fecal coliform의 기하학적 평균이 14 MPN/100 mL 미만일 경우를 지정해역 수준, 14 이상 88 MPN/100 mL 미만일 경우를 준지정해역 수준, 88 MPN/100 mL을 초과할 경우를 조건부해역으로 분류하고 있다 (MOF, 2018). 본 조사결과 15개 해수 조사지점에서 검출된 Fecal coliform의 기하학적 평균은 < 1.8-2.3 MPN/100 mL로 지정해역 기준에 부합하는 것으로 확인되었다.

미국은 국제패류위생프로그램 (National Shellfish Sanitation Program, NSSP) 에 따라 허가해역, 조건부허가해역, 제한해역, 조건부제한해역, 금지해역의 5개 등급으로 해역을 분류하고 있으며 Fecal coliform의 기하학적 평균치가 14 MPN/100 mL 미만이고 90th percentile 값이 43 MPN/100 mL 이하 또는 43 MPN/100 mL을 초과하는 시료가 10% 미만일 경우를 허가해역 또는 조건부허가해역, 기하학적 평균치가 88 MPN/100 mL 미만이고 90th percentile 값이 260 MPN/100 mL 이하 또는 260 MPN/100 mL을 초과하는 시료가 10% 미만일 경우를 제한해역 또는 조건부제한해역, 그 이상일 경우를 금지해역으로 분류하고 있다 (US FDA, 2016). 본 조사결과 15개 해수 조사지점에서 검출된 Fecal coliform의 기하학적 평균 및 90th percentile은 < 1.8-2.3 및 7.3 MPN/100 mL 이었으며 모든 조사지점에서 43 MPN/100 mL을 초과한 시료가 3.3% 이하로 확인되어 분류 등급 중 상위등급인 허가해역 기준에 부합하는 것으로 평가되었다. 본 연구에서 설정된 해수 조사지점은 해양수산부의 지정해역 지정 고시에 따라 설정된 지정해역 내에 13개 지점과 지정해역 외부에 2개 지점으로 각각 1개소 (S-13, S-15) 에서 1회씩 43 MPN/100 mL을 초과하였으며 이는 여수시 돌산읍 평사리에 존재하는 오염원의 영향으로 추정되며 특히 주요 육상 오염원에 대한 해역 영향 평가 결과에서의 M-5에 영향을 받았을 가능성이 크다.

연안해역의 수질에 영향을 미칠 수 있는 오염원은 생활하수, 농경수 및 가축 사육용수 등이 있으며 이러한 오염원에서 발생된 분변 오염물질들이 하천이나 하수구 등을 통하여 해역으로 유입된다. 이러한 오염원들은 상시적 또는 간헐적으로 해역을 오염시키고 있으며 미국에서는 오염원의 영향을 고려하여 조건부 허가해역 및 조건부 제한해역 등의 등급을 분류하고 있다 (Chigbu *et al.*, 2005; US FDA 2016). 본 조사결과 가막만

의 수질은 허가해역에 준하고 있지만, 오염원이 산재되어 있으며 특정한 오염원이 해역에 영향을 미칠 수 있으므로 최종적으로 미국의 해역분류 기준 중 조건부 허가해역에 부합한다고 평가할 수 있다.

또한 조사기간 중 가막만에서 생산되는 굴에 대한 위생상태를 평가하기 위해 설정된 5개의 조사 지점에서의 세균학적 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 2017년 1월부터 2019년 6월까지 30회 조사결과, 검출된 Fecal coliform, *E. coli* 및 일반세균수의 범위는 각각 < 18-790, < 18-230 MPN/100 g 및 < 30-850 CFU/g로 확인되었다.

패류에서 검출되는 *E. coli* 농도를 기준으로 해역을 3개의 등급 (A, B, C) 으로 분류하는 EU에서는 30회 이상의 조사결과, 시료의 80% 이상의 시료가 230 MPN/100 g을 초과하지 않고 모든 시료가 700 MPN/100 g을 초과하지 않을 경우 A 등급으로 분류하여 즉시 출하가 가능하다 (European Commission, 2015). 본 연구결과, 가막만의 굴에서 검출된 *E. coli*는 모든 시료에서 230 MPN/100 g 이하로 확인되어 EU 해역 분류기준에 따라 A등급으로 평가되었다. 미국은 해역의 수질을 근거로 해역을 분류하고 있으나, 주 정부마다 별도의 규정에 따라 식품 기준을 적용하여 패류 등의 수산물을 관리하고 있다 (NFI, 1998). 즉 수산물에서 검출되는 Fecal coliform 또는 *E. coli*의 농도를 기준으로 판매 금지 조치를 하고 있으며, 캘리포니아주 등에서는 패류에서 Fecal coliform 230 MPN/100 g을 기준으로 제시하고 있다. 본 조사결과, O-7 지점에서 Fecal coliform의 농도가 230 MPN/100 g을 1회 초과하였으며, 2018년 5월에 채취한 시료로 확인되었다. 가막만 지정해역은 미국으로 굴 수출을 위하여 강우등급에 따라 채취금지 기준을 설정하고 있으며, 22 mm 이상의 강우 발생 시 7일간 패류채취가 금지된다. 기준치를 초과한 시료의 경우, 채취 5일전부터 당일까지 23.7 mm의 강우가 발생하였으며 7일간의 채취금지기간에 해당하였다. 우리나라는 앞서 언급한 바와 같이 패류생산해역의 등급을 해수를 기준으로 부여하고 있으며, 수확 후 판매는 식품의약품안전처의 식품의 기준 및 규격을 충족해야만 한다 (MFDS, 2019). 이에 따르면 소비자가 바로 섭취할 수 있도록 포장된 냉동 수산물의 경우는 일반세균수가 100,000 CFU/g, 생식용 굴의 경우는 *E. coli*가 230 MPN/100 g을 초과하지 않아야 하며, 본 연구결과 모든 시료에서 검출된 일반세균수 및 *E. coli*는 850 CFU/g 이하 및 230 MPN/100 g 이하로 우리나라의 식품 기준을 충족하는 것으로 확인되었다.

본 연구의 주요 육상 오염원에 대한 해역 영향 평가 결과, 일부 하천 및 생활하수가 해역에 영향을 미칠 수 있는 것으로 확인되었으나, 해수 및 패류는 국·내외 기준에 부합하는 수준으로 평가된 것은 오염원과 지정해역 경계선까지 충분한 완충

Table 3. Results of the bacteriological examination of oyster in Kamak Bay from 2017 to 2019

Station	Results											No of samples
	Fecal coliform (MPN ¹⁾ /100 g)				<i>E. coli</i> (MPN/100 g)				Plate count (CFU/g)			
	Range	> 230		Range	> 230		> 700		Range	> 50,000		
		No.	%		No.	%	No.	%		No.	%	
Harvest season ²⁾												
O3	< 18-45	0	0.0	< 18-20	0	0.0	0	0	< 30-190	0	0.0	21
O4	< 18-68	0	0.0	< 18-50	0	0.0	0	0	< 30-320	0	0.0	21
O5	< 18-110	0	0.0	< 18-110	0	0.0	0	0	< 30-260	0	0.0	21
O6	< 18-170	0	0.0	< 18-130	0	0.0	0	0	< 30-360	0	0.0	21
O7	< 18-790	1	4.8	< 18-230	0	0.0	0	0	< 30-850	0	0.0	21
Total	< 18-790	1	1.0	< 18-230	0	0.0	0	0	< 30-850	0	0.0	105
Non-Harvest season ³⁾												
O3	< 18-230	0	0.0	< 18-170	0	0.0	0	0	< 30-160	0	0.0	9
O4	< 18-220	0	0.0	< 18-78	0	0.0	0	0	< 30-210	0	0.0	9
O5	< 18-220	0	0.0	< 18-130	0	0.0	0	0	30-750	0	0.0	9
O6	< 18-130	0	0.0	< 18-110	0	0.0	0	0	30-640	0	0.0	9
O7	< 18-78	0	0.0	< 18-80	0	0.0	0	0	30-430	0	0.0	9
Total	< 18-230	0	0.0	< 18-170	0	0.0	0	0	< 30-750	0	0.0	45

¹⁾MPN, Most probable number, ²⁾From January to May and from September to December, ³⁾From July to August

영역을 형성하기 때문이다. 즉, 오염원에서 배출된 미생물은 패류의 서식환경에 도달하기 전 수온, 염분, 태양광 등의 환경에 영향을 받고 해수에 그 농도가 희석되어 지정해역 내의 해수 및 패류에 영향을 미치는 정도가 감소한 것으로 판단된다 (Nunez *et al.*, 2005; APHA 2017).

하지만 오염원은 강우 발생 등의 환경변화에 따라 해역으로 유입되는 오염 정도가 증가할 가능성이 크기 때문에 앞으로도 주기적인 모니터링과 함께 오염원을 관리해야 할 것이다. 또한 본 연구의 조사해역인 가막만은 굴을 수출할 목적으로 지정해역으로 설정되어 있으므로 매년 해수 및 굴의 위생지표세균을 근거로 해역을 재평가하여 국내외 규정에 따른 해역 분류를 지속적으로 실시해야 할 것이다 (MOF, 2019).

요 약

본 연구에서는 수출용패류생산지정해역으로 지정되어 가막만 지정해역에 영향을 미칠 수 있는 육상 오염원을 파악하고 주기적인 분변오염도 조사를 통하여 해역관리의 과학적인 근거를 마련하고자 하였다. 또한 해역의 수질 및 패류의 위생상

태를 국·내외 기준에 따라 평가하여 가막만에서 생산되는 패류의 식품 안전성을 확보하고자 하였다.

가막만 배수유역에서 만으로 유입되고 있는 오염원은 총 312개소이며 배출수가 있는 곳이 모두 55개소로 확인되었다. 이 중 주요한 육상오염원에 대하여 2017년 1월부터 12월까지 분변 오염도를 조사한 결과, 생활하수인 M-4, M-5 및 M-6의 경우 Fecal coliform으로 계산된 영향반경이 1 km을 넘는 것으로 확인되었다.

2017년 1월부터 2019년 6월까지 가막만에 위치한 15개의 해수조사지점에 대한 Fecal coliform 조사결과 검출된 Fecal coliform의 농도는 < 1.8-130 MPN/100 mL로 분석되었으며 계산된 기하학적 평균 및 90th percentile은 각각 < 1.8-2.3 및 1.8-7.3 MPN/100 mL 확인되었다. 또한 동 조사기간 중 가막만에서 생산되는 굴의 위생상태를 평가한 결과 검출된 Fecal coliform, *E. coli* 및 일반세균수의 범위는 각각 < 18-790, < 18-230 MPN/100 g 및 < 30-850 CFU/g로 분석되었다.

본 조사결과, 가막만의 해수 및 패류의 위생상태는 우리나라의 지정해역 수준, 미국의 조건부 허가해역 및 EU의 A등급에

부합하는 것으로 확인되었으며, 체계적인 오염원 관리를 위하여 화양면 원포리, 안포리 및 돌산읍 평사리에는 하수처리장의 확충 및 돌산읍에 운영 중인 하수처리장의 하수 차집율을 개선하는 대책이 필요할 것으로 판단되었다.

이러한 조사결과는 외국과의 패류위생협정 유지 및 관할 지자체의 오염원 관리를 위한 과학적인 근거자료로 활용될 것이다.

사 사

본 연구는 2019년도 국립수산물과학원 수산과학연구소사업 (R2019050) 의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- APHA (1970) Recommended procedures for the examination of seawater and shellfish. 4th Edition. pp. 1-47. American Public Health Association, Washington.
- APHA (2017) Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd Edition. 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*.
- 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.
- 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 Retrieved from <https://doi.org/10.9710/kjm.2018.34.4.241>
- MFDS (2019) Korea food standards. Article 2019-89. *The Notification of Ministry of Food and Drug Safety*, Cheongju.
- MOE (2018) Sewage statistics by 2017. *Ministry of Environment*, Sejong. Retrieved from http://www.me.go.kr/home/web/policy_data on October 1.
- MOF (2013) Designation of the shellfish growing area for export. Article 2013-153. *Ministry of Oceans and Fisheries*, Sejong.
- MOF (2018) Sanitary Standard of Water quality in Shellfish growing area. Article 2018-63. *Ministry of Oceans and Fisheries*, Sejong. Retrieved from <http://www.law.go.kr> on October 3.
- MOF (2019) Korean Shellfish Sanitation Program. pp. 1-94. *Ministry of Oceans and Fisheries*, Sejong. Retrieved from <http://www.mof.go.kr> on October 3.
- NFI (1998) State Guidelines for coliforms, fecal coliforma, and *E. coli*. *National Fisheries Institute*, Arlington.
- NIFS (2018) Sanitary Survey of Shellfish Growing Area in Kamakman (Designated Shellfish Growing Area No. 4). 11-1192266-000223-14, 1-88. *National Institute of Fisheries Science*, Busan.
- Nunez, M., Martin, M., Chan, P. and Spain, E. (2005) Predation, death and survival in a biofilm: *Bdellovibrio* investigated by atomic force microscopy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **25**;42(3-4): 263-271. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2005.03.003>
- 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 Fishier and Marin Educational Research*, **28**(5): 1435-1443. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.5.1435>.
- Shin, S.B., Lim, C.W., Lee, J.H. and Jung, S.H. (2018) Evaluation of Inland Pollution Sources impact in the Gangjin Bay, Korea. *Journal of Fishier and Marin Educational Research*, **30**(6): 2241-2248. Retrieved from <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.12.30.6.2241>
- 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 October 1.