

주요 육상오염원이 나로도 해역의 해수 및 패류에 미치는 영향

최우석¹, 신순범¹, 윤민철², 이지희¹, 김기용², 임치원¹

¹국립수산과학원 남해수산연구소, ²국립수산과학원 식품위생가공과

The Effect of Major Inland Pollution Sources on Sea and Shellfish in Narodo Area, Korea

Woo Seok Choi¹, Soon Bum Shin¹, Minchul Yoon², Ji Hee Lee¹, Ki Yong Kim² and Chi Won Lim¹

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

²Food Safety and Processing Research Division, NIFS, Busan 46083, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, The influence of pollutants flowing in from the vicinity of the Sea Areas of Shellfish production for export got calculated by investigating the type, shape and radius of pollutants to determine how much it affects the sea area. In addition, the sanitary condition of seawater and shellfish in the Narodo Sea area was investigated in accordance with Korean, US and EU regulations to ensure the safety of clams, which are the main production shellfish in Narodo. There were 179 sources of pollution in the waters near Narodo, and a total of 28 places where the flow rate was confirmed. As a result of analyzing samples from January 2018 to December 2020 at 4 sites selected as major land pollution sources, it was found that the concentration of fecal coliform intermittently high in the final discharge outlets of Ikgeum Village sewer, Dohwacheon and Deokjungcheon was found. It was confirmed that the radius of influence was about 2.5 km. From January 2018 to December 2020, the water quality at 27 sites and clams, the main production of shellfish produced in the water of Narodo, were investigated. The values of fecal coliform, *E. coli* and general bacterial counts of clam were confirmed to be < 18-490, < 18-490 MPN/100 g and 10-3,600 CFU/g, respectively. The results of the investigation at 27 seawater points at the same time were confirmed that the range of fecal coliform coli was < 1.8-27 MPN/100 mL. Moreover, the range of geometric mean and 90th percentile was analyzed to be < 1.8-2.3 and < 1.8-5.3 MPN/100 mL, respectively. Therefore, According to this research, It is believed that it can be used as basic scientific data to manage pollutants and ensure the safety of shellfish by evaluating how much major land pollutants around Narodo of Goheung bacteriologically affect the water quality and shellfish in the sea area.

Keywords:

서 론

패류는 이동성이 거의 없고 육지와 인접한 연안에서 서식하며, 여과섭식을 통하여 영양분을 섭취하는 특성상 가두리양식

장, 가축사육지, 주거지 등에서 발생하는 각종 분변에 오염된 해수를 통해 각종 위해물질을 섭취하여 체내에 축적하게 된다 (Hunter *et al.*, 1999; Mallin *et al.*, 2001). 우리나라에서 한해 생산되는 패류의 생산금액으로는 약 1조원에 이르고 있으며, 양은 대략 41 만톤 정도이다. 이러한 패류는 남해안에서 80% 이상이 생산되며, 주요 생산 패류로는 굴, 바지락, 담치류 및 고막류 등이 있다 (MOF, 2021a). 하지만 최근 전 세계적으로 산업화가 진행되고 해역 주변 육지로부터 생활하수, 농약, 육상양식장 등 유해한 물질이 인근 해역으로 흘러 들어가 수질 및 수산물이 오염물질에 노출되어 있다. 이러한 오염에 노출된 패류섭취로 인한 식중독 사고가 자주 보고되면서 식품 안전성에 대한 국민들의 관심이 증가하고 있다 (Potasman *et*

Received: December 12, 2021; Revised: December 22, 2021;
Accepted: December 31, 2021

Corresponding author: Woo Seok Choi

Tel: +82 (10) 3818-8244, e-mail: choiws8244@korea.kr
1225-3480/24803

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.

al., 2002; Lunestad et al., 2016). 때문에 미국, EU, 뉴질랜드 및 일본 등에서는 각 나라의 조건에 맞추어 해수 및 패류의 위생지표세균 분석결과에 따라 해역을 분류하여 관리하고 있다. 미국은 해수 중의 분변계대장균 농도에 따라 허가, 제한, 금지해역 및 폐쇄해역으로 분류하여 관리하고 있다 (U.S. FDA, 2016). 또한 유럽연합은 패류의 대장균 (*E. coli*) 농도에 따라 A, B 및 C 등급으로 해역을 분류하여 관리하며, 뉴질랜드와 일본은 해수 및 패류 모두의 위생 상태를 파악하여 관리하고 있다 (European Commission, 2015). 우리나라도 선진국들의 위생관리 체계를 도입하여 농수산물품질관리법과 한국패류위생계획을 수립하여 수출용 패류생산 지정해역 관리를 수행하고 있다 (MOF, 2019). 본 연구의 조사해역인 고흥반도 남단에 위치하고 있는 나로도 해역은 고흥군 봉래면, 동일면, 포두면 및 도화면에 접해있고, 7 m 정도의 얇은 평균수심으로 두군데의 협수로, 남쪽으로는 외해와 마주하고 있는 하나의 개방역을 통해 해수가 유·출입하고 있으며, 1999년 3월부터 4,398 ha에 대해 우리나라 5호 지정해역으로 설정되어있고 주 생산 패류는 바지락 및 굴이다 (Lee, 1994; Park et al., 2012). 해양수산부에서 설정한 지정해역은 외국으로 수출을 목적으로 설정하였으며, 고흥 나로도도를 포함하여 총 7개의 지정해역이 설정되어 있다. 수입국가의 기준에 따라 해역의 수질과 패류의 대장균 농도 파악 및 오염원 관리를 수반하여 지정해역을 관리하고 있다 (MOF, 2019; US FDA, 2016). 해역의 수질 및 패류의 대장균 분석을 통한 위생학적 평가는 여러 해역에서 연구된 바 있지만, 나로도 해역의 경우, 육상오염원이 해역의 해수 및 패류에 미치는 영향에 대한 연구는 부족했다 (Park et al., 2012). 따라서 본 연구에서는 고흥 나로도 주변 주요 육상오염원이 해역의 수질 및 패류에 얼마나 영향을 미치는지 평가하여, 오염원 관리 및 패류의 안전성을 확보하기 위한 과학적 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

재료 및 방법

1. 나로도 내수유역의 오염원 분포 조사

고흥군 나로도 주변 배수유역에 분포한 오염원의 현황을 파악하기 위하여 고흥군 동일면, 봉래면, 포두면 및 도화면의 4개 유역으로 나누어 해안선을 따라 정밀조사하였으며, 유량이 발생하는 오염원의 배출구 크기를 측정하고 오염원의 유량을 확인하고 채취하여 수온, 염분, pH 등을 측정하였다. 또한 유량이 있는 오염원의 대장균군, 분변계대장균 및 콜리파지를 분석하여 분변오염 정도를 평가하였다. 시료는 해수가 유입되지 않게 간조시간을 확인 후 채취하였으며 염분 측정을 통해 최종적으로 확인하였다. 유량 및 환경인자는 유속계 (Hach. US/FH 950.0, 0-6 m/s) 및 YSI 556 multiprobe system

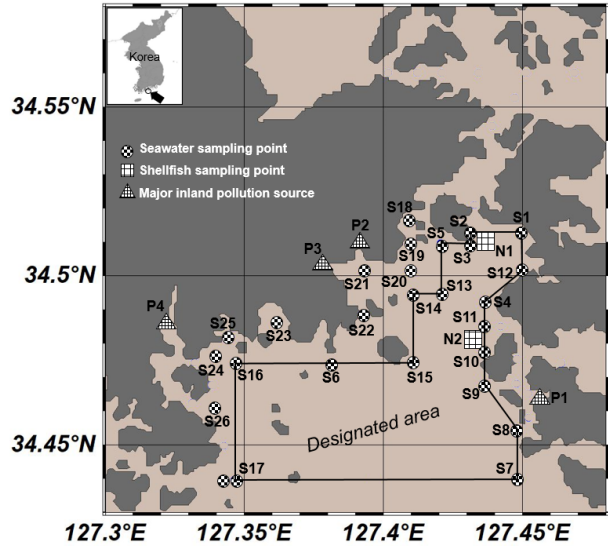


Fig. 1. Sampling stations in Narodo area.

(Yellow Springs, YSI Life Science, OH, USA) 를 사용하여 채취지점에서 바로 측정하였으며, 시료는 멸균된 1 L 채수병에 담아 빙장 후 (10°C 이하) 실험실로 이동하여 실험에 사용하였다.

2. 주요 육상오염원에 대한 영향 평가

나로도 배수유역에서 확인된 유량발생 오염원 시료들 중 분변계대장균이 1,000/MPN/100 mL 를 초과하거나 100 L/min 이상의 유량발생 지점 4개소를 주요육상오염원으로 지정하였으며 (Fig. 1), 2018년 1월부터 2020년 12월까지 분기별 (연 4회) 시료 채취 후 분석을 실시하였으며, 영향범위는 미국 FDA의 오염원 평가방법에 따라 계산하여 주요오염원이 해역에 미치는 영향을 파악하였다. 분변계대장균이 14 MPN/100 mL 이하로 희석시키는데 요구되는 해역의 면적과 반경으로 계산하였으며, 오염원이 방류되는 지점으로부터 평균수심을 적용하여 최종 영향반경을 나타내었다 (Shin et al., 2018)(Fig. 2).

3. 위생지표세균 분석

나로도 해역 패류의 대장균군 및 분변계대장균 분석은 Recommended Procedures for the Examination of Sea water and Shellfish (APHA, 1970) 의 방법에 따라 실험하였다. 15개체 이상의 패류를 패각과 분리한 후 250 g 이상의 패액과 패육을 혼합 후 동일량의 희석수 (0.1 % Phosphate buffered saline)를 혼합하여 분쇄하였다. 시료 2 mL 각 희석단계별로 5개 시험관으로 나누어 접종 후 분석하는 최확수법 (Most Probable Number, MPN) 으로 실험 후, 결과도 최확

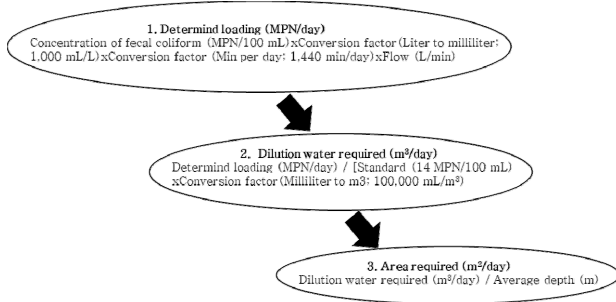


Fig. 2. Evaluation of influence pollutants.

수 (MPN) 로 나타내었다. *E. coli* 분석은 ISO/TS 16649-3:2015에 따라 실험에 의하였다.

4. 중금속 분석

수은은 골드아말감법 (Combustion gold amalgamation method) 으로 분석하는 자동수은분석기 (Automatic Mercury analyzer, Model IT/DMA-80, Milestone S&T, Italy) 를 사용하여 1개 시료당 3회 반복 분석하였다. 공시료 (Blank), 검량표준물질 (Calibration standards), 인증표준 물질을 같이 분석하였다. 수은분석을 위한 검량선은 인증표준 물질로 MESS-3 (National Research Council, Nova

Scotia, Canada) 를 사용하였으며, 회수율 확인은 DORM-4 와 1566b를 이용하여 분석의 정확성 확인을 위하여 사용하였다. 나로도 바지락 및 굴의 총수은 함량은 mg/kg, 생체중량으로 나타났다. 수은 분석시 사용한 니켈 boat는 증류수를 이용하여 초음파 세척 후 비어있는 boat를 돌렸을 때 height 값이 0.000-0.003 g 이하가 될 때까지 공시험 후 시료분석에 사용하였다. 시료를 균질화 하여 약 0.1 g을 전처리 없이 생시료로 취하여 곧바로 수은분석기를 이용하여 분석하였으며 총수은 분석을 위한 기기조건은 건조를 650°C에서 90초, 분해는 650°C에서 180초, 그리고 아말감화 (Amalgamation) 는 850°C에서 12초로 설정하였다 (Table 1). 모든 결과는 Easy-DOC3 프로그램 (Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone, USA) 을 이용하여 나타내었다 (Choi *et al.*, 2017). 납과 카드뮴분석을 위한 전처리는 식품공전에 따라 마이크로웨이브법을 사용하였다. 즉 균질화한 동결건조 시료 0.5 g을 10 mL 유리제 테스트튜브 (Pyrex, USA) 에 넣고 65% nitric acid 5 mL를 첨가하여 시료분해 장치에서 37분간 반응시켰다. 기기 조건은 초기 12분간 120°C에서 120 bar로 12분, 이후에 230°C, 150 bar로 15분, 마지막으로 230°C, 150 bar로 10분간 단계적으로 설정하였다. 분해된 시료는 2% (v/v) 질산으로 50 mL로 정용하였으며, 정용된 시료는 membrane filter

Table 1. Operating conditions for a mercury analyzer

Parameter	Analysis condition
Drying temperature (°C)	650
Drying time (sec)	90
Decomposition temp. (°C)	650
Decomposition time (sec)	180
Purge time (sec)	60
Amalgamator heating temperature (°C)	850
Amalgame time (sec)	12
Recording time (sec)	30

Table 2. Operating conditions of an ICP-MS

Parameter	Analysis condition
RF power	1400 Watts
Lens voltage	8.0 V
Nebulizer gas flow (Ar)	0.97 L/min
Plasma gas flow (Ar)	15 L/min
Auxiliary gas flow (Ar)	1.275 L/min
Dwell time	50 ms
Scanning mode	Peek hop
Number of replicate	3
Detector	Dual
Analytical elements	Pb (207.98), Cd (110.9)

주요 육상오염원이 나로도 해역의 해수 및 패류에 미치는 영향

Table 3. Summary of the pollution sources identified in the drainage area of Narodo area

Drainage area	No. of pollution sources (Discharge volume, L/min)				
	Flow	No flow	SW ¹⁾	DW ²⁾	Others
Dongil-myeon	6 (16,566)	40	1 (9,800)	4 (266)	1 (6,500)
Bongrae-myeon	6 (15,564)	59	-	1 (168)	6 (15,564)
Podu-myeon	7 (38,317)	25	3 (14,099)	-	3 (24,050)
Dohwa-myeon	9 (22,303)	27	5 (22,252)	3 (45)	1 (5.4)
Total	28 (92,749)	151	9 (46,151)	8 (479)	11 (46,119)

¹⁾Stream water, ²⁾Domestic waste water

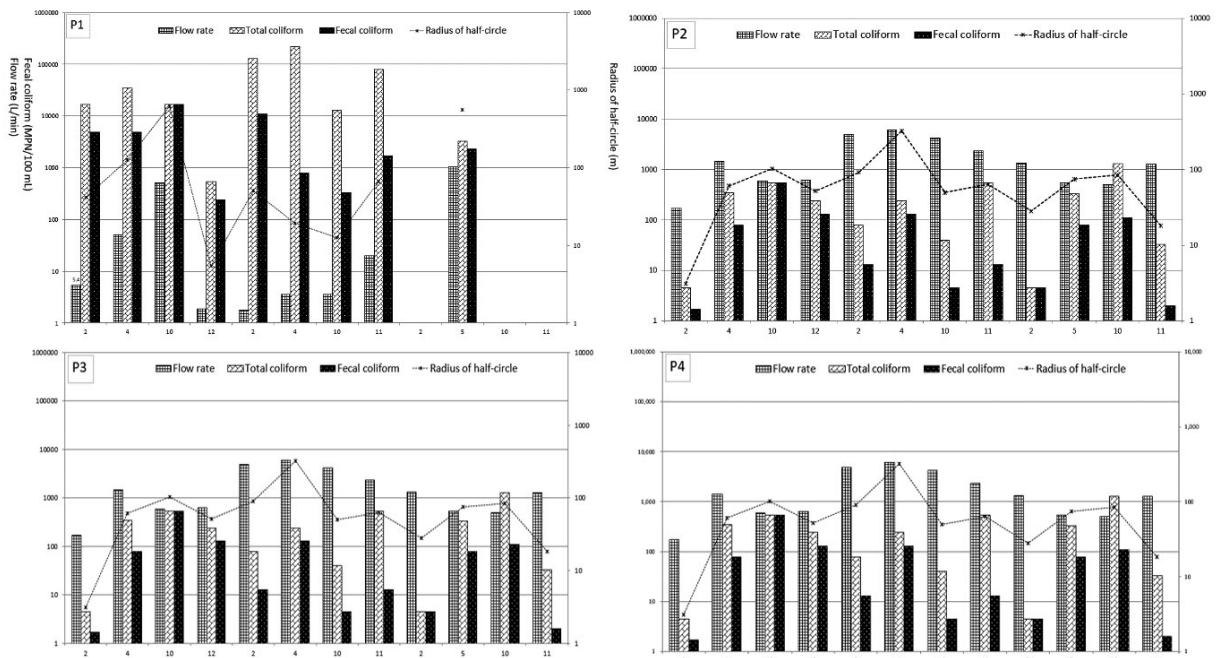


Fig. 3. Evaluation of major pollution sources impact in Narodo area.

(PVDF, 0.45 μm) 를 이용하여 불순물을 제거한 후, 실험에 사용하였다 (Lee *et al.*, 2019). 납 및 카드뮴은 유도결합플라즈마 질량분석기 (ICP-MS, Perkin Elan DRC II, Waltham, USA, MA) 로 분석하였으며, 이때 ICP-MS의 기기분석 조건은 Table 2에 나타내었다. 납 및 카드뮴 분석을 위하여 1,000 mg/kg 표준용액을 1, 5, 10, 25, 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 희석 후 사용하여 검량선을 그었으며, 회수율은 수은과 동일한 CRM인 DORM-4와 1566b를 사용하여 확인하였다.

5. 위해도 평가

나로도 바지락 및 굴의 위해도 평가는 수은, 납 및 카드뮴에

대한 주간, 월간추정섭취량 (estimated weekly intake, EWI) 을 조사된 총수은, 카드뮴 함량과 국민건강영양조사 제7기 3차년도 영양조사부문에 근거한 2018년 국민영양통계로부터 산출하였다 (MW, 2019; MW, 2020). 확인된 주, 월간에 상섭취량으로부터 FAO/WHO의 합동 식품 첨가물전문가위원회 (JECFA, 2017) 에서 지정한 무기수은 잠정주간섭취허용량(provisional tolerable weekly intake, PTWI)과 카드뮴 잠정월간섭취허용량(Provisional Tolerable Monthly Intake, PTMI) 에 대한 주간추정섭취량의 % 비율 (% of PTWI) 을 산출하여 위해도를 평가하였다.

Table 4. Summary of bacteriological examination of each seawater sampling station in Narodo area from Jan, 2018 to December, 2020

Station	Fecal coliform (MPN ¹⁾ /100 mL)						
	Range	Median	GM ²⁾	90th ³⁾	> 43		No. of Sample
					No.	%	
Designated area							
S1	< 1.8-17	< 1.8	1.9	3.1	0	0.0	36
S2	< 1.8-7.8	< 1.8	1.8	2.7	0	0.0	36
S3	< 1.8-23	< 1.8	1.9	3.3	0	0.0	36
S4	< 1.8-17	< 1.8	1.8	3.0	0	0.0	36
S5	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	36
S6	< 1.8-4.0	< 1.8	1.8	2.1	0	0.0	36
S7	< 1.8-9.3	< 1.8	1.8	2.6	0	0.0	36
S8	< 1.8-11	< 1.8	1.9	3.1	0	0.0	36
S9	< 1.8-7.8	< 1.8	1.9	2.8	0	0.0	36
S10	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	36
S11	< 1.8-7.8	< 1.8	1.9	2.9	0	0.0	36
S12	< 1.8-27	< 1.8	2.0	4.0	0	0.0	36
S13	< 1.8-7.8	< 1.8	1.8	2.5	0	0.0	36
S14	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	36
S15	< 1.8-7.8	< 1.8	1.8	2.7	0	0.0	36
S16	< 1.8-7.8	< 1.8	2.0	3.4	0	0.0	36
S17	< 1.8-4.5	< 1.8	1.8	2.2	0	0.0	36
Range	< 1.8-27	< 1.8	< 1.8-2.0	1.8-4.0	0	0.0	36
Non-Designated area							
S18	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	36
S19	< 1.8-1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	0	0.0	36
S20	< 1.8-< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	0	0.0	36
S21	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	36
S22	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	1.8	0	0.0	36
S23	< 1.8-4.5	< 1.8	1.8	2.2	0	0.0	36
S24	< 1.8-11	< 1.8	2.0	3.6	0	0.0	36
S25	< 1.8-14	< 1.8	2.3	5.3	0	0.0	36
S26	< 1.8-17	< 1.8	1.9	3.4	0	0.0	36
S27	< 1.8-< 1.8	< 1.8	< 1.8	< 1.8	0	0.0	36
Range	< 1.8-17	< 1.8	< 1.8-2.3	< 1.8-5.3	0	0.0	36

¹⁾MPN, Most probable number, ²⁾Geometric mean, ³⁾The estimated 90th percentile

결과 및 고찰

1. 나로도 해역의 오염원 분포 현황 및 주요 오염원 영향 평가

나로도 배수유역에 분포하고 있는 모든 하천 및 하수구 등

오염원은 총 179개소이며, 유량 발생으로 해역으로 유입되고 있는 오염원은 모두 28개소로 파악되었다. 면 단위로 실제적 오염원을 살펴보면 동일면 6개소, 봉래면 6개소, 포두면 7개소 및 도화면 9개소로 확인되었으며, 오염원들이 해역으로 흘러

Table 5. Results of the bacteriological examination of Shortneck clam in Narodo area from 2018 to 2020

Station	Results											No. of Sample
	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.	%	
S-2	< 18-490	1	2.8	< 18-490	2	5.6	0	0	10-3,600	0	0.0	36
S-4	< 18-330	1	2.8	< 18-490	2	5.6	0	0	15-3,500	0	0.0	36
Total	< 1.8-490	2	2.8	< 18-490	4	5.6	0	0	10-3,600	0	0.0	72

¹⁾MPN, Most probable number

들어가는 총 유입량은 92,749 L/min으로 파악되었다. 오염원의 종류와 유입량을 살펴보면 하천 9개소에서 46,151, 생활하수 8개소에서 479, 기타 11개소에서 46,119 L/min가 해역으로 배출되어 유입되는 것을 확인하였다 (Table 3).

실제적 유량이 확인된 28개소 오염원 중 분변계대장균의 농도가 높고 유량이 지속적으로 발생하는 지점 4개소를 선정하여 주요육상오염원 조사지점으로 정했다. 또한 나로도 해역에서 패류 주 생산시기가 아닌 6월에서 9월을 제외한 시기에 분기별 1회 오염원의 농도를 분석하였다.

주요육상오염원 P1-P4 조사시 확인된 유량, 분변계대장균 및 해역에 얼마나 영향을 미치는지에 대한 영향반경을 나타내었다 (Fig. 3). P1-P4 지점에서 분변계대장균의 범위는 각각 49-17,000, 1.7-540, 4.5-24,000 및 1.7-24,000 MPN/100 mL로 나타났으며, 유량은 각각 1.8-1,044, 172.2-6,090, 81-12,888 및 84-172,032 L/min으로 확인 되었다. P3, 4번의 경우 많은 유량으로 해역에 미칠 수 있는 영향이 크므로 주기적인 관리가 필요한것으로 판단된다.

2. 나로도 해역의 위생상태 평가

Table 4은 2018년 1월부터 2020년 12월까지 3년간 나로도 해역에 위치한 27개소의 수질에 대한 분변계대장균 실험결과를 나타내었다. 각 지점별 36회씩, 총 972개 해수 시료에서 분석한 분변계대장균의 결과는 < 1.8-27 MPN/100 mL로 확인되었고 Geometric mean 및 90th percentile은 각각 < 1.8-2.3 및 < 1.8-5.3 MPN/100 mL로 계산되었다.

우리나라는 해수의 분변계대장균 농도에 따라 해역을 지정해역, 준지정해역 및 조건부해역으로 분류하여 관리하고 있다. 수출용 패류생산해역은 해양수산부의 한국패류위생계획에 따라 30회 이상의 조사에서 분변계대장균의 Geometric mean 값이 14 MPN/100 mL 미만일 경우 지정해역, 14 이상 88미

만, 88 초과일 경우 준지정해역, 조건부해역 이렇게 분류되고 있다 (MOF, 2021c). 본 연구의 나로도 해역 해수 27개소의 조사결과 분변계대장균의 Geometric mean 값이 < 1.8-2.3 MPN/100 mL로 우리나라 지정해역 기준에 충족하는 것으로 나타났다.

미국은 National Shellfish Sanitation Program, NSSP 규정에 의해 해수 중 분변계대장균의 Geometric mean 값 및 90th percentile 값에 의해 허가해역, 조건부허가해역, 제한해역, 조건부제한해역 및 금지해역으로 나뉜다. 허가해역은 분변계대장균의 Geometric mean 및 90th percentile 값이 각각 14 MPN/100 mL 이하 및 43 MPN/100 mL을 초과하는 시료가 10% 미만이어야 한다 (U.S. FDA, 2016). 나로도 해역은 앞서 언급한 해수의 Geometric mean 값 및 90th percentile 값은 < 1.8-2.3 및 < 1.8-5.3 MPN/100 mL로 NSSP 규정에 따라 허가해역으로 분류되는 것으로 확인되었다.

또한 나로도 해역의 대표 패류인 바지락에 대한 위생상태를 평가하기 위해 2018년 1월부터 2020년 12월까지 36회 조사결과를 Table 5에 나타내었다. 분변계대장균, *E. coli* 및 일반 세균수의 범위는 각각 < 18-490, < 18-490 MPN/100 g 및 10-3,600 CFU/g으로 확인되었다.

유럽연합 EU의 경우 패류의 *E. coli* 농도에 따라해역을 분류하게 되는데, 30회 이상 조사시 80% 이상의 시료가 230 MPN/100 g을 초과하지 않아야하며, 모든 시료 중 700 MPN/100 g을 넘지않을 경우 A등급으로 분류하며, B등급은 전체 시료수의 90%가 4,600 MPN/100 g 이하, 모든 시료가 46,000 MPN/ 100 g 미만일 경우, C 등급은 모든 시료가 46,000 MPN/ g 을 초과하지 않을 경우로 이렇게 총 3가지로 해역을 분류하게 된다 (European Commission, 2015).

본 연구 결과, 나로도 해역의 바지락 실험 결과에서 *E. coli* 값이 230 MPN/100 g을 초과한 시료가 72개 시료중 4개

Table 6. Recovery of certified reference materials (CRM)

CRM	Analyte	Certified value (mg/kg)	Measured value ¹⁾ (mg/kg)	Recovery (%) ²⁾
DORM-4	Hg	0.410 ± 0.055	0.366 ± 0.009	89.3
	Pb	0.416 ± 0.053	0.357 ± 0.040	85.8
	Cd	0.306 ± 0.015	0.245 ± 0.017	80.1
1566b	Hg	0.0371 ± 0.0013	0.032 ± 0.004	86.3
	Pb	0.308 ± 0.009	0.300 ± 0.037	97.3
	Cd	2.480 ± 0.08	2.196 ± 0.204	88.5

¹⁾Recovery of Hg, Pb, Cd was calculated by a mercury, Lead, Cadmium analyzer

²⁾Recovery was calculated with mean measured values based on the replicate determination

Table 7. Tissue-specific heavy metal concentration in Shortneck clam

Common name	Scientific name	Concentration ¹⁾ (mg/kg, wet weight)		
		Hg	Pb	Cd
Shortneck clam-01	<i>Ruditapes philippinarum</i>	0.008 ± 0.004	0.164 ± 0.042	0.158 ± 0.056
Shortneck clam-02		0.008 ± 0.002	0.128 ± 0.032	0.150 ± 0.015

¹⁾Hg, Pb, Cd range

(5.6%) 있으나, 80% 이상의 시료가 230 MPN/100 g을 초과하지 않았으며, 모든 시료가 700MPN/100 g 미만으로 EU 기준 A 등급에 해당하는 것을 확인 할 수 있었다.

이상의 결과를 요약하면, 주요 육상오염원 영향 평가 결과 나로도 해역으로 유입되는 육상오염원들 중 P1, P3 및 P4에서 간헐적으로 높은 분변계대장균의 값을 확인 할 수 있었다. 하지만 해수 및 패류 (바지락) 의 결과를 살펴보면 우리나라의 해수 및 패류의 위생기준, 해수에 대한 미국의 해역관리 기준 및 패류에 대한 EU의 안전성 기준을 모두 충족시키고 있으나, P3 및 P4는 우천시 등 많은 유량으로 영향반경이 약 2.5 km 정도로 확인되어 주기적인 관리가 필요한 것으로 사료된다.

3. 나로도 해역의 바지락 중 카드뮴, 납, 총수은 회수율 및 함량

회수율 평가를 위하여 Dorm-4 및 1566b의 인증표준물질을 통해 분석 결과의 정확성 및 재현성을 확인하였다 (Table 6). 그 결과 DORM-4와 1566b의 각 회수율은 수은 89.3%, 86.3% 납 85.8%, 97.3% 카드뮴 80.1%, 88.5% 로 나타났다. 그 중 회수율 중 약 85%로 나타난 어류 유래 인증표준물질 (DORM-4; Fish protein)의 수치는 AOAC guideline 부합하는 것으로 나타났다 (AOAC International, 2002). 따라서 본 연구의 바지락의 중금속 결과값은 신뢰성이 높을 것으로 사료된다.

우리나라 고흥 나로도 해역 패류의 대표종인 바지락 2개소의 카드뮴, 납, 총수은 함량의 결과를 Table 7 에 나타내었다. 지점별 카드뮴 함량은 S-01 0.078-0.219 (평균 0.158) mg/kg, S-02 0.015-0.174 (평균 0.150) mg/kg으로 나타났다.

본 연구에서의 2개소의 바지락 전체 카드뮴 함량 (0.154 ± 0.039 mg/kg) 은 mok 등이 보고한 바지락 (0.245 ± 0.141 mg/kg) 보다는 다소 낮았으며, 우리나라 패류에 대한 카드뮴 기준치 (MFDS, 2018) 는 2.0 mg/kg으로 본 실험에서 기준치를 넘는 시료는 없었다.

지점별 납의 함량은 S-01 0.117-0.219 (평균 0.164) mg/kg, S-02 0.095-0.116 (평균 0.128) mg/kg으로 나타났다.

본 연구에서의 2개소의 바지락 전체 가리비 납 함량 (0.146 ± 0.040 mg/kg) 은 Mok 등이 보바지락 (0.155 ± 0.160 mg/kg) 보다 낮았으며, 우리나라 패류에 대한 납의 기준치 (MFDS, 2018) 는 2.0 mg/kg으로 본 실험에서 기준치를 초과하는 시료는 없었다 (Mok et al., 2010).

2개의 지점별 총수은 함량은 S-01 0.004-0.014 (평균 0.008) mg/kg, S-02 0.005-0.010 (평균 0.008) mg/kg, 가리비 전체 0.004-0.012 (평균 0.008) mg/kg로 나타났다.

우리나라 패류에 대한 총수은의 기준치 (MFDS, 2018) 는 0.5 mg/kg으로 본 실험에서 기준치를 넘는 시료는 없었다.

Table 8. The estimated weekly intake of Shortneck clam compared with the PTWI set by JECFA

Common name	Scientific name	Mercury concentration ($\mu\text{g/g}$, wet weight)	Daily food intake ¹⁾ (g/man/day)	Estimated weekly intake ($\mu\text{g/kg}$ b.w./week)	% of PTWI ²⁾
Shortneck clam-01	<i>Ruditapes philippinarum</i>	0.008	1.09	0.00100	0.025
Shortneck clam-02		0.008	1.09	0.00100	0.025

The weekly intake: Mean content of total mercury \times daily food intake \times 7days/61.3 kg (b.w.)

¹⁾National Food & Nutrition Statistics: based on 2018 Korea National Health and Nutrition Examination Survey

²⁾The percentage of the PTWI (Inorganic mercury; 4 $\mu\text{g/kg}$ b.w./week) set by JECFA

Table 9. The estimated monthly intake of Shortneck clam compared with the PTMI set by JECFA

Common name	Scientific name	Cadmium concentration ($\mu\text{g/g}$, wet weight)	Daily food intake ¹⁾ (g/man/day)	Estimated monthly intake ($\mu\text{g/kg}$ b.w./month)	% of PTMI ²⁾
Shortneck clam-01	<i>Ruditapes philippinarum</i>	0.158	1.09	0.08428	0.337
Shortneck clam-02		0.150	1.09	0.08002	0.320

The monthly intake: Mean content of cadmium \times daily food intake \times 30days/61.3kg (b.w.)

¹⁾National Food & Nutrition Statistics: based on 2018 Korea National Health and Nutrition Examination Survey

²⁾The percentage of the PTMI (Cadmium; 25 $\mu\text{g/kg}$ b.w./month) set by JECFA

4. 나로도 해역의 바지락 위해성 평가

본 연구에서 조사된 고흥 나로도 해역의 바지락 36개에 대해 수은, 납, 카드뮴의 인체노출평가를 실시하였다. 중금속 함량은 카드뮴, 납, 총수은의 결과를 토대로 위해도 평가를 수행한 결과, 총수은은 무기수은 잠정주간섭취허용량 (PTWI) 의 0.025% (Table 8), 카드뮴은 잠정월간섭취허용량 (PTMI) 의 0.320-0.337%로 우리나라 일반 국민이 바지락 섭취로 인한 수은, 카드뮴 위해가능성은 안전한 수준이었다 (Table 9). 따라서 본 연구의 바지락에 대한 중금속 함량 결과는 한국인의 인체 위해도 평가를 위한 과학적 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

이상의 결과를 요약하면, 우리나라 수산물 중 중금속 허용기준치와 비교하였을 때, 카드뮴, 납 및 총수은은 기준치에 부합하며, 결과를 토대로 인체 위해도를 평가 해본 결과, 총수은의 잠정주간섭취허용량에 비해 최대 0.025%, 카드뮴의 잠정월간섭취허용량에 비해 최대 0.337%로 우리나라 일반 국민의 고흥 나로도 바지락 섭취로 인한 수은, 카드뮴 위해가능성은 매우 낮은 것으로 확인되었다.

요 약

본 연구에서는 나로도 수출용패류생산해역 인근에서 유입되

는 오염원들의 종류, 형태 및 영향반경을 계산하여 해역에 얼마나 영향을 미치는지 파악하였다. 또한 나로도 해역의 해수 및 패류의 위생상태를 우리나라, 미국 및 EU 규정에 따라 조사하여 나로도 의 주요 생산 패류인 바지락의 안전성을 확보하고자 하였다. 나로도 인근 해역의 오염원은 179개소로 파악되었으며, 그 중 유량이 확인되었던 곳은 총 28개소였다. 이들 중 주요육상오염원으로 선정한 4개소에서 2018년 1월부터 2020년 12월까지의 시료를 분석한 결과 P1, P3 및 P4에서 간헐적으로 분변계대장균의 농도가 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있었으며, 영향반경은 약 2.5 km 정도인 것을 확인하였다.

2018년 1월부터 2020년 12월까지 나로도 해역에서 생산되는 주 생산 패류인 바지락과 27개소의 수질을 조사하였다. 바지락의 분변계대장균, *E. coli* 및 일반세균수의 값은 각각 < 18-490, < 18-490 MPN/100 g 및 10-3,600 CFU/g으로 확인되었다. 같은 시기의 27개소의 해수정점에서 조사한 결과는 분변계대장균 < 1.8-27 MPN/100 mL로 확인되었고 Geometric mean 및 90th percentile은 각각 < 1.8-2.3 및 < 1.8-5.3 MPN/100 mL로 분석 되었다.

이상의 결과를 볼 때, 지정해역 5호의 고흥 나로도 해역은 우리나라, 미국 및 EU의 지정해역, 허가해역 및 A등급으로 확인되었으며 바지락에 대한 중금속 수은, 납, 카드뮴의 분석 결과 또한 우리나라의 패류 기준치에 비해 현저히 낮은 값으로

확인되어서, 마지막 섭취로 인한 중금속의 위해가능성은 낮은 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원 수산물 안전성 평가 및 수산물 위생조사 (R2021060) 사업의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사 드립니다.

REFERENCES

- AOAC International. (2002) AOAC guidelines for single laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals. Gaithersburg, Gaithersburg, MD, USA.
- APHA. (1970) Recommended procedures for the examination of seawater and shellfish. 4th Edition. pp. 1-47, American Public Health Association, Washington DC, USA.
- Choi, W.S., Yoon, M.C., Jo, M.R., Kwon, J.Y., Kim, J.H., Lee, H.J., Kim, P.H. (2017) Heavy Metal Contents in Internal Organs and Tissues of Scallops *Patinopecten yessoensis* and Comb Pen Shell *Atrina pectinate*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **50**: 487-493.
- 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*, **9**: 12.
- Hunter C, Perkins J, Tranter J, Gunn J. (1999) Agricultural land-use effects on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire Peak District in the UK. *Water Research*, **33**: 3577-3586.
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). (2017) JECFA database. Retrieved from apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/search.aspx on Jan 3, 2019.
- Lee, M.O. (1994) Numerical model experiments on the tidal current variations due to the bridge piers construction near the straits of Narodo islands. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **27**: 47-58.
- Lee, S.G., Kang, E.H., Kim, A.H., Choi, S.H., Hong, D.H., Karaulova, E.P., Simokon, M.V., Choi, W.S., Jo, M.R., Son, K.T., Yoon, M.C., Yu, H.S. (2019) Concentrations and Risk Assessment of Heavy Metal in Shellfish and Crustacean Collected from Vladivostok Area in Russia. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **52**: 452-460.
- Lunestad, B.T., Maage, A., Roiha, I.S., Myrmet, M., Svanevik, C.S., Duinker, A. (2016) An Outbreak of Norovirus Infection from Shellfish Soup Due to Unforeseen Insufficient Heating During Preparation. *Food and Environmental virology*, **8**: 231-234.
- Mallin, M.A., Ensign, S.H., Mciver, M.R., Shank, G.C., Fowler, P.K. (2001) Demographic, landscape, and meteorological factors controlling the microbial pollution of coastal waters. *Hydrobiologia*, **460**: 185-193.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2018. Food code. Retrieved from <http://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/safefoodlife/food/foodRvlv/foodRvlv.do> on Jan 3, 2019.
- 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 (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.
- Mok JS, Lee KJ, Shim KB, LEE TS, Song KC and Kim JH. (2010) Contents of Heavy Metals in Marine Invertebrates from the Korean Coast. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **39**(6): 894-901.
- MW (Ministry of Health and Welfare). (2019) Korea Health Statistics 2018: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES V-3).
- MW (Ministry of Health and Welfare). (2020) National Food & Nutrition Statistics: based on 2018 Korea National Health and Nutrition Examination Survey.
- Park, K., Jo, M.R., Kim, Y.K., Lee, H.J., Kwon, J.Y., Son, K.T., 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**: 414-422.
- Potasman, I., Paz, A., Odeh, M. (2002) Infectious Outbreaks Associated with Bivalve Shellfish Consumption: A Worldwide Perspective. *Clinical infectious diseases*, **35**: 921-928.
- Shin, S.B., Lim, C.W., Lee, J.H., Jung, S.H. (2018) Evaluation of Inland Pollution Sources impact in the Gangjin Bay, Korea. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, **30**: 2241-2248.
- 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.

