

보길-노화 해역의 해수 및 전복 (*Haliotis discus hannai*) 에 대한 세균학적 위생 안전성 평가

신순범, 최우석, 이지희, 김민진, 임치원¹

국립수산과학원 남해수산연구소 양식산업과, ¹국립수산과학원 식품위생가공과

Assessment of Bacteriological Safety of the Seawater and Abalone (*Haliotis discus hannai*) in Bogil-Nohwa area, Korea

Soon Bum Shin, Woo Suk Choi, Ji Hee Lee, Min Jin Kim and Chi won Lim¹

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

¹Food Safety and Processing Research Division, NIFS, Busan 46083, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, we evaluated the bacteriological safety of seawater and abalone in Bogil-Nohwa area from August 2020 to July 2022 and calculated the effect of inland pollution sources on seawater and abalone in this area. We analyzed the indicator bacteria of fecal contamination such as coliform group, *Fecal coliform* and *Escherichia coli* (*E. coli*) in the seawater, abalone and discharge water of major inland pollutants. In 726 seawater samples, the range of coliform group and *Fecal coliform* was all < 1.8-920 MPN/100 mL, and the calculated geometric mean and the estimated 90th percentile ranges of coliform group and *Fecal coliform* were < 1.8-5.6, < 1.8-32 and < 1.8-.0, < 1.8-13 MPN/100 mL, respectively. The range of coliform group, *Fecal coliform* and *E. coli* levels for 87 abalones was < 18-3,500, < 18-45 and < 18-20 MPN/100 g respectively, and the range of plate count was < 30-3,600 CFU/100 g. The range of *Fecal coliform* and radius in impacted area of 7 contaminants was < 1.8-35,000 MPN/100 mL and 2-2,202 m, respectively.

Key words : Bogil-Nohwa area, Abalone, *Fecal coliform*, *Escherichia coli*

서론

통계청 어업생산동향조사에 따르면 우리나라의 2020년 어업 생산량은 약 370만 톤으로 이중 약 62%인 230만 톤 정도가 천해양식업에 의해 생산된다. (천해) 양식업의 경우 해조류 176만 톤, 패류 41만 톤, 어류 9만 톤 순으로 많이 생산되고 있으며, 생산금액으로는 패류가 1조원 이상으로 해조류 7,600억보다 많은 수익을 창출하고 있다 (KOSIS, 2022). 또한, 패종별로는 굴 (30만 톤), 홍합 (6.1만 톤), 전복 (2만 톤), 바지

락 (1.8만 톤) 순으로 생산되고 있으며 생산금액에서는 전복이 6,100억으로 전체 양식 패류 생산금액의 60% 이상을 차지하고 있다 (MOF, 2022).

전복은 해조류를 먹이로 하는 전복과에 속하는 복족류이며 우리나라, 일본 및 중국에서 많이 주로 생산·소비된다. 또한, 식품영양학적으로 수분함량이 많고 비타민, 무기질 및 타우린 등의 영양성분이 풍부하여 피로회복 항산화 및 간기능 보호에 탁월한 건강식품으로 알려져 있다 (Ham *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2015).

우리나라의 전복 양식은 2000년, 해상가두리를 이용하면서 성장하였으며 그해 20 톤에 불과했던 생산량이 2020년 기준 대략 20,000 톤으로 생산량이 급속히 증가하였다. 우리나라에서 전복이 주로 양식되는 지역은 전라남도이며 같은 해 기준 98%의 양식 전복이 생산된 바 있으며 전라남도 완도군이 전국 생산량의 71%을 차지한다 (MOF, 2021a; KOSIS, 2022; Wando-gun, 2021). 본 조사해역인 보길-노화 해역은 완도군 남부에 위치하며 완도군 전복 생산량의 52%을 차지하는 대표

Received: September 15, 2022; Revised: September 24, 2022;
Accepted: September 30, 2022

Corresponding author: Soon Bum Shin

Tel: +82 (61) 690-8993, e-mail: sss0716@gmail.com
1225-3480/24824

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.

적 전복 생산지로 알려져 있다 (Wando-gun, 2021).

완도군의 해역은 한반도의 남서부에 위치하고 있으며, 남해 연안과 외해의 해수가 적절하게 혼합되고 황해저층냉수 및 대마난류 등의 영향으로 식물플랑크톤의 성장에 유리하며, 영양염의 공급이 원활하고 부유 물질이 많아 전복 등의 패류를 양식하기에 좋은 환경을 가지고 있다 (Cho and Youn, 2012; Ham *et al.*, 2021).

하지만 최근 완도를 포함한 전라남도에서 양식되는 전복의 폐사율이 증가하고 있으며 이는 적조 발생이나 태풍과 같은 자연재해와, 수온상승이나 양식장내 퇴적물 축적 등의 환경변화 등 다양한 원인에 기인한다고 보고되고 있다 (NIFS, 2016 and 2017; Shin *et al.*, 2017). 또한, 폐사문제와 함께 최근 전복을 포함한 패류에 대한 위생학적 안전성에 대한 관심이 증가하고 있으며 이는 굴, 홍합과 같은 이매패류와 마찬가지로 가두리에서 양식되는 전복은 이동성이 많지 않아 주변환경의 변화에 민감하며 오염물질이 해역으로 유입시 그 영향을 받을 가능성이 크기 때문이다. 따라서 미국, EU 등의 선진국에서는 각국의 실정에 맞는 패류생산해역 위생관리 프로그램을 마련하여 체계적인 관리를 수행하고 있으며, 이는 해역의 해수나 패류를 정기적으로 샘플링하여 대장군군 (Coliform group), 분변계대장균 (*Fecal coliform*), 대장균 (*Escherichia coli*) 과 같은 위생지표세균을 분석하여 그 농도에 따라 해역의 등급을 부여하고 결정된 등급에 따라 해역을 관리하는 것으로 우리나라 또한 이러한 프로그램을 도입하여 운영하고 있다 (U.S. FDA, 2016; European Commission, 2015; NIFS, 2022).

최근까지 해역의 해수 및 양식 패류에 대한 위생안전성 평가에 연구는 외국으로 수출을 목적으로 하는 해역 (이하 지정해역) 에 집중되어 있으며, 특히 동 해역과 같이 전복이 양식되는 해역에 대한 위생안전성 평가는 보고된 바 없었다 (Ha *et al.*, 2020; Shin *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2018). 따라서 본 연구에서는 우리나라 전복의 주 생산지인 완도군 보길-노화 해역의 해수 및 전복에 대한 세균학적인 위생상태 및 해역 주변에 오염원이 해수 및 전복에 미치는 영향을 파악하여 동 해역의 위생안전성 평가를 위한 기초자료 및 오염원 관리를 위한 과학적 근거자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 시료채취

보길-노화 해역 해수 및 전복의 위생 안전성을 평가하기 위하여 해수 33, 전복 4, 주요상 오염원 7개소의 조사지점을 선정하였다 (Fig. 1).

해수 및 패류에 대한 조사지점은 배수유역과의 거리, 어장분포 등을 고려하여 연중 채취가 가능한 정점을 선정하였으며

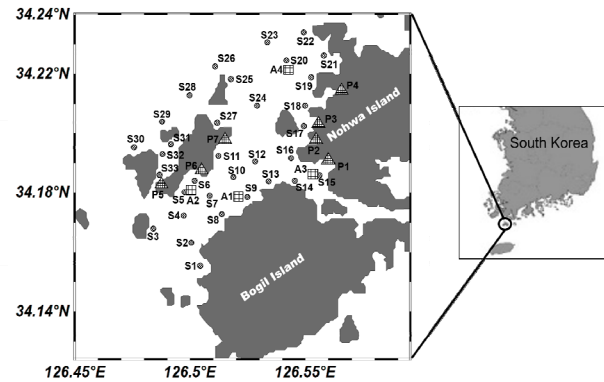


Fig. 1. Sampling stations of seawater, shellfish (Abalone) and major inland pollution source in Bogil-Nohwa area; ●, Seawater; ▣, Shellfish (Abalone); ▲, Major inland pollution source.

2020년 9월부터 2022년 7월까지 월 1회 시료를 채취하였다. 또한, 육상오염원은 배수유역에 분포한 오염원 중 유량 및 분변오염 정도를 파악하여 해역에 영향을 미칠 가능성이 높은 오염원을 선정하였으며 2021년 4회 (2, 4, 9 및 11월) 시료를 채취하였다.

채취된 해수 및 패류 시료는 무균처리된 용기에 담아 얼음 또는 아이스팩이 담긴 아이스박스에서 저온상태로 실험실까지 운반하였으며, 채취 후 24시간 이내에 미생물 분석을 실시하였다. 오염원 시료에 대한 유량은 유속계 (Marsh - McBirney portable flowmeter, Flo-Mate Model 2000) 를 사용하여 측정하였으며, 모든 조사지점에 대한 수온, 염분 등의 환경인자는 수질측정기 (Yellow Springs, YSI Life Science, OH, USA) 를 사용하여 측정하였다.

2. 해수 및 패류에 대한 미생물 분석

해수 및 패류에 대한 대장군군 (Coliform group), 분변계대장균 (*Fecal coliform*) 및 일반세균수 (Standard plate count) 분석은 Recommended Procedures for the Examination of Sea water and Shellfish (APHA, 1970) 에 준하여 분석하였다.

또한, 패류에 대한 대장균 (*Escherichia coli*) 및 살모넬라 (*Salmonella*) 분석은 Most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide (ISO 16649-3: 2015) 및 Microbiology of the food chain - Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella - Part 1: Detection of Salmonella spp. (ISO 6579-1:2017) 에 따라 분석하였으며 해수 및 패류에 대한 분석항목에 사용된 배지 및 배양조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Medium and culture condition for microbiological analysis

Items	Procedure	Medium and Culture	Reference
Coliform group	Presumptive test	Lauryl Tryptose Broth (BD, USA), (35 ± 0.5)°C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	
	Confirmed test	Brilliant Green Bile Lactose broth (BD, USA), (35 ± 0.5)°C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	
<i>Fecal coliform</i>	Presumptive test	Lauryl Tryptose Broth (BD, USA), (35 ± 0.5)°C, (24 ± 2) and (48 ± 3) hr	APHA, 1970
	Confirmed test	EC broth (BD, USA), (44.5 ± 0.2)°C, (24 ± 2) hr	
Standard plate count	Pour plating	Standard plate count agar (BD, USA), (35 ± 0.5)°C, (48 ± 3) hr	
<i>E. coli</i>	Presumptive test	Mineral modified glutamate medium (Oxoid, US), (37 ± 1)°C, (24 ± 2) hr	ISO, 16649-3:2015
	Confirmed test	Tryptone bile glucuronide agar (Oxoid, US), (44 ± 1)°C, (22 ± 2) hr	
Salmonella spp.	Non selective pre-enrichment	Buffered peptone water (BD, USA), (36 ± 2)°C, (18 ± 2) hr	
	Selective enrichment	Rappaport Vassiliadis medium (Merck, USA), (41.5 ± 1)°C, (24 ± 3) hr Muller Kauffmann tetrathionate novobiocin broth (Biomerieux, France) (37 ± 1)°C, (24 ± 3) hr	ISO, 6579-1:2017
	Plating out	Xylose Lysine Deoxycholate and Hektoen Enteric agar (Merck and BD, USA), (37 ± 1)°C, (24 ± 3) hr	
	Confirmed test	Triple sugar/iron agar (Merck, USA), (37 ± 1)°C, (24 ± 3) hr Vitek 2 compact system (Biomerieux, France)	

3. 해수 및 폐류에 대한 위생안전성 평가

보길-노화 해역 해수의 위생상태는 우리나라 및 미국의 해역 분류 기준에 따라 각 조사지점의 조사결과로부터 *Fecal coliform*의 기하학적 평균 및 90th percentile (Est. 90th = Antilog [(Slog)1.28 + Xlog, Slog = 각 자료 그룹에서의 각각의 MPN의 대수값의 표준 편차, 각 자료 그룹에서의 각각의 MPN의 대수값의 평균] 의 수치를 계산하여 평가하였다 (MOF, 2022, US FDA 2016). 또한, 전복에 대한 위생상태 평가는 우리나라, 미국 및 EU의 위생기준에 준하여 분변계대장균, 대장균, 일반세균수 및 살모넬라의 검출 기준으로 평가하였다 (MOF, 2018; European Commission, 2015).

4. 주요 육상오염원의 해역 영향 평가

주요 육상오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하기 위해서 분변계대장균의 영향반경을 계산하였다. 우선, 오염원의 방출수에서 검출되는 분변계대장균의 농도와 유량을 근거하여 일일 부하량 [Determine loading (MPN/day) = Concentration of *Fecal coliform* (MPN/100 mL) ×

Conversion (Liter to milliliter; 1,000 mL/L) × Conversion (Min per day; 1,440 min/day) × Flow (L/min)] 을 계산한 후, 이를 지정해역 수질기준인 14 MPN/100 mL 이하로 희석시킬 수 있는 해수의 양 [Dilution water required = Determine loading (MPN/day) / {Standard (14 MPN/100 mL) × Conversion (Milliliter to m³; 100,000 mL/m³)}]을 계산하였다. 또한, 조사해역의 수심을 참고하여 구역의 면적 [Area required = Dilution water required (m³/day) / Average depth (m)] 및 영향반경 [Radius of half-circle = Area required (m²/day) × 2 / 3.14] 을 산출하였으며 조사정점과의 거리를 확인하여 최종적으로 오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 해수에 대한 위생 안전성 평가

2020년 9월부터 2022년 7월까지 보길-노화 해역에 설정된 해수 33개 정점의 각 22회 조사 결과, 총 726개의 해수 시료

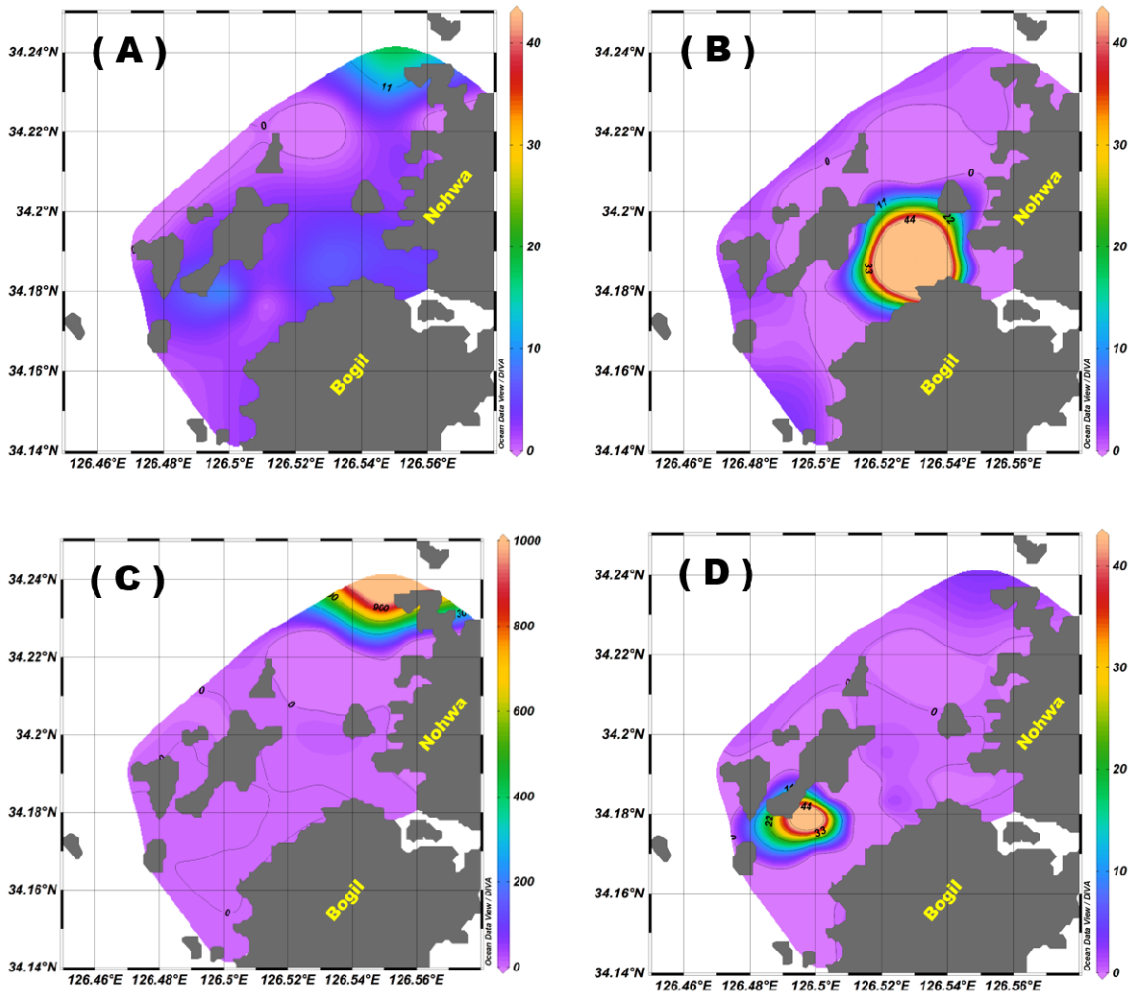


Fig. 2. Horizontal distribution of Fecal coliform for seawater in Bogil-Nohwa area; **A**, 90th percentile (2020. 9. - 2022. 7.); **B**, October 2020; **C**, November 2020; **D**, January 2021.

에서 검출된 대장균군 및 분변계대장균의 농도 범위는 모두 < 1.8-920 MPN/100 mL로 확인되었으며, 대장균군과 분변계대장균의 기하평균 및 90th percentile은 < 1.8-5.6와 < 1.8-32 및 < 1.8-3.0과 < 1.8-13 MPN/100 mL로 계산되었다. 우리나라는 해역의 해수에서 검출되는 분변계대장균의 농도에 따라 3개의 등급으로 분류하며 (지정해역, 준지정해역, 조건부해역), 모든 조사정점에서 계산된 기하평균이 14 MPN/100 mL 미만일 경우를 상위 등급인 지정해역 수준으로 평가한다 (MOF, 2022). 본 연구결과, 보길-노화 해역에서 검출된 분변계대장균의 기하평균은 < 1.8-3.0 MPN/100 mL로 우리나라의 지정해역 수준으로 평가되었다. 미국의 경우, 해수에서 검출되는 대장균군 또는 분변계대장균의 기하평균 및 90th percentile의 농도에 따라 해역을 5개 등급 (허가해역, 조건부허가해역, 제한해역, 조건부제한해역, 금지해역) 으로 분

류하며 대장균군의 기하평균이 70 MPN/100 mL을 초과하지 않고 90th percentile이 230 MPN/100 mL을 초과하지 않거나 분변계대장균의 기하평균이 14 MPN/100 mL을 초과하지 않고 90th percentile이 43 MPN/100 mL을 초과하지 않을 경우 허가해역 (오염원에 영향을 받을 경우는 조건부허가해역) 으로 분류하여 생산된 패류의 상업적 판매를 허용한다 (U.S. FDA, 2017). 본 연구결과, 조사된 해역에서 검출된 대장균군과 분변계대장균의 기하평균 및 90th percentile은 < 1.8-5.6, < 1.8-3.0 및 < 1.8-32, < 1.8-13 MPN/100 mL로 미국의 허가해역 기준에 부합하는 양호한 위생상태를 나타내는 것으로 확인되었다. 하지만 분변오염의 지표가 되는 분변계대장균은 일부 검출되고 있으며, 43 MPN/100 mL을 초과하는 시료가 2020년 10월과 11월 및 2021년 1월에 확인된 바 있으며 이는 해역이 국소적으로 오염원에 영향을 받는 것을 나타내는 결

Table 2. Bacteriological water quality in Bogil-Nohwa area (2020, 9. - 2022, 7.)

Station	Coliform group (MPN ¹ /100 mL)						Fecal coliform (MPN/100 mL)						No. of samples		
	Range	GM ²	90th ³	> 230		Range	GM	90th	> 14		> 43			> 88	
				No	%				No	%	No	%		No	%
S-01	< 1.8-49	2.5	7.2	0	0	< 1.8-4.0	< 1.8	2.2	0	0	0	0	0	0	22
S-02	< 1.8-13	2.1	4.3	0	0	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-03	< 1.8-2.0	< 1.8	1.9	0	0	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-04	< 1.8-33	2.8	9.5	0	0	< 1.8-4.0	1.8	2.3	0	0	0	0	0	0	22
S-05	< 1.8-79	5.6	32	0	0	< 1.8-79	3	10	1	4.5	1	4.5	0	0	22
S-06	< 1.8-49	3.8	15	0	0	< 1.8-17	2.1	4.6	1	4.5	0	0	0	0	22
S-07	< 1.8-13	2.1	3.9	0	0	< 1.8-< 1.8	< 1.8	< 1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-08	< 1.8-170	2.8	11	0	0	< 1.8-4.5	1.9	2.7	0	0	0	0	0	0	22
S-09	< 1.8-33	3	8.4	0	0	< 1.8-17	2.2	4.5	1	4.5	0	0	0	0	22
S-10	< 1.8-79	2.3	8	0	0	< 1.8-49	2	5	1	4.5	1	4.5	0	0	22
S-11	< 1.8-49	2.7	8.1	0	0	< 1.8-2.0	< 1.8	1.9	0	0	0	0	0	0	22
S-12	< 1.8-130	2.4	8.5	0	0	< 1.8-130	2.1	6.8	1	4.5	1	4.5	1	4.5	22
S-13	< 1.8-79	2.7	8.7	0	0	< 1.8-79	2.1	5.8	1	4.5	1	4.5	0	0	22
S-14	< 1.8-49	2.8	8.5	0	0	< 1.8-9.3	2	3.6	0	0	0	0	0	0	22
S-15	< 1.8-23	2.7	8.2	0	0	< 1.8-13	2.3	4.9	0	0	0	0	0	0	22
S-16	< 1.8-23	3.3	9.8	0	0	< 1.8-13	2.2	5.2	0	0	0	0	0	0	22
S-17	< 1.8-11	3	7.2	0	0	< 1.8-4.5	1.8	2.4	0	0	0	0	0	0	22
S-18	< 1.8-23	2.7	7.2	0	0	< 1.8-4.5	< 1.8	2.3	0	0	0	0	0	0	22
S-19	< 1.8-46	2.2	5.9	0	0	< 1.8-4.5	1.9	2.7	0	0	0	0	0	0	22
S-20	< 1.8-4.5	1.9	2.7	0	0	< 1.8-4.5	< 1.8	2.3	0	0	0	0	0	0	22
S-21	< 1.8-4.0	1.9	2.6	0	0	< 1.8-1.8	< 1.8	< 1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-22	< 1.8-920	2.4	14	1	4.5	< 1.8-920	2.3	13	1	4.5	1	4.5	1	4.5	22
S-23	< 1.8-4.5	< 1.8	2.3	0	0	< 1.8-1.8	< 1.8	< 1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-24	< 1.8-14	2	3.7	0	0	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-25	< 1.8-7.8	2	3.4	0	0	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-26	< 1.8-6.8	1.8	2.7	0	0	< 1.8-< 1.8	< 1.8	< 1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-27	< 1.8-7.8	2	3.1	0	0	< 1.8-7.8	1.8	2.8	0	0	0	0	0	0	22
S-28	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	0	0	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-29	< 1.8-4.5	1.9	2.7	0	0	< 1.8-2.0	< 1.8	< 1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-30	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	0	0	< 1.8-< 1.8	< 1.8	< 1.8	0	0	0	0	0	0	22
S-31	< 1.8-22	2.2	4.8	0	0	< 1.8-9.3	1.9	3	0	0	0	0	0	0	22
S-32	< 1.8-22	2.3	5.8	0	0	< 1.8-4.5	1.9	2.7	0	0	0	0	0	0	22
S-33	< 1.8-22	3.5	11	0	0	< 1.8-14	2.3	5	1	4.5	0	0	0	0	22
Total	< 1.8-920	< 1.8-5.6	< 1.8-32	1	0.1	< 1.8-920	< 1.8-3.0	< 1.8-13	8	1.1	5	0.7	2	0.3	726

¹MPN, Most probable number, ²GM, Geometric mean, ³90th, The estimated 90th percentile

Table 3. Results of the bacteriological examination of Abalone in Bogil-Nohwa area (2020. 9. - 2022. 7.)

Station	Results				No. of samples
	Coliform group (MPN ¹ /100 g)	Fecal coliform (MPN/100 g)	<i>E. coli</i> (MPN/100 g)	Plate count (CFU ² /100 g)	
A-1	< 18-1,300	< 18-20	< 18-20	< 30-1,400	22
A-2	< 18-3,500	< 18-45	< 18	< 30-3,600	21
A-3	< 18-3,500	< 18-20	< 18-20	< 30-1,700	22
A-4	< 18-270	< 18-20	< 18-20	< 30-650	22
Total	< 18-3,500	< 18-45	< 18-20	< 30-3,600	87

¹MPN, Most probable number, ²CFU, Colony forming unit

과라 할 수 있다 (Fig. 2). 따라서 동 조사해역의 위생상태를 미국의 기준에 적용하면 수질은 미국의 허가해역에 충족되지만 시기에 따라 오염원의 영향을 받고 있으므로 이들 오염원의 관리가 수반되어야 하는 조건부허가해역의 기준에 부합한다고 평가할 수 있다 (US FDA, 2017). 이상의 결과와 유사하게 남해안의 가막만, 나로도, 여자만 등의 경우 해수의 위생상태는 우리나라 및 미국의 기준에 부합하는 결과를 나타내었지만, 배수유역에 오염원이 다수 존재하여 영향을 미칠 수 있으므로 오염원 관리가 수반되어야 한다고 보고한 바 있다 (Shin *et al.*, 2021; Choi *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2020). 따라서 보길-노화 해역과 같이 우리나라의 패류가 생산되는 해역은 특성상 주변에 인근 마을 등의 오염원이 다수 존재하고 있으므로 체계적인 관리가 수반되어야 하며 이를 위해서는 정기적인 해역의 위생상태 파악 및 오염원에 대한 해역 영향 평가가 수반되어야 하겠다.

2. 전복에 대한 위생 안전성 평가

동 조사해역에서 생산되는 전복의 위생 안전성을 평가하기 위하여 2020년 9월부터 2022년 7월까지 전복 양식장 4개소로부터 총 22회 시료를 채취하였으며 미생물 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 조사기간 중 채취된 총 87개 전복에 대한 대장균군 및 분변계대장균의 검출범위는 < 18-3,500 및 < 18-45 MPN/100 g이었으며 대장균 및 일반세균수는 < 18-20 MPN/100 g 및 < 30-3,600 CFU/100 g으로 확인되었다. 우리나라의 식품의약품안전처에서 정한 수산물에 대한 세균학적 공통 기준에 따르면 최종 소비자가 그대로 섭취할 수 있도록 유통판매 목적으로 위생처리하여 용기·포장에 넣은 동물성 냉동수산물에 한하여 일반세균수 10,000 CFU/g 이하, 대장균은 10 MPN/g 이하로 규정하고 있다 (MFDS, 2022).

미국의 경우 각 주 정부의 정책에 따라 분변계대장균 또는 대장균의 농도가 230 MPN/100 g을 초과할 경우, 출하를 금지하고 있다 (NFI, 1998). 또한, EU에서는 패류에서 검출되는 대장균의 농도에 따라 해역의 등급을 분류하며, 조사된 시료의 80% 이상이 230 MPN/100 g을 초과하지 않고 모든 시료에서 700 MPN/100 g을 초과하지 않아야 가장 상위등급인 A 등급으로 분류하여 수출된 패류가 시장에 판매 가능하도록 조치하고 있다 (European Commission, 2015). 본 조사결과, 채취된 전복 4개 정점에서 검출된 분변계대장균, 대장균 및 일반세균수는 우리나라, 미국 및 EU 규정에 모두 부합하는 양호한 위생상태를 나타내는 것으로 평가되었다.

우리나라의 양식 전복의 생산량은 꾸준히 증가하고 있으나 수출량은 2021년 기준 2,135 톤으로 전체 생산량의 9% 수준에 머물고 있다. 현재 주요 수출국가는 일본, 베트남, 미국, 싱가포르, 대만 등이며 이 중 일본에 전체 수출량의 82%가 수출되고 있다 (KATI, 2022). 향후 우리나라의 전복 양식업의 지속 발전을 위해서는 수출국가의 다양화가 필요하며 EU의 수출시장 개척이 우선적으로 필요하다. 이를 위해선 본 조사해역과 같이 전복이 생산되는 해역에 대한 수출용 지정해역 설정이 필요하며 전복에 대한 대장균 조사결과를 바탕으로 EU 해역 분류기준의 부합여부를 평가하여야 한다 (MOF, 2021b). 본 조사결과, 보길-노화 해역의 전복에서 검출되는 대장균은 모두 20 MPN/100 g 이하로 EU의 A 등급에 해당하여 수출용 지정해역으로 지정이 가능한 것으로 평가된다. 이전 보고에 따르면 현재 국내의 지정해역 7개소 모두 EU의 A class로 평가된 바 있으며, 지정해역 외에는 전남의 여자만과 본 조사해역인 보길-노화 해역이 유일하게 평가된 바 있다 (MOF, 2021b; Lee *et al.*, 2020).

또한, 조사기간 채취된 87개의 전복 시료 모두 병원성 세균

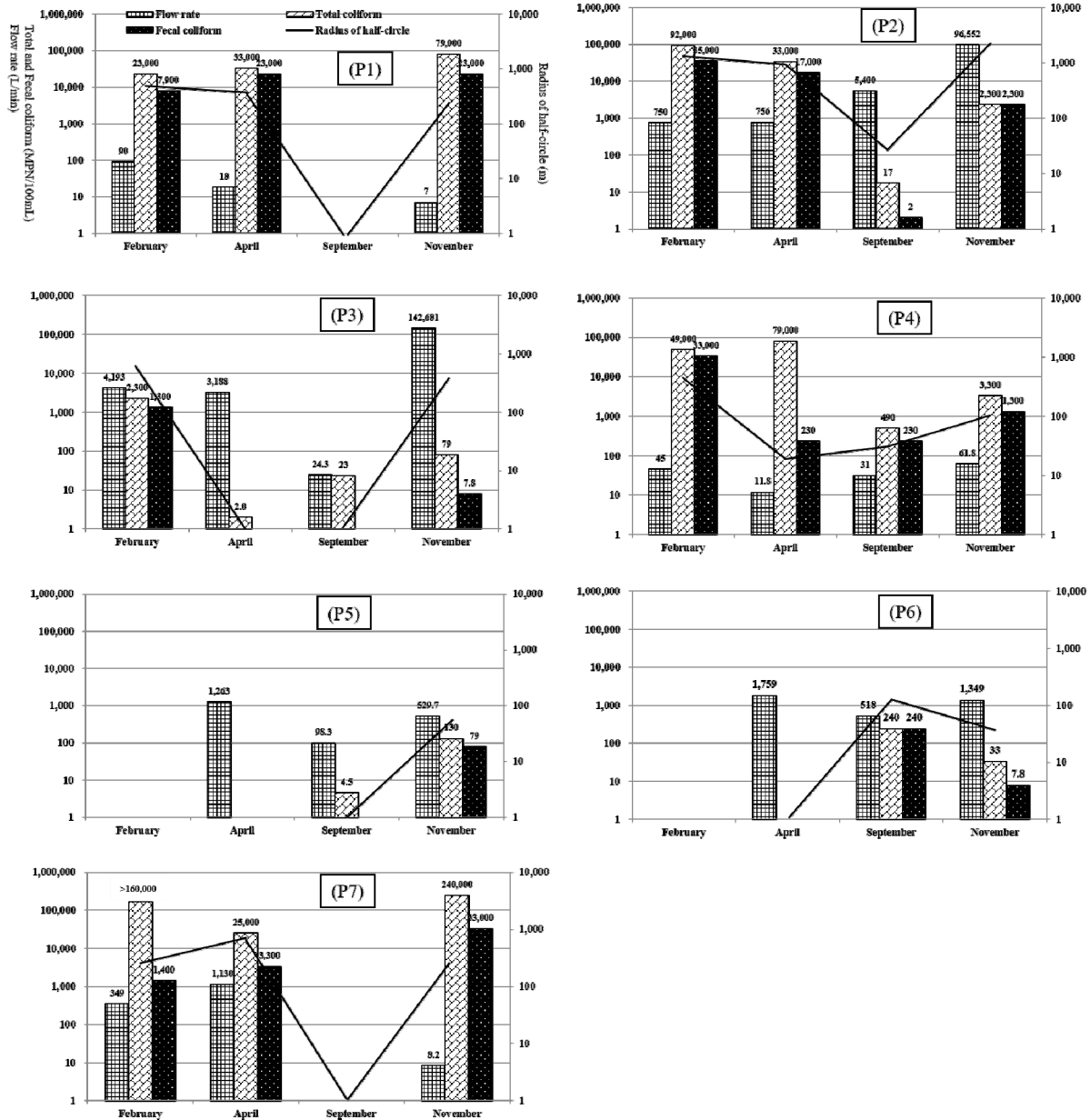


Fig. 3. Evaluation of major pollution sources impact in Bogil-Nohwa area.

인 살모넬라는 검출되지 않았다. 살모넬라는 식품을 매개로 식중독을 일으키는 주요한 병원성 세균 중 하나로국내에서 양식된 패류에서 검출된 사례는 아직 보고되지 않았지만, EU 등 여러 나라에서 보고된 바 있으므로 지속적이고 정기적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다 (Lee *et al.*, 2018; Mudadu *et al.*, 2022). 추가적으로 동 조사해역에서 양식되는 전복의 위생학적 안전성 확보와 EU 등 수출시장 확보를 위하여 지속적인 대장균, 살모넬라 모니터링과 함께 패류독소 및 농약 등의 위해물질에 대한 모니터링도 수반되어야 하겠다.

3. 육상오염원 방출수가 해역에 미치는 영향 평가

보길-노화 해역의 배수유역에 위치한 육상오염원 7개소 방출수의 2021년 4회 조사결과 방출수에서 측정된 유량, 분석된 분변계대장균 및 계산된 영향반경은 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 조사기간 중 오염원 7개소의 방출수에서 측정된 유량은 7.0-142,681 L/min이었고 대장균군 및 분변계대장균의 농도는 < 1.8-240,000 및 < 1.8-35,000 MPN/100 mL로 검출되었으며 계산된 분변계대장균의 영향반경은 2-2,202 m로 확인되었다.

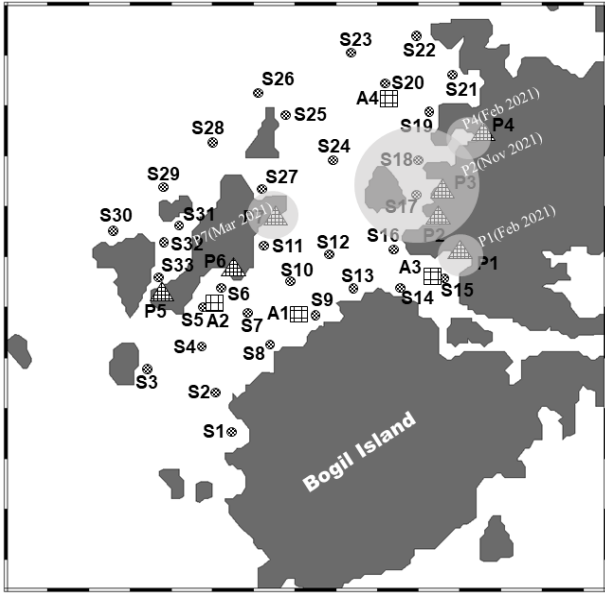


Fig. 4. Evaluation of radius of influence of major pollution sources impact in Bogil-Nohwa area.

P1, P2, P4 및 P6, P7 조사정점은 노화읍 서쪽 해안선 및 보길도 북서쪽 섬 (넙도) 에 분포한 마을에서 방출되는 생활하수로 P1, P2, P4 및 P7 정점의 방출수에서 간헐적으로 대장균군 및 분변계대장균의 농도가 높게 검출되었으며 P6 정점은 상대적으로 양호한 상태를 나타내었다. 또한 P2 정점은 분변계대장균의 영향반경이 9월 조사를 제외하고 918-2,202 m 계산되어 조사된 오염원 들 중 해역에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 확인되었다. 반면 P1, P2, P4 및 P7 정점의 경우 검출되는 분변계대장균의 농도에 비해 그 유량이 많지 않아 영향반경은 크지 않은 것으로 계산되었으나, 이 들 오염원은 강우 발생 등의 영향에 따라 오염 부하량이 증가할 가능성이 있으므로 관리가 수반되어야 하겠다. 한편, P3 및 P5 조사정점은 노화읍 남서쪽 및 보길도 북서쪽 섬 (넙도) 에 위치한 전복양식장의 배출수로 대장균군 및 분변계대장균의 검출농도 및 분변계대장균의 영향반경은 생활하수에 비해 양호하였으며 이들 오염원이 해역에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 평가되었다.

전복과 같은 패류의 위생학적 안전성을 확보하기 위해서는 오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하고 이러한 연구결과를 바탕으로 오염원에 대한 체계적인 관리가 요구된다. 우리나라 및 미국은 자국의 패류위생관리프로그램을 통하여 패류가 생산되는 해역 주변에 분포한 오염원의 현황을 주기적으로 파악하고 가정집 정화조, 하수처리장 확충 등의 오염원 관리계획 수립하여 이행하고 있으며 동 연구 결과를 포함하여 지속적인 연구를 통하여 오염원 관리를 위한 과학적 근거자료가 제공되어야 하겠다 (MOF, 2021b; US FDA, 2017).

요 약

본 연구에서는 우리나라 전복의 주 생산지인 완도군 보길-노화 해역의 해수 및 전복에 대한 세균학적인 위생상태를 파악하여 동 해역의 위생안전성 평가를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 또한 해역 주변에 오염원이 해수 및 전복에 미치는 영향을 파악하여 오염원 관리를 위한 과학적 근거자료를 제시하고자 하였다.

2020년 9월부터 2022년 7월까지 보길-노화 해역에 설정된 해수 33개 정점의 각 22회 조사 결과, 총 726개의 해수 시료에서 대장균군 및 분변계대장균은 모두 < 1.8-920 MPN/100 mL로 검출되었고 대장균군과 분변계대장균의 기하평균 및 90th percentile은 < 1.8-5.6와 < 1.8-32 및 < 1.8-3.0과 < 1.8-13 MPN/100 mL로 계산되어 우리나라의 지정해역 및 미국의 허가해역 수질기준에 부합하는 양호한 위생상태를 나타내었다. 또한 조사기간 중 채취된 총 87개 전복에 대한 대장균군 및 분변계대장균의 검출범위는 < 18-3,500 및 < 18-45 MPN/100 g이었고 대장균 및 일반세균수는 < 18-20 MPN/100 g 및 < 30-3,600 CFU/100 g으로 확인되어 우리나라, 미국 및 EU의 규정에 모두 부합하는 양호한 위생상태를 나타내었다. 하지만, 동 해역 주변에 분포한 오염원의 방출수가 해역에 미치는 영향을 평가한 결과 7개소의 방출수에서 대장균군 및 분변계대장균의 농도는 < 1.8-240,000 및 < 1.8-35,000 MPN/100 mL로 검출되었으며 계산된 분변계대장균의 영향반경은 2-2,202 m로 확인되어 이들 오염원이 간헐적으로 해역에 영향을 미칠 수 있는 것으로 평가되었다.

이상의 결과, 보길-노화 해역은 우리나라의 지정해역, 미국의 허가해역, EU의 A등급에 해당하는 양호한 위생상태를 나타내었으나, 해역 인근에 산재한 오염원에 영향을 받을 수 있으므로 오염원에 대한 지속적인 조사 및 관리가 필요한 것으로 사료된다. 또한, 동 해역에서 양식되는 전복의 위생학적 안전성 확보와 EU 등 수출시장 확보를 위하여 지속적인 대장균, 살모넬라 모니터링과 함께 패류독소 및 농약 등의 위해물질에 대한 모니터링도 수반되어야 하겠다.

사 사

본 연구는 2022년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 (R2022065) 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.
- Cho, E.S. and Youn, S.H. (2012) Marine environmental and phytoplankton monitoring in Wando coastal waters in august during the period of 2009-2010. *Journal of Korean Society Marine Environment and Safety*, **18**(2): 95-100.
- Choi, W.S., Shin, S.B., Yoon, M.C., Lee, J.H., Kim, K.Y. and Lim, C.W. (2021) The effect of major inland pollution sources on sea and shellfish in Narodo Area, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **37**(4): 155-163. Retrieved from <https://doi.org/10.9710/kjm.2021.37.4.155>.
- 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., Kwon, J.Y., Jeong, S.H., Park, K.B.W., Kim, D.W., Lee, K.J., Jeong, Y.J., Mok, J.S. and Son, K.T. (2020) Evaluation of sanitary safety for shellfish in the Jaranman-saryangdo area, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **36**(4): 211-217. Retrieved from <https://doi.org/10.9710/kjm.2020.36.4.211>.
- Ham, J.R., Lee, H.I., Kim, C.B., Shin, E.C. and Lee, M.K. (2021) Nutritional composition and taste properties of abalone and short-neck clam in Wando. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, **50**(9): 1010-1018. Retrieved from <https://doi.org/10.3746/jkfn.2021.50.9.1010>.
- 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- β -D-glucuronide. International Organization for Standardization. 16649-3.
- ISO (2017) Microbiology of the food chain - Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella - Part 1: Detection of Salmonella spp. International Organization for Standardization. 6579-1.
- KATI (2022) Agricultural and food export information. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Coporation. Retrieved from <https://www.kati.net> on September 13.
- KOSIS (2022) Fishery production survey on statistical database. Statistics Korea. Retrieved from <https://kosis.kr> on September 2.
- 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>.
- Lee, J.H., Choi, W.S., Lim, C.W. and Shin, S.B. (2020) Investigation of terrestrial fecal bacteria affecting the sanitary status of ark shell (*Scapharca subcrenata*) farm in Yeoha bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **36**(4): 175-184. Retrieved from <https://doi.org/10.9710/kjm.2020.36.4.175>.
- Lee, S.J., Oh, S.J., Kang, M.J., Shin, J.H. and Kang, S.K. (2015) Antioxidant and anti-fatigue effects of abalone (*Haliotis discus hannai*) composites containing natural plants. *Korean Journal of Food Preservation*, **22**(4): 598-606. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.11002/kjfp.2015.22.4.598>.
- MFDS (2022) Korea food standards. Article 2022-56. The Notification of Ministry of Food and Drug Safety, Korea. Retrieved from <https://www.law.go.kr> on September 9.
- MOF (2021a) A study on the production and distribution of fishery products in 2020. pp.3-356. Ministry of Oceans and Fisheries, Korea. Retrieved from <https://www.mof.go.kr> on September 2.
- MOF (2021b) Korean Shellfish Sanitation Program. pp.1-94. Ministry of Oceans and Fisheries, Korea. Retrieved from <https://www.mof.go.kr> on September 2.
- MOF (2022) Fisheries information service. Ministry of Oceans and Fisheries, Korea. Retrieved from <https://stat.mof.go.kr> on September 2.
- Mudadu, A.G., Spanu, C. Pantoja, J.C.F., Dos Santod, M.C., De Oliveira C.D. Salza, S., Piras, G., Uda, M.T., Virgilio, S., Giagnoni, L., Pereira, J.G. and Tedde, T. (2022) Association between *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. food safety criteria in live bivalve molluscs from wholesale and retail marikets. *Food Control*, **137**: 108942. Retrieved from <https://doi.org/10.9710/kjm>.
- NFI (1998) State Guidelines for coliforms, *Fecal coliform*, and *E. coli*. National Fisheries Institute, Arlington, VA.
- NIFS (2016) Cause survey report on aquaculture damage in the South-west coast. National Institute of Fisheries Science. Korea. pp. 178-241.
- NIFS (2017) Cause survey report on aquaculture damage in the South-west coast. National Institute of Fisheries Science. Korea. pp. 119-267.
- NIFS (2022) Sanitary standard of water quality in shellfish growing area. Article 2022-2. National Institute of Fisheries Science. Korea. Retrieved from <https://www.law.go.kr> on September 3.
- Shin, S.B., Choi, W.S., Lee, J.H., Lim, C.W., Jo, M.R. and Kim, D.W. (2020) Study of sanitary safety for arkshell (*Scapharca broughtonii*) in Kamak Bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **36**(4): 167-173. Retrieved from <https://doi.org/10.9710/kjm.2020.36.4.167>.
- Shin, Y.R., Kim, B.H., Choi, H.S., Koo, J.H., Park, J.W., Lee, D.C. and Park, J.J. (2017) A case study of damage on net cage cultured abalone in Wando, Jellanam-do by the combined effect. *Korean Journal of Malacology*, **33**(4): 329-336. Retrieved from <https://doi.org/10.9710/kjm.2017.33.4.329>.
- US FDA (2017) 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/FederalStateFood Programs/ucm 2006754.htm](https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/FederalStateFoodPrograms/ucm2006754.htm) on September 8.

Wando-gun (2021) Statistical yearbook. Retrieved from [https://www.wando. go.kr](https://www.wando.go.kr) on September 2.