

## 2017년 동해안권역과 제주도권역 양식장 주변 해역의 오염지표세균의 분포

노형진 · 김남은 · 천원경 · 김아란 · 이윤항 · 김영재<sup>1</sup> · 황지연<sup>2</sup> · 김도형\*

부경대학교 수산생명의학과, <sup>1</sup>한국수산방역기술, <sup>2</sup>국립수산과학원 방역과

### Distribution of Indicator Bacteria in Seawater off the Coasts of Jeju Island and Pohang in 2017

Heyong Jin Roh, Nam Eun Kim, Won-Kyong Chun, Ahran Kim, Yoonhnag Lee, Youngjae Kim<sup>1</sup>, Jee-Youn Hwang<sup>2</sup> and Do-Hyung Kim\*

Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>1</sup>Korea Aquatic Biosecurity Technology (KABT), Busan 48564, Korea

<sup>2</sup>Aquatic Life Disease Control Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

In 2017, total coliform (TC), fecal coliform (FC) and fecal *Streptococci* (FS) bacteria were examined in seawater samples collected at coastal sites on Jeju Island (Aewol as a control, Namwon, and Daejeong) and at Pohang (Yeongil as a control, Guryongpo-North, and Guryongpo-South) to examine the correlations between the density of fish farms and distributions of the indicator bacteria. Only a few TC, FC, and FS colonies were detected in all of the samples obtained from Jeju Island. Of note, 2,000 and 1,000 CFU of FS 100 mL<sup>-1</sup> were detected in samples from Guryongpo-South in June and August, respectively. Although the total area of approved fish farms located within 5 km of the sampling point at Guryongpo-South is 5-16 times smaller than in other regions, the number of indicator bacteria was highest in this region. Therefore, microbiological pollution in the Guryongpo-South region might be due to sources other than the effluent released from nearby fish farms.

Key words: Fecal indicator bacteria, Fecal *coliforms*, Fecal streptococci, Fish farm, Seawater quality

### 서론

연안해역의 생물학적 오염은 생활하수, 축산업이나 양식 수산업으로부터 배출되는 동물의 분변, 기타 산업시설 등의 다양한 요인에 의한(Hill et al., 2006; Lee et al., 2010; Park et al., 2013; Roh et al., 2018). 연안해역의 오염원과 오염에 대한 영향을 이미 파악하고 있다면 그 근원을 집중적으로 관리할 수 있을 것이다(Lee et al., 2008). 그러나 아직까지 연안 오염의 주요인에 대한 연구는 미미한 실정이다(Yoon, 2017; Roh et al., 2018). 특히 우리나라의 바닷가에 인접한 수산양식장으로부터 배출된 유출수가 연안 해수의 오염에 미치는 영향에 관한 연구는 비교적 최근에 발표된 것을 제외하면 매우 제한적인 것이 사실이다(Koh et al., 2013; Park et al., 2013; Roh et al., 2018). Koh et al. (2013)는 2010-2011년에 격월로 제주 연안의 육상양식장 인근

해역 4곳(애월, 행원, 표선, 일과)에서 채취된 해수의 식물플랑크톤과 영양염의 변화를 모니터링하여 2개 지역(표선, 일과)은 양식장 배출수가 인근 연안해역의 부영양화에 영향을 줄 수 있다고 주장하였다. 하지만 이 연구에서는 주변의 다른 여러 오염원에 대한 검토가 전혀 이루어지지 않아 수질 오염에 대한 양식장 유출수의 직접적인 영향을 판단하는 근거로는 부적절한 것으로 여겨진다. Roh et al. (2018)은 2016년 제주 지역의 양식장 밀집도와 오염지표세균과의 상관관계를 분석하였으나 두 지표간의 연관성은 낮은 것으로 나타나 조사한 양식장의 유출수가 인근 해역의 오염에는 큰 영향을 미치지 않는다고 하였다. 하지만 수산생물 양식장이 연안해역에 미치는 영향에 대한 보다 정확한 평가를 위해서는 국내 주요 양식장 밀집지역에 대해 정기적인 조사와 연구가 필요한 것으로 보인다. 본 연구에서는 이전 연구(Koh et al., 2013; Roh et al., 2018)에서 모니터링 된

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5945 Fax: +82. 51. 629. 5938

E-mail address: dhkim@pknu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0697>

Korean J Fish Aquat Sci 51(6), 697-703, December 2018

Received 2 October 2018; Revised 31 October 2018; Accepted 6 December 2018

저자 직위: 노형진(대학원생), 김남은(대학원생), 천원경(대학원생), 김아란(대학원생), 이윤항(대학원생), 김영재(대표이사), 황지연(해양수산연구소), 김도형(교수)

제주도뿐만 아니라 동해안 권역(포항 인근) 양식장 밀집지역의 연안에서 해수를 채취하였다. 이전 연구(Roh et al., 2018)와는 다른 정량 방법을 이용하여 총대장균군(total coliform, TC), 분변계대장균(fecal coliform, FC) 그리고 분변계연쇄구균(fecal streptococci, FS)을 측정하여 연안 해역의 오염과 해당 지역의 양식장 분포 간의 역학적인 관계를 이해하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 시료 채취

해수 시료의 채취를 위해 넙치 양식장이 많이 존재하는 포항시 구룡포읍의 북부 및 남부지역과 서귀포시 남원읍과 대정읍을 선정하였다. 각 지역에 존재하는 우수식 넙치 양식장 밀집지역으로부터 80과 150 m가 떨어진 정점(각각 2 지점)의 해수(중층)와 양식장 유출수가 배출되는 지점을 중심으로 반경 약 5 m 이내에서 해수 시료를 채취하였으며 자세한 위치와 채수 수심은 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 대조구로 수산양식장이 존재하지 않는 포항시 영일만과 제주시 애월읍 해안에서 1, 80 및 150 m 떨어진 정점의 중층에서 채취한 해수를 사용하였다(Fig. 1). 채수는 2017년도 4-11월에 걸쳐 총 4회가 진행되었으며, 샘플링 정점은 GPS 좌표를 이용하여 일관성을 유지하고자 하였다. 그 외 채수, 운반, 수온 및 용존산소량 측정 방법은 이전 연구(Roh et al., 2018)와 동일하게 진행하였다.

### 오염지표종의 정량

해수 중에 존재할 수 있는 오염지표세균인 분변계대장균(FC)과 총대장균군(TC)을 정량하기 위해 제조사가 추천하는 방법에 따라 3 mL의 해수를 *E. coli*/Coliform count plate (3M Petrifilm, 3M, USA)과 Coliform count plate (3M Petrifilm, 3M, USA)에 1 mL씩 나눠 접종 한 뒤 각각 37°C와 43°C에서 24-48 시간 동안 배양 후 세균 집락을 계수하였다. 또한 해수 중에 존재하는 분변계연쇄구균을 정량하기 위해 m-Enterococcus agar (Difco™, USA)에 해수 0.3 mL을 0.1 mL씩 나눠 접종하여 도달 한 뒤 28 °C에서 72시간 배양하여 총 집락을 계수하였다.

### 결과 및 고찰

본 연구에서 해수를 채수한 시기인 4-5월(1차), 6월(2차), 8월(3차), 10월(4차)에 포항시 인근 영일만, 구룡포 남부, 북부 해역의 기하적인 평균 수온은 각각  $15.8 \pm 1.2$ ,  $20.0 \pm 1.0$ ,  $26.8 \pm 1.2$ ,  $19.1 \pm 0.5$ °C이었으며 기하학적인 평균 용존 산소는 각각  $9.9 \pm 0.5$ ,  $9.0 \pm 1.4$ ,  $8.6 \pm 0.8$ ,  $7.9 \pm 0.3$  ppm이었다. 제주도 인근 애월, 남원, 대정 해역의 1, 2, 3, 4차 채수 시에 기하평균 수온은 각각  $16.5 \pm 0.8$ ,  $19.3 \pm 1.0$ ,  $27.7 \pm 0.3$ ,  $21.7 \pm 0.4$ °C이었으며, 기하평균 용존 산소는  $9.9 \pm 0.5$ ,  $9.0 \pm 0.4$ ,  $7.4 \pm 0.4$ ,  $8.4 \pm 0.2$  ppm으로 두 지역 모두 수온이 가장 높은 8월에 농도가 가장 낮은 것을 확인 할 수 있었다(Table 1, 2).

Table 1. Sampling locations, water depth, water temperature, dissolved oxygen (DO) and salinity in seawater off the coast of Pohang

| Period  | Region Site  | Yeongil |      |       | Guryongpo (South) |        |        |         |         | Guryongpo (North) |        |        |         |         |
|---------|--------------|---------|------|-------|-------------------|--------|--------|---------|---------|-------------------|--------|--------|---------|---------|
|         |              | 1 m     | 80 m | 150 m | 5 m               | 80 m-a | 80 m-b | 150 m-a | 150 m-b | 5 m               | 80 m-a | 80 m-b | 150 m-a | 150 m-b |
| May     | Depth (m)    | ~1      | 4.7  | 6.4   | ~1                | 1.5    | 2.7    | 1.5     | 3.8     | ~1                | 3.7    | 4.8    | 6.8     | 6.3     |
|         | Temp. (°C)   | 17.8    | 17.5 | 17.5  | 15.9              | 15.3   | 15.3   | 15.4    | 15.7    | 17.1              | 14.6   | 14.6   | 14.6    | 14.8    |
|         | DO (ppm)     | 10.7    | 10.5 | 10    | 9.1               | 11     | 10.1   | 10      | 9.5     | 9.4               | 8.5    | 9.6    | 10      | 10.5    |
|         | Salinity (‰) | 36      | 36   | 36    | 37                | 36     | 36     | 36      | 36      | 37                | 36     | 36     | 36      | 36      |
| June    | Depth (m)    | 2.8     | 4.2  | 5.7   | ~1                | 1.0    | 1.4    | 4.5     | 5.0     | ~1                | 4.0    | 2.5    | 7.4     | 5.3     |
|         | Temp. (°C)   | 20.7    | 18.5 | 19.6  | 21.4              | 20.7   | 20.3   | 20.8    | 21.1    | 21.1              | 19.5   | 19.3   | 18.7    | 19.2    |
|         | DO (ppm)     | 7.2     | 7.7  | 7.1   | 7                 | 10.6   | 10.5   | 10      | 9.8     | 8.3               | 10.3   | 10.3   | 9.1     | 9.1     |
|         | Salinity (‰) | 35      | 35   | 35    | 36                | 35     | 35     | 35      | 35      | 35                | 35     | 35     | 35      | 36      |
| August  | Depth (m)    | 2.9     | 4.7  | 7.2   | ~1                | 1.0    | 2.2    | 3.8     | 5.4     | ~1                | 3.7    | 3.2    | 7.2     | 5.1     |
|         | Temp. (°C)   | 26.0    | 25.0 | 25.0  | 28.5              | 28.0   | 27.0   | 27.0    | 26.0    | 29.0              | 27.0   | 27.0   | 26.0    | 27.0    |
|         | DO (ppm)     | 8.1     | 8.1  | 8.4   | 8.0               | 10.0   | 9.6    | 9.5     | 9.3     | 7.7               | 8.4    | 8.7    | 8.4     | 8.3     |
|         | Salinity (‰) | 30      | 30   | 30    | 30                | 30     | 30     | 30      | 30      | 30                | 30     | 31     | 30      | 31      |
| October | Depth (m)    | 2.8     | 4.2  | 8.4   | ~1                | 3.1    | 1.8    | 3.3     | 4.5     | ~1                | 4.8    | 5.7    | 3.5     | 5.6     |
|         | Temp. (°C)   | 18.2    | 18.5 | 18.3  | 19.3              | 19.4   | 19.4   | 19.5    | 19.3    | 19.3              | 19.4   | 19.4   | 19.3    | 19.5    |
|         | DO (ppm)     | 7.3     | 7.5  | 7.4   | 8.1               | 8.2    | 8.4    | 8.2     | 8.3     | 7.7               | 8.0    | 7.8    | 7.9     | 7.9     |
|         | Salinity (‰) | 33      | 33   | 33    | 34                | 34     | 34     | 33      | 33      | 34                | 33     | 34     | 33      | 34      |



Fig. 1. Sampling locations (white and red circles) used in this study. Note that three and five locations for Aewol and Yeongil (Control) and for Daejeong and Namwon in Jeju Island and Guryongpo-north and Guryongpo-south in Pohang, respectively. Red circles indicate the sampling location (within 5 m in diameter) where effluent water was released from a land-based olive flounder farm seawater. Purple triangles indicate the location of the sewage treatment plant.

Table 2. Sampling locations, water depth, water temperature, dissolved oxygen (DO) and salinity in seawater off the coast of Jeju Island

| Period  | Region Site  | Aewol |      |       | Namwon |        |        |         |         | Daejeong |        |        |         |         |
|---------|--------------|-------|------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|--------|--------|---------|---------|
|         |              | 1 m   | 80 m | 150 m | 5 m    | 80 m-a | 80 m-b | 150 m-a | 150 m-b | 5 m      | 80 m-a | 80 m-b | 150 m-a | 150 m-b |
| May     | Depth (m)    | 1.0   | 3.8  | 5     | ~1     | 2.6    | 2.4    | 5.6     | 3.1     | ~1       | 2.7    | 3.8    | 10.2    | 10.9    |
|         | Temp. (°C)   | 15.8  | 15.3 | 15    | 17.4   | 17.1   | 17.3   | 17.4    | 17.6    | 16.8     | 16.7   | 16.4   | 16.2    | 16      |
|         | DO (ppm)     | 10.7  | 10.3 | 10.5  | 9.3    | 10.5   | 9.6    | 9.9     | 10.4    | 9.2      | 9.8    | 9.9    | 9.6     | 9.8     |
|         | Salinity (‰) | 36    | 35   | 36    | 36     | 37     | 36     | 36      | 37      | 37       | 36     | 36     | 36      | 36      |
| June    | Depth (m)    | 1.6   | 3.9  | 4.3   | ~1     | 3.9    | 3.1    | 5.9     | 3.9     | ~1       | 3.3    | 6.6    | 8.8     | 10.9    |
|         | Temp. (°C)   | 21.4  | 20.3 | 21.1  | 19.3   | 19.2   | 19     | 19.6    | 19.1    | 18.8     | 18.3   | 18.2   | 19.1    | 18.2    |
|         | DO (ppm)     | 8.2   | 9    | 9.5   | 8.6    | 9      | 9.2    | 8.8     | 9.2     | 9        | 9      | 9.3    | 9.6     | 9.8     |
|         | Salinity (‰) | 34    | 34   | 34    | 35     | 35     | 35     | 35      | 35      | 34       | 34     | 34     | 34      | 34      |
| August  | Depth (m)    | 1.4   | 4.4  | 4.8   | ~1     | 4.2    | 3.5    | 4.8     | 3.5     | ~1       | 3.5    | 4.9    | 8.5     | 10.4    |
|         | Temp. (°C)   | 28.0  | 28.0 | 27.6  | 27.3   | 27.5   | 27.5   | 27.5    | 28.0    | 27.5     | 28.0   | 28.0   | 27.8    | 28.0    |
|         | DO (ppm)     | 6.9   | 6.9  | 7.2   | 7.4    | 7.6    | 7.4    | 7.5     | 7.3     | 7.5      | 7.7    | 7.6    | 7.9     | 7.5     |
|         | Salinity (‰) | 30    | 30   | 30    | 25     | 25     | 25     | 26      | 26      | 30       | 30     | 30     | 31      | 30      |
| October | Depth (m)    | 1.7   | 4.2  | 6.7   | ~1     | 3.5    | 2.8    | 3.6     | 4.0     | ~1       | 2.8    | 5.4    | 7.7     | 9.2     |
|         | Temp. (°C)   | 21.6  | 21.7 | 21.8  | 21.0   | 22.2   | 21.3   | 21.4    | 21.4    | 21.7     | 22.1   | 22.1   | 22.2    | 22.2    |
|         | DO (ppm)     | 8.3   | 8.4  | 8.5   | 7.9    | 8.2    | 8.5    | 8.4     | 8.4     | 8.6      | 8.7    | 8.6    | 8.5     | 8.4     |
|         | Salinity (‰) | 34    | 34   | 34    | 28     | 31     | 28     | 30      | 28      | 33       | 32     | 33     | 33      | 33      |

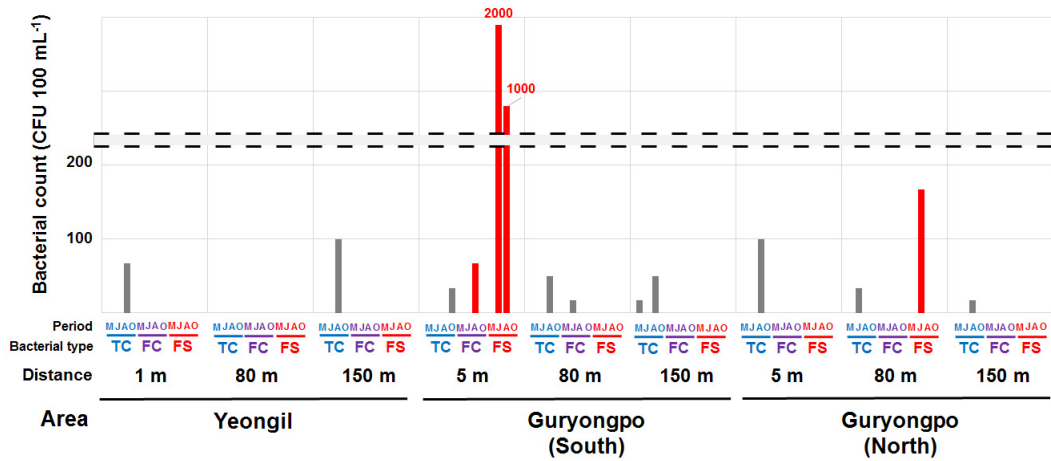


Fig. 2. Total coliform (TC), fecal coliforms (FC), and fecal streptococci (FS) counts in seawater sampled in Pohang. Red bars indicate sample harboring more than 43 and 41 CFU mL<sup>-1</sup> of FC and FS, respectively. Capital letters (M, J, A and O) indicate May, June, August and October, respectively. CFU, Colony forming unit.

이전 연구(Roh et al., 2018)에서는 해수 내 미생물을 정량하기 위해 해수를 GF/C filter에 통과시킨 후 약 300배 농축하여 실험을 진행하였다. 그러나 이 방법은 free living bacteria의 유실(Moeseneder et al., 2001; Roh et al., 2018)과 농축 후의 전처리 과정(예를 들어 filter 세척)에서 세균의 유실이 일어날 수 있기 때문에 여러 단점을 내포한다고 할 수 있다. 이번 연구에서는 이전 연구(Jung et al., 1996; Song et al., 2008; Yoo et al., 2010)와 같이 해수의 농축 없이 일반적인 방법으로 오염지표세균을 정량하고자 하였다. 농축 방법과 비농축 방법을 대략적으로 비교하기 위해, 이전 연구 결과(Roh et al., 2018)와 동일한 지역인 제주 대정지역의 분변계연쇄구균이 검출된 비율을 살펴보면 Roh et al. (2018)은 6, 8, 10월에 걸쳐 대략 57% 정도 되었지만, 본 연구에서는 4, 6, 8, 10월에 걸쳐 8% 정도 검출되어 낮은 검출율을 보였다. 하지만, Roh et al. (2018)이 제시하고 있는 가장 높은 분변계연쇄구균 농도는 30-35 CFU (colony forming unit) 100mL<sup>-1</sup>인 것에 비해 본 연구의 대정지역의 농도는 대략 150-200 CFU 100mL<sup>-1</sup>로 5배 정도 높았다. 이는 해당 해역이 1년전 보다 5배 정도 오염되었다고 판단하기 보다는 시료를 농축하여 검출한 이전 연구와 농축 없이 해수 원액을 사용한 이번 연구의 방법적인 차이에서 기인하는 것으로 판단된다. 농축을 통해 오염지표종을 모니터링 할 경우 검출한계가 낮아져 민감도를 높일 수는 있으나, 농축 과정에서 오염지표종의 유실이 나타날 수도 있어 정확한 정량이 안될 수도 있다는 장단점이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 환경부고시 제2016-65호 수질오염공정기준에 따르면 총대장균군과 분변성대장균군을 측정하기 위해 여과해야 할 시료의 양은 그 성격에 따라 다르며 시료가 해수인 경우 실험 방법에 대한 정보는 없었지만 하천수의 경우 1-0.001 또는 1-0.01 mL을 사용하는 것으로 되어있다. 따

라서 본 연구에서 사용한 해수 원액은 실제 오염지표세균 농도를 모니터링하고 해석하는데 있어 적합하다는 것을 의미한다.

총대장균군의 경우 포항지역에서 8월에 채취된 대부분의 해수 시료에서 검출되었으나 그 농도는 100 CFU 100 mL<sup>-1</sup> 이하인 것으로 나타났다. 제주도의 경우 대정지역에서 채취한 일부 해수 시료에서만 약 20-40 CFU 100mL<sup>-1</sup>로 나타나 포항에 비해 총 대장균군의 농도와 검출빈도가 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이 농도는 해양환경관리법 제8조에 따른 해양환경기준(생활환경기준) (해양수산부 고시 제2013-186)은 총대장균군의 수가 1,000 CFU 100 mL<sup>-1</sup> 이하인 경우 생활환경 적합으로 정의하고 있다. 이번 연구에서 나타난 총대장균군의 수는 이 기준에 비해 10-20배 이상 낮은 것을 알 수 있다.

분변계대장균의 경우 해수의 오염과 관련된 국내의 기준은 없으나 정착성 수산동식물 생산해역의 등급 설정 기준(해양수산부고시 제2013-154호)의 지표로는 사용되고 있다. 이 기준에 따른 '청정해역'은 분변계대장균의 최확수(MPN)의 중앙값 또는 기하학적 평균치가 14 CFU 100 mL<sup>-1</sup>를 초과하지 않아야 하며, 43 CFU 100mL<sup>-1</sup>를 초과하는 시료의 수가 10% 미만으로 정의하고 있다. 본 연구에서는 6월과 8월에 구룡포 남부의 양식장 유출수 배출 지점(5 m)과 80 m 정점에서 각각 66.7과 16.7 CFU 100 mL<sup>-1</sup>의 분변계대장균이 검출되었으나, 이를 제외한 나머지 샘플에서는 검출되지 않아 '청정해역'인 것으로 나타났다(Fig. 2와 Fig. 3).

또 다른 오염지표세균인 분변계연쇄구균의 경우 일부 지역(3개 정점) (Fig. 2와 Fig. 3)에서 검출되었다. 6월달 구룡포 북부 80 m 지점과 10월의 제주도 대정 80 m 지점 해수의 분변계연쇄구균의 농도는 166 CFU 100 mL<sup>-1</sup>로 나타났다. 이 지표세균에 대한 국내의 관련 기준은 없으나 WHO에서 제시한 기준



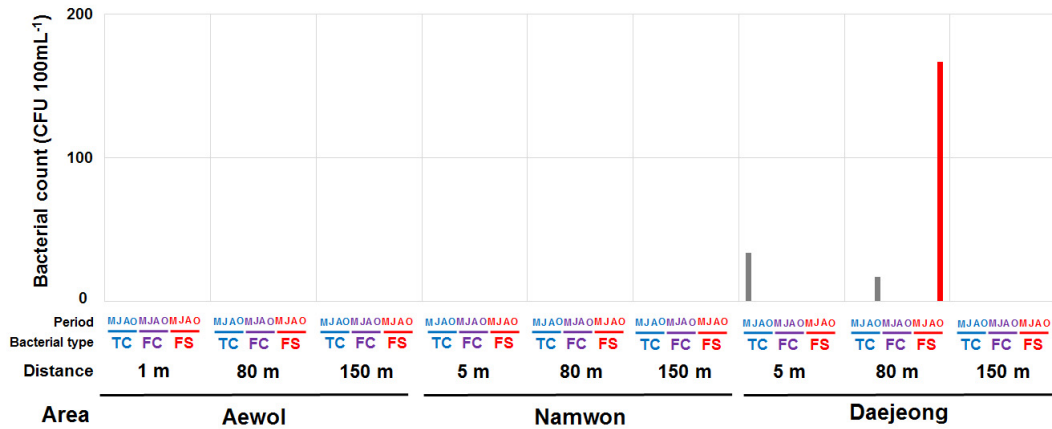


Fig. 3. Total coliform (TC), fecal coliform (FC), fecal streptococci (FS) counts in seawater sampled in Jeju Island. Red bars indicate sample harboring more than 1,000, 43 and 41 CFU mL<sup>-1</sup> of TC, FC and FS, respectively. Capital letters (M, J, A and O) indicate May, June, August and October, respectively. CFU, Colony forming unit.

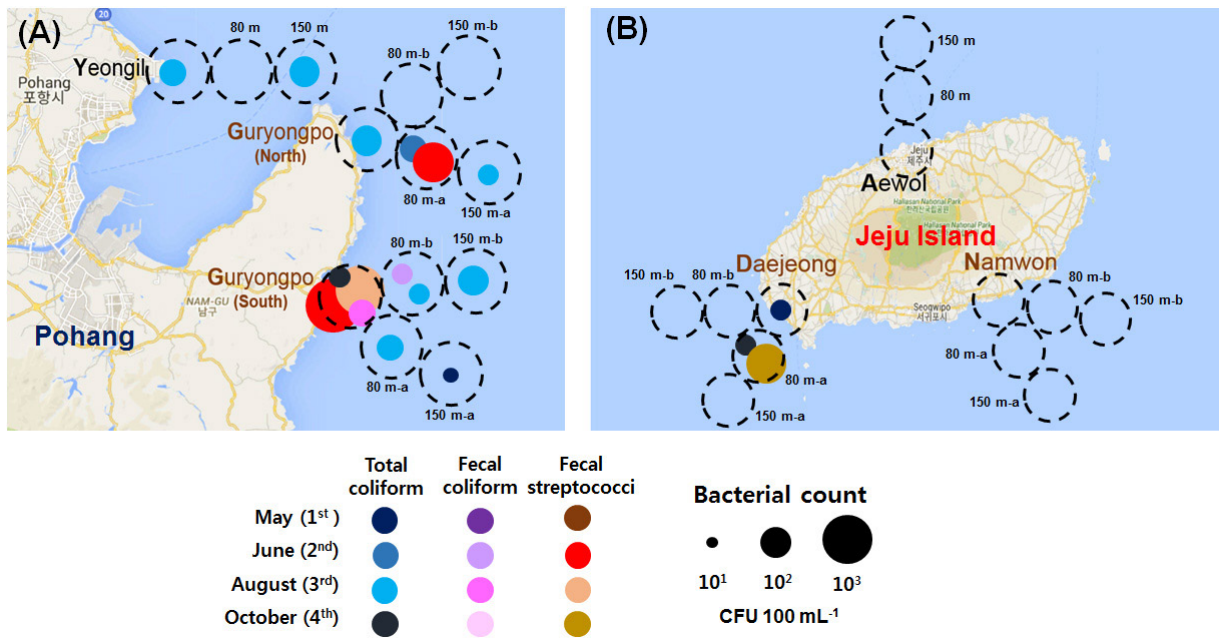


Fig. 4. Distribution of indicator bacteria (a total coliform, fecal coliforms, fecal streptococci) in seawater sampled in Pohang and Jeju Island. Different colors and circle sizes indicate different type of indicator bacteria, bacterial counts, and sampling time points. CFU, Colony forming unit.

(WHO, 2003)을 근거로 하면 어느 정도의 관리가 필요한 “B 등급” (분변계연쇄구균의 농도가 41-200 CFU 100 mL<sup>-1</sup>인 해역)에 속하는 것을 확인 할 수 있었다. 6월과 8월에 채취된 구룡포 남부 지역 양식장 유출수 배출 지점(5 m) 해수의 분변계연쇄구균은 농도는 1,000-2,000 CFU 100 mL<sup>-1</sup>로 나타났지만 80과 150 m 정점의 해수에서는 검출되지 않아(Fig. 2와 3) 인근 해역

에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나(Fig. 4) 향후 양식장 유출수 관리의 필요성이 있을 것으로 판단된다.

제주 지역 양식장의 유출수 배출(5 m) 지점으로부터 반경 약 5 km 내에 존재하는 양식장의 수면적(대정: 98,765 m<sup>2</sup>, 표선: 남원 인근: 343,276 m<sup>2</sup>) (Roh et al., 2018; Fisheries Policy Division in Jeju Special Self-Governing Province, 2018)과 구룡포

북부와 남부 지역(유출수 배출지점으로부터 반경 약 5 km 이내) 양식장의 수면적은 각각 84,170와 21,298 m<sup>2</sup>로 나타났다. 구룡포 남부 지역의 양식장 수면적은 이번 연구에서 조사되었던 다른 지역에 비해 4-16배가 낮았음에도 불구하고 인근 연안 해수의 분변계연쇄구균과 분변계대장균의 농도가 아주 더 높은 것은 단순히 양식장으로부터 배출된 유출수의 영향보다는 주변의 다른 오염원에 의한 영향이 더 클 수 있음을 나타내고 있다. Lee et al. (2011)에 의하면 구룡포 남부지역에 있는 구룡포항의 오염이 매우 심각하며 최근 오염지수(예를 들어 chemical oxygen demand, COD; total nitrogen, TN; total phosphorus, TP)가 계속 상승하고 있다고 보고하였다. 또한 본 연구에서 채수한 지역 인근에는 구룡포 하수처리장, 구룡포 해수욕장과 많은 음식점이 존재하는 것도 이 지역의 오염과 밀접한 연관이 있을 것으로 판단된다. 추후 구룡포 남부지역 양식장 밀집지역의 오염지표세균의 유래에 대한 추적은 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 분변계연쇄구균과 분변계대장균이 검출되는 지점은 비슷하게 나타난 것을 확인 할 수 있었지만 검출되는 양은 분변계연쇄구균의 수가 분변계대장균보다 10-20배 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 기존의 연구(WHO, 2003; Roh et al., 2018)에서 언급한 것과 같이 해수의 오염도를 판단할 때는 오염지표세균의 종별 해수 내 생존능이 달라 상대적으로 해수에 좀 더 오래 생존할 수 있는 분변계연쇄구균이 분변계대장균을 이용한 오염도 측정 보다 적합하다고 하였다. 또한, Abdallah et al. (2005)에서도 해수의 생물학적 오염도를 측정하기 위해서 분변계연쇄구균과 분변계대장균을 함께 검출하였다. 이런 점을 고려했을 때 향후 해수의 생물학적 오염을 평가 시에 분변계연쇄구균도 포함시키는 것이 유용할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 제주도권역과 동해안권역의 양식장 밀집지역 인근 해역에서의 오염지표세균에 대한 조사 결과를 바탕으로 해역의 오염 정도를 평가한 결과 지역 및 시기별로 차이는 낮지만 양식장의 밀집도와 해역의 미생물학적인 오염도 간의 상관관계는 확인되지 않았다. 이는 이전 연구(Roh et al., 2018)의 결과와도 유사하다고 판단된다. 하지만 일부 양식장 밀집지역(구룡포 남부지역의 양식장) 유출수 배출 지점의 6월과 8월에 채취된 해수에서 많은 양의 분변계연쇄구균이 검출된 것을 고려하면 양식장의 배출수가 주변의 여러 점오염원 중의 하나가 될 수도 있다는 것을 보여준다. 이는 향후 지속 가능한 양식 산업을 위해서 연안 해역의 여러 오염원뿐만 아니라 양식장으로부터 배출되는 유출수의 오염정도를 정확히 파악하고 필요하다면 관리도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었습니다.

## References

- Abdallah S, Elmanama A, Fahd M and Afifi S. 2005. Microbiological Beach Sand Quality in the Gaza Strip in Comparison to Seawater. *Environ Res* 14, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.12.014>.
- Fisheries Policy Division in Jeju Special Self-Governing Province. 2018. Status of aquaculture [License-Permission-Declaration] as of December 31, 2016. Retrieved from <https://www.jeju.go.kr/open/open/iopenboard.htm?category=1113> on April 10, 2018.
- Hill D, Owens W and Tchounwou P. 2006. The impact of rainfall on fecal coliform bacteria in Bayou Dorcheat (North Louisiana). *Int J Environ Res Public Health* 3, 114-117. <https://doi.org/10.3390/ijerph2006030013>.
- Jung KJ and Shin SU. 1996. Bacterial Flora of East China Sea and Yosul Coastal Sea Areas 1. Horizontal Distributions According to Number of Bacteria, *Vibrio* spp. and Coliform Group. *Korean J Fish Aquat Sci* 29, 9-16.
- Koh HJ, Park SE, Cha HK, Chang DS and Koo JH. 2013. Coastal eutrophication caused by effluent from aquaculture ponds in Jeju. *J Korean Soc Mar Environ Saf* 19, 315-326. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2013.19.4.315>.
- Lee DI, Kim GY, Moon JH and Eom KH. 2011. The Policy Review and Water Quality Characteristics of National Fishing Harbors and Designated Ports in East Coast of Korea. *J Korean Soc Mar Environ Energy* 14, 213-223. <https://doi.org/10.7846/jkosmee.2011.14.4.213>.
- Lee DI, Eom KH, Kim GY, Hong SJ, Lee WC and Jang JH. 2008. Effective Coastal Water Quality Management and Marine Environmental Impact Assessment. *J Korean Soc Mar Environ Saf* 14, 29-37.
- Lee TS, Oh EG, Yu HD, Ha KS, Yu HS, Byun HS and Kim JH. 2010. Impact of rainfall events on the bacteriological water quality of the shellfish growing area in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 406-414. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.5.406>.
- Moeseneder MM, Winter C and Herndl GJ. 2001. Horizontal and vertical complexity of attached and free-living bacteria of the eastern Mediterranean Sea, determined by 16S rDNA and 16S rRNA fingerprints. *Limnol Oceanogr* 46, 95-107. <https://doi.org/10.4319/lo.2001.46.1.0095>.
- Park K, Park JY, Jo MR, Yu HS, Lee HJ, Kim JH, Oh EG, Shin SB, Kim YK and Lee TS. 2013. Antimicrobial resistance in *Escherichia coli* isolated from the shellfish farms in the southern coast of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 528-533. <https://doi.org/10.5657/kfas.2013.0528>.
- Roh HJ, Lim YJ, Kim A, Kim NE, Kim YJ, Park NB, Hwang JY, Kwon MG and Kim DH. 2018. Distribution of indicator bacteria in seawater off the coast of Jeju Island. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 450-455. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0450>.

- Song KC, Lee DS, Shim KB, Lim CW, Mog JS, Byun HS, Park YJ and Cho KC. 2008. Evaluation of bacteriological safety for the shellfish growing waters in Taean area, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 41, 155-162. <https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.3.155>.
- WHO (World Health Organization). 2003. Guidelines for safe recreational water environments: Coastal and fresh waters. World Health Organization. Retrieved from <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42591/9241545801.pdf?sequence=1> on Jul 28, 2018.
- Yoo HD, Ha KS, Shim KB, Kang JY, Lee TY and Kim JH. 2010. Microbiological quality of the shellfish-growing waters and mussels in Changseon, Namhae, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 298-306. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.4.298>.
- Yoon YH. 2017. Marine Bio-environmental Characteristics with the Distributions of Dinoflagellate Cyst Assemblages in the Ulsan Coastal Waters (UCW). *Korean J Environ Biol* 35, 361-372. <https://doi.org/10.11626/kjeb.2017.35.3.361>.