

## 가덕도 연안 해수에서 분리된 *Vibrio vulnificus*의 검출 특성 및 항생제 내성

오희경<sup>1</sup> · 정희진<sup>2</sup> · 정금재<sup>2</sup> · 신혜영<sup>3</sup> · 신중호<sup>1,4</sup> · 정원교<sup>1,4</sup> · 오정환<sup>1,4</sup> · 김영목<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 4차산업융합바이오닉스공학과, <sup>2</sup>부경대학교 식품공학과, <sup>3</sup>강릉원주대학교 해양식품공학과, <sup>4</sup>부경대학교 의공학과

### Detection Characteristics and Antimicrobial Resistance of *Vibrio vulnificus* Isolated from Sea Water Along the Gadeok Island Coast

Hee-Kyung Oh<sup>1</sup>, Hee-Jin Jeong<sup>2</sup>, Geum-Jae Jeong<sup>2</sup>, Hye-Young Shin<sup>3</sup>, Joong Ho Shin<sup>1,4</sup>,  
Won-Kyo Jung<sup>1,4</sup>, Junghwan Oh<sup>1,4</sup> and Young-Mog Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Industry 4.0 Convergence Bionics Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>2</sup>Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>3</sup>Department of Marine Food Science and Technology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

<sup>4</sup>Department of Biomedical Medical Engineering Pukyong National University, Busan 48513, Korea

We investigated the distribution, molecular characteristics, and antimicrobial resistance of *Vibrio vulnificus* isolated from seawater at Gadeok Island, the Republic of Korea between June to October. Interestingly no isolates were detected between December to February. The detection rate of *V. vulnificus* was high (80-100%) from July to September 2019 and from June to September 2020. This coincided with the relatively low salinity of the seawater, which ranged from 7.8-29.9 practical salinity units for that period. Additionally, *V. vulnificus* had a high detection rate at sampling stations near the Nakdong river. The detection rates of virulence genes, such as *vvhA*, *viuB*, and *vcgC*, among the isolates were 97.1%, 44.1%, and 57.4% in 2019 and 100%, 43.0%, and 50.0% in 2020, respectively. Notably, *viuB* and *vcgC* were detected in *V. vulnificus* isolated between June to October when water temperature was above 20°C. The antimicrobial susceptibility analysis of 80 isolates revealed that most of the strains were susceptible to most antimicrobial agents. However, some isolates showed intermediate resistance to cefepime (18.8%), cefoxitin (58.8%), and erythromycin (22.5%). Of note, 3.8% of the tested strains were resistant to cefoxitin. The minimum inhibitory concentration of highly cefoxitin-resistant strains was determined to be less than 32 µg/mL.

Keywords: Antimicrobial resistance, *Vibrio vulnificus*, Virulence genes

## 서론

*Vibrio vulnificus*는 불충분하게 조리된 해산물 또는 어패류를 섭취하거나 상처부위에 균의 접촉을 통해 감염되어 위장염, 패혈증 또는 창상감염을 일으키는 그람 음성 간균이다(Hlady and Klontz, 1996; Shapiro et al., 1998; Oliver, 2005). 세계적으로 해안가 및 하구에서 수온이 18°C 이상의 따뜻한 계절에 염분 15-25 practical salinity units (psu)에서 잘 증식하는 것으로 보고되어 있으며(Motes et al., 1998; Strom and Paranjpye, 2000), 최근에는 기후변화로 해수 온도가 상승하면서 *V.*

*vulnificus*의 검출 기간과 지역이 확장되는 경향도 확인된다(Martinez-Urtaza et al., 2010; Baker-Austin et al., 2013).

우리나라에서 비브리오패혈증은 2001년부터 2019년까지 매년 37-88명의 환자가 신고되어 누적 1,048명을 기록하고 있다. 월별 누적 환자발생은 9월이 426명(40.6%)으로 가장 많았고, 8월 295명(28.1%), 10월 175명(16.7%) 및 7월 107명(10.2%) 등의 순으로 7-10월에 집중적(95.7%)으로 발생하였다. 대개 6-7월 초에 첫 환자 발생이 보고되었으나 2012년 이후 2-5월에 첫 신고가 보고되기도 하였다(KCDC, 2019a). 사망통계가 있는 2011년부터 2016년까지 평균 치명률은 48.9%이었고 2014년

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5832 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: ymkim@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.2021.0912>

Korean J Fish Aquat Sci 54(6), 912-917, December 2021

Received 3 August 2021; Revised 3 September 2021; Accepted 24 September 2021

저자 직위: 오희경(대학원생), 정희진(대학원생), 정금재(대학원생), 신혜영(대학원생), 신중호(교수), 정원교(교수), 오정환(교수), 김영목(교수)

에 65.6%로 가장 높았다(KCDC, 2019b).

한편, 의료산업과 농축수산업 등에서 항균제가 광범위하게 사용되고 있어(Kümmerer, 2009; KDCA, 2021b), 하수처리장 방류수, 가축분뇨 처리장 방류수 및 하천 등지에서 내성균 및 다재 내성균이 빈번하게 검출되고 있다(Oh and Park, 2009; Seong et al., 2013). 그 결과 낙동강으로 유입되는 하천을 포함한 부산 지역 지하수, 하수처리장 방류수 및 폐수 등에서도 잔류항생물질이 검출이 보고되고 있다(Jeong et al., 2014). *V. vulnificus*의 경우 세계적으로 해수, 뽕, 새우, 어류 등에서 ampicillin, gentamicin, penicillin 및 tetracycline 등의 항균제에 내성이 보고되고 있고(Elmahdi et al., 2016), 국내에서도 남해안과 서해안에서 분리된 균주의 ciprofloxacin, rifampin, streptomycin 등 항균제 내성이 확인되고 있다(Hwang et al., 2007; Yang et al., 2017). 또한 하수처리장 최종방출수로부터 분리한 *V. vulnificus* 및 기타 *Vibrio* spp.에서 다수의 항균제 내성 유전자를 확인한 보고도 있다(Okoh and Igbinsosa, 2010).

가덕도는 낙동강 하구 아래 위치하고 있어 담수유입에 따른 염분 농도가 *V. vulnificus*의 생육에 유리한 환경을 제공하며 수온이 따뜻한 계절에 검출률이 증가한다. 이전 연구에서 가덕도 연안의 *V. vulnificus*는 평균 수온이 15.2°C 이상일 때 검출되었고, 병원성 관련 유전자 중 *vvhA*는 *V. vulnificus*가 검출되는 모든 기간에 확인되었으나 *viuB*와 *vcgC*는 균의 검출률이 증가하고 비브리오패혈증 환자 발생이 많은 6-9월에 주로 검출되는 것이 보고되었다(Oh et al., 2020). 본 연구는 기존의 연구 결과를 바탕으로 보다 장기간에 걸쳐 같은 해역에서 분리된 *V. vulnificus*의 병원성 유전자와 항균제 내성 특성에 대한 분석을 진행하여 비브리오패혈증 예방 및 항생제 내성 확산을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 진행되었다.

**재료 및 방법**

**시료 채취**

해수 시료의 채취는 Oh et al. (2020)이 설정한 지점에 대하여 매월 실시하였다(Fig. 1). 즉, 가덕도 연안 10개소(동부 9개소 및 서부 1개소)에서 멸균 채수병에 해수를 채취한 후 7-10°C를 유지하여 운반하였고, 수질 측정(수온, 염분 및 pH)은 YSI 1030 (YSI Inc., Yellow Springs, OH, USA)를 이용하여 현장에서 측정하였다(Oh et al., 2020).

***V. vulnificus*의 분리 및 정량**

이전 논문에서 보고한 것처럼 해수 중 *V. vulnificus* 균의 정량은 미국 Food and Drug Administration (FDA)의 bacteriological analytical manual (USFDA, 2018a)을 응용하여 Oh et al. (2020)이 실시한 3 portion MPN (most probable number)법으로 수행하였다. 즉 alkaline peptone water (2% NaCl, pH 8.5) 배양 양성관을 대상으로 CHROMagar™Vibrio plate (CHRO-

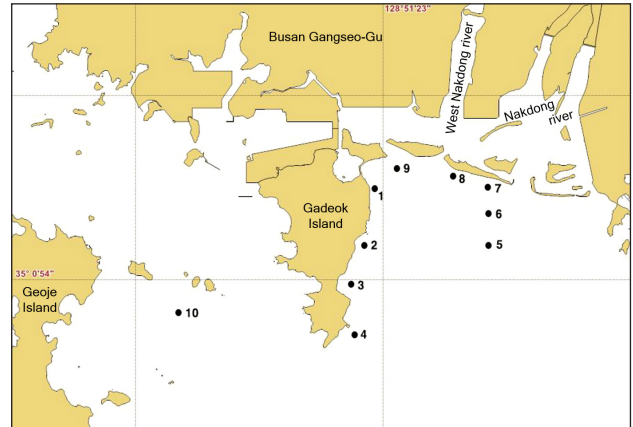


Fig. 1. Sampling stations of seawater at Gadeok Island Coast in South Korea.

Magar, Paris, France)에 희선배양한 결과 *V. vulnificus*로 추정되는 집락에 대해 PCR (polymerase chain reaction) 분석을 실시하였다. 그 결과 양성에 대하여 최확수(most probable number, MPN/100 mL)를 산출하고, *V. vulnificus* 균을 분리하였다(Oh et al., 2020).

**병원성 관련 유전자 확인 및 PCR 조건**

분리한 균주를 Luria-Bertani broth (NEOGEN, Lansing, MI, USA)에 접종 배양하여 DNA를 추출(Genomic DNA extraction kit; Bioneer, Daejeon, Korea)하고, 이를 주형으로 하여 *vvhA*, *viuB* 및 *vcgC*의 병원성 관련 유전자 유무를 PCR 반응으로 확인하였다. 실험에 사용된 primer와 PCR 분석 조건은 이전 연구에서 실시한 방법에 따라 진행하였다(Oh et al., 2020).

**항균제 감수성 시험**

분리된 *V. vulnificus*에 대하여 보관중 재생되지 않는 균을 제외하고 Acar and Godlstein (1991)의 디스크확산법을 이용하여 항균제 감수성 시험을 실시하였다. 분리균주를 1% NaCl이 첨가된 Mueller-Hinton broth (Difco, Sparks, MD, USA)에 접종하고 35°C, 18-24시간 배양한 후, 이를 1% 멸균식염수에 접종하여 탁도를 McFarland No. 0.5로 희석하고, 4 mm 두께의 1% NaCl을 함유한 Mueller-Hinton agar (Difco) 평판에 멸균면봉으로 도말 하였다. 배양액이 흡수되도록 5분간 방치 후 항균제 디스크(OXOID, Basingstoke, Hants, UK)를 평판에 고착시켜 35°C, 16-18시간 배양하여 증식저해대의 크기를 측정하였다. 항균제는 18종에 대하여 시험을 실시하였고(Table 1), Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2015, 2018b)에 근거하여 감수성 여부를 판정하였다. 항균제 디스크 시험의 유효성 확인은 CLSI에서 규정하고 있는 *E. coli* ATCC 25922를 이용하여 실시하였다.

## 항균제 최소발육억제농도(minimum inhibitory concentration, MIC) 측정

분리균주에서 내성이 확인되는 항균제에 대하여 CLSI (2018a)의 broth micro-dilution 방법으로 최소발육억제농도 시험을 실시하였다. Microplate에 1% NaCl을 첨가한 Mueller-Hinton broth를 분주하고 64 µg/mL에서 0.125 µg/mL까지 단계별로 절반씩 농도가 감소하도록 항균제를 첨가하였다. 여기에 1% NaCl을 함유한 tryptic soy agar 평판(Difco)에 희석하여 35°C, 18-24시간 배양한 시험균주를 1% 멸균식염수에 McFarland No. 0.5 정도로 현탁한 후 재차 희석하여 10<sup>6</sup> CFU/mL이 되도록 조정하고, 항균제가 첨가된 microplate well에 1:1 비율로 접종하였다. 그리하여 균의 농도가 5 × 10<sup>5</sup> CFU/mL (2~8 × 10<sup>5</sup> CFU/mL 범위)가 되도록 접종된 microplate를 35°C, 16-20시간 배양하여 균의 증식이 없는 최소발육억제농도를 확인하였다. 시험의 정도관리 균주는 *E. coli* ATCC 25922를 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 가덕도 동부 연안 해수의 이화학적 특성

2019년 1월부터 2020년 12월까지 낙동강과 가까운 가덕도 동부 및 서부 연안의 총 10개 해수 지점에 대하여 월 1회 채취하였다.

이전 연구 결과에 따르면 2019년 조사 당시의 일반수질은 월별 평균 수온의 범위가 9.7-26.2°C이었고, 염분의 경우 평균 14.2-33.8 psu이었으며, 하계인 7-9월에 평균 염분이 14.2-29.9 psu로 다른 계절보다 낮았다(Oh et al., 2020). 2020년의 경우 월별 평균 수온의 범위가 10.5-28.2°C로 8월이 가장 높고, 2월이 가장 낮았다(Fig. 2A). 염분의 경우 평균 7.8-32.0 psu 범위에서 2월이 가장 높았고, 7월이 가장 낮았다. 2020년 하계 긴장마와 집중호우로 인해 7, 8 및 9월의 평균 염분이 비교적 낮은 경향은 2019년과 유사하였으나 그 수치가 각각 7.8 ± 3.33, 13.0 ± 5.63 및 19.2 ± 4.53 psu로 더 낮은 농도의 염분이 장기간 유지되어 차이를 보였다(Fig. 2B). 이러한 결과는 Park et al. (2019)이 가덕도 연안 해수에서 하계 강우가 많은 기간에 염분이 낮음을 보고한 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 한편, 지점별 측정값은 수온의 경우 2년에 걸쳐 평균 17.2-17.9°C로 연도별 및 지점별 유의차가 크지 않았으나 염분의 경우 2020년 가덕도 동부 9개 지점이 평균 25.0-26.9 psu로 가덕도 서부 10번 지점의 30.6 psu보다 낮아 2019년과 동일한 경향을 나타내었다(자료미제시).

### *V. vulnificus*의 검출 동향

2019년부터 2020년까지 가덕도 연안 10개 지점에서 매월 채취한 총 240개 해수 시료에서 확인된 *V. vulnificus*의 검출은 Fig. 2C에 나타내었다. 이전 연구에서 보고한 바와 같이 *V. vulnificus*는 2019년에 3월과 6-11월에 걸쳐 검출되었고, 이 때 평균

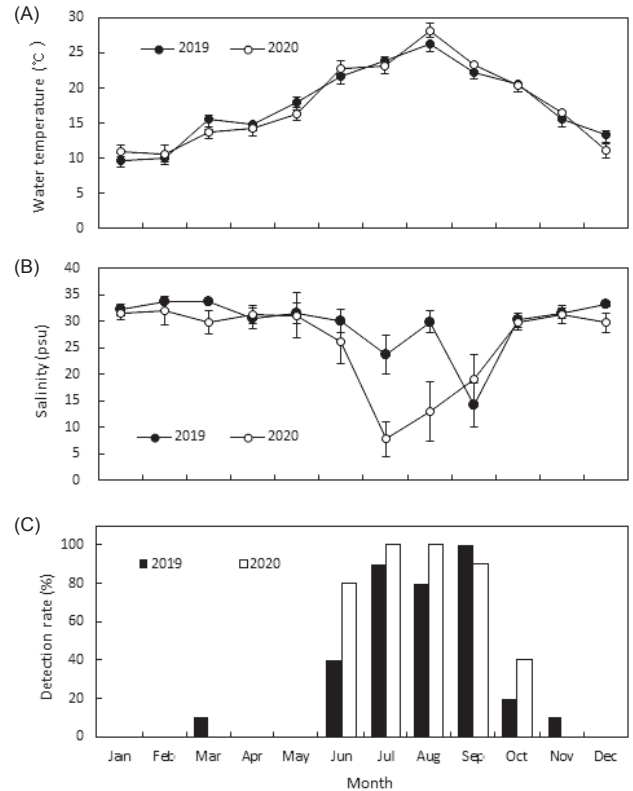


Fig. 2. Monthly variation of seawater temperature (A), salinity (B) and monthly detection rate of *Vibrio vulnificus* (C) isolated from seawater in Gadeok Island Coast.

수온은 15.5-26.2°C이었으며 평균 수온 15.5°C 미만에서는 검출되지 않았다(Oh et al., 2020). 2020년의 경우 월별 평균 수온이 20.4-28.2°C이었던 6월부터 10월 사이에 균이 검출되었다. 평균 수온 상승에 따라 우리나라 연안에서 *V. vulnificus*의 검출 시기가 빨라진다고 보고되고 있으며(KCDC, 2019b), 이전 연구에서도 3월에 검출이 보고되었다(Oh et al., 2020). 같은 해역에서 평균 수온 15.5°C인 2019년 3월과 11월에 *V. vulnificus*가 검출되었지만, 2020년 3월과 11월에는 평균 수온이 16.3°C 및 16.4°C로 수온이 다소 상승하였으나 균이 검출되지는 않았다. 한편 80-100%의 높은 검출률을 보인 경우는 2019년은 7-9월이었으나 2020년의 경우 6-9월로 확장되었는데 이는 하계 강우가 증가하면서 상대적으로 염분이 낮았던 기간과 일치하였다. Park et al. (2019)의 결과를 보면 경남 연안 해수 및 태풍에서 6-9월에 *V. vulnificus*가 상대적으로 높게 검출되었고, Cho and Park (2019)은 곰소만에서 7월부터 10월까지 *V. vulnificus*가 검출되었다고 보고하여 본 연구결과와 유사하였다.

동일 해역에서 *V. vulnificus*의 수치는 2019년 <3.0-2,100 MPN/100 mL의 범위에서 검출되었고 9월 태풍 발생 후 낙동강 하천수가 다량 유입되면서 최고값이 2,100 MPN/100 mL이었

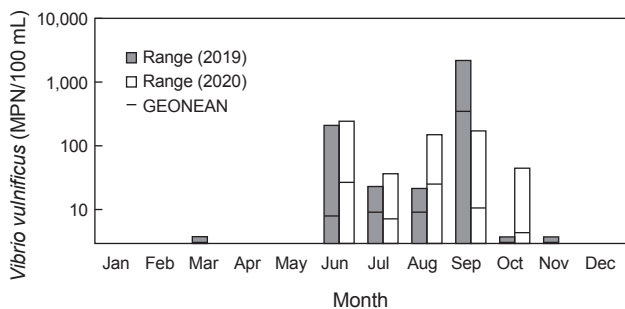


Fig. 3. Range and geometric mean of *Vibrio vulnificus* isolated from seawater in Gadeok Island Coast. Detection limits were 3.0 MPN/100 mL seawater.

으나(Oh et al., 2020), 2020년의 경우에는 <3.0-240 MPN/100 mL 범위에서 검출되어 해수 염분이 상대적으로 낮았던 7, 8월 및 9월도 그렇지 않은 달과 비교할 때 전년도와 같은 큰 폭의 차이는 없었다(Fig. 3). Motes et al. (1998)은 North and South Carolina의 굴에서 연간 대부분 3 MPN/g 미만이던 *V. vulnificus*의 수치가 늦여름 홍수로 인해 염분이 낮아졌을 때 일시적으로 10<sup>3</sup> MPN/g을 초과하였다고 보고하여 본 연구진의 이전 연구결과와 유사한 측면이 있었으며, 지속적인 저염분 상태에서는 급증했던 균의 농도가 하향된 수준에서 유지되는 것으로 추정된다(Oh et al., 2020). 한편 곰소만 및 변산 연안 해수에서 *V. vulnificus*의 검출 수치가 3.6-9.1 MPN/100 mL이었다는 Cho and Park (2019) 보고와 비교할 때, 가덕도 동부 연안은 *V. vulnificus*가 상대적으로 높은 농도로 분포함을 알 수 있다.

2020년 조사 지점별 *V. vulnificus*의 검출율은 가덕도 동부에 위치한 9개 지점에서 25.0-41.7%인 반면 가덕도 서부 10번은 16.7%로 낮게 나타나(자료미제시) 이전 연구와 유사한 경향을 나타내었고(Oh et al., 2020), 가덕도 동부 연안이 낙동강의 영향으로 *V. vulnificus*의 생육에 유리한 좋은 조건이 형성됨을 알 수 있다.

### 분리균주의 병원성 관련 유전자 profile

2019년 1월부터 2020년 12월까지 매월 채취한 해수 시료에서 분리한 *V. vulnificus*는 동일 시료에서 중복 균주로 추정되는 균주를 제외하고 총 154 균주가 분리되었다.

*V. vulnificus*의 병원성 관련 유전자인 *vvhA*와 *viuB* 및 *vcgC*에 대하여 2019년에 분리한 *V. vulnificus* 68 균주에서 각각 66 균주(97.1%), 30 균주(44.1%) 및 39 균주(57.4%)가 확인되었고(Oh et al., 2020), 2020년에 분리한 86개 분리균주에서는 각각 86 균주(100%), 37 균주(43.0%) 및 43 균주(50.0%)가 확인되었다. *viuB*와 *vcgC*는 2019년 6-9월에 검출되었고, 수온이 20°C 미만이면서 검출률이 낮은 3월과 11월은 검출되지 않았다(Oh et al., 2020). 2020년은 평균 수온이 20°C 이상이면서 *V. vulnificus*가 검출된 6-10월에 검출되었으며(자료미제시),

이는 우리나라의 비브리오패혈증 환자가 주로 발생하는 시기와 경향이 유사하였다(KCDC, 2019b). *vvhA*는 *V. vulnificus*의 hemolysin/cytolysin 유전자이고, *viuB*는 *V. vulnificus*의 ferric vulnibactin receptor로서 독력이 강한 균주는 대체로 많은 vulnibactin을 생산하는 것으로 알려져 있다(Shin, 2013; Chung et al., 2016). *vcgC*는 임상균주에서 발견되는 병원성 관련 유전자로 임상유래 16S rRNA B 유전자 및 *viuB* 유전자와 관련이 있다는 보고가 되었다(Han et al., 2009; Çam et al., 2019). 본 연구결과와 비교할 때 해수의 수온이 20°C 이상의 검출률이 높은 기간에는 *viuB* 및 *vcgC* 유전자를 가진 clinical type 균주가 증가하며 이 시기의 패혈증 환자발생 증가와 관련성이 있을 것으로 사료된다.

### 분리된 *V. vulnificus* 균주의 항균제 감수성 및 최소 발육억제농도(MIC)

가덕도 동부 해수에서 분리한 *V. vulnificus*에 대하여 보관 중 재생되지 않는 균주를 제외하고 총 80 균주를 대상으로 항균제 18종에 대하여 감수성을 확인하였다(Table 1). Disk 확산법으로 시험한 결과 cefepime, cefoxitin 및 erythromycin에 대하여 각각 15 균주(18.8%), 47 균주(58.8%) 및 18 균주(22.5%)에서 중등 내성이 확인되었고, cefoxitin에 대하여 3 균주(3.8%)에서 내성이 확인되었다. 그 외 항균제에 대해서는 모두 민감성을 나

Table 1. Antimicrobial susceptibilities of *Vibrio vulnificus* isolated from seawater at Gadeok Island Coast

Antimicrobial agents	Disc content (µg)	No. of isolates		
		S	I	R
Amikacin	30	80	0	0
Amoxicillin/Clavulanate	20/10	80	0	0
Ampicillin	10	80	0	0
Ampicillin/Sulbactam	10/10	80	0	0
Cefazolin	30	80	0	0
Cefepime	30	65	15	0
Cefotaxime	30	80	0	0
Cefoxitin	30	30	47	3
Chloramphenicol	30	80	0	0
Ciprofloxacin	5	80	0	0
Erythromycin	15	62	18	0
Gentamicin	10	80	0	0
Imipenem	10	80	0	0
Nalidixic acid	30	80	0	0
Piperacillin	100	80	0	0
Tetracycline	30	80	0	0
Trimethoprim	5	80	0	0
Trimethoprim/Sulfamethoxazole	1.25/23.75	80	0	0

Table 2. Minimum inhibitory concentration (MIC) of cefoxitin for some strains that expressed intermediate or resistance on the antimicrobial disk among the *Vibrio vulnificus* isolated from seawater at Gadeok Island Coast

MIC ( $\mu\text{g/mL}$ )	8	16	32
Cefoxitin	5/41 (12.2%)	28/41 (68.3%)	8/41 (19.5%)

타내었다. 본 조사결과는 Yoon et al. (2020)이 전남지역 환자 분리균주에서 15종에 대한 항균제 내성시험 결과 cefoxitin에서 내성 또는 중등 내성을 나타낸 결과와 유사하였다. Hwang et al. (2007)도 인천 지역 해양환경에서 분리한 *V. vulnificus* 균주 대부분이 21종 항균제 중 cefoxitin을 포함한 1세대 및 2세대 cephalosporin과 aminoglycoside계 항균제에서 중등 이상의 내성률이 높다고 보고하여 본 결과와도 유사하였다. 한편 Yang et al. (2017)은 거제 연안의 환경 분리균주에서 piperacillin, trimethoprim, rifampin 및 ciprofloxacin에서 중등 이상의 내성이 확인된다고 하여 본 결과와는 차이가 있었다. 시기별로는 수온이 상승하고 *V. vulnificus* 검출률이 높은 7, 8 및 9월에 검출된 균주에서 중등 이상의 내성률이 더 높게 나타나 Oh and Park (2009)이 도시하수처리장 및 주변 하천에서 분리한 여러 균속의 세균에서 수온이 높은 계절의 내성률이 상대적으로 높았다는 보고와 유사한 경향을 나타내었다. 6월 및 10월과 같이 검출률이 상대적으로 낮은 달에는 cefoxitin 한 종류의 항균제에서만 중등 이상의 내성이 확인되었다(자료미제시). 비브리오패혈증의 치료는 주로 3세대 cephalosporin, fluoroquinolone 및 tetracycline계 항균제로 치료한다고 알려져 있는데(KDCA, 2021a), 가덕도 동부 연안에서 분리한 *V. vulnificus*는 이들 항생제에 대한 내성은 없는 것으로 확인되었다.

한편, cefoxitin에 대한 중등내성 및 내성을 나타내는 균주에 대하여 최소발육억제농도 측정 시험을 실시한 결과, 보관 중 소실된 균주를 제외한 41 균주 중 5 균주(12.2%)는 MIC가 8  $\mu\text{g/mL}$ 이었고, 28 균주(68.3%)는 16  $\mu\text{g/mL}$ 이었으며, 8 균주(19.5%)는 32  $\mu\text{g/mL}$ 으로 확인되었다(Table 2). CLSI (2015) 기준에 따르면 cefoxitin에 대한 *Vibrio* spp.의 MIC가 16  $\mu\text{g/mL}$ 이면 중등 내성으로 보고, 32  $\mu\text{g/mL}$  이상일 때 내성으로 평가하고 있다. Cho and Park (2019)은 곰소만 해수 및 시판 어패류에서 분리한 *V. parahaemolyticus*의 cefoxitin에 대한 MIC가 128  $\mu\text{g/mL}$ 까지 확인된다고 하였는데, 이와 비교할 때 가덕도 연안에서 분리한 *V. vulnificus*는 내성 정도가 높은 경우는 확인되지 않았다.

가덕도 동부 연안은 낙동강 하류에 위치하여 담수 유입이 용이한 지리적 특성으로 인해 *V. vulnificus*의 생육에 좋은 환경을 조성하며, 수온 및 염분 등 여건이 충족되는 6-10월에 다수의 병원성 유전자를 가지고 있어 비브리오패혈증을 유발할 수 있는 *V. vulnificus*의 검출이 증가하였다. 또한 몇몇 항균제에 대하여 중등 이상의 내성이 확인되어 하천수, 생활하수 및 하수처리장

또는 해수를 통해 가덕도 동부로 유입되는 오염원으로부터 항균제에 대한 내성 획득을 추정해볼 수 있으므로 *V. vulnificus*의 검출 및 항균제 내성에 관한 지속적인 모니터링이 요구된다.

## 사 사

이 논문은 2021학년도 부경대학교 국립대학육성사업 지원비에 의하여 연구되었음.

## References

- Acar JF and Goldstein FW. 1991. Disk susceptibility test. In: Antibiotics in laboratory medicine. Lorian V, ed. Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, U.S.A., 17-52.
- Baker-Austin C, Trinanes JA, Taylor NGH, Hartnell R, Siitonen A and Martinez-Urtaza J. 2013. Emerging *Vibrio* risk at high latitudes in response to ocean warming. *Nat Clim Change* 3, 73-77. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1628>.
- Çam S, Brinkmeyer R and Schwarz JR. 2019. Quantitative PCR enumeration of *vcgC* and 16S rRNA type A and B genes as virulence indicators for environmental and clinical strains of *Vibrio vulnificus* in galveston bay oysters. *Can J Microbiol* 65, 613-621. <https://doi.org/10.1139/cjm-2018-0399>.
- Cho ED and Park KS. 2019. Distribution of pathogenic *Vibrio* species in seawater in Gomsu Bay and Byeonsan, West Coast of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 625-630. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.062>.
- Chung HY, Kim YT, Kim SY, Na EJ, Ku HJ, Lee KH, Heo ST, Ryu SR, Kim HB, Choi SH and Lee JH. 2016. Complete genome sequence of *Vibrio vulnificus* FORC\_017 isolated from a patient with a hemorrhagic rash after consuming raw dotted gizzard shad. *Gut Pathog* 8, 1-6. <https://doi.org/10.1186/s13099-016-0104-6>.
- CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). 2015. Methods for antimicrobial dilution and disk susceptibility testing of infrequently isolated or fastidious bacteria. 3rd ed. CLSI guideline M45. Wayne, NJ, U.S.A., 56-58.
- CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). 2018a. Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically. 11th ed. CLSI standard M07. Wayne, NJ, U.S.A., 27-31.
- CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). 2018b. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. 28th ed. CLSI supplement M100. Wayne, NJ, U.S.A., 60.
- Elmahdi S, DaSilva LV and Parveen S. 2016. Antibiotic resistance of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* in various countries: A review. *Food Microbiol* 57, 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.02.008>.
- Han F, Pu S, Hou A and Ge B. 2009. Characterization of clinical and environmental types of *Vibrio vulnificus* isolates from Louisiana oysters. *Foodborne Pathog Dis* 6, 1251-1258. <https://doi.org/10.1089/fpd.2009.0343>.

- Hlady WG and Klontz KC. 1996. The epidemiology of *Vibrio* infections in Florida, 1981-1993. *J Infect Dis* 173, 1176-1183. <https://doi.org/10.1093/infdis/173.5.1176>.
- Hwang KW, Oh BY, Gong YW, Lee JM, Go JM and Kim YH. 2007. Distribution and antibiotic resistance of *Vibrio vulnificus* isolated in Incheon Coastal Area. *Korean J Sanitation* 22, 55-63.
- Jeong JE, Im YS, Cho GJ, Kim CI, Lee KS and Yoo PJ. 2014. Monitoring of antibiotics to residue in water environment of Busan. *The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment* 24, 110-122.
- KCDC (Korean Centers for Disease Control and Prevention). 2019a. Reported cases of *Vibrio vulnificus* sepsis by year and month. In: *Infectious disease surveillance yearbook*, 2019. 186. Retrieved from <http://www.kdca.go.kr/npt/biz/npp/portal/nppPblctDtaView.do?pblctDtaSeAt=1&pblctDtaSn=2139> on Jun 1, 2021.
- KCDC (Korean Centers for Disease Control and Prevention). 2019b. Epidemiological characteristics of cases with *V. vulnificus* infection in Korea. *Public Health Weekly Report* 12, 868-874. Retrieved from [http://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20602010000&bid=0034&list\\_no=144353&act=view](http://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20602010000&bid=0034&list_no=144353&act=view) on Jun 1, 2021.
- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2021a. Infectious disease portal. In: *Vibrio vulnificus* sepsis. Retrieved from <http://www.kdca.go.kr/npt/biz/npp/portal/nppSumryMain.do> on May 17, 2021.
- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2021b. One health AMR info. Retrieved from [http://www.kdca.go.kr/nohas/statistics/selectTestMethodCh9.do?menuCtg=ctg09&menuId=menu05\\_5](http://www.kdca.go.kr/nohas/statistics/selectTestMethodCh9.do?menuCtg=ctg09&menuId=menu05_5) on May 17, 2021.
- Kümmerer K. 2009. Antibiotics in the aquatic environment - A review - Part I. *Chemosphere* 75, 417-434. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.086>.
- Martinez-Urtaza J, Bowers JC, Trinanes J and DePaola A. 2010. Climate anomalies and the increasing risk of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* illnesses. *Food Res Int* 43, 1780-1790. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.001>.
- Motes ML, DePaola A, Cook DW, Veazey JE, Hunsucker JC, Garthright WE, Blodgett RJ and Chirtel SJ. 1998. Influence of water temperature and salinity on *Vibrio vulnificus* in Northern Gulf and Atlantic Coast oysters *Crassostrea virginica*. *Appl Environ Microbiol* 64, 1459-1465. <https://doi.org/10.1128/aem.64.4.1459-1465.1998>.
- Oh HK, Jeong HJ and Kim YM. 2020. Distribution and molecular characteristics of *Vibrio vulnificus* isolated from sea water at Gadeok Island Coast. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 688-693. <https://doi.org/https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0688>.
- Oh HK and Park JH. 2009. Characteristics of antibiotic resistant bacteria in urban sewage and river. *J Kor Soc Environ Eng* 31, 232-239.
- Okoh AI and Igbinosa EO. 2010. Antibiotic susceptibility profiles of some *Vibrio* strains isolated from wastewater final effluents in a rural community of the Eastern Cape Province of South Africa. *BMC Microbiol* 10, 143. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-10-143>.
- Oliver JD. 2005. Wound infections caused by *Vibrio vulnificus* and other marine bacteria. *Epidemiol Infect* 133, 383-391. <https://doi.org/10.1017/S0950268805003894>.
- Park K, Mok JS, Kwon JY, Ryu AR and Shim KB. 2019. Seasonal and spatial variation of pathogenic *Vibrio* species isolated from seawater and shellfish off the Gyeongnam Coast of Korea in 2013-2016. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 27-34. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0027>.
- Seong JU, Cha SB, Ryu KH, Choi KS and Park JC. 2013. Distribution characteristics and antibiotics resistance of *Enterococcus* spp. in Nakdong River. *Kor J Ecol Environ* 46, 360-366. <https://doi.org/10.11614/KSL.2013.46.3.360>.
- Shapiro RL, Altekruze S, Hutwagner L, Bishop R, Hammond R., Wilson S, Ray B, Thompson S, Tauxe RV and Griffin PM. 1998. The role of Gulf Coast oysters harvested in warmer months in *Vibrio vulnificus* infections in the United States, 1988-1996. *J Infect Dis* 178, 752-759. <https://doi.org/10.1086/515367>.
- Shin SH. 2013. Multiple high-affinity iron-uptake systems of *Vibrio vulnificus*. *J Bacteriol Virol* 43, 168-176. <https://doi.org/10.4167/jbv.2013.43.3.168>.
- Strom MS and Paranjpye RN. 2000. Epidemiology and pathogenesis of *Vibrio vulnificus*. *Microbes Infect* 2, 177-188. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(00\)00270-7](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(00)00270-7).
- USFDA (U.S. Food and Drug Administration). 2018a. BAM chapter 9: *Vibrio*. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-9-vibrio> on Nov 30, 2020.
- Yang JH, Mok JS, Jung YJ, Lee KJ, Kwon JY, Park K, Moon SY, Kwon SJ, Ryu AR and Lee TS. 2017. Distribution and antimicrobial susceptibility of *Vibrio* species associated with zooplankton in coastal area of Korea. *Mar Pollut Bull*, 125, 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.05>.
- Yoon YH, Park S, Kim JY, Lee YJ, Jeon DY, Choi GC, Park JS and Kim JB. 2020. Prevalence of toxin genes and profiles of antibiotic resistance in *Vibrio vulnificus* isolates from fish, fish tanks, and patients. *J Food Hyg Saf* 35, 6-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.13103/JFHS.2020.35.1.6>.