

가리비의 Acute Viral Necrosis Virus (AVNV) 모니터링

김경호 · 조재범* · 유진하* · 박찬일†

경상대학교(학생) · *국립수산물품질관리원(검역공무원) · †경상대학교(교수)

Monitoring of Acute Viral Necrosis Virus (AVNV) in Scallops

Kyung Ho KIM · Jae-Bum CHO* · Jin-Ha YU* · Chan-Il PARK†

Gyeongsang National University(student) · *National Fishery Products Quality Management Service(quarantine officer) · †Gyeongsang National University(professor)

Abstract

Among the Pectinidae occurring in the Republic of Korea, the industrially important species are *Patinopecten yessoensis*, *Chlamys farreri*, and *Argopecten irradians*. In Korea, mass mortality of farmed scallops has occurred in spring and summer during periods of elevated water temperature, although the cause of scallop mortality has not been clearly identified. Since the mid-1990s, acute viral necrosis virus (AVNV) has caused mass mortality in *C. farreri* in China with a known mortality rate of 90%. Till date, acute viral necrosis disease (AVND) has been reported only in China and is not listed as an aquatic disease by the Office International des Epizooties. AVND is not a communicable disease of aquatic organisms that has been designated and controlled by the Korean "Aquatic Life Disease Control Act." There is a possibility of its inflow to Korea as there is no AVNV quarantine procedure for imported scallops. As AVNV was first detected in scallops imported to Korea in 2016, continuous monitoring is necessary. Therefore, we conducted AVNV monitoring of adult scallops, spat, and breeding water in domestic farms and spats imported from China; AVNV was not detected in any of the scallop or other samples. However, in case of an influx of AVNV to Korea in the future, it will likely lead to mass mortality of domestic scallops; therefore, continuous monitoring should be performed.

Key words : Scallop, Acute viral necrosis virus (AVNV), Monitoring, PCR analysis, Freedom from disease

I. 서론

해양 연체동물의 이매패류는 전 세계에서 두 번째로 중요한 양식 대상 종이다(FAO, 2013). 이러한 이매패류 양식 산업은 다양한 질병으로 인해 막대한 경제적 피해를 입고 있으며, 그 중 herpes-like virus에 대한 감염은 미국, 뉴질랜드, 프랑스, 호주, 멕시코 등 전 세계의 다양한 해양 이매패류에서 보고된 바 있다(Farley et al., 1972;

Hine et al., 1992; Hine and Thorne, 1997; Nicolas et al., 1992; Arzul et al., 2001b; Renault and Arzul, 2001; Vásquez-Yeomans et al., 2004; Friedman et al., 2005). 해양 연체동물에서 Herpesviridae family와 형태학적으로 유사한 herpes-like virus는 1972년에 Eastern oyster (*Crassostrea virginica*)에서 처음 보고된 이후에 참굴(*C. gigas*), 넓적굴(*Ostrea edulis*)을 포함하여 양식 중인 다양한 이매패류에 herpes-like virus 감염

† Corresponding author : 055-772-9153, vinus96@hanmail.net

* 이 연구는 정부(해양수산부)의 재원으로 국립수산물품질관리원의 지원을 받아 수행된 연구임.

으로 인한 대량 폐사가 보고된 바 있다(Farley et al., 1972; Nicolas et al., 1992; Hine et al., 1992; Comps and Cochennect, 1993; Friedman et al., 2005). 이후 유럽의 참굴 유생에서 분리된 herpes-like virus의 원인 바이러스는 *Ostreid herpesvirus 1* (OsHV-1)으로 명명되었다. 이러한 OsHV-1은 DNA 바이러스이며 *Malacoherpesviridae* family, *Ostreavirus* genus, *Ostreid herpesvirus 1* species로 분류되었다(Davison et al., 2005). 또한, OsHV-1은 다른 herpesvirus와 달리 하나의 숙주에만 국한되지 않으며(Arzul et al., 2001), 바지락 (*Venerupis philippinarum*), French scallop (*Pecten maximus*) 등 다양한 이매패류 중을 감염시킬 수 있다고 보고된 바 있으며(Arzul et al., 2001), 2010년에는 프랑스의 참굴에서 대량 폐사를 일으키는 OsHV-1의 변종인 *Ostreid herpesvirus 1* microvariant (OsHV-1 μ Var)가 보고되었다(Segarra et al., 2010).

1990년대 중반에 중국의 성패 비단가리비 (*Chlamys farreri*)에서도 herpes-like virus로 인해 대량 폐사가 일어났으며, 이 질병은 수온이 높은 여름철에 발병하여 감염 후 5-8일 이내에 폐사율이 90%에 이르는 것으로 보고된 바 있다(Guo et al., 1999). 이 질병의 원인체는 acute viral necrosis virus (AVNV)로 명명되었으며(Song et al., 2001; Wang et al., 2002), AVNV의 형태학적 및 조직병리학적 특징을 기반으로 OsHV-1과 관련이 있는 것으로 보고되었다(Wang et al., 2002; Wang et al., 2002; Liu et al., 2002; Fu et al., 2005). 이후 AVNV의 전체 게놈 서열(Genbank number GQ153938)이 보고되었으며, OsHV-1의 염기서열과 아미노산 서열을 비교하였을 때 각각 97%와 94-100%로 매우 높은 상동성을 보였으므로 AVNV는 OsHV-1의 변종인 것으로 확인되었다(Ren et al., 2013). 또한 acute viral necrosis disease (AVND)는 1990년대부터 중국에서 보고되어왔지만, 그 외의 다른 국가에서 발병했다는 보고가 없으며, 우리나라의 수계에서도 검출되지 않은

질병이다.

국내에서 서식하고 있는 가리비과(*Pectinidae*) 중에서 산업적으로 중요한 종은 참가리비 (*Patinopecten yessoensis*)와 비단가리비가 있으며, 최근 중국으로부터 이식된 해만가리비(*Argopecten irradians*)의 양식 생산도 활발히 이루어지고 있다(Na et al., 1995; Park, 1998; Oh and Jung, 1999). 그러나 1997년부터 2016년까지 여름철 고수온기에 양식 중인 가리비의 대량 폐사가 발생하였으며, 그 원인은 현재까지 명확히 규명된 바 없으나 수온, 염분 및 고밀도 양식 등의 환경적 요인에 의해 발생하는 것으로 보고된 바 있다(Peterson et al., 1989; Song et al., 2002; Hegaret et al., 2003; Jie et al., 2005; Akira, 2007; Oh et al., 2010). 또한, 2017년 11월부터는 해만가리비 중요생산장에서 알 수 없는 원인으로 대량 폐사가 발생하고 있다.

현재 AVND는 국제동물보건기구(OIE)와 국내 수산생물질병관리법에 법정전염병으로 지정되어 관리되고 있는 질병이 아니므로 국내·외 발생 현황에 대한 통계치를 파악하기 어려운 실정이다. 특히 가리비 주요 교역 국가인 중국에서 AVND로 인한 대량 폐사가 발생하였음에도 불구하고(Guo et al., 1999), 현재 가리비의 수출입 검역 검사는 중금속, 항생물질, 패류독소 및 식중독균 등으로 한정되어 있으며, 수입되는 가리비에 대한 AVNV의 검역절차가 마련되어 있지 않아 국내로 유입될 가능성이 상존하고 있다. 또한, 2016년에 국내로 수입되는 활 가리비에서 AVNV가 처음 검출됨에 따라 검역기준 마련을 위한 수입위험분석이 필요한 실정이다(Research and Service Report of National Fishery Products Quality Management Service, 2016). 가리비는 개방적 환경(open environment)에서 양식하는 수산물이기 때문에 질병이 발생한 이후에 실시하는 치료나 병원체 제거를 위한 방역 조치보다는 수계에 존재하는 질병을 조기에 발견하여 확산을 방지하는 것과 국가 간 수산물 교역을 통해 새로운 해외

질병이 국내에 유입되는 것을 막는 것이 중요하다.

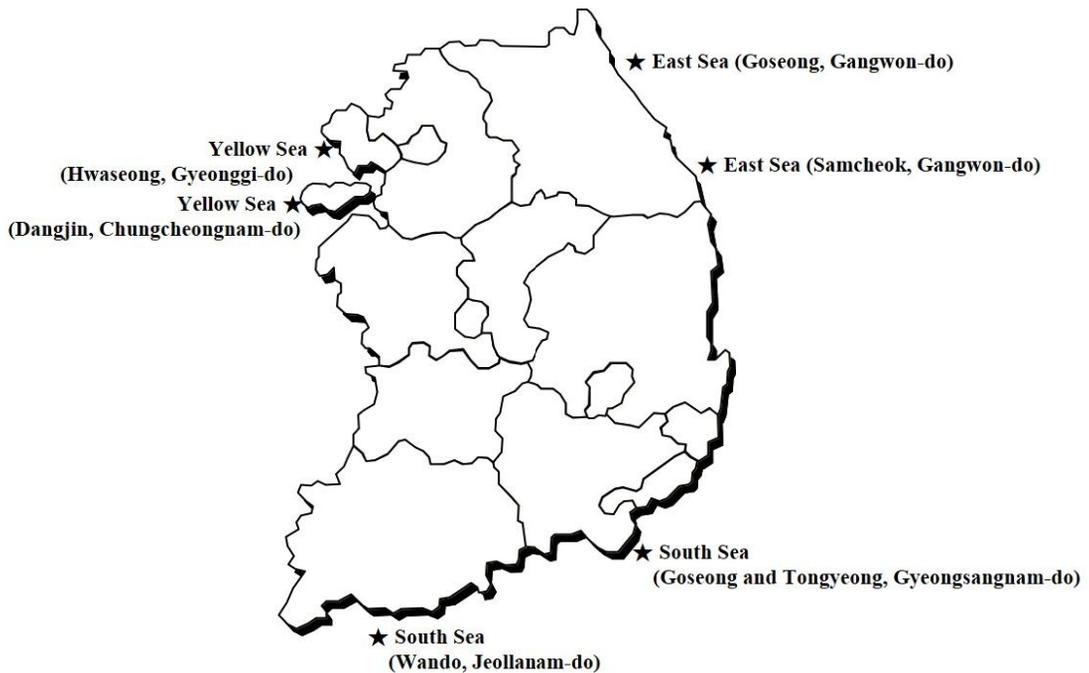
따라서 본 연구에서는 국내에서 양식 중인 성패 및 치패 가리비와 사육수 그리고 수입산 가리비를 대상으로 AVNV의 존재 유무를 확인하기 위해 모니터링을 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 가리비 및 해수 채취

국내 비법정전염병인 AVND의 모니터링을 위해 국내산과 수입산 활 가리비를 대상으로 샘플링을 수행하였다. 국내산 성패 참가리비, 비단가리비 및 해만가리비는 2018년 4월부터 11월까지 강원도(고성, 삼척), 경상남도(고성, 통영), 전라남도(완도), 충청남도(당진), 경기도(화성)에 위치한 가리비 양식장에서 1건당 48마리씩 구매하여 총 1,632마리를 구매하였으며([Fig. 1] <Table 1>), 국내산 치패 비단가리비와 해만가리비는 경상남도

수산자원연구소에서 2018년 7월과 8월에 총 500마리를 제공받았다(<Table 1>). 또한, 해수 내 AVNV의 존재 유무를 확인하기 위해 5월부터 8월까지 성패 가리비를 구입한 각 양식장에서 5 L의 해수를 총 8회 채수하여 실험실로 운반하였다(<Table 1>). 수입산 치패 참가리비, 비단가리비 및 해만가리비는 2018년 5월부터 10월까지 국립수산물품질관리원에서 총 1,560마리를 제공 받아 분석하였다(<Table 2>). 채취된 시료는 해부 후 내부 장기를 관찰하여 AVNV 감염 여부에 대한 임상증상을 확인하였다. AVNV 검출을 위해 확보한 성패 가리비는 패각을 제거 후 외투막을 무균적으로 적출하였으며, 해수는 John et al. (2011)의 방법에 따라 농축하여 바이러스를 정제하였다. 치패 가리비는 각 5마리씩 pooling 하여 총 10-20 mg이 되도록 하였고, 모든 시료는 액체질소에 급속 냉각한 뒤 genomic DNA (gDNA) 추출에 사용하기 전까지 -80℃에 보관하였다.



[Fig. 1] The areas of sampling of domestic cultured scallops (adults). The scallop species may be different depending on the sampling area and season.

<Table 1> Domestic cultured scallops and seawater sampling information for AVNV monitoring

Sampling area	Scientific name	No. of sample							Total	
		May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.		
Scallops (adult)										
Gangwon-do	Goseong	<i>P. yessoensis</i>	-	48	48	48	48	48	48	288
	Samcheok	<i>P. yessoensis</i>	48	-	-	-	-	-	-	48
Gyeongsangnam-do	Goseong	<i>C. farreri</i>	48	48	48	-	-	-	-	144
		<i>A. irradians</i>	48	48	-	-	-	-	48	144
	Tongyeong	<i>C. farreri</i>	-	48	48	48	-	-	-	144
		<i>A. irradians</i>	48	-	-	-	48	48	48	192
Jeollanam-do	Wando	<i>C. farreri</i>	48	48	48	48	48	48	336	
Chungcheongnam-do	Dangjin	<i>C. farreri</i>	-	-	-	-	-	48	48	96
Gyeonggi-do	Hwaseong	<i>C. farreri</i>	48	48	48	48	48	-	-	240
Total	-	-	288	288	240	192	192	192	240	1,632
Scallops (spat)										
Gyeongsangnam-do	Tongyeong	<i>C. farreri</i>	-	-	150	100	-	-	-	250
		<i>A. irradians</i>	-	-	150	100	-	-	-	250
Total	-	-	-	-	300	200	-	-	-	500
Seawater (5 L)										
Gangwon-do	Goseong		-	-	1	-	-	-	-	1
Gyeongsangnam-do	Goseong		1	-	1	-	-	-	-	2
	Tongyeong		1	1	-	1	-	-	-	3
Jeollanam-do	Wando		-	-	-	1	-	-	-	1
Gyeonggi-do	Hwaseong		-	-	-	1	-	-	-	1
Total	-	-	2	1	2	3	-	-	-	8

<Table 2> The information on imported scallops (spats) which were supported by the National Fishery Products Quality Management Service (NFQS, Republic of Korea) for AVNV monitoring

Import date	Exporter	Support jurisdiction	Scientific name	No. of import (No. of sample)
May. 2018	China	Gangneung	<i>P. yessoensis</i>	4 (480)
		Incheon	<i>A. irradians</i>	1 (120)
		Tongyeong	<i>C. farreri</i>	1 (120)
			<i>A. irradians</i>	5 (600)
Jun. 2018	China	Incheon	<i>P. yessoensis</i>	1 (120)
Oct. 2018	China	Incheon	<i>C. farreri</i>	1 (120)
Total	-	-	-	13 (1,560)

2. Genomic DNA 추출

채집한 가리비와 농축된 해수에서 AVNV 존재

유무를 확인하기 위해 AccuPrep® Genomic DNA Extraction Kit (Bioneer, Republic of Korea)를 이용하여 제조사의 방법에 따라 gDNA를 추출하였다.

먼저, 시료에 tissue lysis buffer를 200 μ L를 첨가하고 homogenizer로 조직을 마쇄한 후 proteinase K 20 μ L와 RNase A 10 μ L를 첨가한 뒤 vortexing을 하였으며, 60°C에서 1시간 동안 조직이 완전히 녹을 때까지 반응시켰다. 이후, GB buffer 200 μ L를 첨가하고 섞은 다음 absolute ethanol 400 μ L를 분주하고 binding column tube (collection tube)에 옮겨 8,000 rpm에서 1분간 원심분리하였다. Binding column을 tube에서 빼내어 새로운 collection tube에 옮긴 후 WA1 buffer 500 μ L와 WA buffer 500 μ L를 이용하여 세척과 탈수 과정을 거친 후 elution buffer 50 μ L를 첨가하여 gDNA를 추출하였다. 추출된 gDNA는 NanoVue spectrophotometer (GE Healthcare, UK)를 이용하여 순도(purity)와 농도(concentration)를 측정 한 뒤 실험에 사용하기 전까지 -20°C에 보관하였다.

3. PCR 및 sequencing 분석

AVNV를 검출하기 위해 nested PCR 방법을 이용하여 수행하였다. Nested PCR은 이전에 보고된 방법에 따라 수행하였으며(Li et al., 2013), PCR 조성은 ExPrime Taq Premix (2 \times) (GeNetBio, Republic of Korea) 10 μ L, gDNA template 1 μ L, forward와 reverse primer 각각 1 μ L (10 pM), DEPC-DW 7 μ L으로 총 20 μ L를 이용하여 PCR을 수행하였다(<Table 3>). 각 PCR 증폭 산물은 SafeView™ Classic (Applied Biological Materials Inc., Canada)가 첨가된 1.5% agarose gel을 이용하여 전기영동을 실시한 후 바이러스 유

전자 증폭여부를 확인하였다. PCR 결과 증폭된 산물은 QIAquick Gel Extraction Kit (Qiagen, Germany)를 이용하여 정제하였고 pGEM-T Easy Vector System I (Promega, USA)과 Escherichia coli JM109 competent cells을 이용하여 cloning 하였다. 염기서열 분석을 위해 BigDye Terminator v3.1 sequencing Kit (Applied Biosystems, USA)와 ABI3730XL (Applied Biosystems)를 이용하였으며, 염기서열 분석은 Bioneer Corporation에 의뢰하여 분석하였다. 이후 GENETYX program version 8.0 (Genetyx Corporation, Japan)과 National Centre for Biotechnology Information (NCBI)의 Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast>) algorithm을 이용하여 염기서열을 비교분석을 한 후 확정 진단하였다.

III. 결과 및 고찰

우리나라의 가리비 양식은 2015년을 기준으로 생산금액이 급격히 증가하였고(KOSIS, 2020), 가리비 양식에 있어 전염성 질병이 발생하는 경우 심각한 경제적 피해를 입을 수 있다(Guo et al., 1999). 특히 이식용(spat for transplantation)으로 수입되는 종은 우리나라 수계에서 양식하기 때문에 질병이 유입될 경우 수계 생태계의 파괴, 자원감소 및 생물다양성 소실 등의 다양한 위협을 받을 수 있다. 이와 관련하여 우리나라는 세계무역기구(WTO)의 출범과 동시에 발표된 위생 및 식물 위생조치의 적용에 관한 SPS (Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures)

<Table 3> PCR primer used in this study

PCR	Primer sequence (5' to 3')	Product size	Reference
Nested PCR	1st AVN-W F: TGG TTC ACG GGA GTG TAT CCA G	979 bp	Li et al., 2013
	AVN-W R: TGC GGC GCT ATG GAT TTA ACG		
	2nd AVN-N F: TAC CGG CAA TGA TGC TGA GC	548 bp	
	AVN-N R: TGC CCG ACC ACA AAC CTA ATG		

협정을 준수하기 위해 OIE에 등재되어 있는 국제기준에 따라 2008년부터 수산생물질병관리법이 시행되고 있다. 이러한 수산생물질병의 전파와 확산을 방지하기 위해 법정전염병을 지정하여 관리하고 있으나, 관리 대상이 아닌 비법정전염병은 유입 가능성이 매우 높음에도 불구하고 지속적인 검사가 어려우므로 국경검역에 대한 잠재적인 위험요소가 상존하고 있다. 그 중 새우 흰반점병(white spot disease, WSD)과 잉어허피스바이러스병(koi herpesvirus disease, KHVD)은 수입을 통하여 국내로 전염병이 유입되어 양식 중인 대하와 잉어에 대량 폐사를 일으킨 대표적인 사례이며(Kim et al., 1997; Heo et al., 2000; Lee et al., 2012; Song et al. 2018), 이후 수산생물질병관리법의 법정전염병으로 지정하여 관리하고 있다. 최근 급성간췌장괴사병(acute hepatopancreatic necrosis disease, AHPND)과 십각류무지개바이러스병(infection with decapod iridescent virus 1, DIV1)은 인근 국가인 중국에서 최초로 발생한 수산생물 신종질병으로 새우 양식 산업에 막대한 경제적 손실을 일으켰으며(Qiu et al., 2017; Xiao et al., 2017), 국내에서는 법정전염병으로 지정하기 위해 법 개정 작업을 추진 중에 있다(Cho et al., 2019). 따라서 수입으로 인해 국내로 신종질병이 유입된다면 매우 심각한 결과를 초래할 수 있으므로 질병의 유입과 확산을 차단하는 목적으로 수입위험분석과 국내 수산생물 질병 모니터링에 대한 중요성과 필요성이 주목받고 있다.

본 연구에서는 국내에서 발생한 사례가 없는 비법정전염병인 AVND에 대한 모니터링을 수행하였다. AVND는 현재까지 중국에서만 발생 보고가 있으며, 수온이 25-27°C에 달하는 여름에 발병하여 1-2년생의 자연수계와 양식산 비단가리비에 영향을 미친다고 알려져 있고 비단가리비 이외의 다른 숙주에 감수성이 있는지는 보고된 바 없으나(Ren et al., 2013), AVNV를 보유하고 있는 해양 미세조류 *Chlorella* sp., *Dunaliella viridis*, *Nitzschia* sp., *Platymonas subcordiformis*, *Skeletonema*

costatum 및 *Tetraselmis tetrathele*를 섭식한 비단가리비는 AVNV 감염으로 인한 폐사가 일어난다고 알려져 있으며, 이는 해수에 존재하는 미세조류가 AVNV의 수평 전파 경로에서 운반체 역할을 한다고 보고된 바 있다(Zhang et al., 2010). AVNV에 감염된 비단가리비는 물리적 자극에 대해 반응이 느려지고 쾌각으로부터 쾌각근이 쉽게 분리되는 증상이 나타난다(Ai et al., 2003; Wang et al., 2007). 조직병리학적 변화는 아가미, 외투막, 장 및 소화맹낭의 상피세포에서 심각한 괴사, 핵 비대, 공포화 또는 상피세포의 붕괴가 관찰되며 외투막과 간췌장은 AVNV의 주요 표적 기관인 것으로 알려져 있다(Wang et al., 2004; Wang et al., 2007). 이러한 AVND는 OIE에 지정되어 관리되고 있는 질병이 아니지만 아시아·태평양지역 양식연계센터(NACA)에서 신종질병 모니터링 대상 질병으로 지정하여 아시아·태평양지역 국가에서는 AVND가 발생 시 OIE 및 NACA에 보고하도록 하는 질병으로 지정되어 있다.

본 연구에서 채집한 국내산 성패 가리비는 참가리비 336마리, 비단가리비 960마리, 해만가리비 336마리 총 1,632마리를 채집하였으며, AVNV에 대한 외부 병적 증세와 감염 여부를 검사한 결과 특별한 병적 증세가 관찰되지 않았고 AVNV 검출용 primer를 이용한 PCR 분석에서도 모두 검출되지 않았다(<Table 4>). 마찬가지로 성패 가리비를 양식 중인 해수에서도 모두 음성의 결과를 확인하였다(<Table 4>). 국내 수계에 이식용으로 사용되는 국내산 치패 비단가리비 250마리와 해만가리비 250마리를 5마리씩 pooling 하여 100개의 샘플을 검사하였지만 모두 검출되지 않았으며 중국에서 수입한 치패 참가리비 600마리, 비단가리비 240마리, 해만가리비 720마리를 pooling 한 312개의 샘플에서도 모두 음성인 결과를 나타내었다(<Table 4>). 현재까지 국내에서는 AVNV에 대한 피해 사례가 보고된 바가 없지만 2016년 국립수산물품질관리원에서 수행한 수입수산물 비법정전염병 모니터링에서 국내로 수입된 가리비에

가리비의 Acute Viral Necrosis Virus (AVNV) 모니터링

서 AVNV가 검출됨에 따라 추후 국내 유입 가능성에 대한 우려가 지속적으로 제기되고 있는 실정이다. 또한 국내에서는 수산업법이 개정된 이후로 패류양식면허를 소지하고 있다면 별도의 신고나 허가 없이 패류 품종 내에서 임의로 양식품종을 변경할 수 있게 되었다. 이로 인해 굴 양식을 하는 양식장이 양식 품종을 가리비로 전환하거나 굴과 가리비를 혼합 양식하는 곳이 증가하게 되었다. 최근 국내에서 배양 중인 해만가리비 유생에서 OsHV-1 μ Var이 최초로 검출된 바 있다(Kim et al., 2019). 이와 같이 OsHV-1의 숙주의 범위는 점차 넓어지고 있으며, 해수 내 수평 감염이 가능하기 때문에 OsHV-1에 감염된 굴과 가리비의 혼합 양식은 질병에 대한 지속적인 노출로 새로운 숙주가 나타날 잠재적 위험성을 가질 수 있다(Le Deuff et al., 1994; Schikorski et al., 2011). 따라서 AVNV의 발생에 대한 위험성을 낮

추기 위해서는 지속적인 모니터링을 통해 효율적인 국경검역과 국내 방역시스템 구축이 필수적이라 사료된다.

본 연구에서는 양식 중인 성패 및 치패 가리비와 사육수 그리고 수입산 가리비를 대상으로 AVNV를 모니터링 한 결과 모두 검출되지 않았다. 이러한 결과는 향후 AVNV의 수입위험분석과 새로운 병원체를 검역 대상으로 지정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 이를 통해 외래성 질병의 국내 유입 가능성을 평가함으로써 활 가리비 수입을 위한 국제기준에 부합하는 위험관리 조치를 개발하는데 과학적인 근거 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 자국 내 특정 질병에 대한 무병 지역을 증명하여 청정국 또는 청정지위 선언에 중요한 정보를 제공할 것이다.

<Table 4> The results of AVNV monitoring on adult scallops, spat, and breeding water in domestic farming and spat imported from China

Sampling area	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Total
Scallops (adult)								
East Sea (Gangwon-do)	0/48	0/48	0/48	0/48	0/48	0/48	0/48	0/336
South Sea (Gyeongsangnam-do and Jeollanam-do)	0/192	0/192	0/144	0/96	0/96	0/96	0/144	0/960
Yellow Sea (Chungcheongnam-do and Gyeonggi-do)	0/48	0/48	0/48	0/48	0/48	0/48	0/48	0/336
Scallops (spat)								
Gyeongsangnam-do	-	-	0/60	0/40	-	-	-	0/100
Seawater (5 L)								
East Sea (Gangwon-do)	-	-	0/1	-	-	-	-	0/1
South Sea (Gyeongsangnam-do and Jeollanam-do)	0/2	0/1	0/1	0/2	-	-	-	0/6
Yellow Sea (Gyeonggi-do)	-	-	-	0/1	-	-	-	0/1
Imported scallops (spat)								
China	0/264	0/24	-	-	-	0/24	-	0/312

References

- Ai HX, Wang CM, Wang XH, Liu YJ, Li Y, Huang JY, He GH and Song WB(2003). Artificial infection of cultured scallop *Chlamys farreri* by pathogen from acute virus necrobiosis disease. *Journal of Fishery Sciences of China*, 10(5): 386~390.
- Akira M(2007). Relationship between triglyceride concentration in juveniles of Japanese scallop, *Mizuhopecten yessoensis* and exposure tolerance in air. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 73(6): 1109~1111. <https://doi.org/10.2331/suisan.73.1109>.
- Arzul I, Nicolas JL, Davison AJ and Renault T(2001). French scallops: a new host for Ostreid herpesvirus-1. *Virology*, 290(2): 342~349. <https://doi.org/10.1006/viro.2001.1186>.
- Arzul I, Renault T, Lipart C and Davison AJ(2001). Evidence for interspecies transmission of oyster herpesvirus in marine bivalves. *Journal of General Virology*, 82: 865~870. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-82-4-865>.
- Cho MY, Kim KI, Min EY and Jung SH(2019). Global outbreaks and strategies to control the emerging diseases in aquaculture farms in Korea. *Ocean Policy Research*. 34(1): 67~88.
- Comps M and Cochenne N(1993). A herpes-like virus from the European oyster *Ostrea edulis* L. *Journal of Invertebrate Pathology*, 62(2): 201~203. <https://doi.org/10.1006/jipa.1993.1098>.
- Davison AJ, Trus BL, Cheng N, Steven AC, Watson MS, Cunningham C, Le Deuff RM and Renault T(2005). A novel class of herpesvirus with bivalve hosts. *Journal of General Virology*, 86: 41~53. <https://doi.org/10.1099/vir.0.80382-0>.
- Farley CA, Banfield WG, Kasnic Jr G and Foster WS(1972). Oyster herpes-type virus. *Science*, 178(4062): 759~760. <https://doi.org/10.1126/science.178.4062.759>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO(2013). FishStat Plus-FishStat Plus-Universal Software for Fishery Statistical Time Series. (accessed 27.11.15). Retrieved from <http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp>.
- Friedman CS, Estes RM, Stokes NA, Burge CA, Hargrove JS, Barber BJ, Elston RA, Bureson EM and Reece KS(2005). Herpes virus in juvenile Pacific oysters *Crassostrea gigas* from Tomales Bay, California, coincides with summer mortality episodes. *Diseases of Aquatic Organisms*, 63(1): 33~41. <https://doi.org/10.3354/dao063033>.
- Fu C, Song W and Li Y(2005). Monoclonal antibodies developed for detection of an epizootic virus associated with mass mortalities of cultured scallop *Chlamys farreri*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 65(1): 17~22. <https://doi.org/10.3354/dao065017>.
- Guo XM, Ford SE and Zhang FS(1999). Molluscan aquaculture in China. *Journal of Shellfish Research*, 18(1): 19~31.
- Hegaret H, Gary HW and Philippe S(2003). Flow cytometric analysis of haemocytes from eastern oysters, *Crassostrea virginica*, subjected to a sudden temperature elevation: II. Haemocyte functions: aggregation, viability, phagocytosis, and respiratory burst. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 293(2): 249~265. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(03\)00235-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(03)00235-1).
- Heo MS, Sohn SG, Kim JW, Park MA, Jung SH, Lee JS, Choi DL, Kim YJ and Oh MJ(2000). Isolation and characterization of white spot syndrome baculovirus in cultured peaneid shrimp (*Penaeus chinensis*). *Journal of Fish Pathology*, 13(1): 7~13.
- Hine P, Wesley B and Hay B(1992). Herpesviruses associated with mortalities among hatchery-reared larval Pacific oysters *Crassostrea gigas*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 12(2): 135~142. <https://doi.org/10.3354/dao012135>.
- Jie X, Susan EF, Hongsheng Y, Guofan Z, Fusui Z and Ximinig G(2005). Studies on mass summer mortality of cultured Zhikong scallops (*Chlamys farreri* Jones et Preston) in China. *Aquaculture*, 250: 602~615. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.002>.
- John SG, Mendez CB, Deng L, Poulos AKM, Suzanne K, Brum J, Polz MF, Boyle EA and Sullivan MB(2011). A simple and efficient method for concentration of ocean viruses by chemical flocculation. *Environmental Microbiology Reports*,

- 3(2): 195~202.
<https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2010.00208.x>.
- Kim CK, Sohn SG, Heo MS, Lee TH, Hun HK and Jang KL(1997). Partial genomic sequence of baculovirus associated with white spot syndrome (WSBV) isolated from penaeid shrimp *P. chinensis*. *Journal of Fish Pathology*, 10(2), 87~95.
- Kim HJ, Jun JW, Giri SS, Yun S, Kim SG, Kim SW, Kang WJ, Han SJ, Kwon J, Oh WT, Jeon HB, Chi C, Jeong D and Park SC(2019). Mass mortality in Korean bay scallop (*Argopecten irradians*) associated with Ostreid Herpesvirus-1 μ Var. *Transboundary and Emerging Diseases*, 66(4): 1442~1448.
<https://doi.org/10.1111/tbed.13200>.
- Korean Statistical Information Service, KOSIS(2020). Fishery Production Trend Survey. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0005&conn_path=I2.
- Le Deuff RM, Nicolas JL, Renault T and Cochenec N(1994). Experimental transmission of a Herpes-like virus to axenic larvae of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 14(2): 69~72.
- Lee NS, Jung SH, Park JW and Do JW(2012). In situ hybridization detection of koi herpesvirus in paraffin-embedded tissues of common carp *Cyprinus carpio* collected in 1998 in Korea. *Fish Pathology*, 47(3): 100~103.
<https://doi.org/10.3147/jsfp.47.100>.
- Li C, Wang CM, Qu P and Huang J(2013). Establishment of a nested PCR for rapid detection of *Chlamys farreri* acute viral necrosis virus, *Journal of Fisheries of China*, 37(2): 281~287.
<https://doi.org/10.3724/SP.J.1231.2013.38214>.
- Liu YJ, Wu XZ, Zhu MZ, Wang C, Zhang QZ and Pan JP(2002). Ultrastructural observation and cytopathology of spherical virus in *Chlamys farreri* (Jones and Preston). *Journal of Tropical Oceanography*. 21: 76~79.
- Na GH, Jeong WG and Cho CH(1995). A study on seedling production of jicon scallop, *Chlamys farreri*. 1. Spawning, development and rearing of larvae. *Journal of Aquaculture*, 8(4): 307~316.
- Nicolas J, Comps M and Cochenec N(1992). Herpes-like virus infecting Pacific-oyster larvae, *Crassostrea gigas*. *Bulletin- European Association of Fish Pathologists*, 12(1): 11~13.
- Oh BS and Jung CG(1999). Studies on the growth of the bay scallop, *Argopecten irradians* in Winter Season in South Sea of Korea. *Journal of Aquaculture*, 15(2): 71~79.
- Oh BS, Jung CG, Kwon MG and Lee JS(2010). The effect of yellow soil on mortality of Korean Scallops, *Patinopecren yessoensis* at Indoor tank. *The Korean Journal of Malacology*, 26(3): 179~183.
- Park YJ(1998). Biological studies on aquaculture of the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay). Unpublished doctoral dissertation, Jeju National University.
- Peterson CH, Summerson HC, Fegley SR and Prescott RC(1989). Timing, intensity and sources of autumn mortality of adult bay scallops *Argopecten irradians concentricus* Say. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 127(2): 121~140.
[https://doi.org/10.1016/0022-0981\(89\)90179-2](https://doi.org/10.1016/0022-0981(89)90179-2).
- Qiu L, Chen MM, Wan XY, Li C, Zhang QL, Wang RY, Cheng DY, Dong X, Yang B, Wang XH, Xiang JH and Huang J(2017). Characterization of a new member of Iridoviridae, Shrimp hemocyte iridescent virus (SHIV), found in white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Scientific Reports* 7: 11834.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-10738-8>.
- Ren WC, Chen HX, Renault T, Cai YY, Bai CM, Wang CM and Huang J(2013). Complete genome sequence of acute viral necrosis virus associated with massive mortality outbreaks in the Chinese scallop, *Chlamys farreri*. *Virology Journal*, 10: 110~116.
<https://doi.org/10.1186/1743-422X-10-110>.
- Research and Service Report of National Fishery Products Quality Management Service (2016). Monitoring of non-legal infectious diseases of imported fishery products in 2016.
- Schikorski D, Faury N, Pepin JF, Saulnier D, Tourbiez D and Renault T(2011). Experimental ostreid herpesvirus 1 infection of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*: kinetics of virus DNA detection by q-PCR in seawater and in oyster samples. *Virus*

- Research, 155(1): 28~34.
<https://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.07.031>.
- Schikorski D, Renault T, Saulnier D, Faury N, Moreau P and Pépin JF(2011). Experimental infection of Pacific oyster *Crassostrea gigas* spat by ostreid herpesvirus 1: demonstration of oyster spat susceptibility. *Veterinary Research*, 42(1): 27~39.
<https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-27>.
- Segarra A, Pépin JF, Arzul I, Morga B, Faury N and Renault T(2010). Detection and description of a particular Ostreid herpesvirus 1 genotype associated with massive mortality outbreaks of Pacific oysters *Crassostrea gigas* in France in 2008. *Virus Research*, 153: 92~99.
<https://doi.org/10.1016/j.virusres.2010.07.011>.
- Song HD, Park JS and Kwon SR(2018). Molecular evidence of cyprinid herpesvirus 2 (CyHV-2) in domestic goldfish *Carassius auratus* and imported pearlscalp goldfish *Carassius auratus*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(4): 383~388.
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0383>.
- Song HI, Park KJ, Cho YR and Park YJ(2002). Density dependent growth of ark shell, *Scapharca satowi* in the west coast of Korea. *Journal of Aquaculture*, 15(3): 145~155.
- Song WB, Wang CM, Wang XH and Li Y(2001). New research progress on massive mortality of cultured scallop *Chlamys farreri*. *Marine Sciences*, 25: 23~27.
- Wang CM, Liu YJ, Wang XH and Li Y(2007). Pathological observation and analysis of acute viral necrobiotic disease in *Chlamys farreri*. *Marine Fisheries Research*. 28: 1~8.
- Wang CM, Wang XH, Ai HX, Li Yi, He GZ, Huang JY and Song WB(2004). The viral pathogen of massive mortality in *Chlamys farreri*. *Journal of Fisheries of China*, 28(5): 547~553.
- Wang CM, Wang XH, Song XL, Huang J and Song WB(2002). Purification and ultrastructure of a spherical virus in cultured scallop *Chlamys farreri*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 26(2): 180~184.
- Wang XH, Wang CM, Li J, Wang XH, Zheng GL, Hu XZ, Gong J and Song WB(2002). Epidemiological study on massive death of the cultured scallop *Chlamys farreri* in the Jiaozhou Bay. *Journal of Fisheries of China*, 26: 149~155.
- Xiao J, Liu L, Ke Y, Li X, Liu Y, Pan Y, Yan S and Wang Y(2017). Shrimp AHPND-causing the PirAB toxins as mediated by *pirAB-Tn903* are prevalent in various *Vibrio species*. *Scientific reports*, 7: 42177.
<https://doi.org/10.1038/srep42177>.
- Zhang JY, Li Y, Ren WC and Cai YY(2010). Studies on phytoplanktons carrying and spreading AVNV. *Journal of Fisheries of China*, 34(8): 1254~1259.
<https://doi.org/10.3724/SP.J.1231.2010.06952>.

-
- Received : 06 October, 2020
 - Revised : 09 November, 2020
 - Accepted : 18 November, 2020