

광양만 해양바이러스 개체수와 물리화학적 요인의 계절적 변동

최은석¹, 이건섭², 김동균³, 오정균⁴, 박종범³, 정영재⁵, 이택건^{2*}

¹대상 주식회사 바이오연구소, ²한국해양과학기술원

³신라대학교 생명과학과, ⁴국립목포대학교 생명과학과, ⁵신경대학교 생명공학과

Seasonal Fluctuations of Marine Viral Abundances and Physicochemical Parameters in Gwangyang Bay

Eun Seok Choi¹, Gunsup Lee², Dongguin Kim³, Chung-Kyoon Auh⁴,
Jongbum Park³, Youngjae Chung⁵ and Taek-Kyun Lee^{2*}

¹Biotechnology Lab., Daesang Corporation

²Korea Institute Ocean Science & Technology

³Department of Biological Science, Silla University

⁴Department of Biological Science, Mokpo National University

⁵Department of Life Science and Biotechnology, Shin Gyeong University

요약 광양만의 3개의 다른 지역에서 바이러스 개체수와 물리화학적 요인의 계절적 분포도를 분석하였다. 또한 바이러스의 형태적 구조를 투과전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 대부분의 해양바이러스는 박테리오파지와 유사한 구조를 갖고 있었으나, 일부는 진핵 미세조류 바이러스인 *Ectocarpus siliculosus virus* (EsV)와 유사하였다. 그룹 1 (폐쇄된 부영양 지역)에서의 바이러스 개체수는 그룹 2 (폐쇄된 빈영양 지역) 및 그룹 3 (개방된 빈영양 지역)에서의 바이러스 개체수보다 높았다. 그룹 1 바이러스의 계절적 개체수는 크게 변화하였다. 바이러스 개체수는 8월에 가장 높은 $7.33 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$ 에서 12월에 가장 낮은 $0.3 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$ 로 변화하였고, 봄과 가을에는 중간값을 유지하였다. 질소원 및 인산원의 농도는 바이러스 개체수에 상관관계를 보였다. 특히 용존산소의 계절적 변화는 바이러스 개체수와 반대 경향을 보였다. 이러한 결과는 광양만에서의 해양바이러스 개체수가 물리화학적 환경과 밀접하게 연관되어 있음을 보여준다.

Abstract Seasonal distributions of the viral abundance and physicochemical parameters were analyzed at three different regions in Gwangyang Bay. Morphological structure of marine virus was observed using transmission electron microscopy. Most of marine virus had bacteriophage-like structure, but some were similar with eukaryotic microalgal virus, *Ectocarpus siliculosus virus* (EsV). Viral abundance at Group 1 (closed eutrophic region) was higher than viral abundances at Group 2 (closed oligotrophic region) and Group 3 (open oligotrophic region). Seasonal abundances of marine virus at Group 1 were dynamically changed. The viral density was variably changed from maximum $7.33 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$ in August to minimum $0.3 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$ in December and maintained middle value in spring and autumn. The concentration of nitrogen and phosphate sources was correlated with viral abundance. Particularly, seasonal change of dissolved oxygen concentration was opposite to the variation of viral abundance. These results showed that viral abundances were closely related with fluctuation of marine physicochemical environment in Gwangyang bay.

Key Words : Marine virus, Physicochemical parameter, Nitrogen, Phosphate, Dissolved oxygen

본 논문은 논문은 한국해양과학기술원(P98785)의 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Taek-Kyun Lee

Tel: +82-55-639-8630 email: tklee@kiost.ac

접수일 12년 10월 04일

수정일 12년 11월 05일

게재확정일 12년 11월 08일

1. 서론

1955년 초 해양에서 최초로 박테리오파지가 분리되고 [1], 1970년대 말에 바이러스가 해양환경 어디에나 존재 하지만 상당히 낮은 개체수라는 것이 보고되었다[2]. 그러나 1990년대 이후 자연상태의 해수에 약 $10^7 - 10^9 \text{ ml}^{-1}$ 에 달하는 매우 많은 바이러스 또는 virus-like particles (VLPs)이 포함되어 있고[3], 해양바이러스의 개체수는 해수에서의 박테리아 개체수보다 약 10배 이상 많이 존재한다는 것은 잘 알려져 있다[4]. 바이러스는 수생환경에서 어디에나 존재하는 가장 평범한 생물학적 요소이지만, 해양의 미세 및 거대 생물의 사망과 미생물 유전구조의 조절에서 매우 중요한 역할을 수행한다[5,6].

해양미생물 먹이사슬에서 바이러스의 역할은 대상 숙주와 밀접하게 연관되어 있다. 바이러스는 감염, 유전적 변이, 숙주에서의 용균 및 용원 등에 의해 숙주의 사멸에 영향을 미친다[7]. 해양바이러스는 일차생산력의 78%를 감소시키며, 종속영양 박테리아 집단의 10-20%를 사멸시킨다. 이러한 바이러스의 특징 때문에 바이러스 감염에 의한 숙주의 사멸 결과 발생하는 dissolved organic materials (DOMs)의 순환과 해양환경에서 적조에 의한 생태계 영향 등에 대한 연구가 가능하게 되었다[8]. 최적의 조건에서 바이러스 활성과 감염율은 염도, 온도 및 각 영양염의 함유량 등과 같은 많은 지구물리적 요인과 연관되어 있다[9,10]. 그러나 아직까지 숙주생물에 특이한 바이러스의 분리 및 동정은 매우 어렵고, 해양바이러스가 수생생태계에서 생물학적으로 활발하게 역할을 수행한다는 것이 충분히 이해되지 않고 있다[11,12]. 따라서 무엇보다도 먼저 바이러스의 공간분포와 계절적 유형을 해양 바이러스 직접계수법으로 연구하고, 미생물 먹이사슬의 구성원, 영양염 및 지화학적 요소들과 같은 그들의 특이한 환경에서 해양바이러스의 생태학적 역할을 분석하는 것이 매우 중요하다[13,14].

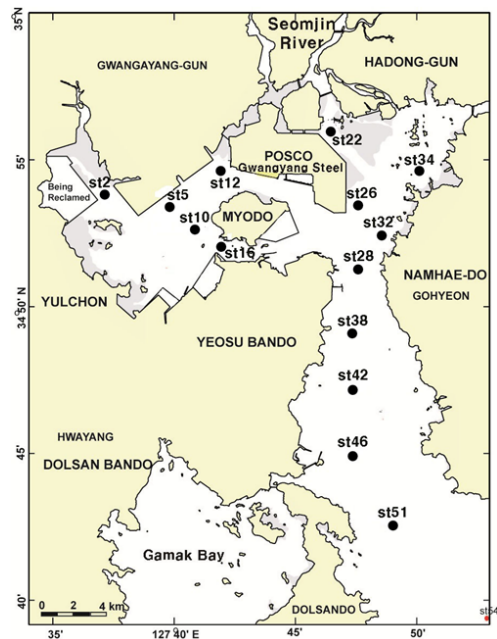
해양이나 수계에서의 바이러스의 시공간적 분포 연구를 위한 기술로 flow cytometry 분석, 형광염색법 및 metagenomics와 같은 다양한 분자생물학적 기법이 개발되어 왔다. 또한 바이러스의 동정을 위해 투과전자현미경과 형광현미경을 사용하는 고전적인 방법이 아직도 활용되고 있다. 투과전자현미경 방법은 시간이 많이 들고, 비싸고 전문적인 인력이 요구되어 현장연구에 적합하지 않으나[15], 바이러스의 형태학적 다양성을 분석하기 위한 유일한 방법이다. 투과전자현미경 기반 기술과 비교하였을 때, 형광현미경과 flow cytometry 분석은 바이러스 입자를 직접계수할 수 있고, 쉽게 박테리아와 구분할 수 있는 장점을 가지고 있다[15,16].

본 연구는 해양바이러스 생물학에 대한 기초연구로써 수행되었다. 우리는 광양만에서의 해양바이러스와 박테리아 및 엽록소 a의 계절적 변이와 상관관계에 관한 연구를 수행한 바 있다[17]. 본 연구에서는 투과전자현미경과 형광현미경을 이용하여 해양바이러스의 형태를 관찰하고, 분포도 조사를 하였다. 또한 바이러스의 감염 및 용균 활동에 의해 생성되거나, 인간활동에 의해 변화될 수 있는 영양염 및 pH, 수온, 염도, 용존산소 등과 같은 물리화학적 외부환경과의 연관관계를 분석하여 해양바이러스의 생태계에서의 역할을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료채취

해수시료는 광양만 15개 정점(그림 1)의 각 깊이에서 5 L씩 2001년 8월부터 2002년 6월까지 두 달 간격으로 채수하였다. 채수한 시료 중 500 mL을 GF/F 여과지(구경 $0.45 \mu\text{m}$, Whatman Co.)로 여과하였으며, 50 mL씩 두 개의 튜브에 나누어 분주하고, $0.02 \mu\text{m}$ 필터로 여과된 2% 포르말린에 즉시 고정된 후 시료가 담긴 튜브를 4°C 에 보관하였다.



[그림 1] 광양만 채집정점
[Fig. 1] Sampling stations in Gwangyang bay

2.2 바이러스 형태관찰

세포찌꺼기를 제거하기 위하여 500 mL 자연 해수를 4 °C, 1200 g에서 10분간 원심분리(Supra 25K, Hanil Research & Development Co.)하였다. 상등액은 50 mL 튜브로 옮겨 4 °C에 저장하였다. Polyethylene glycol (PEG6000, 최종 농도 10%, Sigma-Aldrich Co.)를 2.7% NaCl 용액에 천천히 첨가하고 4 °C, overnight으로 침전시켰다. 침전된 용액은 초원심분리(35,000 rpm, 3 hr, 25 °C; Beckman Coulter Inc.)하였다. 상등액은 조심스럽게 버리고, 바닥에 있을 것으로 예상되는 투명한 pellets은 100 µL 증류수로 재현탁하였다. 바이러스 농축액을 새로운 1 mL의 멸균튜브에 옮겼다. Negative viral 염색분석법에 의해 5 µL의 농축된 시료를 파라필름(American National Can Co.)으로 옮겼고, 1.5% uranyl acetate 용액 또는 2% phosphotungstic acid 용액으로 염색하였다[18]. 염색된 시료를 carbon-stabilized Formvar-coated 200-mesh copper grids (FCF200-Cu, Electron Microscopy Sciences)로 옮겼다. 바이러스 형태는 투과전자현미경(LEO906E, Carl Zeiss Inc.)으로 80 kV에서 40,000-80,000배 확대하여 관찰하였다.

2.3 SYBR Gold에 의한 바이러스 염색

해양바이러스 시료의 염색은 수정된 SYBR Green I을 사용하는 염색법[19]인 SYBR-Gold 방법[20]에 따라 수행하였다. 해수 시료 5 mL을 0.02 µm 여과지(직경 25 mm, Anodisc, Whatman Co.)로 여과하였다[21]. 최적 조건의 염색을 위해서, SYBR Gold(Molecular Probes Co.) 원액 10 µL를 여과(0.02 µm)된 멸균수 3,990 µL를 첨가하여 희석시켰다. 여과지를 슬라이드 글라스에 올린 뒤, 희석된 SYBR Gold 용액 100 µL를 여과지에 처리하고, 15분 동안 실온에서 빛이 차단된 상태로 염색을 실시하였다. 염색 후 여과지에 남아 있는 수분은 3 MM paper를 이용하여 제거하고, 빛이 차단된 상태로 실온에 두어 5분 동안 건조시킨 후 마운팅 용액을 처리하였다. 커버글라스를 여과지 위에 덮고 형광현미경에서 샘플을 관찰하기 전까지 각각의 슬라이드는 -20 °C에 보관하였다.

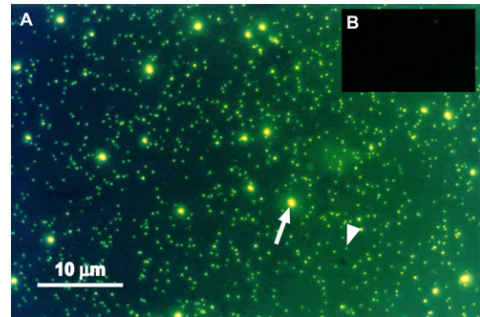
2.4 바이러스의 직접계수

준비된 슬라이드 시료는 Axioplan2(Carl Zeiss Co.) 형광현미경으로 blue excitation 하에서 ×100 대물렌즈를 통해 관찰되었다. 사진 분석을 위해서, 컴퓨터소프트웨어로 작동하는 MC-200 카메라모듈(Carl Zeiss Co.)을 현미경상에 장착하고, Kodak Supra 400 필름(ASA 400)으로 촬영하였다. 현상 및 인화한 사진(Fig. 2)을 이용하여

바이러스를 직접계수하였다. 바이러스 개체수의 정확한 측정을 위하여 최소 400개체 이상의 바이러스를 3번 이상 직접계수하여 분석하였다.

2.5 물리화학적 환경요인 분석

수온과 염도는 seabird CTD를 이용하여 측정하였다. 해수의 pH는 해수 100 mL당 10 mL의 0.1 N NaOH를 첨가한 후 pH meter(Orion 420Aplus, Thermo Electron Co.)로 측정하였다. 용존산소 농도는 DO meter(60-58 YSI, Southern Aquaculture Supply Inc.)로 측정하였고, 무기 질소(NH₄⁺, NO₃ 및 NO₂)와 인산은 Parson의 방법[22]에 따라 flow injection analyzer(Quickchem 8000, LACHAT Instruments)를 사용하여 분석하였다. 모든 분석은 3번 이상 실시하였으며, 평균값을 분석 결과로 제시하였다.



[그림 2] SYBR Gold로 염색된 바이러스와 박테리아. A, 광양만 해수 시료, 바이러스(삼각형) 및 박테리아(화살표); B, 0.02 µm로 여과된 증류수의 형광현미경 사진(대조구).

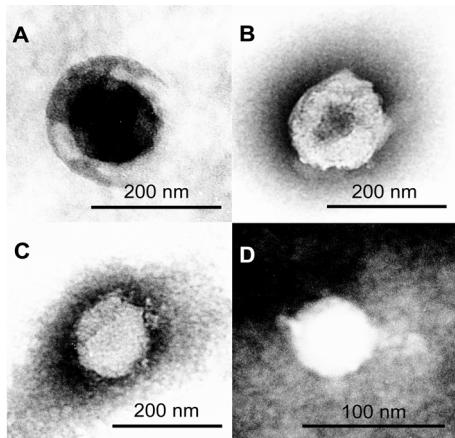
[Fig. 2] Virus and bacteria stained with SYBR gold dye. A, Seawater sample from Gwangyang Bay, virus (triangle) and bacteria (arrow); B, Epifluorescence micrograph of distilled deionized water prepared by 0.02 µm-filter (Control).

3. 결과 및 고찰

3.1 바이러스의 전자현미경 관찰

광양만에서 채집된 해수시료를 농축하고, 투과전자현미경을 이용하여 형태학적 분석을 수행하였다(그림 3). 분석결과 광양만에 다양한 형태의 해양바이러스가 존재하는 것이 확인되었으며, 크기는 직경이 약 100-200 nm로 측정되었다. 대부분의 해양바이러스는 박테리오파지(bacteriophage) 유사 형태를 가지고 있었으며(그림 3A, C and D), 일부의 해양바이러스는 남조류인 *Ectocapus siliculosus*를 감염시키는 EsV[23]와 유사한 형태를 가지

고 있었다(그림 3B). 또한 일부는 Gemini 타입 및 선형 바이러스 형태를 가지고 있는 것이 관찰되었다(data not shown). 그러나 해양바이러스의 형태에 대한 연구보고가 거의 없어서 정확한 형태적 분석을 하는 것은 어려웠다. 따라서 보다 정확한 분류 및 동정을 위해서 추가적인 분석 연구가 필요하다고 사료된다.



[그림 3] 투과전자현미경으로 관찰한 바이러스 형태. A, 구형($\times 46,000$); B, 무정형; C, 20면체($\times 67,000$); D, 박테리오파지형($\times 80,000$).

[Fig. 3] Morphology of virus observed with transmission electron microscopy. A, sphere type ($\times 46,000$); B, morphorous ($\times 4,000$); C, icosahedral type ($\times 67,000$); D, bacteriophage type ($\times 80,000$).

3.2 바이러스의 개체수와 분포

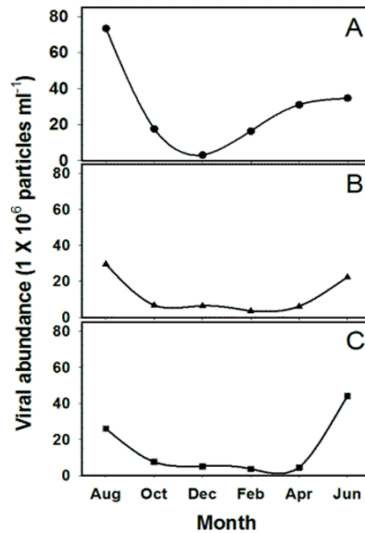
광양만에서의 해양바이러스의 개체수는 형광현미경을 이용한 직접계수법으로 측정하였다. 세 개의 그룹으로 나누어진 광양만에서의 바이러스 개체수는 평균 $1.90 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$ 으로 측정되어 매우 풍부한 것으로 나타났다(표 1). 모도 안쪽에 위치하고 있는 그룹 1의 바이러스 평균값은 $2.93 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$ 로 측정되어 그룹 2($1.25 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$)와 그룹 3($1.51 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$)에 비해 바이러스 개체수가 각각 2.34배 및 1.94배 높은 것으로 분석되었다(표 1).

[표 1] 광양만 3개 지역에서의 해양바이러스 개체수의 평균값.

[Table 1] Average values of marine viral abundances at 3 different regions in Gwangyang bay.

Group	Average abundance of marine virus
1	$2.93 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$
2	$1.25 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$
3	$1.51 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$
Total	$1.90 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$

광양만 채집 정점 그룹에서의 해양바이러스 개체수의 계절적 분포를 분석하였다(그림 4). 세 그룹에서의 해양 바이러스 개체수는 여름에 많고, 겨울에 적은 경향을 보였다. 그룹 2와 3 지역의 해양바이러스 개체수는 6월과 8월에 높고, 10월부터 다음해 4월까지 낮은 값을 유지하였다. 반면 그룹 1에서의 해양바이러스 개체수는 10월부터 감소하여 2월까지 낮은 값을 유지하였으며, 4월부터 증가하는 경향을 보였다.



[그림 4] 채집 정점 3 그룹에서의 바이러스의 계절별 분포. A, 그룹 1; B, 그룹 2; C, 그룹 3.

[Fig. 4] The seasonal distribution virus at three groups. A, Group 1; B, Group 2; C, Group 3.

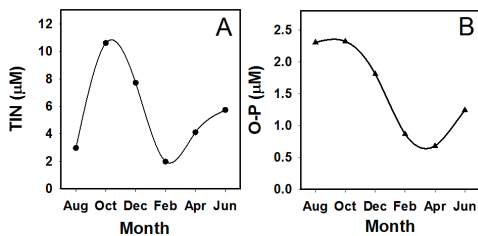
그룹 1이 다른 그룹에 비해 바이러스 개체수가 약 2배 이상 많고, 개체수가 적은 시기가 짧은 이유는 광양만의 지리적 특성에 의한 것으로 판단된다. 그룹 1 지역은 모도에 의해 지리적으로 분할되어 폐쇄된 부영양 지역이며, 생태학적으로 안정화되어 있다. 주변 육상에 둘러싸여진 여천 및 울천 산업단지, 컨테이너 부두 및 광양제철소 등은 부영양화와 오염의 원천이 되고 있다. 특히 정점 2는 봉강천 바깥에 위치하고 있어 부영양화가 심한 지역이다. 바이러스의 숙주가 될 수 있는 박테리아 및 플랑크톤의 서식에 적합하고, 따라서 바이러스의 증식에 용이한 것으로 추측된다. 그룹 2 지역은 폐쇄된 빈영양 지역이며, 정점 22는 섬진강 바깥에 위치하고 있다. 그룹 2는 그룹 1 과는 달리 모도와 같은 섬으로 둘러싸여 있지는 않고, 해류는 다른 지역보다 더 빠르다. 섬진강은 우리나라 주요 하천 중의 하나이며, 다른 하천에 비해 부영양화가 심하지 않은 것으로 알려져 있어, 그룹 2 지역의 부영양

화를 감소시키는 역할을 하는 것으로 추측된다. 그룹 3은 광양만 바깥쪽에 위치하고 있으며, 다른 정점에 비해 영양염의 농도가 낮다. 광양만이 쿠로시오 해류의 영향을 받기 때문에 그룹 3 지역의 수온은 일반적으로 연중 낮게 유지되는 특징을 가지고 있다. 그룹 2 지역의 바이러스 개체수($1.25 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$)는 그룹 3에서의 바이러스 개체수($1.51 \times 10^8 \text{ ml}^{-1}$)에 비해서도 더 낮은 값을 보여주고 있어, 부양양화가 심하지 않은 섬진강 담수의 유입 등이 영향을 미친 것으로 추측된다.

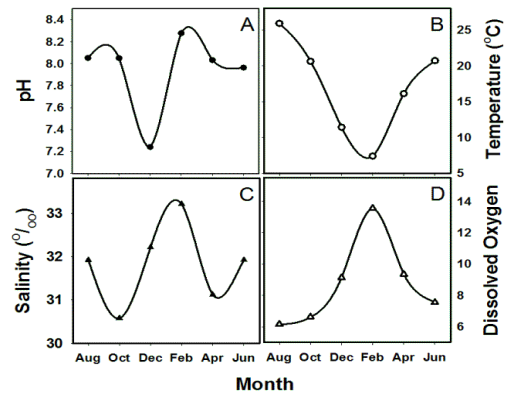
3.3 물리화학적 요인의 특징

해양바이러스와 무기영양염류 및 환경조건과의 연관 관계를 분석하기 위해, 광양만 그룹 1에서의 물리 및 화학적 요인을 분석하였다. 광양만에서의 질소원 및 인산원의 계절적 변이를 분석하기 위하여 총무기질소(total inorganic nitrogen, TIN)와 인산(O-P)의 농도를 측정하였다(그림 5). TIN 측정을 위해서 NO_3 , NO_2 및 NH_4 의 농도를 Parsons' 방법[20]으로 측정하고, 합계를 구하였다. 광양만 그룹 1에서 질소원 및 인산원은 10월에 가장 높은 값을 보였으며, 12월부터 감소하였다. 2월에 농도가 가장 낮았으며, 4월부터 다시 농도가 증가하는 경향을 보였다.

광양만 그룹 1의 환경요인(pH, 수온, 염도 및 용존산소 농도)의 변화는 영양염의 변화에 비해 경향성이 뚜렷하지 않았다(그림 6). pH는 12월에 7.24로 가장 낮았으며, 다른 시기에는 7.96-8.28로 비교적 높은 pH를 보이는 것으로 측정되었다(그림 6A). 수온은 2월에 7.38 °C로 가장 낮았으며, 8월에 25.9 °C의 수온을 보였다(그림 6B). 염도는 측정 기간 중 가장 변화가 심한 것으로 나타났다. 2월에 33.2 ‰로 측정되어 가장 높은 것으로 나타났으며, 10월과 4월에 각각 30.6 ‰ 및 31.1 ‰의 염도가 측정되어, 연간 변화가 큰 것으로 분석되었다(그림 6C). 용존산소는 8월에 가장 낮았으며, 12월부터 증가하였고, 6월에 다시 낮아지는 경향을 나타내었다(그림 6D).

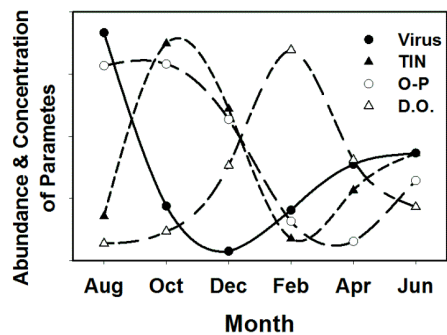


[그림 5] 그룹 1의 질소(A)와 인산(B)의 계절별 변이.
[Fig. 5] The seasonal variation of nitrogen (A) and phosphate (B) at group 1.



[그림 6] 그룹 1의 pH(A), 온도(B), 염도(C) 및 용존산소(D)의 계절별 변이.
[Fig. 6] The seasonal variation of pH (A), temperature (B), salinity (C) and dissolved oxygen (D) at group 1.

우리는 지난 논문[17]에서 광양만 해양바이러스의 개체수는 해양박테리아 및 식물플랑크톤 개체수와 상관관계가 있음을 보고한 바 있다. 이 연구에서 우리는 광양만에 존재하는 해양바이러스의 형태학적 연구를 수행하였으며, 해양바이러스와 영양염(질소 및 인산원) 및 환경요인(pH, 수온, 염도 및 용존산소)의 계절적 변동을 비교하여 계절적 변동을 분석하였다(그림 7). 연구결과 바이러스 개체수가 감소함에 따라 질소원 및 인산원의 농도가 감소되고, 용존산소의 농도가 높을 때 바이러스의 개체수가 낮게 유지되는 경향이 관찰되었다.



[그림 7] 그룹 1에서의 바이러스 개체수와 물리화학적 환경요인의 계절적 변동
[Fig. 7] The seasonal fluctuation of viral abundances and physicochemical parameters at Group 1.

바이러스 개체수와 영양염 및 용존산소와의 상관관계는 바이러스 생활사와 관련된 관점에서 해석할 수 있다. 대부분의 바이러스는 coat protein과 유전자로 구성되어

있다. 숙주세포 내에서 바이러스는 생활사동안 단백질을 위한 많은 양의 질소원과 DNA 또는 RNA를 위한 인산을 요구하게 되어, 바이러스 개체수의 증가를 위해서는 질소원과 인산원이 풍부한 환경조건이 필요하다[24]. 또한 바이러스 감염과 용균현상에 의하여 숙주인 박테리아나 식물플랑크톤의 사멸이 조절된다. 숙주세포가 사멸되면 해양 환경에서의 질소원과 인산원의 농도가 증가하게 된다 [25,26]. 우리의 연구결과는 그림 7에서와 같이 바이러스 개체수와 질소원 및 인산원의 농도는 2개월 시간차를 두고 같은 경향을 보였는데, 나타난 2개월의 시간차는 바이러스 개체수가 가장 높은 8월 이후 생성된, 미생물 분해물인 질소원 및 인산원으로 전환되는데 필요한 시간인 것으로 추측된다. 특히 광양만 그림 1 지역의 용존산소가 높은 시기인 12월-4월 시기에 해양바이러스의 개체수는 낮은 경향을 보였는데, 이러한 결과는 호기성 환경이 바이러스의 생존에 악영향을 미친다고 하는 보고[27,28]와 일치하는 결과를 보였다.

4. 결론

광양만에서 해양바이러스를 분리하여 형태를 관찰하고, 바이러스 개체수와 물리화학적 환경요인의 계절적 변동을 분석하였다. 광양만에 존재하는 대부분의 해양바이러스는 박테리오파지형을 가지고 있었다. 바이러스 개체수는 8월에 가장 많았으며, 12월에 가장 적었다. 질소원 및 인산원의 농도는 바이러스 개체수 변동과 2달의 시간차를 두고 변동하였다. 용존산소가 높은 시기에는 바이러스 개체수가 낮게 나타났다. 본 연구는 바이러스에 의한 해양 환경요인의 변동에 관한 이해를 증진시킬 수 있을 것이다.

References

[1] R. Spencer. "Marine bacteriophage". *Nature*, 175, 690-691, 1955.

[2] F. Torrella and R. Y. Morita. "Evidence by electron-micrographs for a high-incidence of bacteriophage particles in the waters of Yaquina bay, oregon e ecological and taxonomical implications". *Appl. Environ. Microbiol.* 37, 774-778, 1979.

[3] O. Bergh, K. Y. Børshheim, G. Bratbak and M. Heidal. "High abundance of viruses found in aquatic environments". *Nature* 340, 467-468, 1989.

[4] R. Maranger and D. F. Bird. "Viral abundances in aquatic systems: a comparison between marine and fresh waters". *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 121, 217-226, 1995.

[5] J. A. Fuhrman and C. A. Suttle. "Viruses in marine planktonic systems". *Oceanography* 6(2), 51-63, 1993.

[6] S. Jacqueta, T. Miki, R. Noble, P. Peduzzi and S. Wilhelm. "Viruses in aquatic ecosystems: important advancements of the last 20 years and prospects for the future in the field of microbial oceanography and limnology". *Adv. Oceanogra. Limnol.* 1 (1), 97 - 141, 2010.

[7] C. A. Suttle. "The significance of viruses to mortality in aquatic microbial communities". *Microb. Ecol.* 28, 237-243, 1994.

[8] S. W. Wilhelm and C. A. Suttle. "Viruses and nutrient cycles in the sea". *Bioscience* 49, 781-788, 1999.

[9] W. P. Cochlan, J. Wikner, G. F. Steward, D. S. Smith and F. Azam. "Spatial distribution of viruses, bacteria and chlorophyll *a* in neritic, oceanic and estuarine environments". *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 78, 1-9, 1993.

[10] L. A. Drake, K. H. Choi, A. G. E. Haskell and F. C. Dobbs. "Vertical profiles of virus-like particles and bacteria in the water column and sediments of Chesapeake Bay, USA". *Aquat. Microb. Ecol.* 16, 17-25, 1998.

[11] C. Evans, P. G. Thomson, A. T. Davison, A. R. Bowie, R. van den Enden, H. Witte and D. P. D. Brussaard. "Potential climate impacts on microbial distribution and carbon cycling in the Australian southern ocean". *Deep-Sea Res.* 58, 2150-2161, 2011.

[12] V. Moresco, A. Viancelli, M. A. Nascimento, D. S. M. Souza, A. P. D. Ramos, L. A. T. Garcia, C. M. O. Simões and S. R. M. Barardi. "Microbiological and physiological analysis of the coastal waters of southern Brazil". *Mar. Poll. Bull.* 64, 40-48, 2012.

[13] M. C. Alonso, F. J. Gomez, J. Rodriguez and J. J. Borrego. "Distribution of virus-like particles in an oligotrophic marine environment (Alboran Sea, Western Mediterranean)". *Microb. Ecol.* 42, 407-415, 2001.

[14] K. E. Wommack, R. T. Hill, M. Kessel, D. K. Russ, E. Cohen and R. R. Colwell. "Distribution of viruses in the Chesapeake Bay". *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 2965-2970, 1992.

[15] D. Marie, C. P. D. Brussaard, R. Thyrrhaug, G. Bratbak and D. Vaulot. "Enumeration of marine

viruses in culture and natural samples by flow cytometry". Appl. Environ. Microbiol. 65, 45 - 52, 1999.

[16] R. Danovaro, A. Dell'Anno, A. Trucco, M. Serresi and S. Vanucci. "Determination of virus abundance in marine sediments". Appl. Environ. Microbiol. 67, 1384-1387, 2001.

[17] E. S. Choi, S-J. Kim, R-R Oh, H. Y. Yun, K. Shin, M. Chang, S Lee, S-S Lee and T-K. Lee. "Correlations and seasonal variations of marine viral abundances, bacterial abundances and concentration of chlorophyll-a in Gwangyang bay". Kor. J. Environ. Biol. 22, 86-92, 2004.

[18] R. W. Hoeme and I. Pasquali-Ronchette. "A negative staining - carbon film technique for studying viruses in the electron microscope: I. Preparation procedures for examing icosahedraland filamentous viruses". J. Ultrastruct. Res. 47, 361-383, 1974.

[19] R. T. Noble and J. A. Fuhrman. "Use of SYBR Green I for rapid epi-fluorescence counts of marine viruses and bacteria". Aquat. Microb. Ecol. 14, 113-118, 1998.

[20] F. Chen, J. R. Lu, B. J. Binder, Y. C. Liu and R. E. Hodson. "Application of digital image analysis and flow cytometry to enumerate marine viruses stained with SYBR Gold". Appl. Environ. Microbiol. 67 (2), 539-545, 2001.

[21] J. E. Hobbie, R. J. Daley and S. Jasper. "Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorecence microscopy". Appl. Environ. Microbiol. 33, 1225-1228, 1977.

[22] T. R. Parsons, Y. Maita and C. M. Lalli. "Determination of chlorophylls and total carotenoids: spectrophotometric method". In A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. pp.101-107, 1984.

[23] H. Shigemitsu, K. Tazuki and K. Isao. "Abundance of viruses in marine waters: assessment by epifluorescence and transmission electron microscopy". Appl Environ Microbiol 57, 2731-2734, 1991.

[24] J. A. Fuhrman. "Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects". Nature 399, 541-548, 1999.

[25] L. M. Proctor and J. A. Fuhrman. "Viral mortality of marine bacteria and cyanobacteria". Nature 343, 60-62, 1990.

[26] R-A. Sandaa. "Burden or benefit? Virus-host interactions in the marine environment". Res. Microbiol. 159, 374-381, 2008.

[27] E. Lund and B. Nissen. "The survival of enteroviruses

in aerated and unaerated cattle and pig slurry". Agric. Wastes 7, 221-223, 1983.

[28] J. Jansons, L. W. Edmonds, B. Speight and M. R. Bucens. "Survival of viruses in groundwater". Wat. Res. 23 (3), 301-306, 1989.

최 은 석(Eunseok Choi)

[정회원]



- 2003년 2월 : 성균관대학교 유전 공학과 (이학석사)
- 2008년 8월 : 성균관대학교 유전 공학과 (이학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 대상주식 회사 중앙연구소 책임연구원

<관심분야>

바이러스 유전학, 미생물 유전공학

이 건 섭(Gunsup Lee)

[정회원]



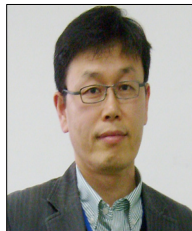
- 2003년 2월 : 성균관대학교 생명 공학과 (이학석사)
- 2010년 2월 : 성균관대학교 생명 공학과 (이학박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 해양과학기술원 연수연구원

<관심분야>

분자생물학, 해양 독성학

김 동 균(Dong Giun Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1999년 3월 : 미국오하이오대학교 대학원 생물학과 (식물학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 생물학과 교수

<관심분야>

식물학, 생화학, 분자생물학, 생리학

오 정 균(Chung-Kyoon Auh)

[정회원]



- 1983년 8월 : KAIST 생물공학 (이학석사)
- 1995년 3월 : UC Davis 식물학 (이학박사)
- 2000년 9월 ~ 2004년 8월 : 성균관대학교 생명과학과 연구교수
- 2005년 3월 ~ 현재 : 목포대학교 생명과학과 부교수

<관심분야>

식물분자생물학, 식물환경생리학

이 택 건(Taek-Kyun Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 생물학 (이학석사)
- 1998년 2월 : 성균관대학교 식물분자생리학 (이학박사)
- 1998년 9월 ~ 2000년 8월 : 한국해양연구원 연수연구원
- 2000년 8월 ~ 현재 : 해양과학기술원 남해특성연구부 책임연구원

<관심분야>

환경분자생리학, 해양환경독성학

박 종 범(Jongbum Park)

[정회원]



- 1981년 2월 : 성균관대학교 생물학과 (이학석사)
- 1989년 8월 : 성균관대학교 생물학과(식물형태학) (이학박사)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 생물과학과 교수

<관심분야>

식물형태학, 식물조직배양

정 영 재(Youngjae Chung)

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학박사)
- 1997년 3월 ~ 2007년 2월 : 서남대학교 생명과학과 교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : 신경대학교 생명공학과 교수

<관심분야>

식물형태 및 계통분류학, 식물유전자원학