

거대바이러스-일차생산자 커플링 및  
해양미소생태계에서의 중심 역할에 대한 연구

A study on the pivot role of marine viruses in marine ecosystem  
through analysis of giant virus and primary producer coupling

2019. 01

한 국 해 양 과 학 기 술 원

# 제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “거대바이러스-일차생산자 커플링 및 해양미소생태계에서의 중심 역할에 대한 연구”과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2019. 01.

총괄연구책임자 : 이택견

참 여 연 구 원 : 정승원, 강준수, 김현정  
한혜정, 강민경, 김강은

# 과제요약서

|                        |  |               |              |
|------------------------|--|---------------|--------------|
| <p><b>연구목표</b></p>     | <p>주요 위도별 시료채취, 분자생물학적 군집조성, 감염 노출, 세포반응 분석 등을 통한 해양바이러스 - 일차생산자 연관관계 분석 및 전지구적 기후변화에서의 해양바이러스의 역할 규명</p>  |               |              |
| <p><b>연구내용</b></p>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주요 위도별(북극해, 우리나라, 남태평양) 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링             <ul style="list-style-type: none"> <li>- NGS 및 PCR 중점 기반 주요 위도별 해양 일차생산자(phytoplankton 및 cyanobacteria) 모니터링</li> <li>- NGS 및 PCR 기반 주요 위도별 해양바이러스(phycoviruses 및 cyanophages) 모니터링</li> <li>- 주요 위도별 환경요인 모니터링</li> </ul> </li> <li>○ 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 및 연관관계 분석             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양바이러스 농축 및 일차생산자 배양 시스템 구축</li> <li>- 해양 일차생산자에 대한 대응 바이러스 반응 인공 생태계 구축</li> <li>- 감염된 일차생산자 세포반응(세포사멸, 물질대사 변화 등) 및 변동 기작 분석에 따른 숙주-바이러스 연관관계 규명</li> </ul> </li> <li>○ 인공생태계를 이용한 주요 위도별 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 규명             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양바이러스 vs. 일차생산자의 상관관계를 연구</li> <li>- 해양바이러스에 의한 일차생산자의 조절 기작 이해</li> <li>- Microbial loops에서의 해양바이러스-일차생산자 연관관계 규명</li> </ul> </li> </ul> |               |              |
| <p><b>예상 연구성과</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Target 성과물 : 해양바이러스에 의한 일차생산자 조절 기작 규명</li> <li>○ 주요 위도별 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 풍부도 및 다양성 목록</li> <li>○ 해양 일차생산자-바이러스 감염시스템 구축 및 연관관계 분석 자료</li> <li>○ 전지구적 기후변화에서의 해양바이러스의 역할과 관련된 상위 3% 이내 논문 작성</li> </ul>   |               |              |
| <p><b>종료후 활용계획</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 북극해-남태평양 지역을 활용한 기후변화의 해양생태계 연구에 기초자료로 제공</li> <li>○ 해양생태계의 친환경적 관리를 위한 글로벌 해양바이러스 DB 구축 및 이를 통한 우리나라의 선도적 역할 기대</li> <li>○ 기후변화에 따른 해양생물의 변동을 대량, 신속, 정확한 분자생물학적 분석 기법이 개발</li> </ul>  |               |              |
| <p><b>키워드</b></p>      | <p>거대바이러스</p>  | <p>일차생산자</p>  | <p>미소생태계</p> |
|                        | <p>바이러스 감염</p>   | <p>위도별 변화</p> | <p>기후변화</p>  |

# 목 차

|      |  |    |
|------|--|----|
| I.   | 과제 개요 .....                            | 5  |
|      | 1. 연구개발의 목표 .....                      | 6  |
|      | 가. 최종목표 .....                          | 6  |
|      | 나. 연구개발 개요 .....                       | 7  |
|      | 2. 연구개발의 중요성 .....                     | 9  |
|      | 가. 연구개발의 중요성 .....                     | 9  |
|      | 나. 연구개발 대상의 국내외 현황 .....               | 14 |
|      | 3. 연구개발 과제의 중복성 .....                  | 15 |
|      | 가. 타과제 중복성 검토 .....                    | 15 |
|      | 4. 연구원의 비전 및 기능, 중기전략 계획 등과의 연계성 ..... | 16 |
|      | 가. 해양과기원 임무 및 경영목표 등과의 연계성 .....       | 16 |
|      | 나. 국가적 아젠다와의 연계성 .....                 | 16 |
| II.  | 선행연구 분석 .....                          | 19 |
|      | 1. 병원성 해양바이러스 .....                    | 20 |
|      | 가. 바이러스 검출 진단 .....                    | 20 |
|      | 나. 바이러스 모니터링 .....                     | 21 |
|      | 2. 기초생산자 coupling .....                | 23 |
|      | 가. 박테리아와 기초생산자 관련 연구 .....             | 23 |
|      | 나. 인공생태계 연구 .....                      | 24 |
| III. | 연구개발의 목표 .....                         | 26 |
|      | 1. 연차별 연구개발의 목표 및 내용 .....             | 27 |
|      | 가. 정성적 목표 .....                        | 27 |
|      | 나. 정량적 목표 .....                        | 28 |
|      | 다. 총 연구기간 로드맵(4개년) .....               | 28 |
| IV.  | 2018년 연구내용 .....                       | 29 |
|      | 1. 계획대비 연구수행의 적절성 .....                | 30 |
|      | 가. 연구수행의 적절성 .....                     | 30 |
|      | 1) 전략목표 .....                          | 30 |
|      | 2) 연구개발 추진체계 및 수행방법 .....              | 32 |
|      | 3) 연구진도 적정 수행 여부 .....                 | 32 |

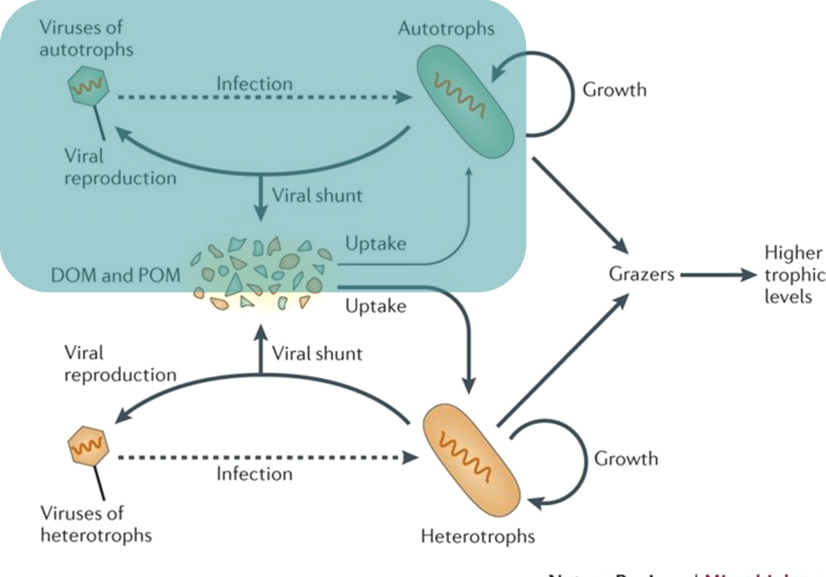


|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 2. 연구개발 성과의 달성도 및 우수성 .....     | 33 |
| 가. 연구목표의 정상 추진 및 성과 우수성 .....   | 33 |
| 1) 총괄 연차별 목표대비 달성도 .....        | 33 |
| 2) 연구내용 및 달성실적 .....            | 34 |
| 3. 1차년도 연구결과에 대한 자체 평가 의견 ..... | 49 |
| <br>                            |    |
| V. 차년도 연구계획 .....               | 50 |
| 1. 2019년도 연구개발 목표 .....         | 51 |
| 가. 연구개발 목표 및 내용 .....           | 51 |
| 1) 최종목표 .....                   | 51 |
| 2) 2019년도 정성적 성과목표 .....        | 51 |
| 3) 정량적 성과목표 (최종목표) .....        | 52 |
| 4) 연구목표 및 내용 .....              | 52 |
| 나. 연구개발 추진전략 및 체계 .....         | 54 |
| 1) 연차별 연구개발 추진전략(체계) .....      | 54 |
| 2) 연차별 연구개발 로드맵 .....           | 55 |
| 3) 주여 목표별 추진일정 .....            | 55 |
| 4) Target 성과물 .....             | 56 |
| <br>                            |    |
| VI. 부록: 발표자료 .....              | 57 |

## **I** 과제 개요

# 1. 연구개발의 목표

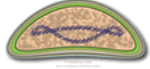

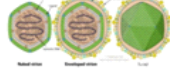
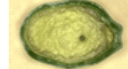
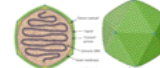
## 가. 최종 목표

| 구분           | 내용   |
|--------------|--|
| 최종목표         | <p>주요 위도별 분자생물학적 군집구성 분석, 감염 노출, 세포반응 분석 등 및 인공생태계를 이용한 해양바이러스-일차생산자 연관관계 규명을 통한 전지구적 기후변화에서의 해양바이러스의 역할 이해</p> <p style="text-align: center;"><b>Marine virus (Phycodnaviruses / Cyanophages)</b><br/>vs.<br/><b>Primary producers (Eukaryotic picoplanktons / Cyanobacteria)</b></p>  <p style="text-align: right;">Nature Reviews   Microbiology</p> |
| 최종목표<br>설정근거 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전지구적 온난화로 인한 거대바이러스 위험성</li> <li>○ 지구온난화에서의 거대바이러스에 의한 해양 일차생산자 조절 기작의 중요성</li> <li>○ 주요 위도별 해양 일차생산자 및 대응 바이러스 다양성 분석을 통한 우리나라 해양생태계 미래예측 가능성</li> </ul>   |
| 세부목표         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주요 위도별(북극해, 우리나라, 남태평양) 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링</li> <li>○ 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 및 연관관계 분석</li> <li>○ 인공생태계 활용 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 규명</li> </ul>   |

## 나. 연구개발 개요

### ○ 거대바이러스, 해양 일차생산자 및 영양염 순환

- 거대바이러스 (giant virus, Megavirales)는 nucleocytoplasmic large DNA viruses (NCLDVs)이며, 크기가 1,500 nm에 이를 정도로 매우 큰 바이러스임
- Ascoviridae, Asfarviridae, Iridoviridae, Marseilleviridae, Mimiviridae, Phycodnaviridae 및 Poxviridae 등 7개 과가 알려져 있었으나, 최근에 Pandoraviridae 및 Pithoviridae가 발견되면서 9개 과로 구성됨

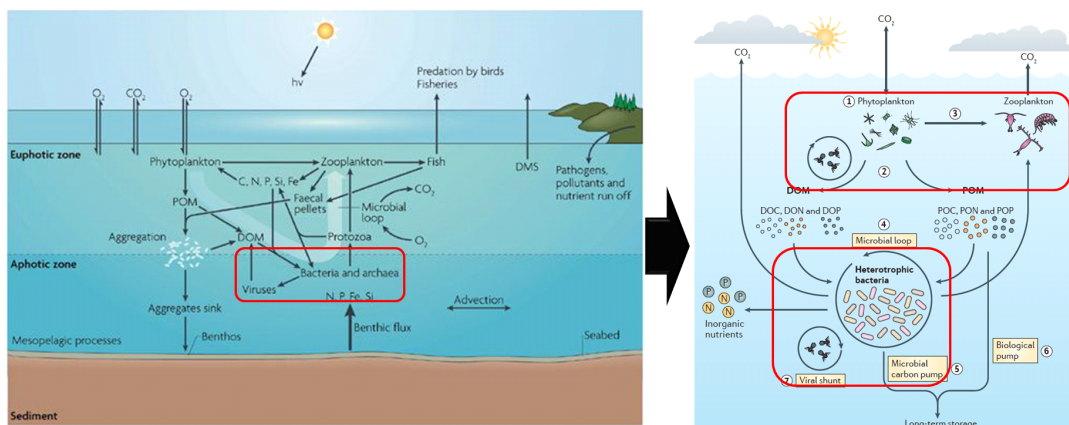
| Family           | Size (nm)  | Host                            | Genus   | Shape   |
|------------------|------------|---------------------------------|---|---|
| Ascoviridae      | 200-240    | Invertebrates                   | <i>Ascovirus</i>  |    |
| Asfarviridae     | 172-191    | Insects, pigs, amoebae          | <i>Asfarvirus</i><br><i>Faustovirus</i>   |    |
| Iridoviridae     | 120-350    | Amphibian, fish, invertebrates  | <i>Megalocytivirus</i> , <i>Ranavirus</i> , <i>Iridovirus</i> ,<br><i>Chloriridovirus</i><br><i>Lymphocystivirus</i>                  |    |
| Marseilleviridae | 250 nm     | Amoeba, human                   | <i>Marseillevirus</i>   |   |
| Mimiviridae      | 400 nm     | Amoeba, protist                 | <i>Mimivirus</i> , <i>Klosneuvirus</i><br><i>Cafeteriavirus</i> , <i>Tupanvirus</i>   |  |
| Pandoraviridae   | ~1,000 nm  | Amoeba                          | <i>Pandoravirus</i>   |  |
| Phycodnaviridae  | 100-220 nm | Algae                           | <i>Chlorovirus</i> , <i>Coccolithovirus</i><br><i>Phaeovirus</i> , <i>Prasinovirus</i><br><i>Prymnesiovirus</i> , <i>Raphidovirus</i> |  |
| Pithoviridae     | ~1,500 nm  | Amoeba                          | <i>Pithovirus</i>   |  |
| Poxviridae       | 200-300 nm | Humans, vertebrates, arthropods | 28 genera   |  |

- 거대바이러스 중 Phycodnaviridae를 통칭해서 phycovirus로 불리우며, 미세조류를 숙주로 함
- Phycovirus는 *Chlorovirus*, *Coccolithovirus*, *Phaeovirus*, *Prasinovirus*, *Prymnesiovirus*, *Raphidovirus* 등 6개의 속으로 구성되며, *Chlorovirus*를 제외한 나머지 5개 속의 바이러스는 해양 미세조류로부터 분리되었음
- 한편, 해양미세조류는 글로벌 일차생산의 약 50%를 차지하며, 글로벌 영양염 순환에 큰 영향을 미침
- 식물플랑크톤의 다양성, 풍부도 및 군집조성의 계절, 환경조건 및 생물학적 과정에 따라 변화하며, 해수내에 존재하는 phycovirus에 의해 식물플랑크톤의 dynamics가 조절되는 것으로 알려져 있음

- 특히 1-2 um 크기의 Micromonas, Bathyococcus, Ostreococcus 등 나노식물플랑크톤은 해양 환경에서 주요 일차생산자이며, 거대바이러스 중 하나인 prasinovirus에 의해 조절됨
- 해양 생태계에서 17% 정도의 일차생산을 담당하는 또하나의 그룹은 남조류이며, 주로 *Synechococcus*, *Prochlorococcus* 등이 전세계 해양에 널리 분포하고 있음
- Caudovirales (Myoviridae, Podoviridae 및 Siphoviridae)에 속하는 cyanophages는 남조류를 감염하는 phages이며, 매일 10-50%의 숙주 사멸에 관여하는 것으로 알려져 있음
- 상기와 같이 phycovirus 및 cyanophages는 해양미세조류 및 남조류의 풍부도 및 다양성을 조절하여 전지구적인 기후변화에서 중요한 역할을 담당하고 있는 것으로 알려지고 있음
- 온도 등과 같은 환경요인의 변화는 바이러스 감염성 및 바이러스 증식에 직/간접적인 영향을 미쳐 숙주의 물질대사 변동을 유발하게 됨
- 따라서 우리나라 연안해수에서의 일차생산자 및 대상 바이러스의 모니터링은 기후변화를 이해하는데 중요한 요인이 될 수 있을 것이며, 대조구로써 북극해 및 열대해역에서의 모니터링은 전지구적인 기후변화 및 영양염 순환을 이해할 수 있는 매우 좋은 단서를 제공해 줄 수 있을 것으로 기대되고 있음

○ 위도에 따른 microbial loops 메커니즘 분석 및 기후변화에 따른 해양생태계 변동 규명

- 해양 생태계의 변동은 해양환경, 생물, 기후 등 지구해양학적 관계와 상호 밀접하게 연관되어 있고, 해양 환경 및 기후의 변화는 생물에 반드시 영향을 미치기 때문에 생물 중심의 생태계 접근이 필요함.
- 기존의 해양 미소생태계의 microbial loops 관련 연구는 DOM/무기영양염-박테리아-식물플랑크톤-동물플랑크톤의 상호작용을 중심으로 보고되고 있었으나, 최근의 연구는 해양 microbial loops에서의 바이러스, 특히 거대바이러스의 역할에 초점이 집중되고 있음.



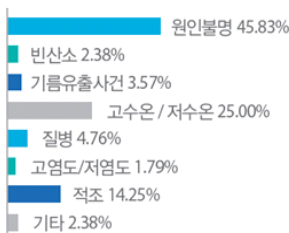
- 전지구적인 온난화의 영향으로 아열대화로 변해가는 우리나라 연안의 생태계 변동을 이해하고 미래 예측을 위하여, 우리나라 연안을 대상으로 집중적인 모니터링이 수행되고 있으나 가시적인 성과를 거두지 못하고 있는 실정임
- 특히 microbial loops를 이해하기 위한 최근의 연구 경향은 해양바이러스를 포함시켜 해석하고자 하는 것인데, 아직까지는 해양바이러스에 의한 영양염 배출, 순환 및 기후변화와의 연관관계 규명과 관련된 연구는 거의 이루어지지 않고 있음
- 우리나라 연안의 microbial loops 메카니즘 규명 및 생태계 변동을 이해하기 위해서는 우리나라 연안 뿐만 아니라 위도를 달리하는 해역에서의 microbial loops 메카니즘의 비교 규명은 필수적인 것으로 판단됨
- 본 연구에서는 우리나라 연안 뿐만 아니라 북극해 및 열대해역에서의 바이러스에 의한 microbial loops의 생태학적 조절 기작 규명 및 상호 비교하여 전지구적인 기후변화에서의 바이러스-숙주 연관관계를 파악하고, 이를 통하여 기후변화에 따른 우리나라 연안생태계의 미래를 예측해 보고자 함

## 2. 연구개발의 중요성

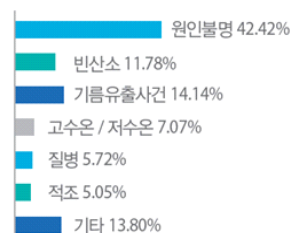
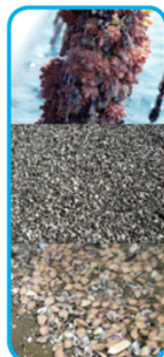
### 가. 연구개발의 중요성

#### ○ 해양바이러스의 위험성

- 전 세계적으로 매년 수백 건 이상의 해양생물 집단폐사가 보고되고 있으며, 그 중 50% 가량의 집단폐사 원인이 규명되고 있지 않은 실정임

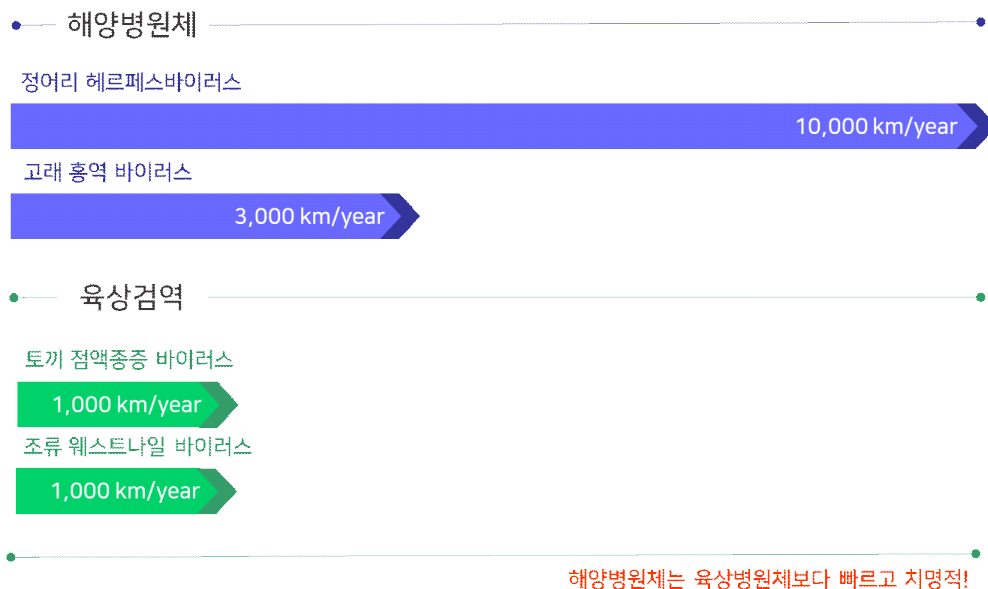


📖 우리나라 해양생물 집단 폐사 보고 (2004-2013, 168건)



📖 전세계적 해양생물 집단 폐사 보고 (2013-2014, 594건)

- 특히 해양바이러스는 전 지구적인 해양환경 문제로 급부상하고 있으며, OECD Global Forum에서도 'Emerging pathogens in the environment'라는 주제로 병원체-질병-환경 변화 간의 연결에 초점을 맞추어 논의된 바 있음.
- 새로운 병원체의 출현과 감염성 질환의 확산은 예방/치료를 위한 기술개발, 생활패턴의 변화, 국가 간의 무역 규제 조치 및 대책, 세계 경제에 이르기까지 일련의 상호작용을 일으킬 수 있을 것으로 생각되고 있음
- 해양병원체는 주로 해류, 선박평형수 및 수입 수산물을 통하여 국내 연안으로 유입되는 것으로 파악되고 있으며, 지구온난화 등 기후변화로 인하여 해외로부터 유입된 병원체의 국내 연안 내 정착 가능성이 높아지고 있음
- 해양바이러스의 감염률은 다른 해양병원체와 큰 차이가 없지만 감염 시 치료 방법이 존재하지 않아 70% 이상의 높은 치사율을 나타내는 등 위험성이 매우 높으며, 해양바이러스는 육상병원체에 비해 훨씬 빠른 전파속도를 가지고 있는 것으로 알려져 있기 때문에 해양바이러스 탐색 및 진단에 대한 국가적 차원의 연구와 기술 개발을 통해 선제적으로 대응할 수 있는 능력을 갖추는 것이 시급함



### ○ 전지구적 온난화에 따른 신규 거대바이러스 출현 및 위험성 경고

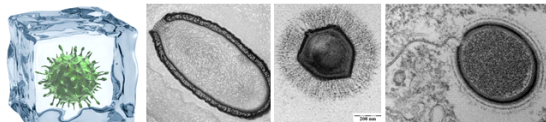
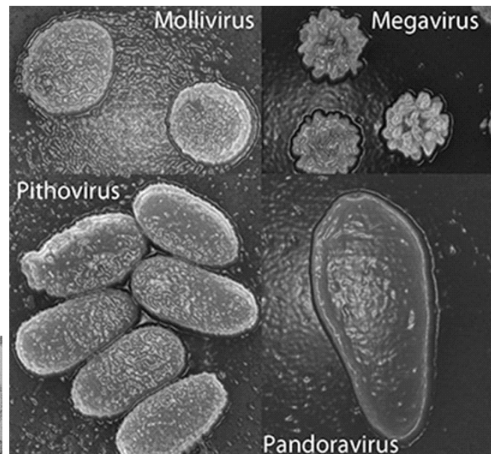
- 최근들어 전지구적인 온난화가 가속화되면서 지구온난화의 위험성 등에 대한 보도가 크게 증가하고 있음
- 글로벌 기온 상승은 빙하 속에 존재하고 있던 거대바이러스를 누출하게 하였고, 3만년전에 존재하던 고대바이러스에 대한 잠재적인 위험성에 대한 경고가 지속되고 있음
- 주로 아메바를 감염시키는 것으로 알려진 거대바이러스는 최근에는 인간을 감염시킬 수 있다고 보고되면서 관심의 초점이 되고 있음



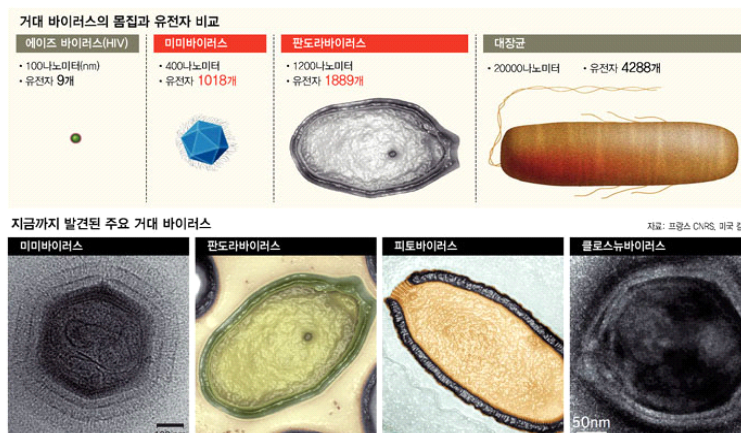
# 크루즈 선원 공격했다사살된 북극곰 뒤엔 '온난화 비극'



**[환경] 지구온난화, 잠자는 거대 바이러스를 깨운다 | 지구환경**  
 시베리아 영구동토에서 '거대 바이러스' 또 발견  
 지구 온난화로 치명적 바이러스가 부활할 가능성이 높은 이유  
 잠든 바이러스도 깨우는 지구온난화  
**지구온난화로 우리나라에서 증가하는 감염 질병**  
 빙하 아래서 거대 바이러스 발견  
 녹고있는 영구동토층 속 3만 년 전 '거대 바이러스' 부활?  
 되살아난 3만년전 거대 바이러스의 의미  
 빙하에서 발견된 고대 바이러스...위험성은?



- 기존에 알려지지 않았던 미미바이러스(Mimivirus)라고 명명된 NCLDV (Nucleocytoplasmic large DNA viruses, giant virus)가 2003년에 처음으로 보고되었으며, 최근에는 시베리아와 오스트리아 등에서도 다양한 NCLDV가 새롭게 확인되었음
- 이들이 약 3만 년 전에 존재하였을 것으로 추정됨에 따라 거대바이러스의 유래, 특성 및 인간 감염 가능성 등의 병리학적인 위험성에 대한 연구가 수행되고 있으나, 아직까지 이에 대한 깊이 있는 연구가 부족함





- NCLDV는 다른 바이러스에 비해 현저히 거대한 크기의 외피 단백질과 유전체를 가지는 것으로 알려져 있음
- NCLDV에 대한 연구가 아주 많이 이루어지지는 않았으나 천연두바이러스 등 인간에 감염될 수 있는 바이러스와 참돔이리도바이러스 등 해양생물에도 감염될 수 있는 바이러스 등이 이미 알려져 있으며, 최근 새로운 종들이 발견되고 주목받고 있으며, 관련 연구가 요구됨
- 알려진 거대바이러스는 9개 families로 구성되며, 척추동물, 무척추동물, 미세조류 등 다양한 진핵생물을 감염시키는 것으로 알려져 있음.
- 미미바이러스, 마르세유바이러스 등은 인간에 감염되어 림프종, 천식, 류마티스 관절염, 인지능력 저하 등의 병을 일으키는 원인 중 하나일 것으로 추정되고 있는 상황이지만, 현재 국내에서 이와 관련된 연구는 거의 진행되고 있지 않은 실정임

| Family           | Host Range                           | Pathogenicity                           |
|------------------|--------------------------------------|---|
| Ascoviridae      | Insect                               |   |
| Asfarviridae     | Swine, Amoeba                        | African swine fever                     |
| Iridoviridae     | Fish, Insect, Amphibia               | Iridoviral and megalocytoviral diseases |
| Marseilleviridae | Amoeba                               | Lymphoma?                               |
| Megaviridae      | Amoeba                               |   |
| Mimiviridae      | Zooplankton, Amoeba                  | Pneumonia? Arthritis?                   |
| Pandoravirus     | Amoeba                               |   |
| Phycodnaviridae  | Alga                                 | Human cognitive function error?         |
| Pithovirus       | Amoeba                               |   |
| Poxviridae       | Insect, Reptile, Bird, Mammal, Human | Smallpox, cowpox                        |

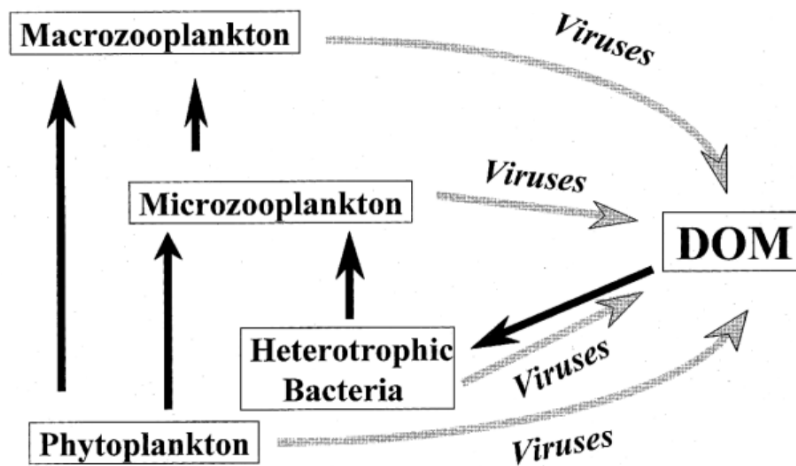
| 논문 발표 년도  | 바이러스 분류          | 증상                 | 국가  | 바이러스 분리 부위 |
|-----------|------------------|--------------------|-----|------------|
| 2006      | Mimiviridae      | 호흡기 감염 및 폐렴        | 프랑스 | 혈청         |
| 2011      | Mimiviridae      | 각막염                | 프랑스 | 컨택트 렌즈     |
| 2012      | Mimiviridae      | 무기력증, 구토, 근육통      | 프랑스 | 혈청         |
| 2012-2013 | Marseilleviridae | -                  | 세네갈 | 대변         |
| 2013      | Marseilleviridae | -                  | 프랑스 | 혈청         |
| 2013      | Mimiviridae      | 호흡곤란, 각혈, 백혈구과다증 등 | 튀니지 | 폐포 세정액     |
| -         | Mimiviridae      | 폐렴, 백혈구과다증, 설사 등   | 튀니지 | 대변         |

○ 해양 광합성 미생물을 감염시키는 거대바이러스의 역할

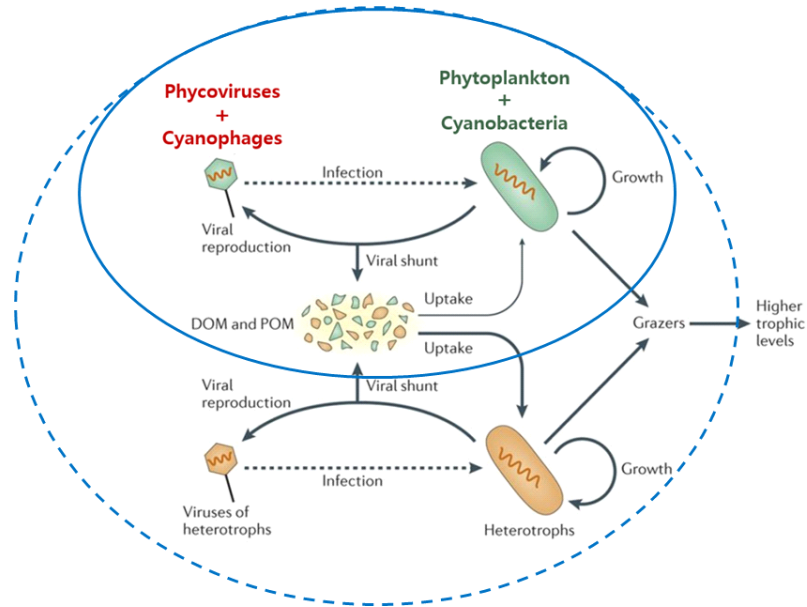
- 지구의 기후는 지난 100년동안 약 0.6°C 증가하였으며, 기후변화가 해양생태계에 심각한 영향을 미치고 있음은 잘 알려져 있음
- 바이러스는 전형적으로 해양 동식물을 감염시키는 병원체이지만, 해양생태계의

생지화학적 과정에서 중요한 역할을 수행하고 있음

- 바이러스는 해양시스템에서 가장 개체수가 많은 것으로 알려져 있으며, 태양광 등 외부환경에 따라 불활성화되거나 파괴되기 때문에 주요 숙주가 되는 박테리아 및 식물플랑크톤 중 상당부분을 감염시켜야 함
- 따라서 바이러스는 해양환경에서 해양미생물의 집단크기, 다양성, 유전자 전달, 영양염이나 유기탄소의 순환 등에 심각한 영향을 미침



- 예비 실험 결과 북극해수에는 해양식물플랑크톤(*Micromonas*, *Bathycoccus*, *Ostreococcus* 등)을 숙주로 하는 *Phycodnaviridae*(*Phycovirus*)가 우점하고 있으며, 열대해수에는 해양 남조류(*Synechococcus* 및 *Prochlorococcus*)를 감염시키는 cyanophages가 우점하는 것을 확인한 바 있음
- 해양시스템에서 일차생산의 50% 이상을 차지하고 있는 식물플랑크톤과 남조류를 숙주로 하는 바이러스가 북극해와 열대해수에서 뚜렷하게 구분된다는 연구결과는 이제까지 보고된 바 없음
- 본 연구의 예비연구에서 확인된 연구결과를 토대로 충분한 시료를 확보하고 및 바이러스-일차생산자 연관관계를 분석 결과를 축적한다면 해양 미소생태계에서 바이러스의 역할을 규명하고자 하는 연구분야의 발전에 크게 공헌할 수 있을 것으로 판단하고 있음
- 특히 기후변화에 따른 우리나라 해양환경의 변화를 예측하고자 하는 다양한 연구가 뚜렷한 연구결과를 내놓고 있지 못한 실정에, 한대, 온대 및 열대 해역에서의 일차생산자의 역할을 조절할 수 있는 해양바이러스 연구가 수행된다면, 전 지구적 기후변화에 따른 국내 해역에서의 환경변화 예측 분야 연구의 괄목할만한 연구결과가 도출될 수 있을 것으로 기대하고 있음



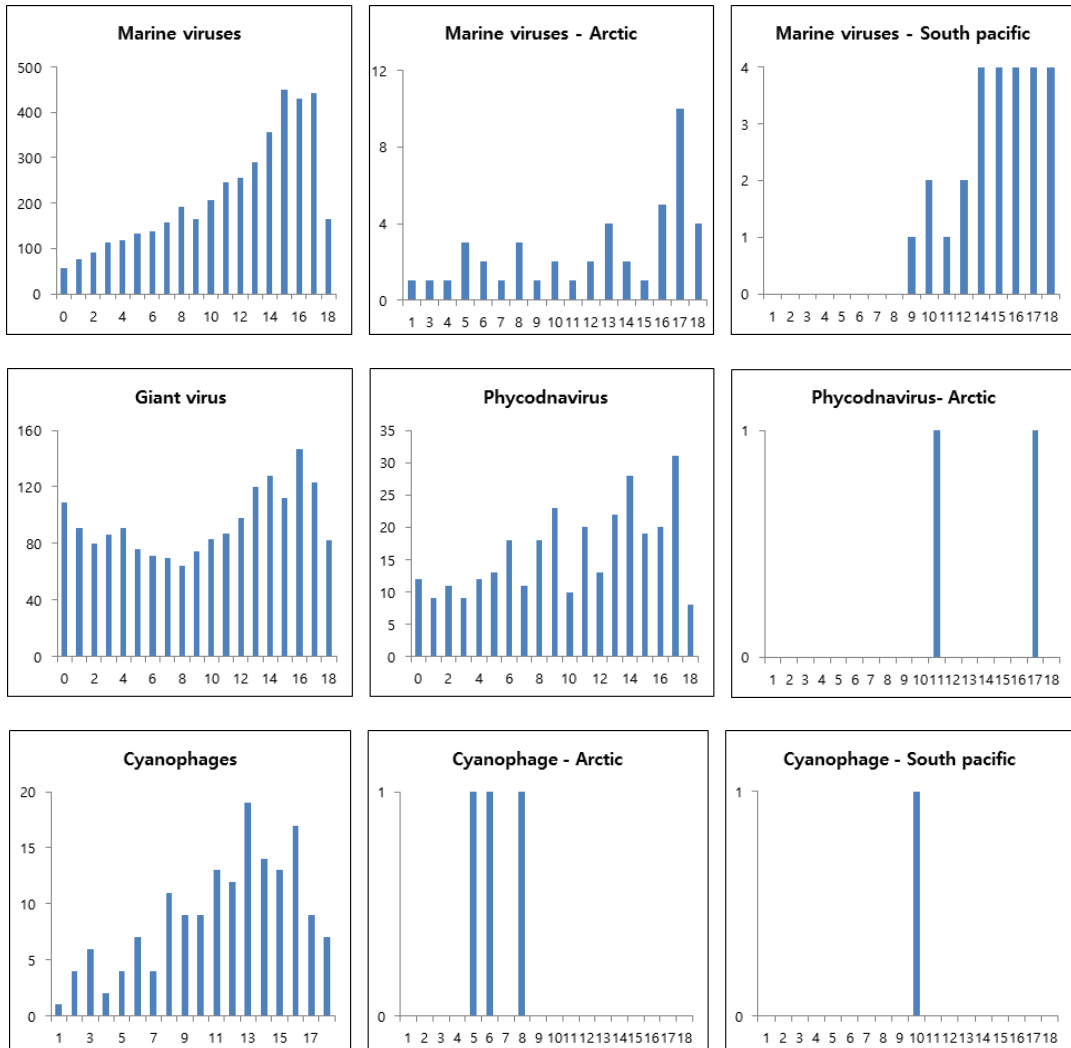
## 나. 연구개발 대상의 국내외 현황

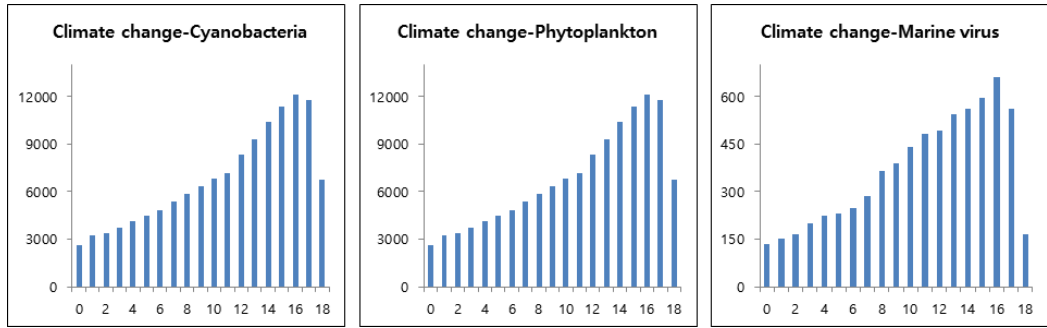
### ○ 해양 바이러스 관련 국내·외 연구 수준 분석

- 해양바이러스 연구는 미국, 영국, 중국, 캐나다, 일본 등이 선도하고 있으며, 특히 해양 분야 연구 강국인 미국과 중국 등의 경우에는 국가적 차원에서 해양병원체 연구를 지원하여 관련 기술 발전을 거듭하고 있음
- 특히 미국은 National Ballast Information Clearinghouse와 Aquatic Nuisance Species Project를 통하여 선박평형수의 이동양상, 외래종의 분포양상 등의 조사연구 수행 및 데이터베이스를 구축 운영하고 있음
- 일본에서는 외래종, 위험종을 대상으로 이들의 유입경로와 종 목록에 대한 연구를 수행한 바 있으며, 선박에 의한 영향이 우세하였음을 증명한 바 있음
- 국내 연구 기관에서 글로벌 감염성 해양병원체 탐색 및 진단 기술 개발 연구와 선박평형수 유래 해양병원체 모니터링 및 진단 기술 개발 연구를 통하여 해수 및 선박평형수 유래 해양바이러스 탐색 및 진단에 대한 기반 기술 연구를 수행한 바 있음
- 국내 일부 대학과 연구원 및 기업 등에서 산발적으로 해양바이러스에 대한 소규모의 연구가 진행되었으나 해양바이러스 분야 자체가 연구 초창기이기 때문에 연구 성과는 많지 않음
- 해양바이러스 관련 연구에서는 미국과 중국, 일본 등이 선두 그룹을 형성하고 있으며 한국은 선두 그룹을 쫓아가는 형태로 최근 10년간 논문 수에서 5위권을 유지함
- 해양바이러스 측면에서는 국내 연구 결과가 부족한 실정이지만, 전세계적 기술수준의 차이가 크지 않기 때문에 집중적인 투자와 연구가 이루어진다면, 충분히 수월성을 확보할 수 있음

○ 해양바이러스, 거대바이러스, 일차생산자 및 기후변화 관련 연구 동향

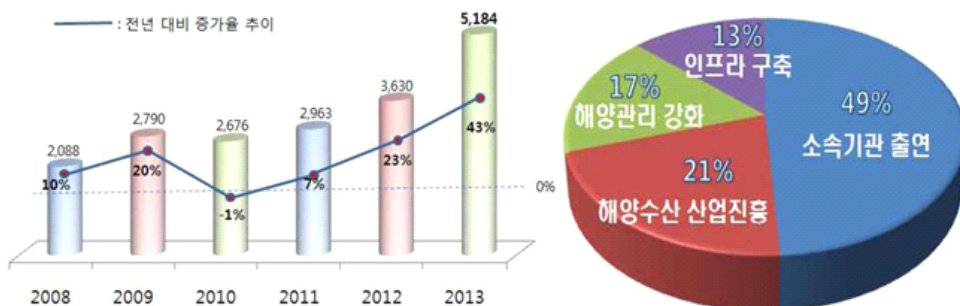
- 2000년 이후 전세계적인 연구논문 현황을 검색하였을 때, 해양바이러스를 키워드로 작성된 논문은 2014년 이후 약 450편의 논문이 출간되었으며, 북극해 및 열대해역을 대상으로 해양바이러스 연구결과는 미미하였음
- 거대바이러스 관련 논문은 2000년 이후 약 100-150편 정도의 연구결과가 보고되고 있으나 phycodnavirus 관련 논문은 최근에 발표가 시작되고 있는 수준임
- Cyanophages 관련 연구는 2000년 이후 꾸준히 증가하고 있는 수준이지만, 북극 및 남태평양에서의 cyanophages 연구논문은 아직까지 매우 드문 실정임
- 기후변화와 남조류 및 미세조류를 키워드로 분석하였을 때 최근들어 10,000건 이상의 논문이 출판되고 있으며, 남조류와 미세조류에서 거의 차이가 없었으나, 기후변화와 해양바이러스를 키워드로 검색하였을 때는 최고 600 건 정도로 연구 논문의 수가 크게 줄어드는 결과를 확인하였음





○ 국가별 해양 관련 R&D 현황

- 미국: ‘통합해양정책’(2009년)을 통해 연안 및 해양공간 계획을 수립하고 전략적 R&D 추진함. 해양수산 R&D 예산은 약 11.4조원으로 국가 총 R&D 예산 대비 7.3%(2010년 기준), 한국의 20배 수준임. 주요 투자분야는 해양환경, 해사안전, 국제연구 및 해양관측·예보 등에 집중함.
- 중국: ‘해양과학기술 2050 로드맵’(2010년) 수립을 통해 해양자원 이용, 해양 건강성 및 안전 확보, 해양력 강화를 위한 R&D 전략을 제시함. 해양 수산 R&D 예산은 약 2.4조원으로 국가 총 R&D 예산 대비 7.0% 비중(2010년 기준), 한국의 약 5배 규모임.
- 일본: ‘재 2차 해양기본계획’(2013년)을 수립하여 해양 주도권을 확보함. 새로운 해양산업의 육성을 위한 해양과학기술 고도화 추진, 해양 수산 R&D 예산은 약 2.5조원으로 국가 총 R&D 예산 대비 5.0% 비중(2010년 기준), 약 한국의 5배 규모임.
- EU: ‘통합해양정책’(2007년)을 수립하여 유럽 각 국가간 해양과학기술 협력의 기본 원칙과 해양산업의 경쟁력 유지를 위한 방안 등을 제시함. 주요 투자 분야는 해양에너지, 심해저 탐사, 기후변화 대응, 연안 연구 등임.
- 한국: ‘2020 해양과학기술로드맵’(2011년)에 수산분야를 포함하고, 최근 대내외 여건 변화를 반영한 중장기 R&D 추진전략을 마련함. 해양수산 R&D 예산은 2006년부터 연평균 19.1% 증가하여 2013년 5,184억원 규모로 확대를 예상함. 그러나 주변 경쟁국에 비해 투자규모는 5~25% 수준으로 세계적 해양선점 경쟁에 한계가 있음.
- 국가 R&D 대비 해양 R&D 비중 : 미국 7.3%(2010년), 일본 5.0%(2010년), 중국 7.0%(2010년), 한국 2.9%(2013년)



국내 해양과학 관련 R&D 현황

### 3. 연구개발 과제의 중복성

#### 가. 타과제 중복성 검토

##### ○ NTIS 과제 현황

- NTIS에서 marine virus와 marine ecosystem을 키워드로 기수행 및 수행중인 과제를 검색하였을 때, 글로벌 감염성 해양바이러스 병원체 모니터링 및 프로파일링 과제를 포함하여 7개 과제가 확인되었음

| 부처명       | 사업명            | 과제명                                 | 연구기관      | 연구책임자 |
|-----------|----------------|-------------------------------------|-----------|-------|
| 과학기술정보통신부 | 바이오.의료기술개발     | 글로벌 감염성 해양바이러스 병원체 모니터링 및 프로파일링     | 한국해양과학기술원 | 이택건   |
| 과학기술정보통신부 | 해양극지기초원천기술개발   | 해양 유해 미세조류 대발생/소멸기작 규명 및 제어기술 개발    | 한국해양과학기술원 | 백승호   |
| 미래창조과학부   | 일반연구자지원(미래부)   | 해양 무척추동물 공생 바이러스 메타게놈 분석 기술 개발 및 연구 | 부경대학교     | 김경호   |
| 해양수산부     | 한국해양과학기술원연구운영비 | 남해생태계 이머징 해양병원체 탐색 및 검출기술 개발        | 한국해양과학기술원 | 이택건   |
| 교육부       | BK21플러스사업(0.5) | 기후환경 변화에 따른 연안생태 예측 연구              | 전남대학교     | 김광용   |
| 해양수산부     | 수산시험연구         | 남해 연안어업 및 환경 생태 조사                  | 국립수산과학원   | 최희구   |
| 과학기술정보통신부 | 개인기초연구(미래부)    | 오믹스를 이용한 고세균-세균 상호작용의 생태학적 이해       | 충북대학교     | 김종걸   |

##### ○ 중복성 검토

- 검색된 연구과제 중 해양생태계 관련 연구는 해양 유해 미세조류 대발생/소멸기작 규명 및 제어기술 개발, 기후환경 변화에 따른 연안생태 예측 연구, 남해 연안어업 및 환경 생태 조사 등이 있으나 바이러스가 포함되어 생태계를 이해하고자 하는 연구는 확인되고 있지 않음
- 박테리아를 포함하여 해양병원체 관련 연구는 4개 과제가 수행되고 있지만, 아직까지는 메타게노믹스를 이용한 연구가 주를 이루고 있음.
- 특히 검색결과에서 볼 수 있는 바와 같이 해양바이러스 탐색과 관련된 연구는 해양과학기술원을 중심으로 연구가 진행 중이며, 남해생태계 이머징 해양병원체 탐색 및 검출기술 개발, 글로벌 감염성 해양바이러스 병원체 모니터링 및 프로파일링 등 2개의 과제를 통하여 해양바이러스를 탐색하는 연구가 수행되고 있음
- 그러나 상기 2개의 과제도 해양바이러스의 군집구조 변동 등을 밝히고자 하는 수준에 머무르고 있고, 거대바이러스와 일차생산자와의 연관관계를 규명하고 하는 연구는 아직까지 수행된 바 없음
- 따라서 거대바이러스와 일차생산자와의 연관관계를 규명하고, 해양미소생태계 연구에 거대바이러스를 접목하고자 하는 본 연구과제는 기수행된 다른 과제와 차별성 및 독창성을 확보하고 있다고 판단됨

## 4. 연구원의 비전 및 기능, 중기전략 계획 등과의 연계성

### 가. 해양과기원 임무 및 경영목표 등과의 연계성

- KIOST 경영목표 추진전략 중 ‘도적적 원천·융합 연구 강화’에 해당되며 4대 전략목표 중 ‘기후·환경변화 대응’의 기후변화 예측 및 해양환경 개선 분야에 해당됨.
- KIOST 핵심가치의 세계 최고수준의 우수연구에서 국가해양현안 해결에 지원하고 창의적 연구 및 연구성과가 기대

### 나. 국가적 아젠다(정부 140대 국정과제, 제3차 과학기술기본계획 등)와의 연계성

- 6. 주체 간, 분야 간 융합과 협력 활성화: 본 연구는 다양한 분야가 포함된 다학제적 연구가 필수적이며 이를 통해 새로운 과학적 지식 창출 및 환경현안 해결 가능
- 13. 해양 신성장 동력 창출 및 체계적 해양관리: 본 연구를 통한 해양 생태계 변화 규명은 안전하고 체계적인 해양관리가 가능

## Ⅱ 선행 연구 분석



# 1. 병원성 해양 바이러스

## 가. 바이러스 검출 진단

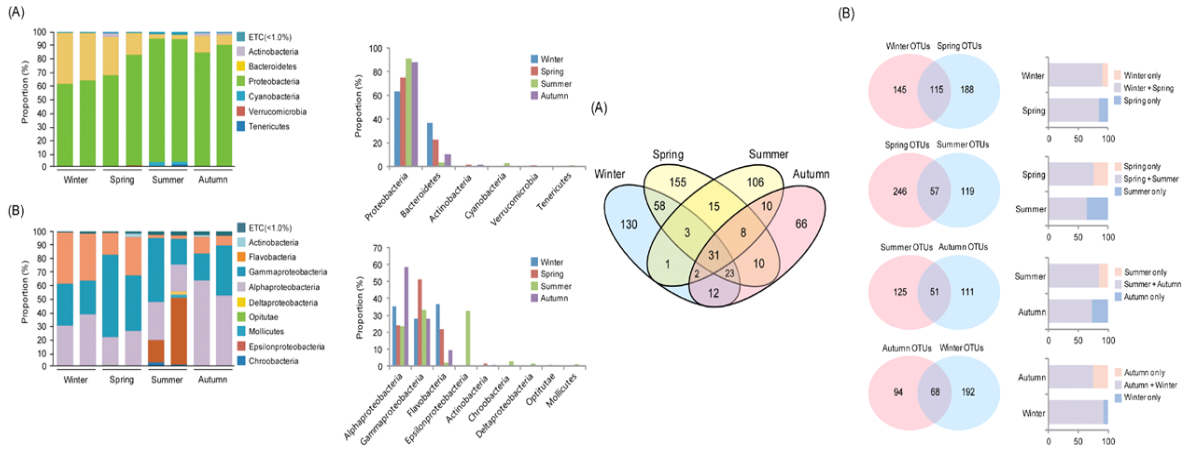
### ○ 선행 연구과제

- 병원성 해양바이러스 진단을 위한 yeast surface display 시스템 개발 : 해양바이러스 외피단백질을 항원으로 개발하기 위한 YSD 시스템 개발
- 해양병원체 진단 및 예찰시스템 개발 기획연구: 국내외 해양병원체 관련 연구 및 기술개발 동향 분석
- 기후변화에 따른 해양 세균성 병원체의 탐색 기술 개발: 우리나라 및 남태평양 해수에서의 해양박테리아 병원체 탐색 및 진단기술 개발
- 남해생태계 이머징 해양병원체 탐색 및 검출기술 개발: 해류를 통하여 우리나라로 들어올 수 있는 해양바이러스, 해양박테리아 및 기생충 탐색을 위한 metagenomics 기법 적용을 수행하였으며, 일부 해양바이러스 진단기술을 개발함
- 선박기인 외해 해양병원체 탐색 및 진단기술 개발: 선박평형수를 통하여 국내 연안으로 유입될 수 있는 해양병원체의 목록을 작성하고, 선박평형수 처리규정에 맞는 진단기술을 개발함
- 해양바이러스 병원체 진단기술 실용화 기술 개발: 해양바이러스 4종을 검출할 수 있는 진단기술 개발, 시제품 제작 및 기술지원
- 글로벌 감염성 해양바이러스 병원체 모니터링 및 프로파일링: 선박평형수 및 우리나라 주요항만에서의 감염성 해양바이러스를 모니터링 하고 특성을 분석하고자 함

| 과제명  | 수행년도                | 총 연구비 (천원) | 발주처      |
|--|---------------------|------------|----------|
| 글로벌 감염성 해양바이러스 병원체 모니터링 및 프로파일링                | 2017. 09 - 2022. 05 | 1,000,000  | 과기 정통부   |
| 해양바이러스 병원체 진단키트 실용화 기술 개발                      | 2016.07 - 2017.12   | 540,000    | 해양과학기술원  |
| 선박기인 외해 해양병원체 탐색 및 진단기술 개발                     | 2016. 07 - 2016. 12 | 220,000    | 해양환경관리공단 |
| 선박기인 외해 해양병원체 탐색 및 프로파일링                       | 2015. 07 - 2015. 12 | 98,000     | 해양환경관리공단 |
| 남해생태계 이머징 해양병원체 탐색 및 검출기술 개발                   | 2013. 01 - 2015. 12 | 1,240,000  | 해양과학기술원  |
| 기후변화에 따른 해양 세균성 병원체 탐색기술 개발                    | 2013. 01 - 2014. 12 | 150,000    | 식약처      |
| 해양병원체 진단 및 예찰시스템 개발 기획연구                       | 2013. 10 - 2014. 04 | 60,000     | 해양수산부    |
| 병원성 해양바이러스 진단을 위한 yeast surface display 시스템 개발 | 2012. 03 - 2013. 02 | 68,000     | 해양과학기술원  |

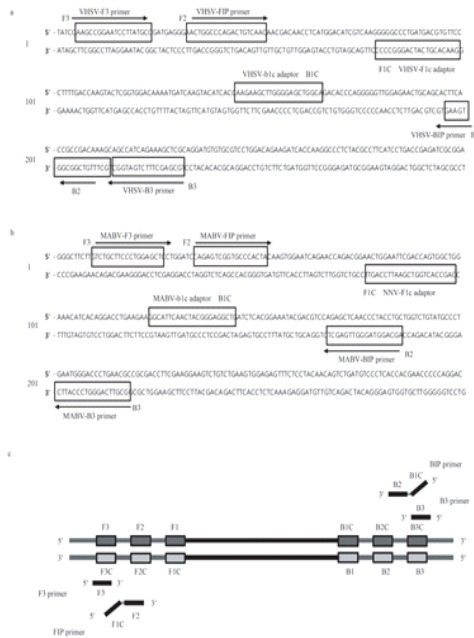
### ○ 해양박테리아 병원체 탐색 연구

- Metagenomics를 이용하여 통영, 고성, 제주, 울릉도, 대만 및 남태평양 해수에서의 해양박테리아 군집을 분석하고, 병원성 해양박테리아의 시공간적 변동을 분석함 (Suh et al., 2014a; 2014b; 2015)



### ○ 해양바이러스 검출기술 개발

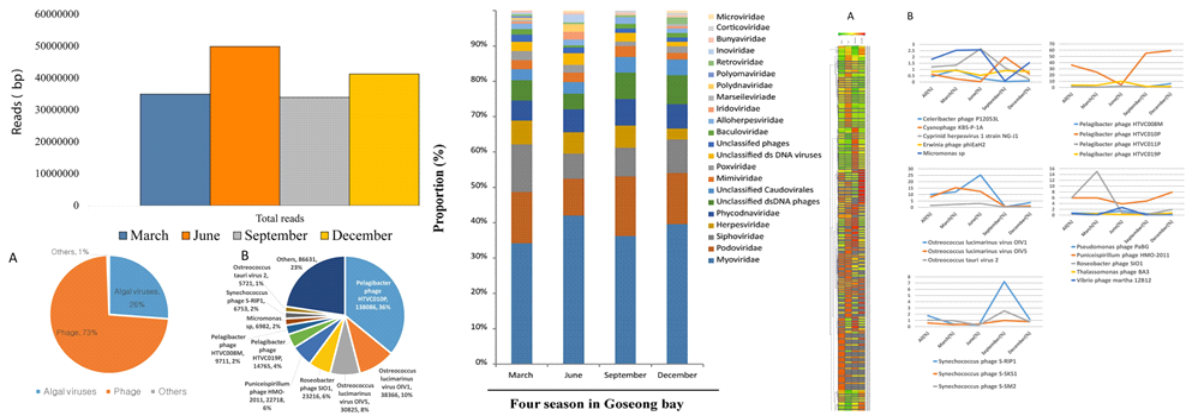
- qPCR 및 LAMP 기법을 적용한 감염성 해양바이러스(RSIV, NNV, VHSV, MABV) 검출 기술을 개발하였음.
- 특히 rkr 바이러스에 맞는 LAMP 프라이머를 디자인하였으며, 최적의 반응시간 및 반응조건을 정립하였음(Hwang et al., 2015, 2016a, 2016b).



### 나. 바이러스 모니터링

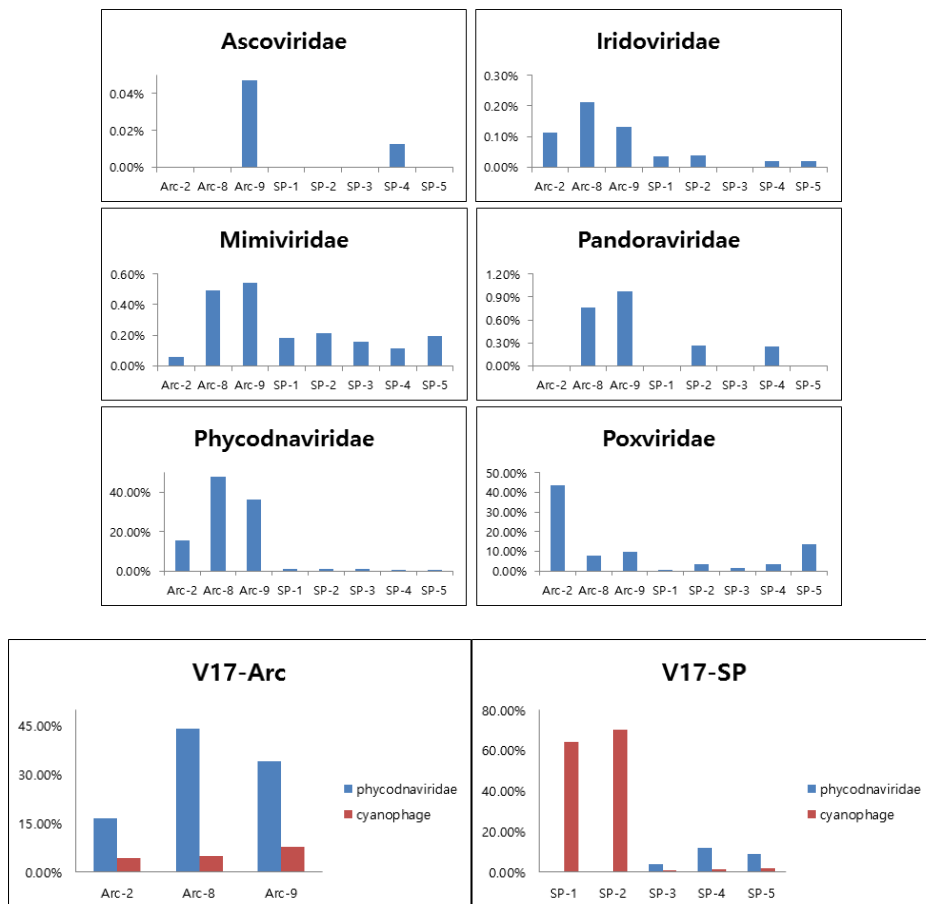
#### ○ 해양바이러스 탐색 연구

- Metagenomics를 이용하여 고성만, 제주, 선박평형수 내 해양바이러스 군집 변화를 분석함(Hwang et al., 2016, 2017)



○ 북극 및 남태평양 해수에서의 거대바이러스 및 phages 분석

- 북극 및 남태평양 해수에서의 거대바이러스를 분석하였음
- 대부분의 거대바이러스가 남태평양에 비해 북극해수에서 많이 존재하는 것으로 나타났음
- 특히 미세조류 및 남조류를 숙주로 하는 phycovirus 및 cyanophage의 경우 각각 북극해와 남태평양 해수에서 높게 나타나, 각 해역에서의 일차생산자 및 대응 바이러스의 군집이 뚜렷하게 구분됨을 확인하였음

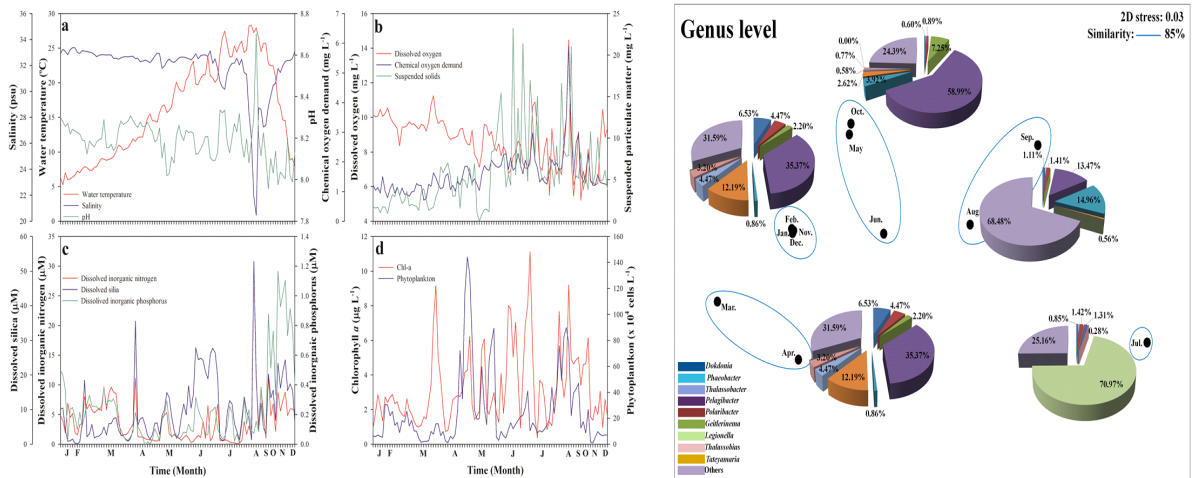


## 2. 기초생산자 Coupling

### 가. 박테리아와 기초생산자 관련 연구

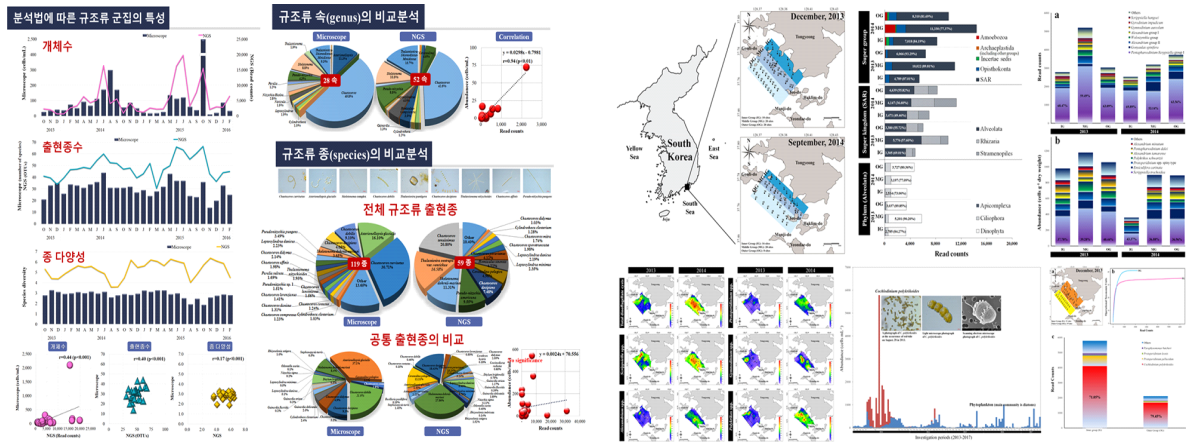
#### ○ 박테리아 vs. 기초생산자 (식물플랑크톤) coupling 연구

- 우리나라 남해 연안의 microbial loops 연구 일환으로 장목만에서 기초생산자와 박테리아의 상호 관계의 연구를 수행하였음.
- 연구 결과, 기초생산자인 식물플랑크톤 군집을 제어할 수 있는 박테리아 군집의 연관된 상호관계는 없었으며, 박테리아 군집은 microbial loops에서 분해자로서의 기능이 규명되었음.
- 또한 박테리아 군집의 월별 변화의 profile을 정립하였음 (Kim et al., 2016).

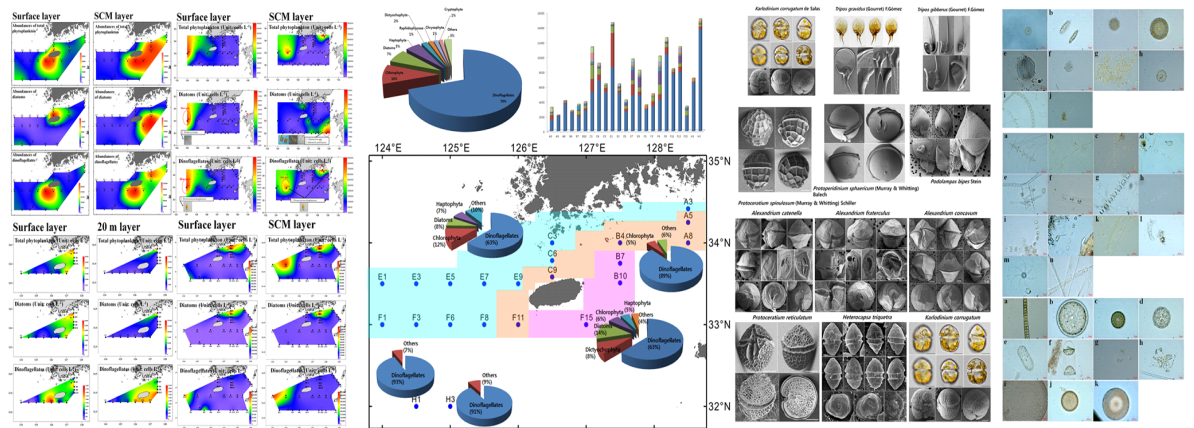


#### ○ 차세대 염기서열 분석법을 도입한 일차생산자 군집 분석 기법 연구

- 우리나라 남해 (통영) 연안 해역에서 식물플랑크톤 군집의 변동을 파악하기 위하여 차세대 염기서열 분석(NGS, Next-Generation Sequencing analysis)을 통하여 군집 변동을 파악함.
- 또한 현미경 분석과 비교 분석하여 분석법의 정확성을 규명함 (Jung et al., 2018. Submitted).
- 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides*의 생태학적 발생기작을 파악하기 위하여 *C. polykrikoides* cysts (씨앗)을 NGS 기법을 통해 와편모조류 및 *C. polykrikoides* cysts 군집을 분석하였고, 이에 따라 cysts에 따른 *C. polykrikoides* 적조 발생은 어려울 것이라는 의견을 제시함 (Jung et al., 2018).



- 쿠로시오 난류의 영향에 따른 우리나라 남해 연·근해/외해 식물플랑크톤 군집을 현미경 및 NGS 분석을 통해 계절별 군집의 변동을 파악하였음.
- 쿠로시오 난류에 의한 동중국해의 식물플랑크톤 군집은 크게 3개의 그룹으로 구분되었으며, nano size 녹조류에 의한 영향 및 와편모조류에 의한 영향, 규조류 및 기타 식물플랑크톤에 의한 영향으로 나타났음.
- 특히, 외양에서는 와편모조류 및 nano size 녹조류가 큰 영향을 미친다는 것을 본 연구를 통해 규명하였음 (Jung et al., 2018. Submitted).

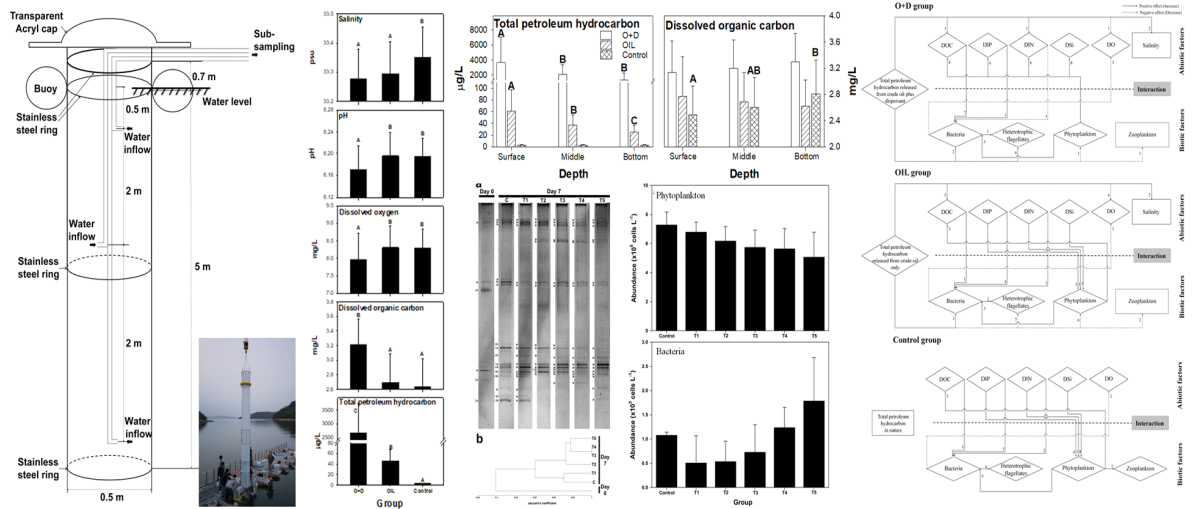


## 나. 인공생태계 연구

### ○ 외부 인위 오염 인자 노출시 Microbial loops의 변화 인공생태계 연구

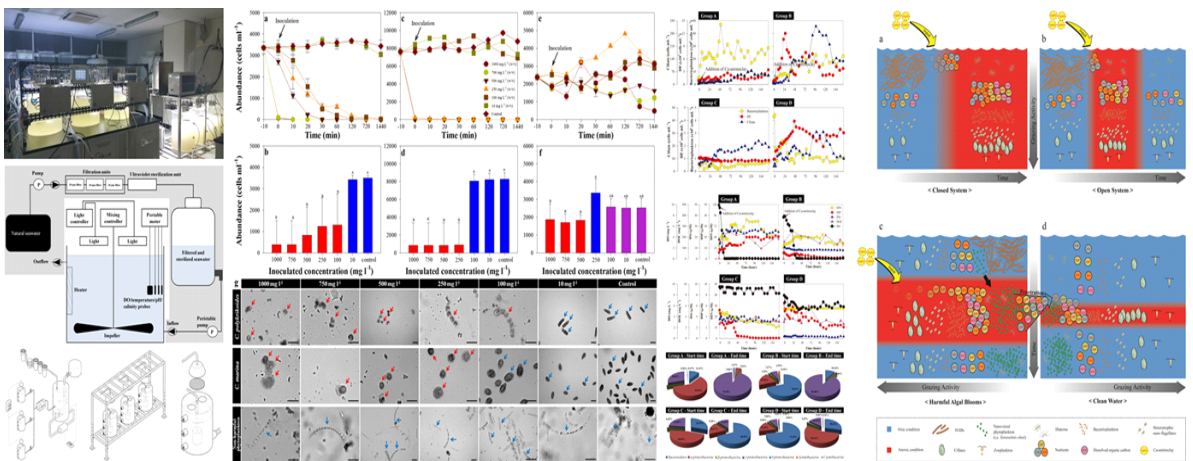
- 현장 인공생태계에서 유류 오염 사고에 따른 해양 미소생태계 변화를 파악하였음.
- 이때 유류 사고에 의한 해양생태계 변화보다 유류를 제거하기 위한 유화제 처리시 해양생태계가 빠르게 변화되었고, DOM의 빠른 증가에 따른 박테리아의 분해가 활발한 것을 파악하였음(Jung et al., 2010; 2012).





○ 적조 제어 세균 (물질) 접근에 따른 적조생물의 생태계 변화 인공생태계 연구

- 적조를 생태학적 제어를 위한 다양한 살조세균(적조 제어 세균) 또는 살조 물질을 적조생물에 투입시 생태계 변화를 파악하기 위한 인공생태계 연구를 수행함.
- 살조세균 및 살조물질 투입시 환경은 빠르게 혐기적 상태로 변화하였으며, 적조생물은 즉시 또는 대부분 12시간 이내에 빠르게 사멸하는 것을 관찰하였음.
- 또한 적조생물 분해에 따른 풍부한 영양분의 공급에 따라 박테리아의 소비가 빠르게 발생하고, 이에 따른 Heterotrophic flagellate 또는 섬모충과 같은 상위 소비자의 증가가 빠르게 증가하는 microbial loops의 변화를 보임(Jung et al., 2008; 2013; 2015; 2017)



### Ⅲ 연구개발의 목표

# 1. 연차별 연구개발의 목표 및 내용

## 가. 정성적 목표

(단위 : 천원)

| 구분              | 연차별 성과목표 및 연구내용              |  |              |
|-----------------|------------------------------|--|--------------|
|                 | 성과목표                         | 연구내용   | 연구비<br>(직접비) |
| 1차년도<br>(2018년) | 1. 선행 연구결과 분석                | 1-1. 북극/우리나라/남태평양 시료 분석 및 연구 결과 분석             | 20,000       |
|                 | 2. 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 | 2-1. 우리나라 및 남태평양 해양 환경/ 일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 조사 | 80,000       |
|                 | 계                            |  | 100,000      |
| 2차년도<br>(2019년) | 1. 해양 일차생산자 및 해양바이러스 모니터링    | 1-1. 주요 위도별 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링          | 100,000      |
|                 | 2. 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 | 2-1. 주요 위도별 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 규명       | 50,000       |
|                 | 3. 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 분석 | 3-1. 해양바이러스-일차생산자 감염시스템 구축 및 omics 기반 세포반응 분석  | 150,000      |
|                 | 계                            |  | 300,000      |
| 3차년도<br>(2020년) | 1. 해양 일차생산자 및 해양바이러스 모니터링    | 1-1. 주요 위도별 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링          | 100,000      |
|                 | 2. 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 | 2-1. 주요 위도별 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 규명       | 50,000       |
|                 | 3. 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 분석 | 3-1. 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 및 연관관계 분석          | 150,000      |
|                 | 계                            |  | 300,000      |
| 4차년도<br>(2021년) | 1. 해양 일차생산자 및 해양바이러스 모니터링    | 1-1. 주요 위도별 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링          | 50,000       |
|                 | 2. 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 | 2-1. 주요 위도별 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 규명       | 150,000      |
|                 | 3. 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 분석 | 3-1. 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 세포 반응 분석              | 100,000      |
|                 | 계                            |  | 300,000      |



## 나. 정량적 목표

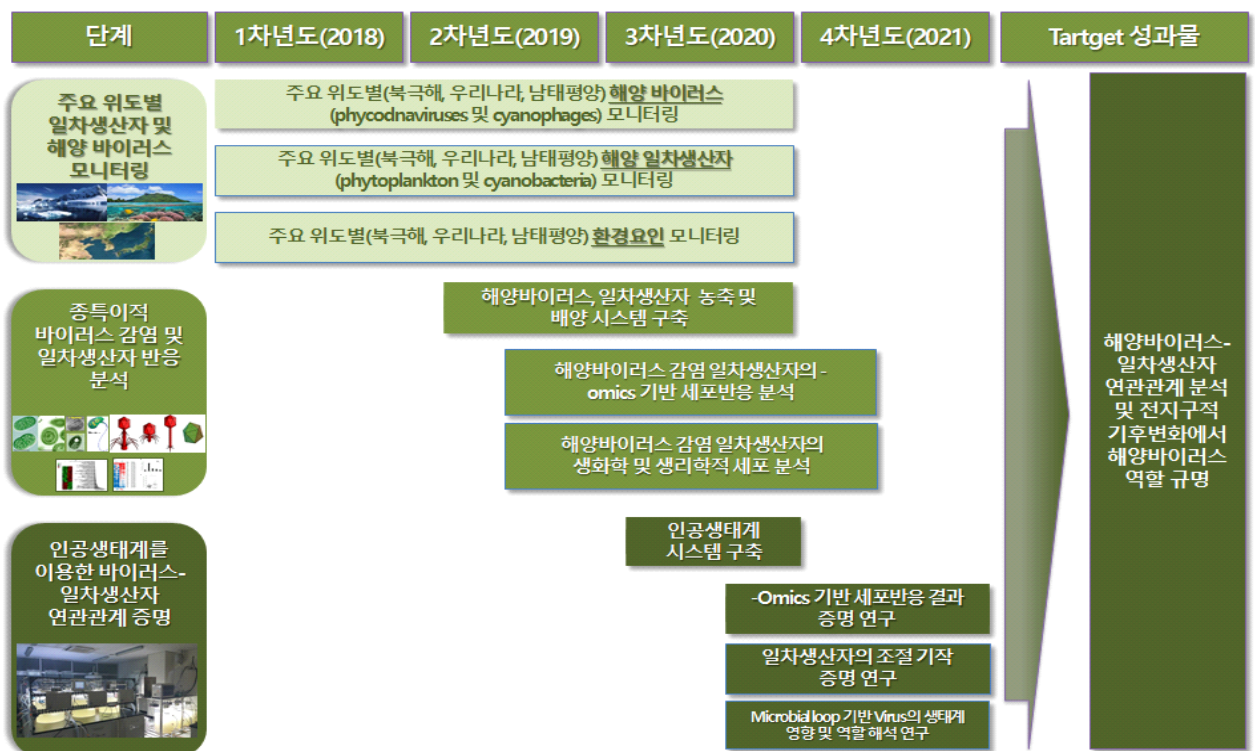
| 구분 | 달성 목표(건)         | 예상성과(결과물)의 주요 내용                              |
|----|------------------|---|
| 논문 | PNAS 급 이상 저널에 게재 | 1 위도별 해양 바이러스 - 일차생산자의 생태학적 특성 및 생리세포학적 반응 규명 |
|    | JCR 저널 논문        | 6 본 연구에서 생산된 결과 발표                            |

※ 정량목표 설정 근거(또는 당위성)

○ PNAS 급 이상 저널 논문 1편 및 JCR 저널 논문 6편

- 전 지구적으로 기후변화(온난화)로 인한 해양바이러스(giant-virus)의 위험성에도 불구하고 연구동향은 미미함. 따라서 본 연구의 Novelty가 있다고 판단됨.
- 대부분의 기존 연구결과는 특정해역을 중심으로 연구가 되어 있으나, 본 연구는 북극해-우리나라-남태평양의 위도별 변화를 파악하기 때문에 글로벌한 이슈를 유도할 수 있다고 판단됨.
- 특히, 위도별 해양 바이러스-일차생산자간의 커플링 연구는 본 연구가 최초이기 때문에 PNAS 급 이상 저널에 출판할 수 있다고 판단됨.
- 본 연구진이 제시한 정량적 성과목표는 PNAS 급 이상 저널 1편 및 연구과정에서 생산된 결과물을 가지고 JCR 저널 6편을 목표로 설정하였으나, 이는 최소의 성과목표이며 본 연구진의 가설이 증명된다면 PNAS 급 이상 저널 2편 이상이 가능할 것으로 판단하고 있음.

## 다. 총 연구기간 로드맵(4개년)



## **IV 2018년 연구내용**

---

# 1. 계획대비 연구 수행의 적절성

## 가. 연구수행의 적절성

### 1) 전략 목표

- ‘해양 미소생태계 및 전지구적 기후변화에서 해양바이러스의 역할을 규명’하기 위하여 3가지 전략목표를 중심으로 유기적인 연계 연구 방안 수립으로 구성



### ○ 전략목표 1. 주요 위도별 일차생산자 대응 해양 바이러스 모니터링

- 북극/우리나라/남태평양 기존 시료 NGS 분석 및 연구 결과 분석을 수행함.
- 북극은 극지 연구소와 연계하여 2017, 2018년 북극해 해양 바이러스 시료를 확보하여 해양 바이러스 및 해양 일차생산자를 PCR 및 NGS 분석을 통하여 결과를 생산함.
- 또한 우리나라 및 남태평양 시료의 해양 바이러스 및 해양 일차생산자는 기존 분석 결과를 재해석함.
- 위 결과를 바탕으로 해양 바이러스에 의한 일차생산자간의 상관관계를 도출함.

- 주요 위도별(북극해, 우리나라, 남태평양) 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링을 수행함.
- 분자생물학 기반 해양 일차생산자의 모니터링은 특정 분자 마커를 이용하여 phytoplankton 및 cyanobacteria를 분석을 수행하며 해양 바이러스는 phytoplankton을 감염시키는 giant-virus (phycodnavirus) 및 cyanobacteria를 감염시키는 cyanophages의 모니터링을 수행함.
- 또한 주요 위도별 환경 모니터링을 수행함. 모니터링 횟수는 우리나라 연안의 경우 월별 (또는 계절별) 조사를 원칙으로 하되 북극해 또는 남태평양의 경우 연 2회의 모니터링을 기본으로 수행함.

### ○ 전략목표 2. 종 특이적 바이러스 감염 및 일차생산자 반응 분석

- 해양 바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 및 연관관계를 규명하기 위하여 각 위도별 해양 바이러스를 현장에서 대량 농축 및 배양, 유지하여 실험실로 이동함.
- 또한 각 위도별 중요 일차생산자 (예: 북극해: phytoplankton, 남태평양: cyanobacteria)를 분리 및 1차 배양, 유지하여 실험실로 이동함.
- 이렇게 이동된 일차 생산자는 대량 배양을 위하여 배양 시스템을 구축후 소형 In-door 인공생태계에서 해양 바이러스-일차생산자 반응 연구를 수행함.
- 이때 일차생산자의 바이러스 감염에 의한 생사를 판별하고 감염에 대한 일차생산자의 omics 기반 세포 반응을 분석하며 활성산소와 같은 생화학 및 생리학적 세포반응을 분석함.

### ○ 전략목표 3. 인공생태계를 이용한 바이러스-일차생산자 연관관계 증명

- 주요 위도별 해양 바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향을 규명을 위하여 해양 바이러스 및 해양 일차생산자의 모니터링의 결과를 바탕으로 phytoplankton vs. phycodnavirus 와 cyanobacteria vs. cyanophages의 상관관계를 도출함.
- 이때 위도별 해양 바이러스가 일차생산자에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 변동을 규명함. 위의 결과 및 해양 환경 모니터링 결과를 바탕으로 위도별 해양 바이러스에 의한 일차생산자에 조절 기작 및 이에 따른 microbial loops에서 해양 바이러스-일차생산자 연관관계 활용방안을 도출함.

### ○ 최종목표. 인공생태계를 이용한 바이러스-일차생산자 연관관계 증명

- 최종적으로 주요 위도별 시료채취, 분자생물학적 군집조성, 감염 노출, 세포반응 분석 등을 통한 해양바이러스-일차생산자 연관관계 분석 및 전지구적 기후변화에서의 해양바이러스의 역할을 규명함.

2) 연구개발 추진체계 및 수행방법

|         |                                      |
|---------|--------------------------------------|
| 해당연도    | ○ 선행 연구결과 분석                         |
| 연구개발 목표 | ○ 우리나라 및 남태평양 해양 일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 |

| 세부 성과목표                      | 세부 연구개발 내용 및 범위                                   | 연구비(천원) | 수행기관  |
|------------------------------|---|---------|-------|
| 1. 기존 선행 연구결과 및 기존 시료 분석     | 1-1. 선행 연구결과(문헌) 분석<br>1-2. 북극/우리나라/남태평양 기존 시료 분석 | 40,000  | KIOST |
| 2. 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 | 2-1. 우리나라 및 남태평양 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 조사     | 60,000  | KIOST |

| 연구개발내용 수행방법  |  |
|--|--|
| ○ 선행연구결과 분석: 기존 연구결과 문헌 분석                                     |  |
| ○ 북극/우리나라/남태평양 기존 시료 분석 및 연구 결과 분석                             |  |
| - 북극: 2017, 2018년 북극해 해양 바이러스 시료(극지연구소 연계) NGS 분석 및 결과 해석      |  |
| - 우리나라/남태평양 분석 결과 해석   |  |
| - 해양 바이러스에 의한 일차생산자 상관성 도출                                     |  |
| ○ 우리나라 및 남태평양 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 조사                     |  |
| - NGS 기반 우리나라 및 남태평양 해양 일차생산자 (미세조류 및 남조류) 모니터링                |  |
| - NGS 기반 우리나라 및 남태평양 해양 바이러스 (phycoviruses 및 cyanophages) 모니터링 |  |
| - 우리나라 및 남태평양 환경 모니터링  |  |

3) 연구진도 적정 수행여부

- 연도별 주요 추진 일정

| 구분           | 세부연구목표                       | 추진실적 및 계획 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 연구비 (천원) |         |
|--------------|------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----------|---------|
|              |                              | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |          |         |
| 1차년도 (2018년) | 1. 기존 선행 연구결과 및 시료 분석        |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |          | 40,000  |
|              | 2. 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |          | 60,000  |
| 합계           |                              |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |          | 100,000 |

## 2. 연구개발 성과의 달성도 및 우수성

### 가. 연구목표의 정상 추진 및 성과 우수성

#### 1) 총괄 연차별 목표대비 달성도

| 총연구기간내 연차별 목표 대비 달성율(%) |  |   |            |   |                                      |
|-------------------------|--|---|------------|---|--------------------------------------|
| 구분                      | 연차별 달성내용                                 |   |            |   | 연차별<br>계획대비<br>연구실적<br>달성율(B)<br>(%) |
|                         | 성과목표                                     | 연구내용  | 가중치<br>(A) | 달성실적  |                                      |
| 1년차                     | 1. 기존 선행 연구<br>결과 및 기존 시<br>료 분석         | 1-1. 선행 연구결과(문헌)<br>분석                                    | 0.6        | - 해양 바이러스를 NCDLV 및<br>Phycodnavirus 중심으로 연구결과 분<br>석 완료<br>- Microbial loops에서 해양바이러스의 역<br>할에 관한 연구 분석 완료  | 100%                                 |
|                         |  | 1-2. 북극/우리나라/남태<br>평양 기존 시료 분석                            |            | - 북극: 2017년 10월, 2018년 4월 및<br>2018년 6월 시료 (바이러스, 박테리아,<br>일차생산자) 분석<br>- 우리나라 (통영해역): 2014-2017년까지<br>계절별 시료(바이러스, 일차생산자) 분<br>석<br>- 우리나라 (장목만) 2016년 적조발생에<br>따른 소멸기작으로 바이러스 분석<br>- 남태평양: 2018년 8월 시료(바이러스, 박<br>테리아, 일차생산자) 분석 |                                      |
|                         | 2. 해양 환경/일차<br>생산자 및 해양<br>바이러스 모니터<br>링 | 2-1. 우리나라 및 남태평<br>양 해양 환경/일차생<br>산자 및 해양바이러<br>스 모니터링 조사 | 0.4        | - 2018년 우리나라 (통영해역): 해양환경,<br>바이러스 vs. 일차생산자 월별 변화 모<br>니터링 조사 및 결과 분석<br>- 2018년 10월 남태평양: 해양환경, 바이<br>러스 vs. 일차생산자 14개 정점 모니터<br>링 조사 및 결과 분석   | 100%                                 |
|                         | 계  |   | 1.0        |   | 100%                                 |

## 2) 연구내용 및 달성실적

### □ 연구내용 1. 기존 선행 연구결과 및 기존 시료 분석

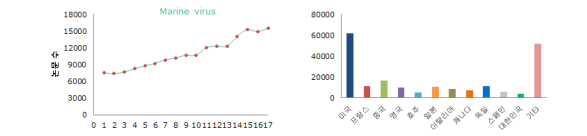
#### 1-1. 선행 연구결과 (문헌) 분석

##### ○ 해양 바이러스 관련 국내·외 연구 수준 분석

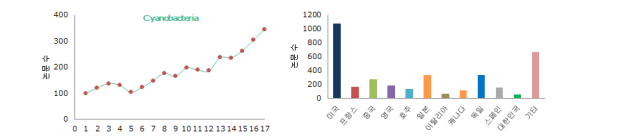
- 해양바이러스 연구는 미국, 영국, 중국, 캐나다, 일본 등이 선도하고 있으며, 특히 해양 분야 연구 강국인 미국과 중국 등의 경우에는 국가적 차원에서 해양병원체 연구를 지원하여 관련 기술 발전을 거듭하고 있음
- 특히 미국은 National Ballast Information Clearinghouse와 Aquatic Nuisance Species Project를 통하여 선박평형수의 이동양상, 외래종의 분포양상 등의 조사연구 수행 및 데이터베이스를 구축 운영하고 있음
- 일본에서는 외래종, 위험종을 대상으로 이들의 유입경로와 종 목록에 대한 연구를 수행한 바 있으며, 선박에 의한 영향이 우세하였음을 증명한 바 있음
- 국내 연구 기관에서 글로벌 감염성 해양병원체 탐색 및 진단 기술 개발 연구와 선박평형수 유래 해양병원체 모니터링 및 진단 기술 개발 연구를 통하여 해수 및 선박평형수 유래 해양바이러스 탐색 및 진단에 대한 기반 기술 연구를 수행한 바 있음
- 국내 일부 대학과 연구원 및 기업 등에서 산발적으로 해양바이러스에 대한 소규모의 연구가 진행되었으나 해양바이러스 분야 자체가 연구 초창기이기 때문에 연구 성과는 많지 않음
- 해양바이러스 관련 연구에서는 미국과 중국, 일본 등이 선두 그룹을 형성하고 있으며 한국은 선두 그룹을 쫓아가는 형태로 최근 10년간 논문 수에서 5위권을 유지함
- 해양바이러스 측면에서는 국내 연구 결과가 부족한 실정이지만, 전세계적 기술수준의 차이가 크지 않기 때문에 집중적인 투자와 연구가 이루어진다면, 충분히 수월성을 확보할 수 있음

##### ○ 해양바이러스, 거대바이러스, 일차생산자 및 기후변화 관련 연구 동향

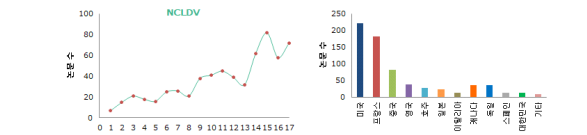
- 2000년 이후 전세계적인 연구논문 현황을 검색하였을 때, 해양바이러스를 키워드로 작성된 논문은 2014년 이후 약 450편의 논문이 출간되었으며, 북극해 및 열대해역을 대상으로 해양바이러스 연구결과는 미미하였음
- 거대바이러스 관련 논문은 2000년 이후 약 100-150편 정도의 연구결과가 보고되고 있으나 phycodnavirus 관련 논문은 최근에 발표가 시작되고 있는 수준임
- Cyanophages 관련 연구는 2000년 이후 꾸준히 증가하고 있는 수준이지만, 북극 및 남태평양에서의 cyanophages 연구논문은 아직까지 매우 드문 실정임
- Microbial loops의 논문은 100여건으로 microbial loops와 바이러스의 키워드는 1-2편의 논문으로 연구가 거의 미비함.



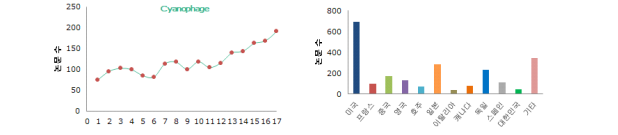
| 연도   | 00    | 01    | 02    | 03   | 04   | 05    | 06   | 07    | 08    | 09    | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    |
|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 논문 수 | 7590  | 7410  | 7719  | 8277 | 8800 | 9247  | 9854 | 10227 | 10695 | 10720 | 12033 | 12333 | 12327 | 14062 | 15319 | 14895 | 15483 | 15524 |
| 국가   | 미국    | 프랑스   | 중국    | 영국   | 호주   | 일본    | 이탈리아 | 캐나다   | 독일    | 스페인   | 대한민국  | 기타    |       |       |       |       |       |       |
| 논문 수 | 61565 | 10945 | 16248 | 9701 | 5229 | 10469 | 8408 | 7073  | 11334 | 6055  | 3693  | 51795 |       |       |       |       |       |       |



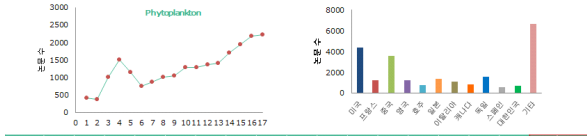
| 연도   | 00   | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06   | 07  | 08  | 09  | 10   | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 논문 수 | 100  | 121 | 137 | 131 | 104 | 122 | 148  | 177 | 165 | 197 | 189  | 186 | 237 | 236 | 263 | 304 | 344 | 353 |
| 국가   | 미국   | 프랑스 | 중국  | 영국  | 호주  | 일본  | 이탈리아 | 캐나다 | 독일  | 스페인 | 대한민국 | 기타  |     |     |     |     |     |     |
| 논문 수 | 1073 | 158 | 269 | 181 | 136 | 330 | 62   | 110 | 331 | 147 | 52   | 665 |     |     |     |     |     |     |



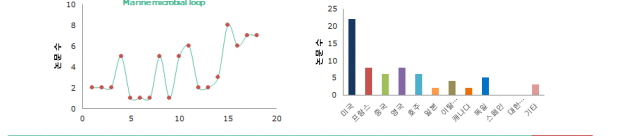
| 연도   | 0   | 1   | 2   | 3    | 4   | 5    | 6    | 7   | 8    | 9   | 10   | 11   | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------|-----|-----|-----|------|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|----|----|----|----|----|----|
| 논문 수 | 7   | 15  | 21  | 18   | 16  | 25   | 26   | 21  | 38   | 41  | 45   | 39   | 32 | 62 | 82 | 58 | 72 | 83 |
| 국가   | 미국  | 프랑스 | 중국  | 영국   | 호주  | 일본   | 이탈리아 | 캐나다 | 독일   | 스페인 | 대한민국 | 기타   |    |    |    |    |    |    |
| 논문 수 | 223 | 183 | 322 | 1203 | 714 | 1364 | 1059 | 787 | 1552 | 566 | 693  | 6656 |    |    |    |    |    |    |



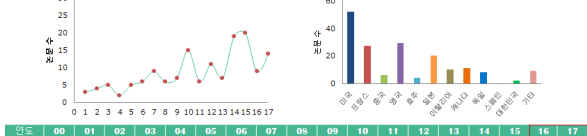
| 연도   | 00  | 01  | 02  | 03  | 04 | 05  | 06   | 07  | 08  | 09  | 10   | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  |
|------|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 논문 수 | 76  | 96  | 103 | 100 | 86 | 82  | 114  | 118 | 101 | 119 | 105  | 116 | 140 | 144 | 163 | 169 | 192 | 228 |
| 국가   | 미국  | 프랑스 | 중국  | 영국  | 호주 | 일본  | 이탈리아 | 캐나다 | 독일  | 스페인 | 대한민국 | 기타  |     |     |     |     |     |     |
| 논문 수 | 692 | 96  | 166 | 125 | 67 | 280 | 34   | 73  | 229 | 106 | 39   | 345 |     |     |     |     |     |     |



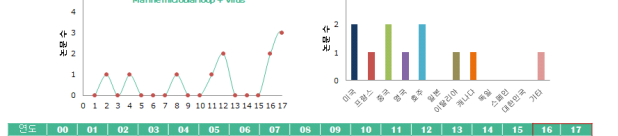
| 연도   | 00   | 01   | 02   | 03   | 04   | 05   | 06   | 07  | 08   | 09   | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 논문 수 | 400  | 378  | 1013 | 1506 | 1143 | 746  | 870  | 997 | 1020 | 1266 | 1263 | 1343 | 1392 | 1665 | 1905 | 2156 | 2187 | 2434 |
| 국가   | 미국   | 프랑스  | 중국   | 영국   | 호주   | 일본   | 이탈리아 | 캐나다 | 독일   | 스페인  | 대한민국 | 기타   |      |      |      |      |      |      |
| 논문 수 | 4341 | 1227 | 3522 | 1203 | 714  | 1364 | 1059 | 787 | 1552 | 566  | 693  | 6656 |      |      |      |      |      |      |



| 연도   | 0  | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6    | 7   | 8  | 9   | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------|----|-----|----|----|----|----|------|-----|----|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|
| 논문 수 | 2  | 2   | 2  | 5  | 1  | 1  | 1    | 5   | 1  | 5   | 6    | 2  | 2  | 3  | 8  | 6  | 7  | 7  |
| 국가   | 미국 | 프랑스 | 중국 | 영국 | 호주 | 일본 | 이탈리아 | 캐나다 | 독일 | 스페인 | 대한민국 | 기타 |    |    |    |    |    |    |
| 논문 수 | 22 | 8   | 6  | 8  | 6  | 2  | 4    | 2   | 5  | 0   | 0    | 3  |    |    |    |    |    |    |



| 연도   | 00 | 01  | 02 | 03 | 04 | 05 | 06   | 07  | 08 | 09  | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------|----|-----|----|----|----|----|------|-----|----|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|
| 논문 수 | 3  | 4   | 5  | 2  | 5  | 6  | 9    | 6   | 7  | 15  | 7    | 11 | 7  | 19 | 22 | 10 | 14 | 26 |
| 국가   | 미국 | 프랑스 | 중국 | 영국 | 호주 | 일본 | 이탈리아 | 캐나다 | 독일 | 스페인 | 대한민국 | 기타 |    |    |    |    |    |    |
| 논문 수 | 52 | 27  | 6  | 29 | 4  | 20 | 10   | 11  | 8  | 0   | 2    | 9  |    |    |    |    |    |    |



| 연도   | 00 | 01  | 02 | 03 | 04 | 05 | 06   | 07  | 08 | 09  | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------|----|-----|----|----|----|----|------|-----|----|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|
| 논문 수 | 1  | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1    | 1   | 1  | 1   | 1    | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 국가   | 미국 | 프랑스 | 중국 | 영국 | 호주 | 일본 | 이탈리아 | 캐나다 | 독일 | 스페인 | 대한민국 | 기타 |    |    |    |    |    |    |
| 논문 수 | 2  | 1   | 2  | 1  | 2  | 0  | 1    | 1   | 1  | 1   | 1    | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |    |

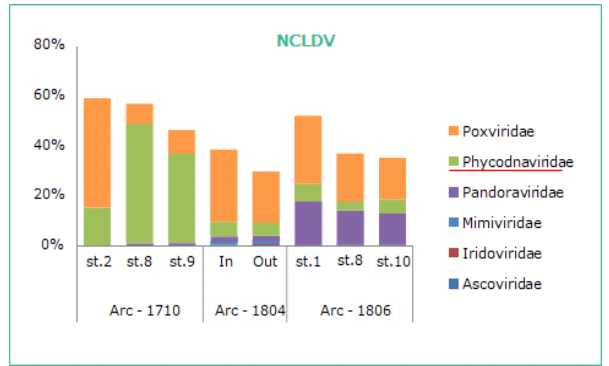
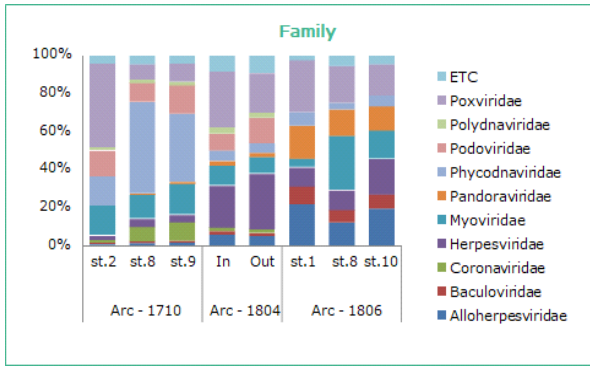
<기존 연구 논문 결과 분석>

1-2. 북극/우리나라/남태평양 기존 시료 분석

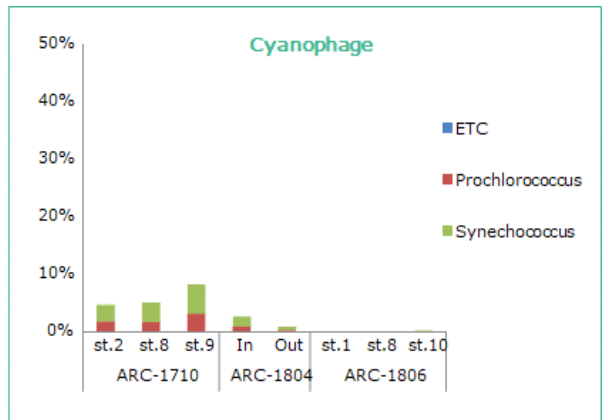
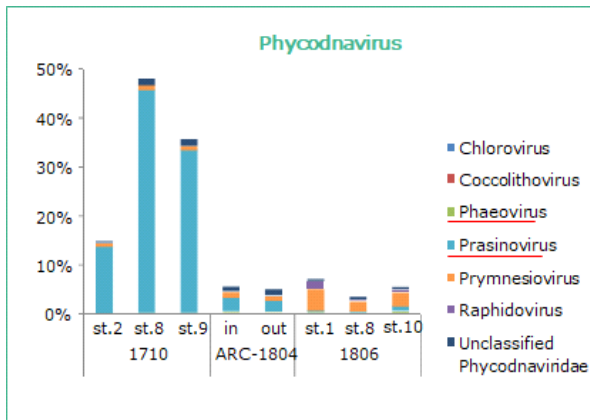
○ 북극 시료 NGS 및 연구 결과 분석

- 북극: 2017, 2018년 북극해 해양 바이러스 시료(극지연구소 연계) NGS 분석
- 북극해의 해양바이러스는 온대해역이나 열대해역에 비해 박테리아를 숙주로 하는 Myoviridae, Podoviridae 및 Siphoviridae 등 박테리오파지의 비율이 낮게 나타났음 (4.5-38.78%).
- 북극해의 경우 거대바이러스의 비율이 높게 나타났으며, Pandoraviridae (0-17.24%), Phycodnaviridae (3.53-47.95%), Poxviridae (7.99-43.77%)의 비율이 높았음
- 특히 Pandoraviridae의 비율이 2017년에 비하여 2018년에 0.59%에서 14.59%로 증가하고 있는 경향을 보이고 있음

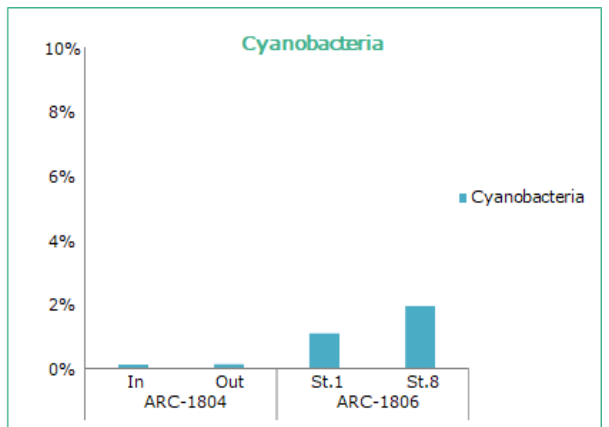
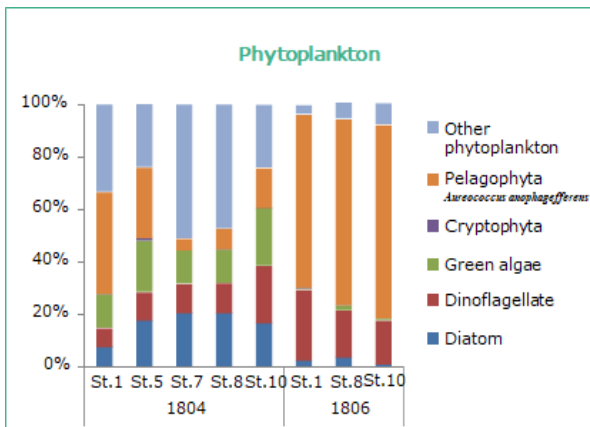




- Phycodnavirus는 6개의 속으로 구분되며, 주로 Prasinovirus가 우점하고 있으나, 2018년 6월로 오면서 Prymnesiovirus의 점유율이 높아지고 있음
- Cyanophage는 전체적으로 10% 이하로 낮게 나타났으며, Prochlorococcus를 숙주로 하는 cyanophage보다 Synechococcus를 숙주로 하는 cyanophage가 높게 나타났음

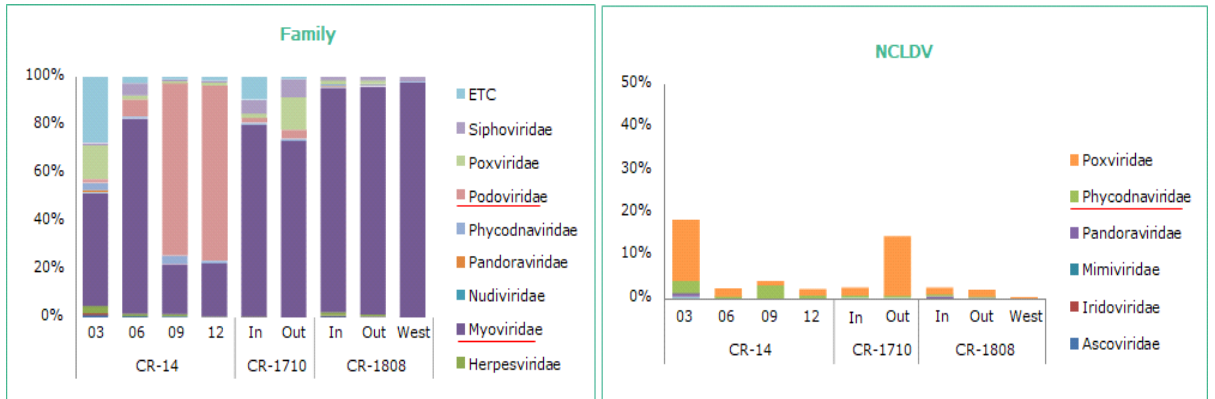


- Phytoplankton의 변화: 2018년 4월에는 녹조류 및 규조류가 높은 비율로 차지하였으나, 2018년 6월에는 *Aureococcus anophagefferens*가 극단적으로 높은 비율을 차지하였음.
- Cyanobacteria의 변화: cyanobacteria는 4월에 비해 6월이 상대적으로 높은 비율로 나타났으나, 이는 정점 10의 저층에서 높은 비율로 나타났기 때문임. 그러나 전체적으로 출현량은 2% 이내로 전체 비율에 비해 매우 낮은 비율임.

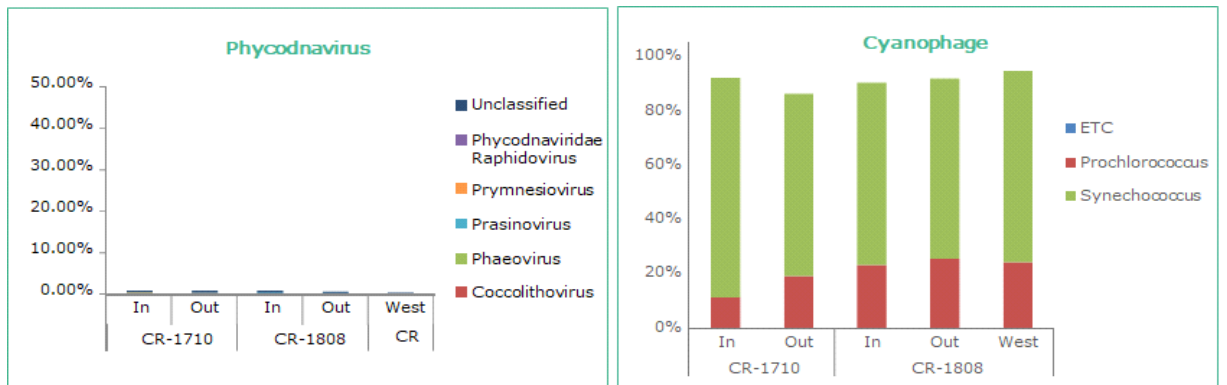


○ 열대 (축) 시료 NGS 및 연구 결과 분석

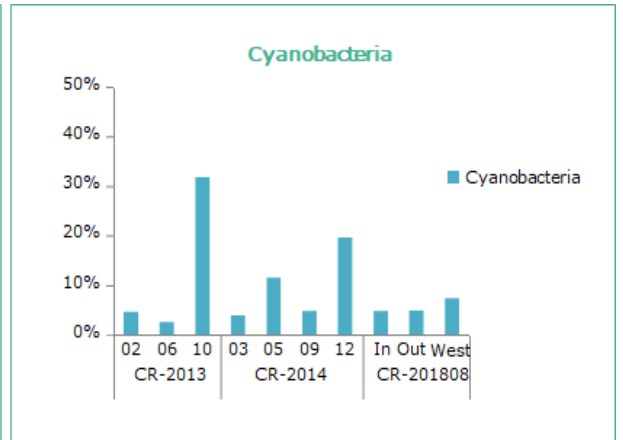
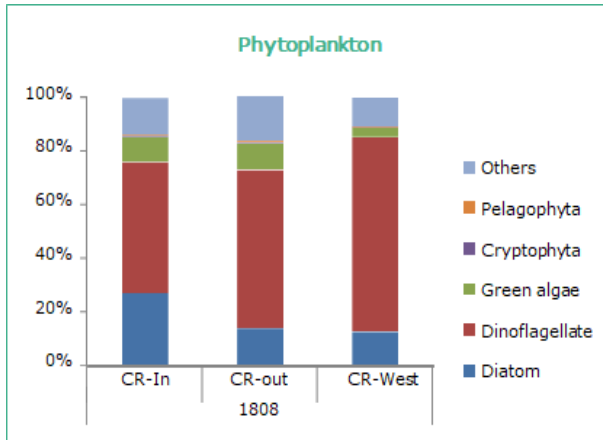
- 열대: 2014, 2017, 2018년 8월 기존 시료 NGS 분석 및 결과 해석
- 열대해역에서의 해양바이러스는 북극해역에 비해 박테리아를 숙주로 하는 Myoviridae, Podoviridae 및 Siphoviridae 등 박테리오파지의 비율이 높게 나타났음(49.23-98.9%).
- 거대바이러스의 비율은 북극해에 비해 크게 낮아졌으며(0.7-18.54%), 주로 Poxviridae (1.03-14.13%)의 비율이 높았음



- 열대해역에서의 Phycodnavirus는 3.34% 이하로 매우 낮게 나타났음
- 반면 Cyanophage는 전체적으로 매우 높게 나타났으며, 북극해와 유사하게 Prochlorococcus를 숙주로 하는 cyanophage보다 Synechococcus를 숙주로 하는 cyanophage가 높게 나타났음

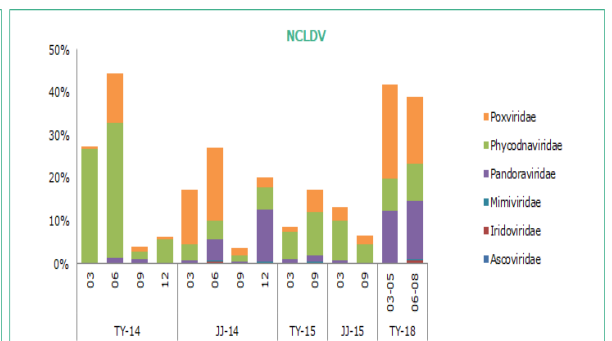
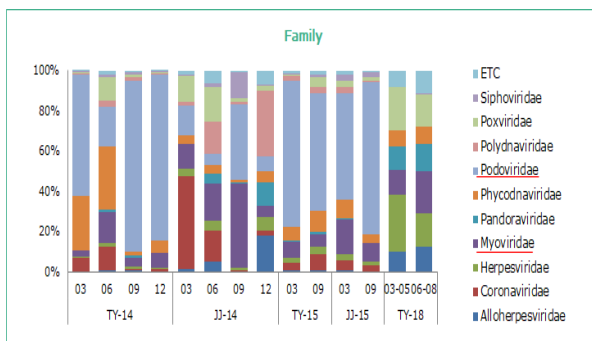


- Phytoplankton의 변화: 2018년 8월의 열대해역 (축, 태평양해양과학기지 주변)의 14개 정점에서 채집한 시료중 식물플랑크톤은 와편모조류가 60-70%를 차지하였고, 녹조류 및 규조류가 높은 비율로 차지하였음.
- Cyanobacteria의 변화: cyanobacteria는 주로 Synechococcus 및 Prochlorococcus가 주로 차지하였고, 특히 Prochlorococcus가 높은 비율을 차지하였음.

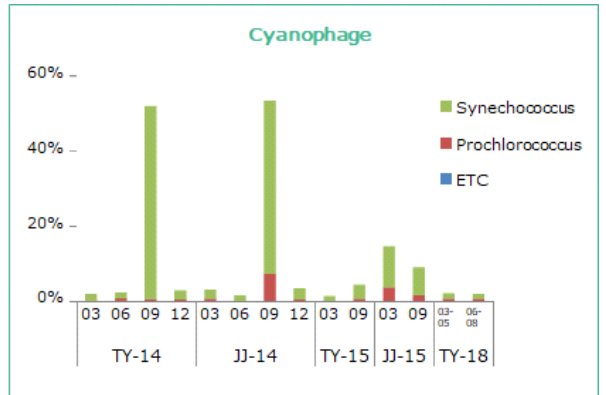
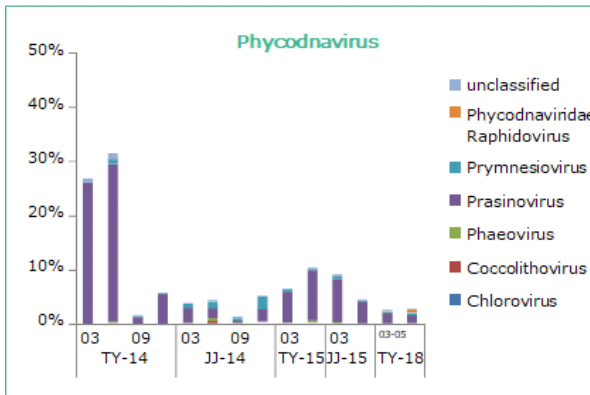


○ 우리나라 (통영 및 제주) 시료 NGS 및 연구 결과 분석

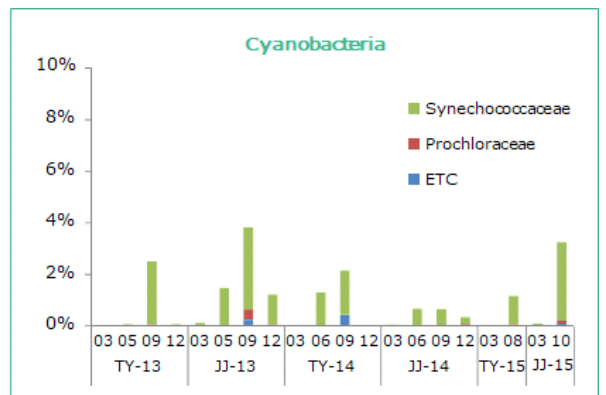
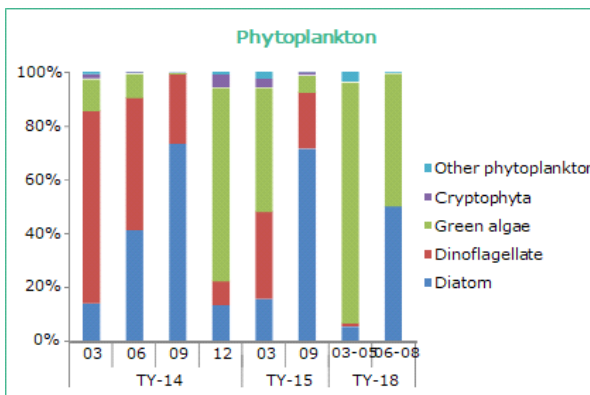
- 우리나라 통영 (2014년 3, 6, 9, 12월, 2015년 3, 9월 및 2018년 3-5월, 6-8월), 제주 (2014년 3, 6, 9, 12월 및 2015년 3, 9월) 기존 시료 NGS 분석 및 결과 해석
- 우리나라 해역의 해양바이러스는 북극해역이나 열대해역에 비해 Myoviridae, Podoviridae 및 Siphoviridae 등 박테리오파지의 비율이 중간 정도로 나타났음 (12.15-90.55%).
- 거대바이러스의 비율이 열대해역에 비해 높게 나타나고 있으며, Pandoraviridae, Phycodnaviridae, Poxviridae의 비율이 높았음



- 우리나라 해역에서의 Phycodnavirus는 2014년 통영해역에서 25% 이상 높은 비율을 차지하였으며, 주로 Prasinovirus가 우점하였음
- Cyanophage는 2014년 통영 및 제주에서 50% 이상의 비율을 보였으며, 다른 시료에서는 15% 이하로 나타났음
- Cyanophage 숙주별로 분석해 보면, Prochlorococcus를 숙주로 하는 cyanophage보다 Synechococcus를 숙주로 하는 cyanophage가 높게 나타났음

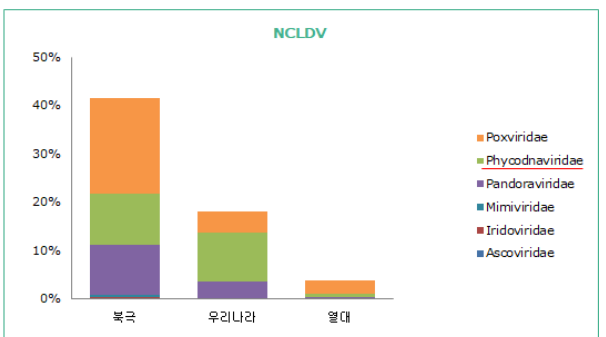
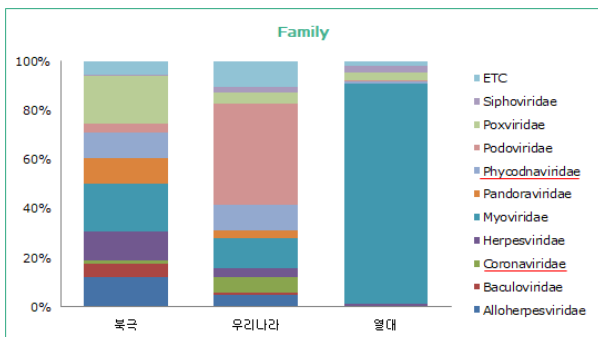


- Phytoplankton의 변화: 우리나라의 식물플랑크톤은 주로 와편모조류, 녹조류, 규조류가 중요 우점 그룹으로, 계절에 따라 변화하는 양상을 보였음.
- Cyanobacteria의 변화: cyanobacteria는 주로 가을철에 *Synechococcus* 가 주로 우점하는 양상으로 나타났음.

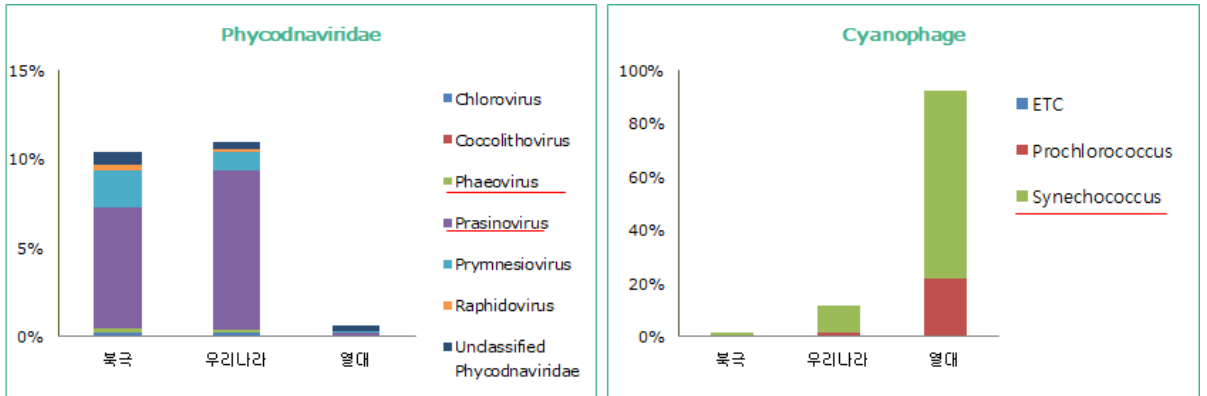


○ 북극, 우리나라, 열대 해역 시료의 해양바이러스 비교

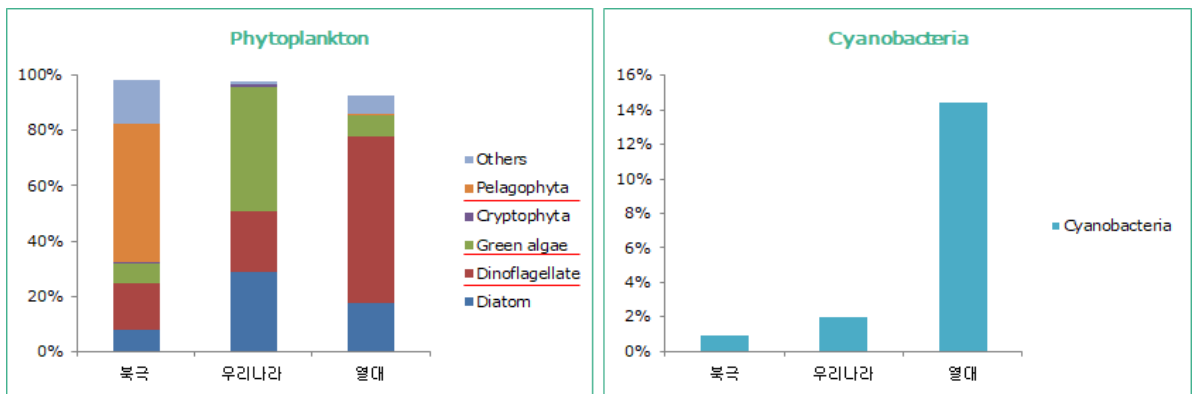
- 북극해, 우리나라 및 열대해역 해수에서의 해양바이러스 분포를 분석하였을 때, 박테리아를 숙주로 하는 phages의 경우 열대해역에서 높은 비율로 나타났으며, 북극해에서 가장 적은 비율이었음
- NCLDV 비율은 북극해>우리나라>열대 순으로 높은 비율을 차지하였으며, Phycodnaviridae, Poxviridae 및 Pandoraviridae가 대부분을 이루고 있음



- Phycodnavirus는 북극해와 우리나라 해역에서 거의 유사하게 나타났으며(약 10%), Prasinovirus가 우점하였고, Prymnesiovirus가 높은 비율로 출현하였음
- Cyanophage는 열대해역에서 가장 높게 나타났으며, 모든 해역에서 Synechococcus를 숙주로 하는 phage가 우점하였음

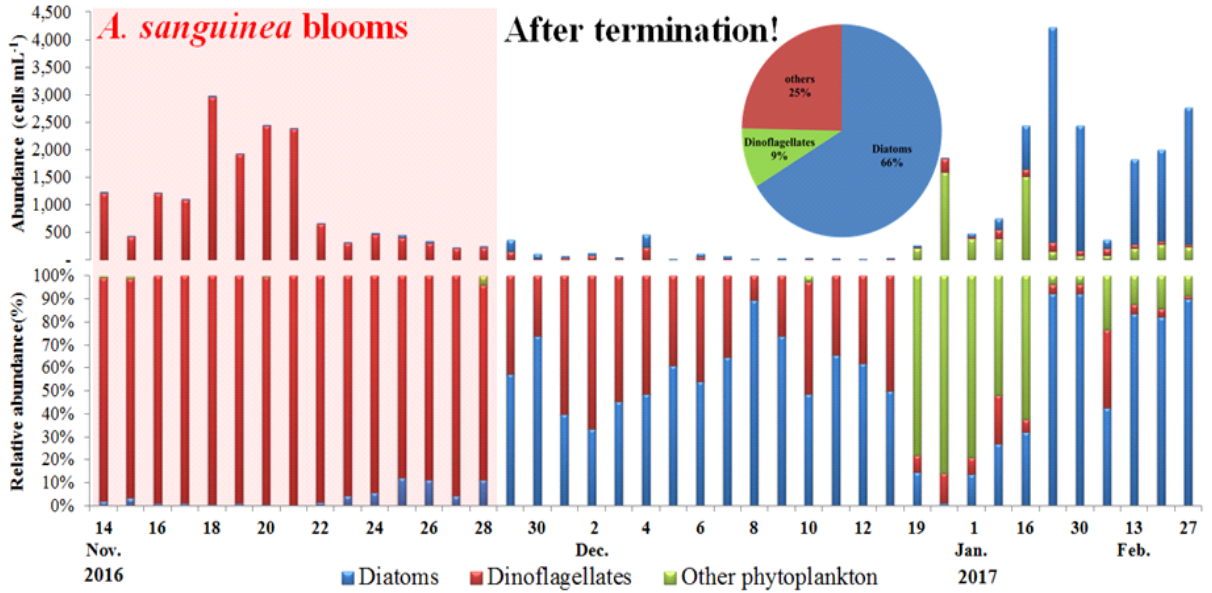


- 북극, 우리나라, 열대해역의 식물플랑크톤 변화를 보면, 북극에서는 주로 *Aureococcus*가 높은 비율로 차지한 반면, 우리나라는 녹조류가, 열대해역에서는 와편모조류가 주로 출현하여 각 위도별로 주 출현종이 다른 특성을 보이고 있었음.
- 북극, 우리나라, 열대해역의 남조류는 고위도 (북극)에서 점차 낮아서 열대해역에서 가장 높은 남조류의 비율을 보였으며, 이 중 *Synechococcus*가 높은 비율로 차지하였음.

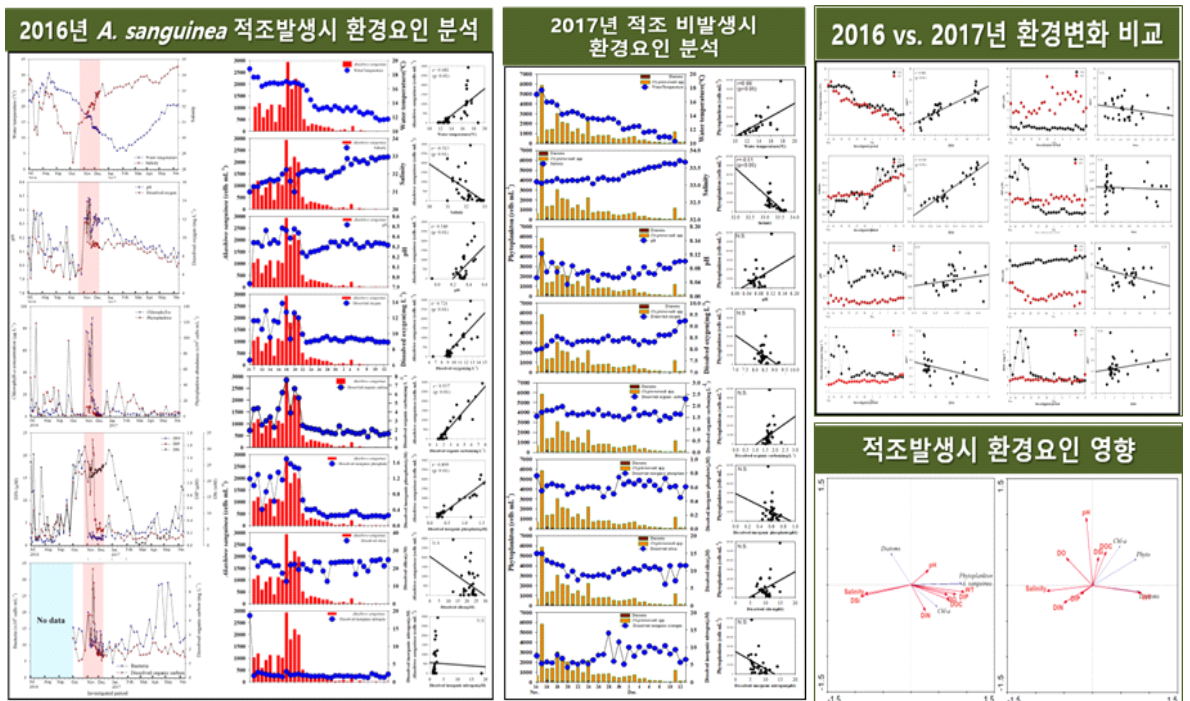


1-3. 일차생산자 및 바이러스 출현관계 - 적조 소멸 기작 영향

- 장목만의 식물플랑크톤 변화: 2016년 식물플랑크톤 군집의 변화에서 11월-12월까지 *Akashiwo sanguinea* 가 저수온기의 적조가 2500 cells mL<sup>-1</sup> 이상 발생하였음.



- 장목만의 *A. sanguinea* 적조 발생시, 수온이 16°C 이하에서 적조 생물 개체수가 감소하는 요인을 제외하고 특이적인 현상을 발견하지 못하였음. 또한 용존유기탄소 및 용존무기인의 변화는 적조생물 *A. sanguinea* 변화와 매우 유사하게 변화하여 *A.o sanguinea* 외부 분비물질에 의한 변화라고 판단됨.





- 적조를 제어하는 생물학적 방법은 주로 Bottom-up control로써, algal bacteria, fungi, algal virus, parasite가 적조 제어에 영향을 미치고 있음.

## Algicidal bacteria

J Appl Phycol (2009) 29:1069–1076  
DOI 10.1007/s10811-008-9512-x

### Isolation, identification, and algicidal activity of marine bacteria against *Cochlodinium polykrikoides*

Min-Ju Kim · Seung-Yun Jeong · Sang-Joon Lee

Physiological Research 1998, 46: 139-146

### Relationships between dynamics of red tide-causing raphidophcean flagellates and algicidal micro-organisms in the coastal sea of Japan

Ichiro Imai, Ma-Chan Kim, Keizo Nagasaki, Shigeru Itakura and Yuzaburo Ishide  
Division of Applied Biosciences, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan and <sup>1</sup>Red Tide Biology Section, Red Tide Research Division, National Fisheries Research Institute, Obi, Sakei, Hiroshima 739-0452, Japan

## Parasite

**Ciliate grazing on the parasite *Amoebophrya* sp. decreases infection of the red-tide dinoflagellate *Akashiwo sanguinea***

Minso Ahn<sup>1,2\*</sup>, Ji-Won Choi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Applied Biology, Seoul National University, San 51-1, Shinlim-dong, Kwanak-gu, Seoul 151-747, Korea; <sup>2</sup>Department of Applied Biology, Seoul National University, San 51-1, Shinlim-dong, Kwanak-gu, Seoul 151-747, Korea

\*Corresponding author: Email: minsoahn@plaza.snu.ac.kr

© 2012 Ahn and Choi; licensee Springer. This article is published with open access at <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2288-12-143>

**Characterization of the Parasitic Dinoflagellate *Amoebophrya* sp. Infecting *Akashiwo sanguinea* in Coastal Waters of China**

Taojun Tang<sup>1\*</sup>, He Li<sup>2</sup>, Sheng Tang<sup>3</sup> & Jiajun Li<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Marine Pollution and Environmental Chemistry, School of Environmental Science and Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; <sup>2</sup>Department of Oceanography, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China; <sup>3</sup>Department of Oceanography, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China; <sup>4</sup>Department of Oceanography, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China

\*Corresponding author: Email: tangtj@mail.sysu.edu.cn

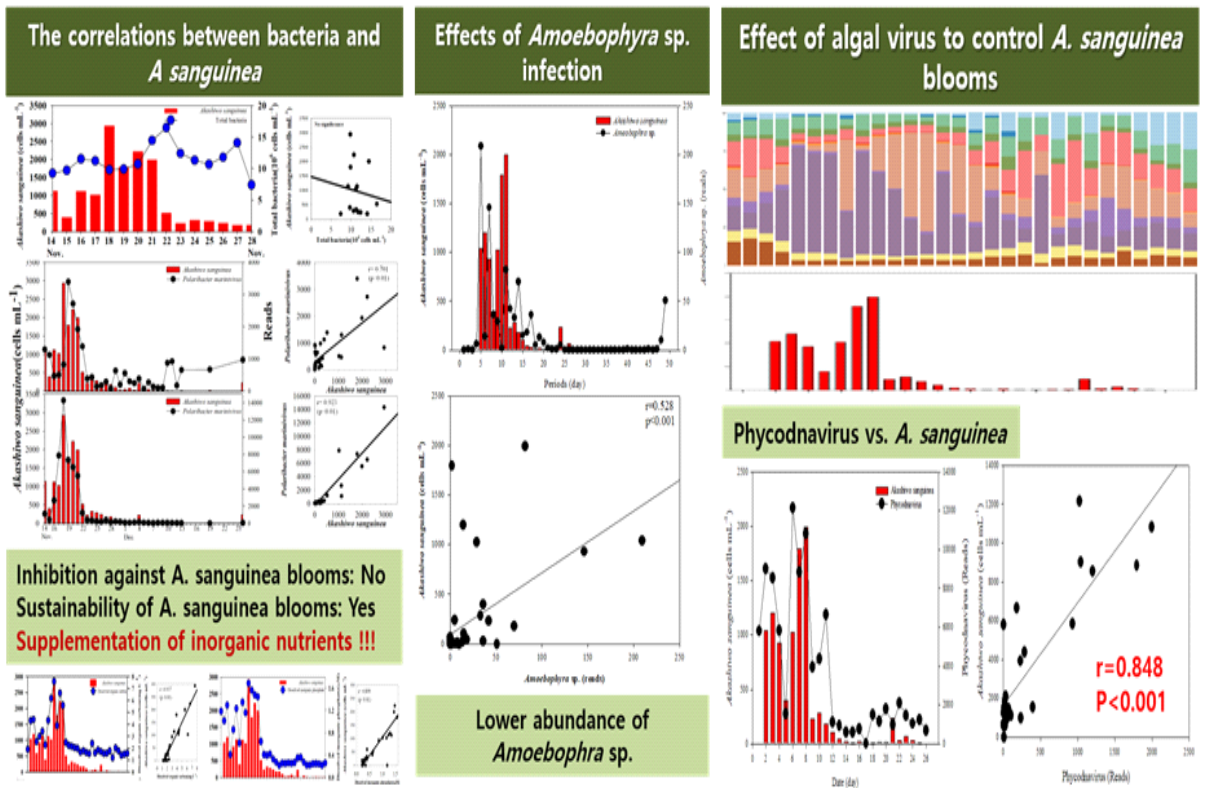
© 2012 Tang et al.; licensee Springer. This article is published with open access at <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2288-12-144>

**INFLUENCE OF MIXED HOST POPULATIONS ON SUCCESS OF THE PARASITIC DINOFLAGELLATE *AMOEBOPHYA***

Armstrong, T.-N.<sup>1</sup>, Felton, C.<sup>2</sup> & Coats, D. W.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>University of Maryland, College Park, MD 20742 USA; <sup>2</sup>Morgan State University, Baltimore, MD 21251 USA; <sup>3</sup>Smithsonian Environmental Research Center, Edgewater, MD 21037 USA

Parasitic dinoflagellates of the genus *Amoebophrya* commonly infect bloom-forming dinoflagellates of Chesapeake Bay, including *Akashiwo sanguinea* and *Karlodinium merdimum*. While different strains of *Amoebophrya* appear host specific, infective dinospores liberated from *A. sanguinea* do enter the cytoplasm

- 이 중 *A. sanguinea* 적조시 algicidal bacteria 및 parasite는 크게 영향을 미치지 않고 있으며, algal virus 중 phycodnavirus가 상관관계가 높음으로 영향이 크다고 판단됨.



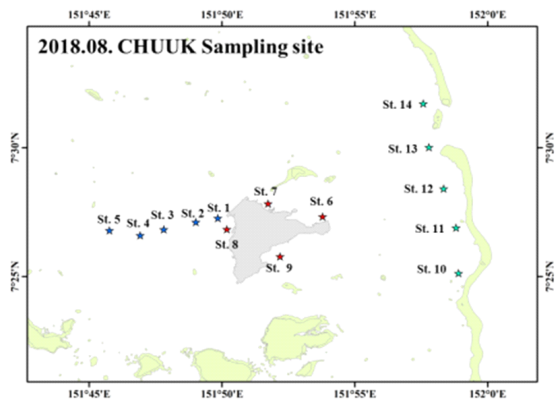
## 나 성과목표2.

### □ 연구내용 2. 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링

#### 2-1. 우리나라 및 남태평양 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 조사

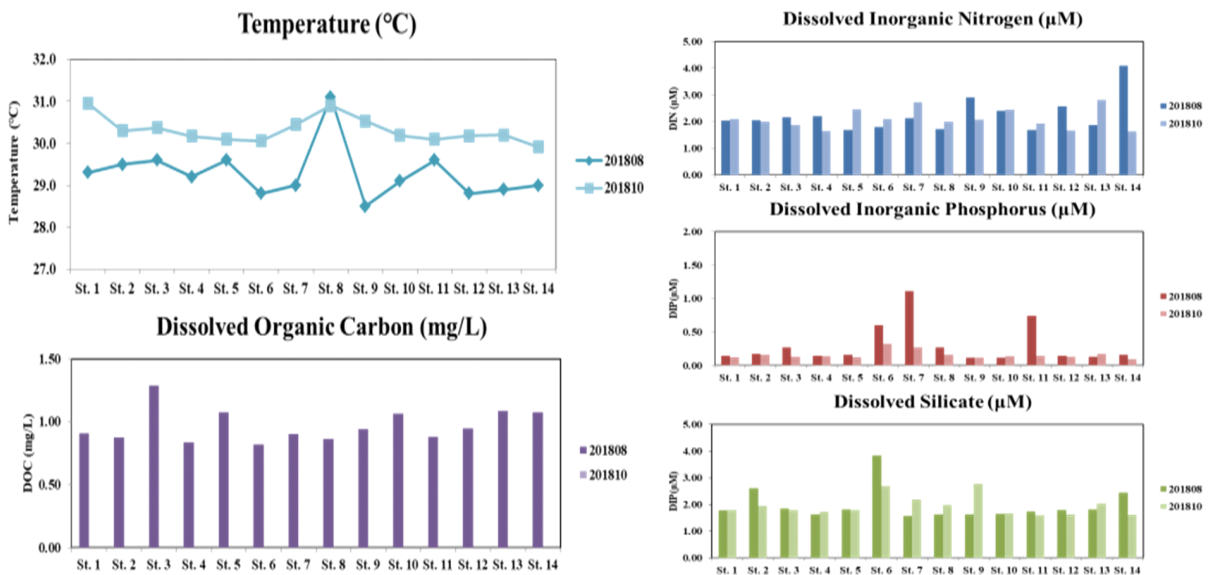
##### ○ 남태평양 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링

- 조사지역 (조사정점) 및 조사일자: 열대 축주 태평양해양과학기지 주변 14개 정점 / 2018년 10월
- 정점선정: 축주 외측 외양 5개 지역, 축주 (위노섬) 주변 5개 지역, 위노섬 오염배출영향 4개 정점



<조사지역 및 조사정점>

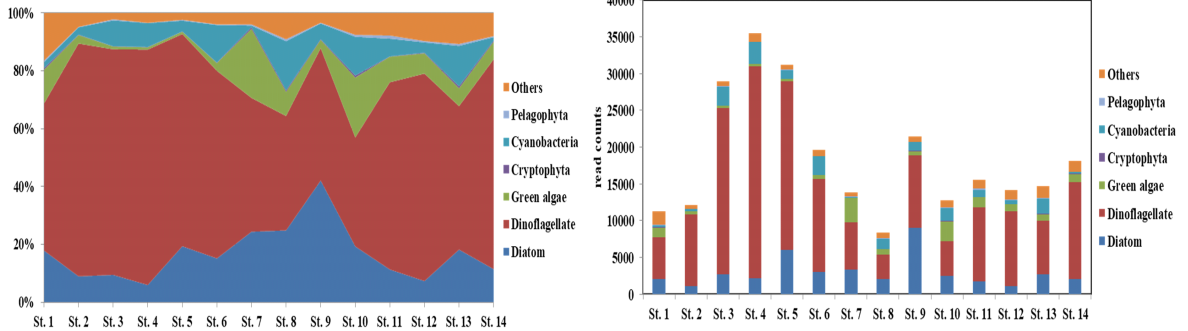
- 환경요인 측정: 수온, 염분, 용존산소, pH, 용존무기질소, 용존무기인, 용존규소 및 용존유기탄소
- 환경요인의 변화를 보면, 정점별로 큰 차이를 보이지 않음.



<환경요인의 변화>

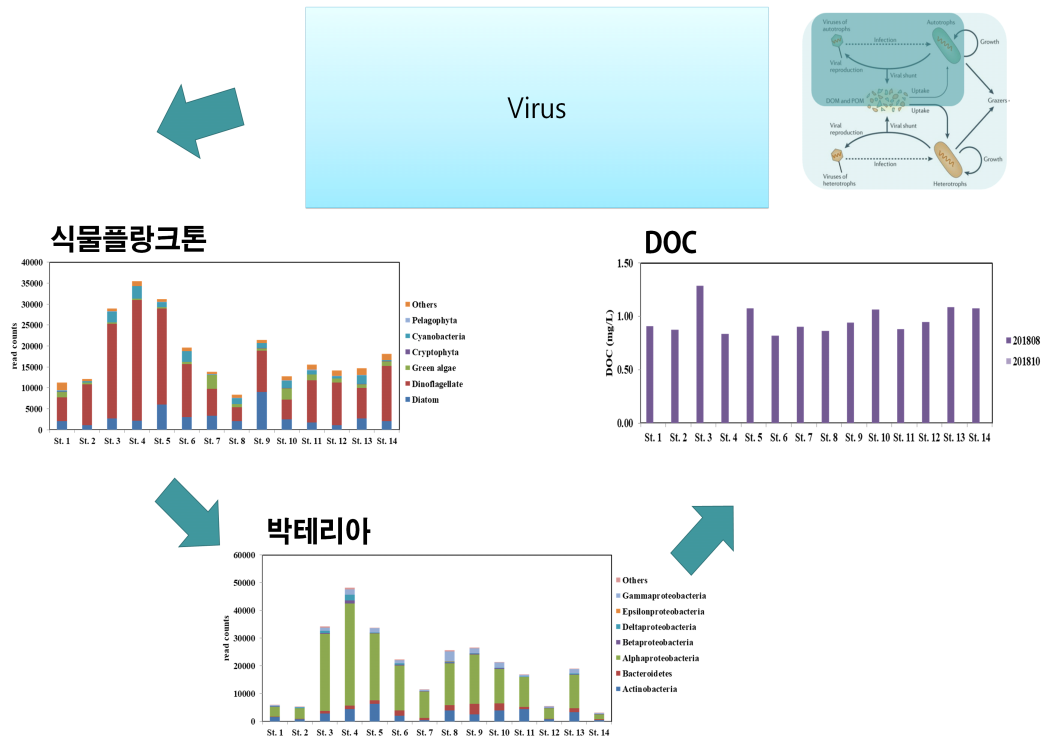


- 일차생산자의 변화: 오염배출 영향 4개 정점에서 거리가 멀어질수록 식물플랑크톤은 점차 증가하는 양상을 보인 반면, 다른 지역에서는 큰 식물플랑크톤의 차이를 보이지 않았음. 특히 남조류도 또한 중요 일차생산자로서의 역할을 수행하고 있음.



<일차생산자의 변화>

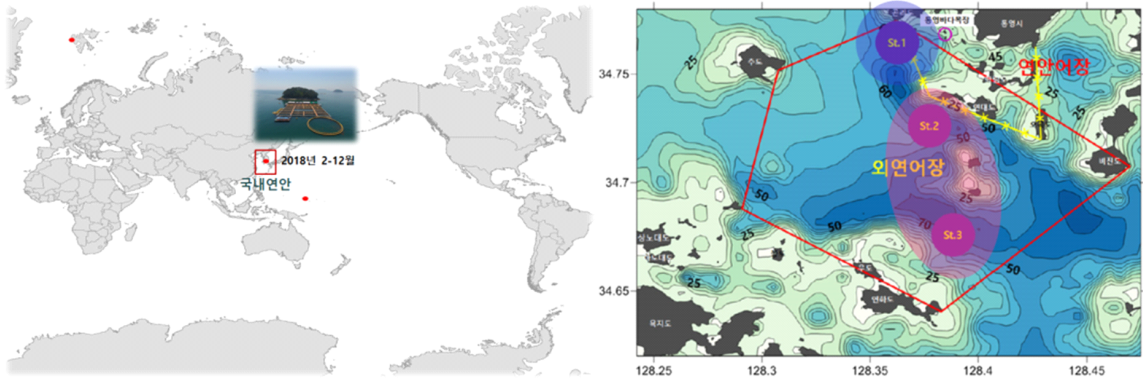
- 해양바이러스 변화: 현재 분석중에 있음.
- 해양 바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향을 규명을 위하여 해양 바이러스 및 해양 일차생산자의 모니터링의 결과를 바탕으로 Eukaryotic phytoplankton vs. phycodnavirus 와 cyanobacteria vs. cyanophages의 상관관계를 도출하고자 함



<열대해역의 Microbial loops의 변동 규명>

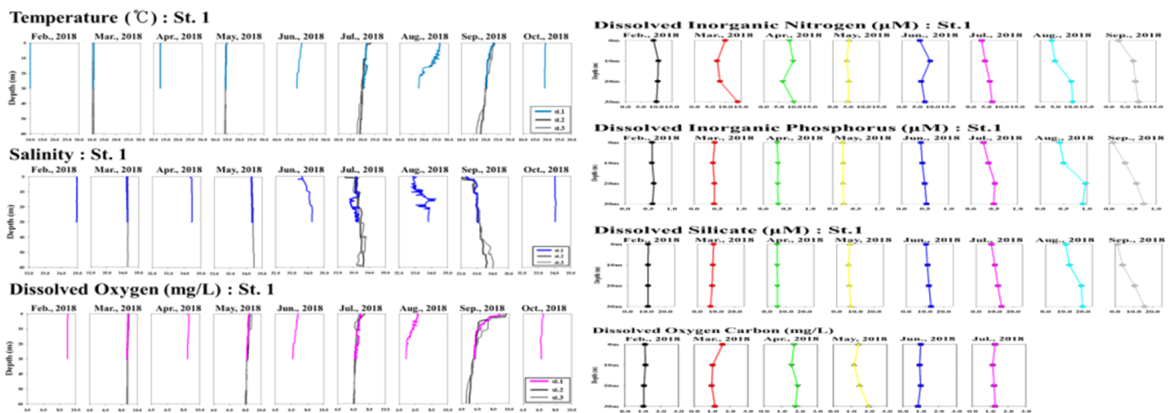
○ 우리나라 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링

- 조사지역 (조사정점) 및 조사일자: 우리나라 통영 해역 / 2018년 월별 모니터링



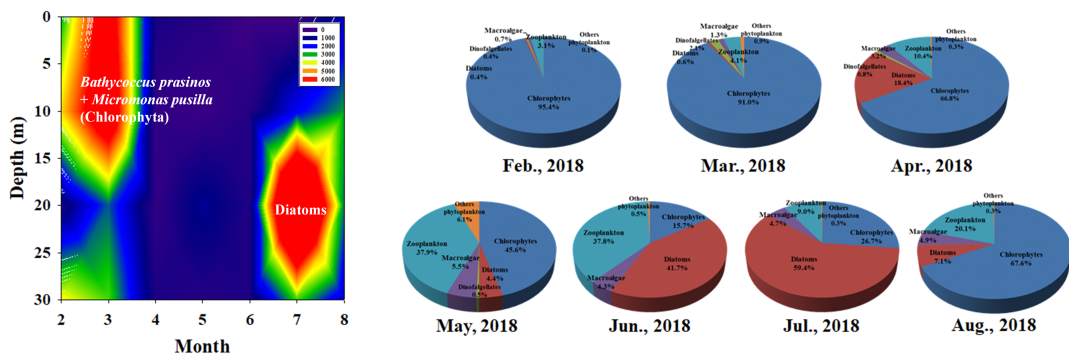
<조사지역 및 조사정점>

- 환경요인 분석 요인: 수온, 염분, 용존산소, pH, 용존무기질소, 용존무기인, 용존규소 및 용존유기탄소
- 환경요인의 변화를 보면, 수심별로 월별 차이를 보이고 있음.



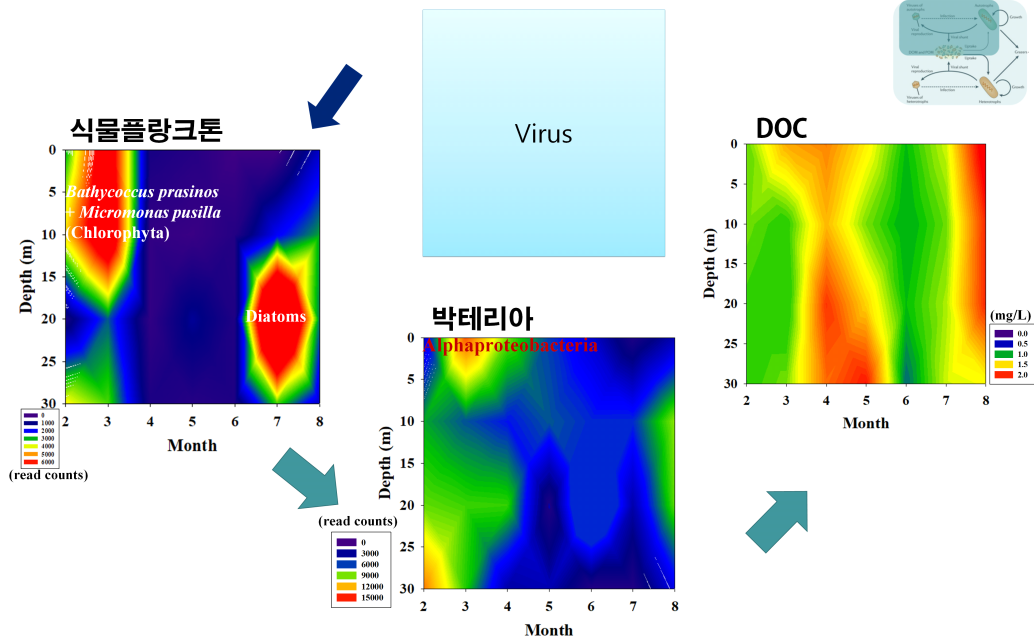
<환경요인의 변화>

- 일차생산자의 변화: 월별 변화에서 봄철에는 녹조류가 높은 비율로 차지한 반면 7-8월의 경우 규조류가 높은 비율로 차지하여, 월별 뚜렷한 차이를 보이고 있음.



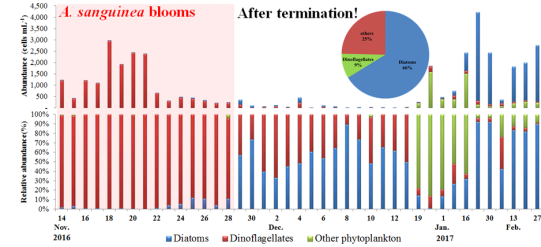
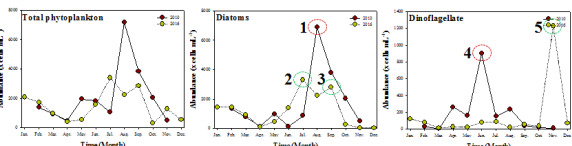
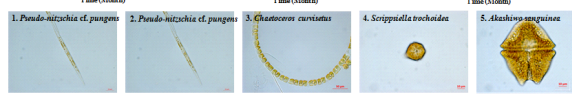
<일차생산자의 변화>

- 해양 바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향을 규명을 위하여 해양 바이러스 및 해양 일차생산자의 모니터링의 결과를 바탕으로 Eukaryotic phytoplankton vs. phycodnavirus 와 cyanobacteria vs. cyanophages의 상관관계를 도출하고자 함



<일차생산자의 변화>

[당해연도 대표적 우수성과 : 대표적 사례 2건 이내, 건당 1장 이내 작성]

|   |  |
|---|--|
| <p>우수성과 - 1.</p>  | <p>적조소멸 과정에서 박테리아, 기생성 편모조류 및 바이러스의 관계 및 역할을 최초로 규명</p>  |
| <p>성과 내용</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조의 발생 뿐만 아니라 소멸 또한 다양한 가설이 존재하여 정확한 소멸 기작이 규명되지 않음.</li> <li>- 적조 생물 <i>Akashiwo sanguinea</i>의 소멸기작을 규명하기 위하여 적조발생시기 및 적조 비발생시기에서 다양한 요인 관찰 및 실내 메조코즘을 통한 증명</li> <li>- 적조 생물 <i>Akashiwo sanguinea</i> 적조 발생시 적조 제어 endoparasitic dinoflagellate <i>Ameobophyra</i> sp. 와 algal virus <i>Phycodnavirus</i> 증가하는 현상 규명</li> <li>- 실내 메조코즘에서 생태계 현상과 같은 기작의 반복 실험을 통한 증명 완료</li> </ul> |
| <p>성과의 우수성</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 최초의 <i>Akashiwo sanguinea</i> 적조 소멸시 bottom up control로써, 복합적인 생물의 영향을 미치고 있음을 규명</li> <li>○ 최초의 <i>Akashiwo sanguinea</i> 적조 발생 및 소멸 과정에서 환경요인 및 박테리아, 바이러스 중심의 Microbial loops 현상 규명</li> </ul>   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="542 1198 774 1489"> <p>2016년 <i>A. sanguinea</i> 적조발생시 환경요인 분석</p> </div> <div data-bbox="782 1198 1013 1489"> <p>2017년 적조 비발생시 환경요인 분석</p> </div> <div data-bbox="1021 1198 1093 1489"> <p>2016 vs. 2017년 환경변화 비교</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>↓</p> <p>환경요인은 <i>Akashiwo sanguinea</i> blooms 소멸에 큰 영향을 미치지 않음.</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="223 1568 494 1915"> <p><b>Algicidal bacteria</b></p> <p>Isolation, Identification, and Algicidal Activity of Marine Bacteria against <i>Cochlodinium polydhalum</i></p> <p>Relationships between dynamics of red tide-causing raphidophcean flagellates and algicidal micro-organisms in the coastal sea of Japan</p> <p><b>Parasite</b></p> <p>Inhibitory effect of the parasite <i>Ameobophyra</i> sp. on the growth of the red tide dinoflagellate <i>Akashiwo sanguinea</i></p> </div> <div data-bbox="510 1568 774 1915"> <p><b>Virus</b></p> <p>Growth Characteristics of <i>Henricornia akashivo</i> Virus and Its Possible Use as a Microbiological Agent for Red Tide Control</p> <p>Influence of Mixed Host Populations on Success of the Parasitic Dinoflagellate <i>Ameobophyra</i></p> </div> <div data-bbox="790 1568 997 1915"> <p><b>The correlations between bacteria and <i>A. sanguinea</i></b></p> <p><b>Inhibition against <i>A. sanguinea</i> blooms: No Sustainability of <i>A. sanguinea</i> blooms: Yes Supplementations of inorganic nutrients !!!</b></p> <p><b>Lower abundance of <i>Ameobophyra</i> sp.</b></p> </div> <div data-bbox="1013 1568 1157 1915"> <p><b>Effects of <i>Ameobophyra</i> sp. infection</b></p> </div> <div data-bbox="1173 1568 1420 1915"> <p><b>Effect of algal virus to control <i>A. sanguinea</i> blooms</b></p> <p><b>Phycodnavirus vs. <i>A. sanguinea</i></b></p> <p><math>r = -0.848</math><br/><math>P &lt; 0.001</math></p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>↓</p> <p><b>Bacteria &amp; Parasites: <i>A. sanguinea</i> blooms 소멸에 큰 영향을 미치지 않음</b></p> <p><b>Phycodnavirus와 <i>A. sanguinea</i> blooms이 높은 상관성을 보임.</b></p> </div> |  |
| <p>증빙자료</p>   | <p>○ Nature Communication 투고 준비중</p>   |

|                 |   |
|-----------------|---|
| <p>우수성과 -2.</p> | <p>위도별 일차생산자 반응 해양바이러스의 해양생태계 역할 규명</p>   |
| <p>성과 내용</p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 위도차 (북극, 우리나라, 열대)에 따라 일차생산자의 군집의 차이 및 이에 따른 해양 바이러스의 역할 규명             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 북극 일차생산자 (Aureococcus sp.) 주 우점에 따른 종 특이적인 해양바이러스 출현 현상 규명</li> <li>- 우리나라 봄철 녹조류 (Bathycococcus, Micromonas)의 종 특이적 감염하는 해양 바이러스 발견</li> <li>- 열대 해역의 남조류 (Synecococcus)에 종 특이적인 해양 바이러스 발견</li> </ul> </li> </ul> |
| <p>성과의 우수성</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 북극, 우리나라, 열대 해역의 일차생산자 대응 종 특이적인 해양바이러스 특성 규명             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 위도별 일차생산자 특이적인 해양 조절자인 해양바이러스 역할 규명</li> <li>- 위도별 미소생태계가 다른 시스템으로 구성되는 Microbial loops 규명</li> </ul> </li> </ul>   |
|                 |   |
| <p>증빙자료</p>     | <p>○ 조사 결과</p>  |

### 3. 1차년도 연구결과에 대한 자체 평가 의견

| 구분               | 주요 내용   |
|------------------|---|
| 자체<br>종합<br>평가의견 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선행 연구결과(문헌) 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양 바이러스를 NCDLV 및 Phycodnavirus 중심으로 연구결과 분석에 따른 데이터베이스 구축</li> <li>- Microbial loops에서 해양바이러스의 역할에 관한 연구 분석에 따른 연구의 강점과 약점, 기회와 위기의 SWOT 분석하여 미래 선도적인 연구 가능성을 도출</li> </ul> </li> <li>○ 북극/우리나라/남태평양 기존 시료 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 북극(2017년 10월, 2018년 4월 및 2018년 6월 바이러스, 박테리아, 일차생산자 시료 분석), 우리나라 통영해역 (2014-2017년까지 계절별 바이러스, 일차생산자 시료 분석), 남태평양 (2018년 8월 바이러스, 박테리아, 일차생산자 시료 분석), 우리나라 (장목만) 2016년 적조발생에 따른 소멸기작으로 바이러스 분석 완료에 따른 해양생태계에서 일차생산자와 해양바이러스의 관계 규명</li> </ul> </li> <li>○ 우리나라 및 남태평양 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 조사               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2018년 우리나라 (통영해역) 및 2018년 10월 남태평양 해양환경, 바이러스 vs. 일차생산자 시료 분석에 따른 더 정확한 Microbial loops의 새로운 영향 단계 규명을 위한 시료 확보</li> </ul> </li> </ul> |

## **V 차년도 연구계획**

---

# 1. 2019년도 연구개발 목표

## 가. 연구개발 목표 및 내용

### 1) 최종목표

| 구분        | 내용   |
|-----------|--|
| 최종목표      | 주요 위도별 시료채취, 분자생물학적 군집구성, 감염 노출, 세포반응 분석 등을 통한 해양바이러스-일차생산자 연관관계 분석 및 전지구적 기후변화에서의 해양바이러스의 역할 규명   |
| 최종목표 설정근거 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전지구적 온난화로 인한 거대바이러스 위험성</li> <li>○ 지구온난화에서의 거대바이러스에 의한 해양 일차생산자 조절 기작의 중요성</li> <li>○ 주요 위도별 해양 일차생산자 및 대응 바이러스 다양성 분석을 통한 우리나라 해양생태계 미래예측 가능성</li> </ul> |
| 세부목표      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주요 위도별(북극해, 우리나라, 남태평양) 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링</li> <li>○ 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 및 연관관계 분석</li> <li>○ 주요 위도별 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 규명</li> </ul>   |

### 2) 2019년도 정성적 성과목표

| 년차            | 성과목표   | 연구내용                                    | 가중치 | 평가의 착안점 및 척도  |
|---------------|--|---|-----|---|
| 2년차<br>(2019) | 1. 주요 위도별(북극해, 우리나라, 남태평양) 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링 | 1-1. NGS 기반 주요 위도별 해양 일차생산자 모니터링        | 0.2 | 모니터링 횟수는 우리나라 연안의 경우 월별 (또는 계절별) 조사를 원칙으로 하되 북극해 또는 남태평양의 경우 연 1회 및 2회의 모니터링을 기본으로 수행 |
|               |  | 1-2. NGS 기반 주요 위도별 해양 바이러스 모니터링         |     |   |
|               |  | 1-3. 주요 위도별 환경 모니터링                     |     |   |
|               | 2. 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 및 현상 파악                 | 2-1. 주요 위도별 해양바이러스 vs. 일차생산자의 상관관계 연구   | 0.5 | 위도별 해양바이러스가 일차생산자에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 변동 규명   |
|               |  | 2-2. 주요 위도별 해양바이러스에 의한 일차생산자의 조절 기작 이해  |     |   |
|               | 3. 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 분석                         | 3-1. 해양바이러스 농축 및 일차생산자 배양 시스템 구축        | 0.3 | 종특이적 일차생산자 감염 바이러스 탐색 및 전사체 분석  |
|               |  | 3-2. 해양바이러스 감염에 대한 일차생산자의 -omics 기반 분석  |     |   |
|               |  | 3-3. 해양바이러스 감염에 대한 일차생산자의 세포 생리활성 기반 분석 |     |   |
|               |  | 계                                       |     | 1.0   |



### 3) 정량적 성과목표 (최종목표)

| 구분 | 달성 목표(건)         | 예상성과(결과물)의 주요 내용                              |
|----|------------------|---|
| 논문 | PNAS 급 이상 저널에 게재 | 1 위도별 해양 바이러스 - 일차생산자의 생태학적 특성 및 생리세포학적 반응 규명 |
|    | JCR 저널 논문        | 6 본 연구에서 생산된 결과 발표                            |

※ 정량목표 설정 근거(또는 당위성)

○ PNAS 급 이상 저널 논문 1편 및 JCR 저널 논문 6편

- 전 지구적으로 기후변화 (온난화)로 인한 해양 바이러스(Giant-virus)의 위험성에도 불구하고 연구동향은 미미함. 따라서 본 연구의 Novelty가 있다고 판단됨.
- 대부분의 기존 연구결과는 특정해역을 중심으로 연구가 되어 있으나, 본 연구는 북극해-우리나라-남태평양의 위도별 변화를 파악하기 때문에 Global한 issue를 유도할 수 있다고 판단됨.
- 특히, 위도별 해양 바이러스-일차생산자간의 coupling 연구는 본 연구가 최초이기 때문에 PNAS 급 이상 저널에 출판할 수 있다고 판단됨.
- 본 연구진이 제시한 정량적 성과목표는 PNAS 급 이상 저널 1편 및 연구과정에서 생산된 결과물을 가지고 JCR 저널 6편을 목표로 설정하였으나, 이는 최소의 성과목표이며 본 연구진의 가설이 증명된다면 PNAS 급 이상 저널 2편 이상이 가능할 것으로 판단하고 있음.

### 4) 연구목표 및 내용

#### (가) 성과목표 1. 주요 위도별(북극해, 우리나라, 남태평양) 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링

- NGS 기반 주요 위도별 해양 일차생산자 모니터링
- NGS 기반 주요 위도별 해양 바이러스 모니터링
- 주요 위도별 환경 모니터링
  - 북극은 2019년 7월 북극 다산기지 앞 해역의 일차생산자 및 해양바이러스 시료를 채집 및 척치 및 베링해는 극지연구소와 연계하여 시료를 확보하여 PCR 및 NGS 분석을 통하여 결과를 생산함.
  - 또한 우리나라는 2019년 월별 시료를 채집하여 분석함. 남태평양 시료는 2019년 4월과 10월에 시료를 채집하여 결과를 분석함.
  - 위 결과를 기반으로 해양 바이러스에 의한 일차생산자간의 상관관계를 도출함.

**(나) 성과목표 2. 주요 위도별 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 규명**

- 주요 위도별 해양바이러스 vs. 일차생산자의 상관관계 연구
- 주요 위도별 해양바이러스에 의한 일차생산자의 조절 기작 이해
  - 주요 위도별(북극해, 우리나라, 남태평양) 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스의 생태학적 영향을 규명하기 위하여 분자생물학 기반 해양 일차생산자의 모니터링은 특정 분자 마커를 이용하여 phytoplankton 및 cyanobacteria를 분석을 수행함
  - 해양 바이러스는 phytoplankton을 감염시키는 giant-virus (phycodnavirus) 및 cyanobacteria를 감염시키는 cyanophages의 상관관계 및 현상을 모니터링함.

**(다) 성과목표 3. 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 분석**

- 해양바이러스 농축 및 일차생산자 배양 시스템 구축
- 해양바이러스 감염에 대한 일차 생산자의 -omics 기반 분석
- 해양바이러스 감염에 대한 일차생산자의 세포 생리활성 기반 분석
  - 해양 바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 및 연관관계를 규명하기 위하여 각 위도별 해양 바이러스를 현장에서 대량 농축 및 배양, 유지하여 실험실로 이동함.
  - 또한 각 위도별 중요 일차생산자 (예: 북극해: phytoplankton, 남태평양: cyanobacteria)를 분리 및 1차 배양, 유지하여 실험실에서 일차생산자의 바이러스 감염에 의한 생사를 판별함
  - 감염에 대한 일차생산자의 omics 기반 세포 반응을 분석하며 활성산소와 같은 생화학 및 생리학적 세포반응을 분석함.

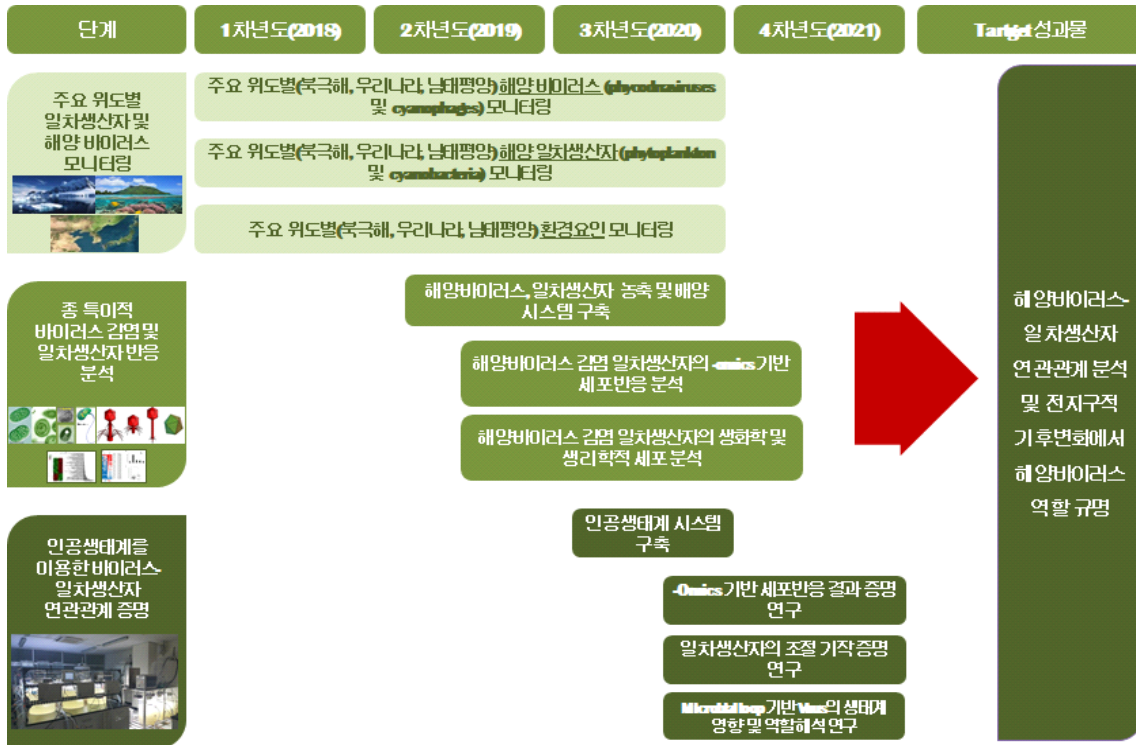
## 나. 연구개발 추진 전략 및 체계

### 1) 연차별 연구개발 추진전략 (체계)

- ‘해양 미소생태계 및 전지구적 기후변화에서 해양바이러스의 역할을 규명’하기 위하여 3가지 전략목표를 중심으로 유기적인 연계 연구 방안 수립으로 구성



## 2) 연차별 연구개발 로드맵



## 3) 주요목표별 추진 일정

|       |  | 추진 일정    |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    |                  |                  |
|-------|--|----------|---|---|----|---|---|---------------|---|---|----|----|----|------------------|------------------|
| 해당 연도 | 세부 성과 목표   | 월별 추진 일정 |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    | 책임자 (소속기관)       |                  |
|       |  | 1        | 2 | 3 | 4  | 5 | 6 | 7             | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |                  |                  |
| 2019  | 주요 위도별 해양 일차 생산자, 해양바이러스 및 해양환경 모니터링 및 현상 이해         | 우리나라     |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    | 이택건, 정승원 (KIOST) |                  |
|       |  |          |   |   | 열대 |   |   |               |   |   |    |    | 열대 |                  |                  |
|       |  |          |   |   |    |   |   | 북극 다산기지 및 배양해 |   |   |    |    |    |                  |                  |
|       | 일차생산자 배양 시스템 구축                                      |          |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    |                  | 정승원 (KIOST)      |
|       | 바이러스 감염 시스템 구축                                       |          |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    |                  | 이택건 (KIOST)      |
| 2020  | 주요 위도별 해양 일차 생산자, 해양바이러스 및 해양환경 모니터링 및 현상 이해         | 우리나라     |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    | 이택건, 정승원 (KIOST) |                  |
|       |  |          |   |   | 열대 |   |   |               |   |   |    |    | 열대 |                  |                  |
|       |  |          |   |   |    |   |   | 북극 다산기지 및 배양해 |   |   |    |    |    |                  |                  |
|       | 해양바이러스 농축 시스템 구축                                     |          |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    |                  | 이택건 (KIOST)      |
|       | 바이러스 감염 일차생산자 -Omics 기반 세포반응 분석                      |          |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    |                  | 이택건, 정승원 (KIOST) |
|       | 해양바이러스-일차생산자 반응 연구를 위한 인공생태계 시스템 구축                  |          |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    |                  | 정승원 (KIOST)      |
| 2021  | 해양바이러스 감염에 대한 일차생산자의 Omics 기반 세포반응 결과 증명 인공생태계 연구    |          |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    |                  | 이택건, 정승원 (KIOST) |
|       | 해양바이러스에 의한 일차생산자의 조절 기작 증명을 위한 인공생태계 연구              |          |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    |                  | 이택건, 정승원 (KIOST) |
|       | Microbial loop 기반 Virus의 생태계 영향 및 역할 해석을 위한 인공생태계 연구 |          |   |   |    |   |   |               |   |   |    |    |    |                  | 이택건, 정승원 (KIOST) |

#### 4) Target 성과물

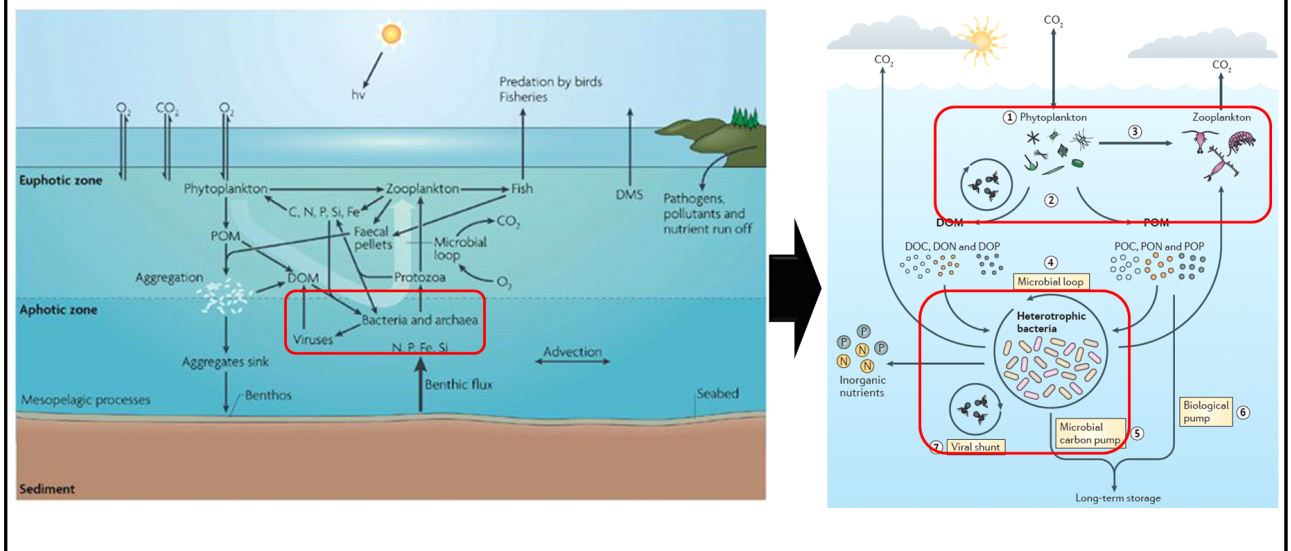
##### ● Target 성과물 : 해양바이러스에 의한 일차생산자 조절 기작 이해

- ❖ 북극해-남태평양 지역 샘플링
- ❖ 전지구적 관심 자료의 획득 및 분석
- ❖ 글로벌 해양바이러스 DB 구축
- ❖ 기후변화에 따른 외래 해양바이러스에 대한 profiling
- ❖ 해양생물의 변동을 신속, 정확히 분석할 수 있는 기법 개발

- 기후변화 관련 해양생태계 연구의 기초자료
- 기후변화 관련 전지구적 해양 생태계 연구에서 선도적 역할
- 신종 해양바이러스 발생에 대한 국가 위기 대응 능력 향상
- 신규 연구영역 확대

#### 해양 미소생태계의 기존 이론을 바꿀 수 있는 신규 패러다임 기대

- 기존의 해양 미소생태계의 관련 연구는 DOM/무기영양염-박테리아-식물플랑크톤-동물플랑크톤의 상호작용을 중심으로 보고되고 있음.
- 본 연구개발은 해양 미소생태계에서 해양 바이러스가 일차생산자의 중요한 생태학적 조절자의 역할로 포함시켜 해석하고자 하는 것인데, 아직까지는 해양바이러스에 의한 영양염 배출, 순환 및 기후변화와의 연관관계 규명과 관련된 연구는 거의 이루어지지 않고 있음
- 특히 본 연구에서 북극해는 거대 바이러스(phycodnavirus)가 일차 생산자를, 남태평양은 cyanophage가 일차 생산자를 조절하는 중요 생태학적 조절자의 역할을 수행한다는 가설이 증명된다면 해역별 미소생태계의 기존 이론을 바꿀 수 있는 신규 패러다임을 기대하고 있음.



## **VI** **부록: 발표자료**

---

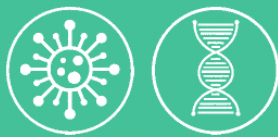
KIOST Excellence Project

# 거대바이러스-일차생산자 커플링 및 해양미소생태계에서의 중심 역할에 대한 연구

2019. 01. 10

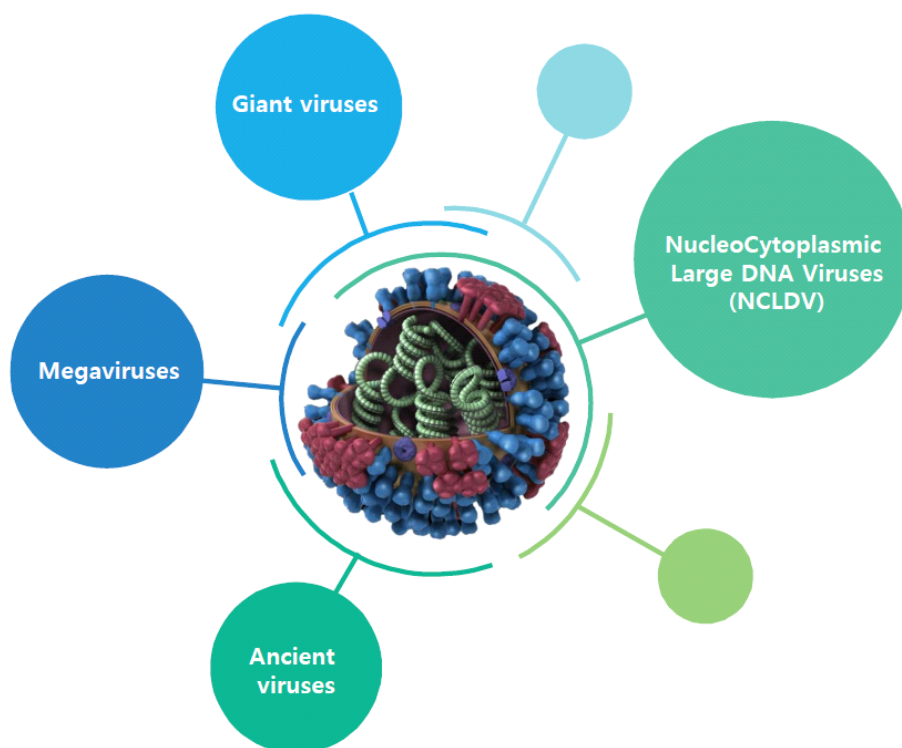
생태위해성연구부 이택건

KIOST 한국해양과학기술원



## 01 연구배경





**Human immunodeficiency virus (HIV)**

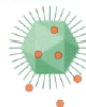
~100nm  
Genes: 9  
Discovered: Human blood

**Mimivirus**



~400nm  
Genes: 1018  
Discovered: Water tower, Bradford, UK

**Mamavirus**



~400nm  
Genes: 1023  
Discovered: Water tower, Paris, France  
Can be infected by **Sputnik virophage**  
● **SPUTNIK VIROPHAGE**  
~50nm Genes: 21

**Megavirus**



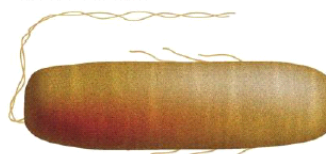
440nm  
Genes: 1120  
Discovered: Ocean off Chile

**Pithovirus**

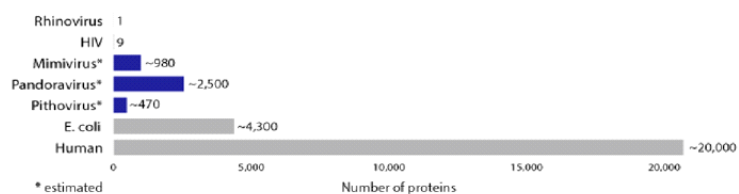


1500nm  
Genes: 467  
Discovered: 30,000-year-old  
Siberian ice core

**E. coli bacterium**



~2000nm  
Genes: 4288  
Discovered: Human colon

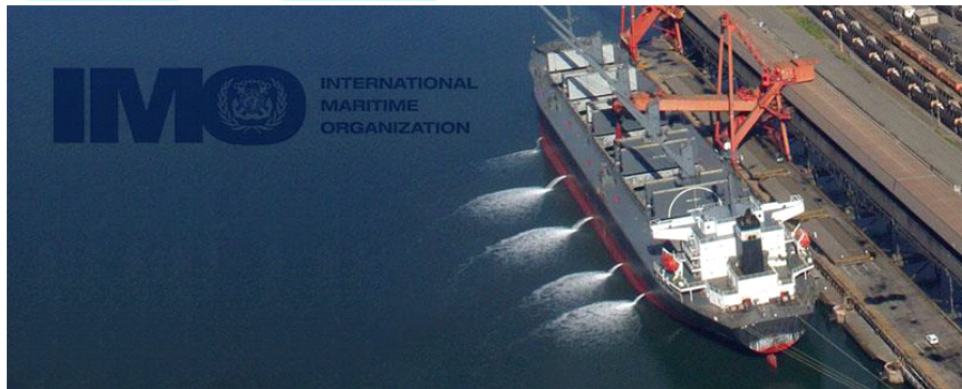






| Family           | Size (nm)  | Host                            | Genus   | Shape |
|------------------|------------|---------------------------------|---|-------|
| Ascoviridae      | 200-240    | Invertebrates                   | <i>Ascovirus</i>  |       |
| Asfarviridae     | 172-191    | Insects, pigs, amoebae          | <i>Asfarvirus</i><br><i>Faustovirus</i>   |       |
| Iridoviridae     | 120-350    | Amphibian, fish, invertebrates  | <i>Megalocyctivirus</i> , <i>Ranavirus</i> , <i>Iridovirus</i> ,<br><i>Chloriridovirus</i><br><i>Lymphocystivirus</i>                 |       |
| Marseilleviridae | 250 nm     | Amoeba, human                   | <i>Marseillevirus</i>   |       |
| Mimiviridae      | 400 nm     | Amoeba, protist                 | <i>Mimivirus</i> , <i>Klosneuvirus</i><br><i>Cafeteriavirus</i> , <i>Tupanvirus</i>   |       |
| Pandoraviridae   | ~1,000 nm  | Amoeba                          | <i>Pandoravirus</i>   |       |
| Phycodnaviridae  | 100-220 nm | Algae                           | <i>Chlorovirus</i> , <i>Coccolithovirus</i><br><i>Phaeovirus</i> , <i>Prasinovirus</i><br><i>Prymnesiovirus</i> , <i>Raphidovirus</i> |       |
| Pithoviridae     | ~1,500 nm  | Amoeba                          | <i>Pithovirus</i>   |       |
| Poxviridae       | 200-300 nm | Humans, vertebrates, arthropods | 28 genera   |       |







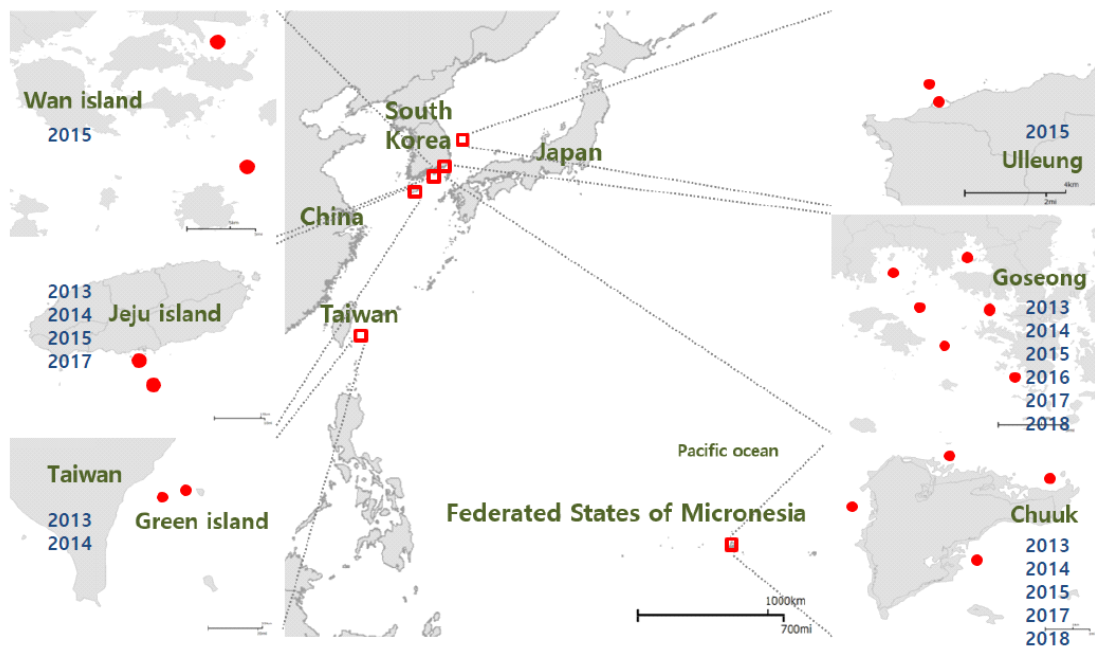
| 관련 연구사업 수행 |

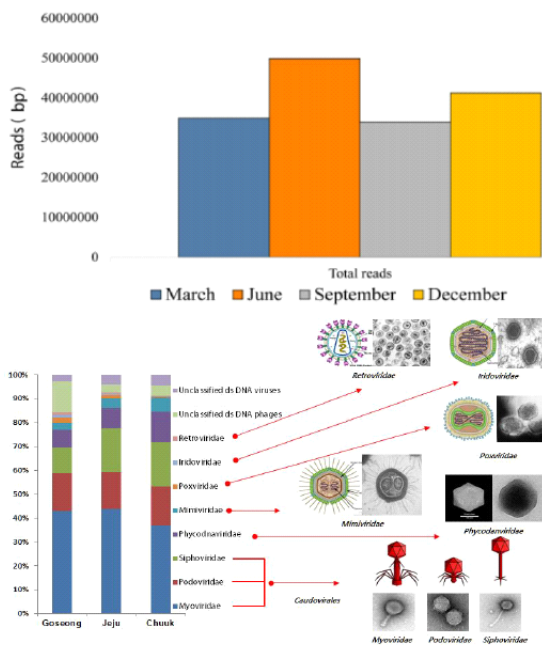
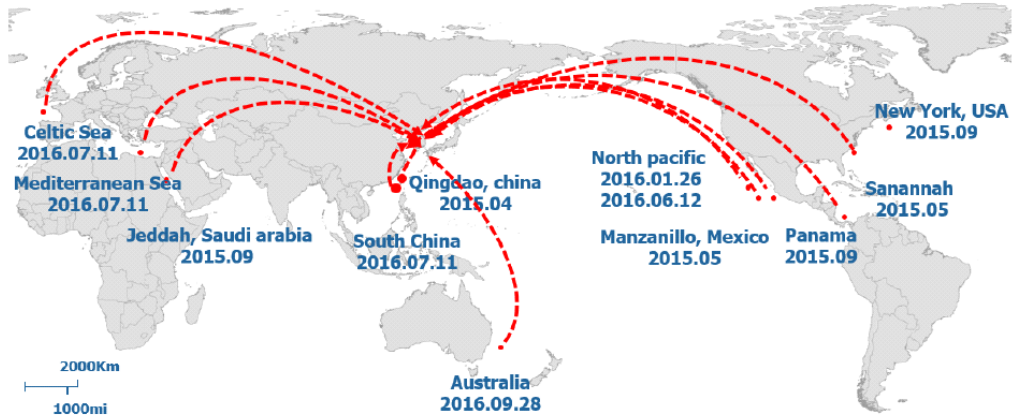


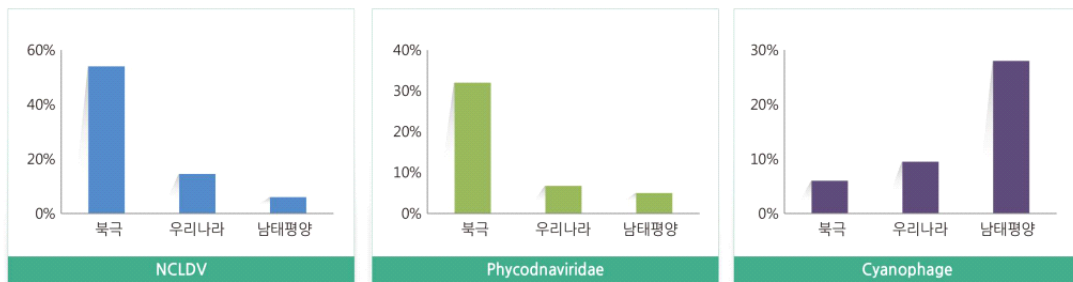
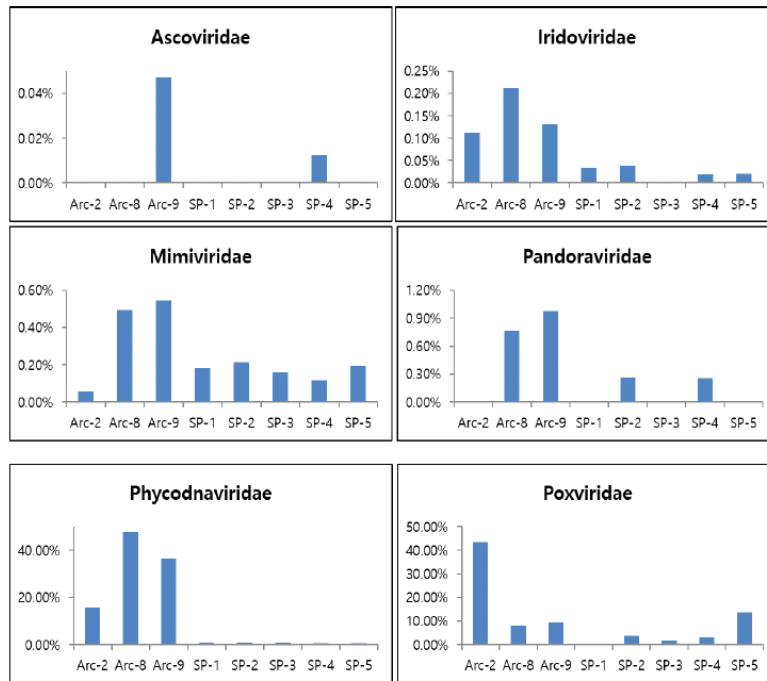
| 과제명                                | 수행년도                | 총연구비(천원)  | 발주처      |
|------------------------------------|---------------------|-----------|----------|
| 글로벌 감염성 해양바이러스 병원체 모니터링 및 프로파일링    | 2017. 09 - 2022. 05 | 1,000,000 | 과기정통부    |
| 해양바이러스 병원체 진단키트 실용화 기술 개발          | 2016. 07 - 2017. 12 | 540,000   | 해양과기원    |
| 선박기인 외래 해양병원체 탐색 및 진단기술 개발         | 2016. 05 - 2016. 12 | 318,000   | 해양환경관리공단 |
| 해양 유해조류 자동판별시스템 개발 및 방제적용기술 타당성 분석 | 2013. 10 - 2018. 07 | 2,555,000 | 과기정통부    |
| 남해생태계 이머징 해양병원체 탐색 및 검출기술 개발       | 2013. 01 - 2015. 12 | 1,240,000 | 해양과기원    |
| 기후변화에 따른 해양 세균성 병원체 탐색기술 개발        | 2013. 01 - 2014. 12 | 150,000   | 식약처      |
| 해양병원체 진단 및 예찰시스템 개발 기획 연구          | 2013. 10 - 2014. 04 | 60,000    | 해양수산부    |
| 병원성 해양바이러스 진단을 위한 YSD 시스템 개발       | 2012. 03 - 2013. 02 | 68,000    | 해양과기원    |



| 국내·외 해양바이러스 샘플링 |





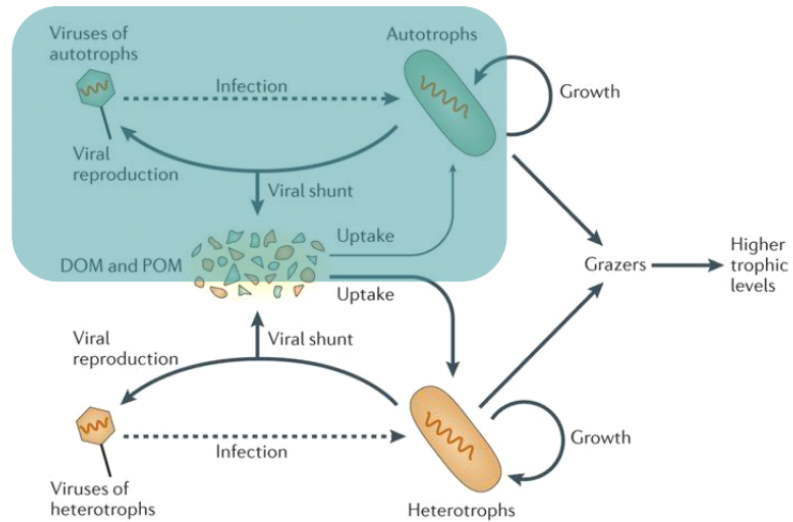




**Marine virus (Phycodnaviruses / Cyanophages)**

vs.

**Primary producers (Eukaryotic picoplanktons / Cyanobacteria)**



Nature Reviews | Microbiology



# 02

## 1차 년도 연구목표 및 내용

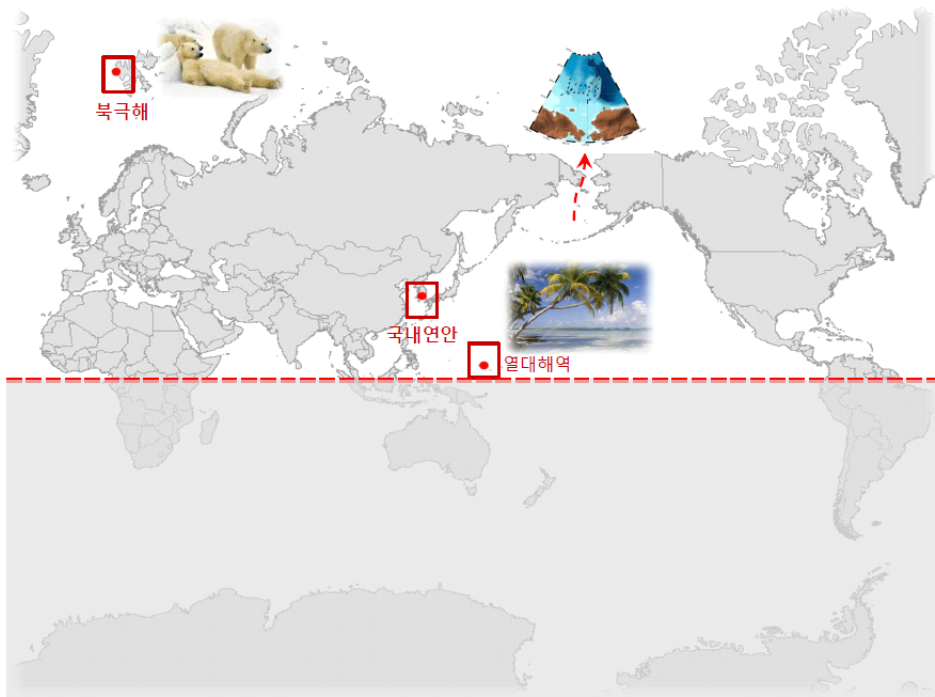


|                 |  |
|-----------------|--|
| 해당연도<br>연구개발 목표 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 선행 연구결과 분석</li> <li>▶ 우리나라 및 남태평양 해양 일차생산자 및 해양바이러스 모니터링</li> </ul> |
|-----------------|--|

| 세부 성과목표                   | 세부 연구개발 내용 및 범위                           | 연구비(천원) | 수행기관  |
|---------------------------|---|---------|-------|
| 선행 연구결과 분석                | 북극/우리나라/남태평양 시료 분석 및 연구 결과 분석             | 20,000  | KIOST |
| 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 | 우리나라 및 남태평양 해양 환경/ 일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 조사 | 80,000  | KIOST |

| 연구개발 내용 및 범위 상세기술 |

- ▶ 북극/우리나라/남태평양 시료 NGS 분석 및 연구 결과 분석
  - 북극: 북극해 해양 바이러스 시료 (2017.10, 2018.04, 06, 08) NGS 분석 및 결과 해석
  - 우리나라/남태평양 분석 결과 해석
  - 해양 바이러스에 의한 일차생산자 상관성 도출
  
- ▶ 우리나라 및 남태평양 해양 환경/일차생산자 및 해양바이러스 모니터링 조사
  - NGS 기반 우리나라 및 남태평양 해양 일차생산자 (미세조류 및 남조류) 모니터링
  - NGS 기반 우리나라 및 남태평양 해양 바이러스 (phycodnaviruses 및 cyanophages) 모니터링
  - 우리나라 및 남태평양 환경 모니터링







| Virus            |      |      | Bacteria    |      |                  | Phytoplankton |                  |             |          |      |
|------------------|------|------|-------------|------|------------------|---------------|------------------|-------------|----------|------|
| 구분               | 날짜   |      | 구분          | 날짜   |                  | 구분            | 날짜               |             |          |      |
| 국외               | 남태평양 | 2014 | 3,6,9,12    | 남태평양 | 2013             | 2,6,10        | 남태평양             | 2018        | 8        |      |
|                  |      | 2017 | 10          |      | 2014             | 3,5,9,12      |                  | 북극          | 2018     | 4,6  |
|                  |      | 2018 | 8           |      | 북극해<br>(베링, 척치해) | 2017          |                  |             | 7        | 2017 |
|                  | 북극   | 2017 | 10          | 2018 |                  | 4,6           | 북극해<br>(베링, 척치해) | 2018        | 7        |      |
|                  |      | 2018 | 4,6         | 2018 | 7                | 2018          |                  | 7           |          |      |
| 북극해<br>(베링, 척치해) | 2018 | 7    | 2018        | 7    |                  |               |                  |             |          |      |
| 국내               | 통영   | 2014 | 3,6,9,12    | 통영   | 2013             | 3,5,9,12      | 통영               | 2014        | 3,6,9,12 |      |
|                  |      | 2015 | 3,9         |      | 2014             | 3,6,9,12      |                  | 2015        | 3,9      |      |
|                  |      | 2018 | 3,4,5,6,7,8 |      | 2015             | 3,8           |                  |             | 2018     | 3,4  |
|                  |      |      | 2018        |      | 3,4,5,6,7,8      | 2018          |                  | 3,4         |          |      |
|                  | 제주   | 2014 | 3,6,9,12    | 제주   | 2013             | 3,5,9,12      | 2018             | 3,4,5,6,7,8 |          |      |
|                  |      | 2015 | 3,9         |      | 2014             | 3,6,9,12      |                  |             |          |      |
|                  |      |      | 2015        |      | 3,9              | 2015          |                  | 3,10        |          |      |







|        |  |
|--------|--|
| 검색 키워드 | marine, ocean, sea, coast, estuary, bay and virus, viral                 |
| 추가 키워드 | NCLDV, giant virus, phycodnavirus, cyanophage, poxvirus, phycodnaviridae |

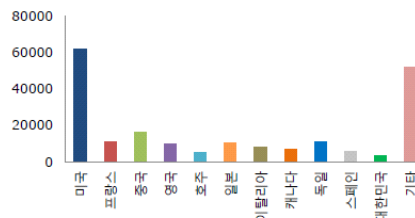
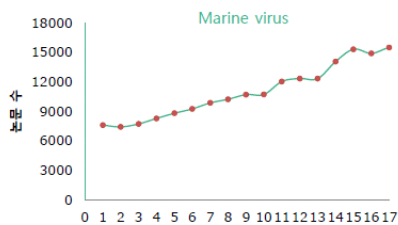
논문 검색식

글로벌 감염성  
해양 바이러스성  
병원체

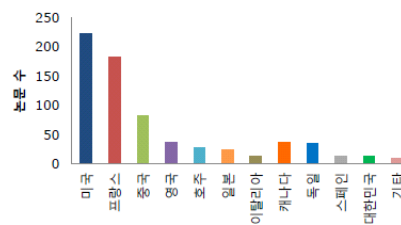
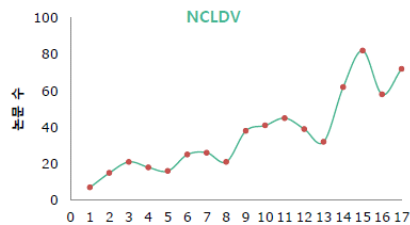
marine[Title/Abstract] OR ocean[Title/Abstract] OR sea[Title/Abstract] OR coast[Title/Abstract] OR estuary[Title/Abstract] OR bay[Title/Abstract] AND (virus[Title/Abstract] OR viral[Title/Abstract]) AND NCLDV[Title/Abstract] OR "giant virus"[Title/Abstract] OR phycodnavirus[Title/Abstract] OR cyanophage[Title/Abstract] OR poxvirus[Title/Abstract] OR phycodnaviridae[Title/Abstract]

| 세부분야                   | hitting 건수 | 유효데이터 건수 |
|------------------------|------------|----------|
| Marine virus           | 331858     | 202515   |
| 거대 바이러스                | 906        | 701      |
| Phytoplankton          | 32821      | 23684    |
| Phycodnavirus          | 222        | 178      |
| Cyanobacteria          | 5138       | 3514     |
| Cyanophage             | 3494       | 2197     |
| Microbial loop         | 88         | 66       |
| Microbial loop + virus | 15         | 11       |

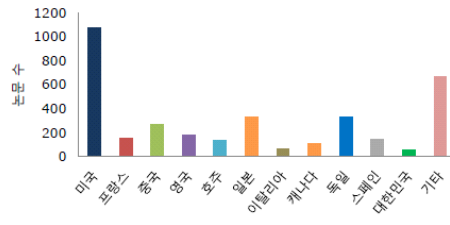
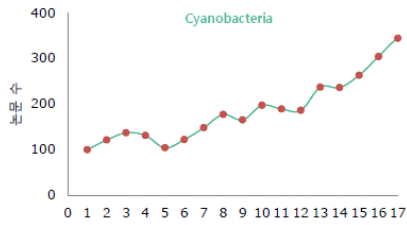
2018 KIOST Excellence Project



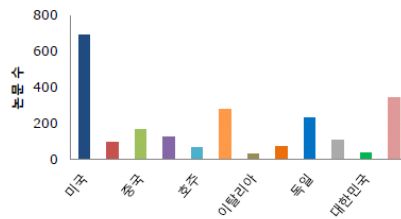
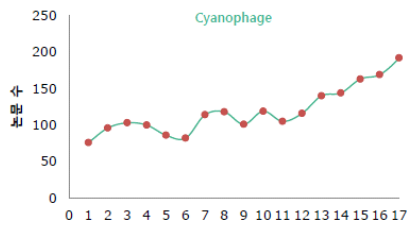
| 연도   | 00    | 01    | 02    | 03   | 04   | 05    | 06   | 07    | 08    | 09    | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    |
|------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 논문 수 | 7590  | 7410  | 7719  | 8277 | 8800 | 9247  | 9854 | 10227 | 10695 | 10720 | 12033 | 12333 | 12327 | 14062 | 15319 | 14895 | 15483 | 15524 |
| 국가   | 미국    | 프랑스   | 중국    | 영국   | 호주   | 일본    | 이탈리아 | 캐나다   | 독일    | 스페인   | 대한민국  | 기타    |       |       |       |       |       |       |
| 논문 수 | 61565 | 10945 | 16248 | 9701 | 5229 | 10469 | 8408 | 7073  | 11334 | 6055  | 3693  | 51795 |       |       |       |       |       |       |



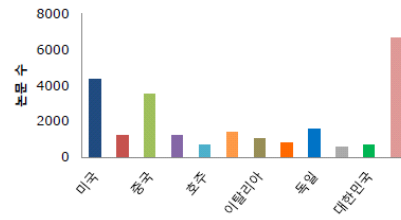
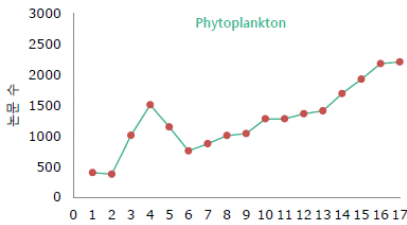
| 연도   | 0   | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6    | 7   | 8  | 9   | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------|-----|-----|----|----|----|----|------|-----|----|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|
| 논문 수 | 7   | 15  | 21 | 18 | 16 | 25 | 26   | 21  | 38 | 41  | 45   | 39 | 32 | 62 | 82 | 58 | 72 | 83 |
| 국가   | 미국  | 프랑스 | 중국 | 영국 | 호주 | 일본 | 이탈리아 | 캐나다 | 독일 | 스페인 | 대한민국 | 기타 |    |    |    |    |    |    |
| 논문 수 | 223 | 183 | 82 | 38 | 28 | 24 | 14   | 37  | 36 | 13  | 13   | 10 |    |    |    |    |    |    |



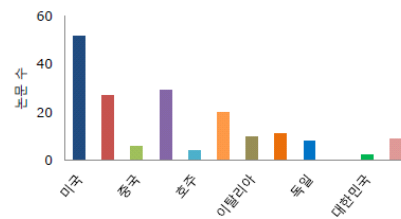
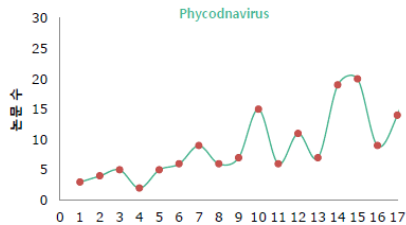
| 연도   | 00   | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06   | 07  | 08  | 09  | 10   | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 논문 수 | 100  | 121 | 137 | 131 | 104 | 122 | 148  | 177 | 165 | 197 | 189  | 186 | 237 | 236 | 263 | 304 | 344 | 353 |
| 국가   | 미국   | 프랑스 | 중국  | 영국  | 호주  | 일본  | 이탈리아 | 캐나다 | 독일  | 스페인 | 대한민국 | 기타  |     |     |     |     |     |     |
| 논문 수 | 1073 | 158 | 269 | 181 | 136 | 330 | 62   | 110 | 331 | 147 | 52   | 665 |     |     |     |     |     |     |



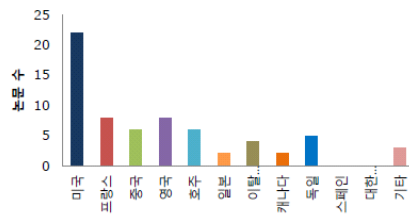
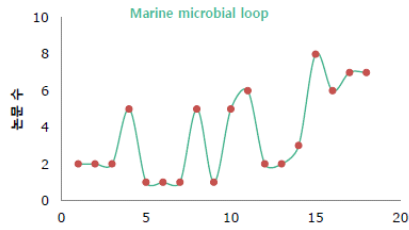
| 연도   | 00  | 01  | 02  | 03  | 04 | 05  | 06   | 07  | 08  | 09  | 10   | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  |
|------|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 논문 수 | 76  | 96  | 103 | 100 | 86 | 82  | 114  | 118 | 101 | 119 | 105  | 116 | 140 | 144 | 163 | 169 | 192 | 228 |
| 국가   | 미국  | 프랑스 | 중국  | 영국  | 호주 | 일본  | 이탈리아 | 캐나다 | 독일  | 스페인 | 대한민국 | 기타  |     |     |     |     |     |     |
| 논문 수 | 692 | 96  | 166 | 125 | 67 | 280 | 34   | 73  | 229 | 106 | 39   | 345 |     |     |     |     |     |     |



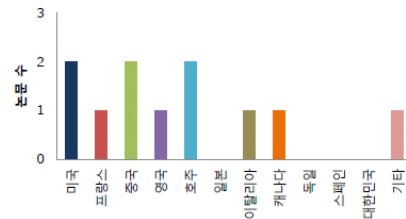
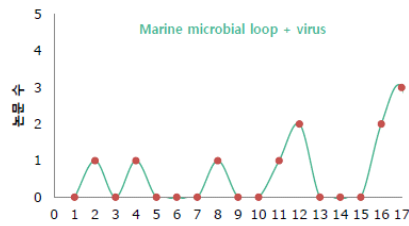
| 연도   | 00   | 01   | 02   | 03   | 04   | 05   | 06   | 07  | 08   | 09   | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 논문 수 | 400  | 378  | 1013 | 1506 | 1143 | 746  | 870  | 997 | 1020 | 1266 | 1263 | 1343 | 1392 | 1665 | 1905 | 2156 | 2187 | 2434 |
| 국가   | 미국   | 프랑스  | 중국   | 영국   | 호주   | 일본   | 이탈리아 | 캐나다 | 독일   | 스페인  | 대한민국 | 기타   |      |      |      |      |      |      |
| 논문 수 | 4341 | 1227 | 3522 | 1203 | 714  | 1364 | 1059 | 787 | 1552 | 566  | 693  | 6656 |      |      |      |      |      |      |



| 연도   | 00 | 01  | 02 | 03 | 04 | 05 | 06   | 07  | 08 | 09  | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------|----|-----|----|----|----|----|------|-----|----|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|
| 논문 수 | 3  | 4   | 5  | 2  | 5  | 6  | 9    | 6   | 7  | 15  | 7    | 11 | 7  | 19 | 22 | 10 | 14 | 26 |
| 국가   | 미국 | 프랑스 | 중국 | 영국 | 호주 | 일본 | 이탈리아 | 캐나다 | 독일 | 스페인 | 대한민국 | 기타 |    |    |    |    |    |    |
| 논문 수 | 52 | 27  | 6  | 29 | 4  | 20 | 10   | 11  | 8  | 0   | 2    | 9  |    |    |    |    |    |    |



|      |    |     |    |    |    |    |      |     |    |     |      |    |    |    |    |    |    |    |
|------|----|-----|----|----|----|----|------|-----|----|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|
| 연도   | 0  | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6    | 7   | 8  | 9   | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 논문 수 | 2  | 2   | 5  | 1  | 5  | 2  | 6    | 2   | 3  | 8   | 6    | 7  | 7  |    |    |    | 7  | 7  |
| 분야   | 미국 | 프랑스 | 중국 | 영국 | 호주 | 일본 | 이탈리아 | 캐나다 | 독일 | 스페인 | 대한민국 | 기타 |    |    |    |    |    |    |
| 논문 수 | 22 | 8   | 6  | 8  | 6  | 2  | 4    | 2   | 5  | 0   | 0    | 3  |    |    |    |    |    |    |

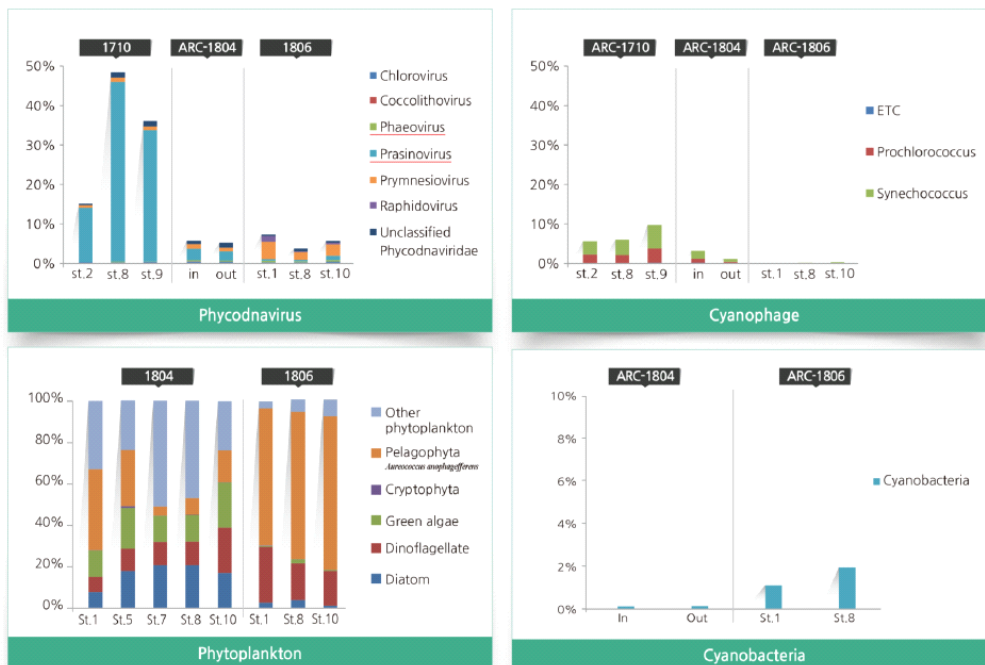
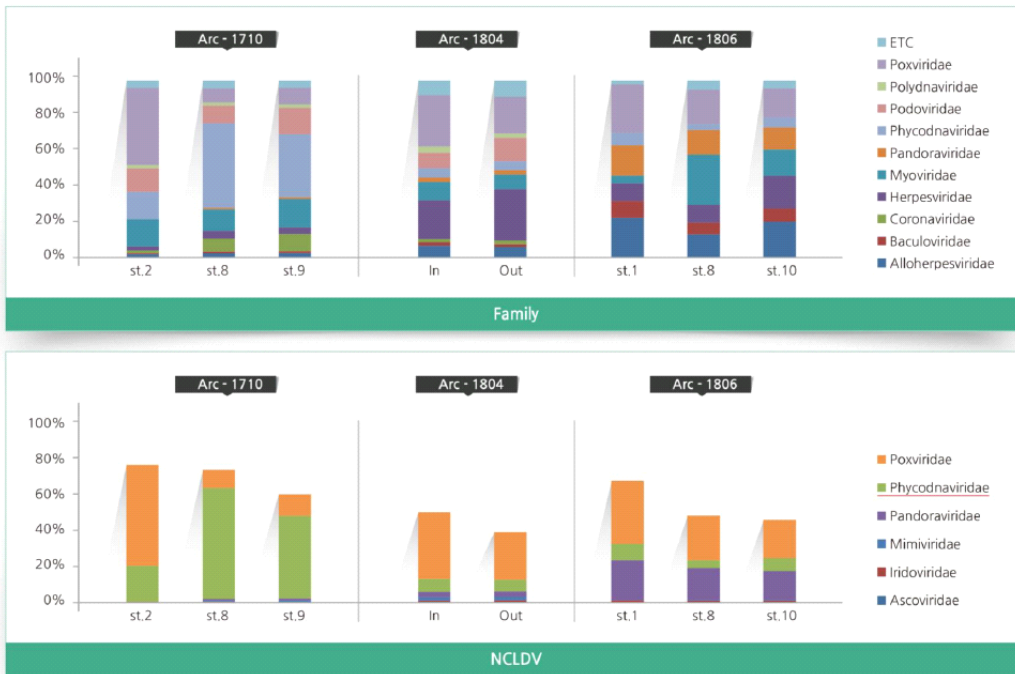


|      |    |     |    |    |    |    |      |     |    |     |      |    |    |    |    |    |    |    |
|------|----|-----|----|----|----|----|------|-----|----|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|
| 연도   | 00 | 01  | 02 | 03 | 04 | 05 | 06   | 07  | 08 | 09  | 10   | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 논문 수 |    |     | 1  |    | 1  |    |      |     | 1  |     |      | 1  | 2  |    |    |    | 2  | 3  |
| 국가   | 미국 | 프랑스 | 중국 | 영국 | 호주 | 일본 | 이탈리아 | 캐나다 | 독일 | 스페인 | 대한민국 | 기타 |    |    |    |    |    |    |
| 논문 수 | 2  | 1   | 2  | 1  | 2  | 0  | 1    | 1   | 0  | 0   | 0    | 1  |    |    |    |    |    |    |



# 04

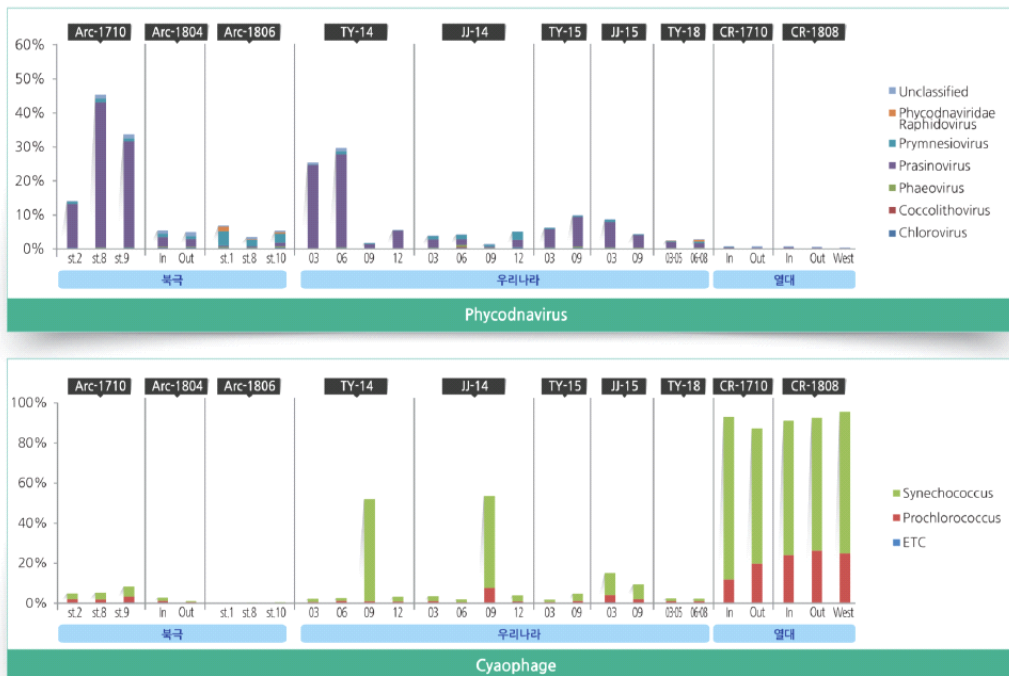
## 해양바이러스 모니터링



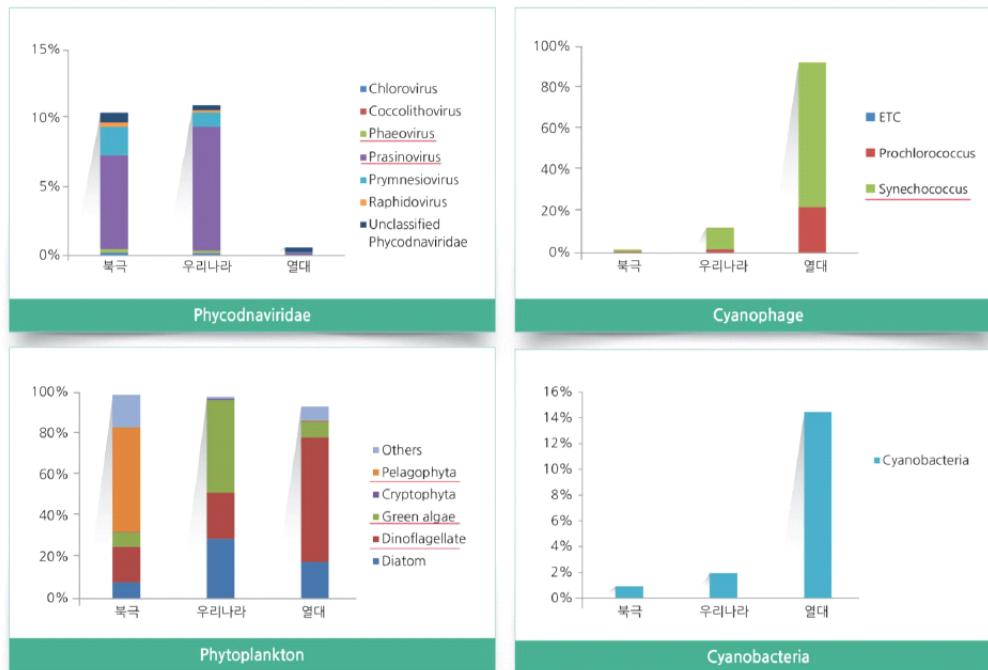
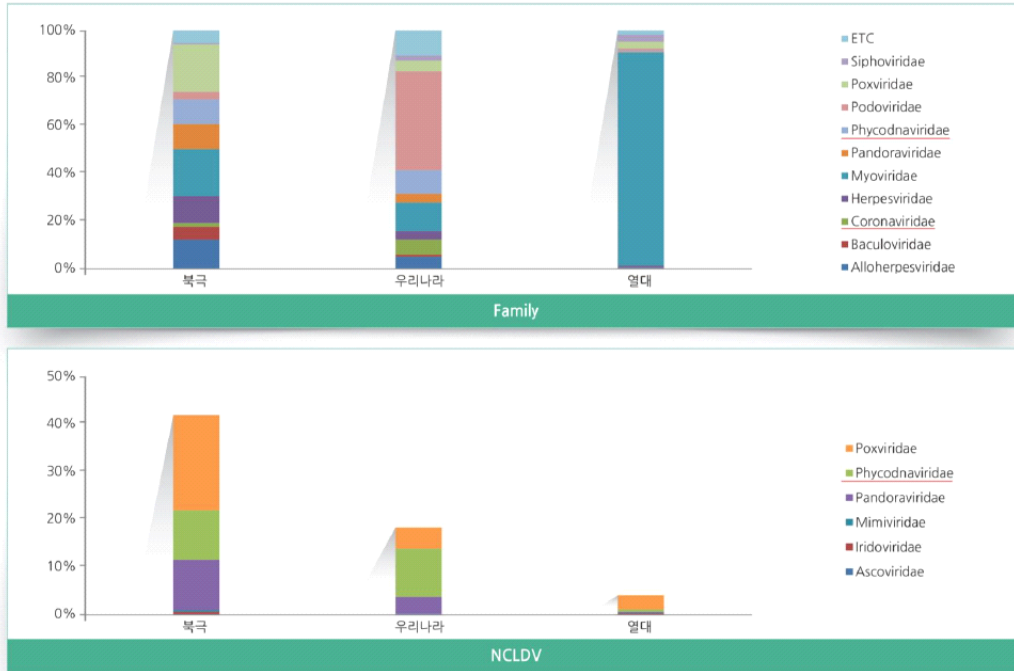










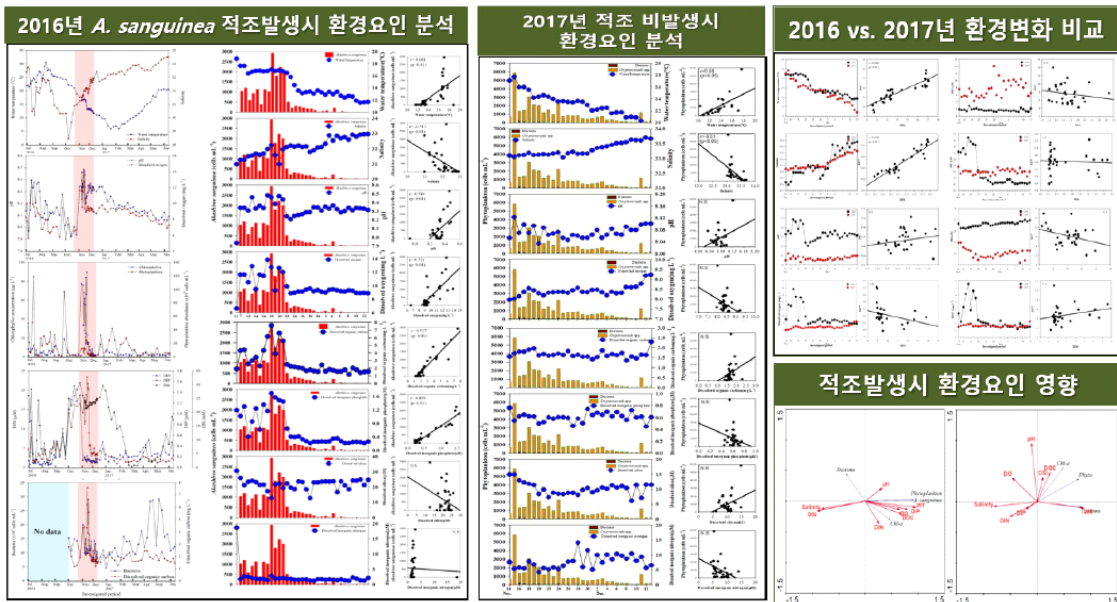




# 05

## 일차생산자 및 바이러스 출현관계 - 적조 소멸 기작 영향

일차생산자 및 바이러스 출현관계 - 적조 소멸 기작 영향



환경요인은 *Akashiwo sanguinea* blooms 소멸에 큰 영향을 미치지 않음.



## Algicidal bacteria

1 April (Print) (2008) 30:1688-1679  
DOI 10.1007/s10841-008-9132-x

### Isolation, identification, and algicidal activity of marine bacteria against *Cochlodinium polykrikoides*

Mi-Ju Kim · Seung-Yun Jeong · Seung-Joon Lee

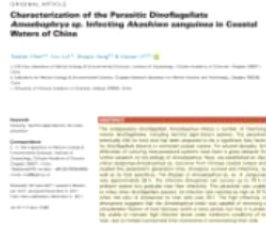
Physiological Research 13(5), 46: 139-146

### Relationships between dynamics of red tide-causing raphidophycean flagellates and algicidal micro-organisms in the coastal sea of Japan

Ichiro Imai, Mi-Chan Kim, Keizo Nagasaki, Shigeru Nakano, and Yuzaburo Ishida

Division of Applied Biochemistry, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan and Red Tide Biology Section, Real Time Research Division, National Fisheries Research Institute, Otsu, Saki, Mie-ken, Mie-shi 579-0452, Japan

## Parasite



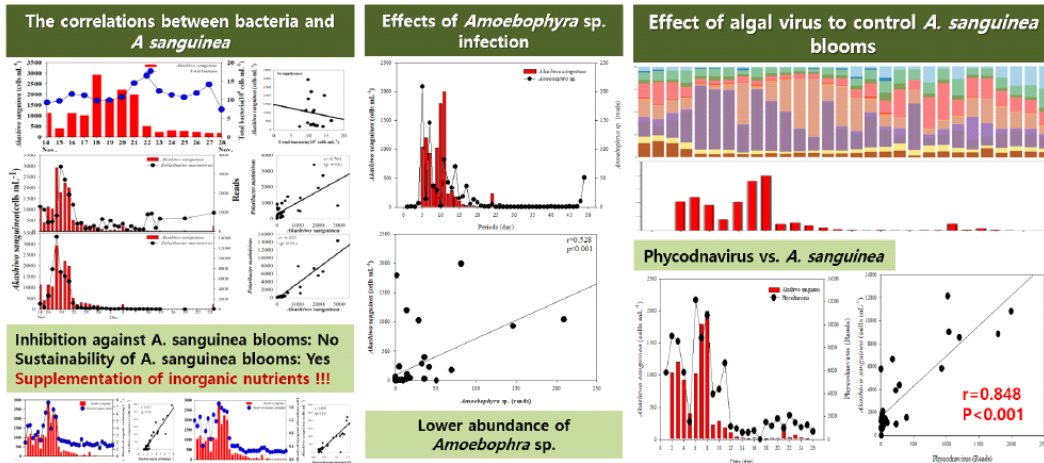
## Virus

APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Nov. 1996, p. 394-402  
0098-2735/96/030394-09  
Copyright © 1996, American Society for Microbiology. All Rights Reserved.

### Growth Characteristics of *Heterosigma akashiwo* Virus and Its Possible Use as a Microbiological Agent for Red Tide Control

KEIICHI NAGASAKI,<sup>1</sup> KENJI TABUTANI,<sup>1</sup> and MINEO YAMAGUCHI<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Marine Phytoplankton Section, Plankton Algal Bloom Division, National Research Institute of Fisheries and Aquaculture of Inland Sea, 2-7-3 Shimonoseki, Ohmi, Sake, Hiroshima 7390242, Japan

The growth characteristics of *Heterosigma akashiwo* virus clone H1 (HaVH1) were examined by performing a one-way growth experiment. The virus had a latent period of 30 to 35 h and a burst size of  $3.7 \times 10^7$  virus-coding units in an infected cell. Transmission electron microscope showed that the virus particles formed on the peripheries of roughosomes, as observed in a natural *H. akashiwo* cell. Inoculation of HaVH1 into a mixed algal culture containing four phytoplankton species, *H. akashiwo* (H9316), *Chaetoceros setiger* (a member of the family Rhaphidophyceae), *Heterosigma rotundum* (a member of the family Thecosiphonales), and *Thalassiosira weissflogii* (a member of the family Bacillariophyceae), resulted in selective growth inhibition of *H. akashiwo*. Inoculation of HaVH1 and *H. akashiwo* (H9316) into a natural seawater sample produced similar results. However, a natural *H. akashiwo* red tide sample did not exhibit any conspicuous sensitivity to HaVH1, presumably because of the great diversity of the host species with respect to virus infection. The growth characteristics of the late virus infecting the sensitive harmful algal bloom-causing alga were considered, and the possibility of using this virus as a microbiological agent against *H. akashiwo* red tides is discussed.



Bacteria & Parasites: *A. sanguinea* blooms 소멸에 큰 영향을 미치지 않음

Phycodnavirus와 *A. sanguinea* blooms이 높은 상관성을 보임.

적조소멸 과정에서 박테리아, 기생성 편모조류 및 바이러스의 관계 및 역할을 최초로 규명 -> Nature Communication 투고 준비중



# 06

## 연구계획

### | 과제 요약 |



|               |   |                |                                |     |                             |
|---------------|---|----------------|--------------------------------|-----|-----------------------------|
| 연구과제명         | 거대바이러스-일차생산자 커플링 및 해양미소생태계에서의 중심 역할에 대한 연구  |                |                                |     |                             |
| 총연구기간         | 2018. 08 - 2021. 12   |                |                                |     |                             |
| 당해년도 연구기간     | 2018. 08 - 2018. 12   |                |                                |     |                             |
| 연구책임자         | 이택건   | 연구기간<br>참여연구원수 | 총: 36 명<br>내부: 36 명<br>외부: 0 명 | 연구비 | 1,000 백만원<br>(당해년도 100 백만원) |
| 연구기관명 및 소속부서명 | 한국해양과학기술원 생태위해성연구부  |                |                                |     |                             |
| 연구목표          | 거대바이러스-일차생산자 연관관계 분석 및 전지구적 기후변화에서의 해양바이러스의 역할 규명   |                |                                |     |                             |
| 세부목표          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 최종목표 설정근거           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 전지구적 온난화로 인한 거대바이러스 위험성</li> <li>▪ 지구온난화에서의 거대바이러스에 의한 해양 일차생산자 조절 기작의 중요성</li> <li>▪ 주요 위도별 해양 일차생산자 및 대응 바이러스 다양성 분석을 통한 우리나라 해양생태계 미래예측 가능성</li> </ul> </li> <li>▶ 세부목표           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 주요 위도별(북극해, 우리나라, 남태평양) 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 모니터링</li> <li>▪ 해양바이러스 노출에 대한 일차생산자 반응 및 연관관계 분석</li> <li>▪ 주요 위도별 해양바이러스에 따른 일차생산자의 생태학적 영향 규명</li> </ul> </li> </ul> |                |                                |     |                             |

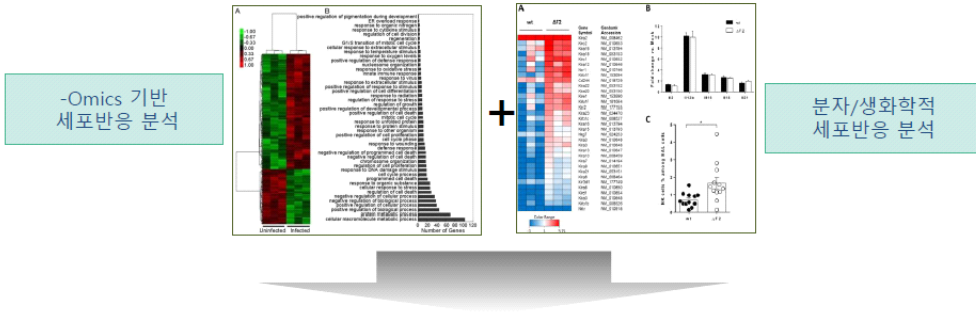
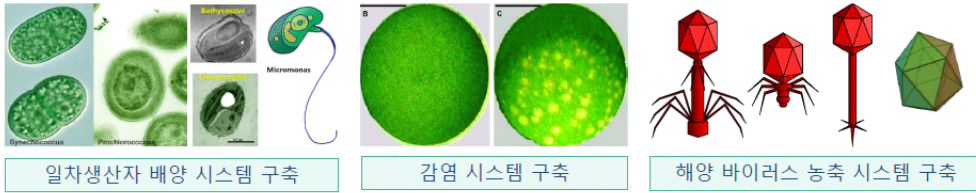




1. 주요 위도별 일차생산자 및 대응 해양 바이러스 모니터링

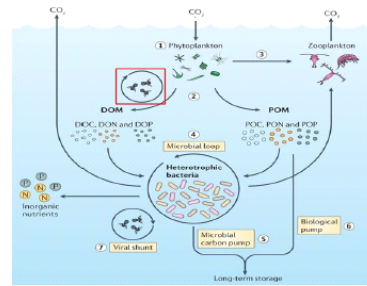


## II. 종 특이적 바이러스 감염 및 일차생산자 반응 분석



숙주 특이적인 바이러스 Screening 및 감염에 따른 세포 사멸기작 규명

## III. 인공생태계를 이용한 바이러스-일차생산자 연관관계 증명



인공생태계에서의 해양바이러스-일차생산자 반응

해양바이러스 감염에 대한 일차생산자의 Omics 기반 세포반응 결과 증명

해양바이러스에 의한 일차생산자의 조절 기작 증명

Microbial loop 기반 Virus의 생태계 영향 및 역할 해석

해양 미소생태계 및 전지구적 기후변화에서의 해양바이러스의 역할 규명



| 추진 일정 |



| 추진 일정 |  | 월별 추진 일정 |   |   |   |    |   |   |   |   |    |    |    | 책임자<br>(소속기관) |                     |
|-------|--|----------|---|---|---|----|---|---|---|---|----|----|----|---------------|---------------------|
| 해당 연도 | 세부 성과 목표   | 1        | 2 | 3 | 4 | 5  | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |               |                     |
| 2019  | 주요 위도별 해양 일차 생산자, 해양바이러스 및 해양환경 모니터링 및 현상 이해         |          |   |   |   | 열대 |   |   |   |   |    |    | 열대 |               | 이택건, 정승원<br>(KIOST) |
|       | 일차생산자 배양 시스템 구축                                      |          |   |   |   |    |   |   |   |   |    |    |    |               |                     |
|       | 바이러스 감염 시스템 구축                                       |          |   |   |   |    |   |   |   |   |    |    |    |               |                     |
| 2020  | 주요 위도별 해양 일차 생산자, 해양바이러스 및 해양환경 모니터링 및 현상 이해         |          |   |   |   | 열대 |   |   |   |   |    |    | 열대 |               | 이택건, 정승원<br>(KIOST) |
|       | 해양바이러스 농축 시스템 구축                                     |          |   |   |   |    |   |   |   |   |    |    |    |               |                     |
|       | 바이러스 감염 일차생산자 -Omics 기반 세포반응 분석                      |          |   |   |   |    |   |   |   |   |    |    |    |               |                     |
| 2021  | 해양바이러스-일차생산자 반응 연구를 위한 인공생태계 시스템 구축                  |          |   |   |   |    |   |   |   |   |    |    |    |               | 정승원<br>(KIOST)      |
|       | 해양바이러스 감염에 대한 일차생산자의 Omics 기반 세포반응 결과 증명 인공생태계 연구    |          |   |   |   |    |   |   |   |   |    |    |    |               |                     |
|       | 해양바이러스에 의한 일차생산자의 조절 기작 증명을 위한 인공생태계 연구              |          |   |   |   |    |   |   |   |   |    |    |    |               |                     |
| 2021  | Microbial loop 기반 Virus의 생태계 영향 및 역할 해석을 위한 인공생태계 연구 |          |   |   |   |    |   |   |   |   |    |    |    |               | 이택건, 정승원<br>(KIOST) |





# 07

## 기 타

### | 성과목표 |



#### \* 예상 연구성과

- ▶ 주요 위도별 해양 일차생산자 및 대응 해양바이러스 풍부도 및 다양성 목록
- ▶ 해양 일차생산자-바이러스 감염시스템 구축 및 연관관계 분석 자료
- ▶ 전지구적 기후변화에서의 해양바이러스의 역할과 관련된 상위 3% 이내 논문 작성

| 구분 | 달성 목표(건)        |   | 예상성과(결과물)의 주요 내용                            |
|----|-----------------|---|---|
| 논문 | JCR 상위 3% 저널 논문 | 1 | 위도별 해양 바이러스 - 일차생산자의 생태학적 특성 및 생리세포학적 반응 규명 |
|    | JCR 저널 논문       | 6 | 본 연구에서 생산된 결과 발표                            |

#### ※ 정량목표 설정 근거(또는 당위성)

- ▶ 전지구적으로 기후변화(온난화)로 인한 거대바이러스의 위험성이 관심의 초점이 되고 있음에도 불구하고 연구동향은 미미함. 따라서 본 연구의 Novelty가 있다고 판단됨.
- ▶ 대부분의 기존 연구결과는 특정해역을 중심으로 연구가 되어 있으나, 본 연구는 북극해-우리나라-남태평양의 위도별 변화를 파악하기 때문에 글로벌한 이슈를 유도할 수 있음.
- ▶ 특히, 위도별 해양 바이러스-일차생산자간의 coupling 연구는 본 연구가 최초이기 때문에 JCR 상위 3% 이상 저널에 출판할 수 있다고 판단됨.
- ▶ 본 연구진이 제시한 정량적 성과목표는 JCR 상위 3% 저널 1편 및 연구과정에서 생산된 결과물을 가지고 JCR 저널 6편을 목표로 설정하였으나, 이는 최소의 성과목표이며, 본 연구진의 가설이 증명된다면, JCR 상위 3% 그 이상의 저널에 연구결과를 보고할 수 있다고 기대함.



High diversity and potential translocation of DNA viruses in ballast water

Jinik Hwang<sup>a,b</sup>, So Yun Park<sup>a</sup>, Sukchan Lee<sup>c</sup>, Taek-Kyun Lee<sup>a,\*</sup>

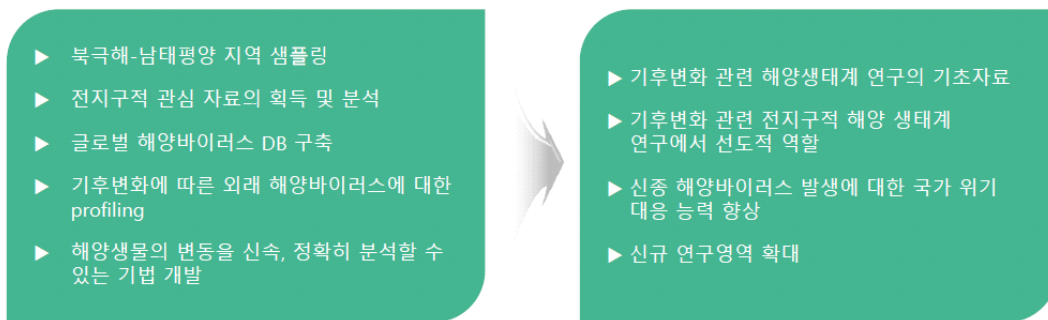
<sup>a</sup> South Sea Environment Research Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Geoje 53201, Republic of Korea  
<sup>b</sup> Marine Ecology and Resource Convergence Center, AKT, Suwon, 16220, Republic of Korea  
<sup>c</sup> Department of Genetic Engineering, Sanghyunswan University, Suwon 16410, Republic of Korea



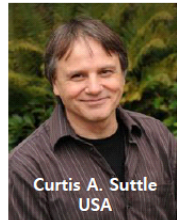
| 번호 | 저자  | 제목   | 일시       | 저널 (IF)                    | 비고        |
|----|---|--|----------|----------------------------|-----------|
| 1  | J Hwang, SY Park, S Lee, T-K Lee                          | High diversity and potential translocation of DNA viruses in ballast water   | 2018.12  | Mar Poll Bull 137 449–455  | 92.38     |
| 2  | M Park, S-S Suh, M Kang, YU Choi, SW Jung, S Lee, T-K Lee | Characteristic patterns of bacterial communities of soft coral in Micronesia   | 2018. 10 | J Microbiol.               | Submitted |
| 3  | M Park, J Hwang, SW Jung, S Lee, T-K Lee                  | Annual community patterns and pathogenic bacterial monitoring using 454 pyrosequencing   | 2018.09  | Aqua Ecosys Health & Manag | Submitted |
| 4  |   | Dynamic patterns of marine bacteria communities and composition of pathogenic bacteria in North and South Pacific Oceans               | 2019.02  |                            | Preparing |
| 5  |   | Metagenomics study of seasonal changes and potential functions of marine viruses near Jeju Island, Korea                               | 2019.02  |                            | Preparing |
| 6  |   | Seasonal dynamics of DNA viruses by metagenome profiling of sea water near Chuuk State, Federated States of Micronesia                 | 2019.02  |                            | Preparing |
| 7  |   | Impact of endoparasites <i>Ameobophyra</i> sp. and algal virus to terminate <i>Akashiwo sanguinea</i> (Dinophyta) harmful algal blooms | 2019.02  |                            | Preparing |



TARGET 성과물 : 해양바이러스에 의한 일차생산자 조절 기작 이해



해양 미소생태계의 기존 이론을 바꿀 수 있는 신규 패러다임 기대



Thank You  
경청해주셔서 감사합니다.

주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 기본사업의 연구결과 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 기본사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.