

제 출 문

Submit statements

한국해양과학기술원 원장 귀하

이 보고서를 “해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2019. 12. 31

연구책임자 : 이 택 견

기획위원

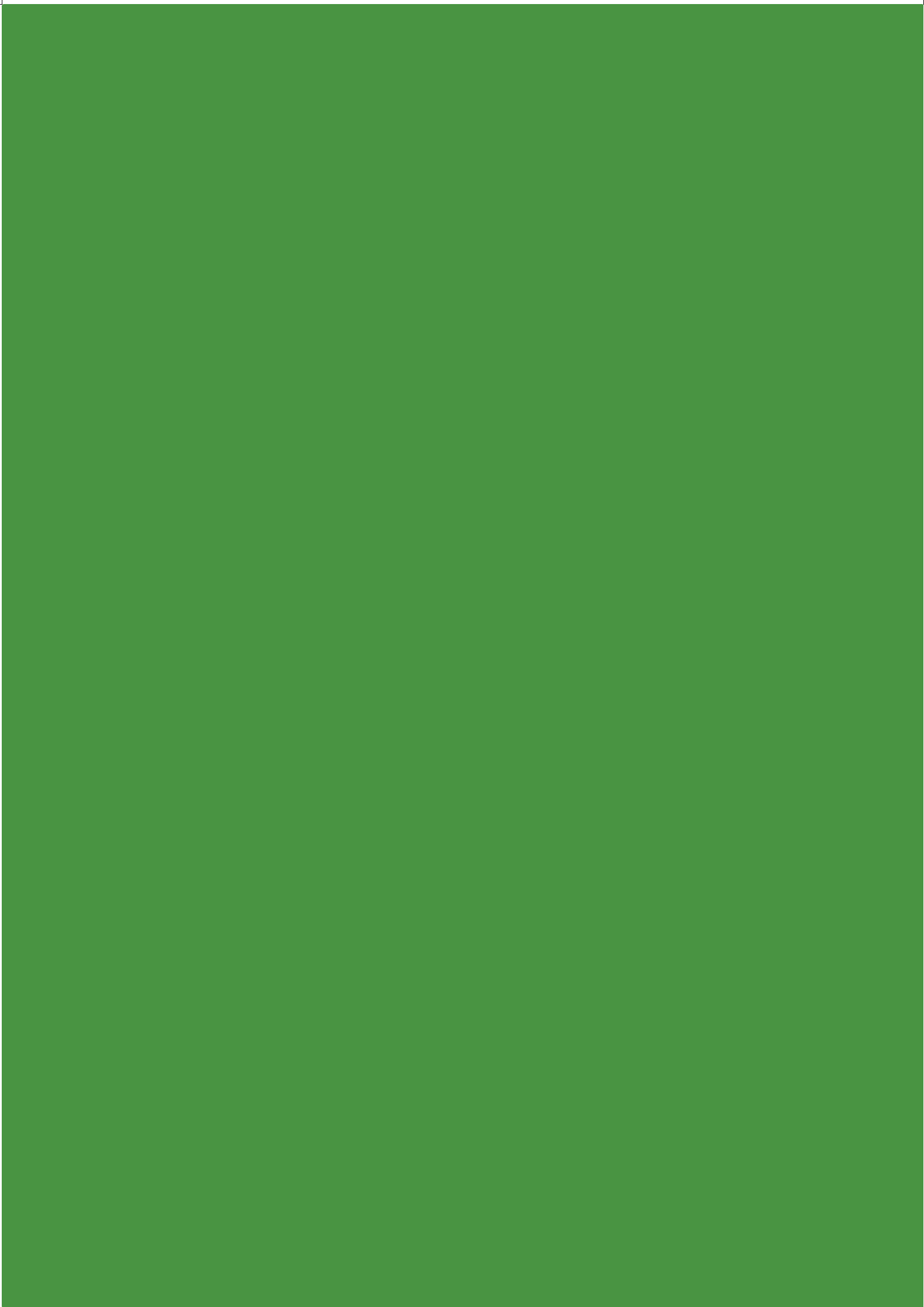
정승원 (해양시료도서관)
박흥식 (해양생물자원연구단)
권석재 (해양신산업연구실)
최현우 (해양빅데이터센터)
염승식 (위해성분석연구센터)
이대원 (해양생물자원연구단)
강준수 (해양시료도서관)
강민경 (위해성분석연구센터)
김강은 (위해성분석연구센터)

자문위원

이석찬 (성균관대학교)
서승석 (목포대학교)
백상규 (해양기술정책연구소)
방용주 (서린바이오사이언스)
길의준 (성균관대학교)

특허기술동향조사

김영호 (대신평특허법률사무소)



보고서 요약서

Report Summary

과제고유번호	PE99783		연구기간	2019. 05. 01 ~ 2019. 12. 31	
연구사업명	미래선도사업				
연구과제명	해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구 Planning Research on Role and Spread of Giant Viruses in Marine Ecosystem				
연구책임자	이택건	총연구기간 참여연구원수	총: 10명 내부: 10명 외부: 명	총 연구비	정부: 40,000천원 기업: 0천원 계: 40,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 생태위해성연구부				
특허기술동향조사	연구기관명: 대신특허법률사무소 연구책임자: 김영호				

- ▶ 글로벌 기온 상승은 빙하 속에 존재하고 있던 거대바이러스를 누출하게 하였고, 1-3만년전에 존재 하던 거대(고대)바이러스에 대한 잠재적인 위험성에 대한 경고가 증가되고 있다. 주로 아메바를 감염시키는 것으로 알려진 거대바이러스는 최근에는 인간을 감염시킬 수 있다고 보고되면서 관심의 초점이 되고 있다. 미미바이러스, 마르세유바이러스 등은 인간에 감염되어 다양한 질병을 일으키는 원인 중 하나일 것으로 추정되고 있지만, 현재 국내에서 이와 관련된 연구는 거의 수행된 바 없다.
- ▶ 거대바이러스는 전형적으로 해양 동·식물을 감염시키는 병원체이지만, 해양생태계의 생지화학적 과정에서 중요한 역할을 수행하고 있다. 해양생태계의 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 필요하다. 기존의 해양 미소생태계의 관련 연구는 DOM/무기 영양염-박테리아-식물플랑크톤-동물플랑크톤의 상호작용을 중심으로 보고되고 있었으나, 최근의 연구는 해양생태계에서의 바이러스, 특히 거대바이러스의 역할이 중요할 수 있다는 인식이 확산되고 있다.
- ▶ 본 기획연구에서는 모니터링 및 프로파일링을 통한 거대바이러스 인벤토리 작성, 진단기술개발, 감염/세포반응 시스템 구축, 해양생태계 영향 분석 기술개발, 거대바이러스 빅데이터 구축 및 국가 대응전략 구축을 위한 데이터마이닝 기술의 개발 필요성을 정리하였다.
최근에 관심의 초점이 되고 있는 거대바이러스 관련 연구는 거대바이러스의 증가되는 위험성 경고 증가와 함께 해양생태계에서의 역할 및 확산과 관련하여 중요성이 높아져 가고 있으며, 선진국 대비 기술수준의 차이가 크지 않기 때문에 집중적인 투자와 연구가 이루어진다면, 전세계적으로 앞서 나갈 수 있는 연구분야가 될 것이다.

보고서
면수

132

색인어	국문	거대바이러스, 모니터링, 프로파일링, 해양생태계, 환경분석
	영문	Giant Viruses, Monitoring, Profiling, Integrated information system, Environment Analysis

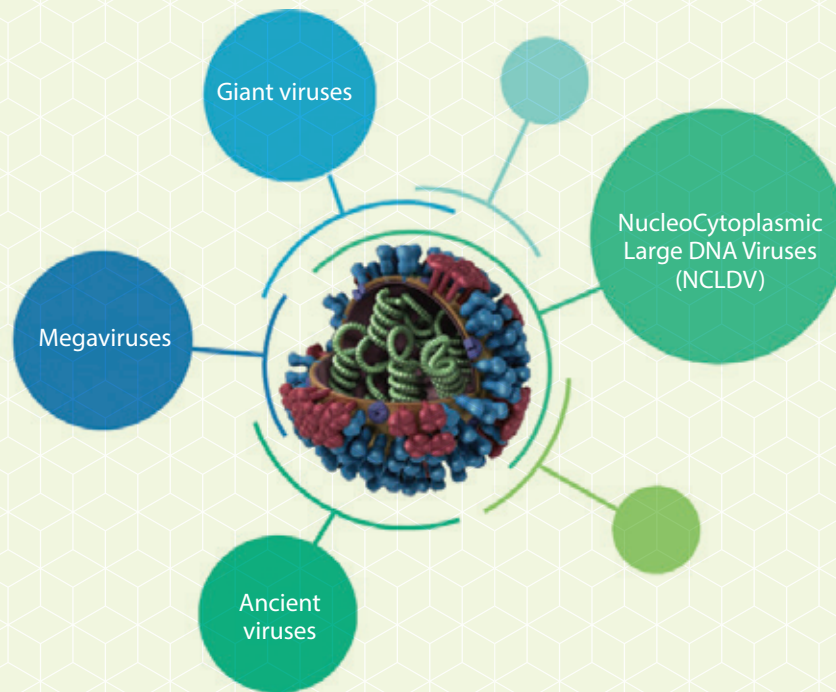
요약문

I. 제목

해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구

II. 연구배경 및 필요성

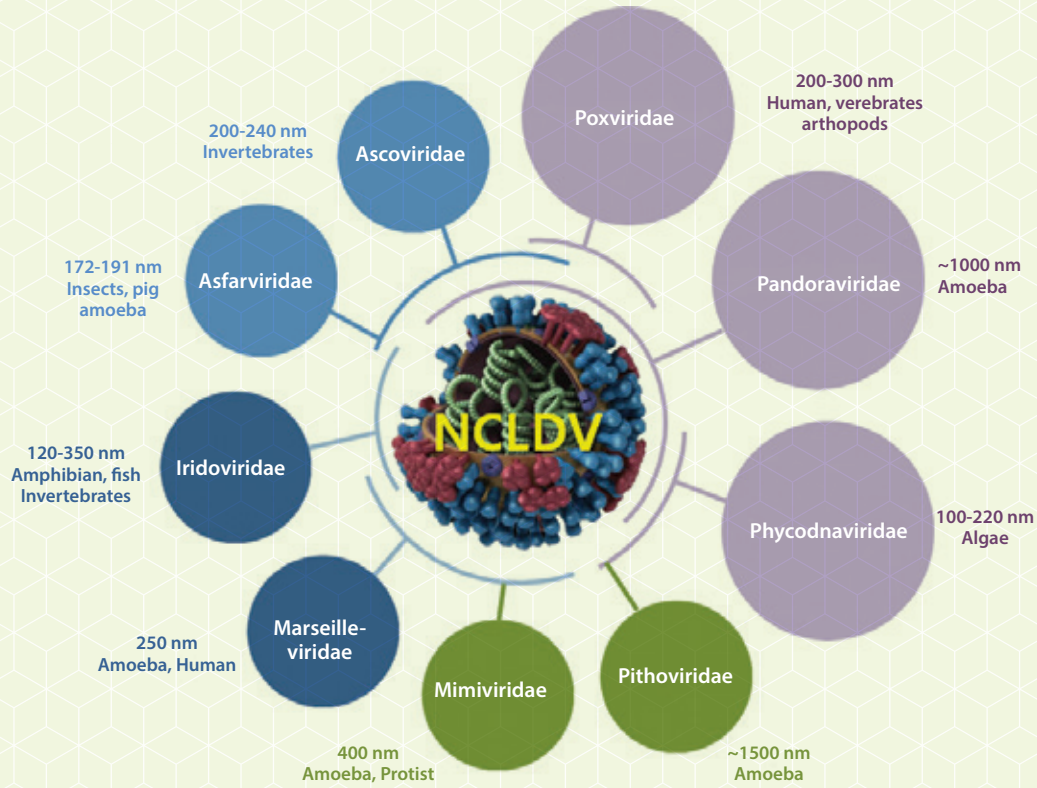
- 거대바이러스(giant virus)는 메가바이러스 또는 고대바이러스로 불리우며, 숙주세포의 핵과 세포질에서 바이러스 증식이 일어나는 커다란 dsDNA를 가지는 바이러스라는 의미로 nucleocytoplasmic large DNA viruses (NCLDVs)로 통칭됨



- 거대바이러스는 2003년 영국병원의 냉각탑에서 최초로 발견되어 미미바이러스(Mimiviruses)로 명명되었으며, 그후 칠레 해안, 시베리아 영구동토, 브라질 소다호수 및 오스트리아 등에서 메가바이러스(Megaviruses), 판도라바이러스(Pandoraviruses) 및 피쏘바이러스(Pithoviruses)가 발견되면서, 2015년 이후 관련 연구가 증가하고 있음

Virus	Discovery	Reference
Mimivirus	2003, 영국냉각탑	La Scola et al., 2003
Megavirus	2011, 칠레 해안	Arslan et al., 2011
Pandoravirus	2013, 칠레 해안, 호주 호수	Nadège et al., 2013
Pithovirus	2014, 시베리아 영구동토	Yong., 2014
Mollivirus	2015, 시베리아 영구동토	Legendre, et al., 2015
Klosneuvirus (Mimivirus)	2017, 오스트리아 오수처리장	Schulz, et al., 2017
Tupanvirus (Mimivirus)	2018, 브라질 소다호수, 깊은 바다 퇴적물	Abrahão, et al., 2018

- 거대바이러스는 아스코바이러스(Ascoviruses), 아스파바이러스(Asfarviruses), 이리도바이러스(Iridoviruses), 마르세유바이러스(Marseilleviruses), 미미바이러스(Mimiviruses), 피코디엔에이바이러스(Phycodnaviruses) 및 폭스바이러스(Poxviruses) 등 7개 과가 알려져 있었으나, 최근에 판도라바이러스(Pandoraviruses) 및 피쏘바이러스(Pithoviruses)가 발견되면서 9개 과로 구성됨



- 해양바이러스는 감염률에 있어서는 다른 해양병원체와 큰 차이가 없지만, 감염 시 치료 방법이 존재하지 않아 70% 이상의 높은 치사율을 나타내는 등 위험성이 매우 높으며, 육상병원체에 비해 훨씬 빠른 전파속도를 가지고 있는 것으로 알려져 있음
- 거대바이러스는 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.



요약문

- 글로벌 기온 상승은 빙하 속에 존재하고 있던 거대바이러스를 누출하게 하였고, 3만년전에 존재하던 고대바이러스에 대한 잠재적인 위협성에 대한 경고가 지속되고 있으며, 주로 아메바를 감염시키는 것으로 알려진 거대바이러스가 최근에는 인간을 감염시킬 수 있다고 보고되면서 관심의 초점이 되고 있음

[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?



- 미래 국내해역에서 발생가능한 해양생물 질병에 대처하기 위해서는 거대바이러스 인벤토리 작성, 진단기술 개발, 감염/세포반응 시스템 구축, 해양생태계 영향 분석 기술개발, 거대바이러스 빅데이터 구축 및 데이터 마이닝 기술 등의 개발을 통한 국가대응전략 설계 연구가 요구됨

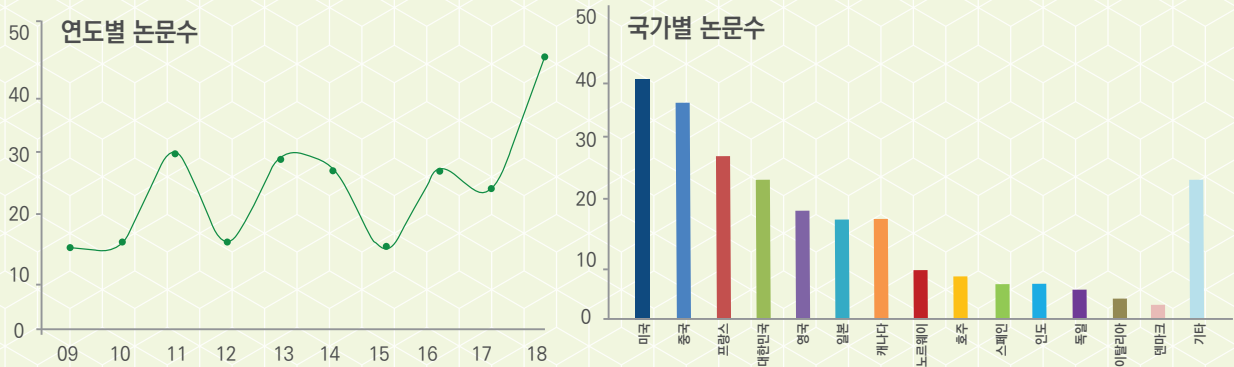


III. 환경분석

■ 해양병원체 관리와 대응을 위한 법제도 개선 방향



- 지난 10년간 거대바이러스 관련 연구는 15-30편 정도를 유지하였으나, 거대바이러스-해양생태계 및 거대바이러스 감염 관련 연구가 최근들어 증가하는 추세를 보이고 있음
- 우리나라의 지난 10년간 거대바이러스 관련 기술 수준은 미국, 중국, 프랑스에 이어 4위에 위치하는 것으로 나타났으나, 거대바이러스 연구가 시작단계에 있기 때문에 현재의 기술수준 위치는 거의 의미가 없으며, 연구활성화가 이루어진다면 전세계적으로 앞서나갈 수 있을 것으로 평가됨

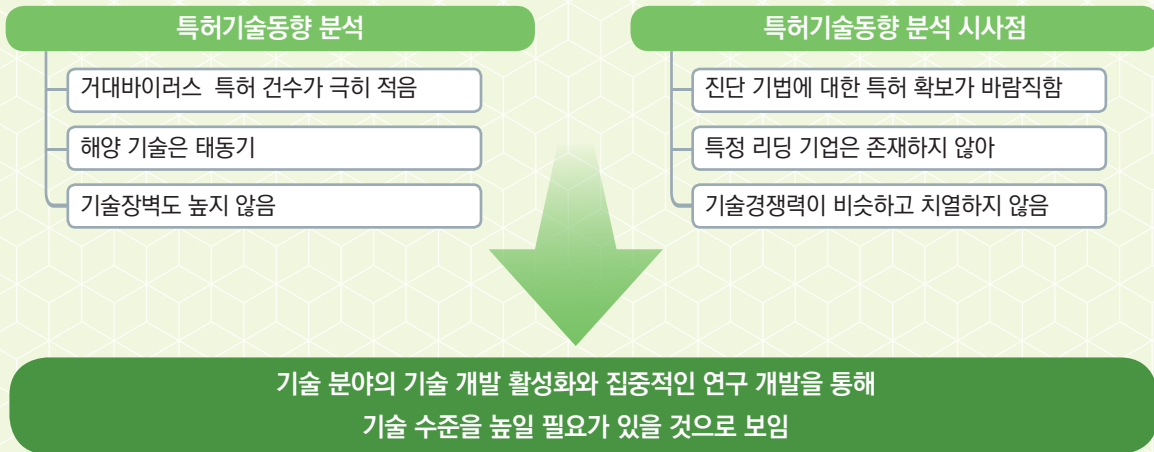


- 거대바이러스 특허기술동향조사 결과, 국내의 기술 경쟁력이 저조한 편은 아니며, 국내 기술의 해외 시장으로의 진출력과 기술영향력이 낮은 것으로 나타났음
- 시급한 기술개발이 이루어질 경우, 기술 선점을 통한 시장지배력 확보나 기술 우위를 도모할 수 있을 것으로 평가됨

기술 구분		국내 기술 경쟁력		해외 특허 장벽	
거대바이러스	종판별		6.5		6.6
	진단방법		3.6		4.4
	배양		3.4		6.7
	방제		5.0		4.2

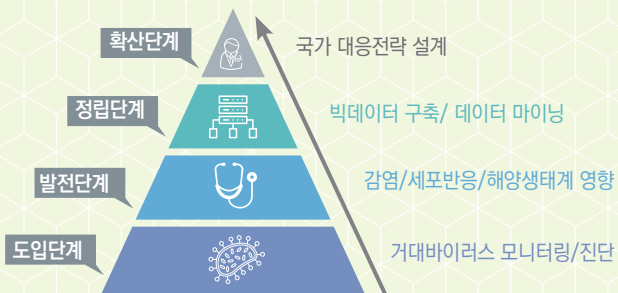
요약문

- 거대바이러스 특허건수는 전세계적으로 극히 적으며, 진단기술과 생태계 영향에 관한 기술 개발 활성화와 집중적인 연구 개발을 통한 기술 수준 향상이 필요함



IV. 연구목표

- 국내해역 및 외래(해류, 선박 및 수입수산물 기인) 거대바이러스 탐색 및 검출기술을 개발하여 거대바이러스 인벤토리를 작성하고, 거대바이러스 감염/숙주 세포반응 분석 기술 개발을 통하여 거대바이러스의 해양 생태계에서의 역할 및 확산 연구를 수행함.
- 상기의 연구 결과가 종합된 거대바이러스 빅데이터 구축 및 데이터마이닝 기술을 개발하여, 거대바이러스를 대응·관리할 수 있는 국가대응전략을 설계함



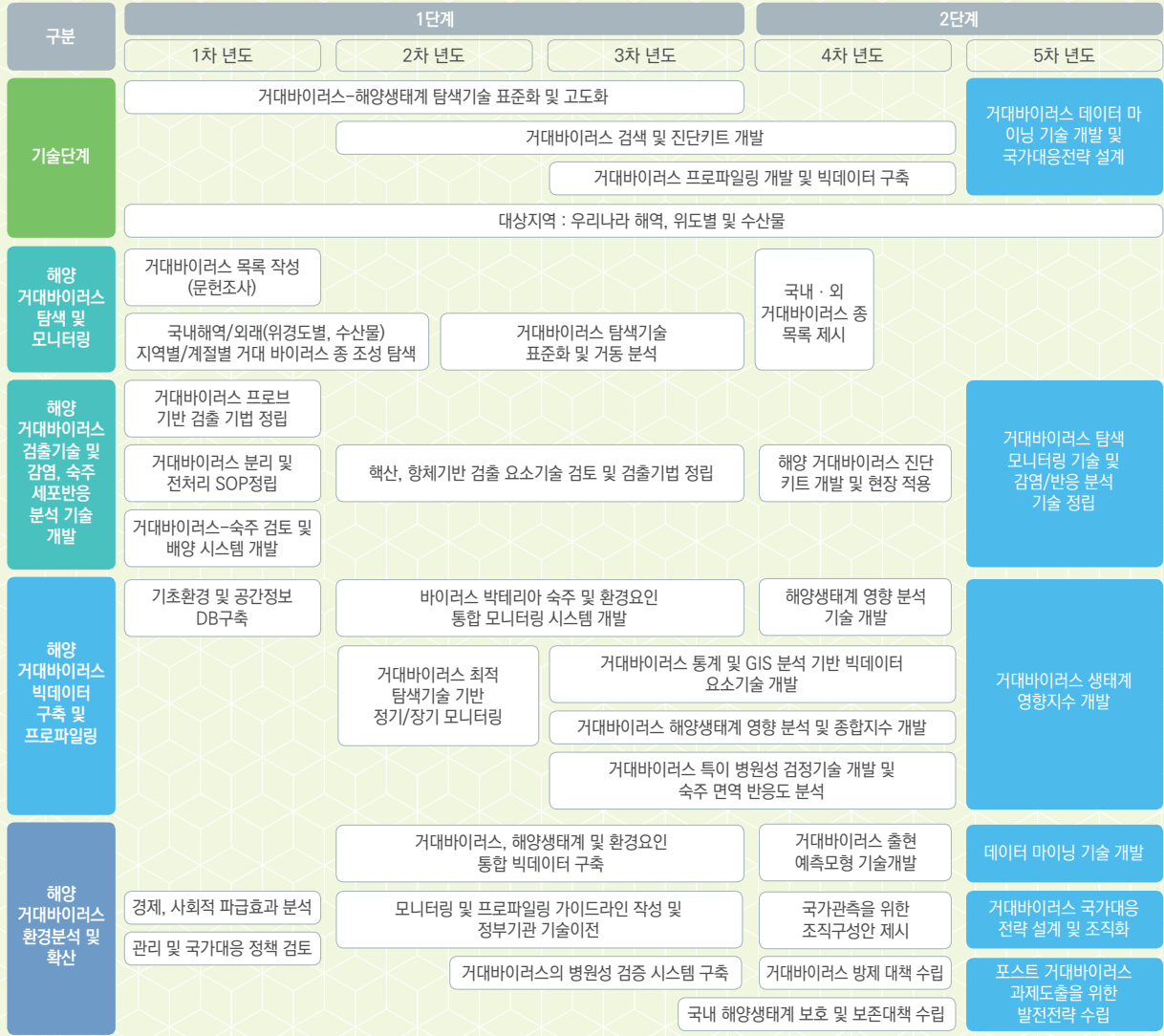
1단계	거대바이러스 빅데이터 구축
	도입단계: 거대바이러스 모니터링 및 진단기술 개발 발전단계: 거대바이러스-숙주 감염/세포반응/생태계 영향 분석
2단계	국내해역 거대바이러스 미래 변화 대응 방안 수립
	정립단계: 빅데이터 유래 데이터 마이닝 기술 개발 확산단계: 거대바이러스 국가대응전략 설계 및 구축

- 해양생태계에서 거대바이러스 역할 및 확산 기술 개발 사업은 <해양수산발전기본계획>과 <해양생명공학육성 기본계획>을 기반으로 추진함으로써 해양생태계 보전과 거대바이러스의 유전자원화 두가지 목표 달성에 연구개발사업의 활용도와 실효성을 극대화함

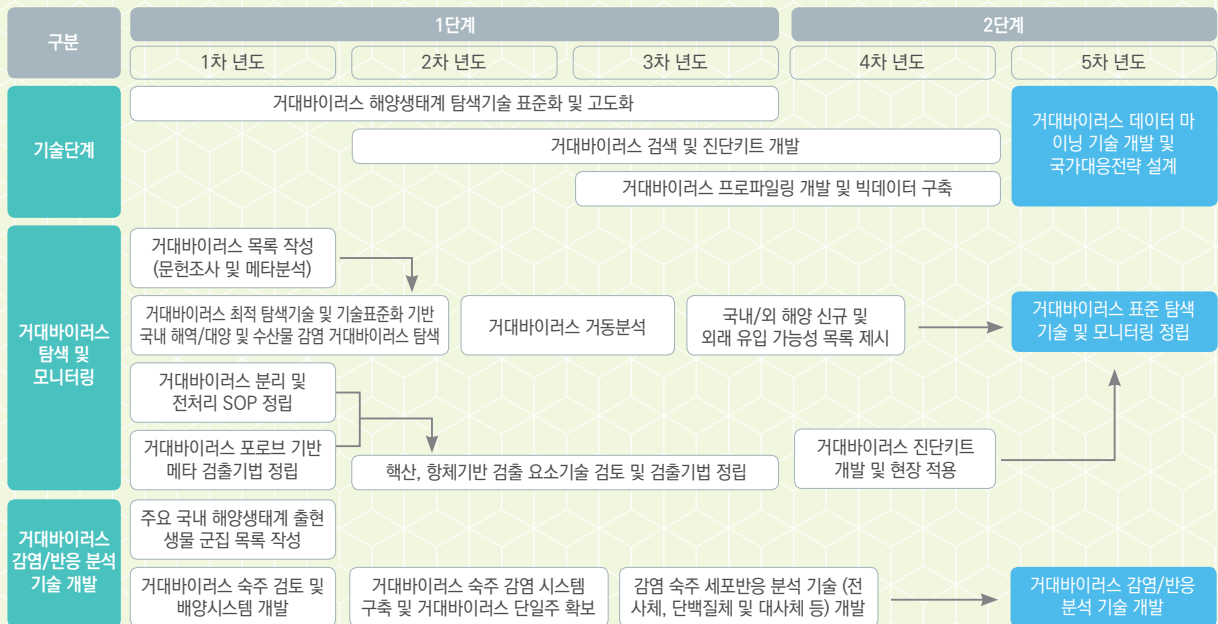
V. 연구내용

- 연구개발 목표에 따라 1단계('21-'23) 및 2단계('24-'25)로 구분하고, 1) 거대바이러스 모니터링 기술개발 분야, 2) 거대바이러스 프로파일링 및 빅데이터 구축 분야 및 3) 거대바이러스 데이터마이닝 기술개발 및 국가 대응전략 설계 분야 등 3개 분야를 정했으며, 거대바이러스 프로파일링 분야는 각각 거대바이러스-숙주 감염, 거대바이러스-숙주 세포반응 및 해양생태계 영향 분석 분야로 구분하여 중점과제를 선정하였음.

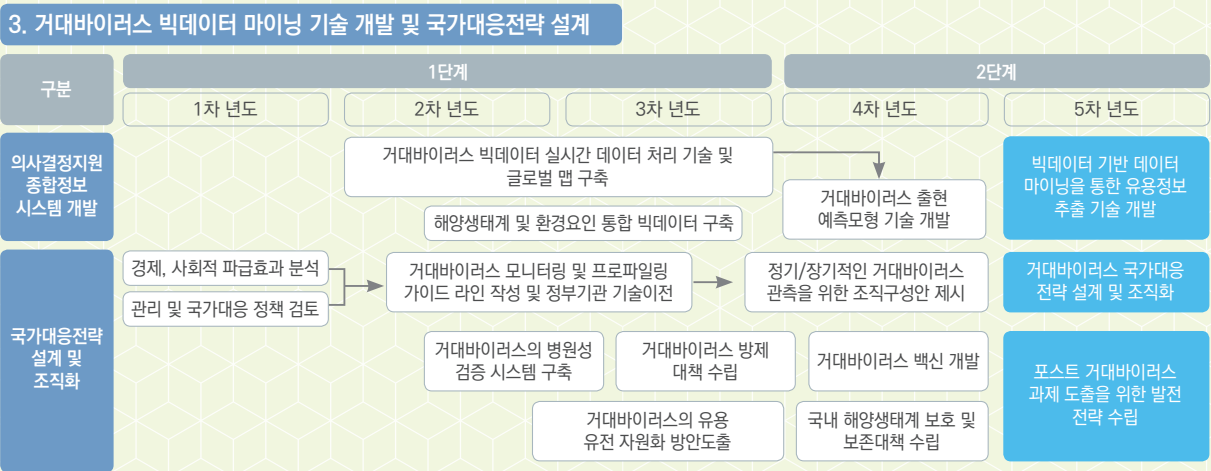
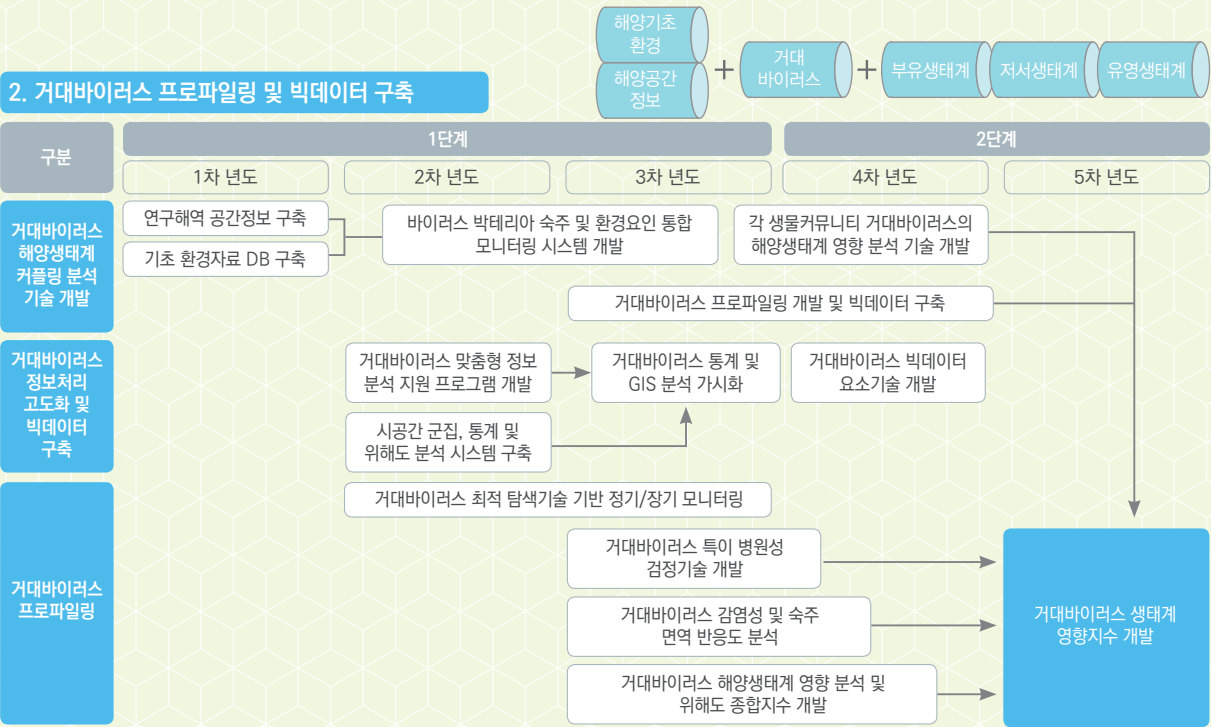
■ 총괄로드맵



1. 거대바이러스의 모니터링 기술개발

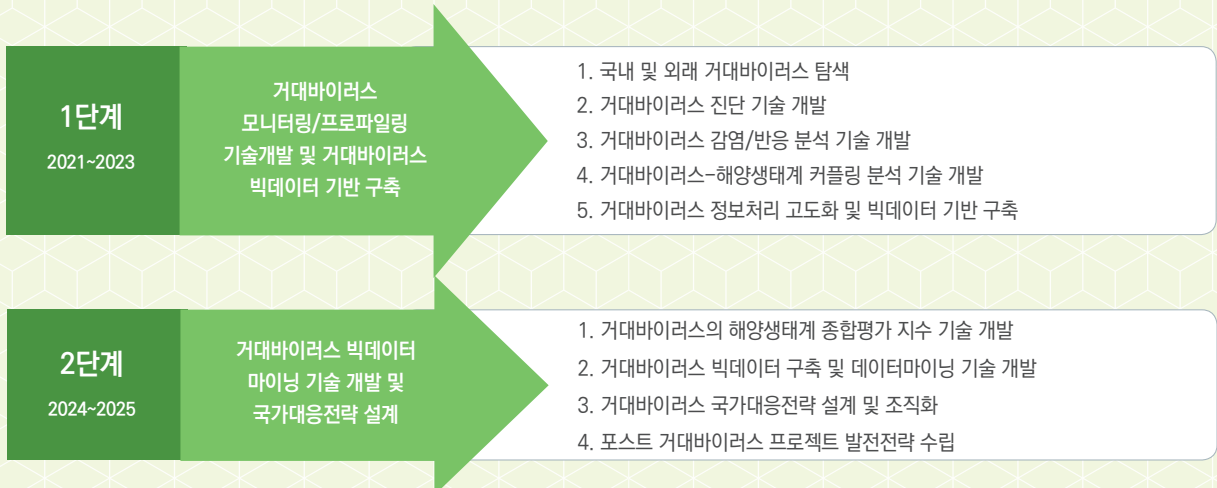


요약문



VI. 연구기간

- ▶ 1단계 : 2021. 01. 01 - 2023. 12. 30
- ▶ 2단계 : 2024. 01. 01 - 2025. 12. 30



VII. 소요예산

- 해양생태계에서 거대바이러스 역할 및 확산 연구는 공공기반기술로서 정부 연구개발 예산을 확보하여 수행

단계 \ 분야	거대바이러스 탐색	거대바이러스 진단	감염 및 세포 반응	해양생태계 영향	빅데이터 구축	계 (단위: 억원)
1 단계	25	19	19	32	18	113
2 단계	15	11	11	18	12	67
계	40	30	30	50	30	180

- 해양병원체 진단 및 예찰시스템 개발 사업예산은 분야별로 연구개발 내용과 소요비용을 반영하여 산출

분야	1단계			2단계		계 (단위: 억원)
	2021	2022	2023	2024	2025	
거대바이러스 탐색	8	9	8	8	7	40
거대바이러스 진단	5	7	7	6	5	30
감염 및 세포반응	5	7	7	6	5	30
해양생태계 영향	10	11	11	10	8	50
빅데이터 구축	5	6	7	7	5	30
합계	33	40	40	37	30	180

VIII. 기대효과

기술적 측면

- ▶ 첨단 진단 기술을 이용하여 거대바이러스의 신속한 종 동정, 분포, 이동 파악 가능
- ▶ 거대바이러스 진단용 분자마커 및 분자생물학적 진단기술을 통해 외래유입 어종, 수입산 선어의 거대 바이러스 신속 진단 가능
- ▶ 신규 분자마커를 활용한 정확한 종 동정을 통해 거대바이러스-숙주간 상호작용 원리 규명
- ▶ 주변 국가들과의 거대바이러스 정보 공유를 통한 국제 공동연구
- ▶ 해역별 글로벌 분포지도를 활용한 거대바이러스 기인 해양생태계 위해성 평가 지표 마련

경제 산업적 측면

- ▶ 전세계 시장에서 활용가능한 거대바이러스 진단키트 상용화 및 산업화
- ▶ 거대바이러스 자동예찰시스템 개발을 위한 도구로 사용되며, 이를 활용한 수산물 피해 저감 및 거대 바이러스 조기 차단

CONTENTS

제 1 장 연구개발과제의 개요 14

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용 16

- 1. 기획연구의 최종목표 16
- 2. 기획연구의 세부목표 및 내용 16
- 3. 기획연구의 필요성 16

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석 46

제 1 절 연구동향 분석 48

- 1. 분석 방법론 48
- 2. 논문 동향 분석 결과 51
- 3. 연구동향 분석 종합 62

제 2 절 기술동향 분석 64

- 1. 분석 배경 및 목적 64
- 2. 특허 분석 범위 및 기준 65
- 3. 특허 분석 68
- 4. 시사점 72

제 3 절 국내·외 정책동향 분석 73

- 1. 해양생태계 안전성 확보를 위한 해양바이러스 연구 73
- 2. 해양생물자원의 보전과 산업적 활용력의 근간 73
- 3. 해양바이러스 관련 국제 규범 74
- 4. 해양바이러스 관련 국내법과 정책 75
- 5. 해양바이러스 관련 국외 정책 76
- 6. 국내법적 한계와 연구범위 설정의 고려사항 80

제 3 장 연구개발 비전 및 추진 전략 82

제 1 절 연구개발 비전 84

- 1. 연구개발 비전 84
- 2. 비전도출에 의한 연구개발 성과 활용 85

제 2 절 연구개발 목표 86

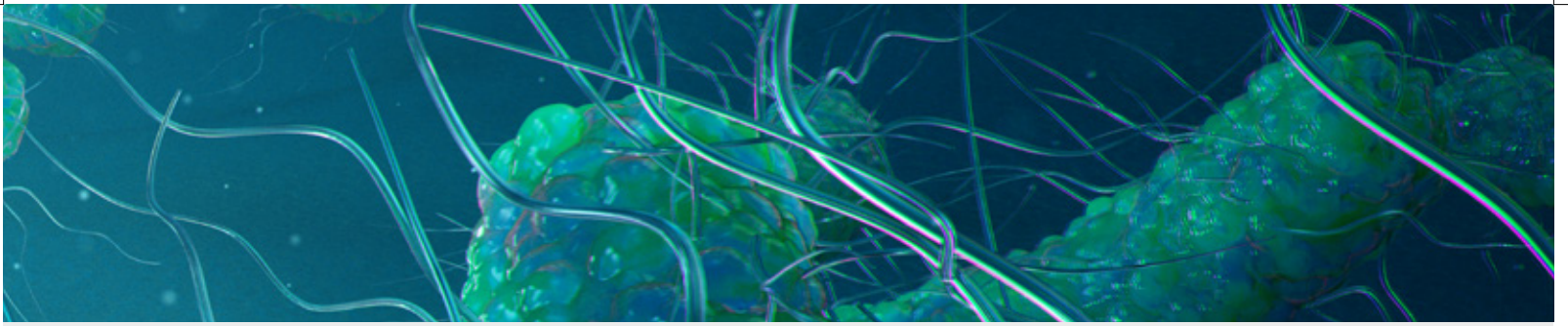
- 1. 연구개발 목표 및 중점연구과제 설정 과정 86
- 2. 연구개발 목표 설정 86

제 3 절 추진전략 87

- 1. 연구단계 설정 87
- 2. 연구개발 추진전략 87
- 3. 국제 공동연구 및 협력 전략 88

제 4 절 중점 연구개발 과제 도출 91

- 1. 중점 연구개발 과제 도출 방향 91
- 2. 중점 연구개발 과제 내용 92



제 4 장 연구개발 추진계획 93

제 1 절 핵심세부과제	94
1. 중점연구과제별 핵심세부과제	94
제 2 절 연구개발 로드맵	96
1. 총괄 로드맵	96
2. 거대바이러스의 모니터링 기술 개발	97
3. 거대바이러스 프로파일링 및 빅데이터 구축	97
4. 거대바이러스 빅데이터 마이닝 기술 개발 및 국가대응전략 설계	97
제 3 절 소요예산	98
1. 총괄 예산	98
2. 중점과제별 및 단계별 예산	98
제 4 절 기술개요서	100
제 5 절 성과지표	109
1. 연구성과 지표	109
2. 연구성과 홍보 및 확산 지표	110
3. 국제교류 및 협력 지표	110
4. 학술 및 지적재산권 지표	111
5. 교육 및 인력양성 지표	111

제 5 장 연구개발의 타당성 분석 112

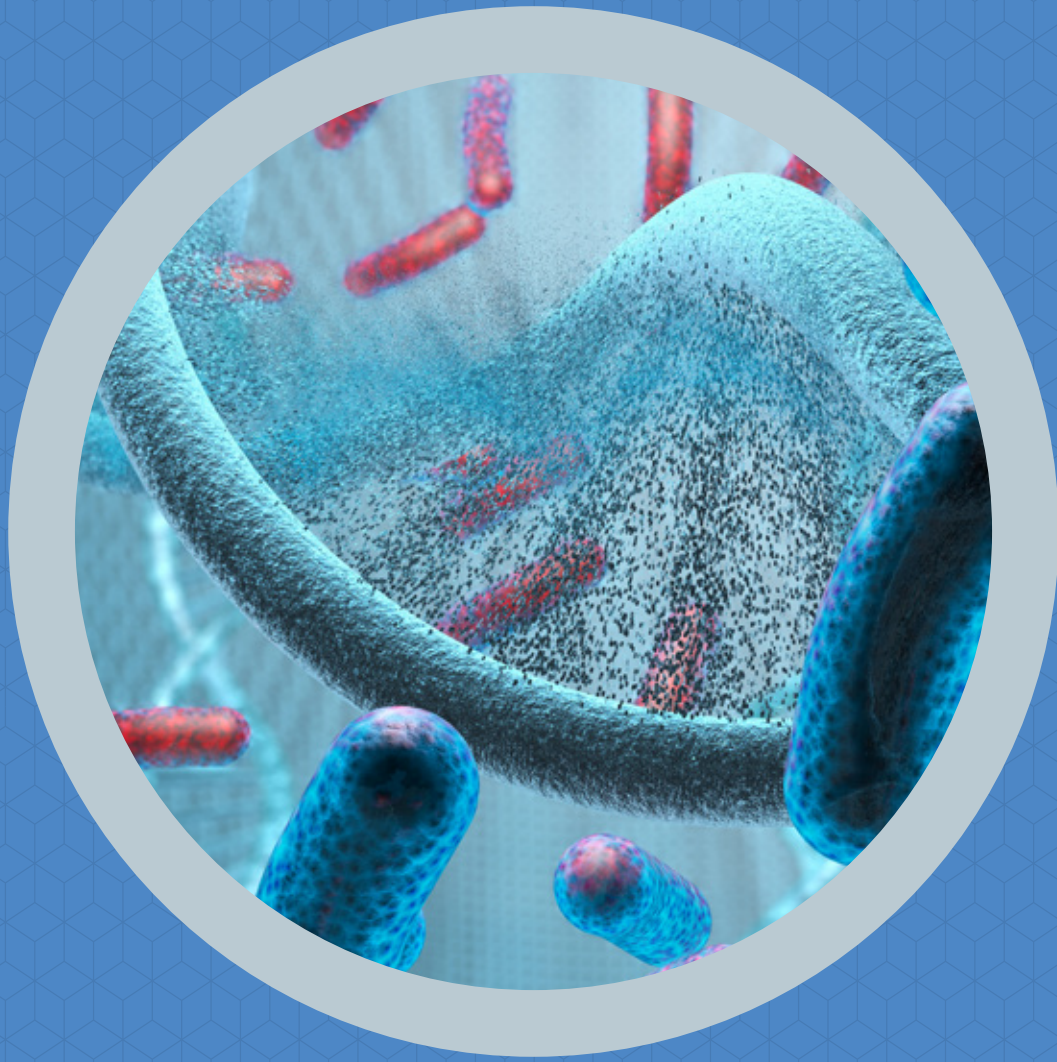
제 1 절 정책적 타당성 분석	114
1. 상위계획과의 부합성	114
2. 정부지원의 필요성	115
3. 사업추진의 적시성	116
제 2 절 기술적 타당성 분석	117
1. 기존 연구사업과의 차별성	117
2. 연구개발계획의 적절성	118
3. SWOT 분석	119

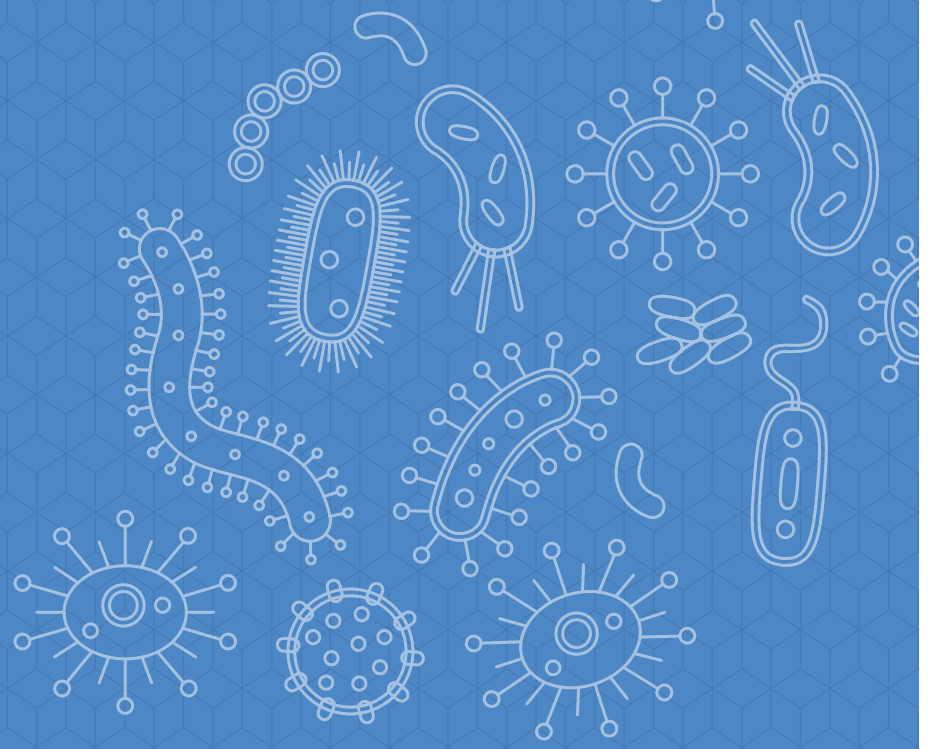
제 6 장 연구개발 결과의 활용방안 및 기대효과 120

제 1 절 활용방안	122
1. 정책적, 산업적 활용방안	122
2. 학문적 활용방안	122
제 2 절 기대효과	123
1. 기술적 측면	123
2. 경제 산업적 측	123

제 7 장 참고문헌 및 부록 124

해양생태계에서
거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구





제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용

1. 기획연구의 최종목표

- 해양생태계에서 거대바이러스의 중심 역할 및 확산 연구의 타당성 검토 및 세부 추진계획 수립
- 해양생태계 미치는 거대바이러스의 영향에 따른 안전성 분석, 거대바이러스 위해도 평가 및 관련 정책제안 계획 수립

2. 기획연구의 세부목표 및 내용

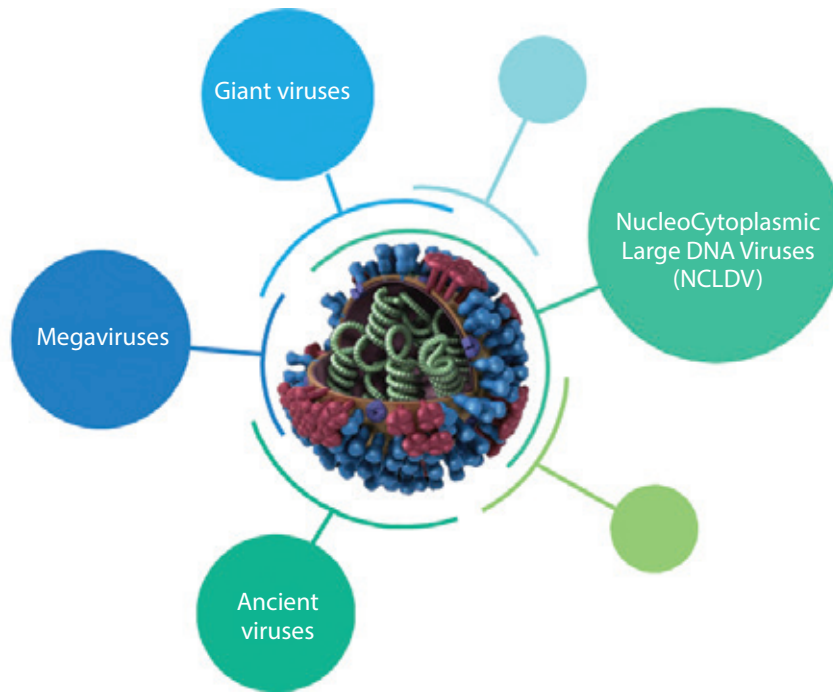
세부 성과목표	세부 연구개발 내용 및 범위
연구 환경 분석	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국내 · 외 연구동향 및 전망 분석 ■ 기술 동향 및 전망 분석 ■ 기술수준 및 기술개발 역량 분석 ■ 미래전망(기술예측) 및 수요 분석 ■ 환경분석에 대한 종합 시사점 도출
연구 목표 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구개발 최종목표 및 최종성과물 제시 ■ 연구개발 목표 달성을 위한 연구내용 및 연구범위 설정 ■ 정책 · 제도적 지원방안 및 연계방안 제시
연구개발 추진계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> ■ 추진전략, 기술개발 로드맵(TRM), 추진체계 제시 ■ 소요예산, 연구기간, 소요인력 제시 ■ 연구개발 성과평가를 위한 정량 · 정성적 성과지표 및 평가방안 제시
연구개발 타당성분석	<ul style="list-style-type: none"> ■ 정책적 타당성 분석 ■ 기술적 타당성 분석
도출 과제별 연구개발 제안서 작성	<ul style="list-style-type: none"> ■ 도출된 중점과제 중 시급성 및 연구개발 성공가능성에 따라 연구개발 제안서 작성

3. 기획연구의 필요성

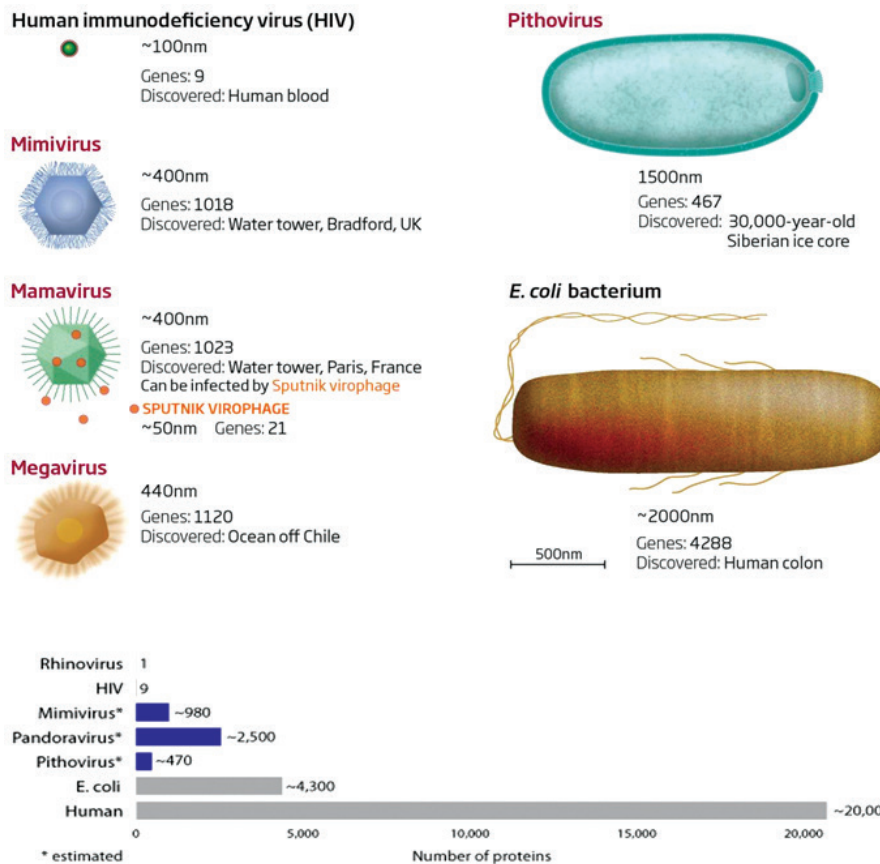
가. 거대바이러스 정의

- 거대바이러스(giant virus, Megavirales)는 숙주세포의 핵과 세포질에서 바이러스 증식이 일어나는 커다란 dsDNA를 가지는 바이러스라는 의미로 nucleocytoplasmic large DNA viruses (NCLDVs)로 통칭됨(Brandes et al., 2019).

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용



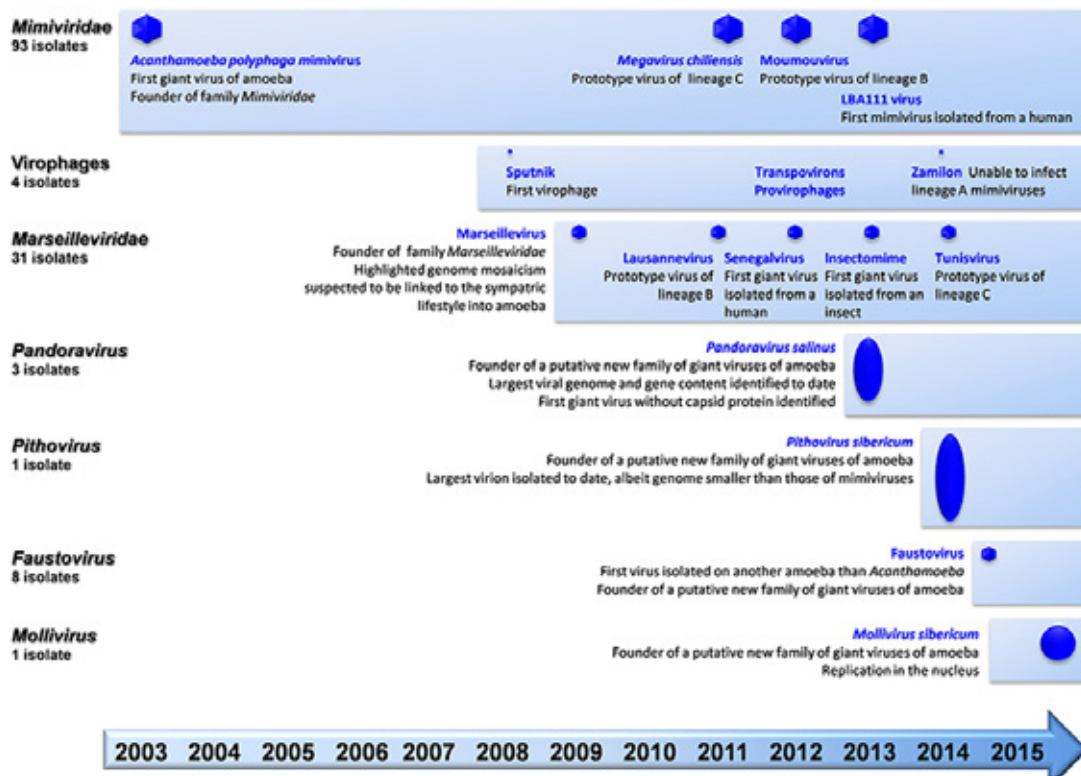
- 거대바이러스는 일반적인 바이러스보다 수백-수십배 큰 사이즈를 가지며, 수천배 이상의 단백질을 암호화할 수 있는 유전자를 가지고 있음.



제 1 장 연구개발과제의 개요

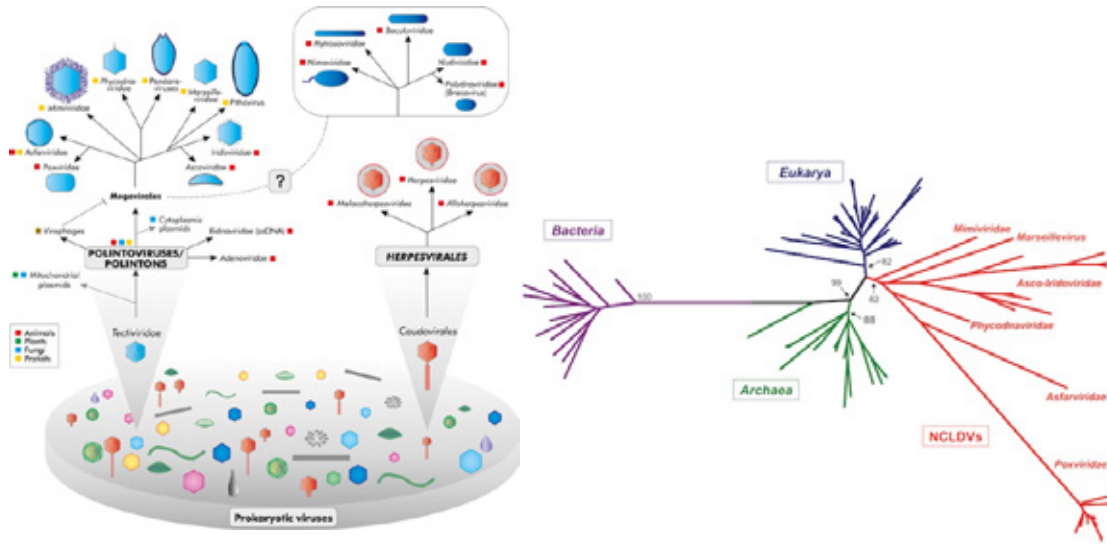
- 거대바이러스는 2003년 영국병원의 냉각탑에서 최초로 발견되어 미미바이러스(Mimiviruses)로 명명되었으며, 그후 칠레 해안, 시베리아 영구동토, 브라질 소다호수 및 오스트리아 등에서 메가바이러스(Megaviruses), 판도라바이러스(Pandoraviruses) 및 피소바이러스(Pithoviruses)가 발견되면서, 2015년 이후 관련 연구가 증가하고 있음.

Virus	Discovery	Reference
Mimivirus	2003, 영국냉각탑	La Scola et al., 2003
Megavirus	2011, 칠레 해안	Arslan et al., 2011
Pandoravirus	2013, 칠레 해안, 호수 호수	Nadège et al., 2013
Pithovirus	2014, 시베리아 영구동토	Yong., 2014
Mollivirus	2015, 시베리아 영구동토	Legendre, et al., 2015
Klosneuvirus (Mimivirus)	2017, 오스트리아 오수처리장	Schulz, et al., 2017
Tupanvirus (Mimivirus)	2018, 브라질 소다호수, 깊은 바다 퇴적물	Abrahão, et al., 2018

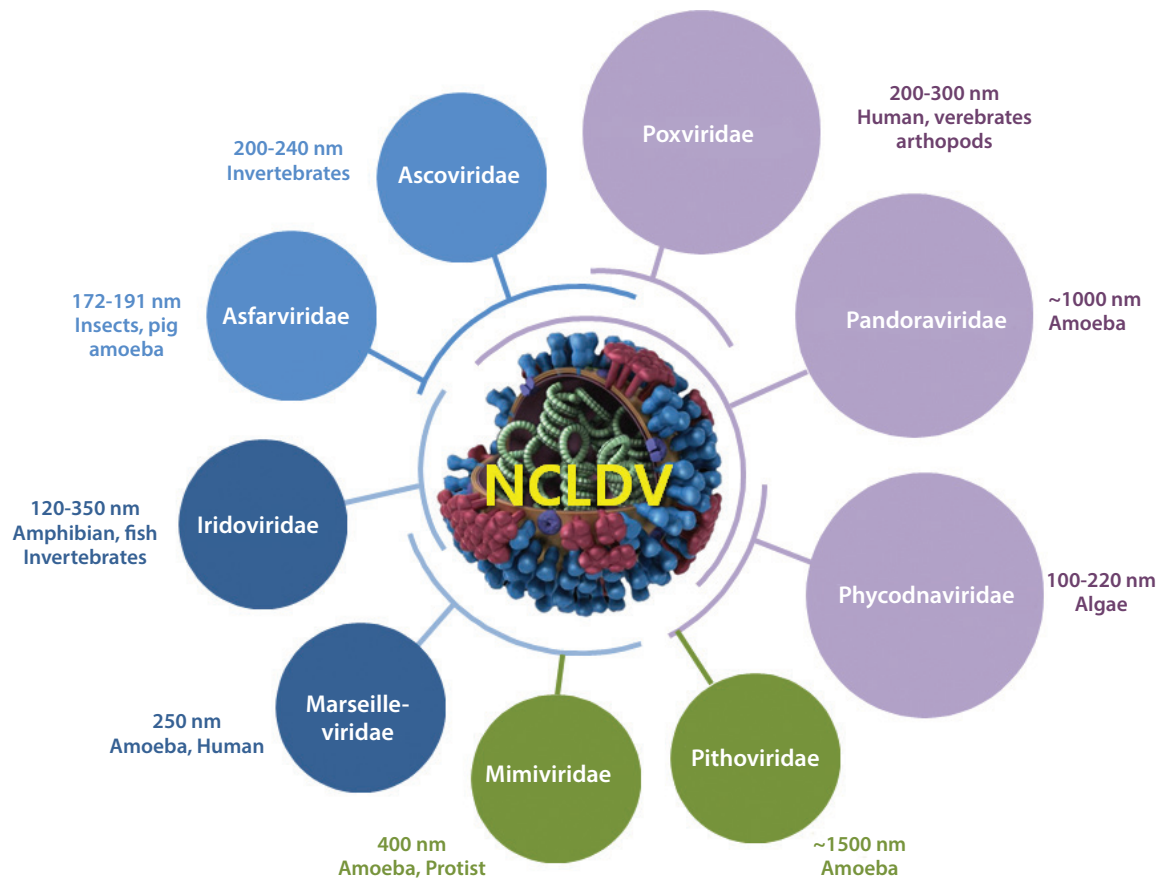


- 거대바이러스의 기원은 Prokaryotic viruses에서 비롯되며, Prokaryotic viruses에서 Polintoviruses/Polintons와 Herpesvirales로 나누어짐.
- Polintoviruses/Polintons에서 거대바이러스를 포함하는 Megavirales로 분지하였으며, Hydrosoviridae, Baculoviridae 등 감염성이 높은 바이러스가 포함됨.
- Herpesvirales는 Herpesviridae 및 Alloherpesviridae 등과 같은 고위험 감염성 바이러스로 진화하였음.
- 거대바이러스의 높은 다양성 및 지구환경에서의 높은 밀도 등으로 인하여, 최근에는 Bacteria, Archaeae 및 Eukarya와 함께 제 4의 Kingdom으로 분류하여야 한다는 주장도 제기되고 있음.

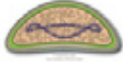

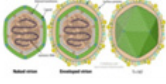

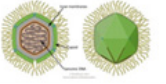
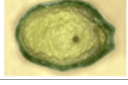
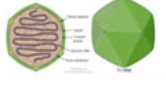

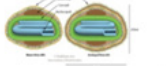
제 1 절 기획연구의 목표 및 내용



- 거대바이러스는 아스코바이러스(Ascoviruses), 아스파바이러스(Asfarviruses), 이리도바이러스(Iridoviruses), 마르세유바이러스(Marseilleviruses), 미미바이러스(Mimiviruses), 피코디엔에이바이러스(Phycodnaviruses) 및 폭스바이러스(Poxviruses) 등 7개 과가 알려져 있었으나, 최근에 판도라바이러스(Pandoraviruses) 및 피소바이러스(Pithoviruses)가 발견되면서 9개 과로 구성됨



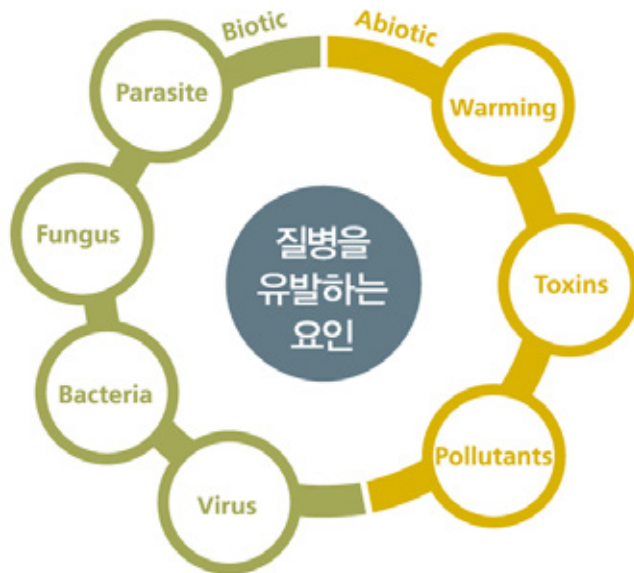
제 1 장 연구개발과제의 개요

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

나. 거대바이러스의 위험성

- 해양은 지구 면적의 70%를 차지하여 지표 대부분을 덮고 있으며, 지구 생물의 80% 이상이 해양을 기반으로 하여 서식한다는 것은 잘 알려져 있음.
- 다양한 해양생태계에서 전 세계적으로 매년 수백 건 이상의 해양생물 집단폐사가 보고되고 있으며, 조사된 집단폐사 중 약 50%의 발생원인이 규명되고 있지 않은 실정임.
- 해양생물 집단폐사를 유발하는 원인으로 이상수온, 해양 유류 오염 등 환경학적인 요인이 주요 원인으로 알려져 있었으나, 최근에는 해양병원체(바이러스, 박테리아 및 기생충)에 의한 집단폐사 연구가 진행되면서, 해수에 가장 많은 수(10^{30} 개 이상)가 존재하는 해양바이러스에 대한 관심이 크게 증가하고 있음.
- 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 병원체(특히 바이러스)의 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.

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용



생물 요인

바이러스, 박테리아, 곰팡이, 기생충

무생물 요인

지구 온난화, 독성 물질, 오염



Mass Animal Death Events (2011-2017)



- 해양바이러스는 감염률에 있어서는 다른 해양병원체와 큰 차이가 없지만, 감염 시 치료 방법이 존재하지 않아 70% 이상의 높은 치사율을 나타내는 등 위험성이 매우 높으며, 육상병원체에 비해 훨씬 빠른 전파속도를 가지고 있는 것으로 알려져 있음.
- 현재 수산물 검역체계에 포함되어 있는 해양바이러스 종류는 양적인 측면에서 절대적으로 부족한 실정임.
- 축산물은 66개 병원체(바이러스 31개), 식물은 226개 병원체(바이러스 약 100개)를 검역하는 데에

제 1 장 연구개발과제의 개요

❖ 해양 병원체 확산 속도



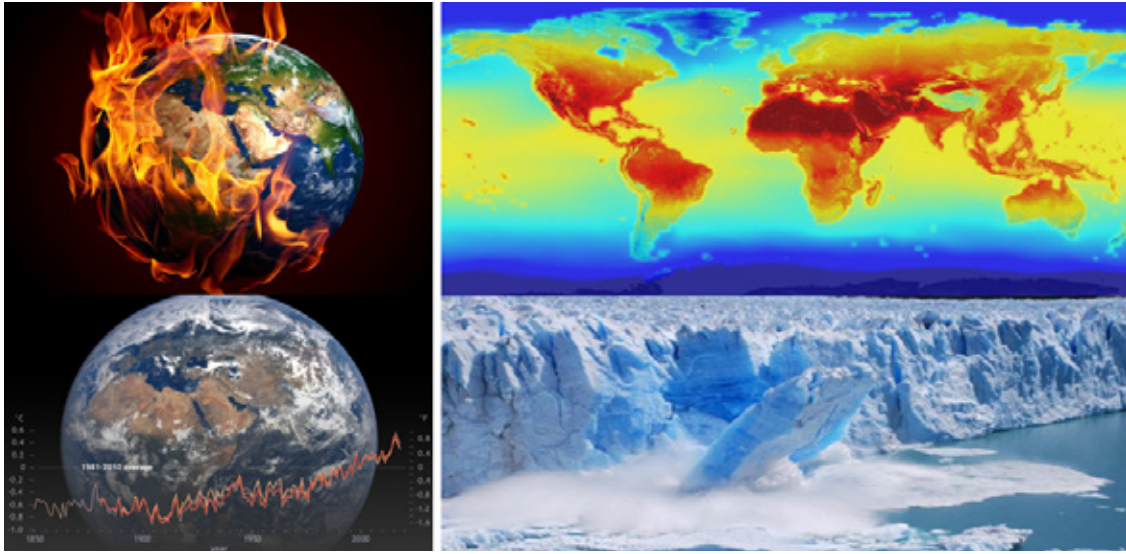
비해 수산물의 경우에는 수산생물질병관리법상 검역대상이 20개 병원체(바이러스 13개)에 불과함.

- 따라서 해양바이러스 탐색 및 진단에 대한 연구와 기술 개발을 통하여 검역 대상 해양바이러스를 확대하고, 이에 선제적으로 대응할 수 있는 능력을 갖추는 것이 시급함.
- 거대바이러스는 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.
- 거대바이러스는 해양생태계 파괴 및 질병을 야기할 뿐만 아니라 확산이 빠른 속도로 증가하고 있고, 이러한 확산의 경로 및 이유가 거의 알려져 있지 않으며, 최종적으로 인간 활동에 의한 결과이거나 인류활동에 의해 더욱 악화되고 있음.
- 따라서 해양생물 질병관련 보고가 급증하고 있어 질병유발 원인 규명 및 제어연구의 필요성이 증가하고 있고, 전지구적인 지구온난화 및 인간활동의 결과 해양생물 발병 및 민감도가 증가하고 있는 시점에서 다각적인 관점에서 주시할 필요가 있으며, 이중 거대바이러스에 의한 해양생태계의 영향 및 거대바이러스를 탐색하고 검출할 수 있는 체계적이고 종합적인 연구가 필요함.

다. 전지구적 온난화에 따른 신규 거대바이러스 출현 및 위험성 경고

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



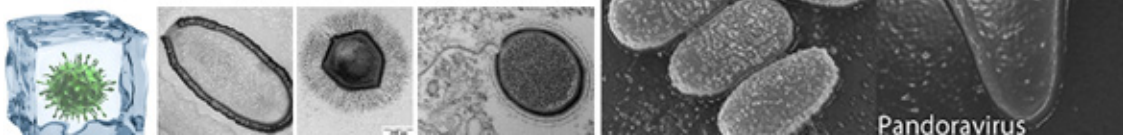


- 기존에 알려지지 않았던 미미바이러스(Mimivirus)라고 명명된 거대바이러스가 2003년에 처음으로 보고되었으며, 최근에는 시베리아와 오스트리아 등에서도 다양한 거대바이러스가 새롭게 확인되었음.

크루즈 선원 공격했다 사살된 북곰곰 뒤엔 '온난화 비극'

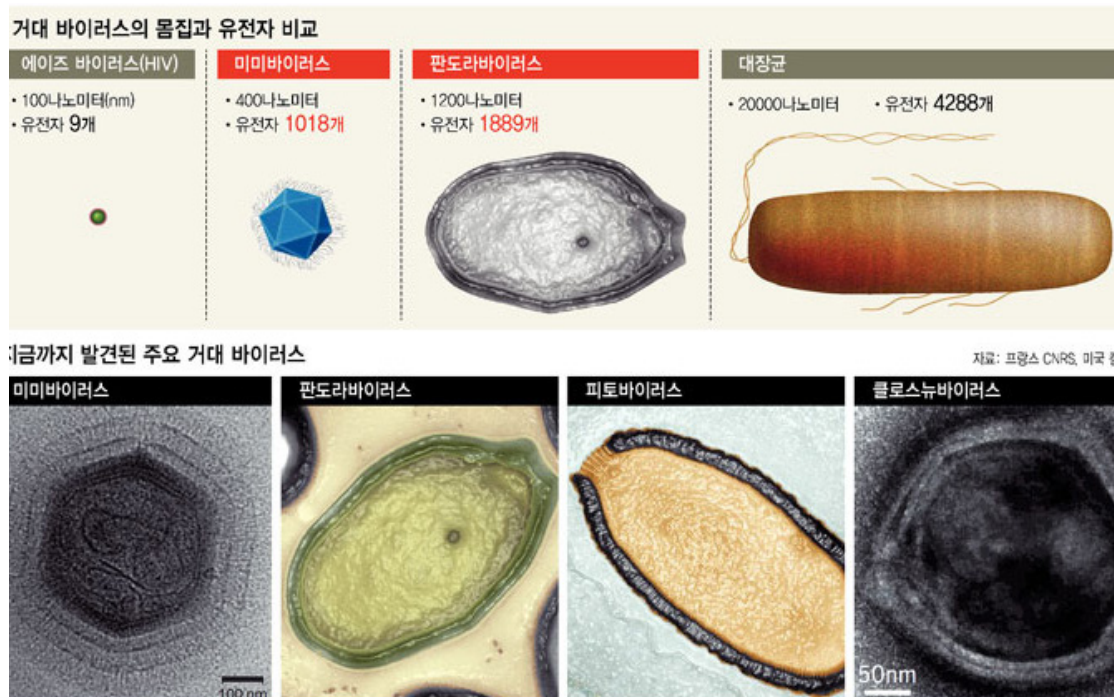


[환경] 지구온난화, 잠자는 거대 바이러스를 깨운다 | 지구환경
 시베리아 영구동토에서 '거대 바이러스' 또 발견
 지구 온난화로 치명적 바이러스가 부활할 가능성이 높은 이유
 잠든 바이러스도 깨우는 지구온난화
지구온난화로 우리나라에서 증가하는 감염 질병
 빙하 아래서 거대 바이러스 발견
 녹고있는 영구동토층 속 3만 년 전 '거대 바이러스' 부활?
 되살아난 3만년전 거대 바이러스의 의미
 빙하에서 발견된 고대 바이러스...위험성은?



제 1 장 연구개발과제의 개요

- 이들이 약 1-3만 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.



- 거대바이러스는 다른 바이러스에 비해 현저히 거대한 크기의 외피 단백질과 유전체를 가지는 것으로 알려져 있음.
- 거대바이러스에 대한 연구가 아주 많이 이루어지는 않았으나 천연두바이러스 등 인간에 감염될 수 있는 바이러스와 참돔이리도바이러스 등 해양생물에도 감염될 수 있는 바이러스 등이 이미 알려져 있으며, 최근 새로운 종들이 발견되고 주목받고 있기에 관련 연구가 요구됨(Kawato et al., 2016).
- 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(Colson et al., 2016, Kutikhin et al., 2014, Saadi et al., 2013, Aherfi et al., 2016, Aherfi et al., 2018).

Family	Host Range	Pathogenicity
Ascoviridae	Insect	
Asfarviridae	Swine, Amoeba	African swine fever
Iridoviridae	Fish, Insect, Amphibia	Iridovirus and megalocytiviral diseases

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용

Family	Host Range	Pathogenicity
Megaviridae	Amoeba	Lymphoma?
Mimiviridae	Zooplankton, Amoeba	Pneumonia? Arthritis?
Pandoraviridae	Amoeba	
Phycodnaviridae	Algae	Human cognitive function error?
Pithoviridae	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	콘택트렌즈
2012	Mimiviridae	무기려증, 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

라. 거대 바이러스 분석 연구 기술 동향

- 오믹스 이전의 연구는 거대바이러스에 의한 병성감정(확진)에 있어 대상생물의 총체적인 생체반응정보 없이 단순 병리학적 분석 자료만 제공하였고, 실제 대상생물의 감염작용과 기전해석이 불가능하였음.
- 그러나, 생체유전자지도 정보와 고속대량질량 분석기술의 발전을 토대로 생체 이상반응 유발에 대한 예측 가능성이 높은 시험법 개발이 가능하게 되었음.
- 지금까지의 연구는 해외 타 연구자의 논문정보를 바탕으로 “Catch-up” 하는 연구방법이었으나, 오믹스를 통한 총체적 생체반응정보기반 연구는 신규 생체물질에 정보를 선점할 수 있음으로서 “Leading Science”를 구현할 수 있는 장점이 있음.
- 이러한 오믹스 기반 분석을 통해 신규 타깃 발굴과 정확한 작용점에 기반한 신개념의 질병진단관 리기술을 개발하여 거대바이러스의 위해도 평가기준을 제시하고 종합적인 진단기법을 제시하는 연구가 필요함.
- 2007년 이후 Next Generation Sequencing (NGS; Second Generation Sequencing and Third Generation Sequencing) 기술의 발전과 더불어 시퀀싱에 기반한 많은 연구가 비약적으로 발전하고 있으나, 해양바이러스에 대한 NGS 기반 연구는 이제 시작하는 단계임(Hingamp et al., 2013).
- NGS 기반 전사체 분석을 통해 변화하는 해양 생태계의 변화에 따른 시기별 해양바이러스의 분포

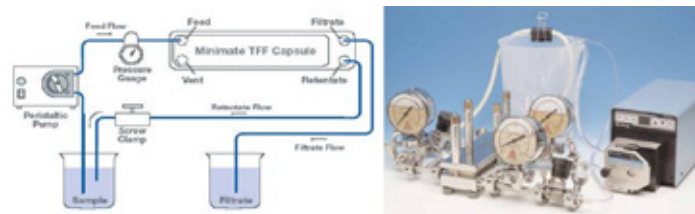
제 1 장 연구개발과제의 개요

를 파악할 수 있는 연구가 필요함.

- Cloning, PCR, Community fingerprinting, 등의 방법이 널리 쓰이고 있으며, 최근에는 유전체학, 환경유전체학, 대용량 서열분석법, 마이크로어레이법 등 최선의 연구 기법들이 사용되고 있음.
- 이러한 방법들은 배양을 통하지 않고, 대규모의 실험을 비교적 적은 비용으로 수행하여 대용량의 정보를 얻어 병원체의 다양성과 역할을 종합적으로 확인할 수 있음.

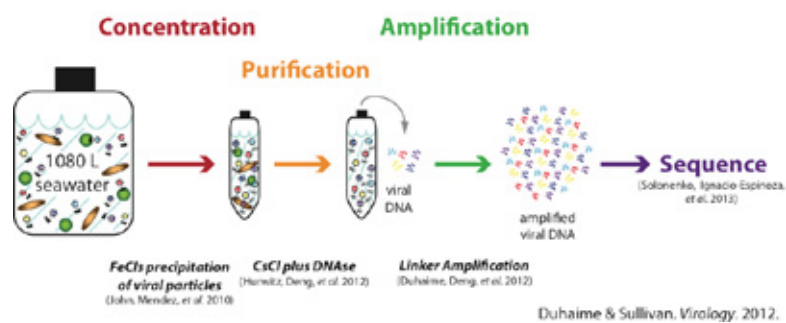
마. 거대바이러스 인벤토리 구축

- 해수 내 해양바이러스 모니터링
 - 해양병원체 연구를 위한 해양병원체 농축은 2007년 초원심분리기(ultracentrifugation equipment)를 사용하면서 처음 시작되었음. 이후 초미세 필터 장치가 개발되었지만 해양병원체의 낮은 회수율과 장시간의 농축 시간의 소요로 실용적이 못한 고전적인 농축법으로 인식되고 있음.
 - 고전적인 농축법을 보완하기 위해서 접선유동여과 (Tangential flow filtration : TFF) 법이 2010년 개발되었지만 100 L가 넘는 양을 시료가 필요하다는 단점이 있음.
 - 이후 FFR (filtration and resuspension)이라는 농축기법이 제시되었고, 적은 시료로 높은 회수율을 얻을 수 있는 농축기법이 개발되어 활용되고 있음.



[TFF 시스템]

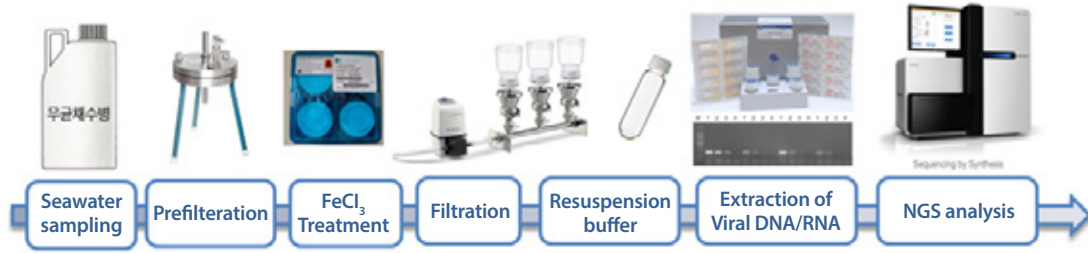
- 미국 오하이오 주립대학의 해양바이러스 연구실에서는 해수에서 바이러스를 농축하고 분리한 후 바이러스 DNA를 증폭시켜 분석하는 구체적인 방법을 제시함(John et al., 2011).



[FeCl₃를 이용한 바이러스 농축 및 분석 예시]

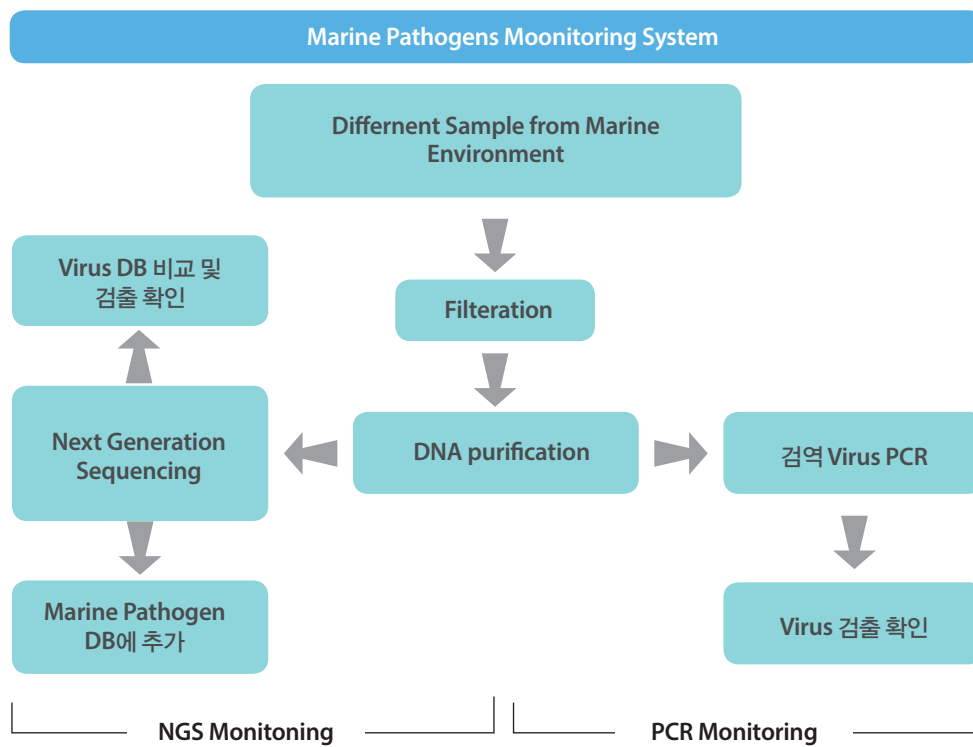
- 거대바이러스농축을 위한 FFR법은 시료채취 → 1차여과(0.45 μm) → 1 mg/L의 FeCl₃ 처리 (1 hr 이상) → 0.8 μm filter → 10 mL의 resuspension buffer 첨가 → 바이러스 gDNA 추출 → 라이브러리 제작 → NGS 분석 방법을 기본으로 수행함. 거대바이러스 인벤토리 구성을 위하여 차세대염기서열 분석법 및 PCR 법이 적용되고 있음.

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용



[해양바이러스 NGS 분석 과정 모식도]

- 거대바이러스 인벤토리 구성을 위하여 차세대염기서열 분석법 및 PCR 법이 적용되고 있음.
- 다양한 해양환경으로부터 채취된 시료는 여과 및 DNA 추출을 통하여 차세대염기서열 분석후 바이러스 데이터베이스와 비교하여 다양성 및 풍부도를 확인하며, 특정 바이러스는 PCR을 통해 확인하는 방법이 채택되고 있음.



[해양바이러스 모니터링 시스템 모식도]

■ 알려진 거대바이러스 인벤토리 작성

- 현재까지 알려진 거대바이러스는 Viral zone (<https://viralzone.expasy.org>) 에서 확인 가능함
- 거대바이러스는 9개 과로 구성되어 있으며, Ascoviridae 2속(5종), Asfaviridae 1속(4종), Iridoviridae 5속(37종), Marseilviridae 2속(9종), Mimiviridae 2속(10종), Pandoraviridae 1속(6종), Phycodnaviridae는 6속(50종), Pithoviridae 1속(2종) 및 Poxviridae 14속(8종)이 알려져 있음.

제 1 장 연구개발과제의 개요

- 거대바이러스는 최근에 연구되기 시작한 바이러스 그룹이기 때문에 앞으로 보다 많은 바이러스가 발견될 가능성이 매우 높음.

Family	Genus	No. Species
Ascoviridae	<i>Ascovirus, Toursvirus</i>	5
Asfarviridae	<i>Asfivirus</i>	4
Iridoviridae	<i>Lymphocystivirus, Megalocytivirus, Ranavirus, Chloriridovirus, Decapodiridovirus</i>	37
Marseilleviridae	<i>Marseillevirus, Tunisivirus, Unclassified</i>	9
Mimiviridae	<i>Mimivirus, Cafeteriavirus, Unclassified</i>	10
Pandoraviridae	<i>Pandoravirus</i>	6
Phycodnaviridae	<i>Chlorovirus, Coccolithovirus, Phaeovirus, Prasinovirus, Pymnesiovirus, Raphidovirus</i>	50
Pithoviridae	<i>Pithovirus, Unclassified</i>	2
Poxviridae	<i>Avipoxvirus, Capripoxvirus, Centapoxvirus, Cervidpoxvirus, Crocodylidpoxvirus, Leporipoxvirus, Molluscipoxvirus, Orthopoxvirus, Parapoxvirus, Suipoxvirus, Yatapoxvirus, Alphaentomopoxvirus, Betaentomopoxvirus, Gammaentomopoxvirus, Unclassified</i>	86

- 특히 최근의 Tara Oceans project를 통하여 전세계 해양에서의 해양바이러스 및 거대바이러스 모니터링이 수행된 바 있으며, 보다 심도있는 모니터링이 필요함을 보고하고 있음(Gregory et al., 2019).



바. 거대바이러스 진단기술 개발

■ 거대바이러스 진단의 필요성

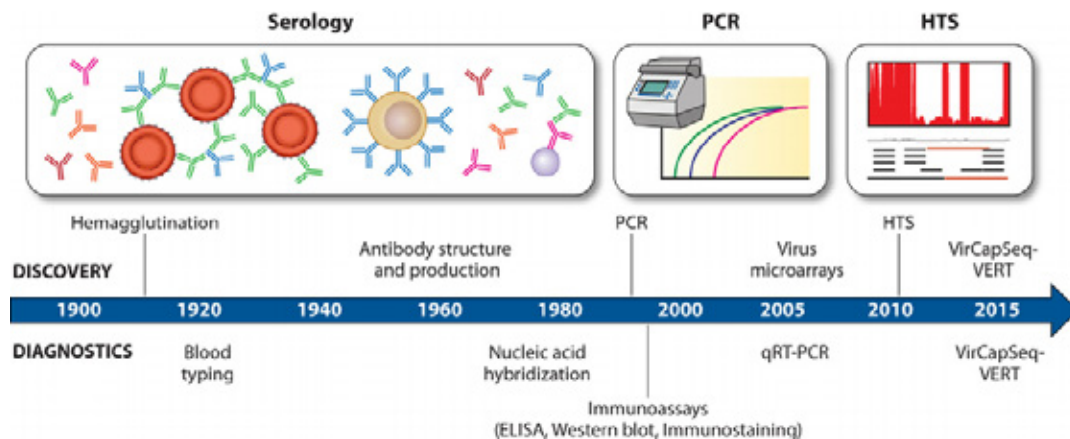
- 국내·외에서 다양한 거대바이러스로 인해 연안 생태계 뿐만 아니라 양식장 등에서도 피해가 발생하고 있음.

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용

- 그러나 세계적으로 거대바이러스는 식물 또는 동물바이러스에 비해 연구가 부족한 상황이며, 특히 국내에서의 연구는 거의 이루어지지 않고 있음.
- 영토가 좁은 우리나라의 특성상 양식장 등이 모여 있는데, 대부분의 거대바이러스는 세대를 이어 전파되는 수직적 전염과 물 등을 통해 전파되는 수평적 전염이 모두 가능하기 때문에 전염성이 높음
- 또한 거대바이러스는 다른 해양 병원체들에 비해 높은 치사율을 가지고 있어 감염 시 큰 문제를 야기할 수 있음
- 현재까지 거대바이러스 감염에 대해 효과적인 치료 방법이 없기 때문에, 빠른 진단을 통해 조기에 확인하고 격리하는 등의 대처 방안이 중요하게 되고, 이를 위해서는 실험실 환경이 아닌, 양식장 등의 현장에서 신속하게 거대바이러스를 진단할 수 있는 기술의 개발이 필요함.

■ 해양바이러스 진단 기술 개요

- 일반적으로 바이러스의 진단에는 항체 기반 진단 기법인 항원-항체 반응을 이용하는 진단법 및 핵산 기반 진단 기법인 중합효소 연쇄반응(PCR), 실시간 중합효소 연쇄반응 (Real-time PCR) 기법 등의 진단법들이 주로 이용되고 있으며, 최근 루프매개등온증폭법(LAMP) 등의 등온증폭 반응법도 이용되고 있음.
- 거대바이러스 진단의 경우에는 다양한 바이러스 각각에 대해서 특이적인 항체 제작이 용이하지 않기 때문에 프라이머 설계 등을 통해 더욱 간단히 진단을 수행할 수 있는 PCR 기반의 분자 진단 기법들이 주로 사용되고 있음.
- 핵산을 대상으로 하는 PCR 기반 진단 기법은 정밀한 진단이 가능하지만 분석 시간이 상대적으로 오래 걸리며 현장에서 활용하기에 어렵다는 단점이 있음.
- 반면 항체 기반 진단 기술의 경우에는 항체 제작 과정이 어렵고 시간이 오래 소요되지만, 일단 항체를 개발한다면 현장 적용형 진단 기술의 개발이 가능하다는 장점을 가짐.



■ 핵산 기반 진단 기법

- 핵산 기반 진단 기법으로는 PCR, real-time qPCR, LAMP, RPA(Recombinase Polymerase Amplification) 등이 주로 이용되며 이 외에도 HDA(Helicase Dependant Amplification), NEAR(Nicking Enzyme Amplification Reaction) 등 다양한 기법이 이용되고 있음.

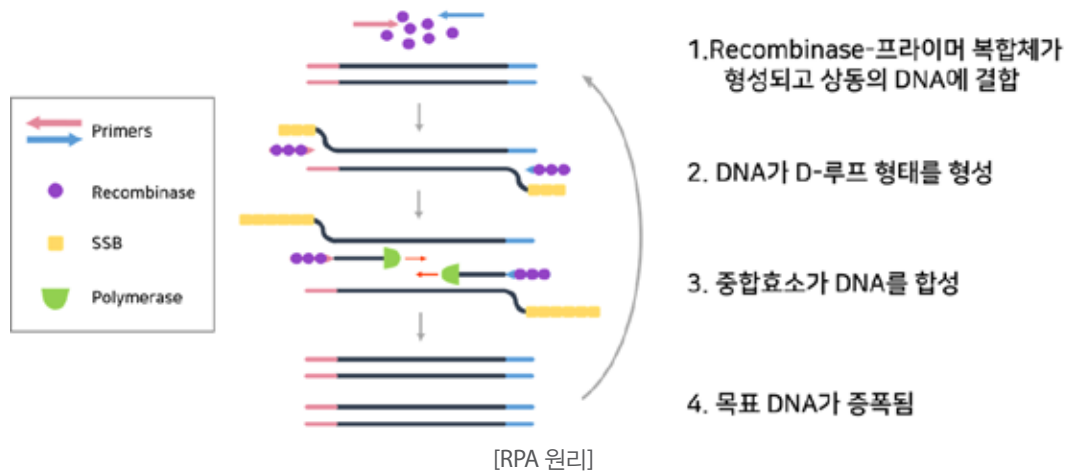
제 1 장 연구개발과제의 개요

- 다양한 핵산 기반 진단 기법 중 가장 주요하게 이용되는 것은 PCR법임.
- 이는 현재 키트 또는 pre-mix 형태의 상품들이 나와 있기 때문에 실험 방법이 간단하여 실험자의 기술적 수준이 요구되지 않는다는 장점이 있으며, 또한 확인 기법으로 주로 아가로스 겔을 이용하기 때문에 multiplex 방식을 이용하여 여러 항원에 대한 진단을 동시에 수행한 후 밴드 사이즈가 형성되는 것으로 결과를 확인할 수 있음.
- 그러나 증폭에 90분~120분 가량이 소요되기 때문에 진단에 필요한 시간이 긴 편이며, 아가로스 겔 전기영동 시간까지 포함한다면 더욱 필요 시간이 길어지게 됨.
- 또한 Thermo-cycler(PCR machine) 및 아가로스 겔 전기영동 기기가 필요한데, thermo-cycler의 경우 최근 소형화된 버전도 있지만 전기영동 기기의 경우에는 버퍼 등이 필요하여 수평 유지가 중요하고 아가로스 겔도 요구되므로 현장 진단에는 적용하기 어렵다는 단점이 있음.

핵산 기반 진단 기법	유전체 크기	소요 시간	장점	단점
Polymerase Chain Reaction (PCR)	10 kb 이상도 가능	>90 min	- 실험방법이 간단함 - Multiplex 방식이 가능함	- 실험시간이 상대적으로 오래 걸림 - 정량적 수치화가 어려움 - Thermo-cycler가 필요함
Real-time Polymerase Chain Reaction (qPCR)	300 bp 이하	>90 min	- 정량적 비교가 가능함 - 실시간으로 확인이 가능함	- 어느 정도는 실험자의 기술 수준이 요구됨 - 실험 시간이 상대적으로 오래 걸림 - Thermo-cycler가 필요함
Replicase Polymerase Amplification (RPA)	500 bp 이하	10-45 min	- 실험 방법이 간단함 - 실험 시간이 상대적으로 짧은 편임 - Multiplex 방식이 가능함 - 등온조건에서 실험이 가능함	- 정량적 수치화가 어려움
Helicase Dependent Amplification (HDA)	80-120 bp	30-90 min	- 등온조건에서 실험이 가능함	- 어느 정도는 실험자의 기술 수준이 요구됨 - 정량적 수치화가 어려움
Nicking Enzyme Amplification Reaction (NEAR)	21-28 bp	10 min	- 실험 시간이 매우 짧은 편임 - 등온조건에서 실험이 가능함	- 어느 정도는 실험자의 기술 수준이 요구됨 - 정량적 수치화가 어려움 - 비특이적 반응의 가능성이 상대적으로 높음
Loop-mediated Isothermal Amplification (LAMP)	-	30-60 min	- Multiplex 방식이 가능함 - 실험시간이 상대적으로 짧은 편임 - 등온조건에서 실험이 수행됨	- 어느 정도는 실험자의 기술 수준이 요구됨 - 정량적 수치화가 어려움

- 다른 핵산 기반 진단 기술인 RPA는 37° C ~ 42° C 정도의 낮은 온도에서 등온 증폭이 가능하며 최저 15분 ~ 45분 정도의 짧은 증폭 시간을 가진다는 장점이 있음.
- 또한 PCR과 마찬가지로 pre-mix 형태의 상품이 시판되고 있기 때문에 쉽게 진단을 진행할 수 있음.
- 그러나 RPA도 PCR과 같이 아가로스 겔 전기영동을 통해 주로 진단 결과를 확인하기 때문에 진단에 추가적인 시간이 요구되며, 전기영동 기기가 필요함.
- 또한 RPA의 원리가 되는 효소들이 대장균으로부터 유래하여, 정제를 거쳤음에도 대장균 DNA가 일부 남아 있을 가능성이 있기 때문에 대장균 DNA를 대상으로 할 경우 위양성 반응이 나타날 확률이 높음.

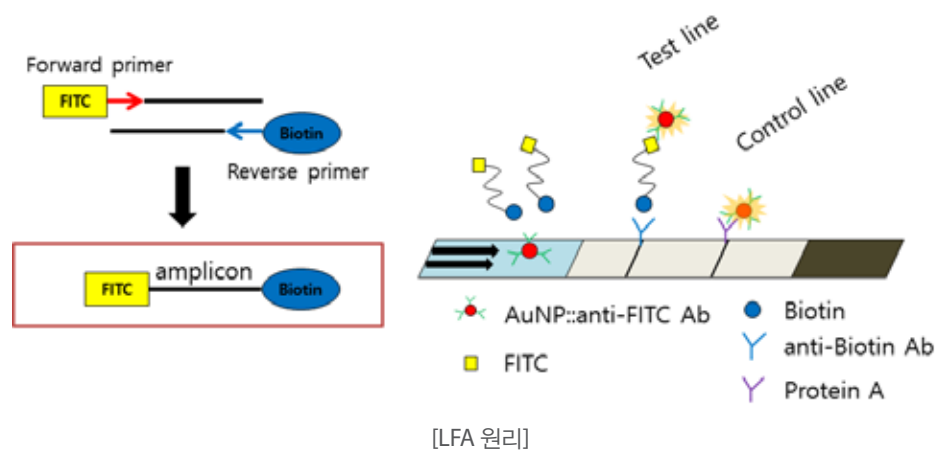
제 1 절 기획연구의 목표 및 내용



- LAMP 기법은 60° C 부근에서 증폭이 일어나는 등온 증폭 진단 기술이며 RPA와 유사하게 약 15-45분 정도의 짧은 증폭 시간을 가짐.
- 이 역시 판매되고 있는 pre-mix 형태의 상품을 이용할 수 있음.
- 또한 LAMP는 아가로스 겔 전기영동으로도 결과를 확인할 수 있으며, 더 간단하게는 SyBR 등의 형광 염색시약을 첨가함으로써 쉽게 결과를 시각화할 수 있다는 장점이 있음.
- 그러나 LAMP 기법은 다른 핵산 기반 진단 기술들에 비해 비특이적 반응의 가능성이 상대적으로 높은 편으로, 실험자가 어느 정도는 기술 수준을 가지고 있어야 확실한 결과를 확인할 수 있음.

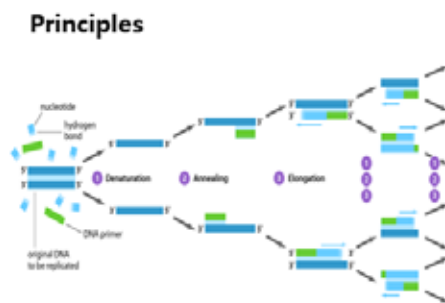
■ 핵산 기반 진단에 이은 확인 기법

- 핵산 진단 기술에 이용되는 확인 방법으로 주로 이용되는 것은 아가로스 겔 전기영동 확인법, 형광시약 이용 시각화 방법, 면역스트립을 이용한 LFA(Lateral Flow Assay)법 등이 있음.
- 아가로스 겔 전기영동 확인 방법은 안정적이며 밴드 사이즈를 통해 정확한 타겟 증폭 여부 확인이 가능하며, 밴드 밝기를 통해 상대적 정량이 가능하다는 장점이 있음.
- 그러나 시간이 30-60분 까지 소요될 수 있으며, 전기영동 기기와 버퍼 및 파이펫 등 장비 이용이 필요하다는 한계를 가지고 있음.



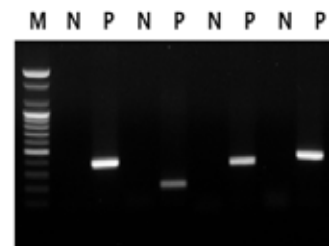
제 1 장 연구개발과제의 개요

- 형광 염색시약 이용 방법은 증폭 산물에 바로 시약을 첨가하여 확인할 수 있어 간단하고 빠르게 확인이 가능하나, 일부 진단 기법에만 이용할 수 있으며 비특이적 반응을 확인할 수 없다는 명백한 단점이 존재함.
 - LFA 기법은 시판되는 이뮤노스트립을 이용하거나 이뮤노스트립을 제작하여 이용할 수 있음.
 - 일단 이뮤노스트립을 확보한 경우 증폭 산물을 버퍼에 섞어 이뮤노스트립을 담그면 결과를 확인할 수 있어 신속하고 간단하게 확인이 가능함.
 - 또한 특이적 프라이머에 연결된 화학 물질을 인식하는 방식이기 때문에 넣어 준 대상 프라이머에 의해 증폭되었다는 것을 확인할 수 있다는 장점이 있음.
 - 단점으로는 이뮤노스트립을 제작해야 하는 경우라면 이를 제작하고 조건을 확립하는 데에 시간이 길게 소요될 수 있다는 것 등이 있음.
- 핵산 기반 진단 기술을 이용한 현장 적용형 진단 기술의 개발
- 위와 같은 진단 기법 및 확인 기법 등을 종합하여, 현장 적용형 진단을 위해서는 가장 안정적이고 비전문가에게도 접근이 쉬운 PCR (또는 2 step PCR)과, 빠르고 쉽게 진단 확인이 가능한 LFA 기법을 결합한 PCR-LFA 기법이 적절할 수 있을 것으로 생각됨.



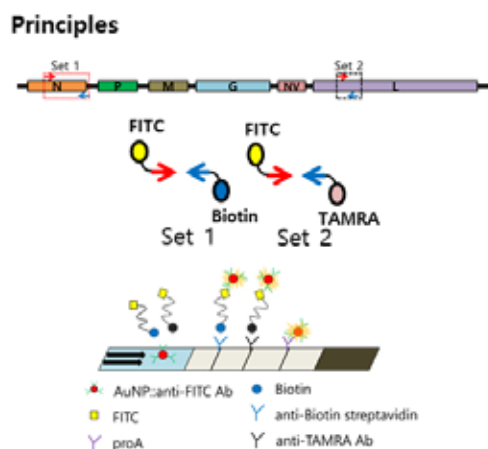
PCR 방법을 이용하여 대상 유전자
특이적 증폭 가능

Results



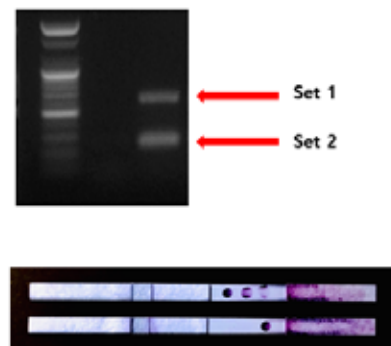
대상 유전자의 증폭 결과를 확인하여
감염 여부를 진단할 수 있음

[PCR method]



여러 프라이머 세트를 이용하여 동시 진단을 수행
각 프라이머 세트를 특이적인 labeling 함으로써
ImmunoStrip을 이용하여 신속한 진단이 가능함

Results



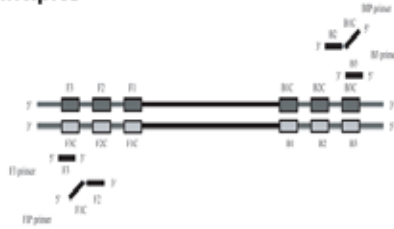
세 가지 프라이머 세트를 이용하여 진단하고
확인 가능 ImmunoStrip을 제작을 통해 원하는
여러대상에 대해 시각적으로도 신속하게 진단이 가능함

[Multiplex PCR based LFA method]

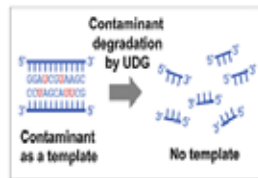
제 1 절 기획연구의 목표 및 내용

- 이 PCR-LFA 기법은 최근 개발된 소형 PCR 기기를 이용하여 어디서든 시행할 수 있으며 아가로스 겔 전기영동 대신 LFA 기법을 이용하기 때문에 연구실 환경뿐만 아니라 양식장 또는 선상 등의 현장에서도 신속하고 간단하게 결과를 확인할 수 있음.
- PCR-LFA 진단 키트를 개발한다면 분자생물학적 진단에 대해 교육받지 않은 인원이라도 감염 의심 샘플만을 추가하여 PCR을 진행하고, 짧게는 60분 정도 내에 LFA를 이용한 결과까지 확인할 수 있을 것으로 기대됨.

Principles

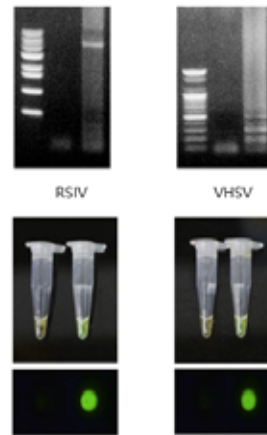


4개의 프라이머를 이용하는 등온증폭법(60°C 정도)으로 PCR에 비해 빠른 진단이 가능하다는 장점도 있음



UDG를 이용하면 이전 LAMP 반응으로 인한 오염을 방지할 수 있어 위양성 반응을 억제할 수 있음

Results

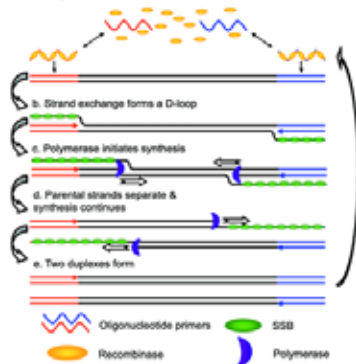


LAMP 이용 시 하나의 band가 아닌 ladderd 형태로 결과를 확인할 수 있으며 SyBr dye등을 이용하여 시각적으로도 쉽게 확인이 가능함

Principles

The RPA Cycle

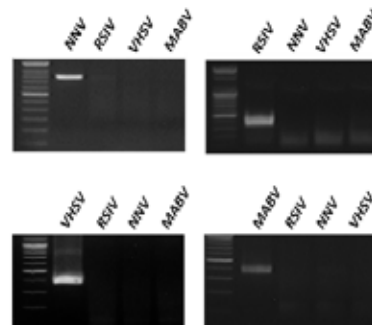
All steps operate at low constant temperature (optimum 37°C)
a. Recombinase / oligonucleotide primer complexes form and target homologous DNA



PCR과 유사한 원리를 가지나 등온증폭 (37°C정도)이 가능하며 PCR에 비해 신속한 진단이 가능함

[RPA method]

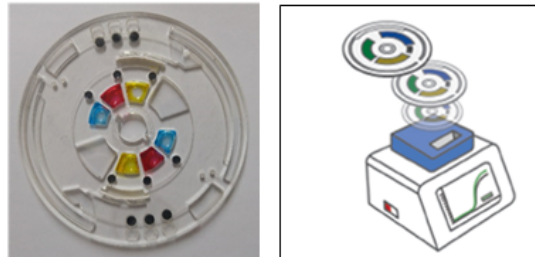
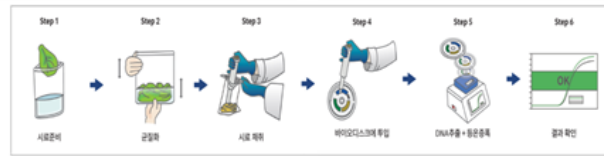
Results



대상 유전자의 증폭 결과를 확인하여 감염 여부를 진단할 수 있음

제 1 장 연구개발과제의 개요

Principles



병원체 핵산 추출 및 증폭 과정을 CD 내에서
진행하며 기기 하나만을 이용하여 시료에서부터 추출,
증폭, 진단 결과 확인까지 가능함

[Lab on a CD method]

■ 항체 기반 진단 기술 개요

- 항체를 이용하는 혈청학적 분석 기법은 항체를 개발하는 데에 시간과 노력이 많이 요구되지만, 항체 개발 이후 진단은 간편하고 신속하게 진행할 수 있음.
- 일반적으로 혈청학적 진단 기법에 쓰이는 항체는 monoclonal 또는 polyclonal 항체임.
- Monoclonal 항체는 실제 동물의 면역 체계 중 하이브리도마를 이용하여 특이성이 높고 순도 높은 항체인 반면 제작 기간이 가장 길고 제작이 어렵다는 단점을 가짐.
- Polyclonal 항체는 mAb보다는 특이성이 떨어지나 여전히 높은 특이성을 가지며, 상대적으로 mAb보다는 빠르게 제작이 가능하지만, 항체 자체의 순도가 떨어지고 비특이적 반응을 보일 확률이 있음.
- 이러한 항체 개발은 monoclonal이든 polyclonal이든 공통적으로 항원을 인위적으로 넣어 준 동물의 실제 면역 체계를 이용하기 때문에 동물 사육실 등의 공간이 필요하며 동물에 대한 핸들링이 요구되어 개발이 어렵고, 개발 시간 또한 길다는 단점을 가짐.
- 또한 항체 분자 자체의 크기가 크기 때문에 정제나 항체에 대한 엔지니어링도 쉽지 않음.

■ 거대바이러스 대상 재조합 항체 개발

- 현재 몇몇 종류의 해양바이러스에 대한 항체들이 개발되어 있고 시판되고 있기는 하나 종류가 한정적이며 특히 국내 제품이 거의 존재하지 않기 때문에 해외 업체로부터 구매해야 하는 등 불편함.
- 따라서 현재 일반 항체가 아닌, 항체 중 가변 부위만을 가지는 미니항체 개발이 진행되고 있고, 그 중 가장 주요한 것은 scFv임.

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용

- scFv란 Single Chain Variable Fragment의 줄임말로, 항체 중 가변 부위만을 떼어 내서 링커를 이용하여 연결한 미니항체의 일종임.
- 이 scFv는 일반 항체(monoclonal, polyclonal Ab)에 비해 특이성 및 결합 능력이 떨어진다는 단점을 가지지만, 실제 동물의 면역 체계가 필요한 항체 개발과 달리 동물 사육실 또는 동물 세포 배양 시설이 필요하지 않다는 장점이 있음.
- 또한 scFv 개발 방법에는 실제 바이러스 병원체를 이용할 수도 있고, 병원체 확보가 어렵다면 대신 효모표면발현법을 통해 대체항원을 제시하여 이를 항원으로 이용할 수 있어 항원을 쉽게 확보할 수 있으며, scFv 선별 이후 대장균 등을 이용하여 동물을 이용하는 것보다 더욱 빠르고 쉽게 대량의 항체를 생산할 수 있음.
- 또한 일반 항체에 비해 크기가 작으므로 유전적 정보를 수정하기 용이하여 유전자의 인위적 수정을 통한 항체 엔지니어링 또는 scFv끼리의 재조합 등을 활용하여 결합력 및 특이성을 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있음.

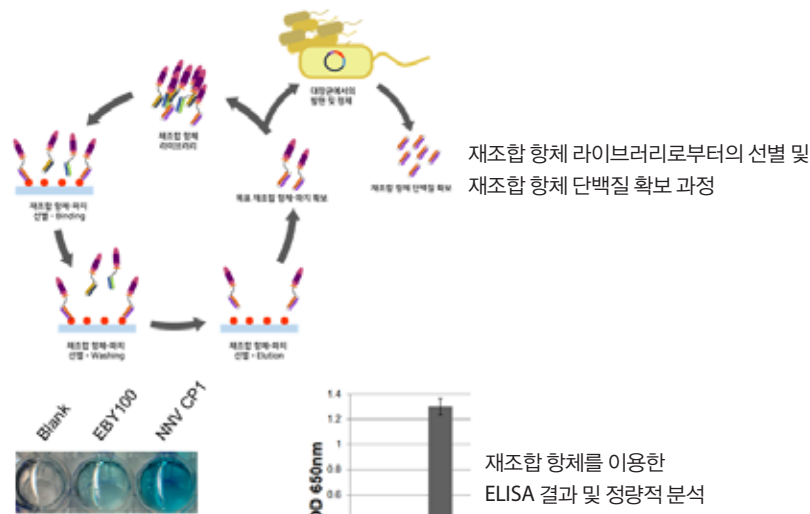
표 1. 혈청학적 진단 기법에 이용되는 항체들의 특징

	장점	단점
Monoclonal Ab	<ul style="list-style-type: none"> • 장시간, 대량으로 균일한 성질의 항체 생산 가능 • 1개의 epitope를 인식하므로 특이성이 뛰어나 • ELISA 수행 시 background가 거의 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • PAb에 비해 제작기간이 길고 숙련된 기술을 필요로 함 • 면역 동물은 mouse, rat, rabbit등으로 한정 됨 • 특정 3차 구조 혹은 당 단백질질을 target으로 하는 경우 specificity가 떨어지는 경우가 존재
Polyclonal Ab	<ul style="list-style-type: none"> • 세포배양 시설 불필요 • MAb보다 빠르고 간편한 제작 • 여러 epitope에 대한 항체를 포함하여 범용성이 좋음 • 면역 동물로써 여러가지 동물을 선택 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 매 생산마다 항원을 필요로 함 • MAb에 비해 특이성이 떨어짐 • 특이적인 항체를 얻기 위해선 정제과정을 필요로 함 • 대량으로 일정 역가 이상의 항체 생산에 부적합 • 청결한 동물 사육 시설 요구
ScFv	<ul style="list-style-type: none"> • 장시간, 대량으로 균일한 성질의 항체 생산 가능 • MAb보다 빠르고 간편한 제작, 생산단가가 저렴함 • 1개, 혹은 그 이상의 epitope를 인식하므로 맞춤형 항체 제작 가능 • 동물 사육실 또는 동물세포 배양 시설이 불필요 • Fusion protein을 함께 발현시켜 serological tool 로 응용가능 • 재조합을 통하여 높은 affinity의 항체개발 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> • 항원 결합 능력이 비교적 떨어짐 • 작은 분자량, low stability • 자가응집력이 높아 dimer를 자주 형성
Bivalent scFv	<ul style="list-style-type: none"> • 일반 scFv에 비해 10배 이상의 antigen binding affinity • scFv에 비해 높은 분자량, higher stability • Alkaline phosphatase : chromogenic reaction 	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 조건 하에서 aggregation 발생할 수 있음
Phage scFv (Phagemid)	<ul style="list-style-type: none"> • 페닝 선별 후 신속하고 간편한 생산 • 높은 분자량의 virus를 포함하여 발현, High stability • 동물 사육실 또는 동물세포 배양 시설이 불필요 • 다른 외피단백질에 chromogenic reaction enzyme을 함께 발현 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • Bacteriophage (배양 가능한 virus), 유전자원의 유출 가능성 • 항원 결합능이 비교적 떨어짐 • 거대한 분자량, Immunostrip을 제작하기에 부적합
Phage scFv (M13 engineering)	<ul style="list-style-type: none"> • 모든 pIII 단백질에 scFv가 display되므로 phagemid방식 대비 10~1000배 이상의 antigen binding affinity • 높은 분자량의 virus를 포함하여 발현, High stability • 동물 사육실 또는 동물세포 배양 시설이 불필요 • 다른 외피단백질에 chromogenic reaction enzyme을 함께 발현 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • Bacteriophage (배양 가능한 virus), 유전자원의 유출가능성 • 모든 pIII 단백질의 fusion으로 인해 phage infection 효율 감소 • 거대한 분자량, Immunostrip을 제작하기에 부적합

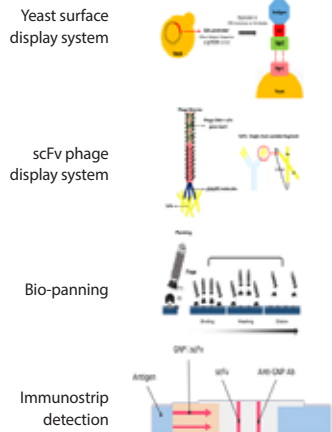
제 1 장 연구개발과제의 개요



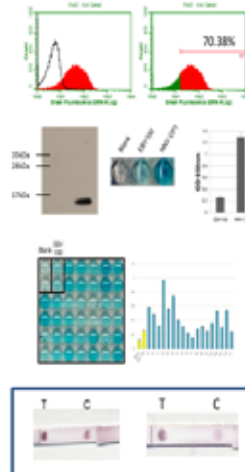
	MAb/PAb	ScFv	Bivalent scFv	Phage scFv (Phagemid)	Phage scFv (M13 engineering)
Structure	Variable _ constant (Heavy + light)	VH + VL (linked)	Dimerization stabilized scFv	Partially phage displayed scFv	Fully phage displayed scFv
MW	150 kDa	25 kDa	140 kDa	> 23,000 kDa	> 23,000 kDa
Features	Immunoglobulin	Proteine	Fusion protein	Bacterpophage	Bacterpophage
Expression	Hybridoma cell culture/serum purification	<i>E.coli</i> expression purification	<i>E.coli</i> expression purification	Bacteriophage preparation	Bacteriophage preparation



Principles



Results



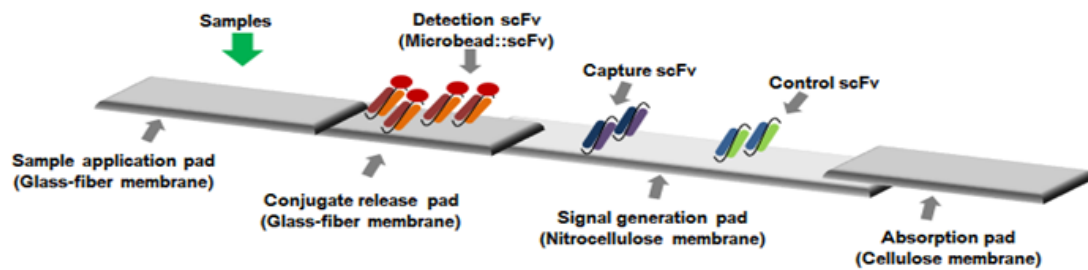
대상 항원 단백질과 scFv 라이브러리를 이용하여 대상 항원 특이적인 재조합 항체(scFv)를 선별하고 이를 통해 ELISA, Immuno-strip 등 진단이 가능함

대상 바이러스 항원 단백질을 효모에서 대량 발현하여 이에 특이적인 scFv를 선별하고 ELISA를 통해 다양한 시료에 대한 결과를 확인, 신속한 진단을 위해 Immuno-strip을 개발하여 이용함

[Recombinant antibody method]

제 1 절 기획연구의 목표 및 내용

- 추가적으로 scFv를 이용하는 진단의 경우, scFv를 앞서 언급한 LFA를 결합하여 이뮤노스트립에 항원 특이적인 scFv를 고정하는 방식으로, 특이적인 이뮤노스트립을 제작할 수도 있음.
- 이러한 scFv-LFA는 일반 항체보다 빠르게 개발이 가능하다는 장점을 앞세워 다양한 거대바이러스 등에 대한 진단 시스템 수립이 가능할 것으로 생각되며 LFA의 장점인 간단하고 신속한 진단을 실험실 환경이 아닌, 실제 항원이 있는 것으로 의심되는 해안, 선상, 양식장 등 일선 현장에서의 진단이 가능할 것으로 보임.

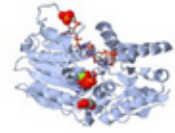
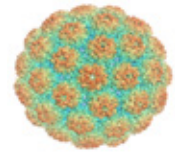


[scFv를 이용하는 이뮤노스트립 제작 모식도]

- 진단기술 적용을 위한 거대바이러스 유전자
 - 거대바이러스 진단기술을 개발하기 위해서는 활용 가능한 거대바이러스 특이 유전자가 필요함
 - 이제까지 밝혀진 거대바이러스 유래 유전자는 61개가 알려져 있으며, 9개 family의 거대바이러스에 공통으로 존재하는 유전자는 DNA polymerase B를 포함하여 9개의 유전자를 활용하여 거대바이러스 검출기술 개발이 가능함
 - 최근까지의 연구결과를 분석해 보면, DNA polymerase B, helicase, major capsid protein (MCP) 등 3개의 유전자가 거대바이러스 검출을 위해 주로 사용되었고, 단일 유전자 또는 2-3개 유전자를 복합적으로 사용하는 기술이 보고되고 있음

Gene group and protein family		Comments
1	D5 ATPase	A member of the superfamily III helicases within the AAA+ superclass ATPases
2	DNA polymerase (B family)	Members of the B family of DNA polymerases, polymerases of herpes-, adeno- and baculoviruses and many bacteriophages
3	A32 ATPase	Distinct family of ATPases required for virion packaging
4	A18 helicase	Superfamily II helicase required for transcription termination; absent in FLDV
5	Capsid protein	PBCV encodes six members of this family
6	Thiol-oxidoreductase	Required for the formation of cytoplasmic disulfide bonds in poxvirus
7	D6R/D11L-like helicase	Superfamily II helicase required for transcription in poxviruses
8	S/T protein kinase	Distinct S/T kinases that show no obvious eukaryotic orthologs
9	Transcription factor VLTF2	Small proteins containing an FCS-type Zn finger; entomopoxviruses have a duplication of the FCS domain

제 1 장 연구개발과제의 개요

Gene	NCLDV's	Methods	Primer	Reference
 DNA polymerase B	Prasinovirus	PCR	F:GARGGGIGCIACIGTIYTNGA R:CCIGTRAAICCRTAIACISWR TTCAT	Clerissi et al., 2014
	Poxvirus	PCR	F:ATACAGAGCTAGTACITTAATAAAAG R:CTATTTTTAAATCCCATTAAACC	Burek et al., 2005
	Phycodnavirus	PCR	F:GARGGGIGCIACIGTIYTIGAYGC R:GCIGCRTAICKYTTYTTISWR TA	Chen and Suttle, 1995
	Mimivirus	PCR	F:AAACAGGTGCACCAACATCA R:GGTTTCCATTTTGACCCAAG F:GAAAATGGTGAAGAGAAA ACTGA R:ACCAGGATAAATGGATGCAA	Sarah et al., 2016 Pagnier et al., 2013
	Phycodnavirus	PCR	F:CCWATCGCAGCWCTMGATTTTG R:ATCTCVCCBGCVARCCACTT	Short et al., 2011
	Orthopoxvirus	PCR	F:TCGGTGACGATACTACGGACGC R:TCCTCCCTCCCATCTTTACGAATTACTTTAC	Eshoo et al, 2009
	Marseillevirus	PCR	AGTTACCCAACCACAAGAAGA CAGAAGGACTAACAAAAGAACCA	Boughalmi et al, 2013
	African Swine Fever Virus	PCR	GCGCGGGATCCATGTTAACGCTTATTCAAGGAAAAA CGCGCGCTGCAGTTATAAACGTTTCTTAGGTATGCGA	Oliveros et al., 199
 Helicase	Mimivirus	PCR	F:ACCTGATCCACATCCCATAACTAAA R:5'GGCCTCATCAACAAATGGTTTCT3'	Rafael et al, 2014
	Orthopoxvirus	PCR	F:TGATTTTCGTAGAAGTTGAACCGGGATCA R:TCGCGATTTTATTATCGGTCGTTGTTAATGT	Eshoo, 2009
 MCP	Prasinovirus	PCR	F:GGIGGICARMGIRTIGAYAA R:TGIACYTYGTCDATIARRTAYTCRTG	Chen & Suttle, 1995
	Phycodnavirus	PCR	F:GGYGGYCARCGYATTGA R:TGIARYTYGTCRAYIAGGTA	Larsen et al, 2008
			F:GTCTTCGTACCAGAAGCACTCGCT R:ACGCCTCGGTGTACGCACCCTCA	Adriaenssens & Cowan, 2014
	Marseillevirus	PCR	ATCTCCGGAACGATTACAG TAACTGCTGCTCCGGTTTT	Boughalmi et al, 2013

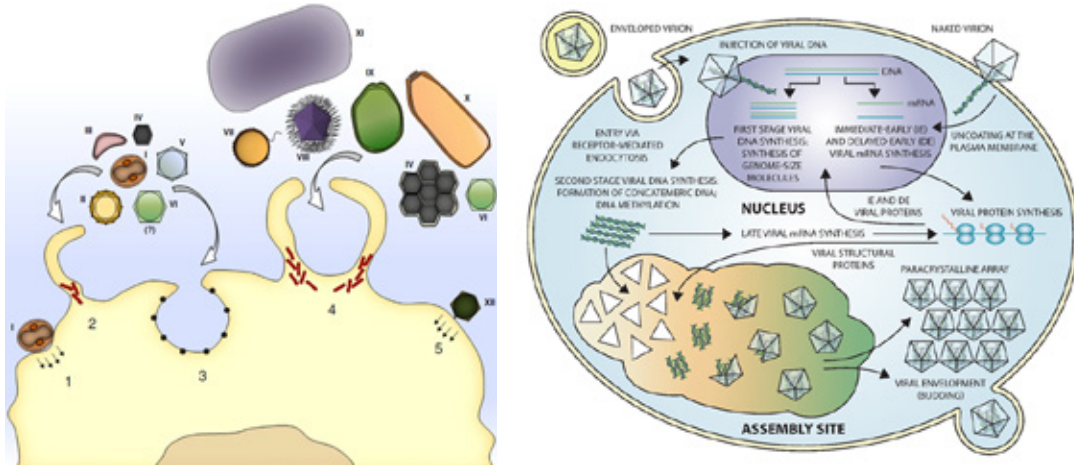
사. 거대바이러스-숙주 세포반응 연구

■ 거대바이러스 감염

- 거대바이러스의 숙주세포로의 이동은 다양한 전략을 가지고 있음(Sobhy et al., 2017).
- 폭스바이러스(I)는 막융합 과정을 통해 이동하며, macropinocytosis 및 receptor-mediated endocytosis 등의 방법을 이용하기도 함.

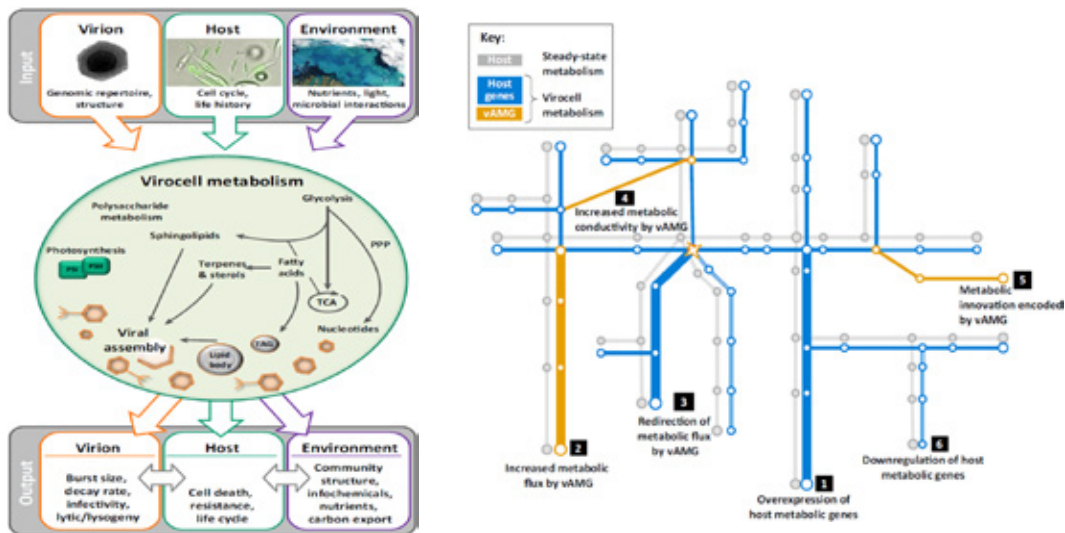
제 1 절 기획연구의 목표 및 내용

- 이리도바이러스(II), 아스코바이러스(III), 마르세유바이러스(IV), 아스파바이러스(V) 및 포스토바이러스(VI)는 macropinocytosis 및 receptor-mediated endocytosis 방법을 통하여 숙주세포로 들어가게 됨.
- 폴리바이러스(VII), 미미바이러스(VIII), 판도라바이러스(IX), 포스토바이러스(VI) 및 피쏘바이러스(X)는 박테리아와 같은 다른 미생물과 함께 들어감.
- 피코디엔에이바이러스(XII)는 가장 독특한 방식으로 숙주세포로 들어가게 되는데, 숙주 세포막에 구멍을 만들고 들어가는 방식을 사용함.
- 숙주세포내에서 거대바이러스는 assembly site를 구성하게 되고, 자신의 유전자 또는 숙주의 유전자를 활용하여 virions을 만들게 됨.



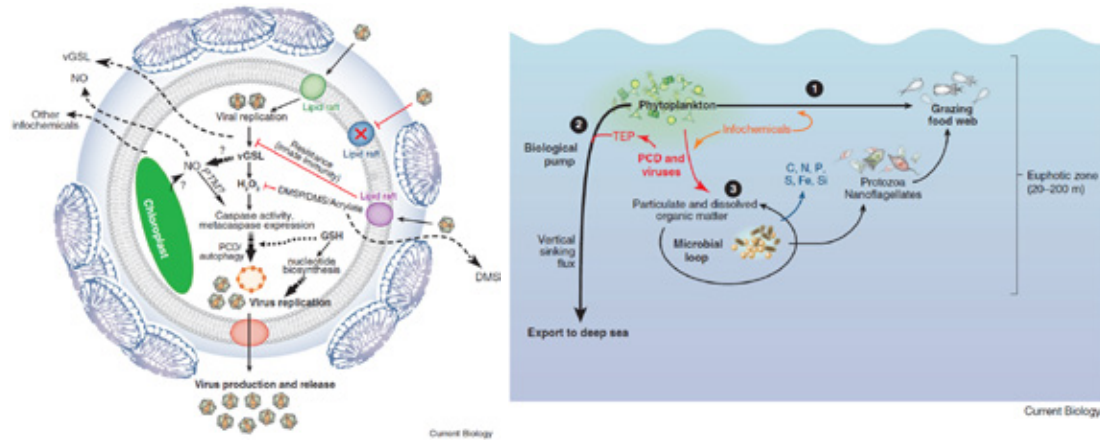
■ 거대바이러스-숙주 세포반응

- 거대바이러스는 Lytic Viral Infection 동안 숙주의 물질대사를 재구성하여 virocell metabolism이 일어나도록 하며, 이를 통하여 progeny virions을 형성하는 방식을 취함.
- 특히 숙주세포의 광합성, 해당과정, 지방산 대사 및 nucleotide 생합성 등의 대사과정을 조절하게 됨(Rosenwasser et al., 2016).

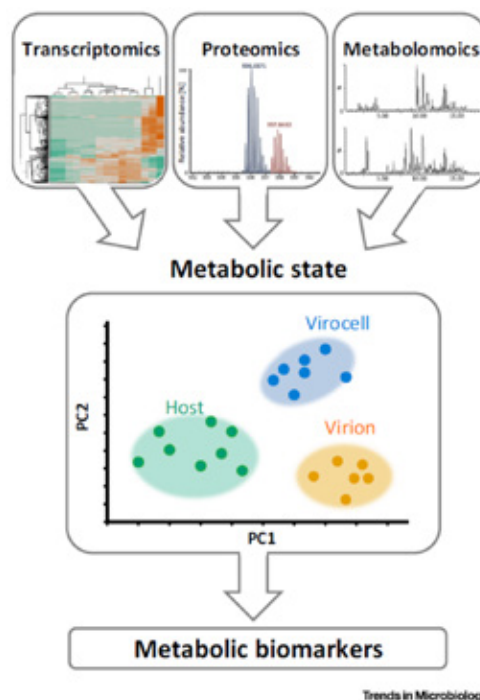


제 1 장 연구개발과제의 개요

- 일부 거대바이러스(피코디엔에이바이러스)는 숙주세포에 결합하게 되면 숙주방어기작을 자극하여 활성산소 및 활성질소를 생산하게 하고, 숙주의 caspase 활성화와 metacaspase 발현을 통하여 programmed cell death(PCD) 과정에 들어가도록 함(Ray et al., 2014).
- 감염된 미세조류는 NO, Virally encoded glycosphingolipids(vGSLs), and dimethyl sulfide(DMS) 등을 생산하게 되고, 이들은 bloom 종결 신호 및 감염저해요인으로 작용하게 됨(Bidle, 2016).



- Virocell metabolism는 transcriptomics, proteomics, metabolomics 및 principal component analysis (PCA) 등을 통하여 확인 가능하며, 새로운 환경 바이오마커 개발에 활용될 수 있음

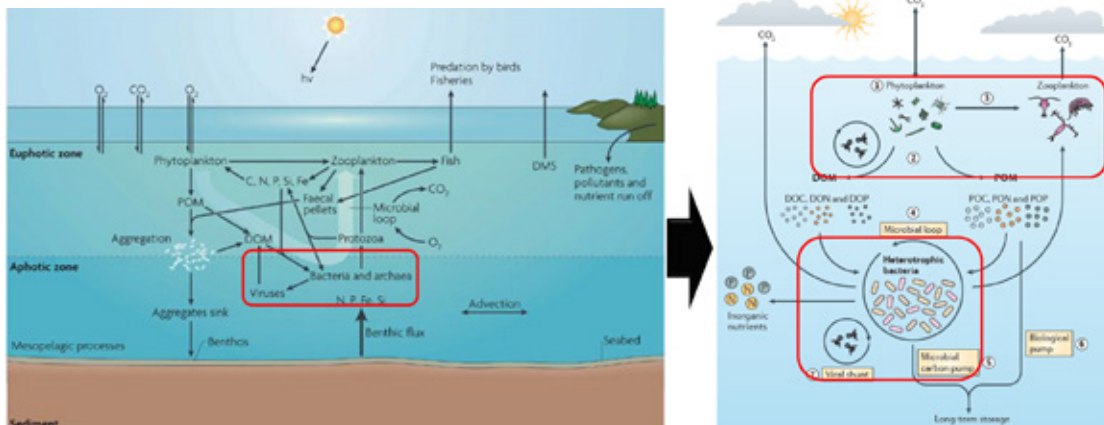


아. 거대 바이러스의 해양 생태계 미치는 영향

- 지구의 기후는 지난 100년 동안 약 0.6℃ 증가하였으며, 기후변화가 해양생태계에 심각한 영향을

미치고 있음은 잘 알려져 있음

- 거대바이러스는 전형적으로 해양 동식물을 감염시키는 병원체이지만, 해양생태계의 생지화학적 과정에서 중요한 역할을 수행하고 있음
- 해양생태계의 변동은 해양환경, 생물, 기후 등 지구해양학적 관계와 상호 밀접하게 연관되어 있고, 해양환경 및 기후의 변화는 생물에 영향을 미치기 때문에 생물 중심의 생태계 접근이 필요함.
- 기존의 해양 미소생태계의 관련 연구는 DOM/무기영양염-박테리아-식물플랑크톤-동물플랑크톤의 상호작용을 중심으로 보고되고 있었으나, 최근의 연구는 해양 생태계에서의 바이러스, 특히 거대바이러스의 역할에 초점이 집중되고 있음(Monier et al., 2008).
- 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



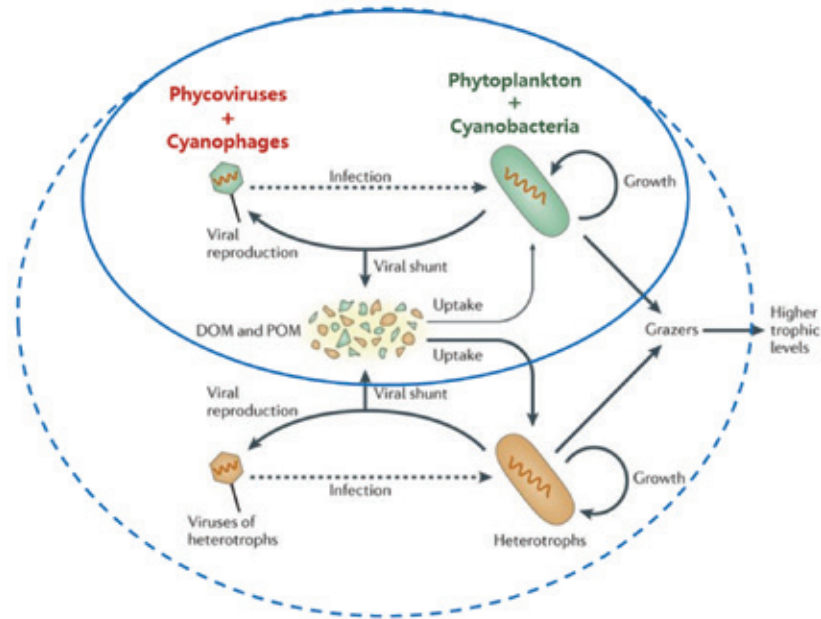
자. 거대 바이러스의 부유생태계에 미치는 영향

- 거대바이러스 중 Phycodnaviridae는 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
- 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*, *Bathycoccus*, *Ostreococcus* 등 피코식물플랑크톤은 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 감

제 1 장 연구개발과제의 개요

염하는 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 기대됨
- 특히 기후변화에 따른 우리나라 해양환경의 변화를 예측하고자 하는 다양한 연구가 의미있는 연구결과를 내놓고 있지 못한 실정에, 한대, 온대 및 열대 해역에서의 일차생산자의 역할을 조절할 수 있는 해양바이러스 연구가 수행된다면, 전 지구적 기후변화에 따른 국내 해역에서의 환경 변화 예측 분야 연구의 괄목할만한 연구결과가 도출될 수 있을 것으로 기대하고 있음



차. 기후변화가 미치는 거대바이러스 영향 관심 필요

- 온난화 등 이상 기후 현상에 의한 해양생태계의 변화는 특히 해양 기후에 영향을 받는 반도국 주변에서 뚜렷하게 나타남.
- 해양생물의 조기 산란과 산란 기간 연장, 아열대 생물의 북상 시기 변화, 해양 동물 서식지 변화, 연안 지역의 백화현상, 생물다양성 변동 등이 현실로 나타남.
- 기후변화에 따른 동물의 질병 중에 영향이 큰 것 중의 하나가 바이러스성 질병으로서 전염성 서식처 형성, 병원체의 생활주기 변화, 산란 장소의 다양화로 질병의 패턴이 다양화되고 있으며, 여러 가지 가능성이 제기되고 있음.

- 기존 바이러스의 인간에 대한 감염경로도 기후나 환경 변화에 의해 더 큰 영향을 받을 수 있음.
- 매개 질병의 증가는 기후변화에 의한 벡터의 증가와 자연보호로 인한 야생동물 수의 증가 등으로 인해 보균 동물의 생존 환경과 직접 관련되거나, 자연계의 먹이사슬과도 연관이 있음
- 늘어난 여행객 수와 해외교류 또한 매개 질병의 전파에 일조하고 있는 것으로 추정되지만, 제어 되지 않고 이동이 가능한 해양생물이 직접 운반할 수 있을 뿐만 아니라, 우리가 경험하지 못한 병원체를 직접 전파시킬 수 있으므로 벡터와 보균 동물에 대한 지속적인 모니터링이 필요함.



카. 거대바이러스의 어류에 미치는 영향

- 세계 어류생산의 증가는 주로 어류양식을 통한 생산증대에 기인한 것이며, 전체 식량용 어류생산은 2030년까지 1억 5천만 톤에 달할 것으로 예상되나, 9,200만톤 까지 공급량이 미달될 것으로 예상된다.
- 우리나라의 해산 양식어종은 넙치, 조피볼락, 돛류, 농어류 등 몇몇 어종이 총 양식생산량의 80% 이상을 차지하고 있음.
- 또한, 수산물의 수입자유화 조치 이후, 최근 5년 사이에 다양한 어종 및 대량의 살아있는 상태의 어류 (활어)가 식용 (특히, 횡감용) 및 사육용 (특히, 낚시용 및 종묘생산용)으로 수입되어져 국내의 다양한 지역에 널리 공급되고 있음.
- 국내 천해양식은 2006년부터 해면어업보다 높은 생산량을 보이고 있으며, 이중 넙치와 조피볼락을 중심으로 한 어류 양식분야가 성장을 주도하고 있으며, 2007년에는 양식넙치가 수산분야에서는 처음으로 세계일류상품으로 지정됨.
- 최근 지구온난화 등 기후변화로 한국을 비롯한 여러 나라에서 새로운 양식어류 질병피해가 지속적으로 증가하는 추세이며, 제주지역 양식넙치의 경우 연간 질병 피해액 788여억 원 이상으로 추산되고, 질병에 의한 폐사는 주로 어린 시기(종묘 및 치어)에 많이 일어나 입식종묘의 50% 이상 폐사하고 있는 실정으로 질병관리 시급함.
- 최근 우리나라 해안의 수온 상승 등에 의하여 양식어류에서 이리도바이러스로 인한 유행병이 빈

제 1 장 연구개발과제의 개요

번하게 발병하고 있고 (Jung and Oh, 2000; Kim et al., 2000), 특히 rock bream (*Oplegnathus fasciatus*)에 있어 매년 심각한 피해를 입히고 있음.

- 그러나 현재 예방법 및 대책은 전무한 실정으므로, 숙주와 바이러스성 병원체에 모두에 대한 체계적이고 다각적인 연구를 통해 해양생물 질병에 대한 자동화 예찰시스템 개발이 필요함.

타. 현 기술의 취약성

- 거대바이러스 인벤토리 작성
 - 해양바이러스 연구가 최근에 진행되는 연구분야이며, 거대바이러스 특이 숙주 없이는 확보가 불가능한 개체이기 때문에 아직까지 해양바이러스 목록의 작성이 시작단계에 있음
 - 특히 거대바이러스는 감염된 숙주로부터 확인되는 경우가 대부분이기 때문에, 새로운 거대바이러스를 분리하고 동정할 수 있는 가능성이 매우 낮은 연구임
 - 따라서 다양한 해수로부터 거대바이러스를 순수분리하고, 예상되는 숙주세포에 감염시키는 감염 시스템 구축이 필요함
- 거대바이러스 진단
 - 거대바이러스 특이 9개의 유전자 중 DNA polymerase, helicase 및 major capsid protein 유전자를 주로 활용하여 진단기술을 개발하고 있으나, 타겟 유전자의 수가 너무 적은 관계로 보다 많은 거대바이러스를 검출할 수 있는 기술의 개발이 어려움
 - 또한 현재까지 진행되고 있는 진단기술은 주로 PCR을 기반을 한 실험실 수준에 머무르고 있으며, 양식장 등 현장에 적용시킬 수 있는 빠르고 정확한 기술의 개발은 아직까지 보고되고 있지 않음
 - 기존의 PCR 법 뿐만 아니라, 주요 거대바이러스 유전자를 항원으로 하는 항체 개발 및 재조합 단백질을 이용한 검출기법의 개발이 요구되며, 항원-항체 반응을 현장에서 즉시 확인할 수 있는 기술의 개발도 병행되어야 함
- 거대바이러스 감염 및 세포반응
 - 거대바이러스의 숙주세포 감염기작과 관련된 연구는 상당 부분 진척되고 있지만, 감염된 숙주의 세포반응과 관련해서는 일부 피코디엔에이바이러스 및 미미바이러스에 국한되어 있고, 특히 최근에 발견되고 있는 판도라바이러스 및 피쏘바이러스에 의한 숙주세포의 반응과 관련된 연구는 거의 이해되고 있지 않음
 - 거대바이러스 감염에 의한 숙주 세포반응 연구를 위해서는 기존의 차세대 염기서열 분석 외에 전사체, 단백질체, 대사체 분석 등이 요구되며, 다양한 통계학적 분석이 필요함
- 거대바이러스 해양생태계 영향 분석
 - 최근의 미소생태계 연구에서는 해양 생태계에서의 바이러스, 특히 거대바이러스를 포함시키고 있으며, 미소생태계에서 거대바이러스의 역할을 가장 중요한 요인이 될 수 있을 것으로 판단하고 있으나 해양생태계에서 거대바이러스의 영향에 대한 정성 및 정량적인 분석 기술은 아직까지 개

발되어 있지 않음.

- 해양 환경요인의 변화는 바이러스 감염성 및 바이러스 증식에 직/간접적인 영향을 미쳐 숙주의 물질대사 변동을 유발하는 것으로 보고되고 있으나, 생태계에서의 평가 방법은 부재함
- 거대바이러스에 의한 해양생태계 영향을 분석하기 위해서는 실험실 및 현장 실험이 수행되고, 이를 인공생태계 등에서 증명하는 연구가 수행되어야 하는데, 아직까지 적절한 프로토콜이 정립되어 있지 않음
- 전지구적인 온난화의 영향으로 아열대화로 변해가는 우리나라 연안의 생태계 변동을 이해하고 미래 예측을 위하여, 거대바이러스에 의한 환경변화가 예측할 수 있는 기술이 개발되어야 함

파. 연구개발의 방향

- 본 기획연구에서는 기존의 거대바이러스 관련 연구동향 및 기술동향 분석을 토대로 향후 수행해야 할 연구의 필요성을 정리하고자 하였음
- 모니터링 및 프로파일링을 통한 거대바이러스 인벤토리 작성, 진단기술개발, 감염/세포반응 시스템 구축, 해양생태계 영향 분석 기술개발, 거대바이러스 빅데이터 구축 및 국가대응전략 구축을 위한 데이터마이닝 기술의 개발을 해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 기획연구의 기본 연구방향으로 설정하였음.



해양생태계에서
거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구



A collection of white line-art illustrations of various microscopic organisms, including bacteria, viruses, and fungi, scattered across the upper half of the page. The background is a dark purple with a repeating geometric pattern of small cubes.

제 2 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구동향 분석

제 2 절 기술동향 분석

제 3 절 국내·외 정책동향 분석

제 1 절 연구동향 분석

1. 분석 방법론

가. 분석대상 선정

- 해양바이러스를 대상으로 거대바이러스와 생태계에 관한 논문 동향 분석을 수행함.

나. 분석범위 설정 및 분야별 DB set 구축

- 해양바이러스를 대상으로 거대바이러스와 생태계에 관한 논문 동향 분석을 수행함.
 - 활용 DB : Pubmed 논문 데이터베이스
 - 검색범위 : 검색 필드 항목 중 Title/Abstract 을 범위로 지정
 - DB 도메인 : 미국국립의학도서관 NLM (National Library of Medicine)에서 제공하며, 총 22,000,000편 이상의 Medline, 생명과학저널, 온라인 도서, 생명공학을 포함, 생물의학 및 보건 분야의 논문 초록, 인용, 색인정보를 수록하고 있는 Web database.
 - 분석 기간 : 2009년~2018년 (최근 10년) 기간 동안의 논문 데이터 활용
- 검색식 작성
 - 해양바이러스를 대상으로 거대바이러스와 생태계에 관한 세부분야별 전문가들이 도출한 주요 키워드를 활용하여 분석 대상 분야별 논문 검색식을 작성함
 - 해당 분석식의 예비 결과 검토 후, 국내에서 게재된 논문을 대조군으로 하여 키워드 및 검색식을 작성함
- 검색키워드

국문

해양, 해수, 해안, 바이러스, 거대바이러스, 고대바이러스, 미미바이러스, 메가바이러스, 피토바이러스, 아스코바이러스, 아스파바이러스, 이리도바이러스, 마르세유바이러스, 판도라바이러스, 폭스바이러스, 파이코디엔에이바이러스, 생태계, 저서, 유영, 박테리아, 산호, 부유, 플랑크톤, 조류, 미세조류, 유전자 증폭 기술, 분자진단법, 바이오칩, 면역검사법, 숙주, 아칸스아메바, 어류세포, 세포주

영문

marine, ocean, sea, coast, shore, seaside, offshore, seabed, estuary, beach, island, bay, virus, viral, giant virus, ancient virus, "Nucleocytoplasmic large DNA virus", NCLDV, Poxvirus, Poxviridae, Pandoravirus, Pandoraviridae, Mimivirus, Mimiviridae, Megavirus, Megaviridae, Pithovirus, Pithoviridae, Ascovirus, Ascoviridae, Asfarvirus, Asfarviridae, Iridovirus, Iridoviridae,

영역

Marseillevirus, Marseilleviridae, Phycodnavirus, Phycodnaviridae, diagnostic, diagnosis, biochip, immunodiagnosics, PCR, LAMP, ELISA, microarray, biosecurity, surveillance, metagenome, metagenomic, ecosystem, pelagic, microalgae, phytoplankton, zooplankton, plankton, water-column, diatom, microorganism, microalga, bacterioplankton, mycoplankton, mixotroph, autotroph, phototroph, microbial, benthos, benthic, invertebrate, coral, sponge, molluscs, seaweed, macroalgae, shellfish, sea-bottom, bivalve, clam

표 1. 거대바이러스 및 생태계 논문 검색식

분 야	검색식 구조	논문검색식
해양 바이러스	(해양) and (바이러스)	(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])
해양바이러스-해양생태계	(해양) and (바이러스) and (해양생태계)	(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 ("marine ecosystem" OR ecological OR ecology OR biosphere OR pelagic OR microalgae OR phytoplankton OR zooplankton OR plankton OR water-column OR diatom OR microorganism OR microalga OR bacterioplankton OR mycoplankton OR mixotroph OR autotroph OR phototroph OR benthos OR benthic OR invertebrate OR coral OR sponge OR molluscs OR seaweed OR macroalgae OR shellfish OR sea-bottom OR bivalve OR clam OR fish OR shrimp OR mammals)
해양바이러스-부유생태계	(해양) and (바이러스) and (부유생태계)	(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 (pelagic OR microalgae OR phytoplankton OR zooplankton OR plankton OR water-column OR diatom OR microorganism OR microalga OR bacterioplankton OR mycoplankton OR mixotroph OR autotroph OR phototroph OR microbial)
해양바이러스-저서생태계	(해양) and (바이러스) and (저서생태계)	(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 (benthos OR benthic OR invertebrate OR coral OR sponge OR molluscs OR seaweed OR macroalgae OR shellfish OR sea-bottom OR bivalve OR clam)
거대바이러스-해양	(해양) and (거대바이러스)	(marine[Title/Abstract] OR ocean[Title/Abstract] OR sea[Title/Abstract] OR coast[Title/Abstract] OR estuary[Title/Abstract] OR bay[Title/Abstract]) AND (giant virus OR ancient virus OR "Nucleocytoplasmic large DNA virus" OR NCLDV OR Poxvirus OR Poxviridae OR Pandoravirus OR Pandoraviridae OR Mimivirus OR Mimiviridae OR Megavirus OR Megaviridae OR Pithovirus OR Pithoviridae OR Ascovirus OR Ascoviridae OR Asfarvirus OR Asfarviridae OR Iridovirus OR Iridoviridae OR Marseillevirus OR Marseilleviridae OR Phycodnavirus OR Phycodnaviridae)
거대바이러스-해양생태계	(해양) and (거대바이러스) and (해양생태계)	(marine[Title/Abstract] OR ocean[Title/Abstract] OR sea[Title/Abstract] OR coast[Title/Abstract] OR estuary[Title/Abstract] OR bay[Title/Abstract]) AND (giant virus OR ancient virus OR "Nucleocytoplasmic large DNA virus" OR NCLDV OR Poxvirus OR Poxviridae OR Pandoravirus OR Pandoraviridae OR Mimivirus OR Mimiviridae OR Megavirus OR Megaviridae OR Pithovirus OR Pithoviridae OR Ascovirus OR Ascoviridae OR Asfarvirus OR Asfarviridae OR Iridovirus OR Iridoviridae OR Marseillevirus OR Marseilleviridae OR Phycodnavirus OR Phycodnaviridae) AND ("marine ecosystem" OR ecological OR ecology OR biosphere OR pelagic OR microalgae OR phytoplankton OR zooplankton OR plankton OR water-column OR diatom OR microorganism OR microalga OR bacterioplankton OR mycoplankton OR mixotroph OR autotroph OR phototroph OR benthos OR benthic OR invertebrate OR coral OR sponge OR molluscs OR seaweed OR macroalgae OR shellfish OR sea-bottom OR bivalve OR clam OR fish OR shrimp OR mammals)

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

분 야	검색식 구조	논문검색식
거대바이러스-부유생태계	(해양) and (거대바이러스) and (부유생태계)	(marine[Title/Abstract] OR ocean[Title/Abstract] OR sea[Title/Abstract] OR coast[Title/Abstract] OR estuary[Title/Abstract] OR bay[Title/Abstract]) AND (giant virus OR ancient virus OR "Nucleocytoplasmic large DNA virus" OR NCLDV OR Poxvirus OR Poxviridae OR Pandoravirus OR Pandoraviridae OR Mimivirus OR Mimiviridae OR Megavirus OR Megaviridae OR Pithovirus OR Pithoviridae OR Ascovirus OR Ascoviridae OR Asfarvirus OR Asfarviridae OR Iridovirus OR Iridoviridae OR Marseillevirus OR Marseilleviridae OR Phycodnavirus OR Phycodnaviridae) AND (pelagic OR microalgae OR phytoplankton OR zooplankton OR plankton OR water-column OR diatom OR microorganism OR microalga OR bacterioplankton OR mycoplankton OR mixotroph OR autotroph OR phototroph OR microbial)
거대바이러스-저서생태계	(해양) and (거대바이러스) and (저서생태계)	(marine[Title/Abstract] OR ocean[Title/Abstract] OR sea[Title/Abstract] OR coast[Title/Abstract] OR estuary[Title/Abstract] OR bay[Title/Abstract]) AND (giant virus OR ancient virus OR "Nucleocytoplasmic large DNA virus" OR NCLDV OR Poxvirus OR Poxviridae OR Pandoravirus OR Pandoraviridae OR Mimivirus OR Mimiviridae OR Megavirus OR Megaviridae OR Pithovirus OR Pithoviridae OR Ascovirus OR Ascoviridae OR Asfarvirus OR Asfarviridae OR Iridovirus OR Iridoviridae OR Marseillevirus OR Marseilleviridae OR Phycodnavirus OR Phycodnaviridae) AND (benthos OR benthic OR invertebrate OR coral OR sponge OR molluscs OR seaweed OR macroalgae OR shellfish OR sea-bottom OR bivalve OR clam)
거대바이러스-진단	(해양) and (거대바이러스) and (진단)	(marine[Title/Abstract] OR ocean[Title/Abstract] OR sea[Title/Abstract] OR coast[Title/Abstract] OR estuary[Title/Abstract] OR bay[Title/Abstract]) AND (giant virus OR ancient virus OR "Nucleocytoplasmic large DNA virus" OR NCLDV OR Poxvirus OR Poxviridae OR Pandoravirus OR Pandoraviridae OR Mimivirus OR Mimiviridae OR Megavirus OR Megaviridae OR Pithovirus OR Pithoviridae OR Ascovirus OR Ascoviridae OR Asfarvirus OR Asfarviridae OR Iridovirus OR Iridoviridae OR Marseillevirus OR Marseilleviridae OR Phycodnavirus OR Phycodnaviridae) AND (diagnostic OR diagnosis OR biochip OR immunodiagnosics OR PCR OR LAMP OR ELISA OR microarray OR biosecurity OR surveillance OR metagenome OR metagenomic)
거대바이러스-감염, 세포반응, 숙주	(해양) and (거대바이러스) and (감염, 세포반응, 숙주)	(marine[Title/Abstract] OR ocean[Title/Abstract] OR sea[Title/Abstract] OR coast[Title/Abstract] OR estuary[Title/Abstract] OR bay[Title/Abstract]) AND (giant virus OR ancient virus OR "Nucleocytoplasmic large DNA virus" OR NCLDV OR Poxvirus OR Poxviridae OR Pandoravirus OR Pandoraviridae OR Mimivirus OR Mimiviridae OR Megavirus OR Megaviridae OR Pithovirus OR Pithoviridae OR Ascovirus OR Ascoviridae OR Asfarvirus OR Asfarviridae OR Iridovirus OR Iridoviridae OR Marseillevirus OR Marseilleviridae OR Phycodnavirus OR Phycodnaviridae) AND (infection OR infectious OR host OR cell OR fish OR acanthamoeba OR algae OR coral)

■ 분야별 유효데이터 추출 및 DB Set 구축

- 수집된 논문 raw data를 대상으로 전수조사 및 유효데이터 추출 과정을 거쳐 논문 DB Set을 구축함

표 2. 해양바이러스-거대바이러스 논문 유효데이터

세부 분야	hitting 건수	유효데이터 건수
해양 바이러스	42016	3862
해양바이러스-해양생태계	40887	1258
해양바이러스-부유생태계	2028	237

세부분야	hitting 건수	유효데이터 건수
해양바이러스-저서생태계	4780	64
거대바이러스-해양	1389	241
거대바이러스-해양생태계	1309	150
거대바이러스-부유생태계	132	30
거대바이러스-저서생태계	271	3
거대바이러스-진단	788	69
거대바이러스-감염, 세포반응, 숙주	1119	103

* 'hitting 건수'는 작성된 검색식으로 검색했을 시 추출되는 논문데이터 건수임

다. 분석 항목 설계

- 논문 동향 분석 항목은 연도별 논문 발표 추이, 국가별 연구동향, 주요 저널 현황의 총 3가지 항목으로 작성함.

표 3. 논문 동향 분석 항목 및 주요 내용

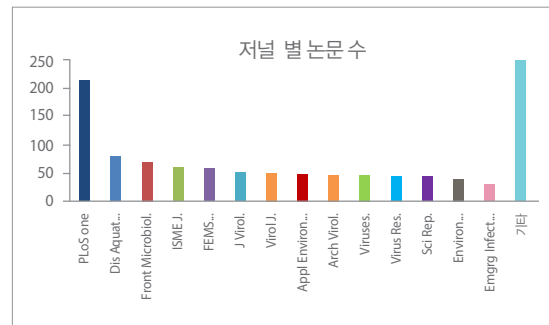
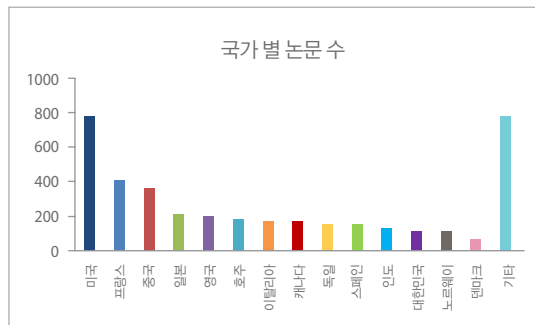
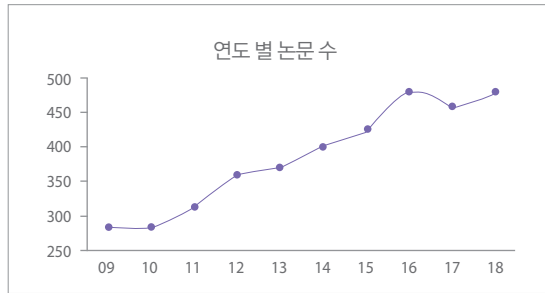
분 야	논문검색식
연도별 논문 발표 추이	대상 기술 주제와 관련된 연도별 논문 발표 건수에 대한 통계자료 분석을 통해 분야 별 연구개발 활성화도 파악
주요 국가별 연구 동향	대상 기술 분야 관련 국가별 논문 발표 현황 분석을 통해 해당 분야의 연구개발 리더 국가 파악
주요 저널 현황	대상 기술 관련 논문이 게재된 저널별 논문건수 및 인용건수 현황분석을 통해 해당 분야의 영향력 있는 주요저널 파악

2. 논문 동향 분석 결과

가. 해양바이러스

- 연도별 논문발표 추이
 - 최근 해양바이러스 분야의 연구개발이 증가 추세임
 - 해양 바이러스 분야의 최근 10년간 전 세계 논문건수 추이를 분석한 결과 2012년 이후 논문 수가 급격히 증가하며 14년도부터는 매해 400편 이상의 논문이 발표되고 있음.
- 주요 국가별 연구동향
 - 미국, 중국, 프랑스, 영국, 스페인 등을 중심으로 해양바이러스 분야의 연구개발에 주력하고 있음.
 - 미국이 233편으로 가장 다수의 논문을 발표하였으며, 중국, 프랑스, 영국 순으로 논문을 발표함.
 - 대한민국은 47편으로 13번째에 위치함.

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
논문수	284	284	314	359	371	402	426	481	461	480

국가	미국	프랑스	중국	일본	영국	호주	이탈리아	캐나다	독일	스페인	인도	대한민국	노르웨이	덴마크	기타
논문수	779	397	354	194	190	174	165	159	146	145	120	107	94	55	783

저널	PLoS One.	Dis Aquat Organ.	Front Microbiol.	ISME J.	FEMS Microbiol Ecol.	J Virol.	J Virol J.	Appl Environ Microbiol.	Arch Virol.	Viruses.	Virus Res.	Sci Rep.	Environ Microbiol.	Emerg Infect Dis.	기타
논문수	213	80	65	61	57	52	52	49	49	47	44	43	39	27	2984

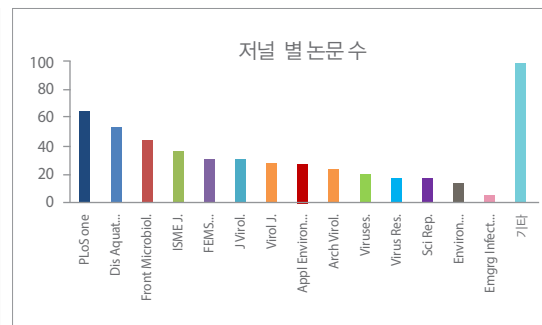
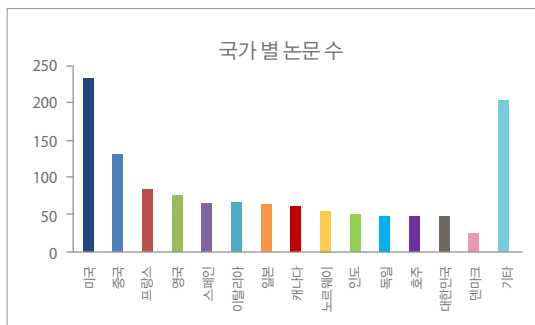
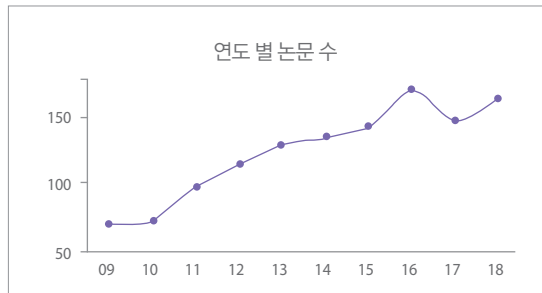
■ 주요 저널 현황

- 최근 10년간 발표된 논문건수 측면에서 “PLOS One.”, “Dis Aquat Organ.”, “Front Microbiol.”이 해양 바이러스분야의 주요 저널로 나타남.
- 특히 “PLOS One.”은 213편으로 다른 저널보다 2배 이상의 해양바이러스 관련 논문이 게재되어 있음.

나. 해양바이러스-해양생태계

■ 연도별 논문발표 추이

- 해양생태계는 부유생태계, 저서생태계, 유영생태계에 관한 키워드를 통합하여 해양생태계로 칭함.
- 해양바이러스와 해양생태계간의 최근 10년간의 연구동향을 파악한 결과, 11년도부터 매해 100건 이상의 논문이 발표되고 있음.
- 2016년에는 171건으로 가장 많은 논문이 발표되었으며, 최근 3년은 150건 이상의 논문이 게재되고 있음.



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
논문 수	72	74	100	116	131	136	144	171	149	165

국가	미국	중국	프랑스	영국	스페인	이탈리아	일본	캐나다	노르웨이	인도	독일	호주	대한민국	덴마크	기타
논문 수	233	131	84	75	66	65	64	62	55	52	49	48	47	25	202

저널	PLoS One.	Dis Aquat Organ.	Front Microbiol.	ISME J.	FEMS Microbiol Ecol.	J Virol.	J Virol J.	Appl Environ Microbiol.	Arch Virol.	Viruses.	Virus Res.	Sci Rep.	Environ Microbiol.	Emerg Infect Dis.	기타
논문 수	66	53	44	5	29	29	26	26	22	19	16	16	12	3	862

■ 주요 국가별 연구동향

- 미국, 중국, 프랑스, 영국, 스페인 등을 중심으로 해양바이러스 분야의 연구개발에 주력하고 있음.
- 미국이 233편으로 가장 다수의 논문을 발표하였으며, 중국, 프랑스, 영국 순으로 논문을 발표함.
- 대한민국은 47편으로 13번째에 위치함.

■ 주요 저널 현황

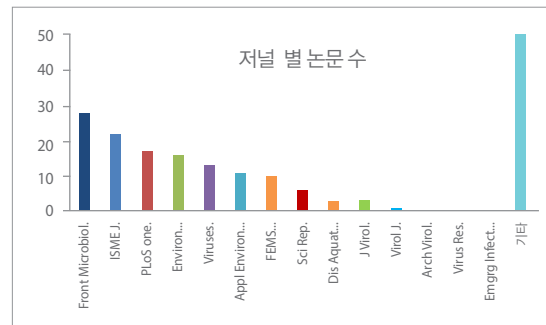
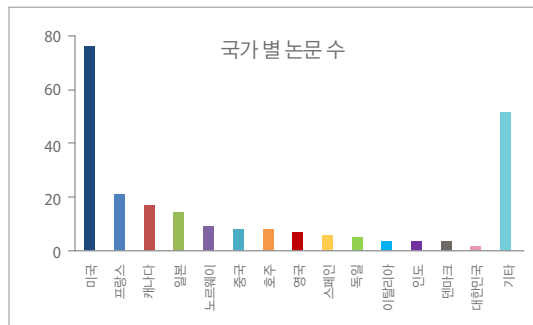
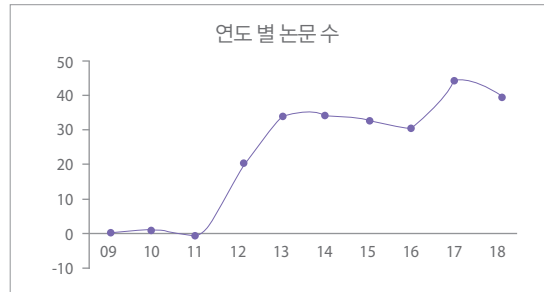
- 최근 10년간 발표된 논문건수 측면에서 “PLOS One.”, “Dis Aquat Organ.”, “Front Microbiol.”이 해양바이러스-해양생태계에 관한 논문을 발표하여 생태계 분야의 주요 저널로 나타남.
- 그러나 862편의 논문이 기타 저널에서 발표되며 다수의 논문이 다양한 저널에서 발표되고 있음.

다. 해양바이러스-부유생태계

■ 연도별 논문발표 추이

- 해양바이러스-부유생태계는 2012년도부터 발표되는 논문이 증가하였으며, 2017년도 부터는 40 편 이상으로 2배 이상의 논문이 발표되었음.

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
논문 수	-	1	-	21	34	34	32	31	43	41					
국가	미국	프랑스	캐나다	일본	노르웨이	중국	호주	영국	스페인	독일	이탈리아	인도	덴마크	대한민국	기타
논문 수	76	21	17	14	9	8	8	7	6	5	4	4	4	2	52
저널	Front Microbiol.	ISME J.	PLoS One.	Environ Microbiol.	Viruses.	Appl Environ Microbiol.	FEMS Microbiol Ecol.	Sci Rep.	Dis Aquat Organ.	J Virol.	J Virol J.	Arch Virol.	Virus Res.	Emerg Infect Dis.	기타
논문 수	28	22	17	16	13	11	10	6	3	3	1	0	0	0	107

■ 주요 국가별 연구동향

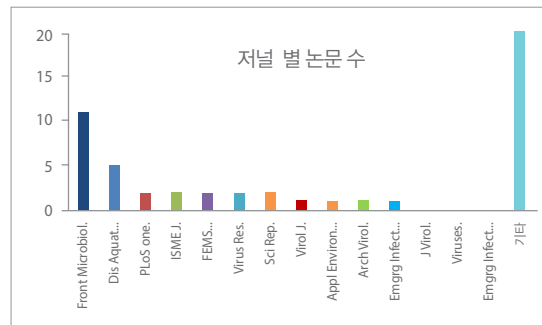
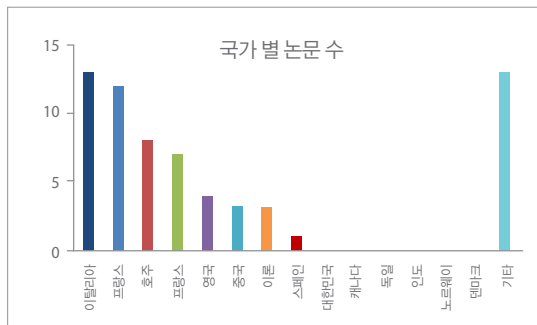
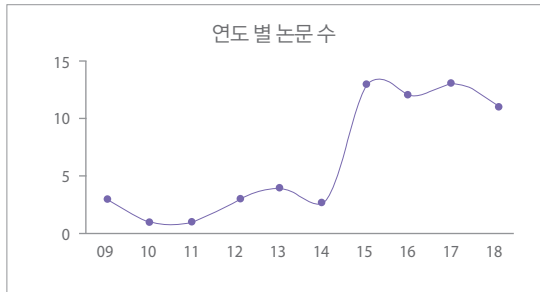
- 미국, 프랑스, 캐나다, 일본, 노르웨이 등의 국가가 해양바이러스-부유생태계 분야의 연구개발에 주력하고 있음.
- 미국이 76편으로 프랑스보다 3배 이상의 논문을 발표하며 해양바이러스 - 부유생태계에 관련한 연구개발에 집중하고 있음.
- 대한민국 2편의 논문을 발표하여 부유생태계에 관한 연구가 부족한 실정임.

■ 주요 저널 현황

- 최근 10년간 발표된 논문건수 측면에서 “Front Microbiol.”, “ISME J.”, “Plos One”이 해양바이러스-부유생태계 분야의 주요 저널로 나타남.
- 그러나, 기타가 107편으로 다수의 논문이 다양한 저널에서 발표되고 있음.

라. 해양바이러스-저서생태계

■ 연도별 논문발표 추이



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
논문수	3	1	1	3	4	3	14	12	13	11

국가	이탈리아	미국	호주	프랑스	영국	중국	일본	스페인	대한민국	캐나다	독일	인도	노르웨이	덴마크	기타
논문수	13	12	8	7	4	3	3	1	-	-	-	-	-	-	13

저널	Front Microbiol.	Dis Aquat Organ.	PLoS One.	ISME J.	FEMS Microbiol Ecol.	Virus Res.	Sci Rep.	Virol J.	Appl Environ Microbiol.	Arch Virol	Environ Microbiol	J Virol.	Viruses.	Emerg Infect Dis.	기타
논문수	11	5	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	34

- 15년부터 매해 10건 이상의 해양바이러스-저서생태계에 관련한 논문이 발표되고 있으며, 산호, 해면동물, 연체동물과 같은 저서동물에 관한 연구개발이 활발해 지고 있음.

■ 주요 국가별 연구동향

- 이탈리아, 미국, 호주, 프랑스, 영국 등을 중심으로 해양바이러스 분야의 연구개발에 주력하고 있음.
- 이탈리아와 미국이 각각 13편, 12편으로 활발한 연구개발이 이루어지고 있으며, 대한민국은 한 편의 논문도 발표되지 않음.
- 중국은 2017년부터 논문을 발표하며, 해양바이러스-저서생태계에 관한 연구개발을 시작함.

■ 주요 저널 현황

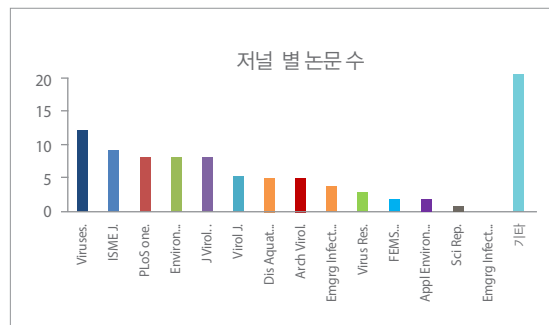
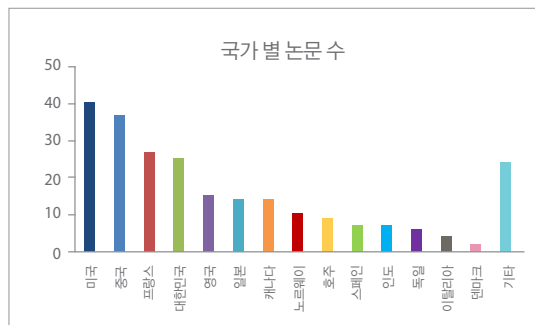
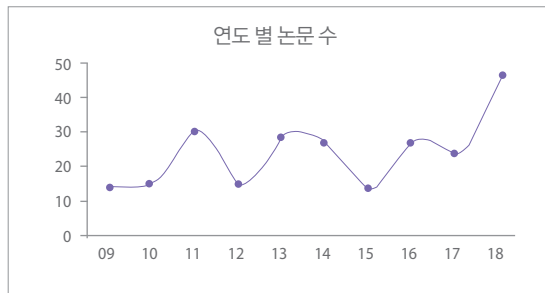
- 최근 10년간 발표된 논문건수 측면에서 “Front Microbiol.”, “Dis Aquat Organ.”, “Plos One”이 해양바이러스성 병원체 분야의 주요 저널로 나타남.
- 특히, “Front Microbiol.”은 11편의 논문으로 다른 저널보다 더 많은 논문이 발표되고 있음.

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

마. 거대바이러스-해양

■ 연도별 논문발표 추이

- 최근 해양에서 거대바이러스 분야의 연구개발은 증감이 반복되고 있음.
- 2018년도에 46편으로 이전보다 큰 증가 폭을 보임. 거대바이러스에 관한 관심이 집중되고 있음



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
논문 수	14	15	30	15	29	27	14	27	24	46

국가	미국	중국	프랑스	대한민국	영국	일본	캐나다	노르웨이	호주	스페인	인도	독일	이탈리아	덴마크	기타
논문 수	40	37	27	25	15	14	14	10	9	7	7	6	4	2	24

저널	Viruses	ISME J.	PLoS One	J Virol.	Virol J.	Dis Aquat Organ.	Arch Virol.	Environ Microbiol	Virus Res.	FEMS Microbiol Ecol.	Front Microbiol.	Appl Environ Microbiol.	Sci Rep.	Emerg In fact Dis.	기타
논문 수	12	9	8	8	8	5	5	5	4	3	2	2	1	0	169

■ 주요 국가별 연구동향

- 미국, 중국, 프랑스, 대한민국, 영국 등을 중심으로 해양바이러스 분야의 연구개발에 주력하고 있음.
- 미국과 중국이 각각 40편, 37편으로 가장 다수의 논문을 발표하여 연구 활동이 가장 활발한 것으로 나타났으며, 프랑스, 대한민국은 각각 27편, 25편을 차지하고 있음.

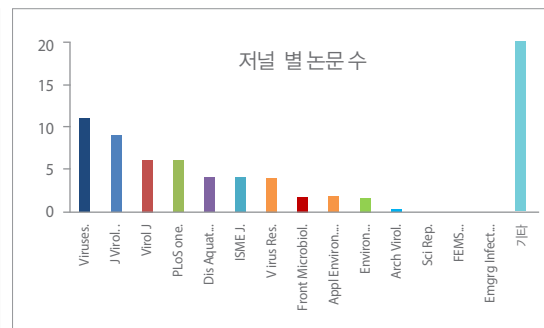
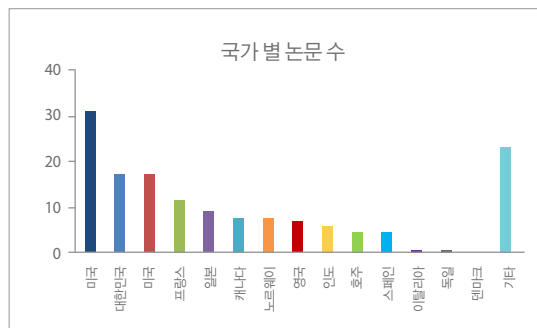
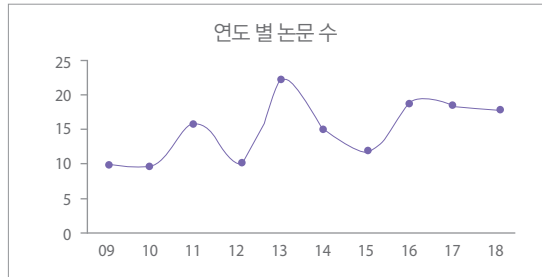
■ 주요 저널 현황

- 최근 10년간 발표된 논문건수 측면에서 “Viruses.”, “ISME J.”, “Plos One”이 거대바이러스 분야의 주요 저널로 나타남.
- 그러나 기타 저널에 169편의 논문이 포함되어 다양한 저널에서 거대바이러스에 관한 논문을 게재 하고 있음.

바. 거대바이러스-해양생태계

■ 연도별 논문발표 추이

- 거대바이러스와 해양생태계간의 관련 논문은 지난 10년간 큰 증가 없이 발표되고 있음.
- 2013년도에 22편으로 비교적 많은 논문이 발표되었음.



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
논문 수	10	10	16	10	22	15	12	19	18	18

국가	중국	대한민국	미국	프랑스	일본	캐나다	노르웨이	영국	인도	호주	스페인	이탈리아	독일	덴마크	기타
논문 수	31	17	17	12	9	8	8	7	6	5	5	1	1	-	23

저널	Viruses.	J Virol.	J Virol J.	PLoS One.	Dis Aquat Organ.	ISME J.	Virus Res.	Front Microbiol.	Appl Environ Microbiol.	Environ Microbiol.	Arch Virol	Sci Rep.	FEMS Microbiol Ecol.	Emerg Infect Dis.	기타
논문 수	11	9	6	6	4	4	4	2	2	2	1	0	0	0	99

■ 주요 국가별 연구동향

- 중국, 대한민국, 미국, 프랑스, 일본 등을 중심으로 거대바이러스-해양생태계 분야의 연구개발에 주력하고 있음.
- 중국과 대한민국은 주로 생선에서 발견되는 거대바이러스 중 폭스바이러스 등 질병바이러스에 대한 연구가 진행되었으며, 메타지놈을 이용한 거대바이러스 연구는 프랑스에서 활발한 연구가 진행되고 있음.

■ 주요 저널 현황

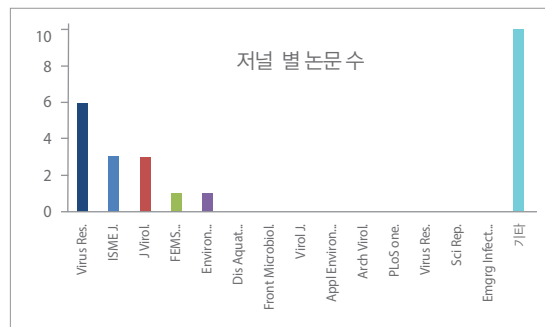
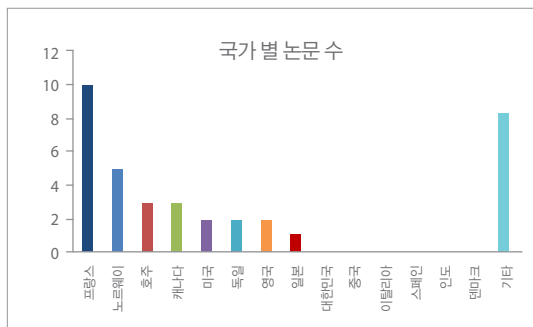
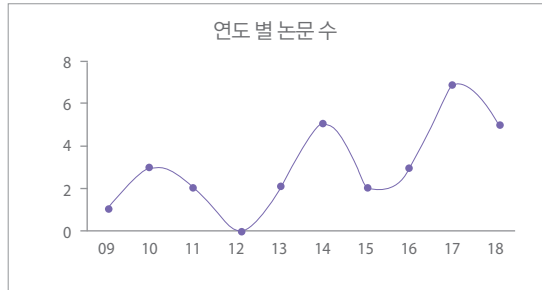
- 최근 10년간 발표된 논문건수 측면에서 “Viruses.”, “J Virol.”, “Virol J.”이 거대바이러스-해양생태계 분야의 주요 저널로 나타남.
- “ISME J.”과 “PLoS One.”저널에서 메타지놈 방법을 이용한 거대바이러스 연구논문이 다수 발표되었음.

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

사. 거대바이러스-부유생태계

■ 연도별 논문발표 추이

- 최근 거대바이러스와 미세조류, 플랑크톤과 같은 부유생태계와의 관련 논문이 증가 추세임.
- 그러나 10년동안 총 30편의 논문으로 많은 연구가 필요한 실정임.



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
논문수	1	3	2	-	2	5	2	3	7	5					
국가	프랑스	노르웨이	호주	캐나다	미국	독일	영국	일본	대한민국	중국	이탈리아	스페인	인도	덴마크	기타
논문수	10	5	3	3	2	2	2	1	-	-	-	-	-	-	2
저널	Viruses.	ISME J.	J Virol.	FEMS Microbiol Ecol.	Environ Microbiol.	Dis Aquat Organ.	Front Microbiol.	J Virol J.	Appl Environ Microbiol.	Arch Virol.	PLoS One.	Virus Res.	Sci Rep.	Emerg Infect Dis.	기타
논문수	6	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16

■ 주요 국가별 연구동향

- 프랑스, 노르웨이, 호주, 캐나다, 미국 등을 중심으로 거대바이러스-부유생태계 분야의 연구개발이 집중되고 있음.
- 거대바이러스를 가장 먼저 밝혀낸 프랑스가 가장 다수의 논문(10편)을 발표 하였으며, 뒤이어 노르웨이가 5편의 논문을 발표함.
- 대한민국, 중국, 이탈리아 스페인, 인도, 덴마크는 거대바이러스를 중점적으로 연구한 논문이 검색 되지 않음.

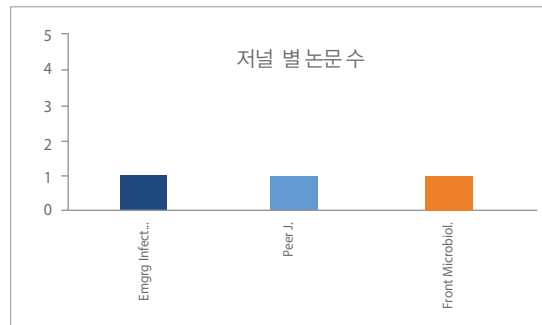
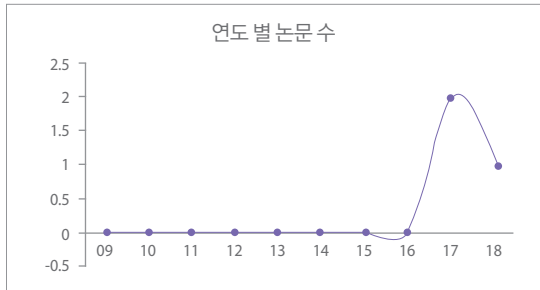
■ 주요 저널 현황

- 거대바이러스-부유생태계에 관한 논문은 “Viruses.”, “ISME J.”, “J Virol.”순으로 저널에 게재됨.
- 그러나 기타 저널에 16편의 논문이 게재되어 관련논문이 여러 저널에서 발표되고 있음을 알 수 있음.

아. 거대바이러스-저서생태계

■ 연도별 논문발표 추이

- 거대바이러스와 저서생태계에 관한 논문은 최근 10년간 3편으로 거의 연구가 진행되지 않음.
- 2편의 논문은 거대바이러스와 산호에 관한 논문이며, 1편은 무척추동물에 관한 논문임.



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
논문수	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1

국가	호주	대한민국	미국	프랑스	중국	영국	일본	이탈리아	캐나다	독일	스페인	인도	노르웨이	덴마크	기타
논문수	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

저널	Emerg In fect Dis.	Peer J.	Front Microbiol.
논문수	1	1	1

■ 주요 국가별 연구동향

- 3편의 논문 중 2편이 호주에서 발표되었으며, 1편은 쿠웨이트에서 발표됨.
- 호주에서 발표된 논문은 산호와 무척추동물에 관한 논문이며, 쿠웨이트에서 아라비안 만에서 산호와 거대바이러스에 관한 논문이 발표됨.

■ 주요 저널 현황

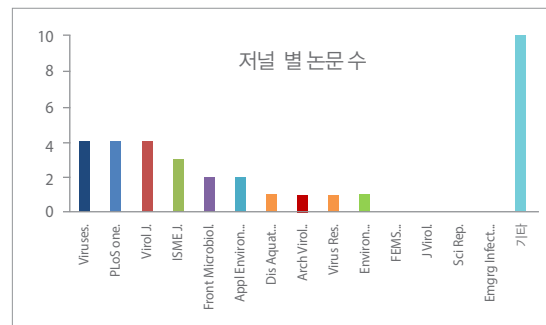
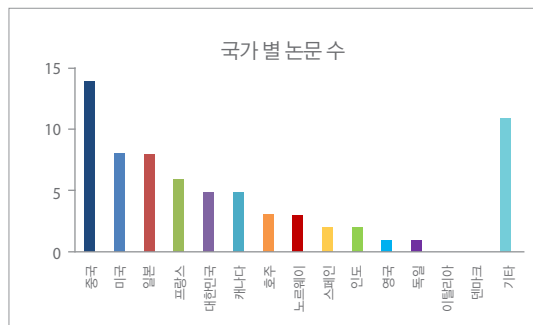
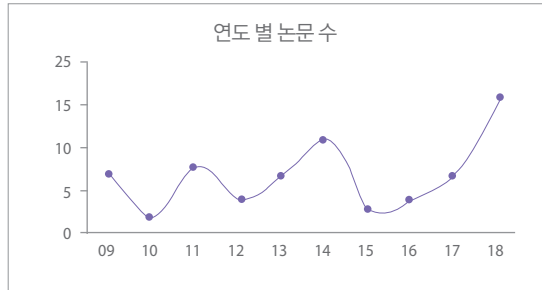
- “Environ Microbiol.”, “Peer J.”, “Front Microbiol.”에서 각각 1 편씩 논문이 게재됨.

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

자. 거대바이러스-진단

■ 연도별 논문발표 추이

- 거대바이러스의 진단에 관련한 논문은 최근 10년간 계속해서 증감을 반복하고 있음.
- 2015년도와 2016년도에 3편, 4편으로 감소하는 양상을 보였다가 2018년도 16편으로 가장 많은 논문이 발표됨.



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
논문 수	7	2	8	4	7	11	3	4	7	16

국가	중국	미국	일본	프랑스	대한민국	캐나다	호주	노르웨이	스페인	인도	영국	독일	이탈리아	덴마크	기타
논문 수	14	8	8	6	5	5	3	3	2	2	1	1	-	-	11

저널	Viruses	PLoS One	Virol J	ISME J	Front Microbiol	Appl Environ Microbiol	Dis Aquat Organ	Arch Virol	Virus Res	Environ Microbiol	FEMS Microbiol Ecol	J Virol	Sci Rep	Emerg Infect Dis	기타
논문 수	4	4	4	3	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	46

■ 주요 국가별 연구동향

- 진단과 관련한 논문은 중국이 가장 많은 논문을 발표하였으며, 뒤이어 미국, 일본, 프랑스, 대한민국 등을 중심으로 연구개발에 주력하고 있음.
- 중국에서 발표된 논문은 Fish를 감염시키는 이리도바이러스에 관한 논문이 다수를 차지하였음.

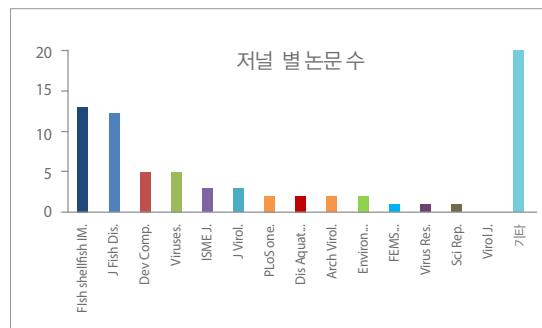
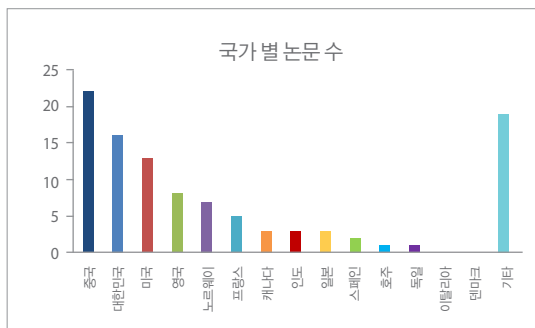
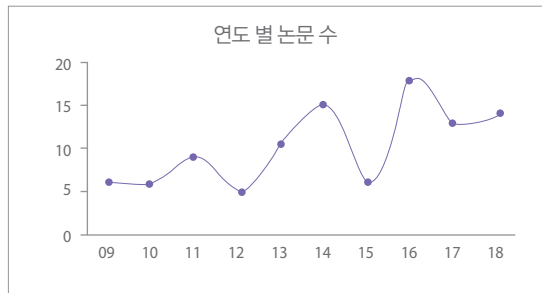
■ 주요 저널 현황

- 최근 10년간 발표된 논문건수 측면에서 “Viruses.”, “Plos One”, “Virol J.”이 모두 3편 4편 씩 논문을 게재하여 거대바이러스-진단에 관한 주요 저널로 나타남.
- 그러나 기타 저널에 46편의 논문으로 다양한 저널에서 관련 논문이 발표되고 있음.

차. 거대바이러스-감염, 세포반응, 숙주

■ 연도별 논문발표 추이

- 거대바이러스의 감염과 숙주에 관한 논문은 총 103편의 논문으로 2016년도에 가장 많은 18편의 논문이 발표됨.



연도	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
논문 수	6	6	9	5	11	15	6	18	13	14

국가	중국	대한민국	미국	영국	노르웨이	프랑스	캐나다	인도	일본	스페인	호주	독일	이탈리아	덴마크	기타
논문 수	22	16	13	8	7	5	3	3	3	2	1	1	-	-	19

저널	Fish shellfish Immunol.	J Fish Dis.	Dev. Comp. Immunol.	Viruses.	ISME J.	J Virol J.	PLoS One.	Dis Aquat Organ.	Arch Virol.	Environ Microbiol.	FEMS Microbiol Ecol.	Virus Res.	Sci Rep.	Virol J.	기타
논문 수	28	22	17	13	11	10	6	3	3	1	0	0	0	0	107

■ 주요 국가별 연구동향

- 중국이 22편으로 가장 많은 논문을 발표하였으며, 대한민국이 16편, 미국이 13편을 발표하여 감염, 숙주에 관한 연구활동에 주력하고 있음.
- 중국에서는 거대바이러스와 이의 숙주인 특정 어류들에 관한 논문이 다수를 차지하였으며, 미국에서는 숙주와 Virome에 대한 논문이 다수를 차지함.

■ 주요 저널 현황

- 최근 10년간 발표된 논문건수 측면에서 “Fish Shellfish Immunol.”, “J Fish Dis”, “Dev Comp Immunol.”이 거대바이러스와 숙주, 감염 분야의 주요 저널로 나타남.
- 특히 다수의 논문이 Fish에 관한 저널에서 발표됨.

3. 논문 동향 분석 종합

- 해양바이러스 & 해양생태계 : 논문은 매년 증가하여 2018년에는 165건의 논문이 출판되었고, 국가별 누적출판량을 분석시 미국이 233건으로 가장 많았으며, 우리나라는 47건으로 13위권에 속했음. 논문은 PLoS One 및 Virus 분야의 저널이 주를 이루었음.
- 거대바이러스 & 해양생태계: 논문은 매년 10-20편이 출판되고 있으며, 국가별 누적 출판량은 중국이 31건으로 가장 많았으며, 다음으로 우리나라가 17건을 출판하였음. 저널은 Viruses가 주를 이루었음.
- 거대바이러스 & 부유생태계 : 논문은 2009년에 처음 발표된 이후 10편 이내로 연구결과를 발표하고 있어 태동하는 연구주제이며, 프랑스에서 10편으로 가장 많이 연구를 수행하였고 우리나라는 아직까지 발표하지 않았음. 저널은 Viruses가 주를 이루었음.
- 거대바이러스 & 저서생태계 : 연구는 2017년 호주에서 2편이 전부임.
- 거대바이러스 & 진단 : 논문은 2009년에 7편에서 매년 증가하여 2018년에는 16편이 출판되었음. 누적출판량은 중국이 14건이 가장 많았으며, 우리나라는 5편으로 5위권에 속해 있음. 저널은 Viruses가 주를 이루었음.
- 거대바이러스 & 감염, 세포반응, 숙주 : 거대바이러스 & 진단의 keyword와 같이 매년 증가하는 양상으로 중국이 22편으로 가장 많은 연구를 수행하였으며, 다음으로 우리나라가 16편으로 2위권에 속해 있었음. 저널은 주로 어병학 관련 논문이 주를 이루고 있음.

표 4. 국가별 해양바이러스 및 거대바이러스 관련 논문 발표 현황(2009-2018)

국가	미국	프랑스	중국	영국	호주	이탈리아	캐나다	대한민국	일본	독일	스페인	인도	노르웨이	덴마크	기타
해양바이러스	779	397	354	190	174	165	159	107 (12)	194	146	145	120	94	55	783
해양바이러스-해양생태계	233	84	131	75	48	65	62	47 (13)	64	49	66	52	55	25	202
해양바이러스-부유생태계	76	21	8	7	8	4	17	2 (14)	14	5	6	4	9	4	52
해양바이러스-저서생태계	12	7	3	4	8	13	-	-	3	-	1	-	-	-	13
거대바이러스-해양	40	27	37	15	9	4	14	25 (4)	14	6	7	7	10	2	24
거대바이러스-해양생태계	17	12	31	7	5	1	8	17 (2)	9	1	5	6	8	-	23
거대바이러스-부유생태계	2	10	-	2	3	-	3	-	1	2	-	-	5	-	2
거대바이러스-저서생태계	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
거대바이러스 (해양)-진단	8	6	14	1	3	-	5	5 (5)	8	1	2	2	3	-	11
거대바이러스 (해양)-감염	13	5	22	8	1	-	3	16 (2)	3	1	2	3	7	-	19

표 5. 해양바이러스 및 거대바이러스 발표 저널 현황(2009-2018)

저널	Fish Shellfish Immunol	J Fish Dis	PLoS One	Front Microbiol	Viruses	ISME J	ViroJ	FEMS Microbiol Ecol	J Virol.	ViroJ.	Appl Environ Microbiol	Arch Virol.	Dis Aquat Organ.	Virus Res.	기타
해양바이러스	104	79	213	65	47	61	57	52	52	49	49	80	44	20	2890
해양바이러스-해양생태계	87	67	66	44	29	35	12	29	22	26	16	53	16	15	741
해양바이러스-부유생태계	-	-	17	28	13	22	10	3	1	11	-	3	-	-	129
해양바이러스-저서생태계	5	3	2	11	-	2	2	-	1	1	1	5	2	-	29
거대바이러스-해양	25	14	8	2	12	9	3	8	8	2	5	5	4	6	130
거대바이러스-해양생태계	20	11	6	2	11	4	-	9	6	2	1	4	4	4	66
거대바이러스-부유생태계	-	-	-	-	6	3	1	3	-	-	-	-	-	-	17
거대바이러스-저서생태계	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
거대바이러스(해양)-진단	9	4	4	2	4	3	-	-	4	2	1	1	1	-	34
거대바이러스(해양)-감염	13	12	2	-	5	3	1	3	-	-	2	2	1	5	54

제 2 절 기술동향 분석

1. 분석 배경 및 목적

가. 분석 배경

- 본 『해양생태계 거대바이러스』기술 과제에 맞춤형 특허맵은 해양생태계에서 거대바이러스의 중심 역할 및 확산 연구 및 해양생태계 미치는 거대바이러스의 영향에 따른 안전성 분석, 거대바이러스 위해도 평가 관련 기술 동향을 파악하기 위하여 특허분석이 필요함.
- 이러한 특허 분석을 통하여, 범용성 높은 공유기술을 바탕으로 한 해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 기술 개발 및 이를 위한 첨단 기술 융복합 사업 도출에 특허기술동향을 지원함으로써, 향후 한국해양과학기술원산업 관련 신규 R&D 사업 육성에 대한 기본방향을 제공하고자 함

나. 분석 목적

- 해양생태계에서 거대바이러스의 중심 역할 및 확산 연구의 타당성 검토 및 해양생태계 미치는 거대바이러스의 영향에 따른 안전성 분석, 거대바이러스 위해도 평가 관련 정책제안 계획을 수립하기 위하여, 거대바이러스에 대한 종판별, 진단방법, 배양, 반응분석, 방제, 예찰 관련하여 특허 분석을 실시함

다. 분석 범위

- 연구 성과의 파급효과 및 연구의 필요성을 고려하여, 크게 해양바이러스와 육상바이러스로 구분하고, 상세하게는 종판별, 진단방법, 배양, 반응분석, 방제, 예찰 등과 같은 기술 분야를 특허분석 대상으로 하였으며, 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국, 및 PCT 특허를 분석 대상으로 함

라. 분석 프로세스

- 분석대상은 해양생태계에서 거대바이러스 기술과 관련된 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국, 및 PCT 특허를 수집하고, 수집된 각각의 특허에서 노이즈 (noise)를 제거하는 필터링 (filtering) 작업을 수행해서 얻은 374건의 유효특허를 대상으로 함
- 전체 특허 동향, 연도별 출원 동향, 내외국인 출원 동향, 특허 기술 성장단계, 분류별 특허 동향, 기술 집중도 및 공백기술 동향, 특허점유율 및 증가율 추세 동향, 주요출원인 동향 등을 살펴봄
- 세부기술 분야별로 외국기업의 핵심특허와 국내기업의 핵심특허를 비교 분석함으로써 외국기업의 특허장벽에 대한 국내기업의 기술경쟁력을 검토하고, 국내기업의 연구 개발 방향을 제시함

- 미국등록특허에서 기술수준을 측정하는 특허등록건수, 인용도지수(CII), 영향력지수(PII), 및 기술력지수(TS), 시장확보지수(PFS), 패밀리규모(FS)를 포함하는 지표를 통하여 국가별 분포를 살펴봄으로써, 해당 기술 분야의 기술 수준을 가늠해 볼 수 있음

2. 특허분석 범위 및 분석기준

가. 분석 배경

- 분석대상 특허
 - 본 분석에서는 2019년 05월 20일까지 출원공개 된 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국, PCT 공개특허와 2019년 05월 20일까지 출원등록 된 한국, 미국, 일본 및 중국 등록특허를 분석 대상으로 함

표 6. 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개 · 등록특허 (공개 · 등록일 기준)	한국특허 (KIPO)	WIPSON	~2019.05.20	특허공개 및 등록 전체문서
	미국특허 (USPTO)			
	일본특허 (JPO)			
	유럽특허 (EPO)			
	중국특허 (SIPO)			
	국제특허 (PCT)			

- 기술범위
 - 본 분석에서는 본 과제의 제안서 및 니즈를 기초로 기술분류를 확립하여 분석을 수행하였고, 해양 및 육상 바이러스를 기준으로 종판별, 진단방법, 배양, 반응분석, 방제, 예찰 등의 기술로 구분하였음
 - 특허분석을 위한 기술분류와 그에 따른 기술내용은 아래와 같음

표 7. 분석 기술 분류

대분류	중분류	소분류	기술설명
거대 바이러스	해양 (A)	종판별 (AA)	종판별, 인벤토리
		진단방법 (AB)	진단기법
		배양 (AC)	배양, 숙주 시스템
		반응분석 (AD)	거대바이러스-해양생태계 반응 분석 기법, 연관관계 분석 기법, 위해도 평가
		방제 (AE)	백신, 예방, 치료, 처치
		예찰 (AF)	모니터링

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

대분류	중분류	소분류	기술설명
거대 바이러스	육상 (B)	종판별 (BA)	종판별, 인벤토리
		진단방법 (BB)	진단기법
		배양 (BC)	배양, 숙주 시스템
		반응분석 (BD)	거대바이러스-해양생태계 반응 분석 기법, 연관관계 분석 기법, 위해도 평가
		방제 (BE)	백신, 예방, 치료, 처치
		예찰 (BF)	모니터링

나. 검색식 및 검색결과

■ 검색식 도출 과정

- 본 보고서에 사용된 검색식은 해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 기술에 대한 기술 자료, 주요 검색 키워드, 주요 특허와 논문 내용에 그 근거를 두고 있음
- 연구내용 제안서를 통해 기술내용에 근거하여 키워드를 도출하고, 키워드 수정을 통하여 최종 키워드를 도출하였음
- 특허 검색식은 특허 출원시 오타에 의한 누락 건을 방지하기 위해 유사음절을 사용하여 다양한 표현으로 작성함
- 각 기술내용별로 도출된 핵심 키워드를 통합하여 검색식을 작성함

■ 검색식

- keyword에 따른 검색식은 아래 표와 같고, 발명의 명칭, 요약 및 청구범위를 대상으로 하였음. 상기 검색식에 따른 검색 결과는 <표 8>와 같음

표 8. 키워드에 따른 검색식

대분류	중분류	소분류	기호	검색식
거대 바이러스	해양 (A)	종판별	AA	(해양* or 해상* or 해안* or 바다* or 해저* or 염수* or 함수* or 해산* or 해수* or 수산* or 대양* or marine* or ocean* or sea or "sea water" or seawater* or saltwater* or seafaring* or maritime*) and (거대바이러스* or 고대바이러스* or 폭스바이러스* or 판도라바이러스* or 미미바이러스* or 메가바이러스* or 피토 바이러스* or 아스코바이러스* or 아스파바이러스* or 이리도바이러스* or 마르세유바이러스* or 파이코디엔에이바이러스* or ((거대 or 고대 or 메가 or 대형 or 자이언트) adj 바이러스*) or "Giant virus" or "mega virus" or Megavirale* or "Antient virus" or "Nucleocytoplasmic large DNA virus" or NCLDV or Poxvirus* or Poxviridae* or Pandoravirus* or Pandoraviridae* or Mimivirus* or Mimiviridae* or Megavirus* or Megaviridae* or Pithovirus* or Pithoviridae* or Ascovirus* or Ascoviridae* or Asfarvirus* or Asfarviridae* or Iridovirus* or Iridoviridae* or Marseillevirus* or Marseilleviridae* or Phycodnavirus* or Phycodnaviridae)
		진단방법	AB	
		배양	AC	
		반응분석	AD	
		방제	AE	
		예찰	AF	

대분류	중분류	소분류	기호	검색식
거대 바이러스	육상 (B)	종판별	BA	((거대바이러스* or 고대바이러스* or 폭스바이러스* or 판도라바이러스* or 미미바이러스* or 메가바이러스* or 피토바이러스* or 아스코바이러스* or 아스파바이러스* or 이리도바이러스* or 마르세유바이러스* or 파이코디엔에이바이러스* or ((거대 or 고대 or 메가 or 대형 or 자이언트) adj 바이러스*) or "Giant virus" or "mega virus" or Megavirale* or "Antient virus" or "Nucleocytoplasmic large DNA virus" or NCLDV or Poxvirus* or Poxviridae* or Pandoravirus* or Pandoraviridae* or Mimivirus* or Mimiviridae* or Megavirus* or Megaviridae* or Pithovirus* or Pithoviridae* or Ascovirus* or Ascoviridae* or Asfarvirus* or Asfarviridae* or Iridovirus* or Iridoviridae* or Marseillevirus* or Marseilleviridae* or Phycodnavirus* or Phycodnaviridae) not (해양* or 해상* or 해안* or 바다* or 해저* or 염수* or 함수* or 해산* or 해수* or 수산* or 대양* or marine* or ocean* or sea or "sea water" or seawater* or saltwater* or seafaring* or maritime*)).KEY.
		진단방법	BB	
		배양	BC	
		반응분석	BD	
		방제	BE	
		예찰	BF	

표 9. 기술분류체계에 따른 특허 검색건수

대분류	중분류	소분류	검색건수						
			한국	미국	일본	유럽	중국	PCT	합계
거대 바이러스	해양 (A)	종판별 (AA)	53	8	38	4	54	11	168
		진단방법 (AB)							
		배양 (AC)							
		반응분석 (AD)							
		방제 (AE)							
		예찰 (AF)							
	육상 (B)	종판별 (BA)	141	515	156	219	262	316	1,609
		진단방법 (BB)							
		배양 (BC)							
		반응분석 (BD)							
		방제 (BE)							
		예찰 (BF)							
합계			194	523	194	223	316	327	1,777

다. 유효특허 선별 과정 및 결과

■ 유효특허 선별 과정

- 검색된 특허 각각에 대하여, 명칭, 요약, 대표청구항, 전체청구항 및 원문 전체를 검토하면서, 본 과제 기술과 관련이 없는 노이즈(noise)를 제거하는 필터링(filtering) 작업을 수행함
- 먼저, 기술별 검색식에 의해 추출된 특허를 기준으로, 해양바이러스 및 육상 바이러스 기술을 별도로 구분하여 분류하였으며, 따라서, 중복 특허가 존재함. 필터링은 검색식에 의해 추출된 기술

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

분류와 상관없이 가장 근접한 세부기술로 분류하였음

■ 분류별 유효특허 선별 결과

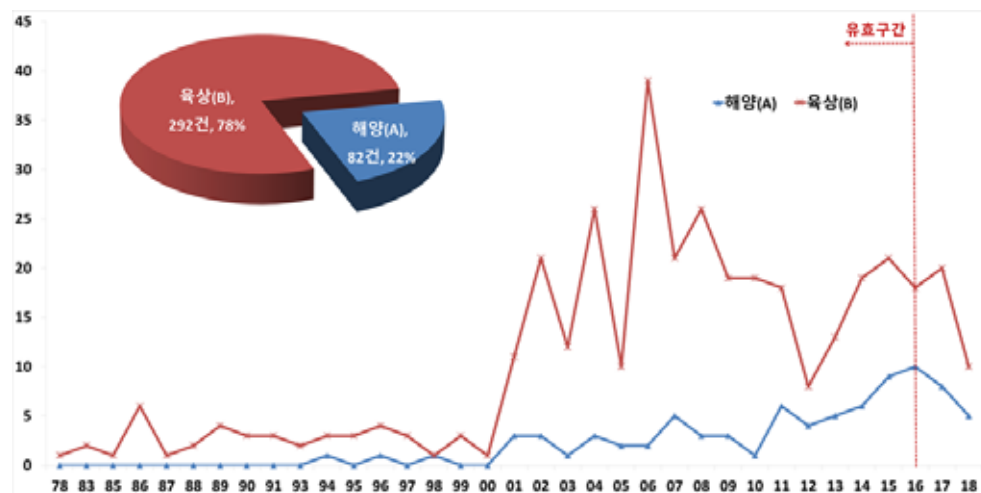
* 유효특허 선별 결과는 하기 <표 10>에 나타난 바와 같이 전체 374건이었음

표 10. 기술별 유효특허 건수

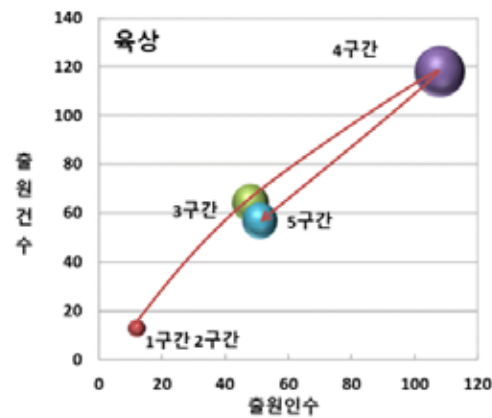
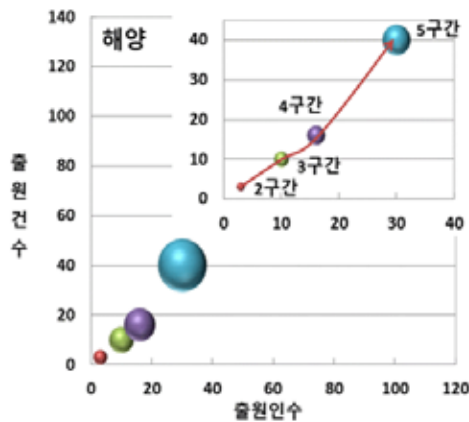
대분류	중분류	소분류	검색건수						합계
			한국	미국	일본	유럽	중국	PCT	
거대 바이러스	해양 (A)	종판별 (AA)	7	1	1	0	7	0	16
		진단방법 (AB)	0	1	3	1	20	3	28
		배양 (AC)	3	0	0	0	1	1	5
		반응분석 (AD)	0	0	0	0	0	0	0
		방제 (AE)	8	4	4	1	14	2	33
		예찰 (AF)	0	0	0	0	0	0	0
		소계	18	6	8	2	42	6	82
	육상 (B)	종판별 (BA)	5	3	5	2	3	2	20
		진단방법 (BB)	3	2	0	3	15	1	24
		배양 (BC)	3	8	3	5	4	4	27
		반응분석 (BD)	0	0	0	0	0	0	0
		방제 (BE)	38	60	51	19	13	41	221
		예찰 (BF)	0	0	0	0	0	0	0
		소계	49	73	59	29	35	48	292
합계			67	79	67	31	77	54	374

3. 특허분석

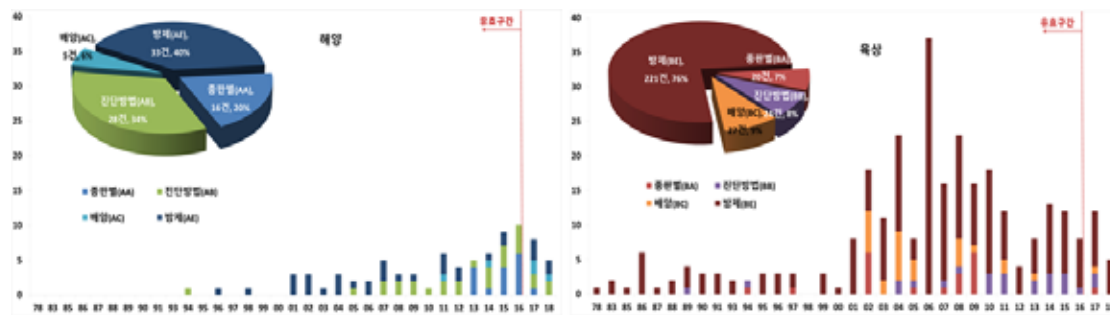
- 전체 연도별 특허출원 동향을 살펴보면, 해양(A) 기술이 전체 374건 중 82건(22%)이었으며, 육상(B) 기술이 292건(78%)을 출원하였음



- 해양 및 육상 거대바이러스 전체 기술의 위치는 1구간(1987년~1992년)부터 4구간(2005년~2010년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 계속 증가하고, 최근인 5구간(2011년~2016년)에서는 출원건수와 출원인수가 함께 감소하여, 전체적으로 성숙기에 진입하는 것으로 볼 수 있음.
- 해양 기술은 구간별로도 절대적인 출원건수와 출원인수가 함께 적은 것은 기술개발이 아직 본격화되지 않은 태동기에 속하는 것으로 볼 수 있음.
- 육상 기술은 전체적으로 성숙기에 진입하는 것으로 볼 수 있음

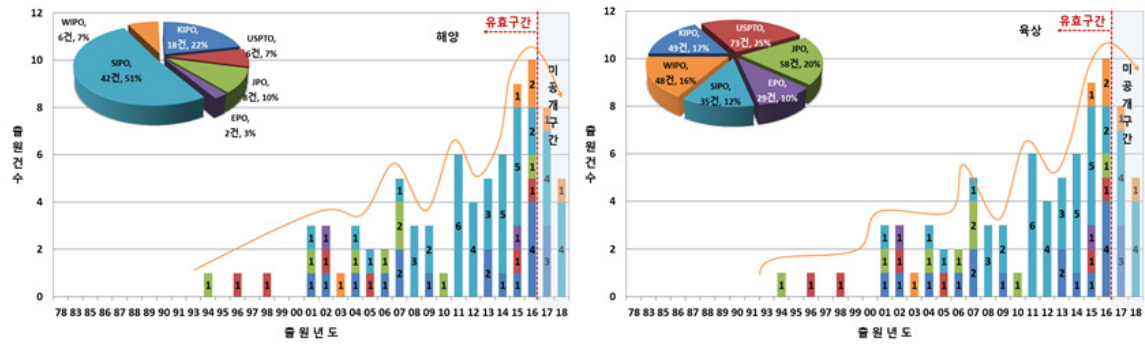


- 해양(A) 기술의 소분류별 특허출원 동향을 살펴보면, 방제(AE) 33건(40%), 진단방법(AB) 28건(34%), 종관별(AA) 16건(20%), 배양(AC) 6건(6%) 순으로 출원하였음
- 육상(B) 기술의 소분류별 특허출원 동향을 살펴보면, 방제(BE) 221건(76%), 배양(BC) 27건(9%), 진단방법(BB) 24건(8%), 종관별(BA) 20건(7%) 순으로 출원하였음

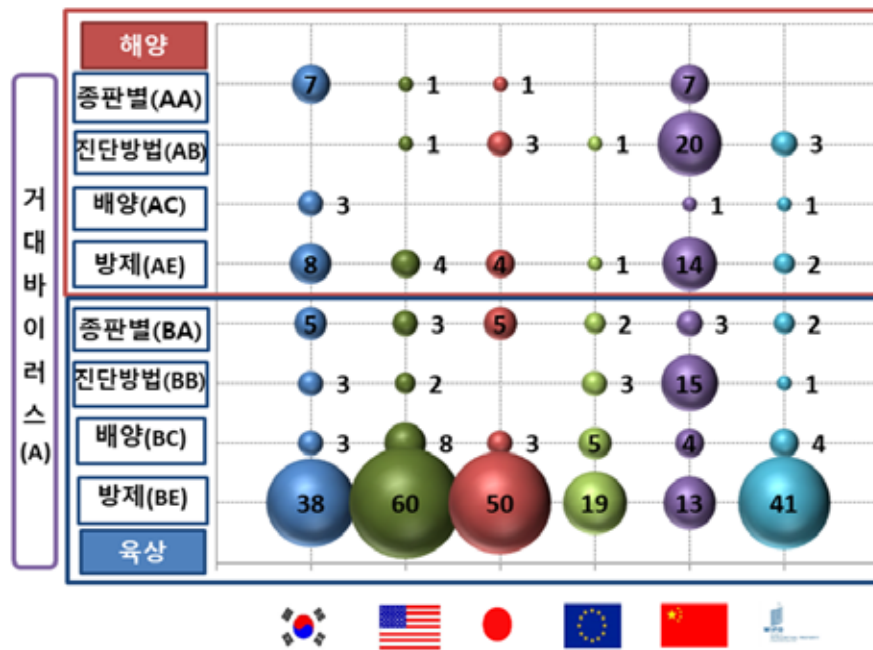


- 해양(A) 기술의 국가별 특허출원 동향을 살펴보면, 해양 기술 전체 82건 중 중국출원이 42건으로 전체 중 51%로 가장 많았고, 이어서 한국(18건, 22%), 일본(8건, 10%), 미국(6건, 7%), 국제(6건, 7%), 유럽(2건, 3%) 순으로 특허를 보유하고 있음
- 육상(B) 기술의 국가별 특허출원 동향을 살펴보면, 전체 292건 중 미국출원이 73건으로 전체 중 25%로 가장 많았고, 이어서 일본(58건, 20%), 한국(49건, 17%), 국제(48건, 16%), 중국(35건, 12%), 유럽(29건, 10%) 순으로 특허를 보유하고 있음

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

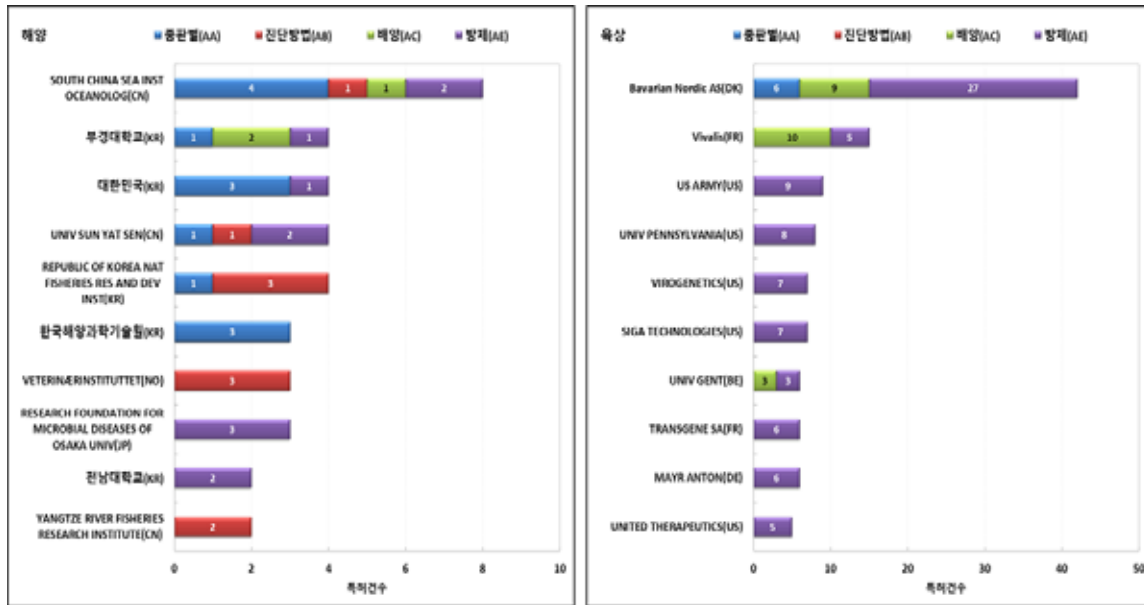


- 시장별로 기술 분류에 따른 상대적인 비중을 살펴보면, 전체적으로 한국, 미국, 일본, 및 유럽 특허 공통적으로 육상 방제 기술에 대한 특허가 가장 많아, 전 세계적으로 이 기술에 대한 연구개발이 가장 활발한 것을 확인할 수 있음



- 해양 거대바이러스 분야에서 가장 많은 특허를 보유한 출원인은 South China Sea Inst. Oceanolog. (CN)가 8건의 특허를 보유하여 주요 경쟁자 TOP1으로 나타났음.
- 즉, 해양 거대바이러스 분야에서는 시장을 주도하는 리딩(Leading) 기업은 없는 것으로 분석되며, 최상위 다출원인의 특허건수도 10건 미만에 불과하여 그 순위가 큰 의미를 가지지 않음
- 육상 거대바이러스 분야에서 가장 많은 특허를 보유한 출원인은, 다출원 1위인 Bavarian Nordic AS(DK)를 비롯하여 상위 TOP10의 다출원인이 거의 방제 기술을 역점으로 하고 있는 것으로 나타남.

- 즉, Bavarian Nordic AS(DK)가 보유하고 있는 42건의 특허 중 방제 기술이 27건, 종판별 6건, 배양 9건에 대한 것임



- 전체적으로 해양 거대바이러스 종판별 기술은 중국, 한국을 중심으로 연구 개발되는 것으로 나타나, 전체 건수가 많은 것은 아님.
- 해양 거대바이러스 진단기법 기술은 해외 기업을 중심으로 더 활발히 연구 개발되는 것으로 나타나고 있으며, 진단 기법에 대한 다수의 특허를 확보하는 것이 바람직함.
- 거대바이러스 종판별 기술은 다국적으로 연구 개발되는 것으로 보이나, 거대바이러스 중 폭스 바이러스 외에는 특정 리딩 기업은 존재하지 않아 기술선점을 위해 기술개발에 주력할 필요가 있는 것으로 판단됨.
- 육상 거대바이러스 진단기법 기술은 해외 산학 또는 연구기관을 중심으로 연구 개발되는 것으로 나타나고 있는 것으로 보아, 이 기술분야의 시장은 활성화되고 있는 것으로 보임.
- 육상 거대바이러스 배양 기술은 전체 특허 건수가 많지 않고, 특히, 국내 특허는 존재하지 않는 상태이므로, 이 분야의 기술 확보를 통해 외국기업에 대한 기술경쟁력을 극대화할 필요가 있는 것으로 판단됨.

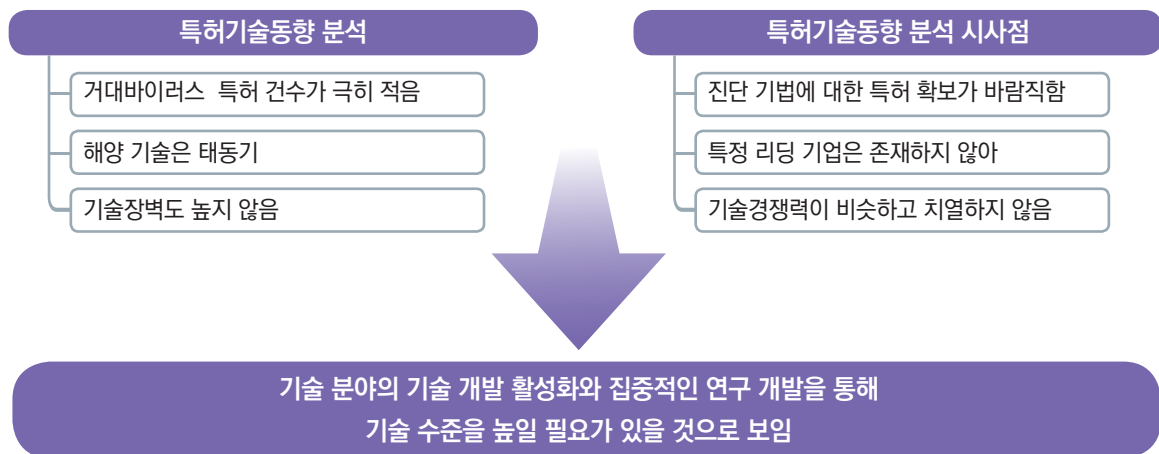
기술 구분		국내 기술 경쟁력		해외 특허 장벽	
해양 거대 바이러스	종판별 (AA)		6.5		6.6
	진단방법 (AB)		3.6		4.4
	배양 (AC)		3.4		6.7
	방제 (AE)		5.0		4.2

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

- 육상 거대바이러스 방제 기술에서는, 외국 기업을 중심으로 연구 활동이 주로 이루어지고 있어서, 이 분야의 기술 기술경쟁력을 강화할 필요가 있는 것으로 판단됨
- moon chart 분석 결과를 참조하면, 기술별로 국내와 외국의 기술수준은 상이하나, 대체로 보통 수준인 것으로 나타났고, 세부 기술별로 차이는 나지만, 해외의 기술수준이 국내보다 다소 높은 것으로 나타남
- 미국(USPTO) 등록 특허에 대하여 상위 10개 출원인 국적을 대상으로 지수분석을 통해 국가별 기술수준을 비교해보면, 해양(A) 기술 분야의 경우, 캐나다의 특허만 존재하며, 등록특허 수가 높지 않고, 인용도지수(CPP)는 우수하고, 영향력지수(PII), 기술력지수(TS), 시장확보지수(PFS)는 높지 않아 특허의 질적, 양적 수준은 낮은 것으로 나타남
- 육상(B) 기술 분야의 경우, 미국은 등록특허 수, CPP, PII, TS, PFS 모두 우수하고, 다른 국가보다 압도적임. 덴마크, 프랑스는 미국에 비해 등록건수가 많은 편은 아니지만, 인용도지수(CPP), 영향력지수(PII), 기술력지수(TS) 및 시장확보지수(PFS)가 우수한 편임
- 전체적으로, 해당 기술 분야에서 한국 국적을 포함하는 다른 국적의 미국등록 특허는 미비하여, 연구 개발 및 경쟁력이 미약한 분야인 것으로 보임

4. 시사점

- 해양생태계에서 거대바이러스의 중심 역할 및 확산 연구의 타당성 검토 및 해양생태계 미치는 거대바이러스의 영향에 관한 기술은, 해양 거대바이러스 관련 기술에 대한 전체 시장에서의 특허 출원 현황을 살펴볼 때, 국내의 기술 경쟁력이 저조한 편은 아님.
- 그러나, 실질적으로 미국등록특허를 대상으로 하는 기술수준 분석을 통한 결과를 살펴볼 때, 국내의 기술의 해외 시장으로의 진출력과 기술영향력이 낮은 것으로 나타나, 국내 특허의 양적, 질적 수준은 낮은 것으로 평가됨.
- 따라서, 해양 및 육상 거대바이러스의 영향에 관한 해당 기술 분야의 기술 개발 활성화와 집중적인 연구 개발을 통해 기술 수준을 높일 필요가 있을 것으로 보임



제 3 절

국내·외 정책동향 분석

1. 해양생태계 안전성 확보를 위한 해양바이러스 연구

- 해양환경은 복잡성과 광역성, 종합성, 유동성, 다양성 등의 특징과 연관되어 있으며, 해양병원성 바이러스 연구는 월경성, 시간적 비구속성, 누적성 등에 의해 해양생태계 안전성 확보에 영향을 미침
- 해양에는 약 1×10^{30} 개, 바닷물 1 mL에는 1000만 개체 수에 이르는 바이러스가 존재하는 것으로 알려져 있지만, 현재까지 이에 대한 연구는 매우 제한적임.
- 해양바이러스는 해양 미생물과 해조류의 발생을 조절하고, 미생물 먹이망, 영양소 순환, 이산화탄소 순환, 그리고 미생물 다양성에 있어서 중요한 역할을 담당하며 해양 생물간 유전자 전달 매개체로서도 중요한 역할을 함
- 해양바이러스는 동시에 한 지역에서 다른 지역으로 급속히 퍼질 수 있으며, 수인성 전염병을 일으킬 수 있고, 해양생물의 서식지를 파괴할 수도 있음
- 해양바이러스는 기후변화, 환경 및 생활의 변화, 국제화 등으로 인한 내외부적 원인에 의해 국내 해역으로 유입가능성이 큼
- 우리나라는 에너지 뿐만 아니라 경제생산의 대부분이 해외 해운을 통해 이루어지고 있다는 점에서, 해양병원체의 유입이 국제성과 광역성, 비규칙성 등을 통해 형성될 가능성이 있음
- 또한, 전세계 기후변화는 한반도 식생과 주변해역의 생물자원 성장에 직접적인 영향을 준다는 점에서 새로운 병원체의 발생과 유입은 보다 확대될 것으로 평가됨
- 이는 한반도 주변수역의 해양바이러스 현황, 새롭게 출몰하는 바이러스와 감염성 해양바이러스에 대한 사전예방, 검출, 차단, 치료 등의 효과적 제어시스템 구축이 단기적으로는 해양자원의 보전과 병원성 감염 예방, 장기적으로는 국민의 안전과 건강한 삶의 유지를 위해 필수적 대항요소로 추진되어야 하는 시급성이 제기되고 있음
- 병원체의 위협성이 생물화학 무기 등 국가적 테러 사태 대응을 위한 안보적 측면에서 제기될 수 있으며, 이는 해양병원체에 대한 연구와 예방이 경제법적, 환경적, 인권적, 생물무기 사용에 관한 생물테러, 재난적 측면에서의 접근 등 다양한 영역으로 확대될 수 있다는 점에서 국가 차원의 현황 정보 구축과 선제적 대응, 해양 영향 요소별 연구를 추진할 필요가 있음

2. 해양생물자원의 보전과 산업적 활용력의 근간

- 해양바이러스는 유해성과 함께 생물자원 확보 측면에서 중요한 가치를 가지며, 활용 및 보전 자원으로 하여 향후 높은 부가가치를 갖는 유용자원화 가능성이 있음

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

- 병원체는 질병을 야기할 수 있다는 측면에서는 위험성을 동반하고 있으나, 자원으로서의 높은 잠재적 가치를 함께 보유하고 있어 극단적 양면성을 가짐
- 최근 신종플루, 조류인플루엔자, 사스, 돼지열병 등 각종 신종, 변종 감염병의 발생과 국제화에 따른 확산 속도의 제고로 감염병에 대한 국제사회의 긴장 역시 높아지고 있음
- 해양바이러스, 특히 거대바이러스 관련 연구는 이들 감염에 신속하게 대응하고 예방, 치료할 수 있는 출발점이라는 점에서 중요하며, 이는 유해성과 활용성을 동시에 확보하고 있다는 의미이기도 함
- 국제사회 역시 병원체 등에 대한 양면성을 반영하여, 생물무기금지협약, 생물다양성협약에 따른 카르타헤나 의정서, 나고야 의정서 등의 국제규약을 제정, 예방과 대응적 측면을 고려하고 있음
- 특히, 우리나라는 자원빈국으로서 현재의 해양생물 및 병원체, 외래유입 병원체, 기후변화에 따른 새로운 병원체 등에 대한 체계적 정보구축과 자원 확보, 관리정책을 통해 해양자원의 보전과 질병 예방, 활용가치로서의 자원화 가능성에 매진할 필요가 있음
- 국가적으로는 육상중심의 바이러스 외에, 해양바이러스의 이용 및 활용가치에 대비, 해양바이러스 자원의 다양성을 확보하고, 신변종과 고위험, 및 난배양 바이러스 등의 자원 현황을 파악함과 동시에, 고품질의 해양바이러스 또는 거대바이러스 자원화를 위한 진단과 예찰시스템을 지역적, 세계적 범위로 확대 추진할 필요가 있음
- 경제적 측면에서 해양바이러스의 가치는 보건의료산업에서 구체화 될 것으로 보여지며, 진단과 예방, 치료제 개발을 위한 해양바이러스 선점은 현재의 해양자원의 보전 작업과 함께 추구해야 할 중요 사안임
- 현존하는 의약품 상당수는 천연물질, 생약제재, 미생물을 포함하는 유전자원으로부터 유래한다고 보여짐. 즉, 나고야 의정서 발효 이후 보건산업은 향후 현재보다 높은 추가비용 부담이 예상되며, 우리나라는 해외 생물자원에 대한 높은 의존도에도 불구하고 이에 대한 대응방향은 저조한 실정임
- 해양바이러스와 직결되는 백신산업의 경우, 전체 의약품 시장 점유율 1% 내외로 미미한 수준이나, 국내시장이 2000년 이후 매년 12% 이상의 성장세를 보이고 있음
- 결국, 한반도를 중심으로 해양병원체의 진단 및 예찰 시스템은 현재의 위협요소와 자원가치요소, 기후변화에 따른 잠재적 위협요소와 자원가치요소, 미래 영향요소와 자원개발 요소를 사전에 대응/준비함으로써 유해성과 유용성을 함께 고려한 접근 정책을 수립할 시급성이 있음

3. 해양바이러스에 관한 국제 규범

- 국제사회는 질병의 확산원인이 되는 환경의 변화를 ‘생활용수의 오염’과 같은 지역적 변화에서부터 지구대기의 오염과 같은 전지구적 변화까지 다양하게 일어난다는 것을 고려하면, 해양질병은 선박평형수, 기후변화, 해양오염 등의 다양한 요소에서 기인하는 것으로 판단됨
- 국제사회는 1980년대 이후 과거 고전적 국제보건상의 공중보건 문제만을 다루던 데서 벗어나, 공중보건에 직접적 영향을 주는 다양한 환경문제에 관한 국제규범을 형성하고 있음
- 이러한 조약에는 국경을 넘는 환경오염으로 인한 전염성 질병의 위협 이외에도 폐기물, 공해, 핵물질 등으로 인한 환경오염과 그 독소에 의한 비전염성 질병도 규정하고 있음

- 특히, 환경관련 국제협약은 20세기 중반을 들어서면서 폭발적 증가를 보이는데, 이중 구속력이 있는 다자간 환경협약은 200개가 넘는 것으로 판단됨
- 담수오염과 달리 해양오염을 규제하는 다수의 조약은 채택되어 발효된 상태임. 다만, 해양오염 중 특히 전염병 위협에 가장 큰 원인이 되는 육상기인오염은 육지가 국가의 주권적 성격이 강한 영역이라는 점에서 국제법 규제측면에서 제한 요소가 큼.
- 기후변화 문제는 전염병의 재등장과 신종 전염병 출현에 직접적인 영향을 주는 바, 특히 수면온도의 상승과 수위의 하락은 콜레라와 같은 수인성 전염병 발생 확률을 높이고 있음
- 국제사회는 기후변화 문제가 야기하는 영향에 주목, 기후변화에 관한 정부간 패널을 중심으로 기후변화와 오존층 파괴가 야기하는 전염병 통제가 인류의 큰 과제로 대두될 것임을 직시, 관련 시책마련에 주력하고 있음
- 결국, 국제사회에서 병원체에 대한 접근은 위해적 요소, 그리고 최근 나고야 의정서 등을 통해 포괄 규정된 자원적 측면에서 접근되고 있으며, 그 실천적 내용은 각국의 국내법과 정책을 통해 실현되도록 하고 있음
- 이는, 국제사회가 “질병”에 대한 대응요소로서 ‘병원체’를 연구하는 문제와 “자원”적 부가가치 개념으로서의 ‘병원체’를 접근하는 것은 국내적 측면에서의 문제와 동일하게 해석되고 있음을 의미함

4. 해양바이러스 관련 국내법과 정책

- 현행 국내법에서 해양바이러스는 다양한 해양생물을 감염시키는 병원체로 인식되고 있으나, 감염성 해양바이러스 및 거대바이러스에 관련 규정은 전혀 없으며, CBD 및 ABS에 관한 나고야 의정서의 국내법적 이행 법령을 통해 ‘병원체’의 범위를 규범적으로 포함하고 있다고 평가됨
- 다수의 법령에서 ‘병원체’에 대한 직접적 언급은 있으나, 이에 대한 일반화된 정의 규정은 보이지 않으며, 다만 《감염병의 예방 및 관리에 관한 법률》이 ‘고위험병원체’에 특정한 정의 규정을 두고 있는데 제한적임
- 《수산생물질병관리법》은 해양생물질병의 정의를 “병원체 감염이나 그 밖의 원인에 의하여 수산생물에 이상이 초래된 상태”로 정의하고, 있으나, 이 역시 ‘병원체’에 대한 정의와 별도의 접근 방식을 취하고 있지는 않음
- 《생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률》은 “생물다양성의 종합적·체계적인 보전과 생물자원의 지속가능한 이용을 도모하고, 생물다양성협약의 이행에 관한 사항을 정함으로써 국민생활을 향상시키고 국제협력을 증진함”을 목적으로 함.
- 《해양생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률》은 제1조를 통해 “해양생명자원을 종합적이고 체계적으로 확보·관리 및 이용하기 위하여 필요한 사항을 규정함으로써 해양생명자원의 효율적이고 지속가능한 이용을 도모하고 해양생명자원에 대한 주권을 강화하며 해양생명공학의 경쟁력을 확보하여 국민경제의 발전에 기여함”을 목적으로 한다고 규정하고 있음.
- 《감염병의 예방 및 관리에 관한 법률》은 ‘고위험병원체’란 ‘생물테러의 목적으로 이용되거나 사고 등에 의하여 외부에 유출될 경우 국민 건강에 심각한 위험을 초래할 수 있는 감염병병원체로서 보건복지부령으로 정하는 것을 말한다’로 규정하고, 동법 시행규칙은 고위험병원체로 2개 분야(세

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

균 및 진균, 바이러스 및 프리온) 35개를 규정하고 있음.

- 《선박평형수관리법》은 ‘선박평형수(船舶平衡水)’란 ‘선박의 중심을 잡기 위하여 선박에 실려 있는 물(그 물에 녹아 있는 물질 또는 그 물속에 서식하는 수중생물체·병원균을 포함한다)을 말한다.’고 정의하고 있으나, 그 목적이 “선박평형수 및 그 침전물을 효과적으로 처리·교환·주입·배출하도록 관리함으로써 유해수중생물의 국내 유입을 통제하고 해양생태계의 보존에 이바지하는 것”에 있으며, 그 목적이 전반적인 병원체 관리가 아닌 ‘선박평형수’의 유관리에 있다는 점에서 직접적 연계성 보다는 전체 해양병원체의 외래적 유입 관리 측면에서 접근할 필요가 있음
- 《수산생물질병관리법》은 “수산생물질병이 발생하거나 퍼지는 것을 막기 위한 종합적인 관리체계를 마련함으로써 수산생물의 안정적인 생산·공급과 수생태계 보호 및 국민건강의 향상에 이바지하는 것을 목적”으로 제정하였으며, 이 법에 의하면 ‘수산생물질병’이란 ‘병원체 감염이나 그 밖의 원인에 의하여 수산생물에 이상이 초래된 상태’로 정의하고 있을 뿐, “병원체”에 대한 근원적 대응의 근거법으로 작용하고 있지는 않음
- 상기 법은 수산생물의 범위를 수산동물과 수산식물로 구분하고, 수산생물전염병 역시 수산동물전염병과 수산식물전염병을 구분하고 있는 바, 병원체와 일정한 관련성을 가지고 있는 것은 이중 ‘수산동물전염병’에 해당된다고 보여지나, 이 역시 직접적 관련성 보다는 병원체를 매개로 하여 “이상이 초래된 상태”로 제한됨
- 《수산생물질병관리법》은 해양바이러스에 관한 가장 밀접하게 관련된 법률이나, 이 역시 질병의 원인 요소로서의 ‘해양바이러스’ 접근이자 질병 감염 유무 검사를 위한 원인적 인자 요소로서의 해양바이러스를 언급하고 있을 뿐, 해양바이러스 자체에 대한 독자적 영역을 제시하고 있지는 않음

5. 해양바이러스 관련 국외 정책

- 해양병원체 국제기구 정책동향
 - 세계동물보건기구(OIE, Office international des épizooties, World Organization for Animal Health)에서 수생동물(Aquatic Animal) 분과를 마련, 수생생물의 국제적인 이동(수출입)에 있어서 확산 우려가 있는 대표적인 감염성 질병을 지정, 반드시 검역을 실시하도록 규정하고 있음
 - 유엔 환경계획 세계 자연보존 모니터링 센터(UNEP/WCMC, United Nations Environment Programme/World Conservation Monitoring Centre)에서는 기후변화와 관련하여 해양생물 질병의 증가 및 생태계에 미치는 영향을 모니터링하고 있으며, 일반인들에게도 중요성을 홍보하고 있음
 - 해양 어류의 emerging parasites, introduced parasites는 자국의 해양 생태계에 영향을 끼칠 수 있어 구미 각국에서는 상시 모니터링 시스템을 갖추고 있으며, DB를 공유하고 있음
 - OECD Global Forum('12)에서 논의된 Emerging pathogens in the environment 주제는 새로운 식물, 동물, 토착 및 외래 병원체 사이의 교잡을 포함하여 농업, 삼림, 해양생태계 내 병원균 및 질병-환경 변화 간의 연결 등에 초점을 맞추어 논의되었음. 새로운 병원체의 출현과 감염성질환의 확산은 예방치료를 위한 기술개발 뿐만 아니라, 생활 패턴 변화, 국가 간 무역 규제 조치 및 대책, 그리고 세계 경제위기에 까지 이르는 일련의 상호작용임이 역설된 바 있음

	어류	패류	갑각류
1	유행성조혈기괴사증	전복허피스바이러스감염증	가재전염병
2	유행성궤양증후군	보나미아감염증 (2종)	전염성피하및조혈기괴사증
3	자이로닥틸루스증	마르테일리아레프린젠스감염증	감염성근육괴사증
4	전염성조혈기괴사증	퍼킨수스감염증 (2종)	타우라증후군
5	전염성연어빈혈증	제노할리오티스캘리포니엔시스감염증	흰반점병
6	잉어허피스바이러스병	마이크로사이토스악키니감염증	흰꼬리병
7	참돔이리도바이러스병	오스트라이드허피스바이러스1감염증	노랑머리병
8	잉어봄바이러스병		구상바쿨로바이러스증
9	바이러스성출혈성패혈증		사면바쿨로바이러스증
10	바이러스성신경괴사증		괴사성간체장증
11	산천어바이러스병		

EHN: Epizootic haematopoietic necrosis, EUS: Epizootic ulcerative syndrome, IHN: Infectious haematopoietic necrosis, ISA: Infectious salmon anaemia, KHV: Koi herpesvirus disease, RSIV: Red sea bream iridoviral disease, SVC: Spring viraemia of carp, VHS: Viral hemorrhagic septicaemia, VER: Viral encephalopathy and retinopathy virus disease

■ WTO 체제 하의 수산동물 질병관리

- 수산동물 질병 문제는 비단 우리나라뿐만 아니라 세계 여러 연안 양식국에서도 주요한 관심사가 되고 있음
- 해양생물의 집단폐사는 양식 어민의 경제적 손실뿐만 아니라, 해양 생태계를 심각하게 왜곡시킬 우려가 있기 때문에, 세계 각국은 자국 수산 자원의 보호를 위하여 질병 모니터링을 지속적으로 실시하고, 악성 전염병의 자국내 유입 차단을 위해 많은 노력을 기울이는 등 국가 자원 보호 측면에서 수산동물의 질병 관리에 힘쓰고 있음.
- 이와 같이 전세계적으로 어류건강감시(fish health inspection)의 중요성이 크게 부각되면서 미국, 영국, 캐나다, 독일, 일본, 태국, 호주, 인도네시아 등 다양한 국가에서 수산동물의 질병관리를 위한 독립적인 법령을 제정하여 수산동물의 질병을 국가적인 차원에서 관리·감독하고 있음
- 또한 수산물 교역의 증가로 인한 수출·입 수산물의 효율적인 질병관리를 위해 관련 분야의 전문가들이 국제어류검역관협회(The International Association of Fish Inspectors; IAFI)를 설립, 국가 간 질병 관리의 네트워크를 형성하고 있음.

■ 미국/캐나다 해양병원체 정책동향

- 미국은 해양연구의 중주국이자 세계 리더로 일컬어지며, 해양생명공학의 모든 분야에 대한 세계 1위를 목표로 정책을 수립하여 추진하고 있음
- 해양연구분야 최강국이자 세계 리더로 일컬어지며, 해양환경, 질병, 해양생명공학의 모든 분야에

제 2 장 연구개발 동향 및 환경분석

- 대한 세계 1위를 목표로 적극적이고 공격적인 정책을 수립하여 추진하고 있음
- 환경 유전체 자원 확보를 위해 해양미생물 환경유전체 분석프로젝트 추진하고 있음
- 미국은 지구온난화에 의한 극지방의 해양환경 변화 모니터링을 위해 병원체의 분포 및 다양성 연구함(Hoberg and Kutz, 2013)
- NOAA에서 National Aquatic Animal Health Plan을 제정, 해양생물의 질병에 대해 조사, 모니터링 실시함
- NOAA에서 주관하는 지역의 Sea Grant 프로그램을 통해 해양병원체 정보제공. 미국 플로리다주 씨그랜트(Sea Grant Program) 프로그램 : 일반인을 대상으로 해양병원체에 관한 정보 제공

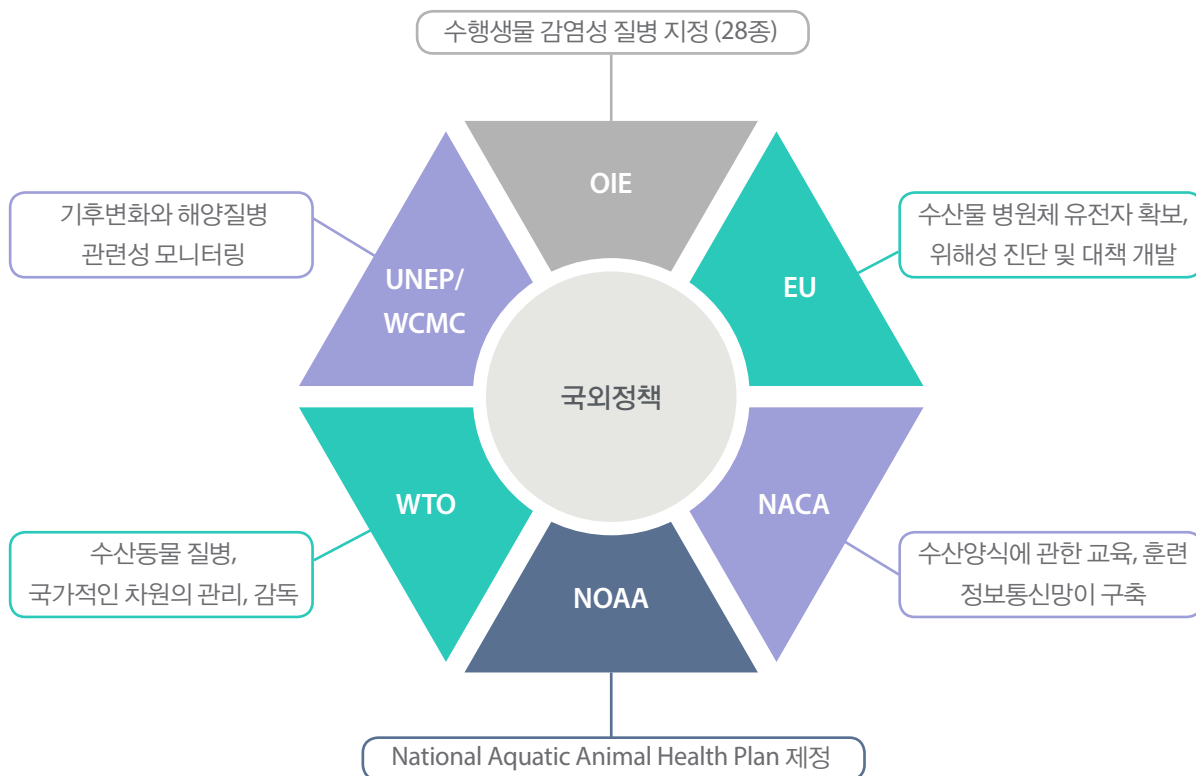
■ EU 해양병원체 정책동향

- 유럽연합(EU)은 회원국 간의 협력을 바탕으로 한 공동협력 프로그램이 잘 구성되어 있으며, 환경을 최우선의 관심사로 여겨, 해양생태계 보호를 위한 관리, 보호, 복원, 평가기술 개발 등 다양한 기술개발을 추진하는 한편 네트워크 형성 활성화 전략 실행
- 유럽연합은 해양생명공학의 선두국인 미국과 일본을 추격하는 것을 목표로 정책을 추진, 해양 분야의 대표적인 프로그램인 ‘유럽해양유전체학’은 개발. 해양생물 신품종 개발, 질병제어 및 모니터링 부문에 16개 회원국의 44개 연구기관이 연합한 것으로 FP6에서 지원
- 유럽연합(EU)은 회원국 간의 협력을 바탕으로 한 공동협력 프로그램이 잘 구성되어 있으며, 환경을 최우선의 관심사로 여겨, 해양생태계 보호를 위한 관리, 보호, 복원, 평가기술 개발 등 다양한 기술개발을 추진하는 한편 네트워크 형성을 활성화하는 전략을 실행
- 전 유럽연합에 걸쳐 해양생태계의 기능과 해양생물학에 관한 연구를 수행하기 위해 해양생물학 우수연구집단으로부터 유전체학, 프로테오믹스, 생명공학인포매틱스 분야의 전문가 네트워크를 형성
- 프랑스는 해양연구소(FREMER) 주도로 심해생태계 조사 및 심해열수미생물의 분리를 위한 연구를 수행하며, 네덜란드는 산학연 협력기관 Netherlands Study Group Trend에서 OPSEME Project 추진
- 노르웨이는 어업자원과 해양자원의 침해에 대한 우려 때문에, 유럽연합에 가입하지 않은 유럽 국가로 풍부한 해양생물다양성으로 인해 잠재력 보유, 성공할 수 있는 기회를 가진 분야에 R&D를 집중
- 노르웨이는 풍부한 해양생물다양성으로 인해 잠재력을 가지고 있는 국가로 해양생명공학에서 세계 선두국가인 동시에 해양자원의 중요성을 인식하고 지원을 활발히 수행
- 노르웨이는 어업자원과 해양자원의 침해에 대한 우려 때문에, 유럽연합에 가입하지 않은 유럽 국가로, 국제적으로 성공할 수 있는 기회를 가진 분야에 R&D를 집중. 양식 및 수산분야뿐 아니라 그와 필연적으로 연결된 해양질병분야를 적극적으로 추진
- EU Parasite Project: 수산물의 안전을 확보하기 위한 해양병원체 연구. EU 회원국 21 개국과 아시아의 수산물 수출국 3개국 (중국, 베트남, 필리핀)이 협의회를 만들어 수산물내 병원체의 유전자 확보, 위해성 진단 및 대책 개발 등을 수행하고 있음. 현재 스페인 해양연구소 (IIM)이 주관연구기관으로 지정되어 연구를 주도하고 있음.

- EU 이매패 질병에 관한 국가지정연구실 (European Union Reference Laboratory)이 지정되어 유럽 국가 내 질병 분포, 진단기술 개발 및 대책 수립에 관한 체계적 연구가 수행되고 있음
- EU에서는 DAISIE project (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe, <http://www.europe-aliens.org/>)에서 유럽의 생태계 (육상, 담수, 해수 생태계 모두 포함)에 영향을 끼칠 수 있는 외래 생물종 (alien species) 및 병원체 (pathogen)에 대한 정보를 공유, 수시로 업데이트 하고 있음

■ 아시아 해양병원체 정책동향

- 아시아 지역의 경우 NACA(아시아-태평양 수산양식 센터망)가 1979년 결성되어 동남아시아 국가를 중심으로 수산양식에 관한 교육, 훈련, 정보통신망이 구축되어 있으며, 이러한 정보를 바탕으로 정책 지침을 제안하고 있음.
- 중국은 해양생명공학정책의 최우선 목표로 세계에서 가장 많은 인구에게 안정적인 먹거리를 제공하고, 중대한 질병과 전염병 예방을 위한 생물의약을 확보하기 위한 기술에 주로 집중됨
- 중국은 한국과 해양의 일부를 공유하고 있으며, 해양생명공학에 대한 관심이 높음
- 많은 인구의 안정된 식량자원 확보에 중점을 두고 있어 주로 수산식량자원을 확보하기 위한 기술에 집중함
- 해양생명공학정책의 최우선 목표는 세계에서 가장 많은 인구에게 안정적인 먹거리를 제공하고, 중대한 질병과 전염병 예방을 위한 생물의약 발전과 공공위생안전 확보에 있음



6. 국내법적 한계와 연구범위 설정의 고려사항

- 정책적 연구방향 전환
 - 현재 국내법 및 제도 분석 결과 다음의 한계를 갖는바, 법제도적 한계를 고려, 정책연구 방향 및 본 사업 추진의 연차별, 단계별 추진계획을 수립할 필요가 있음 :
 - 해양바이러스 병원체에 대한 정의 규정은 부재함
 - 연구 및 정책적 방향 역시 해양바이러스 병원체의 위해성을 중심으로 형성되고 있음
 - 일부 유해질병의 인자로 간주되고 있는 해양바이러스에 대한 인식은 수용되어 있으나, 관리와 활용적 측면에 대한 인식은 부재함
 - ABS에 대한 나고야 의정서 발효 및 국내법적 수용으로 '자원'가치로서의 해양바이러스에 대한 법제도적 관리규범은 형성되어 있지 않음
 - 해양바이러스에 대한 국가적 관리체계가 주로 해양의 복잡성과 광역성 등의 특성을 고려하는 데는 한계를 보이고 있음

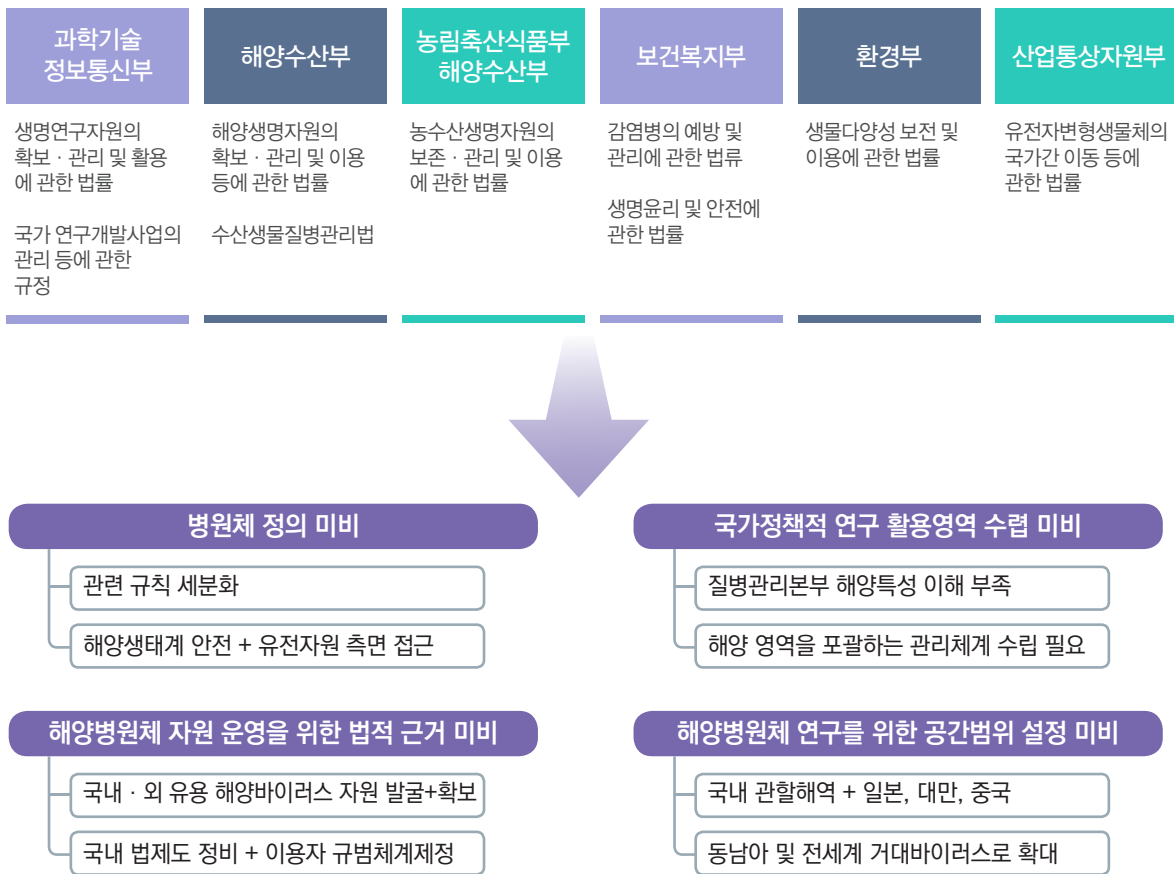
- 연구범위 및 지역적 범위
 - 해양의 특성을 고려하건대, 해양에서의 질병을 유발하는 해양바이러스의 유입은 기후변화에 따른 식생대 변화, 선박평형수에 의한 외래종 유입, 해양쓰레기에 의한 발생 등 비교적 구분화된 접근은 가능하다고 판단됨
 - 다만, 기후변화와 인간활동(선박평형수 문제 등 물류이동 등 포함) 등의 요소와 해양의 특징을 고려하건대, 해양바이러스 관련 정보의 구축과 유해질병 유발인자에 대한 대응적 측면의 관리, 자원가치로서의 관리와 이용, 개발을 위한 접근은 한반도 주변수역에 국한될 수는 없다고 판단됨
 - 온난화와 더불어 발생하는 해수면상승, 수온, 염분, 영양염류와 용존산소, 해양산성화 등은 직접적으로 한반도 해양생태계에 영향을 주는 바, 이와 연계된 해양바이러스의 유해요소로서의 접근, 이용자원으로서의 접근을 동시에 꾀할 필요가 있으며, 그 지역적(공간적) 범위 역시 한반도 주변수역의 전단계 기후대와 식생대를 가지고 있는 지역을 포함하여 접근할 필요가 있음
 - 따라서 단계적으로는 한반도 주변 해양바이러스의 정보구축과 연구를 중심으로 하되, 동일 혹은 전단계 기후대를 가진 일본과 대만, 중국 등의 지역적 연구로 확대하고, 단계적으로는 세계 해양바이러스에 대한 정보은행을 구축, 연구결과의 예방적, 활용적 가치 전략을 추진할 필요가 있음

- 해양바이러스 관리와 활용을 위한 법제도 개선 방향
 - 병원체에 대한 유일한 규정을 하고 있는 《감염법의 예방 및 관리에 관한 법률》은 병원체를 일반병원체와 고위험병원체로 분류하지 않고 일괄 처리하고 있는 바, 법제도적 한계로 사료됨
 - 법개정을 통해 일반병원체와 고위험병원체로 구분하여 접근하고, 각 병원체에 대한 접근과 이용에 관한 운영규정, 관련 규칙을 세분화하여 접근할 필요 있음
 - 이 경우 병원체에 대한 개념적, 정책적 추진은 자원으로서의 가치적 측면과 해양생태계 안전이라는 측면에서 접근될 필요가 있음
 - 현재 국가적 측면에서 국가병원체자원은행으로 기능을 수행하고 있는 질병관리본부는 해양의 특

제 3 절 국내·외 정책동향 분석

성을 고려한 체계적 접근과 과학적 이해가 충분하지 못하다는 점을 고려, 해양 영역을 포괄하는 운영 및 관리체계 수립이 필요

- 국가적으로 거대바이러스 자원과 관련하여 ABS 대처 방향은 (1) 국내 유용 거대바이러스 자원의 발굴 및 확보, (2) 국내 법제도 정비 및 이용자 규범체계제정, (3) 해외 유용 거대바이러스 자원의 발굴 및 확보, (4) 이용 및 개발을 위한 연구개발 등으로 구체화할 필요가 있음
- 거대바이러스는 (1) 국내 관할해역, (2) 기후변화에 따라 우리나라에 발생가능한 병원체 사전 분석 지역(일본, 대만, 중국), (3) 잠재적 영향가능 병원체 사전 분석지역(동남아), (4) 전세계 거대바이러스로 확대하여 연구 추진



해양생태계에서
거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구



제 3 장

연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 비전

제 2 절 연구개발 목표

제 3 절 추진전략

제 4 절 중점 연구개발 과제 도출

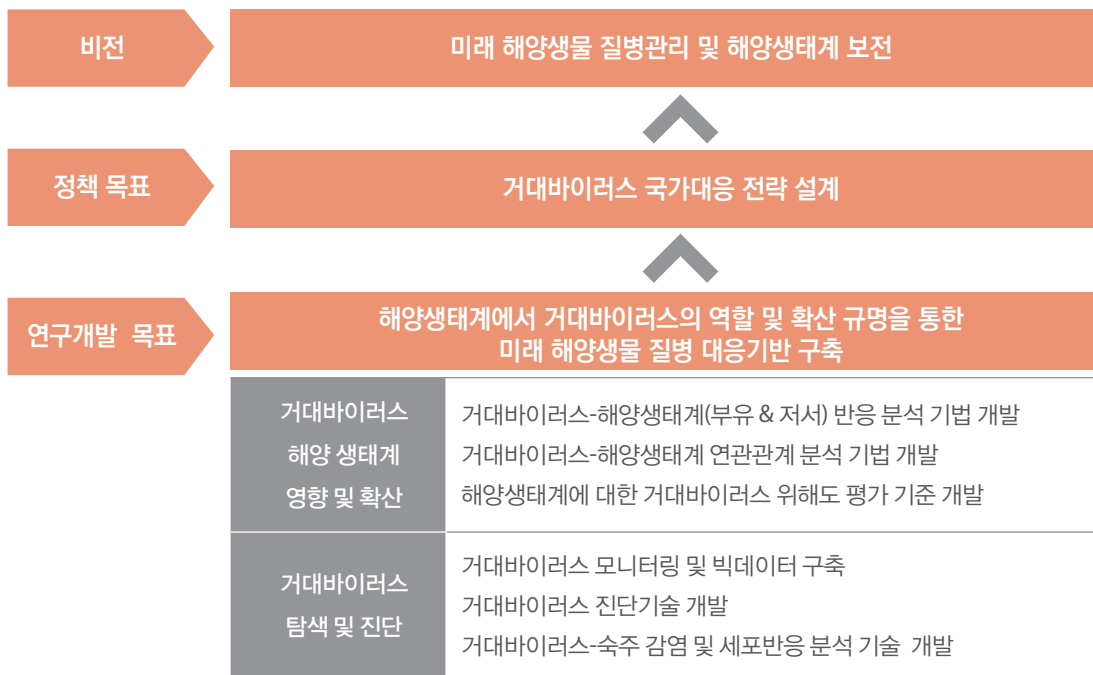


제 1 절

연구개발 비전

1. 연구개발 비전

- 거대바이러스 연구를 체계적으로 수행함으로써 미래 국가해양생물의 질병관리 및 해양생태계 보존을 위한 과학적 근거 확보를 본 연구과제의 연구개발 비전으로 제시하고자 함
- 세계 각국의 해양 환경은 지구 온난화와 함께 해류 이동 및 선박에 의한 해수의 이동 등으로 새로운 해양바이러스에 의한 질병 발생률이 증가하고 있어 해양생태계내의 거대바이러스 동태 파악 및 거대바이러스로 기인하여 발생할 수 질병을 예찰할 수 있는 기술적 기반을 구축하고자 함.
- 해양 환경변화에 기인하여 발생하는 거대바이러스의 이동 경로를 파악하기 위해 국내 해양 영토 내 해역별 거대바이러스 및 이들의 숙주인 해양생물자원에 대한 동적 모니터링 기반 기술을 구축하고자 함
- 육상(강우량 증가)과 외해(중국 장강)로 부터 저염분수 확산, 해양오염의 가중화 및 난류 유입에 따른 외래생물 유입으로 해양 거대바이러스의 국내 침투가 가능하게 됨에 따라, 유입 가능한 이머징 거대바이러스의 정밀 진단 기술을 확립하고자 함
- 이머징 거대바이러스의 국내 침투는 국내 해양생태계의 4대 기능(다양성, 유기성, 회복성, 생산성)을 크게 약화시킬 수 있기 때문에, 거대바이러스에 의한 생태계 영향평가 기술을 확립하고자 함



2. 비전 도출에 의한 연구개발 성과 활용

- 해양 거대바이러스 관리에 앞장서는 핵심인프라 구축
 - 전 세계 오대양에서 해양생태계에 피해를 주는 글로벌 해양 유래 거대바이러스를 하나의 DB에 총정리하고, 종합적으로 관리하여 대한민국이 이머징 거대바이러스에 선제적으로 대응할 수 있는 전략을 세계 최초로 수립하고, 전 세계 해양정책을 리드하는 위치를 확보함.
- 이머징 거대바이러스 대응센터 운영
 - 미래 해양생물에 발생 가능한 거대바이러스 DB 업데이트, 정기/장기 모니터링을 수행하여, 거대바이러스 확보 및 공유, 해양생물 및 인간에게 질병을 일으키는 거대바이러스를 체계적으로 수집, 보존 및 연구 시료로 제공하는 센터를 건립하여 거대바이러스를 언제든 연구에 이용할 수 있도록 함.
- 거대바이러스 진단키트 상용화
 - 위험성이 큰 등급으로 선정된 거대바이러스를 현장에서 실시간으로 진단하며, 전 세계 어디서나 이용할 수 있는 진단키트를 개발하여 상용화함
- 거대바이러스 분포 맵 구축
 - 기후변화에 따른 전 세계 거대바이러스의 종류와 분포, 피해 예상규모를 매년 산정하여 예방과 방제가 가능한 정책을 펼 수 있도록 함



제 2 절 연구개발 목표

1. 연구개발 목표 및 중점연구과제 설정 과정

기술별 연구그룹 구성	연구그룹 구성 (세부기술별 전문가로 구성)
연구동향 분석 및 유망기술 도출	분야별 연구동향분석, 연구수준 분석, 유망기술 1차 도출
기술 동향 분석	특허동향조사사업 활용 기술 수요 분석
연구분야 및 목표 설정	분야별 중점연구과제 도출
핵심 / 세부기술 도출	전문가 자문회의
연구개발 내용 및 범위 설정	연구그룹
세부실행계획 수립	세부핵심기술별 RFP 및 소요예산 작성
연구기획 확정	기획보고서 제출

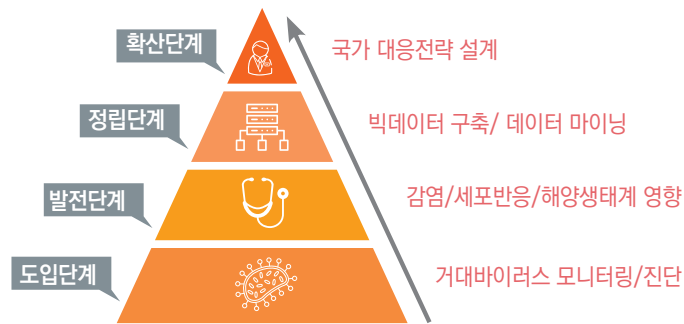
2. 연구개발 목표 설정

- 해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 연구는 거대바이러스의 모니터링, 프로파일링, 진단, 감염, 숙주 세포반응 분석, 생태계에서의 거대바이러스의 역할 및 확산 관련 연구를 통하여 빅데이터를 구축하고, 국가대응전략 설계를 위한 데이터마이닝 기술을 개발하고자 하는 연구임
- 본 과제는 미래 발생 가능한 해양생물 및 인간 질병의 예측 및 관리를 위한 정책목표와 연계하여 수행되어야 연구개발의 실효성이 담보될 수 있음
- 연구개발사업은 정책목표를 달성하는 데 필요한 연구 및 모니터링으로 구성되고, 그 결과물은 다시 정책의 이행에 따른 성과를 평가하여 정책을 수정 및 보완할 수 있는 선순환의 과정으로 진행될 때, 큰 상승효과를 발휘할 수 있음
- 따라서 거대바이러스 대응 및 관리에 대한 정책목표를 기반으로 연구개발 목표를 설정하는 것이 가장 바람직함
- 그러나 아직까지 거대바이러스의 중요성에 비해 국가적 정의가 준비되어 있지 않은 상황이므로, 기획사업 참여연구진 및 자문위원단의 토의를 거쳐 아래와 같이 2단계로 나누어 정책목표를 설정하였으며, 그에 따른 연구개발 목표를 수립하였음.

단계	정책목표	연구개발 목표
1단계 (’21-’23)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 해양생태계 및 국민 건강과 안전 확보를 위한 과학적 정보구축, 대응 필요 ▶ 새로운 환경 위해요소에 대한 정부 주도의 연구와 대응 필요 ▶ 광역성과 월경성 문제에 대한 국제적 연구 주도 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국내 및 외래 거대바이러스 탐색 및 진단기술 개발 ▶ 감염, 세포반응 및 해양생태계 영향 분석 기술 개발
2단계 (’24-’25)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기후변화와 한반도 생물자원의 위협성에 대한 사전 대응기반 구축 필요 ▶ 고도의 부가가치적 측면에서 거대바이러스에 대한 국제적 선도 연구 필요 ▶ 거대바이러스 정보화와 대응기반, 활용성 강화 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스-해양생태계 빅데이터 구축 및 데이터 마이닝 기술개발 ▶ 거대바이러스 국가대응 전략 설계

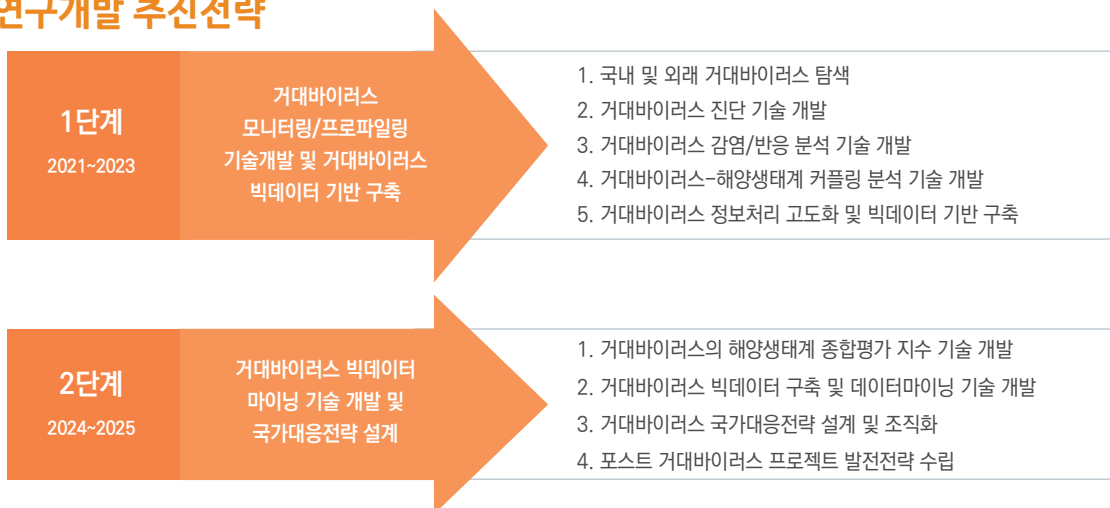
제 3 절 추진전략

1. 연구단계 설정



1단계	거대바이러스 빅데이터 구축 도입단계: 거대바이러스 모니터링 및 진단기술 개발 발전단계: 거대바이러스-숙주 감염/세포반응/생태계 영향 분석
2단계	국내해역 거대바이러스 미래 변화 대응 방안 수립 정립단계: 빅데이터 유래 데이터 마이닝 기술 개발 확산단계: 거대바이러스 국가대응전략 설계 및 구축

2. 연구개발 추진전략



■ 도입단계 추진과정

- 문헌 기반 거대바이러스 목록작성 및 위해도 평가를 통한 연구대상 거대바이러스 리스트 작성

제 3 장 연구개발 비전 및 추진 전략

- 국내해역 거대바이러스 샘플링 및 거대바이러스 탐색기술 표준화
- 거대바이러스 검출기법 검토 및 기술 개발
- 발전단계 추진과정
 - 거대바이러스 목록 및 연구대상 거대바이러스 리스트 업데이트
 - 위도별 및 수입수산물 기인 거대바이러스 샘플링 및 거대바이러스 탐색기술 고도화
 - 거대바이러스 검출 및 (준)실시간 진단 기법 개발
 - 거대바이러스 DB 구축 및 빅데이터 기반 구축
- 정립단계 추진과정
 - 이머징 거대바이러스 목록 제시 및 관리방안 검토
 - 이머징 거대바이러스 검출 키트 개발
 - 이머징 거대바이러스 정기/장기 모니터링 방안 구축 및 종합평가지수 개발
 - 이머징 거대바이러스 빅데이터 구축 및 데이터 마이닝 기술 개발을 통한 거대바이러스 예측시스템 개발
- 확산단계 추진과정
 - 이머징 거대바이러스 예찰시스템 구축 및 활용방안 정립
 - 이머징 거대바이러스 종합 정보시스템 구축 및 공유방안 확립
 - 거대바이러스 예찰 의사결정 지원체계 구축
 - 이머징 거대바이러스 국가대응전략 설계 및 조직화

3. 국제 공동연구 및 협력 전략

- 국제 협력 및 공동연구의 필요성
 - 바이오 분야의 사회 경제적 중요성이 증가함에 따라 질병과 환경의 변화 사이의 관계, 거대바이러스의 출현과 증대성, 또한 농업 및 임업 서식지에 있는 거대바이러스 상호 작용을 새롭게 이해하려는 시도가 이루어지고 있음
 - OECD Global Forum('12)에서 논의된 Emerging pathogens in the environment 주제는 새로운 식물, 동물, 토착 및 외래 병원체 사이의 교잡을 포함하여 농업, 삼림, 해양생태계 내 병원균 및 질병-환경 변화 간의 연결 등에 초점을 맞추어 논의되었음
 - 새로운 병원체의 출현과 감염성질환의 확산은 예방치료를 위한 기술개발 뿐 아니라 생활 패턴 변화, 국가 간 무역 규제 조치 및 대책, 그리고 세계 경제위기에 까지 이르는 일련의 상호작용임이 역설되었음
 - 환경변화에 따른 병원체 및 질병의 확산에 대한 연구는 ① 감염성 질병의 탐지 및 규명 프로젝트의 개발 및 향후 발전을 위해 관련 기술의 융합 부분 (영국 기술전략위원회, Technology Strategy Board) ② 다중 숙주, 다중 매개체 시스템으로 인한 매개체 전파 질병의 확산 증가 및 이에 대한

대응 및 대비 부분(영국생태센터-Centre for Ecology & Hydrology) ③ 위협에 대한 정보교환과 질병 조절을 위한 프레임워크 및 국제적 네트워크 마련 부분으로 각각 필요성이 제시되었음
 - 따라서 국내 최초로 시도되고 있는 해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 연구는 관련 국제기구, 연구소 및 연구자들과의 긴밀한 협력 및 공동연구를 필요로 하며, 이에 대한 전략적인 접근이 요구됨

■ 국외 협력연구 방법

- 국제 거대바이러스 심포지움 개최
- 국외 전문가 초청 세미나 개최
- 국외 전문가 협력 현장조사 및 공동 시료 분석
- 국외 전문가 공동 논문 출간

■ 거대바이러스 연구 사이트 세계지도(global map)

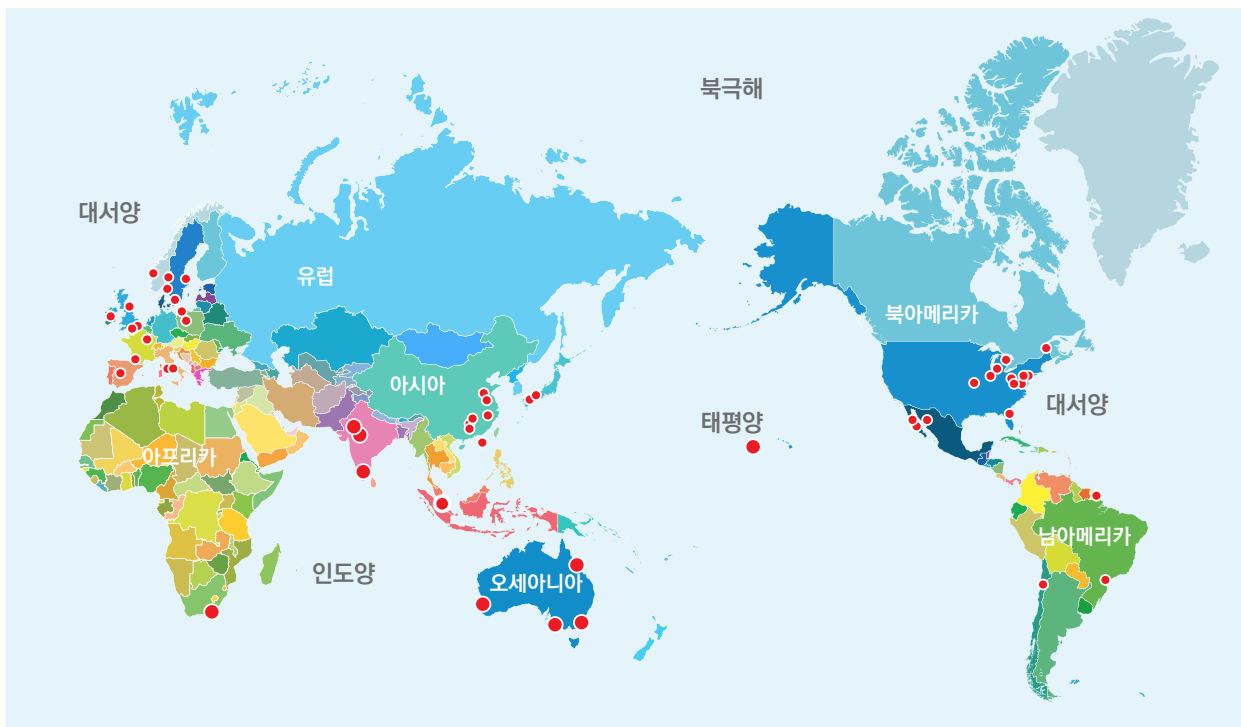


표 1. 공동연구가 가능한 전세계 거대바이러스 연구기관 위치 지도

지역	미국	유럽	호주	일본	중국	기타	계
기관수	14	19	4	2	6	14	59

제 3 장 연구개발 비전 및 추진 전략

표 2. 거대바이러스 병원체 협력기관 및 협력분야

국가	기관	연구자	연구주제	협력분야
미국	University of Florida	Waltzek TB.	거대바이러스 전유전체 분석 및 계통유전학 분류	연구자 교류 및 방문연구가능 해양수계의 거대바이러스특성
미국	University of Tennessee	Wilhelm SW.	메타대사체 분석을 통한 거대바이러스-숙주 상호작용 및 관계 연구	해양수계의 거대바이러스감염 특성 확보된 감염샘플을 이용한 실험가능
미국	Monterey Bay Aquarium Research Institute	Worden AZ.	수계 내 바이러스 분포 특징 연구	연구자 교류 및 방문연구가능 해양수계의 거대바이러스특성
독일	Max Planck Institute for Medical Research	Hackl T.	거대바이러스-숙주간 유전체 통합 연구	해양수계의 거대바이러스감염 특성 확보된 감염샘플을 이용한 실험가능
프랑스	Aix-Marseille Université	La Scola B.	거대바이러스 신종 분석 및 연구	연구자 교류 및 방문연구가능 해양수계의 거대바이러스특성
프랑스	Sorbonne University	Grimsley NH.	피코디엔에이바이러스-미세조류 감염 연구	해양수계의 거대바이러스감염 특성 확보된 감염샘플을 이용한 실험가능
노르웨이	University of Bergen	Sandaa RA.	거대바이러스의 시계열 분석 및 숙주감염연구	연구자 교류 및 방문연구가능 해양수계의 거대바이러스특성
호주	School of Biological Sciences at Flinders University	Mitchell JG.	미생물 군집 내 거대바이러스 표지자 연구	연구자 교류 및 방문연구가능 해양수계의 거대바이러스특성
일본	Kyoto University	Ogata H.	박테리아-고생물 군집 내 거대바이러스 유전체 및 분포 연구	연구자 교류 및 방문연구가능 해양수계의 거대바이러스특성
브라질	Universidade Federal de Minas Gerais	Abraham JS.	미미바이러스 감염 숙주 및 유전체 연구	해양수계의 거대바이러스감염 특성 확보된 감염샘플을 이용한 실험가능
중국	Ocean University of China	McMinn A.	바이러스 다양성 및 환경요인과 상관관계 연구	연구자 교류 및 방문연구가능 해양수계의 거대바이러스특성

제 4 절

중점 연구개발 과제 도출

1. 중점 연구개발 과제 도출 방향

- 해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 연구는 국내 및 외래 거대바이러스의 탐색, 모니터링, 감염 및 숙주 세포반응 분석, 거대바이러스-해양생태계 커플링 등의 연구를 통하여 거대바이러스 관련 빅데이터를 구축하고, 국가대응전략 설계를 위한 데이터마이닝 기술을 개발하고자 하는 연구를 수행함
- 국내 연안/대양 및 수산물 등의 탐색을 통해 얻어진 거대바이러스의 목록을 작성하고, 메타분석을 활용하여 현장적용형 진단기술개발에 대한 우선순위를 정하고, 각 거대바이러스 특이적인 정밀 검출기술을 개발하고, 이를 진단키트화하여 감염 및 세포반응 분석기술 개발을 위한 기반기술로 활용함
- 거대바이러스-박테리아-숙주-환경요인 통합분석을 수행하고, 해양미소생태계, 저서생태계 및 유영생태계에서의 거대바이러스의 영향을 분석하여 거대바이러스-해양생태계 커플링 연구를 수행함
- 해양바이러스 및 거대바이러스 모니터링 결과를 빅데이터화 하고, 거대바이러스-숙주 감염 및 세포반응, 해양생태계 커플링 결과를 기반으로 종합평가지수 및 데이터 마이닝을 위한 기술을 개발함
- 거대바이러스에 대한 정책적, 법적 및 경제적 분석을 통하여 정책적 및 법적 대응전략을 수립하며, 본 연구과제를 통하여 도출된 연구결과는 국가대응전략 설계 및 국가관측을 위한 조직화에 활용함
- 5년간의 ‘해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 연구’ 과제 후, 포스트 거대바이러스 연구과제(Post Marine Giant Viruses Project) 도출을 위한 발전전략을 수립함

단계	연구개발 목표	중점과제
1단계 (2021-2023)	거대바이러스 모니터링/ 프로파일링 기술개발 및 거대바이러스 빅데이터 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국내 및 외래 거대바이러스 탐색 ▶ 거대바이러스 진단 기술 개발 ▶ 거대바이러스 감염/반응 분석 기술 개발 ▶ 거대바이러스-해양생태계 커플링 분석 기술 개발 ▶ 거대바이러스 정보처리 고도화 및 빅데이터 기반 구축
2단계 (2024-2025)	거대바이러스 빅데이터 마이닝 기술개발 및 국가대응전략 설계	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스의 해양생태계 종합평가지수 기술 개발 ▶ 거대바이러스 빅데이터 구축 및 데이터마이닝 기술 개발 ▶ 거대바이러스 국가대응전략 설계 및 조직화 ▶ 포스트 거대바이러스 프로젝트 발전전략 수립

제 3 장 연구개발 비전 및 추진 전략

2. 중점 연구개발 과제 내용

단계별 목표	필요지식 및 기술적 도전과제	중점연구개발과제	
1단계('21-'23) 거대바이러스 모니터링/ 프로파일링 기술개발 및 거대바이러스 빅데이터 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 과거 문헌 및 현재 메타분석을 통한 거대바이러스 인벤토리 작성 ▶ 거대바이러스에 최적 탐색기술 및 기술표준화 기반 국내 연안/대양 및 수산물 감염 거대바이러스 탐색 ▶ 거대바이러스 거동분석을 통한 신규 및 외래 유입 가능성 목록 제시 	1-1	국내 및 외래 거대 바이러스 탐색
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 분리 및 전처리 기법 정립 ▶ 거대바이러스 프로브 기반 메타 검출기법 검토 ▶ 거대바이러스 특이 핵산 및 항체 기반 검출기법 개발 ▶ 현장 적용형 거대바이러스 진단키트 개발 	1-2	거대바이러스 진단 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 특이 숙주 검토 및 배양 시스템 개발 ▶ 거대바이러스-숙주 감염 시스템 개발 및 거대바이러스 확보 ▶ 숙주 세포반응 분석 기술(전사체, 단백질체 및 대사체 등) 개발 	1-3	거대바이러스 감염/반응 분석 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 바이러스-박테리아-숙주 및 환경요인 통합 모니터링 시스템 개발 ▶ 해양 미소생태계에서의 거대바이러스 영향 분석 기술 개발 ▶ 해양 저서생태계에서의 거대바이러스 영향 분석 기술 개발 ▶ 해양 유영생태계에서의 거대바이러스 영향 분석 기술 개발 ▶ 각 생물커뮤니티-거대바이러스의 해양생태계 영향 분석 	1-4	거대바이러스의 해양생태계 커리링 분석기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 맞춤형 정보 분석 지원 프로그램 개발 ▶ 시공간 군집, 통계 및 위해도 분석 시스템 구축 ▶ 통계 및 GIS 분석 가시화 ▶ 거대바이러스 빅데이터 요소기술 개발 	1-5	거대바이러스 정보 처리 고도화 및 빅 데이터 기반 구축
2단계('24-'25) 거대바이러스 빅데이터 마이닝 기술개발 및 국가대응전략 설계	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 최적 탐색기술 기반 장기 모니터링을 통한 거동 예찰 ▶ 거대바이러스 특이 병원성 검정기술 개발 ▶ 거대바이러스 감염성 및 숙주 감염/면역 반응도 분석 ▶ 거대바이러스의 해양생태계 영향 분석 및 종합평가지수 개발 	2-1	거대바이러스의 해양생태계 영향 지수 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 빅데이터 기반 실시간 데이터 처리 시스템 구축 ▶ 거대바이러스 출현 예측모형 기술 개발 ▶ 거대바이러스 빅데이터 기반 데이터 마이닝을 통한 유용정보 추출 기술 개발 	2-2	거대바이러스 빅데이터 구축 및 데이터마이닝 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 영향 및 확산에 따른 국민 경제· 사회적 파급효과 분석 ▶ 거대바이러스 관리 및 국가대응 정책 검토 ▶ 국가 관측을 위한 거대바이러스 모니터링 및 프로파일링 가이드라인 작성 및 정부기관 기술이전 ▶ 정기/장기적인 거대바이러스 국가관측을 위한 조직구성안 제시 	2-3	거대바이러스 국가 대응전략 설계 및 조직화
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스의 병원성 검증 시스템 구축 ▶ 거대바이러스의 유용 유전자원화 방안도출 ▶ 거대바이러스 백신 개발 ▶ 거대바이러스 방제 대책 수립 ▶ 거대바이러스로부터 국내 해양생태계 보호 및 보존대책 수립 	2-4	포스트 거대바이러스 과제 도출을 위한 발전전략 수립

해양생태계에서
거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구

제 4 장 연구개발과제의 개요

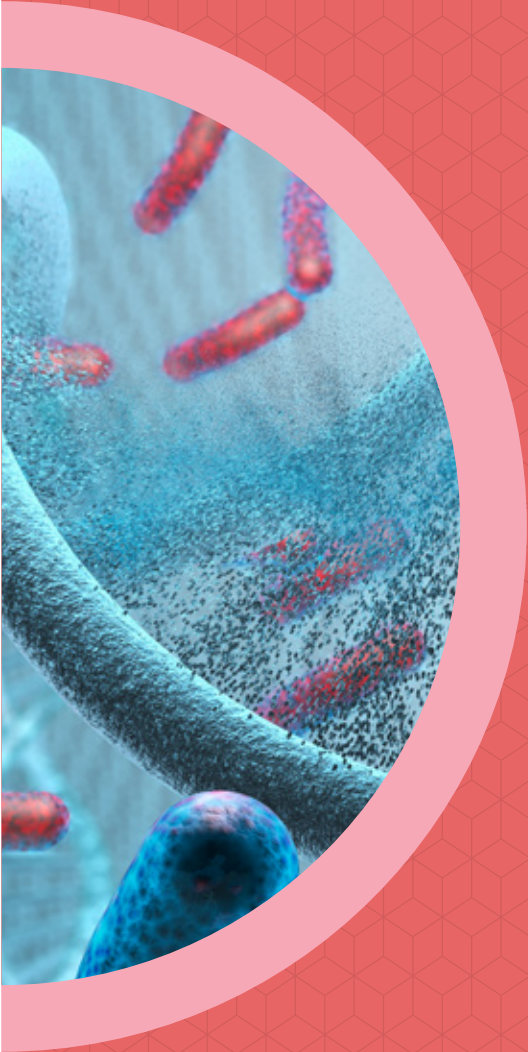
제 1 절 핵심세부과제

제 2 절 연구개발 로드맵

제 3 절 소요예산

제 4 절 기술개요서

제 5 절 성과지표



제 1 절

핵심세부과제

1. 중점연구과제별 핵심세부과제

중점연구개발과제		목표	전략성과 및 내용	핵심세부과제명
1-1	국내 및 외래 거대 바이러스 탐색	국내 연안/대양 및 수산물 유래 거대 바이러스 종 목록 작성 및 제시	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 과거 문헌 및 현재 메타분석을 통한 거대바이러스 인벤토리 작성 ▶ 거대바이러스에 최적 탐색기술 및 기술표준화 기반 국내 연안/대양 및 수산물 감염 거대바이러스 탐색 ▶ 거대바이러스 거동분석을 통한 신규 및 외래 유입 가능성 목록 제시 	국내연안 거대바이러스 탐색 기술 개발
				외래 거대바이러스 탐색 기술 개발
				수산물 기반 거대바이러스 탐색 기술개발
1-2	거대 바이러스 검출기술 개발	거대바이러스 검출을 위한 첨단기법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 분리 및 전처리 기법 정립 ▶ 거대바이러스 프로브 기반 메타 검출기법 ▶ 거대바이러스 특이 핵산 및 항체 기반 검출기법 개발 ▶ 현장 적용형 거대바이러스 진단키트 개발 	핵산 기반 거대바이러스 검출기술 개발
				항체 기반 거대바이러스 검출기술 개발
1-3	거대 바이러스 감염/반응 분석 기술 개발	거대바이러스-숙주 감염 및 세포반응 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 특이 숙주 검토 및 배양 시스템 개발 ▶ 거대바이러스-숙주 감염 시스템 개발 및 거대바이러스 확보 ▶ 숙주 세포반응 분석 기술(전사체, 단백질체 및 대사체 등) 개발 	거대바이러스-숙주 감염시스템 구축 기술 개발
				거대바이러스-숙주 세포반응 분석 기술개발
1-4	거대 바이러스-해양생태계 커플링 분석기술 개발	해양 미소생태계, 저서생태계 및 유영생태계에서 거대바이러스 역할 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 바이러스-숙주-환경요인 통합 모니터링 시스템 개발 ▶ 미소생태계에서의 거대바이러스 영향 분석 기술 개발 ▶ 저서생태계에서의 거대바이러스 영향 분석 기술 개발 ▶ 유영생태계에서의 거대바이러스 영향 분석 기술 개발 ▶ 각 생물커뮤니티-거대바이러스 커플링 분석 기술 개발 	미소생태계에서의 거대바이러스 영향 분석 기술 개발
				저서생태계에서의 거대바이러스 영향 분석 기술 개발
				유영생태계에서의 거대바이러스 영향 분석 기술 개발
1-5	거대 바이러스 정보처리 고도화 및 빅데이터 기반 구축	거대바이러스 빅데이터 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 맞춤형 정보 분석 지원 프로그램 개발 ▶ 시공간 군집, 통계 및 위해도 분석 시스템 구축 ▶ 통계 및 GIS 분석 가시화 ▶ 거대바이러스 빅데이터 요소기술 개발 	정보분석시스템 개발

제 1 절 핵심세부과제

중점연구개발과제	목표	전략성과 및 내용	핵심세부과제명
2-1 거대바이러스의 해양생태계 영향 지수 개발	장기모니터링, 병원성 검정기술 및 숙주 감염/반응분석 지수화	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 최적 탐색기술 기반 장기 모니터링을 통한 거동 예찰 ▶ 거대바이러스 특이 병원성 검정기술 개발 ▶ 거대바이러스 감염성 및 숙주 감염/면역 반응도 분석 ▶ 거대바이러스의 해양생태계 영향 분석 및 종합평가지수 개발 	거대바이러스 거동 예찰 기술 개발
			거대바이러스 감염/ 세포반응 평가지수 개발
			거대바이러스 해양생태계 영향 평가지수 개발
2-2 거대바이러스 빅데이터 구축 및 데이터 마이닝 기술 개발	거대바이러스 빅데이터 구축을 통한 실시간데이터 처리 및 데이터마이닝	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 빅데이터 기반 실시간 데이터 처리 시스템 구축 ▶ 거대바이러스 출현 예측모형 기술 개발 ▶ 거대바이러스 빅데이터 기반 데이터 마이닝을 통한 유용정보 추출 기술 개발 	거대바이러스 빅데이터 구축 및 데이터마이닝 기술 개발
2-3 거대바이러스 국가대응전략 설계 및 조직화	거대바이러스 관리를 위한 국가대응 전략 및 조직구성	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 영향 및 확산에 따른 국민 경제·사회적 파급효과 분석 ▶ 거대바이러스 관리 및 국가대응 정책 검토 ▶ 국가 관측을 위한 거대바이러스 모니터링 및 프로파일링 가이드라인 작성 및 정부기관 기술 이전 ▶ 정기/장기적인 거대바이러스 국가관측을 위한 조직구성안 제시 	거대바이러스 국가대응 전략 설계 및 조직화
2-4 포스트 거대바이러스 과제 도출을 위한 발전전략 수립	해양병원체 진단 및 예찰 시스템 개발 연구과제 종료 후 수행하여야 할 연구 기획	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스의 병원성 검증 시스템 구축 ▶ 거대바이러스의 유용 유전자원화 방안도출 ▶ 거대바이러스 백신 개발 ▶ 거대바이러스 방제 대책 수립 ▶ 거대바이러스로부터 국내 해양생태계 보호 및 보존대책 수립술 개발 	포스트 거대바이러스 과제 도출을 위한 발전 전략 수립

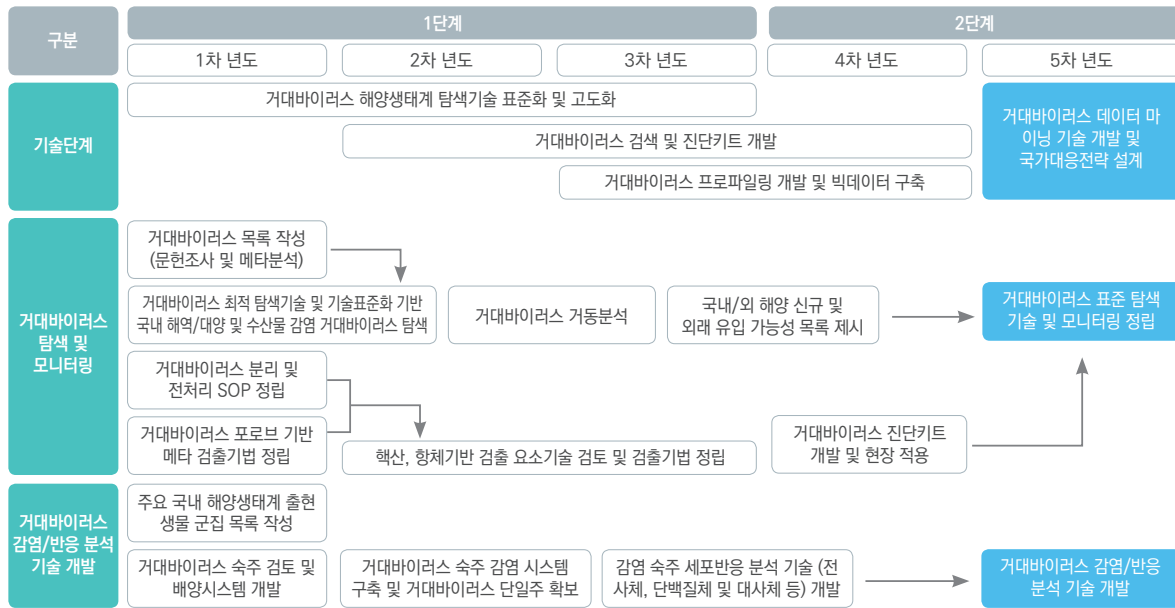
제 2 절

연구개발 로드맵

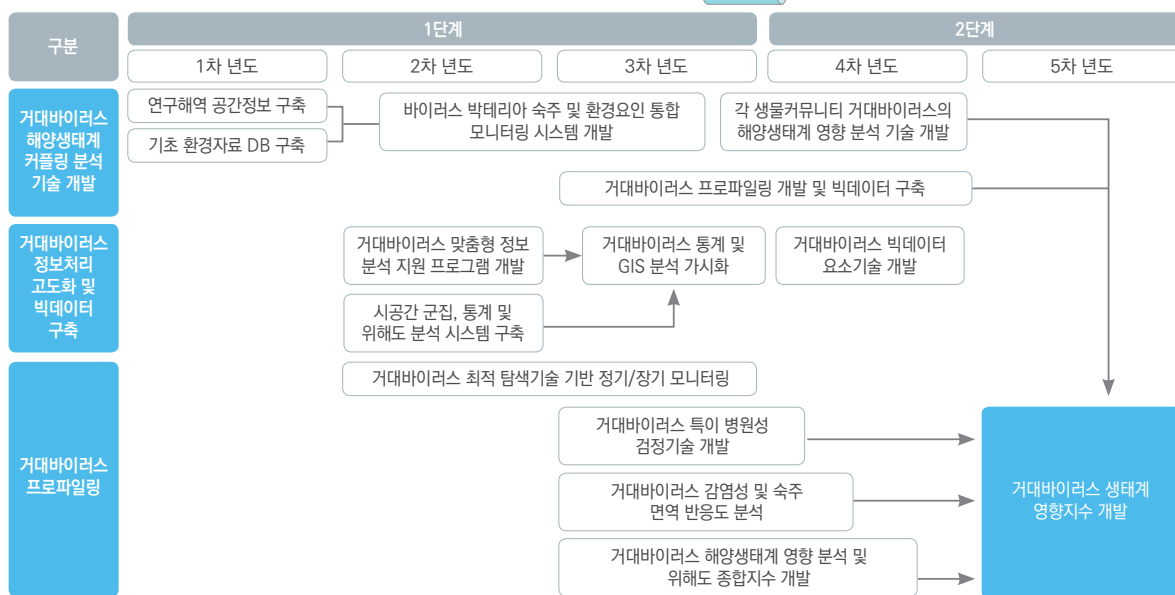
1. 총괄 로드맵

구분	1단계			2단계	
	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도
기술단계	거대바이러스-해양생태계 탐색기술 표준화 및 고도화				거대바이러스 데이터 마이닝 기술 개발 및 국가대응전략 설계
		거대바이러스 검색 및 진단키트 개발		거대바이러스 프로파일링 개발 및 빅데이터 구축	
	대상지역 : 우리나라 해역, 위도별 및 수산물				
해양 거대바이러스 탐색 및 모니터링	거대바이러스 목록 작성 (문헌조사)	국내해역/외래(위경도별, 수산물) 지역별/계절별 거대 바이러스 종 조성 탐색	거대바이러스 탐색기술 표준화 및 거동 분석	국내·외 거대바이러스 종 목록 제시	
해양 거대바이러스 검출기술 및 감염, 숙주 세포반응 분석 기술 개발	거대바이러스 프로브 기반 검출 기법 정립	거대바이러스 분리 및 전처리 SOP정립	핵산, 항체기반 검출 요소기술 검토 및 검출기법 정립	해양 거대바이러스 진단 키트 개발 및 현장 적용	거대바이러스 탐색 모니터링 기술 및 감염/반응 분석 기술 정립
해양 거대바이러스 빅데이터 구축 및 프로파일링	기초환경 및 공간정보 DB구축	바이러스 박테리아 숙주 및 환경요인 통합 모니터링 시스템 개발	거대바이러스 최적 탐색기술 기반 정기/장기 모니터링	거대바이러스 통계 및 GIS 분석 기반 빅데이터 요소기술 개발 거대바이러스 해양생태계 영향 분석 및 종합지수 개발 거대바이러스 특이 병원성 검정기술 개발 및 숙주 면역 반응도 분석	거대바이러스 생태계 영향지수 개발
해양 거대바이러스 환경분석 및 확산	경제, 사회적 파급효과 분석 관리 및 국가대응 정책 검토	거대바이러스, 해양생태계 및 환경요인 통합 빅데이터 구축	거대바이러스, 해양생태계 및 환경요인 통합 빅데이터 구축	거대바이러스 출현 예측모형 기술개발 국가관측을 위한 조직구성안 제시 거대바이러스 방제 대책 수립	데이터 마이닝 기술 개발 거대바이러스 국가대응 전략 설계 및 조직화 포스트 거대바이러스 과제도출을 위한 발전전략 수립
		거대바이러스의 병원성 검증 시스템 구축	거대바이러스의 병원성 검증 시스템 구축	국내 해양생태계 보호 및 보존대책 수립	

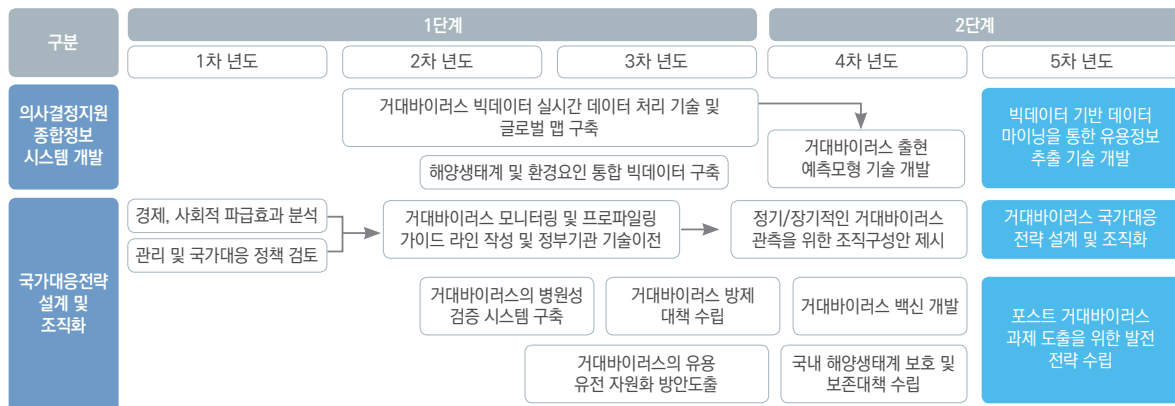
2. 거대바이러스의 모니터링 기술개발



3. 거대바이러스 프로파일링 및 빅데이터 구축



4. 거대바이러스 빅데이터 마이닝 기술 개발 및 국가대응전략 설계



제 3 절 소요예산

1. 총괄 예산

분야 단계	거대바이러스 탐색	거대바이러스 진단	감염 및 세포반응	해양생태계 영향	빅데이터 구축	계 (단위: 억원)
1 단계	25	19	19	32	18	113
2 단계	15	11	11	18	12	67
계	40	30	30	50	30	180

분야	2021	2022	2023	2024	2025	계 (단위: 억원)
거대바이러스 탐색	8	9	8	8	7	40
거대바이러스 진단	5	7	7	6	5	30
감염 및 세포반응	5	7	7	6	5	30
해양생태계 영향	10	11	11	10	8	50
빅데이터 구축	5	6	7	7	5	30
합계	33	40	40	37	30	180

2. 중점과제별 및 단계별 예산

가. 국내 해역 및 외래 거대바이러스 모니터링

분야 단계	국내해역 모니터링	위도별 모니터링	수입수산물 모니터링	계 (단위: 억원)
1 단계	7	10	8	25
2 단계	3	7	5	15
계	10	17	13	40

분야	2021	2022	2023	2024	2025	계
모니터링	8	9	8	8	7	40

나. 거대바이러스 검출 기술 개발

분야 단계	핵산기반	항체기반	키트	계 (단위: 억원)
1 단계	6	8	5	19
2 단계	3	4	4	11
계	9	12	9	30

제 3 절 소요예산

분야	2021	2022	2023	2024	2025	계
진단	5	7	7	6	5	30

다. 숙주 감염 및 세포반응 분석기술 개발

단계 \ 분야	거대바이러스 및 숙주 배양	거대바이러스 감염	숙주 세포반응	계 (단위: 억원)
1 단계	3	7	9	19
2 단계	2	4	5	11
계	5	11	14	30

분야	2021	2022	2023	2024	2025	계
감염/세포반응	5	7	7	6	5	30

라. 해양생태계에 대한 거대바이러스 영향 분석기술 개발

단계 \ 분야	통합 모니터링	연관관계 분석	위해도 평가	계 (단위: 억원)
1 단계	12	11	9	32
2 단계	5	6	7	18
계	17	17	16	50

분야	2021	2022	2023	2024	2025	계
해양생태계	10	11	11	10	8	50

마. 빅데이터 구축 및 데이터마이닝 기술개발

단계 \ 분야	빅데이터 구축	종합평가지수 개발	데이터 마이닝	계 (단위: 억원)
1 단계	7	4	7	18
2 단계	4	3	5	12
계	11	7	12	30

분야	2021	2022	2023	2024	2025	계
빅데이터	5	6	7	7	5	30

제 4 절 기술개요서

가. 국내 해역 및 외래 거대바이러스 모니터링

대분류	환경
중분류	해양환경
핵심기술명	국내/외래 및 수산물 유래 거대바이러스 탐색 기술 개발 및 표준화
기술정의	▶ 거대바이러스 관련 국내외 문헌 분석을 통하여 거대바이러스 목록을 작성하고, 위해도 평가표에 기반하여 거대바이러스 리스트를 작성하고, 각 거대바이러스에 적합한 탐색기술을 개발하여 지역별/계절별 거대바이러스 종탐색을 실시하여, 이머징 거대바이러스 목록을 제시함
기술트리(요소기술) 세부기술명	▶ 국내/외래 및 수산물 유래 거대바이러스 채집 및 농축기술 ▶ 위해도 평가표 작성 및 거대바이러스 리스트 작성 기술 ▶ NGS를 이용한 거대바이러스 종조성 분석기술 ▶ 거대바이러스 종목록 작성 기술
단계별 연구개발 목표(1단계 2021~2023년)	
단계 목표 (연도)	1단계 (2021~2023)
연구개발 목표	▶ 국내/외래 및 수입수산물 유래 거대바이러스 탐색기술 표준화, 종목록 작성 및 제시
단계별 산출물	▶ 국내/외래 및 수입수산물 유래 거대바이러스 채취, 농축 및 종조성 분석 표준화 기술 ▶ 위해도 평가표 작성 및 연구대상 거대바이러스 리스트 작성 ▶ 국내해역 거대바이러스 종목록 ▶ 위도별 거대바이러스 종목록 ▶ 수입수산물 거대바이러스 종목록 ▶ 국내/외래 및 수입수산물 유래 거대바이러스 종합맵 작성
기대효과	▶ 국내/외래 및 수입수산물 유래 거대바이러스 종목록은 국내/외래 및 수입수산물 유래 거대바이러스 현황 파악 및 향후 거대바이러스 모니터링을 위한 중요한 참고자료로 사용됨 ▶ 국내외 미개척 분야인 거대바이러스 모니터링 연구의 기초 방법론 정립으로 향후 거대바이러스 유전정보 축적을 위한 수월성 확보
기술확보(획득) 전략	▶ 국내 거대바이러스 분류전문가 확보 ▶ 논문 및 문헌 확보를 통한 데이터 검증 기준 확보 ▶ GenBank 바이러스 유전자 자료 확보 및 재검증
소요예산	25억
관련 법규/계획	해양수산물 수산생물질병 관리법 (법률 제11755호) 해양생태계보전 및 관리법 (법률 제11862호) 해양생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률(법률 제11690호)

나. 중점과제 1-2: 거대바이러스 검출기술 개발

대분류	환경
중분류	해양환경
핵심기술명	첨단 기법을 이용한 거대바이러스 검출기술
기술정의	▶ 목록작성을 통해 제시된 거대바이러스를 신속 정확하게 검출할 수 있는 형태, 조직, 항체 및 핵산 기반 검출기술을 개발함
기술트리(요소기술)	▶ 면역학적 기법을 이용한 거대바이러스 검출기술
세부기술명	▶ 핵산 기반 거대바이러스 검출기술
단계별 연구개발 목표(1단계 2021~2023년)	
단계 목표 (연도)	1단계 (2021~2023)
연구개발 목표	▶ 알려진 거대바이러스 검출기법의 해수 및 현장적용성을 검토하고, 거대바이러스 분리 및 전처리 기법을 정립한 후, 각 거대바이러스에 특이적인 형태, 조직, 면역학 및 유전자 기반 최첨단 검출기법을 개발함
단계별 산출물	▶ 면역학적 거대바이러스 검출기술 및 진단키트 ▶ 핵산 기반(PCR, LAMP, DNA chip 등) 거대바이러스 검출기술
기대효과	▶ 거대바이러스 분리 및 전처리 기법의 확립을 통한 검출 및 진단키트 개발 기반 확립 ▶ 미래 미지의 해양생물 질병 발생시 원인에 대한 과학적인 판단 근거를 제공하며, 외래 유입시 국가적 대응을 위한 자료로 활용 ▶ 대량의 시료를 단시간에 분석 가능하게 함으로써 광대역 조사에 있어서 수월성을 확보
기술확보(획득) 전략	▶ 국내 및 국외 거대바이러스 검출 전문가와의 국제협력 및 공동연구 ▶ KIOST 외해 관측 연구팀과의 협력 ▶ 국외 거대바이러스 전문기관 및 전문가 보유시료 교환 분석
소요예산	19억
관련 법규/계획	해양수산부 수산생물질병 관리법 (법률 제11755호) 해양생태계보전 및 관리법 (법률 제11862호) 해양생명공학육성 기본계획(2008)

제 4 장 연구개발 추진계획

다. 중점과제 1-3: 거대바이러스 감염/반응 분석 기술 개발

대분류	환경
중분류	해양환경
핵심기술명	생화학 및 분자생물학 기법을 이용한 거대바이러스-숙주 감염 및 세포반응 분석 기술
기술정의	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스-숙주 감염 시스템 구축 및 거대바이러스 획득 ▶ 거대바이러스 감염에 의한 숙주의 세포반응 분석
기술트리(요소기술)세부 기술명	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 특이 숙주 감염 시스템 구축 기술 ▶ omics 기반 거대바이러스-숙주 세포반응 분석 기술
단계별 연구개발 목표(1단계 2021~2023년)	
단계 목표 (연도)	1단계 (2021~2023)
연구개발 목표	▶ 거대바이러스 특이 숙주 시스템을 구축하고, metagenomics, transcriptomics, proteomics 및 metabolomics 기법을 활용하여 거대바이러스에 감염된 숙주세포의 반응을 분석함
단계별 산출물	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 감염 조건 정립 및 거대바이러스 농축액 ▶ Omics 분석 기술
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 대응 숙주 확인 및 이미징 거대바이러스 대응 숙주 탐색 기술 확립 ▶ 확보된 거대바이러스를 통한 숙주 특이성 분석 ▶ 숙주세포반응 분석을 위한 omics 자료는 해양생물 유전체 사업 등에 활용
기술확보(획득) 전략	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국내 및 국외 거대바이러스 감염/세포반응 전문가와의 국제협력 및 공동연구 ▶ 국외 거대바이러스 전문기관 및 전문가 보유시료 교환 분석
소요예산	17억
관련 법규/계획	해양수산부 수산생물질병 관리법 (법률 제11755호) 해양생태계보전 및 관리법 (법률 제11862호) 해양생명공학육성 기본계획(2008)

라. 중점과제 1-4 : 거대바이러스-해양생태계 커플링 분석기술 개발

대분류	환경
중분류	해양환경
핵심기술명	거대바이러스-해양생태계 커플링 분석 기술
기술정의	▶ 해양 미소생태계, 저서생태계 및 유영생태계에서 환경요인 및 생태계 구성요소의 거동분석을 실시하고 각 생태계별 거대바이러스 감염 특성을 분석하여, 거대바이러스 역할을 규명하기 위한 기술을 개발함
기술트리(요소기술)세부 기술명	▶ 미소생태계에서 거대바이러스 역할 분석 기술 ▶ 저서생태계에서 거대바이러스 역할 분석 기술 ▶ 유영생태계에서 거대바이러스 역할 분석 기술 ▶ 바이러스-숙주-환경 통합 모니터링 기술
단계별 연구개발 목표(1단계 2021~2023년)	
단계 목표 (연도)	1단계 (2021~2023)
연구개발 목표	▶ 거대바이러스-해양생태계 커플링 분석
단계별 산출물	▶ 바이러스-숙주-환경 통합 모니터링 정보 ▶ 미소생태계에서 거대바이러스 역할 분석 ▶ 저서생태계에서 거대바이러스 역할 분석 ▶ 유영생태계에서 거대바이러스 역할 분석 ▶ 각 커뮤니티-거대바이러스 커플링 분석
기대효과	▶ 해양거대바이러스-해양생태계 연관관계 분석 및 전지구적 해양거대바이러스의 역할 규명 ▶ 거대바이러스에 의한 해양생태계 조절 기작의 규명 ▶ 전지구적 해양생태계 대응 거대바이러스 다양성 분석을 통한 우리나라 해양생태계 미래예측 가능성
기술확보(획득) 전략	▶ 국외 거대바이러스 인벤토리 데이터베이스 공동 구축 / 활용 ▶ 국외 거대바이러스 전문기관 및 전문가 표준화 분석 기술 공유
소요예산	32억
관련 법규/계획	해양수산부 수산생물질병 관리법 (법률 제11755호) 해양생태계보전 및 관리법 (법률 제11862호) 해양생명공학육성 기본계획(2008) 해양생명자원의 확보 · 관리 및 이용 등에 관한 법률(법률 제11690호)

제 4 장 연구개발 추진계획

마. 중점과제 1-5 : 거대바이러스 정보처리 고도화 및 빅데이터 기반 구축

대분류	환경
중분류	해양환경
핵심기술명	거대바이러스 정보처리 고도화 및 빅데이터 기반 구축 기술
기술정의	▶ 효율적인 거대바이러스 조사와 관리 및 국가대응을 위한 공간정보와 기초환경 자료를 정보체계로 구축하고, 문헌과 현장조사를 통한 해양바이러스 DB를 구축함으로써, 빅데이터 기반 구축을 위한 정보구축 기법을 개발함
기술트리(요소기술)세부 기술명	▶ 거대바이러스 DB 설계 및 구축 기술 ▶ GIS 공간정보 및 기초 환경정보 구축 기술 ▶ 거대바이러스 모니터링 공간구획 설정 기술 ▶ 거대바이러스 정보처리 고도화 기술
단계별 연구개발 목표(1단계 2021~2023년)	
단계 목표 (연도)	1단계 (2021~2023)
연구개발 목표	▶ 빅데이터 기반 거대바이러스 정보체계 구축
단계별 산출물	▶ 거대바이러스 DB 설계서 ▶ GIS 기반 거대바이러스 정보시스템 ▶ 연구해역 공간정보 및 기초 환경정보 ▶ 거대바이러스 모니터링 공간구획 지도 ▶ 거대바이러스 글로벌 맵 ▶ 거대바이러스 정보처리 고도화 프로그램 ▶ 빅데이터 요소기술
기대효과	▶ 거대바이러스 자료구조 표준화 ▶ GIS 기반 거대바이러스 정보시스템 구축을 통한 거대바이러스 정보, 환경정보 및 공간 정보 공동활용 기반 마련 ▶ 거대바이러스 모니터링 공간구획 설정을 통한 모니터링 적지선정 ▶ 글로벌 맵 작성을 통한 거대바이러스 현황 파악
기술확보(획득) 전략	▶ 국내외 해역 거대바이러스 현장조사 자료 ▶ 연구해역 기초환경정보 수집 ▶ 연구해역 공간정보 수집 및 GIS 편집 ▶ 국내외 GIS 기반 기술 검토 및 체계적인 프로세스 확보 ▶ 연구결과와 국내외 전문가와의 협력을 통한 글로벌 맵 작성
소요예산	18억
관련 법규/계획	해양수산부 수산생물질병 관리법 (법률 제11755호) 해양생태계보전 및 관리법 (법률 제11862호)

바. 중점과제 2-1: 거대바이러스의 해양생태계 영향지수 개발

대분류	환경
중분류	해양환경
핵심기술명	거대바이러스 감염/세포반응/해양생태계 영향 분석을 통한 해양생태계 영향지수 개발 기술
기술정의	▶ 거대바이러스-숙주 감염/세포반응 및 해양생태계 영향에 대한 종합적인 분석을 통하여 종합평가 지수를 개발함
기술트리(요소기술)세부 기술명	▶ 거대바이러스 특이 병원성 검정기술 ▶ 거대바이러스 감염성 평가 기술 ▶ 거대바이러스-숙주 세포반응 평가기술 ▶ 거대바이러스-해양생태계 영향 분석 기술 ▶ 거대바이러스의 해양생태계 영향 평가지수 개발 기술
단계별 연구개발 목표(2단계 2024~2025년)	
단계 목표 (연도)	2단계 (2024~2025)
연구개발 목표	▶ 거대바이러스 감염, 숙주 세포반응 및 해양생태계 영향 분석을 통한 종합적인 평가지수 개발
단계별 산출물	▶ 거대바이러스 특이 병원성 검정표 ▶ 거대바이러스 특이 감염성 평가서 ▶ 거대바이러스에 감염된 숙주 세포반응 평가서 ▶ 미소생태계에 대한 거대바이러스 영향 평가서 ▶ 저서생태계에 대한 거대바이러스 영향 평가서 ▶ 유영생태계에 대한 거대바이러스 영향 평가서 ▶ 거대바이러스 장기모니터링 자료 ▶ 거대바이러스-해양생태계 종합평가지수
기대효과	▶ DB 업데이트 및 글로벌 맵 작성을 통해 이머징 해양병원체 현황 파악 ▶ 검출키트를 이용한 정기 및 장기 모니터링 국가 관측 ▶ 병원체 지수 및 예측모델을 활용한 미래예측 ▶ 개발된 기술의 상용화를 통한 부가가치 확보
기술확보(획득) 전략	▶ 거대바이러스 출현빈도, 감염성, 세포반응도 및 해양생태계 영향 분석을 통한 종합평가지수화 ▶ KIOST 예측모델 개발 전문가의 연구참여를 통한 예찰시스템 구축
소요예산	40억
관련 법규/계획	해양수산부 수산생물질병 관리법 (법률 제11755호) 해양생태계보전 및 관리법 (법률 제11862호) 해양생명공학육성 기본계획(2008) 해양생명자원의 확보 · 관리 및 이용 등에 관한 법률(법률 제11690호)

제 4 장 연구개발 추진계획

사. 중점과제 2-2 : 거대바이러스 빅데이터 구축 및 데이터마이닝 기술 개발

대분류	환경
중분류	해양환경
핵심기술명	거대바이러스 빅데이터 구축 및 데이터마이닝 기술
기술정의	▶ 거대바이러스 탐색 및 분석 정보와 공간과 기초환경자료를 활용한 거대바이러스 빅데이터 구축 및 출현 예측모델 개발을 통한 거대바이러스 종합정보시스템을 구축함
기술트리(요소기술)세부 기술명	▶ 거대바이러스 hot spot 탐지를 위한 공간분석 기술 ▶ 거대바이러스 출현 예측모형 개발 기술 ▶ 거대바이러스 위해도 종합평가지수 개발 기술 ▶ 거대바이러스 자료추출/제공 기술 ▶ 거대바이러스 종합정보시스템 개발 기술
단계별 연구개발 목표(2단계 2024~2025년)	
단계 목표 (연도)	2단계 (2024~2025)
연구개발 목표	▶ 거대바이러스 예찰 의사결정지원 시스템 구축
단계별 산출물	▶ 거대바이러스 종합정보시스템 ▶ 시스템 아키텍처(H/W, S/W, N/W) 설계서 ▶ 시스템 단위모듈 기능설계서 ▶ 통합 빅데이터 다이어그램 ▶ 거대바이러스 hot spot 탐지 지도 ▶ 거대바이러스 출현 예측모형 ▶ 거대바이러스 위해도 종합평가지수 개발 절차 및 기법
기대효과	▶ 공간분석을 통한 거대바이러스 공간분포 패턴의 정량적 파악 ▶ 거대바이러스 연구정보의 이용과 공유 ▶ 거대바이러스 출현 예측모형 개발 ▶ 거대바이러스 종합정보시스템 구축을 통한 위해도 예찰 의사결정 지원 ▶ 각종 홍보물 제작 자료 활용
기술확보(획득) 전략	▶ 공간분석 적용 사례 분석 ▶ ICT 기술 교육 및 훈련 ▶ 통계기술 교육 및 훈련 ▶ 국내외 종합지수 개발 사례 분석 및 적용
소요예산	12억
관련 법규/계획	해양수산부 수산생물질병 관리법 (법률 제11755호) 해양생태계보전 및 관리법 (법률 제11862호)

아. 중점과제 2-3 : 거대바이러스 국가대응전략 설계 및 조직화

대분류	환경
중분류	해양환경
핵심기술명	거대바이러스 국가대응전략 및 조직화 조직화 방안 도출
기술정의	▶ 거대바이러스 진단 및 예찰시스템 개발에 따른 경제·사회적 분석, 가이드라인 작성 등 연구결과물을 정부기관으로 기술이전하고, 정기/장기 국가 관측을 수행하기 위한 조직 구성안을 제시함
기술트리(요소기술)세부 기술명	▶ 경제·사회적 파급효과 기여도 분석 기술 ▶ 거대바이러스 연구의 해양기초과학 발전 영향 및 국가 과학 이미지 제고 효과 평가 및 분석 기술
단계별 연구개발 목표(2단계 2024~2025년)	
단계 목표 (연도)	2단계 (2024~2025)
연구개발 목표	▶ 거대바이러스 미래대응을 위한 조직화 및 대응전략 수립
단계별 산출물	▶ 거대바이러스 진단 및 예찰시스템 개발에 따른 국민 경제·사회적 파급효과 보고서 ▶ 거대바이러스 관리 및 국가대응 법제도 제(개)정안 ▶ 국가 관측을 위한 거대바이러스 탐색, 진단 및 예찰 가이드라인 ▶ 거대바이러스 연구결과의 정부기관 기술이전 ▶ 정기/장기적인 국가관측을 위한 조직구성안 제시
기대효과	▶ 거대바이러스 법제도 개정을 통한 정기/장기 모니터링 수행 ▶ 국가 조직 구성을 통한 거대바이러스 대응체제 구축
기술확보(획득) 전략	▶ 국내·외 거대바이러스 정책, 법제도 및 경제적 평가 자료 분석 ▶ 국립수산물품질관리원, 국립수산물품질관리원 및 질병관리센터 등의 조직구성 자료 분석
소요예산	10억
관련 법규/계획	해양수산물 수산생물질병 관리법(법률 제11755호) 해양생태계보전 및 관리법(법률 제11862호) 해양생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률(법률 제11690호)

제 4 장 연구개발 추진계획

자. 중점과제 2-4: 포스트 거대바이러스 과제 도출을 위한 발전전략 수립

대분류	환경
중분류	해양환경
핵심기술명	포스트 거대바이러스 과제 도출을 위한 기획
기술정의	▶ 거대바이러스 진단 및 예찰시스템 개발 연구의 국가기관 기술이전 후 추가 연구목표 및 연구내용을 정리할 수 있는 기획사업
기술트리(요소기술)세부 기술명	▶ 거대바이러스 병원성 검증 연구현황 분석 ▶ 거대바이러스 방제 및 저감 연구현황 분석 ▶ 거대바이러스 유전자원화 연구현황 분석 ▶ 거대바이러스 대응 연구현황 분석
단계별 연구개발 목표(2단계 2024~2025년)	
단계 목표 (연도)	2단계 (2024~2025)
연구개발 목표	▶ 거대바이러스 진단 및 예찰 시스템 개발 연구과제 종료 후 수행하여야 할 연구 기획
단계별 산출물	▶ 거대바이러스의 병원성 검증 기술 개발 연구현황 및 타당성 분석 ▶ 거대바이러스 방제 및 저감 기술 개발 연구현황 및 타당성 분석 ▶ 거대바이러스 백신 개발 연구현황 및 타당성 분석 ▶ 거대바이러스의 유용 유전자원화 방안 도출 ▶ 거대바이러스로부터 국내 해양생태계 보호 및 보존대책 수립
기대효과	▶ 거대바이러스 병원성 검증기술 확보를 통한 해양생물 질병 대응방안 도출 ▶ 거대바이러스 방제 및 저감기술 확보 방안 도출 ▶ 거대바이러스의 유전자 자원화 방안 검토자료 확보
기술확보(획득) 전략	▶ 포스트 거대바이러스 연구를 위한 국내외 연구 및 설비 현황 분석 ▶ KIOST 및 KMI 전문가를 활용한 정책적 및 경제적 타당성 분석 ▶ 국가지식재산원 및 국내외 전문기관의 전문성을 활용한 연구현황, 특허동향 및 기술적 타당성 분석
소요예산	5억
관련 법규/계획	해양수산부 수산생물질병 관리법(법률 제11755호) 해양생태계보전 및 관리법(법률 제11862호) 해양생명자원의 확보·관리 및 이용 등에 관한 법률(법률 제11690호)

제 5 절 성과지표

1. 연구성과 지표

성과지표	분류	증빙자료 유형	비고
거대바이러스 진단 기술 개발 건수		1. 개발된 시험법이 공인되었음을 증빙할 수 있는 자료	1. 시험법 개발은 시험법으로서 논문이나 특허, 기술이전 등으로 인정받은 것만을 인정함 (결과보고서만으로 증빙하는 것은 성과실적에서 제외)
거대바이러스 모니터링 건수		1. 결과보고서의 해당 부분 2. 해양병원체 NGS 분석 결과 3. 거대바이러스 목록	1. 탐색은 국내외 해역의 현장 출장에 기반한 성과만 인정 2. NGS 결과 및 거대바이러스 목록은 거대바이러스 별 성과로 인정
감염 및 세포반응 시험 건수		1. 결과보고서의 해당부분 2. 감염 및 세포반응 분석 실험 증빙 자료	1. 감염 및 세포반응은 검체 건수가 아닌 항목 수로 성과 인정
해양생태계 영향 분석 건수		1. 결과보고서의 해당부분 2. 통합모니터링 실시 및 분석 증빙 자료	1. 국내외 해역의 현장 출장 및 인공 생태계 실시에 기반한 성과만 인정 2. 영향 분석 결과는 거대바이러스 별 성과로 인정
빅데이터 구축	1. 빅데이터 구축 2. 프로그램 (시스템개발)	1. 빅데이터 구축 부분 capture 2. 내부결재 공문 (시연회 등) 3. 외부에 홍보한 내용 4. 결과보고서 해당 부분	1. 빅데이터 건수는 개별 건수가 아닌 거대바이러스 별 성과로 인정

제 4 장 연구개발 추진계획

2. 연구성과 홍보 및 확산 지표

성과지표	분류	증빙자료 유형	비고
연구성과 교육홍보 건수	1. 간담회 2. 세미나 3. 공청회 4. 보도자료 5. 간행물 6. 홈페이지 게재	1. 내부결재공문 2. 자료표지, 목차, 주요내용 등 3. 보도자료 4. 인터뷰 요청 및 결과공문 5. 해당 보도화면의 capture (인터넷 포함) 6. SOP 발간 공문 또는 인쇄물 7. 리플렛 등 홍보자료 원본	1. 객관적 확인이 가능한 자료만 인정 2. 동일내용에 대한 여러 매체 보도는 1건으로 산정
기술확산을 위한 상호 교류정도	1. 전문간행물 2. 심포지엄 3. 워크샵 4. 학회 5. 세미나	1. 간행물의 표지, 목차 등 2. 내부결재공문 3. 행사관련 자료 (일시, 장소 등 표시) 4. 국내 MOU 체결 공문, 서약서	1. 연구성과 교육 홍보건수는 대상이 일반인인데 반해, 상호교류는 전문가 집단을 대상으로 함

3. 국제교류 및 협력 지표

성과지표	분류	증빙자료 유형	비고
국제교류 협력 실적 건수	1. 심포지엄 2. 세미나 3. 워크샵 4. MOU	1. 협약서 2. 내부결재공문 3. 유인물	1. 단순 학회 참석은 성과 불인정
국제회의 유치 건수		1. 국제회의 유치 결재공문 2. 유인물	
국제공동연구 건수		1. 내부결재 공문 2. 협약서	1. 국제공동연구는 기관 대 기관이 공동출 자하여 수행하는 연구를 의미함 2. 단순 위탁수준은 공동연구에서 제외됨

4. 학술 및 지적재산권 지표

성과지표	분류	증빙자료 유형	비고
SCI급 논문 게재 건수		1. 게재 논문 2. 게재 예정 증명서	1. Acknowledgements에 명기 2. SCI DB에 등재된 저널을 인정
비SCI급 논문 게재 건수		1. 게재 논문 2. 게재 예정 증명서	1. Acknowledgements에 명기 2. 학술진흥재단에 등재된 저널을 인정
학술회의 발표 건수	1. 구두발표 2. 포스터발표	1. 학회 초록집 2. 학회발표 승인공문	1. 저자 중 참여연구원이 포함되었음을 표시 2. 원고 또는 포스터로 증빙하는 것은 성과 제외
특허출원건수	1. 국내 출원 2. 국제 출원	1. 출원서 2. 출원번호 통지서 3. 출원결정서	1. 출원 이후 등록된 특허도 중복 성과로 인정
특허등록건수	1. 국내 등록 2. 국제 등록	1. 등록서 2. 등록번호 통지서 3. 등록결정서	

5. 교육 및 인력양성 지표

성과지표	분류	증빙자료 유형	비고
인력양성 배출실적 건수	1. 전공별 2. 학위별	1. 계약서상의 참여인력 부분	1. 졸업을 객관적으로 증빙할 수 있는 서류(졸업증명서 등)
사이버 교육시스템 구축 건수		1. On-line 교육실시 공문 2. 교육자료	1. 포스트 거대바이러스 과제 (Post Marine Giant Viruses Project) 성과 지표
개발교재 건수		1. 배포공문 2. 발간교재	1. 포스트 거대바이러스 과제 (Post Marine Giant Viruses Project) 성과 지표
현장전문인력 교육 실적		1. 교육실시 공문 2. 교육교재	1. 포스트 거대바이러스 과제 (Post Marine Giant Viruses Project) 성과 지표
연구성과 기술지원 건수	1. 현장기술지도 2. 기술상담 3. 교육훈련 4. 기술이전	1. 내부결재공문 2. 지도, 상담, 훈련에 대한 구체적 자료	1. 단순한 사이버 민원 질의회신은 성과로 불인정

해양생태계에서
거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구



A collection of white line-art illustrations of various microorganisms, including bacteria, viruses, and fungi, scattered across the upper half of the green background. The background itself has a repeating geometric pattern of small, interconnected shapes.

제 5 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 정책적 타당성 분석

제 2 절 기술적 타당성 분석

제 1 절

정책적 타당성 분석

1. 상위계획과의 부합성

- 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
- 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
- 해양수산발전기본법은 제12조를 통해 해양환경 및 해양자원의 보전에 관한 정부의 의무를 규정하고, **관련 시책(제13조)**의 마련, 해양생태계 보전과 안전관리(제14조, 제15조)를 규정하고 있음
- 해양환경관리법은 해양환경의 훼손 또는 해양오염으로 인한 피해를 예방하고 깨끗하고 안전한 해양환경을 조성하여 국민의 삶의 질을 높이는데 이바지함을 법 제정의 목적으로 설정(제1조), 해양오염, 폐기물, 배출, 선박평형수 등 오염물질로 인한 해양환경 피해를 예방하고 보전, 관리 시책 수립의 책임을 국가에게 부여하고 있음
 - 해양환경관리법은 제2조를 통해 해양환경이란 ‘해양에 서식하는 생물체와 이를 둘러싸고 있는 해양수(海洋水) · 해양지(海洋地) · 해양대기(海洋大氣) 등 비생물적 환경 및 해양에서의 인간의 행동양식을 포함하는 것’으로서 해양의 자연 및 생활상태로 정의
- 수산생물질병관리법은 수산생물질병이 발생하거나 퍼지는 것을 막기 위한 종합적인 관리체계를 마련, 수산생물의 안정적인 생산 · 공급과 수생태계 보호 및 국민건강의 향상에 이바지하는 것을 목적으로 하는 바, 국가와 지방자치단체는 필요한 조치를 취하여야 함
- 제2차 해양수산발전기본계획(2011~2020)은 기후변화 · 자원 문제의 대두를 국내외 주요 변화요소로 제시하고, 지구 온난화로 인한 어족자원의 감소와 해양생물의 다양성 훼손 등 해양생태계 교란 요인 증가에 주목하고 있음.
 - 기본계획은 동시에 해양과학기술을 활용한 신산업의 출현에 주목하고, 특히 해양바이오산업은 16년까지 특허기술경쟁력 7위(’06 현재 13위), 시장규모 6조원(’06 현재 2,800억원)으로 성장하는 등 주요 산업으로 발전 전망하는 등, 해양병원체 등을 포함한 해양생명공학 사업의 신산업으로서

의 가치를 평가하고 있음

- 현재 BT산업 규모는 2조 5천억달러로 IT산업(3조5천억달러)보다 적으나 자동차 산업(1조6천억달러)보다 큰 산업으로, '20년경 IT산업을 추월할 것으로 전망
- 해양생명공학육성 기본계획(2008)은 해양바이오 4대 중점육성 기술분야로 해양생물기반기술, 해양생물생산기술, 해양신소재개발기술, 해양생태환경보전기술을 제시하고 있는 바, 해양병원체는 자원적 측면에서 해양생물기반, 해양생물생산, 해양신소재개발, 해양환경보전 등 4개 영역에 포함될 수 있음

2. 정부지원의 필요성

- 해양생태계 및 국민 건강과 안전 확보를 위한 과학적 정보구축, 대응 필요
 - 기후변화는 한반도 주변해역의 어족자원 분포를 포함한 전반적 생태계에 직접적 영향을 발생시키는 바, 특히 새롭게 등장하는 거대바이러스에 대한 정부 주도의 정보구축과 연구를 통해 해양생태계 및 국민건강의 안전을 확보할 필요가 있음
- 새로운 환경 위해요소에 대한 정부 주도의 연구와 대응 필요
 - 특히, 기후변화에 따라 출현하는 새로운 거대바이러스에 대한 연구와 대응기술, 관련 정보의 부재는 그 위해가 광역적이고 복합적으로 발생할 것으로 예상되는 바, 지역적 및 전세계적 범위의 연구가 수행될 필요가 있음
- 광역성과 월경성 문제에 대한 국제적 연구 주도 필요
 - 해양에서의 거대바이러스 및 환경위해요소는 월경성, 광역성의 특징을 보이는 바, 선박평형수를 통한 외래종, 혹은 한반도 기후대의 변화에 대응하기 위한 지역별 공동연구, 국제적 공동연구를 주도할 필요가 있음
- 기후변화와 한반도 생물자원의 위협성에 대한 사전 대응기반 구축 필요
 - 기후변화에 따라 한반도 연안해양 생태계의 건강 및 생물자원의 위해요소가 확대되면서, 법제도적 측면에서는 사회적 영향력과 파급력, 해양생태계 위해요소로서의 병원체 관리, 활용을 위한 사전 대응기반 구축이 필요
 - 거대바이러스는 관리 및 연구 부재의 경우 한반도 해양생태계의 압력요소 및 생태계 상태를 악화시키는 압력요인 이슈(pressure issue)로 작용할 것인 바, 국가계획을 통한 과학적 관리 기반이 선행 구축될 필요가 있음
- 고도의 부가가치적 측면에서의 거대바이러스에 대한 국제적 선도 연구 필요
 - 거대바이러스는 위해성과 함께 '새로운 해양생명자원'으로서의 부가가치가 높은 자원으로 분류될 수 있으며, 특히 국제사회의 자원 주권화 움직임의 강화에 따라 '자원 활용적' 측면에서의 연구를 주도할 필요가 있음
- 거대바이러스의 정보화와 대응기반, 활용성 강화
 - 우리나라는 해양생물 및 수산자원에 대한 정보는 상당한 정도로 확보하고 있는 반면, 핵심 위해요소인 거대바이러스에 대한 인지와 정보는 상당히 부족함. 따라서 거대바이러스의 발생이 기후



제 5 장 연구개발의 타당성 분석

변화, 외래종, 쓰레기 등 다양하게 나타나는 점을 고려, 한반도-동북아 지역-전세계 거대바이러스 정보를 구축하고, 국가적 대응력과 활용력을 제고할 필요가 있음 참여연구진 및 자문위원단의 토의를 거쳐 아래와 같이 2단계로 나누어 정책목표를 설정하였으며, 그에 따른 연구개발 목표를 수립하였음.

3. 사업추진의 적시성

- 전지구 기후변화에 따라 한반도 식생, 주변수역 어족자원 등 환경변화가 가속화되면서 기존에 없었던 새로운 거대바이러스가 출현, 해양생태계 및 어족자원, 인간 건강에 대한 위협요소로 대두되고 있는 바, 한반도 주변을 포함, 지역적, 전세계를 대상으로 한 거대바이러스 정보 DB구축 및 대응방안 수립이 요구됨
- 거대바이러스의 위협요소와 자원가치요소, 기후변화에 따른 잠재적 위협요소와 자원가치요소, 미래 영향요소와 자원개발 요소를 사전에 대응, 준비함으로써 유해성과 유용성을 함께 고려한 접근 정책을 수립할 시급성이 있음
- 2010년 채택된 유전자원의 접근 및 공평한 이익공유(ABS)에 관한 나고야 의정서가 금년 발효될 것으로 예상되면서 각국의 생물자원 확보와 이용에 관한 정책 또한 강화되는 추세에 있는 바, 거대바이러스의 유해성과 자원적 가치를 고려한 정책적 대응, 관리 사업이 시급히 추진될 필요가 있음

제 2 절

기술적 타당성 분석

1. 기존 연구사업과의 차별성

- 국내 거대바이러스에 대한 연구는 어류 바이러스에 대한 LAMP(2011)나 새우감염성 질병에 대한 multiplex PCR을 이용한 진단기법의 개발(2010) 등이 연구재단의 기본연구지원사업이나 미래해양산업기술개발사업의 형태로 진행되었으나 거대바이러스와 직접적으로 관련된 연구는 거의 진행된 바 없음
- 2013년 수산과학원은 신자산어보 연구과제기획에서 수산물 고유 및 분변 등의 오염원에서 유래한 병원성 미생물과 기생충의 발생과 확산을 예측하고, 위해평가를 바탕으로 한 제어기술을 개발하고, 보급함을 목적으로 신종 병원성 미생물 해역 확산예측 모델개발 및 제어를 위한 활성소재 개발, 분변 병원성 미생물 조사와 위해평가를 통한 확산예측 모델 연구, 항바이러스/항기생충별 활성소재 개발과 인체 면역기작 및 제품개발 연구, 수산물매개 분변유래 기생충 제어기술 개발, 병원성미생물 제어기술 개발 및 분변 유래 병원성 미생물 및 기생충 위해평가 등을 연구 내용으로 제시하였음.
- 2013년에 기획된 이러한 해양병원체 관련 대형사업에서도 주로 연안 해역 및 양식산업에 존재 가능한 병원체 연구에 국한하고 있어, 본 기획과제에서 제시하는 연구 목표인 지구 온난화와 함께 해류 이동 및 수산물 이동 등으로 유도될 수 있는 새로운 거대바이러스에 의한 질병 발생과 해양 생태계내의 거대바이러스 동태 파악 및 거대바이러스로 기인하여 발생할 수 있는 질병을 예방할 수 있는 기술적 기반을 구축하고자 하는 연구는 전무함.
- 우리나라에서 해양병원체에 대한 연구는 2013년 한국해양과학기술원 ‘남해생태계 이머징 해양병원체 탐색 및 검출기술 개발’ 과제를 시작으로 본격적으로 유입가능한 해양병원체의 위험성과 이들이 국내 해양생태계에 미치는 영향 등에 대해 문제점이 제기되기 시작을 하였고, 현재 국내 유입가능한 해양병원체에 대한 분포 및 진단과 관련한 연구가 일부 수행되고 있음(KIOST, 2013-015).
- 2015-2016년에 해양환경관리공단에서 지원한 ‘선박기인 외래 해양병원체 탐색 및 진단기술 개발’ 과제를 통하여 최초로 거대바이러스 개념이 제안되었음
- 최근에 연구재단지원으로 ‘글로벌 감염성 해양바이러스 병원체 모니터링 및 프로파일링’ 과제(2017-2011)를 통하여 거대바이러스라는 키워드가 제시되었으며, 위험성 및 시급성이 제안되었음
- 하지만 거대바이러스에 대한 연구는 해류의 유입경로를 따라 원양에서부터 연안 해안으로 거대바이러스 시료를 계절별로 또는 지리적으로 확보해야 하는 과정과 sampling 및 monitoring spot을 설정하는 과정이 소형 과제 또는 자발적인 연구자들의 네트워크만으로는 추진이 불가능하기에 중

제 5 장 연구개발의 타당성 분석

합적인 거대바이러스에 관련 연구는 추진된 바 없음.

- 결론적으로 한국해양과학기술원에서 수행되었던 상기 3개 과제의 결과를 본 기획과제의 선행연구결과로 활용하여 거대바이러스 연구를 체계적으로 수행하고자 함.
- 이로써 미래 국가해양생물의 질병관리 및 해양생태계 보존을 위한 과학적 근거 확보를 본 연구과제의 최종 연구개발 목표로 제시하고자 하며, 산발적으로 수행되어온 거대바이러스 관련 소규모 연구들은 필요에 따라 본 사업 개발시 흡수 또는 포함시켜 진행할 예정임.

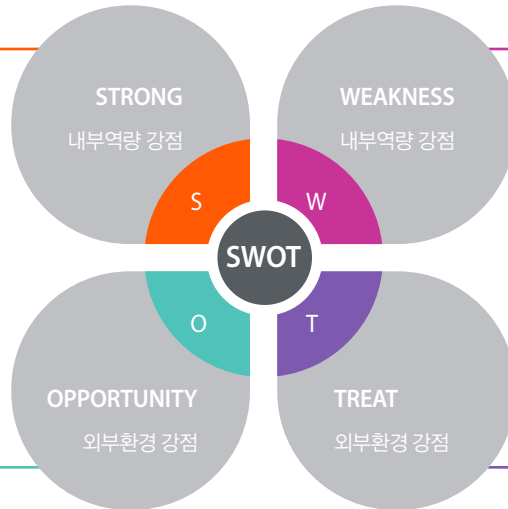
2. 연구개발계획의 적절성

- 해양생태계에서 거대바이러스의 역할 및 확산 평가 기술개발을 연구 목표로 제안된 본 기획과제는 거대바이러스 현황분석 및 모니터링 기술개발, 거대바이러스 검출 및 진단기술 개발, 거대바이러스-숙주 감염 및 세포반응 분석 기술개발, 해양생태계 영향 분석 기술개발, 빅데이터 기반 거대바이러스 정보체계 구축 및 데이터 마이닝 기술개발을 통한 국가대응전략 설계 및 조직화 등으로 구성되어 있음
- 본 기획과제는 최근 기후온난화 등으로 인하여 출현빈도가 높아지고 있는 거대바이러스의 생태계 내 동태 파악 및 거대바이러스로 기인하여 발생할 수 질병을 예방할 수 있는 연구분야를 모두 포함하여 본 과제를 성공적으로 도출하기에 매우 적절한 것으로 판단됨
- 환경변화에 따른 거대바이러스 및 질병의 확산에 대한 연구는 ① 감염성 질병의 탐지 및 규명 프로젝트의 개발 및 향후 발전을 위해 관련 기술의 융합 부분 (영국 기술전략위원회, Technology Strategy Board) ② 다중 숙주, 다중 매개체 시스템으로 인한 매개체 전파 질병의 확산 증가 및 이에 대한 대응 및 대비 부분(영국생태센터-Centre for Ecology & Hydrology) ③ 위험에 대한 정보 교환과 질병 조절을 위한 프레임워크 및 국제적 네트워크 마련 부분으로 각각 그 필요성이 제시되었음
- 국내 최초로 시도되고 있는 본 기획과제의 해양생태계에서 거대바이러스 영향 및 확산 평가기술 개발 연구는 문제해결 지향적인 매우 현실적이고 적절한 연구개발계획으로 사료됨
- 2013년도부터 한국해양과학기술원 내부과제로 수행중인 '남해생태계 이머징 해양병원체 탐색 및 검출기술 개발('13-'15)'이 2015년 12월말에 완료되었으며, 과학기술정보통신부 지원 '해외 유입 감염성 해양바이러스 탐색 및 검출 기술 개발(17-22)'과제가 수행중에 있는 시점에, 본 기획과제가 수행되고 있는 바, 본 연구기획에서는 거대바이러스에 대한 탐색, 진단 그리고 예방에 대한 기초 연구를 이미 수행하고 있어서, 이 연구 목표에 맞춰서 정책목표와 연계된 연구개발 목표와 내용을 도출하여 향후 연구개발 결과의 활용도 및 파급효과를 높일 수 있도록 한 점은 적절한 판단임.

3. SWOT 분석

- ▶ 거대바이러스 탐색 및 진단 기술 연구경험 확보
- ▶ 위해도 평가표 자체 제작 및 다양한 거대바이러스에 대한 위해도 평가 경험
- ▶ GIS기반 해양정보 관리 및 해양지수 개발 전문지식 및 경험 보유

- ▶ 거대바이러스 - 해양생태계 대한 국가 주도의 연구 개발이 없었음
- ▶ 해외 거대바이러스 및 숙주에 대한 연구 경험 부족
- ▶ 거대바이러스 출현 예측을 위한 다양한 환경변수 선정 및 검증의 어려움



- ▶ 법정 전염병 20종에 의한 피해 예측 분석 경험 보유
- ▶ 선박평형수 등을 통한 외래유입 종의 이동과 정착 등에 관한 연구경험과 인력 보유
- ▶ 향후 국가해양생태계 및 위해 관리 시스템과 연계활용 가능

- ▶ 거대 바이러스 국내 해역에의 정착 및 확산에 대한 조사 경험 및 인력 부재
- ▶ 거대 바이러스를 통한 해양생물 감염 가능성 및 생태계 파괴 등에 관한 정보 부재
- ▶ 기존 거대바이러스 조사자료 부재로 모니터링 적진선정의 어려움 내재

해양생태계에서
거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구



A collection of white line-art illustrations of various microscopic organisms, including bacteria, viruses, and fungi, scattered across the top half of the teal background. The background also features a subtle repeating pattern of small, light-colored geometric shapes.

제 6 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 활용방안

제 2 절 기대효과

제 1 절 활용방안

1. 정책적, 산업적 활용방안

- 거대바이러스 DB 구축 및 장기 모니터링을 통해 신생 병원체의 유입 가능성 및 출현 예측, 조기 대응전략 마련
- 국가차원에서의 거대바이러스에 관한 위기대응 및 해양 정책전략 선진화 위치 선점
- 정부차원에서의 거대바이러스 방제 및 저감 정책 수립에 활용
- 신생·외래 유입 거대바이러스의 국내유입 예방/대책 마련
- 정부의 거대바이러스의 관리체계 구축에 활용
- 거대바이러스 종목록과 유전자원을 기초로 한 국가생물자산화 활용
- 정부의 거대바이러스의 대국민 홍보 및 교육 자료로 활용
- 국제사회의 거대바이러스 관련 협약 대응 자료로 활용

2. 학문적 활용방안

- 국제공동연구, 교육 인프라 기반 조성
- 거대바이러스의 국제적(대륙간) 이동 및 전파에 관한 국제공동연구 추진
- 거대바이러스-숙주간 상호작용 메커니즘 연구를 통한 해양생물 의과학 발전 도모
- 거대바이러스 종합적 정보 관리와 위해도 평가서 작성
- 거대바이러스 글로벌 지도 완성을 통한 해양환경 평가연구 방법에 활용
- 거대바이러스 및 숙주 유래 유용물질 개발 연구의 기반으로 활용
- 거대바이러스 진단 기술 및 빅데이터 구축을 통해 국내·외 해양생물 병원체 감염 진단, 장기 모니터링 및 예보에 활용
- 거대바이러스 유래 질병 현황 기술서 작성 활용
- 감염생태지도(또는 질병도)를 통한 환경위해도 평가 연구 방법에 활용

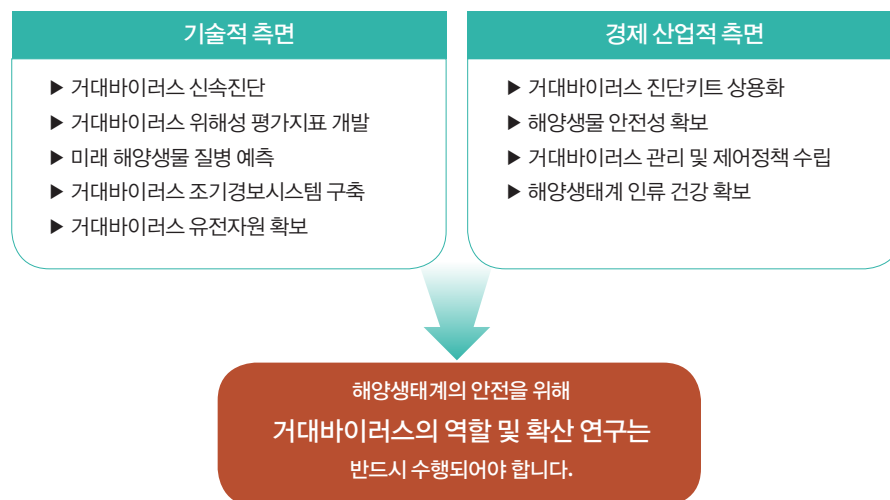
제 2 절 기대효과

1. 기술적 측면

- 거대바이러스에 대한 해양생물의 반응을 측정할 수 있게 하는 바이오마커 연구개발의 발전 기대.
- 거대바이러스 중 동정 센터를 통한 세계 각국 연구자에게 정확한 시료(균주)/동정자료 제공 및 병원학적 특성연구 등 후행 연구에 활용
- 최신 계통분류학적 연구 및 진단 기술을 이용하여 거대바이러스의 신속한 중 동정, 분포, 이동 파악 가능
- 거대바이러스 진단용 분자마커 및 분자생물학적 진단기술을 통해 외래유입 어종, 수입산 선어의 병원체 신속 진단 가능
- 신규 분자마커를 활용한 정확한 중 동정을 통해 거대바이러스-숙주간 상호작용 원리 규명
- 주변 국가들과의 거대바이러스 정보 공유를 통한 국제 공동연구 계기 마련
- 해역별 글로벌 분포지도를 활용한 환경위해성 평가 지표 마련
- 국내 전문가 인력풀(pool) DB화 및 네트워크 구성 및 활용

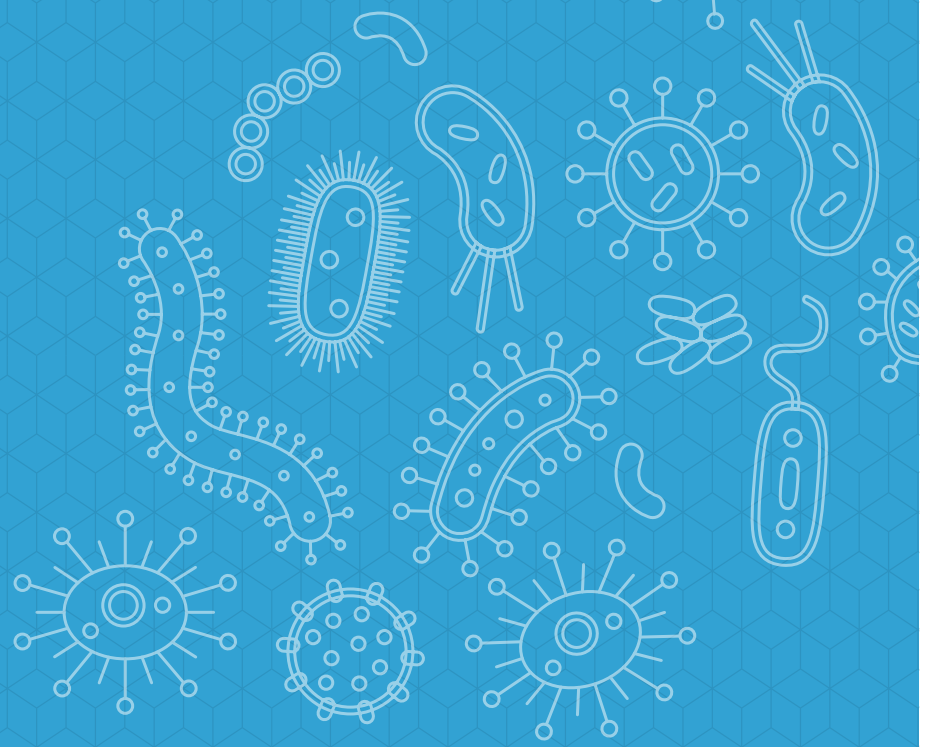
2. 경제 산업적 측면

- 전세계 시장에서 활용가능한 거대바이러스 진단키트 상용화 및 산업화
- 연평균 36.5% 성장하고 있는 세계 바이오칩 시장에서 상위 선점 및 높은 부가가치 창출
- 거대바이러스 자동예찰시스템을 개발을 위한 도구로 사용되며, 이를 활용한 수산물 피해 저감 및 병원체 조기 차단
- 거대바이러스의 인수공통질병 관리 방안 기술 개발 효과
- 거대바이러스 조기 검출을 통한 사회적 비용 절감



해양생태계에서
거대바이러스의 역할 및 확산 기획 연구





제 7 장 참고문헌 및 부록

참고문헌

Abrahão J, Silva L, Silva LS, Khalil JYB, Rodrigues R, Arantes T, Assis F, Boratto P, Andrade M, Kroon EG, Ribeiro B, Bergier I, Seligmann H, Ghigo E, Colson P, Levasseur A, Kroemer G, Raoult D, La Scola B. Tailed giant Tupanvirus possesses the most complete translational apparatus of the known virosphere. 2018. *Nat Commun* 9(1):749

Adriaenssens EM, Cowan DA. Using signature genes as tools to assess environmental viral ecology and diversity. 2014. *Appl Environ Microbiol* 80(15):4470-80

Aherfi S, Colson P, Audoly G, Nappez C, Xerri L, Valensi A, Million M, Lepidi H, Costello R, Raoult D. Marseillevirus in lymphoma: a giant in the lymph node. 2016. *Lancet Infect Dis* 16(10):e225-e234

Aherfi S, Nappez C, Lepidi H, Bedotto M, Barassi L, Jardot P, Colson P, La Scola B, Raoult D, Bregeon F. Experimental Inoculation in Rats and Mice by the Giant Marseillevirus Leads to Long-Term Detection of Virus. 2018. *Front Microbiol* 9:463

Arslan D, Legendre M, Seltzer V, Abergel C, Claverie JM. Proc Natl Acad Sci U S A Distant Mimivirus relative with a larger genome highlights the fundamental features of Megaviridae. 2011. 108(42):17486-91

Bidle KD. Programmed Cell Death in Unicellular Phytoplankton. 2016. *Curr Biol* 26(13):R594-R607

Boughalmi M, Pagnier I, Aherfi S, Colson P, Raoult D, La Scola B. First isolation of a Marseillevirus in the Diptera Syrphidae *Eristalis tenax*. 2013. *Intervirology* 56(6):386-94

Brandes N, Linial M. Giant Viruses-Big Surprises. 2019. *Viruses* 11(5):404

Clerissi C, Grimsley N, Subirana L, Maria E, Oriol L, Ogata H, Moreau H, Desdevises Y. Prasinovirus distribution in the Northwest Mediterranean Sea is affected by the environment and particularly by phosphate availability. 2014. *Virology* 466-467:146-57

Colson P, Aherfi S, La Scola B, Raoult D. The role of giant viruses of amoebas in humans. 2016. *Curr Opin Microbiol* 31:199-208

Gregory AC, Zayed AA, Conceição-Neto N, Temperton B, Bolduc B, Alberti A, Ardyna M, Arkhipova K6, Carmichael M, Cruaud C, Dimier C, Domínguez-Huerta G, Ferland J, Kandels S, Liu Y, Marec C, Pesant S, Picheral M, Pisarev S, Poulain J, Tremblay JÉ, Vik D; Tara Oceans Coordinators, Babin M, Bowler C, Culley AI, de Vargas C, Dutilh BE, Iudicone D, Karp-Boss L, Roux S, Sunagawa S, Wincker P, Sullivan MB. Marine DNA Viral Macro- and Microdiversity from Pole to Pole, 2019. *Cell* 177, 1109-1123

Hingamp P, Grimsley N, Acinas SG, Clerissi C, Subirana L, Poulain J, Ferrera I, Sarmiento H, Villar E, Lima-Mendez G, Faust K, Sunagawa S, Claverie JM, Moreau H, Desdevises Y, Bork P, Raes J, de Vargas C, Karsenti E, Kandels-Lewis S, Jaillon O, Not F, Pesant S, Wincker P, Ogata H. Exploring nucleo-cytoplasmic large DNA viruses in Tara Oceans microbial metagenomes. 2013. *ISME J* 7(9):1678-95

John SG, Mendez CB, Deng L, Poulos B, Kauffman AK, Kern S, Brum J, Polz MF, Boyle EA, Sullivan MB. A simple and efficient method for concentration of ocean viruses by chemical flocculation. 2011. *Environmental Microbiology Report* 3(2):195-202

Kou Z, Li T. Pithovirus: a new giant DNA virus found from more than 30,000-year-old sample. 2014. *Virology* 59(2):71-3

Kutikhin AG, Yuzhalin AE, Brusina EB. GMS Mimiviridae, Marseilleviridae, and virophages as emerging human pathogens causing healthcare-associated infections. 2014. *Hyg Infect Control* 9(2):Doc16

La Scola B, Audic S, Robert C, Jungang L, de Lamballerie X, Drancourt M, Birtles R, Claverie JM, Raoult D. A Giant Virus in Amoebae. 2003. *Science* 299(5616):2033

Larsen JB, Larsen A, Bratbak G, Sandaa RA. Phylogenetic analysis of members of the Phycodnaviridae virus family, using amplified fragments of the major capsid protein gene. 2008. *Appl Environ Microbiol* 74(10):3048-57

Legendre M, Lartigue A, Bertaux L, Jeudy S, Bartoli J, Lescot M, Alempic JM, Ramus C, Bruley C, Labadie K, Shmakova L, Rivkina E, Couté Y, Abergel C, Claverie JM. In-depth study of Mollivirus sibericum, a new 30,000-y-old giant virus infecting Acanthamoeba. 2015. *Proc Natl Acad Sci U S A* 112(38):E5327-35

Monier A, Larsen JB, Sandaa RA, Bratbak G, Claverie JM, Ogata H. Marine mimivirus relatives are probably large algal viruses. 2008. *Virology* 475:12

Philippe N, Legendre M, Doutre G, Couté Y, Poirot O, Lescot M, Arslan D, Seltzer V, Bertaux L, Bruley C, Garin J, Claverie JM, Abergel C. Pandoraviruses: Amoeba Viruses with Genomes Up to 2.5 Mb Reaching That of Parasitic Eukaryotes. 2013. *Science* 341(6143):281-6

Ray JL, Haramaty L, Thyrhaug R, Fredricks HF, Van Mooy BA, Larsen A, Bidle KD, Sandaa RA. Virus infection of *Haptolina ericina* and *Phaeocystis pouchetii* implicates evolutionary conservation of programmed cell death induction in marine haptophyte-virus interactions. 2014. *J Plankton Res* 36(4):943-955

Rosenwasser S, Ziv C, Creveld SGV, Vardi A. Virocell Metabolism: Metabolic Innovations During Host-Virus Interactions in the Ocean. 2016. *Trends Microbiol* 24(10):821-832

Saadi H, Pagnier I, Colson P, Cherif JK, Beji M, Boughalmi M, Azza S, Armstrong N, Robert C, Fournous G, La Scola B, Raoult D. First isolation of Mimivirus in a patient with pneumonia. 2013. *Clin Infect Dis* 57(4):e127-34

Schulz F, Yutin N, Ivanova NN, Ortega DR, Lee TK, Vierheilig J, Daims H, Horn M, Wagner M, Jensen GJ, Kyrpidides NC, Koonin EV, Woyke T. Giant viruses with an expanded complement of translation system components. 2017. *Science* 356(6333):82-85

Sobhy H. A comparative review of viral entry and attachment during large and giant dsDNA virus infections. 2017. *Arch Virol* 162(12):3567-3585

Yasuhiko Kawato, Takafumi Ito, Takashi Kamaishi, Atushi Fujiwara, Mitsuru Ototake, Toshihiro Nakai, Kazuhiro Nakajima. Development of red sea bream iridovirus concentration method in seawater by iron flocculation. 2016. *Aquaculture* 450:308-312

남해생태계 이머징 해양병원체 탐색 및 검출기술 개발 최종보고서. 2015. 한국해양과학기술원

해양병원체 진단 및 예찰시스템 개발 기획연구 최종보고서. 2014. 한국해양과학기술원

부 록

과제별 제안요구서(RFP)

세부사업			기술분야	해양환경
과 제 명	해양생태계에서 거대바이러스의 영향 및 확산			
연구기간	5년	예산정부지원액 (총/당해)	180억/33억 이내	

- 해양생물 집단폐사를 유발하는 원인으로 이상수온, 해양 유류 오염 등 환경학적인 요인이 주요 원인으로 알려져 있었으나, 최근에는 해양병원체(바이러스, 박테리아 및 기생충)에 의한 집단폐사 연구가 진행되면서, 해수에 가장 많은 수(10^{30} 개 이상)가 존재하는 해양바이러스에 대한 관심이 크게 증가하고 있음.
- 최근 들어 전지구적인 온난화가 가속화되면서 지구온난화의 위험성 등에 대한 보도가 크게 증가하고 있으며, 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
- 해양바이러스는 감염물에 있어서는 다른 해양병원체와 큰 차이가 없지만, 감염 시 치료 방법이 존재하지 않아 70% 이상의 높은 치사율을 나타내는 등 위험성이 매우 높으며, 육상병원체에 비해 훨씬 빠른 전파속도를 가지고 있는 것으로 알려져 있음
- 거대바이러스는 해양생태계 파괴 및 질병을 야기할 뿐만 아니라 확산이 빠른 속도로 증가하고 있고, 이러한 확산의 경로 및 이유가 거의 알려져 있지 않으며, 최종적으로 인간 활동에 의한 결과이거나 인류활동에 의해 더욱 악화되고 있음.
- 따라서 해양생물 질병 관련 보고가 급증하고 있어 질병유발 원인 규명 및 제어연구의 필요성이

증가하고 있으며, 전지구적인 지구온난화 및 인간활동의 결과 해양생물 발병 및 민감도가 증가하고 있는 시점에서 거대바이러스에 의한 해양생태계의 영향 및 거대바이러스를 탐색하고 검출할 수 있는 체계적이고 종합적인 연구가 필요함.

나. 연구개발 현황 및 수준

- 거대바이러스 연구는 전세계적으로 기반 기술 개발 단계이며, 지난 10년간 거대바이러스 관련 연구는 15-30편 정도를 유지하였으나, 거대바이러스-해양생태계 및 거대바이러스 감염 관련 연구가 최근들어 증가하는 추세를 보이고 있음.
- 우리나라의 지난 10년간 거대바이러스 관련 기술 수준은 미국, 중국, 프랑스에 이어 4위에 위치하는 것으로 나타났으나, 거대바이러스 연구가 시작단계에 있기 때문에 연구활성화가 이루어진다면 전세계적으로 앞서나갈 수 있을 것으로 평가됨.
- 거대바이러스 특허기술동향조사 결과, 국내의 기술 경쟁력이 저조한 편은 아니며, 시급한 기술 개발이 이루어질 경우, 기술 선점을 통한 시장지배력 확보나 기술 우위를 도모할 수 있을 것으로 평가됨.
- 거대바이러스 특허건수는 전세계적으로 극히 적으며, 진단기술과 생태계 영향에 관한 기술 개발 활성화와 집중적인 연구 개발을 통한 기술 수준 향상이 필요함

다. 연구개발 목표 및 내용

- 최종 목표
 - 국내 및 외래 해양병원체 모니터링, 감염, 세포반응 및 해양생태계 영향 분석
 - 거대바이러스 빅데이터 구축 및 국가대응전략 설계
- 연차별 연구개발 목표 및 내용

	목표	전략성과 및 내용
1년차 (2021)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국내외 거대바이러스 모니터링 및 프로파일링 ▶ 빅데이터 기반 구축 및 대내외 환경분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 메타분석을 통한 국내외 거대바이러스 목록 작성 - 국내해역 및 외래(위도별 및 수산물 기인) 거대바이러스 탐색기술 개발 - 핵산 및 항체 기반 거대바이러스 검출, 감염, 세포반응 기술 검토 및 기반기술 개발 - 해양생태계 통합 모니터링 시스템 기반기술 개발 - GIS 공간정보 및 기초 환경정보 구축

제 7 장 참고문헌 및 부록

	목표	전략성과 및 내용
2년차 (2022)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국내외 거대바이러스 모니터링 및 프로파일링 표준화 ▶ 빅데이터 기반확충 및 해역별 관리수요 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내외 거대바이러스 모니터링 및 목록 작성 - DNA 및 항체기술 기반 거대바이러스 검출기술 개발 - 거대바이러스 감염 및 세포반응 시스템 구축 - 해양생태계 커뮤니티 연관관계 분석 기술 개발 - 거대바이러스 빅데이터 설계 - 거대바이러스 미래 이슈 및 분야 도출
3년차 (2023)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 모니터링 및 프로파일링 고도화 ▶ 거대바이러스 빅데이터 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내외 거대바이러스 채취, 농축 및 증조성 분석 고도화 - 거대바이러스 진단키트 개발 - 거대바이러스-해양생태계 위해도 감염성 및 위해도 분석 - 거대바이러스 모니터링 빅데이터 구축 및 공간분포 특성 분석 - 거대바이러스 정책·법제도 개정안 도출 및 경제적 영향 평가
4년차 (2024)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 검증 기반기술 구축 ▶ 거대바이러스 데이터마이닝 및 종합평가 지수 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 거대바이러스 거동분석을 통한 이머징 거대바이러스 리스트 제시 - 거대바이러스 출현 예측모형 및 종합평가지수 개발 - 거대바이러스 예찰시스템 가이드라인 제시 및 발전전략 수립
5년차 (2025)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 거대바이러스 데이터 마이닝 및 국가대응전략 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 거대바이러스 병원성 검정 매뉴얼 개발 - 거대바이러스 종합정보 서비스 제공 - 거대바이러스 관리 및 활용체계 수립 - 거대바이러스 국가관측 가이드라인 작성 및 기술이전 - 포스트 거대바이러스 과제 도출을 위한 발전전략 수립

라. 연도별 예상정부지원액

(단위: 억원)

분야	2021	2022	2023	2024	2025	계 (단위: 억원)
거대바이러스 모니터링	8	9	8	8	7	40
거대바이러스 진단	5	7	7	6	5	30
감염 및 세포반응	5	7	7	6	5	30
해양생태계 영향	10	11	11	10	8	50
빅데이터 구축	5	6	7	7	5	30
합계	33	40	40	37	30	180

마. 연구결과의 기대효과

- 기술적 측면
 - 분자생물학적 진단기술을 통한 거대바이러스 신속진단 가능
 - 미래 거대바이러스 발병예측 및 조기경보시스템 구축
 - 거대바이러스 위해성 평가지표 개발
 - 거대바이러스 유전자원 확보

- 경제·산업적 측면
 - 거대바이러스 진단키트 상용화 및 산업화
 - 거대바이러스 관리 및 제어정책 수립
 - 해양생태계 및 인류건강 확보
 - 해양생물 안전성 확보

주의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 해양연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.