

PICES FUTURE 과학프로그램에 대응하는 한국 해양연구사업 기획 연구

2010. 3. 10



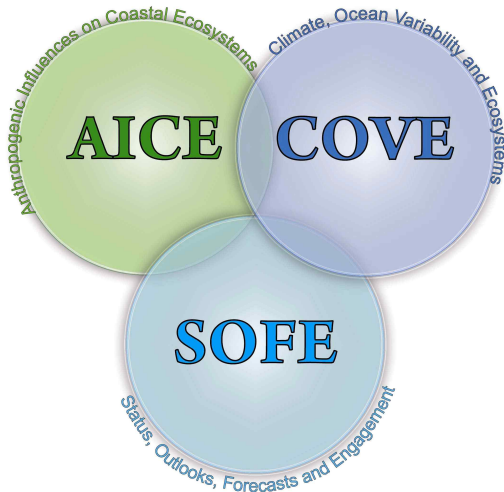
PICES FUTURE 과학프로그램에 대응하는 한국 해양연구사업 기획 연구

PICES 한국위원회



PICES FUTURE 과학프로그램에 대응하는 한국 해양연구사업 기획 연구

2010. 3. 10



PICES 한국위원회
pices@korea.kr

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

본 보고서를 “PICES FUTURE 과학프로그램에 대응하는 한국 해양연구사업 기획 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010. 03. 10

한국해양연구원장

연 구 진

주관연구책임자: 김현영 (한국해양연구원 대외협력실장)

주관연구수행처: 북태평양해양과학기구(PICES) 한국위원회

편집: 정석근 (국립수산과학원), 강영실 (국립수산과학원),
김도훈 (국립수산과학원), 정규귀 (국립수산과학원),
김진영 (국립수산과학원), 박철 (충남대), 장창익 (부경대),
유신재 (한국해양연구원), 정희동 (국립수산과학원),
노영재 (충남대), 정익교 (부산대), 권혁찬 (부경대)

자문: 서영상 (국립수산과학원), 이윤 (국립수산과학원),
김구 (포항공대), 박성쾌 (부경대), 강양순 (국립수산과학원),
유재원 (한국연안환경생태연구소), 윤석현 (국립수산과학원),
이충일 (강릉원주대), 김진구 (부경대), 정일효 (부산대),
최일수 (전남대), 김상일 (오레곤주립대), 김현우 (부경대),
강수경 (국립수산과학원), 김형근 (강릉원주대),
안순모 (부산대), 이상래 (부산대), 옥정현 (부산대),
박상률 (부산대), 강윤희 (부산대), 장찬주 (한국해양연구원),
김상우 (국립수산과학원), 변현숙 (주자연사연구소),
이상지 (주GG21)

- 차례 -

요 약	iii
1. 서론	1
1.1. 배경	1
1.2. 목표와 목적	3
1.2. 세계적인 현황과 추세	7
1.3. PICES FUTURE 접근 전략	9
1.4. 과거 현재 우리나라 연구 상태 요약과 평가 (전체 분야 통합)	12
2. FUTURE 주제 및 현황 분석	21
2.1. 18개 FUTURE KEY QUESTIONS	21
2.2. FUTURE 관련 우리나라 연구 현황	26
2.3. FUTURE 사업 특성 분석을 통한 향후 국내 연구 정리	32
3. 한국 FUTURE 핵심 신규 연구과제	41
3.1. COVE-K	41
3.2. AICE-K	42
3.3. SOFE-K	42
4. 예상성과 및 기대 효과	46
4.1. 국제해양과학에 기여	46
4.2. 국내 사회경제적 기여	46
4.3. 동해/독도 입지 강화	48
5. 참고 문헌	49

부 록	57
부록 1. 핵심 신규과제 리스트	59
부록 2. FUTURE 관련 우리나라 연구현황	75
부록 3. FUTURE 핵심질문과 국내 연구사업 비교	89
부록 4. FUTURE 핵심질문과 과거 연구논문 비교	95
부록 5. FUTURE 관련 접수 연구 제안서	135
부록 6. IFRAME - 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측, 이용 관리	195
부록 7. PICES 조직 구조와 약어 설명	203

요 약

북태평양해양과학기구(PICES)는 2009년부터 북태평양 해양생태계 종합프로그램인 FUTURE (Forecasting and Understanding Trends, Uncertainty and Responses of North Pacific Marine Ecosystems) 과학프로그램을 시작하였다. 이전 PICES 종합과학프로그램인 CCCC (Climate Change and Carrying Capacity, 1996-2006)에서 6개 회원국 중 하나인 우리나라 연구자들 기여도가 낮아 순수과학영역에서 우리나라 위상을 높이지 못함은 물론 해양영토주권과 관련하여 수세에 몰릴 수 있었던 전철을 되풀이하지 않기 위해서 PICES 한국위원회(Ko-PICES)에서는 2009년 7월부터 2010년 2월까지 FUTURE 과학프로그램에 효과적으로 기여하고 또 FUTURE 성과를 우리나라 해양관련 연구 수준을 끌어올리는 기회로 활용하기 위한 국내 사업 발굴을 위한 보고서를 기획해 왔다. FUTURE 과학프로그램은 CCCC에서 했던 대양 해양생태계 연구에서 한걸음 더 나가 인간과 생태계의 상호작용을 다루기 때문에 1) 연안 생태계와 2) 과학자와 대중, 정책담당자 사이의 관리, 홍보, 교류를 핵심 목표로 추가하였다. FUTURE 추진 전략은 3가지 자문위원단을 두는 것인데 1) COVE (Climate, Oceanographic variability and Ecosystems)는 기존 CCCC 에서 다루었던 주제를, 2) AICE (Anthropogenic Influences on Coastal Ecosystems)는 연안 생태계를, 3) SOFE (Status, Outlooks, Forecasts, Engagement) 는 관리/홍보/교류를 다룬다. Ko-PICES 는 3차례에 걸친 관련 연구자들 워크숍과 실무 모임을 통해서 FUTURE 주제와 실행전략을 분석하고 이와 관련한 우리나라 연구 현황과 관련 연구자들 의견을 종합하여 우리나라에서 앞으로 추진해야 할 다음 핵심사업 3가지를 제안한다: 1) 동해 대양저 규모 생태계 연구 (COVE-K), 2) 인간활동과 연안 생태계 상호작용에 관한 연구 (AICE-K), 3) PICES FUTURE 국내 지원 체계 구축 (SOFE-K). 이 핵심사업 3가지가 성공적으로 수행된다면 기후변화와 관련한 우리나라 해양생태계 관리 정책 개발을 지원함은 물론 해양 영토 주권에서 유리한 위치에 올라설 수 있을 것으로 기대한다.

1. 서론

1.1. 배경

북태평양 해양과학기구(North Pacific Marine Science Organization, 약칭PICES, <http://www.pices.int>)는 북위 31° 이북 북태평양 해역 해양수산연구를 촉진하고 국가간 해양수산정책을 지원하기 위한 목적으로 북태평양 연안 국가들이 1992년에 창설한 정부간 기구로 수산, 해양생태계와 환경, 육지와 상호작용, 기후변화와 인간 활동에 따른 해양변화 등을 연구하는데 필요한 관련 정보 수집과 교류를 목적으로 한다. 회원국은 한국, 캐나다, 미국, 일본, 중국, 러시아 6개국이다. PICES라는 이름은 대서양연안국가들이 1902년에 결성한 정부간 해양 연구기구인 ICES (International Council for the Exploration of the Sea <http://www.ices.dk>) [1]에 상응한 태평양 (Pacific) 연구기구라는 의미로 사용하고 있다.

PICES 조직구조는 전체를 총괄하는 Governing Council (GC)이 있고 그 아래 재정행정위원회(F&A, Financial and Administration Committee), 과학평의회 (SB, Science Board), 그리고 사무국이 있다 (부록 7). SB 아래에는 모두 다음 6분야의 상설 과학위원회가 있다:

1. BIO: Biological Oceanography Committee (생물해양학)
2. FIS: Fishery Science Committee (수산학)
3. MEQ: Marine Environmental Committee (해양환경)
4. POC: Physical Oceanography and Climate Committee (물리해양학)
5. MONITOR Technical Committee on Monitoring (관측)
6. TCODE Technical Committee on Data Exchange (정보교환)

이 상설 위원회 외에도 한시적으로 운영하는 다양한 스터디 그룹, 워킹그룹, 섹션, 자문단(AP, Advisory panel)이 있다 (부록 7).

PICES는 1996-2006년에 걸쳐 첫 종합과학프로그램으로서 CCCC (Climate Change and Carrying Capacity)를 성공적으로 수행하였다[2]. CCCC는 또한 기후변화에 대한 해양생태계의 반응을 연구한 국제해양프로그램인 GLOBEC (IGBP 및 SCOR의 후원 프로그램)의 지역프로그램의 일환으로 전세계 해양연구에 큰 영향을 미쳤다. 그러나 한국은 1996년에 가입하여 충분한 참여기회가 있었음에도 CCCC의 성격에 맞는 연구활동 참여가 없었는데 그 가장 큰 이유는 CCCC의 연구 방향에 부합하는 연

구사업이 없었기 때문이다. PICES는 그 동안 CCCC의 후속프로그램으로 FUTURE (Forecasting and Understanding Trends, Uncertainty and Responses of North Pacific Marine Ecosystems)를 기획 준비해 2008년에 FUTURE Science Plan을 승인 하였고 2009년 10월에 한국 제주에서 열린 정기총회에서 FUTURE Implementation Plan이 공식적으로 채택되었다 (그림 1)[3].

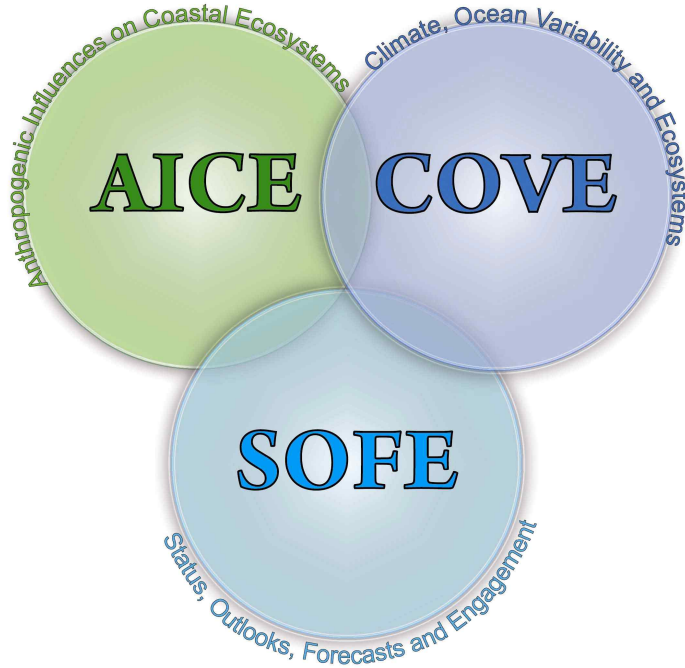


그림 1. PICES FUTURE Advisory panels

한국이 PICES의 가입국으로 활동을 함에 있어 과거 CCCC에서와 같이 소극적인 대응을 하면 많은 문제가 있다고 판단된다. 새롭게 시작되는 과학프로그램인 FUTURE 에서는 보다 적극적으로 참여해야 할 것으로 판단하는데 그 이유는 아래와 같다.

- 1) 기후변화에 따른 우리나라 주변해역 생태계 변동을 예측 평가하여 이에 대응할 수 있는 정책을 개발하고 이와 관련한 국민 홍보와 교육을 할 수 있는 과학적 기반을 구축할 수 있다.
- 2) 정부의 저탄소 녹색성장 정책이 해양 관련 산업에도 반영될 수 있도록 과학적 근거 자료를 마련한다.
- 3) PICES 다른 회원국가들 과학자들과 활발한 교류를 통해서 기후변화와 해양 관련 과학기술 수준을 선진국 수준으로 끌어올리는데 큰 기여를 한다.

- 4) 넓게는 선도적인 PICES 활동을 통해서 한국의 입지를 강화하여 앞으로 국제 기후협약과 해양주권에서 주도권을 행사할 수 있는 토대를 마련할 수 있을 것이다.
- 5) 또한 당면 외교문제로 인식될 수 있는 독도 문제와 동해 표기 문제에도 보다 적극적으로 대응할 수 있다.

PICES 한국위원회는 FUTURE에 우리나라 과학자들이 더욱 적극적으로 참여하여 위의 목표를 달성하게 하기 위해서

- 1) 기존 국내 관련 연구사업을 분석 검토하여 PICES의 FUTURE 프로그램에 연계할 수 있는 방안을 모색하고,
- 2) 현재 우리 나라에서 수행하고 있지 않지만 FUTURE 프로그램에 부합하며 절실히 필요한 새로운 연구 과제를 도출하고,
- 3) 우리 나라 해양과학자들이 국제 과학기구에 소극적으로 참여하던 과거를 벗어나 보다 적극적으로 참여하여 국가 입지를 강화하게 함은 물론 연구역량을 강화시킬 수 있는 보다 실질적인 연계 지원방안을 제시하고자 한다.

1.2. 목표와 목적

1.1.1. PICES FUTURE 프로그램에 기여

이 보고서의 목적은 PICES의 새 종합과학 프로그램인 FUTURE 실행계획과 관련 국내연구동향을 분석 검토하여 FUTURE에 기여할 수 있는 국내 연구사업을 조정 기획하는 것이다. 한국 FUTURE 연구사업은 크게

- 1) 기존에 수행중인 국내 연구 사업을 FUTURE 목적에 맞게 유도시켜 PICES FUTURE 프로그램에 기여할 수 있도록 동기부여와 조정을 하고
- 2) 우리나라에서 부족하거나 가장 필요한 신규 연구사업을 발굴하는 것이다. 신규 연구사업 발굴과 기획은 우리나라 연구 능력 강점을 활용할 수 있는 과제 또는 취약분야를 보강 발전시킬 수 있는 과제로 구분하여 FUTURE에 기여하면서 반대급부로서 FUTURE 성과를 우리나라 해양연구발전에 활용할 수 있도록 한다.

1) 우리나라 연구능력 장점과 취약점

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며, 각 해역의 환경적 특성 또한 매우 다르다. 최근 들어 기후변화가 전지구적 환경문제로 대두되면서 기후변화에 대한 해역

별 반응을 비교 연구하여 그 기작을 이해하고자 하는 노력이 이루어지고 있다. 이러한 관점에서 우리나라 주변 해역은 좋은 모델로써, 우리 연구자가 쉽게 접근 할 수 있어 좋은 연구 강점이 되고 있다. 특히, 생물의 경우, 환경변화에 매우 민감하므로 동, 서, 남해 서로 다른 환경에서의 반응을 비교, 연구할 수 있으며, 또한 기후나 인간활동의 영향에 있어 생물의 반응도 비교, 연구할 수 있어 생태계 반응을 이해하는데 있어 좋은 강점이다 [4].

우리나라 연근해에는 국가적으로 운영되고 있는 장단기적인 모니터링 네트워크가 형성되어 있어 연구기반이 잘 이루어져 있는 편이다. 특히, 연안을 중심으로 이루어진 해양환경, 적조 감시모니터링 등은 생물의 장단기적인 변동을 파악하는데 있어 매우 중요한 역할을 하고 있다. 또한, 근해역 해양변동 모니터링시스템은 해양의 역학적 변동과 더불어 해양생물의 변동을 조사, 연구하는데 있어 국가적 기반이 되고 있다. 장기간에 걸친 모니터링으로 얻어진 기초자료는 기후변화 등에 대한 해양생태계 및 생물의 반응을 이해하는데 있어 좋은 연구 강점이 될 수 있다 [4-13].

인간활동은 연안생태계에 서식지 변형, 오염, 남획 등 여러 가지 측면에서 직간접적으로 영향을 미치고 있다. 주요 영향 중 하나인 서식지 변형(갯벌 매립 등)은 그곳에 서식하고 있는 생물들에 직접적으로 영향을 미친다 [14-27]. 그러나 이에 대한 취약성 및 복원에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다 [28, 29]. 이와 같이 인간활동에 의한 해양생물 다양성의 감소, 생산량의 급감 등에 대응하기 위한 복원 연구는 매우 취약한 것으로 판단된다.

우리나라는 연안역 수질오염과 부영양화, 유해생물과 외래종 문제에 국민들이 큰 관심을 보이고 관련 환경영향평가 사업들도 의무적으로 수행되어졌기 때문에 [30-35] 인간활동에 따른 연안생태계 변화 분야에서 다른 PICES 회원국에 비교해서 크게 뒤지지 않는 연구성과와 역량을 가지고 있는 것으로 보인다.

유형생물과 포유류 분야에서 보면 1990년대 중반 총허용어획량이 도입되면서 수산자원평가에 대한 표준화된 절차가 개발되고 어장이나 생태계 건강도를 나타내는 지표가 개발되고 있는 중이다 [36]. 또 금지체장과 금어기 설정을 위한 어류 성어의 성장이나 성숙에 대한 기초적인 연구도 비교적 꾸준히 이루어져왔다 [10, 37-50]. 또 수십 년 이상 누적된 어획 통계자료를 가지고 과거 기후변화와 상관성을 찾는 연구들도 비교적 활발한 편이었다 [7, 12, 25, 51-54]. 그러나 기후변화가 유형생물에 미치는 프로세스에 대한 연구는 크게 부족하다. 특히 유형생물이 물리적 환경 변화에 가장 크게 영향을 받는 초기(난자치어) 생활사에 대한 연구가 다른 PICES 회원국에 비

교하여 크게 부족하여 기후변화가 어류의 가입과 어획고에 미치는 과정을 제대로 밝히고 있지 못하다 (그림 2). 물리 환경 변화를 예측해주는 해수순환모델에 기반을 둔 유영생물의 가입과 회유를 예측하는 모델 개발은 다른 PICES 회원국에서는 활발하게 이루어지고 있으나 국내에는 거의 전무하다 (그림 3). 이런 모델의 초기 자료가 되는 산란장 분포 연구는 멸치와 정어리 등 표층부어류에 한정되어 있다 [55, 56]. 우리나라 연안역은 근세기 이후 어업기술의 발전과 수산물에 대한 수요의 증가로 과도한 어획이 이루어져서 연안 산란장이 크게 손실되었다. 그에 따라 자원회복프로그램의 일환으로 해조장 조성 및 치어방류 등을 통하여 서식처 복원을 추진하고 있으나, 그 효과의 측정에는 과학적인 기법의 발전이 필요하다. 특히 연안역 산란장의 분포와 형성/분산과정에 대한 생물/물리모델에 대한 연구가 과학적으로 이루어진다면 국가적 생물자원관리의 차원 뿐 만 아니라 인접국간 유영생물이입과 이산회유에 따른 분쟁을 예방하는 효과도 있다. 특히 동중국해에서 산란되어 우리나라연안으로 수송되어 가입되는 유영생물이나 우리나라 동해와 서해에서 인접국간 회유하는 어종들을 대상으로 PICES를 통해서 중국 일본, 러시아와 공동연구를 할 필요가 있다 (그림 4). 그러나 해양영토와 어업권을 둘러싸고 인접국가간 자료 공유를 꺼리기 때문에 앞으로 FUTURE 과학프로그램에서 큰 걸림돌로 작용할 것으로 보인다.

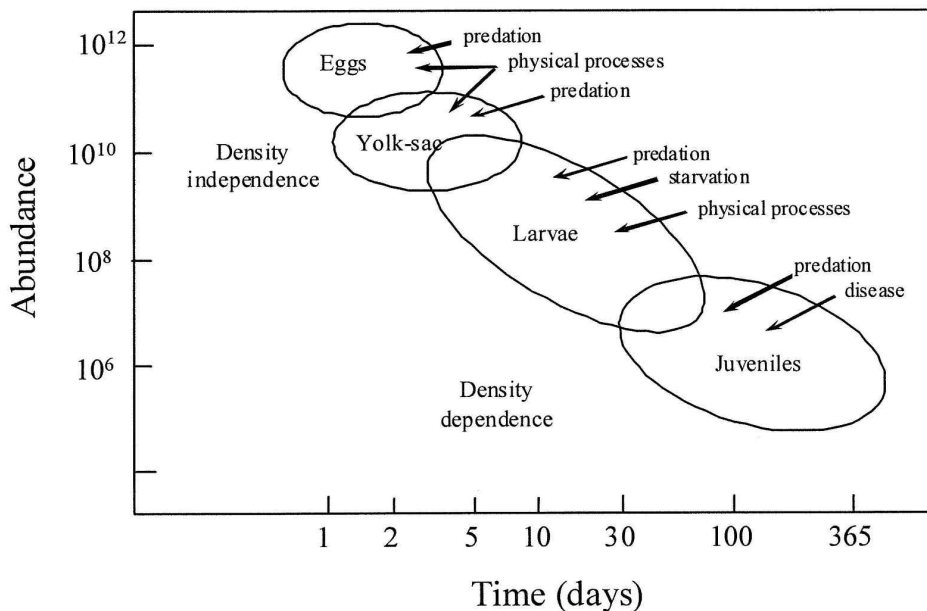


그림 2. Multi-stage recruitment processes.

Individual-based model

Figure 1. Linkage of individuals to aggregate state variables in IBMs. In animal ecology, the individuals are usually organisms. In plant ecology, the individuals may be organisms or small habitat patches. Some models represent habitat patches and movement of individual organisms.

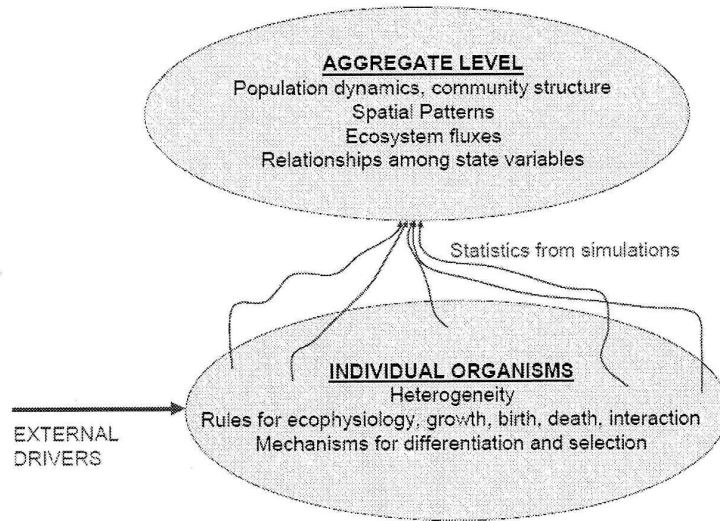


그림 3. Scheme of individual-based model.

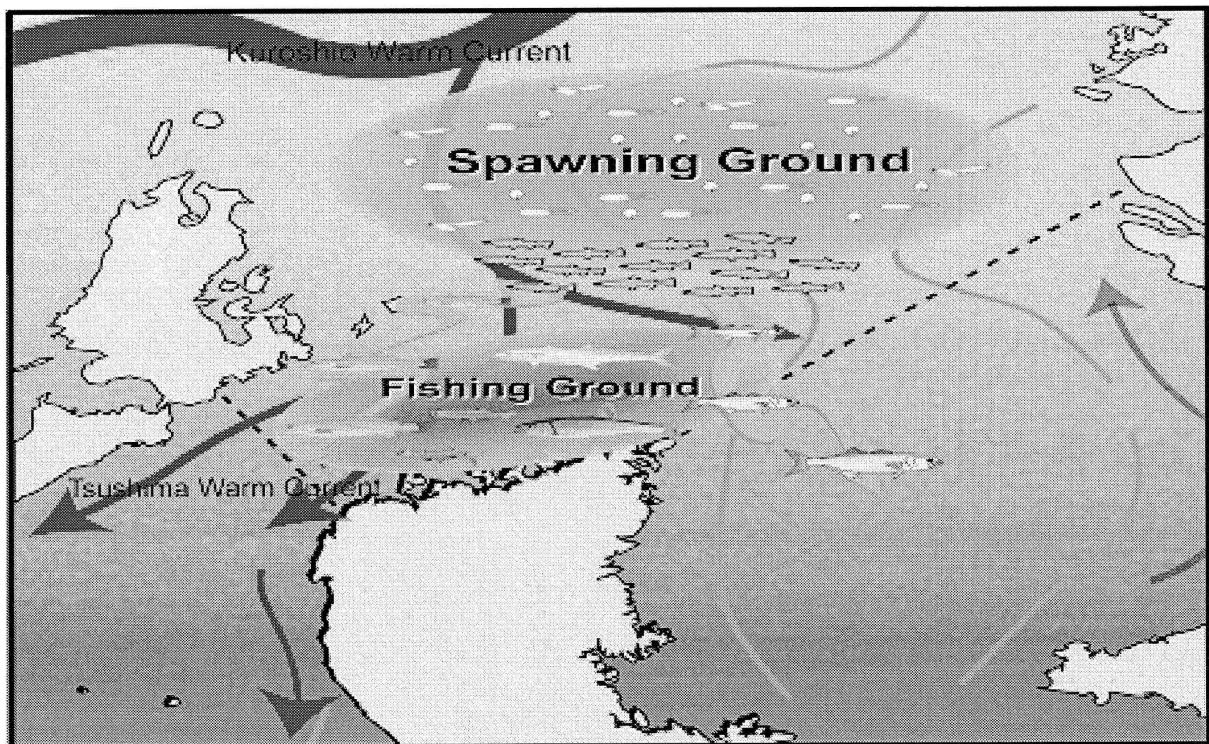


그림 4. East China Seas as spawning grounds for major fisheries species in Korea.

우리나라는 인터넷을 비롯한 IT 산업이 비교적 잘 발달되어 해양연구 자료를 공유하고 관련 과학자는 물론 일반 대중들을 대상으로 연구 결과를 홍보하고 피드백을 효과적으로 받을 수 있게 해주는 토대인 정보관리기술 분야에서도 다른 PICES 회원국과 비교해서 우위를 보일 것으로 보인다.

마지막으로 PICES 회원국가에 비교해서 우리나라 해양연구분야에서는 학제간 협동연구가 부족하다. 특히 학제간 연구가 필요한 생태계 모델 분야에서 미국이나 유럽에 비교해서 그 기술 수준이 크게 뒤떨어져 있다. 그러나 최근 우리나라 정부에서도 저탄소 녹색정책을 적극적으로 추진하고 또 국제적으로 홍보하고 있으며 학제간 융합연구를 적극 권장하고 있으므로 PICES FUTURE 과학프로그램은 기후변화와 관련하여 우리나라 해양 관련 융합 연구를 본격적으로 시작하는데 큰 도움이 될 것으로 전망된다.

1.2. 세계적인 현황과 추세

1996-2006년 동안 PICES가 수행한 종합과학프로그램 CCCC의 기본 목표는 기후변화가 북태평양 생태계 구조와 각 먹이단계별 주요 종 생산성에 미치는 영향을 연구하는 것이었다. 구체적으로는 다음 4가지 이슈를 다루었다.

1. 물리적 요인: 기후변동의 특징은 무엇인가? 수십 년 주기 패턴을 알아낼 수 있는가? 기후변화는 언제 어떻게 일어나는가?
2. 하위영양준위의 반응: 북태평양 한대 해역 각 해양생태계에서 1, 2차 영양준위 생물은 생산성, 종/크기 구성에서 기후변화에 어떻게 반응하는가?
3. 상위영양준위의 반응: 상위영양준위 생물은 생활사 패턴, 분포, 생존율, 개체군 변동에서 기후변화에 직간접적으로 어떻게 반응하는가?
4. 생태계 상호작용: 태평양 아극지역 생태계는 어떻게 구성되는가? 먹이사슬단계에서 아래에서 위로 가는 동인에 전적으로 의존하는가? 아니면 먹이사슬 단계별 상호작용이나 위에서 아래로 가는 효과들도 중요한가?

CCCC는 이런 목표들을 달성하기 위해 여러 태스크팀을 구성하여 워크샵을 여러 번 개최하여 그 결과들은 PICES 보고서나 Progress in Oceanography와 같은 학술지를 통해서 출판하였다. CCCC 성과를 종합하는 일은 2004년 하와이 호놀룰루에서 열린 PICES 13차 연례회의와 2006년 4월 CCCC 종합 심포지엄을 통해서 이루어졌다. CCCC 성과를 종합하는 일은 쉽지 않았지만 이를 통해서 배운 교훈과 시행착오

들을 토대로 다음 종합프로그램인 PICES FUTURE가 시작되는 계기가 되었다.

기후변화와 관련하여 유럽과 미국에서는 ICES를 중심으로 관련 해양수산연구를 해오고 있는데 최근에는 자연영역인 해양생태계 뿐 만 아니라 인간영역인 사회경제학적인 분야도 포함시켜 기후변화에 따라 생태계와 인간경제활동이 어떻게 상호작용할지도 분석하고 전망하는 복합적 생태계 모델을 개발해오고 있는 중이다 [57] (<http://web.pml.ac.uk/quest-fish/>). PICES도 이런 흐름에 맞추어 인간의 사회 경제 활동을 해양 생태계에 포함시키는 FUTURE 과학프로그램을 기획하고 시작했다 [58].

해양생물 종다양성이 현재와 미래의 국가자산이라는 인식이 세계적으로 증폭되면서, 각국에서는 자국의 해양생물 종다양성을 확보하고 보존·관리하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 특히, 기후변화, 인간활동의 영향 등에 대한 생태계 반응 중 해양생물 종다양성의 변화는 중요한 생물학적 반응으로 주목받고 있다. 국제적으로 Census of Marine Life 등이 이러한 목적으로 운영되고 있다.

해양생물은 물리나 화학적 인자에 비교하여 기후나 환경변화에 민감하게 반응한다. 따라서 해양생물 중 생태 지표종을 개발하여 복잡하게 구성되어 있는 생태계의 반응이나 변화를 생물지표종의 변화로써 이해하고자 하는 연구가 추진되고 있다. 미국 EPA(United States Environmental Protection Agency)의 경우, 하구언을 중심으로 한 대표적인 4개 연안해역에서 생물지표를 개발하기 위한 연구를 수행하였으며, 이를 연안생태계 평가에 활용하고 있다.

이외에 최근에는 CO₂저감을 위한 하나의 목적으로 해조류 등으로 바다숲을 조성하고 이로써 CO₂를 조절하고자 하는 연구들이 국가적 차원에서 기후변화에 대한 대응 방안으로 추진되고 있다. 또한, 저차영양단계 생물의 생산과 변돈 등에 대한 연구 해양에서의 생물생산의 바탕이 되므로 지속적으로 수행되고 있다.

현재까지 세계적으로 진행된 해양생물자원에 대한 사회경제연구를 살펴보면, 생태계 변화와 사회경제분야 연구가 직접적으로 연관되어 이루어진 연구는 거의 진행되지 않고 있다. 그나마 생태계 변화를 고려한 연구에 있어서도 사회경제분야 연구가 병행되지 않거나, 계량적 분석 없이 서술적으로만 설명하는데 그치고 있다. 특히 가장 기본적인 어업생산함수 추정에 관한 연구에 있어서도 생태계 변수는 현재까지 고려되지 않고 있는 실정이고, 단순한 잉여생산량 모델이나 다소 응용된 모델만이 사용되어 왔다. 하지만 해양생태계 및 기후 변화 등에 따라 생태계 변수를 고려한 연구의 필요성이 증가하고 있으며, FAO나 OECD 등의 국제기구에서 이에 대한 연구를 본격화 하고 있다.

1.3. PICES FUTURE 접근 전략

FUTURE 프로그램의 기본 목적은 북태평양 생태계의 미래와 인간활동으로 인한 충격을 이해하고 공유하는 것이다. FUTURE 프로그램은 해양 생태계에 미치는 기후 영향에 대한 이해 증진을 목표로 하는 이전 연구 중 하나인 PICES/GLOBEC의 기후 변화와 수용력(CCCC: Climate Change and Carrying Capacity, 1996-2006) 프로그램에서 발전되었다. FUTURE 실행의 큰 목표는 크게 2가지로 나눌 수 있는데 1) 기후 변화와 인간활동이 해양생태계에 미치는 영향을 더 이해하는 것, 2) 생태계 연구결과물을 해석, 발표, 검토, 배포, 평가하고 관련 기관과 관심이 있는 사람들이 참여할 수 있게 하는 것이다 [3]. PICES FUTURE 실행계획에서는 이 2가지 목표를 다음 표제로 다루고 있다:

- 목표 1: 북태평양 생태계 변화를 결정하는 과정의 이해
- 목표 2: 생태계 상태보고서, 전망, 예보와 연대

PICES에서는 이 목표들을 달성하기 위해서 새로운 과학 위원회나 스타디 또는 워킹그룹을 만들지 않고 기존 조직에 3가지 자문단을 새롭게 두어 기존 활동을 새로운 FUTURE 목표에 맞도록 유도하도록 한다 (그림 5). 목표 1을 위해서 COVE와 AICE라는 자문단을 두고 목표 2를 위해서는 SOFE (Status, Outlooks, Forecasts, Engagement) 라는 자문단을 둔다.

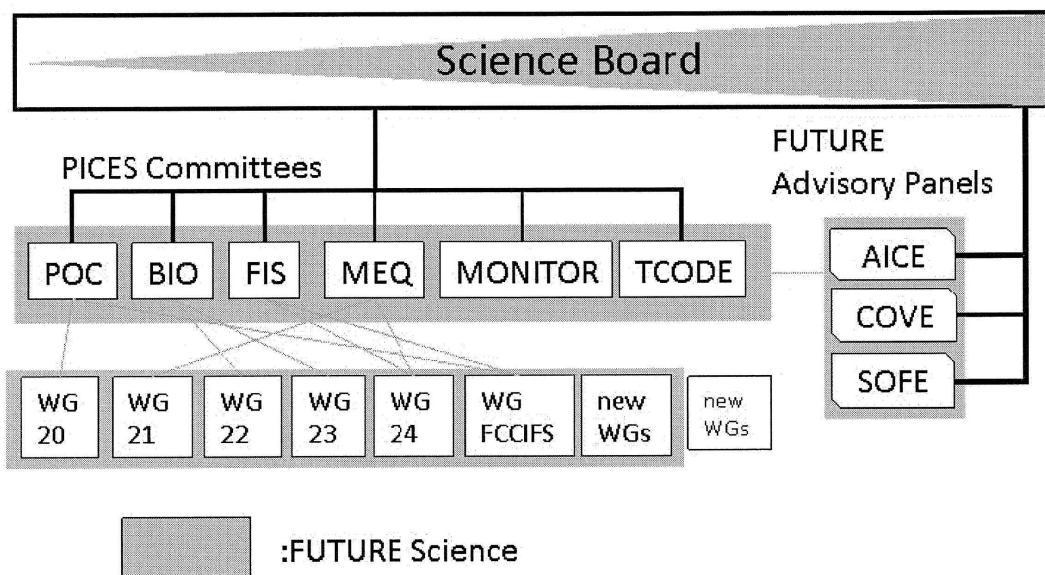


그림 5. PICES FUTURE 구조

COVE는 Climate, Oceanographic variability and Ecosystems (기후, 해양학적 변동과 생태계) 의 약어로서 기존 CCCC처럼 기후와 해양환경 변동에 따른 생태계 변화를 다룬다. AICE는 Anthropogenic Influences on Coastal Ecosystems (인간활동이 연안생태계에 미치는 영향)을 나타내고 기존 CCCC가 외해에 치중한 것과는 달리 인간활동 영향을 크게 받는 연안 지역 생태계 연구를 강조한다. 목표 1을 위해서 PICES는 FUTURE 핵심질문 3개를 내어놓았다 (표 1).

표 1. PICES FUTURE 3가지 핵심질문.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 자연적인 그리고 인위적인 영향에 대한 생태계의 내적인 탄력성과 취약성을 결정하는 것은 무엇인가? 2. 생태계가 자연적인 그리고 인위적인 영향에 어떻게 반응하며, 미래에는 어떻게 변하게 될 것인가? 3. 인간의 활동이 어떻게 연안 생태계에 영향을 미치며, 사회는 이와 같은 생태계의 변화에 의해서 어떻게 영향을 받는가? |
|--|

여기서 핵심질문 2는 COVE와, 핵심질문 3은 AICE와 특히 관련이 높은 분야이나 활동을 할 때는 위 3가지 핵심질문은 모두에 해당한다.

AICE가 먼저 고려해야 할 이슈는 다음과 같은 것들이다.

1. **과거연구:** 빈산소, 부영양화, 화학적 오염, 어획과 관련된 군집이나 생물크기 구조 변이와 같은 인간활동에 따른 과거 연안생태계 변화와 인간사회가 받은 영향을 종합적으로 이해.
2. **지표생물:** 특정 인간활동과 생물군집 내적 변화에 민감한 생물종의 반응을 과거자료분석, 모델개발, 현장조사, 실험과 기작 연구 등을 통해서 비교.
3. **연안생태계변화와 인간사회의 상호작용:** 부영양화, 오염, 어획과 같은 인간활동 압력이 계속되면 앞으로 연안해양생태계가 어떻게 바뀌고 이런 변화들은 어떻게 인간 사회에 영향을 줄 것인지를 이해. 불가피한 생태계 변화에 대해서 인간사회가 어떻게 탄력성을 유지하고 이런 생태계 스트레스를 완화시킬 수 있게끔 어떤 사회적 수단을 선택할 것인지 평가.

COVE가 먼저 고려해야 할 이슈는 다음과 같은 것들이다.

1. **민감한 생물종과 프로세스:** 생태계 교란에 민감한 생물종과 프로세스를 파악. 여기서 교란이라는 것은 물리해양학적 장기변동에서 연단위 주기 (ENSO) 또는 10년 단위 주기 (PDO, NPGO)를 가지는 변동, 자연적인 기후변화와 온실

가스 효과의 상호작용, 폭풍과 쓰나미와 같은 지역적 또는 단기간의 사건을 말한다.

2. 생태계 탄력성: 외부 압력과 교란에 대한 생태계 내적 탄력성을 평가하고 계절변화 영향을 통해서 이런 생태계 반응이 어떻게 증폭되거나 반대로 완충될 수 있는지를 이해. 여기서 계절변화란 물리학적 조건 (가령 용승 시기 변화), 화학적 조건 (가령, 빈산소, 부영양화, 해양산성화), 먹이사슬 변동과 같은 요인의 계절변화를 말한다.

AICE와 COVE 가 공통으로 먼저 고려해야 할 이슈는 다음과 같은 것들이다.

1. 자연 또는 인간활동에 따른 교란이 생태계에 어떻게 전파되는지에 대한 이해.
2. 북태평양 해양생태계의 핵심종(key species)개념이 교란에 민감한 정도와 어떤 관련이 있는지 이해.
3. 해양 먹이사슬에서 교란효과들을 증폭 또는 완충시키는 생물 또는 프로세스를 파악하고 어떤 스케일과 정도에서 교란이 되돌릴 수 없는 생태계 변화를 일으키는 지 평가.
4. 교란된 생태계가 복원 가능한지에 대한 진단과 평가 그리고 복원 기술 개발이 가능한지 에 대한 이해

목표 2를 위해서 만든 SOFE는 각 회원국 과학자들 사이 정보 공유를 촉진하고 관련 기관과 대중들에게 효과적으로 연구성과를 알림은 물론 나가서는 생태계 관리까지 관여할 수 있도록 하는 것을 목적으로 삼는다. 기존 PICES 기술위원회중 MONITOR와 TCODE 분과가 SOFE와 밀접한 관련을 갖는다. FUTURE의 결과물은 기본적으로 1) 상태 보고서, 2) 전망, 3) 예보라는 3가지 층으로 구성되어야 한다. 기존 CCCC와 비교해서 전망과 예보가 강조되는데 기후변화라는 것이 앞으로 변화를 예측하는 것에 초점을 맞춘다면 마찬가지로 FUTURE(미래)라는 말이 암시하듯 기후변화에 따른 북태평양 해양생태계 미래를 미리 그려보고 이에 대비할 수 있도록 기여하자는 것이 FUTURE의 가장 중요한 목적이라 할 수 있다. FUTURE에서 전망(outlook)은 예측 정확도 수준이 낮은 정성적인 예측이 될 것이며, 예보 (forecast)는 정량적인 예측이라고 볼 수 있다. 또 FUTURE 목표에서 특별히 연대(engagement)라는 말을 넣은 것은 대서양의 ICES에서는 연구성과들이 바로 해양생태계와 수산자원 관리 정책과 직접적으로 연결되지만 PICES에서는 그 동안 순수연구분야에만 머문 측면이 있어서 앞으로 PICES에서도 과학연구의 결과를 사회가 이용할 수 있게 하려는 것이다. 따라서 해양과 수산 이해당사자들에게 FUTURE 성과물을 배포하고 서로

의견을 나누는 통로를 마련하는 것은 궁극적으로 기후변화라는 이슈와 맞물리면서 해양생태계와 수산관리에 PICES가 기여할 수 있는 초석이 될 것이다.

COVE, AICE, SOFE 3가지 자문단 외에 이 셋을 총괄할 수 있는 과학운영위원회를 따로 만드는 것이 아니라 기존 PICES 과학평의회(Science Board)에서 맡는다 (그림 1)

1.4. 과거 현재 우리나라 연구 상태 요약과 평가

국내 해양생태계 관련 기존 국내 연구는 개체군이나 군집, 나아가서 생태계의 현재와 과거를 분석하는 연구는 많으나 앞으로 변화를 예측하는 분야는 크게 취약하다. 종이나 개체군, 또는 군집의 현재 상태를 보고하고 기술하는 기초적인 연구가 대부분이었으나 최근에는 관련 생물 변화를 기후변화와 같은 환경변동과 연관성을 찾기 위해 과거자료를 토대로 분석하는 연구보고와 논문들이 점점 많이 나오고 있다 (부록 4).

해양 생태계 변화를 예측하는 분야는 환경영향평가 관련 용역 연구가 대부분인 실정이며 엄밀한 과학적 검정을 요구하는 국제학술 논문으로 나가는 경우는 드물다. 따라서 환경영향평가에서 쓰인 방법과 도출된 결과가 다른 국내외 과학자들의 비평을 통과할 수 있도록 유도하는 것이 환경영향평가의 수준과 신뢰성을 향상시킬 뿐만 아니라 우리나라 해양관련 학문 수준을 높이는데 필요하다고 본다.

1.4.1. 수산학

기후변화에 따른 유영생물 개체군이나 군집 변화 연구들이 상관관계 평가에만 머물고 프로세스와 인과관계 연구까지 가지 못한 가장 큰 이유는 물리환경변화에 민감하고 가입과 어획고에 결정적인 초기생활사 연구가 부족했기 때문이다 (그림 2). 따라서 생태계에서 하향적 (top-down) 조절을 맡고 있는 상위영양준위 유영생물이 기후변화에 어떻게 민감하게 반응하는가를 연구하기 위해서는 산란장과 난자치어 연구가 필수적이며, 지속적인 모니터링 사업으로 추진할 필요가 있다.

또 기후변화와 관련하여 생물 변화를 예측하는데 필수적인 관련 모델, 특히 해양 물리와 환경변화를 반영할 수 있는 생물-물리 결합모델 (그림 6)에서는 PICES 다른 회원국에 비교해서 그 수준이 20년 정도 뒤떨어진 것으로 보인다. 그 가장 큰 이유는 초기생활사에 대한 자료가 부족하여 프로세스 중심의 연구가 이루어지지 못한 것이며 다음으로는 학제간 공동 연구가 부족했기 때문이다.

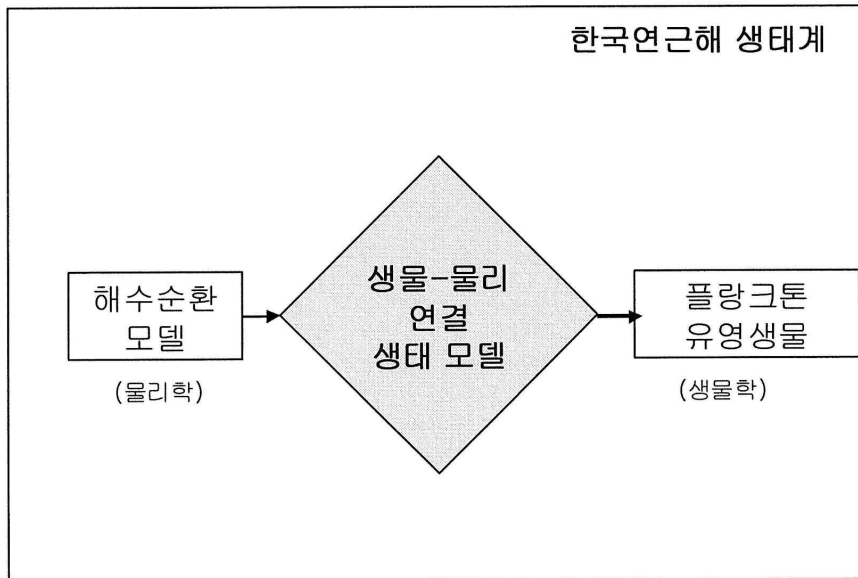


그림 6. Scheme of bio-physical coupling model.

기후변화에 따른 우리나라 연근해 유영생물 변화를 평가하고 예측하기 위해서는 해양물리학자와 생물학자들이 활발한 공동연구를 통해서 우선 초보적인 생물-물리 결합 모델을 개발하는 것이 급선무이다. 그러나 우리나라는 협동 연구를 하는 전통이 부족하여 최근에는 정부에서도 융합연구를 적극 장려하고 있기 때문에 이에 맞추어 물리와 환경 모델 전문가와 유영생물 전공자들이 활발한 그룹 활동을 통해서 팀워크 기술을 배양하고 한국 실정에 맞는 관련 모델을 개발할 수 있도록 동기를 제공할 필요가 있다. 우리나라 관련 연구자들이 생태계 모델 관련 해외 과학자들과 적극 교류할 수 있도록 관련 프로그램을 개발 확대하고, 필요하면 재외 우수인력을 적극 유치할 필요가 있다. 아울러 모델 검증과 개선에 필요한 양질의 관측 자료를 제공할 수 있도록 MONITOR 관련 사업과 예산을 확장할 필요가 있다

기후변화와 관련하여 수산정책을 어떻게 펼 것인가에 대한 과학적 조언을 해줄 수 있는 생태계 기반 수산자원관리에 대한 연구는 일부 이루어지고 있다 [36]. 생태계 상태와 건강도를 나타내는 지표 개발, 다양한 시나리오에서 이 지표들이 어떻게 변할지 내다보는데 필요한 모델 개발, 여기서 나온 결과들을 정책에 반영할 수 있는 제도적 구성에 대한 연구도 나와 있다 (부록 6). 그러나 제도적 구성에서 필수적인 사회경제분야는 관련 모델에 포함되고 있지 않으나 전통적으로 수산분야는 사회경제분야와 밀접한 협동연구를 해왔기 때문에 앞으로 생태계 기반 관리를 위한 모델 개발에서 두 분야 국내 전문가들의 활발한 교류가 기대된다.

기후변화와 관련하여 1990년대 말부터 미국과 유럽에서는 생태계 기반 수산관리에 관한 다각적인 연구가 이루어지고 있으며 PICES FUTURE도 궁극적으로는 생태계 기반 관리에 관여하는 것을 장기적인 목표로 두고 있다. 해양 생태계가 외부로 받는 인위적 또는 자연적 충격에 어떻게 변화 대응하며, 이 충격을 완충시키거나 증폭시키는 생태계 내부 생물이나 프로세스는 무엇이며 또 앞으로 생태계가 외부 변화에 어떻게 대응 변화할지를 예측하는 분야는 취약한 것으로 나타났다. 이와 관련하여 최근에는 우리나라 해역의 생태계 구조와 기능을 파악하고, 어업 등 인간활동 및 기후변동에 따르는 생태계 구조·기능의 변화와 수산자원 변동을 평가하기 위한 생태계 기반 평가, 예측, 이용 관리 모델이 개발되어 우리나라의 어업과 생태계에 부분적으로 적용이 되기 시작했다 [36] (부록 6). 그러나 이런 생태계와 인간사회가 어떻게 상호작용하는지, 또 앞으로 어떻게 변할지 예측하는 사회 경제학적인 연구는 거의 전무한 실정이다.

국제적 연구 동향과 마찬가지로 국내 연구에 있어서도 독자적인 사회경제적 연구만이 행해져 왔다. 자연과학적인 연구와 융합됨이 없이 수산업 생산부문에서는 주로 사회경제적인 지표를 이용하거나 간단한 어획량 및 어획노력량 자료만을 이용하여 기초적인 생산함수를 추정하거나, 기초적인 잉여생산량 모델을 기반으로 한 생물경제모델(bioeconomic model)을 구축하여 생물학적 변화와 경제적인 변화를 분석한 연구가 행해져 왔다 [59-64]. 그리고 수산물 소비부문에 있어서는 수요함수를 추정하여 소비 변화에 대한 예측을 주로 행하였고 [65-68], 이 외 제도적 연구 [59], 어촌사회학적 연구 [69], 수산보조금 등의 통상적인 연구 [61, 70]가 독자적으로 진행되어 왔다.

그나마 생태계 변화를 고려한 연구에 있어서도 사회경제분야 연구가 병행되지 않거나, 계량적인 분석이 없이 서술적으로만 설명하는데 그치고 있다. 특히 가장 기본적인 어업생산함수 추정에 관한 연구에 있어서도 생태계 변수는 현재까지 고려되지 않고 있는 실정이고 [71-73], 단순한 잉여생산량 모델만을 바탕으로 하고 있다. 즉 기존의 어업생산함수의 추정은 투입량과 산출량에 기초를 둔 추정 방법으로 생태계 기반의 환경 변수는 고려되지 않고 있는 것이 대부분이다. 또한 어업자원관리를 위한 생태경제모델(Bioeconomic Model) 분석에 있어서도 어획량 및 어획노력량 자료를 바탕으로 한 자원동태모델이 고려되고 있으나, 정작 생태계 변화에 모델을 바탕으로 한 분석 및 연구는 지금까지 진행되지 않았다. 하지만 수산업에 있어서 가장 중요한 변수는 해양생태계의 변화로서 이러한 환경 변수를 제외하고는 그 예측이

정확하다고 할 수 없을 것이다. 이러한 생태계 기반의 연구와 병행된 사회경제분야 연구가 진행되지 않음에 따라 이에 따른 어업생산 및 시장구조 변화 등에 대한 예측을 위한 연구 역시 전무한 실정이다. 따라서 기존의 연구에서 배제된 해양생태계 변수를 적용하여 전통적인 사회경제분야 연구방법을 응용하고, 향상시켜나갈 필요성이 크다.

1.4.2. 생물해양학

해양생물은 유영생물을 제외하면 크게 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저서생물로 나누어 볼 수 있다. 전체적으로 볼 때, 모니터링 네트워크에서 얻어진 출현관련 자료 외에는 대부분 국지적인 연안해역에서 단기간에 걸친 일시적인 조사에 의하여 생산된 자료가 주를 이루고 있다. 그리고 이러한 결과는 몇몇 주요 환경요인(수온, 염분, 영양염 등)과 비교 분석되었으나, 물리적-생물학적으로 연계 지어 심도 있게 분석되지는 못한 것으로 나타났다. 식물플랑크톤 (그림 7)과 동물플랑크톤은 국가모니터링네트워크운영 (그림 8)으로 장기간에 걸친 체계적인 자료가 축적되어 있어 기후변화에 따른 변화 등을 파악하는데 있어 좋은 자료로 활용되고 있다. 특히, 동물플랑크톤의 경우, 북태평양기후체제전환과 관련하여 반응하는 것으로 나타나, 우리나라 주변해역의 생태계가 기후에 반응하는 것을 나타내는 좋은 예시가 되고 있다. 식물플랑크톤의 경우, 적조 원인생물 및 적조 발생상황을 파악하기 위한 것으로 적조 발생의 장단기 특성을 이해하는데 좋은 자료가 되고 있다. 이러한 조사결과들은 궁극적으로 인간활동 및 기후변화로부터 해양생태계가 어떻게 반응하며, 특히 생물학적 반응을 이해하는데 주요한 역할을 한다. 그러나 이러한 생물의 변화가 기후변화나 인간활동의 영향과 어떠한 기작에 의하여 반응하는지 등에 대한 과정 연구가 매우 부족하다. 따라서 예측이나 모델개발 등의 다음 단계의 연구가 매우 미흡한 실정이다.

해양생물 중 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저서동물에 관하여 보다 상세하게 설명하였으며, 또한 해양생물과 관련하여 최근 중요한 이슈로 부각되고 있는 분야에 대한 부분을 좀 더 상세히 설명하였다.

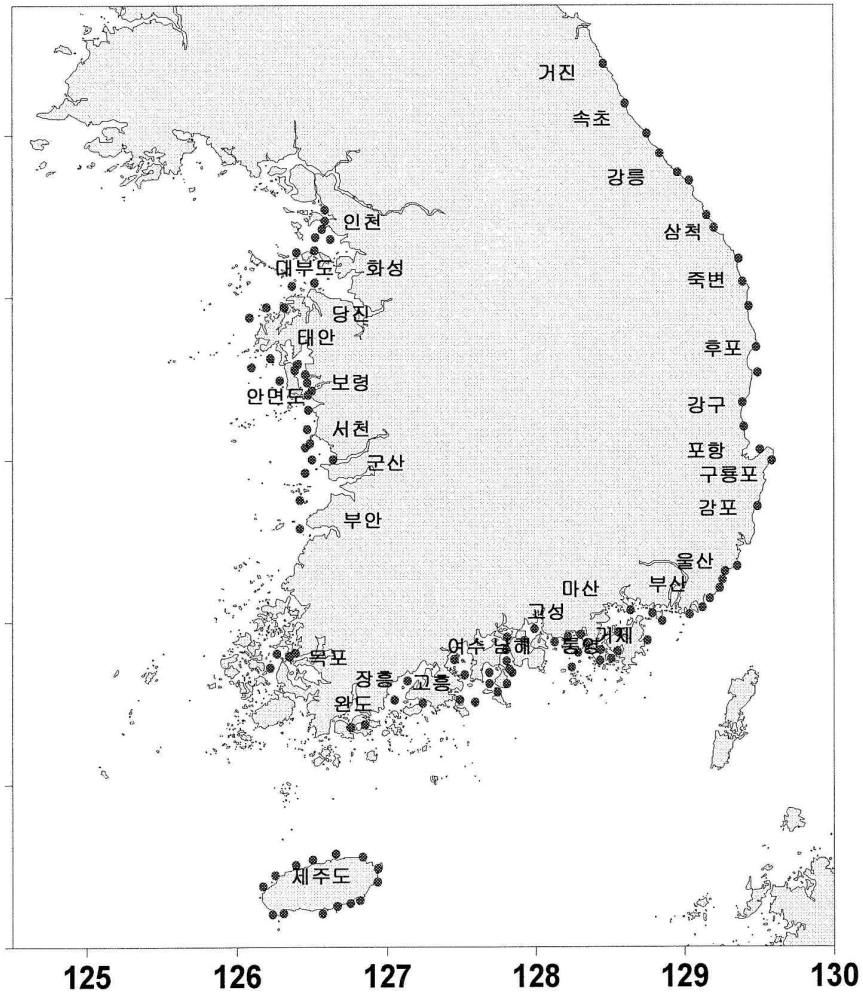


그림 7. 한국 연안 적조 모니터링 정점.

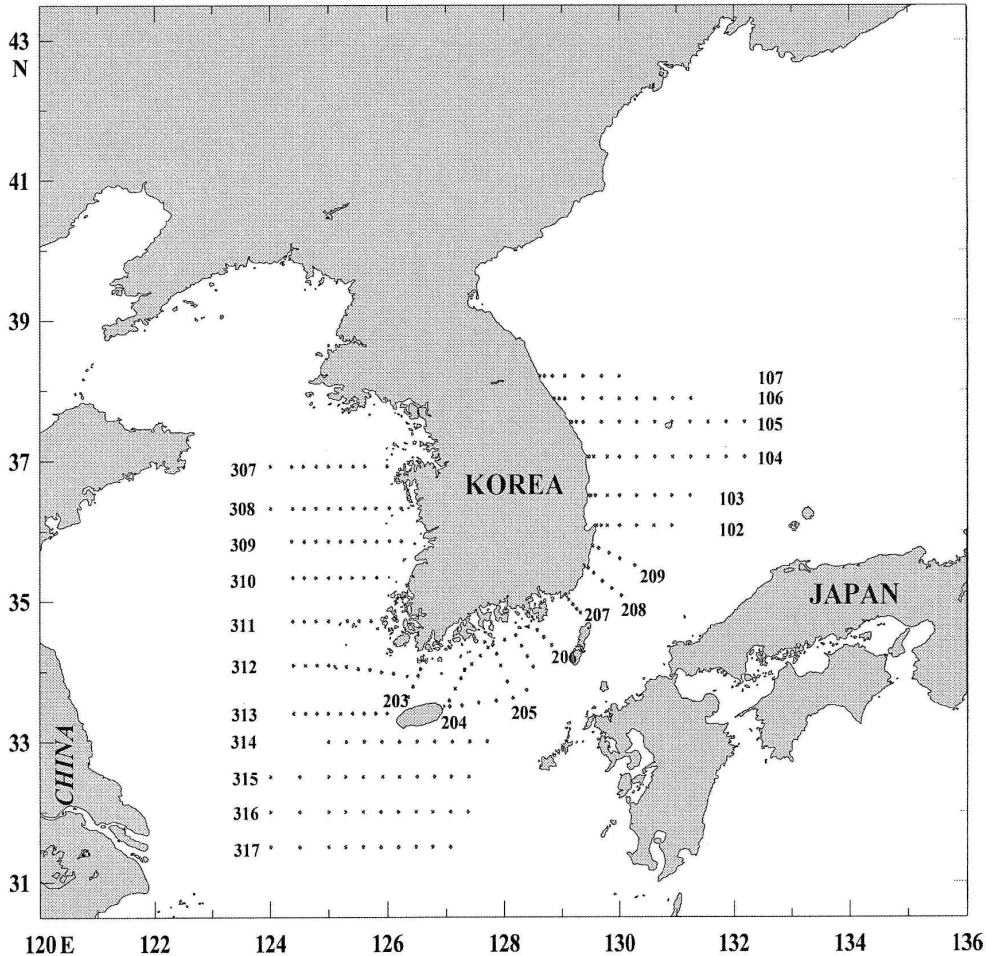


그림 8. 한국 연근해 해양조사 정점.

<식물플랑크톤>

지구온난화로 제주도 인근해역에 아열대종이 출현하고 있으며, 선박에 부착하거나, 평형수 또는 수입수산물에 부착되어 식물플랑크톤의 휴면포자 및 생물들이 전세계로 확장되고 있다. 또한, 어류 및 인간에게까지 영향을 미치는 *Pfiesteria*라는 식물플랑크톤이 우리나라 동해 및 남해에 출현하는 등 식물플랑크톤 출현분포가 변화하고 있다. 따라서 이러한 생태계의 변화를 파악하기 위해서는 우리나라 연근해의 기존의 식물플랑크톤 군집에 대한 정확한 종파악이 필수적이다. 현재 우리나라 식물플랑크톤 연구는 단기적이며 국지적인 지역특성을 밝히는 것에 제한되어 있고, 장기적인 모니터링은 과학원의 적조연구가 있으나, 이 또한 연안측 정점만을 조사하므로 우리나라의 전반적인 식물플랑크톤의 분포상황을 것은 많이 부족한 실정이다.

식물플랑크톤과 박테리아, 동물플랑크톤, 어류 등에 미치는 먹이사슬의 상관성에 관한 연구도 일부 생물간의 관계에 대한 연구만 있을 뿐 종합적인 연구가 없다. 따

라서, 우리나라 전 연안에 대한 장기변동분석 및 해양학, 생물학, 수산학 등의 다학제적인 접근이 필요하다.

<동물플랑크톤>

동물플랑크톤 군집구조와 분포 특성은 물리학적(수괴 분포, 염분 경사 등) 특성과 생물학적 특성(주로 bottom-up effect)에 의해 결정되나 이에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다. 따라서 이에 대한 다학제 간의 연구 추진이 필요한 실정이다. 또한, 주요 우점종의 생리·생태학적 연구, 개체군 역학, 생산력 연구 등에 대한 연구는 거의 전무하며, 동물플랑크톤 장기 변동과 같이 생태환경의 점진적 변화(예: 기후변화)에 따른 동물플랑크톤 군집의 반응에 대한 연구도 매우 제한적이다.

<저서생물>

저서생물의 경우, 주로 대형저서동물을 중심으로 서해 및 만, 갯벌 중심으로 조사, 연구가 이루어졌다. 특히 저서동물의 경우, 환경오염에 민감하게 반응하여 생물 지표자로서 생태계변화를 감지하고 평가하는데 있어 매우 중요한 역할을 한다. 우리나라 주변해역 연구는 주로 저서동물의 분포와 군집상 그리고 일부 환경요인과의 상관성 분석에 주로 초점이 맞추어져 있다. 1990년대 초반에 서해 연근해에 대한 종합적인 조사가 일회적으로 이루어졌으나, 주로 저서동물의 출현과 분포에 제한되어 있다. 그 외에 서해의 갯벌과 주요 만에 대한 계절적 변동 등이 조사, 연구되었으며 근해에 대한 조사는 미비한 상황이다. 현재는 해양생태계기본조사를 통하여 우리나라 연안해역에 대하여 대형저서동물 및 중형저서동물 등에 대하여 조사, 연구를 시작하였으며, 이미 서해연안에서의 1단계 조사 및 분석은 완료되었다.

저서동물 변동을 정확하게 예측하기 위해 각 요인 또는 다수 요인의 효과를 정량적으로 이해할 수 있는 연구 결과와 경험이 크게 부족하다.

<생물종 다양성>

해양생물 종다양성 확보를 목적으로 한 특별한 조사나, 연구 등 체계적인 접근은 최근 2000년대 후반에 접어들면서 시작되었으며, 주로 형태적 분류를 중심으로 이루어져 있다. 해양생물 종다양성보존 및 관리를 위하여 현재까지 보고 되어진 해양생물종 목록을 DB화하고 검색시스템을 구축하여 "한국 해양생물 다양성 정보시스템 (Korea Marine Biodiversity Information System)"이 운영되고 있다.

<기후변화와 해양생물>

기후변화와 해양생물과의 관계에 대한 연구는 동물플랑크톤 현존량과 주요 동물플랑크톤 그룹에 극히 제한되어 있으며, 연구내용 또한 동물플랑크톤의 장기변동이 기후변화와 어떤 상관성이 있는냐는 등의 극히 기초적인 접근에 머물러 있다. 최근 들어서는 적조발생이 기후변화와 어떠한 상관성이 있는냐는 등에 대한 연구가 추진되고 있으며, 한편 해파리 출현현상과 기후변화와의 연관성에 대한 기초적인 연구가 추진되고 있다. 또한, 산호의 분포, 동물플랑크톤의 지표종 발굴 등의 연구가 수행되고 있다.

이와 같이 대부분의 해양생물그룹에 대한 연구는 생물종의 출현과 분포, 그리고 주요 해양환경요인과의 상관성 분석 등에 초점이 맞추어져 있다. 또한 조사 해역도 국가모니터링 조사 외에는 주로 국지적인 해역에서 일회적으로 이루어진 결과들이다.

해양생태계가 차지하는 비중과 그 중요성에 비추어 상대적으로 부족한 연구비로 심도 있는 연구가 이루어지지 않았으며 또한 이들 각각의 연구과제들이 서로 개별적으로 이루어지며 유기적인 관계를 가지지 못하여 생태계를 기반으로 해석하는 체계적인 연구 목표가 이루어지지 않았다. 해양 생물자원의 다양성을 종합적으로 평가하기 위해서는 각 분야의 전문가들로 이루어진 협의체를 구성하여 정기조사사업을 기반으로, 분석 및 평가, 연구 및 기술개발의 촉진, 전문 인력의 양성, 그리고 관리를 유기적이며 통합적인 방법으로 이루어져야 한다.

1.4.3. 정보관리

FUTURE 관련 자료정보 생산의 국내 주요기관인 국립수산과학원, 국립해양조사원, 해양경찰청은 해양학 및 수산학적 기초조사를 지속적으로 수행하고 있으며 독자적인 자료관리시스템 구축으로 생산자료를 관리제공하고 있다. 한국해양연구원, 한국지질자원연구원 및 해양수산관련 대학의 경우 특정 연구목적에 위한 기획조사 정보를 생산관리하고 있다.

UNESCO 산하 정부간해양과학위원회(IOC)의 국가해양자료센터(NODC) 설립 권고로 대한민국 정부는 1974년 IOC에 한국해양자료센터(KODC)의 설립을 서면통보하였고 KODC가 한국을 대표하는 NODC로서 수록되었다. KODC는 국가해양조사계획(NOPs), 해양조사요약보고(ROSCOP-III), 해양관측자료(TESAC) 등의 형식으로 국내 해양관련 자료정보를 IOC의 국제해양자료교환망(IODE) 및 통합전지구해양서비스시스템(IGOSS)을 통해 국외로 유통시키고 있다. 또한 해양관측자료의 국가지연모

드DB(DMDB; Delayed Mode Data Base) 및 메타DB(Metadata Base) 구축을 통한 관측자료정보의 유통 활성화를 도모하고 있다.

하지만 대부분의 관측자료가 조사기관 별로 관리 운영되고 있어 관측자료의 무결성 보장 및 정도관리가 미흡한 실정이며, 자료공유를 위한 데이터 표준화 부재로 조사기관 간의 연계활용을 어렵게 하고 있다. 이에 관측기관 간의 자료정보 연계활용 고리 마련을 위한 관리시스템 개발 및 국가통합운영체제 구축은 자료정보의 생성, 보관, 이용에 대한 시너지 효과 창출을 위해 필요하다.

2. FUTURE 주제 및 현황 분석

2.1. 18개 FUTURE KEY QUESTIONS

PICES FUTURE에 우리나라가 어떻게 기여할 수 있는가를 구체적으로 평가하기 위해서 FUTURE 과학계획[58]에서 제시한 3가지 주제 18가지 핵심 질문(표 2)과 관련하여 우리나라 연구수준을 평가하고 앞으로 필요한 연구 분야를 정리하였다.

표 2. PICES FUTURE 18가지 핵심질문.

<p>1. 자연적인 그리고 인위적인 영향에 대한 생태계의 내적인 탄력성과 취약성을 결정하는 것은 무엇인가?</p> <p>1) 생태계의 구조와 기능에 영향을 미치는 중요한 물리적, 화학적, 생물학적 과정은 무엇인가?</p> <p>2) 변화하는 물리적, 화학적, 생물학적 과정이 어떻게 생태계의 구조와 기능의 변화를 야기하는가?</p> <p>3) 생태계 구조의 변화가 어떻게 생태계의 구성 요소 간의 관계에 영향을 미치는가?</p> <p>4) 생태계 구조와 기능의 변화가 어떻게 자연적인 그리고 인위적인 영향에 대한 생태계의 내적인 탄력성 혹은 취약성에 영향을 미치는가?</p> <p>5) 생태계의 탄력성을 유지하는 것과 관련된 임계치와 완충기, 증폭기는 무엇인가?</p> <p>6) 위의 질문들에 대한 답변들이 생태계의 미래 상태를 예측하는 능력에 대해서 의미하는 것은 무엇이며, 그들이 어떻게 자연적인 그리고 인위적인 영향에 반응하는가?</p> <p>2. 생태계가 자연적인 그리고 인위적인 영향에 어떻게 반응하며, 미래에는 어떻게 변하게 될 것인가?</p> <p>1) 주요 물리적, 화학적, 생물학적 과정은 어떻게 변했으며, 어떻게 변화하고 있으며, 그들은 어떻게 기후변화와 인간 활동의 결과에 의해서 변하게 되는가?</p> <p>2) 물리적, 화학적, 생물학적 과정에서의 변화를 매개하는 요소는 무엇인가?</p> <p>3) 기후 변동과 기후 변화를 포함하는 물리적인 영향은 어떻게 생태계의 구조와 기능에 관련된 과정에 영향을 미치는가?</p> <p>4) 해양자원의 인간에 의한 사용이 어떻게 생태계의 구조와 기능에 관련된 과정에 영향을 미치는가?</p> <p>5) 해양자원의 인간에 의한 사용이 어떻게 생태계의 구조와 기능의 변화에 의해서 영향을 받게 되는가?</p> <p>6) 위의 질문에서 얻게 되는 생태계의 과정과 관계에 대한 이해는 생태계의 반응을 예측하는데 어떻게 사용될 수 있는가?</p> <p>7) 생태계, 그들의 상품 및 서비스에 대해 예상되는 기후 변화의 결과는 무엇인가?</p> <p>3. 인간의 활동이 어떻게 연안 생태계에 영향을 미치며, 사회는 이와 같은 생태계의 변화에 의해서 어떻게 영향을 받는가?</p> <p>1) 연안 생태계에 있어서 주요 인위적인 압력은 무엇이며, 그들은 어떻게 변화하는가?</p> <p>2) 해수면 상승을 포함한 인위적인 압력과 기후영향은 내만이나 연안 생태계에 어떻게 영향을 미치며, 외양 생태계 및 육지 생태계와의 상호작용에는 어떻게 영향을 미치는가?</p> <p>3) 복합된 인위적 스트레스 요인들은 생태계의 구조와 기능을 변화시키는 데에 있어서 어떻게 상호작용을 하며, 이러한 여러 요인들의 누적된 영향은 무엇인가?</p> <p>4) 예상되는 연안 생태계 변화의 결과는 무엇이며, 예측되는 변화의 예측능력과 불확실성은 어느 정도인가?</p> <p>5) 연안 생태계 과정과 기작에 대한 이해는 생태계 변화 특성과 원인을 파악하고 지속가능한 이용을 위한 전략을 개발하는 데에 있어서 어떻게 효율적으로 사용될 수 있는가?</p>

2.1.1. 접수된 제안서 정리

PICES 한국위원회에서는 2009년 9.17일부터 10월 7일까지 약 20일 동안 국내 해양관련 연구자들을 대상으로 FUTURE에 기여할 수 있는 신규연구과제제안서를 접수 받았다. 모두 20편의 제안서가 접수되었는데 PICES FUTURE 조직도(그림 5)에 따라 FIS 분과와 그 밖의 분과(POC, BIO, MEQ, MONITOR, TCODE)로 구분해보았다. FIS 분과에서는 모두 9편의 제안서가 접수되었으며, 그 밖의 분과에서는 11편이 접수되었다 (부록 5). PICES 에서 활동하는 과학자들 구성을 보면 유영생물 분야 관련 학자들이 절반이 넘는 것을 감안한다면 우리나라에서도 FIS 분야에서 약 절반의 제안서가 나온 것은 당연한 결과로 보여진다.

FIS 분과에서는 기후변화에 따른 유영생물 변화를 예측하는 분야와 이에 따른 생태계 기반 관리에 관한 제안서가 대부분이었다. 그 밖의 분과에서는 해양물리, 영양염 순환, 부유생물, 저서생물, 해조류, 생물다양성, 데이터베이스 등 다양한 주제의 제안서들이었는데 대부분이 기후변화 관련이었다 (부록 5)

2.1.2. 제안서 부족한 점 추가 보충

FUTURE 신규과제를 제출한 연구자 19명을 대상으로 간단한 설문조사를 하였다 (표 3). 설문응답자 수가 적어서 조사가 제한적이지만 그럼에도 신규 과제서를 작성해서 제출할 정도로 관심이 많은 연구자만을 대상으로 얻은 결과라는 점을 고려하면 PICES FUTURE와 관련해서 국내 연구 현실을 솔직히 반영한 것으로 보인다. 이 설문조사 결과를 바탕으로 우리나라 연구자들이 처한 상황과 앞으로 개선점에 대해서 간단히 고찰을 해보았다.

표 3. PICES FUTURE 기획 관련 설문.

<p>1. 귀하는 매년 태평양 연안 6개국에서 개최되는 PICES 총회와 워크숍, 심포지움 등에 몇 번 참석한 적이 있으십니까? ()</p> <p>1) 총 5회 이상 참석 2) 3~5회 참석 3) 1~2회 참석 4) 참석한 적이 없다.</p> <p>2. PICES FUTURE 프로그램은 3개 연구주제(21개 세부항목)를 설정하고 있으며, 프로그램의 효율적 추진을 위해 실행전략을 수립하고 있습니다.</p> <p>질문 1) 한국의 현재 연구수준을 고려해서 PICES의 FUTURE 항목 중 가장 중요하다고 여겨지는 항목을 우선순위로 3개를 제시하여 주시기 바랍니다.</p> <p>1) (예: 1-5) 2) (예: 2-5) 3) (예: 3-5)</p> <p>질문 2) 귀하가 선택한 3개 우선항목의 실행전략을 각각 제시하여 주시기 바랍니다.</p> <p>1) 순위 (예: 4-1) 2) 순위 (예: 4-4) 1) 순위 (예: 4-6)</p>
--

첫 번째 설문인 과거 PICES 참여 여부에 대해서는 대부분 응답자들이 1-2회 정도 참석한 적이 있다고 했으며 참석한 적이 없다고 한 응답자도 2번째로 많아 PICES에 관심은 있으나 여러 가지 제약으로 참여할 수 없었다는 것을 짐작할 수 있었다(그림 9). 따라서 향후 Ko-PICES를 중심으로 PICES 활동에 참여하는데 장애가 되는 것들이 무엇인지를 파악해서 문제들을 해결 또는 개선할 필요가 있다는 것을 짐작할 수 있다. 그 문제점들은 크게 1) PICES 국내 홍보 부족, 2) PICES 관련 활동 참여를 위한 예산 지원과 동기부여 부족, 3) PICES 국내활동을 총괄 지휘할 수 있는 조직 활성화와 이에 대한 예산 지원 부족 등으로 나눌 수 있을 것으로 보이므로 앞으로 더 자세한 문제 진단이 필요하다.

귀하는 매년 태평양 연안 6개국에서 개최되는 PICES총회와 워크숍, 심포지움 등에 몇 번 참석한 적이 있으십니까?

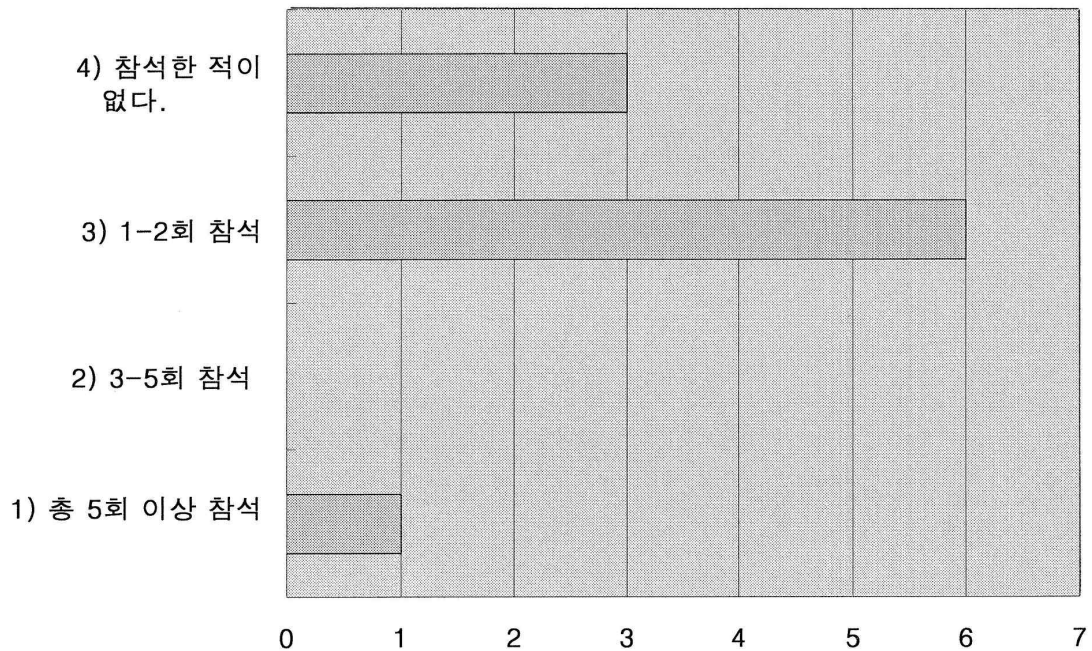


그림 9. PICES FUTURE 관련 설문 1번 조사 결과.

FUTURE 18개 각 핵심 질문(표 2)중에서 앞으로 우리나라에서 집중해서 해야 할 항목을 선정하기 위해서 신규 과제 제안을 한 19명 연구자와 2010년 1월 17일부터 22일까지 이메일을 통해서 받은 64 명의 국내 해양 관련 연구자들이 보낸 설문 응답 결과를 정리하여 우리나라 해양관련 연구자들이 앞으로 연구해야 할 가장 중요한 핵심 질문을 100점 만점으로 해서 정량화시켰다 (그림 10).

우리나라 연구자들은 핵심질문 2-1번인 “주요 물리적, 화학적, 생물학적 과정은 어떻게 변했으며, 어떻게 변화하고 있으며, 그들은 어떻게 기후 변화와 인간 활동의 결과에 의해서 변하게 되는가?”를 앞으로 연구해야 할 가장 중요한 과제라고 생각하는 것으로 나타났다. 다음으로는 1-2번인 “변화하는 물리적, 화학적, 생물학적 과정이 어떻게 생태계의 구조와 기능의 변화를 야기하는가?”, 다음 3-2번 “해수면 상승을 포함한 인위적인 압력과 기후영향은 내만이나 연안 생태계에 어떻게 영향을 미치며, 외양 생태계 및 육지 생태계와의 상호작용에는 어떻게 영향을 미치는가?” 순이었다. 1부터 3순위까지 핵심질문의 공통점은 기후변화가 해양생태계와 인간 활동에 미치는 영향에 관한 것으로 우리나라 연구자들이 FUTURE 과학프로그램과 관련하여 기후변화에 따른 우리나라 해양생태계 변화를 앞으로 해야 할 가장 중요한 연구과제라고 생각하고 있는 것으로 보인다.

한국의 현재 연구수준을 고려해서 PICES의 FUTURE 항목 중 가장 중요하다고 여겨지는 항목 3 개를 제시하여 주시기 바랍니다

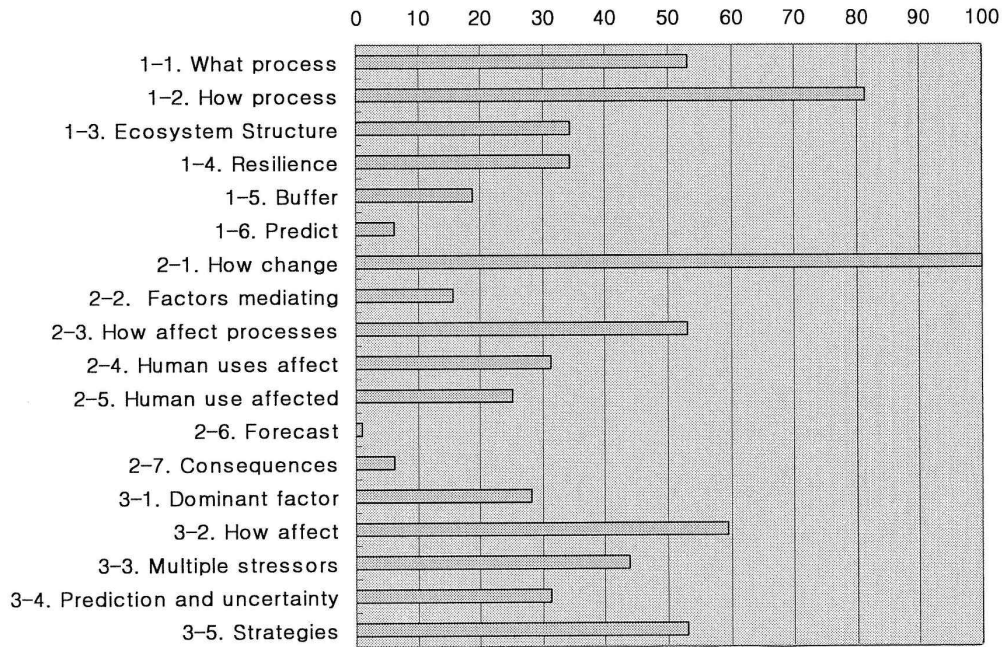


그림 10. PICES FUTURE 관련 설문 2-1번 조사 결과.

다음 설문응답자들이 중요하다고 생각하는 핵심질문 3가지를 실행하기 위한 전략에 대해서는 “전망 및 예측”, “관측시스템 개발”, “현황보고연구”, “모델 개발 연구” 순으로 두어서(그림 11), 앞으로 우리나라 연근해 해양생태계 변화에 대한 전망 및 예측을 위한 모델 개발과 함께 이것을 뒷받침하는 관측시스템 개발을 중요하게 여기는 것으로 보였다.

귀하가 선택한 3개 우선항목의 실행전략을 각각 제시하여 주시기 바랍니다.

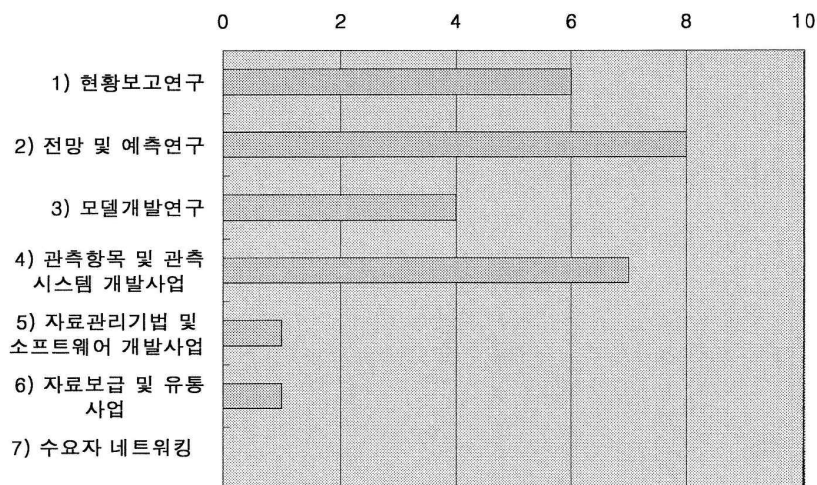


그림 11. PICES FUTURE 관련 설문 2-2번 조사 결과.

2.2. FUTURE 관련 우리나라 연구 현황

FUTURE 핵심질문 18가지 중에서 우리나라 연구자들이 가장 중요하다고 생각하는 설문조사결과(그림 10)를 Ko-PICES 에서는 우리나라 기존 관련 연구논문을 검토하여 평가한 결과를 같은 스케일로 정리하여 비교하였다 (그림 12). 응답자들이 중요하다고 생각하는 핵심질문은 과정(process)에 관한 것과 (질문 1-1, 1-2, 2-1, 2-3) 생태계 스트레스 요인들의 상호작용에 관한 것(3-2, 3-3), 그리고 전략에 관한 것 (3-5)이었다. 과거 관련 연구 논문에서도 과정에 관한 것이 비교적 연구가 많이 되어 있으며 (질문 1-1, 1-2) 인간활동에 의한 영향에 관한 질문(3-1, 3-2)도 비교적 연구가 많이 된 편이었다. 설문응답과 기존 연구논문을 비교해보면, 대체적으로 설문 응답자들이 중요하다고 여기는 항목은 관련 연구 논문도 기존에 이미 많이 나온 경우가 많아 국내 연구자들은 중요하다고 여기지는 않으나 FUTURE 프로그램에서는 중요하게 보이는 신규 연구과제를 발굴할 필요가 있음을 보여주었다.

한국의 현재 연구수준을 고려해서 PICES의 FUTURE 항목 중 가장 중요하다고 여겨지는 항목 3 개를 제시하여 주시기 바랍니다

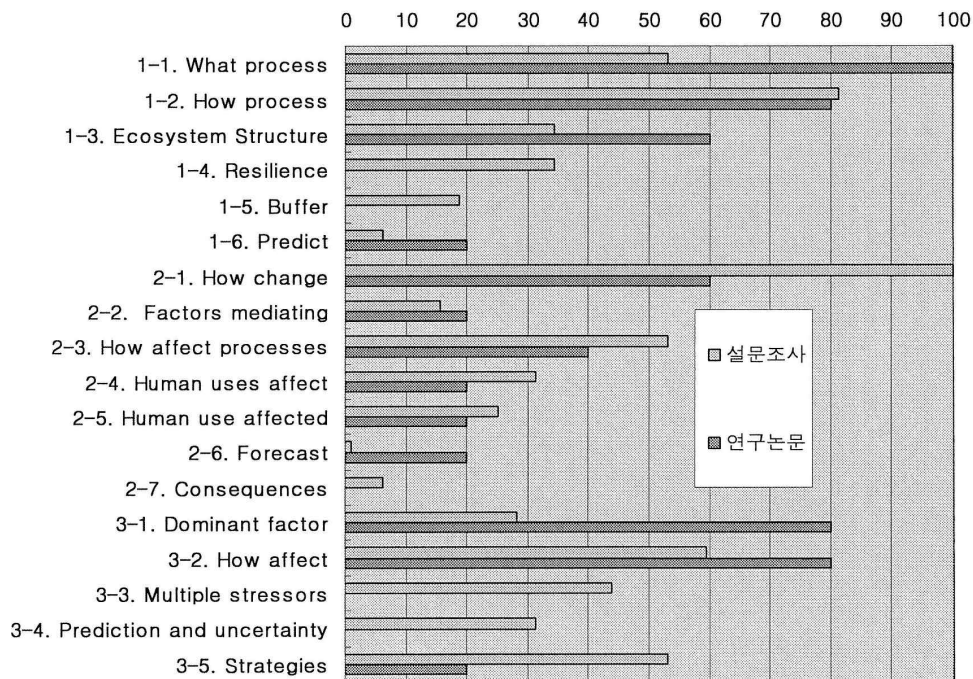


그림 12. PICES FUTURE 관련 설문 2-1번 조사 결과.

연구자들이 중요하다고 응답했지만 상대적으로 연구 논문 결과가 부족한 항목을 골라 PICES FUTURE에 기여하기 위한 우리나라 연구 분야를 찾아보았다. 설문 2-1 (과정 변화)에 대해서 연구자들은 가장 중요하다고 생각했으나 상대적으로 연구 논

문은 부족하였다 주요 물리적, 화학적, 생물학적 과정(process)은 어떻게 변했으며, 어떻게 변화하고 있으며, 그들은 어떻게 기후 변화와 인간 활동의 결과에 의해서 변하게 되는가? -- How has the important physical, chemical and biological processes changed, how are they changing, and how might they change as a result of climate change and human activities?). 마찬가지로 설문 2-3 (기후 변화가 생태계의 구조와 기능에 관련된 과정에 미치는 영향)에 대해서도 설문응답자들은 비교적 중요하다고 생각했으나 연구논문 결과는 적은 편이었다. 따라서 해양생태계의 물리, 화학, 생물학적 과정(process)을 밝히는 연구가 먼저 이루어져야 함을 보여주고 있다. 이 과정에 대한 연구는 FUTURE AP에서 COVE 에서 주로 다루는 주제이라고 볼 수 있는데 AICE에서도 동시에 다루어야 할 연구 주제로 보인다 (참조: 1.3. PICES FUTURE 접근 전략).

그밖에 설문응답자들은 비교적 중요하다고 생각했으나 관련 연구 논문이 부족한 핵심질문은 1-4 (생태계 내적 탄력성), 1-5 (생태계 탄력성, 완충, 증폭), 3-3 (스트레스), 3-4 (예측과 불확실성), 3-5 (전략 개발)이었다. 이는 생태계 생태학 측면에서 생태계의 내적 성질과 기능을 연구하는 분야가 우리나라에서는 절대적으로 뒤떨어져 있으며, 아울러 생태계 관리에 필요한 예측, 불확실성, 그리고 관련 전략 개발도 앞으로 시급히 연구해야 할 분야로 판단된다. 이런 핵심질문들은 FUTURE AP 중 AICE의 주요 목표로 보인다 (참조: 1.3. PICES FUTURE 접근 전략).

<수산학>

FUTURE의 질문항목 중 1/3이 중으로, 나머지 2/3은 하로 평가되었다 (부록 2-1). 생태계의 단편적인 현 상태와 관련 프로세스를 서술하고 과거 자료를 토대로 분석 평가하는 분야와 관련된 질문에서는 비교적 연구가 잘 된 편이었으나 생태계를 총체적으로 연구하는 '생태계 생태학 (ecosystem ecology)' 시각[74]에서 보았을 때 외부로 받는 인위적 또는 자연적 충격에 생태계가 어떻게 변화 대응하며 또 앞으로 어떻게 대응 변화할지를 예측하는 분야는 취약한 것으로 나타났다 [75]. 또 이런 생태계와 인간사회가 어떻게 상호작용하는지, 또 앞으로 어떻게 변할지 예측하는 분야에 관한 연구도 거의 전무한 것으로 평가되었다 [57]. 요약하면 1) 생태계 생태학, 2) 생태계 변화 예측 분야가 취약한 것으로 나타났다.

우리나라에서 생태계라는 말은 많이 쓰나 아직 관련 연구가 제한적인 이유는 생태계라는 용어를 쓴 생태계 생태학[74, 76] 과학자들이 집단선택(group selection)을 두고 진화생태학(evolutionary ecology) 과학자과 1970년대에 벌인 논쟁에서는 패퇴

했으나 미국을 비롯한 서구에서는 1980년대 후반에 환경문제와 관련하여 대중들 사이에서 생태계라는 용어와 함께 생태계 생태학이 부활되었다는 역사적 맥락과 관련이 있는 것으로 보인다 [74, 76]. 아직 우리나라 생태학 관련 과학자들 사이에 생태계 생태학에 대한 관심과 연구가 부족하나 1990년대 기후변화와 관련한 해양연구에서 체제변환(regime shift)이라는 생태계 개념을 강조하고 [13, 77] 동시에 기후변화와 같은 외적 환경 변화를 고려하는 생태계 기반 관리라는 새로운 패러다임이 등장하면서 특히 우리나라 수산관리 분야에서 생태계 분석과 평가 관련 연구들을 주도하고 있는 것으로 보인다 [29]. 생태계 분석과 평가의 대표적인 도구인 생체량 보존의 법칙에 기반한 Ecopath 와 이에 기반하여 최근 확장 개발되고 있는 시공간 변동을 처리하는 모델들(<http://www.ecopath.org/>)은 우리나라의 경우 수산분야에만 시도되었고 아직 다른 분야에서는 본격적으로 활용되고 있지 않다 [78]. 수산 분야에서도 이런 모델들은 과거 자료를 분석하는데 그치고 있으며 앞으로 변화에 대해서 정량적으로 예측하고 있지는 못하는 실정이다. Ecopath와 비슷한 접근법인 먹이사슬간 생체량 또는 에너지 전달에 관해서는 플랑크톤과 저서생물 [79] 그리고 연안환경평가 분야[80]에서 시도되었으나 아직은 본격적으로 수산 분야를 포함하고 있지는 못하다. 탄력, 완충, 증폭, 복원과 같은 생태계의 내적 기능과 특징을 비교하는 연구 [80]는 우리나라에서는 아직 본격적으로 이루어지고 있지 않다. 그러나 생태계 건강 상태를 나타낼 수 있는 지표는 일부 개발되어 있다.

다음 기후변화나 인위적인 충격에 따라 해양 생태계가 어떻게 변할지 예측하는 분야에서도 물리분야와 생물분야 협동연구가 부족하여 기후변화에 따른 해양물리변화가 하위영양준위에서 상위영양준위 생물까지 어떻게 영향을 미칠지 시공간적으로 정량화하여 예측하는 시도는 거의 없었다 [51]. 그러나 물리 분야에서 변화 예측 모델이 나오고 있으며 [81] 수산 분야에서도 관련 생물학적 과정에 대한 정량적인 자료가 생성되고 있기 때문에 [13] 두 분야가 협동연구를 한다면 곧 좋은 성과를 낼 것으로 기대된다.

마지막으로 이런 연구 결과들을 바탕으로 지속가능한 이용과 생태계 기반 관리에 필요한 전략 개발에 대한 연구가 많이 부족하였다. 국외에서 전략 개발을 위한 생태계 상태 지표에 관한 연구는 일부 수행되어 있다 [82, 83]. 그러나 이 지표들을 통합하여 평가하는 방법에 관한 연구는 외국에서도 소수이다 (ERAEF by Australia, MSC's FAM, IFRAME by Korea-US). 국내연구로는 최근 생태계 기반 자원평가 방법에 관한 연구가 있다 [36].

<식물플랑크톤>

FUTURE의 중요 질문 항목과 우리나라 연구결과를 비교 분석한 결과, 몇 개 항목을 제외하고는 매우 미흡(하)한 것으로 나타났다 (부록 2-2). 생태계의 구조와 기능에 있어 기반이 되는 중요한 식물플랑크톤 과정은 무엇인가? 식물플랑크톤 과정의 변동이 어떻게 생태계 구조와 기능의 변화를 야기시키는가?라는 항목은 식물플랑크톤의 출현, 분포, 군집양상 등의 연구 결과를 고려 할 때 중 정도의 평가를 할 수 있는 것으로 판단된다. 특히, 식물플랑크톤의 이상 대량 번식으로 나타나는 적조현상에 대하여서는 위의 두 질문에 대한 답을 얻기 위한 연구가 다수 진행이 되었으며, 특히 이상 대량 증식 메카니즘 등에 연구에서 많은 진척이 이루어졌다.

장기변동에 대한 연구는 박 등[84] 이 1961-1990년까지의 한국연안의 식물플랑크톤에 대한 장기변동분석을 위해 투명도와 식물플랑크톤 생체량으로 비교 분석한 것이 있고, 조(1986)에 의한 1930년대부터 1980년대까지의 약 50년간의 식물플랑크톤 출현 및 분포현황에 대한 연구가 있을 뿐이다. 그 외에 최근에는 식물플랑크톤을 이용한 생태독성연구 및 색소를 이용한 식물플랑크톤의 분석, 패류 등 섭식효과에 대한 연구가 있다. 또한 남극오존층파괴가 식물플랑크톤에 미치는 영향 등 남극연구 중 식물플랑크톤과 관련한 연구가 있다.

1995년 우리나라에 대규모 유해적조가 발생한 이후 식물플랑크톤의 변동에서 적조에 대한 관심의 증가로 물리, 화학적, 생물학적 환경요인들의 변화와 식물플랑크톤 발생의 상관성을 규명하는 연구단계로 진전되었다. 1990년 이후로 적조생물의 환경생리, 이동확산, 적조방제 기술개발, 적조예보와 제어기술개발을 위한 연구로 향상되었고, 적조발생 기작, 생물 상호관계, 휴면포자연구, 원격탐사, 적조발생모델 등으로 다양화되어 왔으며, 적조생물 동정을 위한 분자생물학적 방법을 이용한 DNA-probe 방법의 개발이 필요에 의해 최근 연구되고 있다.

<동물플랑크톤>

해양생태계에서 동물플랑크톤은 일차생산자와 상위 단계 소비자를 연결하는 영양역학적 연결고리(trophic linker) 역할은 담당하여 해양생태계의 구조와 기능을 결정하는데 매우 중요한 생물군이다. 우리나라의 동물플랑크톤 연구는 주로 군집구조와 시·공간적인 분포 양상에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있다 (부록 2-3).

동물플랑크톤 군집구조와 분포 특성은 물리학적(수괴 분포, 염분 경사 등) 특성과 생물학적 특성(주로 bottom-up effect)에 의해 결정된다. 연안역이나 하구역에서 다양한 환경요인 변화에 따른 동물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 및 군집구조 변화

연구 등은 지속적으로 진행되어 오고 있으나 생태계 구성요소 상호간의 자극에 대한 반응이나 기작에 대한 연구는 매우 제한적이다. 아울러 연안역 동물플랑크톤 군집은 소수의 우점종에 의해 전체 생체량의 상당 부분이 좌우되는 특징을 보이고 있음에도 불구하고 주요 우점종의 생리·생태학적 연구, 개체군 역학, 생산력 연구 등에 대한 연구도 미흡한 실정이다. 인위적인 활동에 의한 연안역의 생태환경 교란에 따른 동물플랑크톤 군집의 구조 변화에 대한 연구가 일부 수행되어 왔지만 변화 요인에 대한 정량적인 반응 연구 및 예측 연구는 거의 전무할 실정이다. 또한 기후변화에 따른 동물플랑크톤 장기 변동과 같이 생태환경의 점진적 변화(예: 기후변화)에 따른 동물플랑크톤 군집의 반응에 대한 연구도 제한적이다. 최근 분자생물학적인 연구 방법의 개선으로 동물플랑크톤 분류 연구가 활기를 띠면서 형태학적인 분류가 어려운 종들에 대한 분류학적인 연구가 활발히 진행 중이다.

<저서동물>

저서동물 생태 연구는 1980년대부터 본격적인 연구가 시작된 것으로 볼 수 있으며, 현재까지 대형저서동물을 대상으로 분포와 수량(distribution and abundance), 그리고 그 변화 패턴과 요인을 분석하는 군집 생태학(community ecology)에 관한 연구가 주를 이루고 있다 (부록 2-4). 일부에서는 장기 모니터링 자료를 바탕으로 저서 생태계의 기능(ecosystem services)과 저서동물을 활용한 시스템의 건강성 또는 스트레스를 평가하는 연구가 행해지고 있다. 중형저서동물의 경우에는 종 수준까지 동정된 일부 분류군(예를 들어, harpacticoid) 또는 phylum 수준까지 동정된 자료를 대상으로 분포와 조절 요인을 이해하려는 생태학적 연구가 수행되고 있다.

저서동물 군집의 변동을 설명하는 요인에 대한 연구는 주로 물리, 화학, 퇴적학적 요인들을 대상으로 이뤄졌으며, 생물학적인 상호작용(포식, 경쟁, 공생 등)에 대한 연구는 빈약한 실정이다

<생물 다양성>

FUTURE의 질문항목 중 약 40%가 중으로 평가되며, 60%가 하로 평가되었다 (부록 2-5). 특히 핵심질문 I이 주로 중으로 평가되며 핵심질문 II인 자연적, 인위적 forcing에 해양생태계가 어떻게 반응하는가/미래에는 어떻게 변화할 것인가?과 핵심질문 III인 인간활동이 어떻게 연안생태계에 영향을 미치는가/이러한 생태계의 변화가 어떻게 사회에 영향을 미치는가?에 대하여서는 미흡한 것으로 평가되었다. 생물 종 다양성은 기본적으로 각 생물분야별 분류학적 연구를 토대로 하여 이루어지는

것으로 현재까지 우리나라 연근해에서 출현하는 것으로 보고되어진 종 목록은 DB화 되어 제공될 수 있는 시스템까지 구축되어 있다. 최근 들어 외래 유입종을 파악하기 위한 조사, 연구가 추진되고 있다.

이미 연안 생물의 70%이상이 과다 채취됨으로서 어종의 90%이상이 고갈된 지금 각국은 연안의 생태계의 보전에 국가적 역량을 총동원하고 있다. 한편으로는 공해상의 자원에 대한 국가간의 보이지 않는 전쟁이 시작된 지도 오래되었다. 이런 국내의 현황을 통해 우리는 생물종 다양성의 중요성과 이들의 측정할 수 없는 경제적 가치의 중요성을 인식하게 되었다.

생물종 다양성이란 생물체를 보는 단계에 따라 다음의 세가지 유형으로 구분된다.

- 1) 종 다양성(species diversity): 동식물, 곤충 및 미생물 등 다양한 생물종을 뜻하는 것으로, 환경에 적응하여 선택된 유전자가 특정 생명체의 형질로 진화되며, 그 결과 생물종의 다양성으로 나타남.
- 2) 유전자 다양성(gene diversity): 유전정보의 총칭이며, 지구상에 생존하는 개체 생물의 세포 속에 들어 있는 유전자는 모두 포함됨. 형태학적으로 동일 생물종이거나 종 내에서도 이들 개체를 구성하고 있는 유전자의 염기서열은 달라 개체군의 수준의 형태로도 존재 가능함.
- 3) 생태계 다양성(ecosystem diversity): 생물종의 군집양상과 상호작용 시스템의 차이로 구분되며, 일반적으로 특정 서식지의 특성으로 대변됨. 그러나 생태계 다양성의 중요성은 에너지와 물질순환 및 시스템의 재생산력 등 생태계의 평형유지 기능을 하나의 통합된 개념으로서 생물다양성의 역할을 정의하고 있음.

93년 발효된 생물다양성 협약은 현재 전세계 191개국에 가입하였으며 그 목적은 생물 다양성을 보전하고 그 구성요소의 지속 가능한 이용을 확보하며 유전자원의 이용에서 나오는 이익을 공정하고 공평하게 분배하는 것으로 하고 있다. 우리나라도 1999년에 연안관리법과 습지보전법이 제정·발표되었고 2000년도에는 해양오염방지법에 의거 특별관리해역이 전국 연안 여섯 곳에 지정되어 있다. 국내의 해양생물 다양성에 대한 연구는 국토해양부의 「해양생태계 보전 및 관리에 관한 법률」이 제정된 2006년을 기점으로 10년간 전국해양생태계기본조사가 실시되고 있다. 그리고 해양생물종 다양성 보존을 위하여 보호생물에 관한 연구가 추진되고 있으며, LMO생물에 관한 관리체계를 갖추었다. 또한, 해양생태계 관리정책 마련을 위해 해양생물다양성 보전대책 연구, 생태계교란생물대책 연구, 벨러스트 연구, 해양생물종 (외래종·고유종) 목록작성, 해양생물다양성 정보시스템 구축 등이 추진

되고 있다.

<정보관리 >

FUTURE 관련 정보관리시스템의 국내현황을 보면, 해양수산 관측자료의 대부분이 기관별로 독자 보유 관리되고 있으며 무결성 보장 및 정도관리가 미흡한 실정이다. 또한 관측자료정보의 국가표준안 부재로 기관별 관측자료의 연계활용이 어렵다. 국내 주요기관의 대표적 정보관리시스템에는 국토해양부의 연안관리정보시스템, 국립수산과학원의 해양수산시험정보시스템, 해양과학정보시스템, 연안생태계예측시스템, 적조화상정보시스템, 국립해양조사원의 해수의 물리적 특성정보 시스템, 실시간연안정보제공시스템, 해수유동정보실시간제공시스템, 조석자료제공시스템, 해양공간정보시스템, 한국해양연구원의 해양환경정보시스템, 해양자료시스템, 해양예보시스템, 파랑정보시스템 등이 있다 (부록 2-6).

PICES FUTURE는 북태평양 해양생태계에 있어서의 인간 활동 영향 및 미래전망에 대해 더 잘 이해하고 관련 정보를 효율적으로 교환하고자 것이 궁극적인 목표이다. FUTURE 관련 국내 자료정보의 효과적인 관리 및 유통을 위해서는 기존의 자료정보 및 관리시스템을 검증하고 국가권역 자료정보 통합관리시스템 구축이 필요하다. 또한 FUTURE 관련 현황보고, 전망, 예측을 위한 자료정보의 정도관리와 연안생태계 보전 및 예측을 위한 자료항목 간의 연계운용체제 마련이 시급하다. 이기종 분산 시스템의 통합은 수십 년 전부터 필요성이 대두되어 왔고 다양한 해결방안들이 개발되어 활용되고 있으나 아직까지 완벽하게 해결하지 못하고 있는 문제로 알려져 있다. 이를 해결하기 위한 다양한 시도들이 제기되었고 부분적으로 적지 않은 성과를 거두고 있다 (부록 2-7).

2.3. FUTURE 사업 특성 분석을 통한 향후 국내 연구 정리

FUTURE 사업에서는 기존 CCCC의 해양 생태계 연구를 뛰어 넘어 학제간 융합연구 및 더 나아가서는 사회경제에 미치는 파급효과까지를 제공하는데 중점을 두고 있다. 이는 생물의 변동과 더불어 다른 비생물적 요소와의 통합적 연구가 우선적으로 이루어져야 할 것이다. 이를 기반으로 기존의 생물 중심으로 한 해양생태계의 이해를 위한 과학적 정보가 보다 융합된 우수한 정보가 만들어졌을 때 FUTURE 프로그램이 추구하는 해양 생태계내의 자연적 및 인위적인 압력, 변화를 견딜 수 있는 이러한 생태계의 역량과 복원력, 불확실성 측정으로 미래 상태 예측 제공의 단계로

진입할 수 있을 것이다.

앞서 “2.2. FUTURE 관련 우리나라 연구 현황”에서 분석해 본대로 우리나라 해양 관련 연구자들은 해양생태계의 물리, 화학, 생물학적 과정(process)들을 밝히는 연구가 가장 중요하다고 여기는 것으로 나타났는데 이것은 FUTURE 3가지 AP 조직(그림 1)중에서 COVE와 관련이 있으며, 두 번째로 중요하다고 여긴 생태계 내부 구조와 기능, 그리고 관리 분야는 AICE 와 관련이 높은 연구 주제이다. 따라서 Ko-PICES에서는 FUTURE 접근전략분석 (1.3 참조)과 우리나라 연구 현황 (1.4, 2.2 참조), 그리고 연구자들 설문조사 결과를 바탕으로 COVE와 AICE 관련 국내 사업을 학제간 융합연구로 추진할 필요가 있다고 결론을 내렸다.

COVE와 AICE 관련 연구 사업 외에도 FUTURE 접근전략 (1.3 참조)에서 제시한 정보 공유와 연구 결과 홍보, 그리고 생태계 관리 관련 정책 개발을 담당하는 SOFE에 해당하는 국내 사업도 별도로 추진하는 것이 바람직하다고 결론을 내렸다.

<수산학>

PICES의 FUTURE 과학프로그램은 이전의 CCCC와 마찬가지로 해양생태계변화에 초점을 맞춘다. CCCC가 순수과학분야에 머물렀다면 FUTURE는 생태계 기반 관리를 궁극 목적으로 해양생태계와 인간사회의 상호작용까지 다룰 것이므로 특히 인간과 해양이 만나는 연안지역 생태계 연구가 더욱 강조될 것으로 보인다. 따라서 우리나라 FUTURE 관련 사업도 연안생태계에 더욱 더 중점을 두면서 나가서는 생태계에 인간 사회 경제 활동 영역까지 포괄하는 것이 당연하다.

FUTURE 핵심질문 18가지와 관련한 유영생물과 수산 분야 연구 논문 평가에서는 과정(프로세스)에 관한 문항 비교적 연구가 많이 되어 있으며 (질문 1-1, 1-2) 인간활동에 의한 영향에 관한 질문(3-1, 3-2)도 비교적 연구가 많이 된 편이었다. 그러나 생태계의 내적 특징과 구조 변화를 평가하고 예측하는 문항 (질문 1-3, 1-4, 1-5, 3-3), 연안생태계와 인간사회의 상호작용에 관한 문항(질문 2-4, 2-5, 2-6, 2-7), 예측과 불확실성 (3-4), 생태계 관리 전략 (3-5)에 대한 연구는 크게 부족하였다. 따라서 우리나라에서는 FUTURE 와 관련하여 비교적 연구가 안된 항목 중 우리 장점을 살릴 수 있는 것을 선택하여 신규 과제를 발굴할 필요가 있었다. 이에 따라 다음 2가지 분야를 중점 연구 분야로 제안한다.

- 1) 생태계 모델 개발: 생태계에서 일어나는 과정들을 연구하고 생태계 내적 특징과 구조 변화를 평가하고 예측하는 모델을 개발하여 그 결과의 신뢰도와 불확실성을 정량화하는 하는 학제간 융합 연구

2) 생태계 관리 전략 개발: 개발된 생태계 모델에 인간사회와 상호작용을 접목시켜서 생태계를 관리하고 복원할 수 있는 전략 개발 연구

여기서 첫 번째 생태계 모델 개발은 두 번째 생태계 관리 전략 개발 연구의 기반이 되므로 이 2가지 사업은 밀접한 관련을 가지며 참여연구원들의 활발한 교류를 필요로 한다. 또 두 번째 생태계 관리 전략 개발에 사회 경제 분야가 들어가는 것이 적합할 것으로 보인다.

생태계 관리를 위한 전략과 틀을 개발하기 위해서는 생태계뿐만 아니라 사회 경제 분야를 포괄하는 종합적인 연구가 앞으로 필요할 것으로 보인다 [36]. 이를 위하여 우리나라 해역의 생태계 구조와 기능을 파악하고, 어업 등 인간활동 및 기후변동에 따르는 생태계 구조·기능의 변화와 수산자원 변동을 평가하기 위한 생태계 기반 평가, 예측, 이용 관리 모델을 개발하여 효율적인 자원의 이용 관리 시스템을 구축할 필요가 있다. 현재까지 우리나라에서 개발된 생태계 기반 평가, 예측, 이용 관리 틀인 IFRAME (Integrated Fisheries Risk Assessment, Forecasting, and Management for Ecosystems: 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측 및 이용 관리)은 부록 6에서 소개했다. IFRAME 은 우리나라 연안 생태계 연구와 관리 전략 개발에 적용할 수 있는 좋은 방법론이 될 것으로 본다. 그러나 IFRAME은 FUTURE 핵심 과제 18가지 중 생태계 관련 항목인 1-4 (생태계 내적 탄력성), 1-5 (생태계 탄력성, 완충, 증폭), 3-3 (스트레스), 3-4 (예측과 불확실성)에 대해서는 구체적인 접근 방법론을 다루고 있지 않아 향후 이에 대한 보충 연구가 필요할 것으로 보인다 (부록 6). 특히 예측과 불확실성에 관련된 방법론을 개발하고 적용하기 위해서는 관련 수리생물학이나 통계학을 전공하는 연구자의 참여가 필수적이라고 보며 (부록 5, 제안서 5와 7), 이를 위해서는 해양 분야를 넘어선 학제간 연구가 요구된다.

<사회경제>

PICES FUTURE FIS 사회경제분야 연구의 접근전략 및 목적은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 해양생태계 변화에 따른 어업을 둘러싼 사회경제적 여건 변화를 분석하고, 둘째, 생태계 미래상태 예측에 따른 어업의 사회경제적 여건변화를 예측하며, 셋째, 사회경제적 목표를 바탕으로 한 자연과학적 연구의 방향을 제시하는 데 있다. 생태계 변화를 기반으로 한 사회경제적 어업여건 분석 및 예측을 위한 구체적 실행전략은 FUTURE 과학 프로그램의 실행전략(PICES의 지속적 공헌, 인간차원, 상품개발, 운영활동)과 연동되어 실행될 수 있어야 한다.

구체적 실행전략으로는 첫째, 사회경제적 분석, 모델수립 및 예측을 위한 자료의

논의 및 수집이며, 이러한 자료를 통해 인간 활동을 위한 과학적 정보를 제공할 수 있어야 한다. 이를 위해 해양과학분야 프로세스 연구의 분야별 생태계 연구와 협력하여 사회경제적 자료를 수집해야 한다. 그리고 해양생태계, 생태학, 기후변화 등 자연과학분야 연구 내용을 검토하고, 제공되는 자료의 성격을 파악하여 자연과학분야 연구자와 사회과학분야 연구자 간의 협의를 통해 필요한 자료를 파악하고, 관련 자료의 조사 및 수집을 할 필요가 있다. 또한 제공된 자료의 활용가능성 여부 파악과 실질적 적용에 대한 검토도 필요하다.

둘째, 해양과학분야 프로세스 연구에 있어서는 기존 생물경제모델(Bioeconomic Model)을 보다 확장한 생태계 경제모델 (Ecosystem Economic Model) 등과 같은 사회경제적 분석기법들(Socioeconomic Analytical Tools)을 개발하여 국지적/지역적 생태계 변화, 인간 활동의 생태계 영향 등이 사회경제에 미치는 영향에 대한 분석이 이루어지도록 해야 한다. 이를 위해 전통적 어업생산함수를 응용 및 개선하고 전통적 생물경제모델을 확장하여 생태계 변수를 활용하여야 할 것이다. 이러한 모델 개발을 통해 지속적 생산 및 어업경영 여건을 분석하고, 현행 어업정책 수립을 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

셋째, 해양생태계 변화 예측 및 평가를 바탕으로 어업의 사회경제적 여건 변화의 예측 및 평가 등이 이루어져야 할 것이다. 사회경제적 상황 및 여건 변화의 예측에 있어서는 불확실성을 충분히 고려해야 하는데, 불확실성에 대한 고려 없이는 관련 정책이나 제도를 수립하고 집행하는데 있어 위험(risk)이 커지게 된다. 해양생태계 변화를 바탕으로 한 사회경제적 여건 변화의 예측에 있어서는 무엇보다 해양생태계 변화 자체의 불확실성에 크게 영향을 받을 수 밖에 없다. 따라서 이러한 해양생태계 변화의 불확실성을 충분히 고려하고, 여기에 사회경제적인 요소들의 불확실성을 반영한 시뮬레이션 모델분석이나 민감도분석 등을 통해 어업의 사회경제적 여건 변화를 예측해 나가야 한다. 이러한 불확실성을 고려한 사회경제적 여건 변화에 대한 예측 및 평가는 지속적 어업생산 및 안정적 어업경영 유지를 위한 정책수립의 기초 자료로 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

<생물해양학>

FUTURE 사업에서는 기존의 생물 연구를 뛰어 넘어 학제간 융합연구 및 더 나아가서는 사회경제에 미치는 파급효과에 대한 연구결과를 제공하고, 그 결과가 정책적으로 반영될 수 있도록 하는데 중점을 두고 있다. 이는 생물의 변동과 더불어 다른 비생물적 요소와의 통합적 연구가 우선적으로 이루어져야 할 것이다. 이를 기반으로

기존의 생물 중심으로 한 해양생태계의 이해를 위한 과학적 정보보다는 물리, 수질 환경 등 다양한 분야가 융합된 우수한 정보가 생산되어야 한다. 이러한 과학적 정보 기반이 구축되어야 FUTURE 프로그램이 추구하는 해양 생태계내의 자연적 및 인위적인 압력과 변화를 견딜 수 있는 생태계의 역량과 복원력, 불확실성을 측정할 수 있으며, 이러한 측정이 이루어질 때, 미래 해양생태계의 상태 및 변동을 예측, 제공할 수 있는 단계로 진입할 수 있을 것이다.

앞에서 설명한 새로운 기술의 개발과 융합 및 통합적 연구방향을 기본으로 생물 분야에서는 현재의 생물적 요소를 정확히 분석하고, 생물요소를 보호하며 지속 가능한 이용을 촉진하는 연구분야와 생물위협에 대한 예측 및 대응에 관한 연구 등이 이루어져야 한다. FUTURE의 핵심질문에 기반하여 앞으로 추진되어야 할 연구를 아래와 같이 개괄적으로 설명할 수 있다.

첫째, **해양생물종 다양성 평가 및 예측·관리 시스템 개발**에 대한 연구 추진이 필요하다. 이 과제는 FUTURE의 AICE 및 COVE와 연관성이 있으며, MEQ, POC, MONITOR, FIS와 융합연구가 가능하다. 생물종다양성이 국가의 미래 자산으로써 중요하게 대두되면서 각국에서는 생물종다양성을 파악하고 보호, 관리하기 위한 국가적 시스템을 구축하고 있다. 이와 더불어 생물종다양성은 생태계의 변화를 가장 잘 반영하므로 이들의 변화로 생태계의 변화를 평가하고 예측할 수 있다. 따라서 생물의 다양성을 고해상도로 분석하기 위한 기술을 개발하여 생태계의 다양성과 건강성을 분석하고 그들의 상관관계를 분석함으로써 해양 생태계의 건강성 및 취약성을 분석, 평가, 관리할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

둘째, **한국 연·근해 식물플랑크톤 분포 파악 및 해양변동에 따른 예측** 연구과제의 수행이 필요하다. 이 과제는 FUTURE의 AICE, COVE와 연관성이 있으며 MEQ, POC, Monitoring사업과 융합연구가 필요하다. 기후온난화로 우리나라 연근해의 식물플랑크톤종이 변동하고 있으며, 선박평형수, 국제교역 증대 등으로 인하여 외래종이 출현하고 있다. 또한 부영양화 등 인간생활에 의해 식물플랑크톤의 대증식이 일어나서, 독소 및 수산피해가 야기되고 있다. 그러나, 현재 우리나라 고유의 식물플랑크톤의 현황조차 파악이 어려운 실정이다. 따라서, 연·근해의 식물플랑크톤 종 출현 양상 및 이들 종의 변동과 자연적·인위적 영향과의 관계를 미래예측 및 이에 대한 대비책 마련을 위한 연구가 필수적이다.

셋째, **기후변화에 따른 저차영양단계 구조와 기능 변화연구**가 필요하다. 본 과제는 FUTURE의 AICE, COVE, SOFE와 연관성이 있으며, PICES 조직중MEQ, POC,

MONITOR, FIS, 사회경제와의 융합연구가 필요하다. 기후변화에 따른 해양환경 변화가 일차생산자인 식물플랑크톤의 군집구조 변화(규조류 중심→극미세조류 중심의 구조 변화 또는 대증식의 시기, 빈도, 지속시간의 변화 등)가 발생할 것으로 예상되며 이에 따른 영양단계의 변화는 저차 영양단계의 뚜렷한 구조 변화를 예상할 수 있다. 따라서 동·서·남해안의 독특한 생태환경은 기후변화에 따른 서로 다른 방향으로 저차영양단계의 구조 변화를 발생시킬 수 있기 때문에 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

넷째, 수산자원의 변동 및 기후변화에 대한 저차영양단계 생물의 변동을 파악하고 예측하기 위하여 **동물플랑크톤 장기 군집구조 변화 연구**가 기반이 되어야 한다. 본 연구는 FUTURE의 AICE, COVE와 밀접한 연관성이 있으며, MEQ, POC, Monitoring, FIS 등과의 융합연구가 가능하다. 현재 국립수산과학원에서 수행중인 동물플랑크톤 시료 수집·보관과 관련하여 과거 동물플랑크톤 군집의 종수준의 군집 구조 변화와 기후 변화에 따른 해양환경 변화를 함께 고려할 수 있는 연구로의 발전이 있어야 할 것으로 판단된다. 또한, 어류 및 주요 수산자원의 먹이원으로 이용되는 동물플랑크톤 군집의 장기 군집변화 연구는 주요 수산자원의 자원량 변화를 이해하는데 중요한 자료로 활용될 수 있다.

다섯째, 최근 기후변화에 따른 두드러진 현상 중의 하나로 해파리의 대량 출현을 들 수 있다. 따라서 국가적 차원에서 **해파리의 대량 출현에 따른 대응 전략** 마련이 필요한 실정이다. “해파리의 대량 출현에 따른 대응전략 개발”이라는 과제는 FUTURE의 AICE, COVE, SOFE와 연관성이 있으며, MEQ, POC, Monitoring, FIS사회경제분야와 융합연구가 가능하다. 우리나라 연안역의 해파리 대량 출현은 기후변화와 인위적인 환경 교란이 동시에 작용하여 나타난 현상으로 파악되고 있으며, 비교적 짧은 시간 내에 해양생태계의 구조 및 기능 변화를 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라 사회·경제적인 측면에서도 큰 파급효과를 주기 때문에 해파리 대량 출현에 대한 대응 전략 연구가 중요할 것으로 판단된다. 국·내외적으로도 상당한 생태, 사회, 경제적 문제를 발생시키고 있을 뿐만 아니라 발원지 추적 및 이동 경로 파악 등에는 국제적인 공동 연구가 필수적인 측면이 있다. 따라서 본 사업을 통하여 이러한 국가적 차원에서 연구 기반조성이 필요하다.

여섯째, **저서 생태계 구조/기능 변화 예측 모델의 개발**에 대한 연구가 필요하다. 본 연구는 FUTURE의 AICE, COVE, SOFE와 연관성이 있으며, MEQ, POC, Monitoring, FIS와 융합연구가 필요하다. 이용 가능한 다수의 시기와 지역으로부터의

생물 그리고 환경 요인 자료를 종합하고 이를 바탕으로 시스템 구조, 기능과 요인 간의 관계 예측 연구가 필요하다. Analogue(현장 실험)/analytical(모델) assessment 연구 및 생태계 구조/기능의 자연적/인위적 변동의 차이에 대해 인식을 위한 연구가 이루어져야 한다. 또한, Stressors 또는 driving forces의 식별 및 효과에 대한 이해가 되도록 연구가 이루어져야 한다.

일곱째, **외래종 유입 모니터링 및 생태계 이상 영향 평가**에 대한가 필요하다. 본 연구는 FUTURE의 AICE와 밀접한 상관성이 있으며, MEQ, POC, Monitoring, FIS, 사회경제분야와의 융합연구가 필요하다. 다양한 경로를 통하여 유입된 외래해양 생물종으로 인한 여러가지 사례의 국가 피해가 보고되고 있다. 외래 해양생물종은 토착해양생물과 경쟁관계 혹은 포식관계를 형성할 수 있으며, 외래생물로 인한 새로운 질병 및 2차 오염 유발 가능성을 내포하고 있다. 또한, 예측하지 못했던 해양생태계의 변화를 통한 연안 해역 경제의 손실 유발이 가능하다. 이와 같은 사회, 경제적 피해가 발생, 예측됨에도 불구하고, 현재까지 외래해양생물의 범위 및 이동경로 그리고 그에 대한 영향에 대한 종합적인 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 인위적 혹은 환경적 요인과 특정 외래종의 상관관계에 대한 분석 및 예측에 관한 연구가 필요하다.

여덟번째, **해양산성화에 대한 해양 생태계 구조의 변화 분석**에 관한 연구가 필요하다. 본 연구는 FUTURE의 COVE와 밀접한 상관성이 있으며, 그 외에 AICE, SOFE와 연관성이 있고, MEQ, POC, Monitoring, FIS, 사회경제분야와 융합연구도 필요하다. 1751년부터 1994년까지 해수 표층의 pH 8.179에서 8.104로 낮아졌으며, 세계 해양이 과거에 비해 100배나 빠른 속도로 산성화되고 있다고 발표되고 있다. 인간이 생산한 질소, 황, 이산화탄소의 증가가 해양에 녹아 산성화를 가속시키고 있으며, 그 중 이산화탄소의 증가가 해수의 pH의 감소와 밀접한 관계가 있다. 이러한 결과, 탄산칼슘을 포함하고 있는 생물의 급격한 감소가 일어나며, 특히 산호류, 성게류, 갑각류, 연체동물과 같이 광범위의 범위에서 일어나고 있다. 본 연구는 중급 규모의 해양 생태계를 재현한 후 이산화탄소의 증가가 해양생물에 미치는 영향에 대한 생태계 전반에 관한 실험을 통하여 미래의 해양 생태계의 변화를 분석 예측하여 대비하는데 목적을 두고 있다.

마지막으로 **연안이용이 연안생태계에 미치는 영향 평가 및 복원기술개발**연구를 들 수 있다. 본 연구는 FUTURE의 AICE, COVE, SOFE와 연관성이 있으며, MEG, POC, Monitoring, FIS, 사회경제 분야와의 융합연구가 필요하다. 연안역 매립, 항구

개발, 양식장 개발 등 연안이용이 과다하게 이루어지면서 이러한 이용이 연안생태계에 미치는 직간접적인 영향을 파악하고 이에 대한 대응책 마련이 필요하다. 따라서, 연안역 이용에 대한 case-study를 하여 생태계의 반응 비교 분석하고, 이를 근거로 하여 복원 및 대응 방안 마련 시스템 구축이 필요하다. 여기에 IFRAME (부록 6)은 공통된 틀로 적용할 수 있을 것으로 보인다.

<해양환경>

북태평양 해역 해양환경의 질적인 측면과 융합 연구를 증진하고 조화시키는 책임을 맡고 있는 PICES MEQ (Marine Environmental Committee)는 오염 및 공해 물질의 원인, 전파 및 소멸 과정에 대한 이해, 유해조류대발생의 생태, 해양양식의 환경 질적인 측면, 외래종의 전파와 유입 등을 주로 다루어 왔다.

현재까지 완료된 PICES 작업반(Working Group) 활동사항은 해양 오염의 공인 측정방안 개발(WG-2, 1992-4), 실용 분석 방법(WG-8; 1994-2000), 북태평양 유해조류대발생(Harmful Algal Blooms; HAB)의 생태(WG-15, 1999-2003), 생태와 사회 경제 및 생산 측면에서의 21세기 해양 양식(WG-18, FIS 공동, 2003-2006)과 연구반(Study Group) 활동으로 생태계 기반 관리과학과 북태평양 적용연구(SG (FIS 공동), 2003-2004)가 수행된 바 있다. 한국은 이중 HAB에 주로 참여하였고, 2003년 이후 양식 분야 및 생태계 기반 관리과학 등에 주도적으로 참여하였다.

HAB 분야는 모든 참여국의 자발적인 기여와 일반 대중의 관심과 지지 속에 지속적으로 확대되어 현재 HAB Section으로 정착되어 활발한 활동이 진행 중이다. 또한 참여국의 이해가 상충되지만 중요한 생물종 다양성 문제를 포함하는 환경 문제로 부각된 외래종 분야와 지속 가능한 개발의 대안으로 제시되고 있는 생태계기반관리(Ecosystem Based Management; EBM) 분야도 중요한 의제로 다뤄지고 있다.

다른 분야는 각 국간의 정보 및 기술 수준, 이해관계 및 관심도의 차이에 따라 바람직한 결과를 도출하지 못한 활동도 있었지만, 전반적으로 해양 환경의 질과 해양 오염을 비롯하여 최근 연안역 환경 및 인간활동에 대한 내용도 다루고 있어, 다른 위원회와 함께 운영되고 있다. 특히 BIO 및 FIS와 함께 공동으로 연구가 진행되고 있다.

이런 배경에서 FUTURE 사업에서 중점적으로 밝혀내야 할 내용으로 인간활동이 직 간접적으로 해양환경에 미치는 영향과 이로 인한 환경의 변화, 그리고 인간사회의 변화 등의 분야는 MEQ가 중점적으로 참여하여야 한다. 인간 문명과 함께 발달한 연안역 부영양화, 이로 인한 HAB 및 연안역 오염 등의 발생 기작에 대한 근본적

인 연구는 물론 이에 대처하는 방안 연구가 필요하며 이에 대한 내용이 FUTURE 접근 전략에 포함되어 있다.

이를 위해서는 한국측 FUTURE 연구에서도 이미 잘 알려진 융합(interdisciplinary) 접근 방법으로 해양 환경의 구조 및 기능과 인간활동을 종합적으로 묶어서 다양한 측면을 고려하여 구명하는 것이 바람직하다. 이를 위해 기본적으로 영양염의 순환과 수지, 생산성 향상, EBM등이 FUTURE 연구의 핵심 추진 방안으로 추진되어야 한다. 해양 생태계의 구조와 기능에 대한 연구는 핵심 요소로서 연구 대상 해역에서 기본적으로 수행되어야 한다.

<정보관리>

해양생태계와 관련하여 국내에서 수행한 대부분의 정보관리시스템 사업들은 주로 기관별, 분야 별로 독립적으로 운영하거나 부분적인 상호 연동 서비스를 제공하고 있으나, 서비스의 품질과 데이터의 공유 수준에서 극히 제한적인 수준에 머물고 있다.

이런 국내의 자료정보 관리상황에서는 이중 분산 시스템, 서비스 및 DB간의 상호 연동 구동이 가능한 개방형 FUTURE 정보관리시스템 개발이 필요하다. 또한 개방형 FUTURE 정보관리시스템의 핵심 기반기술로 #통합식별체계의 도입이 바람직하다. 자료정보의 #통합식별체계는 2000년도에 국내에서 독자적으로 개발되어 10개국에 특허 등록이 완료되었고, 국제표준화기구인 ISO/TC211을 통해 유비쿼터스 분야 표준화 과제(ISO 19151)로 승인을 받은 바 있는 새로운 기술이다. #통합식별체계에 의한 개방형 FUTURE 정보관리시스템 구축은 국내 기관간은 물론 국가간에 분산된 이중 시스템의 자료정보를 연계활용 할 수 있을 것으로 PICES FUTURE 프로그램에 기여하는 바가 매우 클 것이다.

3. 한국 FUTURE 핵심 신규 연구과제

대과제 제목: 한국 FUTURE 프로젝트 신규과제

Ko-PICES (PICES 한국위원회)는 2009년 7월부터 2010년 1월까지 우리나라 해양관련 전문가들이 참여하는 워크숍과 실무모임을 통해서 PICES FUTURE에 기여할 수 있는 국내사업을 기획하였다. 국내 관련 연구자들과 논의를 통해서 새로운 신규과제를 만들었는데 그 과제제목은 “한국 FUTURE 프로젝트”로 잠정적으로 정했다 (부록 1).

“한국 FUTURE 프로젝트”는 FUTURE 3가지 조직, 즉 COVE, AICE, 그리고 SOFE에 대응하는 3가지 중과제로 구분하여 PICES FUTURE 과학프로그램에 더욱 효율적으로 기여할 수 있도록 했다 (2.3 참조). 따라서 각 중과제 이름은 한국에서 이루어지는 FUTURE 사업 (“FUTURE in Korea”)이라는 뜻에서 알기쉽게 COVE-K, AICE-K, SOFE-K로 각각 명명했다.

3.1. COVE-K

PICES FUTURE 프로그램에서는 해양생태계의 물리, 화학, 생물학적 과정을 밝히는 연구의 중요성을 강조하고 있으나, 우리나라의 연구성과는 그다지 많지 않다. 특히 소해양으로 일컫는 동해의 생태계연구는 우리나라 유용자원의 주요 회유로이며 해양생산력변동이 어획의 직간접적 영향을 받는 해역이므로 많은 연구자의 관심을 갖는 해역인 반면에 연구항목에 따른 조사 정도의 차이가 심한 편이다. 동해 중층수 흐름이 최근 50 여 년간 다소 느려지면서 기초생산력과 동물플랑크톤은 ENSO의 영향을 받아서 연간 또는 계절변동을 갖는다고 하나 먹이망을 통한 유영생물의 에너지 전달 과정과 시차에 대한 연구는 미비하다 (부록 3, 4). 국제학술지의 동해표기현황에서도 일본해의 표기가 월등히 많으나 1985년 이후 동해병기표기 사용 이후 일본해가 JES 표기로 교체되고 있는 추세를 상기하면 [85], 중, 일, 러 등의 인접국간 관계에서도 동해지명 사용과 해양이용의 주도권 확보를 위한 동해 대양저 스케일의 생태계에 대한 분야간 통합적인 연구와 효율적인 생태계 관리가 필요한 실정이다.

이에 따라 COVE-K의 연구대상으로 울릉분지를 중심으로 한 동해 대양저 스케일의 연구를 생태계 기반으로 접근하며, 기후변동이 해양물리, 화학, 생물학적 과정을 통하여 상위먹이사슬까지 영향을 미치는 과정과 유용생물의 어획과 대형고래류의

포식이 생태계의 변동에 영향을 미치는 과정을 상호비교하고 모델링하는 연구를 중
과제로 제안하였다.

3.2. AICE-K

FUTURE 핵심 질문 중 AICE와 연관이 있는 중요한 질문에 대한 국내 연구현황을
분석한 결과, “인간활동과 연안 생태계 상호작용에 관한 연구”가 가장 취약한 것으
로 분석되었다. 따라서 우리나라 주변 연안해역에서 인간활동의 영향을 많이 받는
것으로 판단되는 광양만, 영일만, 경기만 해역을 대표해역으로 선정하여, 다음과 같
은 목표를 가지고 각 해역 특성에 맞추어 조사 및 분석이 계획되었다. 사업의 목표
는 1. 인간활동이 연안생태계에 미치는 영향 규명, 2. 연안생태계 변화가 인간 사회
경제에 미치는 영향 평가, 3. 생태계 상태 지표, 관리 기준점 개발, 4. 위험도 분석에
의한 생태계 관리이다. 이러한 목표로 3개 대표 해역에 대한 1. 부유생태계조사, 2.
저서생태계조사, 3. 유영생태계조사, 4. 생태계의 기능 및 구조를 중심으로 한 생태
학적 과정 분석, 5. 생태계 주요 여인에 대한 현황도 작성에 대한 조사 및 분석이
완료되면 이를 근거로 3개 해역에 대한 비교, 분석을 통하여 결론을 도출할 계획이
다.

3.3. SOFE-K

중과제 SOFE-K는 PICES FUTURE 3가지 조직 중에서 SOFE에 해당하는 국내 사
업으로 우리나라 과학자들이 FUTURE 과학프로그램에 적극 참여하여 기여함과 동
시에 다른 회원국 FUTURE 프로그램 정보와 결과를 공유하여 우리나라 해양관련
연구 수준 향상을 목표로 한다. 우리나라에서 지금 수행중인 해양수산관련 사업 중
PICES FUTURE에 기여할 수 있는 사업은 크게 모니터링, 환경영향평가, 정부정책과
제로 나눌 수 있다 (부록 3). 이런 다양한 기존사업이 FUTURE에 기여할 수 있도록
유도하는 프로그램과 이것을 총괄할 수 있는 조직이 필요하다. 각 분야 전문가들이
위원회를 구성하여 기존사업이 FUTURE와 연계될 수 있도록 홍보와 동기부여를 하
고 학술활동에 적극 참여할 수 있도록 인센티브를 제공함과 동시에 활동 결과를 엄
밀히 평가하여 지원 예산이 효과적으로 쓰여질 수 있도록 할 필요가 있다. 새로운
조직을 만드는 것보다는 기존 PICES 한국위원회가 주도하여 필요하면 관련 전문가
와 조직을 확장하는 것이 효율적일 것으로 보인다.

이런 기존 사업 지원과 국내 홍보활동은 PICES FUTURE 과학프로그램 중 SOFE와 성격이 비슷하기 때문에 SOFE-K라는 중과제 속에 포함시켰다. SOFE-K는 다음 3가지 목표 달성을 위한 3가지 소과제로 구분하였다.

목표 1: 해양관련 기존 국내 연구사업을 FUTURE와 연계하고 홍보.

목표 2: 국내 연구사업을 종합하여 한국 해양 생태계 보고서를 매년 발간

목표 3: 개방형 정보관리 시스템을 개발하여 국내 해양 관련 자료를 효율적으로 관리

3.3.1. 기존 연구사업 연계와 한국생태계 보고서 발간

PICES 한국위원회 (Ko-PICES)는 기존 해양관련 국내 연구사업과 연구 논문을 분석 검토하여 PICES FUTURE에 기여할 수 있는 연구결과를 발굴 취합하고 이를 바탕으로 최종적으로 한국 해양생태계 보고서를 발간하고자 한다. 아울러 이런 과정을 통해서 국내 관련 연구사업 담당 과학자들이 FUTURE에 관심을 갖고 적극 참여하고 기여할 수 있는 체계를 마련한다.

이를 위해서 다음 세부 목표를 수행한다.

가. FUTURE의 Science Plan과 Implementation Plan을 분석 검토

- 전문가 그룹이 FUTURE Science Plan과 Implementation Plan을 한국근해의 특성과 한국 입장에서 검토한다.

- 연구주제, 소주제 등의 연구 방향과 더불어 조직 및 접근방식을 검토

나. 현재 수행 중이거나 계획된 국내 해양 관련 연구사업, 그리고 이미 출판된 관련 논문을 FUTURE 핵심과제 18가지 (표 1)와 비교, 평가하여 개선 방안 제시

- 기존 국내 연구 사업 보고서 분석을 통해서 FUTURE 핵심과제와 비교 평가

- 워크샵 개최를 통해서 현재 진행중인 연구사업 담당자들이 연구결과를 발표하게 하여 FUTURE에 기여할 수 있는 의견 취합

- FUTURE 관련 국내 연구 역량 장단점 분석과 개선 방안 마련

다. 기존 국내 관련 연구사업과 연구 논문을 바탕으로 한국 생태계 보고서 발간

- 기존에 우리나라 과학자들이 국내외 학술지에 출판한 논문을 FUTURE 핵심과제와 비교 평가

- FUTURE 관련 국내 연구 역량 장단점 분석과 개선 방안 마련

- 워크샵을 통해서 논문 주저자들의 의견을 취합하여 앞으로 FUTURE 에 우

리나라 과학자들이 적극 참가하고 기여할 수 있는 방안 마련

- o PICES에서 수시로 갱신할 예정인 북태평양생태계 보고서에서 한국편 보고서 토대 마련

라. 국내 해양관련 연구사업들이 PICES FUTURE 에 참여하는데 장애가 될 요인들을 사전 분석하여 이를 개선할 수 있는 체제 마련.

- o 기존 국내 연구사업이 PICES FUTURE에 효과적으로 기여할 수 있는 지원 방안과 관련 조직 개발
- o PICES FUTURE의 3개 자문단(COVE, AICE, SOFE)에 대응하는 국내 자문위원단(Advisory Panel)을 구성하여 기존 해양관련 국내 연구를 총괄하고 FUTURE로 유도하는 방안 분석 검토
- o FUTURE 지원 체제에 관한 보고서 작성

SOFE-K 추진체계는 Ko-PICES에서 주도하며 필요한 경우 외부 자문단 구성한다. 각 분야별로 국내사업 연구자들 초청하여 세미나 개최를 하며 편집진을 구성하여 세미나와 워크샵 결과를 토대로 한국 생태계 보고서를 최종적으로 작성한다.

3.3.2. 개방형 정보관리 시스템 개발

PICES FUTURE 3개 자문조직 중에서 SOFE는 각 회원국 과학자들 사이 정보 공유를 촉진하고 관련 기관과 대중들과 활발한 상호교류를 목적으로 한다. 우리나라는 인터넷 기반 IT 산업이 비교적 발전되어 있기 때문에 PICES 회원국은 물론 국내 관련 전문가들이 효과적으로 정보를 공유할 수 있도록 개방형 정보관리 시스템을 개발하는데 초점을 맞추어 PICES FUTURE에 기여하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

범세계 객체식별ID를 이용한 개방형 FUTUR 정보관리시스템은 이메일과 유사하나 @대신 #을 이용한 통합식별체계인 ePosition 기술을 적용하여 다수의 이중 분산 시스템, 서비스 및 DB간 연동이 가능한 개방형 FUTURE 정보관리시스템을 말한다. 통해 기후와 인간 활동이 북태평양 생태계에 미치는 영향 등 핵심적인 과정들에 대한 이해를 증진하기 위한 각종 예측 및 분석 모델에서 필요한 다양한 데이터를 원활하고 시기 적절하게 공유할 수 있고, Status reports, Outlooks 및 Forecasts 등 해양 산출물의 이해, 명확한 표현, 검토, 배포 및 평가 등의 업무 수행을 통해 FUTURE의 궁극적인 목표를 쉽고 효율적으로 달성할 수 있다.

이 개방형 FUTURE 정보관리시스템은 이미 국내에서 개발되어 수년간 상용 서비스를 통해 신뢰성이 입증된 혁신적인 #통합식별체계 기술을 활용하여 다수의 분산

된 이중 시스템과 서비스간 연동을 위한 상호호환성 문제가 완벽하게 해결될 수 있고 데이터 관리 효율을 높일 수 있어 TCODE 및 SOFE와 직접적으로 관련성이 매우 크고, 북태평양에서의 기후와 인위개변이 해양 생태계에 미치는 영향 등 핵심적인 과정들에 대한 이해 증진을 위해 수행하고자 하는 갖가지 예측 분석 모델들에 필요한 정보를 시기적절하고 효율적으로 제공하는 경우 FUTURE에서 추구하는 목적을 더 잘 달성할 수 있으므로 AICE 및 COVE와도 간접적으로 관련성이 적지 않다.

해양생태계와 관련하여 한국에서 수행한 대부분의 정보관리시스템 사업들은 주로 기관별, 분야 별로 독립적으로 운영하거나 부분적인 상호 연동 서비스를 제공하고 있으나, 서비스의 품질과 데이터의 공유 수준에서 극히 제한적인 수준에 머물고 있다. 또한 상기 제안과제와 같거나 유사한 방식의 연구개발은 이루어지지 않았다.

FUTURE 응용시스템을 개발하는 경우 본 제안과제를 통해 개발된 개방형 FUTURE 정보관리시스템을 공통 기반 기술로 활용하여 구축하는 것이 요구된다. 따라서 과제 기획 단계에서 타 과제와 본 제안 과제간의 융합연구 필요성을 검토하는 것은 중복연구를 배제하고 경제성과 효율성을 제고하기 위해 중요하고 필요한 일이다.

또한 본 과제를 통해 개발하고자 하는 이중 분산 시스템간의 완전한 상호연동 기술은 FUTURE 뿐 아니라 기존의 국내 해양생태계 관련 시스템간의 통합을 위해서도 유용하다. 또한 해양 분야 외에 광범위한 타 분야에도 유사하게 적용이 가능한 공통핵심 기반기술이므로 국내 및 세계시장에서 얻을 수 있는 사회 경제적 기대효과가 매우 큰 편이다.

본 과제에서 개발하고자 하는 산출물은 공통 기반 기술에 해당하며, 타 분야의 연구개발 결과를 실제 운영시스템으로 구현하고자 하는 경우 효율적으로 데이터를 공유하기 위해서는 본 과제를 통해 개발한 공통 인프라를 기반으로 구축할 필요성이 제기될 가능성이 있다.

4. 예상성과 및 기대 효과

4.1. 국제해양과학에 기여

PICES는 북대서양 해양과학기구인 ICES와 더불어 세계 양대 해양과학기구로 전세계 기후변화-생태계의 연구를 주도해 왔다. 우리나라가 PICES 회원국에 가입한 이후 해양수산분야의 과학자들은 PICES 활동을 통하여 북태평양 연안국들과 연구협력이 활성화되어 해양수산연구발전에 기여한 바가 크다. 그러나 PICES 과학활동 시스템이 부족한 환경에서 개별 과학자 차원의 노력으로는 충분한 대응이 어려웠던 상황을 감안하면 PICES FUTURE 프로그램은 활동 동기 부여와 구체적인 목표 제시로 효율적인 과학활동을 가능하게 하고 그에 따른 성과창출도 기대된다. PICES FUTURE 중장기 과제발굴과 수행과정에 기존에 참여하던 과학자그룹의 리더쉽과 젊은 과학자들의 PICES FUTURE 성격에 알맞은 연구활동참여로 과학기술의 세대교류와 능력발휘의 기회를 제공하여 미래의 해양수산분야 연구 저변의 확대가 가능하다. FUTURE의 성공은 각 지역 프로그램의 성공에 달려 있으며 황해-동중국해-동해 등 서태평양 해역을 맡고 있는 한국 FUTURE 프로그램은 FUTURE의 성공 나아가 전세계 해양과학의 발전에 큰 기여를 할 수 있다.

FUTURE 사회경제적 연구는 FUTURE의 핵심적 주제와 밀접한 관련이 있을 뿐만 아니라, 다른 자연과학적 연구와의 융합을 통해 보다 실효성있고, 현실성 있는 연구결과를 제공할 수 있다. 또한 이러한 연구결과는 향후 FUTURE 연구의 방향에 대한 시사점을 제공할 수 있고, FUTURE 연구결과를 바탕으로 한 정책 수립에도 사회경제적인 연구 결과를 제공할 수 있을 것이다. 기후변화-생태계 변동 연구 분야에서 생태계 연구 결과의 사회경제학적 해석 그리고 사회적 연대 (engagement)는 전세계적으로 활성화되고 있는 분야이며 한국 해양수산분야의 사회경제학적 연구는 독특한 사례가 될 것이다.

4.2. 국내 사회경제적 기여

PICES FUTURE 과학 프로그램에 기여하는 국내 연구들은 기후변화에 대응한 방안을 개발하고 제시함으로써 해양·수산분야의 녹색성장에도 기여할 것으로 기대된다. FUTURE 사업을 통한 조사연구활동의 발전은 해양정책의 기본제시와 정책추진의 실효성을 확대하여 지속적인 녹색 해양산업의 성장을 견인할 근간이 될 수 있다.

해양은 막대한 환경오염 정화능력을 지니고 있으며 생물자원의 보고로서 육상생물 자원의 한계를 해결할 공간으로 기대를 받고 있다. 반면에 화석연료의 사용증가로 지구의 평균기온이 상승하고 해수면이 상승하여 기후변화로 인한 막대한 경제적 손실이 예상된다. 이에 대응하여 FUTURE 기반의 해양과학조사의 발전은 자원환경위기의 시대에 저탄소녹색성장을 국가경쟁력의 핵심이 되기 위한 과학적 추진동력이 될 것이다.

PICES FUTURE 관련 국내 연구 중 연안이용과 개발 등에 의한 영향평가 및 복원 기술개발은 사회경제적 분야에도 기여할 수 있을 것으로 보인다. PICES FUTURE의 융합적 연구를 통한 북태평양 해양생태계의 변화 및 예측을 바탕으로 연안 생태계 및 어장 이용에 대한 큰 사회경제적인 기여를 행할 수 있다. 구체적인 PICES FUTURE 연구의 사회경제적 기여는 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 북태평양 해양생태계 변화 및 예측을 바탕으로 장단기적인 해양 및 수산정책을 보다 효과적으로 수립하고 운영할 수 있다. 해양 및 수산 관련 정책 수립 및 운용의 실효성을 높이기 위해서는 과학적인 자료의 뒷받침이 필수적으로 행해져야 하는데 FUTURE 연구를 통해 유용한 과학적 기초자료를 제공할 수 있을 것이다. 예를 들어, 현재 가장 중요한 수산정책 중의 하나인 수산자원회복계획의 수립 및 운영에 있어 과학적인 해양생태계 변화, 예측 자료를 제공함으로써 정책운용의 효과를 보다 극대화할 수 있을 것이다.
2. 향후 지속적인 수산업 발전을 위한 근거자료를 제공할 수 있다. 해양생태계 변화에 따른 어업생산의 장단기적 변화를 평가하고 예측함으로써 지속적인 어업생산을 도모할 수 있고, 이를 통해 국가 식량 수급 대책을 보다 효과적으로 수립할 수 있을 것이다. 어가 및 수산기업의 경영안정화를 도모할 수 있다. 해양생태계 변화에 대한 과학적 평가와 예측을 바탕으로 어가 및 수산기업의 경우 생산 및 판매 등의 경영 전략을 수립할 수 있고, 이를 통해 경영안정화를 도모해 나갈 수 있다. 또한 해양생태계 변화에 따른 국제적 어업생산 변화를 평가하고 예측함으로써 생산기지화 전략, 해외투자 전략 등을 수립하여 수산기업들의 국제경쟁력을 높일 수 있을 뿐만 아니라 수산업 글로벌화 전략을 통해 수산업의 부가가치를 증대시키고, 나아가 우리나라 수산업의 국제적 위상을 높이는데 크게 기여할 수 있을 것이다.

4.3. 동해/독도 입지 강화

우리나라는 PICES에 CREAMS/PICES프로그램을 제안, 운영하여 동해연구의 리더 역할과 주변국간 입지확대를 위하여 노력해 왔다. PICES는 국제사회에서 동해를 단일호칭 또는 병기하는 국제기구로서 매우 중요한 역할을 하고 있음을 고려하면 PICES FUTURE 프로그램으로 동해에 대한 연구수준의 향상과 연구범위의 확장, 연구성과의 진작이 기대된다. 더구나, 성과물로서 국제적으로 영향력이 큰 논문이 발표된다면 인용회수의 증가와 더불어 동해표기횟수가 크게 상향되고 그에 속한 독도의 입지도 강화될 것으로 예상된다. 근래에 러시아 등 제 3국 학자의 논문에서 동해를 병기하는 사례가 늘고 있는 것은 꾸준히 국제학술지에 동해 관련 논문을 발표해온 국내학자들의 노력의 결과이며 앞으로도 이러한 노력을 지속해야 한다 [85]. FUTURE 주제에 의한 동해 연구 결과는 국제학술지의 특별호 등을 통해 발표될 것이므로 일본의 연구에 뒤지지 않는 연구논문이 계속 나와야 하고 한국 FUTURE 프로그램은 이에 크게 기여할 토대가 될 것이다.

5.참고 문헌

- [1] Smith, T.D., Scaling fisheries: The science of measuring the effects of fishing. 1994, Cambridge: Cambridge University Press. 392.
- [2] Batchelder, H.P. and S. Kim, Lessons learned from the PICES/GLOBEC Climate Change and Carrying Capacity (CCCC) Program and Synthesis Symposium. Progress in Oceanography, 2008. 77(2-3): p. 83-91.
- [3] PICES, Implementation plan. FUTURE Science Program (Forecasting and Understanding Trends, Uncertainty and Responses of North Pacific Marine Ecosystems). 2009. p. 12.
- [4] Rebstock, G.A. and Y.S. Kang., A comparison of three marine ecosystem surrounding the Korean peninsula: Response to climate change. Prog. Oceanogr., 2003. 59: p. 357-379.
- [5] Jung, S., Spatial variability in long-term changes of climate and oceanographic conditions in Korea. Journal of Environmental Biology, 2008. 29(4): p. 519-529.
- [6] Jung, S., et al., Spatial variability in oceanographic conditions of sea waters off Korea in relation to the regional climate changes during the past 40 years, in International Council for the Exploration of the Sea, Annual Science Conference. 2007: Helsinki.
- [7] Kim, S., et al., Climate variability and its effects on major fisheries in Korea. Ocean Science Journal, 2007. 42(3): p. 179-192.
- [8] Gong, Y., et al., Fluctuations of pelagic fish populations and climate shifts in the Far-East regions. Journal of Ecology and Field Biology, 2007. 30(1): p. 23-38.
- [9] Gong, Y., et al., Fluctuations in the abundance of common squid, *Todarodes pacificus* and Environmental conditions in the Far East regions during 52years. Journal of Ecology and Field Biology, 2006. 29(1):p. 1-16.
- [10] Kang, S., S. Kim, and S.-W. Bae, Changes in ecosystem components induced by climate variability off the eastern coast of the Korean Peninsula during 1960-1990. Progress in Oceanography, 2000. 47(2-4): p. 205-222.

- [11] Kang, Y.-S., Seasonal variation in zooplankton related to North Pacific regime shift in Korea Sea. *Bulletin of the Korean Fisheries Society* 2008. 41(6): p. 493-504.
- [12] Zhang, C., et al., Climatic regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean waters. *Progress in Oceanography*, 2000. 47(2-4): p. 171-190.
- [13] Zhang, C.I., et al., Variations in the abundance of fisheries resources and ecosystem structure in the Japan/East Sea. *Progress in Oceanography*, 2004. 61(2-4): p. 245-265.
- [14] Hong, S.Y. and H.T. Huh, Coastal zone development in the Republic of Korea, in *Coastal Ocean Space Utilization*, N.D. Croce, S. Connell, and R. Abel, Editors. 1995, E & FN SPON: London. p. 409-423.
- [15] Chang, H.D. and J.K. Oh, Depositional sedimentary environments in the Han River Estuary and around the Kyunggi Bay posterior to the Han river's developments. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 1991. 26: p. 13-23.
- [16] Hong, J.S. and J.H. Lee, Effects of the pollution on the benthic macrofauna in Masan Bay, Korea. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 1983. 18(2): p. 169-173.
- [17] Hong, J.-S., et al., How are the spatio-temporal distribution patterns of benthic macrofaunal communities affected by the construction of Shihwa Dike in the West Coast of Korea? *Bulletin of the Korean Fisheries Society*, 1997. 30(5): p. 882-895.
- [18] Hong, J.-S., et al., An analysis on the long-term variation and forecast of catches in some bivalve mollusks in a tidal flat, Inchon, Korea. *Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute*, 1995. 51: p. 67-80.
- [19] Kim, C.S. and H.-S. Lim, Sediment dispersal and deposition due to sand mining in the coastal waters of Korea. *Continental Shelf Research*, 2009. 29(1): p. 194-204.
- [20] Koo, B.J., J.-G. Je, and S.-H. Shin, Benthic pollution assessment based on macrobenthic community structure in Gamak Bay, southern coast of Korea.

- Ocean and Polar Research, 2004. 26(1): p. 11-22.
- [21] Lee, H.J. and S.O. Ryu, Role of the giant Saemangeum dyke in sedimentation at the mouth of an estuarine complex. *Marine Geology*, 2007. 239(3-4): p. 173-188.
- [22] Lee, H.J. and S.O. Ryu, Changes in topography and surface sediments by the Saemangeum dyke in an estuarine complex, west coast of Korea. *Continental Shelf Research*, 2008. 28(9): p. 1177-1189.
- [23] Lee, J.-H. and J.-H. Cha, A study of ecological succession of macrobenthic community in an artificial lake of Shihwa on the west coast of Korea: An assessment of ecological impact by embankment. *Ocean Research*, 1997. 19(1): p. 1-12.
- [24] Lee, J.-H., et al., Environmental assessment of the Shihwa lake by using the benthic pollution index. *Ocean and Polar Research*, 2003. 25(2): p. 183-200.
- [25] Lim, H.-S., et al., Hypoxia and benthic community recovery in Korean coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 2006. 52(11): p. 1517-1526.
- [26] Lim, W.A., Y.S. Lee, and J.G. Park, Characteristics of *Cochlodinium polykrikoides* bloom in Southeast Coastal Waters of Korea, 2008. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, 2009. 14: p. 155-162.
- [27] Paik, S.G., et al., Effects of sediment disturbance caused by bridge construction on macrobenthic communities in Asan Bay, Korea. *Journal of Environmental Biology*, 2008. 24(4): p. 559-566.
- [28] Ahn, T.-M., et al., Some recommendations for establishment of legal systems for conservation and wise use of tidal flats. *Ocean Research*, 1998. 20(2).
- [29] Lee, D.-I., et al., Coastal environmental assessment and management by ecological simulation in Yeolja Bay, Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008. 80(4): p. 495-508.
- [30] Park, T.G., et al., Identification of the dinoflagellate community during *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae) blooms using amplified rDNA melting curve analysis and real-time PCR probes. *Harmful algae*, 2009. 8: p. 430-440.
- [31] Kim, H.G., Recent harmful algal blooms and mitigation strategies in Korea.

- Ocean Research, 1997. 19(2): p. 185-192.
- [32] Lee, C. and W. Lim, Variation of harmful algal blooms in Masan-Chinhae Bay in Korea. *Science Asia*, 2006. 32(1): p. 51-56.
- [33] Kim, D.-I., et al., Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef(Dinophyceae). *Journal of Plankton Research*, 2004. 26(1): p. 61-66.
- [34] Seo, K.S. and Y. Lee, A first assessment of invasive marine species on Chinese and Korean coasts, in *Biological Invasions in Marine Ecosystems*. 2009. p. 577-585.
- [35] Yoon, W.D., et al., Physical processes influencing the occurrence of the giant jellyfish *Nemopilemanomurai*(Scyphozoa: Rhizostomeae) around Jeju Island, Korea. *Journal of Plankton Research*, 2008. 30(3):p. 251-260.
- [36] Zhang, C.I., et al., An ecosystem-based fisheries assessment approach for Korean fisheries. *Fisheries Research*, 2009. 100(1): p. 26-41.
- [37] Cha, H.K., et al., Maturation and spawning of the Pacific cod, *Gadus macrocephalus* TILESIIUS in East Sea of Korea. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 2007. 43: p. 320-328.
- [38] Hwang, B.N. and S.H. Choi, Age and growth of yellow croaker, *Pseudosciaena manchurica* Jordan et Thompson, in the Yellow Sea and East China Sea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 1980. 23: p. 171-178.
- [39] Hwang, S.D., et al., Growth of larval Pacific anchovy *Engraulis japonicus* in the Yellow Sea as indicated by otolith microstructure analysis. *Journal of Fish Biology*, 2006. 69(6): p. 1756-1769.
- [40] Seo, H., et al., Variability in scale growth rates of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in relation to climate changes in the late 1980s. *Progress in Oceanography*, 2006. 68(2-4): p. 205-216.
- [41] Kim, J.K., et al., Age and growth of the elongate Ilisha *Ilisha elongata*. *Journal of fisheries science and technology*, 2007. 10(1): p. 30-36.
- [42] Kim, Y.H., et al., Age and growth of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in the south sea of Korea. *Korean Journal of Ichthyology*, 2006. 18(1): p. 45-54.

- [43] Jung, S., S.-D. Hwang, and J. Kim, Fecundity and growth-dependent mortality of Pacific anchovy (*Engraulis japonicus*) in Korean coastal waters. *Fisheries Research*, 2008. 93: p. 39-46.
- [44] Chang, D.S., T.S. Moon, and M.M. Jung, Shell height frequency using of age and growth of blood cockle, *Tegillarca granosa*(Linnaeus) in Yeosu bay, southern coast of Korea. *Korean Journal of Malacology*, 2006. 22(2): p. 135-141.
- [45] Lee, J.Y., et al., Effects of water temperature on egg development, hatching and larval growth rearing of the Pacific cod *Gadus macrocephalus*. *Journal of aquaculture*, 2007. 20: p. 260-264.
- [46] Seo, Y.S., et al., Egg development and juvenile growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus*(Korean East Sea population). *Journal of Korean Fisheries Society*, 2007. 40(6): p. 380-386.
- [47] Hwang, S.-D., T.-W. Lee, and S.-W. Hwang, Age, growth and life history of gunnel, *Pholis fangi*, in the Yellow Sea. *Fisheries Research*, 2008. 93(1-2): p. 72-76.
- [48] Park, G.-H., et al., A sulfur hexafluoride-based Lagrangian study on initiation and accumulation of the red tide *Cochlodinium polykrikoides* in southern coastal waters of Korea. *Limnology and Oceanography*, 2005. 50(2): p. 578-586.
- [49] Hwang, S.-D., J.-Y. Kim, and T.-W. Lee, Age, growth, and maturity of chub mackerel off Korea. *North American Journal of Fisheries Management*, 2008. 28: p. 1414-1425.
- [50] Choi, Y.M., et al., Age and growth of common mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn, in Korean waters. *Journal of Korean Society of Fisheries Research*, 2000. 3: p. 1-8.
- [51] Rebstock, G.A. and Y.S. Kang, A comparison of three marine ecosystems surrounding the Korean peninsula: Responses to climate change. *Progress in Oceanography*, 2003. 59(4): p. 357-379.
- [52] Gong, Y. and K.H. Choi, Fluctuations in abundance of common squid, *Todarodes pacificus* in the Far East *Journal of Environmental Biology*, 2008.

- 29(4): p. 449-452.
- [53] McFarlane, G., et al., Contrast in life histories of exploited fishes and ecosystem structures in coastal waters off west Canada and east Korea. *Ocean Science Journal*, 2009. 44(1): p. 43-60.
- [54] Lee, J.-Y., et al., Spatial and temporal variability in the pelagic ecosystem of the East Sea (Sea of Japan): A review. *Journal of Marine Systems*, 2009. 78(2): p. 288-300.
- [55] Kim, J.Y., et al., Evidence of density-dependent effects on population variation of Japanese sardine (*Sardinops melanosticta*) off Korea. 2006. p.345-349.
- [56] Kim, J. and N.C.H. Lo, Temporal variation of seasonality of egg production and the spawning biomass of Pacific anchovy, *Engraulis japonicus*, in the southern waters of Korea in 1983-1994. *Fisheries Oceanography*, 2001. 10: p. 297-310.
- [57] Barange, M., et al., Predicting the impacts and socio-economic consequences of climate change on global marine ecosystems and fisheries: The QUEST_Fish framework, in PICES 2009 annual meeting. 2009, PICES: Jjuu, Korea.
- [58] PICES, New science program for PICES. FUTURE (Forecasting and Understanding Trends, Uncertainty and Responses of North Pacific Marine Ecosystems). 2008. p. 5.
- [59] Kim, D., Toward improving total allowable catch (TAC) fisheries policy: A case study of the mackerel TAC policy. *Korean Journal of Policy Studies*, 2004. 13(2): p. 91-116.
- [60] Kim, D., Bioeconomic analysis on the effectiveness of marine protected area(MPA). *Environmental and Resource Economics Review*, 2004. 13(4): p. 657-684.
- [61] Lee, S. and D. Kim, Subsidies: Are they really obstacles in achieving a sustainable fisheries development? *Journal of Fisheries Business Administration*, 2004. 35(2): p. 117-136.
- [62] Pyo, H., Determining appropriate bioeconomic models for stock assessment of aquatic resources. *Journal of Fisheries Business Administration*, 2002.

- 33(2): p. 75-98.
- [63] Lee, S. and D. Kim, A bioeconomic analysis on the evaluation of vessel buyback program in Korean fisheries. *the Korean Journal of Agricultural Economics*, 2004. 45(3): p. 135-154.
- [64] Kim, B., A historical consideration on the evolution of competition in offshore fisheries. *Journal of Fisheries Business Administration*, 2004. 35(1): p. 23-56.
- [65] Jang, Y., Fisheries marketing management effectiveness of discount store. *Journal of Fisheries Business Administration*, 2004. 35(1): p. 169-191.
- [66] Park, B., Analyzing the supply and demand structure of the Korean flatfish aquaculture market: A system dynamics approach. *Journal of Fisheries Business administration*, 2008. 39(1): p. 17-42.
- [67] Jang, Y. and C. Park, The analysis of sensitivity of imported fisheries with regard to non-economic considerations using AHP. *Journal of Fisheries Business Administration*, 2006. 37(3): p. 65-83.
- [68] Nam, S., A study on price discovery function of Japan's frozen shrimp future market. *Journal of Fisheries Business Administration*, 2006. 37(1): p. 95-110.
- [69] Lee, S., The legal improvement to turn a fishery facility to tourism resources. *Journal of Fisheries Business Administration*, 2007. 38(3): p. 25-51.
- [70] Choi, J., The effect of import increase for Korea's fishery by Korea-GSTP ground. *Journal of Fisheries Business Administration*, 2008. 39(3): p. 91-109.
- [71] Kim, D., et al., Fishing capacity assessment of the octopus coastal trap fishery using data envelopment analysis(DEA). *The Korean Society of Fisheries Technology*, 2007. 43(4): p. 339-346. .
- [72] Kim, D. and J. Lee, A study on the measurement of fishing capacity and determination of its reduction levels. *Ocean and Polar Research*, 2006. 28(4): p. 439-449.
- [73] Kim, D., Measurement of fishing capacity of offshore fisheries in Korea. *The Journal of Fisheries Business Administration*, 2006. 37(1): p. 1-24.
- [74] Hagen, J.B., *An entangled bank. The origins of ecosystem ecology*. 1992, New

- Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press. 245.
- [75] Steele, J.H. and E.W. Henderson, Modeling long-term fluctuations in fish stocks. *Science*, 1984. 224: p. 985-987.
- [76] Jamison, A., Book review - A tale of two brothers. *Science*, 1993. 261: p. 497-498.
- [77] Steele, J.H., Regime shifts in marine ecosystems. *Ecological Applications*, 1998. 8: p. S33-S36.
- [78] Chang, S.K., Biotope analysis of the total benthic foraminiferal assemblage off the southeastern coast, Korea. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 1986. 21(3): p. 136-145.
- [79] Kang, Y.S. and K.A. Jeon, Biological and chemical characteristics and trophodynamics in the frontal zone. *Bulletin of the Korean Fisheries Society* 1999. 32: p. 22-29.
- [80] Kang, C.K., et al., Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 2003. 259: p. 79-92.
- [81] Yoo, S. and H.-C. Kim, Suppression and enhancement of the spring bloom in the southwestern East Sea/Japan Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2004. 51(10-11): p. 1093-1111.
- [82] Fulton, E.A., A.D.M. Smith, and A.E. Punt, Which ecological indicators can robustly detect effects of fishing? *ICES Journal of Marine Science*, 2005. 62: p. 540-551.
- [83] Jennings, S., Indicators to support an ecosystem approach to fisheries. *Fish and Fisheries*, 2005. 6(3): p. 212-232.
- [84] Park, J.H., J.H. Shim, and J.B. Lee, Long-term variation of phytoplankton biomass and implication in the East and the South Sea, Korea. *Algae*, 1998. 13: p. 123-133.
- [85] Kang, D.-J., et al., Status of naming the East Sea in international scientific journals. *Ocean and polar research* 2009. 31(1): p. 133-156.

부 록

- 부록 1. 핵심 신규과제 리스트
- 부록 2. FUTURE 관련 우리나라 연구현황
- 부록 3. FUTURE 핵심질문과 국내 연구사업 비교
- 부록 4. FUTURE 핵심질문과 과거 연구논문 비교
- 부록 5. FUTURE 관련 접수 연구 제안서
- 부록 6. IFRAME - 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측, 이용 관리
- 부록 7. PICES 조직 구조와 약어 설명

부록 1. 핵심 신규과제 리스트

대과제 제목: 한국 FUTURE 프로젝트 신규과제

중과제 1: 동해 대양저 규모 생태계 기후변화 반응 연구 (COVE-K)

중과제 2: 인간활동과 연안 생태계 상호작용에 관한 연구 (AICE-K)

세부과제 2-1. 광양만 사례연구

세부과제 2-2. 영일만 사례연구

세부과제 2-3. 경기만 사례연구

세부과제 2-4. 사례별 비교 연구

중과제 3: PICES FUTURE 지원 체계 구축 (SOFE-K)

중과제 1: 동해 대양저 규모 생태계 기후변화 반응 연구 (COVE-K)

1. 사업개요

□ 사업목적

- PICES FUTURE COVE 대응 연구
- 동해 대양저 규모의 해양생태계가 지구 기후변화에 어떻게 반응하고 향후 어떻게 적응할 것인가를 구명하여 북태평양해양과학기구(PICES)의 FUTURE /COVE 프로그램에 한국의 역할 수행

□ 사업목표

- 동해 남북방향 대륙사면의 생태계 요소별 변동 모니터링 및 인과 관계를 바탕으로 한 기후변화 예측 시스템 구축

□ 추진근거

- 해양환경관리법 제6조 1항, 제11조, 해양수산발전기본법 제17조(해양과학 조사 및 기술개발 등)

□ 사업내용

- 단계별/연차별 추진내용 포함

- 1단계(2011-2014)

- 1차년도 : 동해 기후변화 관련 기존 연구결과 검토 및 조사 계획 수립
 - a) 생태계 상태 평가 및 관련 지표들이 포함된 신기술 활용 모니터링 체제 구축
 - b) 동해 기후변화 모니터링 국제공동연구 네트워크 구축(특히 한·러·일 간)
- 2-4차년도 : 신기술 적용 모니터링 및 동해 생태계 연차평가

- 2단계(2015-2017)

- 기후변화에 따른 동해 분지규모 생태계의 내적 탄력성과 취약성 평가연구
 - a) 동해 중·심층수계의 형성과 분포 및 생·지화학적 feedback 구명
 - b) 유용 해양생물의 교체현상과 군집 동태의 취약성 평가

- 3단계(2018-2020)

- 기후변화 영향에 의한 동해 생태계의 반응 및 미래 변화 예측 연구
 - a) 생태계 관련 지표들의 반응을 평가하는 새로운 기후지수 개발
 - b) 동해 중·심층수계 장기(10-50년) 해양생태 예측 시뮬레이터 개발

□ 투자계획

(단위 : 백만원)

사업별	예산 구분	2011	2012	2013	2014	합계
합 계		500	500	500	500	2,000
<국토해양부> 해양영토개발과		500	500	500	500	2,000

2. 2011년 세부추진계획

- 단계별(3단계) 10개년 사업계획 수립
- 1단계 1년차
 - 동해의 분지구도 남북방향 신규 모니터링 라인 설정
 - Sea Glider, Laser Optical Plankton Counter, Acoustic device 등 활용한 동해 남북방향 신규모니터링 라인 설정
 - 중·심층수 형성 및 순환과정 모니터링
 - 물질순환 및 영양준위별 생물과정 모니터링
 - 동해 분지구도 생태계의 평가
 - 기존 연구결과·자료의 재분석 및 생태계의 장기변화 추세 파악
 - 1차 평가보고서 작성
 - 한·러 공동연구 네트워크 구축
 - 한·러 동해 연구 관련 기관 및 전문가 pool 구성

3. 사업성과 및 성과지표

[과제 담당 현황]

담당	기관(실·국)명	직 위	성 명	전화번호
담당	<국토해양부> 해양영토개발과	해양영토개발과장	주현중	02-2110-8452
		담 당	최민영	02-2110-8458
		담당자	정정희	02-2110-8729

※ 담당자이메일 : ellisa@mltm.go.kr

중과제 2: 인간활동과 연안 생태계 상호작용에 관한 연구 (AICE-K)

1. 사업개요

□ 사업목적

- PICES FUTURE AICE 대응 연구
- 인간사회와 연안생태계 상호작용 연구

□ 사업목표

- 인간활동이 연안생태계에 미치는 영향을 규명.
- 연안생태계 변화가 인간 사회경제에 미치는 영향을 평가.
- 생태계 상태 지표, 관리 기준점 개발
- 위험도 분석에 의한 생태계 평가, 예측 및 이용관리 시스템 개발
- 3차 NPESR(북태평양 생태계 보고서) 작성

□ 추진근거

- 해양환경관리법 제6조 1항, 제11조
- 해양수산발전기본법 제17조 (해양과학조사 및 기술개발 등)

□ 사업내용

- 단계별/연차별 추진내용 포함

1단계 (3 년): 연안 생태계 연구 (광양만)

2단계 (3 년): 연안 생태계 연구 (영일만)

3단계 (3 년): 연안 생태계 연구 (경기만)

4단계: 해역별 비교, 종합, 결론 도출.

□ 투자계획

(단위 : 백만원)

사업별	예산 구분	2011	2012	2013	합계
합 계		500	500	500	1,500
국토해양부 해양영토개발과		500	500	500	1,500

2. 2011년 세부추진계획

- 단계별 사업 계획 수립 (1. 광양만, 2. 영일만, 3. 경기만)
- 1단계 광양만 생태계 연구
 - 기존 연구 결과 및 자료 분석과 종합 (중과제 3과 연계)
 - 조사 계획 수립과 생태계 평가, 예측 및 이용관리 연계 체제 구축
 - 물리, 화학, 생물학적, 지질학적 변수 모니터링
 - 생태학적 과정 연구
 - 사회 경제적 자료 수집과 분석
 - 생태계 위험도 분석 기초 연구
 - 생태계 구조 평가 1차 보고서 발간

[과제 담당 현황]

	기관(실·국)명	직 위	성 명	전화번호
담 당	국토해양부 해양영토개발과	해양영토개발과장	주현중	2110-8452
		담 당	최민영	2110-8458
		담당자	정정희	2110-8729

※ 담당자이메일 : ellisa@korea.kr

세부과제 2-1. 인간활동과 연안생태계 상호작용에 관한 연구 I

- 사례연구 I: 광양만-

1. 사업개요

□ 사업목적

- PICES FUTURE AICE 대응 사례 연구 I
- 연안역 개발 및 이용이 주변 연안생태계에 미치는 영향 구명
- 연안역 개발 및 이용이 주변 연안생태계 미치는 과급 영향 사례별 비교연구

□ 사업목표

- 광양만 주변 산업단지가 광양만 생태계에 미치는 영향 구명
- 광양만 생태계 상태 지표, 관리기준점 개발
- 광양만 생태계 위험도 분석에 의한 생태계 평가, 예측 및 이용관리 시스템 개발
- 광양만 생태계 변화가 인간 사회경제에 미치는 영향 평가
- 한국 해양생태계 현황 보고서 작성

□ 추진근거

- 해양환경관리법 제6조 1항, 제11조
- 해양수산발전기본법 제17조 (해양과학조사 및 기술개발 등)

□ 사업내용

- 연차별 추진내용

- 2011년도:

- 광양만 생태계 관련 기준수집 및 현황분석
- 광양만 생태계 실시간 모니터링 네트워크 구축

- 2012년도:

- 광양만 생태계 집중 현장조사 및 분석
- 광양만 생태영향 지수 개발 및 평가 연구
- 광양만 생태계변화가 사회경제에 미치는 과급영향 조사 및 평가

- 2013년도:

- 광양만 생태계 상태 종합분석 및 평가
- 광양만 생태계 평가, 예측 및 이용관리 시스템 개발: 관리기준점 개발, 사회경제 과급영향 평가, 위험도 분석 등

□ 투자계획

(단위 : 백만원)

사업별	예산 구분	2011	2012	2013	합계
합 계					
인간활동과 연안생태계 상호 작용에 관한 연구- Case I - 광양만-	국고	500	500	500	1,500

2. 2011년 세부추진계획

- 광양만 생태계 관련 기존 자료수집 및 현황분석
 - 광양만 생태계 관련 자료 종합 수집 및 현황 분석
 - 생태계 현황관련 기존자료 수집 및 현황분석
 - 광양만을 중심으로 한 사회·경제적 기존자료 수집 및 현황분석
 - 광양만 생태계 현황 통합 분석 및 문제점 도출
- 광양만 생태계 개괄적 현장조사 및 분석
 - 현장 개괄적 조사: 연 4회/ 10 ~ 20개 정점
 - 부유생태계 조사: 수질·물리환경 및 동·식물플랑크톤 등
 - 저서생태계 조사: 퇴적물환경 및 저서동물, 해조류 등
 - 유영생태계 조사: 어류, 두족류, 갑각류 등 어획물조사
 - 현장 조사결과 종합 분석 및 현황도 작성
 - 생태계의 기능 및 구조를 중심으로 한 생태학적 과정 분석
 - 생태계 주요 요인에 대한 현황도 작성
- 생태계 관리 체제 구축 및 위험도 분석 기초연구
- 생태계 평가 1차보고서 발간

[과제 담당 현황]

담당	기관(실·국)명	직 위	성 명	전화번호
담당	국토해양부 해양영토개발과	해양영토개발과장	주현중	2110-8452
		담 당	최민영	2110-8458
		담당자	정정희	2110-8729

※ 담당자이메일 : ellisa@korea.kr

세부과제 2-2. 인간활동과 연안생태계 상호작용에 관한 연구 II

- 사례연구 II: 영일만-

1. 사업개요

□ 사업목적

- PICES FUTURE AICE 대응 사례 연구 II
- 연안역 개발 및 이용이 주변 연안생태계에 미치는 영향 구명
- 연안역 개발 및 이용이 주변 연안생태계 미치는 파급 영향 사례별 비교연구

□ 사업목표

- 영일만 주변 산업단지가 영일만 생태계에 미치는 영향 구명
- 영일만 생태계 상태 지표, 관리기준점 개발
- 영일만 생태계 위험도 분석에 의한 생태계 평가, 예측 및 이용관리 시스템 개발
- 영일만 생태계 변화가 인간 사회경제에 미치는 영향 평가
- 한국 해양생태계 현황 보고서 작성

□ 추진근거

- 해양환경관리법 제6조 1항, 제11조
- 해양수산발전기본법 제17조 (해양과학조사 및 기술개발 등)

□ 사업내용

- 연차별 추진내용

- 2014년도:

- 영일만 생태계 관련 기존수집 및 현황분석
- 영일만 생태계 개괄적 현장조사 및 분석

- 2015년도:

- 영일만 생태계 집중 현장조사 및 분석
- 영일만 상태 지표개발 및 관리기반 연구
- 영일만 생태계변화가 사회경제에 미치는 파급영향 조사 및 평가

- 2016년도:

- 영일만 생태계 상태 종합분석 및 평가
- 영일만 생태계 평가, 예측 및 이용관리 시스템 개발: 관리기준점 개발, 사회경제 파급영향 평가, 위험도 분석 등

□ 투자계획

(단위 : 백만원)

사업별	예산 구분	2014	2015	2016	합계
합 계					
인간활동과 연안생태계 상호작용에 관한 연구- Case II.- 영일만-	국고	500	500	500	1,500

2. 2014년 세부추진계획

- 영일만 생태계 관련 기존 자료수집 및 현황분석
 - 영일만 생태계 관련 자료 종합 수집 및 현황 분석
 - 생태계 현황관련 기존자료 수집 및 현황분석
 - 영일만을 중심으로 한 사회·경제적 기존자료 수집 및 현황분석
 - 영일만 생태계 현황 통합 분석 및 문제점 도출
- 영일만 생태계 개괄적 현장조사 및 분석
 - 현장 개괄적 조사: 연 4회/ 10 ~ 20개 정점
 - 부유생태계 조사: 수질·물리환경 및 동·식물플랑크톤 등
 - 저서생태계 조사: 퇴적물환경 및 저서동물, 해조류 등
 - 유영생태계 조사: 어류, 두족류, 갑각류 등 어획물조사
 - 현장 조사결과 종합 분석 및 현황도 작성
 - 생태계의 기능 및 구조를 중심으로 한 생태학적 과정 분석
 - 생태계 주요 요인에 대한 현황도 작성
- 생태계 관리 체제 구축 및 위험도 분석 기초연구
- 생태계 평가 1차보고서 발간

[과제 담당 현황]

담당	기관(실·국)명	직 위	성 명	전화번호
담당	국토해양부 해양영토개발과	해양영토개발과장	주현중	2110-8452
		담 당	최민영	2110-8458
		담당자	정정희	2110-8729

※ 담당자이메일 : ellisa@korea.kr

세부과제 2-3. 인간활동과 연안생태계 상호작용에 관한 연구 III

- 사례연구 III: 경기만-

1. 사업개요

□ 사업목적

- PICES FUTURE AICE 대응 사례 연구 III
- 연안역 개발 및 이용이 주변 연안생태계에 미치는 영향 구명
- 연안역 개발 및 이용이 주변 연안생태계 미치는 파급 영향 사례별 비교연구

□ 사업목표

- 경기만 주변 인간활동이 경기만 생태계에 미치는 영향 구명
- 경기만 생태계 상태 지표, 관리기준점 개발
- 경기만 생태계 위험도 분석에 의한 생태계 평가, 예측 및 이용관리 시스템 개발
- 경기만 생태계 변화가 인간 사회경제에 미치는 영향 평가
- 한국 해양생태계 현황 보고서 작성

□ 추진근거

- 해양환경관리법 제6조 1항, 제11조
- 해양수산발전기본법 제17조 (해양과학조사 및 기술개발 등)

□ 사업내용

- 연차별 추진내용

- 2017년도:

- 경기만 생태계 관련 기존수집 및 현황분석
- 경기만 생태계 개괄적 현장조사 및 분석

- 2018년도:

- 경기만 생태계 집중 현장조사 및 분석
- 경기만 상태 지표개발 및 관리기반 연구
- 경기만 생태계변화가 사회경제에 미치는 파급영향 조사 및 평가

- 2019년도:

- 경기만 생태계 상태 종합분석 및 평가
- 경기만 생태계 평가, 예측 및 이용관리 시스템 개발: 관리기준점 개발, 사회경제 파급영향 평가, 위험도 분석 등

□ 투자계획

(단위 : 백만원)

사업별	예산 구분	2017	2018	2019	합계
합 계					
인간활동과 연안생태계 상호 작용에 관한 연구- Case III. - 경기만-	국고	500	500	500	1,500

2. 2017년 세부추진계획

- 경기만 생태계 관련 기존 자료수집 및 현황분석
 - 경기만 생태계 관련 자료 종합 수집 및 현황 분석
 - 생태계 현황관련 기존자료 수집 및 현황분석
 - 경기만을 중심으로 한 사회·경제적 기존자료 수집 및 현황분석
 - 경기만 생태계 현황 통합 분석 및 문제점 도출
- 경기만 생태계 개괄적 현장조사 및 분석
 - 현장 개괄적 조사: 연 4회/ 10 ~ 20개 정점
 - 부유생태계 조사: 수질·물리환경 및 동·식물플랑크톤 등
 - 저서생태계 조사: 퇴적물환경 및 저서동물, 해조류 등
 - 유영생태계 조사: 어류, 두족류, 갑각류 등 어획물조사
 - 경기만 조사결과 종합 분석 및 현황도 작성
 - 생태계의 기능 및 구조를 중심으로 한 생태학적 과정 분석
 - 생태계 주요 요인에 대한 현황도 작성
- 생태계 평가, 예측 및 이용관리 체제 구축 및 위험도 분석 기초연구
- 생태계 평가 1차보고서 발간

[과제 담당 현황]

담당	기관(실·국)명	직 위	성 명	전화번호
담당	국토해양부 해양영토개발과	해양영토개발과장	주현중	2110-8452
		담 당	최민영	2110-8458
		담당자	정정희	2110-8729

※ 담당자이메일 : ellisa@mltm.go.kr

세부과제 2-4. 인간활동과 연안생태계 상호작용에 관한 연구 IV

- 사례별 비교 연구-

1. 사업개요

□ 사업목적

- PICES FUTURE AICE 대응 연구
- 연안역 개발 및 이용이 주변 연안생태계에 미치는 영향 구명
- 연안역 개발 및 이용이 주변 연안생태계 미치는 파급 영향 사례별 비교연구

□ 사업목표

- 인간활동 범위에 따른 생태계 반응의 차이점 비교연구
- 해역 생태계별 상태 지표, 관리기준점 개발 및 비교연구
- 해역 생태계별 위험도 분석에 의한 생태계 평가, 예측 및 이용관리 기술 비교연구
- 해역 생태계별 변화가 인간 사회경제에 미치는 영향 평가 및 비교연구
- 한국 해양생태계 현황 보고서 작성

□ 추진근거

- 해양환경관리법 제6조 1항, 제11조
- 해양수산발전기본법 제17조 (해양과학조사 및 기술개발 등)

□ 사업내용

- 해역 생태계별(광양만, 영일만, 경기만) 특성 비교분석
- 해역 생태계별(광양만, 영일만, 경기만) 위험도 비교분석
- 해역 생태계별(광양만, 영일만, 경기만) 맞춤형 관리 기준 마련
- 인간활동과 연안생태계 상호작용에 대한 결론 도출

□ 투자계획

(단위 : 백만원)

사업별	예산 구분	2020			합계
합 계					
인간활동과 연안생태계 상호작용 에 관한 연구 IV - 사례별 비교 연구-	국고	300			300

2. 세부추진계획

- 해역 생태계별(광양만, 영일만, 경기만) 특성 비교분석
 - 해역 생태계별(광양만, 영일만, 경기만) 특성을 비교분석하여 차이점, 특이성 등 도출
- 해역 생태계별(광양만, 영일만, 경기만) 위험도 비교분석
 - 생태계 구조, 기능, 특성, 탄력성 분석
 - 생태계 상태 지표 개발
 - 생태계 취약성 분석
- 해역 생태계별(광양만, 영일만, 경기만) 맞춤형 관리 기준 마련
 - 현황 및 특성 등을 비교 분석하여 이에 적합한 관리기준 마련
- 인간활동과 연안생태계 상호작용에 대한 결론 도출
 - 인간활동과 연안생태계 사례별 비교연구 종합결론 도출

[과제 담당 현황]

	기관(실·국)명	직 위	성 명	전화번호
담 당	국토해양부 해양영토개발과	해양영토개발과장	주현종	2110-8452
		담 당	최민영	2110-8458
		담당자	정정희	2110-8729

※ 담당자이메일 : ellisa@mltm.go.kr

중과제 3: PICES FUTURE 국내 지원 체계 구축 (SOFE-K)

1. 사업개요

□ 사업목적

- PICES FUTURE SOFE 대응 연구
- 국내 해양수산관련 연구들이 PICES FUTURE 과학프로그램에 기여할 수 있도록 유도

□ 사업목표

- 기존 해양관련 국내 연구사업과 연구 논문을 분석 검토하여 PICES FUTURE에 기여할 수 있는 연구결과를 발굴 취합
- 한국 해양생태계 현황 보고서 발간
- 국내 관련 연구사업 담당 과학자들이 FUTURE에 관심을 갖고 적극 참여하고 기여할 수 있는 체계를 마련
- FUTURE 관련 한국 해양생태계 데이터베이스 구축

□ 추진근거

- 해양환경관리법 제6조 1항, 제11조
- 해양수산발전기본법 제17조 (해양과학조사 및 기술개발 등)

□ 사업내용

- 단계별/연차별 추진내용 포함
 - 1 단계 (2010): 국내 기존 연구사업 취합과 한국 해양생태계 현황 보고서 발간
 - 2 단계 (2011): 국내 Future 프로그램 지원 체계 마련
 - 3 단계 (2011-15): 한국 해양생태계 연간 보고서 발간, 한국 해양 생태계 데이터베이스 구축

□ 투자계획

(단위 : 백만원)

사업별	예산 구분	2010	2011	2012	2013	2014	합계
합 계		50	500	500	500	500	2,050
한국해양생태계 보고서	국고	50	100	100	100	100	450
개방형 정보관리시스템 구축	국고		400	400	400	400	1,600

2. 2010년 세부추진계획

- FUTURE의 Science Plan과 Implementation Plan을 분석 검토
- 현재 수행 중이거나 계획된 국내 해양 관련 연구사업, 그리고 이미 출판된 관련 논문을 FUTURE 핵심과제 18가지 (표 1)와 비교, 평가하여 개선 방안 제시
- 기존 국내 관련 연구사업과 연구 논문을 바탕으로 한국 생태계 현황 보고서 발간
- 국내 해양관련 연구사업들이 PICES FUTURE 에 참여하는데 장애가 될 요인들을 사전 분석하여 이를 개선할 수 있는 체제 마련.

[과제 담당 현황]

담당	기관(실·국)명	직 위	성 명	전화번호
담당	국토해양부 해양영토개발과	해양영토개발과장	주현종	2110-8452
		담 당	최민영	2110-8458
		담당자	정정희	2110-8729

※ 담당자이메일 : ellisa@mltm.go.kr

부록. 2. FUTURE 관련 우리나라 연구현황

- 2-1. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (유영생물).
- 2-2. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (식물플랑크톤).
- 2-3. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (동물플랑크톤).
- 2-4. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (저서동물).
- 2-5. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (생물다양성).
- 2-6. FUTURE 관련 정보관리시스템 국내 현황 요약과 평가
- 2-7. 이기종 분산 시스템 통합

2-1. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (유형생물).

Future Research Themes		평가
1. What determines an ecosystem's intrinsic resilience and vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	1.1. What are the important physical, chemical and biological processes that underlie the structure and function of ecosystems?	중상
	1.2. How might changing physical, chemical and biological processes cause alterations to ecosystem structure and function?	중중
	1.3. How do changes in ecosystem structure affect the relationship between ecosystem components?	중하
	1.4. How might changes in ecosystem structure and function affect ecosystems's resilience or vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	하하
	1.5. What thresholds, buffers and amplifiers are associated with maintaining ecosystem resilience?	하하
	1.6. What do the answers to the above sub-questions imply about the ability to predict future states of ecosystems and how they might respond to natural and anthropogenic forcing?	하중
2. How do ecosystems respond to natural and anthropogenic forcing, and how might they changes in the future?	2.1. How has the important physical, chemical and biological processes changed, how are they changing, and how might they change as a result of climate change and human activities?	중하
	2.2. What factors might be mediating changes in the physical chemical and biological processes?	하중
	2.3. How does physical forcing, including climate variability and climate change, affect the processes underlying ecosystem structure and function?	하상
	2.4. How do human uses of marine resources affect the processes underlying ecosystem structure and function?	하중
	2.5. How are human uses of marine resources affected by changes in ecosystem structure and function?	하중
	2.6. How can understanding of these ecosystem processes and relationships, as addressed in the preceding sub-questions, be used to forecast ecosystem response?	하중
	2.7. What are the consequences of projected climate changes for the ecosystems and their goods and services?	하하
3. How do human activities affect coastal ecosystems and how are societies affected by changes in these ecosystems?	3.1. What are the dominant anthropogenic pressures in coastal marine ecosystems and how are they changing?	중중
	3.2. How are these anthropogenic pressures and climate forcing, including sea level rise, affecting near shore and coastal ecosystems and their interactions with offshore and terrestrial systems?	중중
	3.3. How do multiple anthropogenic stressors interact to alter the structure and function of the systems, and what are the cumulative effects?	하하
	3.4. What will be the consequences of projected coastal ecosystem changes and what if the predictability and uncertainty of forecasted changes?	하하
	3.5. How can we effectively use our understanding of coastal ecosystem processes and mechanism to identify the nature and causes of ecosystem changes and to develop strategies for sustainable use?	하중

2-2. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (식물플랑크톤).

Future Research Themes		평가
1. What determines an ecosystem's intrinsic resilience and vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	1.1. What are the important physical, chemical and biological processes that underlie the structure and function of ecosystems?	중하
	1.2. How might changing physical, chemical and biological processes cause alterations to ecosystem structure and function?	중하
	1.3. How do changes in ecosystem structure affect the relationship between ecosystem components?	하하
	1.4. How might changes in ecosystem structure and function affect ecosystems's resilience or vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	하하
	1.5. What thresholds, buffers and amplifiers are associated with maintaining ecosystem resilience?	하하
	1.6. What do the answers to the above sub-questions imply about the ability to predict future states of ecosystems and how they might respond to natural and anthropogenic forcing?	하하
2. How do ecosystems respond to natural and anthropogenic forcing, and how might they changes in the future?	2.1. How has the important physical, chemical and biological processes changed, how are they changing, and how might they change as a result of climate change and human activities?	하중
	2.2. What factors might be mediating changes in the physical chemical and biological processes?	하하
	2.3. How does physical forcing, including climate variability and climate change, affect the processes underlying ecosystem structure and function?	하중
	2.4. How do human uses of marine resources affect the processes underlying ecosystem structure and function?	하하
	2.5. How are human uses of marine resources affected by changes in ecosystem structure and function?	하하
	2.6. How can understanding of these ecosystem processes and relationships, as addressed in the preceding sub-questions, be used to forecast ecosystem response?	하중
	2.7. What are the consequences of projected climate changes for the ecosystems and their goods and services?	하하
3. How do human activities affect coastal ecosystems and how are societies affected by changes in these ecosystems?	3.1. What are the dominant anthropogenic pressures in coastal marine ecosystems and how are they changing?	하하
	3.2. How are these anthropogenic pressures and climate forcing, including sea level rise, affecting near shore and coastal ecosystems and their interactions with offshore and terrestrial systems?	하중
	3.3. How do multiple anthropogenic stressors interact to alter the structure and function of the systems, and what are the cumulative effects?	하중
	3.4. What will be the consequences of projected coastal ecosystem changes and what if the predictability and uncertainty of forecasted changes?	하하
	3.5. How can we effectively use our understanding of coastal ecosystem processes and mechanism to identify the nature and causes of ecosystem changes and to develop strategies for sustainable use?	하중

2-3. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (동물플랑크톤).

Future Research Themes		평가
1. What determines an ecosystem's intrinsic resilience and vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	1.1. What are the important physical, chemical and biological processes that underlie the structure and function of ecosystems?	중중
	1.2. How might changing physical, chemical and biological processes cause alterations to ecosystem structure and function?	중하
	1.3. How do changes in ecosystem structure affect the relationship between ecosystem components?	하하
	1.4. How might changes in ecosystem structure and function affect ecosystems's resilience or vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	하하
	1.5. What thresholds, buffers and amplifiers are associated with maintaining ecosystem resilience?	하하
	1.6. What do the answers to the above sub-questions imply about the ability to predict future states of ecosystems and how they might respond to natural and anthropogenic forcing?	하하
2. How do ecosystems respond to natural and anthropogenic forcing, and how might they changes in the future?	2.1. How has the important physical, chemical and biological processes changed, how are they changing, and how might they change as a result of climate change and human activities?	중하
	2.2. What factors might be mediating changes in the physical chemical and biological processes?	하하
	2.3. How does physical forcing, including climate variability and climate change, affect the processes underlying ecosystem structure and function?	중하
	2.4. How do human uses of marine resources affect the processes underlying ecosystem structure and function?	하중
	2.5. How are human uses of marine resources affected by changes in ecosystem structure and function?	중하
	2.6. How can understanding of these ecosystem processes and relationships, as addressed in the preceding sub-questions, be used to forecast ecosystem response?	하하
	2.7. What are the consequences of projected climate changes for the ecosystems and their goods and services?	하하
3. How do human activities affect coastal ecosystems and how are societies affected by changes in these ecosystems?	3.1. What are the dominant anthropogenic pressures in coastal marine ecosystems and how are they changing?	중하
	3.2. How are these anthropogenic pressures and climate forcing, including sea level rise, affecting near shore and coastal ecosystems and their interactions with offshore and terrestrial systems?	하중
	3.3. How do multiple anthropogenic stressors interact to alter the structure and function of the systems, and what are the cumulative effects?	하상
	3.4. What will be the consequences of projected coastal ecosystem changes and what if the predictability and uncertainty of forecasted changes?	하하
	3.5. How can we effectively use our understanding of coastal ecosystem processes and mechanism to identify the nature and causes of ecosystem changes and to develop strategies for sustainable use?	

2-4. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (저서동물).

Future Research Themes		평가
1. What determines an ecosystem's intrinsic resilience and vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	1.1. What are the important physical, chemical and biological processes that underlie the structure and function of ecosystems?	중중
	1.2. How might changing physical, chemical and biological processes cause alterations to ecosystem structure and function?	중중
	1.3. How do changes in ecosystem structure affect the relationship between ecosystem components?	중중
	1.4. How might changes in ecosystem structure and function affect ecosystems's resilience or vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	하상
	1.5. What thresholds, buffers and amplifiers are associated with maintaining ecosystem resilience?	하하
	1.6. What do the answers to the above sub-questions imply about the ability to predict future states of ecosystems and how they might respond to natural and anthropogenic forcing?	하하
2. How do ecosystems respond to natural and anthropogenic forcing, and how might they changes in the future?	2.1. How has the important physical, chemical and biological processes changed, how are they changing, and how might they change as a result of climate change and human activities?	중중
	2.2. What factors might be mediating changes in the physical chemical and biological processes?	하하
	2.3. How does physical forcing, including climate variability and climate change, affect the processes underlying ecosystem structure and function?	중하
	2.4. How do human uses of marine resources affect the processes underlying ecosystem structure and function?	하상
	2.5. How are human uses of marine resources affected by changes in ecosystem structure and function?	중중
	2.6. How can understanding of these ecosystem processes and relationships, as addressed in the preceding sub-questions, be used to forecast ecosystem response?	중하
	2.7. What are the consequences of projected climate changes for the ecosystems and their goods and services?	중중
3. How do human activities affect coastal ecosystems and how are societies affected by changes in these ecosystems?	3.1. What are the dominant anthropogenic pressures in coastal marine ecosystems and how are they changing?	중상
	3.2. How are these anthropogenic pressures and climate forcing, including sea level rise, affecting near shore and coastal ecosystems and their interactions with offshore and terrestrial systems?	하상
	3.3. How do multiple anthropogenic stressors interact to alter the structure and function of the systems, and what are the cumulative effects?	하상
	3.4. What will be the consequences of projected coastal ecosystem changes and what if the predictability and uncertainty of forecasted changes?	중중
	3.5. How can we effectively use our understanding of coastal ecosystem processes and mechanism to identify the nature and causes of ecosystem changes and to develop strategies for sustainable use?	하하

2-5. FUTURE 관련 우리나라 연구현황 (생물다양성).

Future Research Themes		평가
1. What determines an ecosystem's intrinsic resilience and vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	1.1. What are the important physical, chemical and biological processes that underlie the structure and function of ecosystems?	하하
	1.2. How might changing physical, chemical and biological processes cause alterations to ecosystem structure and function?	중하
	1.3. How do changes in ecosystem structure affect the relationship between ecosystem components?	하하
	1.4. How might changes in ecosystem structure and function affect ecosystems's resilience or vulnerability to natural and anthropogenic forcing?	중하
	1.5. What thresholds, buffers and amplifiers are associated with maintaining ecosystem resilience?	중하
	1.6. What do the answers to the above sub-questions imply about the ability to predict future states of ecosystems and how they might respond to natural and anthropogenic forcing?	중하
2. How do ecosystems respond to natural and anthropogenic forcing, and how might they changes in the future?	2.1. How has the important physical, chemical and biological processes changed, how are they changing, and how might they change as a result of climate change and human activities?	중하
	2.2. What factors might be mediating changes in the physical chemical and biological processes?	하하
	2.3. How does physical forcing, including climate variability and climate change, affect the processes underlying ecosystem structure and function?	중중
	2.4. How do human uses of marine resources affect the processes underlying ecosystem structure and function?	하상
	2.5. How are human uses of marine resources affected by changes in ecosystem structure and function?	하하
	2.6. How can understanding of these ecosystem processes and relationships, as addressed in the preceding sub-questions, be used to forecast ecosystem response?	하상
	2.7. What are the consequences of projected climate changes for the ecosystems and their goods and services?	하중
3. How do human activities affect coastal ecosystems and how are societies affected by changes in these ecosystems?	3.1. What are the dominant anthropogenic pressures in coastal marine ecosystems and how are they changing?	하하
	3.2. How are these anthropogenic pressures and climate forcing, including sea level rise, affecting near shore and coastal ecosystems and their interactions with offshore and terrestrial systems?	중하
	3.3. How do multiple anthropogenic stressors interact to alter the structure and function of the systems, and what are the cumulative effects?	하하
	3.4. What will be the consequences of projected coastal ecosystem changes and what if the predictability and uncertainty of forecasted changes?	하하
	3.5. How can we effectively use our understanding of coastal ecosystem processes and mechanism to identify the nature and causes of ecosystem changes and to develop strategies for sustainable use?	하하

2-6. FUTURE 관련 정보관리시스템 국내 현황 요약과 평가

기관	시스템	주요관리항목	활용분야	현안문제
국토해양부 (해양수산부)	연안관리정보 시스템	방조제,어촌계 어항편람 정보 어장양식장 정보 인공어초 정보 해양환경 정보 광물자원 정보 바다모래자원 정보 연안시군구연보 정보 도서통계/도서백서 해양수산통계현황 정보 연안산업단지 현황 공유수면 자료 위성영상 및 지도정보	연안실태, 정비 및 통합관리 계획 인공어초 관리 공유수면 관리	양식장, 인공어초 등 기초 데이터 가 다소 부실하 고 신뢰성 부적 합으로 활용성이 떨어짐
국립 수산과학원	해양수산시험연구 정보시스템	선박정보 어류 및 대양정보 어획 및 어획량 정보 항차별 어구정보 및 상자당 중량 연근해 지역 및 해구 정보 연근해 어류정보 및 어 업정보 지역, 해구별 어획 및 어획량 정보 위생가공 공장, 검사소, 제품의 내용, 크기 및 형태정보 위생조사 결과정보 해양환경 정점 및 오염 조사정보 적조정보 연안정선, 정지정보	해양어업자원 연구 어획 예보 어류 질병 연구 해양 환경 연구 적조 예보 및 연구 해양관측자료 연구	없음
	해양과학정보 시스템	연구 및 조사 사업 정보 국내외 해양관련기관 정보 국내 해양 전문인력 정보 해양조사선 현황 및 운용계획 해양관련 국제기구 및 프로그램 외국의 해양정책자료 정보 해양과학 Metadata	해양자원 개발 정 책 수립 해양관측 및 연구 정책 수립 해양환경정책 수립	없음

기관	시스템	주요관리항목	활용분야	현안문제
국립 수산과학원	연안 생태계 예측시스템	어장검색, 어장구역좌표, 기준점, 마우스 등의 면허어업정보 수질자료, 퇴적물 등의 생태자료 모델영역설정, 유역경계 입력, 강유역 경계 입력, 모델결과 저장, 3D모델링, 3D가시화 등의 해수요동모델	수산종합정보 관리	없음
	적조화상정보 시스템	기본 플랑크톤 화상정보, 플랑크톤 화상자료, 현장 관측 야장자료, 현장 사진자료 등의 적조 화상정보	적조 예보 적조 연구	네트워크 문제로 활용도가 다소 떨어짐
국립 해양조사원	해수의 물리적 특성정보 시스템	ADCP, CTD 등 관측장비로 부터 얻은 원시 데이터 및 염분, 수온, 전도도 등 해양의 물리적 기초데이터	해류 및 해황 정보 제공	해양관측자료 연구, 해양환경연구, 해황예보를 위한 기초 데이터 요구
	실시간 연안정보 제공시스템	조위, 유의파고, 유의파 주기, 수온, 염분, 풍속, 풍향, 기온, 습도, 기압 등의 해양의 물리적 정보	해양관측자료 연구 해양환경연구 해양자원연구 해황예보	없음
	해수유동정보 실시간 제공시스템	경위도, 유속, 방향 등의 해수유동정보	해양 관측 자료 연구 해양 환경 연구 해양 자원 연구 해황 예보	없음
	조석자료 제공 시스템	검조소, 기간, 1시간 조위정보, 편차계산표, 기본수준면성과표, 평균海面 성과표, 최극조위, 조석예보표, 조화상수, 비조화상수 등의 조석정보	해양 관측 자료 연구 해양 환경 연구 해양 자원 연구 해황 예보 조석 및 조류 예보	없음
	해양 공간정보 시스템	항만정보 항해용정보 수산관련정보 연안기본정보 어초, 어장정보 해양시설물 정보 전자해도 위성영상 측량원도 항만정보도 사업메타데이터	해양관측자료 연구 해양환경 연구 해양자원 연구 해황 예보	없음

기관	시스템	주요관리항목	활용분야	현안문제
한국 해양연구원	해양환경정보 시스템	해양수질점검 해양수질조사자료 해양수질향해 해양수질 항해해역 해양수질사업 해양수질사업 정보관리 동물플랑크톤 정점정보 동물플랑크톤 항해정보 저서동물정보	해양자원 개발정책 수립 해양관측 및 연구 정책 수립 해양환경 정책수립	J D B C , JDBC-ODBC, Socket, Java RMI 방식을 혼합한 분산 DB시스템을 사용하고 있으나, 현재 타 기관에 서 DB 연계를 막 아서 더 이상 사 용되고 있지 않 음
	해양자료시스템	인공위성 SST 자료 해양환경도자료 (1981-1991) 진해항 자료(1980-1983) 실시간 해양자료 조석조화상수 연구원 사업정보 Metadata 국립수산과학원 정선관측자료 국립해양조사원 조석자료 한양대학교 바람자료 World Ocean Atlas 2001	해양관측자료 연구 해양 예보 해양 환경 연구 해양생물, 광물자 원 연구	국립수산과학원 의 해양관측 자 료연구, 해황예보, 해양환경 연구, 적조 예보 및 연 구, 연근해 어업 자원 연구, 원양 어업자원 연구, 어황예보 업무에 서 실시간 해양 자료 및 조석자 료의 기초 데이 터 요구
	해양예보시스템	수치모델 데이터로서 수온, 염분, 해수면 높이, 해류 등의 해양의 물리적 정보	해양 예보	없음
	파랑정보시스템	유입, 유입과주기, 최대파고, 최대과주기, 파고계급별 발생빈도 등의 장기 및 단기파랑정보	항만기술 개발관리 업무 영역	없음

2-7. 이기종 분산 시스템 통합

● World Wide Web 웹 브라우저를 통한 이기종 분산 시스템 통합

알려져 있는 바와 같이 인터넷은 1960년대 냉전시대 미국에서 적국의 핵 공격으로 인하여 국방성의 컴퓨터가 파괴되더라도 다른 지역의 컴퓨터를 이용하여 계속 전쟁을 수행할 수 있는 컴퓨터 통신망을 구축하고자 한 ARPA 프로젝트에서 출발하였다. 이것이 슈퍼컴퓨터를 이용하는 연구전산망으로 확장되고, 다시 이 네트워크가 상업적으로 일반에게 공개되기 시작하면서 폭발적으로 수요가 증가하기 시작하여 오늘에 이르고 있다. 짧은 인터넷의 역사 가운데에서도 가장 큰 영향을 미친 사건 중의 하나는 웹 브라우저의 출현이다. 월드 와이드 웹(World Wide Web), 줄여서 웹은 1992년 스위스의 CERN(유럽핵물리연구소)에서 하이퍼미디어 방식의 대규모 정보 서비스를 위하여 개발한 것으로서, 인터넷 상의 자원을 거미줄 처럼 연결시켜 사용한다는 의미로 이런 이름이 붙여졌다.

웹 기술은 쉬운 인터페이스와 개방성에 힘입어 기하급수적인 성장을 해오고 있다. 따라서 이는 네트워크 관리를 위한 최상의 통합 환경으로 인식되어지고 있다. 그러나 웹은 친숙한 사용자 환경, 사용의 편리성과 웹 브라우저의 폭 넓은 보급 등의 장점이 있으나, 이전까지 Web은 기본 구조가 초기에 이미 많은 기술적 결정이 이루어져 확장성, 유연성, 성능 활용이 부족하며, 특히 연결 대화형 서비스에 대한 지원이 어려운 문제점을 안고 있다.

● CORBA에 의한 이기종 분산 시스템의 통합

차세대 인터넷 서비스를 위한 네트워크 관리 기능의 구현 기술은 서로 다른 이기종 네트워크들이 혼합되어진 형태로 발전되고 있으므로 이들 간의 상관 관계를 고려해 볼 때 분산 처리 기술 개념의 지원 형태로 Java나 웹 기반의 관리 시스템에 의한 계층간의 요구 사항 지원 및 네트워크 관리 시스템간의 연동(internetworking)이 필수적으로 요구된다.

또한 오늘날의 네트워크 관리 시스템들은 관리 객체 수의 급격한 증가로 인해 구성 데이터 베이스와 이벤트 메시지 흐름의 규모 또한 크게 증가하여 쉽게 확장 가능하고 다른 이종의 네트워크 요소들에 대해 융통성 있는 대처가 절실히 필요하다. 관리 정보에 있어서도 객체지향 관리 정보 모델을 통한 네트워크 구성 컴퍼넌트들의 추상적 표현을 기반으로 성능 모니터링이나 분석, 가상 경로 등을 조작해야 하며, 또한 MIB(Management Information Base)의 분산은 일반적인 요구로 서버는 다수의 클라이언트들의 연결을 제어하고 다양하고 동적인 클라이언트들의 의사들을 분산된 이질 환경의 MIB 서버와 연결을 제공해야만 한다.

수년간 전산학 기술은 객체지향 방법론에 많은 영향을 받고 있다. 특히 분산 시스템에서는 객체 지향 기법에 의한 이기종 시스템 통합 기술이 많은 관심을 받고 있으며, 그 결과 Object Management Group(OMG)의 Common Object Request Broker Architecture (CORBA)가 제안되었다. CORBA는 현재 산업계에서는 분산 객체 시스템의 실질적인 표준으로 인정받고 있으며 또한 다수의 CORBA 상용 제품이 시장에 출하되어 있다.

웹 구성 요소를 CORBA에 접목하여 웹과 CORBA간의 연동을 가능하게 하는 요구는 현재의 정보 기술 동향으로 미루어 볼 때 매우 당연하다고 할 수 있다.

● 미들웨어(Middleware)에 의한 이기종 분산 시스템 통합

미들웨어는 기업의 컴퓨팅 환경에서 시스템 부하 분산 등 안정적인 시스템 운용을 도와주는 중계 소프트웨어로, 수많은 종류의 표준화되지 않은 하드웨어나 소프트웨어가 말썽없이 운용될 수 있도록 한다. 기업간 전자상거래(B2B), 기업과 일반소비자 간 상거래(B2C), 정부 공공기관 등의 e비즈니스는 물론 기업 내 기간 업무에 반드시 적용되는 필수 솔루션이다.

미들웨어는 대규모 전산 시스템을 운영하는 기관 및 기업체에서 사용, 운영체제(OS) 못지 않게 고부가가치와 고난도의 기술을 요구하는 분야이다. 현재 각광을 받는 미들웨어로 네트워크 데이터 소통량을 조절하는 트랜잭션 모니터, 웹 언어로 전달된 명령을 처리하는 웹서버, 자바 기반의 안정적인 시스템 운영을 지원하는 웹 애플리케이션 서버 등이 있다.

인터넷이 널리 보급되고 중앙에 집중되어 있던 메인프레임 컴퓨팅 파워를 업무의 특성에 따라 다중의 호스트로 분리하고자 하는 다운사이징 기법과 기존에 구축되어 있던 독립적인 이기종의 시스템들을 하나의 네트워크로 연결하여 통합하고자 하는 시스템 통합 기법 등이 등장하면서 기존의 집중식 컴퓨팅이 분산 컴퓨팅으로 변화하게 되었다.

그러나 분산 컴퓨팅을 실현하기 위해서는 서로 다른 운영체제와 서버 프로그램과의 호환성뿐 아니라 이종의 통신 프로토콜을 사용하는 네트워크간의 접속, 네트워크 자원에 대한 접근, 그리고 시스템을 연결해 단일한 사용자 환경으로 만들어 주는 것이 필수적이다. 이와 같은 분산 컴퓨팅 환경을 구현하는 데 발생하는 여러 가지 문제점들을 해결하기 위해 새로운 종류의 소프트웨어가 등장하게 되었는데 이것이 미들웨어이다. 즉, 분산 컴퓨팅 환경을 구현할 때 발생하는 이종 네트워크간의 프로토콜 인터페이스 문제, 분산 환경하에 서의 시스템 운영 문제, 이기종 데이터베이스간의 접근 문제 등과 같은 것들을 미들웨어를 통하여 해결하게 된다.

● 유비쿼터스 통합식별체계 기반의 이기종 분산 시스템 통합

인터넷이 확산됨에 따라 World Wide Web 과 이메일 등이 전세계적으로 분산된 시스템과 사람간의 통합이 어느 정도 이루어지고 있으나 언제 어디서나 어떤 단말기로도 쉽게 정보를 획득할 수 있어야 한다는 모토로 등장한 유비쿼터스 환경에서 요구되는 보다 수준 높은 통합을 위해서는 기술적인 한계점이 드러나고 있다.

특히 IPv6의 등장으로 모든 사물과 단말기에 인터넷 주소를 부여하여 상호 연동을 시도하고 있고, 제품을 식별하기 위한 RFID와 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)의 등장으로 상호 연동이 필요한 객체의 수가 획기적으로 증가하는 추세이다. 또한 인터넷을 통해 부지기수로 증가하는 다양한 콘텐츠를 효율적으로 활용하기 위한 적절한 통합 기술이 필요하게 된다.

국내에서 개발되어 상용화 서비스를 제공하고 있는 유비쿼터스 통합식별체계인 이포지션(ePosition) 기술은 이메일과 형식과 인터넷 DNS기반의 서비스 방식이 유사하나 @대신 #을 사용하는 점이 다르고 이메일이 사람을 식별하는 목적으로 개발된 데 비해 이포지션은 사물과 콘텐츠를 식별할 수 있는 점이 다르다.

현재까지 이포지션(ePosition)은 주로 웹과 모바일 통합 환경을 지원하는 위치기반 서비스 분야에서 이기종 분산 시스템의 통합을 위해 개발되어 상용화 서비스를 통해 활용되고 있으며, 특히 기존의 시스템에 적용하여 적은 비용으로 쉽고 간단히 통합할 수 있는 시스템으로 개선할 수 있는 장점을 지니고 있다.

또한 본 기술은 한국, 미국, 일본, 중국, 인도 등을 비롯하여 미개국에 특허등록이 완료되었고, 기술표준원을 통해 국제표준화를 추진 중이며 ISO 19151 표준화 추진 과제 번호를 공식적으로 ISO로부터 부여 받았다.

부록 3. FUTURE 핵심질문과 국내 연구사업 비교

연구 과제 일련 번호	평가 (0: 없음, 1: 관련 보통, 2: 관련 높음)																수행처	특징		
		1					2							3						
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	1	2			3	4
1	하구 생태계 관리와 회복 연구	2	2					2	2		2	2	2		2	2	2	2	KMI	인공생태 공학에 치중
2	Material flux across the mudflat interface and ecological function	2	2					2	2	2	2	2		2	2	2	2			
3	Yellow Sea LME	2	2	2	2			2	2	2	2	2		2	2	2	2	2		
4	A pilot study on forecasting long-term	2	2	2			2	2	2	2			2	2						
5	ecosystem changes in the East sea	2	2	2			2	2	2	2			2	2						
6	EAST-1	2	2	2				2	2	2										
7	Ecosystem change in the Northern East China Sea due to the climate change	2	2	2	2		2	2	2	2			2	2	2		2	2		
8	Monitoring of the impacts of Three-Gorges Dam on the East China Sea ecosystem	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			2	2	2	2		
9	해양 생태계 기본 조사	2	2	2	2			2	2	2	2	2			2	2		2		
10	Pacific Ocean Study on Environment and Interactions between Deep Ocean and National seas	2	2	2			2	2	2	2										
11	New fishing technology based on fisheries				1															
12	연근해 수산자원 생태조사	2	2	2	1	1	1	1	1		1	1	1		1	1		1	NFRDI	주요 어종에 대하여 장기 어황예측을 실시
13	연근해 수산자원의 평가 및 관리	2	2	2		1	1	1	1		1	1	1		1	1		1	NFRDI	국제협력을 통한 우리나라의 국제적 위상제고
14	연근해 수산자원의 어황과 수산해양	2	2	2	1			1	1	1	1	1			1	1	1	1	NFRDI	생태학적 조사 및 부수어획조사 및 연구
15	한·일, 한·미, 한·중, 한·러 국제협력	1	1	1				1	1	1	1	1			1	1	1	1	NFRDI	자원 확보를 위한 국제공동자원조사 참여
16	해외수산자원의 분포 조사	1	1	1			1	1	1	1			1	1					NFRDI	근해 어업자원의 분포 및 풍도 변동 모니터링을 실시하고 생태계 기반에 의한 어업자원관리 방안
17	국제공동자원 평가 및 관리											1	1						NFRDI	연근해 어업자원의 분포 및 풍도 변동 모니터링을 실시하고 생태계 기반에 의한 어업자원관리 방안제시
18	근해어업 자원조사 트롤 조사	2	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1		1	1	1	NFRDI	연근해 어업 자원의 분포 및 풍도 변동 모니터링을 실시하고 생태계기반에 의한 어업자원관리 제시

연구 과제 일련 번호	평가 (0: 없음, 1: 관련 보통, 2: 관련 높음)																				수행처	특징
	1					2							3									
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5				
19	해외 어장정보	1	1	1				1	1	1		1	1	1							NFRDI	바다목장 해역의 자원풍도 및 생태계구조 파악
20	기후변화에 따른 수산자원변동 모니터링	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	NFRDI	
21	연근해어업 총조사	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	NFRDI	
22	자율관리어업 자원조사	1	1	1	1		1	1	1	1			1	1	1		1	1	1	1	KMI	자연과학과 사회과학 측면에서 수산자원조성사업의 평가내용, 평가항목 및 산정방법 등 표준화된 평가체계를 제안
23	연안생태계 보전 및 관리연구	1	1	1				1	1	1	1	1			1	1	1		1		KMI	
24	수산자원회복 프로그램 운영	1	1	1	1			1				1	1			1			1	1	KMI	연안관리 관련 정책의 효과성 등을 파악하기 위한 연안조사 지표체계를 개발
25	해양생태계기본조사(유영동물조사)	2	1	2	1		1	1	1			1	1			1	1	1		1	KMI	어획능력 측정에 널리 적용되는 여러 가지 기법을 검토하여 우리나라 근해어업의 어획능력 측정에 적용 가능한 기법을 찾아 주요 어업에 적용
26	바다목장해역 자원조사평가	1	1	1	1		1	1	1			1	1	1		1		1	1	1	KMI	우리나라에서 다소 생소한 개념인 생태계를 기반으로 하는 어업자원관리의 국제 논의 동향을 소개하고 각국의 사례분석을 통하여 우리나라 실정에 맞는 생태계를 기반으로 하는 어업자원관리 도입방안을 제시
27	오륙도 및 주변해역 해양생태계조사	2	1	2	1		1	1	1			1	1			1	1	1		1	KMI	
28	해사채취해역 자원조사				1	1										1	1				KMI	우리나라 하구가 가지는 고유의 가치와 기능을 유지함과 동시에 다양한 하구이용을 담보할 수 있는 국가차원의 하구관리정책 기본방향과 추진전략을 제시함과 동시에 이를 달성하기 위한 종합적인 관리방안계획을 개발
29	수산자원조성사업의 평가체제 구축방안에 관한 연구		1																		KMI	전남 바다목장 시범해역에 대해 본격적인 바다목장을 조성단계하기 위한 이용관리체제를 마련

연구 과제 일련 번호	평가 (0: 없음, 1: 관련 보통, 2: 관련 높음)																				수행처	특징
	1					2					3											
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5							
30	연안조사 지표체계 개발 연구																				KMI	지속적 어업생산, 어업경영의 안정화 및 풍요로운 어촌건설을 위해서는 종전 의 연근해어장 이용방식의 장점을 살리고 최첨단 과학기술을 도입한 미래형 어업모델 개발이 필요하며 이를 위해 바다목장을 조성
31	동해안 어업정책의 평가와 지속적 발전방안 연구																				KMI	사회과학적 측면에서 통영바다목장 사업의 이용·관리 분야를 분석 정리
32	우리나라 연근해어업의 어획능력 측정에 관한 연구																				KMI	
33	생태계를 기반으로 하는 어업자원관리 도입방안 연구																				KMI	갯벌환경에미치는피드백영향에대한 인간환경과갯벌환경간의연관성분석
34	해양생태계 보전관리방안 연구																				KMI	「지정→관리계획 수립→관리계획 시행→평가 및 모니터링→관리 반영」과 같은 일련의 통합된 관리프로세스를 체계적으로 이행
35	지속가능한 하구역 관리방안																				KMI	갯벌의 효율적 보전과 현명한 이용을 위하여 갯벌 및 주변지역의 사회·경제적 이용현황을 조사하고 갯벌 관리 기본방안을 제시
36	연근해어업 휴어제 도입에 관한 연구																					
37	EEZ 해양수산자원의 효율적 관리방안 연구																					
38	다수어종·다수어업의 TAC 결정모델 평가에 관한 연구																					
39	해양보호구역 관리체제 구축 연구																					
40	해양환경관리전문기관 설립방안 및 해양생태계의 종합적 관리체제 구축방안 연구																					
41	어업모니터링 체제 확립을 위한 기초연구																					
42	연안·해양 보호구역 통합관리체제 구축방안 연구																					
43	갯벌 생태계 조사 및 지속가능한 이용방안 연구																					
	합계																					

부록 4. FUTURE 핵심질문과 과거 연구논문 비교

1. What determines an ecosystem's intrinsic resilience and vulnerability to natural and anthropogenic forcing?

1.1. What are the important physical, chemical and biological processes that underlie the structure and function of ecosystems?

- 식물플랑크톤의 경우 일부해역 중심으로 해양환경의 변동 및 군집구조에 대한 연구가 대부분임. 해양생태계의 종합적인 군집구조 및 기능적인 측면의 연구필요식물플랑크톤은 광합성을 통하여 CO₂, 빛을 이용하여 많은 산소와 에너지를 만들며, 먹이사슬의 하위단계로 그 근간이 된다. 이들의 변동은 해수순환의 패턴에 많은 영향을 받는다. 이 모든 역할의 중요성은 인식되나, 우리나라에서는 해역의 기초생산력 파악정도만 연구가 되고 있으며, 해수순환 패턴에 대한 연구는 일부 해역에 국한되어 수행되고 있음 [1]. 또한, 기능적인 측면보다는 군집구조의 형태 및 식물플랑크톤과 해양환경과의 관계에 대한 연구가 대부분임 [2, 3]
- 저서동물의 경우 Biological process와 군집의 기능에 대한 연구가 다소 부족한 것으로 볼 수 있음. 군집의 기능에 대한 연구와 경쟁, 포식 등과 같은 생물학적 상호 작용이 군집의 구조와 기능에 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 연구가 필요함. 기능보다는 군집 구조를 결정하는 요인에 대한 연구가 주를 이룸. 저서동물 분야에서는 군집 구조를 결정하는 요인이 곧 기능에도 영향을 미치는 것으로 볼 수 있음. Regional scale에서는 수괴의 분포와 같은 물리적 요인이 중요하며, 황해 저층 냉수괴 저서동물 군집의 구조 및 분포를 연구 [4-6]. Local scale에서는 퇴적기질 특성이나 오염과 같은 인간 활동에 의한 간섭의 영향이 작용하는 것으로 추정됨. Yoo and Hong(1996) [7]과 Hong and Yoo (1996)[8]는 퇴적상과 염분도 구배가 경기만 저서동물 군집의 구조와 분포에 영향을 미치는 것으로 보았음. Shin et al. (1989)[9]의 경우 경기만의 저서동물 군집이 갯벌의 존재와 퇴적상 그리고 오염으로부터의 영향을 받는 것으로 추정하였음. 국내의 연안역에서는 퇴적상 효과가 우세한 것으로 보임. 홍 등(1994, 1997)[10, 11] 외에 다수의 문헌에서 오염으로 인한 저서동물 군집의 대량 폐사와 무생물 상의 출현이 보고되었음. 김 등(2006)[12]이 갯벌에서 행한 간섭 실험(interference experiment)에서 포식(predation)은 대형저서동물 군집의 구조에 중요한 영향력을 는 것으로 분석하였음. 유 등(2004)[13]이 동해안에서 수행

한 등근 성계의 분포에 대한 연구에서는 이들에 가해지는 포식이 해조장의 형성/발달과 밀접한 관계를 맺고 있는 것으로 나타났음. 해조류에 대한 grazer의 조식압 추정 모형을 연구한 유 등(2007)[14]은 어류의 남획과 같은 인간의 간섭 활동이 해조장에 커다란 변화를 유발할 수 있는 것으로 추정하였음.

- 연안역을 중심으로 환경요인에 따른 동물플랑크톤 군집 구조 변화 연구가 주로 수행되고 있으며, 외양역에서 수괴특성에 따른 동물플랑크톤 종조성 및 군집 구조의 변화 연구는 제한적으로 이루어 졌음 [2, 15-18]
- 해양생태계에서 중형 동물플랑크톤은 식물플랑크톤에 의해 생산된 유기물을 상위 단계 소비자로 연결시키는 영양역학적 연결고리 역할을 담당하여, 유영생태계의 에너지 흐름에 있어 매우 중요한 생물군이지만 우리나라에서 수행된 동물플랑크톤의 기능적 연구는 일부 연안역의 부유생태계 에너지 흐름에 대한 연구 정도가 소개되었음 [19]
- 남해 유공층 분포와 주요 해류와의 관계 [20]
- 남해 전선에서 영양염, 클로로필, 동물플랑크톤 분포 비교 [21]
- 동해 해양기후체제변화에 따른 표층수온, 혼합층 깊이, 1차 생산, 동물플랑크톤, 수산어종 어획고 변화 분석 [22]
- 동해 수온변화와 동물플랑크톤 생체량 연변화, 살오징어 어획고 교차상관관계 분석 [23]
- 남해안 저서식물과 저서생물 먹이사슬 관계를 자연동위원소로 분석 [24]
- 동서남해 동물플랑크톤 시공간 변동을 EOF로 분석하여 기후체제변화와 관계 여부를 분석 [25]
- 동해 울릉분지 식물플랑크톤 생산을 쓰시마 난류 유입량과 관련하여 분석 [26]
- 동해 주요어종 어획고 변동을 기후체제변환, 혼합층 깊이, 기초생산, Ecopath를 이용한 먹이사슬단계 변화와 관련하여 분석 [27]
- 동해 하수 투기 해역에서 환경변화, 미생물 생산 변화, 기초 생산 변화를 평가 [28]
- 우리나라 연근해 어획고 종구성 변동을 인공신경네트워크로 환경과 사회경제 요인 변화와 연관시켜 분석 [29]
- 제주도 부근 해역 영양염과 클로로필 분포 조사. 양쯔강 희석수 영향 평가. 제주도 부근 해역에서는 인보다는 질소에 의해 1차 생산이 제한된다는 결과 [30]
- 서해 경기만 퇴적물 표면 구조와 저서생물 군집 관계 [31]

- 동해 살오징어 어획고 변동을 기후체제변화와 관련시켜 분석 [32]
- 남해 광양만에서 이매패류 성장과 생식을 미세조류 계절성과 연관시켜 분석. 자연동위원소 [33]
- 남해안 진해만과 영산강 하구에서 저산소와 대형저서생물 군집구조 변화 관계를 분석 [34]
- 대한해협과 일본동해안 해역 주요어종 어획고 변화를 기후체제변화와 연관시켜 분석 [35]
- 우리나라 동서남해 주요 어종 어획고 변동을 기후체제변화와 연관지은 기존 연구들을 리뷰 [20]
- 북태평양 기초생산력 분포와 계절변화를 인공위성 자료를 바탕으로 분석하여 지역적인 기상, 해양학적 특징과 관련시킴 [36]

1.2. How might changing physical, chemical and biological processes cause alterations to ecosystem structure and function?

- 식물플랑크톤의 경우, 변화의 요인보다는 현상 파악에 그치고 있어 변화 요인 파악이 필요.
- 1990년대에 들어 식물플랑크톤 대발생이 생기고 있으며, 기후온난화 및 외래종 도입으로 생물종이 변화하고 있다. 또한, 점차 독소를 가지거나, 수산피해를 야기하는 종으로 변화하고 있어 분자생물학적 방법을 통한 종의 규명에 대한 연구가 행해지고 있으나, 원인과악은 아직 행해지지 못하고 있음 [37].
- 극지해양의 물리적, 생지화학적 환경변화에 민감하게 영향을 받는 식물플랑크톤의 변화를 통해 극지 해양생태계의 변화양상 파악이 가능함에 따라 극지 식물플랑크톤의 중요성 및 연구동향 분석 [38, 39]
- 저서동물의 경우 연안역에서 생태계의 구조와 기능에 변화를 주는 유력한 요인은 인간 활동으로부터 기인하는 기후변화, 부영양화, 중금속/chlorinated hydrocarbons 오염 또는 매립 등의 개발 행위임. 장기 모니터링을 통해 채집된 인천 송도 갯벌의 저서동물 군집 표본을 대상으로 시계열 분석을 연구 [7, 40, 41]에서는군집의조성과기능이기온의상승과부영양화에상당한영향을받을것으로예측되었음. 부영양화나 화학 물질의 유입에 의한 저서생태계의 변화는 요인에 특이적이지 않은 것으로 보임. 다시 말하면, 부영양화나 특정 오염 물질의 효과에 대한 군집의 반응이 크게 다르지 않다는 것임. 주로 서식처의 구조적 단순화와 취약성

을 높이며, 생산성의 악화와 관련 기능(유기물의 retention, 오염물질 정화작용 등)의 저하가 나타남.

- 국내 연안역의 저서생태계에서 관찰된 변화는 부영양화에 기인하는 사례가 우세하게 나타나고 있음. 부영양화로 인해 발생하는 빈산소는 마산만, 진해만, 시화호 등이나 연안의 크고 작은 항만 시설 내에서 빈번하게 관찰됨 [11, 26].
- 동물플랑크톤의 경우, 시·공간적 분포 특성에 대한 연구가 대부분이며, 인위적인 환경 변화에 따른 동물플랑크톤 군집구조 변화 연구가 일부 수행됨 [16, 17, 42, 43]. 기후변화에 의한 혼합층 깊이 변화에 따른 부유생태계의 반응 연구, 인간활동 증가에 따른 연안역 부영양화가 동물플랑크톤 군집에 미치는 영향 정도, 식물플랑크톤 종조성 변화에 따른 동물플랑크톤 군집의 변화 양상 등에 대한 연구와 같은 다양한 환경요인 변화에 따른 동물플랑크톤 반응 연구들이 앞으로 수행되어야 할 것으로 판단됨.
- 기후변화에 따른 기후체제전환이 우리나라 주변해역의 동물플랑크톤 생체량의 계절주기 변동에 큰 영향을 줌 [44].
- 생물다양성과 탄소 관계에 관한 연구결과가 [45].
- 동해에서 기후체제변환이 어획고와 어종 구성에 미치는 영향을 나무 나이테와 수온, 기후 지표 (알류산 저기압), 기초생산력과 동물플랑크톤 생체량 변화와 연결시켜 분석 [24]
- 동해에서 해양기후체제변화에 따른 표층수온, 혼합층 깊이, 1차 생산, 동물플랑크톤, 수산어종 어획고 변화 분석 [46]
- 우리나라 연근해 동물플랑크톤이 기후체제변환에 반응하는 패턴은 동해와 남해는 서로 비슷하나 황해는 두드러지게 다르다는 것을 밝히고, 각 해역에서 해류와 전선이 반응의 공간적인 패턴에 중요한 역할을 한다는 것을 제시 [47]
- 우리나라 동서남해 해양생태계 변화를 해양학적 환경, 영양염, 플랑크톤, 저서생물, 어류, 새와 포유류등 생태계 먹이사슬 단계별 구성요소별로 종합적으로 고찰하고 황해와 남해의 경우 인간활동 영향 (오염, 부영양화, 서식처 파괴, 남획)에 대해서 간략히 평가 [48]
- 동해 울릉분지 식물플랑크톤 생산을 쓰시마 난류 유입량과 관련하여 분석. 기후 변화에 따라 쓰시마 난류 유입이 증가하면 동해 기초생산력과 계절 패턴이 바뀔 수 있음을 제시 [26]
- 동해에서 기후변화에 따른 생태계 구조 변화를 Ecopath를 이용한 먹이사슬단

계 변화로 전망할 수 있음을 제시 [27]

- 동해 하수 투기 해역에서 환경변화, 미생물 생산 변화, 기초 생산 변화를 평가하여 인간활동이 미생물 군집을 변화시켜 생태계 구조를 변화시킬 수 있는 과정을 제시 [49]
- 동해에서 1970년대 기후변화에 따라 콩치 분포가 북쪽으로 이동했으며 어획고가 격감 [50].
- 동해에서 기후변화에 따른 쓰시마 난류 변화에 따라 살오징어 분포가 북쪽으로 이동하여 지역 생태계가 변화할 수 있음을 제시 [51]
- 서해 금강 하구에서 해안 개발에 따라 퇴적물 구조와 해수흐름이 바뀌고 이에 따라 저서환경과 수질이 악화될 수 있음을 제시 [52]
- 베링해에서 1970년대 기후체제변환에 따른 명태 초기생활사 산란 시기와 성장을 변동 평가 [53].
- 남해 진해 마산만에서 수온과 염분, 강수량 변화에 따른 하천으로부터 영양염 공급 변화에 따라 적조생물 종구성의 계절변화 패턴이 바뀔 수 있음을 제시 [35]
- 남해안 진해만과 영산강 하구에서 저산소와 대형저서생물 군집구조 변화 관계를 분석 [20]
- 대한해협과 일본동해안 해역 주요어종 어획고 변화를 1904-2004년까지 기후체제변환과 연관시켜 분석 [50]
- 우리나라 연근해해역 수온, 염분변화에 따른 어획고 종구성 변동을 분석하여 짧은 수명의 부어성 어류 (멸치, 고등어, 오징어 등)가 온난화에 따라 우점할 것으로 전망 [52]
- 황해에서 1990년대 요각류 (*Calanus sinicus*)가 증가한 이유를 수온변화, 멸치에 의한 포식, 클로로필 양과 연관지어 설명 [53]
- 제주도 부근 해역에서 쓰시마 난류와 황해저층냉수가 어류 군집에 미치는 영향을 저층트롤로 채집된 어류 샘플에 기반한 군집구조와 먹이사슬단계로 평가 [26]
- 동해 울릉분지에서 미생물 생체량과 생산력 공간분포 차이를 연안용승과 울릉분지와류와 연관하여 분석 [54]
- 동해 어종 변화를 기후변화에 따른 생태계 구조 (영양염, 기초생산, 동물플랑크톤) 변화와 연관지어 과거 연구 결과를 정리 [54]

1.3. How do changes in ecosystem structure affect the relationships between ecosystem components?

- 식물플랑크톤의 경우 생물간 상호관계에 대한 연구는 있으나, 변동에 대한 연구는 없음. 식물플랑크톤과 동물플랑크톤, 원생생물 및 미생물과의 관계를 통해 그 구조 및 기능을 파악함 [55]. 식물플랑크톤의 변화는 기존과 다른 유해종의 출현 및 대발생이 이루어지지만, 현재까지 이 변화에 대한 연구는 없었음.
- 식물 플랑크톤의 대증식 현상이나 수층 내 유기물 농도의 증가는 저서생태계의 부유화(enrichment)나 부영양화(eutrophication) 현상을 유발하고 있음.
- 서해 인천 송도 갯벌 저서동물 군집의 장기 변동 패턴을 관찰한 결과, 부영양화 현상이 저서동물 군집의 생산량 증가를 유발한 것으로 관찰되었음 [7, 40, 41]. 이는 일종의 부유화 현상인 것으로 해석되었음. 부유화에 의한 생물 생산의 증가는 어류나 물새의 풍도 또는 인간의 어획량 변동에 영향을 주었음으로 예측됨. 오염이나 기타 교란요인으로 발생하는 저서생태계 구조의 변화, 특히 부유화를 거쳐 부영양화 단계에 진입할 때 나타나는 생물 생산의 감소, 대량 폐사와 같은 현상은 어류 생산력의 감소로 이어질 것으로 여겨짐. 오염이나 기타 교란요인으로 발생하는 대형저서동물 군집의 변화는 퇴적물 서식 대형, 중형, 소형 저서동물 군집의 전반적인 생물 다양성 감소와 물질 순환, 오염정화와 같은 생태계 기능의 감소를 나타낼 것으로 예상됨. 대형저서동물 군집의 폐사는 수층의 수질 악화와 직결되며, 이를 통해 pelagic system의 biological components의 변화에 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있음.
- 동물플랑크톤의 경우 우리나라에서 생태계 구조 변화에 대응하는 동물플랑크톤을 중심으로 한 생태계 구성요소 상호간의 관계 연구는 전혀 진행되지 못하였음. 기후변화 및 인간활동에 의한 연안 부영양화 등이 식물플랑크톤의 군집 구조 변화를 발생시키면서 상위 영양단계인 동물플랑크톤 군집 구조변화에도 큰 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단됨
- 동해에서 기후변화에 따른 생태계 구조 변화를 Ecopath를 이용하여 생태계 각 구성요소별 개체수 변동으로 설명 [20]
- 동해 하수 투기 해역과 대조해역을 비교한 결과 영양염에서는 차이가 없었으나 박테리아와 식물플랑크톤 생산, 그리고 미생물의 생태학적 관계에서 차이가 남을 밝히고 투기 해역에서는 오염물질 때문에 박테리아와 식물플랑크톤 생산력이 감소할 것이라고 유추 [49]

- 황해에서 1990년대 요각류 (*Calanus sinicus*)가 증가한 이유를 멸치에 의한 포식으로 설명 [28]
- 동해 울릉분지에서 미생물과 식물플랑크톤 생체량과 생산력 공간분포 차이를 연안용승과 울릉분지와류, 그리고 이에 따른 저서생물성장과 유기탄소 공급과 연관하여 분석 [56]
- 동해 어종 변화를 기후변화에 따른 생태계 구조 (영양염, 기초생산, 동물플랑크톤) 변화와 연관지어 과거 연구결과를 정리 [31]

1.4. How might changes in ecosystem structure and function affect an 's resilience or vulnerability to natural and anthropogenic forcing?

- 저서 생물의 경우 자연성을 갖춘 서식처에서 인위적인 영향에 따른 변화가 발생한다면 그 변화의 방향은 생태계 구조의 단순화와 기능의 감소가 될 것임. 이와 같은 현상은 이미 전세계 도처의 해양에서 가리지 않고 나타나고 있음 [57]. 국내에서는, 이와 같은, 생태계 시스템의 구조적 단순화와 복원력 간의 관계에 관한 연구의 수행 사례가 전무한 실정임. 생태계 구조의 단순화는 외부의 impact에 대한 높은 취약성을 유발함. 예를 들어, 오염의 효과가 지배하는 해역이자 이로 인해 단순화된 군집 구조가 관찰되는 해역에서는 저서동물 군집의 대량 폐사가 매해마다 지속적으로 관찰되고 있음 [10]. 오염의 효과가 개선되면, resilience를 조절하는 시스템이나 요인은 주변의 건강한 군집의 존재 여부인 것으로 보임. 이는 오염의 효과가 발생하는, 즉, 시스템 구조와 기능의 단순화가 발생하는 공간적 규모 역시 resilience를 조절하는 중요한 변수로 볼 수 있다는 것임. 이와 같은 사례는 해사 채취 규모와 회복 시기 간의 관계를 분석하는 해사채취 관련 분야의 연구에서 보고되고 있음 [58].
- 남해안 진해만과 영산강 하구에서 저산소와 대형저서생물 군집구조 변화 관계를 분석하고 산소농도가 정상시로 돌아왔을 때 군집 회복능력 평가 [59]
- 우리나라 동물플랑크톤 연구에서 자연적, 인위적 힘에 의한 생태계 복원 및 취약성에 대한 연구는 전혀 진행되지 못함. 최근의 연구결과에 따르면 해양 생물 다양성은 생태계의 resilience를 강화시켜주며 취약성을 감소시키며 또한 종의 감소도 막아주는 것으로 알려졌으나 그에 따른 자세한 연구가 필요한 상황.
- 남해 여자만 환경영향과 생태계 수용능력 평가를 생태계 모델로 평가 [60]

1.5. What thresholds, buffers and amplifiers are associated with maintaining ecosystem resilience?

- 저서동물 군집의 구조적/기능적 안정성, redundancy, 또는 건강성 등이 관련된 것으로 보임. 국내에서는 생태계 복원력과 관련된 위 세 가지 항목에 대해 논의된 사례가 없음. 단 국외의 사례를 볼 때, 앞서 언급한 바와 같이, 서식처의 생물 다양성과 주변 해역의 건강성이 생태계의 복원력을 유지하는 주요 buffers 또는 amplifiers인 것으로 볼 수 있음.
- 우리나라 동물플랑크톤 연구에서 자연적, 인위적 힘에 의한 생태계 복원 및 취약성에 대한 연구는 전혀 진행되지 못함
- 생물 종다양성과 해양생태계의 resilience를 유지시켜준다고 알려져 있으나 자세한 연구가 필요한 사항이며 FUTURE 프로그램에서 주요 과제로 다루어야 할 것으로 생각됨
- 남해 여자만 환경영향과 생태계 수용능력 평가를 생태계 모델로 평가 [61, 62]

1.6. What do the answers to the above sub-questions imply about the ability to predict future states of ecosystems and how they might respond to natural and anthropogenic forcing?

- 저서동물의 경우 예측에 있어서 위와 같은 요인들의 효과를 정량적으로 파악하는 것이 매우 중요하다는 것을 의미함. 그러나 정량적인 관련 정보를 얻기 위한 연구가 여전히 필요한 상태라고 볼 수 있음. 인위적인 영향-생태계 구조와 기능-복원력 간의 관계를 이해하는 것은 미래의 생태계 변화를 예측하기 위한 여러 필수 전제 조건들 가운데 하나라고 할 수 있음. 위의 답변들은 영향요인과 생태계의 반응 관계를 명확한 것으로 여길 수 있는 연구 결과들이 비록 일부 분야에서 존재한다 하더라도 driving forces에 대해 보다 정량적이면서도, 정확하고, 강건한 정보를 획득하기 위한 과정(예를 들어, 다양한 요인 별 정량적 효과의 추정 실험, 연구 지원 강화, 다양한 연구자로부터의 연구 결과 정리, 검토 등)이 필요한 상태라는 것을 의미함.
- 우리나라 동물플랑크톤 중심의 생태계 변화 예측을 위한 연구를 진행한 경우는 아직까지 없음. 생태계의 상태를 예측하기 위해서는 위에서 언급한 여러 가지 데이터를 정확히 분석하기 위한 기술이 필요함.

- 동해 하수 투기 해역에서 오염물질 때문에 박테리아와 식물플랑크톤 생산력이 감소할 것이라고 전망 [63]
- 우리나라 연근해해역에서 표층 수온 증가와 해안지역 수질악화로 저어류 대신 짧은 수명의 부어성 어류 (멸치, 고등어, 오징어 등)가 우점할 것으로 전망 [33]
- 우리나라 연근해 기후변화에 따른 주요어종 변동을 동서남해 생태권으로 나누어서 전망 [35]

2. How do ecosystems respond to natural and anthropogenic forcing, and how might they change in the future?

2.1. How has the important physical, chemical and biological processes changed, how are they changing, and how might they change as a result of climate change and human activities?

- 식물플랑크톤의 경우 만/일부해역을 중심으로한 모니터링은 있지만 우리나라 전반적인 해역에 대한 장기적 변동과약을 없었음 [64].
- 저서동물의 경우 생물학적 과정 변화에 대해서 구체적으로 알려진 바가 없음. 경쟁, 포식과 같은 생물학적 agents가 과거로부터 어떻게 변화하여 왔는지에 대한 연구 결과는 현재까지 없는 것으로 판단됨. 현재까지 수온의 상승과 수층 내 유기물 함량의 증가는 갯벌의 생물 다양성과 생산력의 증가와 같은 부유화 (enrichment)에 영향을 미친 것으로 추정되었음 [7, 40, 41]. 그러나 이후에도 이와 동일한 반응이 나타날 것으로는 예상할 수 없음. 과거에는 연안역의 개발, 부영양화의 효과 등과 관련된 요인들이 변화하며, 이들의 변화가 생물 다양성과 기능의 변화에 중요한 설명력을 갖는 것으로 평가되었음. 이는 현재에도 지속되고 있음. 해수온의 상승과 같은 온난화의 영향으로 인해 부영양화/hypoxia의 발생 그리고 생산력이 높은 만(bay)과 같은 곳에서의 dead zone의 형성은 미래에 가속화될 것으로 예상됨. 연안역의 개발이 앞으로 물질 순환, 생물 생산에서 중요한 역할을 수행하는 갯벌 서식처에 집중된다면 연안역 생태계의 degradation 역시 가속화될 것임. 그러나 이와 같은 가능성을 정량적으로 예측한 문헌은 없음.

- 미래의 온도 상승 자체만으로도 생물 다양성 또는 군집의 조성 변화에 중요한 효과를 가질 것이나, 온도 상승과 인간 활동이 부영양화와 같은 스트레스 요인의 효과를 더욱 가중시킬 것으로 예상되며, 이전에 경험하지 못했던 생물학적 현상이나 biological processes 영향력의 변화가 나타날 것으로 예상됨.
- 해류의 변화와 같은 물리적 프로세스의 변화에 대한 연구가 필요함. 해수면이 상승되면 경사도가 매우 완만한 한국의 갯벌 면적은 크게 줄어들 것으로 예상됨. 얼마나 줄어들지, 그 영향이 어떤 것인지, 어느 정도 크기의 impact를 갖는지에 대한 연구가 시급함. 이와 같은 연구는 국내의 연안역 개발 행위의 철학을 변화시키는 데에 중요한 역할을 할 것임.
- 동물플랑크톤 관련 연구에서 환경 요인의 프로세스에 대한 연구는 거의 진행되지 못하였음. 다만 기후변화에 따른 우리나라 주변해역의 동물플랑크톤 생체량 변동 등과 관련한 해양생태계의 반응 등에 대한 연구는 일부 수행되었음 [32].
- 생물 종다양성을 결정하는 요소는 시간, 환경의 안정성, 생물체간의 상관관계, 생물체의 생산성 등이 중요하게 생각된다. 앞으로 해양환경은 기후변화와 함께 다양한 인간활동의 결과로 이전 보다 환경적 변화가 심해질 것으로 생각된다. 일반적으로 열대지역은 온대지역 보다 동요를 적게 받으며 생물다양성이 높다 [65]. 이것은 열대지역이 온대지역보다 환경의 안정성이 오래 지속되었기 때문이다. 앞으로 해양생태계는 이산화탄소의 농도의 증가로 인한 해양의 버퍼능력의 저하, 기후변화에 따른 해양의 물리적 화학적 변화, 그리고 인간의 활동으로 인한 다양한 요소가 해양 생태계에 복합적으로 작용할 것으로 생각된다.
- 우리나라 남해에서 기후변화에 따른 어획어종 변화를 기초생산과 동물플랑크톤 생체량 변동과 관련지어 분석 [20]
- 동해에서 해양기후체제변화에 따른 표층수온, 혼합층 깊이, 1차 생산, 동물플랑크톤, 수산어종 어획고 변화 분석 [22]
- 우리나라로 유입되는 대기 황사의 운반과정과 특징을 고찰 [24]
- 1970년대 말 양자강 지역 강수량 변화를 분석 [46]
- 동해 저층수 산소 공급 변화를 상자모델로 장기 예측 [48]
- 동아시아 기후변화를 IPCC 모델로 장기 예측 [66]
- 우리나라 동서남해 해양생태계 변화를 전망 [67]
- 동해에서 기후변화에 따른 생태계 구조 변화를 Ecopath를 이용한 먹이사슬단

계 변화로 전망 [27]

- 동해 하수 투기 해역에서 오염물질 때문에 박테리아와 식물플랑크톤 생산력이 감소할 것이라고 전망 [49]
- 제주도 부근 해역 영양염과 클로로필 분포 조사. 양쯔강 희석수 영향 평가. 제주도 부근 해역에서는 양쯔강 담수보다는 수직 혼합으로 표층에 영양염 공급되며 인보다는 질소에 의해 1차 생산이 제한된다는 결과 [50]
- 동해에서 기후변화에 따른 쓰시마 난류 변화에 따라 살오징어 분포가 북쪽으로 이동하여 지역 생태계가 변화할 것으로 전망 [68]
- 서해 금강 하구에서 해안 개발에 따라 퇴적물 구조와 해수흐름이 바뀌고 이에 따라 저서환경과 수질이 악화될 것으로 전망 [28]
- 남해 진해 마산만에서 수온과 염분, 강수량 변화에 따른 하천으로부터 영양염 공급 변화에 따라 적조생물 종구성의 계절변화 패턴이 바뀔 수 있음을 제시 [69]
- 동해에 인간활동에 의한 이산화탄소가 축적되는 과정과 탄소수지에 미치는 영향 평가 [70]
- 동해 연어의 기후변화에 따른 성장률 변화를 이석분석으로 평가 [71]
- 대한해협과 일본동해안 해역 주요어종 어획고 변화를 1904-2004년까지 기후체제변환과 연관시켜 분석 [72, 73]
- 우리나라 연근해해역에서 표층 수온 증가와 해안지역 수질악화로 저어류 대신 짧은 수명의 부어성 어류 (멸치, 고등어, 오징어 등)가 우점할 것으로 전망 [74]
- 황해에서 1990년대 요각류 (*Calanus sinicus*)가 증가한 이유를 수온상승과 멸치에 의한 포식량의 감소로 설명 [75]
- 동중국해 뱀장어 유생 이동과 가입을 엘니뇨와 연관지어 해수순환모델 시뮬레이션으로 평가 [61, 62]
- 우리나라 동서남해 주요 어종 어획고 변동을 기후체제변환과 연관지은 기존 연구들을 bottom-up 방식으로 리뷰 [20]
- 기후변화에 따른 한반도 대기 온도와 주변 해역 수온 염분 용존산소 장기 변화를 평가 [26]
- 새만금 독 축조에 따른 퇴적물과 지형 변화 평가 [76]
- 남해 마산만에서 하수처리장 건설에 따른 연안 퇴적물 오염도 조사 [77]
- 제주도 부근 해역에서 영양염과 엽록소 분포를 쓰시마 난류, 황해저층냉수, 양

자강 희석수와 관련하여 분석 [52]

- 새로운 형태와 기존 형태의 엘니뇨 비교 분석을 통해서 기후 변화에 따른 앞으로 엘니뇨 패턴을 예측 [78]

2.2. What factors might be mediating changes in the physical, chemical and biological processes?

- 저서동물의 경우 정책적 관리를 통한 인간 간섭 활동(개발, 어업 행위, 오염물질의 배출 등)의 제어나 건강한 서식처의 보존/복원 그리고 관리가 local scale의 물리, 화학적, 생물학적 프로세스의 변화를 mediating할 수 있을 것으로 생각함.
- 생물종다양성의 경우 어떤 인자들이 물리적, 화학적, 생물학적 프로세스를 조절하는가에 관한 연구는 상당히 광범위한 문제이다. 이들 세가지의 요소는 서로 밀접히 연관되어 있기 때문이다.
- 남해 전선 형성에 따른 영양염, 클로로필, 동물플랑크톤 분포 비교 [29]
- 기후 변화에 따른 동해 저층 용존산소 변화 예측 [72]
- 동해 하수 투기 해역에서 오염물질이 미생물 생태학적 관계들을 변화시켜 생태계 구조를 변화시킬 수 있는 과정을 제시 [73]
- 남해안 진해만과 영산강 하구에서 저산소에 따른 대형저서생물 군집구조 변화를 분석 [74]
- 남해 표층의 이산화탄소 분압 공간분포를 쓰시마난류, 양자강 희석수, 수온, 염분, 엽록소, 수층 안정도등과 관련하여 분석 [79]
- 동해에서 1982-1983, 1997-1998 엘니뇨 직전에 표층수온이 하강하는 특이 현상 보고 [30]
- 동해 울릉분지에서 미생물과 식물플랑크톤 생체량과 생산력 공간분포 차이를 연안용승과 울릉분지와류, 그리고 이에 따른 저서생물성장과 유기탄소 공급과 연관하여 분석 [31]
- 포항과 울산 연안에서 외부 퇴적물 유입이 패류 난발생과 변태에 미치는 영향 평가 [34]
- 북태평양 식물플랑크톤 번성이 일어나는 시기의 공간분포 변동을 지역적인 기상, 해양학적 특징과 관련시킴 [35]
- 제주도 근해에서 영양염과 엽록소 분포를 양자강 희석수와 열염전선으로 설명 [36]

- 남해 인공위성으로 관측 평가한 엽록소 분포를 양자강 희석수와 관련하여 분석하고 희석수가 이동하는 속도 계산 [47]
- 새로운 형태와 기존 형태의 엘니뇨 비교 분석을 통해서 기후 변화에 따른 앞으로 엘니뇨 패턴 변화를 예측 [27]

2.3. How does physical forcing, including climate variability and climate change, affect the processes underlying ecosystem structure and function?

- 식물플랑크톤 대발생 종이 변화하고, 그에 따른 수산피해가 발생하며, 인간에게까지 직·간접적인 피해를 일으키는 종들이 발생함 [37].
- 80년대말부터 90년대 중반까지 국내의 갯벌 저서동물 군집의 반응을 보면 겨울철 기온의 상승이 당분간은 갯벌 생물 다양성의 증가 현상을 나타낼 것으로 예상됨. 그러나 2년 간격으로 가을철을 기점으로 달라지는 군집 패턴이 관찰되었고 매해마다 생물상의 유사도는 평균 2-3%의 감소를 나타내며, 시간이 흐를수록 점차 다른 생물상으로 변화해가는 것이 관찰되었음. 동일한 채집 지점과 시점의 저서동물 군집 표본 유사도는 70%인 것으로 추정되었으며, 생물상이 달라지는 기준을 35%(절반이상 달라짐을 근거한 것임)로 설정하면, 현재로부터 약 20년 후에는 지금과 다른 생물상이 관찰될 것으로 예측되었음 [7, 40, 41].
- 해수면의 상승으로 갯벌의 면적이 축소될 것이며, 갯벌의 조위와 공극수 염분도 변화로 인해 갯벌 상부의 염생식물 군집에 변화가 발생할 것으로 예상할 수 있음. 현재까지는 이와 관련된 연구가 진행된 바 없음.
- 현재까지는 southerly species의 출현과 같은 현상은 뚜렷하게 나타나지 않으나 [7] 연안역에서 지속적으로 상승하는 기온은 인간의 교란활동과의 synergetic interaction을 통해 군집 안정성의 취약화와 종 조성의 변화를 유발할 것으로 예상되며, 이에 따른 생물학적 상호 작용의 변화를 통해 영향을 미칠 것으로 봄. 그러나 이를 뒷받침하는 국내의 관련 문헌은 없음.
- 기후변화에 따른 해양생태계의 저차 영양단계 변화가 동물플랑크톤 군집의 구조 변화를 야기시킬 가능성은 상당히 클 것으로 보이나 현재까지 보고된 결과는 부족함. 기후변화에 따른 동물플랑크톤 생체량 변화 양상에 대한 연구가 일부 보고된 바 있으나 [32] 과정에 대한 연구는 부족한 실정임
- 생물 종다양성의 경우 기후변화에 따른 수온의 상승, 해수면의 변화, 그리고 해류의 변화등과 다양한 물리적 요소는 다양한 형태로 생태계에 영향을 미칠

것이다. 외국의 경우 기후변화에 따른 어류의 회유경로의 변경[80], 정착생물종의 변화 [81, 82] 등이 이미 보고 되어있다. 또한 재생산에 있어 상당한 변화를 보일 것으로 생각된다. 이미 온도는 생물의 재생산에 가장 중요한 요소로 알려져 있으며 생식주기는 자원생물학적 중요 지표중 하나이다. 기후변화에 따른 해양 생물의 생식주기의 변화로 인한 생태계의 교란이 예상되며 특히 초기 환경인자에 민감한 초기 발달 단계의 유생이나 자치어의 경우 그에 따른 영향이 보다 심각할 것으로 예상되나 이에 따른 체계적인 연구가 부족한 상황이다. 또한 해수면의 상승으로 인한 조간대 생태계의 변화나 갯벌의 생태계가 상당한 변화가 예상된다

- 황해 저층수온변화와 참조기 어획고 관계 계절 분석 [83]
- 동해에서 기후체제변환이 어획고와 어종 구성에 미치는 영향을 나무 나이테와 수온, 기후 지표 (알류산 저기압), 기초생산력과 동물플랑크톤 생체량 변화와 연결시켜 분석 [53]
- 동해에서 해양기후체제변화에 따른 표층수온, 혼합층 깊이, 1차 생산, 동물플랑크톤, 수산어종 어획고 변화 분석 [84]
- 동해 울릉분지 식물플랑크톤 생산을 쓰시마 난류 유입량과 관련하여 분석. 기후 변화에 따라 쓰시마 난류 유입이 증가하면 동해 기초생산력과 계절 패턴이 바뀔 수 있음을 제시 [85]
- 동해에서 기후변화에 따른 생태계 구조 변화를 Ecopath를 이용한 먹이사슬단계 변화로 전망할 수 있음을 제시 [86]
- 1970년대 기후변화에 따른 쓰시마 난류 확대와 1차 생산 관계와 혼합층 깊이 변동, match-mismatch 가설로 꽁치 어획고 격감을 설명. 쓰시마 난류 확대에 따라 혼합층이 깊어져 식물플랑크톤 번성이 늦어지고 종구성이 바뀌어 식물, 동물 플랑크톤 생체량 변화하고 꽁치 먹이원이 줄어듬 [20].
- 1970년대 기후체제변환에 따른 베링해 명태 초기생활사 산란 시기와 성장을 변동 평가 [50].
- 대한해협과 일본동해안 해역 주요어종 어획고 변화를 1904-2004년까지 기후체제변환과 연관시켜 분석 [78]
- 남해 저서 어종 월동기 분포를 수온과 염분대와 비교 [87]
- 동해 어종 변화를 기후변화에 따른 생태계 구조 (영양염, 기초생산, 동물플랑크톤) 변화와 연관지어 과거 연구 결과를 정리 [88]

2.4. How do human uses of marine resources affect the processes underlying ecosystem structure and function?

- 저서동물의 경우 모형 연구를 통해서 수산 자원적인 측면에서는 주요 기능을 수행하는 종(예를 들어, 현탁물 식성 이매패류 산업종)에 대한 남획이 어류 생산력의 부양이나 오염물질 정화와 같은 기능의 감소를 유발하는 것으로 예측됨. 어류의 남획으로 인해 trophic interaction에 대한 간섭이 발생할 수 있음. 예를 들어, 성게류와 백화현상은 이들을 포식하는 대게, 고둥, 기타 포식성 게류와 어류에 대한 남획으로 가속화될 수 있음. 성게류의 번성은 해조장에 현저한 변화를 유발함 [13]. 점차 늘어날 것으로 예상되는 자연 서식처에 대한 개발(매립 또는 구조물의 건설)과 에너지 자원적인 측면에서의 자원 활용(조력 발전 등)은 서식처의 물리적 특성의 변화를 유발하며, 이를 통해 생물 다양성, 건강성 그리고 기능의 저하 등과 같은 현상이 발생할 것으로 예상할 수 있음.
- 동물플랑크톤의 경우 남획에 따른 수산자원 감소가 일부 동물플랑크톤(예:해파리류)에 영향을 줄 수 있다는 가능성은 제기되고 있으나 아직까지 정량적인 파악은 이루어지지 못하고 있는 실정임
- 생물 종다양성의 경우 인간에 의한 해양 자원의 이용의 전 해양에 걸쳐 광범위하게 이루어지고 있으며 논란의 여지가 있으나 그 중 어획활동이 가장 큰 영향으로 받아들여진다. 이런 영향은 남획이나, 부수 어획물로 인한 직접적인 개체수의 감소로 이루어 질 수 있지만 추가적으로 서식지의 파괴, 유전적 다양성의 감소 그리고 먹이 그물망의 붕괴와 같은 간접적인 영향을 받게 된다. 또한 재생산성에 관련된 성숙 연령 및 생식 능력이 변화가 뒤따른다. 따라서 본 영역에서의 연구는 위에서 언급한 요소들을 통합한 연구가 이루어져야 한다. 따라서 생태계의 먹이 그물망의 연구, 유전적 다양성 그리고 환경의 영향을 고려한 해양 생물자원의 이용과 그 영향에 관한 연구가 이루어져야 한다.
- 마산만에서 담수, 도시하수, 산업폐수등 유기물 오염이 저서생물 군집에 미치는 영향 평가 [35]
- 인공어초가 퇴적물 운반에 미치는 영향 평가 [36]
- 시화호 방제에 따른 수질악화와 저서생물군집변화 [28]
- 동해 하수 투기 해역에서 환경변화, 미생물 생산 변화, 기초 생산 변화를 평가하여 인간활동이 미생물 군집을 변화시켜 생태계 구조를 변화시킬 수 있는 과정을 제시 [89]

- 황해에서 1990년대 요각류 (*Calanus sinicus*)가 증가한 이유를 수온변화, 멸치에 의한 포식, 클로로필 양과 연관지어 설명 [88]
- 포항과 울산 연안에서 외부 퇴적물 유입이 패류 난발생과 변태에 미치는 영향 평가 [90]
- 안산 다리 건설이 대형저서동물에 미치는 영향 평가 [35]
- 노무라입깃해파리와 양자강 담수 유출과 관계 [20]

2.5. How are human uses of marine resources affected by changes in ecosystem structure and function?

- 식물플랑크톤의 경우 우리가 어류자원의 감소, 빈영양화 등으로 인하여 대발생 및 먹이사슬의 혼란으로 직접 이용하는 수산자원의 감소 등이 야기되므로, 이에 대한 대처연구가 시급하여 현재까지 국내연구 없었음.
- 저서동물의 경우 생태계의 건강성을 유지하는 것이 생태계 서비스(기능, 생물자원의 생산 등)의 질을 유지하는 데에 중요한 요인인 것으로 생각할 수 있음. 따라서 서식처의 주요 기능을 수행하는 agents나 시스템의 파악 또는 건강성의 평가 관련 연구가 중요하나 이와 같은 사례는 흔치 않음. 연안역의 교란과 오염으로 서해안의 일부 해역에서 키조개(*Atrina pectinata*)와 말백합(*Meretrix petechialis*) 등의 자원이 소멸된 현상이 관찰되었음 [5, 91].
- 인간의 교란으로 인한 생물자원의 감소와 생산력의 저하는 1차 산업 종사자에 대한 경제적 피해의 발생으로 이어졌음. 인천 송도 갯벌에서는 90년대 초부터 매해 여름마다 이매패류 산업종의 대량 폐사가 관찰되었음. 한때 높은 생산력을 나타내었던 마산만이나 진해만과 같은 곳에서는 이미 오래전부터 주기적으로 무산소 수괴와 무생물 상이 관찰되고 있음. 이에 따라 수산자원의 생산이 현저히 감소하게 되었음.
- 생태계의 변화에 대한 평가와 impact의 이해를 통해 자원 활용 방식에 대한 조절 장치 마련의 필요성을 제기하고, 이를 제한하려는 시도가 점차 늘어나고 있음.
- 동물플랑크톤의 경우 시화호, 새만금 건설과 같은 인위적인 환경교란 요인에 대응하는 동물플랑크톤 군집의 변화 양상에 대한 연구가 일부 보고 [42, 92].
- 하계 연안역의 빈산소화와 같은 환경교란이 연안역 동물플랑크톤 군집의 분포 패턴에 상당한 영향을 줄 수 있음이 관찰됨 [16]

- 생물종다양성의 경우 해양 생태계의 구조와 기능의 변화에 따른 인간생활의 변화는 상당한 수준이 예상된다. 현재까지 알려진 국내 영향은 기후변화에 따른 주요 산업종의 변화로 열대성 어종인 다랑어 및 오징어의 생산량이 증가하고 있으며 한 대성 어종인 명태 자원의 감소로 인한 소비의 변화가 일어나고 있다. 또한 상업종의 생산지역의 변동이 빈번히 발생하여 지역 산업 종사자의 경제적 피해또한 발생이 일어나고 있다.
- 동해에서 기후변화에 따른 어류 군집 구조 변화를 Ecopath를 이용한 먹이사슬 단계 변화로 전망 [53]
- 1970년대 기후변화와 생태계 변화에 따른 동해 쾨치 어획고 격감이 한국 어업에 미치는 영향 평가 [90]
- 기후변화에 따른 우리나라 주요 어업대상 어종 변동 전망 [49]
- 동해 살오징어 분포 변화에 따른 한일 어선 어획노력 (집어등) 공간변동을 인공위성 자료로 비교 [90]
- 노무라입깃해파리 분포와 양자강 회석수 이동과 관계. 해파리 증가로 인한 어업 피해 논의 [93]
- 생태계 기반 수산자원 관리를 위한 생태계 지표 개발과 위험도 분석 방법론 제시 [94]

2.6. How can understanding of these ecosystem processes and relationships, as addressed in the preceding sub-questions, be used to forecast ecosystem response?

- 저서동물의 경우 현재까지는 각 프로세스의 효과에 대한 이해가 부족한 상태임. 다양한 연구자들에 의해 경험적인 연구의 보다 많은 시도와 생태학적 정보의 축적이 이뤄져야 할 것임(analogue assessment). 관찰된 현상과 정보를 바탕으로 conceptual model을 만들어 프로세스의 변화와 생물 자원에 미치는 효과를 정리, 점검하는 과정이 필요함. 생태계 반응의 예측을 위한 연구는 analytical approach(모형 연구)를 통해 진행되어야 할 것임. 모형 연구에서는 장기 모니터링 프로그램을 통해 수집된 과거의 historical data를 바탕으로 하는 stochastic forecasting 연구 [5, 7, 40, 41]와 agent나 process의 효과를 반영하고, 시나리오를 구현할 수 있는 deterministic modelling 연구가 병행되어야 할 것임.
- 생물종다양성의 경우 전체적인 해양 생태계의 구조의 관점에서 본 의문사항을

해결하기 위해서는 우수한 모델링 구축이 필요로 한다. 하지만 국내의 기존에 보유하고 있는 연구 결과 및 정보의 종합적으로 정리하고 데이터의 신뢰성을 높이기 위한 방법론적 개발 또한 병행하여야 한다. 이를 위해서 2005년부터 진행되고 있는 해양 생태계 기본조사를 정밀 분석하고 FUTURE의 질문에 대한 연구 분야를 참고하여 수정 및 보완하여 우수한 데이터를 확보하는것 또한 방법이라 할 수 있다. 우수한 데이터의 장기적 보유만이 우수한 모델링 구축의 기본 조건이 되기 때문이다.

- 동해에서 기후변화에 따른 생태계 구조 변화를 Ecopath를 이용한 먹이사슬단계 변화로 전망 [95]
- 동해 하수 투기 해역에서 오염물질 때문에 박테리아와 식물플랑크톤 생산력이 감소할 것이라고 전망 [96]
- 동해 어종 변화를 기후변화에 따른 생태계 구조 (영양염, 기초생산, 동물플랑크톤) 변화와 연관지어 과거 연구결과를 bottom-up 방식으로 정리하고 전망 [86]
- 생태계 기반 수산자원 관리를 위한 생태계 지표 개발과 변화 예측 방법론 제시 [97]

2.7. What are the consequences of projected climate changes for the ecosystems and their goods and services?

- 식물플랑크톤의 경우 종변화 및 독성종 발생 및 먹이사슬의 혼란으로 일어날 예상 및 관련연구는 없었음.
- 저서동물의 경우 국내에서 수행된 연구에서 일정 구간 내의 온도의 상승(연평균 기온 1℃ 상승)은 갯벌 저서생물 군집의 생물 다양성과 서식밀도의 증가를 유발할 것으로 예측되었음. 이 구간의 범위를 넘어선 상태를 예측하는 것에는 다소 무리가 있음 [7]. 비록 선행연구가 없더라도, 국내와 같이 갯벌 상부에 대한 개발(도로 건설, 매립 등)이 집중적으로 이루어진 경우, 해수면의 상승이 갯벌 면적의 손실을 가속화할 가능성이 매우 높음. 갯벌의 손실은 갯벌 생태계 서비스의 손실로 이어질 수 있음.
- 기후 변화로 인한 집중 호우와 폭염 빈도의 증가는 갯벌 생산력을 크게 훼손할 수 있음 [7].
- 조하대 해역에서 온도의 증가와 이와 관련된 다수 요인들의 복합적인 변화는 dead zone의 확장, HAB 발생 빈도 증가, 해조장 감소 등의 현상을 발생시키

며, 연안역 생태계 건강성의 악화와 생산력의 감소의 결과를 낳을 것으로 예상된다. 이는 1차 생산물의 가격 증가, 생태계 서비스의 악화로 이어질 것이며, 해결하거나 관리하기 위한 사회적 비용이 증가할 것으로 예상된다.

- 동물플랑크톤을 중심으로 한 표영생태계의 구조와 기능이 기후변화에 따라 어떻게 변화될 것인지를 파악하기 위해서는 다양한 생태환경 변화요인에 따른 동물플랑크톤의 반응 및 기작 연구 등이 필요하며, 해양생태계에서 주요 수산자원의 먹이생물인 동물플랑크톤 군집의 변화는 잠재적인 수산생산력에도 큰 영향을 미칠 수 있음
- 생물종다양성의 경우 기후변화에 따른 해양 생태계의 구조의 변화로 인한 상품 및 서비스의 변화에 대한 연구는 거의 진행되어 있지 않다. 하지만 기후변화에 따른 국가별 생산력의 변화로 국가간 상품 및 서비스 이동이 더욱 증가할 것으로 예상되며 또한 국가별 물류이동이 증가함에 따라 생태계의 변화가 더욱 가속될 것으로 예상된다. 특히 기후변화에 따른 극지방의 얼음이 녹음에 따라 물류의 방향이 바뀌어 새로운 생태계의 교란 또한 더욱 광범위하며 새로운 형태로 다가올 것으로 예상된다.
- 우리나라 연근해해역 수온, 염분변화에 따른 어획고 종구성 변동을 분석하여 짧은 수명의 부어성 어류 (멸치, 고등어, 오징어 등)가 온난화에 따라 우점할 것으로 전망 [98]
- 생태계 기반 수산자원 관리를 위한 생태계 지표 개발과 변화 예측 방법론 제시 [99]
- [[기타 수산 경제 연구 결과 추가 필요]]

3. How do human activities affect coastal ecosystems and how are societies affected by changes in these ecosystems?

3.1. What are the dominant anthropogenic pressures in coastal marine ecosystems and how are they changing? [33]

- 식물플랑크톤의 경우 인간의 오염 등으로 부영양화, 해양산성화, 온난화 등으

로 발생패턴이 변화하고 있으며, 부영양화에 대한 일부 연구는 있으나, 아직 그 외의 연구는 없었음 [100].

- 저서동물의 경우 개발과 매립에 의한 주요 기능 수행 서식처의 대규모 훼손, 부영양화 물질의 유입 등이라 할 수 있음 [41]. 개발, 매립, 부영양화 등의 영향은 1960년 후반부터 지속적인 증가 추세에 있음 [41]. 정확한 관리정책이나 조절 장치가 필요하며, 현행대로의 정책이나 environmental action을 통해 조절되는 것은 어려워 보임.
- 동물플랑크톤의 경우 연안역에 대한 인위적인 생태환경교란이 가속화됨에 따라 주변에 서식하고 있는 동물플랑크톤의 군집 구조에도 상당한 변화가 발생할 수 있음을 보고하는 사례들이 있음 [42, 92].
- 생물 종다양성의 경우 국가간 해상 물류이동이 가속화 됨에 따라 외래유입종의 영향에 대한 연구가 보고됨.
- 경기만에서 한강 개발에 따른 퇴적물 축적 [20]
- 우리나라 연안 개발 리뷰 [101]
- 우리나라 적조 발생 경향 [102]
- 시화호 방제에 따른 수질 악화와 저서생물군집 변화 [103]
- 우리나라 개펄 지역 간척 사업에 따른 생태계 변화 [104]
- 낙동강 댐 건설에 따른 겨울 *Stephanodiscus* 번성 [46]
- 시화호에서 저서생물군집을 이용한 환경영향 평가 [48]
- 우리나라 동서남해 해양생태계 변화를 해양학적 환경, 영양염, 플랑크톤, 저서생물, 어류, 새와 포유류등 생태계 먹이사슬 단계별 구성요소별로 종합적으로 고찰하고 황해와 남해의 경우 인간활동 영향 (오염, 부영양화, 서식처 파괴, 남획)에 대해서 간략히 평가 [66]
- 동해 하수 투기 해역에서 환경변화, 미생물 생산 변화, 기초 생산 변화를 평가 [105]
- 남해안 적조생물 코클로디늄을 추적하는 실험으로 해류 이동과 적조 발생 관계 평가 [106]
- 울산 습지지역을 대상으로 산업화에 따른 퇴적물 축적과 식물상 변화 추적 연구 [70].
- 해사채취의 수요와 공급 문제점, 해양 환경에 미치는 영향, 그리고 사회와 정부가 직면하여 해결해야할 문제점들 제시 [54]

- 가막만에서 저서생물군집을 이용한 환경영향 평가 [71]
- 서해 금강 하구에서 해안 개발에 따라 퇴적물 구조와 해수흐름이 바뀌고 이에 따라 저서환경과 수질이 악화될 수 있음을 제시 [107]
- 남해 진해 마산만에서 하천으로부터 영양염 공급 변화에 따른 부영양화와 적조 [94]
- 동해에 인간활동에 의한 이산화탄소가 축적되는 과정과 탄소수지에 미치는 영향 평가 [96]
- 우리나라 연안개발 현황과 전망 [98]
- 대기 이산화탄소 증가가 습지 식물 성장에 미치는 영향 평가 실험 [33]
- 새만금 독 축조에 따른 퇴적물과 지형 변화 평가 [20]
- 남해 여자만 환경영향과 생태계 수용능력 평가를 생태계 모델로 평가 [102]
- 남해 마산만에서 하수처리장 건설에 따른 연안 퇴적물 오염도 평가 [108]
- 서해 경기만에서 해사채취에 따른 토사 이동과 축적을 3차원해수순환모델로 평가 [103]

3.2. How are these anthropogenic pressures and climate forcings, including sea level rise, affecting nearshore and coastal ecosystems and their interactions with offshore and terrestrial systems?

- 식물플랑크톤의 경우 최근 우리나라 연근해에서도 기후변화에 따른 열대, 아열대 생물의 유입, 유해특정식물플랑크톤의 대량출현하고 있음 [37].
- 저서동물의 경우 기후변화와 해수면 상승으로 인한 갯벌의 소실과 생산력의 감소는 갯벌에 의존하는 어류 자원과 물새 개체군에 부정적 영향을 미칠 수 있음 [109]. 어류와 물새와 같은 migratory components에게 가해지는 impact는 그 피해 범위가 한 나라의 범위를 넘어서는 far-reaching effect를 가질 것으로 예상됨 [110]. 갯벌과 같은 marginal ecosystem의 부영양화와 매립에 의한 훼손은 오염 정화 기능의 감소를 낳으며, 연안역의 수질과 건강성을 악화시킬 것으로 예상됨. 수온의 증가에 따른 dead zone의 확장 역시 연안역의 수질과 건강성 그리고 기능을 악화시킬 것으로 예상됨 [111]. 해수면의 상승에 따라 salt intrusion이 발생하면 육상 지하수의 염분 농도가 상승할 가능성 있음. 인간의 지하수 자원 활용뿐만 아니라 해안과 인접한 육상 생태계에 영향을 미칠 것으로 예상됨[112].

- 동물플랑크톤의 경우 기후변화에 따른 동물플랑크톤 외래종 유입 및 난류성 동물플랑크톤의 출현 빈도 증가 등과 같은 구체적인 사례를 제시할 만한 연구는 아직까지 수행되지 못하고 있음.
- 생물 종다양성의 경우 연안 지역은 토양, 해양, 그리고 대기가 서로 상호작용을 하는 곳이므로 다양한 지리적 생태학적 특성을 가지고 있다. 이들은 다양한 물질을 토양으로부터 받기 때문에 생물학적으로 가장 다양성을 가지고 있으며 물질 및 에너지 순환의 중요한 역할을 담당하고 있다. 이런 생태적 다양성으로 인한 불확실성은 기후변화 및 인간의 활동으로 인한 추가적인 요인으로 인해 더욱 예측하기 힘든 양상을 보일 것으로 예측된다 [113]. 국내에서는 이들에 대한 종합적인 연구는 부족하며 유출된 원유의 영향 [114], 부유토사의 생태계에 관한 영향 [115], 강물의 오염도와 해양환경에 미치는 영향 [18])등 과 같은 오염원들에 대한 연안 생태계의 영향, 물질순환등에 관한 연구들이 다수 보고되었다. 하지만 토양, 연안, 외해의 상호작용 및 생태계의 영향에 관한 관점에서 연구는 국내에서 거의 보고되지 않았으며 FUTURE에서 다루어야 할 중요한 과제중 하나이다.
- 경기만에서 한강 개발에 따른 퇴적물 축적 [46]
- 우리나라 적조 발생 현황 종합 [48]
- 낙동강 댐 건설에 따른 겨울 *Stephanodiscus* 번성 [71]
- 우리나라 동서남해 해양생태계 변화를 해양학적 환경, 영양염, 플랑크톤, 저서생물, 어류, 새와 포유류등 생태계 먹이사슬 단계별 구성요소별로 종합적으로 고찰하고 황해와 남해의 경우 인간활동 영향 (오염, 부영양화, 서식처 파괴, 남획)에 대해서 간략히 평가 [88]
- 동해 하수 투기 해역에서 환경변화, 미생물 생산 변화, 기초 생산 변화를 평가하여 인간활동이 미생물 군집을 변화시켜 생태계 구조를 변화시킬 수 있는 과정을 제시 [116]
- 울산 습지지역을 대상으로 산업화에 따른 퇴적물 축적과 식물상 변화 추적 연구 [53].
- 영광 원자력 발전소 온배수가 주변 해역 수온을 증가시킨다 [99]
- 해사채취의 수요와 공급 문제점, 해양 환경에 미치는 영향, 그리고 사회와 정부가 직면하여 해결해야할 문제점들 제시 [104]
- 서해 금강 하구에서 해안 개발에 따라 퇴적물 구조와 해수흐름이 바뀌고 이에

따라 저서환경과 수질이 악화될 수 있음을 제시 [54]

- 남해 진해 마산만에서 수온과 염분, 강수량 변화에 따른 하천으로부터 영양염 공급 변화에 따라 적조생물 종구성의 계절변화 패턴이 바뀔 수 있음을 제시 [117]
- 남해 마산만에서 하수처리장 건설에 따른 연안 퇴적물 오염도 평가 [46]
- 노무라입깃해파리와 양자강 담수 유출과 관계, 크기별 동물플랑크톤 분포와 노무라입깃해파리 분포 상관성. 해파리 번식의 원인으로 남획, 기후변화, 해양 오염 논의 [54]
- 우리나라 하천의 홍수, 가뭄, 수질악화에 대한 지표를 개발하여 공간분석하여 정책 결정에 반영할 수 있는 방법론 제시 [107]
- 동해 어종 변화를 기후변화에 따른 생태계 구조 (영양염, 기초생산, 동물플랑크톤) 변화와 연관지어 과거 연구결과를 bottom-up 방식으로 정리하고 전망 [90]

3.3. How do multiple anthropogenic stressors interact to alter the structure and function of the systems, and what are the cumulative effects?

- 지구의 환경변화에 따른 식물플랑크톤의 변동을 파악하여 그 중요성을 평가 [38].
- 저서동물의 경우 수온의 증가나 염분도의 변화만으로도 부영양화나 중금속 오염 등의 효과에 synergetic impact가 가해짐. 따라서, 여러 가지 stressors의 동시 작용으로 인한 부정적 효과는 개별적인 효과를 더한 것 보다 훨씬 증폭되고 이에 따른 생태계의 변화가 가속화될 것임. 최근 갯벌의 stressor 연구(유재원, 미발표)로부터 실험실과 같은 인자의 조절이 불가능한 자연에서는 이미 낮은 농도의 중금속과 부영양화 수준에서도 저서생물 군집이 영향을 받는 것으로 나타났음.
- 일부 동물플랑크톤(해파리 등)의 대량 증가가 기후변화 및 인위적인 생태환경 변화(경성기질 구조물 증가, 남획과 환경 교란으로 인한 천적생물 감소 등)에 따른 누적 영향으로 이해될 수 있으나 정량적인 파악은 이루지지 못하고 있음
- 생물종다양성의 경우 인간활동의 해양생태계에 관한 스트레스는 다양하며 이들 각각의 요소는 (1) 축적되어지는 결과 (2) 요소들간 서로 시너지 효과를 일으키는 결과 (3) 자연적인 요소와의 상호작용을 일으키는 결과로 나타날 수 있다. 국내에서는 단일 요소의 영향에 초점이 맞추어져 있으며 이들 요소들간의

상호작용에 관한 연구가 상당히 부족한 실정이다.

- 시화호에서 저서생물군집 오염도 지수를 이용한 종합적 환경영향 평가 [96]
- 가막만에서 저서생물군집 오염도 지수를 이용한 종합적 환경영향 평가 [86]
- 남해 여자만 환경영향과 생태계 수용능력 평가를 생태계 모델로 평가 [97]

3.4. What will be the consequences of projected coastal ecosystem changes and what is the predictability and uncertainty of forecasted changes?

- 저서동물의 경우 예측력에 대한 질문에는 결국 장래 인간의 개발 행위와 오염의 정도, 해수면의 상승 그리고 기후 변화에 대한 예측이 얼마나 정확한 것인가로 반문할 수 있음. 이 같은 예측이 정확한 것이라면, 비교적 오랜 과거로부터 학습된 정보가 반영된, 생태계 변화의 가까운 장래에 대한 예측은 정확할 것으로 추정할 수 있음. 예측의 정확도 자체를 평가하거나 논하는 것보다 다른 예측이 과연 가능할 것인가를 검토하는 데에서 미래에 다가올 변화에 대한 정성적 예측의 정확성을 짐작할 수 있을 것으로 판단됨. 예를 든다면, 최근 60년 대 이후로 부영양화와 global warming으로 인해 연안역 생태계를 크게 위협하는 'dead zone' 면적이 지수 함수적으로 증가했음을 이해했다면, 적어도 hypoxia의 발생과 관련하여, 계속되는 변화 추세에도 생태계에 아무 변화가 없을 것이라는 예측은 불가능하며, 이러한 예측을 뒷받침하는 타당한 근거를 제시하기도 어려울 것임. 다시 말하면, 정량적인 예측은 어렵고, 예측력에 대한 평가도 불가능하나, 과거의 패턴에 근거할 때, 정성적인 수준의 예측에 대한 alternative hypothesis가 가능한가라는 질문에는 회의적이라고 대답할 수밖에 없다는 것임. 생태계의 degradation을 수반할 것으로 예상되는 변화는, 궁극적으로는 인간 삶의 질적 악화와 발생하며, 이로부터의 영향이 사회적, 경제적 측면에 반영될 것임. 사건 발생의 timing이나 규모를 논하지 않는다면, 정성적 예측은 정확할 것이며, 여러 가지 유형의 연구와 병행될 때 정확도가 더욱 향상될 것으로 평가할 수 있음.
- 동물플랑크톤의 경우 기후변화나 인간 활동에 의한 해양생태계의 영향을 정량적으로 예측하기는 상당히 어려울 것으로 예상되지만, 해양생태계 변화의 방향성 정도라도 예측하기 위해서 다양한 생태계 구성 요소들 간의 상호 작용을 이해하는 것으로부터 출발해야 할 것으로 판단됨

- 진해만 수질 공간 변화를 3차원 수치모델로 평가 [118]
- 서해 금강 하구에서 해안 개발에 따라 퇴적물 구조와 해수흐름이 바뀌고 이에 따라 저서환경과 수질이 악화될 수 있음을 수치모델결과로 제시 [103]
- 남해 여자만 환경영향과 생태계 수용능력 평가를 생태계 모델로 평가 [105]
- 서해 경기만에서 해사채취에 따른 토사 이동과 축적을 3차원해수순환모델로 평가 [54]
- 생태계 기반 수산자원 관리를 위한 생태계 지표 개발과 변화 예측 방법론 제시 [90]

3.5. How can we effectively use our understanding of coastal ecosystem processes and mechanisms to identify the nature and causes of ecosystem changes and to develop strategies for sustainable use?

- 식물플랑크톤의 대발생에 대한 남해해역에 대한 광역 모니터링을 실시하고, 대발생에 대한 원인을 파악하고 있음 [119].
- 저서동물의 경우 생태계 변화의 본질을 이해하고 그 원인을 식별하기 위해서는 자연적 변동성 또는 background information을 정확하게 이해하는 것이 우선 과제임. 이것을 위해 현재까지 알고 있는 지식을 활용하는 것도 중요하나 그 이전에 국내에서는 충분한 경험과 정보를 앞으로 축적해 나가는 것이 필요한 상태임. 이를 바탕으로 정확한 생태계의 변화를 예측하고 stressors를 식별하며, 그 기능의 변화를 예측할 수 있는 모델을 구축하는 것이 필요함. 예측력의 강화와 예측 결과의 신뢰성 확보를 위해서는 retrospective study를 행하며, historical data를 바탕으로 자료가 존재하는 범위에서의 예측(Ex post forecast)을 통해 정확성을 진단하는 방식의 연구가 필요함. 점차 현실로 다가오고 있는 환경 재앙에 대한 경각심과 위기감을 일반 대중과 행정 집단이 올바르게 인식할 수 있도록 정확하고 신뢰할 수 있는 과학적 정보를 확산하고 전파하는 교육 과정이 필요. 이를 통해 현재 사회적으로 공감 또는 통용되고 있는 개발과 환경 보전에 대한 철학을 변화시켜야 할 것임. 국내의 여건상 타당성과 정확성을 갖는 모델 개발 기술과 모델을 확보하는 것 보다는 모형 연구자의 저변을 확대하며, 대중과 행정 집단이 모형에 대해 올바른 인식을 갖도록 하는 것이 올바른 대응 전략 마련을 위한 보다 핵심적인 과정인 것으로 판단됨.
- 동물플랑크톤의 경우 우리나라 주변해역의 주요 어류자원의 변동양상을 설명

하기 위해서는 수온 변동과 같은 물리적인 요인과 함께 주요 먹이 생물인 동물플랑크톤의 군집구조 및 생산력 변동에 대한 연구가 필수적임. 주요 어장 및 산란지에 대한 동물플랑크톤 군집 구조 변화 및 에너지 흐름 연구는 잠재적인 수산생산력을 결정하는데 가장 중요한 연구 항목일 뿐만 아니라 우리나라 연근해역의 지속가능한 수산생산력 파악에도 크게 기여할 것으로 예상됨

- 생물 종다양성의 경우 해양 생태계의 정보의 이용은 공공의 이익을 위해서 사용되어야 하며 통합관리 체계가 필요함. 먼저 정보의 공유를 위한 시스템의 개발되어 교육 및 사회적 홍보를 강화하며, 관측, 모니터링, 지표를 이용한 평가와 예측 시스템이 개발 되어야 하며, 기술이전 및 정보 공유를 통한 인접 국가간의 협력체계가 구축되어야 함.
- 우리나라 적조 발생 원인과 대처 방안 [96]
- 시화호 수질 악화와 생태계 회복 방안 제시 [86]
- 개펄 지역 간척사업에 따른 생태계 변화와 이에 대처하는 법적 제도 제시 [97]
- 우리나라 해양환경 정책 방향 제시 [118]
- 해사채취의 수요와 공급을 전망하고 정부가 택할 수 있는 문제 해결 방안 제시 (지속 가능한 해사 채취) [103]
- 우리나라 연안개발 현황과 정책 방향 제시 [105]
- 남해 여자만 환경영향과 생태계 수용능력 평가를 생태계 모델로 평가하고 관리 방안 제시 [54]
- 생태계 기반 수산자원 관리 정책 개발을 위한 정보와 연구 활용 방법론 개발 [90]

참고 문헌

- [1] Yi, H.H., et al., Size-structure and primary productivity of phytoplankton from major lakes in Sumjin and Yeongsan watershed. Korean Journal of Limnology, 2007. 40: p. 419-430.
- [2] Park, C., C.-R. Lee, and J.-C. Kim, Zooplankton community in the front zone of the East Sea (the Sea of Japan), Korea: 2. Relationship between abundance distribution and seawater temperature. Bulletin of the Korean

- Fisheries Society, 1998. 31(5): p. 749-759.
- [3] Jung, S.W., O.Y. Kwon, and J.H. Lee, Variation and relationship between standing crops and biomass of phytoplankton dominant species in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters from 2000 to 2007. *Algae*, 2008. 23: p. 53-61.
- [4] Hong, J.-S., J.-W. Yoo, and H.-s. Park, Niche characterization of the three species of genus *Ophiura*(Echinodermata, Ophiuroidea) in Korean waters, with special emphasis on the distribution of *Ophiura sarsi vadicola* Djakonov. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 1995. 30(5): p. 442-457.
- [5] Hong, J.-S., et al., An analysis on the long-term variation and forecast of catches in some bivalve mollusks in a tidal flat, Inchon, Korea. *Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute*, 1995. 51: p. 67-80.
- [6] Hong, J.S. and J.W. Yoo. Distributional patterns of the molluscan assemblages in the Yellow Sea. in VII International congress of Ecology, Eds, Farina, A., Kennedy, J., Bossu, V. 1998.
- [7] Yoo, J.W. and J.S. Hong, Community structures of the benthic macrofaunal assemblages in Kyonggi Bay and Han Estuary, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 1996. 31(1): p. 7-17.
- [8] Hong, J.S. and J.W. Yoo, Salinity and sediment types as sources of variability in the distribution of the benthic macrofauna in Han Estuary and Kyonggi Bay, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr*, 1996. 31(4): p. 217-231.
- [9] Shin, H.C., J.W. Choi, and C.H. Koh, Faunal assemblages of benthic macrofauna and subtidal region of the inner Kyeonggi Bay, West Coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 1989. 24: p. 184-193.
- [10] Hong, J.-S., et al., How are the spatio-temporal distribution patterns of benthic macrofaunal communities affected by the construction of Shihwa Dike in the West Coast of Korea? *Bulletin of the Korean Fisheries Society*, 1997. 30(5): p. 882-895.
- [11] Hong, J.-S., et al., 인천 북항 주변해역의 해양저서동물상. *자연보존*, 1994. 88: p. 34-50.

- [12] Kim, C.-S., et al., Effects of predation on macrobenthic communities in Seonjae-do tidal flat. *Bulletin of the Korean Fisheries Society*, 2006. 39(spc 1): p. 142-150.
- [13] Yoo, J.W., et al., Distribution pattern of the sea urchin *Strongylocentrotus nudus* in relation to predation pressure in Hosan, the East Coast of Korea. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, 2004. 9(1): p. 40-49.
- [14] Yoo, J.W., et al., Interaction between invertebrate grazers and seaweeds in the East Coast of Korea. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, 2007. 12(3): p. 125-132.
- [15] Kang, J.-H., U.-S. Kim, and J.-H. Shim, Species composition and abundance of zooplankton community in Spring and Autumn around Dokdo. *Ocean and Polar Research*, 2002. 24(4): p. 407-417.
- [16] Moon, S.-Y., et al., Effect of a low-oxygen layer on the vertical distribution of zooplankton in Gamak Bay. *Journal of Environment Biology*, 2006. 24: p. 240-270.
- [17] Moon, S.-Y., et al., Environmental factors and variation characteristics of zooplankton communities in Gamak Bay. *Ocean and Polar Research*, 2006. 28(2): p. 79-92.
- [18] Youn, S.H. and J.K. Choi, Seasonal changes in zooplankton community in the coastal waters off Incheon. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 2003. 38(3): p. 111-121.
- [19] Youn, S.H. and J.K. Choi, Distribution pattern of zooplankton in the Han River estuary with respect to tidal cycle. *Ocean Sci. Journal*, 2008. 43(3): p. 135-146.
- [20] Choi, D.H., et al., Different interrelationships among phytoplankton, bacterial and environmental variables in dumping and reference areas in the East Sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 2005. 41(2): p. 171-180.
- [21] Hyun, K., et al., Using an artificial neural network to patternize long-term fisheries data from South Korea. *Aquatic Sciences - Research Across Boundaries*, 2005. 67(3): p. 382-389.

- [22] Kim, D.S., et al., The distribution of nutrients and chlorophyll in the Northern East China Sea during the spring and summer. *Ocean and polar research*, 2005. 27(3): p. 251-263.
- [23] Koo, B.J., K.K. Kwon, and J.H. Hyun, The sediment-water interface increment due to the complex burrows of macrofauna in a tidal flat. *Ocean Science Journal*, 2005. 40(4): p. 221-227.
- [24] Gong, Y., et al., Fluctuations in the abundance of common squid, *Todarodes pacificus* and Environmental conditions in the Far East regions during 52 years. *Journal of Ecology and Field Biology*, 2006. 29(1): p. 1-16.
- [25] Kang, C.-K., et al., Microphytobenthos seasonality determines growth and reproduction in intertidal bivalves. *Marine Ecology Progress Series*, 2006. 315: p. 113-127.
- [26] Lim, H.-S., et al., Hypoxia and benthic community recovery in Korean coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 2006. 52(11): p. 1517-1526.
- [27] Gong, Y., et al., Fluctuations of pelagic fish populations and climate shifts in the Far-East regions. *Journal of Ecology and Field Biology*, 2007. 30(1): p. 23-38.
- [28] Kim, S., et al., Climate variability and its effects on major fisheries in Korea. *Ocean Science Journal*, 2007. 42(3): p. 179-192.
- [29] Yoo, S., et al., Seasonal, interannual and event scale variation in North Pacific ecosystems. *Progress in Oceanography*, 2008. 77(2-3): p. 155-181.
- [30] Kang, S., S. Kim, and S.-W. Bae, Changes in ecosystem components induced by climate variability off the eastern coast of the Korean Peninsula during 1960-1990. *Progress in Oceanography*, 2000. 47(2-4): p. 205-222.
- [31] Zhang, C., et al., Climatic regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean waters. *Progress in Oceanography*, 2000. 47(2-4): p. 171-190.
- [32] Rebstock, G.A. and Y.S. Kang, A comparison of three marine ecosystems surrounding the Korean peninsula: Responses to climate change. *Progress in Oceanography*, 2003. 59(4): p. 357-379.
- [33] PICES, Marine ecosystems of the North Pacific, in PICES Special Publication.

2004. p. 280.
- [34] Yoo, S. and H.-C. Kim, Suppression and enhancement of the spring bloom in the southwestern East Sea/Japan Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2004. 51(10-11): p. 1093-1111.
- [35] Zhang, C.I., et al., Variations in the abundance of fisheries resources and ecosystem structure in the Japan/East Sea. *Progress in Oceanography*, 2004. 61(2-4): p. 245-265.
- [36] Zhang, C.I. and Y. Gong, Effect of Ocean Climate Changes on the Korean Stock of Pacific Saury, *Cololabis saira* (BREVOORT). *Journal of Oceanography*, 2005. 61(2): p. 313-325.
- [37] Park, T.G., et al., Identification of the dinoflagellate community during *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae) blooms using amplified rDNA melting curve analysis and real-time PCR probes. *Harmful algae*, 2009. 8: p. 430-440.
- [38] Kang, S.H., et al., Importance of polar phytoplankton for the global environmental change. *Korean Journal of Environmental Biology*, 2000. 18: p. 1-20.
- [39] Noh, J.H. and M.J. Lee, Picophytoplankton distribution in the Chuuk Lagoon South Pacific. *Korean Journal of Environmental Biology*, 2006. 24: p. 81-88.
- [40] Yoo, J.W., J.S. Hong, and J.J. Lee, Long-term environmental changes and the interpretations from a benthic ecologist's perspective (I) - physical environment. *J. Fish. Sci. Tech.*, 1999. 2(2): p. 199-209.
- [41] Yoo, J.W., J.S. Hong, and J.J. Lee, Long-term environmental changes and the interpretations from a benthic ecologist's perspective (II) - eutrophication and substratum properties. *J. Fish. Sci. Tech.*, 1999. 2(2): p. 210-217.
- [42] Park, C. and S.-H. Heo, Ecological stability of the Shihwa Lake evaluated by zooplankton distribution in the Lake Shihwa and adjacent coastal area. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, 1997. 2(2): p. 87-91.
- [43] Yoo, J.-G., et al., Zooplankton community and distribution in relation to water quality in the Saemangeum area, Korea: change in zooplankton

- community by the construction of sea dyke. *Ocean and Polar Research*, 2006. 28(3): p. 305-315.
- [44] Kang, Y.-S., Seasonal variation in zooplankton related to North Pacific regime shift in Korea Sea. *Bulletin of the Korean Fisheries Society* 2008. 41(6): p. 493-504.
- [45] Kapos, V., et al., *Carbon and biodiversity: a demonstration atlas*. UNEP-WCMC, Cambridge, UK. 2008.
- [46] Kim, T.I., B.H. Choi, and S.W. Lee, Hydrodynamics and sedimentation induced by large-scale coastal developments in the Keum River Estuary, Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006. 68(3-4): p. 515-528.
- [47] Jung, K.-M., et al., Ecological characteristics of Walleye pollock eggs and larvae in the southeastern Bering Sea during the late 1970s. *Journal of Oceanography*, 2006. 62(6): p. 859-871.
- [48] Lee, C. and W. Lim, Variation of harmful algal blooms in Masan-Chinhae Bay in Korea. *Science Asia*, 2006. 32(1): p. 51-56.
- [49] Jung, S., et al., Spatial variability in oceanographic conditions of sea waters off Korea in relation to the regional climate changes during the past 40 years, in *International Council for the Exploration of the Sea, Annual Science Conference*. 2007: Helsinki.
- [50] Kang, J.-H., et al., Why did the copepod *Calanus sinicus* increase during the 1990s in the Yellow Sea? *Marine Environmental Research*, 2007. 63(1): p. 82-90.
- [51] Choi, Y.M., et al., Ecosystem structure and trophic level to the oceanographic conditions around the waters of Jeju Island. *Journal of Environmental Biology*, 2008. 29: p. 419-425.
- [52] Hyun, J.-H., et al., Enhanced phytoplankton and bacterioplankton production coupled to coastal upwelling and an anticyclonic eddy in the Ulleung basin, East Sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 2008. 54(1): p. 45-54.
- [53] Lee, J.-Y., et al., Spatial and temporal variability in the pelagic ecosystem of the East Sea (Sea of Japan): A review. *Journal of Marine Systems*, 2009. 78(2): p. 288-300.

- [54] Lee, D.-I., et al., Coastal environmental assessment and management by ecological simulation in Yeosu Bay, Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008. 80(4): p. 495-508.
- [55] Yang, E.J. and J.K. Choi, Short-term variations in community structure of phytoplankton and heterotrophic protozoa during the early fall phytoplankton blooms in the coastal water off Incheon, Korea. *Ocean and Polar Research*, 2007. 29: p. 101-112.
- [56] Kim, S. and S. Kang, Ecological variations and El Nino effects off the southern coast of the Korean Peninsula during the last three decades. *Fisheries Oceanography*, 2000. 9(3): p. 239-247.
- [57] Levinton, J.S., *Marine biology - function, biodiversity, ecology*. Oxford Univ. Press. 1995. 420.
- [58] 국토해양부, 해사채취 친환경적 관리방안 연구, in 국토해양부. 2009. p. 824.
- [59] Chun, Y., et al., Synopsis, transport, and physical characteristics of Asian dust in Korea. *Journal of geophysical research*, 2001. 106(D16): p. 18,461-469.
- [60] Gong, D.-Y. and C.-H. Ho, Shift in the summer rainfall over the Yangtze River valley in the late 1970s. *Geophysical Research Letter*, 2002. 29(10): p. 78-1-78-4.
- [61] Kang, D.J., et al., Will the East/Japan Sea become an anoxic sea in the next century? *Marine Chemistry*, 2004. 91: p. 77-84.
- [62] Kang, D.J., K. Kim, and K.R. Kim, The past, present and future of the East/Japan sea in change: a simple moving-boundary box model approach. *Progress in Oceanography*, 2004. 61: p. 175-191.
- [63] MIN, S.-K., E.-H. PARK, and W.-T. KWON, Future projections of East Asian climate Change from multi-AOGCM ensembles of IPCC SRES scenario simulations. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2004. 82(4): p. 1187-1211.
- [64] Park, A.K. and W.H. Jheong, Long-term changes of algal growth in lake Paldang. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 2003. 19: p. 673-684.
- [65] Buzas, M.A., Patterns of species diversity and their explanation. *Taxon*, 1972. 21: p. 275-286.

- [66] Park, G.-H., et al., Large accumulation of anthropogenic CO₂ in the East(Japan) Sea and its significant impact on carbonate chemistry. *Global Biogeochemical Cycles*, 2006. 20(GB4013): p. 1-13.
- [67] Seo, H., et al., Variability in scale growth rates of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in relation to climate changes in the late 1980s. *Progress in Oceanography*, 2006. 68(2-4): p. 205-216.
- [68] Kim, H., et al., Effect of El Nino on migration and larval transport of the Japanese eel (*Anguilla japonica*). *ICES Journal of Marine Science*, 2007. 64(7): p. 1387-1395.
- [69] Jung, S., Spatial variability in long-term changes of climate and oceanographic conditions in Korea. *Journal of Environmental Biology*, 2008. 29(4): p. 519-529.
- [70] Lee, H.J. and S.O. Ryu, Changes in topography and surface sediments by the Saemangeum dyke in an estuarine complex, west coast of Korea. *Continental Shelf Research*, 2008. 28(9): p. 1177-1189.
- [71] Moon, H.-B., et al., Wastewater treatment plants (WWTPs) as a source of sediment contamination by toxic organic pollutants and fecal sterols in a semi-enclosed bay in Korea. *Chemosphere*, 2008. 73(6): p. 880-889.
- [72] Kim, D., et al., Spatial and temporal variations in nutrient and chlorophyll-a concentrations in the northern East China Sea surrounding Cheju Island. *Continental Shelf Research*, 2009. 28(9): p. 1177-1189.
- [73] Kim, H.-c., et al., Distribution of Changjiang diluted water detected by satellite chlorophyll-a and its interannual variation during 1998-2007 *Journal of Oceanography*, 2009. 65(1): p. 129-135.
- [74] Yeh, S.-W., et al., El Nino in a changing climate. *Nature*, 2009. 461(7263): p. 511-514.
- [75] Kang, Y.S. and K.A. Jeon, Biological and chemical characteristics and trophodynamics in the frontal zone. *Bulletin of the Korean Fisheries Society* 1999. 32: p. 22-29.
- [76] Shim, J., et al., Seasonal variations in pCO₂ and its controlling factors in surface seawater of the northern East China Sea. *Continental Shelf*

- Research, 2007. 27(20): p. 2623-2636.
- [77] Hong, C.-H., Abnormal cooling before and after the 1982-1983 and 1997-1998 ENSO events in the Korean East Sea water. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 2008. 41(4): p. 294-300.
- [78] Jo, Q., et al., Effects of the coastal sediment elutriates containing persistent organic pollutants (POPs) on early reproductive outputs of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Journal of Environmental Biology*, 2008. 29(4): p. 507-512.
- [79] Kim, S., S. Jung, and C.I. Zhang, The effect of seasonal anomalies of seawater temperature and salinity on the fluctuation in yields of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis*, in the Yellow Sea. *Fisheries Oceanography*, 1997. 6: p. 1-9.
- [80] Sims, D.W., et al., Timing of squid migration reflects North Atlantic climate variability. *Proceedings of the Royal Society of London-Series B*, 2001. 268: p. 2607-2611.
- [81] Sagarin, R.D., et al., Climate-related change in an intertidal community over short and long time scales. *Ecological Monographs*, 1999. 69: p. 465-490.
- [82] Murray, S.N., et al., Longterm changes in rocky intertidal seaweed populations in urban Southern California. *Journal of Phycology*, 2001. 37(3): p. 37-38.
- [83] Kim, J.Y., et al., Factors affecting the wintering habitat of major fishery resources in southwestern Korean waters. *Ocean Science Journal*, 2007. 42(1): p. 41-48.
- [84] Hong, J.S. and J.H. Lee, Effects of the pollution on the benthic macrofauna in Masan Bay, Korea. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 1983. 18(2): p. 169-173.
- [85] Ryu, C.R. and H.J. Kim, Structural and layout design optimization of ecosystem control structures. 2. Characteristics of subsidence and burial of artificial habitat due to sediment transport in flow fields. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 1995. 30(1): p. 139-147.
- [86] Lee, J.-H. and J.-H. Cha, A study of ecological succession of macrobenthic

- community in an artificial lake of Shihwa on the west coast of Korea: An assessment of ecological impact by embankment. *Ocean Research*, 1997. 19(1): p. 1-12.
- [87] Paik, S.G., et al., Effects of sediment disturbance caused by bridge construction on macrobenthic communities in Asan Bay, Korea. *Journal of Environmental Biology*, 2008. 24(4): p. 559-566.
- [88] Yoon, W.D., et al., Physical processes influencing the occurrence of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai*(Scyphozoa: Rhizostomeae) around Jeju Island, Korea. *J. Plankton Res.*, 2008. 30(3): p. 251-260.
- [89] Choi, K., et al., Distribution and migration of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in the southwestern part of the East (Japan) Sea. *Fisheries Research*, 2008. 91(2-3): p. 281-290.
- [90] Zhang, C.I., et al., An ecosystem-based fisheries assessment approach for Korean fisheries. *Fisheries Research*, 2009. 100(1): p. 26-41.
- [91] Yoo, J.W. and J.S. Hong. Probable causes of zonation in a macrotidal flat in the central west coast of Korea. in 2006 Korean Wetland Society, Suncheon Univ., 2, Feb. 2006. 2006.
- [92] Yoo, J.K., S.H. Youn, and J.K. Choi, The factors controlling the formation of spring population of *Acartia hongii*(Copepoda: Calanoida) in Incheon Coastal Water, Korea. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, 2006. 11(3): p. 108-116.
- [93] Lee, H.J. and S.O. Ryu, Role of the giant Saemangeum dyke in sedimentation at the mouth of an estuarine complex. *Marine Geology*, 2007. 239(3-4): p. 173-188.
- [94] Chang, H.D. and J.K. Oh, Depositional sedimentary environments in the Han River Estuary and around the Kyunggi Bay posterior to the Han river's developments. *Journal of the Oceanological Society of Korea*, 1991. 26: p. 13-23.
- [95] Hong, S.Y. and H.T. Huh, Coastal zone development in the Republic of Korea, in *Coastal Ocean Space Utilization*, N.D. Croce, S. Connell, and R. Abel, Editors. 1995, E & FN SPON: London. p. 409-423.

- [96] Kim, H.G., Recent harmful algal blooms and mitigation strategies in Korea. *Ocean Research*, 1997. 19(2): p. 185-192.
- [97] Ahn, T.-M., et al., Some recommendations for establishment of legal systems for conservation and wise use of tidal flats. *Ocean Research*, 1998. 20(2).
- [98] Ha, K., M.-H. Jang, and G.-J. Joo, Winter *Stephanodiscus* bloom development in the Nakdong River regulated by an estuary dam and tributaries. *Hydrobiologia*, 2003. 506-509(1): p. 221-227.
- [99] Lee, J.-H., et al., Environmental assessment of the Shihwa lake by using the benthic pollution index. *Ocean and Polar Research*, 2003. 25(2): p. 183-200.
- [100] Oh, S.J., et al., Environmental factor on the succession of phytoplankton community in Jinju Bay, Korea. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engin*, 2008. 11: p. 98-104.
- [101] Park, G.-H., et al., A sulfur hexafluoride-based Lagrangian study on initiation and accumulation of the red tide *Cochlodinium polykrikoides* in southern coastal waters of Korea. *Limnology and Oceanography*, 2005. 50(2): p. 578-586.
- [102] Kim, J.G., Assessment of recent industrialization in wetlands near Ulsan, Korea. *Journal of Paleolimnology*, 2005. 33(4): p. 433-444.
- [103] Cho, D.-O., Challenges to sustainable development of marine sand in Korea. *Ocean & Coastal Management*, 2006. 49(1-2): p. 1-21.
- [104] Koo, B.J., J.-G. Je, and S.-H. Shin, Benthic Pollution Assessment Based on Macrobenthic Community Structure in Gamak Bay, Southern Coast of Korea. *Ocean and Polar Research*, 2004. 26(1): p. 11-22.
- [105] Cheong, S.-M., A new direction in coastal management. *Marine Policy*, 2008. 32(6): p. 1090-1093.
- [106] Kim, S.-Y. and H. Kang, Effects of elevated CO₂ on below-ground processes in temperate marsh microcosms. *Hydrobiologia*, 2008. 605(1): p. 123-130.
- [107] Kim, C.S. and H.-S. Lim, Sediment dispersal and deposition due to sand mining in the coastal waters of Korea. *Continental Shelf Research*, 2009. 29(1): p. 194-204.
- [108] Ahn, Y.-H., et al., Application of satellite infrared data for mapping of

- thermal plume contamination in coastal ecosystem of Korea. *Marine Environmental Research*, 2006. 61(2): p. 186-201.
- [109] Yoo, J.-W., et al., Nitrogen budget analysis using a box model for Hajeon tidal flat in the west coast of Korea. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, 2002. 7(4): p. 257-266.
- [110] Reise, K., *Tidal flat ecology-An experimental approach to species interaction*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo. 1985. 191.
- [111] Diaz, R.J. and R. Rosenberg, Spreading dead zones and consequences for marine ecosystem. *Science*, 2008. 321: p. 926-929.
- [112] IPCC, *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 2007. p. 1000.
- [113] Gattuso, J., M. Frankignoulle, and M. Wollast, Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystem. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1998. 29: p. 405-434
- [114] Cheong, C.-J., Penetration of weathered oil and dispersed oil and its ecological effects on tidal flat - as infiltration of dissolved matter. *Journal of Korean society of marine environmental engineering*, 2005. 8(3): p. 134-139,.
- [115] Park, C.-H. and B.-H. Lee, Effects of loess application in coastal benthic ecosystem. *Journal of the Environmental Sciences*, 2006. 15(11): p. 1035-1043
- [116] Chung, E.-S. and K. Lee, Identification of spatial ranking of hydrological vulnerability using multi-criteria decision making techniques: case study of Korea. *Water Resources Management*, 2009. 23(12): p. 2395-2416.
- [117] Kim, C.K. and P.Y. Lee, Three-dimensional water quality modeling of Chinhae Bay. *Journal of Korean Society of coastal and ocean engineers*, 2000. 12(1): p. 1-10.
- [118] Pyo, H.D., Korean marine environmental policy towards the green century. *Ocean Research*, 1999. 21(1): p. 67-80.

- [119] Lim, W.A., Y.S. Lee, and J.G. Park, Characteristics of *cochloidium polykrikoides* bloom in Southeast Coastal Waters of Korea, 2008. *The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography*, 2009. 14: p. 155-162.

부록 5. FUTURE 관련 접수 연구 제안서

부록 5. FUTURE 관련 접수 연구 제안서

Ko-PICES 는 2009년 9.17일부터 10월 7일까지 약 20일 동안 국내 해양관련 연구자들을 대상으로 FUTURE에 기여할 수 있는 신규연구과제제안서를 접수 받았다. 모두 19편의 제안서가 접수되었는데 PICES FUTURE 조직도(그림 5)에 따라 FIS 분과와 그밖의 분과(POC, BIO, MEQ, MONITOR, TCODE)로 구분하였다. FIS 분과에서는 모두 9편의 제안서가 접수되었으며, 그밖의 분과에서는 11편이 접수되었다.

접수된 FUTURE 국내 연구과제 (PICES FIS 분야).

제안자	소속	과제제목	번호
김도훈	국립수산과학원 delaware310@nfrdi.go.kr	해양생태계 변화에 따른 어업생산 및 관리제도 변화 연구	1
장창익	부경대학교 수산과학연구소 cizhang@pknu.ac.kr	생태계 기반 평가, 예측 및 이용 관리 시스템 개발	2
이충일	강릉원주대학교 leeci@gwnu.ac.kr	기후 변화가 해양과 수산자원의 구조 변화에 미치는 영향	3
김진구	부경대학교 taengko@hanmail.net	기후변화에 따른 동해/일본해 아한대 대륙붕 해역의 어류상 및 메타개체군 유전자 반응 연구	4
정일효	부산대학교 ilhjung@pusan.ac.kr	수온변화에 의한 해양생태계 영향 평가 시스템 개발 연구	5
정석근	국립수산과학원 sukgeun.jung@gmail.com	개체기반 생물-물리 결합 모델을 이용한 우리나라 주요 어획 대상 어종 시공간 변동 예측	6
최일수	전남대학교 ichoi@chonnam.ac.kr	수산 자원의 불확실성 정량화 모형개발 및 분석	7
김상일	오렌곤 주립대학 skim@coas.oregonstate.edu	해양생물 자원의 시공간적 분포 예측시스템 개발 및 관리 전략 연구	8
강수경	국립수산과학원 kangsk@nfrdi.go.kr	살오징어의 가입 및 생산량 전망	9

접수된 FUTURE 국내 연구과제 (POC, BIO, MEQ, MONITOR, TCODE 분야).

제안자	소속	과제제목	번호
김형근	강릉원주대학교 해양생명공학부 kimhg@kangnung.ac.kr	동해안 홍조 산호말 우점군집의 생리, 생태	10
안순모	부산대학교 해양학과 sman@pusan.ac.kr	갯벌 퇴적물에서 온난화물질 (메탄(CH4)과 산화질소(N2O) 발생량 측정 및 기후변화에 따른 발생량 변동 연구	11
		기후변화에 따른 하구의 염분구조 변화가 질소 영양염 budget과 탈질 소화에 미치는 영향	12
이상래	부산대학교 해양연구소 sangraelee@pusan.ac.kr	기후변화대응 해양생물다양성 모니터링	13
옥정현	부산대학교 해양연구소 oakjh@pusan.ac.kr	기후변화에 따른 해중림 해조군집 생물량 장기 모니터링	14
박상률	부산대학교 기초과학연구소 srv99park@pusan.ac.kr	광합성 특성 및 조직 내 영양분 함량을 통한 거미리말 개체군 및 연안 지역 건강도 평가 지수 개발	15
강윤희	부산대학교 해양연구소 unirang@pusan.ac.kr	해조 복합양식의 효율성 평가와 관리를 위한 생태 모델 연구	16
김현우	부경대학교 kimhw@pknu.ac.kr	해양 동물성 부유 생태계 구조 분석을 위한 자동화 시스템 개발	17
장찬주	한국해양연구원 cjang@kordi.re.kr	한반도주변해 혼합층깊이 (MLD) 분석 및 전망	18
김상우	국립수산과학원 swkim@nfrdi.go.kr	동해 저차생물생태계 변동 특성 규명	19
변현숙	(주)자연사연구소 dinobyun@hanmail.net	북태평양 해양 생태계 정보의 공유, 처리 및 보급 역량 강화를 위한 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 개발	20
이상지	(주)GG21szeelee@unitel.co.kr		

1. 해양생태계 변화에 따른 어업생산 및 관리제도 변화 연구

○ 제안자:

소속: 국립수산과학원, 전공(세부전공): 수산경제(어업관리경제학)

성명: 김도훈, 이메일: delaware310@nfrdi.go.kr

○ 연구 목표:

해양생태계 변화에 따른 어업의 사회경제적 여건의 변화를 살펴보고, 해양생태계 미래상태를 예측하여 어업의 사회경제적 여건변화를 분석 및 예측하고자 함. 또한 이러한 사회경제적 연구 목표를 바탕으로 자연과학적 연구에 대한 방향을 제시하고, 정책수립을 위한 기본 자료를 제공하고자 함

○ 국내외 연구동향:

- 생태계와 기후변화 등이 미치는 영향분석에 관한 국내연구는 자연과학적인 측면에서는 상당한 연구가 이루어져 왔지만 사회경제적 측면에서의 연구는 다소 제한적이었음
- 해양생태계와 기후변화에 따른 어업과 수산물에 대한 분석은 과거 자료에 의존하여 대부분 분석이 이루어져왔기 때문에 새로운 여건 변화에 대하여 가상적인 변화를 분석하는 경우 실제 나타날 수 있는 현상은 여러 가지 변수에 크게 영향을 받을 수 있기 때문에 해양생태계와 기후변화에 대한 과학적 분석과 사회경제적 관계에 대한 연구는 심층적으로 이루어져야 할 것임

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성:

- 본 사회경제적 연구 주제와 관련 있는 Future 연구주제로는 첫째, 연구 주제 2인 “생태계가 자연적인 그리고 인위적인 영향에 어떻게 반응하며, 미래에는 어떻게 변화될 것인가?”와 관련이 있음
- 둘째, Future 연구주제 3인 “인간의 활동이 어떻게 연안 생태계에 영향을 미치며, 사회는 이와 같은 생태계의 변화에 의해서 어떻게 영향을 받는가?”와 밀접한 관련성이 있음

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

- 첫째, 사회경제적 자료 논의 및 수집 : 사회경제적 분석, 모델수립 및 예측을

위한 자료가 필요하며 자연과학분야 연구(해양생태계, 생태학, 기후변화 등)의 내용을 검토하고 제공되는 자료의 성격(기초자료, 응용자료 등)을 파악함

- 둘째, 사회경제적 분석모델 개발 : 전통적 어업생산함수를 응용하고 개선하며, 전통적 Bioeconomic Model을 확장하여 생태계 변수를 활용함. 즉, 국지적·지역적 생태계 변화, 인간 활동의 생태계 영향 등에 대한 해당 과학분야의 프로세스 연구를 통해 사회경제적 분석모델을 개발함
- 셋째, 어업의 사회경제적 여건변화 예측 : 생태계 변화 예측을 바탕으로 한 모델분석을 통해 어업의 사회경제적 여건변화를 예측하고, 어업생산 및 관리제도 변화를 예측하고 평가함

○ **예상성과:**

본 연구를 통해 해양생태계 변화에 따른 어업의 사회경제적 여건 변화를 분석하고, 나아가 생태계 미래상태 예측을 통한 어업의 사회경제적 여건 변화를 예측함으로써 지속적 생산과 안정적 어업경영 유지를 위한 정책적 근거자료 및 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대됨

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (○), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간:** 2010-2012 (3년)

○ **연구비:** 연간 5천만 원(3년간 총 1억 5천만 원)

○ **필요인력:** 연구원 5명, 연구보조원 2명.

2. 생태계 기반 평가, 예측 및 이용 관리 시스템 개발

○ 제안자:

소속: 부경대학교 수산과학연구소

전공(세부전공): 수산자원생태학 (자원역학 및 생태계역학)

성명: 장창익, 이메일: cizhang@pknu.ac.kr

○ 연구 목표:

우리나라 해역의 생태계 구조와 기능을 파악하고, 어업 등 인간활동 및 기후변동에 따르는 생태계 구조·기능의 변화와 수산자원 변동을 평가하기 위한 생태계 기반 평가, 예측, 이용 관리 모델을 개발하여 효율적인 자원의 이용 관리 시스템의 구축

○ 국내외 연구동향:

생태계 기반 관리를 위한 지표 개발에 관한 연구는 많이 수행됨 (Fulton et al. 2004; Jennings 2005; Kruse et al. 2006). 그러나 이 지표들을 통합하여 평가하는 방법에 관한 연구는 소수임 (ERAEF by Australia, MSC's FAM, IFRAME by Korea-US). 국내연구로는 최근 생태계 기반 자원평가 방법에 관한 연구가 있음 (Zhang et al., 2009).

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성(예: 2-1), 3-2)):

1-1) - 4-7) 거의 모든 항목이 포함됨

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측 및 관리 (Integrated Fisheries Risk Assessment, Forecasting, and Management for Ecosystems (IFRAME) 방법 참조 요망

* 첨부: '생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측 및 관리 (Integrated Fisheries Risk Assessment, Forecasting, and Management for Ecosystems (IFRAME) 방법'

○ **예상성과:**

1. 우리나라 해역 생태계의 각종 인위적인 해양활동, 예로 어획, 양식, 오염, 연안개발 등의 정책수립을 위한 과학적 기초제공
2. 인간활동과 기후변동이 생태계에 미치는 위험도의 정량적 평가, 예측 및 이에 기초한 각종 관리방안 제시
3. 우리나라 해역별 생태계 구조 구축 및 생태계 과정과 기능 연구로 환경수용량 추정

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (○), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간:** 10년

○ **연구비:** 50억 원

○ **필요인력:** 연구원 20명, 연구보조원 40명.

3. 기후 변화가 해양과 수산자원의 구조 변화에 미치는 영향

○ 제안자:

소속: 강릉원주대학교, 전공(세부전공): 수산해양학, 성명: 이충일

이메일: leeci@gwnu.ac.kr

○ 연구목표(배경 포함):

- 1) 기후변화는 육상, 대기뿐만 아니라 해양의 환경 변화를 초래함
 - 해양의 구조 변화가 진행 되고 있으며,
 - 해양의 구조 변화는 수산자원의 분포 및 구성 종의 변화를 초래
- 2) 자원조성/회복 및 신어장 개발을 위해서는 해양 환경의 변화를 이해하고 예측하는 것이 중요
- 3) 기후변화에 따른 수산자원의 효과적인 관리를 위해 해양의 구조 변화에 따른 수산자원의 분포 및 구조의 변동 특성을 규명하고자 함

○ 국내외 연구동향:

1) 국내

- Open sea와 우리나라 주변역 해양환경과의 관련성
- 기후변화에 따른 해양환경인자의 시계열 변동 및 향후 변동 경향 예측을 위한 모델 개발
- 자원량 및 어획량에 미치는 산란장 환경의 중요성 연구
- 기후 및 인위적인 환경 변화가 해양생태계에 미치는 영향 연구
- 기후와 어업활동의 변화가 먹이사슬의 구조 변화에 미치는 영향 연구

2) 국외

- 장-단기간에 걸친 해양환경인자의 변화 경향 예측 연구
- 예측되는 환경변화에 따른 해양생태계의 변동 시나리오 및 대응책 연구
- 기후와 어업활동의 변화가 먹이사슬의 구조 변화에 미치는 영향 연구

○ 연구 주제와 FUTURE 주제와의 관련성 (예: 2-1, 3-2):

- 1-2, 2-3: 본 제안서는 「기후 변화에 따른 해양의 상태변화가 수산자원생물의 분포, 자원량, 구성 종의 변화에 어떤 영향을 미치는가?」 라는 질문에 대한 의

문점을 해결하고자 하는 것으로 Future 1-2, 2-3의 주제와 관련이 깊음

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

- DB 구축 및 현황 연구
- 현황 연구 결과를 이용한 향후 변동 경향 예측
- 구축된 DB의 연구결과를 user에게 제공
 - ※ Future에서 제안된 4-2(4-1을 포함), 4-3, 4-5(4-6을 포함)을 토대로 함

○ 예상성과:

- 1) 기후변화가
 - 해수의 수평 및 연직 구조 변화에 미치는 영향 이해
 - 수산 자원생물의 분포와 자원량 변화에 미치는 영향 이해
- 2) 자원조성과 신어장 개발을 위한 자료 제공
- 3) 해양 및 수산자원의 구조 변화 특성 및 예측 자료로 활용

○ 관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):

- 신규 (○), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ 연구기간: 3년

○ 연구비: 40,000천원/1년

○ 필요인력: 연구원 3 명, 연구보조원 3 명.

4. 기후변화에 따른 동해/일본해 아한대 대륙붕 해역의 어류상 및 메타개체군 유전자 반응 연구 (Fishes and Metapopulation Genetic Responses in the Subarctic Continental Shelf of the East/Japan Sea with Climate Change)

○ 제안자:

소속: 부경대학교, 전공(세부전공): 어류분류(집단유전), 성명: 김진구

이메일: taengko@hanmail.net

○ 연구 목표:

동해/일본해는 한국, 일본, 러시아에 둘러싸인 반폐쇄성 만으로, 한류와 난류의 교차로 해양생산력이 높고, 평균수심은 1,684m로 비교적 다양한 수산생물종이 출현하는 풍요로운 바다이다. 최근 동중국해에서 산란, 부화된 수산동물의 자치어나 유어가 대마난류에 의해 동해로 수송되는 양상이 강해지고, 특히 제주도나 큐슈 서부의 아열대성 어종(자리돔, 파랑돔 등)이 울릉도나 독도에서도 출현한다는 보고가 있다. 이와 더불어 냉수성 어종으로 알려진 연어나 명태 등은 감소 추세를 보이고 있다. 앞으로 수산자원은 남획에 의한 영향보다 기후변화에 의한 영향이 더 클 것으로 전망된다. 특히 해양생태계의 상위 그룹에 속하는 어류는 기후변화에 민감하게 반응하므로 이들 자원량 변동은 생태계 전반에 걸쳐 많은 영향을 미칠 것으로 보인다. 생태계 구조 변화를 정확히 예측하기 위해서는 개체군 구조를 명확히 파악해야 한다. 기후변화가 어종의 교체를 가져오거나 지역 개체군의 특성을 전환 시킨다면 그 전후의 차이를 이해할 필요가 있다. 기후변화에 대한 메타개체군의 반응을 관찰하고 이해함으로써 전체 개체군의 보전 방안을 마련할 수 있기 때문이다. 어느 한 지역 개체군을 보전하기 위해서는 개체군 크기를 최소활성개체군(Minimum Viable Population: MVP) 이상으로 유지, 관리할 필요가 있다. MVP 추정방법에는 통계적 소멸모형(demographic extinction model)과 유전적 모형(genetic model)의 두가지 방법이 알려져 있다. 그 외 분자변이분석(Analysis of molecular variance)으로는 동해 주요 어종의 회유 및 지역 개체군의 경계를 명확히 구분할 수 있다. 분자 수준에서 메타개체군의 유전자 반응을 파악함으로써 기후변화에 따른 생태계 전환 과정을 이해하는데 기여할 수 있다. 특히 태평양의

축소판으로 알려진 동해에서의 생태계 변화를 이해하는 것은 장차 태평양 전체의 생태계 변화를 예측하는 데 있어 대단히 중요하다. 이러한 관점에서 지금까지 동해에 관한 관심과 기대는 매우 높았으나, 동해와 인접한 한국, 일본, 러시아 3국은 자국의 연구에만 치중하였을 뿐 공동연구의 부재로 통합적인 연구 결과의 도출이 어려웠다. 본 연구는 동해를 둘러싼 3개국(한국, 일본, 러시아)간의 공동 연구를 통해 기후변화에 따른 동해 생태계 변화를 예측하는데 기여하고자 한다. 따라서, 본 연구의 목표는 수산자원의 가장 큰 비중을 차지하는 어류를 대상으로 5년간 장기 모니터링 조사를 통해 ①동해 아한대 대륙붕 지역의 어류지 작성, ②주요 수산 어족자원별 개체군 유전자망 구축, ③위기종의 MVP 추정, ④아한대와 온대 경계를 중심으로 수온상승에 따른 메타개체군의 유전자 반응을 파악한다.

○ 국내외 연구동향:

- 국내 연구사례

1. 동해 어류 자원 연구현황: 한국측 동해 어류 400여종(김 등, 1998), 독도 연안 어류 17종(국립수산과학원, 2009), 북한측 동해 어류 380여종(과학백과사전출판사, 1980; 손, 1986)이 보고된 바 있고, 기후체제전환과 동해 어종의 어획량 변화(장 등, 2000; 강 등, 2000), 1967~1977년 기후체제전환과 동해 생태계 변화(장 등, 2000; 장과 이, 2001), 남서부 동해에서 1970년대 기후체제전환이 생태계의 구조에 미친 영향(장과 윤, 2003) 등이 보고된 바 있다.
2. 동해 개체군 유전자 동태: 동해산 까나리의 서해 및 남해산과의 mtDNA 구조 비교(Kim et al., 2006), 동해 서식 도루묵 12개 지역의 msDNA 구조 비교(이, 2007), 동해 서식 연어의 북태평양 연어와의 msDNA 구조 비교(Yoon et al., 2009) 등의 연구가 있다.

- 국외 연구사례

1. 기후 변화와 어류 자원의 변화연구: 1976년 북태평양 기후변화(PICES, 1994), 1980년대 후반 동해 난류의 생태계 변이(Tian et al., 2008), 미국의 기후변화 영향(Karl, 2009) 등이 있다.
2. 기후 변화와 개체군 유전자 반응: 기후변화와 서식처 장벽(Geffen et al., 2004), 기후변화와 유전적 반응(Gienapp et al., 2008) 등의 연구가 있다.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성:

- 과제 4의 운영활동으로 생태계 예측, 해석, 승인, 배포 및 평가에 해당된다. 본 연구는 북태평양 해양 생태계 변화를 예측하기 위한 연구의 일환이다. 본 연구는 기후변화에 따른 동해/일본해 아한대 대륙붕 어류상을 파악하고 어류 분포의 변화를 개체군 유전자 수준에서 파악함으로써 어류자원의 상태 및 예측의 기본자료로 이용 가능하리라 사료된다. 본 연구 결과물인 동해 어류지는 북태평양의 해양 생태계(Marine Ecosystems of the North Pacific) 중 웹 기반 자료의 업데이트용으로 활용 가능하다. 본 연구의 모든 자료는 현재 해양생태계를 해석하며 미래 해양생태계의 변화를 예측함에 있어 신뢰성 높은 기본자료로 활용될 수 있다. 또한 본 연구 자료는 선택 또는 수정의 기회를 제연구자들에게 제공함으로써 완성도를 높이고, 인덱스, 목록 등 FUTURE의 생물학적 자료의 활용성을 강화하는데 이바지할 수 있을 것이다.

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

- 동해 아한대 대륙붕의 어류지 작성(2011~2013): 한·일·러 어류학자의 공동연구로 수행하되, 확증표본에 근거한 어류지 작성을 원칙으로 한다.
- 주요수산 어종별 개체군 유전자망 구축(2012~2014): 한·일·러 공통 수산자원을 대상으로 분자변이분석을 통하여 개체군 유전자망을 구축하고 궁극적으로 생물학적 경계를 명확히 구명한다.
- 위기종의 MVP 추정(2013~2015): 유전적 모형에 의한 냉수성 위기종의 개체군 크기를 파악한다.
- 아한대와 온대 경계의 개체군의 유전자 반응 파악(2014~2015): 냉수성 위기종과 아열대성 확산종을 대상으로 그들의 근원개체군과 메타개체군 간의 유전적 구조의 변화를 파악한다.

○ 예상 성과:

- 동해 아한대 대륙붕 어류지 발간
- 동해 주요 어류의 지역 개체군간 유전자망 및 통합 DB 구축
- 기후변화에 따른 메타개체군의 유전자 반응 및 동해 위기종의 MVP 파악으로 보전대책 수립

○ 관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):

- 신규 (○), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ 연구기간: 2011~2015(5년간)

○ 연구비: 총 15억/5년

○ 필요인력: 연구원 12명 (각국 4명씩), 연구보조원 24명 (각국 8명씩)

<연구 추진체계도>



5. 수온변화에 의한 해양생태계 영향 평가시스템 개발 연구

○ 제안자:

소속: 부산대학교, 전공(세부전공): 응용수학(수리모델링, 수리생물, 수치계산, 미분방정식), 성명: 정일효, E-mail: ilhjung@pusan.ac.kr

○ 연구 목표:

- 해양생태계 건강성 평가를 위한 지표개발
- 수온변화에 의한 해양생태계의 생물다양성 변화 예측모델 개발
- 해양생태계의 건전성 유지를 위한 취약 생물군 보전 방안 전략 연구
- 해양생물 개체 및 다양성이 해양생태계에 미치는 영향평가 수리모델 개발
- 해양생태계 교란에 의한 사회/경제적 효과(비용) 통합 구현 가상 수리모델 개발
- 해양생명자원 보존 및 친환경적으로 이용하기 위한 제반 기술전략 확보방안

○ 국내외 연구동향:

- 지구표면의 71%, 생물종의 80%가 서식하는 해양 생태계의 가치는 연간 22조 6000억 달러 규모(Nature, 1997)로 보고되고 있음.
- 세계 해양생명과학/공학산업의 시장규모는 1998년 8억 달러에서 연평균 29% 성장하여 2010년도에는 163억 달러에 이를 것으로 전망됨

- 국외

미국: 해양에 대한 지속적인 정책을 선언하고 7대 중점 연구분야에 대한 지원을 확대함. 7대 중점 연구분야는 ① 신해양정책 체제 구축, ② 해양교육 강화, ③ 경제성장과 연안자원 보전, ④ 해양수자원 질적제고, ⑤ 해양자원 활용과 보호, ⑥ 해양에 대한 이해증진, ⑦ 국제적 역할 증대로 해양생태보호와 보전을 위한 연구 및 교육이 중요함을 알 수 있음.

일본: 해양과학기술연구센터(JAMSTEC)와 해양생명공학연구소(MBI), 수산종합연구센터(FRA) 등을 중심으로 산·학·연 협력 활성화.

중국: 안정적인 식량자원 확보에서 출발하여 연해 → 근해 → 대양(심해, 극지) 진출로 전환하는 단계적인 전략수립, 이의 하나로 중국 해양사업발전계획(2006~2020) : 해양환경변화와 해양생물자원의 지속가능한 이용, 대양·심해연구에 대한 지원 강화

- 국내

정부의 해양정책 중 해양바이오(Marine Biotechnology)연구 개발 분류(4가지)에서 2가지인 분야, 해양생태환경보존 기술과 해양식량 및 식품자원 개발 기술이 포함되어 있음. 해양생태환경 보전 기술수준은 선진국 대비 44%에 불과함. 따라서 삼면이 해양인 우리나라의 선진국 기술수준으로의 진입을 위해서는 해양생태계 관련 연구 인프라 구축 및 R&D 사업의 확대가 절실히 요구됨.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성:

1-1), 2-3), 3-4)

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

- 수산자원학, 생태학, 해양대기/환경학, 수리계산학, 사회학, 경제학간의 학제간 유기적 통합연구를 통하여 다음의 FUTURE 주제별 접근방법을 제시한다.

주제: 1-1)

- 연구원 구성: 수산자원학자, 해양생태학자, 해양생물학자, 수리계산학자
- 접근방법: 계층구조적 해양생태계의 시스템 연구로 건전성 판단을 위한 적절한 해양생물 지표를 개발한다. 해양생물 군집 및 대표개체군에 대한 지표성을 제시하고 생물적인 정보를 제공한다. 해양생물의 분자수준에서는 유전자 다양성을 점검한다. 교란된 해양생태계와 비교적 안정된 생태계에서 서식하는 지표생물종들에서 개체군들간 유전자 다양성을 비교분석한다.

주제: 2-3)

- 연구원 구성: 수산자원학자, 해양생태학자, 해양대기환경학자, 수리계산학자
- 접근방법: 수온 변화에 따른 해상 해류의 이동경로의 변화를 예측 판단하는 수리모델을 개발하고 이 모델을 통하여 해양생태계의 생물자원에 미치는 영향에 대한 종합적 이론 및 실험연구를 수행한다. 연구진행에 따라 해양생태계 질의 총괄적변이(예, Exergy)를 통합적으로 제시한다. 해양생물자원의 지리적 변화 및 군집에서 종 구성의 변화를 해양대기환경, 생태학, 수리계산학을 통하여 종합적으로 판단하는 수리시스템을 개발한다. 기존 해양자료와 수온 변화를 통한 종합적 예측 시스템을 개발하여 가상 모의실험(simulation)에서 나타

나는 문제점과 비교하고 유기적 대응 연구를 통하여 보다 실제적인 예측 평가 체계를 수립한다. 예컨대, Exergy에 의한 해양생태계의 교란 효과나 해양생태건전성을 판단 할 단계별 종합적 수치지표를 개발하고 수리계산모델을 통하여 구현한다.

주제: 3-4)

- 연구원 구성: 수산행정가, 생태학자, 해양대기환경학자, 수리계산학자, 사회학자, 환경경제학자
- 접근방법: FUTURE 주제 1-1)과 2-3)의 연구를 통해서 해양생태계에 미치는 영향을 종합적 분석 예측 하는 최적 수리모델 구현과 사회적응연구에 부합될 수 있도록 유기적 대응 연구를 통하여 환경경제 및 사회 환경적 영향 측면을 종합적으로 분석할 수 있는 해양생태계 영향 평가시스템을 제공한다. 또한 해양생태 보전 및 보호와 수산자원의 지속적 유지를 위한 합리적 활용방안을 위한 홍보 및 교육프로그램을 개발한다.

○ **예상성과:**

- 1) 해양 건강성 평가를 위한 지표 개발 및 생물다양성 유지 전략 제시
- 2) 국가차원의 해양생태계 보전 및 보호를 위한 정책수행 자료 제공
- 3) 해양생물의 물리적 생물학적 자료의 수학적/통계적 방법에 의한 자료축적 (database)
- 4) 기후변화에 의한 해양생물의 시공간적 분포 최적수리모델 개발 및 가상모의실험(simulation)에 의한 미래의 해양생태계 변화 예측시스템 개발
- 5) 시공간적 생물개체의 분포를 이용한 수산자원 확보 및 보존 전략 제시
- 6) 수산자원의 사회 경제적 가치비용 산출 및 지속가능성 유지를 위한 효율적인 방안 제시

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (○), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간: 5년**

1단계(3년)

- 해양생태계 건강성 지표 수집 및 수리모델 개발 방향 확정
- 기온변화에 의한 생물개체의 변동모델 개발 및 구현
- 해양생물 개체 변동에 의한 해양생태계 영향 해석
- 기온상승에 의한 해양생태계의 영향 자료 수집 및 분석

2단계(2년)

- 기온변화에 의한 생물개체의 분포 수리모델 개발 및 구현
- 수리모델과 슈퍼컴을 이용한 해양생태계 변화 가상결과 예측
- 해양생태계 교란에 의한 사회 경제적 비용 산출 및 대응 전략 방안

○ 연구비: 1340백만원(300백만원(1년) + 4년 × 260백만원)

인건비(내/외부, 연구보조원) + 여비(국내 및 국외): 8명 × 30백만원 =210백만원

연구기자재비(슈퍼컴 장비(병렬) 및 프로그램): 40백만원(1년차 구입)

행사개최비(워크샵, 컨퍼런스, 교육프로그램): 20백만원

○ 필요인력:

연구원 6명, Post-Doc 2명

6. 개체기반 생물-물리 결합 모델을 이용한 우리나라 주요 어획 대상 어종 시공간 변동 예측

○ 제안자:

소속: 국립수산과학원, 전공(세부전공): 해양생물(수산자원), 성명:정석근
이메일 sukgeun.jung@gmail.com

○ 연구 목표:

한국 연근해의 효율적인 수산자원 관리와 회복을 위하여 수산자원의 생물학 영역과 해수순환의 물리해양학적 영역을 결합한 개체기반 예측 모델 (Individual-based model) 을 단계적으로 개발하여 연근해 전체에 걸친 수산자원의 시공간적 변동을 예측

○ 국내외 연구동향:

국내	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국립수산과학원에서 위관량 자료, 시험조사선에 의한 현장조사자료 및 인공위성 표면수온자료 등을 활용한 주간 및 월간 해어황예보 실시 ○ 과거 및 현재 자료를 통계적인 방법으로 접근해왔는데 인과관계가 검정되지 않아 예측의 정확성에 한계가 있음 ○ 만과 하구를 대상으로 3차원해수모델이 일부 개발되어 있으며 이를 기반으로 환경변화에 따른 생태계 변화를 평가한 사례가 있으나 수산자원까지 포함시키고 있지는 못하며 한국의 생물-물리 결합 모델 분야는 PICES 선진국에 비교 10여년 이상 뒤쳐져 있음 ○ 현재 일부 지방자치단체에서 개펄보존구역과 같은 MPA를 설치 운영중이나 수산자원회복과 관련해서는 뚜렷한 인식이나 구체적인 계획이 없음.
국외	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국 NRL의 Global NCOM ○ 일본 JAMSTEC의 JCOPE(Japan Coastal Ocean Predictability Experiment) ○ 선진국에서도 생물-물리 결합 모델을 수산자원관리에 본격적으로 활용하고 있는 단계는 아님 ○ 미국 NOAA/NOS/NCCOS/CSCOR Ecoforecasting 프로그램

국외	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국의 경우, 2001년 지속가능한 생태계 유지 방안으로 MPA를 활용하는 방안을 National Academy Science에서 출판하여 의회에 보고 ○ 유럽 EU: Marine Protected Areas (MPAS) As a tool for Ecosystem Conservation and Fisheries Management (PROTECT) 프로젝트 ○ 노르웨이: fiskerihøgskole “Marine Protected Areas as a fisheries management tool” 프로젝트
----	---

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성 (예: 2-1), 3-2):

2-3, 3-2, 3-5, 3-5

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

1. 과거자료에 의한 해류유동 시뮬레이션, 수온 및 염분, 수온약층, 기초생산력, 미세동물플랑크톤량, 영양염 등 해양환경조사
2. 한국 근해 3차원 해수순환모델개발
3. 연안역 고해상도 해수순환모델개발
4. 지구 온난화에 따른 한국 연근해 해수순환 변화 예측
5. 주요 어획 대상 어종의 산란장, 난·자치어 사망률조사, 초기단계 성장률, 산란수, 먹이생물
6. 음향학과 광학 장비를 이용한 해양생물과 수산자원 현존량 추정기법 개발
7. 주요 어획 대상 어종 가입 예보를 위한 개체 기반 한국형 생물-물리융합 모델 (Individual-based model) 개발
8. 모델 검정과 개선 (종묘방류 실험)
9. 지구 온난화에 따른 한국 연근해 주요 어획 대상 어종교체와 회유경로 변화 예측

○ 예상성과:

1. 기후변화가 한국인 아침 밥상에 오르는 생선 어종구성을 어떻게 바꿀 것인지 예보하여 수산업 관련 정책과 어업인들 소득 증대에 기여.
2. 어종의 시공간분포화 회유를 월단위로 예보하여 어업인들에게 신뢰성있는 어황정보를 제공하여 기름값등 어획비용 절감

3. 해양생태계에서 최상위에 있는 어류의 변동을 예측하여 기후변화에 따른 어류의 top-down 효과 평가.
4. 모델 검정을 통해서 불확실성을 정량화하여 효과적인 수산정책 마련에 기여
5. 세계 해양 생태계 모델링 분야를 주도할 것으로 기대하며, 바다목장, 인공어초, 종묘방류, 해양보호구역(MPA)이나 금어기 관련 연구사업을 돕거나 그 연구와 관련 수산정책개발에 기여.
6. MPA와 같은 남획과 서식지 환경 악화에 대한 과학적이고 예방적인 정책 실현으로 수산정책 신뢰 향상

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (V), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간:** 5년

○ **연구비:** 50억/5년

○ **필요인력:** 연구원 10명, 연구보조원 10명.

7. 수산 자원의 불확실성 정량화 모형개발 및 분석

- 우리나라 상황에 맞는 확률화 모형개발 및 자원 예측

○ 제안자:

성명: 최일수, 소속: 전남대학교, 전공: 베이지안통계학

전자메일: ichoi@chonnam.ac.kr

○ 연구목표 및 필요성:

생태계 변화 요인과 수산 자원 간을 확률적 불확실성으로 표현하는 정량화 모형(Quantitative model)을 개발

- 기후변화, 인간활동 등을 불확실의 개념으로 확률화하는 모형개발

정량화 모형 분석을 통한 수산자원 예측

- 수산자원 조사를 위한 최적 표본 설계 연구

- 불확실성 상황에서의 수산자원 평가, 예측 및 적정 생산량 제공

○ 국내외 연구동향:

국외 동향

- 기후변화와 같은 외부적 변화요인에 따른 자원평가와 관리의 불확실성 정량화 연구가 진행되고 있음

- 수산자원 모형을 확률화시키는 확률모형(Bayesian analysis, Markov chain, Stochastic modeling)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있음

국내 동향

- 수산자원 관리에서 확률적 모형을 사용하는 경우는 기초적인 수준에 머물러 있어 미래 불확실성을 관리하는 본격적인 연구에는 한계가 있음

- 수산자원 평가 및 관리 분야에서 추정 및 예측을 위한 불확실성의 관리는 매우 시급하고 종합적이고 체계적인 연구가 필요함

○ FUTURE 주제와의 관련성: 2-4, 2-5

○ 제안자: 해당 주제를 다루기 위한 접근 방법:

Time-Space scales

- 생태계의 변화를 측정하기 위해서는 풍부한 자료와 그에 합당한 자료 구조가 필요하다. 적절한 자료구조를 제시하고 시간 구조에 알맞은 시공간적 자료분

석 방법과 모형을 개발한다.

- 또한 시간간격에 따른 우점종의 위치를 공간적으로 제시하여 기후변화에 따른 수산자원의 이동 등을 파악하는 방법을 개발한다.
- 통계학적 방법 : Retrospective annlysis, Multidimensional scaling(MDS), Cross-sectional Time Series, Space-time Series

생태계의 순환 고리를 고려한 자원 모형

- 먹이생물에서 포식자까지의 구조를 고려한 수산자원 모형개발
- 통계학적 방법: Bayesian networks

불확실성을 정량화 시키는 확률을 바탕으로 하는 수산자원 모형개발(probabilistic age-structured and stock-recruitment model 등)

- 통계학적 방법: Bayesian networks, Hierarchical Bayesian Model, Stochastic modelling

국내외협력

- 관련 전문기관/전문가와 협동/자문 연구
- 국립수산과학원, 부경대, 연세대, 관련 전문가와 협동연구
- 텍사스A&M대학(Allen교수)

○ **예상성과:**

정성적 성과

- 생태계 변화에 따른 수산 자원 평가 및 예측
- 생태계 변화에 따른 어류의 이동 형태 파악
- 수산자원 생산량에 따른 생태계 변화 예측
- 수산자원 조사를 위한 최적 표본 설계 구축

정량적 성과

- 논문: SCI: 5편, 비SCI: 5편

○ **관련과제:** 신규

○ **연구기간:** 5년 (2010-2014)

○ **연구비:** 10억 (2억/년)

○ **소요인력:** 연구원 5명/년, 연구보조원 5명/년

8. 해양생물 자원의 시공간적 분포 예측시스템 개발 및 관리 전략 연구

○ 제안자:

소속: 오렌곤 주립대학, 전공(세부전공): 응용수학(해양/대기 자료동화 및 수치 모델), 성명: 김상일, E-mail: skim@coas.oregonstate.edu

○ 연구 목표:

동해, 서해, 남해, 동중국해 등을 포함하는 태평양 연안의 물리적 특성을 탐구하는 수치모델을 개발하고 연결도(connectivity map)와 이동도(transition map)를 이용하여 해양생물들의 공간적 분포 및 평균적 이동경로를 수리계산모델에 의한 가상 모의실험을 통하여 구현하고 그 변화와 불확실성을 연구하여 해양생물 자원의 최적 관리 방안을 모색함

○ 국내외 연구동향:

미국 서부에 위치하고 있는 대학들(UCLA, UCSD, Oregon State University)은 공동연구를 통해 4년 전부터 태평양연안의 생태수치모델 개발을 시작하여 생물들의 분포에 관한 연결도(connectivity map)를 개발하고 있으며, 또한 외부 압력 변환에 의한 분포 변화를 수치모델을 통해 예측하려는 연구가 진행 중에 있다. 이러한 이동도(transition map)는 현재의 해양생물들의 공간적 분포를 알려주는 중요한 자료가 되며 이 연구는 향후 6년간 계속 지원될 예정이다. 하지만 해양생태계의 유지 및 수산자원 보호를 위하여 반드시 필요함에도 불구하고 국내에서는 이러한 연구주제를 아직까지 다루지 않고 있다.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성:

1-2), 2-1), 3-4)

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

1-2): 연중 생물 유충의 이동과 서식지 안착, 해양 생물 서식지의 변화 등 생물학적 변화는 해양의 물리적 화학적 현상과 밀접한 관계를 가진다. 이러한 현상들의 유기적인 관계는 수리계산모델방정식으로 기술되어 질 수 있다. 동해, 서해, 남해, 동중국해를 포함하는 북서태평양 영역을 중심으로 하는

수치모델들의 결과를 관측 자료와의 비교 분석을 통해, 향상 발전시키는 방법을 분석한다. 그리고 분석된 내용을 보다 정확한 수치 모델의 결과를 위해 네스팅(nesting)방법을 통한 고해상도(1-3 km 단위)의 모델 개발과 자료 동화 기법(양상불 칼만 필터)을 모델에 적용한다. 해양 순환 모델은 다른 연구 분야에서도 많이 쓰이고 있는 ROMS(Regional Ocean Modeling System)를 이 연구에서도 사용할 계획이다.

(연구자: 수산자원학자, 생물 및 생태학자, 수리계산학자, 해양대기 및 환경학자 등, 실험장비: 슈퍼컴)

2-1): 해저 지형, 수심, 수온과 염도, 플랑크톤의 분포 등에 관련된 생물들의 서식지의 정보 등을 사용하여 유충과 어린 생물들의 치사율과 정착율(연결도), 그리고 서식지로의 이동경로(이동도)를 계산할 것이다. 연결도는 한 위치에서의 유충/유생이 다른 한 정해진 지역으로 그 서식지를 옮기게 되는 확률을 나타내는 행렬이며, 이동도는 출발지에서 종착지로의 모든 가능한 이동경로들의 확률을 나타내는 행렬이다. 이러한 행렬 지도들은 ROMS 수리계산모델의 결과와 Lagrangian particle tracking 계산을 통하여 만들어 질 수 있다.

(연구자: 해양생물학자, 수리계산학자: 실험장비: ROMS, 슈퍼컴)

3-4): 외부압력과 서식지 정보의 변화에 따른 생물들의 공간적, 시간적 변화를 수리계산모델을 통하여 그 원인(생태적)과 결과(사회적)의 변화가 예측 가능할 것이며, 연결도와 이동도는 그 변화를 정량적인 값으로 제공할 것이다. 또한, 이러한 연결도는 연안과 원양에 따라 다르게 표현되어 질 것이다.

(연구자: 수리계산학자, 사회학자, 환경경제학자: 실험장비: 슈퍼컴)

○ 예상성과:

- 1) 고해상도의 수치모델 개발과 해양의 특징에 맞는 자료동화 기법 개발 및 응용
- 2) 해양의 물리적 자료 및 생물 자료 등의 수학적/통계적 방법에 따른 행렬 지도 구축
- 3) 지역에 따른 유생들의 치사율/정착율과 이동경로와 변화 원인들의 이해를 통한 해양 양식 성공성 증가
- 4) 행렬 지도에 따른 시공간적 어업 변화에 대한 예측 가능성의 증가

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (x), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간: 5년**

- 1, 2년차: 수리계산모델 개발 방향 확정 및 고해상도 모델 개발과 자료 동화

- 3, 4년차: 이동도 및 연결도의 계산 결과와 자료와의 차이점 분석

- 5년차: 행렬지도들 이용한 생물 서식지 변화 예측과 관리 전략 수립

○ **연구비:**

1,230,000,000원 (1년(27), 2년(24), 3년(24), 4년(24), 5년(24))

인건비, 클러스터(슈퍼컴퓨터 및 프로그램) 구입, 여비, 세미나(워크샵, 컨퍼런스)

○ **필요인력: 연구원 5명, Post-Doc 2명**

9. 살오징어의 가입 및 생산량 전망

○ 제안인:

성명: 강수경 (소속: 국립수산과학원, 전공: 수산해양학)

전자메일: kangsk@nfrdi.go.kr

○ 연구목표:

□ 살오징어의 가입 및 어획에 영향을 미치는 생태학적 요소 확인

- 살오징어의 어획이 저조하던 1978~1989년과 어획량이 많아진 1990~2008년 동안의 기후 및 해양환경을 대비

□ 살오징어의 산란장 및 미래 자원량 예측

- 수치모델을 이용한 산란장 및 미래 자원량 예측

○ 국내외 연구동향:

□ 국외 동향

- 일본에서 집중적으로 산란장, 회유경로, 기후변화에 관한 연구가 수행되었음
 - 오징어는 일본에서 상업적으로 매우 중요한 종이며, 일본 전체 복족류 어획량의 56%를 차지함(Kiyofuji and Saitoh, 2004).
 - 오징어의 산란장과 분포에 관한 연구가 활발함(Okutani, 1983; Nasu et al., 1991; Sakurai, 2000).
 - 산란장에서의 해양환경과 산란자원량에 관한 연구가 수행되었음
 - 산란군별로 동중국해와 동해에서의 오징어 회유경로 연구가 수행됨 (Okutani, 1983; Nasu et al., 1991, Kim and Kang, 1995, Araya, 1976; Okutani, 1983)

□ 국내 동향

- 오징어 자원량과 산란장에 관한 집중적인 연구는 수행되지 않았음
- Kim (1993)은 오징어 어획량과 해양환경과의 변동을 살펴봄
- Lee (2007)은 동해에서 우리나라 오징어의 최적산란장 연구 수행
- Kim (2008)은 오징어의 여름 발생군을 대상으로 출현과 수송 기작에 관한 연구 수행

- 오징어는 경제적으로 중요한 어종임과 동시에 기후변동의 영향을 직접적으로 살펴볼 수 있는 어종임으로 산란장, 회유경로, 자원량 예측 등 **종합적이고 체계적인 연구가 필요함**

○ **FUTURE** 주제와의 연관성: 2-3

○ **추진방법 및 전략:**

오징어 어업별 어획량 자료 정량화

- 채낚기, 트롤 등에 어획되는 오징어의 어획량 정량화
- 무선국 자료를 이용한 해역별 어획량 계산
- 장기경향 및 어업별 특성 파악

오징어의 자원변동 조사 및 자원평가

- 자원생물학적 특성조사(공동어시장, 직접 승선조사)
- 산란장 및 어장분포 특성조사
- 자원평가 및 관리방안 제시

오징어 분포해역의 해양환경 파악

- 동중국해, 남해 및 동해의 수온, 염분 및 MLD 변화 조사
- 오징어 분포해역의 바람장과 대마난류의 세기 조사
- 지구온난화 시나리오를 이용한 해양환경 변동 예측 실험

국내협력

○ 관련 전문기관/전문가와 협동/자문 연구

- 국립수산과학원, 한국해양연구원, 부경대, 강릉원주대 관련 전문가와 협동연구

국제협력

○ 일본 오징어 자원 전문가 협동/자문 연구

- Y. Sakurai 교수 (일본 북해도 대학 교수)

○ Individual Based Model(IBM) 모델 국제 전문가 협동/자문 연구

- William Stockhausen (미국 알래스카수산과학연구소 연구원)

○ **예상성과:**

정성적 성과

- 한국 연근해 오징어 산란장의 시공간 분포 제시

- 한국 연근해 오징어의 회유경로, 자원량 예측
- 국제 협동/자문 연구를 통해 한국 주변해에 대한 관심 고취
- 다른 어종에 적용 가능한 접합 모델 개발
- 정량적 성과
 - 논문: SCI: 4편, 비SCI: 4편
- **관련과제:** 신규
- **연구기간:** 5년 (2010-2014)
- **연구비:** 25억 (5억/년)
- **소요인력:** 연구원 8명/년, 연구보조원 4명/년
 - 연구원: 총 8명/년
 - 해양환경자료 : 3명- 수집 (1명) & 분석 및 database (2명)
 - 오징어 산란장 및 어장 분포조사: 3명
 - 오징어 자원량 및 분포 미래 전망: 2명 - 자원평가(1명) & 분석 (1명)
 - 연구보조원: 총 4명/년
 - 과거 해양환경 자료 정리 및 DB 구축, 오징어 직접자원조사 및 모델링 결과 분석

10. 동해안 홍조 산호말 우점군집의 생리, 생태

○ 제안자 :

소속: 강릉원주대학교 해양생명공학부

(전화: 033-640-2344, 셀폰: 010-2756-4027)

전공: (세부전공) 해조생태 및 양식, 성명: 김형근

이메일: kimhg@kangnung.ac.kr

○ 연구목표:

동해안 갯녹음 현상의 특성을 자연적, 인위적인 영향에 대한 해조군집을 중심으로 한 생태계의 특성을 밝힘

○ 국내외 연구동향:

홍조 민산호말류(무절산호말류)는 딱딱한 시멘트 바닥처럼 되어 염상해조와 달리 연구재료로 다루기가 쉽지 않아 연구가 매우 미흡하다. 그러나 민산호말은 연안 생태계에서 이산화탄소의 흡수 등과 같은 중요한 역할을 하고 있으나 수산업적으로 보면 해조류 부착이나 식생의 형성이 어려워 민산호말류가 형성된 곳은 수산자원이 빈곤한 곳으로 알려져 있다.

자연생태환경이 좋은 곳은 연안 암반이 민산호말로 뒤덮혀도 종다양성이 높게 나타난다. 이에 반해, 생명력이 없는 민산호말 우점해역은 종다양성이 낮아 백화현상이라 불리기도 한다. 그런데 민산호말이 우점한 어떤 해역이 생명력이 좋은 종다양성이 높은 곳인지, 다양성이 매우 낮은 민산호말 우점해역인지는 해역의 물리, 화학, 생물학적인 생태계 구성 요소간의 관계 파악이 매우 중요하다.

우리나라 연안 갯녹음 현상의 확산은 1980년대 후반이후 줄곧 이루어져 온 것으로 생각되며 이는 한반도 주변 해양환경의 변동과 매우 관계가 있다. 백화현상에 미치는 여러 환경요인에 대해서는 서귀포 연안에서 분석하였으며(정, 1998) 석회조 연구로는 박(1970)의 석회조의 형태에 대한 연구와 유절석회조 연구(최, 1988)와 무절석회조(김, 2001)로 분류, 생태적 연구와 석회조의 추출물질에 대한 연구(홍, 1988)와 초식작용에 대한 성게의 섭이압에 대한 연구(손 등, 1997)가 있다. 또한, 김 등(2003)이 수행한 해양수산부 수산특정과제, 갯녹음현

상의 원인규명 및 대책은 이 분야의 기초가 되고있다. 일본과 미국에서도 갯녹음 현상대책으로 갯녹음 진단방법의 개발이나 연안보존활동에 힘을 기울이고 있다.

○ 연구주제의 **FUTURE** 주제와의 관련성: (1-1, 1-2, 1-3)

FUTURE 연구주제 중 1. 자연적, 인위적 영향에 대한 생태계의 내적 탄력성과 취약성을 결정하는 것은 무엇인가?

연안에서 해조류가 줄어드는 설명으로 1) 해수환경의 변화 2) 초식동물의 식해 3) 민산호말 종류와의 공간경쟁 등을 들 수 있다. 이외에 인간의 영향에 의한 것으로 앞의 자연적인 영향에 대비될 수 있다. 해조류 식생의 외부환경이 취약성을 가질 때는 해조숲이 축소하여 비교우위로 생존력이 좋은 민산호말류가 우점하여 백화현상으로 나타나기도 하며 생태계가 탄력을 받을 때 해조숲이 번무하여 상대적으로 민산호말이 축소하면 해조류가 번무하는 시기를 맞게 된다. 동해안의 남부에서 북부에 따라서 나타나는 해조숲과 백화지역의 관련도를 그림에서 나타내었다.

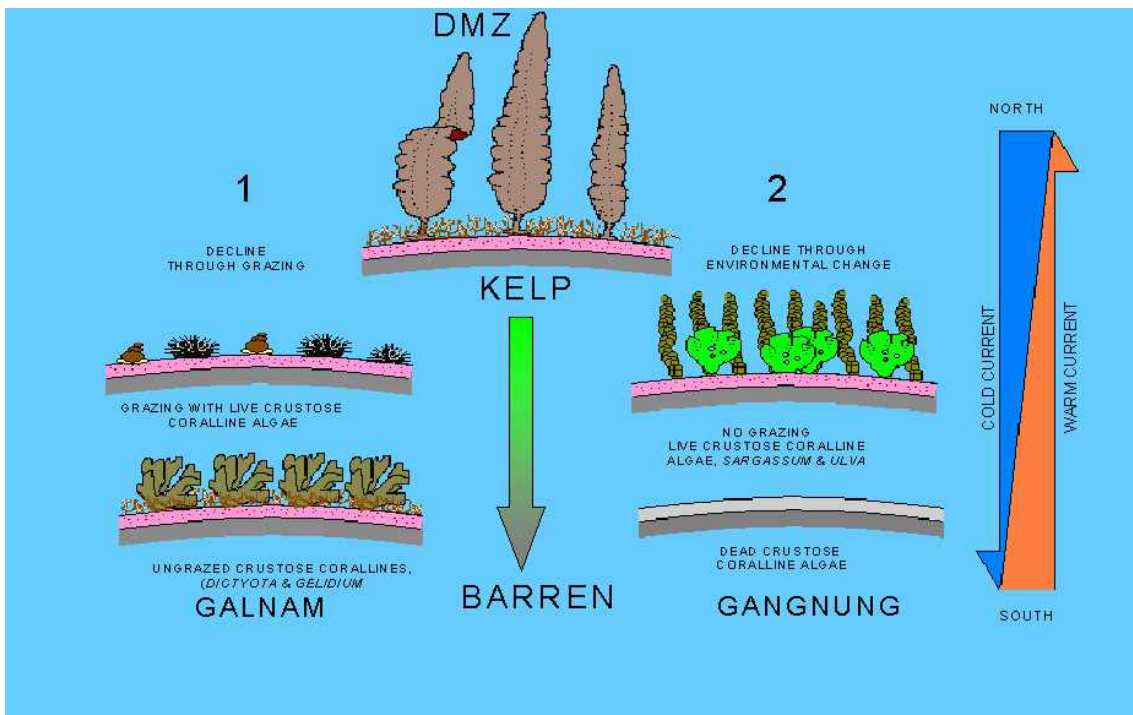


그림. 동해안 갯녹음 현상을 설명하는 과정도

그러므로 FUTURE 주제에서 제시한 생태계의 내적탄력성과 취약성에 대해서

는 앞에 열거한 해수환경, 초식동물, 민산호말, 오염 등의 4항목에서 검토할 수 있다. 이 연구에서는 민산호말의 식생을 중심으로 분석하게 된다.

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

민산호말의 생리, 생태의 분석은 FUTURE 프로그램의 연구주제 1번 중 1)항의 생태계의 구조와 기능에 영향을 미치는 특히, 민산호말 식물에 영향을 미치는 물리, 화학, 생물학적 과정을 파악할 수 있다. 또한, 해조숲과 백화지역의 천이 또는 기후변화 등에 의한 변화로 민산호말의 우점과 감소, 엽상해조의 번무와 감소, 이에 따른 성게, 고등류, 어류등에 의한 초식작용의 결과 생태계에 근본적인 변화를 가져오게 된다. 동해안중에서 삼척해안은 백화현상이 심한 곳이 많다. 그 지역에서 특히, 민산호말이 우점한 해역에서 해양의 물리,화학,생물학적인 면을 고려하여 산호말 특성을 밝히는 것은 연구주제 1번 중 2)항에서 변화하는 물리, 화학, 생물학적 과정이 어떻게 생태계의 구조와 기능의 변화를 야기하는가?의 가설에 대한 설명이 가능하다고 본다.

○ 예상성과: 국내논문 2편

○ 관련과제:

신규 (0), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ 연구기간: 2010-2011 (2년)

○ 연구비: 8,000 만원 (4,000만원/년)

○ 필요인력: 연구원 (2), 연구보조원 (6),

11. 갯벌 퇴적물에서 온난화물질 (메탄 (CH₄)과 아산화질소(N₂O) 발생량 측정 및 기후변화에 따른 발생량 변동 연구

○ 제안자:

소속 부산대학교 해양학과, 전공:퇴적물 생지화학, 성명: 안순모

이메일: sman@pusan.ac.kr

○ 연구 목표:

- 갯벌 퇴적물에서 메탄 (CH₄)과 아산화질소(N₂O)가스 발생량 정량화
- 온난화, 담수 유입 변화에 따른 발생량 변화 파악

○ 국내외 연구동향:

- 하구 갯벌, 염습지는 유기물이 집적되는 환경으로서 메탄이나 아산화질소의 주요 발생원으로 여겨져 왔으나, 국내외 모두 정량화는 매우 부족한 실정임.
- 이들 가스는 온난화 원인 물질일 뿐만 아니라 반대로 기후 변화에 따라 발생량이 변화할 것이나, 이에 대한 연구는 부족한 실정임.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성(예: 2-1), 3-2):

- 2-1: 인간과 기후변화로 인해 중요한 물리, 화학, 생물학적과정 어떻게 변하였고, 변할 것인가?
 - . 메탄 (CH₄)과 아산화질소(N₂O)는 중요한 온난화 원인 물질이다.
 - . 갯벌 및 하구는 이들 가스의 주요 발생원으로 여겨지나 정량화는 부족하다.
 - . 정량화와 더불어 이들 가스 발생을 조절하는 요인을 밝혀, 향후 기후 변화가 이들 가스 발생에 feed back 으로 혹은 feed forward 로 작용할 것인지를 밝혀야 한다.

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

- 시범 하구와 갯벌을 정하고 이곳에서 장기적으로 메탄 및 아산화 질소 발생량 측정
 - . MIMS system (membrane inlet mass spectrometer)를 이용한 용존 메탄의 정밀한 측정

- . GC-ECD 및 용존가스 추출장치를 통한 아산화질소의 정밀한 측정
- . 퇴적물 배양 시스템 활용
- 환경요인 변화 모니터링
 - . 강수, 담수, 염부 패턴 변화 모니터링

○ **예상성과:**

- 기후변화에 따른 하구 생태계 변화 예측 및 관리 대책 마련
- 인간 활동에 따른 하구 생태계 변화 예측 및 관리 대책 마련

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (○), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간:** 5년

○ **연구비:** 연간 2억

○ **필요인력:** 연구원 2명, 연구보조원 10명.

12. 갯벌 퇴적물에서 온난화물질 (메탄 (CH₄)과 아산화질소(N₂O) 발생량 측정 및 기후변화에 따른 발생량 변동 연구

○ 제안자:

소속: 부산대학교 해양학과, 전공: 퇴적물 생지화학, 성명: 안순모

이메일: sman@pusan.ac.kr

○ 연구 목표:

- 갯벌 퇴적물에서 메탄 (CH₄)과 아산화질소(N₂O)가스 발생량 정량화
- 온난화, 담수 유입 변화에 따른 발생량 변화 파악

○ 국내외 연구동향:

- 하구 갯벌, 염습지는 유기물이 집적되는 환경으로서 메탄이나 아산화질소의 주요 발생원으로 여겨져 왔으나, 국내외 모두 정량화는 매우 부족한 실정임.
- 이들 가스는 온난화 원인 물질일 뿐만 아니라 반대로 기후 변화에 따라 발생량이 변화할 것이나, 이에 대한 연구는 부족한 실정임.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성(예: 2-1), 3-2)):

- 2-1: 인간과 기후변화로 인해 중요한 물리, 화학, 생물학적과정 어떻게 변하였고, 변할 것인가?
 - . 메탄 (CH₄)과 아산화질소(N₂O)는 중요한 온난화 원인 물질이다.
 - . 갯벌 및 하구는 이들 가스의 주요 발생원으로 여겨지나 정량화는 부족하다.
 - . 정량화와 더불어 이들 가스 발생을 조절하는 요인을 밝혀, 향후 기후 변화가 이들 가스 발생에 feed back 으로 혹은 feed forward 로 작용할 것인지를 밝혀야 한다.

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

- 시범 하구와 갯벌을 정하고 이곳에서 장기적으로 메탄 및 아산화 질소 발생량 측정
 - . MIMS system (membrane inlet mass spectrometer)를 이용한 용존 메탄의 정밀한 측정

- . GC-ECD 및 용존가스 추출장치를 통한 아산화질소의 정밀한 측정
- . 퇴적물 배양 시스템 활용
- 환경요인 변화 모니터링
 - . 강수, 담수, 염부 패턴 변화 모니터링

○ **예상성과:**

- 기후변화에 따른 하구 생태계 변화 예측 및 관리 대책 마련
- 인간 활동에 따른 하구 생태계 변화 예측 및 관리 대책 마련

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (○), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간:** 5년

○ **연구비:** 연간 2억

○ **필요인력:** 연구원 2명, 연구보조원 10명.

13. 기후변화대응 해양생물다양성 모니터링

○ 제안자:

소속: 부산대학교 해양연구소, 전공(세부전공): 해산식물계통분류

성명: 이상래, 이메일: sangraelee@pusan.ac.kr

○ 연구 목표:

기후변화에 따른 해양생태계 변화를 해양생물의 종다양성 및 군집구조를 주기적 및 체계적으로 모니터링 함으로써 지속 가능한 해양의 산업적 이용을 통해 국가 경쟁력 확보에 기여함.

○ 국내외 연구동향:

최근 국·내외 정치, 경제 및 사회적으로 이슈가 되고 있는 기후변화 문제는 지구 환경의 급격한 변화에 대한 적응 및 완화 방안의 수립을 절실히 요구하고 있다. 현실적으로 2030년까지 기온 상승을 2°C 이하로 묶기 두기 위해 CO₂ 농도를 450ppm으로 하는 방안이 15차 유엔기후변화협약 당사국 총회에서 다뤄질 예정이다. 지구 표면적의 70%를 차지하는 해양환경의 물리·화학적 변화는 해양생태계 및 연안역 인간생활에 큰 영향을 미치고 있다. 특히 수온 상승, 해수면 상승 및 해양의 산성화로 인하여 인간활동이 집약되어 있는 연안역의 피해가 현실적 문제로 나타나고 있다. 특히 해양생물종의 다양성 및 군집구조 모니터링은 이러한 환경요인의 변화를 생물학적 관점에서 측정할 수 있는 중요한 환경표지이다. 따라서 기후변화에 따른 해양생태계의 변화 모니터링 기법 개발 및 적용과 이를 바탕으로 기후변화에 따른 피해를 최소화하며, 능동적인 적응 및 완화 대책을 마련하는 것이 시급하다. 또한 지속 가능한 해양의 산업적 이용과 국가 경쟁력 확보를 위한 적응 및 완화 방안을 모색하는 것이 과제이다.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성:

1-2, 1-3, 2-1, 2-3, 3-1, 3-2

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

해양 및 연안역의 해수환경시료에 대한 메타게놈분석 (Metagenomics)을 통하여 해양생물종다양성을 분석 및 모니터링한다. 분자생물학적 방법론인 분자마커 (Molecular marker)를 활용하여 environmental PCR 및 clone library 구축 및 엽록체 (cpDNA) 및 미토콘드리아 게놈 (mtDNA) 분석을 통하여 해양생물종다양성에 대한 분자데이터베이스를 구축하고 이를 활용하여 환경요인변화에 대한 생물학적 모니터링 및 예측 모델을 구축한다.

○ **예상성과:**

구축된 분자데이터베이스를 활용하여 해양생물종에 대한 정확한 정보를 제시하며 체계적이고 유기적인 데이터베이스 확보를 통하여 해양생물종다양성 모니터링 및 이를 활용한 해양생태계 변화 예측 모델 구축 및 대안 마련을 할 수 있다.

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (○), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간:** 3년

○ **연구비:** 3억원 (연간 1억원)

○ **필요인력:** 연구원 1명, 연구보조원 1명

14. 기후변화에 따른 해중림 해조군집 생물량 장기 모니터링

○ 제안자:

소속: 부산대학교 해양연구소, 전공(세부전공): 해산식물계통분류

성명: 옥정현, 이메일: oakjh@pusan.ac.kr

○ 연구 목표:

연안생태계에서 육상의 산림과 같은 생산자와 서식지 역할을 하는 주요 해조류 군집의 변동 양상을 주기적으로 조사함으로써, 기후변화와 주변 환경의 변화로 인한 영향을 미리 예측하고 지속가능한 연안역 관리를 달성할 수 있다.

○ 국내외 연구동향:

생물권의 70%를 점유하는 해양생태계는 지구적 물질순환과 에너지흐름에서 많은 주목을 받아왔지만, 최근 기후변화 대응 과정에서 많은 인구가 밀집해 사는 연안역의 관리는 그 중요성을 더해가고 있다. 높은 생물다양성과 많은 생물량을 보이는 연안역은 인간활동으로 인한 파괴를 복원하고자 하는 노력이 일찍부터 시작된 바 있고, 최근 각종 기상 이변의 직접적인 영향을 받는 지역으로 관심이 더욱 높아지고 있다. 연안생태계에서 주요 구성원으로 기능하는 해조류 군집은 국내에서는 “해중림 또는 바다숲”, “바다목장”, 그리고 “갯녹음” 등의 주제로 이슈화되어 왔고, 바이오에너지 원료로 주목받으면서 일본에서는 거대 규모의 양식프로젝트가 추진되고 있기도 하다. 그러나, 국내의 연안역에서 이들 해조류 군집의 변동이 5년 이상의 장기간으로 조사된 경우는 거의 없을 뿐만 아니라, 최근의 급변하는 해양환경으로 인한 영향을 예측하기 위한 목적에서의 연구는 거의 없다시피 하다. 따라서 해조류 군집의 생물량 변동에 대한 장기 모니터링과 실제값을 잘 반영할 수 있는 다양한 측정값과 조사방법에 대한 연구도 함께 제안하고자 한다.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성:

1-2, 2-3, 2-7, 3-2

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

해조군집이 양호한 연안역을 우선 조사지역으로 기본적인 baseline 자료를 확보하고, 다양한 변동 양상을 보이는 여러 지역과 비교 보충조사를 통하여, 생물량 변동을 추론할 수 있는 생물요소 및 환경요소 값들을 추출한다. 이들 요소에 대한 회귀분석과 적용, 보정과정을 통하여 특정지역의 해중림 변동을 추론하기 위한 조사요소들과 관계식을 확정하고, 데이터베이스를 구축한다.

○ **예상성과:**

해조군집의 생물량을 예측하기 위한 데이터베이스는 주요 우점종을 중심으로 각 연안역 해중림의 해조류 종들에 대한 양상을 파악할 수 있어, 연안역의 체계적인 관리와 이용을 가능하게 할 것이다. 향후 주요 양식종들처럼 인간의 이용이 새롭게 늘어날 일부 종에 대해 생산 적지의 선정, 자연개체군의 다양성 유지 등의 문제를 해결하는데도 유용할 것으로 기대된다.

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (), 개조 (), 기존 (), 연계 (o)

○ **연구기간:** 5년

○ **연구비:** 23억원 (1차년도 3억원, 이후 연간 5억원)

○ **필요인력:** 연구원 10명, 연구보조원 20명

15. 광합성 특성 및 조직 내 영양분 함량을 통한 거미리말 개체군 및 연안지역 건강도 평가 지수 개발 (Development of a health index for eelgrass, *Zostera marina* and coastal area based on photosynthetic characteristics and tissue nutrients contents)

○ 제안자:

소속: 부산대학교 기초과학연구소

전공(세부전공): 식물학(해양생물생리생태학), 성명: 박상률

이메일: srv99park@pusan.ac.kr

○ 연구 목표:

주요 잘피 우점종을 대상으로 장기모니터링 연구체계를 확립하고 잘피의 생리생태학적 특징을 이용하여 개체군 생태학적 건강도 지수 및 연안 지역의 오염 상태를 등급화 한다. 본 연구를 통해 획득된 자료를 바탕으로 잘피 생육지 및 연안 지역의 보존 및 복원 정책을 수립하는데 필요한 과학적 자료를 제공한다.

○ 국내외 연구동향:

가. 국내 연구 동향

- 우리나라의 잘피에 대한 연구는 과거에 주로 분류학적 연구가 다수 수행되었으나, 최근 잘피 생육지의 생태학 및 수산경제학적 기능의 중요성이 부각되면서 잘피의 분포 및 생리생태학적 연구가 다수 수행되었다.
- 매년 발생하는 적조현상과 연안 지역의 개발과 매립 등으로 파괴된 잘피 생육지의 자연 복원 현상 및 생리적 변화에 대한 연구가 수행되었다.
- 잘피 개체군의 외부형태적 변이, 생체량, 생육밀도 및 생산성을 측정하여 다른 지역의 비교적 건강한 생육지와 비교하여 건강도를 평가하였으나, 많은 비용과 시간이 필요하며, 실험이 끝난 후에 검정해야 하는 단점이 가지고 있다.
- 연안 지역에서 발생하는 부영양화(eutrophication)의 정도에 대한 평가 및 예측은 주변 생물과의 상호작용에 의해서 정확히 판단하기가 어려운 것으로 알려져 있으나, 본 연수자의 연구팀은 잘피의 생리생태학적 자료와 조직 내 영양분의 대사 변화를 이용해서 연안 지역의 영양염 오염 정도를 평가할 수

있는 지표 개발에 대한 가능성을 제시하였다.

- 따라서, 기존 방법의 단점을 보완하고 비교적 간단하게 그리고 종합적인 자료를 토대로 잘피 개체군 및 연안 지역의 건강도를 평가할 수 있는 지표 개발이 절실하다.

나. 국외 연구 동향

- 잘피 생육지의 중요성은 오래전부터 인식하여 중요한 연안의 자원으로 보호 받고 있으며, 전 세계적으로 잘피 생태에 관한 연구 실적이 매 4년당 2배씩 빠르게 증가하고 있다.
- 최근에 연안개발이나 환경오염, 그리고 wasting disease와 같은 질병 등에 의해서 잘피 생육지가 급격하게 감소하여 다양한 보존프로그램과 이식 방법을 통한 복원에 많은 노력을 기울이고 있다.
- 과도한 무기영양염류의 유입으로 발생한 부영양화에 의한 피해를 최소화기 위해, 연안 지역의 부영양화를 조기에 발견할 수 있는 방법과 잘피를 이용하여 주변 지역의 수질을 등급화시키는 연구를 시도하고 있다.
- 그 중 해조류와 잘피를 이용한 연안 지역의 영양염 오염도지표 개발이 꾸준한 성과를 나타내고 있으며, 안정동위원소 기법을 이용한 연안 지역의 부영양화 지표 개발도 보고되었다.
- 잘피의 성장은 환경적 요인에 의해서 달라지는데, 이러한 근거를 통해 다양한 환경에 노출된 잘피의 광합성 특성에 대한 연구가 다수 수행되었으며, 이를 통해 잘피 개체군의 건강도 및 연안지역 오염 지수 개발이 가능해졌다.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성:

1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 2-4, 2-6, 3-1, 3-5

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

- 1) 잘피 생육지의 물리화학적 환경요인 파악
 - 수온, 수중 광량, 염도
 - 해수 및 퇴적물 공극수 내 무기영양염류의 농도
 - 퇴적물 내 유기물 함량
- 2) 잘피의 개체군 변동 및 생산성 측정
 - 잘피 개체의 외부형태학적 특성

- 개체군 밀도 및 생체량 개체군 변동
- 잘피의 생산성
- 3) 잘피 개체군의 광합성 특성 및 광합성 색소 분석
 - 형광을 이용한 광합성 특성 분석
 - 잘피 잎 조직 내 광합성 색소량 측정
- 5) 조직 내 탄소와 질소 대사 변화를 통한 영양염 오염지표 개발
 - 잘피 조직 내 탄소 및 질소 함량 측정
 - 단위면적당 무게 (leaf mass)와 식물 조직 내 질소 함량을 통한 영양염 오염 지표(NPI) 개발
- 6) 안정동위원소를 이용한 오염 등급화
 - 잘피 조직 내 탄소 및 질소 안정동위원소 조성비

○ **예상성과:**

1) 기대효과

- 잘피의 생리생태학적 특성과 조직 내 영양분의 대사 순환을 통해서 생태계 구조와 기능을 이해하고 물질순환과 에너지 흐름을 파악할 수 있다.
- 잘피의 성장 양상에 따른 각 지역에 적합한 보존 프로그램을 수립하는데 정보를 제공한다.
- 잘피의 광합성 특성과 조직 내 안정동위원소 비율을 통해 잘피의 생리적 건강도 및 연안 지역의 오염상태를 등급화시킬 수 있다.
- 잘피를 이용한 환경친화적 오염 지표 개발을 통한 연안의 부영양화 진행정도 파악과 잘피 생육지의 환경 요인과 잘피의 생리생태학적 특성을 지속적으로 모니터링하고 그 결과를 비교 분석함으로써 효과적인 잘피생육지 관리 기술을 확보할 수 있다.

2) 활용방안

- 본 연구에서 개발된 잘피 및 연안 지역의 건강도 평가 지수를 한반도 전역에 확대 적용한다.
- 잘피를 이용한 연안 지역의 건강도를 권역별로 설정하여 각 지역에 적합한 보존 관리 기술 수립한다.
- 본 연구 통해 연안생태계의 효과적인 보전과 보호 정책 수립에 중요한 과학적 자료를 제공한다.

- 본 연구 과제의 결과를 국제저명학술지 및 학술대회에 발표하여 건강도 평가 지수에 대한 효용성을 국제적으로 인정받는다.

- **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**
 - 신규 (), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

- **연구기간:** 6년

- **연구비:** 6억원 (연간 36억원)

- **필요인력:** 연구원 5명, 연구보조원 10명

16. 해조 복합양식의 효율성 평가와 관리를 위한 생태 모델 연구

○ 제안자:

소속: 부산대학교 해양연구소

전공(세부전공): 생물해양(해조류 복합양식)

성명: 강윤희, 이메일: unirang@pusan.ac.kr

○ 연구 목표:

환경 친화적인 해조 복합 양식 기술 개발을 위해서는 시스템의 효율성과 적용 가능성에 대한 판단이 절실히 필요하다. 본 연구에서는 해조 복합양식에 대한 생태 모델링을 통해 생물학적인 양식 기술로써 환경 친화적인 양식 시스템인 가, 사회 경제적으로 중요한 수익성 확보와 경쟁력 있는 산업으로 발전할 수 있는가에 대한 검증에 대한 검증에 대한 것이다.

○ 국내외 연구동향:

해조 복합양식의 가능성은 이미 70년대 중반 Ryther가 제시한 바 있었으나 관심을 끌지 못하였지만, 최근 집약적인 기업형 어류양식의 배출수에 대한 엄격한 수질 규제를 극복하는 방안의 하나로 노르웨이, 유럽연합, 칠레, 하와이, 이스라엘, 캐나다, 미국, 남아프리카, 중국, 홍콩 등 여러 나라에서 다각적으로 복합양식 시스템에 대한 연구와 개발이 이뤄지고 있다. 현재 많은 연구들이 다국적 대규모 프로젝트에서 수행된 결과로 유럽쪽의 'SEPURA', 'BIOFAQs', 'GENESIS' 와 캐나다의 'AquaNet'가 이에 속한다. 국내의 복합양식 개발은 1990년도에 수산특정 연구개발 사업의 하나로 시작되어, 양식업의 안정적인 생산과 단위 면적당 생산성 제고를 위해 4년 동안 4개 해역에서 수행한 연구 결과, 합리적이고 효과적인 복합양식장 개발 지침이 제시되었다. 그러나 경제적인 여건과 실제 적용이 어려워 거의 실시되지 않고 있는 실정이다.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성:

1-3, 1-4, 2-4, 3-5

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

- 해조 생리 생육에 관한 DB 구축
 - 해조종은 김, 파래, 미역, 다시마, 꼬시래기, 청각, 갈파래 등으로 양식종과 현장종을 대상으로 분석함
 - 양식종과 현장종의 환경요인(광도, 수온, 영양염 농도 등)에 따른 해조의 영양염 흡수율 측정함
 - 해조 조직 내 탄소, 질소와 인의 함량을 분석하여 업체의 성장에 필수적인 무기영양염류의 대사 양상에 대해서 알아봄
 - 해조류의 환경요인에 따른 영양염 흡수를 통해 광합성 효율을 측정하여 해조의 생리 활성을 알아봄
 - 양식장 모니터링과 자료 수집
 - 기존의 가두리 양식장이나 육상 양식장을 선정하여 지속적인 모니터링을 통해 물리, 화학, 생물학적인 환경 자료를 수집함
 - 해조 복합 양식 시스템을 적용한 생태 모델링
 - 단계별 모델 적용 (기초단계: 환경 요인들에 따른 해조종과 영양염의 변화를 통해 해조의 영양염 제거 효율성을 예측할 수 있는 species-selection model (종 선택 모델) 개발, 초기 적용단계: 해조 생리 생육에 관한 자료와 양식장 모니터링을 통한 자료를 이용하여 현장 적용 가능한 중규모 모델 개발, 현장 적용단계: 기존 양식장을 선정하여 양식장의 물리, 화학적 요인을 고려하여 영양염 flux를 조사하고, Stella model을 이용하여 해조 복합 양식 시스템을 적용한 생태 모델 개발)
 - 모델 적용 결과 효율성과 재연 가능성 평가
 - 수집한 자료를 종합하고 분석하여 모델 적용의 재연 가능성과 효율성을 평가함
- **예상성과:**
- 환경 친화적인 양식방법으로 양식장 배출수 처리에 따른 수질 개선과 연안 환경 복원하고, 해역의 특성을 고려한 해조 종 적용을 통한 양식종의 다양성 확보하여 다양한 수산물의 수확을 할 수 있을 것이다. 또한 환경 친화적인 해조 복합양식 개발은 연안 생태계 오염을 저감 시키는 양식 방법으로, 연안역 종합 관리 방안 검토의 중요한 자료로 이용 할 수 있을 것이다.

- **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**
 - 신규 (), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

- **연구기간:** 3년

- **연구비:** 3억원

- **필요인력:** 연구원 5명, 연구보조원 5명

17. 해양 동물성 부유 생태계 구조 분석을 위한 자동화 시스템 개발

○ 제안자:

소속: 부경대학교, 전공(세부전공): 수서동물 분자생리학

성명: 김현우, 이메일: kimhw@pknu.ac.kr

○ 연구 목표:

분류학, 생태학, 분자생물학, 및 공학의 융합적 연구를 통한 해양 부유성 생물의 정량 및 정성적 분석법을 개발하고 이들의 물리적 화학적 요소와의 상관관계를 분석한다.

○ 국내외 연구동향:

- 국내

현재 국내의 동물성 플랑크톤의 분석은 전적으로 숙련된 전문가들에 의존하고 있으며 아래의 많은 문제점을 포함하고 있다.

1. 전문인력의 부족으로 인한 데이터의 신뢰성에 관한 문제점
2. 분석시 상당한 시간으로 인한 연구 범위의 한계
3. 다량의 샘플중 연체조직성 생물에 관한 연구 취약
4. 발달 단계별 다른 형태를 가지고 있는 동물성 플랑크톤에 관한 연구 부족
5. 플랑크톤의 정량적 정성적 분석의 한계로 인한 해양의 물리적, 화학적 인자와의 상관관계 규명의 어려움
6. 인력 및 시간의 문제로 인한 부유생태계의 구조 분석의 한계

- 국외

국외의 플랑크톤 분석 장치를 조사한 바에 따르면 Laser Optical Plankton Counter (ODIM LOPC)가 개발되어 동물성 플랑크톤의 profiling할 수 있는 시스템이 개발되어 있다. 비교적 빠르고 정량적 분석도 가능하나 아직은 신뢰성에 여러 가지 극복해야할 문제점을 안고 있다. 현재 100 μ M의 resolution을 가지고 있으며 이미지 patterning은 1mm 이상의 수준에서 가능한 것으로 알려져 있다.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성 (예: 2-1), 3-2)):

해양 동물성 플랑크톤은 해양의 물리적, 화학적 환경과 밀접한 관계를 맺고 있

으며 특히 이들이 먹이 그물망에서 차지하는 위치로 보아 미생물의 군집, 식물성 플랑크톤, 그리고 상위포식자에 이르는 다양한 생물적 상관관계를 가지고 있기 때문에 미래의 기후변화 및 인위적 행위에 따른 해양 환경의 변화를 이해하는데 아주 중요한 위치를 차지한다. 따라서 본 연구는 연구주제의 큰 3개의 연구 주제 중 2번과 3번인“생태계가 자연적인 그리고 인위적인 영향에 어떻게 반응하며, 미래에는 어떻게 변하게 될 것인가?” “인간의 활동이 어떻게 연안 생태계에 영향을 미치며, 사회는 이와 같은 생태계의 변화에 의해서 어떻게 영향을 받는가?” 의 주제를 이해하기 위해 선행되어야 할 과제라고 생각한다. 또한 본 연구의 최종 목표는 3-2와 일치한다.

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법에 있어서는 4) 관측항목 및 관측시스템 개발사업과 일치합니다.

○ 예상성과:

- 부유생물 자동 분석 시스템 개발을 통한 해상도가 높은 생태계 구조 분석
- 기후 변화 혹은 인간의 활동에 의한 해양 환경의 변화에 따른 생태계 구조의 변화를 분석할 수 있는 기초 자료 제공
- 다양한 생태계 모델링의 양질의 데이터 공급
- 아래의 [그림]은 완성된 동물성 부유생물 자동 분석 시스템의 모식도이다.

○ 관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):

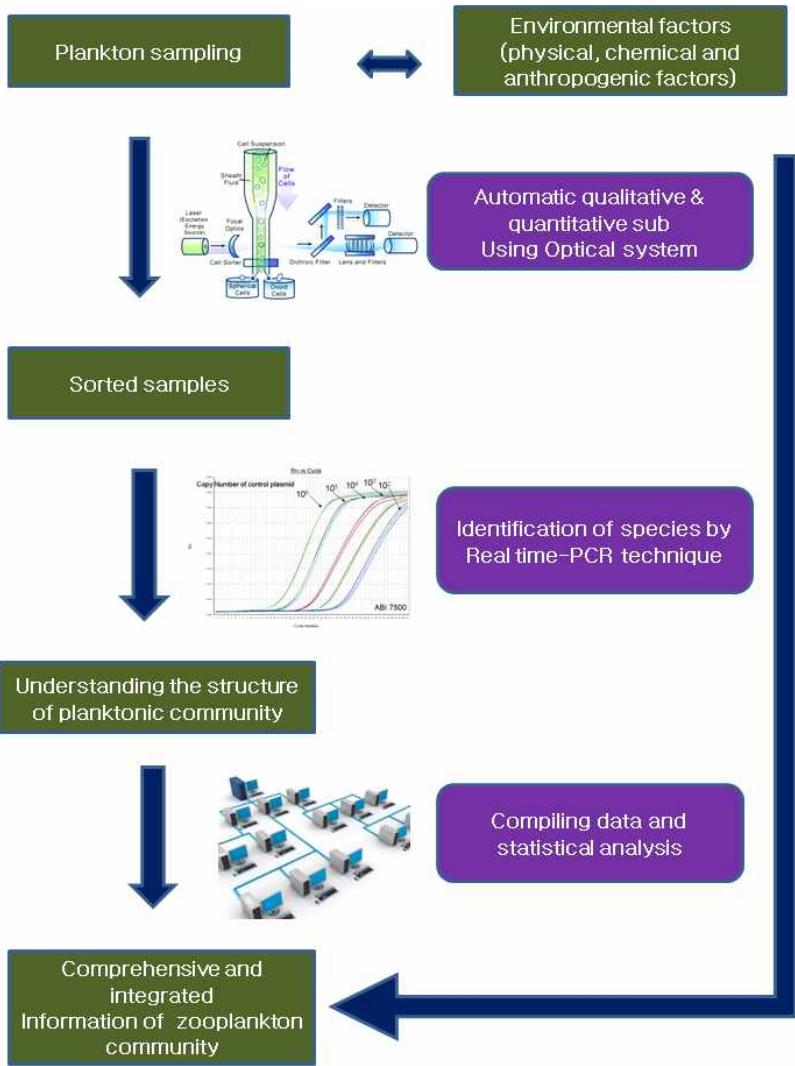
- 신규 (), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ 연구기간: 3년

○ 연구비: 연 1억 5천 (총 4억 5천)

○ 필요인력:

연구원 4명 (동물성부유생물학, 해양화학, 분자생물학, 나노공학 전공자 각1명), 연구보조원 4명.



[그림]

18. 한반도주변해 혼합층깊이(MLD) 분석 및 전망

- 과거 자료 분석 및 모델링을 이용한 미래 전망

○ 제안인:

성명: 장찬주, 소속: 한국해양연구원, 전공: 해양물리/수치모델링

전자메일: cjjang@kordi.re.kr

○ 연구목표:

한반도주변해 과거 해양혼합층깊이(MLD) 분석

- 수온, 염분 관측 자료를 이용한 MLD 계절변화 및 공간변화 제시

한반도주변해 미래 MLD 변화 및 생태계 변화 전망

- 수치모델링을 이용한 미래 (10년, 20년, 30년 후) MLD 전망
- 1차원 생태계 모델링을 이용한 생태계 변화 전망

○ 국내외 연구동향:

국외 동향

- MLD 분포 및 미래 변화 전망은 CO₂ 해양 흡수와 관련된 기후변화, 수산 자원 변동과 관련하여 매우 활발한 연구 분야임
- 북태평양 (Carton et al., 2008), 북대서양 (Schott et al., 2009), 남빙양 (Dong et al, 2008) 등 과거 MLD 변화 연구가 활발함
- 북태평양 (Merryfield and Kwon, 2007) 등에 대한 미래 MLD 변화에 대한 연구도 기후변화에 해양의 반응 및 해양의 역할 측면에서 활발하게 연구되고 있음

국내 동향

- 기후변화, 생물자원 변동과 관련하여 일부 연구가 있으나 본격적인 연구는 매우 제한적임
- 플랑크톤 번성, 수산자원 변동 등의 측면에서 생물학자를 중심으로 MLD 변화에 대한 연구가 있었으나 MLD의 계산 방법, 해역 전체에 대한 시·공간 변화에 대한 체계적이고 종합적인 연구가 부족함.
- Lim et al. (2009)은 과거 수온/염분 관측 자료를 이용하여 동해 해양혼합층 깊이 계절 및 공간 변화를 제시하였음

- Yeh et al. (2009)은 열대태평양 해면수온 미래 변화가 열대태평양 MLD와 밀접한 연관이 있음을 밝힘
- Jung et al. (2008)은 수산과학원 정선 관측 자료를 이용하여 MLD 장기 선형변화 경향을 제시하였음
- 미래 북태평양MLD는 전체적으로 50% 이상 감소하며 쿠로시오확장역 이남은 감소하고 이북은 증가하는 경향이 있음(장, 2009)
- 한반도주변해 전체 해역에 대한 MLD 과거 및 미래 변화에 대한 연구는 매우 제한적이며, **종합적이고 체계적인 연구가 필요함**

○ **FUTURE** 주제와의 연관성: 1-1

○ **추진방법 및 전략:**

- 한반도주변해 **역사자료** 수집 및 데이터베이스 구축
 - WOD, Argo뜰개 등 수온/염분 프로파일을 이용한 MLD 계산
 - 계산한 MLD 자료 격자화 및 데이터베이스화
 - 장기평균 MLD 시·공간 분포 통계특성 계산
- 한반도주변해 **연계 & 상세 해양순환 및 1차원 생태계 모형**
 - 고해상도 해양순환모형→ 해류/성층 정밀 국지예측이 가능
 - 지구온난화 시나리오를 이용한 미래 MLD 변화 전망 실험
 - 미래 MLD 변화 전망에 근거한 1차원 생태계모형 실험
 - 미래 MLD 시·공간 분포 통계특성 계산
- 국내협력**
 - 관련 전문기관/전문가와 협동/자문 연구
 - 수산과학원,해군사관학교,부경대,해양대 관련 전문가와 협동연구
- 국제협력**
 - MLD 관측 자료 분석 관련 전문가 협동/자문 연구
 - WHOI(박종진, 권영오), 텍사스A&M대학(Benjamin Giese교수)
 - 지역해 해양-대기 접합 모델링 국제 전문가 협동/자문 연구
 - 하와이대학I(김형진, 서효대), 텍사스A&M대학(Jenshan)

○ **예상성과:**

정성적 성과

- 한국 주변해 과거 및 미래 MLD 시공간 분포 제시
- 국제 협동/자문 연구를 통해 한국 주변해에 대한 관심 고취
- 한반도 주변해 MLD 및 생태계 변화 데이터베이스 시스템

정량적 성과

- 논문: SCI: 5편, 비SCI: 3편

○ **관련과제:**

- 신규 (O), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간:** 4년 (2010-2013)

○ **연구:** 20억 (5억/년)

○ **소요인력:** 연구원 7명/년, 연구보조원 4명/년

연구원: 총 7명/년

- 과거 MLD 자료: 2명- 수집 (1명) & 분석 및 database (1명)
- 한반도 주변해 연계&상세 모형 및 1차원생태계 모형 수립: 3명
- 한반도 주변해 미래 전망: 2명 - 수치실험(1명) & 분석 (1명)

연구보조원: 총 4명/년

- 과거 MLD 자료구축, 모델링 수행, 모델링 결과 분석&가시화 보조

19. 동해 저차생물생태계 변동 특성 규명

○ 제안자:

소속: 국립수산과학원 동해수산연구소

전공(세부전공): 위성해양학/수산해양학, 성명: 김상우

이메일: swkim@nfrdi.go.kr

○ 연구 목표:

기후변화에 따른 동해 주요 상업어종(오징어, 명태, 도루묵 등)의 수산자원 변동 예측을 위한 동해 종합해양환경조사 및 저차생물생태계 변동 파악.

○ 국내외 연구동향:

- 한국, 일본 및 러시아에 둘러싸여 있는 동해는 각 국에서 해양환경 및 자원에 관한 많은 연구가 수행되었음에도 불구하고 국지적인 연구 및 자국의 이해관계에 의한 연구로 편중되어 있음.
- 동해를 둘러싼 3국의 기존 해양조사 범위 및 현행 연구체제로는 해양 환경 변화를 이해하고 예측하는데 한계가 발생
- 기후변화 및 이상해황 변동 등에 의한 동해의 해양환경 특성을 재조명하기 위한 종합적인 국제공동연구 및 협력의 필요성 증대.
- 동해를 3국이 전반적으로 이해하기 위한 새로운 해양조사 정점의 발굴과 이상해황(태풍, 유류오염, 적조 등) 발생시 신속한 대처가 가능한 모니터링시스템 구축이 필요.

○ 연구 주제의 FUTURE 주제와의 관련성:

1-2, 2-1, 2-3, 3-1, 3-5

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근 방법:

- 동해 동서 및 남북 횡단 종합해양환경 국제공동조사(한국, 일본, 러시아)
- 동해 표층의 수온전선(극전선)에 따른 해양생태계 변동 특성 규명
- 냉·난수 eddy 형성에 따른 해양생태계 변동 특성 파악
- 혼합층 변동에 따른 저차생물 해양생태계 변동 특성 파악

- 동해 심층수 순환과 저차생물 생태계와의 관계 규명
- 동해 저차생물 생태계 변화에 따른 어류자원 변동 기구 규명
- 동해 냉·난수성 어족 자원변동 예측시스템 구축

○ **예상성과:**

해양관측 조사 및 연구를 통하여 동해 해양환경 및 자원관리에 대한 보다 정확한 정보를 제시하며, 체계적인 데이터베이스 확보와 모니터링으로 해양생태계 및 수산자원 변화 예측 모델 구축과 대안을 마련할 수 있다.

○ **관련과제 (아래 가운데 하나를 선택):**

- 신규 (), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간:** 5년

○ **연구비:** 15억원 (3억/년)

○ **필요인력:** 연구원 10명, 연구보조원 5명

20. 북태평양 해양 생태계 정보의 공유, 처리 및 보급 역량 강화를 위한 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 개발

Development of the framework of the open FUTURE data management system for building up the increased capability of data sharing, access and dissemination for North Pacific Marine Ecosystem.

○ 제안자:

- 공동제안자1:

- ✓ 소속: (주)자연사연구소
- ✓ 성명: 변현숙
- ✓ 전공(세부전공): 지질학(해양미고생물학)
- ✓ 이메일: dinobyun@hanmail.net

- 공동제안자2:

- ✓ 소속: (주)GG21
- ✓ 성명: 이상지
- ✓ 전공(세부전공): 전자공학(영상처리)
- ✓ 이메일: szeelee@unitel.co.kr

○ 연구목표:

- 국가별 기관별로 독립적인 다수의 이중 분산 시스템, 서비스 및 DB간의 상호 운용성이 보장되는 개방형 북태평양 해양 생태계 정보관리시스템 프레임워크 개발
- 각각의 시스템은 기존의 독립적인 운용 방식을 동일하게 지원하고, 상호 연동이 필요한 경우에는 본 과제에서 제안하는 프레임워크 기반으로 연동서비스를 병행 지원하는 방식을 택함으로써 기존 서비스의 연속성을 유지하면서 점진적인 개선이 가능하도록 개발
- 다양한 해양 생태계 정보의 공유, 처리 및 배포 과정을 통하여 상호운용성을 보장하기 위해 핵심적으로 필요한 인터넷 DNS 기반의 범세계적으로 고유한 정보식별체계 기술 개발
- 회원, 국가, 주주 및 일반 수요자 등의 적극적인 참여와 상호 작용의 활성화를 위하여 웹과 모바일 통합 인터넷 기반으로 카페, 블로그, 이메일, 메신저,

트위터 등의 다양한 수단을 통해 쉽고 편리하게 정보를 공유할 수 있도록 정보식별체계 응용 기술 개발

- 해양 생태계 정보관리시스템 프레임워크를 기반으로 다양한 응용시스템 개발을 지원하는 Open API 개발 및 공개
- 핵심기술 개발, 시범서비스 개발 및 전체 시스템 확장 등의 3단계로 구분하여 단계별 개발 계획 수립 및 시행

○ 국내외 연구동향:

- 북태평양지역의 해양 생태계 변화, 기후변화, 인위적 영향 등의 종합적 분석 및 예측을 위해 PICES 회원국들 간의 물리적, 화학적, 생물학적 DB의 통합 DB시스템이 구축되어 있지 않음
- 국내의 경우 역시 이종 시스템의 DB format 일체화 방식에 소요되는 엄청난 비용, 시간, 노력 등을 우려하여 각 기관별 해양 DB의 통합시스템구축이 구축되어 있지 않음
- 본 과제의 기존의 독립적인 운용 방식을 동일하게 지원하고 DB간의 상호운용성이 보장되는 범세계적인 개방형 정보식별체계 기술은 2000년도에 세계 최초로 국내에서 발명되어, 현재 10개국에 등록을 완료하였고 기술표준원에서 ISO/TC211 국제표준화 신규제안서를 제출한 이후 ISO 19151 신규 표준화 추진과제로 승인되었음
- Google 지도 Open API를 활용하여 주로 위치기반서비스 분야에서 정보식별체계 기술을 적용한 고객 중심의 상용 서비스를 수년 동안 제공함으로써 해당 기술의 신뢰도를 확보하였음
- 이종 분산 서버간 연동 시스템은 실 세계와 가상세계를 연계하는 유비쿼터스 환경에서의 핵심 요소 기술로 인식되면서 활발한 연구가 국내에서 진행되고 있으며, 통합 정보식별체계를 기반으로 웹과 휴대폰을 연계한 위치기반서비스가 개발되어 국내 이동통신3사의 휴대폰에서 서비스가 제공되고 있음
- 외국에서는 유사한 기술의 연구개발 사례가 없는 것으로 파악하고 있으며, 국내 연구개발 결과를 활용하여 국제적인 공동 연구를 선도하거나 해외 수출 가능성이 기대됨

○ 연구주제의 FUTURE 주제와의 연관성:

- 2-1) 주요 물리적, 화학적, 생물학적 과정은 어떻게 변했으며, 어떻게 변화하고 있으며, 그들은 어떻게 기후 변화와 인간 활동의 결과에 의해서 변하게 되는가?

○ 해당 FUTURE 주제를 다루기 위한 접근방법:

- (4-5) 자료관리기법 및 소프트웨어 개발 사업

- ✓ 범세계적인 통합 정보식별체계 규격 설계 및 공통 핵심기술 개발
- ✓ 정보식별체계를 기반으로 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 설계 및 개발
- ✓ 국가별 기관별 각각의 DB서버에 구축하는 해양 생태계 정보DB에 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 규격을 적용하여 이중 분산 DB간 상호운용성 확보를 위한 기반 마련
- ✓ 해양 생태계 정보의 공유, 처리 및 보급을 위한 응용 소프트웨어에 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 규격을 적용하여 상호 운용성 확보
- ✓ 개방형 FUTURE 정보관리시스템에서는 범세계적으로 고유한 정보식별체계를 기반으로 각각의 DB서버 별로 독립적으로 필요한 정보의 신규 등록, 수정, 삭제 등이 자유롭게 이루어지며, 다수의 이중 분산 DB 서버에 등록된 정보는 고유한 정보식별ID를 이용하여 준 실시간으로 검색 및 공유가 가능함
- ✓ 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 지원 Open API를 개발하여 공개함으로써 다양한 응용 시스템 개발 시 활용 가능하도록 지원

- (4-6) 자료보급 및 유통사업

- ✓ 회원, 정부, 정보관리자, 주주 및 일반인 등의 수요자간에 자료보급 및 유통을 위한 Online 정보 보급 프로토콜 마련
- ✓ 다수의 이중 분산 DB에 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 규격을 적용하여, 각각의 자료에 범세계적으로 고유한 정보식별ID를 부여하여 DB에 등록 저장하고, 응용시스템에서는 정보식별ID를 이용하여 정보가 저장된 서버에 자동으로 접속하고 정보를 검색하여 해당 정보를 쉽게 활용할 수 있도록 구현
- ✓ 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 지원 Open API를 이용하여 개발한 응용 시스템에서 수요자가 필요로 하는 관련 정보를 자동으로 쉽고 빠르게 교환할 수 있도록 기능 구현

○ **예상성과:**

- 국가별, 기관별로 독립적으로 구축하는 이중 분산 시스템, 서비스 및 DB간 완벽한 상호운용성이 보장되는 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 개발
- 범세계적으로 고유한 정보식별체계를 기반으로 정보를 등록 저장하는 경우, 유연성과 확장성이 뛰어나고 권한을 부여 받은 사용자는 누구든지 쉽게 정보를 등록 검색할 수 있는 사용자 중심의 개방형 서비스가 가능함
- 지역적으로 광범위하고 다양하고 방대한 해양 생태계 정보를 국가별, 기관별, 목적 별로 분산된 DB서버에 독립적으로 등록 저장 관리하면서도, 이중 분산 DB간에 쉽게 연동하여 활용하는 것이 가능함.
- 다수의 이중 분산 시스템, 서비스 및 DB 간의 연동을 통해 정적인 정보 뿐 아니라 동적으로 변화되는 정보의 준 실시간 공유 및 처리가 가능해짐으로써, 예측 능력과 예측 정확도의 향상이 기대됨
- 개방형 FUTURE 정보관리시스템 프레임워크 활용으로 다양한 응용 시스템 개발 비용 및 시간 절감에 따른 효용성 증대

○ **관련 과제:**

신규 (○), 개조 (), 기존 (), 연계 ()

○ **연구기간: 총5년**

- **개방형 FUTURE 정보관리시스템 핵심기술 개발(소계: 2년)**
 - ✓ 개방형 FUTURE 정보관리시스템 설계 및 개발(1년차)
 - ✓ 개방형 FUTURE 정보관리시스템 개발(2년차)
- **개방형 FUTURE 시범서비스 개발(소계: 1년)**
 - ✓ 개방형 FUTURE 시범서비스 개발(3년차)
- **개방형 FUTURE 통합시스템 개발(소계: 3년)**
 - ✓ 개방형 FUTURE 통합시스템 설계 및 개발(4년차)
 - ✓ 개방형 FUTURE 통합시스템 개발완료(5년차)

○ **연구비: 총160억원**

- **개방형 FUTURE 정보관리시스템 핵심기술 개발 (소계: 40억원)**
 - ✓ 1년차: 개방형 FUTURE 정보관리시스템 설계 및 개발(20억원)

- √ 2년차: 개방형 FUTURE 정보관리시스템 개발(20억원)
- 개방형 FUTURE 시범서비스 개발(소계: 30억원)
 - √ 3년차: 개방형 FUTURE 시범서비스 개발(30억원)
- 개방형 FUTURE 통합시스템 개발(소계: 90억원)
 - √ 4년차: 개방형 FUTURE 통합시스템 설계 및 개발(40억원)
 - √ 5년차: 개방형 FUTURE 통합시스템 개발완료(50억원)

○ 필요인력:

- √ 1년차: 15 Man Year
- √ 2년차: 15 Man Year
- √ 3년차: 20 Man Year
- √ 4년차: 30 Man Year
- √ 5년차: 30 Man Year

부록 6. IFRAME - 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측, 이용 관리

부록 6. IFRAME - 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측, 이용 관리 (Integrated Fisheries Risk Assessment, Forecasting, and Management for Ecosystems)

1. IFRAME 의 구조 및 방법

생태계 차원에서의 자원관리를 하기 위해 개발된 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측 및 이용 관리 (Integrated Fisheries Risk Assessment, Forecasting, and Management for Ecosystems (IFRAME)) 구조 및 방법은 아래의 그림 1과 같이 크게 3부분인 평가, 예측, 관리로 나뉘는데, 첫째, 평가 부분에서는 생태계 구조 평가 및 위험도 평가를 실행하고, 둘째, 예측 부분에서는 생태계 구조 예측 및 위험도 예측, 셋째, 관리 부분에서는 관리의 평가 및 시행이 수행된다.

가. 평가 (Assessment)

생태계 구조 및 위험도 평가를 실행하기 위해서 현재 또는 어느 한 시점의 생태계의 구조를 파악 및 위험도를 평가하는 과정이다. 이 과정은 생태계에 서식하는 생물종의 파악, 생물군(종)의 그룹핑, 생태계 구조 모델을 통한 생태계 구조 파악 및 각 지표 및 기준점 등을 통한 위험도를 분석하는 단계로 구성된다.

1) 서식종 파악

- 대상해역에 서식하는 모든 생물들, 즉, 기초생산에서부터 최고포식자 (상어류, 고래류)에 이르기까지 모두 파악되어야 하며, 또한 해양생물은 아니지만 이들에게 직·간접적으로 영향을 미치는 바다새 류까지 포함시킨다.

2) 생물군(종) 그룹핑 (SOM)

- 생태계 모델에서는 서식지, 먹이습성 등 유사한 생태학적 특성에 따라 여러 종을 하나의 생물군으로 묶어서 생태계 모델에 적용하여야 하며, 대상생태계에 서식하는 생물들을 생태학적 유사성에 따라 그룹핑하기 위해 인공지능망을 인지하는 테크닉의 하나인 자가구성법 (self-organizing mapping, SOM)을 사용한다.

3) 생태계구조 파악

- NPZ 모델의 하나로 북태평양 해역을 대상으로 개발된 NEMURO 모델은 해양의 저차생태계를 기반으로 하여, 동·식물플랑크톤의 생체량과 생산량-생체

- 량의 비를 구하는데 사용한다.
- 기타 입력 파라미터

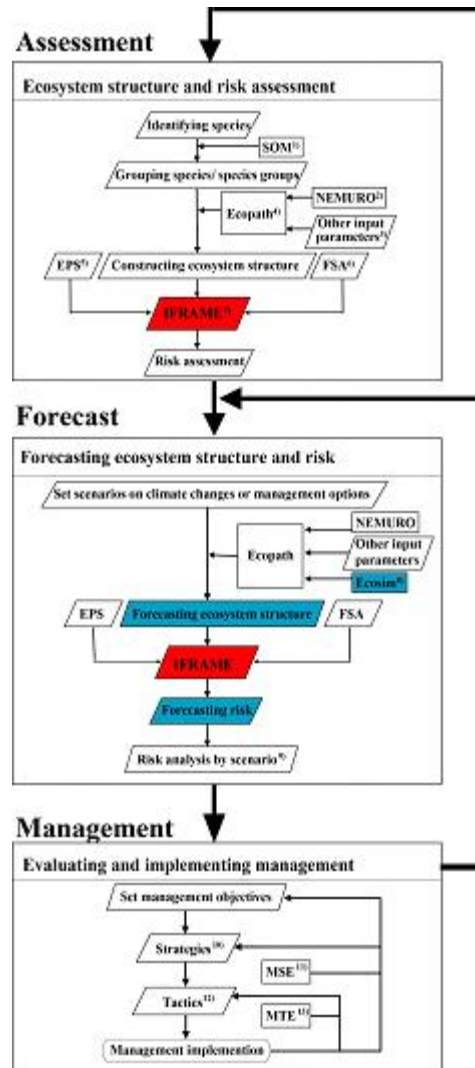


그림 1. 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측 및 이용관리 (Integrated Fisheries Risk Assessment, Forecasting, and Management for Ecosystems (IFRAME) 방법

생태계의 구조를 파악하기 위해서는 생태계 내 생물종들이 서로 먹고 먹히는 관계에 있기 때문에, 많은 자료가 필요하다. 따라서 생물군별 생체량 (B), 섭식량 (Q)과 피식-포식 관계 (DC), 생물학적 생산량 (P), 어획량 (C), 그리고 영양효율 (EE)에 대한 정확한 정보 수집은 필수적이다.

생태계 구조 모델 (Ecopath 모델)에 필요한 하위영양단계의 자료는 NEMURO 모델에서 추정되나, 기타 상위영양단계의 종 또는 그룹에 대한 자료는 직접추정을 하거나 참고문헌을 통해서 얻어져야 한다.

- Ecopath

지금까지 많은 생태계 분석 모델들이 제시되었지만 해양생태계의 영양관계 분석에 사용되는 실용적인 방법은 Polovina (1984)에 의해서 개발된 Ecopath 모델이다. 이 모델을 사용해서 생태계의 구조와 기능을 설명해 주는 다양한 생태계 특성치를 계산하고 이 값들을 다른 생태계의 값들과도 비교할 수 있다.

4) 생태학적 과정 연구 (EPS, Ecological Process Studies)

- 위험도 평가를 위한 각 지표의 위험도를 구하기 위해서는 생태학적 과정 연구 결과가 필요하다. 각 지표에 대한 기준점이 설정되어야 하며 특히 생물다양성과 서식처 목표에 속한 지표들의 기준점은 생태학적 과정 연구결과가 필요하다.

5) 어업사회경제학적분석 (FSA, Fishery and Socio-economic Analyses)

- IFRAME의 4개의 목표 중 지속성과 사회경제학적 특성에 대한 지표별 기준점들은 대부분 자원평가 결과와 사회경제학적 분석 결과들이 많이 사용된다. 생체량 (biomass)에 대한 지표 중 자원상태 (B)에 대한 기준점은 어획이 없을 때 ($F=0$) 산란자원량의 $x\%$ 를 유지하는 어획강도 ($F_x\%$)에서의 자원량($B_x\%$)이 사용되며, 단위노력당어획량 (catch per unit effort, CPUE)는 생물학적허용어획량 (acceptable biological catch, ABC)시의 단위노력당어획량 ($CPUE_{ABC}$), 최대 지속정생산량 (maximum sustainable yield, MSY)시의 단위노력당어획량 ($CPUE_{MSY}$)이 기준점으로 사용된다. 어획강도 (fishing intensity)에 대한 지표 중 어획사망계수 (F)는 어획이 없을 때 ($F=0$) 산란자원량의 40% 를 유지하는 어획강도 ($F_{40\%}$) 및 MSY시의 어획강도 (F_{MSY})가 기준점이며, 어획량 (C)의 기준점은 ABC, MSY가 기준점으로 사용된다. 어획개시연령 (t)에 대한 기준점은 Beverton and Holt 모델에서 추정된 적정어획개시연령이 사용된다. 또한 최대 경제학적생산량 (maximum economic yield, MEY) 등도 사용된다.

6) 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측 및 관리 (IFRAME)

- 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측 및 관리 (Integrated Fisheries Risk Assessment, Forecasting, and Management for Ecosystems (IFRAME) 방법은 단일 통합적 방식에 의한 접근법, 예방적이고 환경친화적인 방법, 간편하고 실용적인 방법 등이 고려된 생태계 기반 자원평가 및 관리시스템이다. 이 시스템의 평가는 2단계 평가 시스템으로 구성되어 있으며, 각 시스템에 대한 목

표, 특성, 지표, 기준점에 따라 생태계의 위험도가 평가된다. 이 시스템의 목표는 크게 4가지로 나뉘어 있는데, 이 목표는 우리나라에 적합한 생태계 기반 자원관리를 위한 자원의 지속성 유지와 목표자원을 둘러싼 생물 및 물리환경을 고려하여 설정되었다. 설정된 목표는 첫째, 지속성 (sustainability) 유지, 둘째, 생물다양성 (biodiversity) 유지, 셋째, 서식처 (habitat quality)의 보존, 넷째, 사회·경제적 혜택 (socio-economic benefit)으로 나뉘어지며, 각 목표에 따른 특성과 지표가 있다. 지속성에 대한 특성은 생체량, 어획강도, 어획개시 크기, 서식처 규모 등의 8개의 특성이 있으며, 생물다양성에는 혼획, 폐기, 영양 단계 등의 5개의 특성이 있다. 서식처의 질에 대한 특성은 서식처 훼손율, 어업 폐기물 등 4개의 특성이 있으며, 사회·경제적 혜택의 목표에는 생산성, 이윤 등 모두 3개의 특성이 있다. 각 특성에 따라 1개에서 2~3개의 지표가 있으며, 여기에 각 지표의 중요도에 따라 가중치를 주어 중요도가 높은 지표는 가중치 3을 상대적으로 낮은 중요도를 가진 지표에 대해서는 가중치를 1을 두게 된다. 각 지표에 대한 목표기준점과 한계기준점을 설정하여 위험도를 평가한다.

7) 위험도평가

- IFRAME에서 각 특성치에 대한 지표별 기준점에 의해 평가된 위험도를 통해 목표별 위험도 지수와 종별, 어업별, 대상 생태계의 위험도 지수를 각각 평가할 수 있다.

나. 예측 (Forecasting)

- 생태계 구조 및 위험도 예측

앞의 평가 부분은 어느 한 시점의 생태계의 구조를 파악하고 위험도를 평가하는 과정이라 한다면, 예측부분은 기후변동 또는 관리사항에 대한 여러 시나리오들에 따라 향후 생태계의 위험도가 어떻게 변할 것인가를 예측하는 부분이다.

1) 기후변동 또는 관리사항에 대한 시나리오 설정

- 기후 변동에 대한 시나리오는 목표종에 대해 크게 영향을 끼치는 기후변동요소들에 대해서 어획량의 변동시나리오들을 가지고 향후 생태계 위험도를 예측하는 것이다. 관리사항에 대한 시나리오의 예로는 TAC 할당량이나 종묘방류량 등과 같이 각 할당량이나 방류량에 따라 향후 생태계 위험도의 변동사항을 예측하는 것이다.

- NEMURO, 기타 입력 파라미터는 평가부분에서 설명된 것과 동일함.

- Ecosim

평가부분에서 Ecopath는 생태계 영양 구조의 정적인 단면만을 보여 준다면, Ecosim은 Ecopath 모델에 의한 생태계 특성치를 기초로 구성생물들의 시간에 따른 변동을 분석할 수 있는 생태계 역학 모델이다. 앞 단계에서 설정된 각 시나리오에 따라 Ecosim에서 시뮬레이션 하여 예측된 결과 값을 얻을 수 있다.

2) EPS, FSA

- 평가부분에서 설명된 것과 동일함.

3) 생태계구조 예측

- 시뮬레이션 된 향후 생태계의 각 생물군(종)별 자원의 변동으로 인해 초래되는 생태계의 구조 변동 결과를 Ecopath모델링에 의해 예측한다.

4) IFRAME

- Ecosim, Ecopath에서 시뮬레이션 된 결과를 이용하여 평가부분에서 제시되었던 IFRAME의 각 목표 별 지표에 대해 기준점을 사용하여 위험도를 평가한다.

5) 시나리오에 의한 위험도분석

- 각 시나리오 별로 IFRAME에 의해 각 특성치에 대한 지표별 기준점에 의해 평가된 위험도를 통해 목표별 위험도 지수와 종별, 어업별, 대상 생태계의 위험도 지수를 각각 예측할 수 있다.

다. 관리 (Management)

- 어업 및 생태계 관리

앞의 평가 및 예측부분에서 생태계 차원에서 자원평가 및 예측이 이루어지면, 세 번째 관리부분에서는 앞의 결과를 이용하여 적정 관리방안을 수립하고 생태계 차원에서 관리방안을 시행한다.

1) 관리목표 설정

- 관리 목표는 지속성 (sustainability) 유지, 생물다양성 (biodiversity) 유지, 서식처 (habitat quality)의 보존, 사회·경제적 혜택 (socio-economic benefit)의 유지 등으로 설정된다.

2) 관리목표에 따른 전략 및 전술 구상

- 설정된 목표를 관리전략으로 전환하는데 관리에 '무엇이 이루어져야 하는가'를 정한다. 관리전략이 정해지면 전술로 전환시키는데 여기서는 관리가 '어떻게 수행되어야 하는가'가 정해진다.

3) 설정된 관리전략 및 전술 실행

- 관리전략과 전술이 정해지면 실제로 관리를 실행한다.

4) 실행된 관리전략 및 전술에 대한 피드백

- 실행된 관리전략 및 전술에 대해서 관리전술평가 및 관리전략평가를 수행하여 새로운 관리계획을 수립하고 전략 및 전술을 수정하는 피드백 시스템에 의해 관리가 수행된다.

2. FUTURE 연구를 위한 IFRAME

가. FUTURE 주 연구과제

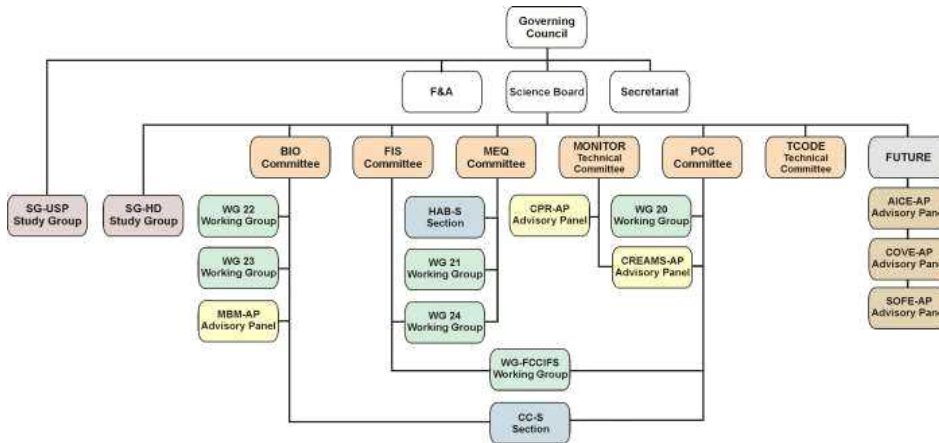
- 1) 자연적인 그리고 인위적인 영향에 대한 생태계의 내적인 탄력성과 취약성을 결정하는 것은 무엇인가?
- 2) 생태계가 자연적인 그리고 인위적인 영향에 어떻게 반응하며, 미래에는 어떻게 변하게 될 것인가?
- 3) 인간의 활동이 어떻게 연안 생태계에 영향을 미치며, 사회는 이와 같은 생태계의 변화에 의해서 어떻게 영향을 받는가?
- 4) 연구주제 관련 현황보고, 전망, 예측 및 조정

나. 한국의 FUTURE 연구와 IFRAME

우리나라 해역의 생태계 구조와 기능을 파악하고, 어업 등 인간 활동 및 기후변동에 따르는 생태계 구조·기능의 변화와 수산자원 변동을 평가하기 위한 생태계 기반 평가, 예측, 이용 관리 모델을 개발하여 효율적인 자원의 이용 관리 시스템을 구축해야 하며, 이 연구를 효율적으로 수행하기 위하여 생태계 기반 통합 위험도 평가, 예측 및 관리 (Integrated Fisheries Risk Assessment, Forecasting, and Management for Ecosystems (IFRAME)) 방법을 사용할 필요가 있다.

부록 7. PICES 조직 구조와 약어 설명

부록 7. PICES 조직 구조와 약어 설명 (2009년 10월)



GC The Governing Council (GC) is the Subsidiary Bodies
 decision-making body of the Executive
 Organization composed of national Committees
 representatives. The scientific and [PICES Secretariat](#)
 administrative functions, procedures [SG-USP](#)
 and membership of GC are described
 in Articles [V-VII](#) of the PICES
 Convention and in Rules [3-9](#) of the
 Rules of Procedure.

Executive Committees

An Executive Committee is a permanent committee reporting directly to GC. With the approval of GC, an Executive Committee may establish subsidiary bodies to meet the needs of the Organization.

[F&A](#) The Finance and Administration Committee (F&A) is an
 Executive Committee responsible for overseeing financial
 and administrative matters and effectiveness of the
 Organization. Details on the functions, membership and
 leadership of F&A are described in Rule [19](#) of the Rules
 of Procedure.

<u>SB</u>	The Science Board (SB) is an Executive Committee responsible for overseeing the scientific activities of the Organization. Details on the functions, membership and leadership of SB and on the nomination and election procedure for the SB Chairman are described in Rules <u>12</u> and <u>17</u> of the Rules of Procedure.	Subsidiary Bodies PICES Committees, <u>FUTURE</u> <u>Advisory Panels</u> , <u>SG-HD</u>
---------------------------	---	--

Scientific and Technical Committees

The Scientific and Technical Committees are established by SB, with the approval of GC, as ongoing groups and are organized according to scientific or technical subjects. Each Committee is responsible for overseeing the activities of their subsidiary bodies and for determining priorities for consideration by SB and GC. Details on the functions, membership and leadership of the Committees and on the election procedure for a Committee Chairman are described in Rules [13](#), [14](#) and [17](#) of the Rules of Procedure.

Scientific Committees

Scientific Committees are responsible for the planning, direction, and overseeing of major themes within the Organization's general scientific aims.

Subsidiary Bodies

<u>BIO</u>	Biological Oceanography Committee	<u>WG-22</u> , <u>WG-23</u> <u>CC-S</u> , <u>MBM-AP</u>
<u>FIS</u>	Fishery Science Committee	<u>WG-24</u> <u>WG-FCCIIFS</u>

[MEQ](#) Marine Environment Quality Committee [WG-21](#), [WG-24](#)
[HAB-S](#)

[POC](#) Physical Oceanography and Climate
Committee

Technical Committees

Subsidiary Bodies

Technical Committees are responsible for facilitating the technical and operational activities required to support the Organization's science.

[TCODE](#) Technical Committee on Data Exchange

[MONITOR](#) MONITOR Technical Committee on [CPR-AP](#)
Monitoring [CREAMS-AP](#)

Scientific Program

A Scientific Program is established by SB, with the approval of GC, to address major scientific questions of general interest to the Organization. The Scientific Program typically places significant demands on the Organization for periods of up to a decade. The Program has an organizational structure recommended by SB, and SB serves as the Scientific Steering Committee of the Program.

[FUTURE](#) Forecasting and Understanding Trends, Uncertainty and Responses of the North Pacific Ecosystem FUTURE Science Steering Committee:
FUTURE Advisory Panels [[AICE-AP](#), [COVE-AP](#), [SOFE-AP](#)] and PICES Science Board ([SB](#))

Expert Groups (Subsidiary Bodies)

Expert Groups (Sections, Working Groups, Advisory Panels, Study Groups, etc.) are organizational entities created by decision. Details on the functions, membership and leadership of various Expert Groups are described in Rules [13](#), [15](#) and [17](#) of the Rules of Procedure.

Sections

A Section is an ongoing sub-committee established by a Scientific Committee or by several Scientific Committees, with the endorsement of SB and approval by GC, to consider, in greater detail, topics of sufficient general importance to the Organization that warrant continuing attention.

[HAB-S](#) Harmful Algal Blooms Section

[CC-S](#) Section on Carbon and Climate

Working Groups

A Working Group is a group established by a Scientific Committee or by several Scientific Committees, with the endorsement of SB and approval by GC, for a period of typically three years, to undertake specific terms of reference and to report to the Organization on its findings.

[WG-20](#) Working Group on Evaluations of Climate Change Projections
(Oct. 2005 - Oct. 2010)

[WG-21](#) Working Group on Non-indigenous Aquatic Species
(Oct. 2005 - Oct. 2012)

- [WG-22](#) Working Group on Iron supply and its impact on biogeochemistry and ecosystems in the North Pacific Ocean
(Oct. 2007 - Oct. 2010)
- [WG-23](#) Working Group on Comparative ecology of krill in coastal and oceanic waters around the Pacific Rim
(Oct. 2007 - Oct. 2011)
- [WG-24](#) Working Group on Environmental Interactions of Marine Aquaculture
(Oct. 2008 -)
- [WG-FCCI](#) Working Group on Joint PICES/ICES WG on Forecasting
[FS](#) Climate Change Impacts on Fish and Shellfish
(Jan. 2009 -)

Advisory Panels

An Advisory Panel is a group established by SB, with approval by GC, to coordinate and/or provide scientific advice on the activities of a Scientific/Technical Committee or Scientific Program.

- [AICE-AP](#) [FUTURE](#) Advisory Panel on Anthropogenic Influences on Coastal Ecosystems
(Oct. 2009 -)
- [COVE-AP](#) [FUTURE](#) Advisory Panel on Climate, Oceanographic Variability and Ecosystems
(Oct. 2009 -)

- [SOFE-AP](#) [FUTURE](#) Advisory Panel on Status, Outlooks, Forecasts, and Engagement
(Oct. 2009 -)
- [CREAMS-AP](#) Advisory Panel for a CREAMS/PICES Program in East Asian Marginal Seas
(Nov. 2005 -)
- [MBM-AP](#) Advisory Panel on Marine Birds and Mammals
(Oct. 1999 -)
- [CPR](#) Advisory Panel on Continuous Plankton Recorder Program
(Oct. 1998 -)

Study Groups

A Study Group is a group established by GC or by an Executive Committee, with the approval by GC, for a period not normally exceeding one year, to consider any scientific, policy, advisory and/or financial issues of interest to the Organization and to provide recommendations thereon.

- [SG-HD](#) Study Group on Human Dimensions
(Oct. 2009 - Oct. 2010)
- [SG-USP](#) Study Group on Updating the PICES Strategic Plan
(Oct. 2009 -)

PICES FUTURE 과학프로그램에 대응하는 한국 해양 연구사업 기획 연구

2010년 3월 10일 인쇄
2010년 3월 10일 발행

발행인 : 한국해양연구원장
편집책임 : PICES 한국위원회장 김진영
편집위원 : 유신재, 정석근, 강영실, 정규귀, 정익교,
노영재, 정희동
편집담당 : 정석근

PICES 한국위원회 사무국

pices@korea.kr, 전화: 051-720-2224, 팩스: 051-720-2225
부산광역시 기장군 기장읍 해안로 152-1 (우편번호: 619-902)
국립수산과학원 환경연구동 3층

인쇄 : 예문사 (☎ 051-469-3331)
