KORDI기획연구보고서

BSPE9839C-10020-7

Korea Ocean Research & Development Institute

아열대화에 따른 동아시아 해양생태계 변화 예측연구

2011. 10

KORDI 한국해양연구원

KORDI기획연구보고서

BSPE9839C-10020-7

아열대화에 따른 동아시아 해양생태계 변화 예측연구

2011. 10

KORDI 한국해양연구원

제 출 문

본 보고서를 해양과학기술 전략 연구과제 총괄수요조사일환으로 '아열대화에 따른 동아시아 해양생태계변화예측연구 기획보고서'를 제출합니다.

2011. 5

연구책임자 : 장 만
참여연구원 : 박홍식, 윤건탁, 김선욱
최영웅, 박세헌, 이주연

요 약 문

1. 제 목

아열대화에 따른 동아시아 해양생태계변화 예측연구

2. 목표 및 필요성

○ 동아시아지역의 기상 변동, 자연재해, 해양환경변화를 경관생태계 차원에서 해석하여 한반도 해양생태계 변동 예측 기반 구축

○ 한반도에서도 기상변화, 자연재해, 해양환경변화로 인한 끊임없는 해양생태계 변동 압력이 발생함

○ 동아시아 산업 허브망 구축으로 의한 물동량 증가는 인위적 해양생태계 변동(외래종)에 영향을 초래함

○ 한반도는 복잡한 해양환경 구조 및 지리학적 위치에 의해 독자적으로 해양생태계 해석 및 예측이 불가능한 지정학적 위치로 광역조사 및 국제적 공동 연구가 필요함

3. 범위 및 내용

○ 동아시아지역 해양생태계 연구현황분석

- 국가별 장기모니터링 중심 연구사업 분석
- 기존 연구사례 분석을 위한 db정보 분석
- 국내 해양 생태계 연구결과 분석 (1980년 이후)

○ 한반도 중심 해양생태계 모니터링 범주 설정 및 조사수행

- 해양생태계 감시망 지정 및 모니터링
- 해역 특성에 맞는 공통된 Protocol 개발
- 해양 생태계 센서 시스템 구축 및 가동

- 거시적 범주의 한반도 및 동아시아 해양생태계 해석 기능 구축

○ 국제공동 연구 네트워크 구축

- 국가간 자료공동 활용체계 구축
- 국가간 해역별 공동연구 네트워크 구성
- 연차 워크샵을 통한 국가간 변동양상분석 및 공동대응
- 동아시아 해양생태계 변동감시기구 운영

4. 시사점

○ 해양연구원의 국가 기후변화대응전략의 주도적 역할 시급

○ 가시화된 생태계 변화에 대한 예측 필요

○ 국가간 선진 네트워크 시스템 주도

목 차

요약문

Ⅰ. 추진배경 및 필요성 ····· 1
1. 추진배경 ····· 1
2. 현황 및 문제점 ····· 5
3. 필요성 ····· 7

Ⅱ. 국내 · 외 연구동향 ····· 9
1. 국내 동향 ····· 9
2. 국외 연구동향 ····· 11

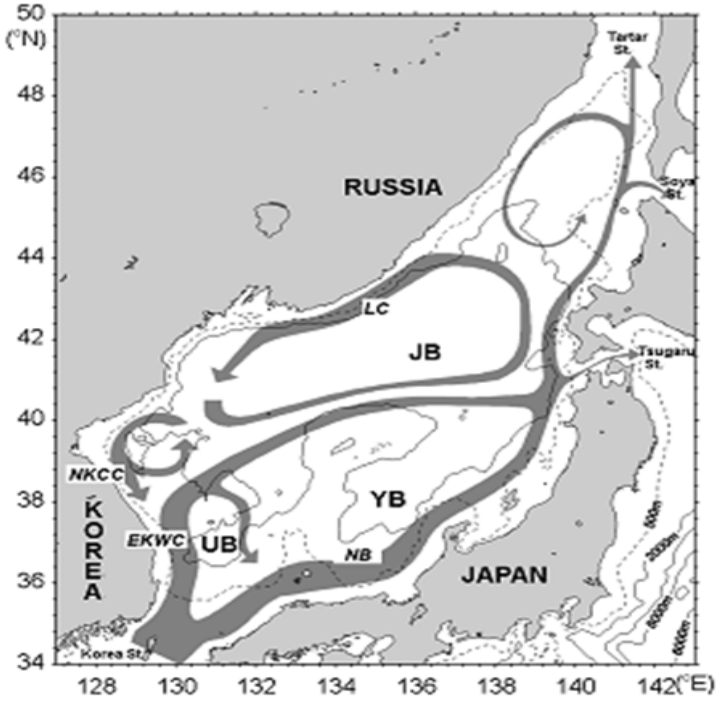
Ⅲ. 추진 전략 ····· 13
1. 목표 ····· 13
2. 추진 근거 ····· 13
3. 추진 시급성 ····· 13
4. 유사연구 사례 분석 ····· 14
5. 주요 연구 내용 ····· 15
6. 추진 체계 ····· 16
7. 세부 추진 체계 ····· 16
8. 추진 전략 ····· 17

Ⅳ. 세부연구내용 ····· 18
1. 단계별 로드맵 ····· 19
2. 기대효과 ····· 20
3. 경제적 타당성 분석 ····· 20

I 추진배경 및 필요성

1. 추진배경

○ 계절에 따라 난류와 한류가 교차하는 독특한 해양특성 - 한반도는 난류와 한류가 계절적으로 교차하여 전형적인 계절성 기후를 지향하는 해양 특성을 가짐. 동해의 경우 적도에서 발원하여 북쪽으로 흐르는 쿠로시오 해류의 지류인 대마난류가 쓰시마 해협을 지나 북쪽으로 이동하면서, 울릉도와 독도까지 난류성 환경 및 생태계를 구성하고 있으며, 반대로 북극에서 발원하여 캄차카 해협을 지나는 리만해류는 한반도 연안을 따라 남쪽으로 진출하는 한류성 해류임. 성격이 다른 두 해류는 동해에서 만나면서 여러 지역에서 난류와 한류가 교차하는 와류를 나타냄. 이런 해역은 해양생물이 번성하여 어장이 형성되는 지역임.



[그림 1] 동해 해류순환모식도

반면에 서해와 남해는 중국의 대형 강하구와 인접하여, 많은 양의 토사가 육지로부터 이동하면서, 충분한 영양염이 공급되었으나, 최근들어 샨사댐 등 중국에서 대규모 토목사업으로 인하여 비정규적으로 방류가 진행되면서, 오히려 난류수의 진행이 원활해지면서, 다양한 열대성 어종이 출현하게 됨

○ 작은 대양의 성격 - 동해의 경우 수심 2,000m (최대수심 2,454m)가 넘는 깊은 수심으로 구성되어, 작은 대양을 모식화 할 수 있는 독특한 지형구조를 가짐. 여기에, 북쪽으로부터 내려오는 냉수대가 저층으로 이동하여 수심 200m 이상 지역은 연중 5도 이하의 냉수대가 형성되어 있으며, 반면에 표층은 계절에 따른 변화가 나타나는 표층수로 구성됨

○ 국제 사회에서 더욱 관심을 가진 공간 - 서해와 동해는 선진국 중심의 해양 프로젝트에 의해 과학연구가 진행됨 (CREAM, YSESP, LME, YSEPP 등). 동해는 대양의 축소판 구조를 가진 해역의 의미보다는 독도 영유권, 북한과 군사적 정보 확보차원 연구가 진행됨. 반면에 서해는 지질학적 연대로 수심이 지속적으로 변한 독특한 반폐쇄성만 구조로 된 바다로, 중국, 북한, 대한민국과 미묘한 영토분할이 진행되는 공간임. 연안 갯벌을 세계 5대 지역으로 인정받을 정도로 광활하지만, 매립과 오염부하 증가로 가치가 급격히 감소하는 지역임.

○ 복잡한 생물지리학적 구조 - 한반도 주변 바다는 계절에 의한 다양한 물리학적 특성을 보이면서도, 지금까지 연구된 결과에 의하면, 동해는 울릉도 등 특정해역에서는 수심이 낮은 지역을 중심으로 제주도 연안에서 서식하는 난류성 생물이 서식하고 있으며, 동일한 해역에서도 수심에 따라 한류성생물과 난류성 생물이 교차하는 독특한 생태계를 나타내고 있음. 반면에 서해는 연중 20도가 넘는 표층 수온차를 나타내지만 저층은 고유 냉수괴로 인하여 평균 수온 2도의 독특한 구조를 나타냄. 저층에 서식하는 저서생물의 경우 사할린지역에 살거나 동해 심층에 사는 종류가 변이를 타나내면서, 고유종을 진화하는 모습을 나타내고 있음.

[그림 2] 국내서식생물의 생물지리적 분포양상

○ 기후 온난화 영향이 해양생물 서식에서 나타남- 한반도 해양 생태계는 대양 특성을 지니므로 접근성으로 인해 연구 정보가 많지 않음. 그러나 오래 전부터 명태, 오징어 등 대규모 단백질원 공급처로 알려진 공간임. 최근 들어 주요 어종에서 생산성 변화가 심각하게 나타나면서, 여름철 한류성 종 어획, 난류성 종의 겨울철 가입 등 계절적 양상이 혼란스럽게 나타남. 기후 온난화를 주도하는 해양성 기후변화로 인해 국가 해양 관리 및 활용을 위한 미래 대응 전략 구축을 위한 동해 해양 생태계 변동에 대한 감시가 필요함

[그림 3] 동해연안 생물지리분포 (박 2004)

○ 환경, 기상 등 해양종합 정보는 주로 일본 자료에 의존하는 현실 - 국내에서는 NEARGOOS(동북아해양관측시스템) 등의 국제프로그램의 참여가 있으나, 실질적인 자료는 JMA(일본기상청)이나 JODC(일본해양자료센터)에서 제공되고 있는 실정임. 관측부이나 해저계류시스템 및 간헐적인 연구선 조사를 통한 단발성 관측자료만이 일부 제공되고 있음

○ 종합 해양생태계 및 정보서비스 시스템 관리 - 지구규모의 국제프로그램과 연계된 한반도 해양 생태계 및 자원 활용을 위해 어로활동, 기상정보, 재해예보 뿐 아니라 해국 등 국가 방위 등의 국가적, 대국민적 요구에 대응하기 위한 다목적의 종합 해양관제 및 정보서비스 시스템 구축이 필요함

○ 연구 체계 분석을 통한 융합연구 수행 필요 - 한반도 전반의 해양변동을 파악하

기 위해서는 종합해양연구를 수행할 능력을 가진 기관을 중심으로 특성별로 산학연 연구가 진행되는 추진체계가 필요한 분야임. 특히 생태계 연구는 물리, 화학 등 기초 연구가 병행되어야 하기 때문에 기존 측정망을 고려한 조사방식과 국제적 네트워크를 염두에 둔 표준화가 동시에 고려되어야 함

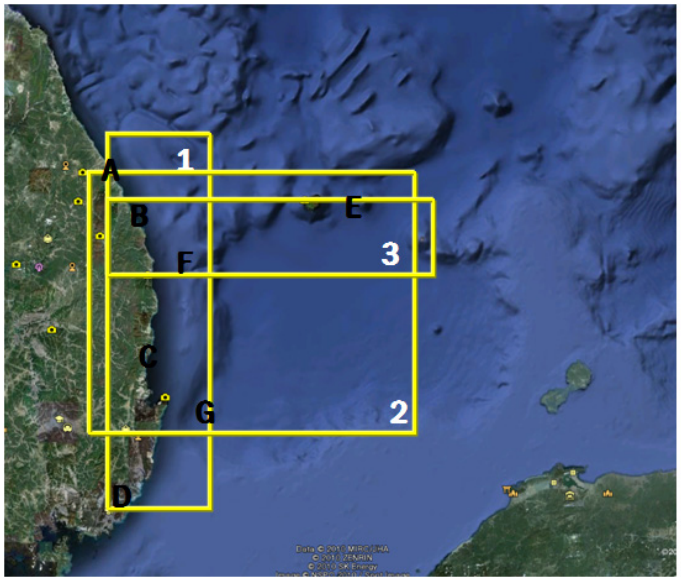
2. 현황 및 문제점

○ 해양생태계 구조 파악에 대한 접근 미흡 - 현재까지 한반도주변 해양생태계 연구는 여러차례 종합조사와 국지적이지만 내만을 중심으로 한 연속조사가 수행되고 있지만, 비주기적 조사위주의 연구가 대부분이었음 이런 경우 해양환경이나 생태계에 대한 지속적이고, 주기적인 상시 관측이 어렵고 자료 활용 체계도 이루어지지 않아 현장 중심의 체계적이고 국가적 차원의 관측과 활용시스템 구축이 요구되는 상황임

○ 다양한 변화양상에 대한 과학적 해석 부족 - 언론을 통해 특이한 생물 출현을 통한 기상변화 또는 해황변화에 대한 언급이 있으나, 이러한 현상에 대한 체계적 접근을 위한 기획이 전무함. 이미 1960년대부터 고정 환경측정망을 통한 자료 확보가 이루어지나, 기상변화 등에 의한 영향 접근을 위한 측정방식 변경 등 시대적 반영이 미흡한 상황임.

[그림 4] 아열대화 진행을 소개하는 언론매체 사례

○ 중장기 차원의 지속적 생태계 감시망 연구 전무- 아열대화 전면에 노출되어 있는 동해 생태계 연구를 예로 들면, 공간적 범주의 연구가 1980년대부터 총 3차례 진행된 바 있음. 하지만 일화성조사로 진행되었으며, 연속성있는 조사는 발전소 주변 등 목적성 조사에 국한되어 진행됨으로서, 장기적인 예측을 위한 지속적 생태계 조사는 진행되고 있지 않음. 또한 동해에 맞는 표준화된 조사 지침 개발이 우선적으로 고려되어야 함



광역조사
1- 서울대(1986) - 동해 생태계
2- 해양연(1995) - 자원도
3- 해양연 (2005-7)-표영생태계

국지조사
A-영동화력(1993, 2001)
B-울진원전(2006)
C-월성원전(2002)
D-고리원전(2009)
E-독도주변(2000-)
F-왕돌초(2004-)
G-투기장(2006)
해조숲, 자원증식 사업

[그림 5] 동해에서 진행된 대표적인 생태계 조사 사례

○ 빠른 국제적 동향 변화 - 접경국인 북한, 일본, 중국, 러시아 외에도 전략적인 목적으로 주도권을 놓지 않는 미국 간에 군사, 외교, 관할권 뿐만 아니라 자원적 차원에서도 경쟁의 전장이 되고 있으며, 특히 동해지명, 독도영유권, 해양경계획정 등의 문제로 첨예한 대립을 하고 있는 상황으로, 유리한 위치를 확보하기 위해서는 동해에 대한 과학적 연구의 국제화와 선점이 시급한 상황임. 어업권에서는 이미 북한이 중국에 어업 쿼터를 통한 수익사업을 진행하여, 계획적이지 못한 수산자원 남획이 진행되고 있음.

3. 필요성

○ 급변하는 지구 온난화의 중심에 위치한 동해

- 해양환경 급변화- 수온 상승, 동해 오염 증가, 연안침식 가속화, 너울성 파고 발생, 지진 해일 발생, 백화 현상 확대, 아열대종 증가, 주요 어종 변동 등)에 대한 체계적인 감시와 대처방안 마련이 필요함.
- 해양 생태계 파악을 위한 기본 요건 미비 - 해양생태계 연구는 거시적으로 한류와 난류가 교차하는 해역으로 생물 지리학적 범위가 오끼나와 주변에서 오오츠크해 이르는 해역으로 거시적 공간 접근이 요구됨.
- 생태계 변화에 따른 국가적 미래 전략 수정 - 아열대화 진행은 대국민 단백질원 공급 조정(한류 생물 감소, 열대 생물 증가), 생물다양성 등 국가 환경 정책 변화, 연안 관리 체계 기준 변화, 국가 영해 관리 기준 변화 등 국가 운영 정책 수정이 불가피함

○ 국가 기술수준 향상에 따른 해양 재인식 - 국가 해양과학기술의 발달로 선진국 중심의 Multi-Marine Station 구축이 가능한 상황에서 해양과학과 무인탐사선 및 로봇 등을 이용한 관측시스템 개발, 수중 송수신, 연료전지 개발 등의 공학기술, 그리고 현장 실시간 관측자료의 집적과 분석 및 전송활용 시스템 구축, 디스플레이 시스템 등 첨단 IT기술의 융복합이 미래 과학기술 발달에 필수적인 공간으로 동해를 활성화해야 함

○ 해양 환경 및 생태계 이해 - 해양 환경 변동에 대한 다양한 영향이 나타나고 있는 상황에서 원인 및 대안 확보를 위한 준비가 진행되지 않고 있음. 예측 못하는 재해, 생태계 변동은 미래 국가 관리 체계구축을 위해 절실한 상황임. 국토손실방지·보존대책, 연안개발계획 수정, 해군활동, 어로활동, 기상 및 재해예보 등과 같은 현안 문제의 대처방안 수립이 필요함

○ 해양의 국가 역할 전환 필요 - 현 국제사회의 최대 관심사인 지구환경변화에 대한 세계적 수준의 연구 인프라 구축 및 관련 선진기술 개발을 위해서는 해양융복합적 해양과학기술 실험 거점 구축이 선행되어야 함

○ 해양에 대한 국제적 인식 제고 - 해양자원이 수산과 광물 등 부산물 수준의 가치평가에서 신약, 대체에너지 등 소재 개념의 가치창출 공간으로 부상되는 시점에서 선진국은 이미 해양자원 확보 및 생태계 변동 대응을 위한 국가간 공동연구수행이 활발히 추진 중에 있음. 특히 동아시아(태평양)권 연구 중심이 일본에서 최근 중국으로 이동하려는 분위기에서, 우리나라 주도의 국가 연구 네트워크 구성이 절실한 상황임

- 정치적 현안에 대한 과학적 대응 필요 - 명칭, 독도이외 이어도 등 예측되는 영유권 대립에 우위를 확보하기 위해서는 과학적 활동 강화를 통한 기후, 해양재해 예측 기반을 확보하는 방안이 필요함
- 공동연구 활동을 통한 국제 프로그램 주도 - 우리나라 바다는 협소한 반도국 특성과 주변 강대국과 대치된 지리적 상황으로 강대국간의 EEZ 등 국가 영토분쟁의 잠재성을 지닌 공간으로 국가간 공동연구를 통한 현실적 이익을 공유하는 국제적 프로그램을 주도하여, 해양에 대한 활용기회를 마련할 수 있음
- 고유의 통합(실시간 및 장기고정) 해양 관측 모니터링을 병행한 거시적 생태계 프로그램 개발 필요 - 국제수준의 정밀하고 실시간적인 해양환경자료의 획득과 활용을 위해서는 대상해역에 다목적 케이블 또는 무선관측시스템을 구축하고, 해양연구원의 전문성과 각 분소에 의한 해양 접근성을 이용한 실시간적 통합 해양자료 관측모니터링 시스템 운용 및 전문 관리가 필요함

Ⅱ 국내 · 외 연구동향

1. 국내 동향

○ 기후변화에 따른 다양한 예측

- 국립환경과학원에 의하면, 2021년부터 한반도는 아열대화가 급속히 진행되면서 남해안과 동해안지역이 모두 아열대 기후구에 속할 것이라고 예측하였다. 2100년에는 한반도 기후가 평균 4도가 증가할 것으로 벼농사가 완전한 이모작으로 진행될 수 있다고 하였다.
- 해수면의 온도도 1980년대 이후 1년에 약 0.6도 상승하고 있으며, 전세계 해양온도 상승 평균의 2배정도로 매우 빠른 변화이다. 강수량도 최근 10년 평균 자료가 1970년부터 2000년까지 강수량의 10%가 증가한 상황으로 비가 내린날도 10일이 증가한 상황이다.

[그림 6] 아열대화에 따른 관측치 변화

- 이러한 기후 변화는 육상에서는 작물재배예측을 어렵게 하여, 특히 남쪽지역에 평야가 발달하여, 생산량이 집중된 상황에서 생산 작물의 변화가 예상된다.

- 해양생태계도 아열대화 영향을 직접적으로 받고 있다. 명태와 같은 한 대상어종이 감소하고, 고등어, 오징어와 같은 온대성 어종은 지속적으로 증가한다. 한반도의 해수면은 연평균 3.4mm씩 증가하며, 태풍이 올 때 해일의 높이도 상대적으로 증가하는 양상을 보이고 있다.

○ 해양 자원도 연구

1987년부터 1996년까지 10년간 진행된 한국해역 종합 환경도 사업을 통해, 서해, 남해, 대한해협, 동해 조사가 수행됨. 단발적 조사이지만, 방대한 해양자료를 공간적으로 확보할 수 있는 유일한 연구였음. 조사를 통한 다양한 해양생태계구조 및 주요종의 서식분포에 대한 정보를 확보하였으나, 연속조사가 진행되지 않아서, 기후변동에 따른 해석이 어려움

○ 동해생태계 장기변화 연구

2005년부터 진행된 동해 생태계 일차생산성 모니터링 조사로, 동해 해류 순환에 따른 생산성 변동을 파악함. 표층수에 아열대 생물의 가입과 분포량 변화가 나타남.

○ EAST-I (East Asian Seas Time-Series) 사업 : 동해의 물질순환계 및 생태계의 구조와 기능을 파악하고, 급격한 기후변동에 이들 시스템이 어떻게 반응할지를 규명하여 동해의 지속적 개발 및 관리를 위한 과학적 기반을 구축하는 연구로서, 선박정선 조사 위주 및 일부 계류장비를 이용하여 해수 순환 및 표영생태계를 중심으로 현재 1단계 (2006~2010/5개년도) 5차년도 수행중임

○ CREAMS (Circulation Research of the East Asian Marginal Seas) : PICES 기구 내에 동해의 순환과 수괴 구조를 파악하기 위한 국제 프로그램으로서 1993~2007년까지 16회에 걸친 동해 종합 해양물리 국제 공동 관측을 수행하였고, 현재는 주로 동해 관련 국제 심포지엄/워크샵 위주의 학술적 연구활동을 정기적으로 진행함

○ YSLME : 한중 공동해양생태계 조사 프로그램으로 1996년부터 시작함. 황해를 중심으로 생태계 및 시식지변동, 육상기원해양오염에 따른 연안 감시가 주 목적임.

○ 국립해양조사원, 국립수산과학원 등의 조사선을 이용한 정선 조사, 연안정점을 위주로 수온, 염분, 조석 등의 기본 관측 항목 위주의 기관 고유 임무 수행

2. 국외 연구동향

○ 미국

- 미연방정부는 해양 및 해안관측 법안 2005(Ocean and Coastal Observation Act)에 의거, 국가해양연구 리더쉽위원회에서 통합된 해양 및 연안관측시스템을 개발하고 운영하도록 지시함
- 미국의 해양과 연안관측시스템에는 해양 모니터링, 데이터 분석, 공공 교육과 연구 등이 포함된 통합 연안해양정보시스템의 운영과 개발이 포함되어 있음
- NEPTUNE 프로젝트는 대양관측계획(Ocean Observatories Initiative, OOI)의 지원을 받아 워싱톤대학을 중심으로 북동태평양의 복합적인 해양환경 및 지구조특성을 연속적으로 관측하기위해 해저면에 고전력의 광케이블을 설치하고 이를 거점으로 각종 센서 및 활용에 관한 신기술을 개발하고 있음
- ALOHA program (미국) - 하와이 주변, 엘리뇨에 따른 영향, 해류변동에 따른 회귀성 생물 이동 경로 변화를 태평양 어획량 조정 등에 국가 이익 획득에 활용
- BATS (미국, 중남미) - 카리브해 중심으로 허리케인의 발생빈도와 이동경로에 따른 해양생태계 영향 감시 - 산호초 생물 위주
- 첨단장비를 활용한 생태계 정보 해석(미국) - 위성 및 바이오 센서 개발을 통한 정보망구축 (Coastal & Marine Spatial Planning)

○ 일본

- 지구환경관측연구센터(IORGC), 지구환경프런티어연구센터(FRCGC), 무츠연구소(MIO) : 동해를 포함한 지구규모의 환경변동예측 실현을 목적으로 기후변동, 물순환, 대기조성, 생태계 변동과 관련한 복합 프로세스 연구 수행
- 일본기상청(Japan Meteorological Agency)과 일본방재과학기술연구소(National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention)에서는 200개 이상의 지진관측망을 설치하여 지진 및 지진해일 등을 감시 예보하고 있음

○ 유럽

- 해상탐사국제위원회(International Council for the Exploration of the Sea, ICES)와 IOC는 GOOS(Global Ocean Observing System) 내에 100개 이상의 유럽환경 및 수산위원회가 참여하는 조정 위원회(SCGOOS)를 구축하여 북해 해양생태계를 모니터링하는데 있어 활용되는 생물, 화학 수산, 물리 및 화학 데이터 시스템의 통합연구를 수행하고 있음

○ 국제공동프로그램

- D-N Line PLAN (일본, 중국) - 동중국에서 남중국해에 이르는 주변해역의 생태계 및 환경 감시 프로그램. 연안 오염이 양 국가 인근 연안 및 EEZ에 미치는 영향을 공동 조사
- 지속적 환경 압력과 예상치 못한 현상에 대비한 연안생태계 반응 예측 프로그램 개발 (미국, 캐나다) - DB 재설계, 과거자료 정비, 새로운 모니터링 시스템 적용을 통한 태평양연안 생태계 감시 프로그램 개선
- MARINE SPATIAL PLANNING (영국 등 유럽연합) - 기후변동과 계한 해양학적 메커니즘 차원 해석, 경관생태학 기반 연구 시도

Ⅲ 추진 전략

1. 목표

동아시아지역의 기상 변동, 자연재해, 해양환경변화를 해양생태계 차원에서 감시하여, 한반도 해양생태계 변화양상을 평가하고, 예측함으로서 미래 해양 전략을 구축하는 기반 자료를 제공한다.

2. 추진 근거

○ 국가 과학기술 기본계획 (2008) - 국가 미래 전략을 위한 기후 및 자연환경 변화를 감시하여 과학기술 발전 전략을 수립하여 글로벌 이슈 대응 연구개발을 추진하기 위한 기반 연구 추진

○ 우리나라의 기후변화대응 종합기본계획 (기후변화대책기획단, 2008) - 탄산가스 배출로 인해 점차적으로 심각해지는 지구온난화로 인한 이상기후가 한반도를 중심으로 급격한 양상을 나타내고 있음. 한반도 기후변화를 거시적으로 분석하여 미래 산업 및 삶의 변화를 예측해야 함

○ 해양개발기본계획 (Ocean Korea 21) - 국가해양기술 향상과 국민 삶 증진을 위한 해양 생태계 보전 및 관리 감시체계를 구축

3. 추진 시급성

○ 국가 기후변화대응전략에서 해양 분야 주도적 역할 시급- 국가적인 차원에서 이슈화 되고 있는 기후온난화는 주로 해양성 기상변화를 중심으로 원인이 발생하고 있으나, 아직까지 기상분야를 중심으로 육상 환경 변화에 중점을 둔 정책이 시도됨. 해양 온도 상승이 결과적으로 여름철 국지적 강우와 기온상승을 유발하고 있으며,

난류 세력 증대는 생태계 구성 변화를 유발함. 따라서 환경변화에 의한 생태계 변화는 육상보다 해양에서 더욱 빨리 반응하는 상황으로 해양생태계 변동을 파악하여 미래 단백질원, 삶의 방향에 대한 전략수립이 절실한 상황임

○ 이미 가시화 된 해양생태계 변화에 대한 원인 분석 시급. 과거 서해와 동해에서 계절성 생물상 차이가 혼성된 양상을 나타내면서, 아열대 대형생물의 유입과, 여름철 한류성 어류의 지속적 출현 등 급격한 변화양상에 대한 빠른 조사 수행 필요

○ 한반도의 지리적 특성으로 강대국간 해양 영토에 대한 대립이 발생한 소지가 있는 상황에서, 거시적 환경변화를 파악하기 위해서는 공동 조사 및 네트워크 등 폭넓은 자료 확보가 필요함. 이미 일본을 중심으로 황해 YSEPP 등 사업이 진행되고 있어서, 우리나라 주도의 기후변동 예측 프로그램을 개발하여 미래 해양생태계 변화에 대한 자료 선점 및 주도권 확보가 절실함

4. 유사연구 사례 분석

○ 황해저층 냉수괴거동과 생태계에 미치는 연구 (한국해양연구원)- 황해 고유 냉수괴에 의한 생물지리적 분포 연구는 연안역을 제외한 황해 중앙부에서 진행되고 있음. 기후변화에 대한 영향은 수심 20m 이내 표층 생태계에서 영향을 받기 때문에 포괄적인 연구 진행이 필요함

○ 북서태평양이 한반도 주변해에 미치는 영향연구 (한국해양연구원) - 한반도 기후변화에 매우 밀접한 연구 분야임. 다만, 물리특성 중심 연구가 수행되며, 생태계 연구는 플랑크톤과 난치어 중심으로 일처 생산력 연구가 진행됨. 연안 서식처 변동과 관련된 해조류, 저서동물 연구가 누락된 상황임. 생태계 조사에서 물리적 자료 자료를 기반으로 연구가 수행된다면 연구활동의 경제적 측면에서 매우 중요할 것임

○ 기후변화가 남해권역 해양생태계에 미치는 영향 및 기능평가기술 개발(국토해양부) - 남해권역에 한정된 연구임. 가장 가시화된 생태계 변화가 발생하는 동해와 황해에대한 생태계 조사가 누락됨

○ 동해 생태계 장기변화 예측시범연구(한국해양연구원) - 일차생산력을 중심으로 동해 해류 변화에 따른 생태계 영향에 중심을 두고 있음. 보완된 조사 체계가 필요함

5. 주요 연구 내용

○ 동아시아지역 해양생태계 연구현황분석

- 1980년 이후 국내 해양 생태계 연구 내용을 목록화 하여 연구결과 및 기존 자료 데이터베이스를 위한 작업 진행. 이미 다양한 목적으로 개발된 데이터베이스를 우선적으로 정리하여 통합 사용가능 한부분을 정리함. 종목록 차원에서 저리를 수행한 후 서식처, 생태계 구성을 생물지리적 기반으로 정리함
- 한반도에 한정하지 않고, 일본, 중국, 대만, 러시아 등 동일 범주에 속하는 대상국 해양생태계 조사 자료를 확보하여, 국가별 장기모니터링 중심 연구사업 분석
- korbis 등 기존 국가 해양 종목록 데이터베이스 자료 표준화 수행

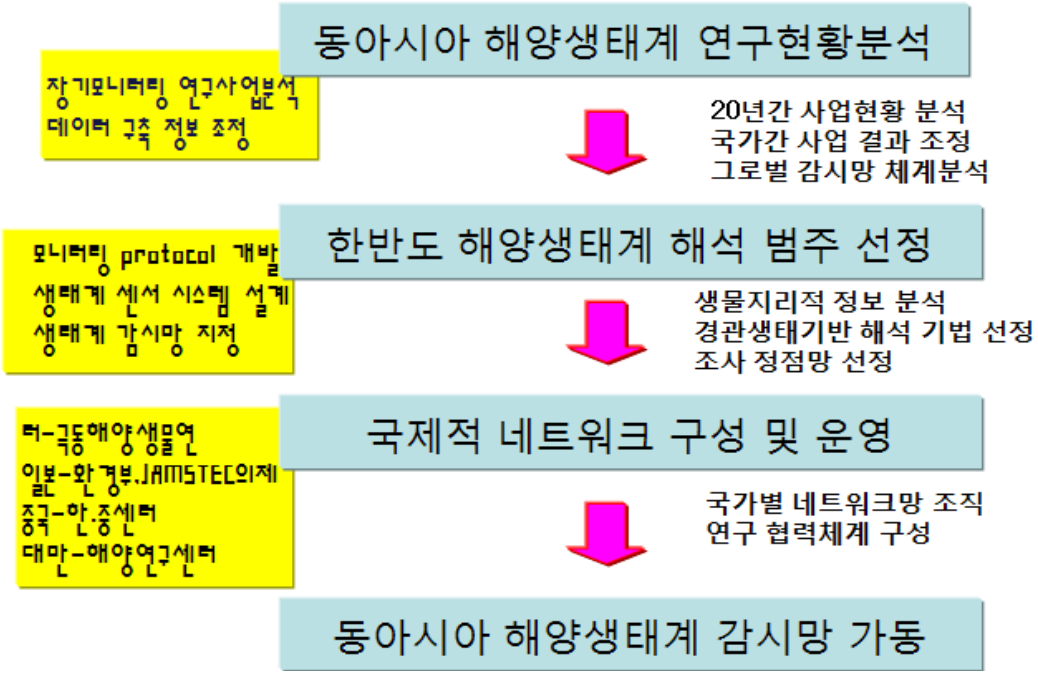
○ 한반도 중심 해양생태계 모니터링 범주 설정 및 조사수행

- 권역별 기초 생물지리 분포표를 기반으로 한반도 및 동일 생태계 범주에 속하는 지역을 대상으로 경제적인 해양생태계 감시망 지정 및 모니터링 프로토콜 개발
- 해역 특성에 맞는 공통된 프로토콜을 기반으로 타당성 조사 수행
- 선진국에서 추진하는 거시적 생태계 조사방식인 해양 생태계 센서 시스템을 평가하여 효율적 감시망 구축을 위해 활용
- 거시적 범주의 한반도 및 동아시아 해양생태계 해석 기능 구축

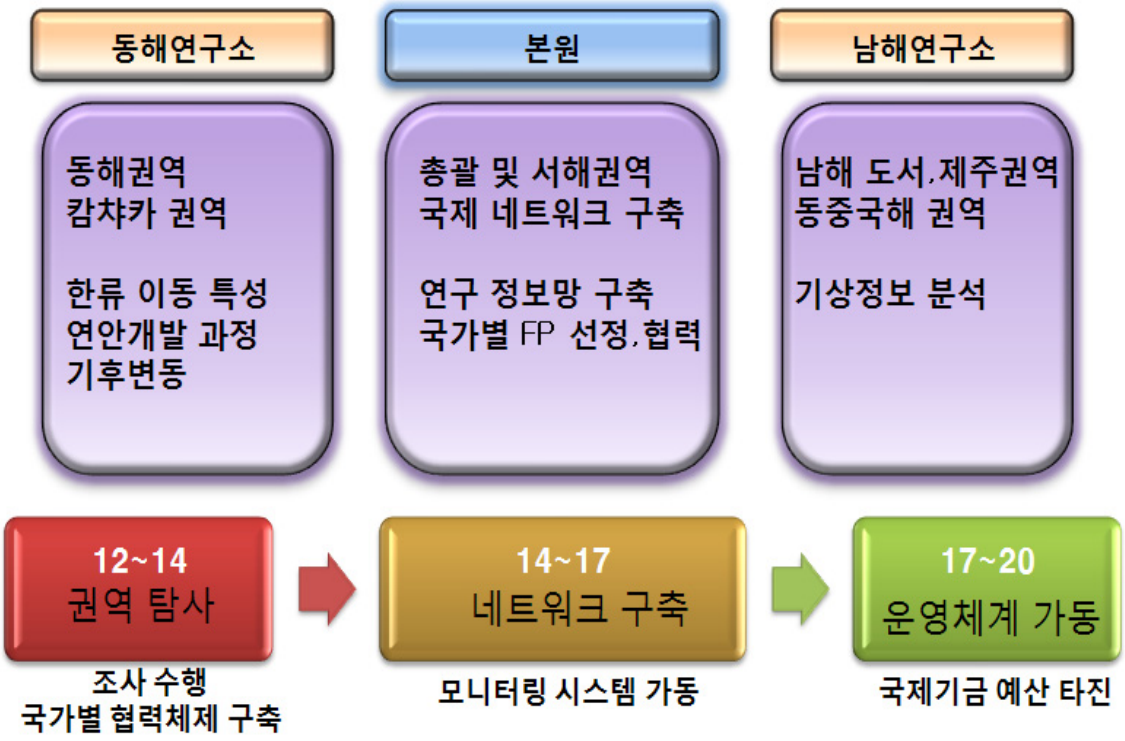
○ 국제공동 연구 네트워크 구축

- 국가간 자료공동 활용체계 구축
- 국가간 해역별 공동연구 네트워크 구성
- 연차 워크샵을 통한 국가간 변동양상분석 및 공동대응
- 동아시아 해양생태계 변동감시기구 운영

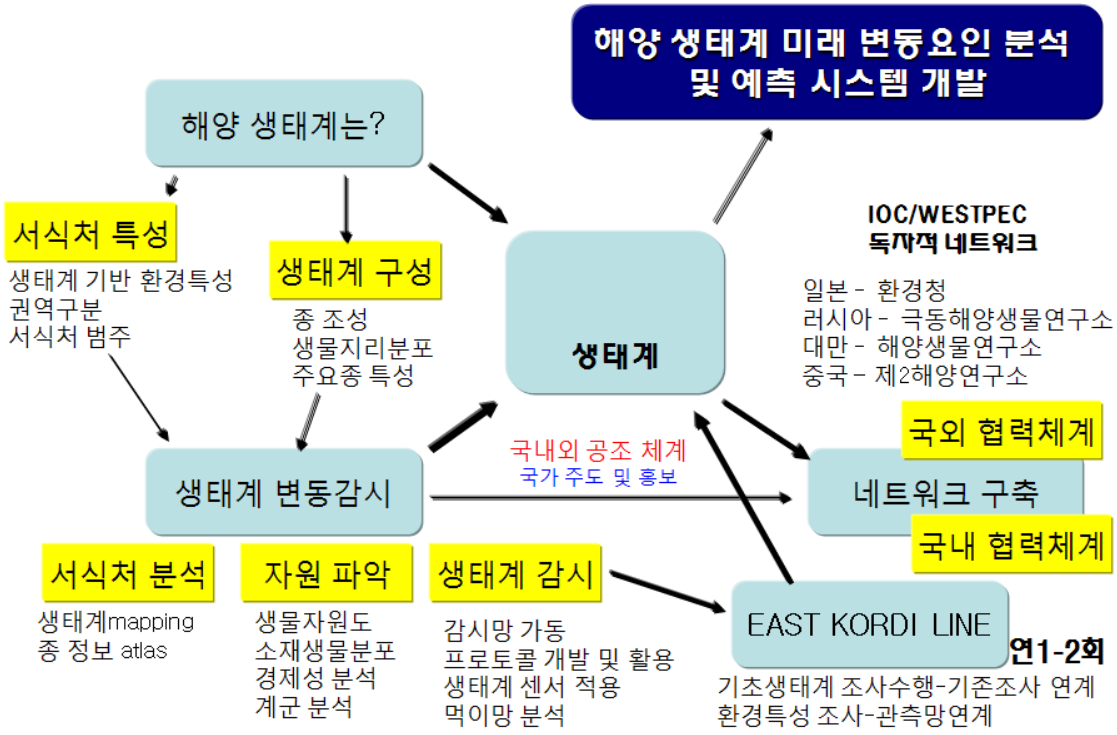
6. 추진 체계



7. 세부 추진 체계



8. 추진 전략

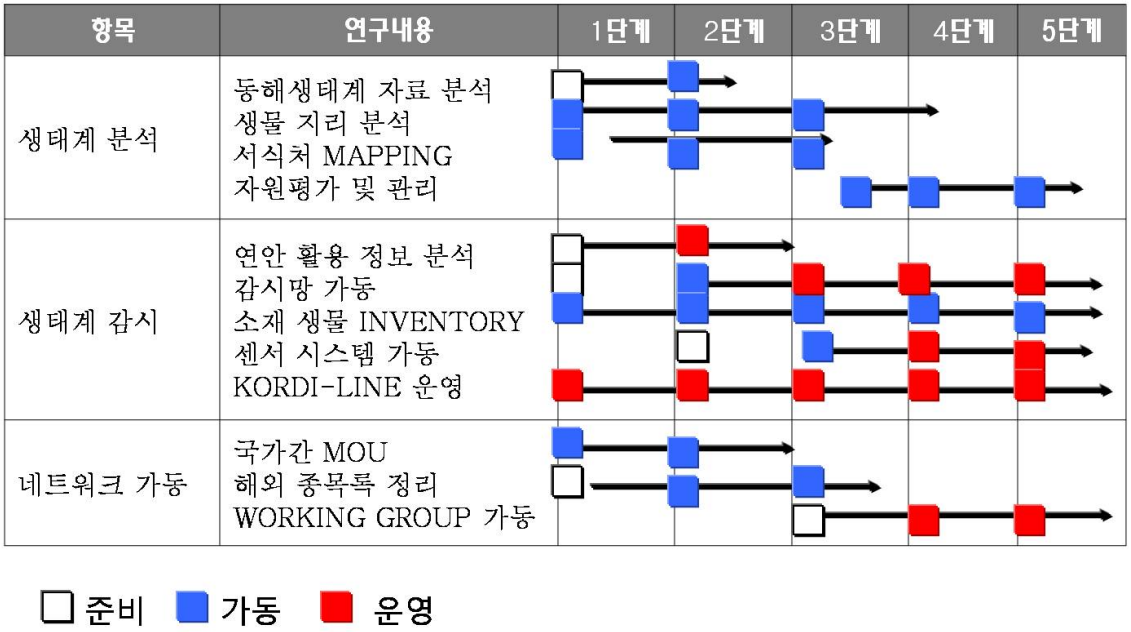

해양 생태계 미래 변동요인 분석 및 예측 시스템 개발
해양 생태계는?
서식처 특성
생태계 기반 환경특성
권역구분
서식처 범주
생태계 구성
종 조성
생물지리분포
주요종 특성
생태계
IOC/WESTPEC
독자적 네트워크
일본 - 환경청
러시아 - 극동해양생물연구소
대만 - 해양생물연구소
중국 - 제2해양연구소
국외 협력체계
국내외 공조 체계
국가 주도 및 홍보
생태계 변동감시
네트워크 구축
국내 협력체계
서식처 분석
생태계mapping
종 정보 atlas
자원 파악
생물자원도
소재생물분포
경제성 분석
계군 분석
생태계 감시
감시망 가동
프로토콜 개발 및 활용
생태계 센서 적용
먹이망 분석
EAST KORDI LINE
연1-2회
기초생태계 조사수행-기존조사 연계
환경특성 조사-관측망연계

Ⅳ 세부연구내용

구분	항목	연구내용
1단계	생태계 현황분석	해양생태계연구사례 정리 생물 지리연구 기초 분석 생태계 범주 선정(서식처별)
	생태계 변동	연안 활용 정보 분석 감시망 선정 (기초조사) GIS 기초 MAP(후포퇴 중심) 소재 생물 INVENTORY 생태계 먹이망 구조 설계
	네트워크 가동	일본, 러시아 MOU WESTPEC 의제 활동 일본, 러시아 종 조성 자료 정리
2단계	생태계 현황분석	생태계 기반 환경 특성 정리 주요종 생태계 지위 파악 종조성 중심 ATLAS 제작
	생태계 변동	감시망 가동(현장조사) 생물 분포도 작성(자원도) 감시망 프로토콜 제작 생산성 평가(외부)
	네트워크 가동	대만, 중국 MOU REGIONAL WORKING GROUP 가동
3단계	생태계 현황분석	광역 생태계(LME)-ATLAS제작 생태계 기반 환경 모니터링 가동
	생태계 변동	감시망 가동 주요종 계군 분석 생물 자원도 보강 생태계 센서시스템 적용 자원 경제성 평가(외부)
	네트워크 가동	1차 정례 회의 가동 중장기 AGENDA 정리

구분	항목	
4단계	생태계 현황분석	거시적 해양 생태계 평가 감시망 정보 분석 기법 고안
	생태계 변동	감시망 가동 주요종 계군분석 생물자원도 보강 생태계 센서시스템 가동 먹이망 특성 분석
	네트워크 가동	2차 정례회의 (PROCEEDING 발간) 중장기 운영기획, 국제기구 링크
5단계	생태계 현황분석	거시적 해양 생태계 평가
	생태계 변동	감시망 가동 먹이망 구조 파악 미래변동요인분석 및 예측시스템 개발
	네트워크 가동	WORKING GROUP 활동

1. 단계별 로드맵



2. 기대효과

○ 중장기 자료 확보를 통한 국가 관리 및 미래 전략 기반 마련
○ 해양 관련 유발 생태계 위험성 예측
○ 불특정 해양재해 대응 계획 및 복원 정보 확보
○ 해양생물자원확보에 대한 국가별 협력 체계 강화
○ 동아시아 해양 생태계 연구 주도권 확보
○ 기반자료를 활용한 경제적인 종합해양 연구 프로그램 추진
○ 후대에게 양질의 해양 정보 제공
○ 세계적 Multi-Marine Station 구축을 통하여 해양과학 기술 선진화와 해양생태계의 주도권 확보
○ 국제 수준의 고품질의 실용 가능한 해양정보(기상, 환경 등)의 확보로 현재 일본, 미국등에 의존하고 있는 동해 해양정보를 우리 주도로 대체
○ 해수면 상승에 따른 연안역 친수공간 및 토지이용 변동 대비 국가 관리 시스템 구축에 기여
○ 수산자원 변동 관련 환경 및 생태계 변화 실시간 모니터링을 통한 지속적인 수산활동 지원 및 보전대책 제공
○ 환경 급변화로 인한 자연재해, 생태계 변동에 대한 미래 국가 관리 체계구축(국토손실방지・보존대책, 연안개발계획 보완 등)에 기여
○ 해양경계획정 등에서 유리한 입지 구축
○ 해양생태계 감시체제 구축・운영사업의 연구결과는 방송 및 신문홍보를 통하여 해양과학연구 대중인지도 확산 및 증대, 국가브랜드 제고 효과를 유발하는데 예상
○ 관련된 해양환경, 기후변화, 생태계변동 등의 분야에 있어 해양과학기술 연구인력 양성효과

3. 경제적 타당성 분석

○ 기후온난화에 의한 해양 생태계 진단과 예측에 따른 경제적 편익 분석 방법은 크게 해양 생태계 변동 예보시스템 구축을 통한 사후적 이익을 도출한 직접적 편익과 운영・유지와 관련하여 발생할 수 있는 간접적 편익이 있음
- 직접적 편익은 구축된 해양 생태계 변동 예보시스템 활용에 따른 이익을 판단

- 간접적 편익은 생산량 보전, 미래 생태계 변동에 대한 시각을 일반 국민으로 확대해 볼 때, 이 사업으로 인해 국민들이 단백질원을 섭취할 수 있는 과정을 통하여 국민의 후생을 증가시키고 해양생태계의 생산성 향상으로 인해 국가경쟁력을 향상시키는 비시장적 가치를 추정

가. 직접적 경제적 편익

○ 구축된 해양생태계예보시스템의 활용에 대해서는 각종 기초연구 활용 수준에서 편익 도출의 어려운 점을 감안하여, 본 연구에서는 어장정보 수입대체 편익과 어장정보서비스 사업화 편익 분야로 한정하여 분석

○ 어장정보 수입대체 편익 = 연간 수입대체효과 × 정보서비스업의 부가가치율
- 연간 수입대체효과는 SeaStar 서비스의 월 1,500달러의 비용으로 연간 200척의 선박이 이용한다고 가정하고, 환율 1,130원/달러(2010. 3. 29 기준)을 적용
- 부가가치율은 한국은행에서 2010년 발간한 2008년 산업연관표 상에서 정보서비업 부문을 정의한 후 해당 부문의 부가가치율 63.12%를 추정

○ 어장정보서비스사업화 편익 = 서비스대상어선 × 시장점유율 × 서비스가격
- 서비스 대상 어선은 일본, 중국, 대만, 싱가폴, 인도의 100톤급 이상의 어선으로 총 5,096대 가정
- 시장점유율 : 서비스 초기 10% 시장점유율을 차지한다고 가정
- 서비스 가격은 SeaStar에서 제공 중인 서비스 비용의 80%수준 가정

〈표 1〉 해양생태계 예측에 따른 직접적 경제적 편익 결과

(단위 : 억원)

구 분	경제적 편익		총 액
	어장정보 수입대체 편익	어장정보서비스 사업화 편익	
합 계	20.7	101.0	121.7

나. 간접적 경제적 편익

○ 기초연구사업 R&D부문의 경제적 편익 산정은 가급적 화폐화 가능한 편익을 추정하되, 편익 추정이 불가능 또는 무의미하다고 판단될 경우 사업의 파급효과를 추정하여 경제적 타당성 분석에 활용할 수 있음

○ 기후변화에 의한 생태계 진단과 예측을 통해 생체량을 보전, 복원할 수 있는 정보를 제시하는 기술은 국민의 삶의 질 나아가 생존과 연계된 공공・공익목적의 연구개발 분야로서 기업 및 지방정부 차원의 지엽적인 연구로 해결될 사항이 아닌, 국가차원의 지원이 필수적인 분야

○ 따라서, 공공재적인 성격을 지닌 환경복원 기술의 경제적 가치 측정을 위하여 조건부가치측정법(Contingent Valuation Method, 이하 'CVM')을 사용하여 해양환경 감시 기술개발의 가치를 경제적 편익으로 추정할 수 있음

○ 현재, 환경재와 같은 공공재의 경제적 가치를 측정하는데 주로 사용되어 온 조건부가치측정법(Contingent Valuation Method, 이하 'CVM')은 해양 유류유출 사고와 관련하여 환경의 복원과 이를 위한 복구기술의 확보 측면에서 경제적 가치를 추정한 사례가 있음

○ 본 연구에서 고려하고 있는 기후변동으로 인하여 변화된 생태계를 유지시키는 기술개발에 대하여도 해양환경 복원기술의 결과물이 비시장적이라는 측면에서 공공재적 성격을 지니고 있으므로 그 기술 가치를 측정하는데 CVM을 사용하고,

○ 경제적 가치를 도출하는데 추가적 소득세 부담이라는 도구를 사용한 설문지 방식을 이용하여 국민이 얼마까지 조세를 부담할 수 있는지에 대한 납세자들의 최대 '지불의사금액'(willingness to pay, WTP)을 화폐적 가치로 시현시켜 경제적 가치를 판단하는 방법이 바람직하다고 봄

○ 본 연구는 한국개발연구원(2004)의 『문화시설의 가치추정 연구』 상에서 제안된 방법론적 지침과 한국개발연구원(2008)의 『2008년 하반기 예비타당성조사 착수회의』

의 지침을 적극 수용한 방법이며, 2010년 유류오염 환경영향평가 및 환경복원 연구를 위해 마련된 한국해양연구원(2010)의 '유류오염 환경복원 기술의 경제성 분석'으로부터 편익전환 평가기법을 활용하여 해양환경 복원기술개발로 발생되는 사회적 이득(social gains)을 추정

○ 실증분석 절차

- 유류오염 환경복원 기술 사업의 비시장적 편익 추정을 위해, 한국해양연구원(2010)에서 CVM을 적용한 실증적인 연구절차는 분석과정에서 Cooper et al.(2002)가 제안하여 그 적용이 확대되고 있는 1.5경계(one-and-one-half bound) 모형을 사용하여 지불의사 유도
  - 먼저 응답자들에게 새로운 유류오염 환경복원 기술 사업을 위해 A^L부터 A^U의 범위의 비용이 매년 가구당 발생할 것이라는 정보를 제공한 후, 응답자를 다시 2개의 그룹으로 나눠
  - 첫 번째 그룹의 응답자에게는 A^L을 지불할 의사가 있는지를 질문하는데, 이 질문에 "예"라고 응답하면 A^U를 지불할 의사가 있는지를 한 번 더 질문하며, "아니오"라고 응답하면 추가적인 질문을 하지 않음
  - 두 번째 그룹의 응답자에게는 A^U를 지불할 의사가 있는지를 질문하는데, 이 질문에 "예"라고 응답하면 추가적인 질문을 하지 않으며, "아니오"라고 응답하면 A^L를 지불할 의사가 있는지를 한 번 더 질문
  - 본 연구에서는 30명을 대상으로 한 사전조사를 통해 제시금액의 수준과 범위를 결정한 뒤, 전체 500 가구를 10개의 그룹으로 구분하여 각 그룹에 제시금액의 범위인 (1,000원~3,000원), (2,000원~4,000원), (3,000원~5,000원), (4,000원~6,000원), (5,000원~7,000원), (6,000원~8,000원), (7,000원~9,000원), (8,000원~10,000원), (9,000원~11,000원), (10,000원~12,000원) 중 1개를 무작위로 배정
  - 주어진 유류오염 환경복원 기술에 대해 i번째 응답자는 직면하여 응답하는 상황은 다음과 같이 6개의 변수를 도입하여 묘사할 수 있는데, 처음의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^L을 제시한 경우에 해당하며, 뒤의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^U를 제시한 경우에 해당

$$\begin{cases} I_i^{YY}=1(i\text{번째 응답자의 응답이 “예－예”}) \\ I_i^{YN}=1(i\text{번째 응답자의 응답이 “예－아니오”}) \\ I_i^{N}=1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오”}) \\ I_i^{Y}=1(i\text{번째 응답자의 응답이 “예”}) \\ I_i^{NY}=1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오－예”}) \\ I_i^{NN}=1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오－아니오”}) \end{cases} \quad (2)$$

- 이제 효용 극대화를 추구하는 N명의 표본을 가정할 경우 로그-우도함수는 다음과 같이 구성됨

$$\begin{aligned} \ln L &= \sum_{i=1}^{N} \left\{ \begin{array}{l} I_i^{YY}\ln[1-G_C(A_i^U)] \\ +I_i^{YN}\ln[G_C(A_i^U)-G_C(A_i^D)] \\ +I_i^{N}\ln G_C(A_i^D) \\ +I_i^{Y}\ln[1-G_C(A_i^U)] \\ +I_i^{NY}\ln[G_C(A_i^U)-G_C(A_i^D)] \\ +I_i^{NN}\ln G_C(A_i^D) \end{array} \right\} \\ &= \sum_{i=1}^{N} \left\{ \begin{array}{l} (I_i^{YY}+I_i^{Y})\ln[1-G_C(A_i^U)] \\ +(I_i^{YN}+I_i^{NY})\ln[G_C(A_i^U)-G_C(A_i^D)] \\ +(I_i^{N}+I_i^{NN})\ln G_C(A_i^D) \end{array} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

- 조사에 응한 응답자는 총 377명인데, 유효 응답자는 문항마다 차이가 있음. 응답자 가운데 남성 49.1%, 여성 50.9%의 구성비를 보이고, 유효 응답자들의 평균연령은 35세임. 유효 응답자들의 교육수준은 대학졸업이 평균이었으며, 가구당 평균소득 수준은 2,625.2천원으로 나타남. WTP 모형을 추정하는 데 있어서 스파이크(spike) 모형(Kriström, 1997; Yoo and Kwak, 2002)을 적용
  - 영의 WTP는 유류오염 환경복원 기술이 가구의 후생에 전혀 기여하지 못하거나 혹은 가구가 이 사업에 완전히 무관심할 때, 다음과 같은 소득제약 하의 소비자 효용 극대화 문제의 모서리해(corner solution)로서 도출될 수 있으므로, 경제적 행위에 부합

$$\max_{y,Z} \left[U(y,Z;h) \mid y+Z \leq m \right] \quad (4)$$

  - 여기서, $U(\cdot)$는 효용함수, y는 동해(독도)전용 해양연구선 건조사업에 대한 WTP, Z는 모든 다른 지출, h는 개인특성을 나타내는 벡터, m는 소득

- 식 (2)의 3번째 부분에 있는 "아니오'의 응답과 마지막 부분에 있는 "아니오-아니오"의 응답은 0의 WTP와 두 번째 제시금액(A^L)보다 작은 양의 WTP로 구분됨

$$\begin{cases} I_i^{AY} = 1(\text{지불할 의사가 있다}) \\ I_i^{AN} = 1(\text{전혀 지불할 의사가 없다}) \end{cases} \quad (5)$$

- $\theta = (a,b)$일 때 WTP의 누적분포함수 $G_C(\cdot;\theta)$는 다음과 같음

$$G_C(A;\theta) = \begin{cases} [1+\exp(a-bA)]^{-1} & \text{if } A > 0 \\ [1+\exp(a)]^{-1} & \text{if } A = 0 \\ 0 & \text{if } A < 0 \end{cases} \quad (6)$$

- 이 모형에 대한 로그우도함수(log-likelihood function)는 다음과 같음

$$\begin{aligned} \ln L = \sum_{i=1}^{N} \{ & (I_i^{YY} + I_i^{Y}) \ln[1 - G_C(A_i^U;\theta)] \\ & + (I_i^{YN} + I_i^{NY}) \ln[G_C(A_i^U;\theta) - G_C(A_i^L;\theta)] \\ & + I_i^{AY}(I_i^{N} + I_i^{NN}) \ln[G_C(A_i^L;\theta) - G_C(0;\theta)] \\ & + I_i^{AN}(I_i^{N} + I_i^{NN}) \ln G_C(0;\theta)\} \end{aligned} \quad (7)$$

- 평균값 WTP는 다음과 같이 추정됨

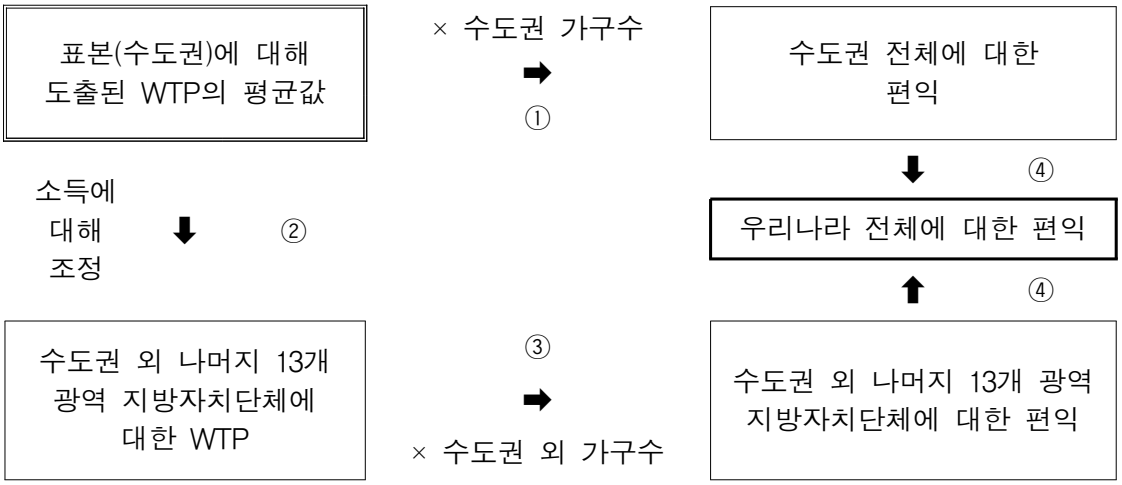
$$\overline{WTP} = \int_0^{\infty} [1 - G_C(A)]\, dA - \int_{-\infty}^{0} G_C(A)\, dA \equiv (1/b)\ln[1+\exp(a)] \quad (8)$$

- 평균 WTP는 Krinsky and Robb(1986)이 제안한 모수적 부트스트랩(bootstrap) 기법인 몬테칼로 시뮬레이션(Mote Carlo) 기법을 적용하여 도출함

○ 모집단으로의 확장

- CVM 연구를 수행하는 중요한 목적 중에 하나는 표본정보를 이용하여 모집단 전체의 편익을 추정하는 것임
- 즉, 500가구라는 표본에 대해 도출된 정보를 활용하여 대한민국이라는 모집단 전체로 확장하는 작업이 마지막 단계로 요구됨. 이 과정에서 따져봐야 할 중요한 사항은 과연 표본이 모집단을 제대로 반영하고 있는지 여부임
- 다만, 이론적인 관점에서 볼 때, 다른 편익 추정기법에 비해 CVM은 편익의 정확한 값을 구할 수 있지만, 실증적으로 보면 통상 편익의 상한값을 구하는 것으로 인식되고 있음을 감안하여 평균값 WTP 추정치를 이용하는 대신에 보수적 관점에서 95% 신뢰구간의 하한값을 이용

- 또한 수도권에 대해 추정된 값을 수도권 외 13개 광역지방자치단체로 편익이전(benefit transfer)을 해야 하는데, 이때 널리 사용되는 방법은 소득에 대해 조정을 해 주는 것임
- 그런데 소득에 대한 자료를 구하기 어려우므로, 소득 대신에 가계부문 민간소비지출 자료를 이용할 것을 제안한 한국개발연구원(2004)의 지침에 따라, [그림 7]과 같이 WTP의 평균값 정보를 이용하여 모집단으로 확장



[그림 7] 표본의 정보를 모집단으로 확장하는 과정

- 인구주택총조사가 시행된 2005년 기준 광역지방자치단체별 세대수, 가계소비지출, 세대당 가계소비지출, 세대당 가계소비지출을 이용하여 조정한 가구당 WTP 값, 2008년 불변가격으로 계산된 유류유출에 대한 해양환경 회복기술은 평균적으로 월 8,439원에서 11,867원의 세금을 추가적으로 납부할 수 있음을 나타냄.
- 그 결과, 유류유출에 대한 해양생물 복원기술의 경제적 가치는 1,613억원으로 추정됨.

○ 상기에서 언급한 것과 같이 기후변화에 따른 해양생태계 진단과 예측을 통한 생체량 복원기술은 유류오염 환경복원 기술 사업에서 보여준 해양환경의 복원과 그 복구기술과 유사한 방법을 사용한다고 볼 수 있기에, 규모면에서 차이만을 적용해 볼 때, 분석결과는 매년 1,340억원의 편익이 산정됨

〈표 2〉 해양생태계 변동에 따른 간접적 경제적 파급효과 분석 결과

(단위 : 억원)

구 분	경제적 파급효과	총 액
	조건부 가치 측정법(CVM)	
합 계	1,830	1,830

○ 향후, 기술적 실현가능성에 대한 정확한 판단, 투입/산출(Input/Output), 비용/편익(Cost/Benefit)의 범위 결정 및 측정, 미래 경제변수(물가, 환율, 임금 등)의 불확실성 등에 의해 보다 정확한 경제성 분석을 실시할 필요성이 있으나, 경제적 타당성 분석 결과를 토대로 보다 구체적인 실행계획(Action Plan)을 수립하고,

○ 핵심기술 성과 및 미래 생태계 예측을 통하여 해양환경의 효과적인 추진방안을 모색하고, 제안된 연구개발비를 효율적으로 사용할 수 있도록 기본적인 정책결정의 판단기준과 방향성을 제시하는 역할 수행에는 기여할 수 있을 것으로 판단됨