

국가 기후변화 적응 마스터플랜 수립을 위한 해양예측 부문 연구

2008. 8

연구기관
한국해양연구원

한국환경정책·평가연구원

제 출 문

한국환경정책·평가연구원장 귀하

본 보고서를 “국가 기후변화 적응 마스터플랜 수립을 위한 해양예측
부문 연구” 의 최종보고서로 제출합니다.

2008. 8

주관연구기관명: 한국해양연구원

주관연구책임자: 김철호

연 구 원: 강석구, 강형구, 김영호
김 응, 민홍식, 박영규
박지수, 예상욱, 유신재
이재학, 배윤희

요 약 문

I. 제 목

국가 기후변화 적응 마스터플랜 수립을 위한 해양예측 부문 연구

II. 연구의 목적 및 필요성

1. 연구의 목적

이 기획연구에서는 기후변화에 따른 적응 마스터플랜 수립을 위하여 기후변화 과학 해양예측 부문의 국내 추진 현황과 문제점 및 국가 추진 필요성을 분석하고 추진 전략과제를 도출하며 세부 추진과제의 선정과 중장기 추진방안 등을 제시함을 목적으로 함.

2. 연구의 필요성

- 우리나라의 기후변화 대응책은 제3차 종합대책(2005-2007년)에 이르기까지 주로 기후변화협약 대응 위주로 수립되어 진행되어 왔음. 그러나 국제적으로는 완화와 적응의 균형 있는 기후변화 대응책 수립 필요성이 더욱 부각되고 있음.
- 우리나라 정부도 그동안의 온실가스 배출저감 위주의 협상 대응 차원에서 벗어나 제4차 종합대책부터 기후변화 대응 종합대책으로 전환하고 있음. 이에 따라 환경부를 총괄부서로 하는 각 부문별 적응 국가계획 수립 추진을 요청받고 있음.
- 기후변화에 따른 적응과 관련된 여러 분야의 국내 기반 연구는 현재 매우 미흡한 실정이며 각 부문별 전문가들에 의한 사전 기획 연구의 수행이 절실히 요청되는 상황임.
- 연안·해양과 수산 분야의 적응 정책 수립을 위하여는 기후변화 시나리오의 신뢰도 높은 과학적 예측정보가 요청됨. 그러나 기후변화 예측 분야에 대한 우리나라의 선행 연구는 매우 부족하며 해양 분야의 예측과 기후변화 전망에 대한 국내의 연구 인프라는 더더욱 미약한 수준임.

III. 내용 및 범위

- 기후변화 과학 해양예측 부문 추진현황 파악과 문제점 분석
 - 해양부문의 관측된 기후변화 현황 파악
 - 제1차 정부종합대책 이후 추진된 기후변화 과학 기반 구축을 위한 정책의 성과와 문제점 분석
- 해외사례 조사
 - 주요 국가의 기후변화 과학 관련 모니터링, 예측 기술 수준 현황 파악
 - 기후변화 과학의 정책적 기조와 프로그램 사례
- 향후 여건 전망
 - 국내외 현황
 - 기술적 정책적 발전 전망
- 마스터플랜 추진 전략과제의 중장기 계획 수립
 - 추진 전략과제 도출의 기본 철학 수립
 - 전략과제의 도출과 세부 추진과제의 설정
 - 세부 추진과제별 추진 방안과 필요 예산 제시

IV. 중점 추진 전략과제 도출의 기본 방향 및 도출된 전략과제

1. 전략과제 도출 방향

- 해양, 수산 및 연안 분야의 적응 대책 수립을 위해 과학정보의 제공에 기여도가 높은 과제
- 정부종합대책으로 수립되었으나 예산 등의 이유로 미추진 된 과제
- 국내 기후변화 과학의 기술 향상과 적응분야의 필요에 응하기 위하여 해양 예측 분야에서 우선적으로 수행되어야 할 과제

2. 도출된 전략과제

- 해양 기후변동 예측
- 해수면 상승 진단 및 예측

- 해양생태계 변동 예측

V. 연구 결과

1. 중점 추진 전략과제의 사업목표 및 연구내용

○ 해양 기후변동 예측

목표: 한반도 주변해양의 중장기적 기후변동 특성을 평가하고 원인을 규명하며 향후의 변화를 예측함.

내용: 해양환경 변화 감시, 해양 기후변동성 평가, 온난화 작성 기법, 고해상도 지역기후 모델링과 상세화 등에 대한 관련기술을 개발하며 한반도 주변해양의 온난화 시나리오를 작성함.

○ 해수면 상승 진단 및 예측

목표: 한반도 연안과 주변해역의 해수면 상승 추세를 진단하고 원인을 분석하며 21세기의 해수면 상승을 정량적으로 예측함.

내용: 기후해수면자료 분석을 통한 지역별 해수면 상승률을 추정하며, 기후예측모델과 고정밀 해일모델의 연계 기술을 개발하여 평균해수면과 극치해수면에 대한 시공간적으로 신뢰도 높은 예측치를 산출함.

○ 해양생태계 변동 예측

목표: 기후변화에 따른 해양생태계 변화의 평가·예측과 한반도 주변해역 해양생태계의 유용자원에 대한 지속적 이용과 과학적인 관리 방안 도출.

내용: 해양생태계 장기 모니터링 시스템 구축, 생태계 구조 및 기능 분석 기술과 생물종의 생리/생태 변화 평가 기술 개발, 해양생태계 모델 구축 및 모델링을 통한 해양 온난화·산성화에 대한 생태계 반응 평가·예측.

2. 단계별 추진계획

○ 해양 기후변동 예측

핵심 분야	1단계(2008~2012)	2단계(2013~2020)
한국해 증장기 변동 특성 평가	<ul style="list-style-type: none"> · 한국해 변동 특성 파악을 위한 과거자료 분석 · 순환 기작 평가 · 한국해 해양환경 변화감시 정기관측 · 해류시계열 확보·분석 · 북서태평양-한국해 해수교환 평가 · 대양 기후변동 특성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> · 해수 물성과 유동 재구성을 위한 자료동화 · 한국해 해양환경 변화감시 정기관측(계속) · 해양변동성 평가를 위한 지속적 관측 · 대양 기후변동 특성 평가(계속) · 대양-한국해 원격상관성 분석
해양 온난화 시나리오 작성	<ul style="list-style-type: none"> · 동아시아 미래기후변화 시나리오 개발 · 동아시아 지역 온실기체 인벤토리 파악 · 지역해 해양순환 기후모델링 기술 개발 · 지역해 환경 영향 평가를 위한 정기적인 관측 및 모니터링 · 기후 요소 모델 특성 파악 · 대양 모델 수립 및 특성 파악 · 해수면 온도 변화 시나리오 작성 · 기후변화 요소 물질과 해수온도 상관성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> · 기후변화 요인 물질들의 동아시아 기후변화 기여도 파악 · 지역해 및 대양간 상화 관련성 분석 파악 · 지역해 환경 영향 평가를 위한 정기적인 관측 및 모니터링(계속) · 대양-지역해 접합 모델링 기술 개발 · 기후 요소 모델간 결합 모델링 기술 개발 · 대양-지역해 모델 장기 적분 및 특성 파악 · 기후 시스템 모델 장기 적분을 통한 특성 파악 · 해수면 온도 변화 시나리오 작성(계속)
지역해 모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 고해상도 모델 개발 및 수행기술 · 병렬컴퓨팅 기술 · 대용량자료처리 기술 · Downscaling 기법 개발 및 모델 수행 	<ul style="list-style-type: none"> · 고해상도 모델 개발 및 수행기술(계속) · Downscaling을 통한 모델 수행(계속)

○ 해수면 상승 진단 및 예측

핵심 분야	1단계(2008~2012)	2단계(2013~2020)
지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단	<ul style="list-style-type: none"> · 한반도 주변 해역에 대한 검조자료, 위성고도계자료 및 해양물성자료의 통한 관리체계 구축 · 지역별 한반도 연안역 해수면 상승률 추정 · 한반도 주변 해역의 해수면 변화에 대한 해양순환 역할 규명 · 해수의 열팽창 및 육빙의 소멸에 의한 전지구 해수면 상승률 평가 · 해수의 열팽창 및 육빙의 소멸이 한반도 주변 해역의 해수면에 미치는 영향 진단 	<ul style="list-style-type: none"> · 지역별 한반도 연안역 해수면 상승률 추정(계속) · 한반도 주변 해역의 해수면 변화에 대한 해양순환 역할 규명(계속) · 해수의 열팽창 및 육빙의 소멸이 한반도 주변 해역의 해수면에 미치는 영향 진단(계속)
지역기후모델을 이용한 한반도 주변해역 극치 해수면 예측	<ul style="list-style-type: none"> · 고해상도 지역기후모델 수립 · 전지구 기후시스템 모델-지역 기후모델 접합모델링 · 고해상도 지역 기후모델을 이용한 한반도 주변 해역에 대한 해수면 상승률 예측 · 고해상도 지역 기후모델과 파랑모델의 연계 및 파랑환경 예측 · 해양 온난화가 태풍의 강도에 미치는 영향 파악 · 고해상도 지역기후모델과 태풍모델의 연계 및 태풍강도 측정 	<ul style="list-style-type: none"> · 고해상도 지역 기후모델을 이용한 한반도 주변 해역에 대한 해수면 상승률 예측(계속) · 한반도 주변 해역의 해수면 상승에 대한 기후변화 요소들의 역할 규명 · 고해상도 지역 기후모델과 파랑모델의 연계 및 파랑환경 예측(계속) · 고해상도 지역기후모델과 태풍모델의 연계 및 태풍강도 측정(계속)

○ 해양생태계 변동 예측

핵심 분야	1단계(2008~2012)	2단계(2013~2030)
지역해 해양생태계 장기모니터링 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> · 지역해 해양생태계 모니터링 해역 선정 및 시스템 구축 · 지역해 해양생태계 변화 감시를 위한 정기 관측 · 생태계 모니터링 기술 및 장비 개발 · 해양생태계 중 다양성 및 군집구조 분석 	<ul style="list-style-type: none"> · 지역해 해양생태계 변화 감시를 위한 정기 관측(계속) · 해양생태계 중 다양성 및 군집구조 분석(계속) · 해양생태계 생물생산성 분석 · 해양생태계 먹이망 및 기능 분석
기후변화(수온상승, 해양산성화)에 따른 해양생물/해양생태계 반응 평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 수온상승에 따른 지역해 해양생태계 대표 생물종의 생리/생태 반응 평가 · 지역해 해양산성화 진행 파악 및 미래 변화 예측 · 산성화에 따른 지역해 해양생태계 대표 생물종의 생리/생태 반응 평가 	<ul style="list-style-type: none"> · 수온상승에 따른 지역해 해양생태계 대표 생물종의 생리/생태 반응 평가(계속) · 수온상승이 지역해 해양생태계에 미치는 영향 평가 및 예측 · 산성화에 따른 지역해 해양생태계 대표 생물종의 생리/생태 반응 평가(계속) · 해양산성화가 지역해 해양생태계에 미치는 영향 평가 및 예측
기후변화에 따른 지역해 해양생태계 변화 시뮬레이션 및 예측기술	<ul style="list-style-type: none"> · 생태계 모델 구조 설계 기술 개발 · 모델 정당화 기술 개발 · 물리-생물 모델 접합기법 · 하위영양준위-상위영양준위 접합기법 · 자료동화 및 검증 기법 	<ul style="list-style-type: none"> · 모델 구조의 특성 비교 분석 · 자료동화 및 검증 기법(계속) · 예측 불확실성 추산 기법

3. 단계별 필요 예산

핵심 분야	1 단계					2 단계	총 계
	'08	'09	'10	'11	'12	'13~'20	
한국해 중장기 변동 특성평가	10	10	15	20	25	100	180
해양온난화 시나리오 작성	10	10	15	15	20	80	150
지역해 모델 개발	10	10	15	15	20	80	150
지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단	10	10	15	20	20	50	125
지역기후모델 이용 극치해수면 예측	10	10	15	20	25	70	150
지역해 해양생태계 장기모니터링 프로그램	10	15	20	20	25	100	190
기후변화에 따른 해양생물/해양생태계 반응 평가 기술	10	10	15	15	20	80	150
기후변화에 따른 지역해 해양생태계 변화 시뮬레이션 및 예측 기술 개발	10	10	15	20	20	80	155
계	80	85	125	145	175	640	1250

VI. 연구개발 결과의 활용계획

- 환경부 주관 국가 기후변화 적응 마스터플랜 수립의 해양 예측 부문 중점과제로 추진 함.
- 수립된 중점 추진과제의 수행을 통하여 연안, 해양, 수산 분야의 적응책 수립을 위한 예측 과학정보로 활용함.

목 차

요약문	i
제1장 서 론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	2
가. 주요 연구내용	2
나. 연구 추진체계 및 방법	2
제2장 기후변화에 따른 해양 예측 부문 현황과 향후 전망 분석	3
1. 해양의 기후변화 관측 개요	3
가. 전지구 해양의 기후변화 평가	3
나. 우리나라 주변해역 현황	4
다. 전지구 해양의 미래 기후변화 전망	5
라. 우리나라 주변해역의 기후변화 전망	6
2. 해양예측 부문 기술적 현황과 문제점	7
가. 지구 기후모델의 계통	7
나. 기후변화 예측모델의 국제적 현황	8
다. 기후모델 모의 성능에서 향상해야 할 부분	9
라. 국내 기후모델 개발 현황과 문제점	9
3. 해양예측 부문 정책적 대응 현황과 문제점	10
4. 해외 사례	18
가. 기후변화 연구의 국제적 동향	18
5. 향후 전망	22
제3장 해양예측 부문 중점 추진 전략과제 도출	25
1. 중점 추진 전략과제 도출의 기본 방향	25
2. 중점 추진 전략과제의 개요	26
가. 해양 기후변동 예측	26
나. 해수면 상승 진단 및 예측	26
다. 해양생태계 변동 예측	26

제4장 추진 전략과제 중장기 계획: 해양 기후변동 예측 27

- 1. 추진 전략과제 핵심분야 정의 및 기술범위 27
- 2. 추진현황과 문제점 분석 28
 - 가. 국외 동향 28
 - 나. 국내 현황 34
 - 다. 문제점 분석 35
 - 1) 국내 기술개발 수준 35
 - 2) SWOT 분석 36
 - 3) 국제 경쟁력 분석 37
- 3. 세부추진과제 38
 - 가. 세부추진과제 설정 38
 - 나. 세부과제 추진목표 및 기대효과 38
 - 1) 추진목표 38
 - 2) 기대효과 38
 - 다. 세부추진과제 추진방안 38
 - 1) 기술영역 및 요소기술 (<표 4-2> 참조) 38
 - 2) 과제이행체계 (추진주체, 기관) 42
 - 3) 기술지도 43
 - 4) 필요예산 44

제5장 추진 전략과제 중장기 계획: 해수면 상승 진단 및 예측 45

- 1. 추진 전략과제 핵심분야 정의 및 기술범위 45
- 2. 추진현황과 문제점 분석 46
 - 가. 국외 동향 46
 - 나. 국내 현황 56
 - 다. 문제점 분석 58
 - 1) 국내 기술개발 수준 58
 - 2) SWOT 분석 59
 - 3) 국제 경쟁력 분석 59
- 3. 세부추진과제 60
 - 가. 세부추진과제 설정 60
 - 나. 세부과제 추진목표 및 기대효과 60
 - 1) 추진목표 60
 - 2) 기대효과 60

다. 세부추진과제 추진방안	61
1) 기술영역 및 요소기술 (<표 5-4> 참조)	61
2) 과제이행체계 (추진주체, 기관)	62
3) 기술지도	63
4) 필요예산	64
제6장 추진 전략과제 중장기 계획: 해양생태계 변동 예측	65
1. 추진 전략과제 핵심분야 정의 및 기술범위	65
2. 추진현황과 문제점 분석	66
가. 국외 동향	66
나. 국내 현황	70
다. 문제점 분석	72
1) 국내 기술개발 수준	72
2) SWOT 분석	72
3) 국제 경쟁력 분석	73
3. 세부추진과제	74
가. 세부추진과제 설정	74
나. 세부과제 추진목표 및 기대효과	74
1) 추진목표	74
2) 기대효과	74
다. 세부추진과제 추진방안	75
1) 기술영역 및 요소기술 (<표 6-2> 참조)	75
2) 과제이행체계 (추진주체, 기관)	77
3) 기술지도	78
4) 필요예산	79
참고문헌	80
<부 록 1>	82
<부 록 2>	85

| 표 목차 |

<표 2-1> 한반도 주변해역 연평균 표층수온 예측치 (국립수산과학원)	6
<표 2-2> 우리나라 해수면 상승시 침수 가능면적과 영향인구	6
<표 2-3> 장기 해수면 상승에 따른 연안 침수면적과 적응 비용	7
<표 2-4> 기후변화협약 대응 제1차 정부종합대책	11
<표 2-5> 기후변화협약 대응 제2차 정부종합대책 5대 부문과 각 부문별 추진전략	12
<표 2-6> 제2차 종합대책의 각 부문별 관련 연구 및 기술개발 사업	13
<표 2-7> 제3차 정부종합대책 부문별 추진과제 (3대 부문, 총 92개 과제)	14
<표 2-8> 해양수산부문 제1차 종합대책 세부실천 과제 추진 현황	16
<표 2-9> 해양수산부문 제2차 종합대책 핵심전략과 중점 추진과제	17
<표 2-10> 국토해양부 기후변화 종합대책 해양 부문 중점 추진과제	17
<표 4-1> 해양기후변동 예측 분야 SWOT 분석	37
<표 4-2> 해양예측 분야 중점 추진과제(1)와 세부 추진과제 및 기술 영역	42
<표 5-1> 우리나라의 주요 지역별 해수면 상승률 (국립해양조사원)	57
<표 5-2> 해수면 상승 진단 및 예측 분야 SWOT 분석	59
<표 5-3> 해수면 상승 진단, 예측 및 적응 분야 중점 추진과제(2)와 세부 추진과제 및 기술 영역	62
<표 6-1> 해양생태계 변동 예측 분야 SWOT 분석	73
<표 6-2> 해양생태계 변동 예측 분야 중점 추진과제(3)와 세부 추진과제 및 기술 영역	77

| 그림 목차 |

[그림 2-1] 20세기의 해양 상태 변화에 대한 관측 결과의 모식도	4
[그림 4-1] TAO/TRITON의 관측정점들	28
[그림 4-2] GODAE 프로젝트 조직도	29
[그림 4-3] NOAA 실시간 해양예보시스템	31
[그림 4-4] 지중해 해양예보 시스템	32
[그림 4-5] 큐슈대 응용역학연구소의 동해해황예보시스템	32
[그림 4-6] 일본 프론티어연구센타의 일본연안해양예보시스템	33
[그림 4-7] 호주의 Blue Link 해황예보시스템	34
[그림 5-1] 전세계의 해수면 상승률과 원인별 상승률	46
[그림 5-2] 1993년부터 2003년까지 TOPEX/Poseidon 위성고도계로부터 얻어진 해수면 상승률(a)과 열팽창에 의한 해수면 상승률(b)	47
[그림 5-3] A1B, A2 그리고 B1 기후 시나리오에 대한 각 기후 모델의 열팽창에 의한 해수면 상승률 예측 결과	48
[그림 5-4] 해양밀도와 순환의 변화로 인한 해수면 변화 예측 결과	48
[그림 5-5] 2090년부터 2099년 사이의 해수면 상승에 대한 원인별 시나리오별 예측	50
[그림 5-6] IS92a 기후변화 시나리오에 따른 인도 벵갈만 연안의 50년후 극치 해수면 상승 예측결과	50
[그림 5-7] 이산화탄소 배출 시나리오에 따른 50년간의 극치 해수면 상승 예측 결과	51
[그림 5-8] 영국 기후 영향 프로그램의 개념도	52
[그림 5-9] PRECIS 시스템의 첫 화면 (http://precis.metoffice.com)	53
[그림 5-10] 영국 POL의 해일예보 및 범람경고 시스템의 개념도	53
[그림 5-11] 일본 MRI-JMA의 지역기후모델 개념도	54
[그림 5-12] 미국 NOAA의 WaveWatch III를 이용한 파랑예보 체계의 웹기반 서비스	55
[그림 5-13] 위성 해면고도 자료(×)와 관측 수온과 염분자료로부터 추정된 해면고도 자료(●)를 이용하여 계산된 해면고도 상승률	56
[그림 5-14] 국립해양조사원에서 운영하고 있는 27개의 검조소 위치도	57
[그림 6-1] 미국 CalCOFI 생태계 모니터링 프로그램의 조사정점	67
[그림 6-2] IMBER 프로그램의 주요 내용에 대한 모식도. 해양의 생지화학적인 순환과 생태계에 대한 자연적 또는 인위적인 원인에 의한 기후변화의 영향	69
[그림 6-3] NEMURO 모델의 일반적인 구성	70

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 그동안 주로 기후변화협약 대응 위주로 국가의 기후변화 대응책이 수립되어 제3차 종합대책(2005-2007년)까지 진행되어 왔다. 그러나 국제적으로 완화와 적응의 균형적인 기후변화 대응 전략의 접근 필요성이 더욱 부각되고 있으며, 이는 Post-2012의 주요 의제로 대두되고 있다. 이에 따라 우리나라도 그동안의 온실가스 배출저감 위주의 협상 대응 차원에서 벗어나 제4차 종합대책부터는 기후변화 대응 전략의 주요 요소를 충족할 수 있도록 기후변화 대응 종합대책으로 전환하고 있다. 그에 대한 후속조치로서 제4차 종합대책에 기후변화 적응 마스터플랜 수립 과제가 포함되고 환경부를 총괄부서로 하여 각 부문별 적응 국가계획 수립을 추진하도록 요청되었다 (국무총리 훈령개정 제500호). 그러나 기후변화에 따른 적응 관련 분야의 다양한 부문에 대한 국내 기반 연구는 매우 미흡한 실정으로서 각 부문별 전문가들에 의한 사전 관련 연구의 수행이 절실히 요청되는 상황이다.

기후변화에 따른 적응 정책 수립을 위하여는 먼저 신뢰도 높은 기후변화 예측 시나리오에 기반한 각 부문별, 지역별 장래 영향 파악과 취약성 평가가 필수적이다. 기후변화는 해양과 대기, 빙권, 생물권으로 구성되는 매우 복잡한 지구기후시스템의 상호작용으로서 우리나라의 미래 기후변화에 대해 신뢰도 높은 전망 결과를 얻기 위해서는 이와 같은 기후시스템을 정량적이고 과학적인 방법으로 취급할 수 있는 기후변화 과학 예측 연구에 향상이 이루어져야 한다. 그러나 기후변화 예측 분야에 대한 우리나라의 선행 연구는 매우 부족하며 해양 분야의 예측과 기후변화 전망에 대한 국내의 연구 인프라는 더더욱 미약한 수준이다.

이 기획연구에서는 기후변화에 따른 적응 마스터플랜 수립을 위하여 기후변화 과학 해양 예측 부문의 국내 추진 현황과 문제점 및 국가 추진 필요성을 분석하고 추진 전략과제를 도출하며 세부 추진과제의 선정과 중장기 추진방안 등을 제시함을 목적으로 한다. 향후 이 연구에서 도출된 전략과제가 성공적으로 이행될 때 기후변화 예측에 대한 국가 과학기반 구축의 선진화와 함께 수준 높은 예측기술을 통하여 신뢰성 있는 미래 기후변화 영향과 취약성 파악이 가능해질 것이며 이를 통하여 과학적이고 합리적인 적응 대책 수립이 가능해질 것으로 기대된다.

2. 연구의 범위 및 방법

가. 주요 연구내용

본 연구에서는 먼저 기후변화 과학 해양예측 부문의 추진현황과 문제점을 도출하였다. 이를 위하여 해양 부문의 기후변화 모니터링(관측)과 미래 예측과 관련한 기술적 및 정책적 대응 현황과 문제점을 파악하였다. 또한 1차 정부종합대책 이후 추진된 기후변화 과학 기반 구축을 위한 정책의 분석 및 성과와 문제점을 파악하였다. 다음에 해외 사례로서 주요 국가의 기후변화 과학과 관련된 모니터링과 예측 기술(시나리오, 모델 등)의 현황을 조사하였으며 향후의 기술적, 정책적 발전 방향을 전망하였다. 최종적으로 국가 기후변화 적응 마스터플랜 수립을 위하여 해양예측 부문의 추진 전략과제를 설정하고 세부 추진 방안을 제시하였다.

나. 연구 추진체계 및 방법

해양예측 부문의 다학제적인 연구 특성상 해당 분야의 전문가들로 연구팀을 구성하여 각 분야별 현황과 문제점을 파악하고 해당 분야의 추진 전략과제를 수립하였다. 각 분야 전문가 구성은 해양 모니터링, 해양 기후변동, 해양예측 모델링, 해수면 변화, 해양생물 전문가들로 선정하였으며 해양생물 분야 역시 각각의 전문 분야가 상세화된 관계로 동식물 플랑크톤과 하위 영양준위 생태계 변동 및 생태계 모델 전문가들로 구성하여 협동연구를 추진하였다. 구체적인 연구 방법은 각 분야별로 국내외 현황을 조사·발표하고 토론하는 발표회를 격주로 진행하는 방식으로 수행하였다.

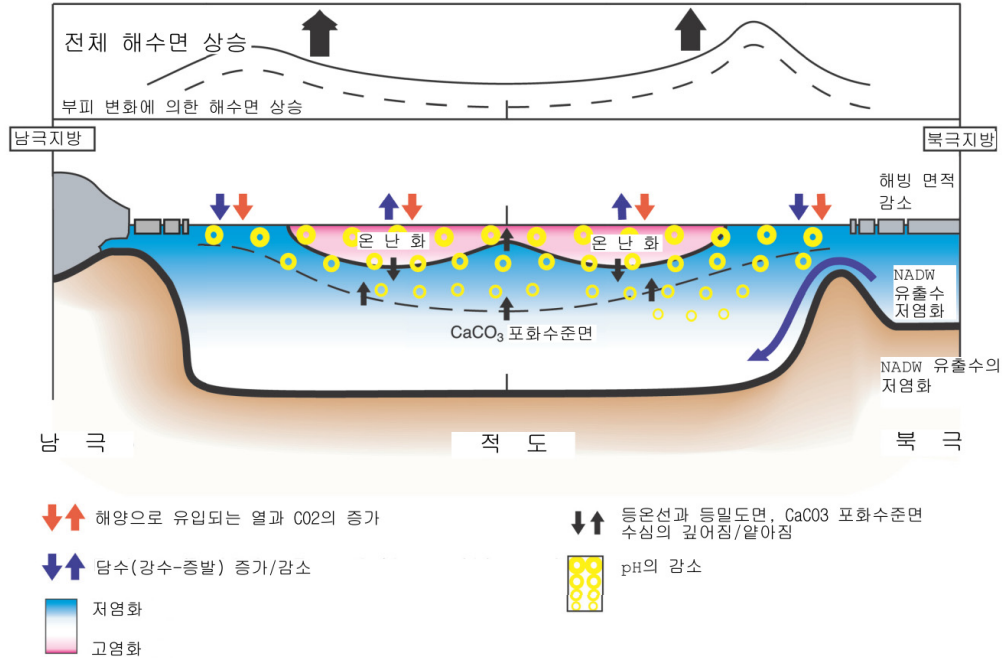
제2 장 기후변화에 따른 해양 예측 부문 현황과 향후 전망 분석

1. 해양의 기후변화 관측 개요

가. 전지구 해양의 기후변화 평가

IPCC 제4차 평가보고서 (Climate Change 2007-The Physical Science basis)에 의하면 1961년 이후의 관측을 통해 전세계 해양에서 적어도 수심 3000 m까지 평균수온의 상승이 이루어졌으며 해양은 지구 기후시스템에 가해진 열의 80% 이상을 흡수한 것으로 평가되었다. 1961년부터 2003년 기간 동안 전지구 해양의 온도는 표층부터 수심 700 m까지 0.10°C 증가했다. 1961년-2003년에 비해 1993년-2003년 기간에는 온난화 속도가 더 높았다. 이러한 온난화는 해수를 팽창시켜 해수면 상승에 기여하였다. 지구 평균 해수면은 1961년부터 2003년에 연 평균 1.8 (1.3~2.3) mm의 비율로 상승했다. 1993년부터 2003년에 걸친 상승률은 더욱 빨라져서 연평균 약 3.1 (2.4~3.8) mm의 비율이었다. 이런 빠른 상승률이 10년 규모 변동인지 보다 더 장기적인 증가 경향인지는 아직 분명하지 않다. 20세기 동안 총 해수면 상승은 0.17 (0.12~0.22) m로 추정된다. 마지막 간빙기(약 125,000년 전)에 지구 평균 해수면은 20세기보다 4~6 m 더 높았을 가능성이 크며 해수면 상승의 주요 원인은 극지방 빙하 감소 때문이었다. 빙하코어의 자료에 의하면 그 기간에 극지역 평균 기온은 현재보다 3~5°C 더 높았었다. 그린란드와 북극지방 빙하에 의한 해수면 상승은 최대 4 m 정도일 가능성이 높고 남극 빙하 역시 해수면 상승에 기여했을 것이다. 중위도와 고위도 해역에서 해수의 저염화가 진행되었고 저위도 해역에서는 고염화가 진행되었다. 이러한 현상은 강수량과 증발량의 변화를 의미한다. 1970년대 이후 북대서양에서 강한 열대성 폭풍 활동이 증가된 증거가 있으며 이는 열대지방의 해수면 온도가 상승한 것과 밀접한 관련이 있다. 일부 다른 지역에서도 강한 열대성 폭풍 활동의 증가가 암시되고 있으나 아직 분명한 경향을 파악하기는 어렵다. 수십년 주기 변동성의 존재와 1970년경에 개시된 현업 위성에 의한 관측 이전의 열대성 폭풍 자료에 대한 신빙성이 떨어지는 관계로 아직까지 열대성 폭풍 활동의 장기적인 변화 경향을 검출하기는 어렵다. 해양의 생지화학적 상태도 변하고 있다. 해양의 무기탄소 총량은 산업혁명 이전 시기의 말(약 1750년)과 1994년 사이에 118 ± 19 GtC 더 늘어났으며 계속해서 증가하고 있다. 배출된 이산화탄소 중 해양에 흡수되는 비율이 1750~1994년 동안의 42%에서 1980~2005년 동안의 37%로 감소된 것으로 추정한다. 무기탄소 총량의 증가는 탄산칼슘이 용해되는 수심의 감소를 가져왔고 또한 1750년 이래로 평균 0.1 단위만큼 표층 해양의 pH 감소(산성화)도 야기했다. 대부분의 해양 수온약층(약 100-1000 m)에서

1970년대 초부터 1990년대 말에 걸쳐 산소 농도가 감소되었으며 이는 해수 교환 속도의 감소에 기인하는 것으로 추정된다.



[그림 2-1] 20세기의 해양 상태 변화에 대한 관측 결과의 모식도 (수온, 염분, 해수면, 해빙, 생지화학 순환 등을 포함함). 그림의 기호들은 해양 변수들의 변화가 진행되는 방향을 나타냄. (IPCC, 2007)

나. 우리나라 주변해역 현황

동해의 표층 수온은 과거 100년 동안 약 2°C 상승하였으며, 이러한 변동성은 동해 북서부 (북한 근접해역)에서 가장 두드러지게 나타났다 (이재학 외, 2006). 한국 연안의 27개 정점의 표층 수온 분석 결과는 1969년부터 2004년까지 0.01~0.06°C/년의 증가율을 보였다 (민홍식 외, 2006). 특히 동해안의 정점에서 증가 추세가 가장 크며, 1970년대에 꾸준히 증가하다가 1970-1980년 사이에 약간의 하강을 보인 이후 1980년대 후반에 급격히 상승하여 최근까지 높은 수온을 유지하고 있다. 근래의 수온 상승에 의해 국내 연안 어장의 약 23%(7,427ha)가 갯녹음 피해를 입은 것으로 보고되었으며, 이와 같은 수온 상승은 어병 발생과 확산을 가속화시키고 해양생태계의 구조와 조성에 변화를 가져올 것으로 보고있다 (국립수산과학원, 2007).

우리나라의 해수면 변화는 해안과 도서의 검조소에서 장기적으로 행해져온 조석 관측에 근거하여 그 장기적인 변화 추세를 파악할 수 있는데, 동해안과 서해안의 경우 0.1~0.2 cm/년의 추세를 보이며 제주와 서귀포에서 가장 높은 상승률(1960-2006년 기간 동안 각각

0.5 cm/년과 0.6 cm/년)을 보인 것으로 보고되었다 (해양조사원, 2007). 인공위성 고도관측 자료와 해양관측 자료 분석을 통하여 동해 연안뿐만 아니라 동해 내부의 해수면 장기변화 경향도 파악되었는데 (강석구 외, 2005; 이재학 외, 2006), 동해 해수면 상승률은 최근 30년간 3.2 mm/년의 수치를 보이는데 반해 최근 14년간과 9년간에는 각각 6.4 mm/년과 6.5 mm/년의 율로 상승한 것으로 밝혀졌다. 이와 같은 동해 해수면 상승은 수온의 변화에 의한 열팽창 효과가 가장 큰 원인인 것으로 나타났으며 최근의 전지구 평균값보다 높은 것으로 우리나라 주변해역이 기후변화에 대한 반응이 크다는 것을 의미한다.

다. 전지구 해양의 미래 기후변화 전망

IPCC 제4차 평가보고서(IPCC, 2007)에서는 제3차 평가보고서(TAR)와 비교해 모델들이 더 다양해졌고 모의 실험도 더 많이 이루어짐으로써 관측자료의 증가에 따른 정보의 추가와 함께 미래 기후변화의 다양한 양상을 추정하는데 더 많은 정량적 근거들을 제공할 수 있었다. 모델의 모의실험은 이론적인 배출 농도를 가정하거나 가능한 미래의 배출 범위를 고려하여 실시되었는데 가능한 미래는 2000~2100년에 대한 SRES 시나리오와 2000년 농도를 그대로 유지하는 실험 및 2100년 이후 온실가스와 에어로솔 농도를 일정하게 유지하는 모델 실험을 포함한다. SRES 시나리오에는 B1, A1T, B2, A1B, A2 및 A1FI의 시나리오가 포함된다. 6개의 배출 시나리오에 대해 다중모델의 모의결과를 통해 최적 추정치와 불확실성 범위가 제공됨으로써 TAR에 비해 더욱 진보된 방안으로 전망과 평가를 할 수 있게 되었다. 이들 시나리오에 의한 2090~2099년 기간의 해수면 상승은 1980~1999년과 비교할 때 0.18~0.59 m에 이르는 것으로 제시된다. 대기 중 이산화탄소의 농도 증가는 해양의 산성화를 증가시킨다. SRES 시나리오에 근거한 전망은 산업화 이후 산성도(pH)가 0.1 감소한 것에 더하여 21세기에는 산성도가 0.14~0.35 정도 더 낮아질 것으로 제시하고 있다. 21세기에 전망된 온난화는 내륙과 북반구 고위도에서 가장 크게 나타나고 남반구 해양과 북대서양 일부해역에서는 작은 것으로 나타났다. 모든 SRES 시나리오에서 북극과 남극의 해빙이 축소될 것으로 전망된다. 일부 전망에서는 북극해에서 늦여름 해빙이 21세기 후반에는 거의 소멸된다. 미래에 열대저기압 (태풍과 허리케인)은 열대 해수면 온도의 지속적인 상승과 함께 최대 풍속이 더욱 강화될 가능성이 있다. 전지구적으로 열대저기압의 발생수가 감소한다는 전망에 대한 신뢰도는 낮다. 현재 모델 모의결과에 따르면 대서양의 심층순환 (MOC)은 21세기 동안 느려질 가능성이 매우 높다. A1B 시나리오의 경우 다중모델 평균은 2100년까지 25% (0~50% 범위) 감소한다. 대서양 지역의 기온은 온실가스의 증가로 인한 기온상승이 우세하여 MOC가 감소함에도 불구하고 상승할 것으로 전망된다. MOC는 21세기에 급격한 불연속적인 변화의 가능성은 매우 낮다. 기후과정과 피드백과 관련된 시간규모 때문에 온실가스 농도가 안정화되더라도 인위적인 온난화와 해수면 상승은 수세기 동안 지속될 것으로 전망된다. 2100년 이후 A1B 수준으로 복사강제력이 안정화되면 열팽창만으로 해수면은

2300년까지 1980~1999년 대비 0.3~0.8 m 상승할 것이다. 심해로 열이 수송되는데 걸리는 시간 때문에 열팽창은 수세기 동안 지속될 것이다. 그린랜드 빙상의 축소는 2100년 이후에도 해수면 상승에 기여할 것으로 전망된다. 그린랜드 빙상의 질량 감소가 천 년간 지속된다면 그린랜드 빙상은 거의 사라지고 해수면은 약 7 m 상승할 것이다.

라. 우리나라 주변해역의 기후변화 전망

국립수산과학원에서는 1921년부터 우리나라 주변해역 (동해, 서해, 남해의 연근해)의 해양 특성(수온, 염분, 용존산소 등)을 정기적으로 관측하여오고 있다. 장기적으로 조사된 해표면 수온의 분석 결과 최근 39년간(1968~2006년)의 상승률이 지속될 경우 21세기말에 우리나라 주변해역의 연평균 수온은 18.9℃로 상승될 것으로 전망하고 있다 (<표 2-1> 참조).

<표 2-1> 한반도 주변해역 연평균 표층수온 예측치 (국립수산과학원)

	동해	서해	남해	한반도 전체평균
현재 평균온도	16.43℃	14.65℃	18.55℃	16.50℃
2050년	17.50℃	15.76℃	19.70℃	17.61℃
2100년	18.71℃	17.03℃	21.01℃	18.87℃

우리나라의 경우 해수면 50 cm 상승 시, 서울면적의 1.4배에 달하는 면적의 침수가 추정되었다 (KEI 2002, <표2-2>). 현재 우리나라 연안에서 가장 높은 해수면 상승률은 제주도 지역에서 나타나고 있다 (0.5 cm/년). 제주 연안의 해수면 상승률에 단순 선형 외삽 방법을 적용할 경우 향후 50년에는 25 cm, 향후 100년에는 50 cm의 해수면 상승이 예상된다. 해수면 상승에 따른 침수 면적 평가를 위하여 제주 함덕 해수욕장과 인근 지역을 사례 조사한 연구결과에 의하면, 평균 해수면 상 약 1.5 m에 위치하는 해안선까지의 면적, 즉 해안선 이하 면적은 11,866 m²로 나왔고, 정밀 측량된 현장 표고자료로부터 50 cm와 100 cm 해수면 상승시의 침수 면적 산출 결과는 각각 5,680 m²와 21,707 m²로 나왔다. 이로부터 100 cm 해수면 상승 시나리오하에서 현재의 해안선 지역을 넘어 주거지역과 연안 시설까지 침수가 이루어짐을 알 수 있었다 (이재학 외, 2006). 이 평가에서는 고조시의 조위 상승만이 고려되었으며 폭풍해일과 해파의 내습 등에 의한 침수 영역의 확장은 고려하지 않았다.

<표 2-2> 우리나라 해수면 상승시 침수 가능면적과 영향인구

해수면 상승	침수가능 인구(명)	침수가능 면적(km ²)	비고
0.5m	268,745	856.126	서울면적의 1.4배
1.0m	312,855	984.304	서울면적의 1.6배

※ 침수가능 지역 및 인구는 해수의 조석 및 태풍해일을 고려한 수치임

장기적인 해수면 상승으로 인한 연안부문의 적응비용은 지수적으로 증가될 것으로 전망되었다. DIVA (Dynamic Integrating Vulnerability Assessment)를 적용했을 때, 향후 100년내 해수면이 22, 47, 96cm 상승 시 추가적으로 발생할 수 있는 침수면적과 총 추가적용 비용은 <표 2-3>과 같이 산출되었다 (2007, 황진환).

<표 2-3> 장기 해수면 상승에 따른 연안 침수면적과 적응 비용

연도	수면상승	침수면적(km ²)			침수비용(억원)		
		22cm	47cm	96cm	22cm	47cm	96cm
2020		0	10.23	37.65	0	53.27	634.01
2040		24.57	60.71	139.90	390.87	346.83	2,147.36
2060		59.21	130.15	271.26	1,019.77	1,411.05	3,265.85
2080		99.68	214.73	430.50	1,289.22	2,345.87	4,824.76
2100		151.46	309.80	621.52	2,106.74	2,806.77	6,868.37

※ KEI 침수면적 추정 시 조석 및 태풍·폭풍해일 고려, DIVA 추정시 조석만 고려.

2. 해양예측 부문 기술적 현황과 문제점

가. 지구 기후모델의 계통

단순 기후 모델 (Simple Climate Model; SCM)은 해양-대기 시스템을 하나의 지구 상자 혹은 반구 상자로 표현하고, 에너지 균형 원리와 기후민감도, 해양의 열 흡수에 대한 기본적인 관계식과 대표치 등을 사용하여 지표 온도를 예측하며 지구 평균 기온과 열팽창성 평균 해수면의 상승을 추정할 수 있도록 한다. SCM은 단순한 형태의 생지화학 모델에도 결합시킬 수 있으며 다양한 배출 시나리오들에 대해 기후반응을 신속히 추정할 수 있다는 장점이 있다. 중간단계 복잡도 지구시스템 모델 (Earth System Models of Intermediate Complexity; ESMIC)은 대기 순환과 해양 순환의 역학과정과 모수를 포함하고 생지화학 순환도 포함할 수 있으나 공간적인 해상도는 떨어진다. 이 모델들을 사용해서 대륙 단위의 기후변화를 조사할 수도 있고, 여러 대륙에서 대형의 다중 모의를 실행하거나 장기적인 모의를 하는데 유용하다. SCM과 ESMIC 모두 미래 기후의 확률적 전망을 수행하는데 적합하다. 가장 포괄적인 모델은 대기-해양 대순환모델 (Atmosphere-Ocean General Circulation Model; AOGCM)이다. 이 모델은 대기, 해양, 지표면 과정뿐만 아니라 해빙과 관련된 과정과 기타 구성요소들을 다루며 해양과 대기의 역학 및 열역학과정 속에 구름 형성과 강수, 파동 과정, 해수의 혼합, 수괴 형성 등이 모수화되어 포괄적으로 표현되어있다. 전세계 여러 기후 연구기관에서 20개 이상의 AOGCM들이 기후모의에 참여하고 있다. 기후 전망이

AOGCM마다 다른 주된 이유는 모수화의 불확실성 때문이다. AOGCM의 해상도가 급속히 향상되고는 있으나 아직 지역 기후변수의 미세 규모까지 모사하는 것은 불충분하다.

나. 기후변화 예측모델의 국제적 현황

과거 기후의 변동성을 이해하고 그 원인을 규명하며 미래 기후변화를 전망하는데 있어 일차적으로 사용되는 주요한 도구는 대기-해양 대순환모델이다. TAR 이후 대기-해양 대순환모델과 모델을 이용한 모의 실험에서 많은 진전이 이루어졌고 모델의 전반적인 신뢰성이 높아졌다. 현재까지 개선되어 왔고 제4차 평가에서 사용된 대기-해양 대순환모델의 기술수준과 다양한 전망에 대한 모델 수행 평가는 다음과 같다.

여러 시간규모와 공간규모에 대한 지구 기후모델들의 전망 현황에 대한 평가;

기후모델은 미래 몇 십 년 혹은 그보다 더 긴 기간의 기후를 전망한다. 세부적인 개별 기상 변화를 예보하지 않기 때문에 초기 대기조건은 기상예보 모델에서보다 덜 중요하다. 그 보다는 강제력이 훨씬 더 중요한데 강제력에는 지구에 도달하는 태양 복사에너지의 양, 화산 분출에 의해 대기 중 들어가는 입자성 물질의 양, 인위적인 온실가스 및 입자의 대기 중 농도가 포함된다. 대상 영역이 지구 전체에서 지역이나 더 좁은 공간 영역으로 이동할수록 또는 관심 시간대가 짧아질수록 기상에 관련된 변동성의 진폭이 장기 기후변화의 신호에 비례하여 커진다. 이 때문에 시공간적으로 작은 규모에서는 기후변화 신호를 탐지하기가 더 어렵다. 1년이나 10년 규모의 현상을 다룰 때는 해양의 조건이 더불어 중요한 요소로 관여한다. 제4차 평가보고서에서는 각 대륙과 대양에 대한 전망이 제시되었으나 아직까지 그보다 더 좁은 지역(대륙의 한 지방이나 국가, 또는 그보다 더 상세한 지역)이나 지역해에 대한 전망은 제시되지 않았다.

모델의 수학적 체계 구성의 향상도;

AOGCM의 수학적 체계는 지난 수년간 더욱 향상되었는데 무엇보다도 공간 해상도가 더욱 향상되었고 수치기법과 해빙, 대기경계층, 해양혼합 등에 대한 모수화도 향상되었다. 강제력에서 에어로솔 등 많은 핵심과정들이 보강되었다. 또한 대부분의 모델들이 플럭스 조정을 사용하지 않고 안정된 기후를 모의하고 있다. 그러나 아직까지 해양의 반응 시간이 매우 느린 점과 관련된 일부 장기적인 경향이 AOGCM 적분과정에 남아있다.

현재 기후의 모의 성능;

모델의 수학적 구성이 향상됨으로써 현재의 평균 기후의 여러 측면에 대한 모의도 향상

되었다. 강우, 해면기압, 지표온도 등의 대기 현상에 대한 모의가 향상되었고, 온대성 저기압의 모의가 향상되었다. 그러나 열대 강우와 구름, 열대성 저기압의 모의에 대해서 지속적인 모델 향상이 필요하다. 해양 수괴구조, 심층 대순환, 해양의 열 전달 모의에 대해 전보다 향상되었다. 그러나 대부분의 모델들이 남빙양 모의에서 편향을 보인다. 이 점은 기후가 변할 때 해양의 열 흡수량에 대해 불확실성의 요소로 작용할 수 있다.

기후변동성 모의 능력;

모델들은 관측된 기후 현상 (NAM/SAM, PNA, PDO)과 닮은 지배적인 모드의 온대 기후 변동성을 모의하지만 그 특징을 모사하는 데에는 아직 문제를 보인다. ENSO의 중요한 특징을 모사하는 모델들이 있으나 메든-줄리안 진동 (Madden-Julian Oscillation)은 일반적으로 만족스럽지 못하다.

다. 기후모델 모의 성능에서 향상해야 할 부분

- 심해 기후 표류- 대부분의 모델이 특히 심해에서 기후 표류를 조절하는데 어려움이 있다. 이 기후 표류는 여러 해양 변수의 변화를 평가할 때 해명해야 하는 부분이다.
- 남빙양 모의- 남빙양의 모의에서 구조적인 편향이 발견된다. 이것은 점진적인 기후 반응에 대한 불확실성으로 이어진다.
- 다중 모의 실험에 따르는 제약- 방대한 앙상블 실험과 함께 추가 과정을 포함하는 모의실험은 현재의 컴퓨터 자원으로는 달성할 수 있는 공간 해상도상의 제약을 받게 된다. 지역적으로 더 상세한 해상도를 가지는 모의 실험을 위하여 연구 개발이 필요하다.
- 대륙 빙상의 해양 배출- 남극 빙상과 그린란드 빙상이 급속히 역학적으로 변화하여 해양으로 얼음이 배출됨으로 해수면에 변화를 가져올 수 있는 핵심과정을 다루는 모델이 아직 존재하지 않는다.

라. 국내 기후모델 개발 현황과 문제점

우리나라에서 기후변화와 관련된 연구는 1990년대 후반부터 정부 부처 (환경부, 이전 해양수산부, 기상청(기상연구소), 산림청, 농진청)와 대학, 정부 출연연구기관 등에서 중규모 과제 형태로 산발적으로 시행되었다. 특히 기후 모델과 관련하여 모델 개발, 접합 모델링, 모델 결과 분석 등을 목표로 한 본격적인 기후모델 개발 연구는 환경부에서 추진한 G7 프로젝트에서 시작되었다고 볼 수 있다 (김정우 외, 1995). 이후 과기부의 SRC 사업을 통해 기후모델 개발이 이어져 해양-대기 접합모델 형태의 기후모델이 개발되었다. 현재의 연구개발 현황으로는 2005년부터 시작된 기상지진기술개발사업단의 기후연구 지원사업이 대표적

인데, 이 사업단을 통해 기후변화의 원인, 감시, 예측, 적응 분야에 다수의 연구과제가 수행되고 있다. 향후의 계획으로는 기상청과 환경부에서 지구시스템모델과 기후-대기 환경통합 모델 개발을 예정하고 있다. 현재 국내 대기분야의 기후모델 연구 수준은 주로 해외에서 운용중인 기후모델을 도입하여 활용, 적용하거나 또는 기후시스템모델을 구성하는 성분모델로 이용하는 정도이며 어느 정도 수준의 독자적인 기후모델로 개발할 수 있기에는 연구개발 인력의 부족과 연구과제의 중장기적 지원 부족 등의 문제점을 안고 있는 상황이다.

이에 비해 해양에서의 기후모델 연구는 국내 대기 분야의 연구 수준에 비해 여러 모로 더욱 취약한 수준이다. 해양에서는 아직까지 기후변화에 대한 지역해 (동아시아 지역해 또는 동해)의 반응이나 기후변동에 대한 이론적인 연구에 머물러 있으며 이 연구들은 주로 정부 출연연구기관의 자체 사업으로 이루어져왔다 (이재학 외, 2006). 전지구 해양순환모델에 대해서도 환경부와 이전 해양수산부, 과기부 등의 지원사업을 통해 일부 수행되기도 하였는데 (박영규 외, 2004; 장찬주 외, 2006), 전구순환모델의 경우 모델 특성상 장기적인 적분 수행을 필요로 함에도 전산자원의 제약 등으로 해서 극히 제한적인 실험에 머물렀다. 해양의 수괴 특성 변화, 해수면 상승, 생지화학적 변화와 생태계 변화 등과 같이 기후변화에 따른 해양 상태의 변동 예측을 위해서는 대기순환모델과의 접합이 필수적인데 비해, 이 분야의 연구는 국내 대기분야에 비해서도 아직 초보단계이며 일부 성분모델 연구 (생태모델, 해빙모델 등)가 시작 단계에 놓여있다.

3. 해양예측 부문 정책적 대응 현황과 문제점

연안·해양 부문의 적응 대책은 4차에 걸친 정부 종합대책과 이전 해양수산부의 종합대책 및 국토해양부의 종합대책에서 그간의 대응 현황을 파악할 수 있다. 제1차 기후변화협약 대응 정부종합대책(1999-2001년)은 에너지·산업 부문, 폐기물 부문, 농업 부문 등 부문별 온실가스 배출감축에 주된 초점이 맞추어져 있었으며 총 36개 세부과제를 포함했다. 구체적인 저감 대책은 '산업, 수송, 가정·상업, 연료대체, 농림, 축산, 폐기물, 기술개발, 대체에너지'의 각 부문을 대상으로 수립·추진되었으며 연안·해양환경 부문에 대한 대책은 포함되지 않았었다 (<표 2-4>).

<표 2-4> 기후변화협약 대응 제1차 정부종합대책

구분	대책
산업부문	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자발적 협약(Voluntary Agreement)의 본격 추진 ○ 고효율 에너지설비의 보급확대
수송부문	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연비개선 자동차 보급, 경차 보급확대, 대체연료 자동차 도입 ○ 물류합리화, 대중교통대책 ○ 교통수요관리 시책의 강화 및 지능형 교통시스템(ITS) 도입 추진 ○ 환경보전형 교통정책 및 국토·도시계획의 수립 추진
가정·상업 부문	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고효율 에너지기기의 보급확대 ○ 단열·기밀강화 등 에너지절약형 건물설계 및 관리 기준 제정 ○ 지역난방·소형 열병합발전의 확대 ○ 지역난방사업의 지방보급 활성화 시책 추진 ○ 집단에너지사업의 경쟁력 제고방안 수립 ○ 지역난방사업에 대한 환경친화적 기능 강화 ○ 에너지절약형 국토 및 도시구조의 모색
연료대체부문	<ul style="list-style-type: none"> ○ 원자력 및 LNG 발전확대 ○ 도시가스 보급확대
농림부문	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실가스 저감 영농기술 권장 추진 ○ 흡수원으로서의 산림부문 확대
축산부문	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양질의 사료공급, 농업부산물의 화학적 처리대책 강구 ○ 가축의 생산성을 증진하고 반추위내 발효시 메탄생성을 억제시키는 지질이나 이온투과 담체의 첨가를 적극적으로 유도 ○ 축산분뇨 메탄가스 연료화 장치를 개발 및 대단위 가축농가에 보급 ○ 가축의 유전적 개발을 통한 생산성 향상으로 가축두수 증가 억제
폐기물부문	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소각처리비율 확대 ○ 폐기물 매립처리비율 최소화 ○ 폐기물 감량대책 추진 ○ 폐기물의 재활용 추진 ○ 하·폐수 처리시설 확충을 통한 하·폐수 처리율 제고
기술개발 부문	<ul style="list-style-type: none"> ○ 에저지절약, 대체에너지, 온실가스처리, 기후변화 감시예측 등 4개 분야

제2차 정부종합대책(2002-2004년)에는 '의무부담협상 대비 협상역량 강화, 온실가스 감축 기술 개발, 감축대책 강화, 교토메카니즘 대응기반 구축 및 활용, 기후변화협약에 대한 국민의 참여 유도'의 5대 부문별로 추진전략이 수립되고 관련 연구 및 기술개발 과제가 추진되었다 (<표 2-5, 표 2-6>). 제2차 종합대책에는 해양·수산부문 관련 과제와 사업이 상당수 제시되었는데 실제 추진된 과제는 ① 기후변화가 해양생태계 및 수산자원에 미치는 영향 예측 및 대응전략 수립, ② 메탄수화물 자원개발, ③ CO2 심해저장기술 연구, ④ 남극 연구 등으로서 기후변화에 미치는 해양의 역할 규명과 예측에 대한 과학적이고 기초적인 연구는 추진되지 못했다.

<표 2-5> 기후변화협약 대응 제2차 정부종합대책 5대 부문과 각 부문별 추진전략

부 문	추진 전략
의무부담협상에 대비한 협상역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> · 장기 에너지 수급전망을 기초로 지구환경보존과 지속가능한 경제발전을 균형있게 조화할 수 있는 한국의 적정의무부담 방안 개발 · 교토의정서 비준, 국제공조의 강화, 전문인력의 양성 등을 통해 협상역량 확충
온실가스 감축기술 및 환경친화에너지 개발의 촉진	<ul style="list-style-type: none"> · 중·대형 에너지 절약기술, 대체에너지 기술 등 온실가스감축 기술을 미래유망 신기술의 하나인 환경기술로 선정하여 집중적으로 연구·개발 촉진 및 육성 · 환경친화적인 대체에너지 개발노력을 일층 강화해 청정에너지 보급을 확대
온실가스 감축대책의 강화	<ul style="list-style-type: none"> · 통합관리형 에너지 절약정책 시행, 자발적 협약 체결의 확대 등을 통한 산업부문에서의 에너지절약 노력 강화 · 교통혼잡구간 정비, CNG 버스 보급확대, 대중교통수단 확충 등 수송부문에서의 온실가스 감축 추진 · 단열시공 의무화, 에너지 소비효율등급 표시품목 확대 등 가정·상업부문에서의 에너지 절약시책 강화 · 폐기물 처리시설 확충, 영농축산방식 개선, 신규·해외조림 등을 통한 온실가스 흡수원 확대 추진
교토메카니즘 대응기반 구축 및 활용	<ul style="list-style-type: none"> · 배출권거래, 청정개발체제, 공동이행 등 교토메카니즘의 국내 도입체제 구축 및 적극적 활용방안 모색 · 온실가스 국가등록시스템 등 교토메카니즘 대응기반 구축
기후변화협약에 대한 국민의 참여와 협력 유도	<ul style="list-style-type: none"> · 산업계·시민단체 등과의 파트너쉽 강화 및 인터넷을 통한 홍보 강화 · 학생, 직장인들에 대한 교육 및 홍보의 강화를 통해 국민적 참여와 협력 유도

자료 : 기후변화협약 대책위원회(2002)의 내용을 기초로 재구성 및 요약 (임재규, 2002)

<표 2-6> 제2차 종합대책의 각 부문별 관련 연구 및 기술개발 사업

부문	과제명
온실가스 감축	· 중대형 에너지절약 기술개발
	· 차세대초전도 응용기술개발
	· 이산화탄소 분리 상용화 기술 등 개발
	· 이산화탄소 저감 및 처리기술 개발
	· HFC, PFC, SF6 감축기술 개발
	· 고연비저공해 자동차(ISCV) 개발
대체에너지 및 청정에너지	· 태양광, 풍력, 연료전지 등 3대 중점 개발
	· 고효율 수소 제조기술 개발
	· 초전도 핵융합 연구
건축물	· 조력·조류·파력발전 해양에너지 실용화 기술개발
	· 기후변화협약대응 건축물의 에너지절약 중장기 대책
	· 건축물 LCA를 위한 프로그램 개발 및 제도개선 연구
	· 건물 에너지 성능 등급제도 도입
수송	· 친환경 건축물 심사 기준 개발
	· 지속가능한 교통체계 구축
	· 교통·환경 관련 비용의 계량화
	· 자동차 미규제 오염물질 배출특성 평가에 관한 연구
	· 이륜자동차 오염물질 배출량 산정에 관한 연구
	· 중량경유자동차 배출가스 열화계수 평가방법연구
	· 자동차 오염물질 배출량 산정
· 배출가스 시험방법 개선	
농축산	· 시중에 유통되는 연료용 첨가제의 유해물질 및 배출가스 등에 대한 연구
	· 벼논 온실가스 저감 연구
	· 논외 메탄 배출량 감축
	· 밭의 아산화질소 배출량 감축
	· 반추가축의 장내발효개선
	· 축산분뇨 처리시설 개선
임업	· 바이오매스 및 메탄가스 자원화 기술 개발
	· 우리나라의 관련 통계체제 및 바이오매스 연구
	· 기후변화협약 대응 임업부문 온실가스 통계체제 구축
	· 주요 임분별 탄소순환 및 산림의 타용도 전용
	· 산림재해 발생 및 각종 산림작업에 따른 토양탄소량 변화에 대한 연구
	· 임지의 탄소순환에 관한 연구
	· 산림생물다양성 및 생태계 변화 연구
· 산불피해지 복구관리 및 생태계 변화 조사	
해양	· 기후변화가 해양생태계 및 수산자원에 미치는 영향 예측 및 대응전략 수립
	· 해양에서의 온실가스저감 전략적 이용방안 연구
	· 동해 기후변동 예측
	· 해저 메탄수화물 자원 관련기술 개발
	· 온실가스 심해저장 기술 연구
	· 남극 연구
	· 한반도 주변해역의 수온상승 및 해수면 변동 연구
	· 한반도 및 세계해양의 온실가스 순환·배출 연구
· 기후변화에 따른 한반도 해수면상승 영향평가 및 대응	
대기감시 및 환경	· 한반도배경 대기 감시 기술개발
	· 한반도 지역 온실기체 수치분석 및 감시기술 개발연구
	· 기후변화 영향평가 및 적응프로그램 마련
	· 레이저 유도 형광을 이용한 대류권 HOX 라디칼 분석기술 개발 연구

제3차 정부종합대책(2005-2007)은 '협약이행 기반구축, 부문별 온실가스 감축, 기후변화 적응기반 구축'의 3대 부문과 총 92개 과제로 구성되어 과제의 양적 증가와 함께 대책의 전체적인 틀이 협약 대응, 감축, 적응분야로 좀 더 체계화된 점에 그 의의가 크다고 볼 수 있다 (<표 2-7>). 그러나 세부 항목을 살펴보면 전부터 다른 목적으로 수행해오던 각 부처의 과제들이 꼭지만 달리하여 3차 종합대책으로 종합된 것을 문제점으로 지적할 수 있다. 연안·해양 부문도 2차 종합대책에서 수행해오던 과제가 3차 대책에서 그대로 중심을 이루는데, 해양 및 연안 생태계의 감시·진단 과제가 기후변화 과제에서 그 중요성이 인식된 점이 비교적 의의가 크다. 그러나 해양의 증장기적 변화에 대한 과학적이고 체계적인 예측을 위한 연구개발 과제는 아직 대응책에서 주요 과제로 수립되지 못하였다.

<표 2-7> 제3차 정부종합대책 부문별 추진과제 (3대 부문, 총 92개 과제)

과제 번호	과제구분	과제 번호	과제구분
1	협약 이행기반 구축사업	1-3-12	CO ₂ 해양처리기술 개발사업
1-1	협상기반 구축	1-3-13	온실가스 분리이용 상용화기술 등 개발
		1-3-14	해조류를 이용한 온실가스 감축연구
1-1-1	적정 의무부담 참여방식 및 협상 대응논리 개발	1-4	기후변화협약 대응 관련 교육·홍보
1-1-2	의무부담협상에 대비 국제 공조 강화	1-4-1	일반국민 및 산업계 대상 교육·홍보강화
1-1-3	기후변화관련 국제기구에 전문가 진출 지원 강화	1-4-2	초·중·고 교육과정에 관련내용 반영 및 교육강화
1-2	온실가스 관련 통계·분석시스템 구축	1-4-3	기후변화협약 특성화 대학원 지원
1-2-1	국가 온실가스 배출통계 체계(인벤토리 시스템)구축	1-4-4	업종별 대책만 운영 및 자체 감축계획 수립·추진 지원
1-2-2	업종별·기기별 배출통계 DB구축	1-4-5	산업계 조기감축활동 인정
1-2-3	온실가스 저감 잠재량 분석 평가	1-4-6	지자체 기후변화대책 추진 지원
1-2-4	온실가스 감축실적 등록 및 관리	1-5	교도메카니즘 활용기반 구축
1-3	온실가스 감축관련 연구개발	1-5-1	청정개발사업 적극적 활용 및 기후변화 협약 전문기업 육성
1-3-1	중대형 에너지절약 기술 개발	1-5-2	흡수원 활용기반구축
1-3-2	고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술 개발	1-5-3	온실가스 배출권거래제 도입 방안 수립
1-3-3	신재생 에너지 기술 개발	2	부문별 온실가스 감축사업
1-3-4	조력, 조류, 파력 등 해양에너지 기술 개발	2-1	통합형 에너지 수요 관리
1-3-5	고연비 저공해 자동차 개발	2-1-1	자발적 협약의 지속적 확대
1-3-6	제4세대 원자력 개발	2-1-2	에너지관리 진단·지도 강화
1-3-7	차세대 초전도 응용기술 개발	2-1-3	에너지절약전문기업(ESCO) 사업확대
1-3-8	이산화탄소 저감 및 처리기술 개발	2-1-4	에너지절약시설 투자 지원 확대
1-3-9	축산분뇨 자원화 연구	2-1-5	E-Top 프로그램 추진

과제 번호	과제구분	과제 번호	과제구분
1-3-10	음식물 쓰레기 퇴비화 연구	2-1-6	공공기관 에너지소비 총량제 실시
1-3-11	기후변화대응 차세대 환경기술 개발	2-1-7	산업공정상 온실가스 감축 지원
2-2	에너지 공급부문 온실가스 감축	2-5-1	공차율 저감시스템 구축(화물자동차 운송가맹사업 제도)
2-2-1	집단 에너지 및 열병합발전 확대	2-5-2	통행료 전자지불시스템(ETCS) 구축
2-2-2	신재생에너지 보급 확대	2-5-3	첨단도로교통체계(ITS) 구축
2-2-3	청정연료(천연가스 등) 보급 확대	2-5-4	간선급행버스(BRT) 도입
2-2-4	원자력 적정비중 유지	2-5-5	자동차공회전 규제 강화
2-2-5	에너지공급자의 절약계획 수립 추진 의무화	2-5-6	하이브리드 등 무저공해자동차 보급 확대
2-3	에너지 이용효율 개선	2-5-7	경차보급 확대
2-3-1	평균에너지 소비효율 제도(AFE) 시행	2-6	환경·폐기물 부문
2-3-2	대기전력 1W 프로그램	2-6-1	공단폐수처리장 확충사업
2-3-3	최저효율기준 상향 및 대상품목 확대	2-6-2	축산분뇨 공공처리장 확충사업
2-3-4	대기전력 저감프로그램	2-6-3	하수처리장 확충
2-3-5	고효율제품 공공기관 사용 의무화	2-6-4	폐기물 매립지 자원화사업 추진
2-3-6	고효율 기자재 인증대상품목 확대	2-6-5	음식물쓰레기 자원화시설 설치 및 운영
2-3-7	에너지소비효율등급표시제도 확대	2-6-6	바이오디젤 등 청정연료 보급 확대
2-4	건물에너지 관리	2-7	농축산·임업 부문
2-4-1	건축물의 에너지 절약설계 기준강화	2-7-1	농경지 온실가스배출 감축
2-4-2	건축물 에너지소비 총량규제 도입	2-7-2	반추가축 장내발효 개선
2-4-3	건축물 에너지 이용 효율등급 인증	2-7-3	축산분뇨처리 개선
2-4-4	환경친화적 건축물 인증제도 도입	2-7-4	숲가꾸기 사업 확대
2-4-5	자원절약형 신도시 개발	2-7-5	산림병해충 집중 방제
2-5	수송·교통부문 에너지 관리	2-7-6	산불예방 및 진화 적극 추진
2-7-7	도시숲 조성·관리사업 추진	3-2-3	기후변화가 산림생태계에 미치는 영향 연구
2-7-8	해외조림사업 확대	3-2-4	기후변화가 연안생태계에 미치는 영향과 대응 연구
3	기후변화 적응기반 구축사업	3-2-5	기후변화에 따른 동중국해 해양 생태계 변동예측 연구
3-1	기후변화 모니터링 및 방제기반 확충	3-2-6	기후변화에 따른 생태계 변화 모니터링 사업
3-1-1	한반도 온실가스 감시 및 측정기술 개발	3-2-7	한반도 기후변화 진단지표 생물종 조사
3-1-2	기후변화 시나리오 활용기술 개발	3-2-8	농경지 이용에 따른 탄소고정능력 연구
3-1-3	조위관측소 증설	3-2-9	강수량 변화가 농업용수에 미치는 영향평가
3-1-4	자연재난 종합대책 수립·추진	3-2-10	황사에 따른 농업환경 영향평가
3-2	생태계 및 건강 영향평가 관련 연구개발	3-2-11	작물의 생육 및 생산성 영향 평가
3-2-1	부문별 기후변화 영향평가 및 적응방안 마련	3-2-12	기후변화에 따른 건강영향 평가
3-2-2	한국 기후변화협의체(KPCC)운영 및 기후변화 대응 강화		

해양수산부는 해양수산부문의 제1차 종합대책을 2001년에 수립함으로써 정부 부처로서는 가장 먼저 자체 계획을 수립, 제시하였다 (<표 2-8>). 그러나 앞서 지적하였듯이 기존에 다른 목적으로 수행되어오던 사업이 꼭지만 달리하여 기후변화 과제로 들어온 점이 문제점으로 지적되는데 19개 세부과제 중 실제로 07년 말까지 수행이 완료된 3개 과제들이 이러한 성격의 과제들이며 나머지 대부분의 과제들은 부처 내에서 새로운 과제 시행의 필요성만 부각되었을 뿐 실제로는 예산의 뒷받침을 받지 못하여 추진되지 못했다.

<표 2-8> 해양수산부문 제1차 종합대책 세부실천 과제 추진 현황

정책과제	세 부 실 천 과 제	추진결과
1. 해양에서의 온실가스 저감/제거 대책	1.1 국내항 운항선박의 NO _x 배출 규제 1.2 조력 · 조류 · 파력 등 무공해 해양에너지 개발 1.3 해저 메탄수화물 자원개발 1.4 해양에서의 온실가스 저감 전략적 이용방안 연구 1.5 온실가스 심해저장기술 연구	비대상과제 추진 중 미추진 미추진 추진 중
2. 기후변화에 따른 해양 변동감시 및 예측기술 개발	2.1 한반도 주변해역 수온상승 및 해수면변동 연구 2.2 해양-대기 상호작용의 기후계영향 연구 2.3 한반도 고기후 변화의 정량적 복원 2.4 조위 관측소 증설 2.5 한반도 주변 및 세계해양의 온실가스 순환과 배출 연구	미추진 미추진 미추진 추진 중 미추진
3. 기후변화에 따른 해양 및 생태계 변화영향 연구 및 대응	3.1 기후변화의 해양생태계 및 수산자원에 미치는 영향 예측 및 대응전략 수립 3.2 연안침식 및 연안구조물 방어대책 3.3 기후변화에 따른 한반도 해수면상승 영향평가 및 대응 3.4 기후변화에 따른 해상 수송로 변화 대응전략 마련 3.5 지구온난화 및 대규모 연안개발로 인한 조위변화 연구 3.6 상습해수 침수지역 정비사업 추진 3.7 한강 · 임진강 등 감소 하천에 대한 조위영향 분석	추진 중 추진 중 완료 미추진 완료 추진 중 완료
4. 기후변화 관련 국제 협력 강화	4.1 전지구적 기후변동 관측 프로그램 참여 4.2 기후변화 관련 정부간/전문가 회의 참여	추진 중 추진 중

2008년 1월 해양수산부가 수립한 ‘기후변화 대응 해양수산부문 종합대책(안)’에서는 ‘기후변화로 인한 해양변동에 대응하여 국민의 생명과 재산을 보호하고 지구온난화 완화에 기여함’을 비전으로 하여 ‘연안 적응, 수산자원 변동 적응, 온실가스 저감 및 흡수, 기후변화 대응 역량강화’ 분야와 함께 ‘해양변화 과학 기반강화’ 분야가 독립적으로 기획되었다 (<표 2-9>). 해양변화 과학 기반강화 분야의 중점 추진과제로서는 ‘해양순환 변화 및 해수면 상승 관측’, ‘해양물리 변동 예측모델 개발’, ‘해양생태계 변화 관측 및 예측기술 개발’의 3개 과제가 제시되었는데 이는 그동안 저감과 완화에 치중하였던 부처 대책안 수립으로서는 큰 의미가 있는 변화라 할 수 있겠다. 해양수산부의 대책안은 2008년 5월에 수립된 국토해양부

의 '기후변화 대응 국토해양분야 종합대책(안)'에서 '건축물, 교통, 국토·도시, 수자원' 부문들의 기후변화 대책안들과 함께 해양 부문의 중점 후보과제로 검토되었는데, 다시 일부 분야가 축소·조정되면서 <표 2-10>과 같이 3대 부문, 11개 핵심과제로 기획되어 향후 추진 예정이다. 이 과정에서 해양이 기후변화에 미치는 영향과 예측에 대한 중요성이 다소 축소되고 독립적으로 부각되지 못한 점은 향후 해양 분야의 과학적이고 구체적인 적응 대책 수립에서 시간적 지연을 초래할 수 있다.

<표 2-9> 해양수산부문 제2차 종합대책 핵심전략과 중점 추진과제

핵심 전략	중점 추진과제
연안 적응 대책	연안 환경 및 생태계 관리기술 확립
	연안변화예측 및 완화기술 개발
	연안 기후변화영향 및 취약성 평가
수산자원 변동 적응 대책	수산자원변동 관측 및 예측기술 확립
	수산자원 보전 및 관리기술 개발
	신어종 개발 및 고유어종 보전기술 개발
온실가스 저감 및 흡수	해양 신재생에너지 상용화
	해양지중저장 및 해조류 흡수원 활용기술 개발
	선박 연료효율 향상 및 온실가스 포집기술개발
해양변화 과학 기반강화	해양순환 변화 및 해수면 상승 관측
	해양물리 변동 예측모델 개발
	해양생태계 변화 관측 및 예측기술 개발
기후변화 대응역량강화	기후변화 대응 콘텐츠 개발
	해양기후변화적응 인벤토리 구축
	해양수산부문 온실가스 배출량산정 및 통계구축

<표 2-10> 국토해양부 기후변화 종합대책 해양 부문 중점 추진과제

부문	중점 추진과제
영향 적응	해수면 상승 정밀 감시 및 예측
	기후변화가 해양생태계 및 수산자원에 미치는 영향과 대응연구
	기후변화대응 해양분야 시나리오 구축
	해일예측 기반구축 및 설계해면 추산
연구 개발	기후변화 대응 한반도 주변해역변화 예측 및 저감잠재량 분석연구
	기후변화에 따른 연안지형 보전기술 개발
	조력, 조류, 파력 등 해양에너지 기술개발
	CO2 해양 처리기술 개발사업
인프라 구축	해조류를 이용한 온실가스 감축연구
	기후변화 대응 해양관측 인프라 구축
	선박부문 온실가스 배출통계 구축 및 배출저감기술 개발

4. 해외 사례

가. 기후변화 연구의 국제적 동향

미 국

- 일반상황

미국은 기후변화로 인해 해안을 따라 연간 약 2-3 mm/yr의 해수면 상승이 있는 것으로 평가하고 있다. 이에 따라 22세기에는 약 2-3 foot 상승할 것으로 예측된다. 해수면 상승은 육지 소실, 저지대의 범람, 해안 침식, 평행사도의 이동, 습지 증가, 지하수층 및 강하구의 고염화, 해안폭풍의 빈도 및 강도의 증가 등을 유발할 것으로 예상된다.

- 해수면 상승을 경보하기 위해 개발하는 자료들

- NASA(미항공우주국); 매 10일 마다 전지구 해수면 자료를 제공함
- FEMA(미연방재난방재국), 미육군공병대 등; 범람원 관리를 위한 해수면 자료를 개발함
- NOAA, USGS; 지형 및 수심 자료를 위한 전자고도자료를 개발함
- 주정부 및 주요 해안관리국; 생태계 및 경제성장을 관리하기 위한 땅 사용에 대한 GIS 시스템을 개발함
- NOAA의 해안 변화 분석 프로그램; 해안지대의 육상 변화에 대한 포괄적인 평가를 주기적으로 제공함
- USGS; 연안 침식 및 해안변화 process의 평가를 위해 고정밀 LIDAR 자료를 수집하고 해수면 상승에서 습지대의 역할을 평가함
- EPA; 해수면 상승시 해안 보호가 요구되어지는 지대의 분류 및 지도 작성
- 뉴욕시 환경보호국; 해안지대 기반 시설에 대한 해류 및 해수면 상승의 영향을 분석함

- 해양에서의 현장 관측

- GOOS(Global Ocean Observing System; 전지구해양관측시스템); 현장 관측 및 원격 탐사를 기반으로 함. 1250개의 부이를 이용한 표층 해류 및 수온 관측의 전지구 부이 관측이 2005년 9월 완료됨. 2006년 말 현재 GOOS 내의 해양-대기 관측 시스템의 57%가 완료되었으며, 2010년까지 본 시스템을 구축 완료할 예정임
- IOOS(Integrated Ocean Observing System; 통합해양관측시스템); GOOS의 미 연안 관측 시스템임. 통합된 국가 및 국제 관측, 자료관리, 해양의 과거 현재 미래에 대한 자료와 정보를 획득하고 보급하기 위한 네트워크로 계획됨. IOOS 콘소시엄에는 NASA, NOAA, NSF, 미해군 등이 포함되어 있음. IOOS의 관측에는 원격탐사와 현장 관측이 포함되어 있음.
- 전지구 해수면관측시스템; 해면 조석 관측 network를 구축함. 2006년-2010년 사이에 43개의 관측소를 170개로 확대함

- 원격탐사; 전지구 해수면 수온, 해면고도, 해상풍, 해빙, 해색, 기타 기후변수를 관측함
- 해양탄소 목록조사; 해양으로 유입되는 인위적인 탄소량을 결정하기 위한 10년 순환 주기의 관측
- TAO; 해양관측 부이를 이용한 전지구 열대 해양-대기 관측 네트워크로서 현재 태평양에 70 개 TAO 부이가 있는 것을 인도양까지 확장할 예정임. 인도, 인도네시아, 프랑스와 함께 2005-7년 8개의 부이를 인도양에 설치함. 2013년까지 인도양의 관측 부이를 39개로 확대할 예정임
- 기후변화 관련 교육
 - EPA; 해수면 상승의 예상 안에서 즉각적인 조치를 하기 원하는 사람들에게 정보를 제공하기 위한 다양한 연구과제를 지원하고 있음. 해수면 상승을 어떻게 준비해야 하는지에 대한 지역사회내의 의견을 알림
 - NSF; 해양의 가장 극한 환경 및 해저면에 대한 의문을 밝힘.
- 기후변화 관련 프로그램

NOAA에서는 전지구 기후연구프로그램(USGCRP; US Global Change Research Program)을 통하여 대기, 기후변동/변화, 물순환, 지표 피복변화, 지구탄소순환, 생태 시스템, 인간활동이 기후에 미치는 영향 등에 관한 연구를 최우선적으로 하여 국가 기후변화 연구 프로그램을 시행하고 있다. 범국가적 차원에서는 기후변화 대응방안을 종합하여 연방정부부처들이 합동으로 참가하는 기후변화과학프로그램 (CCSP; Climate Change Science Program- 기후변화의 과학적 예측, 영향 및 적응방안 연구로서 '05년 19억불 투자)과 기후변화기술개발프로그램 (CCTP; Climate Change Technology Program- 온실가스 배출저감 기술개발을 목표로 하며 '05년 32억불 투자)을 균형있게 추진하고 있다. 단기적으로는 에너지 이용효율 향상에 역점을 두고 중·장기적으로는 온실가스처리, 청정석탄기술개발, 수소제조이용기술, 기후변화 과학 및 예측, 영향평가에 투자중이다. 해양분야는 RIDGE 프로그램 등에 매년 100억불 이상을 투자하고 있다.

일 본

- 일본의 기후변화 전망

IPCC K-1 model에 의한 여름철 낮 시간대의 기온은 B1은 100년 후 약 3.0℃ 이상, A1B는 4.2℃ 이상 상승할 것으로 전망한다. 이 모델에 의하면 하계 강우량은 17(B1)~19(A1B) % 증가할 것으로 전망한다.
- 기상 특성에 대한 영향

최소 기온이 0℃ 이하의 추운 날이 감소하고 최소 온도가 25℃이상인 열대야가 증가했다. 일일 강수량 100mm 이상의 집중폭우의 일수가 증가하였고 연강우량이 증가하였

다. 일본 해안을 따라 강설량이 감소하였고 강우가 없는 일이 증가하였다.

- 수산업에 대한 영향

일본 수산업은 지구 온난화에 의한 일본 주변 해류의 경로와 흐름의 변화에 크게 영향을 받는다. 해수온의 증가로 저위도에서 사는 식물플랑크톤이 일본주변에서 나타나기 시작했다. 해수온의 증가가 성층화를 강화시키면서 영양염의 공급이 더욱 어려워졌다. 대형규조류로부터 소형 편모조류로의 전이가 나타났다. 오오츠크해에서의 생산량은 얼음의 양이 감소하면서 얼음에 부착 생활하는 ice 조류가 줄어들면서 감소하고 있다. 동물플랑크톤은 수온의 증가로 더욱 작아지고, 겨울철의 수온이 증가하면서 겨울철에 생존할 수 있는 해파리의 수가 증가했다.

- 연안역에서의 사회 기반시설에 대한 영향

일본의 대부분의 사회 기반시설이 해안가에 밀집되어 있다. 지구온난화에 의한 해수면 증가, 온도 증가, 태풍 패턴 변화의 영향은 광범위한 분야에 영향을 미치게 된다 (항구, 양식시설, 인공섬, 섬의 배수로, 하수시설, 간척지). 해안 방어시설의 기능과 안정성이 해수면의 상승에 의해 떨어진다. 현재의 해안지역의 안정성을 확보하기 위해서는 해수면 상승 1 m 에 대해 약 2.8 m의 방파제 높이의 증대가 요구되고, 만내의 방파제는 약 3.5 m 높여야 된다. 현재 약 2백만의 인구가 고조면 아래의 861 km²에 거주하고 있으며 해수면이 1 m 더 상승하면 현재보다 약 2.7 배 (2,339 km²) 증가하면서 해수면에 민감한 인구는 약 4.1백만으로 증가하고 자산은 109조엔으로 증가한다.

- 산호초에 대한 영향

일본의 산호초는 전지구적인 분포에 있어서 가장 북쪽에 위치하고 있다. 해수온의 증가가 산호초에는 긍정적인 효과로 작용한다. 산호초 성장률이 1000년에 4 m 인 것이 해수면의 상승이 100년에 40 cm를 초과하게 되면 산호초는 성장률을 유지할 수 없게 된다. 조초성 산호의 성장을 위한 최적의 수온은 18~28℃이며 해수온이 상승하게 되면서 산호초가 점차 죽거나 백화된다.

- 기후변화 관련 프로그램

일본은 일본해양지구과학기술기구 (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology; JAMSTEC)와 일본기상연구소(MRI; Meteorological Research Institute), 동경대등에서 기후 변화 연구를 주도하고 있다. 기후변화과학연구 및 영향평가를 위하여 1997년에 지구환경프론티어 사업단을 설립하였으며 (2007년 예산 4억2천만엔) 기후 예측을 위해 2002년 당시 세계 최고성능의 슈퍼컴퓨터인 Earth Simulator를 수립하였다.

유럽연합

기후변화협약 대응 정책대안을 도출하기 위한 유럽기후변화프로그램(ECCP)을 가동하고

있다. 해양분야는 영국, 독일 등이 중심이 되어 대서양에 전지구적으로 해양연구를 확대한 BRIDGE DeRidge Program을 추진하고 있다.

영국

- 일반상황

영국은 기후변화에 의한 영향 평가, 기후변화과정 이해, 적응에 대한 안내 및 행동을 위한 기금을 구성하였다. 기후영향프로그램이 1997년 시작되었으며, 2000년 이후 기후변화프로그램내에 적응이 다루어졌다. 기후변화 영향 평가 및 적응이 상향식 및 하향식 접근법으로 개발되었다. 영국의 중앙부는 지난 1세기 동안 연평균 기온이 약 1°C 상승했다. 기상 기록 이후 1990년대에 영국 중앙부에서 가장 더운 시기가 관측되었다. 해수면은 연간 약 1 mm/yr 로 상승하고 있다.

- 영국의 기후 변화 시나리오

UKCIP02에 의하면 강우 패턴의 변화와 연결된 고온 현상은 더 고온화되고, 여름은 건조화되며, 겨울은 더 온화하고 습해질것으로 예측한다. 해수면의 상승과 폭풍성 해일의 높이 변화가 극한 기상을 더 증가시킬 것으로 예측되며 기온은 2020년대에 0.5~1.5°C 증가, 2050년대에 0.5~3.0°C 증가할 것으로 전망한다. 강우는 겨울 시기의 강우가 2020년대 15% 증가, 2050년대 25% 증가하고 강설은 매우 감소할 것으로 전망한다. 해수면은 2020년대에 4~14cm 증가하고 2050년대에 7~36cm 증가할 것으로 전망하며, 폭풍 해일 및 대형파 등에 의해 극한해수면의 높이 및 빈도가 증가할 것으로 전망한다.

- 기후 변화 영향 및 적응 동향

- 홍수 및 연안 침식

Defra와 환경청이 홍수와 해안 침식 위험 관리의 연구 프로그램을 투자하였다. 미래 홍수 예측연구는 2030년과 2100년의 영국의 홍수 및 연안 침식 위험 관리의 독립된 비전을 제공하고, 장기 정책을 수립하기 위해 과학기술사무국에 위임되었다. 2005년 영국내의 홍수, 연안침식 그리고 재난관리를 위한 새로운 정부 전략 개발이 발표되었다. 영국환경국은 기후 변화 영향에 의한 홍수를 예보하기 위해 Thames Estuary 2100 project를 통해 런던의 템즈강 방책의 운용 및 관리 방법을 향상시켰다. Essex Wildlife Trust는 해양 방어를 위한 것으로 경작지의 84 hectares 이상을 염습지와 초지로 전환하는 사업이다.

- 해양

정부와 UKCIP는 해양 생태계에 대한 기후변화의 관련성을 이해하기 위하여 장기적이고 다분야적인 접근법을 개발하기 위하여 해양기후변화영향협력(MCCIP)을 체결하였다. MCCIP의 주요 목적은 정부, 정치가, 결정권자 등에게 해양 기후변화 영향의

증거들을 제시할 수 있는 국가적인 협력 체계를 구성하는 것이다. 영국내에서 해양모니터링 전략은 해양생태계에 대한 기후변화 영향을 모니터링하고 평가하기 위한 것으로 분류된다.

- 해양관측 프로그램

Hadley Centre; 전지구적인 육지/해양의 평균 온도를 모니터링한다. 영국의 해양관측의 상당한 부분은 NERC 해양센터에서 수행한다.

- 기후변화 관련 프로그램

영국은 정부, 민간, 대학이 공동 참여하는 UKCCP(UK Climate Change Programme)를 통하여 기후변화 과학 및 온난화, 온실가스 방출 정량화 연구 등을 수행하며 UKCIP(UK Climate Impact Program- 97년부터 시행)를 통해 기후변화 영향을 평가하고 적응전략을 연구하는 기후변화 영향 프로그램을 시행하고 있다. 연간 250억원을 투자하며 기후변화 시나리오를 제공하고, 미래기후 관련 연구를 계획하고 있다.

5. 향후 전망

IPCC 4차 보고서는 지난 3차 보고서에 비해 지구온난화의 확실성에 대해 더 많은 최신의 증거자료들을 제시함과 더불어 기후변화 예측의 과학적 수준이 국제적으로 더욱 향상되었음을 보여주고 있다. 기후변화 예측의 측면에서 향후 전망되는 점을 살펴보면 첫째로 기후변화의 예측에 대한 신뢰도 향상을 위해 많은 노력이 계속될 것이 예상된다. 선진 각국의 기후연구기관들은 이를 위하여 차세대 기후시스템모델의 개발과 기후예측 결과에 대한 불확실성의 평가 및 최소화에 더욱 심혈을 기울일 것이다. 차세대 기후시스템 모델은 탄소순환과 에어로솔 등 대기화학과정에 대한 더욱 정교한 접근과 해양생태계와 해양 심층순환의 역할 등에 대한 더욱 심도 있는 고려를 할 것이다. 기후변화 예측 결과에는 필연적으로 불확실성이 뒤따르는데, 여기에는 대규모 화산 폭발 등 기후강제력의 변화와 미래 사회의 발전 전망이나 온실가스 배출 등과 같이 현재의 인간 능력으로는 예측하기 어려운 불확실성의 요소들이 있으며, 또한 그와는 달리 기후예측모델 자체가 가지는 불확실성이 있다. 선진 각국은 이와 같은 기후모델 예측의 불확실성을 최소화하기 위하여 기후모델들간의 결과 비교와 다중모델 결과의 앙상블에 더욱 힘쓸 것이다. 둘째로 기후변화의 지역적 다양성으로 인하여 지역적으로 더욱 상세화된 예측 결과의 생산이 요구될 것이며 이러한 필요를 만족시키기 위하여 지역기후모델의 고해상도화 노력이 있을 것이다. 셋째로 이와 같은 기후변화 예측정보와 사회경제적 영향 평가모델과의 연계 노력 및 그 가시적 성과가 전망된다. 아직까지 국제적으로 기후변화 예측모델들이 산출하는 과학적 정보가 대중과 기후 유관분야(수자원, 산림, 농수산, 보건, 환경, 사회경제 등) 및 정책 결정자들에게 이해와 활용이 적은 것

은 사실이다. 국내에서도 국립기상연구소를 중심으로 하여 차세대 기후시스템모델의 개발과 지역기후모델 상세화 및 기후변화 시나리오의 다학제적 연계와 활용 필요성이 적극 개진되고 있다. 이 측면에서 우리나라보다 앞서 시작된 유럽과 일본의 프로젝트를 예로 소개한다(임, 2008; Emori, 2008).

먼저 유럽은 2001~2004년 기간 동안 유럽 9개국의 연구팀이 협동하여 PRUDENCE라는 기후변화 프로젝트를 수행하였다. 이 프로젝트에서는 2개의 배출 시나리오와 4개의 전구기후모델, 8개의 지역기후모델을 적용하여 미래 30년(2071-2100)에 대한 유럽 전역의 고해상도(50km) 앙상블 기후변화 시나리오를 생산하였고, 이는 다양한 영향평가모델의 기본 입력자료로 활용되었다. 현재는 2004~2009년까지 5년 동안 ENSEMBLES 프로젝트가 뒤를 이어 계속 시행되고 있다. 이 프로젝트에는 미국과 호주도 참여하여 모두 20개국, 79개 연구팀에 의해 수행되는데 9개의 주요 연구그룹으로 구성되어 있다(연구그룹: 전구모델 앙상블예측 시스템 개발과 실험, 계절~수십년 규모 과거 기후자료와 지역기후 시나리오 생산, 고해상도 지역기후모델 앙상블시스템 개발, 앙상블시스템 성능평가, 극한기후, 기후변화시나리오와 영향평가모델들과의 연계, 온실가스 배출 및 식생변화 시나리오 개발, 일반인(시민, 정책결정자, 유관분야 전문가)과의 인터페이스, 프로젝트 관리 및 총괄). 이 프로젝트에서 향후 기대되는 성과 중 하나는 향후 2050~2100년까지의 기후변화에 대한 연속적인 예측결과 제시와 20km 규모에 이르는 고해상도 자료 생산이다. 이와 같은 고해상도 기후모델에서 향후 20~30년 이내 기간의 신뢰도 높은 기후변화 예측정보가 생산된다면 영향평가와 적응의 여러 분야에서 그 활용도가 매우 높을 것으로 기대된다.

일본에서는 2007년부터 5년간의 계획으로 환경성 후원하에 전략연구개발 프로젝트로서 '지구온난화에 관계된 정책지원과 보급 계발을 위한 기후변동시나리오에 관한 종합적 연구(약칭 기후시나리오 실감프로젝트)'가 시작되었고 문부과학성에서도 동시에 2007년도부터 5년 계획으로 '21세기 기후변동예측 혁신프로그램'이 시작되었다. 이 두 프로젝트의 차이는 혁신프로그램이 기후변동 예측을 목적으로 하여 기후모델의 개발과 실험 및 예측 정확도의 고도화를 주제로 하는 반면, 기후시나리오 실감프로젝트에서는 혁신프로그램의 예측결과나 IPCC에 제출된 예측계산 결과를 이용하기 쉬운 결과로 '번역'하는 것을 주 내용으로 한다. 기후시나리오 실감프로젝트의 주요 테마는 다음과 같다. 테마 1- 종합적 기후변동 시나리오의 구축과 전달에 관한 연구. 이 연구주제그룹에서는 예측계산 결과와 사회적 필요 사이에 놓여있는 갭을 3 단계에 걸쳐 해소한다. 즉, 1) 불확실성 연구를 통해 예측 결과의 신뢰성을 정량화하고, 2) 영향평가 연구를 통해 예측의 구체적인 귀결을 명확히 알 수 있게 하며, 3) 커뮤니케이션 연구를 통해 이것을 실감할 수 있는 정보로 효과적으로 사회에 전달하는 방법론을 확립한다. 테마 2- 멀티기후모델에 있어서 여러 기후현상의 재현성 비교와 그 장래 변화에 관한 연구. 여기에서는 현재 기후와 과거 기후변동 재현성에 대한 복수의 기후모델들의 성능과 예측 신뢰성을 평가하여 신뢰성 평가지표를 제시한다. 테마 3- 온난화 영향평가를 위한 멀티모델 앙상블과 상세화 연구. 이 그룹에서는 일본과 일본 주변해역을

중심으로 상세한 지역예측정보를 생산하는 것을 목표로 한다. 테마 4 통합시스템해석에 의한 공간적으로 상세한 배출·토지이용 변화 시나리오의 개발. 이 그룹에서는 기후변동 시나리오와 사회경제 시나리오와의 융합을 담당한다. 이를 위해 인구, GDP 등의 사회경제 요소의 변화 시나리오와 이에 근거한 장래의 배출시나리오, 토지이용 변화 시나리오를 작성하고 이를 차세대 기후모델실험의 새로운 시나리오로 활용하도록 한다. 이 주제는 IPCC의 새로운 시나리오 작성 작업과도 같은 주제이다.

제3 장 해양예측 부문 중점 추진 전략과제 도출

1. 중점 추진 전략과제 도출의 기본 방향

이 장에서는 앞서 검토한 바와 같이 그동안의 정부종합대책의 추진현황과 문제점 및 국내외의 기술적, 정책적 현황 파악에 기초하여 우리나라에서 향후 중점적으로 추진되어야 할 해양예측 부문의 전략과제들을 도출하였다. 먼저 중점 추진 전략과제의 도출을 위하여 다음과 같이 기본 방향을 설정하였다.

- 국가 적응분야와의 연관성 검토- 향후 해양, 수산 및 연안 분야의 적응 대책 수립을 위해 과학정보의 제공에 기여도가 높은 과제를 대상으로 함
- 정부종합대책 중 미추진 과제에 대한 검토- 정부종합대책과 관련 부처에서 수립한 기후변화대책에는 포함되었으나 그동안 추진되지 못한 과제를 고려함
- 지난 수년간의 국내 환경변화에 대한 검토- 국가의 지원에 의해서나 또는 기후연구 관련기관의 자체사업으로 그동안 사업이 일부 수행되었거나 또는 현재 수행중인 과제는 배제함
- 우선 순위 검토- 국내외 기후변화 과학의 기술 발전과 국내 적응분야의 필요성을 고려할 때 해양 예측 분야에서 우선적으로 수행해야 될 과제를 선정함

이상의 고려 사항들을 검토한 결과 다음과 같은 세 분야가 우선 순위와 적응책 수립에의 기여 가능성 및 추진 미비 과제 분야에서 중점 추진 전략과제로서 가장 적합한 과제로서 선정되었다.

- 도출된 중점 추진 전략과제;
 1. 해양 기후변동 예측
 2. 해수면 상승 진단 및 예측
 3. 해양생태계 변동 예측

2. 중점 추진 전략과제의 개요

가. 해양 기후변동 예측

한반도 주변해양의 증장기적 기후변동 특성을 평가하고 원인을 규명하며 향후의 변화를 예측함을 목표로 한다. 이를 위하여 해양환경 변화에 대한 감시기술, 해양 기후변동성 평가 기술, 온난화 시나리오 작성 기법, 고해상도 지역기후 모델링 기술과 상세화 기술 등을 개발하며 이를 이용하여 한반도 주변해양의 해양특성 변동에 대한 온난화 시나리오를 작성한다.

나. 해수면 상승 진단 및 예측

한반도 연안과 주변해역의 해수면 상승 추세를 진단하고 원인을 분석하며 21세기의 해수면 상승을 정량적으로 예측함을 목표로 한다. 이를 위하여 검조자료, 위성 고도계자료, 수온·염분자료 등의 분석을 통한 지역별 해수면 상승률을 추정하며, 전지구 및 지역 기반의 기후예측모델과 고정밀 해일모델의 연계 기술을 개발하여 한반도 연안과 주변해역의 평균 해수면과 극치해수면에 대한 시공간적으로 신뢰도 높은 예측치를 산출한다.

다. 해양생태계 변동 예측

기후변화에 따른 해양생태계의 변화를 평가하고 예측함으로써 한반도 주변해역 해양생태계의 유용자원에 대한 지속적 이용과 과학적인 관리 방안 도출을 목표로 한다. 이를 위하여 해양생태계 장기 모니터링 시스템을 구축하고 생태계의 구조 및 기능 분석 기술과 생물종의 생리/생태 변화 평가 기술을 개발하며 해양생태계 모델 구축 및 모델링 기술 활용을 통하여 해양온난화와 산성화에 따른 생태계의 반응을 평가하고 예측한다.

제4 장 추진 전략과제 중장기 계획: 해양 기후변동 예측

1. 추진 전략과제 핵심분야 정의 및 기술범위

- 핵심분야: 해양 기후 변동성 분석, 해양 온난화 전망 및 지역해 모델개발

- 정의

해양의 기후 변동성 분석은 기후변화와 연관된 해수의 물성 및 해류 패턴의 중장기 변동성을 분석하여 해양기후가 어떻게 변화되어 왔는지를 평가하는 것이다. 여기에는 향후 기후 변화에 의해 해양이 어떻게 변할지를 보다 정확하게 예측하기 위한 기본 지식을 확보하는 과정이 포함되어 있다.

해양 온난화 전망은 기후변화에 기인하는 해양의 물성 변화 특히 해수면 온도 또는 해양 내부의 온도가 어떻게 변화 될 것인가를 전망하는 것이다. 특히 미래의 다양한 기후변화 시나리오에 따라 해양 온난화 과정이 어떻게 진행되는지를 전망하는 과정 또한 포함되어 있다.

한반도 주변해역의 기후변화 시나리오를 작성하려면 한반도 주변해역의 특성을 제대로 재현할 수 있는 해양순환모형이 필요한데, 기후모델은 격자가 커 지역해에서 나타나는 현상은 구체적으로 재현해 내지 못한다. 한반도 주변해역의 수온 해류 등 물리환경의 변화를 정밀하게 전망하는데 필요한 도구인 컴퓨터모델을 개발하는 것을 의미한다. 한반도 주변해역에 적당한 고해상도 격자체계, 모델 내부의 물리과정 개선, 모델 결과 검증, 개방경계 처리 등의 과정도 이에 포함된다.

- 기술범위

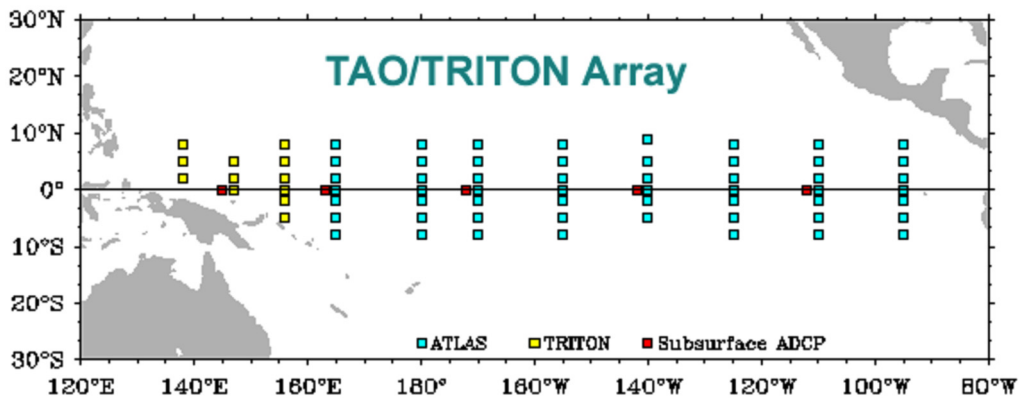
- 한반도 주변해역 해양기후변동성 평가
- 대양의 기후변동성 평가
- 해양 온난화 시나리오 작성
- 한반도 주변해역 고해상도 순환모델
- 상세화(downscaling) 기법

2 추진현황과 문제점 분석

가. 국외 동향

해양 기후변동성 연구 현황:

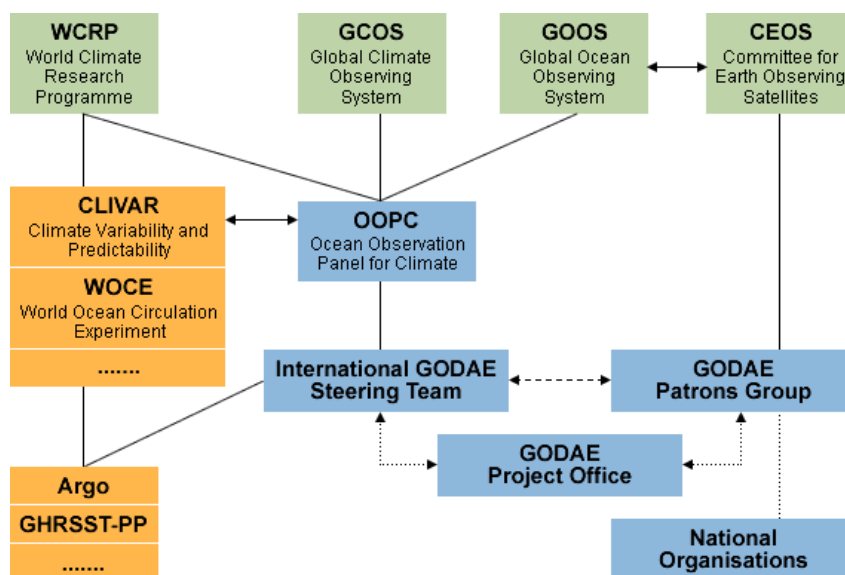
- 미국은 범국가적 차원에서 기후변화 대응방안을 종합하여 연방정부 부처들이 합동으로 참가하는 기후변화 과학프로그램 (Climate Change Science Program)을 발족하였다. CCSP에서는 기후변화의 과학적 예측, 영향 및 적응방안 연구를 목표로 하고 있으며 05'년 연방정부 예산으로 약 19억불이 CCSP 예산에 투입되었다. 미국은 또한 해양의 온난화 과정과 해양 변동특성을 모니터링하기 위해 여러 선진국들과 함께 열대 태평양 지역의 엘니뇨/라니냐 관측, 예측 및 역학적 이해를 위한 Tropical Atmosphere Ocean (TAO) 관측 프로그램을 운영 중에 있다. 최근에는 TRITON 프로그램과 공동으로 열대 서태평양에서의 관측 정점들을 추가하여 미국 Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL)에서 자료들을 수집, 분석하면서 기후변동 및 기후변화 관련 연구들을 활발히 진행 중에 있다 ([그림 4-1]).



[그림 4-1] TAO/TRITON의 관측정점들

미국 국립과학재단 (NSF)은 OOI (Ocean Observatories Initiative) 프로그램을 통해 해양의 온난화 과정을 지속적으로 모니터링 할 계획이다. OOI 프로그램은 크게 케이 블망을 이용해 지판을 가로지르는 지구와 심해의 프로세스 연구, 계류/부이/AUV 등을 이용한 연안환경 관측, 표류계, 부표, 부이 어레이, 계류 및 쌍방향 통신시스템을 이용한 순환 연구, 대기-해양 반응 연구 등이 포함된다. 이와 같은 연구는 조사선/잠수정 관측과 같은 일회성 관측에서 벗어나 해양 변화의 지속적인 관측으로 해양 온난화 과정을 이해하고 탐지하는 것을 그 목표로 한다. 이 프로그램에는 관측 네트워크 및 시설/유지 운영을 위해 약 5,000억원의 예산이 투입된다.

- 일본은 해양-지구 과학기술연구소 (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology: JAMSTEC)와 기상연구소 (MRI), 동경대 등지에서 기후변화 연구를 주도하고 있다. 특히 2004년 JAMSTEC 산하에서 프로세스 연구를 위한 지구환경프런티어 연구센터 (Frontier Research Center for Global Change: FRCGC)가 설립되었으며 연구원 200명, 연간 1000만불이 투자되고 있다. FRCGC의 주된 연구내용 중의 하나는 지구 온난화 예측 연구이다. 즉 지구 온난화의 물리적, 화학적 이해 및 그의 정량적 예측을 목표로 하고 있으며 특히 온난화에 동반되는 기후변동 예측에 관한 연구를 수행 중에 있다. 일본은 특히 해양상층을 광역적이고 지속적으로 관측하는 관측시스템을 개발하여 수년에서 수십년 규모의 기후변동의 메카니즘을 규명하고 있으며 서태평양의 열대역 및 동부인도양에 설치된 해면 계류 부이망을 이용한 관측을 실시하면서 기후변화에 따른 해양변화 과정을 면밀하게 모니터링하고 있다. 또한 해양 대순환 관측 연구 (J-WOCE)를 수행하였으며, 태평양을 중심으로 한 열 수송, 물질수송의 변동특성을 규명하기 위하여 연구선 및 계류계를 이용한 수온, 염분, 유속, 용존산소 등의 관측을 수행하고 있다.
- 전세계적으로 기후변화에 기인한 해양의 변화 가능성과 예측성을 증대하기 위한 기반 자료를 얻고 해양 자료 동화 시스템을 통해 전세계 국가들의 해양 정책 수립에 유용한 정보를 제공할 수 있도록 하기 위하여 OOPC (Ocean Observation Panel for Climate), GCOS (Global Climate Observing System), WCRP (World Climate Research Programme)의 후원을 받아 GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment) 프로그램이 1997년부터 시작되었다 ([그림 4-2]). GODAE 프로젝트 수행을 위한 필수 구성 요소는 다음과 같다.



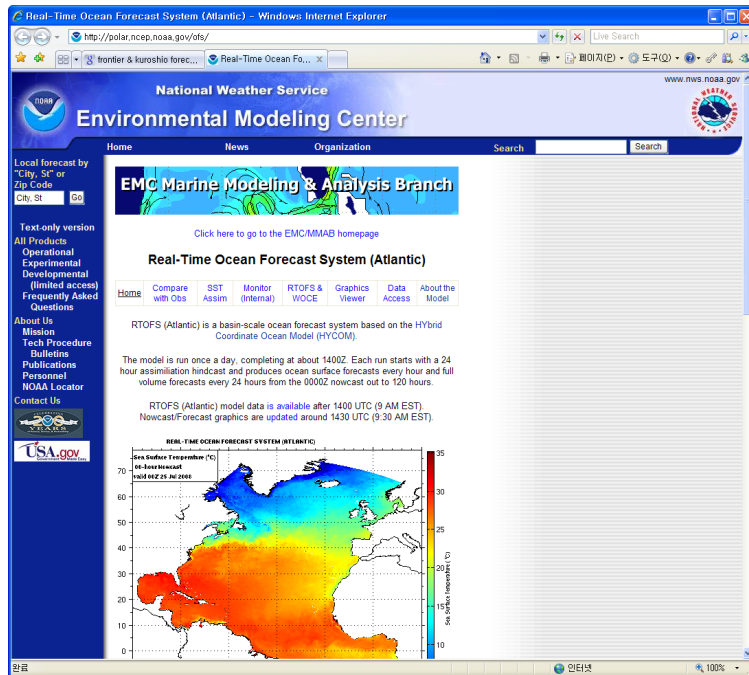
[그림 4-2] GODAE 프로젝트 조직도

해양 온난화 연구 현황:

- 기후변화에 따른 해양 온난화 연구를 위하여는 전지구의 70%를 차지하는 해양의 변동성을 이해하고 분석하며 또한 관측과 지속적인 모니터링이 필요하다. 이를 위해서는 대규모의 관측기술과 함께 기후모델 개발 및 기후예측을 위한 슈퍼컴퓨팅 기술의 개발 등이 동반되어야 한다. 거의 모든 선진국에서는 해양관련 지구 기후변화 연구를 위해 독립된 기후연구소 또는 기후연구 거대프로그램이 운영되고 있다 (예, 미국- NCAR, GFDL, IRI, COLA, 일본- Frontier, CCSR, 독일- MPI, 영국- Hadely Center, 프랑스- CNRM, 캐나다- CCC, 호주- CSIRO, 중국- IAP 등). IPCC 제4차 보고서에서는 각국에서 개발한 전 세계 23개의 기후 시스템 모델들을 이용하여 다양한 기후변화 시나리오에 따른 기후변화 예측 결과들을 제시하였다. 제5차 보고서에는 기후시스템의 새로운 성분 모형들이 추가되고 더욱 정교화된 기후시스템 모델들에 의한 예측 결과들이 제시될 것으로 전망된다. 또한 기후변화에 대한 지역해의 반응 예측도 포함되리라 예상된다.

지역해 모델링 연구 현황:

- GODAE도 지역해 및 연안 모델을 추진하고 있다. 현재 Coastal and shelf seas working group을 구성하여 지역해 예측을 위한 연구를 수행하고 있다. 일본이 이 working group에서 일본해안의 해황을 예보하고자 하며, 중국도 이 working group에 참여하면서 중국연안의 해황을 예보하려고 한다. 대부분의 나라가 이 working group에 참여하며 자국의 연안에 대한 예측시스템을 구축하려 하고 있으나 한국의 활동은 없다. PICES에서는 기후변화에 대한 동중국해의 변화와 반응을 상세화 기법 등을 통하여 평가하고자 한다.
- 많은 선진국에서 대양모형과 결합하여 혹은 독자적으로 지역해 모델을 운영하고 있다. 미국, 일본 호주 EU 등은 자국 주변해역의 해양환경변화를 평가하고 예측하기 위하여 각자에게 적합한 지역해 순환모형을 개발하고 이를 이용하여 자국주변의 물리환경뿐만 아니라 생태환경까지 포함된 해양환경변화를 평가 예측하려 하고 있다. 일부 경우엔 지역해 모델을 대양모델로 확대하여 운영하고 있다. 현재 지역해모델은 해황예보에 활용되고 있는데, 이들 모델은 지역해의 기후변화에 대한 반응을 연구하는데 활용될 수 있다.
- 미국: 다양한 기관에서 여러 가지 지역해 모델을 사용하고 있다. NOAA 실시간 해양예보시스템 (<http://polar.ncep.noaa.gov/ofs/>): 지역해 예보시스템에서 대서양 전체를 예보하는 실시간 해양예보시스템(Real time ocean forecast system: RTOFS)으로 바뀌었다 ([그림 4-3]). 기후변화에 대한 반응을 연구하기 위한 것은 아니나 이런 모델과 기술을 바탕으로 기후변화 연구에 적용 가능하다.



[그림 4-3] NOAA 실시간 해양예보시스템

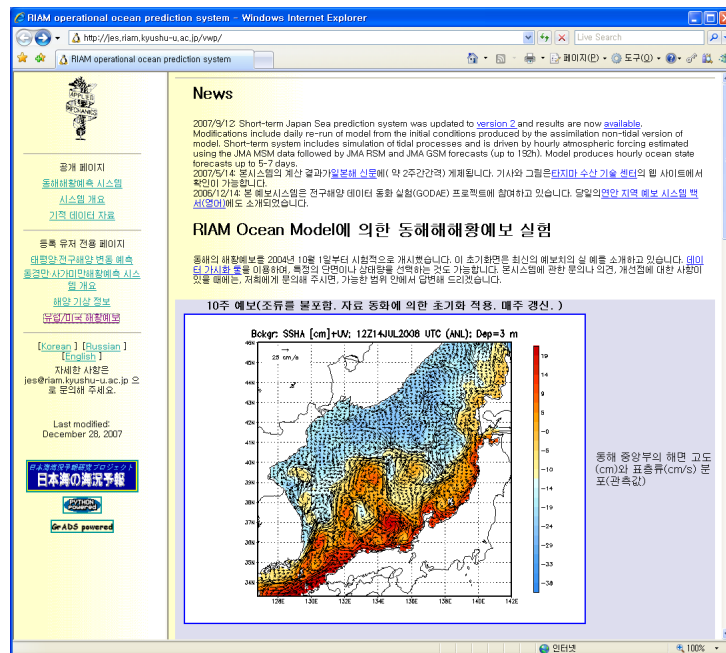
미국 해군에서 운영하는 해양대기접합 중규모 예보시스템 (The Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System: COAMPS) (<http://www.nrlmry.navy.mil/coamps-web/web/home>)은 해양과 대기가 접합된 3차원 자료동화모델 시스템이다. 미국 해안 이외에도 지중해에 대한 정보도 제공하고 있다. 이 모델도 기후변화에 대한 반응을 연구하기 위한 것은 아니나 이런 모델과 기술을 바탕으로 기후변화연구에 적용 가능하다.

- EU: EU에서는 공동으로 해양 자료 수집과 모델 관련 기술을 개발하여 지중해 운용해양학 네트워크 (Mediterranean Operational Oceanography Network: Moon)(<http://www.moon-oceanforecasting.eu/>)를 수립하고 지중해 해양예보시스템을 운영하고 있다. 이 운용해양학 네트워크에서 생산되는 자료와 모델링 연구는 지중해 지역의 기후변화 연구에도 활용된다 ([그림 4-4]).

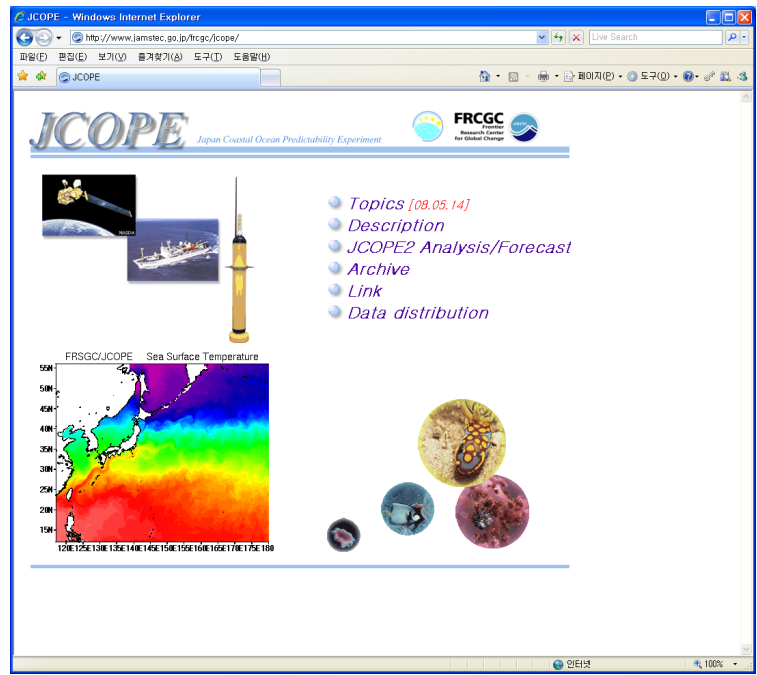


[그림 4-4] 지중해 해양예보 시스템

- 일본: 큐슈대학교의 응용역학연구소에서 동해 해황예보 모델 (<http://jes.riam.kyushu-u.ac.jp/vwp/>)을 수립하여 운용하고 있다. 이 홈페이지는 일본어 이외에도 한국어 영어 러시아어로도 제공된다. 이 예보모델에서 생산되는 예측 결과는 일본의 지방 신문에 매일 게재되어 수산업에 종사하는 사람들에게 실시간으로 해양의 정보를 제공하고 있다 ([그림 4-5]).



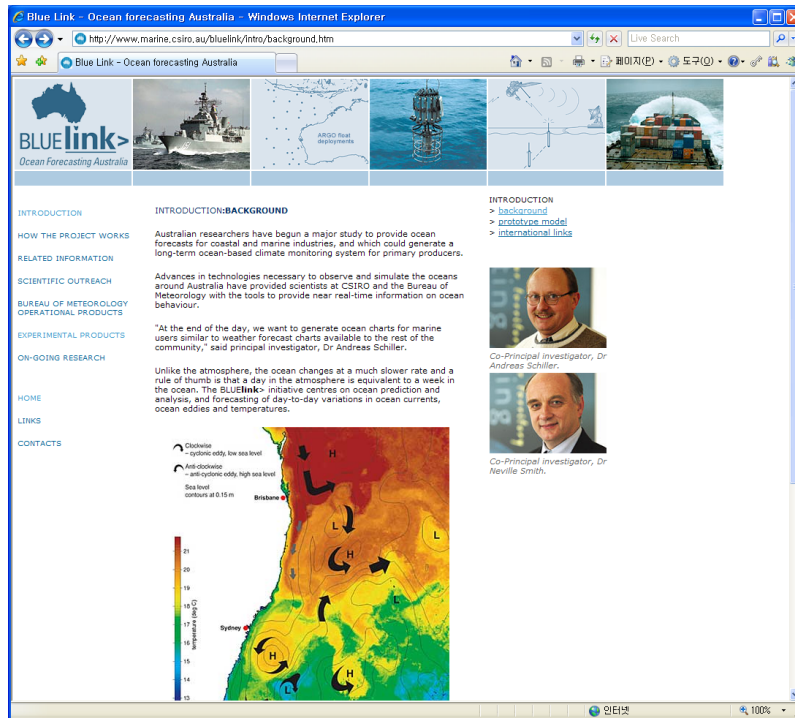
[그림 4-5] 큐슈대 응용역학연구소의 동해해황예보시스템



[그림 4-6] 일본 프론티어연구센터의 일본연안해양예보시스템

일본 프론티어연구센터에서는 일본연안해양예보시스템 (Japan Coastal Ocean Predictability Experiment: JOCPE <http://www.jamstec.go.jp/> <http://frcgc/jcope/>) 을 구축하고 이를 이용하여 한반도주변해역을 포함한 북서태평양의 해황예보를 수행하고 있다. 동경대학교JAMSTEC의 프론티어 센터가 주축이 되어 구축했다 ([그림 4-6]).

- 호주: Blue Link(<http://www.marine.csiro.au/bluelink/>)라는 해황예보모델을 구축하여 호주 주변해역을 포함한 태평양과 인도양의 해황에 대한 예보를 수행하고 있다. CSIRO에서 구축했다 ([그림 4-7]).



[그림 4-7] 호주의 Blue Link 해양예보시스템

나. 국내 현황

해양 기후변동성 연구 현황:

- 기후변화 기인 해양 변화를 모니터링 하기 위해서는 지속적인 관측이 필요하다. 최근 (2005년 이후) 한국해양연구원은 온누리호를 이용하여 적도 남태평양과 우리나라 거제도를 잇는 관측 line을 따라 1년에 한 차례 정기적인 관측을 실시하고 있다. 이 관측의 주된 목적은 기후변화에 기인한 열대 태평양 변동성이 우리나라 주변해역에 미치는 다양한 영향을 파악하기 위한 것이다. 한국해양연구원은 또한 동해, 동중국해를 포함하는 우리나라 인근해에 대한 정기적인 관측을 기관 고유 사업 및 R&D 과제를 통해 수행하고 있다. 기상청과 한국해양연구원은 공동으로 전 지구 해양 공동 관측 프로그램 중 하나인 ARGO 사업에 참여하고 있다. (ARGO: 전구 해양 관측을 위한 국제 공동 프로젝트로, 시공간적인 해양의 수온, 염분 및 해류의 준 실시간 감시 및 체계적인 관측 수행). 한국은 현재 100개의 부이를 운영 중이며 특히 동해 연구에 집중하고 있다.

국립해양조사원은 동중국해와 인근해의 쿠로시오 해류의 발원지를 조사하고 있다. 이 관측의 목적은 한반도 인근해역 특성에 영향을 주는 쿠로시오 해류의 특성을 파악하기 위한 것으로, 관측 횟수가 1년에 한 번이며 최근 2007년을 끝으로 더 이상의 관측 계획은 없다.

국립수산 과학원은 우리나라 인근해 및 동중국해 북부 해역 일부에 정기적인 정선 관측을 통해 한반도 인근해 특성을 모니터링 하고 있다. 그밖에 서울대학교, 부경대학교, 부

산대학교, 전남대학교 등 각 대학의 해양학과에서는 국가 R&D 과제를 통해 한반도 인근해에 대한 특성조사를 실시하고 있다.

해양 온난화 연구 현황:

- 우리나라에서는 대학 및 기상청과 해양 분야의 연구소에서 산발적이고, 개별적으로 해양 관련 기후변화 연구가 이루어지고 있다. 이로 인해 전 세계 11개국 23개 모델이 참가하는 IPCC 보고서에 독자적인 기후 시스템 모형에 기초한 기후변화 시나리오 예측 결과를 내지 못하며 국력에 비해 기후변화에 관한 국제적인 발언권을 거의 가지지 못하는 형편이다.

국내 대학과 해양연구원을 중심으로 IPCC 기후 시스템 모델의 기후변화 시나리오 수행 결과의 분석을 통해 한반도 인근해, 북태평양, 열대 태평양에서의 해수면 온도 변동성에 대한 변화 경향에 대한 연구를 수행하고 있으나 분석중인 기후변화 시나리오가 한정되어 있으며 분석 대상도 매우 다양하여 한반도 인근해 해양 온난화 과정에 대한 시나리오는 전무하다.

지역해 모델링 연구 현황:

- 여러 대학과 연구소에서 한반도 주변해역에 대한 모델링을 수행하고 있으나 체계적이고 조직적인 접근은 매우 부족한 실정이며, 해양-대기가 접합된 지역해 기후 모델은 없다. 전남대와 군산대가 북서태평양 모델을 구축하고 있다. 기후변화에 대한 한반도 주변해역의 변화에 대한 관심과 수요는 증가하고 있으나 이런 수요를 충족시켜줄 만큼 중장기적 연구과제의 수립과 연구 인프라 구축 등의 면에서 준비되어 있지 못하다.

다. 문제점 분석

1) 국내 기술개발 수준

해양 기후변동성 연구 현황:

- 우리나라 주변 해양 내의 변동성에 대한 연구는 주로 단순한 수온의 선형증가 추세로 기술되어 있어 중장기 변동성에 대한 평가 및 그 기작에 대한 이해가 매우 부족하다. 동해 표층수온의 중장기적 변동 특성 연구의 경우 동해지수로 평가한 연구가 있으나 다른 해역의 표층수온 중장기 변동 특성에 대한 심도 있는 연구는 미진하다. 한국 연안 표층수온의 중장기 변동 특성에 대한 분석이 일부 이루어졌으나 지역별 변동양상의 차이와 그 원인에 대한 이해가 부족하다. 해양변동성을 유발하는 요인 중 하나인 해류의 패턴에 대한 연구가 미진하여 해류 변화에 기인한 해양변동성 평가가 전무한 실정이다.

해양 온난화 연구 현황:

- 해양 온난화를 전망하기 위해서 가장 필수적인 요소는 해양-대기-해빙-생태계-대기화학 과정이 모두 고려된 기후 시스템 모형이 필수적이다. 이와 같은 기후모형의 개발을 위해서는 외국의 연구소처럼 기술적 인프라의 지원 아래 전문인력이 지속적으로 모형개발에 종사할 수 있는 여건이 필요하나 국내에는 이와 같은 기후 시스템 모형이 전무하다. 다만 국내 대학과 연구소에서 기후변동을 연구할 수 있는 해양-대기 결합모형을 운용중에 있거나 해양이나 대기모형과 같은 기후요소 모델을 보유하고 있다.
- 해양 온난화 전망을 위해서 구체적인 해양 온난화 시나리오 작성이 필수적이다. 이를 위해서는 먼저 미래 기후변화 시나리오를 수립해야 한다. 현재 IPCC 4차 보고서에서는 CO₂ 농도를 기준으로 미래 기후변화 시나리오를 제시하고 있으며 IPCC 5차 보고서를 위해서 보다 현실적이고 상세한 미래 기후변화 시나리오를 수립중에 있다. 그러나 현재 한반도를 포함하는 동아시아 기후환경에 적합한 기후변화 시나리오는 없는 상태이다.
- 해양 온난화 시나리오 작성을 위해서는 특히 한반도를 포함하는 동아시아 기후변화의 조절자 역할을 하는 해양을 확인하고 그 지역에서의 변동 특성을 이해해야 하며 무엇보다도 기후변화 시나리오에 따른 해양 온난화 전망을 위해서는 해양 시스템 모형이 필수적인 도구이다. 현재 우리나라에는 독자적인 기후 시스템 모형이 없으며 기후변동성을 연구할 수 있는 모형을 대학과 연구소에서 보유하고 있다.
- 해양 온난화 과정을 전망하기 위해서는 기본적인 해양 변동성과 해양 역학에 대한 이해도가 선행되어야 한다. 현재 동해를 포함하는 한반도 인근해에 대한 관측을 통해 해양 특성에 대한 연구는 어느정도 축적되어 있지만 북태평양 쿠로시오 변동성과 같은 대양에 대한 이해와 연구는 상대적으로 부족한 편이다.

지역해 모델링 연구 현황:

- 국내에서 한반도 주변해역에 대한 다양한 모델링을 수행하고는 있으나 체계화된 연구가 부족하며 지역해 기후변화 시나리오 작성에 필요한 지역 기후모형은 없다. 특히 한반도 주변 해양 지역을 위한 해양 온난화를 전망하기 위해서는 고해상도의 지역 기후시스템 모형이 필요하며 또한 전지구 기후시스템 모형으로부터 얻어진 자료를 downscaling 하는 수치적 기법의 기술이 요구된다.

2) SWOT 분석

현재 우리가 당면하고 있는 국내·외 환경 변화를 분석하고 국내 기술 수준의 평가 및 국외 기술 현황의 조사를 통하여 향후 해양 기후 전망을 위한 최적의 방안을 모색하고자

SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, Threat) 분석을 실시하였다. 다음 <표 4-1>은 해양 기후변동성과 온난화 전망 및 지역해모델개발을 위한 SWOT 분석 내용이다.

<표 4-1> 해양기후변동 예측 분야 SWOT 분석

강점(Strength)	약점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> • 한반도 주변해에 대한 관측자료가 축적되어 있고 해양 변동성에 대한 이해도가 높음 • 한반도 인근해에 대한 해양 온난화 분석 경험이 있음. • 해양 요소 모델에 대한 이해도와 운용경험이 있음. • 정부차원의 전략적 투자 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양 기후변동분석에 수온변화경향에 집중됨 • 해양 온난화 전망을 위한 한반도와 동아시아에 적합한 기후변화 시나리오의 부재 • 독자적 기후 예측 시스템 모형의 부재 • 기후시스템 모델링을 위한 전문 연구인력 부재 • 연구개발이 지속적이지 못하고 산발적임. • 모델개발이나 특성에 대한 연구경험이 적음 • 모델링을 위한 국내 전문 연구인력이 부족함 • 예측 결과가 바로 상업화되기 어려워 지속적인 지원이 어려울 수 있음.
<ul style="list-style-type: none"> • 한국 주변 해양 변화에 대한 관심 증가 • 대양의 변화에 대한 지역해의 반응에 관한 요구 증가 • 기후변화에 관한 관심도 증가 • 기후변화관련 지역해예측모델의 필요성에 대한 인식 확대 • 정부차원 R&D 예산 확대 추세 • 국가 해양 표준시나리오에 대한 요구 증가 	<ul style="list-style-type: none"> • 선진국의 기술 발전 속도 비약 • 부처간 혹은 부처내의 연구개발 내용 중복 요인 증가 • 급격한 기후변화에 따른 해양 변동성 및 온난화 전망의 불확실성 증가 • 미국 일본은 이미 한반도 주변해역에 대한 예보를 하고 있음.
기회(Opportunity)	위협(Threat)

3) 국제 경쟁력 분석

- 한반도 지역해에 대한 지속적인 관측 경험이 있어 해류시계열 확보 기술과 해양순환 관측 기술이 높다.
- 대양관측을 수행한 경험과 대형관측부이 운용 기술이 있다.
- 한반도 인근해에 대한 연구가 진행되어 왔기 때문에 한반도 주변해에 대한 중·장기적 해양 변동 특성에 대한 이해도가 높다.
- 한반도 주변해 해양모델링에 높은 운용경험과 해양 모델링 전문연구 인력 보유

3. 세부추진과제

가. 세부추진과제 설정

- 한국해 중장기 변동 특성 평가
- 해양온난화 시나리오 작성
- 지역해 모델 개발

나. 세부과제 추진목표 및 기대효과

1) 추진목표

한국해 해양변화 특성 평가와 변화 원인 규명을 통해 신뢰도 높은 지역해 기후모델을 수립, 운용하며 이를 이용하여 한국해의 온난화 시나리오를 작성

2) 기대효과

- 중장기적 해양변화의 평가 및 예측을 통하여 국가 연안 및 해양 적응대책 수립에 과학 자료 제공
- 연안생태계 변화 예측을 위한 기초자료의 제공 및 효율적 연안생태계 이용 관리 계획 수립을 위한 해양환경변화 예측자료 제공
- 해양온난화 시나리오 활용을 통한 수산자원 변화 대비 수산업 적응대책 수립 지원
- 정밀한 지역적 해양변화 예측으로 연안 지자체 장기 발전 계획 수립 및 중장기 예산 사용에 활용
- 미래 국가 자원 관리 및 이용 정책 수립과 산업구조 재편에 과학적 근거 마련

다. 세부추진과제 추진방안

1) 기술영역 및 요소기술 (<표 4-2> 참조)

○ 세부추진과제 1.1 - 한국해 중장기 변동 특성 평가

- 기술영역 1.1.1 - 한국해 해양순환 변동특성 평가
한반도 주변 해양 기후변화 과정을 규명하고 해양 순환 변화 시나리오를 작성하

기 위해서는 한반도 주변 해역의 해양 순환의 중장기 변동 특성 파악이 요구된다. 이를 위해 과거 관측자료 분석과 함께 과거 해양 환경 모사 능력이 필요하다.

• 요소기술

- 한국해 변동 특성을 파악을 위한 과거자료 분석 기술
- 한국해 해양환경의 변화를 감시하기 위한 정기 관측
- 해수물성 변화와 해수 유동을 재구성하기 위한 자료동화 기술
- 해수물성 변화를 유발하는 순환기작 평가

• 기술영역 1.1.2 - 한국해 해양순환 관측

과거자료 분석을 통해 제시되는 순환변동 기작을 검증하기 위해서는 핵심적인 항목, 관측 위치 등 고려한 체계적인 관측이 수행되어야 하며 지속적인 관측자료 수집이 요구된다.

• 요소기술

- 한국해 해양 변동성 평가를 위한 지속적이고 정기적인 관측
- 해수 유동성 파악을 위한 해류시계열 확보 및 분석

• 기술영역 1.1.3 - 한국해-대양 연관성 평가

기술영역: 한반도 주변 해양환경은 대양과의 직접적인 해수교환 및 대기를 통한 원격상관의 영향을 받아 한국해의 변동성 분석만으로는 정확한 기후변화과정을 규명하기 어려우므로 한국해와 대양의 상호 연관성을 파악할 필요가 있다.

• 요소기술

- 북서태평양-한국해 해수교환 평가
- 대양에서 한국해로의 대기를 통한 원격상관성 분석
- 대양의 기후변동 특성 평가

○ **세부추진과제 1.2 - 해양 온난화 시나리오 작성**

• 기술영역 1.2.1 - 동아시아 기후변화 시나리오 설정

해양 온난화 시나리오를 작성하기 위해서는 먼저 기후변화 시나리오를 설정해야 하며 특히 한반도를 포함하는 동아시아 기후변동 특성과 기후변화 경향을 고려한 기후변화 시나리오를 설정해야 한다.

• 요소기술

- 동아시아 미래 기후변화 시나리오 개발
- 동아시아 지역 온실기체 inventory 파악

- 동아시아 지역 미래 대기질 파악
- 기후변화 요인 물질들의 동아시아 기후변화 기여도 분석 기술

• 기술영역 1.2.2 - 지역해 순환 및 해양특성 파악

해양 온난화 과정을 파악하고 시나리오를 작성하기 위해서는 대상 지역 해양의 순환 및 특성 파악이 요구된다. 대기 중 기후변화 요소 물질들의 증가는 해양-대기 상호작용에 영향을 줄 수 있으며 이와 같은 영향을 파악하기 위해서는 먼저 해양 순환 및 변동 특성의 파악이 요구된다.

• 요소기술

- 지역해 환경 영향 평가를 위한 정기적인 관측
- 지역해 해양순환 기후 모델링 기술 개발
- 지역해 및 대양간 상호 관련성 분석 및 파악

• 기술영역 1.2.3 - 대양-지역해 접합모델 개발

구체적인 해양 온난화 과정을 전망하고 시나리오를 수립하기 위해 필수적인 지역해 모델의 개발이 요구된다. 지역해 모델은 또한 대양 모델과의 접합을 통해 대양의 특성이 지역해에 주는 영향을 파악할 수 있어야 한다. 이를 위해 대양 모델을 수립하고 대양-지역해 접합 모델링 기술이 요구되며 수립된 접합 모델의 장기 적분을 통해 모델 특성을 파악해야 한다.

• 요소기술

- 대양 모델 수립 및 특성 파악
- 대양-지역해 접합 모델링 기술 개발
- 대용량 컴퓨터를 통한 대양-지역해 모델 장기 적분 및 특성 파악

• 기술영역 1.2.4 - 기후시스템 모델 개발

대양-지역해 접합 모델 뿐만 아니라 궁극적으로 기후 시스템 모델의 개발이 요구된다. 기후 시스템 모델의 개발을 위해서는 기후 시스템 모델을 구성하는 기후 요소 모델들의 특성을 파악하고 기후 요소 모델간 결합 모델링 기술을 개발해야 하며 특히 다양한 기후변화 시나리오에 따른 기후 시스템 모델의 장기적분을 통한 모델의 특성 파악이 중요하다.

• 요소기술

- 기후 요소 모델 특성 파악
- 기후 요소 모델간 결합 모델링 기술 개발
- 기후 시스템 모델 장기 적분을 통한 특성 파악

• 기술영역 1.2.5 - 해수 온도변화 시나리오 기술

다양한 기후변화 시나리오를 고려한 한반도 인근해와 북태평양 해수면 온도 변화 시나리오를 생산하는 기술로서 해수면 온도 변화와 밀접한 상관성을 가지고 있는 기후변화 요소 물질간의 상관성 파악 및 특성 분석이 요구된다.

• 요소기술

- 기후변화 요소 물질과 해수온도 변화 상관성 분석
- 해수면 온도 변화 시나리오 작성

○ **세부추진과제 1.3 - 지역해모델 개발**

• 기술영역 1.3.1 - 고해상도 한반도주변해양 모델 구축

우리나라 주변 바다의 순환특성을 사실적으로 재현할 수 있는 고해상도 해양순환 모형이 필요하다. 예보모델로 사용하려면 자료동화가 포함되어야 하지만 기후변화시나리오실험에는 관측자료를 사용할 수 없기 때문에 자료동화는 요구되지 않는다. 모델의 검증은 위해서는 관측자료와 비교하여야 하는데 이를 위해서는 기존관측자료에 대한 분석과 수집도 필요하다. 모델링은 대용량병렬컴퓨터에서 수행해야하고 모델결과가 방대하기 때문에 다음과 같은 요소기술들이 필요하다.

• 요소기술

- 고해상도 모델 개발 및 수행 기술
- 병렬컴퓨팅 기술
- 대용량자료처리 기술
- 관측자료처리 기술

• 기술영역 1.3.2 - 상세화 기법 개발

대양이 지역해에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 대양의 변화를 지역해에 투여할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 상세화 작업(downscaling)이 필수적이다. 이 방법을 통하여 대양의 정보가 지역해 모델의 개방경계조건으로 주어져 대양이 지역해에 미치는 영향을 파악할 수 있게 된다.

• 요소기술

- 통계적 상세화 기법
- 역학적 상세화 기법
- 개방경계처리 기법

<표 4-2> 해양예측 분야 중점 추진과제(1)와 세부 추진과제 및 기술 영역

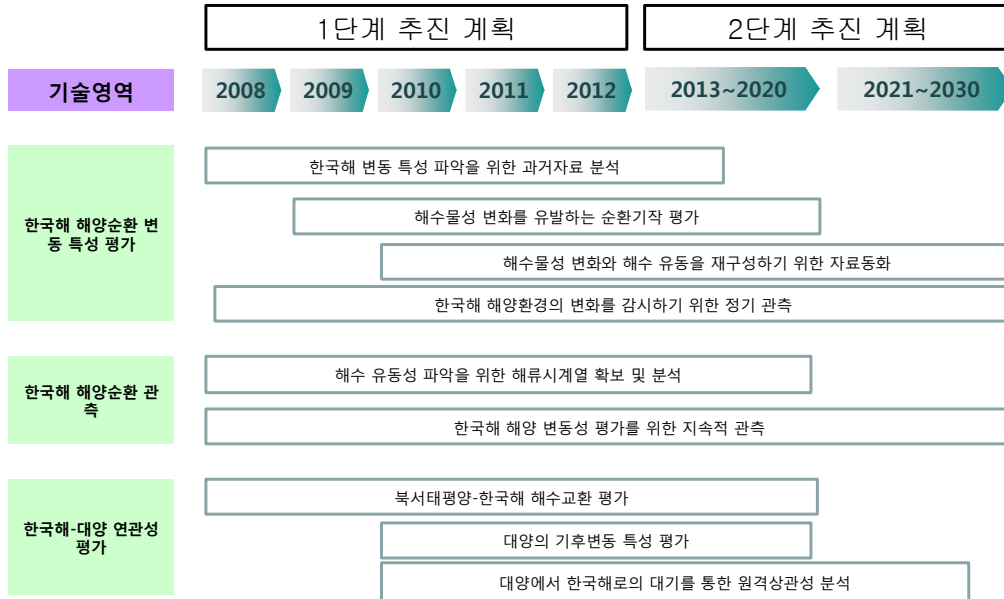
중점 추진과제	세부 추진과제	기술 영역
1. 해양기후변동 예측	1.1 한국해 중장기 변동 특성평가	1.1.1 한국해 해양순환 변동특성 평가
		1.1.2 한국해 해양순환 관측
		1.1.3 한국해-대양 연관성 평가
	1.2 해양온난화 시나리오 작성	1.2.1 동아시아 기후변화 시나리오 작성
		1.2.2 지역해 순환 및 해양 특성 파악
		1.2.3 대양-지역해 접합 모델 개발
		1.2.4 기후시스템 모델 개발
		1.2.5 해수 온도변화 시나리오 기술
	1.3 지역해 모델 개발	1.3.1 고해상도 한반도 주변해역 모델 구축
		1.3.2 상세화 기법 개발

2) 과제이행체계 (추진주체, 기관)

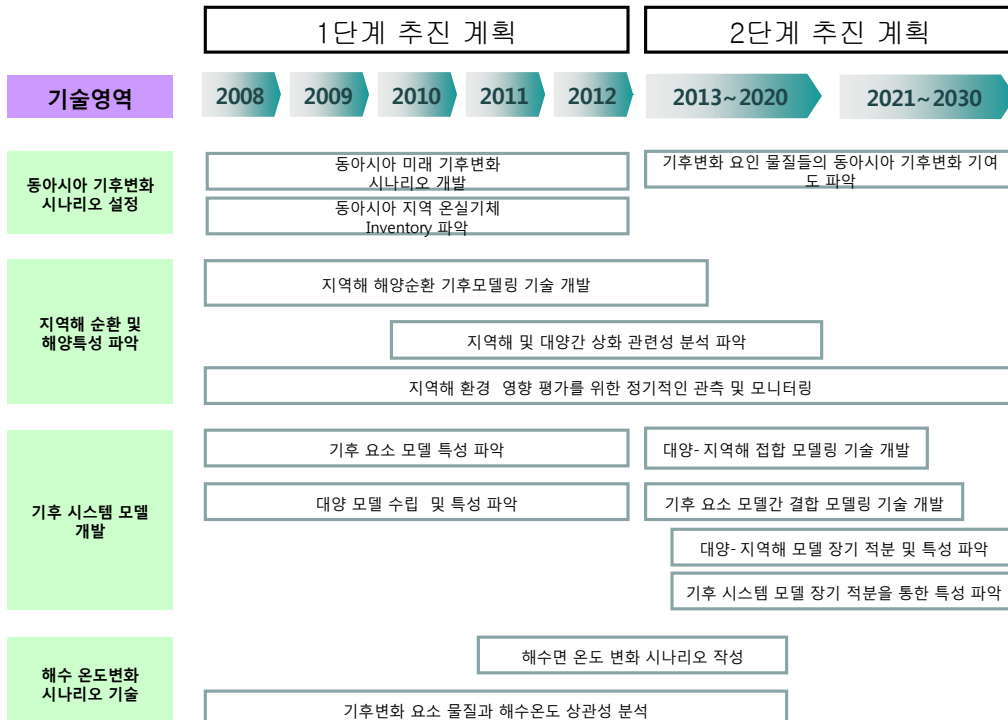
- 한국해 중장기 변동 특성 및 한국해 해양순환 관측은 현재 해양연구원에서 수행하고 있는 다양한 대양 및 지역해 관측 프로그램과 연동하여 추진토록 함. 한국해 중장기 변동 특성 파악을 위한 한국해-대양 연관성 평가를 위해서는 해양연구원이 주관이 되어 서울대, 연세대와 공동 협력 프로그램을 계획하고 있음.
- 해양 온난화 시나리오 작성은 해양연구원 주관으로 서울대, 연세대와 공동 협력 연구를 추진할 예정임. 특히 국립 기상연구소의 국가 표준 기후변화 시나리오 작성 계획과 연동하여 국립 기상연구소를 협력기관으로 해양 온난화 시나리오 작성을 수립하도록 함. 해양 온난화 시나리오 작성을 위해서는 기후 예측 시스템의 구축이 필요한데 이를 위해서 현재 국내 기후요소 모델을 운영하고 있는 서울대, 연세대, 공주대, 부산대 등과 공동 협력 연구를 추진토록 함. 또한 해외 기관 (SIO, IPRC 및 일본 Frontier 사업단)과의 국제 공동 협력 연구 프로그램을 수립토록 함.
- 고해상도 지역해 모델 개발을 위해서 해양연구원을 주관기관으로 연세대를 협력기관으로 하여 연구를 추진토록 함. 특히 고해상도 지역해 모델의 경험이 있는 해외 연구 인력을 해양연구원에 방문 및 연구하는 프로그램을 추진하여 고해상도 지역해 모델 체계를 수립하도록 함.

3) 기술지도

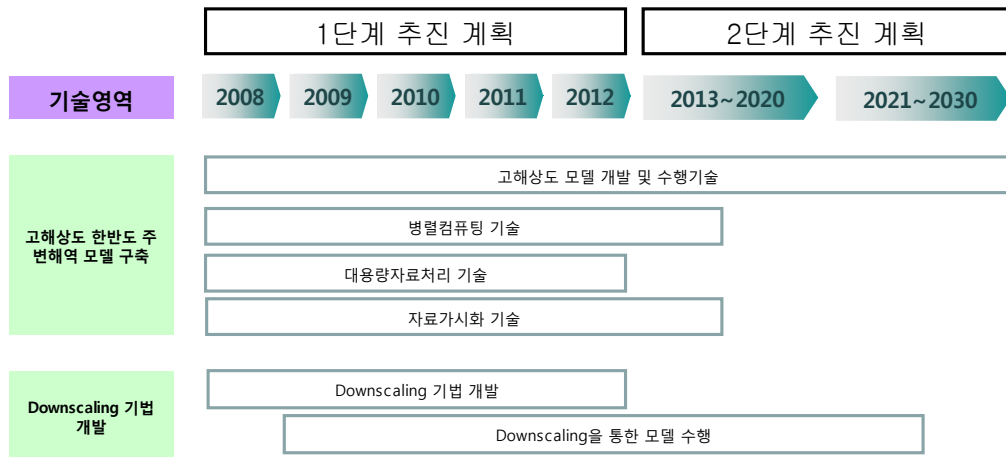
○ 한국해 중장기 변동 특성 평가



○ 해양 온난화 시나리오 작성



○ 지역해 모델 개발



4) 필요예산

(예산: 억원)

핵심 분야	1단계 (2+3년)					2단계 (3+5년)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013-2020
한국해 중장기 변동 특성평가	10	10	15	20	25	100
해양온난화 시나리오 작성	10	10	15	15	20	80
지역해 모델 개발	10	10	15	15	20	80

제5 장 추진 전략과제 중장기 계획: 해수면 상승 진단 및 예측

1. 추진 전략과제 핵심분야 정의 및 기술범위

- 핵심분야: 지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단, 21세기 해수면 상승 예측, 지역기후모델 이용 한반도 주변해역 극치 해수면 예측
- 정의

지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단

IPCC 제4차 보고서(2007)에서 평가한 20세기 전지구 평균 해수면 상승은 $0.17\pm 0.05\text{m}$ 이며 20세기말(1993년부터 2003년까지)에 연평균 해수면 상승률은 $3.1\pm 0.7\text{mm}$ 로 상승률이 가파르게 증가하고 있다. 해수면 상승은 지역적으로 서로 다르게 나타나며 해수면 변화에 기여하는 요인들에는 열팽창, 태풍해일, 해류 변화, 대기압과 바람응력 변화 등이 있다. 해수면 상승 분석·진단 기술은 한국 연안의 해수면 상승 원인을 파악하고 지역적 변화율을 정밀 분석하며 해수면 상승 예측을 위한 기반 기술 개발을 포함한다.

기후변화에 따른 해수면 상승의 정량적 예측을 위하여는 동아시아 기후의 변동 메커니즘에 대한 이해와 국가 적응 전략 수립에 적합한 기후시스템 모델이 요구된다. 해수면 예측 기후모델 수립은 한반도의 기후, 해양 특성, 지리적 특성과 활발한 연안 경제활동 등의 사회적 특성을 고려할 수 있는 우리 고유의 해수면 상승 예측 기술 개발을 포함한다.

IPCC 4차보고서에서 전망한 금세기말까지의 최대 해수면 상승폭은 59cm이다. 빙하 용해의 영향을 심각히 반영하지 않은 4차 보고서 예상치에 반론이 있으며 지역에 따른 국지적인 해수면 상승은 IPCC의 최대 예상치를 크게 상회할 가능성이 있다. 국지적 해수면 상승 예측 기술에는 극치 해수면 기여 요인 분석, 태풍해일의 해수면 상승 기여도 예측, 기후변화에 따른 파랑 및 태풍의 강도변화 예측에 관련된 기술 개발 과정이 포함된다.

- 기술범위
 - 관측자료 분석(검조자료, 위성고도계자료, 수온/염분자료 등)을 통한 지역별 해수면 상승률 추정
 - 원인별(열팽창, 육빙 등) 해수면 상승률 추정
 - 동아시아 기후의 메커니즘 이해와 우리나라 고유의 기후시스템모델 구축
 - 기후시스템모델을 이용한 기후변화에 따른 동아시아 해수면 상승 예측

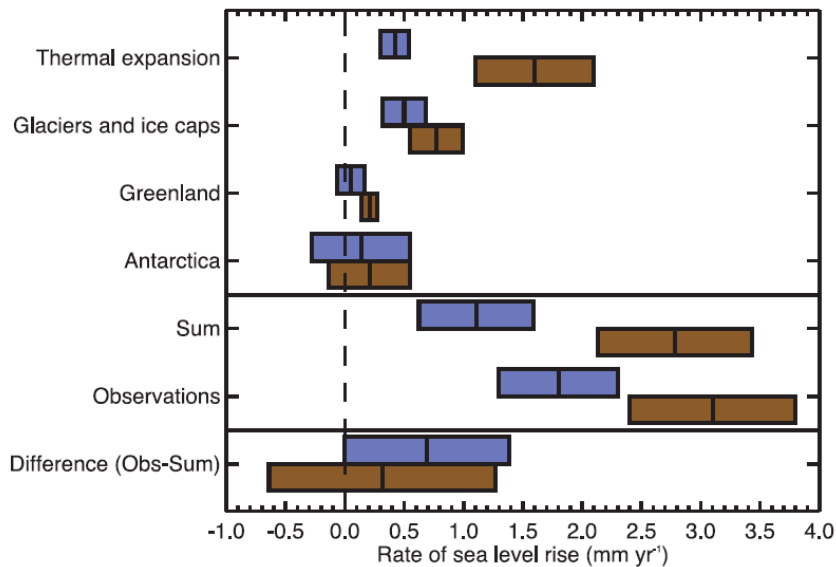
- 동아시아 지역 기후시스템 모델 구축
- 지역 기후모델과 전지구 기후모델의 접합 기술
- 지역 기후모델을 이용한 해수면 상승 및 극치 해수면 상승 예측 기술

2. 추진현황과 문제점 분석

가. 국외 동향

전세계 해수면 상승률과 원인별 상승률:

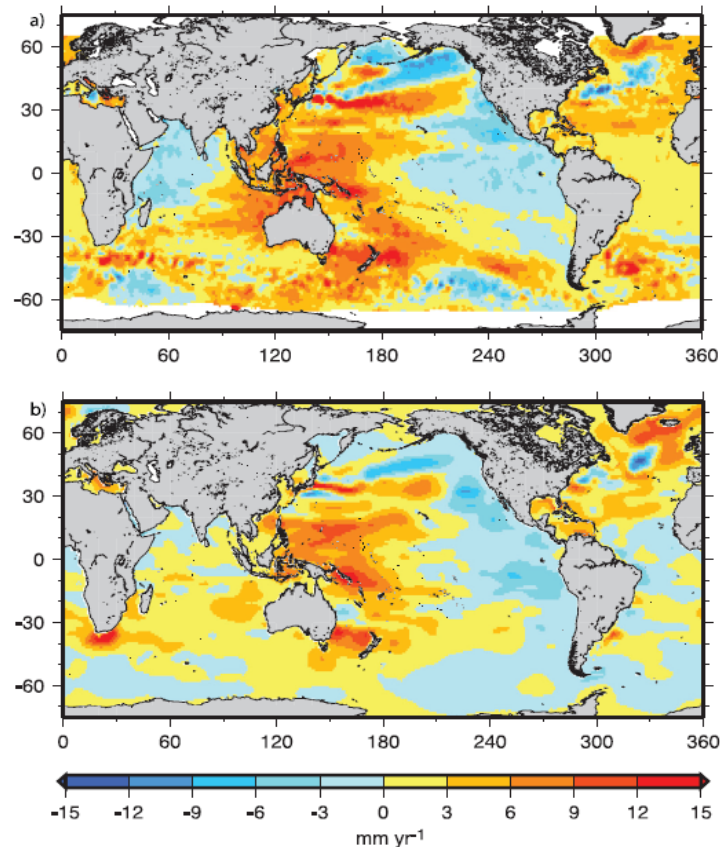
- IPCC는 제 4차 평가보고서(2007)를 통해 20세기 동안 총 해수면 상승률을 약 $0.17 \pm 0.05\text{m}$ 로 평가하였다. 특히 20세기 후반(1993년부터 2003)에 연평균 상승률이 $3.1 \pm 0.7\text{mm}$ 로 가파르게 증가하고 있는 것으로 보고하였다. 특히 열팽창에 의한 해수면 상승이 20세기 후반 들어 크게 증가하였다([그림 5-1]). 전지구적인 해수면 상승으로 인하여 연안재해가 증가할 것으로 예상되지만 이는 지역적인 편차를 고려하여 평가되어야 할 것이다. IPCC 제4차 평가보고서(2007)에 보고된 20세기 후반의 연평균 상승률은 약 20%의 오차를 포함하고 있고 위성고도계 자료를 분석한 결과는 해수면 상승률이 공간적으로 변동이 큰 것을 나타내고 있다([그림 5-2]). 따라서 해수면 상승이 한반도 주변 해역에 미치는 영향을 진단하고 적응 방안을 마련하기 위해서는 한반도 주변의 지역 자료를 정밀 분석할 필요가 있다.



[그림 5-1] 전세계의 해수면 상승률과 원인별 상승률. 1961년부터 2003년까지(청색) 그리고 1993년부터 2003년까지(갈색) 연평균 상승률. (IPCC, 2007)

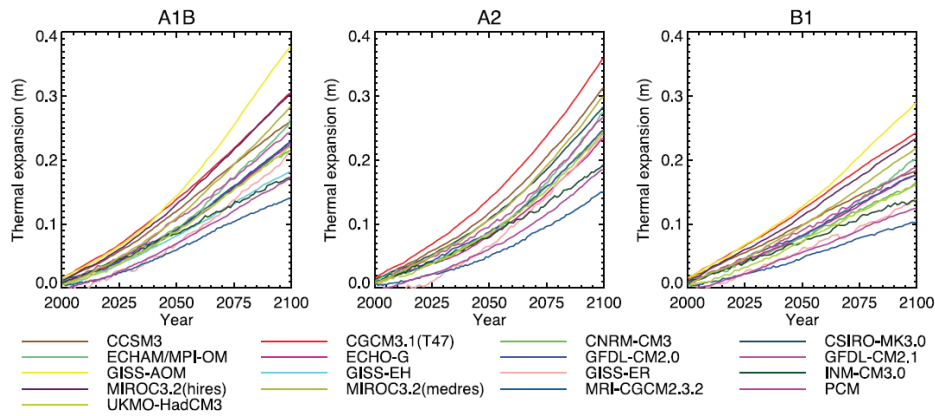
기후모델을 이용한 해수면 상승 예측 연구:

- 전지구 기후변화에 대한 관심이 높아짐에 따라 세계 각국에서 이 분야에 전보다 더 많은 예산을 투입하고 있으며 집합 대순환 기후모델을 이용한 기후예측 연구도 활발하다. IPCC 4차 평가보고서에는 전세계의 23개 기관에서 제출한 집합 대순환 기후모델 결과를 수록하고 있다 (<표 5-1>). 전세계적으로 이러한 기후예측 결과로부터 자연재해의 저감 대책을 마련하고자 후속연구가 이루어지고 있다.

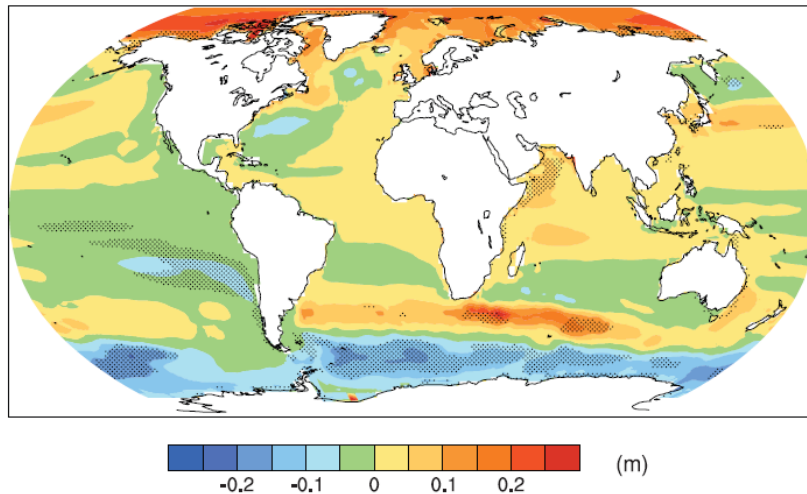


[그림 5-2] 1993년부터 2003년까지 TOPEX/Poseidon 위성고도계로부터 얻어진 해수면 상승률(a)과 열팽창에 의한 해수면 상승률(b). (IPCC, 2007)

- IPCC 4차 평가보고서는 금세기말까지 기온은 최대 6.4°C, 해수면은 최대 59cm 상승할 것으로 전망하였다. 그 중에서 열팽창에 의한 상승률은 SRES B1, A2B 그리고 A2 기후 시나리오에 대해서 21세기 말에 각각 1.9±1.0, 2.9±1.4 그리고 3.8±1.3mm/year에 이를 것으로 예측하였다([그림 5-3]). 현재(1980년부터 1999년)로부터 금세기 말(2090년부터 2099년) 사이의 해수면 상승은 SRES B1 시나리오의 경우 0.18에서 0.38m, B2 시나리오의 경우 0.20에서 0.43m 그리고 A1B 시나리오의 경우 0.21에서 0.48m에 이를 것으로 예측되었다 ([그림 5-5]).



[그림 5-3] A1B, A2 그리고 B1 기후 시나리오에 대한 각 기후 모델의 열팽창에 의한 해수면 상승률 예측 결과. 1980년부터 1999년의 해수면을 기준한 상승률. (IPCC, 2007)



[그림 5-4] 해양밀도와 순환의 변화로 인한 해수면 변화 예측 결과. 2080년부터 2090년 평균 해수면으로부터 1980년부터 1990년 평균 해수면을 빼서 해수면 상승을 추정하였고 전지구 평균을 뺀 후 전지구 평균에 대한 지역적 분포를 도시함. (IPCC, 2007)

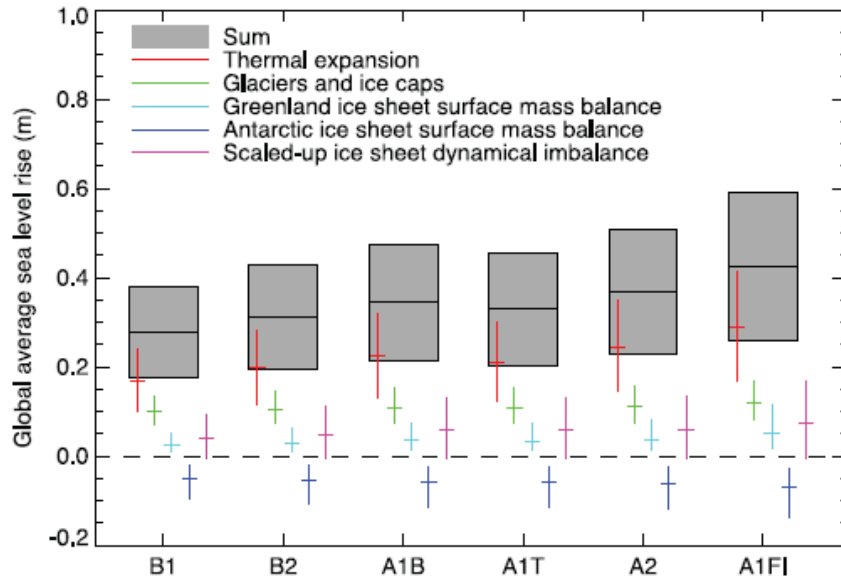
- 우리나라에서는 기상연구소가 독일과 공동으로 ECHO-G 모델을 이용하여 기후모델 결과를 IPCC 4차 평가보고서에 수록하였으나 국내 독자적인 기후예측모델을 보유하고 있지 못하다. [그림 5-4]에서 보는 바와 같이 해양의 밀도 및 순환의 변화로 인한 해수면 상승이 지역별로 차이가 크며 특히 일본과 한반도 근해역을 포함한 북서 태평양의 경우 북극과 대서양과 인도양의 남부 해역을 제외할 경우 상대적으로 해수면이 크게 상승할 것으로 예측되었다. 따라서 향후 기후변화에 의한 한반도 주변 해역의 해수면 상승을 예측하고 이에 대응하기 위해서는 한반도 기후에 적합한 기후 모델이 수립될 필요가 있다.

또한 IPCC 제4차 평가보고서에 수록된 기후모델들의 해양요소모델들은 Boussinesq 근사를 적용함으로써 열팽창에 의한 해수면 상승을 직접 재현하지 못하며 예측된 수온과 염분을 통해 해면 역학고도를 계산하여 해수면 상승을 추정하고 있다. [그림 5-1]과 [그

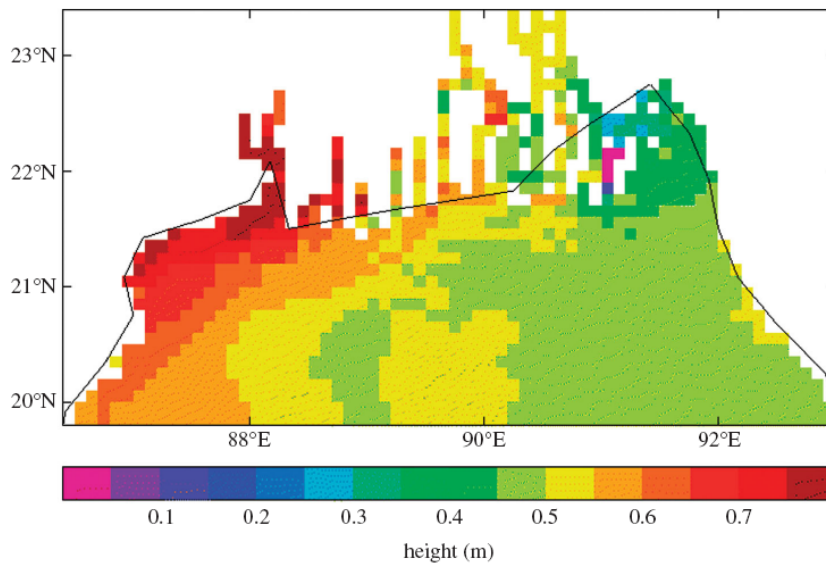
림 5-5]에서 보는 바와 같이 열팽창에 의한 해수면 상승이 전체 해수면 상승의 50% 이상을 차지하고 있다는 점을 감안할 때, 최근에 개발된 MOM4 (GFDL Modular Ocean Model version 4) 등과 같은 Non-Boussinesq 근사를 적용한 해양모델을 이용할 경우 해수면 상승에 대한 보다 정확한 예측이 가능하리라 기대된다.

접합 지역 기후모형을 이용한 극치 해수면 예측:

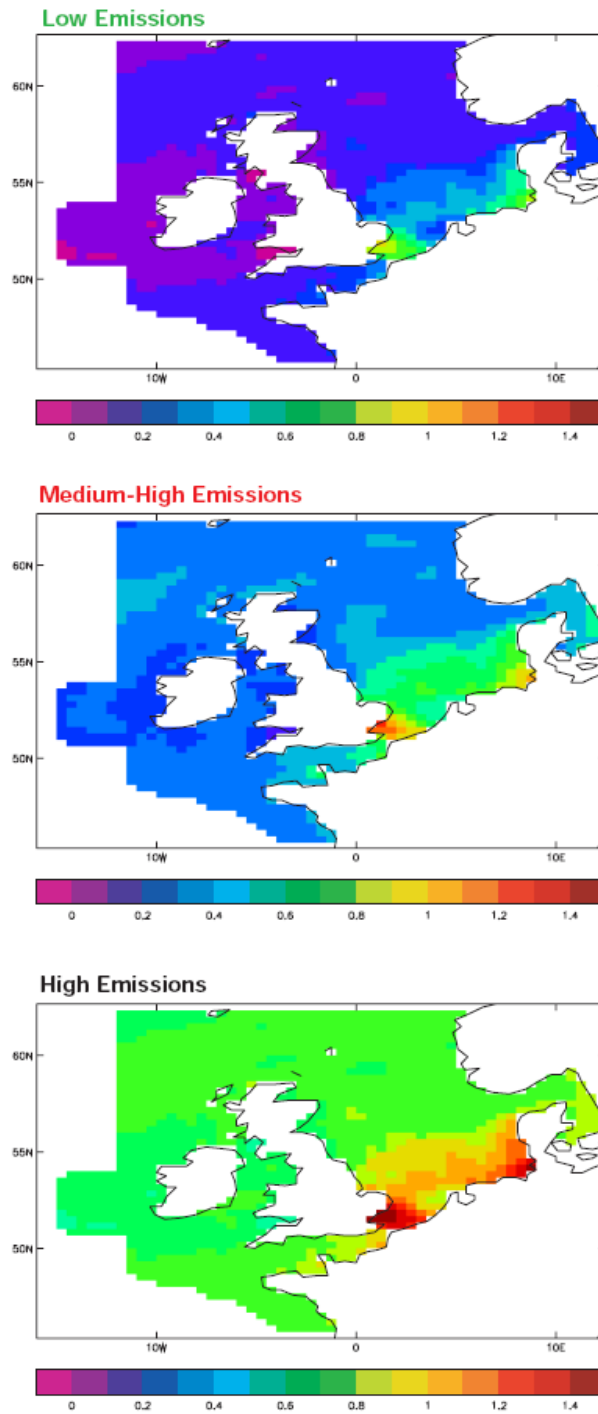
- 지구온난화에 의한 기후변화는 기온 및 수온의 상승에 따른 해수면 상승이라는 일차적인 효과 뿐 아니라 이차적으로 기후변동이 커짐에 따른 극값이 증가할 것으로 예상되고 있다. 이러한 극값의 증가에 따라 기후변화 예측에 대한 불확실성이 커지고 결과적으로 기후변화의 영향을 평가하고 대처하는데 어려움을 더욱 가중시킬 것이다. 관측과 수치모델을 통한 연구 결과들은 지구온난화가 진행됨에 따라 태풍의 숫자는 줄어드는 반면 강도가 크게 증가할 것이라는 몇가지 증거들을 제시하고 있다. 최근에 최악의 피해를 유발시킨 미국의 허리케인 카트리나와 미얀마의 사이클론 나르시스는 지구온난화에 따라 강화된 태풍의 피해를 단적으로 보여주는 사례라 할 수 있다. 특히 이러한 열대성 태풍은 지역의 기상 및 해양 현상과 밀접하게 관련되기 때문에 기후변화에 따른 태풍의 변화를 예측하기 위해서는 고해상도의 지역 기후모델이 필수적이라 할 수 있다.
- 전지구 기후변화 시나리오에 따른 지역적인 극치 해수면 예측 연구가 활발하다. [그림 5-6]과 [그림 5-7]은 각각 벵갈만과 영국 주변의 연안해역에서 극치 해수면을 예측한 것이다. 극치 해수면은 조석 변동과 해수면 상승에 의한 효과뿐만 아니라 태풍의 강도 및 진로 변화 그리고 수직적 지각변동을 고려하여 예측되었다. 전지구 해수면은 100년만에 평균 최대 약 0.6m 가 상승할 것으로 예측되었으나, 벵갈만의 경우에는 극치 해수면이 50년만에 최대 약 0.8m가 상승할 것으로 예측되어 기후변화의 영향이 더욱 가중될 가능성이 있을 것으로 보인다. [그림 5-7]은 영국의 UKCIP (UK Climate Impacts Programme)에서 생산한 영국 해안에 대한 극치 해수면 예측 결과이다. Proudman 해양연구소의 해일 모델과 Hadley 센터의 지역기후모델 (HadRM3)을 이용하여 세 가지 이산화탄소 배출 시나리오에 따른 50년 주기의 최대 해일고 예측 결과를 보여주고 있으며 극치 해수면의 변화는 전지구 평균 해수면의 변화보다 2-3배 클 것으로 예상되고 있다.



[그림 5-5] 2090년부터 2099년 사이의 해수면 상승에 대한 원인별 시나리오별 예측. 각 요소별 95% 신뢰구간을 세로 막대로 함께 표시함. IPCC(2007)



[그림 5-6] IS92a 기후변화 시나리오에 따른 인도 벵갈만 연안의 50년후 극치 해수면 상승 예측결과 (Mitchell et al., 2006)

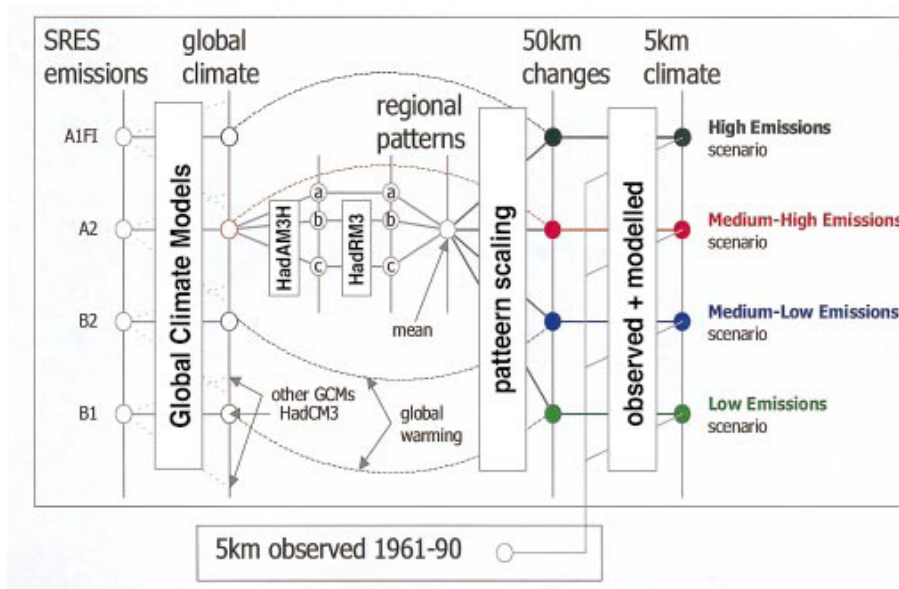


[그림 5-7] 이산화탄소 배출 시나리오에 따른 50년간의 극치 해수면 상승 예측 결과. 극치 해수면은 전지구 평균 해수면 상승의 효과와 폭풍 해일에 의한 효과를 고려함. 저배출 시나리오(Low Emissions, 평균 해수면 9cm 상승), 중·고배출 시나리오 (Midium-high Emissions, 평균 해수면 30cm 상승), 고배출 시나리오(High Emissions, 평균 해수면 69cm 상승). <http://www.ukcip.org.uk/>

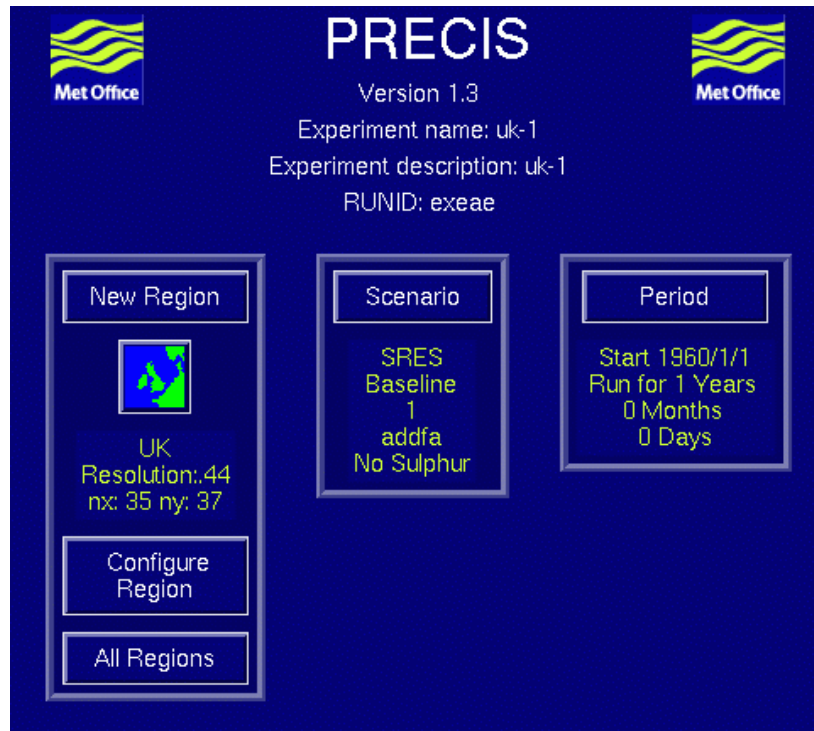
- 영국: 영국은 기후변화 시나리오별 영국의 기후변화를 예측하여 사회, 경제, 문화 등의 다양한 영향을 시나리오로 제시하는 프로그램(영국 기후 영향 프로그램, UK Climate Impacts Programme)을 수행하고 있다. 전지구 기후변화 예측과 지역기후변화는 HadAM3H와 HadRM3를 이용하여 예측되며 모델 및 관측을 통한 다양한 연구 결과들과 함께 분석되어 시나리오를 제시한다 ([그림 5-8]).

영국 해들리 센터에서는 지역기후모델링 체계(PRECIS: Providing Regional Climates for Impacts Studies)를 수립하여 지역별 예측 결과를 생산하고 있다. PRECIS ([그림 5-9])는 해들리 센터의 지역기후모델(HadRM3)에 기반하고 있으며 경계 조건으로 ECHAM4 (SRES A2 and B2 시나리오), NCEP Reanalysis, HadCM3 (A1B 시나리오) 등을 적용하여 어느 지역에 대해서나 쉽게 예측 결과를 얻을 수 있도록 설계한 것이 특징이다. 영국 주변해역에 대해서 뿐 아니라 전세계의 다양한 지역에 대한 지역 기후 예측이 가능하며 개발도상국의 경우 무상으로 그 이외의 경우 유상으로 기술 지원 및 지역 기후 예측 지원을 수행하고 있다.

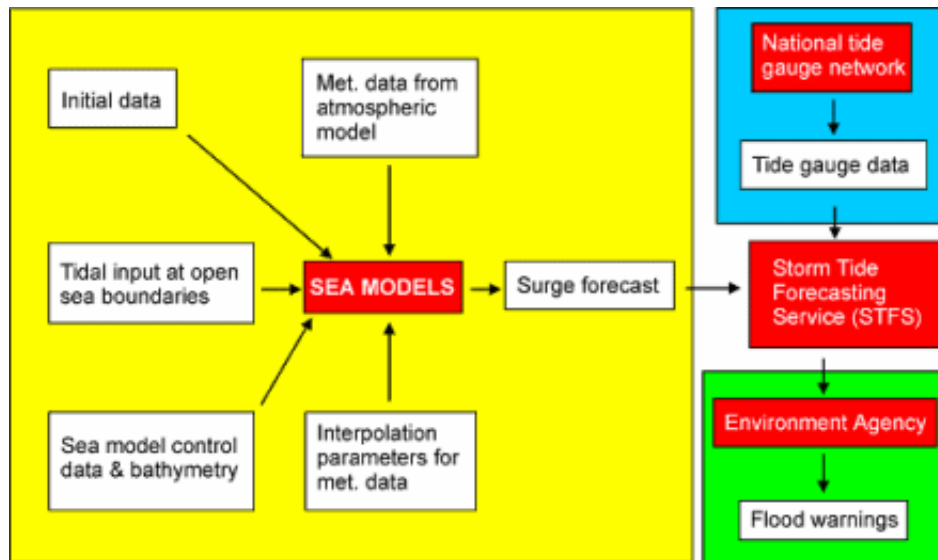
영국 POL (Proudman Oceanographic Laboratory)의 해일 예측 시스템에서는 영국 해안선을 따라 35개의 정점에서 하루에 4번씩 48시간 후까지 해일 예보를 실시하고 있다. 12km 해상도의 CS3 모델을 운용하고 있으며 12km 해상도 기상모델과 연동되고 있다. 일반적으로 RMS 오차는 약 10cm 정도이며 매일 관측값과 예보결과를 비교하여 모델 성능을 검증하고 있다. 향후 3.5km 고해상도 모델 수립과 자료동화 시스템을 구축할 예정이다 ([그림 5-10]).



[그림 5-8] 영국 기후 영향 프로그램의 개념도

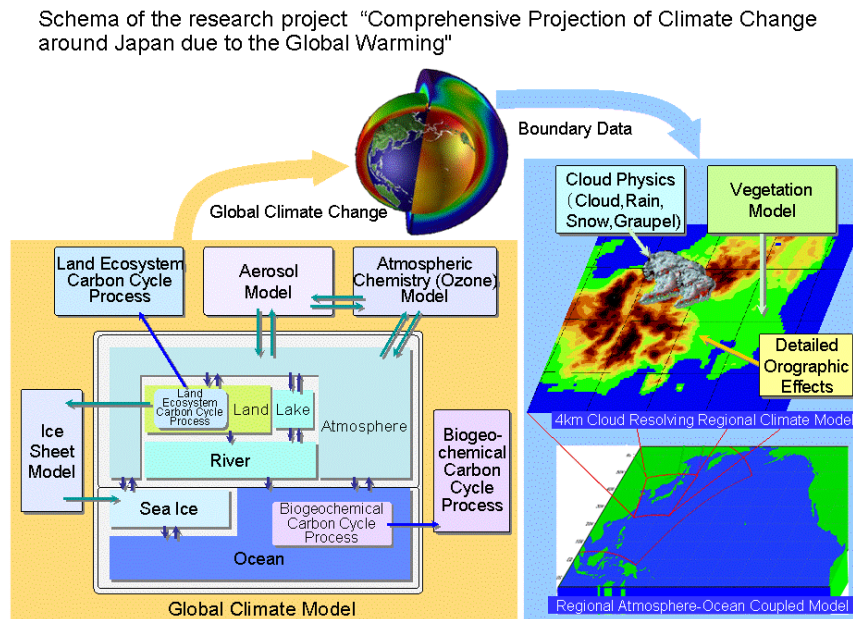


[그림 5-9] PRECIS 시스템의 첫 화면 (<http://precis.metoffice.com>)



[그림 5-10] 영국 POL의 해일예보 및 범람경고 시스템의 개념도

- 일본: 일본 기상청과 기상연구소는 전지구 기후예측 모델을 보유하고 있으며 예측된 기후예측 결과를 지역기후모델의 입력 자료로 하여 일본 주변역에 대해 20km의 해상도 (RCM20)로 지역기후를 예측하고 있다. 고해상도의 RCM20을 이용하여 기후변화에 따른 태풍의 빈도 및 강도를 예측하고 있으며 향후 보다 더 고해상도의 기후모델과 비정수압 근사를 적용한 기후모델을 이용하여 예측의 정확도를 높이는 연구를 수행할 예정이다 ([그림 5-11]).



[그림 5-11] 일본 MRI-JMA의 지역기후모델 개념도
<http://www.mri-jma.go.jp/Project/1-21/1-21-en.htm>

- 미국·캐나다: 미국의 대표적인 기후예측 연구기관인 NCAR에서는 MM5를 이용하여 지역기후모델을 수립하여 지역기후 변화를 예측하고 있으며 (<http://www.mmm.ucar.edu/facilities/nrcm/nrcm.php>) 캐나다는 OURANOS research consortium에서 캐나다 지역기후모델(CRCM3.6)을 수립하여 지역기후 변화를 예측하고 있다 (<http://www.cccma.ec.gc.ca/models/crcm.shtml>). 미국의 NOAA에서는 파랑 및 해일고 예보 체계를 수립하고 WaveWatch III 를 이용하여 전지구 주요 해역에 대한 파랑예보를 실시하고 있으며 웹 기반의 일반 사용자를 위한 서비스를 실시하고 있다. 유의파고와 풍성과 파고, 너울 파고 및 파향 등을 웹 기반으로 도시하고 있다 ([그림 5-12]).

NOAA WAVEWATCH III

WAVEWATCH III Product Viewer

Home	Product Viewer	Product Table	Product Descriptions	Model Description	Model Data Access
----------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

Choose a Region
 Choose a Run Time
[Need help?](#)

[Significant Wave Height](#)
[Wind Sea Wave Height](#)
[Primary Swell Wave Height](#)
[Secondary Swell Wave Height](#)
[Wind Speed and Direction](#)

[Peak Wave Period](#)
[Wind Sea Period](#)
[Primary Swell Period](#)
[Secondary Swell Period](#)

Australia-Indonesia (Latest run) 2008/06/24 18z

Significant Wave Height and Peak Direction forecast for Hours

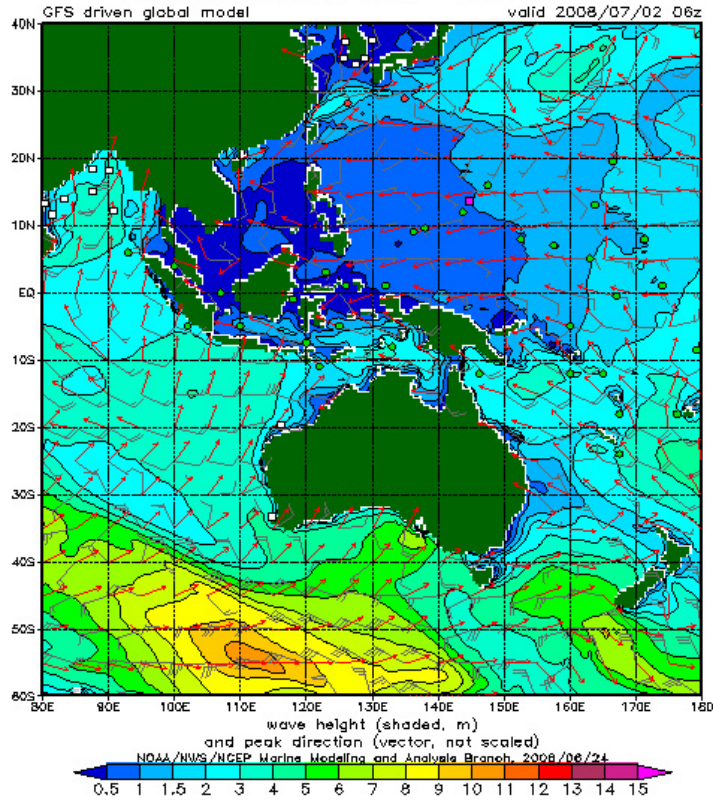
Buoy Info: Bulletin Spectra Sources

Loop Images

Adjust Speed

Advance One

NMWW3 20080624 t18z 180h forecast

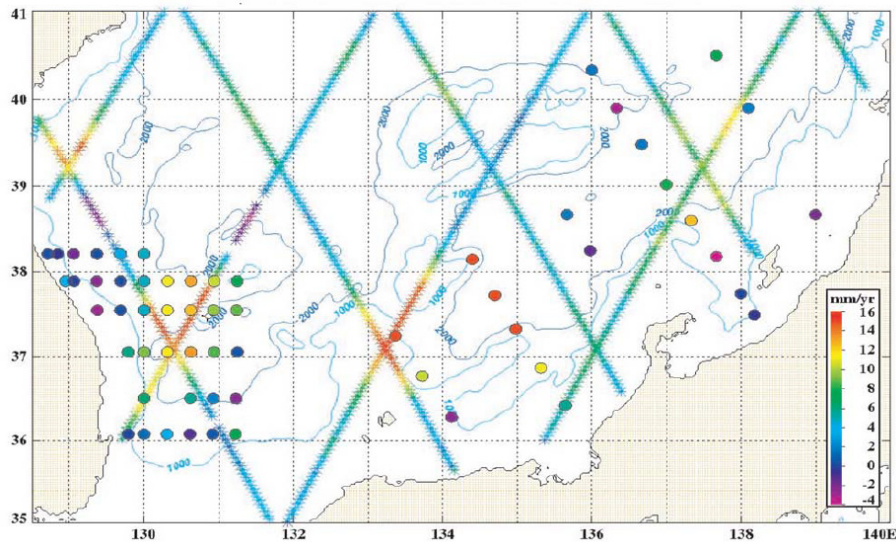


[그림 5-12] 미국 NOAA의 WaveWatch III를 이용한 파랑예보 체계의 웹기반 서비스

나. 국내 현황

관측 자료 분석을 통한 해수면 상승률 추정:

- 관측 자료를 분석함으로써 이미 진행되어온 과거의 기후변화에 따른 해수면 상승의 경향을 분석하여 미래의 경향을 예측하는 방법이다. Kang et al. (2005)은 동해의 해수면 상승 경향을 분석하기 위해 TOPEX/Poseidon 위성 해면고도자료와 관측 수온과 염분 자료로부터 해면고도추정자료 그리고 장기 조위관측자료를 분석하였다. 1993년부터 9년 동안의 위성 해면고도자료 분석에서 얻은 동해의 해수면 상승률은 5.4 ± 0.3 mm/year 로 전지구 해수면 상승률인 3.1 ± 0.7 mm/year 보다 훨씬 크며 해수면 상승 효과가 두드러지는 것으로 보고하였다 ([그림 5-13]).



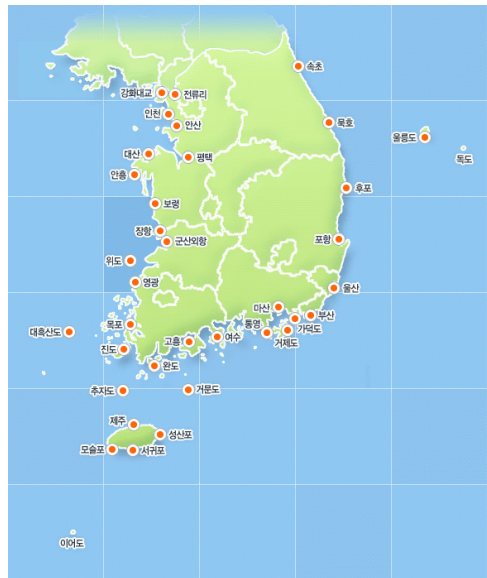
[그림 5-13] 위성 해면고도 자료(x)와 관측 수온과 염분자료로부터 추정된 해면고도 자료(●)를 이용하여 계산된 해면고도 상승률. Kang et al. (2005).

- 국립해양조사원은 한반도 해안을 따라 27개의 검조소를 운용하고 있으며 ([그림 5-14]), 이로부터 얻어진 장기간의 조위 자료를 분석하여 우리나라 주변 해역의 해수면 상승률이 전 세계 평균값보다 높게 매년 1.99mm씩 (1964~2006) 상승하고 있다고 보고하였다 (<표 5-1>). 특히 제주 부근해역의 상승률이 다른 해역보다 큰 것이 특징적이다.

<표 5-1> 우리나라의 주요 지역별 해수면 상승률 (국립해양조사원)

(단위: cm)

서해안		남해안		동해안		제주 부근	
안흥	0.16	완도	0.23	포항	0.22	추자도	0.33
군산	0.03	여수	0.15	울릉도	0.20	거문도	0.59
목포	0.12	부산	0.23	속초	0.22	제주도	0.50
지역평균	0.10	지역평균	0.34	지역평균	0.14	지역평균	0.51



[그림 5-14] 국립해양조사원에서 운영하고 있는 27개의 검조소 위치도

해일 예측 모델:

- 국립기상연구소에서 조석/폭풍해일 예측 시스템을 구동하여 약 8km 격자에서 매 3시간마다 광역 예보를 하고 있으며 연안역 30개의 정점별 조위 예보와 해일 예보를 실시하고 있다.
- 한국해양연구원에서는 “연안 국지해일 정밀예보 지원체제 현업화 기술 연구”를 기본사업으로, “지구온난화 환경에서 강화되는 태풍해일 예측 기술 개선 연구”를 공공기술연구회의 협동연구사업으로 그리고 “폭풍해일 설계해면 및 천해 설계과 추산 연구”를 기본사업으로 수행중이다.

기후모형을 이용한 해수면 상승 예측 연구:

- 접합 대순환 기후모형은 지구온난화에 의한 기후변화가 대두되면서 많은 연구가 진행되었고 그에 힘입어 세계적으로 여러 모형들이 개발되었다. 한국의 접합 대순환 모형의

개발 역사는 그리 오래되지 않았다. 연세대학교의 YONU CGCM의 개발을 시작으로 서울대학교의 SNU CGCM과 부산대학교의 PNU CGCM을 들 수 있으며 최근에는 독일과 공동으로 운용하고 있는 국립기상연구소의 ECHO-G 모형이 있다 (김, 2006). SNU CGCM을 이용한 기후연구가 비교적 활발히 수행되고 있으나 해빙모델이 접합되지 못하여 지구시스템 모델로써 성능을 인정받지 못하는 단점이 있다. 우리나라에서 기후변화에 의한 해수면 상승에 대한 연구는 활발하지 못하다. Choi et al.(2005)는 NCAR의 접합 대순환 모형인 NCAR CCSM을 이용하여 지구온난화에 의한 해수면 변동을 연구한 바 있으며 이산화탄소 4배증에 따라 10년간 전지구 평균 19cm, 북서태평양에서 25cm의 해수면 상승을 예측한 바 있다.

해수면과 해파 관련 장기변화 예측 기술:

- 국내의 기후변화에 대한 연구는 주로 해수면 온도와 기온 그리고 강수량의 변화를 포함한 기후역학의 변화에 초점이 맞춰져 있으며 해수면 상승이나 연안 침식에 관련된 연구는 미진한 상태이다. 국립기상연구소에서 해양예보를 수행하고 있고 한국해양연구원에서 국지해일 정밀예보를 위한 연구를 수행하고 있지만, 기후변화에 따른 해수면 상승과 파랑환경 변화에 따른 극치 해수면 상승효과에 대한 연구는 수행하지 못하고 있다.

다. 문제점 분석

1) 국내 기술개발 수준

극치 해수면 상승 예측 기술:

- 국립기상연구소와 한국해양연구원을 중심으로 해일예측 시스템을 개발하고 성능을 향상시키고자 하는 연구들이 수행 중이다. 특히 고해상도 국지해일 정밀예보 시스템에 대한 연구가 수행 중이며, 해일예측 시스템에 필수적인 태풍예보체계에 대한 연구도 수행 중이다. 그러나 장기적인 관점에서 기후변화에 따른 해수면 변동 기여요인 분석 기술 즉 태풍과 폭풍해일의 강화 경향에 대한 분석 기술, 해수면 상승 가속화 및 강화 기여도 예측 기술, 극치 해수면 예측 기술 등에 대한 연구 인프라 확충 및 연구과제 개발이 필요하다.

전지구 기후시스템모델과 해수면 상승 예측모델 접합 기술:

- 기후변화에 따른 해수면 상승과 극치 해수면 상승을 예측하기 위해서는 전지구 기후시스템모델을 이용한 연구뿐만 아니라 지역 기후모델의 수립과 접합이 필요하다. 국내에서도 기후모델을 수립하고 예측에 활용하고자 하는 연구들이 시작되고 있으나 아직 전지구 기후모델과 지역 기후모델을 접합한 해수면 상승 및 극치 해수면 상승 예측 기술

은 부족하며 그 원인중 하나는 이에 대한 지속적 연구 개발의 부족에 있다.

2) SWOT 분석

향후 해수면 상승 진단 예측 기술 향상을 위한 최적의 방안을 모색하고자 SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, Threat) 분석을 실시하였다 (<표 5-2>).

<표 5-2> 해수면 상승 진단 및 예측 분야 SWOT 분석

강점(Strength)	약점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> • 한반도 연안역에 대한 장기간의 조위 및 해양물성 자료가 축적되어 있고 분석 경험이 풍부하며 지구온난화에 따른 해수면 상승에 대한 이해가 높음. • 해양순환 모델과 파랑 모델에 대한 이해도가 높고 운용경험이 풍부함. • 연안역에 대한 활용도가 증대됨에 따라 국가 차원의 지원 가능성. 	<ul style="list-style-type: none"> • 전지구적인 기후변화에 따른 지역해의 반응에 대한 연구가 미흡함. • 관측 자료의 품질 관리 체계가 부재하여 장기간의 자료 분석시 요구되는 일관성의 결여가 우려됨. • 지역 기반의 기후예측 시스템 모델링을 위한 전문 연구인력 부재. • 전지구 기후예측 시스템 모델과 지역 기반의 기후예측 시스템 모델의 접합을 위한 전문 연구인력 부재.
<ul style="list-style-type: none"> • 연안역에 대한 활용도가 증대됨에 따라 지구온난화에 따른 해수면 상승에 대한 국가적인 관심 증대. • 빈번해지고 있는 대규모 연안 재해로 인하여 해양 현상의 이해 및 예측에 대한 관심이 높아짐. • 기후변화와 태풍의 예측에 있어 해양의 역할이 주목받고 있음. • 기후변화관련 지역 기반 예측 모델에 대한 필요성 증대. • 정부차원 R&D 예산 확대 추세 	<ul style="list-style-type: none"> • 선진국의 기술 발전 속도 비약 • 부처간 혹은 부처내의 연구개발 내용 중복 요인 증가 • 급격한 기후변화에 따른 해양 변동성 및 온난화 전망의 불확실성 증가 • 미국 일본은 이미 한반도 주변해역에 대한 예보를 하고 있음.
기회(Opportunity)	위협(Treat)

3) 국제 경쟁력 분석

- 해일 예측 모델 분야에 대한 국내의 연구 수준은 선진국과 크게 차이가 나지 않으며 다만 고해상도 국지해일 정밀예보 시스템이 구축되지 않은 점과 해일침수 예상 지역에 대한 집중 연구가 미진하나 이에 대한 연구가 현재 진행 중이다.
- 기후변화 연구에 대한 국제적인 추세는 기후변화의 지역적인 영향을 검토하고 이에 대

비하는 방향으로 진행되고 있다. 국내에서는 여러 기관을 통해 기후모델을 이용한 기후 변화 연구가 시작되고 있으나 기후모델 결과로부터 해수면 상승 및 극치 해수면 상승을 예측하는 연구는 취약하다. 기후변화의 지역적인 영향을 검토하기 위해서는 지역 기후 모델에 대한 연구 개발이 필요하다.

3. 세부추진과제

가. 세부추진과제 설정

- 지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단
- 기후모델을 이용한 21세기 해수면 상승 예측
- 지역기후모델을 이용한 한반도 주변해역 극치 해수면 예측

나. 세부과제 추진목표 및 기대효과

1) 추진목표

해수면 관측 자료를 분석하여 지역별/원인별 해수면 상승을 진단하고 전지구 및 지역기반 기후예측 시스템을 수립하고 고정밀 해일모델과 연계하여 평균 해수면 및 극치 해수면 상승을 예측.

2) 기대효과

- 중장기적인 해수면 상승을 평가하고 예측하여 미래 기후변화에 따른 국가적 연안재해 대응 방안 마련
- 정밀 연안역 해수면 예측으로 안전한 연안 활용 방안 마련에 기여함으로써 연안 지자체 발전 계획 수립에 활용
- 기후변화의 피해가 클 것으로 예상하지만 대응기술을 확보하지 못한 동남아시아의 연안국가들 비롯한 후발 국가들에 대한 기술지원을 통해 과학기술 선진국으로서 이미지 제고 및 국제 협력 체제 구축에 이바지
- 전 세계인의 공통문제 해결을 위해 선진 각국과 국제협력 프로그램의 공동 참여함으로써 인적 협력 네트워크 강화

다. 세부추진과제 추진방안

1) 기술영역 및 요소기술 (<표 5-4> 참조)

○ 세부추진과제 2.1 - 지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단

- 기술영역 2.1.1 - 관측자료 분석(검조자료, 위성고도계자료, 수온/염분자료 등)을 통한 지역별 해수면 상승률 추정

기후변화에 따른 해수면 상승은 해양 순환과 관련하여 지역적인 편차가 큰 것으로 알려져 있어 해수면 상승을 예측하고 활용하기 위해서는 해수면 상승의 지역적인 반응을 진단하고 해수면 변동성을 규명하는 것이 필요하다.

- 요소기술

- 한반도 주변 해역에 대한 검조자료, 위성고도계자료 및 해양물성 자료의 통합관리 체계 구축
- 지역별 한반도 연안역 해수면 상승률 추정
- 한반도 주변 해역의 해수면 변화에 대한 해양순환 역할 규명

- 기술영역 2.1.2 - 원인별(열팽창, 육빙 등) 해수면 상승률 추정

한반도 주변 해역의 해수면 상승을 정확히 진단하고 예측하기 위해서는 해수면 상승에 영향을 주는 원인을 파악하고 진단할 필요가 있다. 특히 전지구적 지구온난화에 따른 해수의 열팽창과 육빙의 소멸 등이 한반도 주변해역에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다.

- 요소기술

- 지구온난화에 따른 해수의 열팽창 및 육빙의 소멸에 의한 전지구 해수면 상승률 평가
- 열팽창 및 육빙의 소멸이 한반도 주변 해역의 해수면에 미치는 영향 진단

○ 세부추진과제 2.2 - 지역기후모델을 이용한 한반도 주변해역 극치 해수면 예측

- 기술영역 2.2.1 - 고해상도 동아시아 지역기후모델을 이용한 한반도 해수면 상승 예측
해양 온난화에 따른 해수면 상승은 지역별로 큰 차이가 있어 고해상도의 동아시아 지역 기후모델을 활용하여 한반도 해수면 상승 예측의 정확도와 정밀도를 높일 필요가 있다.

• 요소기술

- 고해상도 지역 기후모델 수립
- 전지구 기후시스템 모델과 지역기후모델의 접합
- 고해상도 지역 기후모델을 이용한 한반도 해역 해수면 상승률 예측
- 한반도 주변 해역의 해수면 상승에 대한 기후변화 요소들의 역할 규명

• 기술영역 2.2.2 - 고해상도 지역 기후모델을 이용한 극치 해수면 상승 예측

연안 재해 대응을 위해서는 평균 해수면 뿐만 아니라 극치 해수면 상승의 예측도 매우 중요하다. 지구온난화 과정에서 나타나는 바람장의 변화와 수온 상승은 해양의 파랑 환경을 변화시키며 태풍의 강도를 증가시킬 것으로 예상된다. 이는 극치 해수면의 상승을 야기할 것으로 예상되며 고해상도 지역 기후모델과 파랑 및 태풍 모델을 연계하여 극치 해수면의 상승을 예측할 필요가 있다.

• 요소기술

- 고해상도 지역 기후모델과 파랑모델의 연계 및 파랑환경 예측
- 해양 온난화가 태풍의 강도에 미치는 영향 파악
- 고해상도 지역 기후모델과 태풍모델의 연계 및 태풍강도 예측

<표 5-3> 해수면 상승 진단, 예측 및 적응 분야 중점 추진과제(2)와 세부 추진과제 및 기술 영역

중점 추진과제	세부 추진과제	기술 영역
2. 해수면 상승 진단 및 예측	2.1 지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단	2.1.1 관측자료 분석(검조자료, 위성고도계 자료, 수온/염분자료 등)을 통한 지역별 해수면 상승률 추정
		2.1.2 원인별(열팽창, 육빙 등) 해수면 상승률 추정
	2.2 지역기후모델을 이용한 한반도 주변해역 극치 해수면 예측	2.2.1 고해상도 동아시아 지역 기후모델을 이용한 한반도 해수면 상승 예측
		2.2.2 고해상도 지역 기후모델을 이용한 극치 해수면 상승 예측 기술

2) 과제이행체계 (추진주체, 기관)

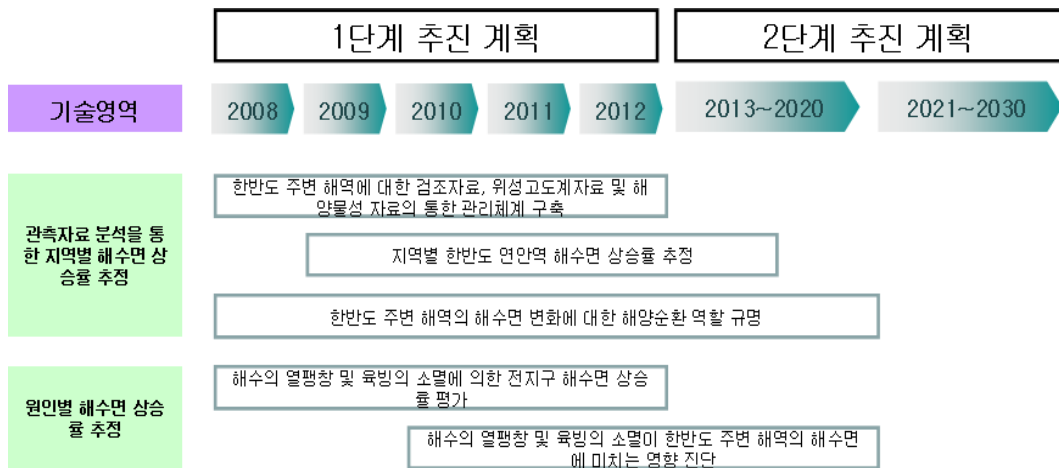
- 한국 연안 해역에 대한 지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단 연구는 한국해양연구원을 주관으로 국내외 연구기관들과 협력체계 구축 및 공동연구를 추진할 계획임. 한국해양연구원을 주관으로 한반도 연안 해역에 대한 조위 및 해양물성 자료의 자료 품질 관리 통합 체계를 구축하며 이를 위해 관측 주관 기관이 국립해양조사원 및 국립수산물학원과 한국해양연구원의 협력 체계를 구축할 예정. 한반도 주변 해역에 대한 위성고도

계자료의 자료 품질 관리 체계 구축과 위성고도계자료를 이용한 해수면 상승률을 추정
을 위한 연구는 서울대와 공동 협력 연구를 추진할 예정이다. 위성고도계자료의 자료 품
질 관리 체계를 구축하기 위해 위성고도계자료 처리에 대해 권위 있는 기관인 AVISO
또는 JPL 과 공동연구를 추진할 수 있음.

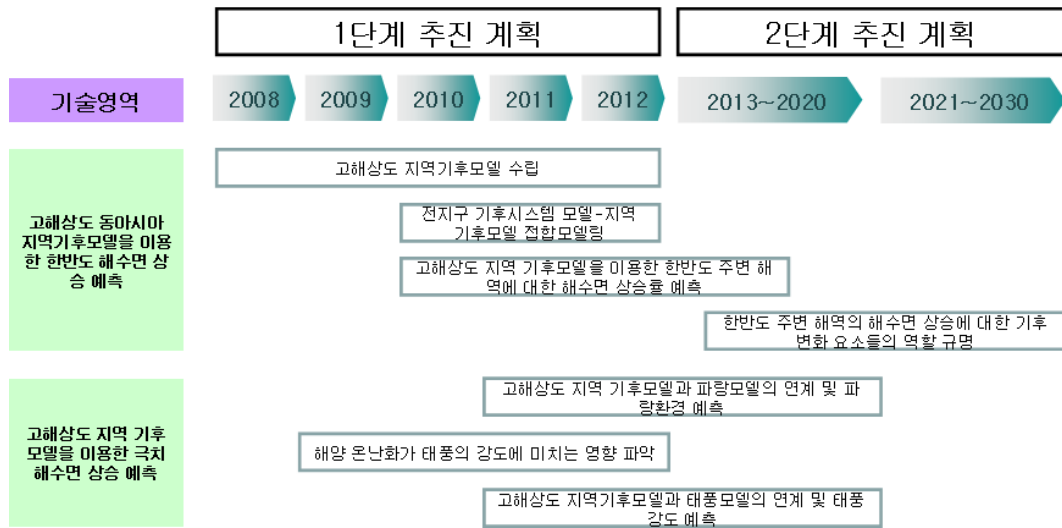
- 극치 해수면 상승 예측을 위한 연구는 한국해양연구원을 주관으로 전지구 및 지역기반
기후모델 연구기관과 협력체계를 구축할 예정이다. 극치 해수면 상승을 예측하기 위해서
는 파랑 및 태풍 모델과 지역 기후모델을 연계할 필요가 있는데 지역 기후모델 구축을
위해 현재 국내 기후 모델을 운용하고 있는 서울대, 연세대, 공주대, 부산대 등과 공동
협력 연구를 추진토록 함. 또한 극치 해수면 상승을 예측에 있어 선진 기술을 가지고
있는 영국의 POL(Proudman Oceanographic Laboratory)과 한반도 주변 해역에 대한
고해상도 지역 기후모델을 이용한 태풍 예측 기술을 보유하고 있는 일본의 MRI
(Meteorological Research Institute) 그리고 해양/태풍 상호 작용을 연구에 있어 권위있
는 기관이 URI(University of Rhode Island)와 협력 공동 연구를 추진하고 있음.

3) 기술지도

○ 지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단



○ 지역기후모델을 이용한 한반도 주변해역 극치 해수면 예측



4) 필요예산

(예산: 억원)

핵심 분야	1단계 (2+3년)					2단계 (3+5년)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013-2020
지역별/원인별 해수면 상승 분석 및 진단	10	10	15	20	20	50
지역기후모델을 이용한 한반도 주변해역 극치 해수면 예측	10	10	15	20	25	70

제6 장 추진 전략과제 중장기 계획: 해양생태계 변동 예측

1. 추진 전략과제 핵심분야 정의 및 기술범위

- 핵심분야: 해양 생태계 변화 모니터링, 생태계 변화 예측 모델링

- 정의

해양생태계는 인간에게 식량, 의약재료, 유전자원, 관광 및 여가와 같은 여러 가지 재화성 산물뿐만 아니라 기후조절, 수질 및 대기정화, 영양염의 저장과 순환, 오염물질의 흡수 및 해독과 같은 비재화성 혜택을 주고 있다(Christensen et al., 1996). 기후변화는 해양생태계의 구조와 기능을 변화시켜 궁극적으로 인간이 생태계로부터 얻는 혜택을 줄일게 될것으로 예상된다. 따라서 이러한 생태계 변화를 지속적으로 감시하고 예측함으로써 적절하게 적응하는 것이 필요하다.

해양생태계 변화 모니터링은 기후변화에 따른 해양생태계의 반응 평가와 예측에 필요한 자료 획득을 위해서 가장 기본적으로 수행되며, 여기에는 생태계 모니터링을 위한 기술 및 장비 개발과 지속적인 해양생태계 모니터링 시스템 구축을 포함한다. 또한 생태계 장기 모니터링과 더불어 기후변화에 따른 해양환경변화(수온 상승, 해양산성화 등)에 따라 해양생태계의 구조와 기능 변화를 평가하고 예측하는 기술도 포함된다.

생태계 모델링 기술은 해양생태계를 구성하는 상하위준위 생태계 구성 생물과 물리, 생지화학적 인자들의 역학 관계를 수학적으로 기술하고 모수화하여 정량적으로 파악하는 기술이며 이를 통하여 장차 환경변화에 따른 생태계 변화를 예측하는 기술이다.

- 기술범위

- 생태계 모니터링 시스템 구축과 운용
- 생태계의 종 다양성, 구조와 기능 분석
- 해양 산성화가 생태계에 미치는 영향 진단
- 기후변화에 따른 생태계 변화 시뮬레이션 모델 개발

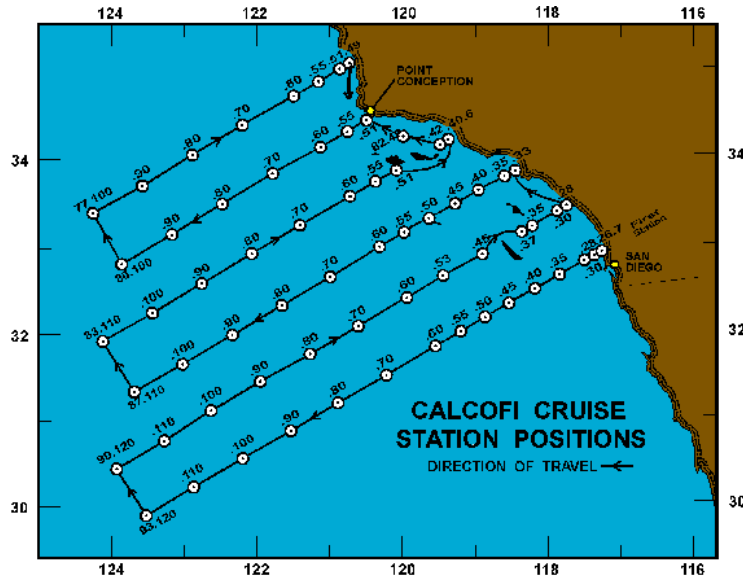
2. 추진현황과 문제점 분석

가. 국외 동향

생태계 모니터링 프로그램:

- CalCOFI (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations) - 미국 스크립스해양연구소(SIO)는 1949년부터 북동태평양의 캘리포니아 해류역에서 연 4회의 물리, 화학, 플랑크톤, 어란 등에 대한 장기 모니터링 연구를 수행하고 있다. 장기간 축적된 시료 및 자료를 이용하여 과거의 기후변화와 해양환경 변화에 따라 해양생태계의 구조와 기능의 변화 연구를 하고 있다 (<그림 6-1>).
- HOT (Hawaii Ocean Time Series) - 미국의 하와이 대학을 중심으로 하와이 연근해역에 핵심 정점을 선정하여 물리, 화학, 생태계 (미생물, 원생동물, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤 등)에 대한 연구를 하고 있으며 1988년부터 연 12회의 조사를 수행하고 있다. 열대 또는 아열대 해역의 해양생태계 변동이 기후변화/해양환경변화와 어떤 관련이 있는지에 관심을 두고 있다. 생태계 연구의 경우 생물학적인 과정에도 초점을 맞추고 있다.
- Line-P - 캐나다 북동태평양의 알래스카 만에서 캐나다 해양과학연구소 주관으로 1956년부터 현재까지 연 3회의 물리, 화학, 플랑크톤에 대한 모니터링 조사를 수행하고 있다. Line-P time series 프로그램은 북동태평양 해역의 유일한 시계열 조사로서 최근에 이 프로그램의 연구결과를 종합하는 학술행사가 개최되기도 하였다. 한편 P라인의 마지막 정점인 PAPA 정점은 해양 기상 관측을 위한 정점이다.
- L4 station - 영국의 PML (Plymouth Marine Laboratory) 주관으로 영국해협 서부해역에 위치한 L4 정점에서 물리, 화학, 생물 (식물플랑크톤, 동물플랑크톤), 동물플랑크톤 크기 그룹별 생체량 등에 대하여 1988년부터 거의 매주 모니터링을 하고 있다. 특히 이 해역에서 우점하는 요각류인 *Calanus* 종들을 대상으로 알 생산력을 계속적으로 모니터링 하여 환경변화의 지표자로서 활용하고 있으며, 최근에는 기후변화에 따른 해양생태계 변화와 관련하여 과거 자료를 검토하고 있으며, 축적된 자료를 활용하여 해양생태계의 변화에 대한 예측을 위해 노력하고 있다.
- PM line - 일본 기상청 산하의 Maizuru 해양관측소가 동해에 대한 조사를 수행하고 있는데, 1972년부터 물리, 화학 및 식물플랑크톤에 대한 연구를 수행하였고, 동물플랑크톤에 대해서는 1972년부터 1999년까지 연구를 수행하였다. 조사는 연 4회 실시하고 있으며, 얻어진 자료를 통하여 기후변화에 따른 동해 플랑크톤의 변동에 대하여 발표한 바가 있다.

- Odate Project -오다테 프로젝트는 일본의 태평양 연근해에서 1950년부터 채집된 동물 플랑크톤 시료를 일본 동북국립수산연구소에서 모은 후, Dr. Kazuko Odate가 주축이 되어 동물플랑크톤 생체량의 수십 년간의 변동에 대하여 연구를 하고 있다. 생체량 뿐만 아니라 종 조성 분석을 통한 동물플랑크톤 군집의 수십 년간 변동에 대해서도 연구가 진행되고 있으며, Oyashio 해역에서의 기후변화와 관련하여 해양생태계 변화에 대한 연구를 활발히 진행 중에 있다.

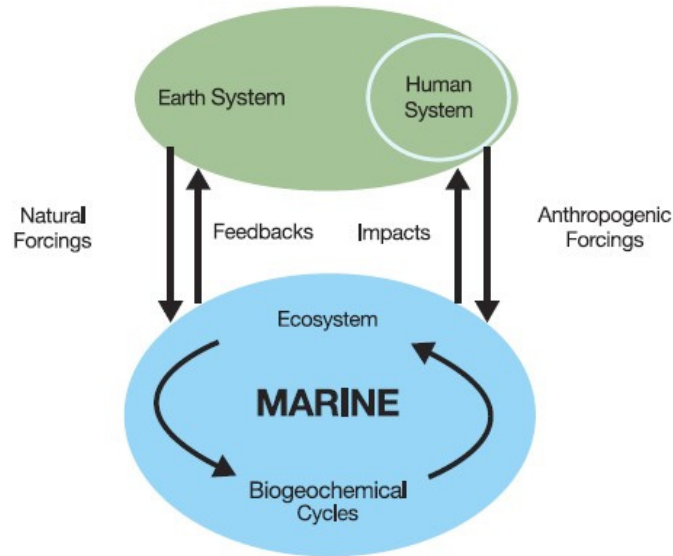


[그림 6-1] 미국 CalCOFI 생태계 모니터링 프로그램의 조사정점

기후변화 관련 해양생태계 연구 프로그램 및 기타 연구:

- GLOBEC (Global Ocean Ecosystem Dynamics) - 1995년 시작된 기후변동에 따른 해양 생태계의 변화를 예측하기 위한 국제 연구프로그램으로서 2009년에 끝난다. 최근 10년 동안 전 세계 주요해역에서 GLOBEC 성격 (전 지구해양생태계 및 주요 해양생태계의 구조와 기능을 이해하고, 물리적 요인에 대한 해양생태계의 반응을 이해하여, 지구적 변화에 대한 해양생태계의 반응을 예측하는 능력을 함양)의 많은 연구가 수행되었으며, 현재는 지금까지 얻어진 결과를 종합하는 단계에 있다.
- FUTURE (Forecasting and Understanding Trends, Uncertainty and Responses of the North Pacific Marine Ecosystems) - 북태평양해양과학기구(PICES)에 의한 과학프로그램이 2008년에 끝나면 2009년부터 기후변화와 인간의 활동에 의하여 북태평양이 어떻게 반응하며, 미래 해양 및 해양생태계의 변화를 예측하는 FUTURE 프로그램이 시작될 예정이다. 이 프로그램은 인위적/자연적인 강제력에 대하여 해양생태계가 반응하는 기작을 연구하고, 향후 생태계 변화를 예측하고 예보하는 능력을 향상시키는데 주된 목적이 있다.

- IMBER (Intergrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research) - IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme, 국제생지권프로그램)와 SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research, 해양과학위원회)의 후원을 받는데 JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study, 전지구적 해양순환연구)의 해양 생지화학 연구와 GLOBEC (전지구적 해양생태계 역학 연구)의 해양생태계 연구를 합성한 프로그램의 성격을 띠고 있다. IMBER의 비전은 가속화되는 전지구적 환경변화(기후변화)에 따라 해양이 어떻게 변화하는 지를 이해하고 예측하며, 나아가 이러한 해양의 변화가 전지구 시스템과 인간에게 미치는 되먹임 영향을 연구하는 것이다. 2006년에 공식적으로 출범하였으며 13개국에 다양한 형태로 참여하고 있으며, IMBER 성격의 국가 연구를 수행 중에 있다 ([그림 6-2]).
- EPOCA (European Project on Ocean Acidification) - 최근 유럽에서 2008년 6월부터 시작된 해양산성화와 해양생물 반응 연구 사업은 기후변화에 따라 해양의 산성화 과정을 규명하고, 산성화에 따른 생물 과정이 어떤 영향을 받는지를 연구한다. Mesocosm을 중심으로 연구를 할 예정이며 유럽의 9개 국가와 27개 연구기관이 협력연구를 하고 있다.
- JAMSTEC (Japan Agency for Marine-Earch Science and Technology) - 일본은 1997년부터 일본 해양연구개발기구를 중심으로 향후 20년 동안 지구프론티어 연구사업을 시작하였다. 특히 생태계변동 예측연구 프로그램 (Ecosystem Change Research Program)에서 생태계-대기 상호작용 및 생태계 공간구조 변화 연구, 생태계 공간분포 연구 및 해양생물과정 변동 연구를 추진하고 있는데, 해양생물과정 변동 연구에서는 지구온난화 예측모델의 정밀도 향상을 목표로 기후변화에 따른 해양의 하위영양준위 생태계의 영향에 대하여 연구하고 있는데, Oyashio 해역을 대상으로 해양환경 및 생태계 장기 변동 실태 규명을 통한 상호관계를 규명하는데 주력하고 있다.

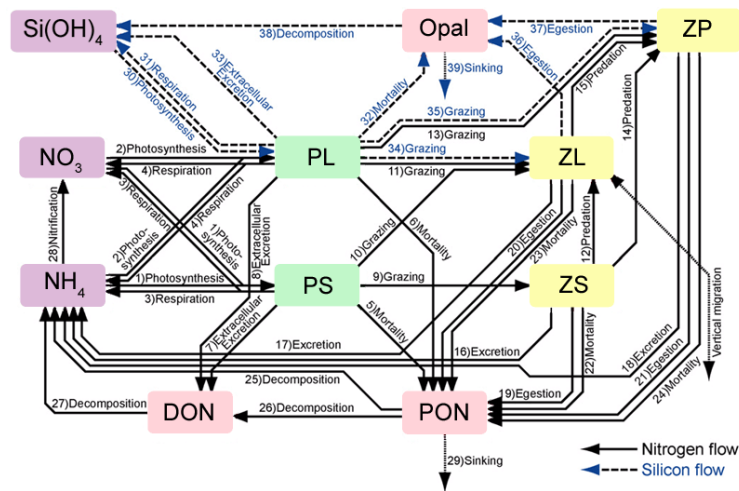


[그림 6-2] IMBER 프로그램의 주요 내용에 대한 모식도. 해양의 생지화학적 순환과 생태계에 대한 자연적 또는 인위적인 원인에 의한 기후변화의 영향. 이들의 상호작용 및 인간과 지구전체에 대한 되먹임 작용도 포함.

해양생태계 모델링 연구:

- 물리-생태 모델링은 두 가지 주된 응용 분야에서 활용되어 왔다. Riley (1946, 1949)가 George's Bank의 식물플랑크톤 및 동물플랑크톤의 동태를 이해하기 위해 미분방정식 계를 사용한 이래로 하위영양준위 생태계의 동태를 분석하기 위한 도구로 활용되어 왔으며, 80년대 이래로 상위영양준위의 동태에도 활용되어 왔다. 또 다른 활용 분야는 수질 분야로써 연안, 호수, 하구 등의 용존산소나 유기물의 관리를 위해 물질균형 방정식이 주로 활용되어 왔다.
- 위에서 언급한 GLOBEC, IMBER, FUTURE 등 국제프로그램에서는 해양과정의 정확한 이해와 예측을 위해 모델링을 주요한 도구 및 방법론으로 규정하고 있다. JGOFS프로그램에서는 주로 생지화학적 과정을, GLOBEC에서는 개체군 역학을 이해하기 위한 도구로 활용되어 왔으며, IMBER의 경우는 이 두 가지를 다 다루게 된다. 물리순환 모델과는 달리 생태모델은 매우 다양한 형태를 가진다. 3개에서 100개 이상에 이르는 상태변수가 규정되어 있으며, 물리적 차원도 0D, 1D, 2D, 3D 등 다양하고 결합하는 순환모델도 다양하다.
- ERSEM (European Regional Seas Ecosystem Model) 은 1991-1997년 간 MAST 프로젝트의 일환으로 수행되었고 북해를 대상으로 하고 있다. 1x1 도 간격의 130개의 구획, 2 층으로 이루어져 있으며 120개가 넘는 생지화학적 변수를 출력한다. 추후 어류 변수도 추가될 예정이다.

- Eurocean Program에서 개발한 PICES 모델은 3 레벨에 해당하는 23개의 상태변수를 가진 생지화학-생태 모델을 OPAv9 hydrodynamics 모델에 결합하고 있다. 추후 어류 부분도 추가할 예정이다.
- PICES에서는 12-15개의 변수를 가지는 NEMURO 모델을 개발하였으며 청어, 정어리, 꽂치 등 어류를 연결하는 NEMURO.fish 도 개발 중에 있다.
- ROMS 프로젝트에서는 순환모델에 결합된 생지화학 모델을 모듈로 개발하고 있으며 NEMURO모델도 추가할 예정이다 ([그림 6-3]).



[그림 6-3] NEMURO 모델의 일반적인 구성

- 그 외 미국의 경우 연구자의 필요에 따라 다양한 구조의 생태계 모델을 개발하여 사용하고 있다 (UCLA, WHOI, Scripps, NOAA, OSU 등).

나. 국내 현황

생태계 모니터링 프로그램:

- 국립수산과학원은 1961년부터 우리나라 주변 연근해역에서 물리, 화학, 플랑크톤 조사를 연 6회 격월로 실시하고 있다. 22개 조사 라인에서 175 정점을 선정하여 조사를 하고 있으며, 동물플랑크톤에 대한 연구는 각 라인에서 격점에 대하여 조사를 한다. 국내에서는 유일하게 동물플랑크톤 총 생체량, 총 개체수, 4개의 주요 대분류군의 개체수에 대한 자료를 제공하고 있다.
- 해양생태계 기본조사는 2006년부터 우리나라 연안을 8개 권역으로 나누어서 각 권역마다 순차적으로 연 4회의 조사를 실시하고 있으며, 물리, 화학, 생물, 지질에 대한 관측,

시료 채집 및 분석을 하고 있으며, 기후변화에 대한 해양생태계의 반응보다는 해양생태계의 구조 분석에 중점을 두고 있다.

기후변화 생태계 변화 관련 연구:

- 기후변화가 해양생태계 및 수산자원에 미치는 영향과 대응 연구 - 국립수산과학원이 2003년부터 현재까지 수행하고 있는 연구 사업으로서, 한국 근해 해양환경 요소의 장기 변동 분석, 한반도 연근해의 탄소순화 및 저장능력 산정, 한반도 주요 해역의 장기 수온 변동, 해양생물 변동특성 연구, 수산자원 (부어류) 변동 및 변동 예측 연구에 초점을 맞추고 있다.
- 동해 생태계 장기변화 예측 시범 연구 - 한국해양연구원은 2008년부터 2010년까지 수행하는 연구 사업으로서 동해에서 기후변화와 관련하여 해수 성층화, 해수 산성화, 대기-해양 이산화탄소 변화, 하위영양준위 생태계 구조 등 해양환경 변화에 따른 생태계 장기 변화에 대한 예측 연구를 하고 있다.
- 중장기 기후변화에 따른 동중국해 해양생태계 변동 예측 연구 - 한국해양연구원은 2003년부터 지금까지 동중국해 북부해역을 대상으로 기후변화에 따른 해양생태계 변동 예측 연구를 수행하고 있다. 매년 한 번의 현장관측을 통하여 조사해역의 물리, 화학적인 변동 특성과 해양생태계의 하위영양준위의 주요 구성 생물(미생물, 식물플랑크톤, 원생동물, 동물플랑크톤)과 상위영양준위의 생물인 오징어 유생의 분포 특성 등을 초점을 맞춘 모니터링 연구를 진행하고 있다. 한편 동중국해 해양생태계 변동 연구의 일환으로 저차 생태모델인 NEMURO 모델에 동물플랑크톤을 섭식하는 소형 표층 어류를 영양단계에 추가한 NEMURO.FISH 모델이 동중국해에서 서식하는 멸치 자원을 대상으로 적용한 바가 있다.
- EAST (East Asian Seas Time-series)-1 프로그램 - CREAMS/PICES 프로그램의 일환으로 서울대를 중심으로 부산대, 전남대 등의 대학 및 국립수산과학원이 참여하는 동해 연구 프로그램이며 2006년부터 2015년까지 수행한다. 주로 동해의 해양순환의 변화와 예측, 기후변화에 민감한 생지화학적 요소에 대한 조사, 해양생태계의 구조와 기능에 대한 연구를 하고 있으며, 러시아와 일본과 협력 연구를 추진하고 있다.

해양생태계 모델링 연구:

- 국내의 생태계 모델링 연구는 수산과학원, 부경대 등의 연구자에 의해 수질 분야에서 시도된 바 있으나, 해양 생태계 역학에 대한 체계적인 연구는 거의 없다. 최근에 송 등 (2007)은 서해 투기해역의 춘계 증식을 1D 모델로 분석하였으며 이와 장 (2008) 등은 남해 연안을 대상으로 NEMURO model을 적용한 바 있다.

다. 문제점 분석

1) 국내 기술개발 수준

수온상승, 해양산성화에 따른 해양생물/해양생태계 반응 평가 기술 현황:

- 수온 상승, 해양 산성화에 따른 해양생물의 반응에 대한 연구는 아직까지 국내에서 이루어지지 않고 있으며, 최근 시작하는 연구 사업에서 이러한 연구내용이 제시되고 있다.

해양생태계의 먹이망 생물과정 및 생지화학 순환과의 상호작용 연구:

- 기후변화/해양환경 변화에 따른 해양생태계 변화에 대한 연구 사업이 제한적으로 진행되고 있으나, 해양생태계의 구조에 대한 단기적인 결과 도출에 그치고 있다. 해양생태계 먹이망의 구조와 기능에 대한 생물과정 연구는 매우 제한적으로 이루어지고 있다.
- 특히 해양생태계 내의 물질순환과 먹이망의 상호작용에 관한 과정, 환경변화에 대한 생태계 반응의 민감도, 어획이 물질순환 및 먹이망에 미치는 영향, 인위적 물질교란에 의한 영향 등에 대한 연구가 부족하다.

해양생태계 모델링 기술 현황:

- 하위영양준위에 대한 생태모델링은 주로 수질관리 분야에서 시도되었고 생태계 변동에 대한 연구가 제한적으로 이루어지고 있으나 모델 구조 비교, 민감도 분석, 가설 수립, 검증 등 기본적인 기술 개발이 제대로 되지 않고 있다.
- 일부 해역에 대한 하위영양준위와 상위영양준위를 연결하는 어류 자원의 모델링 연구가 제한적으로 이루어지고 있으나, 하위영양준위와 상위영양준위의 통합에 대한 기초 연구가 미약하다.

2) SWOT 분석

해양생태계 변동 예측 분야의 국내 역량과 약점 및 기회와 위협 요인을 분석하여 <표 6-1>과 같이 정리하였다.

<표 6-1> 해양생태계 변동 예측 분야 SWOT 분석

강점(Strength)	약점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> 기후변화에 따른 해양생태계 변화 및 예측에 대한 국민/정부의 관심이 높음 기후변화에 따른 해양생태계 변화/해양생지화학적 변화 규명과 예측에 대한 국제적인 관심이 고조 국제적으로 기후변화에 따른 해양생태계 반응 예측을 위한 지역해 모니터링의 중요성이 높아지고, 해양생태계 모델링을 통한 예측 기술 개발에 관심이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 지속적인 해양생태계 모니터링 체제 구축 부족 지역해에 맞는 해양생태계 모델 개발 및 전문가 부족 해양생태계 모델링의 기반 기술 부족 해양생태계 구성요소 중에서 생물요소(구조와 기능)에 대한 분석 전문가 부족 생물 구성요소에 대한 실시간 관측 장비의 한계 해양생태계 구성 요소에 대한 국내 과거 자료 및 시료 부족으로 장기자료 활용의 한계성
<ul style="list-style-type: none"> 기후변화에 따른 국가별 해양생태계 관리 및 대응 전략 수립에 기여 기후변화에 따른 유용수산자원의 효율적인 관리 방안에 필요한 정책수립에 기여 해양산성화에 대한 생물/생태계 반응 기술 개발을 통한 국제적인 연구수준 확보 및 국가적 차원의 CO2 대응 전략 개발에 기여 	<ul style="list-style-type: none"> 해양산성화에 대한 생물/생태계 반응에 대한 국제적인 연구 활동이 급속하게 확대되고 있어서 국내 연구의 경쟁력이 높지 않음 중국 및 일본의 활발한 우리나라 주변 해역에 대한 연구 참여로 인하여 지역해 해양환경/해양생태계 변화 연구 및 예측에서 국제적인 대표성 약화
기회(Opportunity)	위협(Treat)

3) 국제 경쟁력 분석

- 수온상승, 해양산성화, 성층 변화에 따른 해양생물/해양생태계 반응 평가 기술:
 - 국내- 기후변화 관련한 연구사업에서 해양산성화에 따른 해양생태계 반응에 대한 연구의 필요성이 인식되고 있으나 아직 개념 정립 단계이다.
 - 국외- 유럽과 미국을 중심으로 해양산성화에 따른 해양생물 및 해양생태계 반응에 대한 연구가 이미 시작되었고, 현재 활발히 추진 중에 있다.
- 해양의 생지화학적 순환과 해양생태계 상호작용 분석 기술:
 - 국내- 해양생태계 먹이망내의 유기물 전환 측정 기술이 매우 빈약하며, 해양생태계 구성요소간의 상호작용 분석 기술이 제한적으로 이루어진다. 생물다양성 및 중간 상호작용 변화와 생지화학적 순환변화의 상관성 분석 기술이 거의 없다.
 - 국외- 먹이망내의 유기물 전환 측정 기술이 개발되고 있으며, 다양한 해양생태계 구성

요소간의 상호작용에 대한 분석 기술이 개발되었다. 생물다양성 및 종간 상호작용 변화, 생지화학적 순환 변화 사이의 상관성 분석 기술이 최근에 개발되고 있다.

- 해양생태계 장기모니터링 기술:

국내- 해양생태계 모니터링이 일부 해역에서 진행 중이지만 측정 항목이 제한되고, 분석 수준이 대체로 낮다.

국외- 지속적인 지역해 해양생태계 모니터링이 진행되고 있으며, 시료 분석 수준이 높다.

- 해양생태계 모델링 개발 및 예측 기술:

국내- 지역해에 대하여 제한적으로 해양생태계 모델링이 진행되고 있으나 구조 비교, 민감도 분석, 검증 등 기반기술이 개발되어 있지 않으며 해양생태계 모델링 전문가가 부족하다.

국외- 장기 자료를 통하여 제한적이지만 지역해의 해양생태계 변화에 대한 모델링 연구가 진행 중이며 다양한 연구기관에서 해양생태계 모델링 전문가가 양성되고 있다.

3. 세부추진과제

가. 세부추진과제 설정

- 지역해 해양생태계 장기모니터링 프로그램
- 기후변화 (수온상승, 해양 산성화)에 따른 해양생물/해양생태계 반응 평가 기술
- 기후변화에 따른 지역해 해양생태계 변화 시뮬레이션 및 예측 기술 개발

나. 세부과제 추진목표 및 기대효과

1) 추진목표

생태계 장기 모니터링과 생태계 반응에 대한 연구 및 생태계 모델링을 통하여 기후변화에 따른 해양생태계의 변화를 평가하고 예측하여 지역해 해양생태계의 유용자원에 대한 지속적 이용과 과학적인 관리 방안 도출

2) 기대효과

- 기후변화에 따른 해양생태계 시뮬레이션 예측 모델을 활용하여 지역해 해양생태계 생물다양성 유지 및 해양생물자원의 지속적 이용을 위한 합리적인 정책 수립 지원

- 한반도 주변해의 해양생태계 구조 및 기능 변화와 장기적인 모니터링 기술 확립 및 국제적인 모니터링 체계 구축에 기여
- 정부 수산정책과 국민 식생활/레저환경 보호를 위한 대비책 마련에 기여

다. 세부추진과제 추진방안

1) 기술영역 및 요소기술 (<표 6-2> 참조)

○ 세부추진과제 3.1 - 지역해 해양생태계 장기모니터링 프로그램

- 기술영역 3.1.1 - 해양생태계 모니터링 시스템 구축
기후변화에 따른 지역해 해양생태계의 변화를 평가하고 예측을 하기 위해서 핵심 지역해에 대한 지속적인 해양탐사 및 모니터링 시스템을 구축하여 생태계 변화 시뮬레이션 모델에 필요한 시계열 자료를 얻는다.

• 요소기술

- 지역해 해양생태계 모니터링 시스템 구축
- 지역해 해양환경 변화 감시를 위한 정기 관측
- 모니터링을 위한 기술 및 장비 개발

• 기술영역 3.1.2 - 해양생태계 구성요소 및 기능 분석 기술

지속적이 모니터링을 통하여 얻어진 생물의 종 다양성 및 군집구조를 파악하고, 생물생산성을 평가하여 기후변화에 따른 해양생태계의 구조와 기능적인 반응을 분석한다.

• 요소기술

- 해양생태계 종 다양성 및 군집구조 분석 기술
- 해양생태계 생물생산성 분석 기술
- 해양생태계 먹이망 및 기능 분석 기술

○ 세부추진과제 3.2 - 기후변화 (수온상승, 해양 산성화)에 따른 해양생물/해양생태계 반응 평가 기술

• 기술영역 3.2.1 - 해양 수온 변화에 따른 생태계 반응 평가

기후변화에 따른 해양 수온의 변화가 지역해의 중요한 해양생물의 생리/생태에 미치는 영향을 평가하고, 기후변화 시나리오에 따른 해양 수온 변화가 해양생태계에 미치는 영향을 평가하고 향후 변화를 예측한다.

• 요소기술

- 수온 변화에 따른 대표 생물종의 생리/생태 변화 평가 기술
- 수온 변화가 지역 생태계에 미치는 영향 예측 기술

• 기술영역 3.2.2 - 해양산성화에 따른 생태계 반응 평가

이산화탄소 증가에 따른 해양산성화는 탄산칼슘 껍질을 갖는 생물뿐 만 아니라 다른 해양생물에게 생리/생태적으로 영향을 미친다. 기후변화 시나리오에 따른 해양산성화가 해양생태계의 주요 생물의 생리/생태 반응에 미치는 영향 및 생태계에 미치는 영향을 평가하고 예측한다.

• 요소기술

- 해양산성화 진행 속도 평가 기술
- 해양산성화가 따른 대표 생물종의 생리/생태 변화 평가 기술
- 해양산성화가 지역 생태계에 미치는 영향 예측 기술

○ **세부추진과제 3.3 - 기후변화에 따른 지역해 해양생태계 변화 시뮬레이션 및 예측 기술 개발**

• 기술영역 3.3.1 - 한국주변해 생태계 모델 구축

우리나라 주변해 생태계의 특성을 재현할수 있는 생태계 모형이 필요하다. 해양 생태계 모델은 2개에서 100여개의 격실을 가지는 다양한 구조의 모델이 가능하여 우리나라 주변해의 특성에 맞는 다양한 모델 설계가 필요하다. 모델 정당화를 통하여 모델이 대상생태계의 특성을 잘 반영하는지 분석이 되어야 한다. 모델 구조가 달라지면 이에 따라 모델의 행동이 달라질 수 있으므로 모델의 구조에 따른 특성이 세밀히 비교분석되어야 한다. 생태계 모델링은 다음과 같은 요소기술들이 필요하다.

• 요소기술

- 생태계 모델 구조 설계 기술
- 모델 정당화 기술
- 모델 구조의 특성 비교분석 기술

• 기술영역 3.3.2 - 접합 및 동화 기법 개발

해양 생태계 모델은 육상 생태계 모델과 달리 매질의 유동과 연결되어야 하는 것이 필수적이다. 또한 하위 영양준위 (플랑크톤)와 상위영양준위 (유영동물)의 시공간적 규모가 달라 이들을 적절하게 접합하는 기술적 문제를 해결하여야 한다. 위성 자료 등 관측자료의 동화를 통하여 예측의 정밀도를 높일 수 있도록 한다. 예측의

불확실성을 제시할 수 있는 방법을 개발한다.

• 요소기술

- 물리-생물 모델 집합 기법
- 하위영양준위-상위영양준위 집합기법
- 자료동화 및 검증 기법
- 예측 불확실성 추산 기법

<표 6-2> 해양생태계 변동 예측 분야 중점 추진과제(3)와 세부 추진과제 및 기술 영역

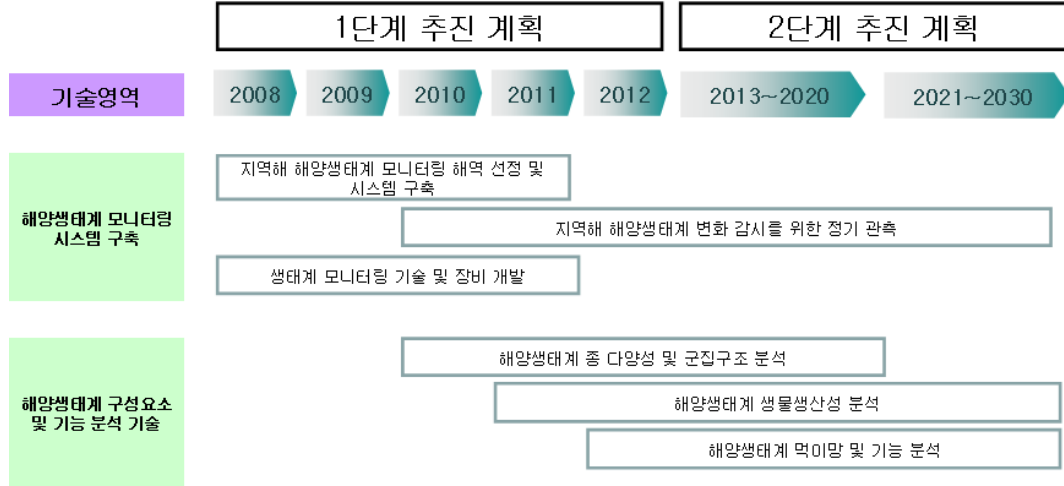
중점 추진과제	세부 추진과제	기술 영역
3. 해양생태계 변동 예측	3.1 지역해 해양생태계 장기 모니터링 프로그램	3.1.1 해양생태계 모니터링 시스템 구축
		3.1.2 해양생태계 구성요소 및 기능 분석 기술
	3.2 기후변화에 따른 해양생물/해양생태계 반응 평가	3.2.1 해양 수온 변화에 따른 생태계 반응 평가
		3.2.2 해양산성화에 따른 생태계 반응 평가
	3.3 기후변화에 따른 지역해 해양생태계 변화 시뮬레이션 및 예측 기술 개발	3.3.1 한국주변해 생태계 모델 구축
		3.3.2 집합 및 동화 기법 개발

2) 과제이행체계 (추진주체, 기관)

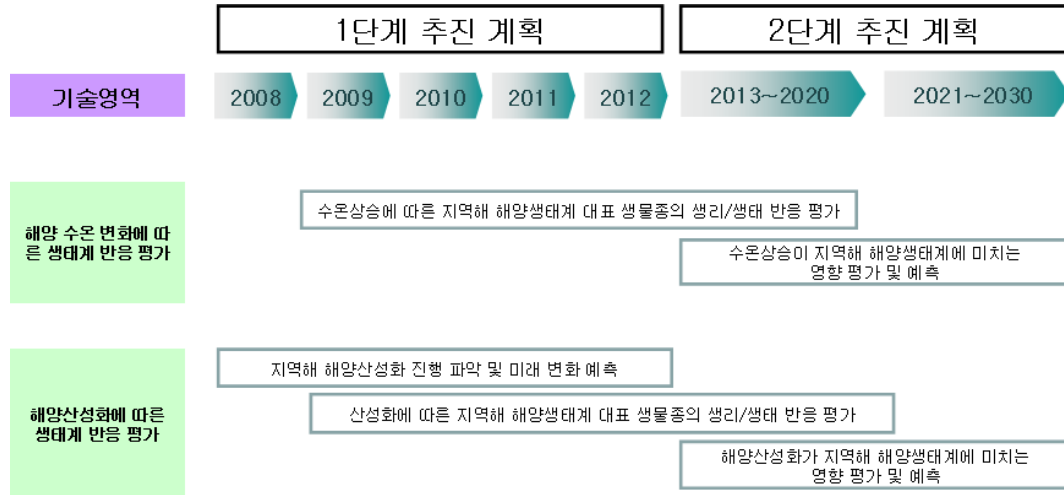
- 지역해 해양생태계 장기 모니터링은 해양연구원 주관으로 국립수산과학원, 해양조사원과 공동 협력으로 추진할 예정임. 생태계 장기 모니터링에 따른 생태계의 구조와 기능에 대한 연구는 해양연구원을 중심으로 부경대, 부산대와 협력하여 생태계의 하위영양준위에서 상위영양준위까지 연구할 계획임. 해양산성화 진행 속도 및 대표적인 생물에 대한 생리/생태 반응 연구는 포항공대와 협력하여 연구를 수행한다. 해양생태계 변화 시뮬레이션 예측 기술 개발은 해양연구원 주도로 개발한다.

3) 기술지도

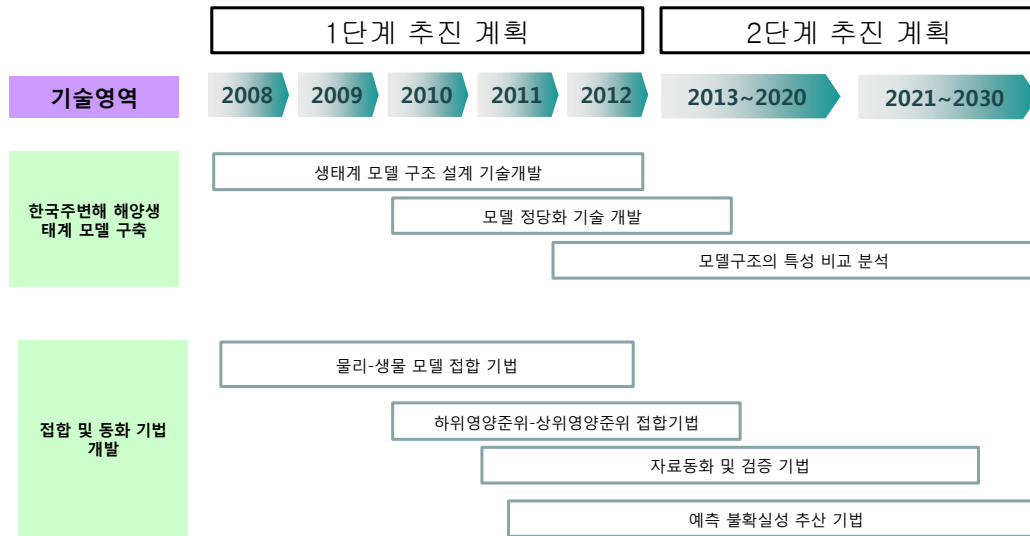
○ 지역해 해양생태계 장기모니터링 프로그램



○ 기후변화 (수온상승, 해양 산성화)에 따른 해양생물/해양생태계 반응 평가 기술



○ 기후변화에 따른 지역해 해양생태계 변화 시뮬레이션 및 예측 기술 개발



4) 필요예산

(예산: 억원)

핵심 분야	1단계 (2+3년)					2단계 (3+5년)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013-2020
지역해 해양생태계 장기모니터링 프로그램	10	15	20	20	25	100
기후변화에 따른 해양생물/해양생태계 반응 평가 기술	10	10	15	15	20	80
기후변화에 따른 지역해 해양생태계 변화 시뮬레이션 및 예측 기술 개발	10	10	15	20	20	80

참 고 문 헌

- 김정우 외, 1995. 대기/해양 접합 GCM 개발. 지구 환경 감시 및 기후변화 예측기술 개발 사업 보고서, 환경부. 408p.
- 김철호 외, 2006. 중장기 기후변화에 따른 동중국해 해양생태계 변동 예측 연구, 한국해양연구원 (해양수산부). 206p.
- 김철호 외, 2007. 북태평양 중층수 형성에 대한 해빙-해양 접합모델 연구, 한국해양연구원 (기상청). 46p.
- 박영규 외, 2004. 생지화학 모델링을 통한 한반도 주변해역과 북태평양 이산화탄소 순환 분석 평가 기술 개발, 환경부. 415p.
- 송규민 외, 2007. 생태계모델을 이용한 황해투기해역에서의 춘계 식물플랑크톤 대증식 연구, *Ocean and Polar Research* 29(3), 217-231.
- 이재학 외, 2006. 기후변화 모니터링 및 예측을 위한 요소기술 개발 연구, 한국해양연구원 보고서. 385p.
- 이종희, 장창익, 2008. 북부 동중국해 생태계의 NEMURO모델에 의한 하위생태계 분석, 한국해양학회지(바다). 13(1), 15-26.
- 임은순, 2008. 기상기술정책. 93-103.
- 임재규, 2005. 「기후변화협약에 의거한 제2차 대한민국 국가보고서」, 에너지경제연구원.
- 장찬주 외, 2006. 중해상도 전지구 해양대순환 모형의 상층 수온과 혼합층 깊이 모사 성능 평가, *Ocean and Polar Research*, 28(3), 245-258.
- 한화진 외, 2005. 『기후변화영향 평가 및 적응시스템 구축 I』, 한국환경정책평가연구원.
- 한화진 외, 2006. 『기후변화영향 평가 및 적응시스템 구축 II』, 한국환경정책평가연구원.
- 한화진 외, 2007. 『기후변화영향 평가 및 적응시스템 구축 III』, 한국환경정책평가연구원.
- Christensen, N.L., 1996. The report of the ecological society of America committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications*, 6: 665-691.
- Emori Seita, 2008. 지구온난화 예측의 '변역'을 향해서. *Japan Geoscience Letter*, Vol. 4, No. 2.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United

- Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Japan, 2006. Japan's Fourth National communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Kang, S.K., Cherniawsky J.Y., Foreman, M.G.G., Min, H.S., Kim, C.-H. and H.-W. Kang, 2005. Patterns of recent sea level rise in the East/Japan Sea from satellite altimetry and in situ data. *Jour. Geophy. Res.*, 110, C07002, doi:10.1029/2004JC002565, 2005.
- UK, 2006. The UK's Fourth National Communication Under the United Nations Framework Convention On Climate Change, Department for Environment, Food and Rural Affairs, PB. 11862, 132 pp.
- UNFCCC. 2000. Review of the Implementation of Commitments and of Other Provisions of the Convention: UNFCCC guidelines on reporting and review. Note by the secretariat. FCCC/CP/1999/7. Bonn, Germany. 122 pp.
- UNFCCC. 2007. Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaption in Developing Countries. Note by the secretariat. Bonn, Germany. 68 pp.
- U.S. DOS 2006. U.S. Climate Action Report 2006: Fourth National Communication of the United States of America Under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Washington, DC, 145 pp.

<부 록 1>

해양예측 부문 적응정책 매뉴얼

▪ 적응 대책별 (해양 기후변동 예측 부문)

내용	구체적인 적응대책
법제도 정비	기후변화에 관한 대책 특별법 제정
기술적 대책	장기 및 단기 해양 예측 모델 개발
정보 정비	전세계 지구 관측 시스템 및 주요 관측 프로그램에서 생산되는 관측 자료 수집 및 수신 체제 구축
인력 양성	해양 예측 모델링 인력 양성 및 해외 파견/훈련 프로그램 구축
경제 수단	해양예측 자료 가공을 통한 경제적 이익 창출

▪ 실시 주체별 (해양 기후변동 예측 부문)

실시 주체	구체적인 적응대책
정 부	국가 표준 기후변화 기인 해양 예측 시나리오 작성
자치단체	자치 구역내 연안 재해 및 방지 대책 마련
연구기관	해양 예측 모델링 기법 구축 및 예측 시나리오 연구
민간기업	해양 예측 자료를 활용한 산업구조 개편에 따른 경제적 대체 방안 작성
NGO	국민들에게 기후변화 홍보 및 해양 변화 홍보
가 정	연안 재해 방지(이상고조, 침수, 이상고수온)
개 인	기후변화 심각성 각인

▪ 종합적 (해양 기후변동 예측 부문)

내 용	구체적인 적응대책 메뉴	실시 주체			기존/신규		우선도
		정부	지자체	개인	기존	신규	
법제도 정비	· 기후변화 대책 특별법	○				○	
기술적 대책	· 장단기 예측모델 기술 개발 및 보급	○			○		○
정보 정비	· 연안 재해 방지, 기후 변화 홍보		○		○		
인재 육성	· 예측모델링 전문가 육성/훈련프로그램 구축	○			○		
경제적 정책	· 예측자료 활용산업 지원	○				○	

▪ 적용 대책별 (해수면 상승 진단 및 예측 부문)

내용	구체적인 적응대책
법제도 정비	해안지대 건축설계 기준 변경
기술적 대책	해양재해 조기 경보시스템 구축
정보 정비	해양재해 위험지도 정비 및 보급
인력 양성	해양재해 대응에 관한 전문인 육성
경제 수단	신해양레저산업 개발 및 컨설팅

▪ 실시 주체별 (해수면 상승 진단 및 예측 부문)

실시 주체	구체적인 적응대책
정 부	해양재해 조기경보시스템 정비
자치단체	해안침식 모니터링 시스템
연구기관	해양 환경지수 개발 및 변화 모니터링
민간기업	친환경적 기업활동
NGO	
가 정	해양재해 위험지도 비치 및 숙지
개 인	이상고조 등 해양재해 위험 인지

▪ 종합적 (해수면 상승 진단 및 예측 부문)

내 용	구체적인 적응대책 메뉴	실시 주체			기존/신규		우 선도
		정부	지자체	개인	기존	신규	
법제도 정비	· 해안지대 건축설계 기준 변경	○			○		
기술적 대책	· 해양재해 조기경보 시스템 구축	○			○		○
정보 정비	· 해양재해 위험지도 정비 및 보급	○			○		
인재 육성	· 해양재해 대응에 관한 전문인 육성		○		○		○
경제적 정책	· 신해양레저산업 개발 및 컨설팅			○		○	

▪ 적응 대책별 (해양생태계 변동 예측)

내용	구체적인 적응대책
법제도 정비	지역 해양생태계 모니터링 및 관리 법안 등
기술적 대책	해양생태계 모델링 기술 개발, 생태계 모니터링 기술 개발 등
정보 정비	연안 및 해양생태계 관리 방법에 대한 자료 보급 등
인력 양성	해양생태계 모델링 전문가 육성, 해양생태계 구성요소에 대한 생물, 생태 전문가 육성 등
경제 수단	해양생태계 연구·관리에 관련기업 기술 지원

▪ 실시 주체별 (해양생태계 변동 예측)

실시 주체	구체적인 적응대책 예시
정 부	해양생태계 모니터링 시스템 구축,
자치단체	연안 오염, 남획 방지, 국민 홍보 활동
연구기관	해양생태계 모니터링 및 모델예측 정보에 대한 일반인과의 소통
민간기업	유해 가스 및 폐수 배출 통제 등
NGO	연안 환경 감시활동, 국민 홍보 활동 등
가 정	생태계 오염 세제 사용 줄임 등
개 인	해양생태계 가치에 대한 인식 고취

▪ 종합적 (해양생태계 변동 예측)

내 용	구체적인 적응대책 메뉴	실시 주체				기존/신규		우선도
		정부	지자체	연구기관	개인	기존	신규	
법제도 정비	· 모니터링 시스템	○					○	○
기술적 대책	· 해양생태계 모델링			○			○	
정보 정비	· 생태계 관리 방법	○					○	
인재 육성	· 생태계 모델링 등			○			○	
경제적 정책	· 관련기업기술 지원		○				○	

<부 록 2>

약어 (Acronyms and Abbreviations)

- ARGO - Array for Real-time Geostrophic Oceanography
- CalCOFI - California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations
- CCSP - U.S. Climate Change Science Program
- DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs
- ENSEMBLES - Ensemble-based Predictions of Climate Changes and their Impact, EPA - Environmental Protection Agency
- EPOCA - European Project on Ocean Acidification
- ERSEM - European Regional Seas Ecosystem Model
- FEMA - Federal emergency management agency
- FUTURE - Forecasting and Understanding Trends, Uncertainty and Responses of the North Pacific Marine Ecosystems
- GLOBEC - Global Ocean Ecosystem Dynamics
- GLOSS - Global Sea Level Observing System
- GOOS -Global Ocean Observing System
- HOT - Hawaii Ocean Time Series
- IMBER - Intergrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research
- IOOS - Integrated Ocean Observing System
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
- JAMSTEC - Japan Agency for Marine-Earch Science and Technology
- JGOFS - Joint Global Ocean Flux Study
- NASA - National Aeronautics and Space Administration
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
- NSF - National Science Foundation
- PRUDENCE - Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects
- SOOP - Ship of Opportunity Programme
- TAO - Tropical - Atmosphere - Ocean
- UKCIP - UK Climate Impacts Programme
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change
- USGS - U.S. Geological Survey
- VOS - Voluntary Observing Ships

