

너울, 이안류 등 연안 이상 현상에 대한 원인규명 및 대응 기획연구 최종 보고서

2011. 6.

주관연구기관 / 한국해양연구원

국 토 해 양 부
한국해양과학기술진흥원

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 “너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대한 원인규명 및 대응 기획연구”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2011년 6월

주관연구기관명 : 한국해양연구원

주관연구책임자 : 전 기 천

참 여 연 구 원 : 박 광 순 심 재 설 이 종 찬
 김 상 익 김 선 정 권 재 일
 유 제 선 정 진 용 민 인 기
 김 진 아 강 시 환 한 하 나
 강 석 민

목 차

너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대한 원인규명 및 대응 기획연구

◆ 요약문

제1장	연구배경 및 필요성	1
1.1	연구개발의 배경	3
1.2	연구개발의 필요성	4
제2장	연안 이상현상 발생현황	5
2.1	개요	7
2.2	발생현황 및 피해사례	8
2.3	발생원인 및 특성분석	10
2.3.1	동해안 너울성 파랑발생	15
2.3.2	서·남해안 해양장파 발생	18
2.3.3	해수욕장 이안류 발생	22
2.3.4	재해현상별 발생특성 분석결과	26
제3장	국내·외 연구 및 기술개발 동향	27
3.1	국내·외 연구동향	29
3.1.1	너울성 고파 연구사례	29
3.1.2	해양장파 연구사례	35
3.1.3	이안류 연구사례	39
3.2	국외 대응기술	43
3.2.1	국외 대응기술 개발현황 요약	43
3.2.2	너울성 고파에 대한 국외 대응기술	44
3.2.3	해양장파에 대한 국외 대응기술	54
3.2.4	이안류에 대한 국외 대응기술	57
3.2.5	국외 연구동향의 시사점	60
3.3	국내 대응기술	61
3.3.1	국내 대응기술 개발현황 요약	61
3.3.2	해양조사원의 이상현상 감시체계 구축방안	62
3.3.3	기상청의 연안재해 감시체계 구축방안	68
3.3.4	국토해양부의 방파제 재해예방 경보시스템 시범설치 사업	72
3.3.5	기상청의 이안류 발생구조 연구사업	77
3.3.6	기존 연구과제와의 분석결과 및 시사점	80

목 차

너울, 이인류 등 연안 이상현상에 대한 원인규명 및 대응 기획연구

제4장	연구개발 목표 및 중점개발과제 도출	83
4.1	개발기술의 기능전개 및 세부목록	85
4.2	연구개발 RFP 도출을 위한 전문가 설문	94
4.2.1	전문가 설문 개요	94
4.2.2	전문가 설문조사 결과	95
4.3	연구개발 목표 및 수준 설정	97
4.3.1	기술발전 단계 및 향후 연구개발 방향	97
4.3.2	연구개발의 최종 목표 및 기술개발 전략	98
4.3.3	중점 개발분야의 목표, 내용 및 범위	101
4.3.4	최종 연구 성과물	102
4.4	기술로드맵 및 중점개발과제 추진계획	103
4.4.1	총괄 로드맵	103
4.4.2	중점 개발분야	104
4.5	연차별 목표 및 연구내용	110
4.5.1	연구과제 연차별 목표 및 연구내용	110
제5장	연구개발 추진의 타당성 분석	113
5.1	정부지원의 필요성	115
5.2	정책적 타당성 분석	117
5.3	기술적 타당성 분석	119
5.4	경제적 타당성 분석	120
제6장	기대효과 및 활용방안	123
6.1	기대효과	125
6.2	성과 활용방안	126
제7장	연구개발제안서(RFP)	127
7.1	연구개발의 필요성	129
7.2	연구개발현황 및 수준	131
7.3	연구개발 연차별 목표 및 내용	133
7.4	중점연구 소요기간 및 예상 정부지원액	135
7.5	연구결과의 기대효과	136
◆	참고문헌	137

요약문

1. 제목

- 너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대한 원인규명 및 대응 기획연구

2. 연구의 목적

- 너울, 이안류 등 돌발적으로 발생하는 연안 재해현상과 서해 기상쓰나미 등 연안 이상현상 (이하, 연안 이상현상으로 총칭) 에 대응하기 위한 대응기술 개발 및 현상 원인규명 연구 추진 계획 수립

3. 연구개발의 필요성

가. 연안 이상현상의 개요

- 연안에서 돌발적으로 발생하는 재해현상을 사고 유발 특성에 따라 분류하면, a) 동해안에서 태풍 및 폭풍시 항만 등 해안 구조물 주변에서 피해를 발생하는 너울성 고파랑 현상, b) 남해안에서 고파랑 또는 너울성 파도에 의해 연안에 발생하는 흐름으로 인해, 주로 여름철 해수욕장에서 인명사고를 유발하는 위험이안류 현상, c) 경사가 완만한 서해안에서 주로 만조시에 연안을 따라 항만 및 연안 배후 지역에 폭넓게 발생하여 침수 및 선박 파손, 인명 사상 등의 피해를 일으키는 해양장과 현상 등으로 분류함.
- 동해안에서 주로 나타나는 너울성 고파는, 동해 먼 바다에서 폭풍에 의해 발생한 풍파가 우리나라 동해 연안에까지 도착하는 동안 약 10~15초 주기의 너울성 고파랑으로 전이되며 해상상태가 잦아지는 상황에서 갑작스럽게 전파되어 오기 때문에 많은 인명 및 재난 피해를 야기시키고 있음.
- 남해 해수욕장에서 발생하는 이안류는, 주로 해변으로 밀려오는 너울성 파도 등 고파랑이 원인이 되어 특정 물리조건에서 해변에서 바다쪽으로 갑작스럽게 발생하는 해수의 흐름임. 특히, 피서객이 많은 7~8월에 집중적으로 해수욕장의 여러 지점에서 발생하고 있어, 이에 따라 인명사고 등 안전사고의 위협이 되고 있음.

- 서해안에서 주로 발생하고 있는 이상 해양장파는, 주로 수 분에서 수십 분 사이의 주기를 갖는 기상 쓰나미가 원인이 되고 있음. 지난 2008년 5월 4일, 충청남도 보령시 죽도에서 발생한 해양장파는 주기가 수십 초에서 3분 이내이고, 최대 파고가 약 1.4m 인 것으로 나타났음. 2007년 3월 31일에는 서해안 일대에서 약 10~60분 주기의 장파가 발생하여 해안을 따라 군산부터 남쪽인 영광까지 많은 인명피해 및 재산피해를 입혔음. 이상 해양장파는 남해안에서도 소규모이지만 관측이 되고 있음.

나. 연구개발의 필요성

- 기술적 필요 : 연안 이상현상 발생에 대한 과학적이고 체계적인 원인규명 및 지속적인 모니터링 연계 예측기술 기반 확보가 시급
- 기존 연구성과의 실용화 필요 : 연안 이상현상 발생과 관련된 기존 연구 성과의 지속적인 활용과 연안통합관리 측면에서 성과물의 실용화를 위한 연구 여건 마련이 필요
- 사회문화적 필요 : 연안 이상현상 발생에 의한 피해를 최소화하고 특히 현상에 의한 연안재해로부터 인명과 재산을 보호할 수 있는 시스템 확립이 필요함에 따라, 연안 이상현상의 발생 다발지역 관측, 경보시스템을 구축을 위한 연구 개발이 필요
- 경제 산업적 필요 : 연안 이상현상에 따른 피해 저감 및 예측 대응으로 복구비용을 저감하고 관련 산업의 육성과 국제경쟁력 있는 융합기술화 촉진 및 일거리 창출이 필요

4. 내용 및 범위

- 해외선진국 대응기술 개발동향
- 국내 기술개발 현황 분석
- 연안 이상현상 대응기술 중점과제 도출
- 과제별 추진계획 및 연구개발제안서 (RFP) 작성

5. 연구결과

가. 해외 선진국의 대응기술 개발현황

㉠ 국외 연구개발 현황의 비교

구분		너울	해양장파	이안류
미국	관측	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 실시간 관측망 • 1~30초 주기의 파랑 관측 • 외해, 대륙사면, 대륙붕, 연안 등 4개 권역으로 체계적 관측 • 예측모델 입력 및 검증 자료로 이용 • 인공위성 개구 합성 레이더(SAR) 및 HF 레이더 기술개발중 	<ul style="list-style-type: none"> • NOAA에서 해양 진행장파의 관측 및 경보시스템 개발중 • 해양장파의 연안 도착 전 관측, 자료처리 및 통신 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • SAND DUCK(NC, 1997), RIPEX(CA, 2001), NCEX(CA, 2003), RCEX(CA, 2007)등의 현장종합관측 수행
	예측	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 서해안 실시간 너울 예보 프로그램 (CDIP)을 통한 3일 예보 수행 • NOAA 기상서비스 및 데이터 부이센터에 예보 자료 제공 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Surf Zone Forecast에서 매일 이안류 발생 가능성이 low, moderate, high의 3단계로 예보됨.
	정전보달	<ul style="list-style-type: none"> • 인터넷을 통한 데이터 부이센터(NDBC) 정보 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안에 해양 진행장파 경보를 위한 기준마련(protocol) 및 작성 중 	<ul style="list-style-type: none"> • NWS(National Weather Service)를 통하여 인명구조팀, 비상관리팀, 언론을 통하여 대중에게 전달
일본	관측	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 실시간 파랑정보망 • 파랑관측 해상계를 해안으로부터 1~3 km (수심 50 m) 지점에 설치 • 해저케이블을 통한 감시국, 기상청 및 항만 기술연구소에 통보 • HF 및 VHF 레이더 관측기술 개발중 	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 파랑정보망의 해상계는 파랑 뿐만 아니라 조위자료도 관측하여 육상감시국에 전송 • 연안역 항만에서도 실시간 조위계를 설치하여 운영중 	-
	예측	<ul style="list-style-type: none"> • 일본항만기술연구소 예측모델 개발중 	-	-
	정전보달	<ul style="list-style-type: none"> • 연안지역 대형표시판에 파랑 및 기상정보 표출 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안지역 대형표시판에 쓰나미 등 해양장파 정보 제공 	-
크로아티아	관측	-	<ul style="list-style-type: none"> • 기상쓰나미 해양장파의 조기경보를 위한 실시간 관측시스템 개발중 • 먼바다 설치 대기압 관측 부이로부터 조기 기압 변동 실시간 감시 및 경보 	-
	정전보달	-	<ul style="list-style-type: none"> • 경보시스템 개발중 	-

📍 국외 연구동향의 시사점

구분	너울	해양장파	이안류
발생 외력	• 먼바다 해상폭풍	• 기상요란	• 연안 입사파랑
피해영향 인자	• 파고, 파향, 주기 및 연안지형	• 파고, 파향, 주기 및 연안지형	• 해류, 파고, 파향, 주기 및 해변 해저지형
관측 기술	• 거리구간별 관측장비 설치 • 원격관측기법 개발중	• 거리구간별 관측장비 설치 • 원격관측기법 개발중	• 대상해안 현장 종합관측장비 설치 • 원격관측기법 개발중
예측 기술	• 3일 너울예보 수행 (미국 서해안)	-	• 발생가능성에 대한 3단계 예보 (미국)
대응 기술	• 수치예측을 기반한 예보 생산	• 구간별 실시간 관측자료를 기반한 예보	• 수치예측을 기반한 예보 생산
정보 전달	• 실시간 자료전송 및 온라인 예경보 제공	• 실시간 자료전송 및 온라인 예경보 제공	• 기상센터 및 언론을 통한 예보 전달
시사점	• 현상발생 관측을 위한 구간별 관측장비의 설치가 필요 • 현상의 효과적 관측을 위한 관측 신기술 개발이 필요 • 예측모델을 기반한 대응 기술 수립	• 현상발생 관측을 위한 구간별 관측장비의 설치가 필요 • 현상의 효과적 관측을 위한 관측 신기술 개발이 필요 • 실시간 관측자료를 기반한 대응기술 수립	• 현상발생 관측을 위한 종합 관측장비 설치가 필요 • 현상의 효과적 관측을 위한 관측 신기술 개발이 필요 • 예측모델을 기반한 대응기술 수립

나. 국내 기술개발 현황분석

② 국내 대응기술 개발현황의 비교

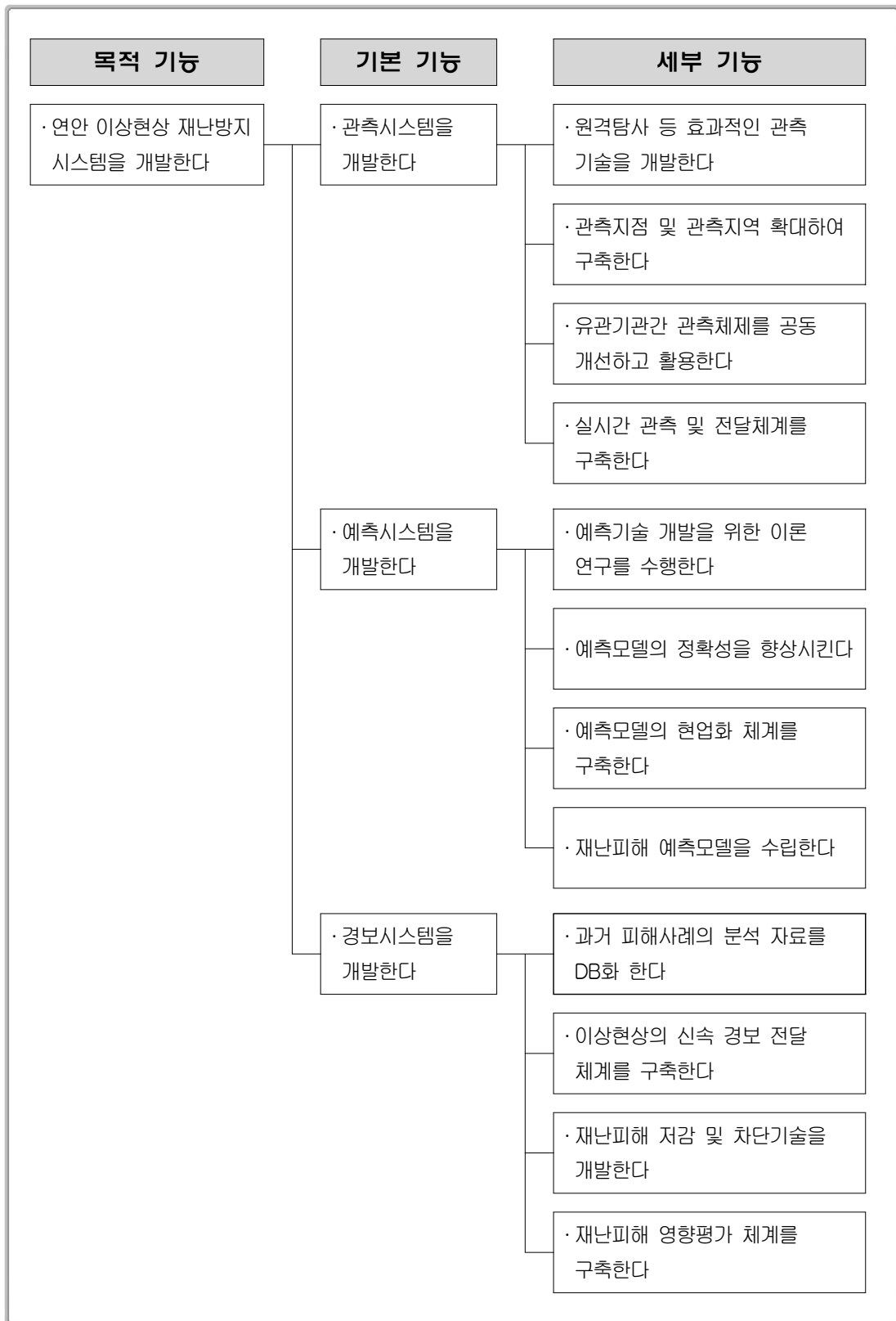
구분	해양조사원	기상청		국토해양부	소방방재청
사업명	연안사고지역 해양 이상현상 감시체계 구축 방안 연구	연안재해 실시간 감시 모니터링 체계 구축 방안	이안류 관측 및 발생구조 연구	방파제 재해예방 경보시스템 시범설치 사업	IT기술을 이용한 너울성파랑 대처 기술 개발
사업종류	기획 연구	기획 연구	연구 개발	연구 용역	연구 개발
연구기관	세종대	군산대	성균관대	해양연구원	군산대
연구책임자	이창훈 교수	최병주 교수	이정렬 교수	전기천 책임연구원	김태림 교수
사업기간	2010. 9 ~ 2010. 11 (3개월)	2009. 4 ~ 2009. 12 (8개월)	2010. 6 ~ 2012. 2 (21개월)	2010. 4 ~ 2012. 5 (2년)	2011. 5 ~ 2014. 4 (3년)
연구대상	너울, 해양장파, 이안류	너울, 해양장파	이안류	너울성 고파	너울성 고파
개발내용	<ul style="list-style-type: none"> • 권역별 이상 현상 관측망 구축 계획 작성 • 연안재해 현상별 저감 대책 방안제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 해역별 이상현상 관측망 구축계획 작성 • 연안재해 감시 시스템구성 제안 • 동해 및 서해 연안재해 특보 기준안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 해운대 이안류 발생 관측 • 이안류 관측 시스템 개발 • 이안류 원인 규명 프로그램 개발 • 이안류 수치 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 방파제 도파 및 월파관측자료 수집 • 방파제 도파 추산 기술 • 현장 경보장치 설치 	<ul style="list-style-type: none"> • 너울성파랑 대처기술 구축 • 너울성파랑 대응 체계 운영
적용기술 및 장비	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 부이/수중 파향 파고계, CCTV 기상장비 • 너울예측모델 SWAN • 전달: 방송시설 및 전광판 	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 부이/수중 파향 파고계, CCTV 초음파식 파고계 • 너울예측모델 WW3, SWAN • 전달: 통합 자료 관리서비스, 전광판 	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 수중 파향파고계 및 유속계, GPS 부이, CCTV 등 • 예측 HAECUM수치 모델, NeRIPS 예보가이던스 • 전달: 인터넷 정보 서비스 	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 수중 파향파고계 CCTV • 도파추산 도파 경험식, SWAN 모델 • 전달: 무선 인터넷, 전광판, 스피커 	<ul style="list-style-type: none"> • 원격탐사 등 IT 기술

📌 국내 대응기술의 중복성 분석

구 분	해양조사원	기상청		국토해양부	소방방재청
사 업 명	연안사고지역 해양 이상현상 감시체계 구축 방안 연구	연안재해 실시간 감시 모니터링 체계 구축 방안	이안류 관측 및 발생구조 연구	방파제 재해예방 경보시스템 시범설치 사업	IT기술을 이용한 너울성과랑 대처 기술 개발
연 구 대 상	너울, 해양장파, 이안류	너울, 해양장파	이안류	너울	너울
연구결과	기획 연구보고서	기획 연구보고서	현장 예측기술	현장관측, 예측 및 경보기술	감시 및 대처기술 (사업 시작단계)
연 구 결 과 의 공 통 점	• 해역별 관측망 구축계획에 중점	• 해역별 관측망 구축계획에 중점	• 해운대 이안류 현장관측 운영	• 입사파 및 방파제 도파 현장관측	-
연 구 결 과 의 상 이 점	• 현상별 저감 대책방향 제시	• 현상별 예보 시스템 구축안 제안	• 현장 예측모델 시 범개발, 적용	• 현장 경보 단말장치설치	-
연 구 결 과 의 제 한 점	• 기존 관측장비 및 관측망기술 로는 이상현상의 특성을 관측하는데 한계가 있음 • 이상현상 발생시 즉시적인 예경보 기술 개발 및 확보방안 미흡	• 기존 관측장비 및 관측망기술 로는 이상현상의 특성을 관측하는데 한계가 있음 • 현상별 예보 시스템구축을 위해서는 정도 높은 예측모델 개발이 선행	• 기존 관측장비 및 관측망기술 로는 이안류의 발생 특성을 관측하 는데 한계가 있음 • 이안류 발생 예측 모델의 정확성 향상 필요	• 예경보 정보의 생산을 위한 예측모델의 개발 및 검증이 선행 되어야 함	-
향 후 연 구 개 발 의 방 향	<ul style="list-style-type: none"> • 이상 현상현상을 효과적으로 감지 및 감시할 수 있는 관측기술의 개발 • 현상별 관측기술 개발 및 관측자료를 토대로 한 발생메카니즘과 원인규명에 대한 연구 필요 • 현상별 발생예측 기술 및 모델의 정확성 향상, 그리고 즉시적인 예경보 시스템 체제 개발 				

다. 개발기술의 기능전개 및 요소기술

▶ 개발기술의 기능전개



🔍 개발기술의 요소기술 도출

▶ 관측시스템의 요소기술

[중복성 : 많음 ○, 보통 △, 적음 ×]

세부기능	연안 이상현상	요소기술	요소기술 개발 기획의 중복성여부	R&D 적합성 및 우선순위 [상(1),중(2),하(3)]	
				적합성	우선순위
원격탐사 등 효과적 인 관측 기술 개발	너울	점측정방식 센서를 이용한 너울성 파향 스펙트럼 관측기술 개발	×	1	1
		비디오, X밴드-레이다 등 원격영상 기법을 이용한 너울 감지기술 개발	△	1	1
		SAR, HF, VHF 레이다 등 주파수방식 탐사기법을 이용한 너울 감지기술 개발	×	1	1
		원격탐사자료와 현장 점측정자료를 융합한 너울의 시공간 특성 분석기술 개발	×	1	1
	해양	기상쓰나미 유발 기상외력 요소관측을 위한 기상센서의 개발	×	1	1
		점측정방식 센서를 이용한 해양장파 스펙트럼 관측기술 개발	×	1	1
		비디오, X밴드-레이다 등 원격영상 기법을 이용한 연안 해양장파 감지기술 개발	×	1	1
		SAR, HF, VHF 레이다 등 주파수방식 탐사 기법을 이용한 원거리 해양장파 감지 기술 개발	×	1	1
		원격탐사자료와 현장 점측정자료를 융합한 해양장파의 시공간 특성 분석기술 개발	×	1	1
	이안류	비디오, X밴드-레이다 등 원격영상 기법을 이용한 연안 이안류 감지기술 개발	×	1	1
		원격탐사자료와 현장 점측정자료를 융합한 이안류의 발생구조 특성 분석기술 개발	△	1	1
	관측 지점 및 관측 지역의 확대	너울 및 해양장파	해안에서 거리구간별 주요 핵심 관측구역 및 관측요소의 설정	○	1
해안에서 거리구간별 융합 관측망 체계 설계 및 구축			△	1	2
인공위성, 레이다, 비디오 등 원격탐사 기법을 이용한 관측범위의 확대			○	2	2
이안류		주요 이안류 발생 해수욕장의 관측구역 및 관측요소의 설정	○	1	1
		발생외력 및 이안류 관측을 위한 융합 관측망 설계	△	1	1
기관 간 관측 체계 공동 활용 및 개선	공통	해양 관측자료의 품질관리 (quality-control) 기술	○	1	1
		해양 관측자료의 DB 표준화 프로그램 기술	○	1	3
		해양 관측자료 전산시스템의 공유 네트워크 기술	○	3	3
		해양 관측자료의 통합관리 시스템 및 자료제공 서비스 개발	○	3	3
실시간 관측 및 전달 체계 구축	공통	케이블, 무선통신, 위성통신 등 실시간 자료전송 기술 및 인프라 구축	○	3	1
		웹 기반 GUI 개발	△	3	3
		대용량 해양 관측자료의 압축 기술	×	2	3
	너울	실시간 다방향 파향스펙트럼 분석 알고리즘 기술 개발	×	1	1
		파랑장파	실시간 중력파-장파 대역별 파향스펙트럼 분리 및 분석 알고리즘 기술 개발	×	1

▶ 예측시스템의 요소기술

[중복성 : 많음 ○, 보통 △, 적음 ×]

세부기능	연안 이상현상	요소기술	요소기술 개발 기획의 중복성여부	R&D 적합성 및 우선순위 [상(1),중(2),하(3)]	
				적합성	우선순위
예측기술 개발을 위한 이론 연구	너울	발생외력(해상풍 등) 특성과 너울성 고파의 발생특성의 관계 분석 기술	×	1	1
		너울성 고파의 해류와 상호작용 및 천해 전파특성 분석 기술	×	1	1
		너울성 고파의 해안 도파 및 범람 특성 분석 기술	×	1	1
	해양장파	발생외력(기압변동 등) 특성과 해양장파의 발생특성의 관계 분석 기술	×	1	1
		해양장파의 조류/해류와 상호작용 및 천해 전파특성 분석 기술	×	1	1
		해양장파의 해안 도파 및 범람 특성 분석 기술	×	1	1
이안류	발생외력(입사파, 쇄파대 해면경사 등) 특성과 이안류의 발생특성의 관계 분석 기술	○	1	1	
	연안 지형특성과 이안류의 발생구조 특성 분석 기술	○	1	1	
예측모델 정확 향상을 위한 연구	너울	너울성 고파의 예측모델 개발 및 검증 기술	×	1	1
		해류, 해일 등 해양모델과 너울성 파랑모델의 통합 수치모의 기술	×	1	1
	해양장파	해양장파의 예측 가능성 분석	×	1	1
		해양장파의 수치모델 개발 및 검증 기술	×	1	1
	이안류	이안류의 예측모델 개발 및 검증 기술	○	1	1
파랑 수치모델과 이안류 연안 순환모델의 통합 수치모의 기술	○	1	1		
예측모델 현업화 체계 구축	너울	발생외력의 신속 입력자료 생산체제 기술	×	1	1
		발생외력 생산체제와 해양순환모델 - 너울성 파랑모델간 연계 운영 기술	×	1	1
		외해역 광역격자 및 연안 정밀격자 기반 신속 예측자료 생산체제 기술	×	1	1
	해양장파	해양장파 예측모델의 현업예보 가능성 분석	×	1	1
		해상풍, 입사파랑 등 신속 입력자료 생산체제 기술	△	1	1
		이안류	신속 입력자료 생산체제와 이안류 등 연안순환모델간 연계 운영 기술	△	1
재난피해 예측모델 수립	너울	너울성 고파의 연안 도파 및 침수범람 예측모델 개발 기술	×	1	2
		너울성 고파로 인한 연안구조물 월파고 및 월파량 산출 기술	×	1	2
	파랑장파	너울 예측모델과 조석, 조류 및 해일 등 해양모델과 연계한 연안 침수피해 예측모델 개발 기술	×	1	2
		조석, 조류 및 해일 등 해양모델과 연계한 해양장파의 해안 침수피해 평가모델 기술	×	1	2
		이안류	이안류 발생 및 발달에 따른 연안 지형 및 수심 변화 평가모델 기술	×	1

▶ 정보시스템의 요소기술

[중복성 : 많음 ○, 보통 △, 적음 ×]

세부기능	연안 이상현상	요소기술	요소기술 개발 기획의 중복성여부	R&D 적합성 및 우선순위 [상(1),중(2),하(3)]	
				적합성	우선순위
과거 피해 사례 분석 자료 DB화	너울 및 해양장파	과거 이상현상 내습규모 및 내습특성별 수치모의(hindcast) DB 제작 기술	×	1	3
		이상현상 내습규모 및 내습특성별 연안지역 피해범위 재해도 제작 DB 기술	×	1	3
		연안재해 피해지역별 피해자 발생수, 피해현황 등 자료 DB 기술	○	3	2
		이상현상 내습특성별 연안지역 피해발생 특성 분석 DB 기술	×	2	2
	이안류	과거 이안류 발생사례 수치모의(hindcast) DB 제작 기술	○	1	3
		피해지역별 피해자 발생수, 피해현황 등 자료 DB 기술	○	2	2
신속 정보 전달 체계 구축	공통	비상 상황보고 및 의사결정을 위한 정보망 기술	×	2	3
		실시간 관측 및 예측 시스템과 경보발령 체계간 연동 기술	×	2	3
		연안재해 내습유형별 자동 안내 및 전파 개발 기술	×	3	3
		유관기관 경보망 공유 기술	×	3	3
		전파유형별 경보 발령/방송 문구 관리 기술	×	2	3
		현장 재난발생 예경보 발령을 위한 단말 장치 및 통신기술	×	2	3
재난피해 저감 및 차단기술 개발	공통	연안재해 상황발생시 초기대응을 위한 매뉴얼 관리기술	×	2	3
		연안재해 피해국면 단계별 초기대응 시나리오 개발 기술	×	2	3
		연안재해 상황별 안전경로에 의한 대피경로 안내 기술	×	2	3
	너울 및 이안류	사전 예측자료에 기반한 피해예상지역 접근로 차단장치 및 조기 대피안내 기술	×	3	3
		이상현상 발생 이전, 연안지역 주변 대피시설 개발 기술	×	2	3
		해양장파	원거리 조기 관측자료에 기반한 피해예상지역 접근로 차단장치 기술	×	3
조기감지에 따른 연안지역 주변 대피시설 개발 기술	×		2	3	
재난피해 영향평가 체계 개발	공통	과거 연안재해 현상별 수치모의 결과 DB자료에 기반한 재난피해 영향 예측 기술	×	1	3
		실시간 연안재해 피해 집계 및 추가 피해 예측 기술	×	1	3
		연안재해 발생에 따른 사회·경제적 손실의 계량화 평가 기술	×	1	3

② 연구개발 추진 요소기술군(group)

기술분야	정의 및 내용	세부기술
연안 이상현상의 관측 기술	<ul style="list-style-type: none"> 재해 요소의 발생외력(해상풍 등) 및 재해 요소의 발생에 대한 효율적, 체계적 관측 재해요소 및 발생외력 관측을 바탕으로 해양 재난 발생시 신속대응으로 발생 현황 예측 및 단기예보 체제 	<ul style="list-style-type: none"> 원격탐사 기술을 이용한 연안이상현상 발생 감지 기술 연안 이상현상 유발 발생외력의 요소 관측기술 점측정 방식과 시공간 원격탐사 방식을 융합한 연안 이상현상 발생특성 관측기술 해안으로부터 거리구간별 핵심관측구역 및 관측요소의 관측망 기술
연안 이상현상의 발생원인 이론기술 및 조기감지기술	<ul style="list-style-type: none"> 발생외력과 재해요소의 발생특성에 대한 이론 정립 재해요소의 발생원인 규명을 통한 사전 예측 가능체제 	<ul style="list-style-type: none"> 점측정 자료와 원격탐사 자료를 융합한 연안이상현상의 시공간 발생특성 분석 기술 발생 외력과 연안이상현상 발생특성의 관계 분석 이론기술 장파-중력과 대역별 파향 스펙트럼 분리 및 분석 알고리즘 기술 발생외력, 재해요소 특성 및 연안 해수 순환 특성의 상호작용 분석 기술
연안 이상현상의 발생 예측 기술	<ul style="list-style-type: none"> 발생외력 입력 자료와 수치모의 기술을 이용한 재해 요소의 발생예측 	<ul style="list-style-type: none"> 연안 재해 요소의 수치모의 기술 연안 재해 요소의 수치모델과 연안 순환 모델의 통합 수치모의 기술 발생외력의 신속 입력자료 생산체제 기술 외해역 광역격자 및 연안 정밀격자 기반 실시간 입력자료 생산체제 및 협업 체제로 사전 피해저감

- 기술 기능전개 및 기술트리를 통하여 도출한 요소기술들 중에, 타부처 및 기관에서 추진중인 유사 연구개발과제들과의 중복성이 없고, 또한 타부처의 고유기능(특히, 소방방재청)이 강한 요소기술들을 제외한, 연구개발의 적합성 및 우선순위가 상위인 것들을 분류하여 3개의 기술군(연안 이상현상의 관측기술, 연안 이상현상의 발생원인 이론기술 및 조기예측기술, 연안 이상현상의 발생예측기술)으로 연구개발 세부분야를 결정하였음.
- 위의 3가지 세부기술군은 기술기능전개에서 결정한 3개 기본기능하의 기능을 반영토록 하였으며, 세부기술은 요소기술들에서 간략화하였음.

라. 연구개발 목표 및 수준 설정

➤ 기술발전 단계

구분	현재 기술발전 단계		향후 연구개발 방향	
	국내·외동향	전문가 의견	국내·외동향	전문가 의견
관측시스템	<ul style="list-style-type: none"> 연안 이상현상은 지역적인 영향으로 피해 차이가 큼 기존의 점 관측 방식의 모니터링 체계에서는 잘 나타나지 않는 특성이 있음 CCTV, 원격탐사 등 첨단기술을 이용한 관측기법 개발적용 시도 관련부처에서 원거리 과학기지 건설 및 실시간 해양 관측시스템 구축을 위해 노력 	기술정립단계 (국내)	<ul style="list-style-type: none"> 원거리부터 근거리까지 체계적 관측망 구축 CCTV, 원격탐사 등 IT기술을 활용한 공간적 관측기법 개발 및 상용화 연안 이상현상의 효과적 감시를 위한 통합 관측체계 개발 실시간 해양 관측시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 실시간 관측 전달체계 개발 관측 지점 및 지역의 확대 IT기술 등 효과적인 관측기술 개발
예측시스템	<ul style="list-style-type: none"> 동해 너울성 고파에 대한 풍파 수치모델의 적용 가능성 검증 연안 해수유동모델을 활용한 이안류 예측기법을 개발중 서해 해안장파의 경우, 관측자료의 미비로 발생원인의 불확실 때문에 예측기술 개발이 더딤 우리나라 주변 기상 예측모델과 파랑 수치모델간 상호 연계 운영을 위한 기술 개발 풍파모델, 해일모델, 조석-조류모델, 해수순환모델 등 각 해양물리 요소별 수치 모델들이 잘 수립되어 있지만, 연안 이상현상을 위한 모델간 통합 수치모델은 미흡 풍파, 해일, 해수순환 등 해양예보시스템의 현업예보를 위한 개발 및 구축중임 	기술정립단계 (국내)	<ul style="list-style-type: none"> 연안 재해요소별 예측 모의기법 개발 연안 이상현상의 국지 예측을 위한 정밀격자 기반 수치모의기법 수립 실시간 예측모델의 현업예보를 위한 체계 개발 및 구축 기후변화에 따른 연안 이상현상 발생 및 재해예측 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 예측모델의 현업예보 체계 개발 예측모델의 정확성 향상 피해예측 및 평가 모델 수립
경보시스템	<ul style="list-style-type: none"> 연안 이상현상의 예측기술 미흡에 따른 연안지역 사전 경보전달 체계 구축 미비 기상청의 대중매체를 통한 대국민 해양기상정보 전달 홍수범람 등 재난상황 발생에 따른 소방방재청(재난상황실)의 실시간 재난 및 대피 정보 전달체계 운영 지진해일의 경우, 기상청의 특보발령 및 소방방재청 지진해일대응시스템 가동체계 구축 	기술정립단계 (국내)	<ul style="list-style-type: none"> 연안 이상현상의 사전 예측을 통한 실시간 경보 및 대피 기술 등 대응체계 기술 개발 국토해양부에서 동해 너울성 고파에 대한 관측, 예측 및 경보시스템 구축을 위한 방파제 재해예방 시범사업을 추진중 인터넷, 휴대폰 등 IT 기술 발달에 따른 정보망 구축방법의 다양화 	<ul style="list-style-type: none"> 이상현상 경보 신속 전달체계 피해 저감 및 차단 기술 과거 피해사례 자료 DB화

🔍 기술개발 전략 및 연구개발의 방향

- 현재 국내외 기술개발 현황 및 기술수준 분석결과에 근거하여, 동해안의 너울성 고파 및 해수욕장 이안류는 수치모델을 통한 사전 예보의 가능성이 높은 만큼, 예측시스템의 개발기술에 근거하여 경보시스템을 운영하는 방향으로 대응시스템을 수립

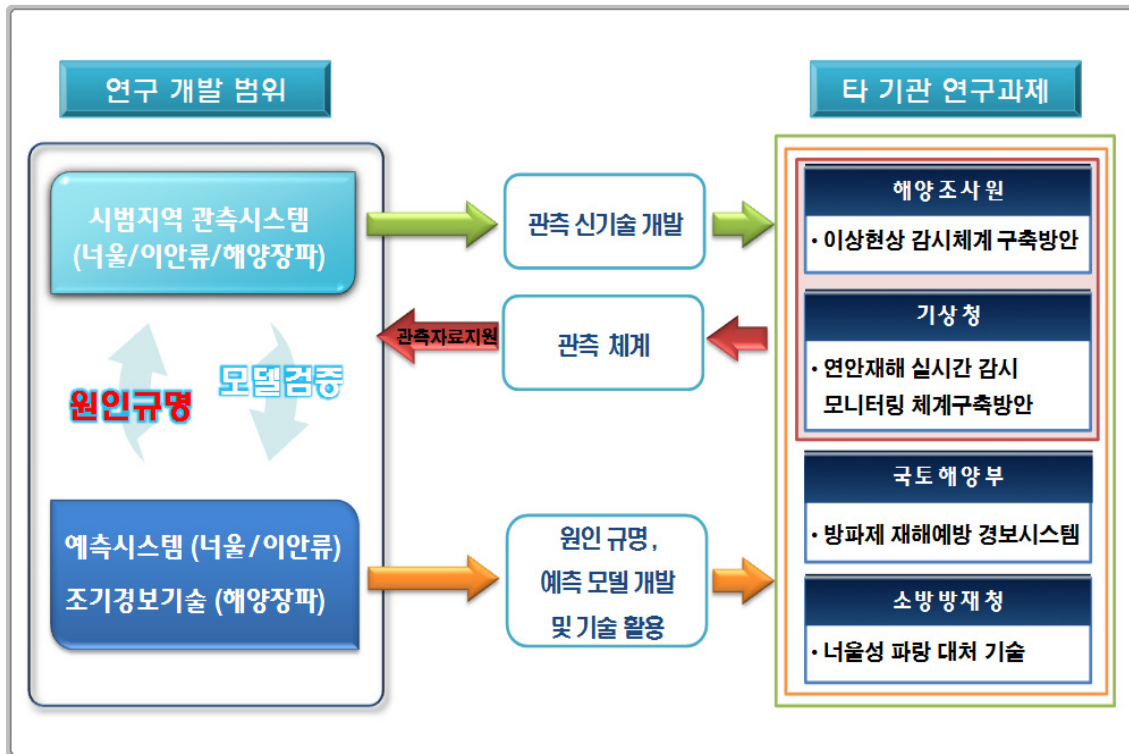


- 실시간 예측시스템의 정확성은 이상 연안현상의 점진적인 관측자료 축적으로 비교 및 검증과정을 통하여 향상
- 서해에서 기상 쓰나미 등 해양장파의 경우, 아직까지 발생 메카니즘에 대한 원인규명이 미진하고, 관련자료 또한 미비하여, 대응기술 개발의 추진방향을 관측시스템의 실시간 장거리 감시체계 구축을 기반으로 한 경보시스템의 수립으로 설정하는 것이 타당함.
- 현재까지, 서해에서 해양관측 기술 및 체계가 해양장파의 특성 및 발생 메카니즘을 규명할 수 있는 정도의 양질의 자료를 확보하지 못하고 있으므로, 효과적인 해양장파 관측기술 및 실시간 전송체계 기술의 개발이 우선적으로 필요함. 향후, 축적되는 관측자료를 바탕으로, 서해 해양장파의 발생원인 규명 및 예측기술의 확보를 위한 지속적인 개발노력 또한 필요함
- 해마다 발생하고 있는 연안 이상현상에 의한 인명피해 및 재산피해를 사전 예방 또는 저감하기 위한 대응기술이 사회·국가적으로 절실히 요구되는 만큼, 개발기술의 상용화 및 산업화 단계까지 장기간에 걸친 전략적 연구개발 추진
- 이상현상 발생에 대한 신속한 예경보 전달체계와 관련한 경보시스템 기술은 연구개발 성격 보다는 기존의 디지털 정보통신 기술을 활용하는 응용연구 성격이 강하고, 또한 국가재난 경보체계 기술과 연계하여 확장·구축할 수 있는 가능성이

높은 만큼, 연구개발과제에서는 우선적으로 연안 이상현상에 대한 관측기술 향상, 발생원인 규명 및 예측기술 개발에 중점을 두고 추진

🔍 타 기관 유사 연구과제와 연계활용 전략

- 시범해역 관측시스템 구축 및 운영을 통한 관측 신기술 개발로 타 기관에서 구축중인 감시체계 개선에 활용
- 관측자료 기반 발생원인 규명 및 예측시스템 개발기술은 연안재해에 대한 타 기관별 대응기술 수립에 활용
- 타기관(해양조사원, 기상청등)의 광역 관측망을 통한 관측자료는 원인규명 및 예측시스템 개발에 활용.



중점개발분야의 목표, 내용 및 범위

중점분야	개발기술	개발목표	연구개발 내용 및 범위
① 실시간 너울 및 이안류 예측기술 개발	너울 및 이안류 예측 시스템 개발	• 너울 및 이안류의 예보를 위한 수치 예측모델의 현업체계 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 재해요소의 발생원인 및 내습특성 분석 • 파랑-해류-조석 통합모델 기반 예측모델 개발 및 개선 • 재해요소의 발생외력 (해상풍 등)에 대한 신속한 경계치 자료 생산 및 입력체계 구축 • 예측모델의 광역격자 및 국지 정밀격자 기반 신속 예측자료 생산체계 및 현업예보 체계 개발 • 예측모델의 정확성 향상
	너울 및 이안류 관측 기술 개발	• 너울 및 이안류현상을 효과적으로 관측할 수 있는 관측기법 및 실시간 자료전송 체계 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 재해요소 관측자료의 발생특성 분석기술 개발 • CCTV, X-밴드 레이다 등 국지적 감시기술 개발 • 인공위성, HF 레이다 등 광역적 감시기술 개발 • 점관측 및 원격관측의 시공간 융합 관측기술 개발 • 재해요소의 실시간 분석, 전송 및 DB화 기술 개발
② 해양장파 조기감지 기술개발 및 현상 규명연구	실시간 관측조기 감지체계 기술 개발	• 서해 해양장파의 실시간 관측체계망을 기반으로 한 신속 발생감지 및 현상분석 기술 등 조기 감지 체제 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 해양장파의 조기감지를 위한 실시간 관측망 개발 • 거리구간별 실시간 기상 관측체계망 개발 • 원격탐사 등 첨단 관측 및 감지기술 개발 • 재해요소 발생특성의 실시간 분석, 전송 및 DB 기술 개발 • 관측체계의 실시간 원격관리 및 서비스 지원을 위한 정보망 개발
	현상규명 및 예측 기술 개발	• 서해 해양장파의 발생 메커니즘 규명 및 예측 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 발생외력 특성 및 해양장파 발생 메커니즘 규명 • 해양장파의 예측 및 예측 가능성 분석 • 해양장파의 예측 모의기법 개발

마. 기술 로드맵 및 연차별 추진계획

➤ 총괄 기술로드맵

< 이상현상 대응시스템 단계별 연구개발 목표 >

주요업무	1단계[개발기술의 정립 및 안정화]						2단계[상용화]	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	연구비	6차년도 이후	
이상현상 관측지역 선정 및 관측기술개발	해역별 관측기술 개발 ◦ 시범지역선정 ◦ 이상현상 관측기술개발 ◦ 관측기술개발						9	▶ 종합관측망 및 현업예보 대상 해역 전 연안확대
실시기간 너울 및 이안류 예측기술	너울성고파	관측기술	동해 너울성 고파 ◦ 관측망설치 ◦ 관측망 개선 및 운영				13	▶ 첨단 융합 관측 기술 산업화 및 융합화 ▶ 해양장파 예측 모델 기능성분석 및 개발
		연구분석	발생특성 및 메커니즘 분석연구				5	
		예측기술	너울성 고파 예보체제 ◦ 예측모델개발 ◦ 시범운영 ◦ 현업화				12	
	이안류	관측기술	남해 이안류 ◦ 관측망설치 ◦ 관측망 개선 및 운영				11	
		연구분석	발생특성 및 메커니즘 분석연구				4	
		예측기술	이안류 예보체제 ◦ 모델개발 ◦ 시범운영 ◦ 현업화				7	
해양장파 조기경보 기술개발 및 현상규명	해양장파	관측기술	서해 해양장파 ◦ 관측망설치 ◦ 관측망 개선 및 운영				17	
		연구분석	발생특성 및 메커니즘 분석연구				8	
		예측기술	해양장파 예보체제 ◦ 현상규명 및 관측기반 ◦ 시범운영 ◦ 경보분석기술				14	
연구비 (%)	단계별	10	25	25	20	20	100	
	누계	10	35	60	80	100	100	

중점 개발과제의 연차별 연구내용 및 예산 소요액

연차	목 표	연구 내용
1 차 년도	해역별 시범지역 선 정 및 이 상 현 상 관 측 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> 과거 발생자료 연구, 사전 조사 및 분석을 통한 사업계획 마련 해역별 이상현상 관측 및 예측시스템 개발을 위한 시범지역 조사 및 선정 동해 시범지역 너울성 고파 모니터링을 위한 최적 관측망 설계 및 구축 재해요소의 효과적인 모니터링을 위한 기존 관측망 및 원격탐사 등 IT 기술의 통합 활용방안 검토, 제시 CCTV, 레이다 등 원격탐사 기술을 이용한 첨단 관측기술 개발 (1단계)
	너울 및 이안류 발생특성 분석 및 예측모델 개발을 위한 기 반 연 구	<ul style="list-style-type: none"> 너울성 고파 및 해수욕장 이안류 등 연안 이상현상의 발생, 발달 및 전파 특성에 관한 국내외 문헌조사 및 이론 연구 동해 너울 및 해수욕장 이안류 등 국내 연안 이상현상에 대한 과거 관측자료의 수집, 재해 발생 메커니즘 및 발달특성 분석 너울 및 이안류의 예측 가능 모델기술 분석
2 차 년도	이 상 현 상 관 측 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> 남해 시범지역 이안류 모니터링을 위한 최적 관측망 설계 및 구축 서해 시범지역 해양장과 모니터링을 위한 최적 관측망 설계 및 구축 CCTV, 항해용(X-band) 레이다 등 국지적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 감시기술 개발 (2단계) 인공위성, 항공촬영, HF 레이다 등 광역적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 관측기술 개발 (2단계) 재해요소에 대한 원격관측 및 점관측기법의 시공간 융합 관측기술 개발 (1단계)
	너울 및 이안류 예측모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> 동해 너울 및 해수욕장 이안류의 발생 메커니즘 규명 및 예측기법 연구 너울 및 이안류의 예측모델 개발 동해 너울성 파랑 내습에 따른 해안 도파 및 월파추산기술 개발 연안역 입사파랑 예측기술과 연계한 해안 이안류 발생 예측 모델 개발 동해 너울 및 해수욕장 이안류의 예측모델 적용을 위한 시범지역 수치 격자 개발
	기상쓰나미 등 해 양 장 파 의 관 측 기 술 기 반 연 구	<ul style="list-style-type: none"> 해양장파의 효과적인 모니터링을 위한 기존 관측망 및 원격탐사 등 IT 기술의 통합 활용방안 검토, 제시 해안에서 거리별 발생외력 관측을 위한 기상관측망 체계기술 개발 기상쓰나미 등 해양장파의 발생, 발달 및 전파 특성에 관한 이론 및 국내외 예측기술 연구

연 차	목 표	연구 내용
3 차 년도	이 상 현 상 관 측 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> •해역별 시범지역 재해요소 관측망 개선 및 운영 •CCTV, 항해용(X-band) 레이다 등 국지적 원격탐사 기술을 이용한 재해 요소 감시기술 개발 (3단계) •인공위성, 항공촬영, HF 레이다 등 광역적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 관측기술 개발 (3단계) •재해요소에 대한 원격관측 및 점관측기법의 시공간 융합 관측기술 개발 (2단계)
	해류, 조석, 파랑 통합 기반 너울, 이안류 예측모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> •해류, 조석, 파랑 사이의 상호작용을 고려한 너울 예측기술 개선 •너울 예측기술 개선으로 해안에서 도파 및 월파 추산기술 향상 •해류, 조석, 파랑 사이의 상호작용을 고려한 이안류 예측기술 개선 •해류, 해일, 조석 및 파랑 등 각 요소별 예측모델의 통합 기반 너울 및 이안류 예측모델 개발
	실 시 간 해양장과 분석 및 전송체계 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •해양장과 종합 관측체계의 실시간 분석, DB화 및 전송 기술 개발 •서해 해양장파에 대한 과거 관측자료의 수집, 발생 메커니즘 및 발달특성 분석 •해양장파의 예측 가능 모델기술 분석
	초 기 대 응 관리 시스템 기반기술 수립	<ul style="list-style-type: none"> •과거 피해사례 및 피해현황에 대한 조사, 피해자료 DB 구축 •재난상황 발생시 초기대응을 위한 매뉴얼 및 관리 기술 조사 및 확보 •현장 예정보 및 정보지원 관리를 위한 선진 기술 조사 및 검토 •국내 관련기관 및 지자체의 행정체계를 고려한 초기대응 관리체계 검토 및 방안 제시
4 차 년도	연안 정밀격자 기 반 신 속 너울, 이안류 예 측 체 계 개 발	<ul style="list-style-type: none"> •동해 너울성 파랑 및 해수욕장 이안류 예측모델 기술의 테스트 및 검증 •너울 및 이안류 예측모델의 입력자료인 발생외력 (예, 해상풍 등)에 대한 신속한 생산체계 개발 •전 해상 광역격자 및 연안 정밀격자 기반 너울 및 이안류 신속 예측체계 개발 •재해요소에 대한 융합 관측망의 실시간 자료분석, 전송 및 DB 기술 개발
	해 양 장 파 의 조 기 감 지 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> •해양장과 종합 관측체계의 실시간 자료분석, 전송 및 DB 기술의 장기운영을 통한 운용성 검증 및 안정성 확보 •서해 해양장파의 실시간 종합 관측망 기반 재해발생 조기감지 기술 개발 •서해 해양장파 발생에 대한 예측기법 개발

연 차	목 표	연구 내 용
5 차 년도	너울 및 이안류 예측모델의 현업 예보 체 계 개 발	<ul style="list-style-type: none"> • 발생외력의 신속 생산체계 및 해류 - 해일 - 조석 - 파랑 예측모델 기반 너울 및 이안류의 통합 현업예보 운영체계 개발 • 통합 예측 시스템의 현업 예보체계 개발 및 예보 대상지역의 단계적 확대방안 마련 • 재해요소에 대한 실시간 융합 관측망의 장기 운영 및 정확성 검증
	관 측 기 반 해양장파 조기 감 지 기술의 시 범 운 영	<ul style="list-style-type: none"> • 발생외력 감시를 위한 기상 관측망 및 해양장파의 시공간 융합 관측망의 실시간 시범서비스를 위한 정보망 개발 • 해양장파의 실시간 종합관측망 기반 조기감지 기술의 시범운영 • 서해 해양장파 발생에 대한 조기감지 기법의 검증 및 개선

② 개발과제의 수행 연구비 소요액(억원)

구 분		소요내용	소요액 (억원)	
1 차 년 도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 현장연구 시범지역 선정 및 기본관측망 설치	5	10
		• 너울성 고파 발생 특성 및 메카니즘 연구	2	
		• 너울현상 관측 신기술 검토 및 개발	3	
2 차 년 도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	25
		• 너울성고파 발생 특성 및 메카니즘 연구	3	
		• 너울성고파 예측 모델 개발	3	
	이안류 (남해)	• 이안류 현장연구 시범지역 선정 및 기본 관측망 설치	5	
		• 이안류 발생 특성 및 메카니즘 연구	2	
	해양장파 (서해)	• 해양장파 현장연구 시범지역 선정 및 기본 관측망 설치	5	
		• 해양장파 발생 특성 및 메카니즘 연구	2	
공통	• 이상현상 관측 신기술 개발	3		
3 차 년 도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	25
		• 너울성고파 예측 모델 개발	3	
	이안류 (남해)	• 이안류 현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	
		• 이안류 발생 특성 및 메카니즘 연구	2	
		• 이안류 예측 모델 개발	2	
	해양장파 (서해)	• 서해장파 기본 관측망 운영 및 개선	4	
		• 서해장파 발생 특성 및 메카니즘 연구	3	
		• 서해장파 관측기반 경보 분석기술	4	
공통	• 이상현상 관측 신기술 개발	3		
4 차 년 도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	20
		• 너울성고파 예보체제 시범운영	3	
	이안류 (남해)	• 이안류 현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	
		• 이안류 예보체제 시범운영	2	
	해양장파 (서해)	• 서해장파 기본 관측망 운영 및 개선	4	
		• 서해장파 발생 특성 및 메카니즘 연구	3	
• 서해장파 관측기반 경보 분석기술		4		
5 차 년 도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	20
		• 너울성고파 예보체제의 현업화	3	
	이안류 (남해)	• 이안류 현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	
		• 이안류 예보체제의 현업화	3	
	해양장파 (서해)	• 서해장파 기본 관측망 운영 및 개선	4	
		• 서해장파 관측기반 조기감지의 시범운영	6	
총액 (억원)			100	

6. 연구개발 추진의 타당성 분석

가. 정부지원의 필요성

- 최근 지구온난화 등에 기인한 기후 변화로 인해 해수면 상승 추세가 지속되고 있으며, 해수 온도 상승에 따른 해상 폭풍 및 고파의 강도가 증대되고 있는 추세여서 향후 대규모 연안재해가 발생할 가능성은 매우 높음
- 근래에 들어 최근 몇 년간, 동해안에서 너울성 고파, 서·남해안에서 해양장파, 해수욕장의 이안류 등 연안 이상현상이 자주 발생하여 인명 및 재산피해를 야기시켰으며, 과거 5년간 (2005~ 2009), 연안 이상현상에 의한 인명피해로는 사망 및 실종자가 총 55명, 부상자가 총 24명 발생하였고, 재산피해액으로는 피해가 집계된 3차례의 경우에 대해서만 약 55억원 이상이 발생하였음.
- 연안의 자연재해를 예방하고 피해를 최소화하기 위해서는 파랑특성 및 재해예방 연구, 각종 자연재해의 감시, 예측기술등의 개발이 요구됨. 또한 감시와 예측을 위한 상시시스템 구축과 이상기상현상 예측능력 제고를 위한 연구개발 노력이 필요.
- 또한, 수립된 연안재해요소 예측 및 분석에 관한 기반기술을 토대로, 향후 연안 이상현상시 발생원인 규명 및 예경보 지원을 위한 대응기술 개발능력이 충분히 확보되기 위해서는 연안재해에 대해 장기적인 변화를 고려하면서 경제적인 효과를 극대화시킬 수 있는 정부의 중장기 계획이 연속선상에서 수행되어야 함.

나. 정책적 타당성 분석

- 자연재해대책법, 항만법, 연안관리법 등에서, 국가는 자연재해에 대한 예방, 복구, 저감 기술개발 등에 관한 사항을 규정하고 있으며, 관련 연구개발 및 기반조성, 산업육성을 위한 자연재해저감기술 진흥계획을 수립토록 명문화하고 있음
- 정부에서는, 연안정비계획 사업, 기후변화 정부종합대책, 국가 기후변화 적응대책 등의 지원사업들을 통하여 자연재해에 대한 적응방안 대책들을 제시하고 있음
- 너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대해서는 사전 대응방식으로 추진되기 보다는 피해복구 등의 사후적 대응방식으로 추진되어 왔기 때문에, 앞으로는 조기 예측 및 경보시스템 구축을 통한 사전대응 기술력을 확보하도록 지원하는 것이 필요함

다. 기술적 타당성 분석

- 최근 국토해양부, 기상청, 해양조사원, 소방방재청 등 관련 정부기관에서 우리나라 주변에서 발생하고 있는 너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대한 대응기술 개발 사업들을 추진 중에 있음
- 대부분의 타 연구과제들은 기존의 관측장비를 이용한 해양관측망의 확대 구축을 기반으로 하는 연안 이상현상 대응기술 개발에 중점을 두고 있음. 기존의 관측장비들은 주로 점-관측 (point-measurement) 방식으로, 한 지점에서 관측자료를 취득하기 하기 때문에, 연안에서 주변 지형의 영향으로 국지적인 변동성이 큰 이상현상을 공간적으로 감시 및 모니터링하는 데는 한계가 있음
- 연안 이상현상의 효과적인 관측을 위해서는 레이다, CCTV, 인공위성 등 첨단 IT 기술을 이용한 이상현상별 맞춤형 감시기술 개발이 필요하며, 또한 효과적인 대응책 수립을 위한 방안으로 발생원인 규명 및 예측기술 개발을 통한 사전 예경보 시스템 구축이 필요함

라. 경제적 타당성 분석

- 과거 5년간 (2005 ~ 2009), 연안 이상현상에 의한 인명피해로는 사망 및 실종자가 총 55명, 부상자가 총 24명 발생하였고, 재산피해액으로는 피해가 집계된 3차례의 경우에 대해서만 약 55억원 이상이 발생하였음. 소중한 생명을 액수로 환산할 수 없을 정도로 고귀함을 고려할 때, 연안 이상현상에 의해 발생하는 인명피해는 상당한 규모라고 할 수 있음
- 과거 5년간 집계된 인명피해 및 재산피해를 근거로, 본 기획연구를 통하여 제시한 5차년도에 걸쳐 수행되는 이상현상 대응기술에 대한 연구개발 소요액은 충분한 타당성을 가지고 있다고 할 수 있음

7. 기대효과 및 활용방안

가. 기대효과

- 연안 이상현상 (너울, 해양장파, 위험이안류 등)에 대한 관측 신기술 개발 및 체계적인 관측기술의 향상으로 양질의 연안 이상현상 관측자료 확보
- 연안 이상현상에 따른 재해요소 (너울성 고파, 해양장파, 위험이안류, 연안해일 등)에 대한 원인규명을 통한 체계적인 사전예측 기술의 확보
- 연안 이상현상에 대한 사전예측 시스템 구축을 통한 조기대응 및 조기경보 시스템 기술 개발에 기여
- 연안재해에 대한 사전예측 수치모의 기술을 활용한 사후피해 평가기술 개발에 기여
- 연안재해에 대한 사전예측 시스템 구축을 기반으로, 신속한 대응 및 복구지원 대책 등 방재의 전 과정이 유기적이고 원활한 대처방안을 통한 효과적이고 체계적인 방재지침의 확보에 기여

나. 활용방안

- 국가 전 연안에 대한 통합 연안 이상현상 대응시스템의 구축으로 재난대비 의사결정을 위한 기술자료 지원
- 연안구조물에 작용하는 재해외력 요소의 장기 통계 분석 및 장기 수치모의를 통한 연안방재 구조물의 적정 설계 외력 산출자료의 개선
- 해안구조물의 설계, 항만의 확장, 항만의 운영, 항만정온, 항만의 유지 관리와 연안재해 방지 항만 개발, 운영에 필요한 기초정보 생산 제공

01 연구배경 및 필요성

1.1 연구개발의 배경

1.2 연구개발의 필요성

제 1 장 연구배경 및 필요성

1.1 연구개발의 배경

- 돌발적 연안 재해현상의 발생 빈도 증가

최근 지구온난화 등 기후변화로 인한 기상이변으로 너울성 고파랑, 기상쓰나미 (meteo-tsunamis)로 불리는 해양장파, 해안의 이안류 등 이러한 여러 연안 재해 현상이 돌발적으로 발생하고 있음. 우리나라 주변에서 발생하고 있는 이러한 재해현상은 아직까지 발생원인 및 메커니즘이 정확히 규명되지 않고 있는 상황임 (이하, 연안 이상현상이라고 총칭함). 따라서, 연안 이상현상에 대한 발생원인과 메커니즘을 규명하고, 조기 예경보 시스템 구축을 위한 기술적 기반을 마련하여 연안재난의 피해를 저감할 수 있는 적합한 방재대책 마련이 시급함

- 연안 이상현상 발생의 다양성

발생원인에 대한 이해와 규명이 미흡하고 전문가의 의견도 분분하여, 아직도 적합한 대응방안을 확립하지 못하고 있는 실정임. 서해, 남해, 동해마다 지역별로 서로 다른 다양한 형태의 연안 이상현상이 나타나고 있어 기존 연구의 성과물을 종합적으로 분석, 활용하여 이에 대한 보다 구체적이고 진전된 이해 및 원인규명을 근간으로 방재기술의 연구개발이 필요함

- 통합적 운영 시스템의 실용적 연구기반 조성

국내에서는 연안이상현상에 대한 이해와 원인규명을 위한 기본연구가 거의 수행된 바가 없었기 때문에 통합적 운영 시스템의 실용적 연구기반을 조성할 수 있도록 분산된 자료의 통합, 공유, 실용화 등 연구 여건의 개선노력과 중장기적 기술 개발 로드맵이 필요함

- 연안의 대중적 활용도 향상

연안에서 위락시설과 친수공간 개발에 따른 레저활동이 증가함에 따라 연안에 대한 대중적 활용도가 높아져, 어업, 해운 등의 산업활동을 위한 연안관리 및 방재 프로그램의 개발뿐만 아니라 사용자 편의의 대중화된 정보의 생산을 위한 노력이 필요함

4 | 너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대한 원인규명 및 대응 기획연구

- 국내기술의 세계적 강점분야와 융합된 신 기술개발로 산업화 촉진
IT기술의 강점을 살려 관측기술 및 정보전달기술 과정의 시스템 지능화를 위한 실용적 자동계측 전송장치(telemeter) 등 유비쿼터스 네트워크 접목 맞춤형 관측 장비의 신 기술개발로 산업화의 촉진이 필요함

1.2 연구개발의 필요성

- 기술적 필요 : 연안이상현상 발생에 대한 과학적이고 체계적인 원인규명 및 지속적인 모니터링 연계 예측기술 기반 확보가 시급
- 기존 연구성과의 실용화 필요 : 연안이상현상 발생과 관련된 기존 연구 성과의 지속적인 활용과 연안통합관리 측면에서 성과물의 실용화를 위한 연구 여건 마련이 필요
- 사회문화적 필요 : 연안이상현상 발생에 의한 피해를 최소화하고 특히 현상에 의한 연안재해로부터 인명과 재산을 보호할 수 있는 시스템 확립이 필요함에 따라, 이상 현상 발생 다발지역의 관측, 경보시스템을 구축을 위한 연구 개발이 필요
- 경제 산업적 필요 : 돌발적 이상 현상에 따른 피해 저감 및 예측 대응으로 복구 비용을 저감하고 관련 산업의 육성과 국제경쟁력 있는 융합기술화 촉진 및 일거리 창출이 필요

02 연안 이상현상 발생현황

2.1 연안 이상현상의 개요

2.2 발생현황 및 피해사례

2.3 발생원인 및 특성분석

제 2 장 연안 이상현상 발생현황

2.1 개요

- 연안이상 현상을 사고 유발 특성에 따라 분류하면, a) 동해안에서 태풍 및 폭풍시 항만 등 해안 구조물 주변에서 피해를 발생하는 너울성 고파랑 현상, b) 남해안에서 고파랑 또는 너울성 파도에 의해 연안에 발생하는 흐름으로 인해, 주로 여름철 해수욕장에서 인명사고를 유발하는 위험이안류 현상, c) 경사가 완만한 서해안에서 주로 만조시에 연안을 따라 항만 및 연안 배후 지역에 폭넓게 발생하여 침수 및 선박 파손, 인명 사상 등의 피해를 일으키는 해양장파 현상 등으로 분류함.



<그림 2.1.1> 연안이상현상 (a) 고파에 의한 방파제 월파, (b) 이안류에 의한 튜브 휩쓸림, (c) 장파에 의한 선박파괴

- 동해안에서 주로 나타나는 너울성 고파는, 동해 먼 바다에서 폭풍에 의해 발생한 풍파가 우리나라 동해 연안에까지 도착하는 동안 약 10~15초 주기의 너울성 고파랑으로 전이되며 해상상태가 잦아지는 상황에서 갑작스럽게 전파되어 오기 때문에 많은 인명 및 재산 피해를 야기시키고 있음.
- 남해 해수욕장에서 발생하는 이안류는, 주로 해변으로 밀려오는 너울성 파도 등 고파랑이 원인이 되어 특정 물리조건에서 해변에서 바다쪽으로 갑작스럽게 발생하는 해수의 흐름임. 특히, 피서객이 많은 7~8월에 집중적으로 해수욕장의 여러 지점에서 발생하고 있어, 이에 따라 인명사고 등 안전사고의 위협이 되고 있음.
- 서해안에서 발생하고 있는 이상 해양장파는, 주로 수 분에서 수십 분 사이의 주기를 갖는 기상 쓰나미가 원인이 되고 있음. 지난 2008년 5월 4일, 충청남도 보령시 죽도에서 발생한 해양장파는 주기가 수십 초에서 3분 이내이고, 최대 파고가 약 1.4m 인 것으로 나타났음. 2007년 3월 31일에는 서해안 일대에서 약 10~60분 주기의 장파가 발생하여 해안을 따라 군산부터 남쪽인 영광까지 많은 인명 피해 및 재산피해를 입혔음.

2.2 발생현황 및 피해사례

연안 이상현상으로부터 초래되는 피해의 특성분석을 위하여 피해 분류를 a) 발생해안별, b) 발생계절별, c) 발생기간별, d) 피해지역별, e) 피해대상별, f) 피해규모별로 분류함. 각 분류 기호와 간략한 분류 기준이 <표 2.1.1>에 제시됨.

- 발생해안별 분류
 - a) 항만, 어항, 배후수로 등 선박 피난 및 계류 시설지역
 - b) 해수욕장, 사구 등 모래로 구성된 beach 지역
 - c) 모래가 없어 낚시나 스노클하기에 좋은 암석 해안 지역
 - d) 해안에 인접한 배후해안도로 및 주거 지역
- 발생계절별 분류
 - a) 3월부터 5월까지 봄철에 발생한 현상
 - b) 6월부터 8월까지 여름철에 발생한 현상
 - c) 9월부터 11월까지 가을철에 발생한 현상
 - d) 12월부터 2월까지 겨울철에 발생한 현상
- 발생기간별 분류생기
 - a) 전조가 짧아 예기치 못한 피해를 유발하지만 피해기간이 짧은 현상
 - b) 전조가 있으되 피해기간이 길어 불가항력으로 피해를 떨칠 수 없는 현상
 - c) 이외에 대비할 시간이 있었고 불가항력적인 현상이 아니었음에도 안전불감증, 또는 부주의로 피해를 당하는 경우
- 피해지역별 분류
 - a) 항만, 어항, 배후수로 등 선박 피난 및 계류 시설지역
 - b) 해수욕장, 사구 등 모래로 구성된 beach 지역
 - c) 모래가 없어 낚시나 스노클하기에 좋은 암석 해안 지역
 - d) 해안에 인접한 배후해안도로 및 주거 지역
- 피해대상별 분류
 - a) 선박 파손
 - b) 인명 사상
 - c) 시설 훼손
 - d) 가옥 침수
 - e) 해안 침식, 농경지, 생태계 훼손 등 연안환경 피해 등

● 피해규모별 분류

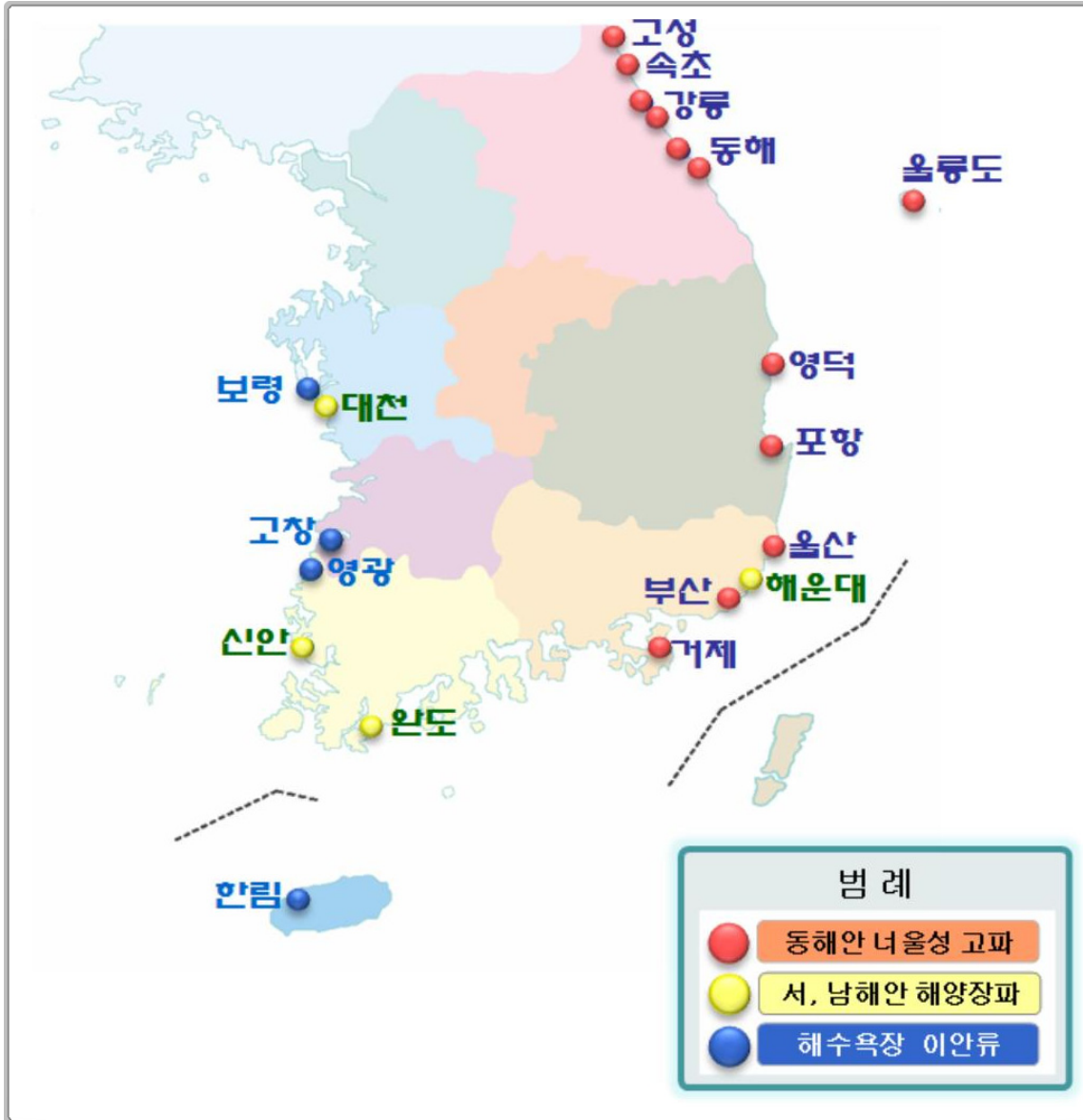
- 흔적은 있으나 이렇다할 피해가 발생하지 않은 흔적 피해
- 피해가 발생하였으나 인명 손실이 없고 보수를 요하지 않는 소규모 피해
- 인명 손실이 있고 보수를 요할 만큼의 피해가 발생하였으나 재난구역으로 선포될 정도는 아닌 피해
- 재난구역으로 선포될 정도의 대규모 피해

<표 2.2.1> 연안역 이상현상 및 피해 분류

대분류	소분류명	분류기호	분류기준
이 상 상	너울성고파	HW	• 동해안에서 태풍 및 너울 시 고파 또는 월파로 인하여 항만 등 해안 구조물 주변에서 주로 발생하는 위험 고파랑 현상
	위험이안류	DR	• 남해안에서 고파랑 또는 너울성 파도로 인하여 연안에 발생하는 흐름으로 여름철에 주로 해수욕장 수영객 인명사고를 유발하는 위험 연안 흐름(이안류 포함) 현상
	해양장파	LW	• 경사가 완만한 서해안에서 주로 만조시에 연안을 따라 항만 및 연안 배후 지역에 폭넓게 발생하여 선박 파손 또는 낚시객 인명 사상 등의 피해를 일으키는 위험 장주기 현상
발 생 안	동 해 안	CE	• 동해안에서 발생
	남 해 안	CS	• 남해안에서 발생
	서 해 안	CW	• 서해안에서 발생
발 생 계 절	봄철발생	SP	• 3월부터 5월까지 봄철에 발생
	여름철발생	SU	• 6월부터 8월까지 여름철에 발생
	가을철발생	FA	• 9월부터 11월까지 가을철에 발생
	겨울철발생	WI	• 12월부터 2월까지 겨울철에 발생
발 생 간	단기발생	PS	• 전조가 짧아 예기치 못한 피해를 유발하지만 피해기간이 짧은 현상
	장기발생	PL	• 전조가 있으며 피해기간이 길어 불가항력적으로 피해를 떨칠 수 없는 현상
	부주의발생	PC	• 이외에 대비할 시간이 있었고 불가항력적인 현상이 아니었음에도 안전불감증, 또는 부주의로 피해를 당하는 경우로 분류
피 해 역	항만수로	ZW	• 항만, 어항, 배후수로 등 선박 피난 및 계류 시설지역
	모래해안	ZS	• 해수욕장, 사구 등 모래로 구성된 beach 지역
	암석해안	ZR	• 모래가 없어 낚시나 스노클하기에 좋은 암석 해안 지역
	배후구역	ZB	• 해안에 인접한 배후해안도로 및 주거 지역
피 해 상	선박피해	T1	• 선박 파손
	인명피해	T2	• 인명 사상
	시설피해	T3	• 방파제, 도로 등 시설 파손
	가옥피해	T4	• 가옥, 주택 침수
	환경피해	T5	• 해안 침식, 농경지, 생태계 훼손 등 연안환경 피해
피 해 모	흔적피해	S1	• 흔적은 있으나 이렇다할 피해가 발생하지 않은 피해
	소형피해	S2	• 피해가 발생하였으나 인명 손실이 없고 보수를 요하지 않는 소규모 피해
	중형피해	S3	• 인명 손실이 있고 보수를 요할 만큼의 피해가 발생하였으나 재난구역으로 선포될 정도는 아닌 피해
	대형피해	S4	• 재난구역으로 선포될 정도의 대규모 피해

2.3 발생원인 및 특성분석

- <그림 2.3.1>은 지난 5년간 연안 이상현상 피해 지역을 동해안의 너울성 고파, 서·남해안의 해양장파, 해수욕장의 이안류로 구분하여 도시하였음.



<그림 2.3.1> 2005~2009년 연안 이상현상에 의한 피해 발생지역 현황

- 지난 5년간 너울성고파로 인하여 피해를 받았다고 간주되는 사례를 정리하였으며, 또한 각 피해 사례를 피해 분류별로 정리하였음.

<표 2.3.1> 이상고파 발생지역별 피해사례 현황

사례번호 (발생지역)	발생일자	발생원인	피해지역	피해내용 (명)
동 해 안	'05.10.22~23	너울성 파랑	속초(영랑동)	• 횃집 3동 반파, 도로 파손
			강릉(주문진항)	• 사망(1)
			동해(대진항)	• 부상(3), 방파제 파손
			포항(임곡방파제)	• 사망(2), 농경지 2.5 ha 침수
			울산(정자방파제)	• 사망(1), 선박 1척 침몰, 방파제 및 도로 파손
	'06.10.8~9	너울성 파랑	포항(양포항)	• 사망(2)
			부산(사하)	• 사망(1)
			울릉도(저동)	• 사망(1)
	'06.10.23~24	너울성 파랑	고성(봉포항)	• 사망(1)
			속초	• 사망(4), 실종(3), 선박 1척 침몰
	'07.10.28	너울성 파랑	속초(영금정)	• 사망(1)
	'08.2.24	너울성 파랑	강릉(안목항)	• 사망(2), 실종(1)
	'09.1.10	너울성 파랑	강릉(주문진항)	• 사망(2)
	'09.1.30~31	너울성 파랑	울산(방어진)	• 사망(1), 실종(8), 선박 1척 침몰
			거제(홍도)	• 실종(4)
	'09.11.1	너울성 파랑	영덕(해맞이공원)	• 사망(1)

<표 2.3.2> 이상고파 사례별 발생 및 피해분석

사례 번호	발생분류			피해분류		
	발생해안	발생계절	발생기간	피해지역	피해대상	피해규모
1	동해안	가을철	장기발생	항만수로, 암석해안 배후구역	선박/인명 시설/가옥/환경	중형피해
2	동해안	가을철	장기발생	항만수로	인명	중형피해
3	동해안	가을철	장기발생	항만수로	선박/인명	중형피해
4	동해안	가을철	단기발생	암석해안	인명	중형피해
5	동해안	겨울철	단기발생	항만수로	인명	중형피해
6	동해안	겨울철	단기발생	항만수로	인명	중형피해
7	동해안	겨울철	장기발생	항만수로	선박/인명	중형피해
8	동해안	가을철	단기발생	암석해안	인명	중형피해

- 위험이안류로 인한 피해는 주로 물놀이가 이루어지는 여름철 사질해안인 해수욕장에서 인명 사고 위주로 발생하고 있으며 이안류 발생 특성상 전조 현상없이 갑작스럽게 발생하는 특징이 있음.

<표 2.3.3> 이안류 발생지역별 피해사례 현황

사례번호 (발생지역)	발생횟수 및 발생일자 (최근 5년간)		피해지역	피해내용 (명)
남해안	9	10회	'07. 6. 30, '09. 6. 23, '09. 6. 24, '09. 8. 13, '09. 8. 15, '10. 6. 12, '10. 7. 29, '10. 7. 30, '10. 7. 31, '10. 8. 09	• 부산 해운대 해수욕장 • 사망(1) - '07.6.30
	10	1회	'10. 9. 25	• 부산 기장군 임랑 해수욕장 • 사망(3), 구조(1)
	11	1회	'09. 8. 06	• 전남 완도 명사십리 해수욕장 • 튜브구조(1)
1회		'09. 8. 07	• 전남 신안 대광 해수욕장 • 튜브구조(3)	
서해안	12	2회	'10. 7. 18, '10. 8. 01	• 충남 대천 해수욕장 • 사망(2), 구조(3)

<표 2.3.4> 이안류 사례별 발생 및 피해분석

사례 번호	발생분류			피해분류		
	발생해안	발생계절	발생기간	피해지역	피해대상	피해규모
9	남해안	여름철	단기발생	사질해안	인명	소형피해 중형피해
10	남해안	가을철	부주의발생	사질해안	인명	중형피해
11	남해안	여름철	단기발생	사질해안	인명	소형피해
12	서해안	여름철	단기발생	사질해안	인명	중형피해

- 지난 5년간 해양장파로 인하여 피해를 받았다고 간주되는 사례를 정리하였으며, 또한 각 피해 사례를 피해 분류별로 정리하였음.

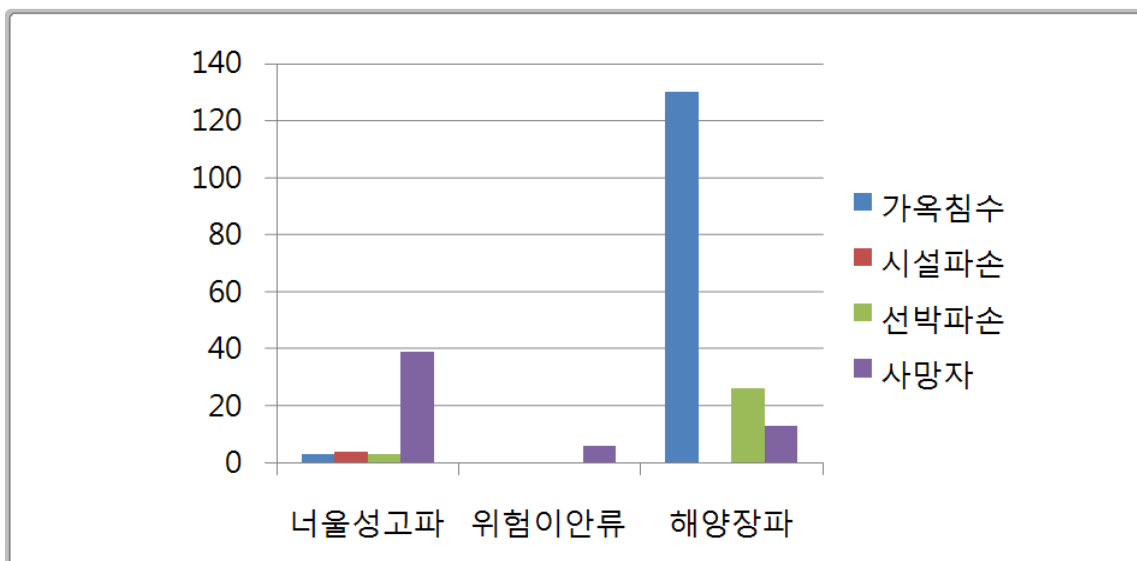
<표 2.3.5> 해양장파 발생지역별 피해사례 현황

사례번호 (발생지역)	발생일자	발생원인	피해지역	피해내용 (명)
남해안 13	'05. 2. 09	해양장파	제 주 (한 립)	• 주택 10여채 침수
서해안 14	'07. 3. 31	해양장파	고 창 (상 하 면)	• 사망 (3)
			홍 동 읍	• 선박 21척 파손
			영 광 (법 성 면)	• 사망 (1), 선박 5척 파손, 가옥 120여채 침수
15	'08. 5. 04	해양장파	대 천 (해 수 욕 장)	• 해변 과다 침수
			보 령 (죽 도)	• 사망 (9), 부상 (14)

<표 2.3.6> 해양장파 사례별 발생 및 피해분석

사례 번호	발생분류			피해분류		
	발생해안	발생계절	발생기간	피해지역	피해대상	피해규모
1	서해안 (제주, 서해안)	봄철	단기발생	항만수로 배후구역	선박/가옥	소형피해
2	서해안	봄철	단기발생	항만수로, 암석해안 배후구역	선박/인명, 시설/가옥	중형피해
3	서해안	봄철	단기발생	항만수로 배후구역	시설/인명/가옥	중형피해

● 이상현상에 따른 발생유형 및 피해유형 비중 분석 결과가 아래<그림 2.3.2>에 도시됨.



<그림 2.3.2> 이상현상별 피해

<표 2.3.7> 해양장파 사례별 발생 및 피해분석

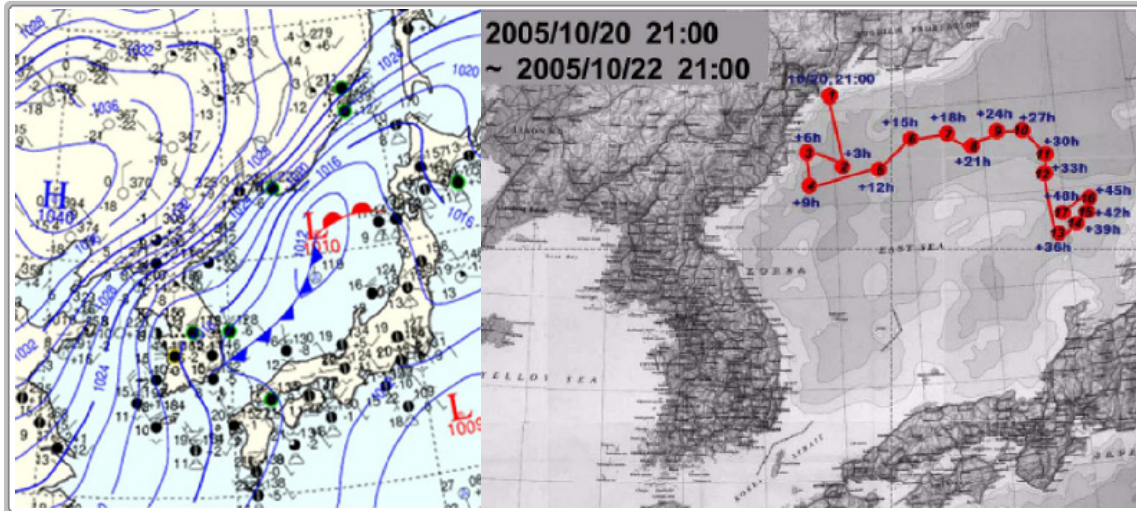
(a) 발생해안, (b) 발생계절, (c) 발생기간, (d) 피해구역, (e) 피해대상, (f) 중형규모발생수



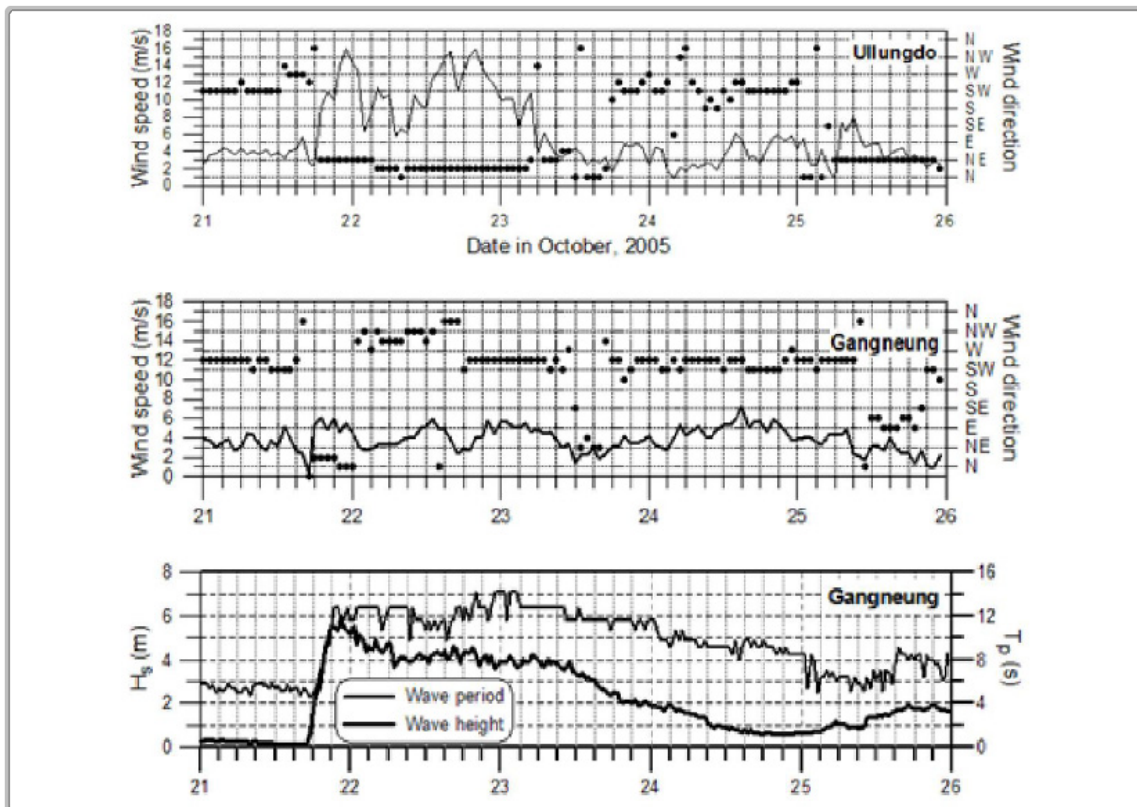
2.3.1 동해안 너울성 파랑 발생

① 동해안 1번 발생사례 특성 분석 ('05.10.22~23: 속초, 강릉, 동해, 포항, 울산)

- 온대성 저기압이 함경북도 앞바다로 진출한 후 21시간 경과시 너울성 고파가 도달.
- 발생순서: 동해 북동해역 저기압 발달 → 동해상 강풍 → 고파랑 발생 → 해안가 너울성 고파 발생
- 너울성 고파의 최대 파고(6 m), 침두 주기(12 sec 내외)



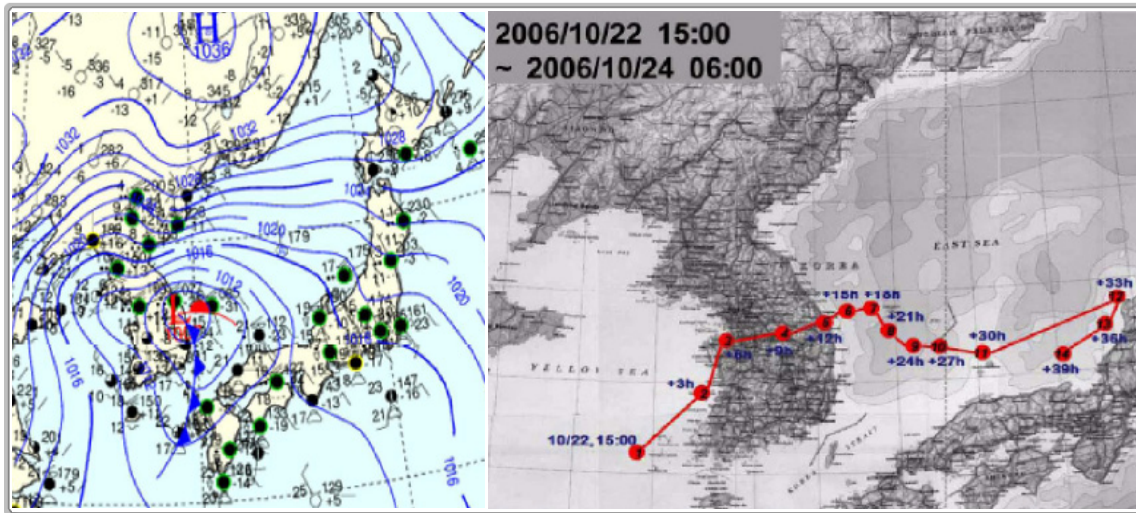
<그림 2.3.3> 너울성 고파 내습시의 기압 배치도 및 저기압 이동경로



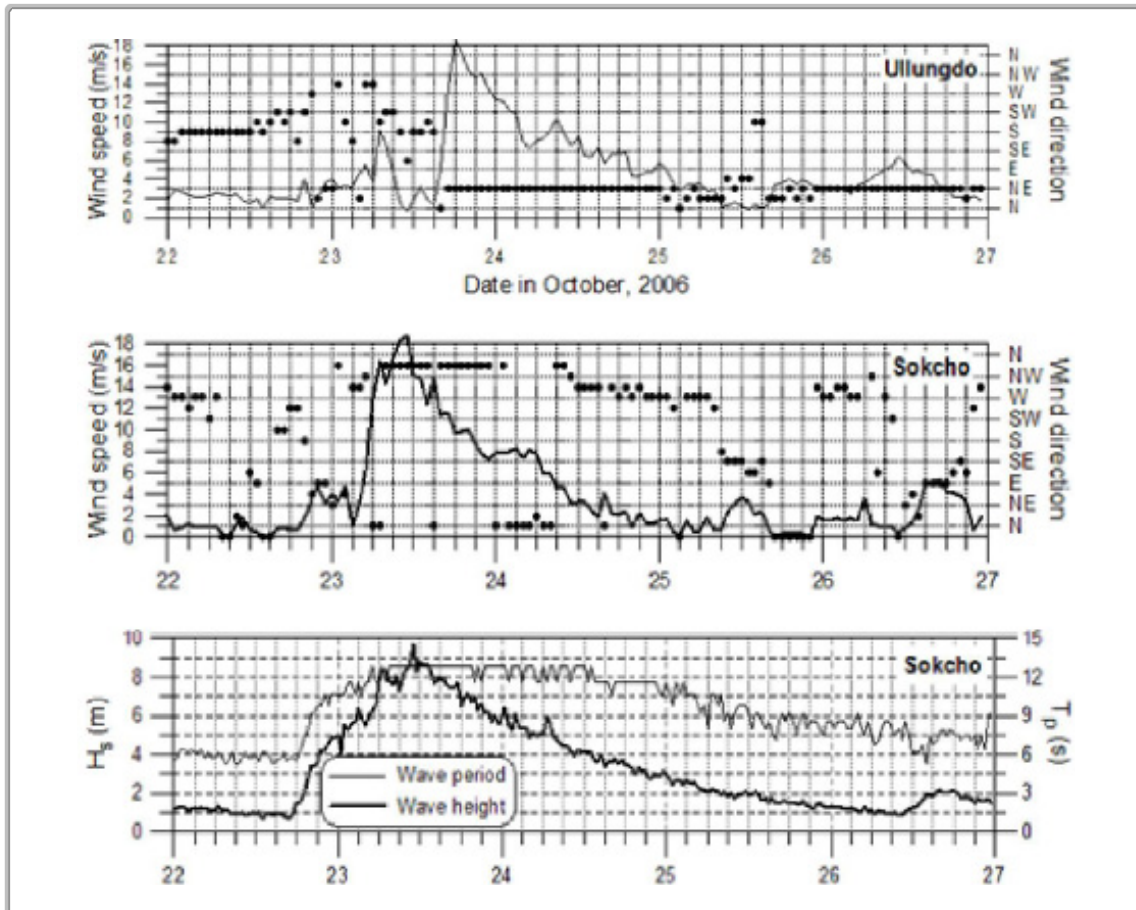
<그림 2.3.4> 너울성 고파 내습시의 풍향, 풍속 및 파랑자료

② 동해안 3번 발생사례 특성 분석 (' 06.10.23 ~ 24 : 고성 및 속초지역)

- 중국에서 생성된 저기압이 서해, 한국을 지나 동해로 진출
- 너울성 고파 도달시 저기압의 중심은 서해상에 위치
- 너울성 고파 발생 당시 속초에서 강풍 발생
- 유의파고 최대 : 10 m



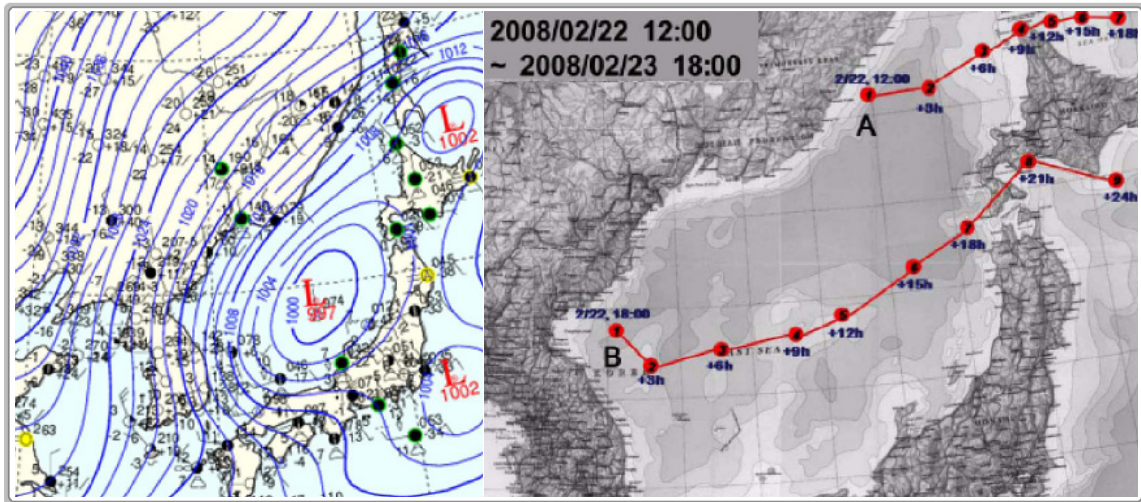
<그림 2.3.5> 너울성 고파 내습시의 기압 배치도 및 저기압 이동경로



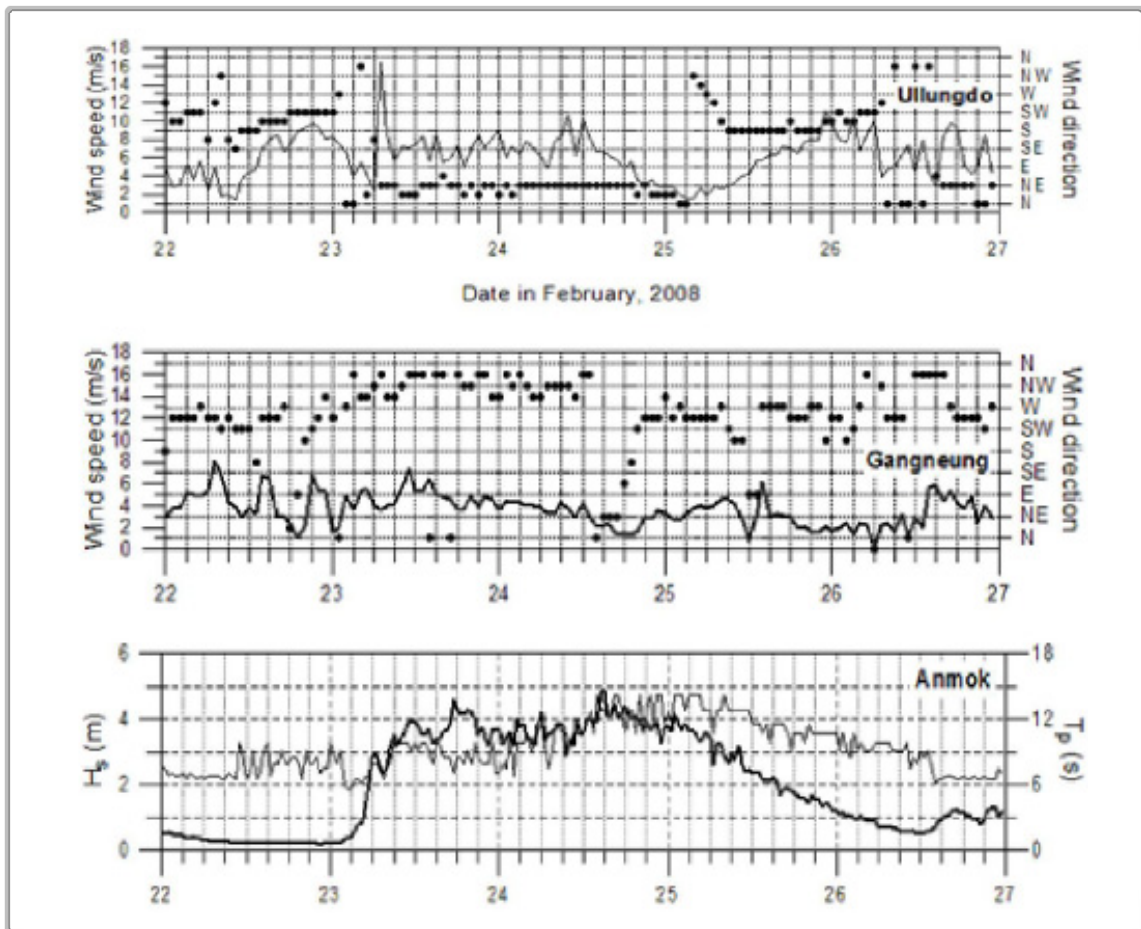
<그림 2.3.6> 너울성 고파 내습시의 풍향, 풍속 및 파랑자료

② 동해안 5번 발생사례 특성 분석 ('08.02.24 : 강릉 지역)

- 2 개의 저기압이 동해로 진출
- 각 저기압의 영향으로 2차례에 걸쳐 파고상승
- 최대파고 : 7.4 m, 침두주기 : 13 sec 이상
- 각 저기압의 영향으로 2차례에 걸쳐 파고상승



<그림 2.3.7> 너울성 고파 내습시의 기압 배치도 및 저기압 이동경로

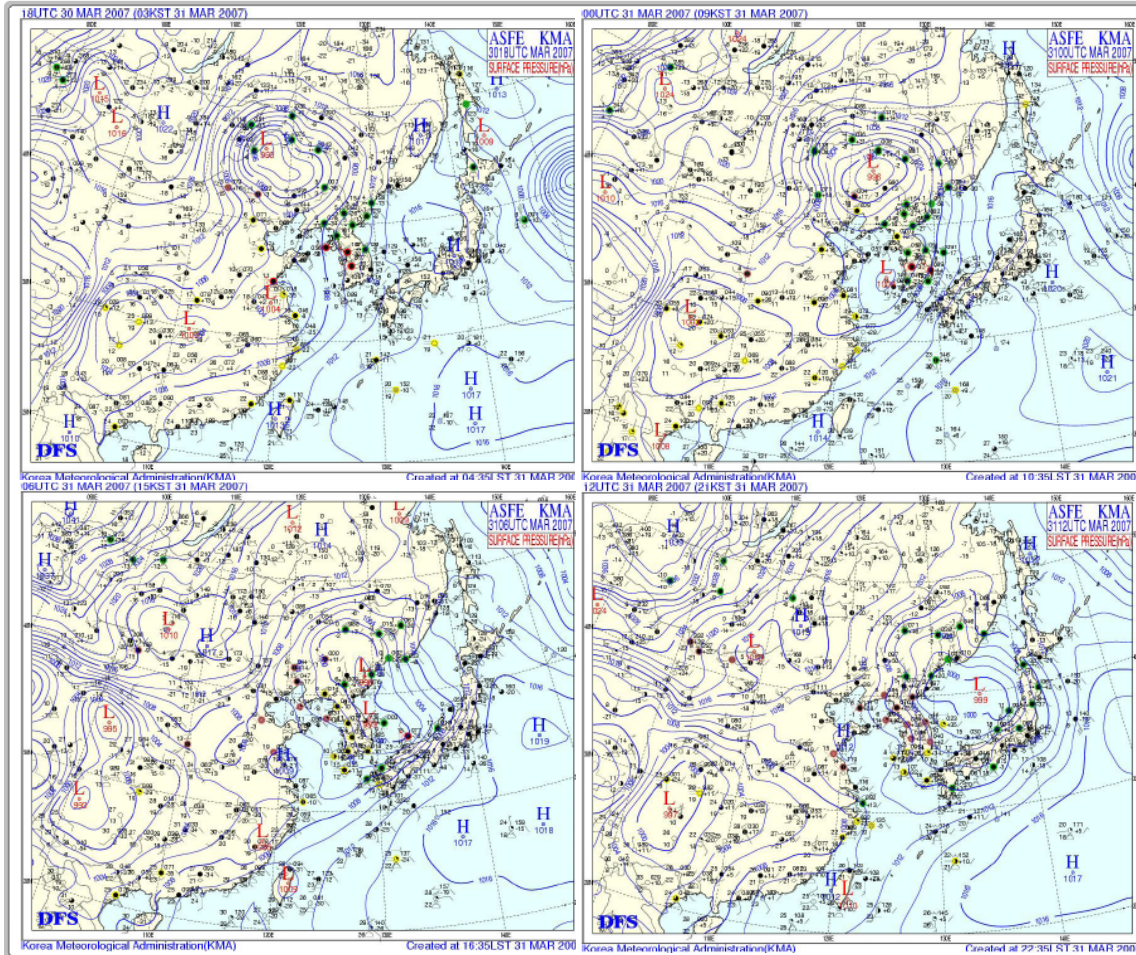


<그림 2.3.8> 너울성 고파 내습시의 풍향, 풍속 및 파랑자료

2.3.2 서·남해안 해양장파 발생

① 서해안 10번 발생사례 특성 분석 (' 07.03.31 : 고창 및 영광 지역)

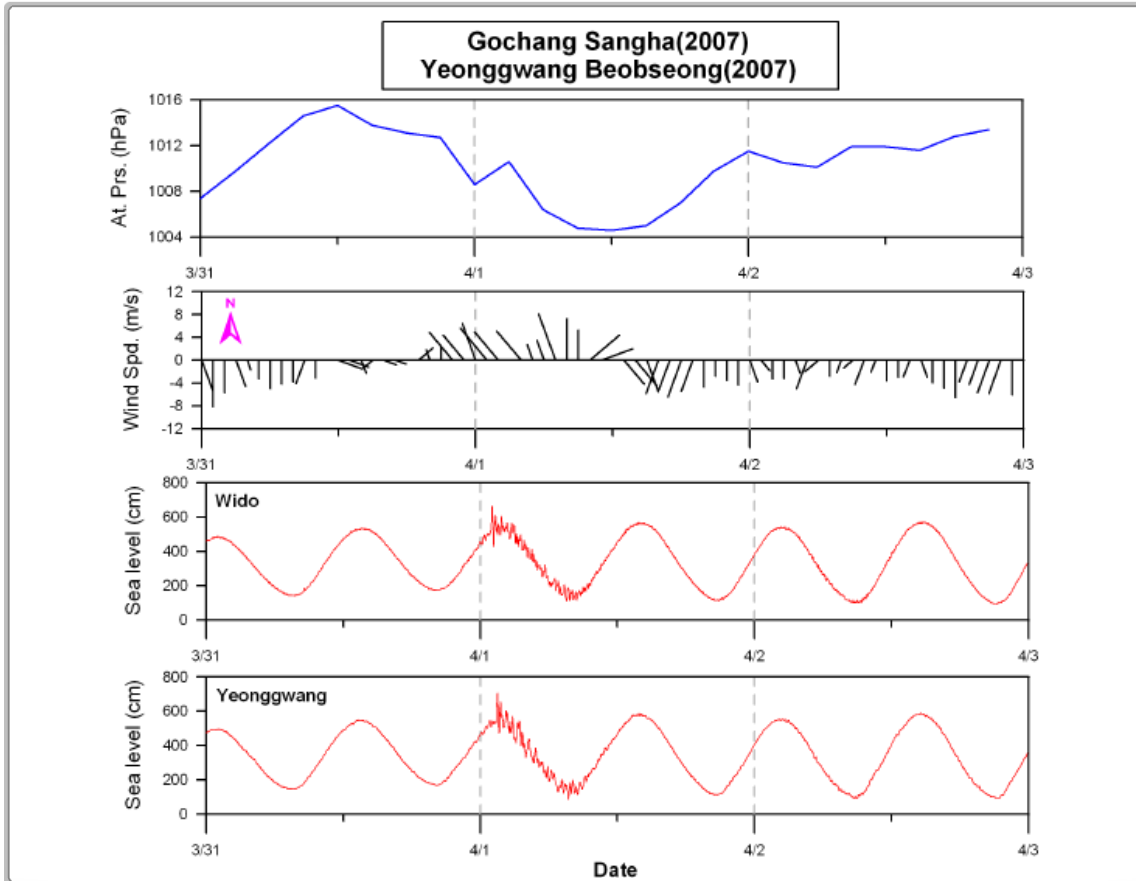
- 이상고파 발생 1일전부터 약 12 hPa 기압저하 현상 발생
- 7 ~ 8 m/s 남풍계열에서 북풍계열로 반전
- 장파주기 : 20 ~ 30 min , 최대파고 약 2 m



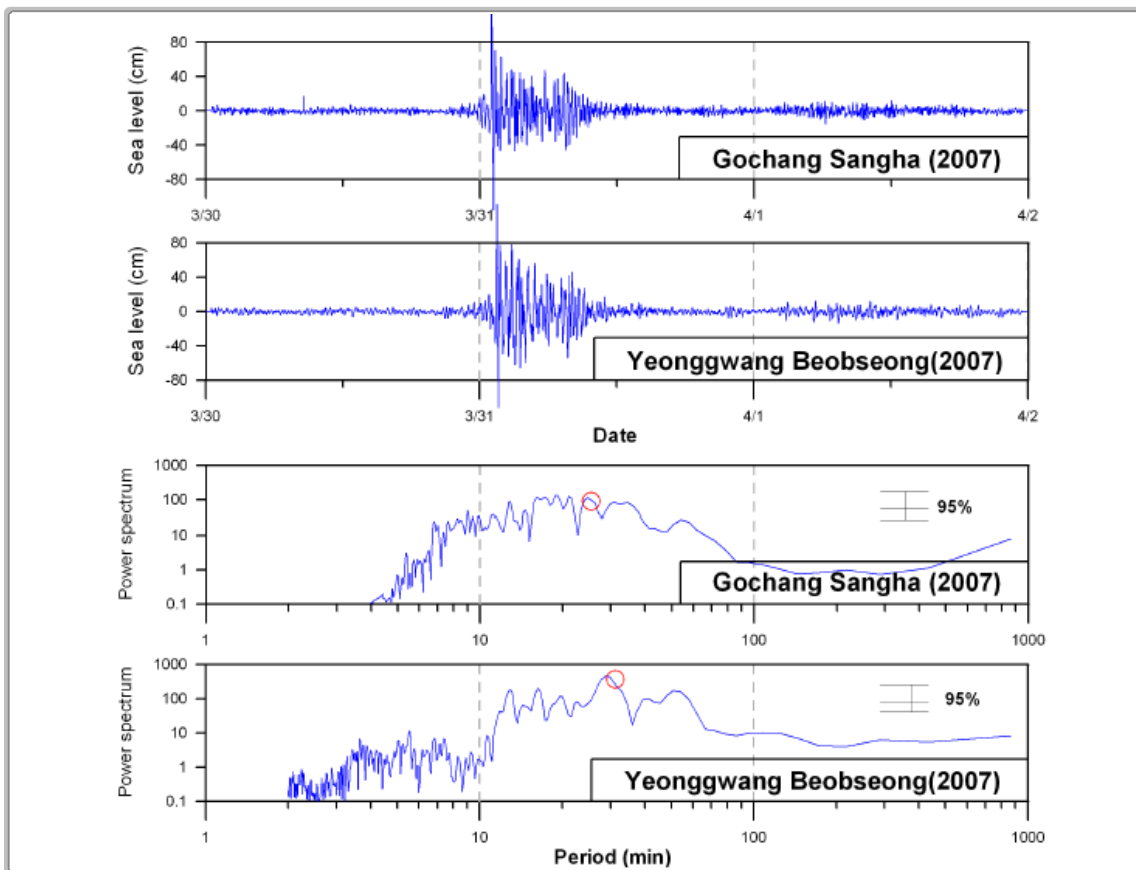
<그림 2.3.9> 해양장파 내습시 기압 배치도



<그림 2.3.10> 고창, 영광 이상장파 내습시 피해지역 및 현장사진



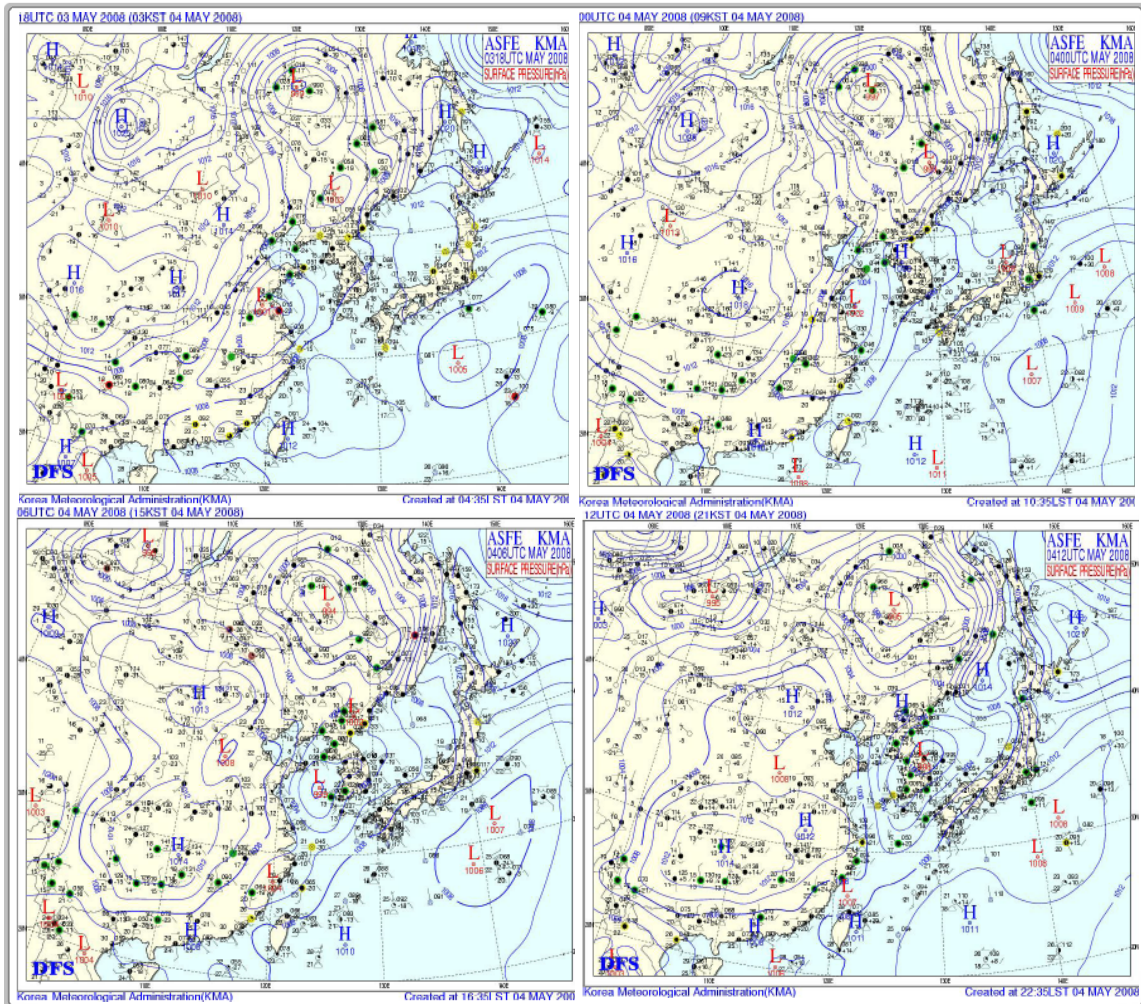
<그림 2.3.11> 목포, 영광, 위도에서 관측된 해면기압, 바람, 해수면 자료



<그림 2.3.12> 영광, 위도에서 관측된 조위자료로부터 해양장과 분석결과

☛ 서해안 11번 발생사례 특성 분석 ('08.05.04 : 대천 및 보령 지역)

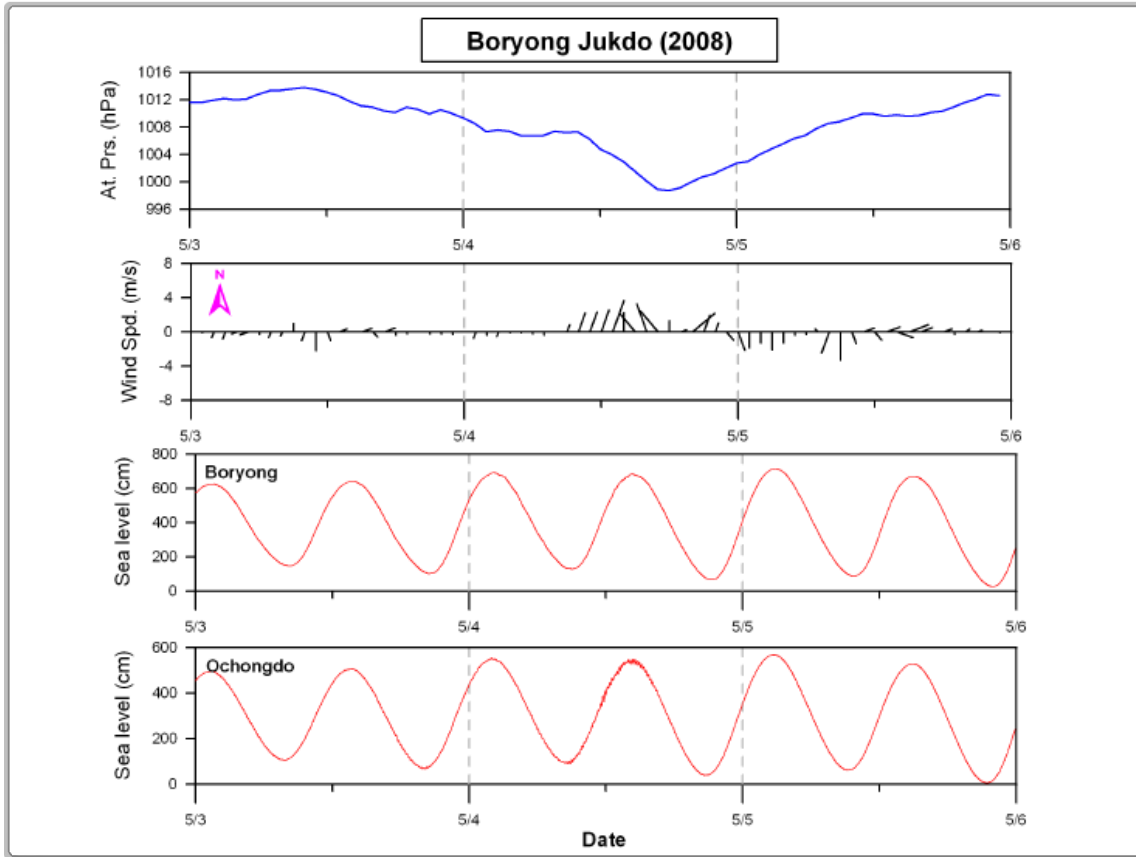
- 이상고파 발생 1일전부터 약 16 hPa 기압저하 현상 발생
- 4 ~ 5 m/s 남풍계열 바람이 관측
- 장파주기: 10 ~ 20 분, 최대파고 약 1.4 m (보령 죽도 관찰)



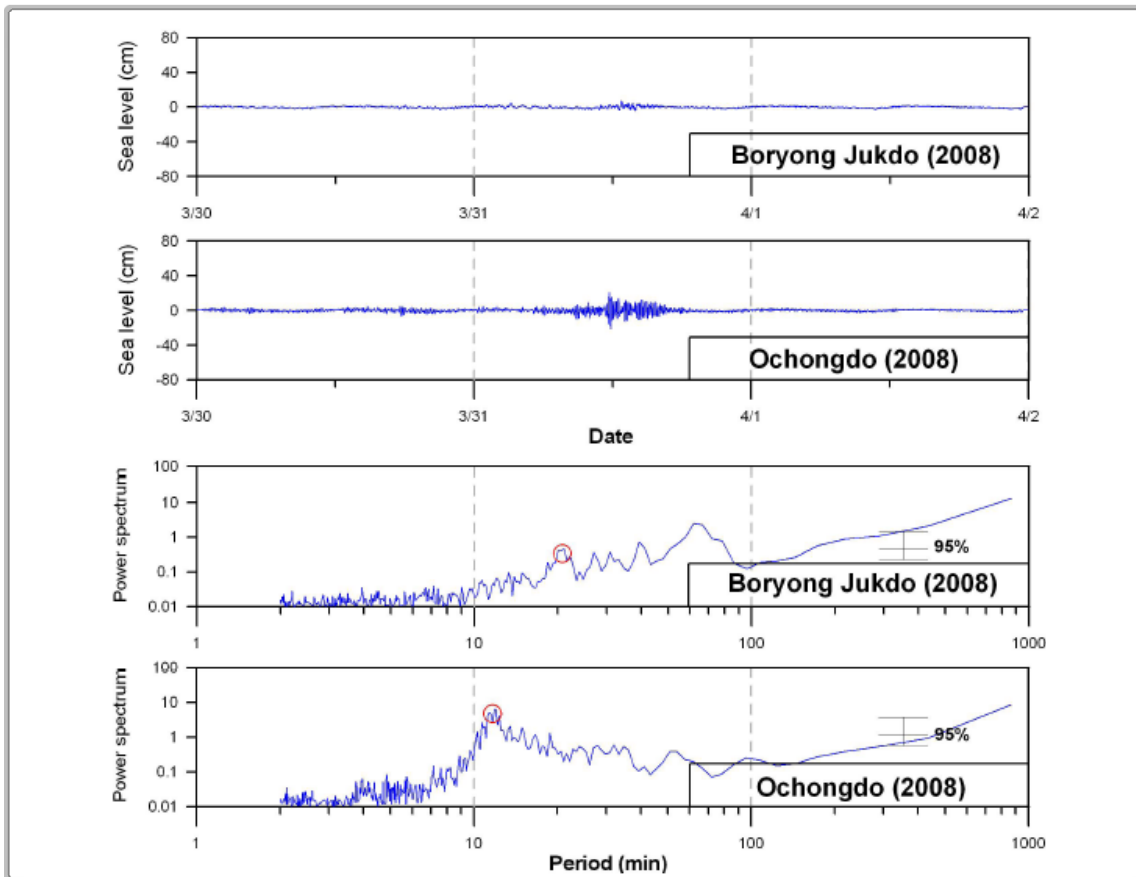
<그림 2.3.13> 해양장파 내습시 기압 배치도



<그림 2.3.14> 보령 이상장과 내습시 피해지역 및 현장사진



<그림 2.3.15> 보령, 어청도에서 관측된 해면기압, 바람, 해수면 자료



<그림 2.3.16> 보령, 어청에서 관측된 조위자료로부터 해양장과 분석결과

2.3.3 해수욕장 이안류 발생

② 해운대 지역의 특성 분석

- 1975년부터 1090년까지 해운대 해수욕장 이안류 사망사고 연평균 약 7명으로 근본적으로 이안류 사고가 빈번한 해수욕장(출처: 이태우著 '물을 읽자')에서 발생

<표 2.3.8> 해운대 연도별 이안류 사망사고

연도	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
사고	24	19	12	13	9	3	4	7	3	3
연도	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
사고	5	0	2	0	4	3	0	0	0	0

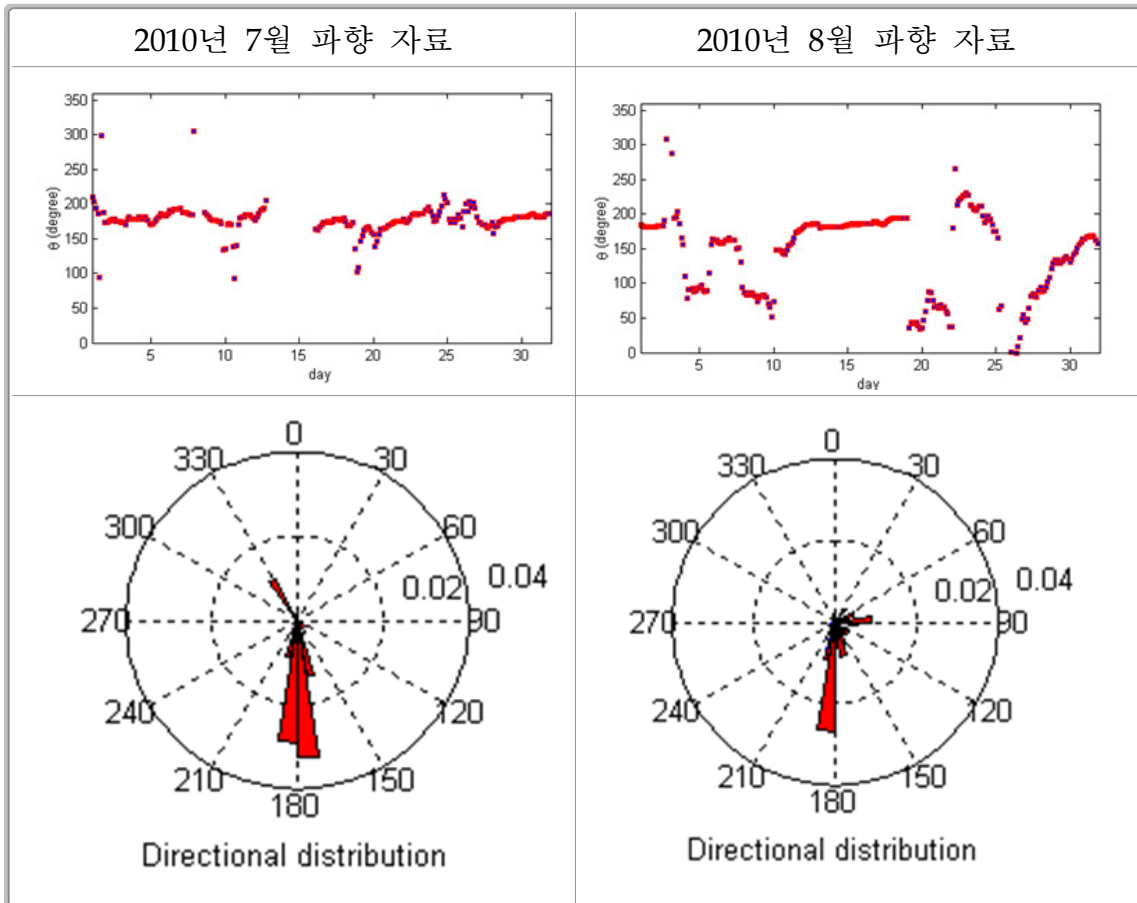


<그림 2.3.17> 해운대 위험이안류 발생상황 분석도

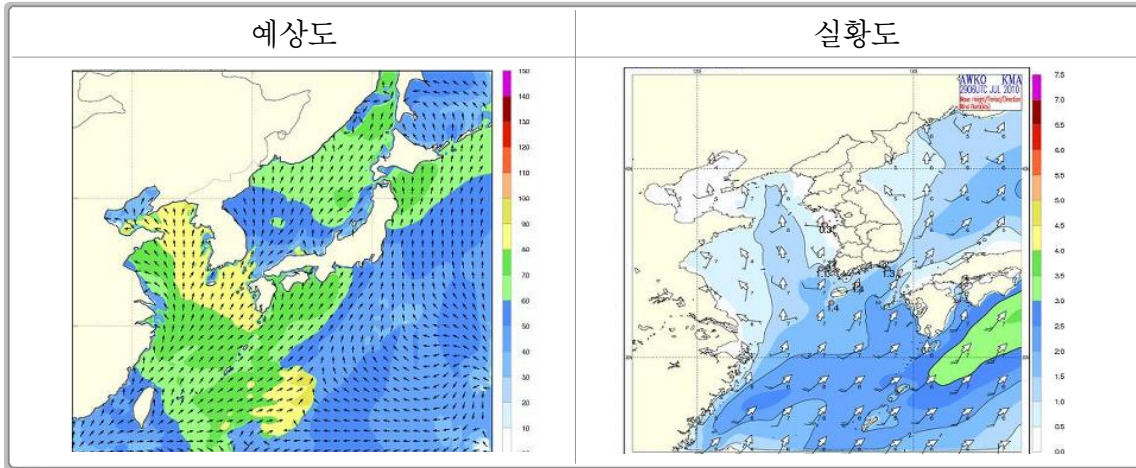
- 해운대 해수욕장은 남쪽으로부터 약 동쪽으로 18도 정도 열려있어 주로 남쪽으로부터 파랑이 유입되는 7, 8월 여름철 해수욕 시기에 이안류 사고 빈번히 발생.



<그림 2.3.18> 해운대 해안선 특성



<그림 2.3.19> 해운대 해수욕장 입사 파향 시계열 및 분포

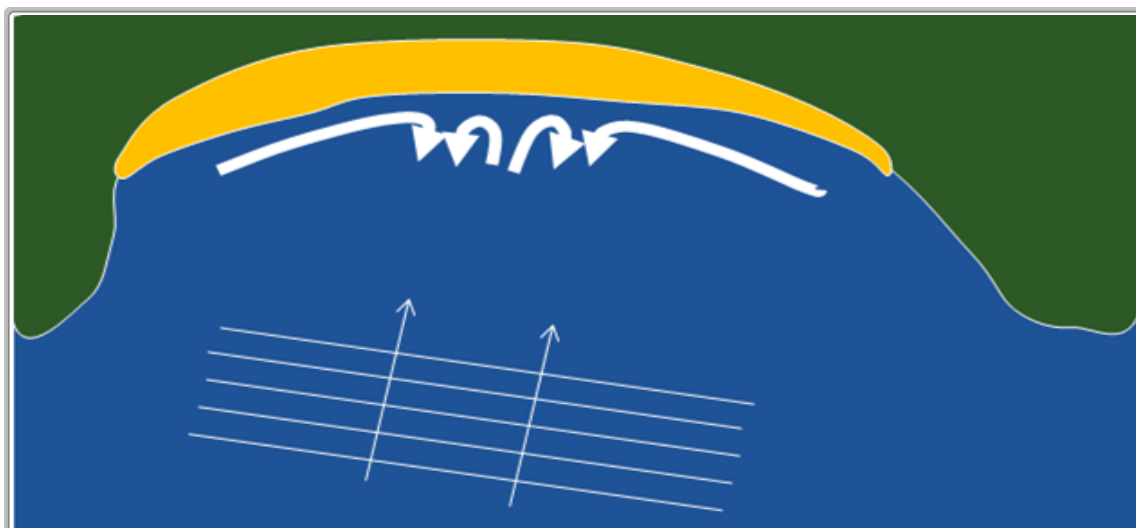


<그림 2.3.20> 2010년 7월 29일 이안류 사고시 평균파향 분포

- 해운대 해수욕장에서 발생하는 이안류의 발생 원인으로 해안 조건과 기상 조건을 분석하여 얻은 관련성을 제시하면 아래와 같음.

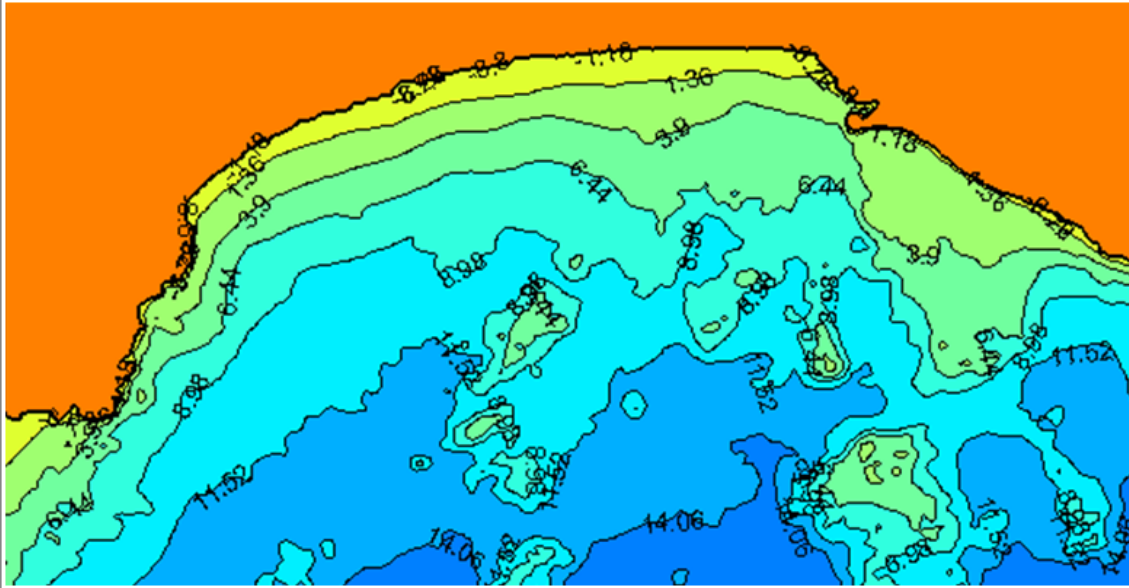
<표 2.3.9> 이안류 발생원인

분류	항목	해운대관련성	비고
해안건조	해저지형	강	쇄파대에서 파고변화를 일으켜 이안류 또는 해빈류 발생
	해안선형태	중	해안에서 수직으로 파랑 입사시 2번, 6번 망루 연안류의 집중으로 이안류로 발달
	해빈단면경사	약	이안류 발생에 영향력 없으나 이안류 크기에 영향 미침
해기상조건	파랑	강	여름철 남쪽 고에너지 고빈도 파랑입사 (직접적인 영향)
	해변바람	약	취송류 및 고층빌딩의 영향력 적음.
	연안해류 / 조류	약	발생에 미치는 영향력 적음. 만조시 유영한계에서 위험이안류 neck형성됨

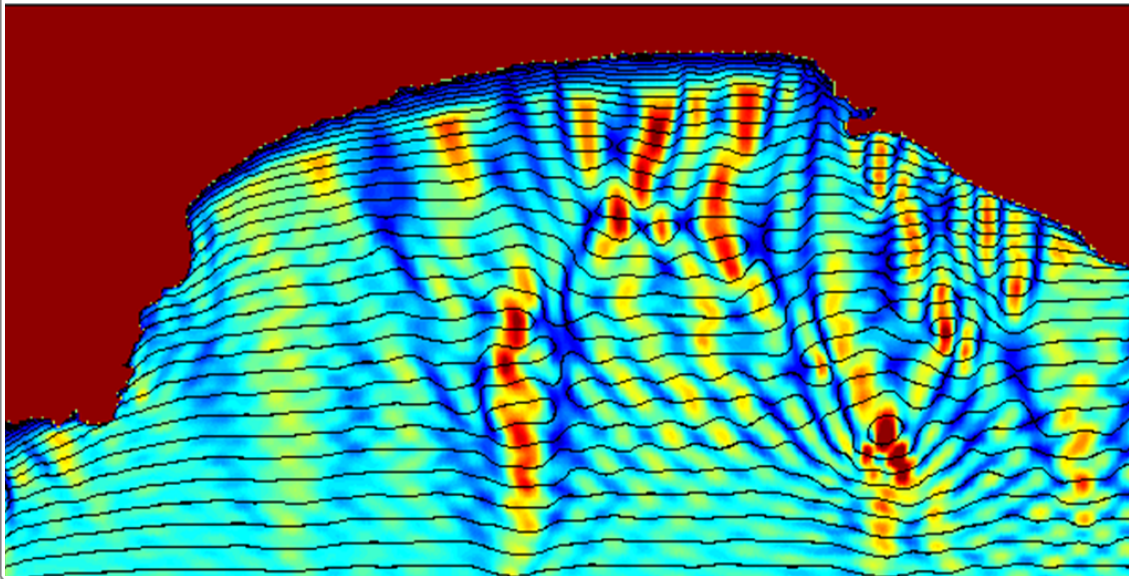


<그림 2.3.21> 해안선 곡률에 의한 해빈류 집중으로 이안류 발생 모식도

a) 해운대 해수욕장 전면 수심도



b) 정면 입사파에 대한 파고 변화



<그림 2.3.22> 암초로 인한 파랑 변형

2.3.4 연안 이상현상별 발생특성 분석결과

② 분석결과 및 토의

- 최근 연안 이상현상 의한 연안재해 사고 피해사례가 전국에 걸쳐 해역별로 서로 다른 특성을 가지고 발생되고 있음.
- 연안 이상현상은 해역별로, 동해안에서 너울성 고파, 서·남해안에서 해양장파, 해수욕장에서의 이안류 등이 빈발하여, 인명피해와 재산피해를 가져오고 있음.
- 연안 이상현상의 발생에 대한 초기 원인분석을 위하여, 최근 이상파랑이 빈번히 발생했던 동해안, 서해안 및 남해안에서 관측한 기상자료, 조위자료 및 파고자료를 분석하였고, 이를 통해 해역별 연안 이상현상의 발생원인 및 특성이 서로 상이함을 알 수 있었음.
- 해역별로 발생하는 연안 이상고파 특성은 뚜렷하게 구별되는데, 특히 동해안의 이상고파는 중력풍파 (gravity waves by winds : 3 ~ 15 초 주기의 파랑) 범주내 너울성 (10초 이상) 파랑에 의한 원인이 대부분이며, 서해안에서 나타나는 해양장파는 중력풍파 주기의 범위 이상 장주기파 특성이 나타나는 것으로 확인되었음.
- 자료분석 결과, 동해안에서 발생하는 너울성 고파랑은 동해 선풍과 겨울에 나타나는 서고동저형 기압배치에 의해 동해상에 발달하는 기압골에 그 발생원인이 있음.
- 서해안의 이상 해양장파는 주로 양쯔강 유역에서 발생하는 저기압의 이동과 관련되어 나타남. 특히, 저기압이 서해상을 통과하면서 저기압의 가장 앞쪽 부분에 대기압 점프현상을 일으켜 해상을 이동함.
- 이 대기압 점프의 이동이 해수면 변화를 만들어내고 이 때 만들어진 해양 장파와 공명을 일으켜 성장하게 되고, 이 장파가 해안가에 도달하면 이상파랑으로 나타나게 됨.
- 부산 해운대 해수욕장에서의 이안류 현상은 주로 7, 8월 여름철, 남동풍이 발달할 때 주로 발생. 즉, 입사파의 방향이 해안선과 수직을 이루어서 들어올 때가 발생 가능성이 큼.

03 국내·외 연구 및 기술개발 동향

3.1 국내·외 연구동향

3.2 국외 대응기술

3.3 국내 대응기술

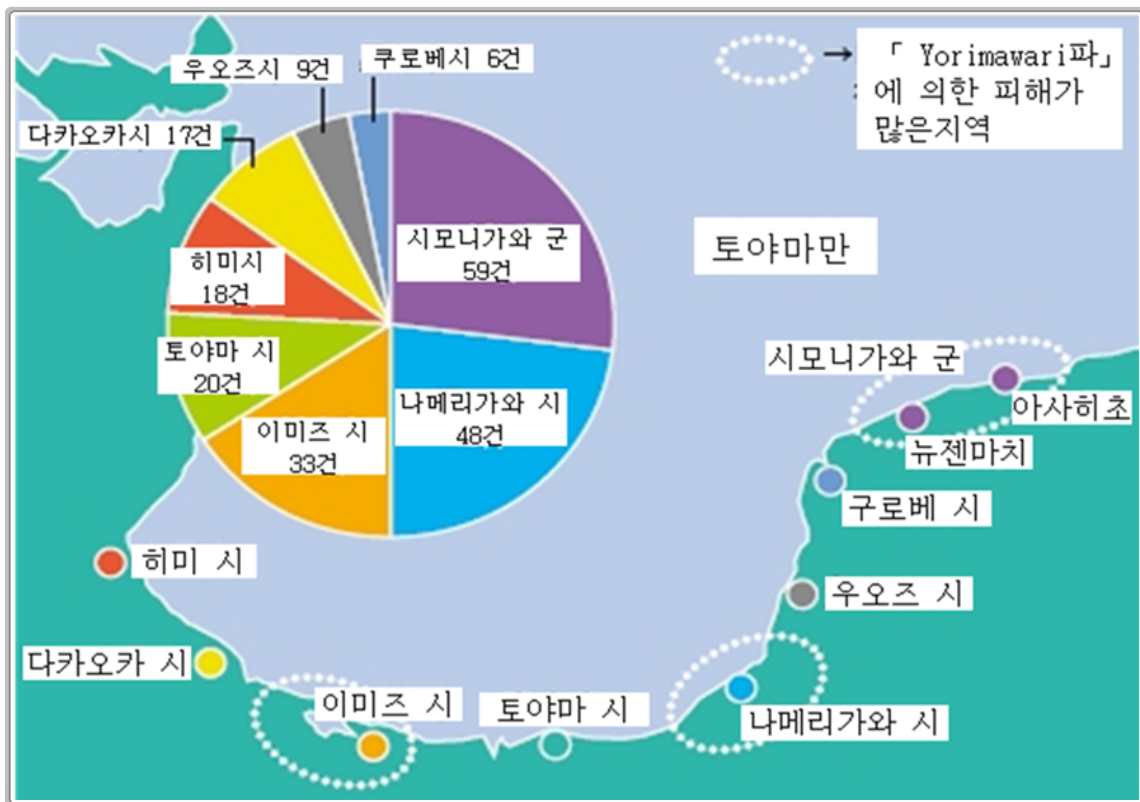
제3장 국내·외 연구 및 기술개발 동향

3.1 국내·외 연구동향

3.1.1 너울성 고파 연구사례

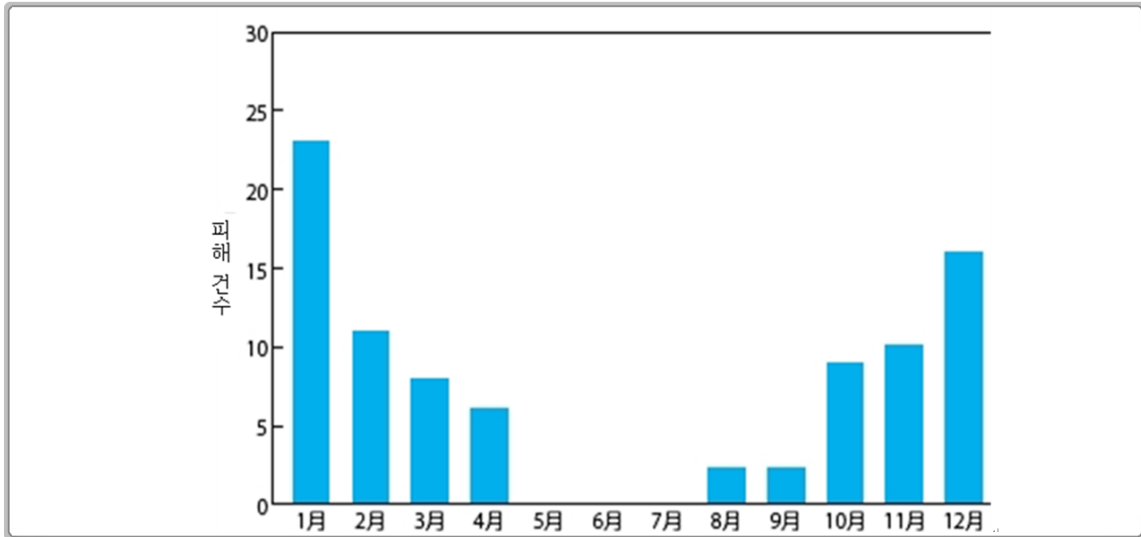
1 일본의 너울성 고파 특성

- 일본에서도, 동해에서 발생한 너울성 고파(주기 10초 ~ 15초)에 의하여 연안에서 큰 피해를 입고 있음. 동해에서 발생한 후 일본 연안에 도착하여, 특히 도야마만(富山灣) 연안에 큰 피해를 입히고 있는 너울성 고파는 요리마와리(Yorimawari)파라고 불림.
- 그림 <3.1.1>은 도야마만의 지역별 피해상황을 나타낸 것임.



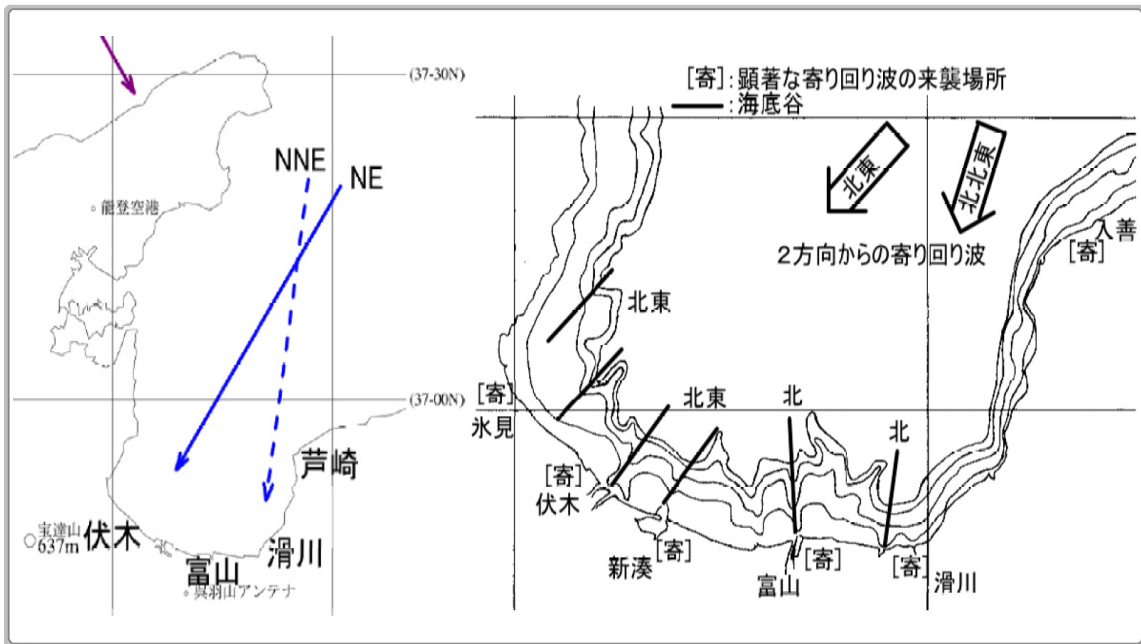
<그림 3.1.1> Yorimawari파에 의한 과거 피해상황

- 도야마만은 노토반도(能登半島)에 의해 동계계절풍에 의한 북서방향의 파도가 차단되어 다른 연안에 비해 겨울에도 파도가 적고 평온한 해역임. 반면, 북~북동 방향의 파도에 대해서는 이를 차단하는 것이 없고 수심이 급격히 변화하는 연안으로 매년 10월~4월에 걸쳐 주기 10초 이상의 너울성 파도가 내습하여 재해를 일으키고 있음.



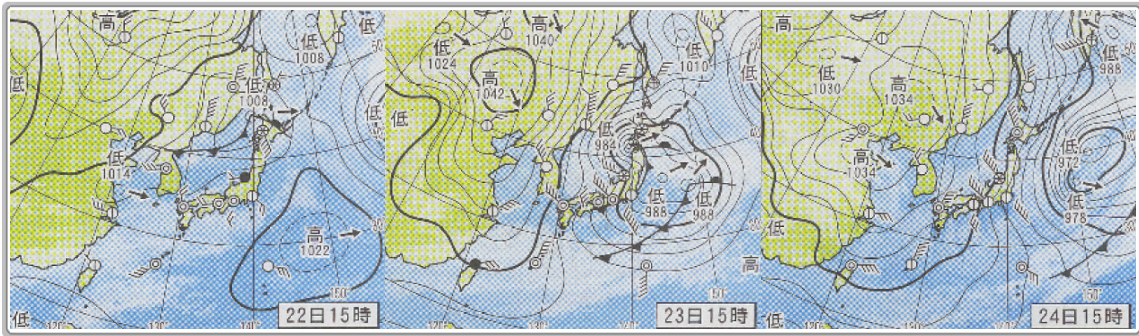
<그림 3.1.2> 요리마와리 파의 발생 및 피해시기 분포

- <그림 3.1.3>은 동해연안인 도야마만에 요리마와리 파가 습격하는 사례를 보여주며, Kawai (2009)는 이 지역에서 요리마와리 파가 파랑~해류 상호작용의 영향으로 피해가 더 크게 나타난다는 연구결과를 제시하였음.



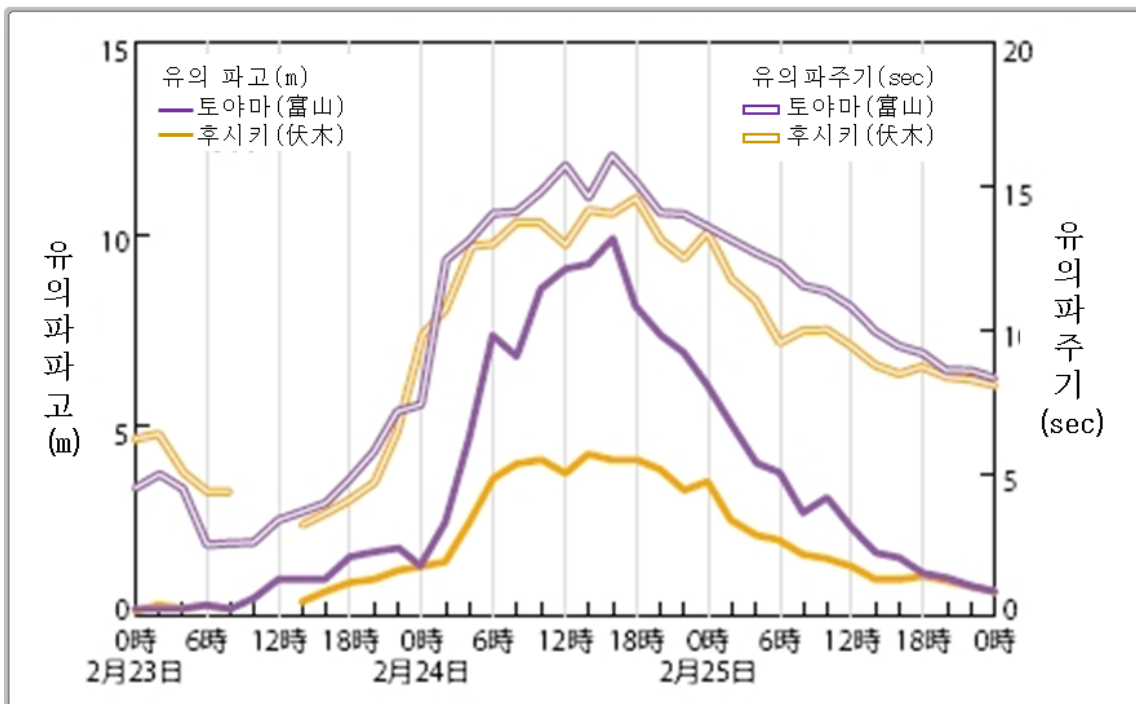
<그림 3.1.3> 일본 도야만으로 요리마와리의 침투경로와 해저지형 분포

- 특히, 2008년 2월 도야마만에 요리마와리 파가 내습한 22일~24일의 일기도를 보면<그림 3.1.4>, 저기압이 일본해를 통과하여 홋카이도 부근에 만나질 이상 정체하였고, 이 저기압에 의해 홋카이도 서쪽해상에서 북풍의 강풍(20m/s이상)이 만나질 정도 계속됨에 따라 큰 풍랑이 발생하였음. 이 풍랑이 너울이 되어 남쪽으로 내려감에 따라 요리마와리 파가 크게 관측되었음.

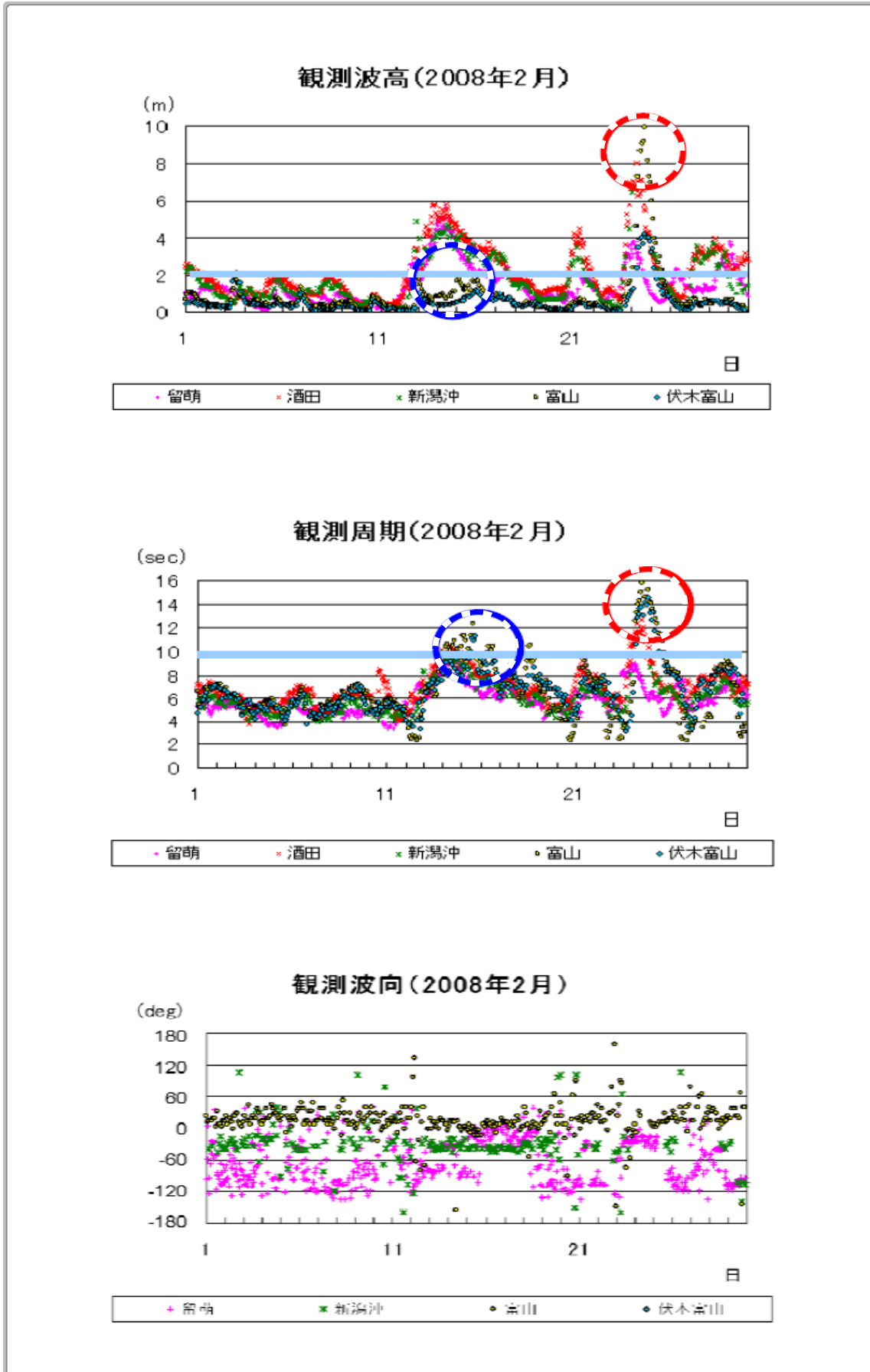


<그림 3.1.4> 요리와마리가 도야마만을 내습한 2008년 2월 22 ~ 24일의 일기도

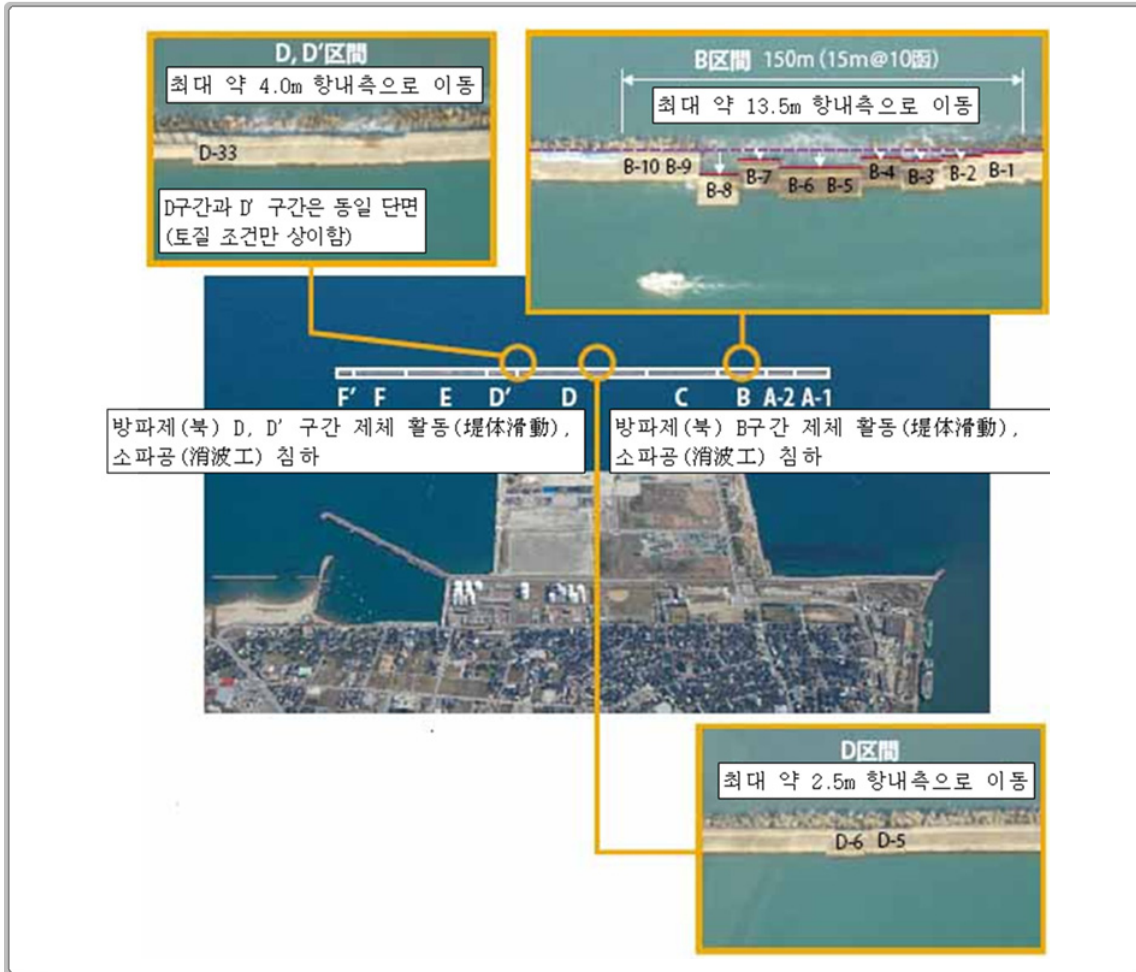
- <그림 3.1.5>에서, 2008년 2월 중에 도야마 만에서 관측된 파고, 주기 및 파향의 변화를 보면, 2월 24일에는 후시키(富山)에서 파고 10 m , 주기 16초의 큰 너울성 고파가 관측되었음.
- <그림 3.1.6>은 동계 너울성 고파랑 내습으로 인한 후시키토야마항(후시키 지구)의 북방파제 피해 상황(2008년 2월 24일)을 보여 주고 있음. 북방파제가 최대 약 13.5m 밀려 활동하는 등 막대한 피해가 발생하였음.
- 요리와마리 파의 국지적인 큰 파고의 내습특성에 대하여, 두 가지 효과가 주 원인으로 제시되고 있음. 하나는 대마난류에 의한 파랑-해류 상호작용으로 전파방향이 두 가지로 나타나며 파형의 변화가 발생하는 기작이고, 다른 하나는 만내에 존재하는 지형변화로서 연안부근까지 발달되어 있는 해저곡의 영향임.



<그림 3.1.5> 너울성 고파랑 피해 발생시 관측된 파랑특성



<그림 3.1.6> 2008년 2월 도야마만에서 관측된 파고, 주기 및 파향

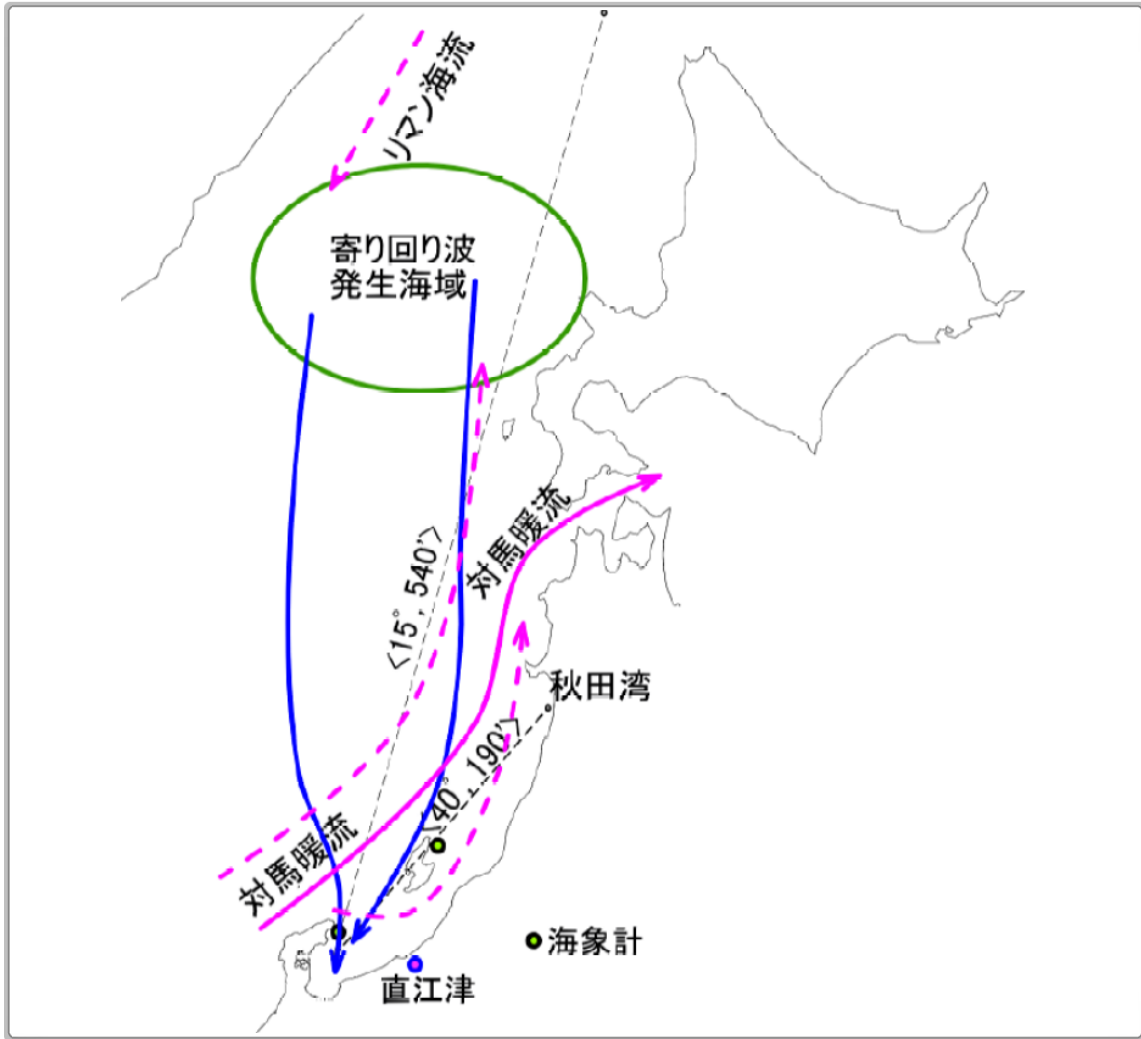


<그림 3.1.7> 후시키 지구의 북방파제 피해 상황 (2008년 2월 24일 동계너울성 파랑)



<그림 3.1.8> 후시키토야마항 북방파제를 내습하는 Yorimawari파 (伏木富山港-후시키(伏木)지구).

- <그림 3.1.9> 는 홋카이도 서쪽해역에서 전파해오는 요리마와리의 전파경로를 나타냄. 요리마와리가 곧바로 도야마만에 침입한 것이 아니라, 쓰시마 난류를 횡단할 때 우측으로 약 30° 편향하여 두 방향에서 도야마만에 침입하였다는 것을 의미함. 즉, 파랑이 흐름 속을 전파하는 경우는 파향이 변화되므로 특히 너울성파도의 예측에서는 이것을 고려하는 것이 중요함.



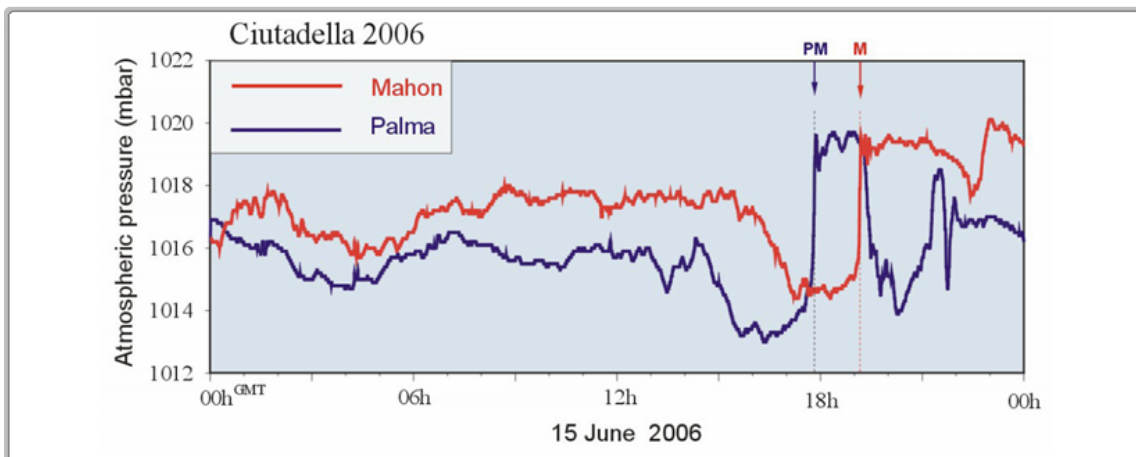
<그림 3.1.9> 인공위성 자료 분석에 의한 요리와마리의 전파경로(청색 실선)

- 이러한 두 방향의 진로로 인하여 나메리카와(伏木)에 큰 요리마와리가 밀려오는 시각과 후시키(富山)에 큰 요리마와리가 밀려오는 시각은 일반적으로 수시간정도 차이가 있으며 이것이 「요리마와리의 시간차공격」으로 잘 알려져 있음.
- 요리마와리의 시간차 공격에 대해서는 두 방향에서 침입하는 요리마와리의 에너지가 최대가 되는 시간이 수 시간 정도 차이가 있기 때문에 북북동에서의 요리마와리가 도달하는 나메리카와와, 북동에서의 요리마와리가 도달하는 신미나토나 후시키에서는 큰 요리마와리가 밀려오는 시간이 수 시간 차이가 나는 것으로 해석하고 있음.

3.1.2 해양장파 연구사례

1 해양장파의 발생원인

- 대기현상에 의해 발생하는 해양 장주기 진행파(meteotsunami)의 발생원인은 다음과 같이 대기중력파(Atmospheric gravity waves), 전선통과(Frontal zones), 기압점프(Atmospheric pressure jumping) 진행, 스콜(Squalls)선의 통과, 태풍이나 강한 온대성 저기압 통과 등 5 가지 정도를 들 수 있음. 이러한 여러 가지 기상 현상은 단독적으로 일어나는 경우보다 대부분 중첩·연결·복합되어 일어남.
- 먼저, 대기중력파는 공기 덩어리가 어떤 원인에 의해 강제적으로 수직 상승한 후 중력에 의해 제자리로 복원되면서 생기는 진동이며, 이러한 대기중력파에 의해 해양에서는 수십 분 주기의 장파가 발생하기도 함. 지중해에서의 대기중력파의 발생조건은 (Jansa et al, 2007)
 - 1) 지상일기도에서 저기압 전면에 약한 surface depression이 나타나며,
 - 2) 중상층 850 hPa 일기도에서 따뜻한 공기(대륙)가 찬 바다의 공기 위로 유입. (난공기의 유입은 높은 고도의 500hPa, 300hPa 일기도에서도 나타남)
 - 3) 중상층에서는 따뜻한 공기(대륙)와 찬 공기(해양)가 만나면서 역전층이 생성.
 - 4) 역전층 위로 건조공기(대륙)로 인한 약한 안정 또는 조건부 불안정 층이 형성.
 - 5) 중상층에서 남서풍 계열의 강풍 발생 및 강한 수직적 풍속의 차이가 발생.
- 다음은 스콜선의 통과에 의한 기압점프 수반현상으로 스콜선은 연장된 선상에서 발달하는 뇌우의 띠로서 발생지역은 일반적으로 한랭전선을 따라 발달하거나 한랭전선 전방의 온난 구역에서 흔히 발달함. 발생조건은 강한 연직 바람 shear와 불안정한 대기상태일 때이고, 강화요건은 하층 습윤 기층 바로 위의 건조한 기층이 존재하는 경우임. 초기 유발조건으로 한랭전선과 온난전선을 따라 나타나는 수렴하는 대기파동에 의한 상승 운동이 유발됨. 이러한 기상조건의 결과로 갑작스럽고 강한 돌풍(gusts)이 수분 동안 지속되다 사라지면서 한 번의 급격한 기압상승(air pressure jump)이 발생함. <그림 3.1.10>

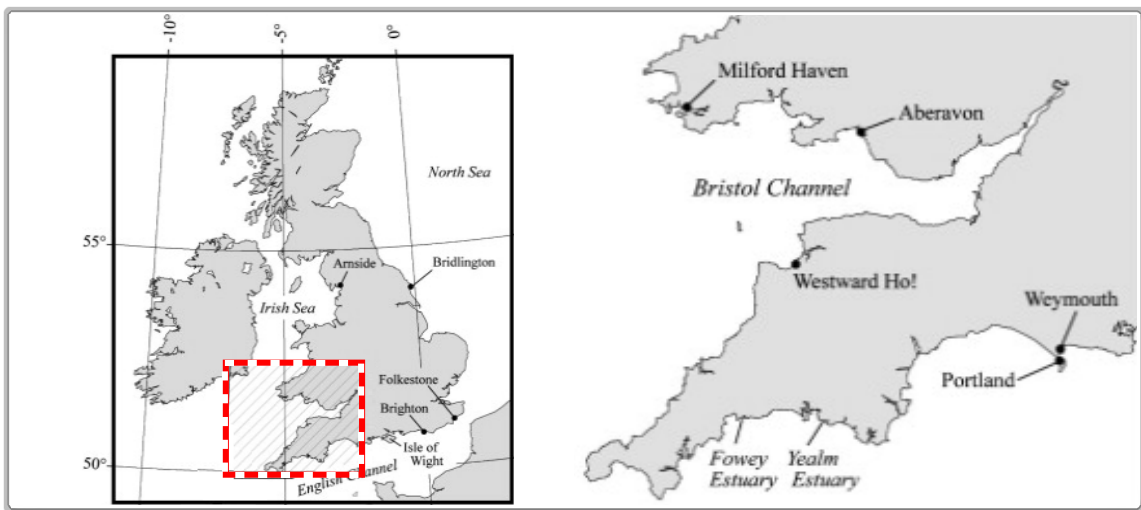


<그림 3.1.10> 2006년 지중해 스페인 도서지역에서 관측된 대기압 점프

2 해양장파의 피해사례

① 영국

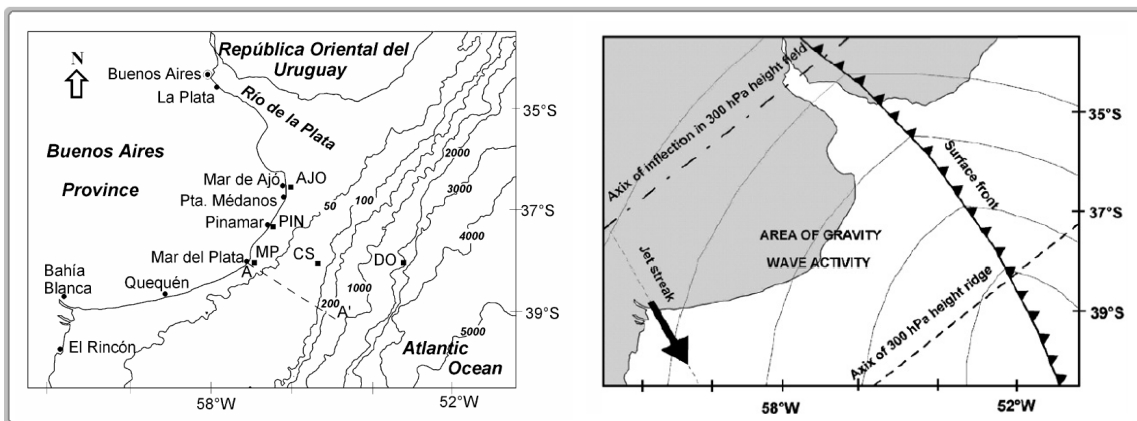
- 영국 남부에서도 장파(기상 쓰나미)가 발생하여 해안에 큰 피해준 기록이 오래전 부터 남아 있으며, Haslett et al.(2009)은 1892년부터 1966년까지 연안에서 큰 피해를 입힌 원인을 조사하고 분석하였음 <그림 3.1.11>. Haslett et al.(2009)은 특별히 여름철에 이동하는 소나기성 폭풍(thunderstorm)에 의해 천해 지역에 장파가 발생하고 이것이 해안으로 들어와 큰 피해를 입혔다고 주장함. 기상 쓰나미(Meteorological tsunamis or meteo-tsunamis)는 쓰나미와 같은 특성을 가지나 기상학적인 요인으로 만들어진 파임.(Defant, 1961 ; Rabinovich and Monserrat, 1996, 1998; Bryant, 2001; Gonzalez et al., 2001)



<그림 3.1.11> 장파(meteorological tsunami)가 발생하여 피해를 입힌 지역(Haslett 등, 2009)

② 아르헨티나

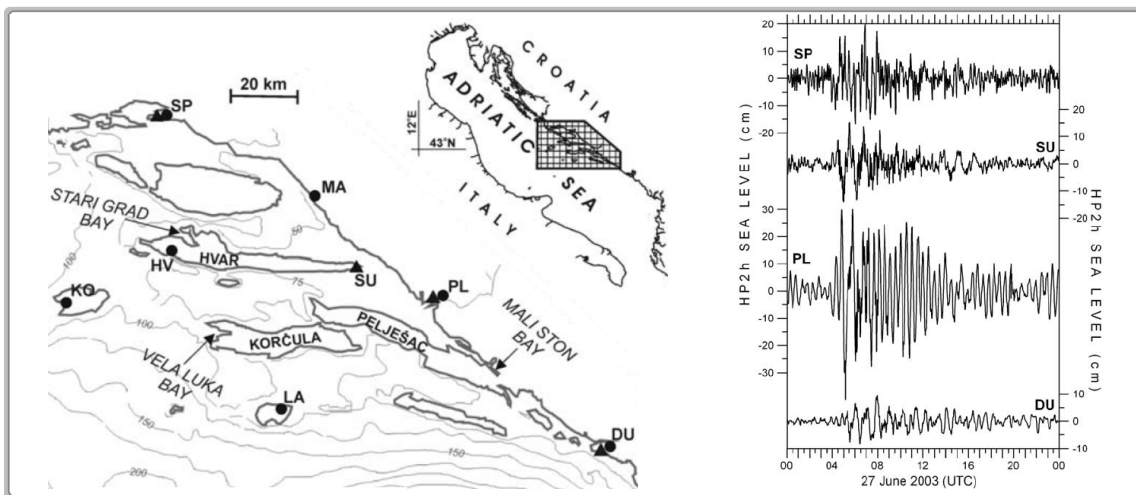
- 1985년 10월 13일에 아르헨티나 부에너스 아이레스 지방에 해양 장파 발생.
- 대기 중력파가 수심이 얇은 해양 위를 이동하는 것이 해양 장파를 일으키는 데 중요한 요인임. 그리고 이때 대기 중력파의 이동속도와 방향이 해양 장파의 성장률에 직접적인 영향이 있음. <그림 3.1.12>



<그림 3.1.12> 아르헨티나에 발생한 장파 (a) 부에노스 아이레스 지방 (b) 대기압 조건

➤ 크로아티아

- 1978년 6월 21일 Vela Luka만에 장파가 도착하여 항내의 많은 선박이 파손되고 침수 피해를 입었음. 이 장파는 남서에서 북동쪽으로 이동한 대기압 교란이 발생 원인이며(Orlic, 1980), 항내부로 내습하면서 천수변형과 항만공진의로 그 진폭이 커졌음.
- 2003. 6. 27 Stari Grad 만과 Mali Ston 만에 도착한 장파는 최대 진폭이 1.3 m 이며 해안도시에 침수 피해를 입혔음. 이 때 대기압 점프는 북서에서 남동 방향으로 이동하였으며, Vilibic 등(2004)은 이와 같은 장파의 이동을 2차원 수치 모델을 통하여 재현하였음. <그림 3.1.13>
- 1978년 6월 Vela Luka 만과 2003년 6월에 Stari Grad 만과 Mali Ston 만에 발생한 해양 장파는 대기압 교란의 이동 속도가 약 22 m/s로 같으나, 전파 방향의 차이가 있음. 두 지역에 장파가 도착한 후에 발생한 해수면은 두 해만의 고유 진동주기의 차이로 인하여 Vela Luka의 경우 약 15분 주기로, Stari Grad 만은 약 10.6분 주기로 진동하였음.
- 2007년 8월에도 크로아티아 Ist섬에 최대 진폭이 4 m이고 주기가 약 10~15분인 장파가 도착하여 해안을 침수 시켰음. (Kozulic 등, 2008; Sepic 등, 2008)<그림 3.1.14>



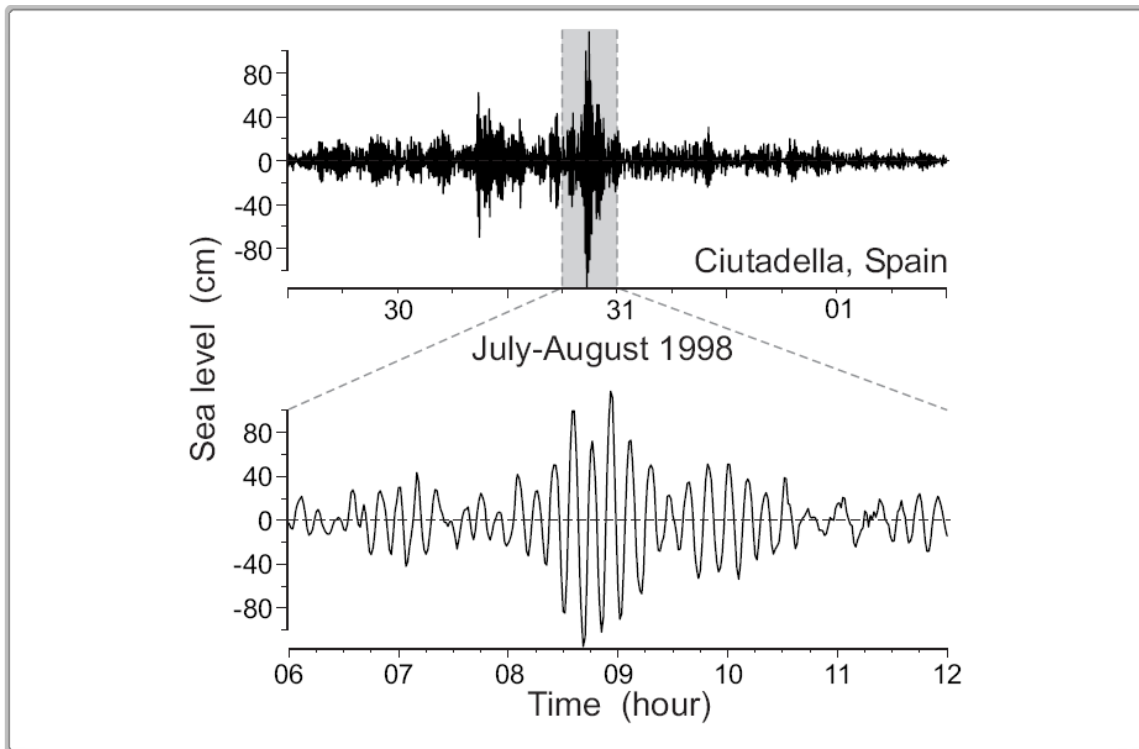
<그림 3.1.13> 크로아티아 Stari Grad 만, Mali Ston 만의 위치(Vilibic, 2004) 및 2003년 6월에 27일에 크로아티아 해안에 도착한 장파



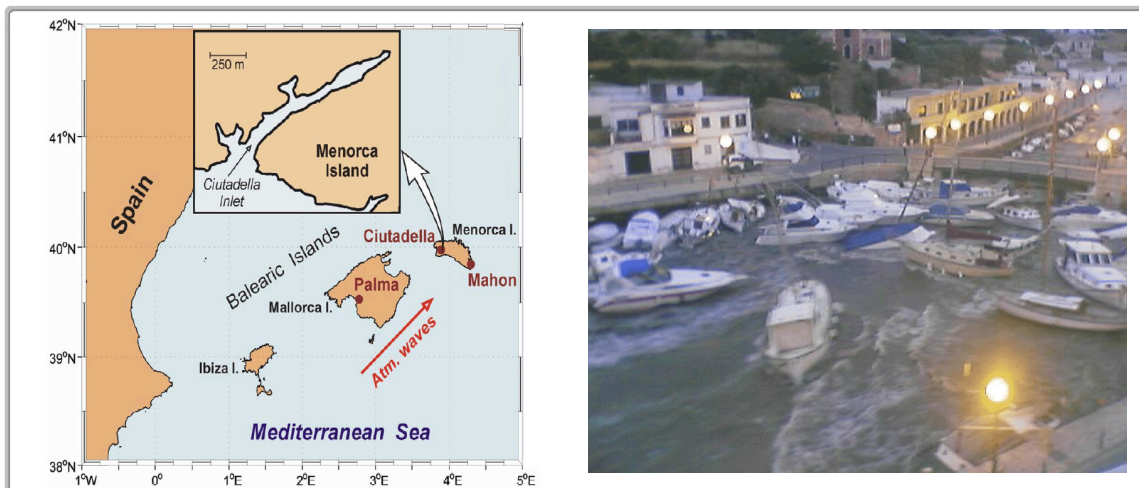
<그림 3.1.14> 해수가 침범한 Vela Luka의 마을

스페인

- 스페인의 Balearic 섬의 해안에 해양 장파가 도착하여 피해를 주는데 Catalan 해안에 이상파랑은 주로 6월과 9월 사이에 기상 변동으로 발생하는 것으로 알려져 있음. <그림 3.1.15> 늦은 봄부터 여름까지 지중해 서측의 기상상태가 기상 교란을 발생시키기 좋은 조건에 있음. (Tintore 등, 1988)
- 2006년 6월 15일과 2007년 6월 22일에 항구에 도착한 장파는 항만에 큰 피해를 입혔음<그림 3.1.16>. 이 장파는 대기압 교란이 22~30 m/s의 전파속도를 갖고 수심이 얇은 천해 위를 남서쪽에서 북동쪽으로 이동하면 Ciutadella 항에 장파가 도착하여 피해를 주었음. (Montserrat 등, 1991; 2006)



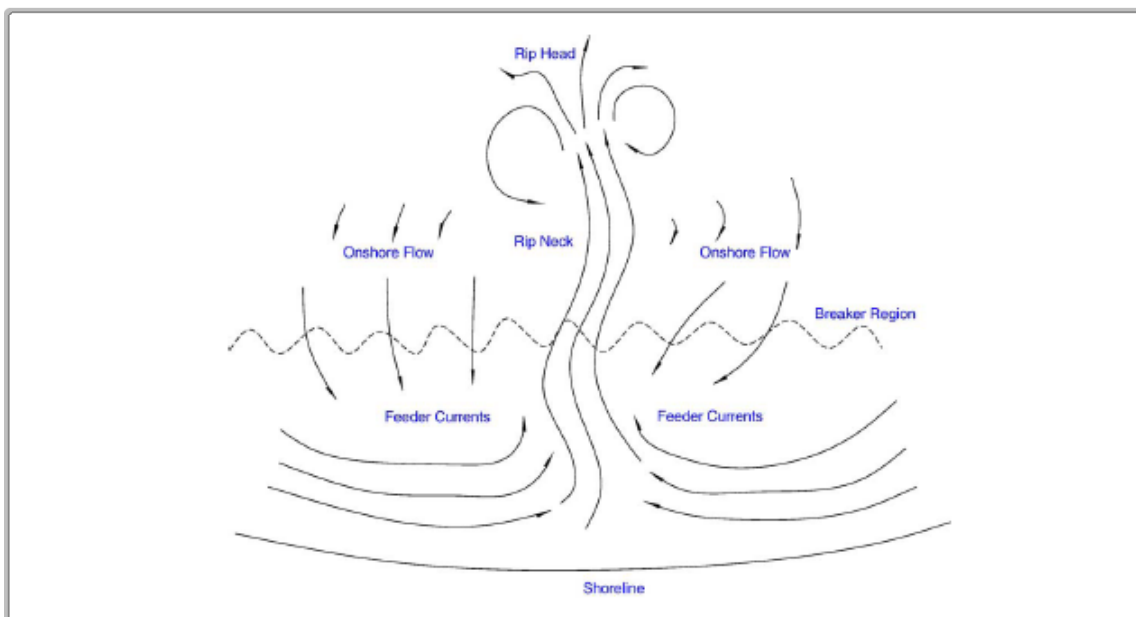
<그림 3.1.15> 1998.7.31 해양장파와 부진동에 의한 해수면 변화(Monserrat 등, 2006)



<그림 3.1.16> 2006년 6월 15일에 스페인 Ciutadella 항에 도착한 장파

3.1.3 이안류 연구사례

- 미국은 20세기 초기부터 해안표사이동과 해수욕장 익사사고의 주범으로 이안류에 대하여 주목하기 시작했으며 유럽은 연간 4000-6000명이 이안류로 인하여 사망한다고 보고되고 있으나 최근 인터뷰 결과 3-4%만이 이안류의 위험을 알고 있을 정도로 그에 대한 홍보 및 연구는 미미한 편
 - USLA(United States Lifesaving Association)는 미국의 연간 이안류로 인한 사망자가 100명을 넘고 있으며 점점 증가하여 150명에 육박하고 있음.
 - 플로리다 주의 경우 3년간 사망사고를 낳은 치명적 이안류가 364번 발생한 것으로 보고하고 있음. 미국 플로리다 주의 Volusia County 해수욕장에서 2009년 6월에는 3일간 500명이 구조될 정도로 빈번히 발생함.
- 국외 연구는 1936년 Shepard에 의하여 처음 이안류 현상이 보고된 이후 잉여용력 이론등장, 이안류(해빈류) 모형개발, 이안류 현장종합관측, 예보기술 개발 등으로 연구가 진화되는 과정임.
 - ① 연구의 태동기(1940~1960년)
 - Shepard(1936), Shepard et al.(1941)와 Munk(1949), Shepard and Inman(1951)
 - 토사이동과 해안선 변화의 원인규명 차원에서 이안류 현상에 관심을 갖기 시작.
 - Beach가 uniform하다면 수면에서 Mass flux가 해안으로 작용하고 다시 해저면을 타고 매우 미약한 흐름인 undertow가 발생(Longuet-Higgins, 1953)하는 수직적 순환 발생
 - Beach가 uniform하지 않으면 수직적 순환보다 수위가 낮은 곳으로 흐름이 발생하는 평면적 circulation발생으로 이안류 형성



<그림 3.1.17> Shepard et al.(1941)에 의하여 제시된 이안류 발생 개념도

② 잉여응력 이론 등장 및 수치모형 태동기(1960~1980년)

- Longuet-Higgins and Stewart(1960, 1961, 1962, 1964), Bowen(1969), Longuet-Higgins (1970), Thornton(1970), Noda(1974), Liu and Mei(1976), Tanaka and Wada(1984)
- 잉여응력의 유도로 쇄파에 의한 수위상승현상을 설명하게 되었으며 쇄파가 되지 않는 수심이 깊은 곳으로 이안류가 빠져나가는 현상이 이론적으로 규명됨
- Bowen and Inman(1969), Dalryple(1975)은 쇄파고 변화를 일으켜 이안류 발생에 영향을 미치는 원인으로 입사파랑의 상호작용, Edge wave 제시
- 천수방정식에 잉여응력을 적용하는 해빈류(이안류) 수치모형이 개발됨

③ 불규칙 파랑/ 3차원/ 비선형 해빈류모형 등 수치모형 진화기(1980~1990년)

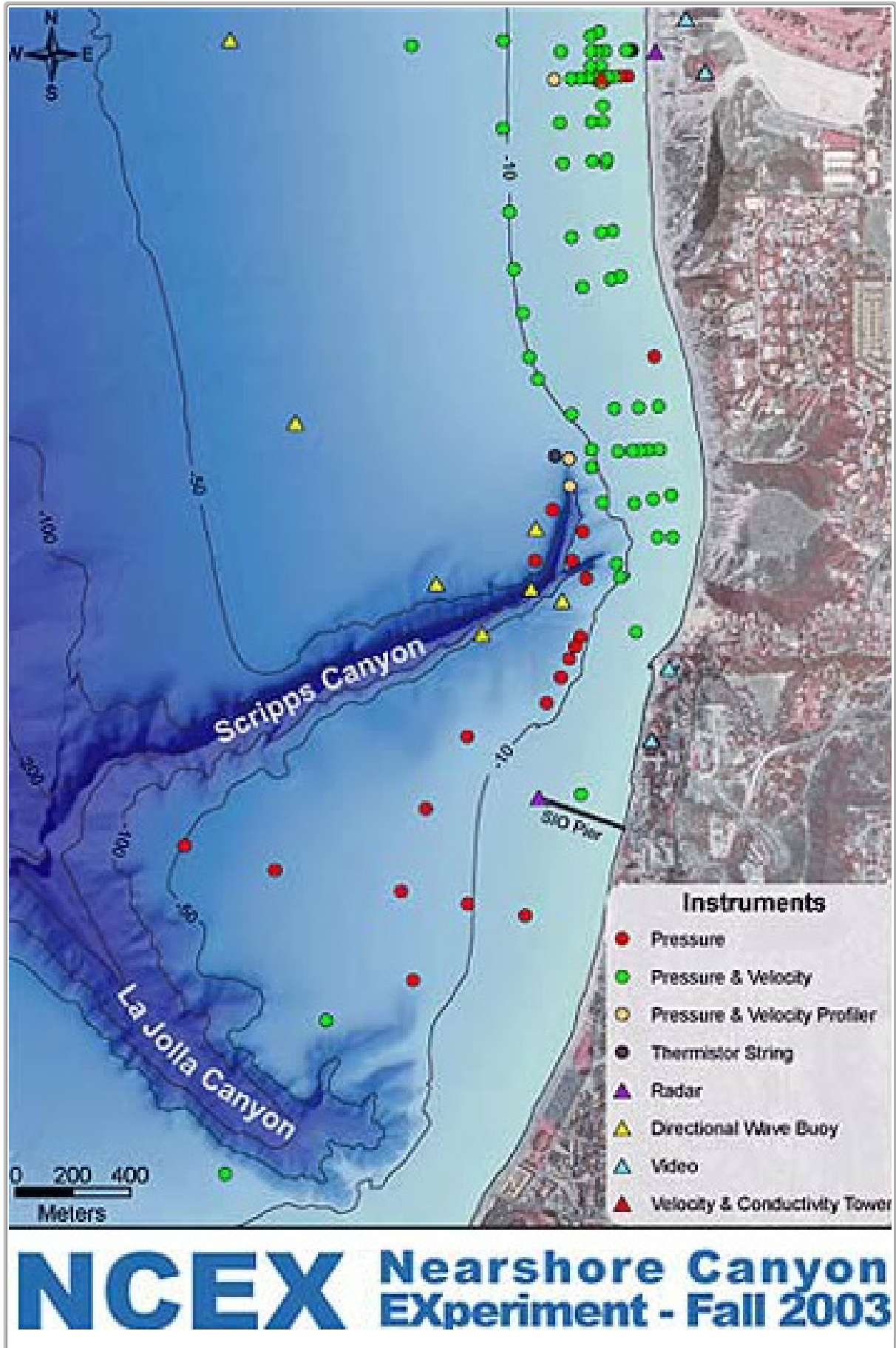
- 3 Layer concept, Wave action equation, SHORECIRC equation을 이용한 준3차원 모형이 개발됨(De Vriend andStive, 1987; Lee, 1993; Putrevu and Svensen, 1999)
- Chen et al.(1999)은 Boussinesq 비선형 모형, Lee et al.(2001)은 Mild Slope nonlinear equation으로 해빈류 현상 모의

④ 위험 이안류의 돌발성에 대한 연구시기(1991년~현재)

- Hino(1974)는 이안류의 불규칙성이 해저면 침식을 유발한다 하였으며 LeBlond and Tang(1974), Dalrymple and Lozano(1978), Miller and Barcion(1978), Falque et al.(1999) 등은 이안류와 파랑이 서로 맞부딪히면서 불규칙성이 유발된다고 하였음
- Lee(1993)는 규칙파 수리실험에서도 inlet 썰물과 파랑의 저주파 oscillation을 관측하고 wave action equation을 유도하여 경사면에서 발생하게 됨을 규명
- Haller and Dalrymple(2001)은 이안류가 파도와 부딪히면서 저주파 oscillation이 발생하는 것을 비선형 모형으로 재현함
- Haller and Ozkan-Haller(2002)는 실험실 자료를 바탕으로 Gaussian 함수 형태의 cross-shore 이안류 변화를 제시하여 쇄파고 정보에 따른 이안류 변화 형태를 파악하려고 함
- 최근 Kennedy and Zhang(2008)은 이안류 속도가 0.5m/sec보다 큰 경우 불규칙성이 뚜렷해짐을 보임

⑤ 현장 종합관측 및 예보기술 개발시기 (2001년~현재)

- 다양한 현장 조건에 따른 이안류 발생 미캐니즘을 좀 더 명확히 조사하기 위하여 SAND DUCK(NC, 1997), RIPEX(CA, 2001), NCEX(CA, 2003), MUDEX(Brazil, 2005), RCEX(CA, 2007)등의 현장 종합관측이 수행됨



<그림 3.1.18> 2003년 미국 캘리포니아주 NCEX 이안류 종합관측 배치도

- 국내 연구는 1990년 김인철, 유동훈에 의하여 처음 잉여응력을 이용한 해빈류 모형이 소개되었고 그 이후 토사이동 체계의 규명을 위한 해빈류 및 이안류 연구가 주로 이루어져 왔으나 해운대에서 수영객을 위협하는 이안류의 빈번한 발생으로 이에 대한 발생구조를 해석할 연구 과제가 수행 중이거나 기획 중임.

① 국내 연구

- 해빈류 수치모형 개발(유동훈, 1990; 김인철, 1990), 폭풍시 연안류 변동(김창식 등, 1993), Yamaguchi 해빈류 모형 도입(최은주 등, 1994), 해빈류에 바람영향 고려(이정만 등, 1998), 비선형 파랑모형에 의한 모의(이정렬 등, 2000), 비선형 Boussinesq식 이용 해빈류 모의(전인식 등, 2005), 이안류에 의한 수영튜브거동 모의(김인철 등, 2009) 등의 연구가 이루어짐.

② 기상청으로부터 발주된 기상지진기술사업단의 기상기술개발사업 기술역량기반 구축사업의 하나로 '이안류 관측 및 발생구조 연구'과제가 해운대 등에서 빈번히 발생하는 이안류 발생 원인을 규명할 목적으로 2010년 6월부터 2년간 과제 수행 중

③ 해양조사원의 해양관측과에서 2010년 10월에 부산 해운대 해역에 해운대 이안류 조사를 위한 목적으로 관측부이 1개를 설치하여 홈페이지에서 해당 자료를 서비스 할 예정임.

④ 지자체 및 지역 대학에서 이안류를 포함한 해안환경 모니터링 체계의 통합적 운영체계를 기획중임.

3.2 국외 대응기술

3.2.1 국외 대응기술 개발현황 요약

- 너울성 고파, 해양장파, 이안류 등 연안 이상현상의 대응기술 개발현황에 대한 국외 선진국들의 사례를 조사했으며, 각 사례들을 상세히 소개하기에 앞서 간략하게 요약하면 다음과 같음.

<표 3.2.1> 선진국들의 연안이상현상의 대응기술 개발현황 요약

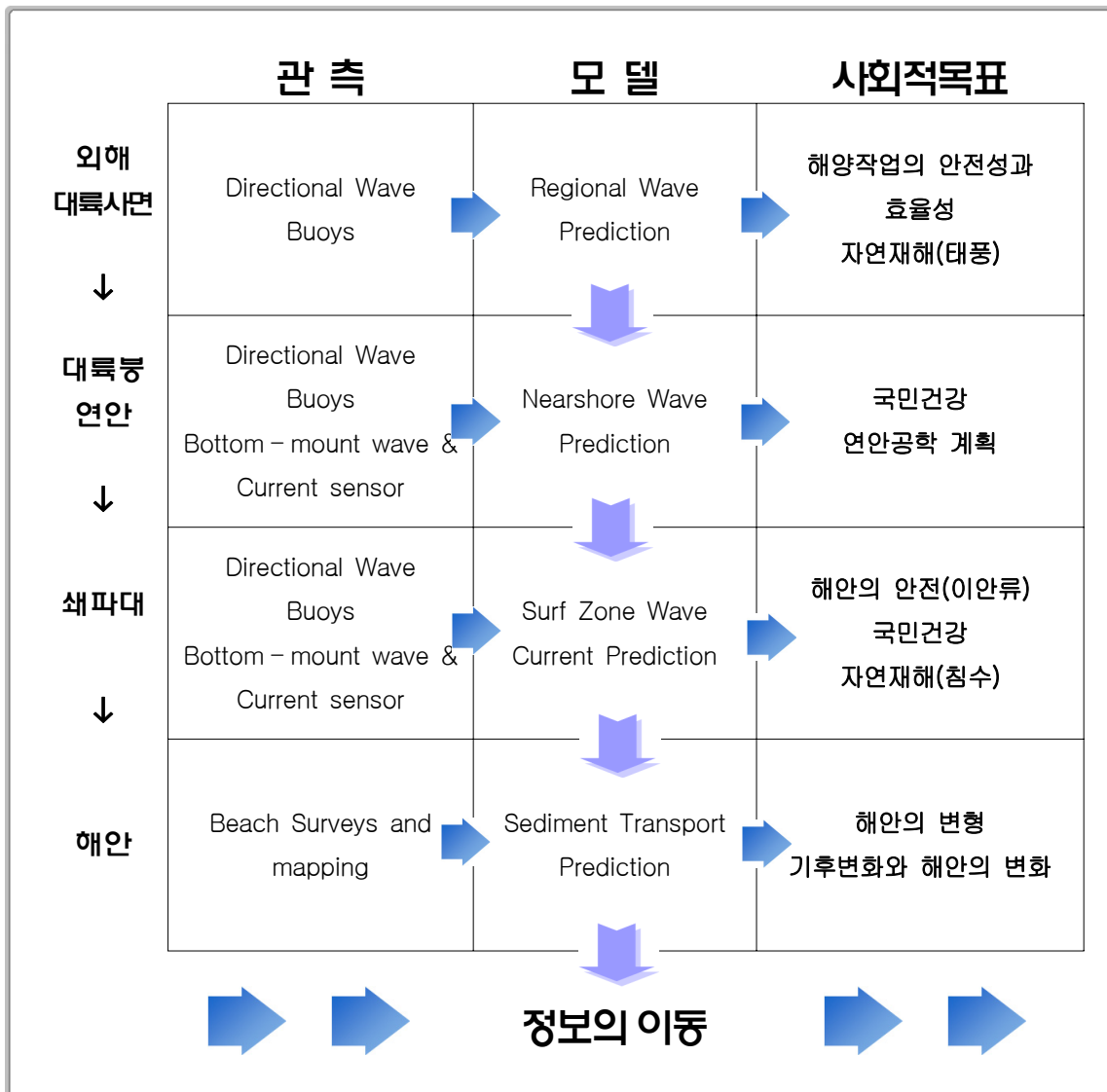
구분	너울	해양장파	이안류	
미국	관측	<ul style="list-style-type: none"> • NOAA에서 해양 진행장파의 관측 및 경보시스템 개발중 • 해양장파의 연안 도착 전 관측, 자료처리 및 통신 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • SAND DUCK(NC, 1997), RIPEX(CA, 2001), NCEX(CA, 2003), RCEX(CA, 2007) 등의 현장종합관측 수행 	
	예측	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 서해안 실시간 너울예보 프로그램 (CDIP)을 통한 3일 예보 수행 • NOAA 기상서비스 및 데이터 부이센터에 예보자료 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • Surf Zone Forecast에서 매일 이안류 발생 가능성이 low, moderate, high의 3단계로 예보됨. 	
	정보 전달	<ul style="list-style-type: none"> • 인터넷을 통한 데이터 부이센터(NDBC) 정보제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안에 해양 진행장파 경보를 위한 기준(protocol) 마련 및 작성 중 	<ul style="list-style-type: none"> • NWS(National Weather Service)를 통하여 인명구조팀, 비상관리팀 그리고 언론을 통하여 대중에게 전달
일본	관측	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 파랑정보망 • 파랑관측 해상계를 해안으로부터 1~3km (수심 50 m) 지점에 설치 • 해저케이블을 통한 감시국, 기상청 및 항만 기술연구소에 통보 • HF 및 VHF 레이다 관측기술 개발중 	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 파랑정보망의 해상계는 파랑 뿐만 아니라 조위 자료도 관측하여 육상감시국에 전송 • 연안역 항만에서도 실시간 조위계를 설치하여 운영중 	—
	예측	<ul style="list-style-type: none"> • 일본항만기술연구소 예측모델 개발중 	—	—
	정보 전달	<ul style="list-style-type: none"> • 연안지역 대형표시판에 파랑 및 기상정보 표출 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안지역 대형표시판에 쓰나미 등 해양장파 정보제공 	—
크로아티아	관측	—	<ul style="list-style-type: none"> • 기상쓰나미 해양장파의 조기 경보를 위한 실시간 관측 시스템 개발중 • 먼바다 설치 대기압 관측 부이로부터 조기 기압변동 실시간 감시 및 경보 	—
	정보 전달	—	<ul style="list-style-type: none"> • 경보시스템 개발중 	—

3.2.2 너울성 고파에 대한 국외 대응기술

1 미국 해양대기관리청(NOAA)의 관측 및 예측기술

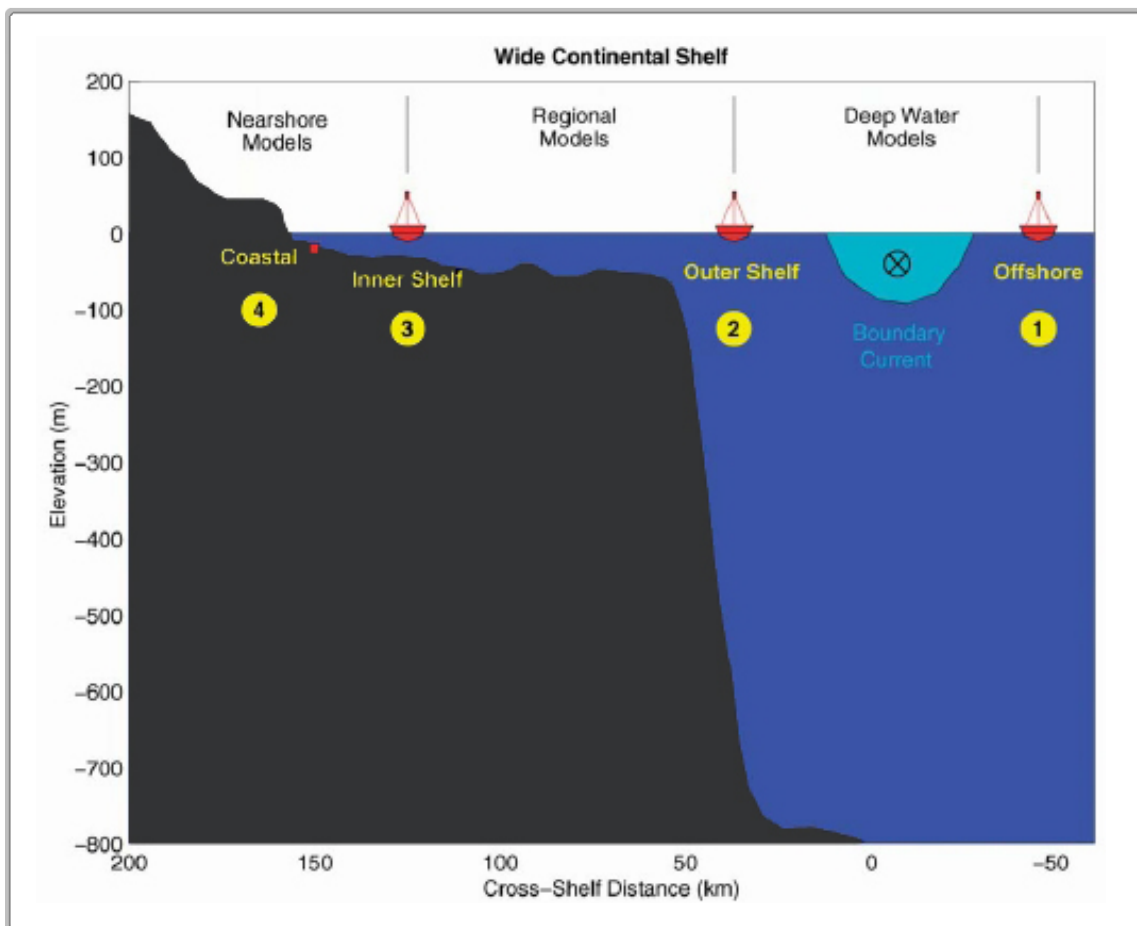
① 해양대기관리청 NOAA의 실시간 관측망 체계

- 주기가 1초에서 30초 주기의 해표면의 중력파를 관측하기 위하여 미국은 현재 181개소의 파랑관측소를 실시간으로 운영하고 있음. 이 중에서 약 110개 관측소에서 오차를 포함한 파향을 제공하고 있음.
- 미국의 국가 표준 파랑관측망은 해양작업의 안전성과 효율성을 높이고, 태풍과 침수 피해 등 자연 재해의 저감하며 국민의 건강을 증진 시키고 기후변화에 따른 해안선 변화를 감시하고 예측하기 위한 국가·사회적 목표를 달성하기 위하여, 외해, 대륙붕 및 연안 그리고 해안에서의 실시간 파랑 관측을 실시하고 있음 <그림 3.2.1>.



<그림 3.2.1> 미국 NOAA의 해양관측망을 통한 연안현상 예측 체계도

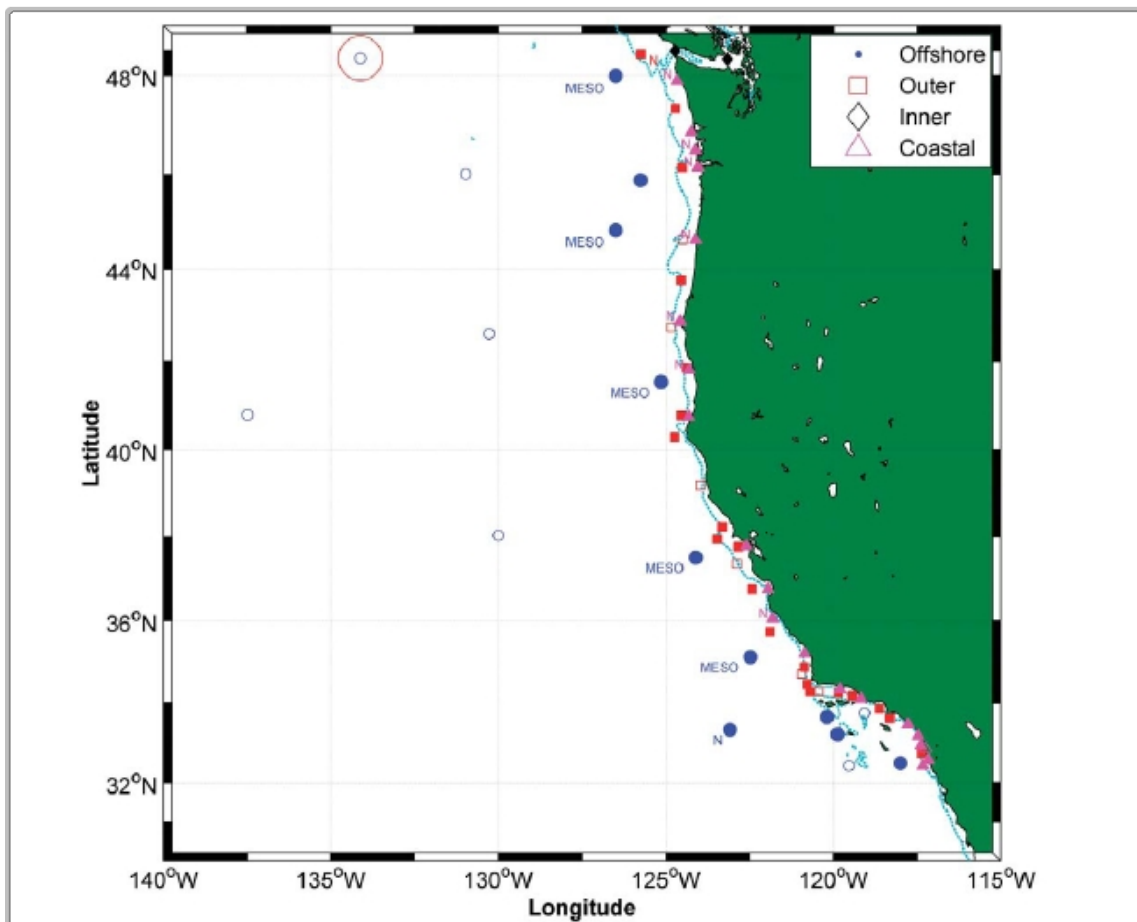
- 국가 전체의 관측소에서 수집된 실시간 관측자료는 즉시적인 해황감시에 활용될 뿐만 아니라, 수치모델을 이용하여 파랑을 예측하는 데 입력자료로 사용되고, 또한 수치 파랑모델의 검증에도 사용됨.
- 미국의 국가 표준 파랑 관측망은 현장에서 최상의 질(high quality)을 갖도록 24시간 실시간으로 관측하는 조직임. 이 관측망은 미국 연안과 5대호의 연안을 모두 포함함. 관측망은 4개의 부분으로 이루어져 있음. 즉, 연안(coastal), 대륙붕 안쪽(inner shelf), 대륙사면(outer shelf)과 외해(offshore)로 나누어 파의 생성, 전파, 경계류 통과 과정, 대륙붕 상을 이동, 해안에 도착하며 일어나는 과정들을 관측하고 분석함. <그림 3.2.2>는 대륙붕이 넓게 분포하는 미국 대서양 연안과 멕시코만에서의 전형적인 파랑 관측망 형태임.



<그림 3.2.2> 대륙붕이 넓은 지역에서 네 개의 파랑 관측망
(연안 coastal, 대륙붕 안쪽 inner shelf, 대륙사면 outer shelf, 외해 offshore)

- 외해 관측망 (Offshore Subnet)은 깊은 바다에서 너울이 생성되는 것을 관측하여 해안에 도착하기 전(약 1일)에 미리 알 수 있도록 하며, 경계류(boundary current)를 지나기 전의 상태를 파악함.

- 대륙붕 외측 관측망 (Outer Shelf Subnet)은 대륙사면위에서 경계류를 통과하여 심해에서 천해로 들어온 파를 관측함.
- 대륙붕 안쪽 관측망 (Inner Shelf Subnet)은 수심 20~30m에서 천해에서 풍파의 형성과 바닥 마찰에 의한 에너지 손실을 관측함.
- 연안 관측망 (Coastal Subnet)은 특정 지역사회의 필요에 의해서 설치하며 특성의 지역 정보만을 제공함.
- 미국 서해안인 캘리포니아 해안에는 파의 생성과 성장을 보기 위한 기상자료가 부족하여 6개의 새로운 기상 및 파랑 관측 부이(MESO)를 설치할 예정임.<그림 3.2.3> 이 6개는 캘리포니아 북부와 오레곤 남부에 설치되지만 이 지역은 미국 서해안에 도착하는 파들이 생성되는 곳으로 매우 중요한 곳임. 대륙붕 밖 관측망 (Outer Subnet)는 총 26개로 구성됨. 대륙붕의 매우 폭이 좁아서 2개 관측점만 대륙붕 내부 관측망 (Inner Subnet)으로 설치됨. 연안 관측망 (Coastal Subnet)은 총 13개의 부이로 구성되는데 이중에서 7개가 새로 설치될 예정임.
 - ▶ 색이 칠해진 모양들(closed symbols)은 파향 관측 지점
 - ▶ 색이 칠해지지 않은 모양들(open symbols)은 파고 관측 지점
 - ▶ 앞으로 새로 설치 예정인 곳은 N으로 표시

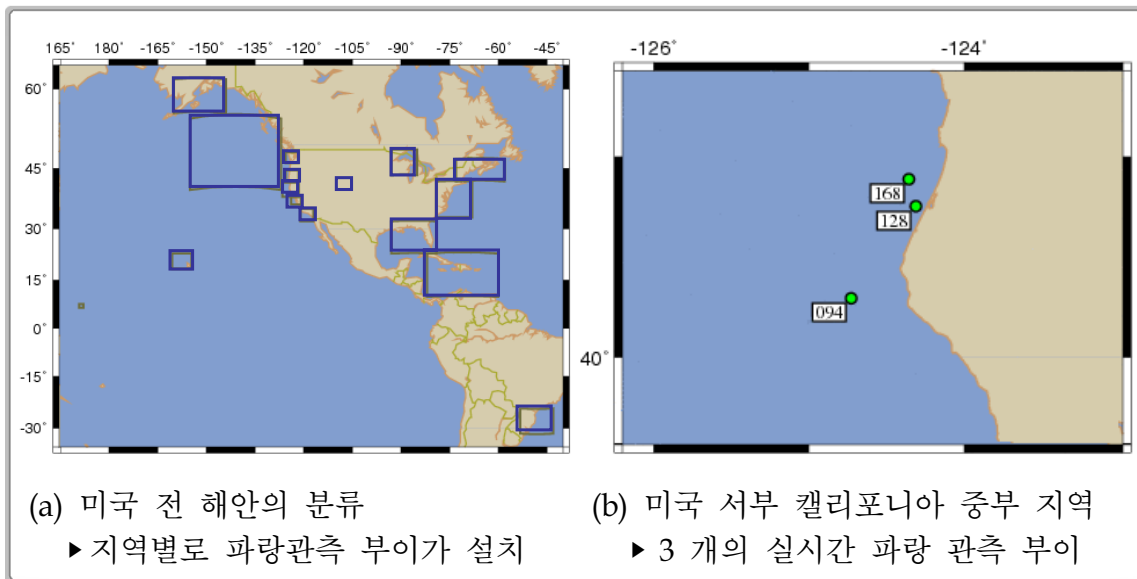


<그림 3.2.3> 미국 태평양 연안의 기본파랑 관측망

- 미국 서부 해안은 우리나라 동해안과 매우 유사한 지형 구조를 갖고 있고 너울도 먼 바다에서 전파되어 들어오는 공통적인 특징을 갖고 있으므로 우리나라 동해안의 관측망을 구성할 때 비교대상으로 이용할 수 있음.
- 미국 서해안의 경우 캘리포니아 연안의 실시간 파랑 관측 정보를 얻기 위해서 국민들은 평소 하루에 100,000 회 이상을 인터넷 정보를 확인하며 폭풍이 몰려올 때는 600,000 회 이상 인터넷에 접속하여 정보를 얻어감. 미국 데이터 부이 센터(NDBC)의 경우는 하루에 백만 번 이상 인터넷을 통하여 사람들이 접속함.
- 미국이 2009년 3월에 새로 마련한 국가 표준 파랑관측망 계획에는 ① 현재 관측하는 센서들을 최신의 것으로 교체 (upgrade), ② 관측이 이루어지지 않은 곳들 (gap locations)에 관측 장비를 추가, ③ 지속적인 기술의 개발과 검증, ④ 자료의 질을 확보하고 검증 (quality assurance and quality control) 또한 관측자료를 종합 정리, ⑤ 관측 시스템의 지속적인 운영·유지·보수, ⑥ 파랑관측 기술자들의 훈련과 교육, ⑦ 새로운 관측 센서의 개발과 관측 방법 개선에 관한 권고안을 포함하고 있음.
- 2009년 3월에 완성된 안에는 5년 동안의 운영 계획과 비용을 계산하여 제시하고 있으며, 계획상 첫째는 현재의 파랑 관측망에 대한 조사와 점검을 실시하도록 되어 있음. 이는 현재의 파랑 관측망을 잘 이해해야 다음에 추가할 파랑 관측소를 보다 효율적으로 설치하고 유지할 수 있기 때문임. 이 외에도 파향을 관측하는 방법에 대하여 구체적인 지침을 제시하는 것, 그리고 특정한 테스트 장소를 골라서 실시간 운용을 위한 시험과 연습을 수행하도록 되어 있음. 두 번째 해도 같은 내용을 계속 진행하며, 실제적으로는 3년째에 새로운 관측망들을 확보하고 활용할 수 있도록 되어 있음.
- 파랑 관측망을 24시간 실시간으로 유지하기 위해서는 현장 점검, 선박 지원, 센서들의 준비, 센서들 및 관측 장비들의 검정과 교정, 실시간 파랑 관측망 운영자 훈련 등 특별한 운영 및 관리 활동이 필요함.
- 아직 실시간으로 실제 운영하고 있지 않으나 인공위성에서 얻어지는 개구합성레이더(SAR) 자료는 외해에서 파들의 전파 방향을 분석하는데 사용되고 있음. 또한, 고주파 레이더 (HF radar)를 phase-array 방식으로 설치하여 실시간으로 2차원 스펙트럼(two-dimensional spectrum)을 관측할 수 있는 기술을 개발중임. 항해용 레이더를 이용한 파향 관측도 계속해서 그 질이 향상되고 있으며, 수중 발사형 초음파 유속계를 실시간 운용 시스템에 사용할 연구를 추진중임.

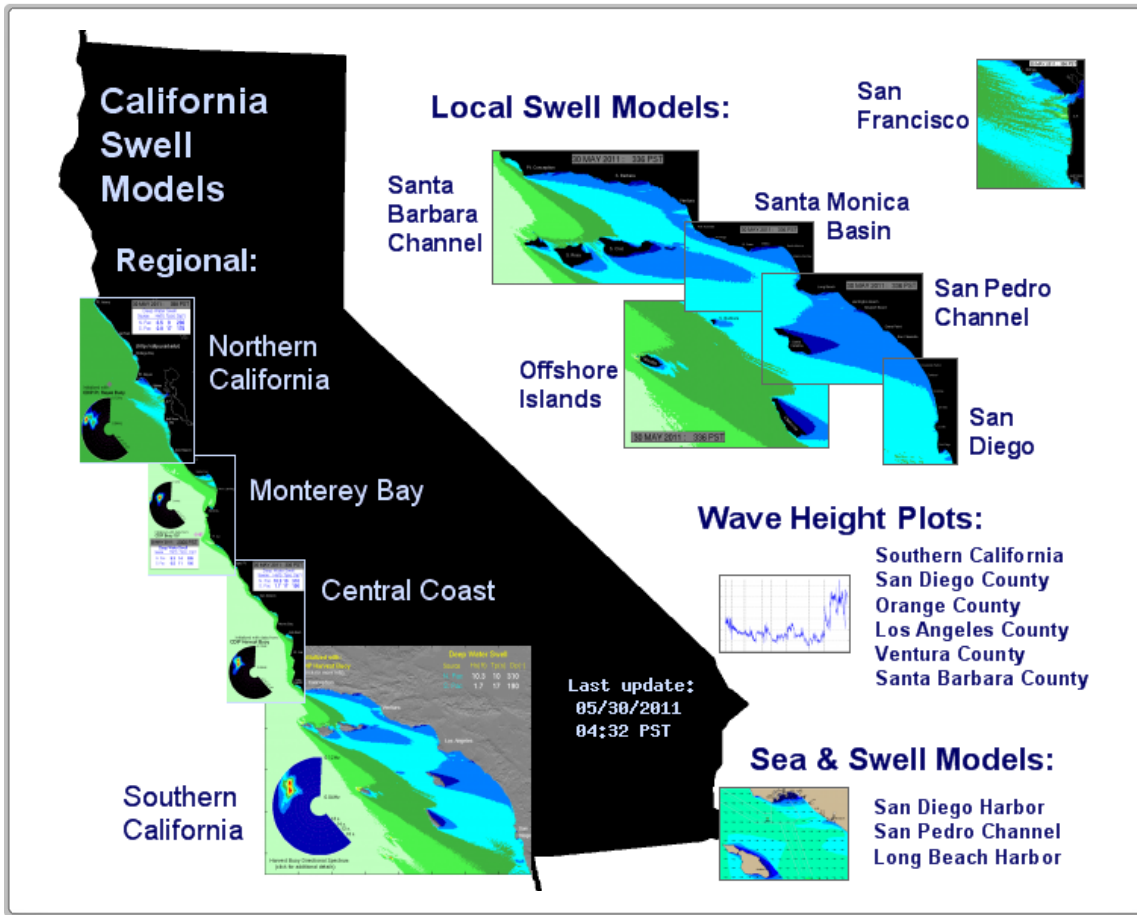
📍 미국 서해안 너울 예보 프로그램

- Coastal Data Information Program (CDIP)는 미국 서해안에서 실시간으로 너울을 관측하고 예보하는 프로그램임. CDIP는 스크립스 연구소의 종합해양분과 해양공학 연구그룹에 의해서 운영됨.
- CDIP는 1975년 한 개의 파랑 관측 시설로 시작하였으며 1977년에는 여러 개의 압력 감지 센서를 설치하여 파향을 관측하기 시작함. 그리고 1990년대 초반에는 파향과 파고를 측정하는 부이를 사용하기 시작하였음. 1990년대 후반에는 1초에 한 개의 자료를 수집하였으며 1996년부터는 인터넷을 이용하여 실시간으로 공급하였음. <그림 3.2.4>
- 2007년 이후로는 이리디움(Iridium) 위성 통신을 이용하면서 부이를 해안으로부터 더 먼 바다에 설치할 수 있었음.

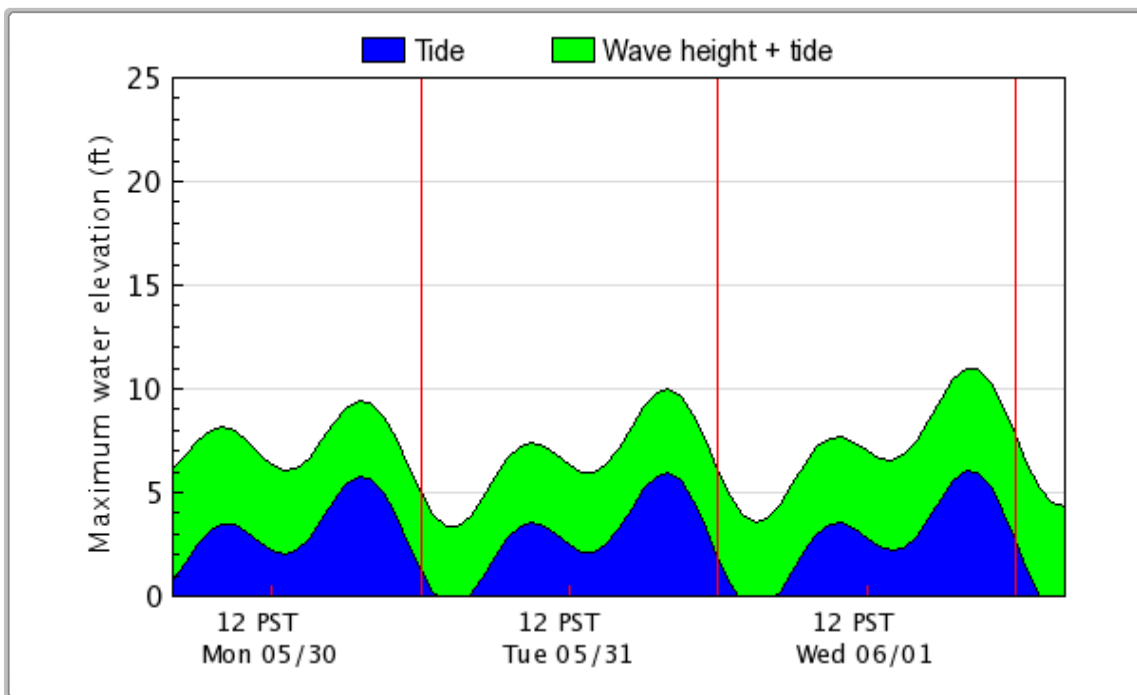


<그림 3.2.4> CDIP에서 공급하는 자료들의 위치

- CDIP의 주된 목적은 미국 근해의 파랑 통계를 만드는 데 있지만, NOAA 국가 기상 서비스와 국가 데이터 부이 센터를 통해서 연구자들뿐만 아니라 다양한 사용자들에게 정보도 제공하고 있음. <그림 3.2.5>
- 관측 값을 실시간으로 제공할 뿐만 아니라 또한 파랑 수치 모델을 이용하여 현재의 파랑 분포 (nowcast) 그리고 3일 예보 (forecast)를 실시하고 있음. 너울 수치 모델을 사용하여 각 항만별로 상세한 조석과 너울을 포함한 해수면 높이 정보를 3일간 예측하여 예보자료를 제공. <그림 3.2.6>



<그림 3.2.5> CDIP에서 제공하는 실시간 해양 상태 모델 결과 (풍파와 너울 분포를 나타냄)

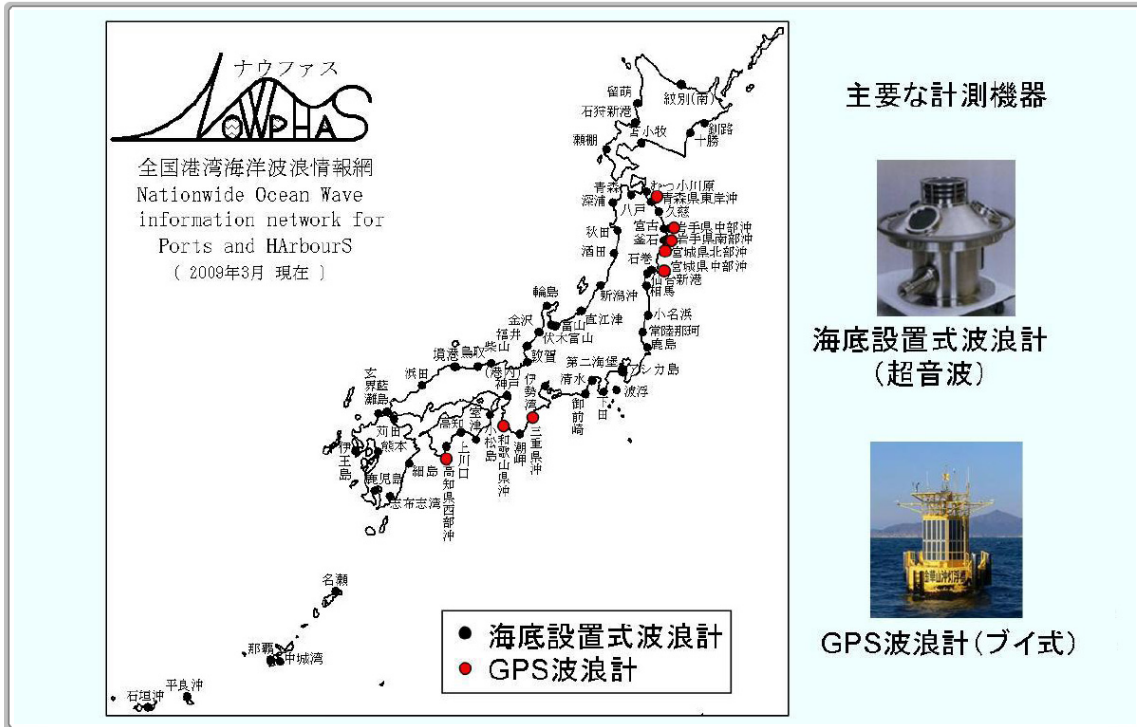


<그림 3.2.6> 각 항만별로 조석과 파고를 합하여 나타나는 해수면 높이를 제공 캘리포니아 샌디에고 카운티 미션베이의 3일 (2011.5.30 ~ 6.1) 예보 자료

2 일본의 파랑 관측망 체계 및 예측기술

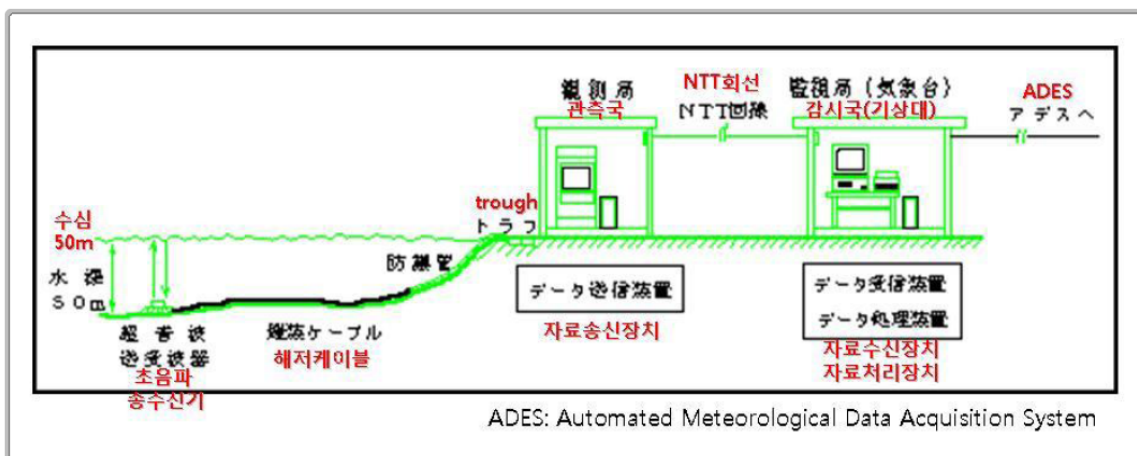
① 일본의 파랑 관측망 체계 NOWPHAS

- 일본 항만기술연구소에서 전국 항만 해양 파랑 정보망 (NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HAbourS)을 운영, 유지 및 관리하고 있음.
- 국토교통성 항만국 및 그 관계기관(제1에서 제5까지의 각 항만건설국, 2001년 이후는 8 지방정비국의 항만부분, 홋카이도 개발국의 항만부분, 오키나와 종합사무국의 항만부분 및 항만기술연구소)는 1950년대 이후 일관하여 일본 연안의 파랑 특성 파악·해명을 위해 파랑관측 네트워크를 구축·개량·운영해 왔으며, NOWPHAS의 활동내용은 이하의 4가지로 집약됨.
 - ① 정밀도와 신뢰성이 보다 높은 파랑관측 기기의 개발을 위한 연구 개발.
예를 들면, 해상계의 개발에 있어서는 항만국의 지도하에 해양조사협회에 개발위원회(위원장: 요코하마 국립대학교수 고다 요시미 박사)가 조직되고, 제2항만 가마이시항에 있어서는 실험실 실험을 통해 개발이 실현되었음.
 - ② 개발된 파랑관측 기기의 전국 네트워크 전개에 의한 파랑관측의 실시.
관측지점의 배치계획이나 관측항목의 설정·관측기기 유지관리·자료의 관리 체제 등에 있어, 항만국의 지휘하에 새로이 개발된 파랑관측 기기들이 전국적으로 보급 및 활성화되어 파랑정보 네트워크가 기능을 발휘하고 있음.
 - ③ 항만기술연구소에 있어서의 파랑관측 자료 집중처리·해석·관리
전국의 파랑관측 자료를 유효하게 활용하기 위해 1970년 이후 항만기술연구소에서 파랑관측 자료의 집중처리·해석·관리가 행해지고 있음.
 - ④ 파랑관측 정보의 항만사업 등으로의 활용
관측기기의 성능향상에 의해 고도화된 파랑관측 자료는 항만사업 등으로의 활용이 진행되고 있다. 예를 들면, 항만 구조물의 내파설계에서는 한계상태 설계법의 도입에 의해 이상시 극대파랑 뿐만 아니라 상시파랑의 출현 분포 특성이 고려되게 되어 보다 합리적인 개선이 진행되고 있음.
- 일본의 NOWPHAS 파랑 관측망은 1970년대 적은 수의 관측점들로부터 시작하여 점점 그 관측점들의 수를 늘려가며 동시에 관측 장비를 더 정확하게 개선시켰음. 그리고 처음에는 파고를 관측하는 장비들을 사용하였으나 현재는 파향과 파고를 동시에 관측하는 것을 원칙으로 하고 있음. <그림 3.2.7>



<그림 3.2.7> 일본 NOWPHAS 파랑 관측망 (2009년 3월)

- 일본 기상청에서는, 일본 연안에 파랑계를 설치, 아래 <그림 3.2.8>에 나타낸 것처럼 관측시스템에 의해 연안 파랑관측을 실시하고 있으며, 관측센서인 수중발사형의 초음파식 파랑계의 송수파기(送受波器)는 가능한 연안지형의 영향을 받지 않는 연안부근의 표면파형을 관측하기 위해 해안선으로부터 1~3 km, 수심 50 m 정도의 해저에 설치함. 이 송수파기는 빔의 초음파 pulse의 왕복전파시간(해면수위에 상응)을 연속적으로 기록하여 해면의 파를 관측함.

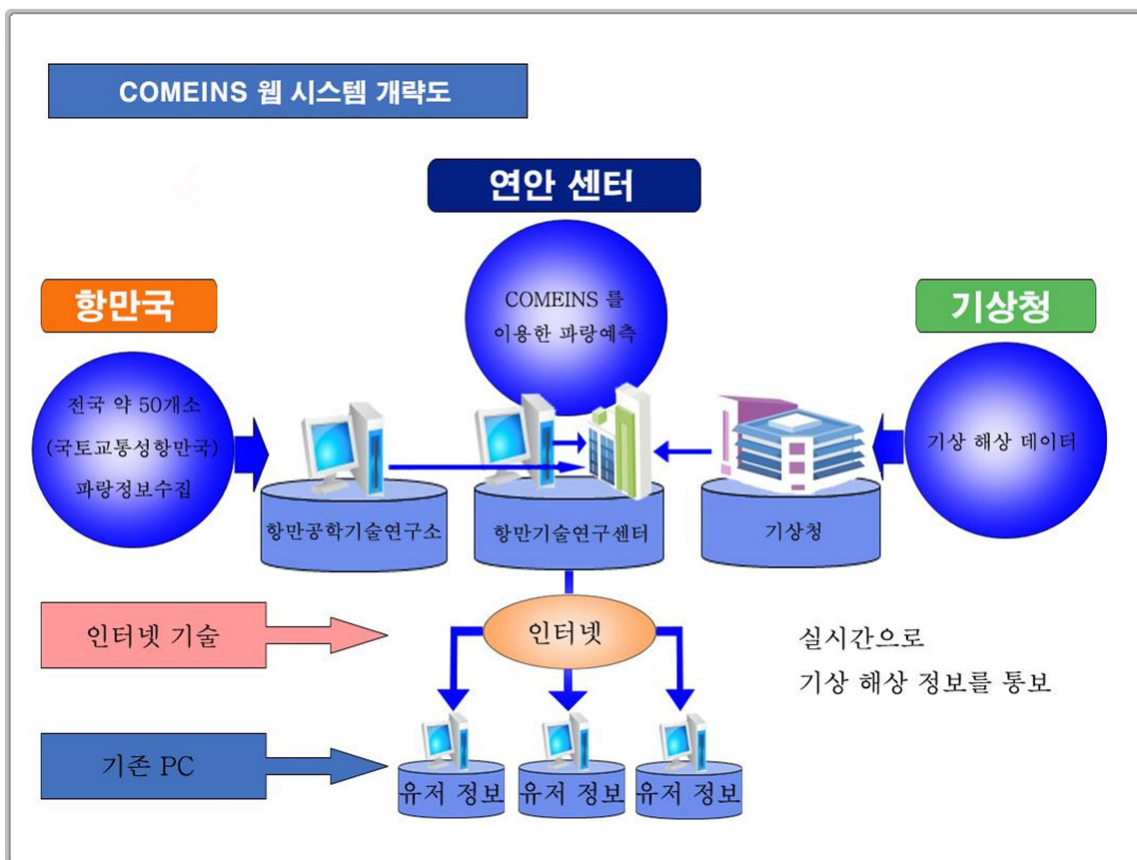


<그림 3.2.8> 일본 표준 파랑관측소의 관측 및 자료전송 개념도

- 센서에서 나온 신호는 근처 해안에 설치된 관측국에서 디지털화되어, 전송상의 체크신호와 조합된 뒤, NTT회선을 통해 감시국인 관측실시관서로 송신됨. 감시국에서는 정시 25분전에서 5분전까지 20분간 수집한 해면수위 자료를 전자계산기로 처리해, 유의파고 등의 파랑해석결과를 기상청 본청에 통보함. 또, CRT모니터나 아날로그기록계에 의한 상시감시도 가능함.
- 가마이시항에서는 초음파 파고계에 의해 계측된 파랑 자료와 풍속계에 의해 계측된 바람 자료를 주행 중인 차 속에서도 확인 가능하도록 옥외 대형 표시판에 표시하여 바다와 바람의 상황을 부근의 주민에게 알리고 있음. 수심은 49m 지점에 설치된 파랑 계측기로부터 육상의 관측국까지 1.3km의 해저 케이블을 사용하여 관측국에 전송된 관측자료는 4km 떨어진 감시국까지 무선 텔레메터를 이용하여 전송됨. 관측국에서 송신된 자료는 감시국의 무선 텔레메터에 의해 수신된 후, 파랑자료 전송장치에 의해 대표파 제원이 연산됨과 동시에 연산 결과, 관측 원시 자료 및 장주기파 자료가 항만기술연구소로 전송되고 있음.
- 대형 표시판은 사무소에 인접된 국도변에 설치되어 있어 보행자 뿐만 아니라 도로를 주행 중인 차량에서도 바다와 바람의 상황을 확인하는 것이 가능함. 이것에 의해, 바다의 파랑정보에 관심이 많은 지역 주민에게 정보 제공이 실현되고 있음.
- 레이더에 의한 관측은 평면적인 정보로서 파랑의 파악이 가능하다고 하는 장점이 있음. 밀리(mm)파 레이더에 의한 관측화상을 토대로 파향을 추정하는 방식이 1970년대부터 1980년대에 걸쳐 나하항 등에서 채용되었음. 1990년대 후반 이후가 되어 HF레이더나 VHF레이더를 이용한 새로운 관측·자료해석 시스템에 관한 연구가 진행되고 있어 그 잠재성이 기대되고 있음.

② 일본 파랑 예측 프로그램

- 1997년에 운수기술심의회에의 요구에 따라, 일본 연안개발기술연구센터(CDIT: Coastal Development Institute of Technology)는 NOWPHAS 파랑정보와 기상정보를 실시간으로 종합하여 고정밀도의 파랑예측을 제공할 수 있도록 한 COMEINS(Coastal Oceanographic and MEteorological INformation System) 라 불리는 예측시스템을 개발하였고, 현재 현업예보에 사용중임.
- COMEINS는 연안 방재를 위한 실시간 감시, 예측 및 경보시스템으로, 기상, 해상 등에 대한 현황과 예측정보를 온라인으로 24시간 실시간으로 제공함. 이 시스템은 NOWPHAS를 관리하는 항만 건설국내의 항만사무소와 항만연구소(PARI)에서 실시간으로 관측되는 해양 파랑 정보 및 일본기상청(JMA)에서 제공하는 조석 및 예측된 기상자료들을 제공받아 관측 및 예보 정보를 분석하여 종합하고 있음.
- COMEINS는 1997년부터 시작되어 전국 모든 사용자에게 믿을 수 있고 정확한 해양 파랑정보를 제공하여 연안에 거주하는 국민의 안전 도모하고, 연안에서 이루어지는 건설작업, 물류 작업 및 항해와 같은 해양산업에 경제적으로 도움을 주고 있음. 2004년 이전에는 전화를 통하여 정보를 제공하였으나 2004년부터 인터넷을 이용한 웹사이트를 통해서 COMEINS 자료서비스를 제공하고 있음. <그림 3.2.9>



<그림 3.2.9> COMEINS의 시스템 시스템 개념도

3.2.3 해양장파에 대한 국외 대응기술

1 미국의 대응기술 기술개발 사례

- 미국은 미국 해양대기청(NOAA)이 주관이 되어 실시간으로 발생 가능한 해양진행장파(potential meteo-tsunamis)를 관측하는 경보시스템을 구축하고자 추진중임. 미국 해양대기청(NOAA)은 과학자들로부터 제안서를 2011년 2월까지 받아서 2011년 12월부터 약 1년 동안 기초 개발추진 연구를 수행할 예정임.
(Funding Opportunity Number: NOAA - NWS - NWSPO - 2011 - 2002833)
- 제안서는 다음의 세 가지 내용을 포함하고 있음.
 - 1) 과거 자료를 분석하여 해양 진행장파(meteot sunamis)가 발생하기 전에 나타나는 전조와 원인력을 찾아냄.
 - 2) 해양진행장파가 해안에 도착하여 피해를 주기 전에 관측할 수 있는 관측 시스템, 자료처리 시스템 그리고 통신 시스템을 제안함.
 - 3) 미국 연안에 해양진행장파 경보를 내리기위한 기준(protocol)을 작성함.

2 일본의 대응기술 기술개발 사례

- NOWPHAS에서는 연안의 장주기파 출현 통계에 대한 정리를 1997년 이후 지속적으로 수행하여 매년의 파랑관측연보에 그 성과를 제시하고 있음. 장주기파라는 것은 주기 30초 이상의 파를 말하며, 특히 항내에서 계류된 대형 선박의 surging 운동 등 고유주기 1분 이상인 장주기파는 진폭이 작아도 항만의 하역 가동율에 중요한 영향을 미치고 있음. 또한 해빈 변형을 일으키는 표사현상에도 연안의 장주기파가 큰 영향을 주고 있음. 이 때문에 NOWPHAS에서는 자료 수집 시스템을 개량하여 자료의 유실이 없는 연속 관측에 의해 주기 30초 이상의 장주기파에 대해서도 분석을 수행하여 일본연안의 장주기파 출현 특성을 통계처리함.
- 동해측 노토반도에 위치하는 와지마항 먼바다 관측지점 (수심 50m)에 있어서 장주기파 성분의 출현빈도 급수표를 만들어 사용하고 있음. 장주기파의 파고는 스펙트럼 해석에 의한 주파수대마다의 파 에너지로부터 환산되어, 2시간을 하나의 관측 단위로서 산정함. 이러한 장주기파의 출현통계 해석의 결과, 연안역의 장주기 파고는 지금까지 상정되어 있던 값보다도 훨씬 크며, 태평양측 및 동해측에서도 항상 파고 수 cm부터 수십 cm까지의 장주기파가 내습하고 있는 것이 밝혀짐. 이후 장주기파 정보를 활용하여 보다 합리적인 항만 운영 및 관리가 필요.
- 루모이 항에서는 먼 바다 송수파기 해상계에 의해 관측된 파랑자료와 항만 인근 부스형 검조기에 의해 관측된 자료를 합쳐 쓰나미 등 해양장파를 실시간 감시하는 시스템이 구성이 되어 있음. 송수파기 설치 수심은 50 m이며, 육상 관측국까지 4.3 km의 해저 케이블을 통하여 관측 자료가 저장되고 수집된 자료는 대략 18 km 떨어진 감시국까지 유선 텔레메터에 의해 송신된 후, 해상계 연산기에 의해 대표파 제원이 연산됨.

- 또한, 자료 전송장치에 의한 해상계의 연산결과, 관측 원시자료 및 장주기와 자료, 조위자료가 실시간 항만기술연구소로 전송되고 있음. 루모이 항의 특징은 부스형 검조의에 의해 관측된 도위 자료도 자료전송 장치에 입력되어, 그 결과 값이 해상계의 각 자료와 함께 항만기술연구소로 보내어지고 있음. <그림 3.2.10>

① 파고 기록계

해상계에 의해 계측된 수위변동과 수압의 원시 파형을 기록하는 아날로그 타입의 기록계임. 특히 전송계에 장애가 발생하여 자료를 수집할 수 없는 경우에도 파형 기록이 취득될 수 있도록 자료의 흐름상 가능한 한 센서에 가까운 곳에 위치시키는 것이 바람직함.

② 제어장치

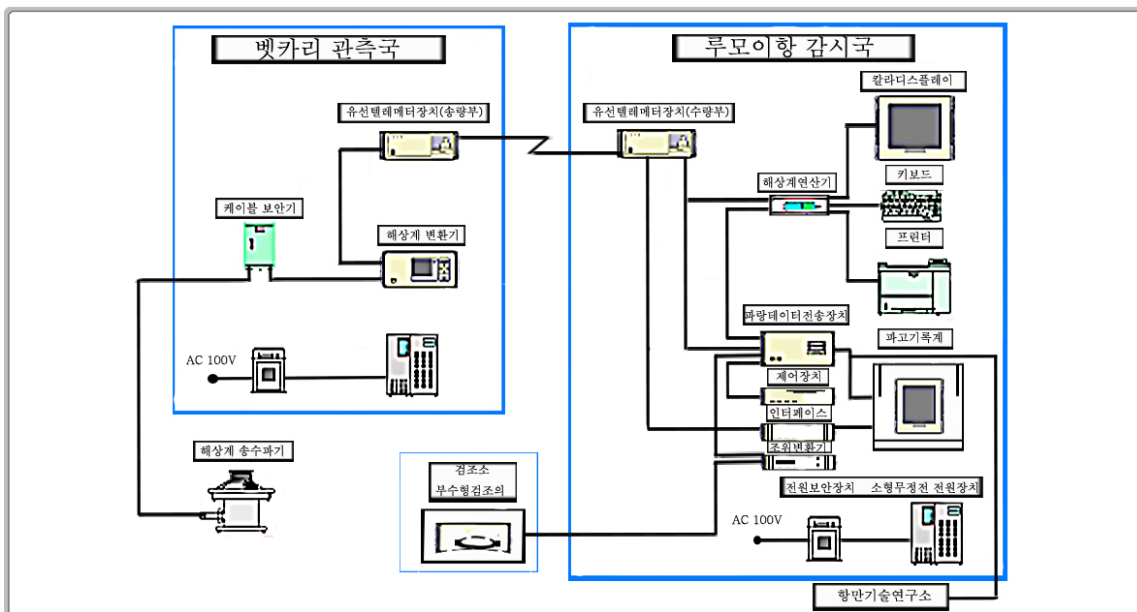
소정의 시간만 기록계를 작동시키기 위해 기록계의 동작 제어를 할 수 있으며, 신형은 ②-1의 기능도 가지고 있음. ②-1 인터페이스 이 장치는 텔레미터가 수신한 자료를 기록계에 입력할 때 matching되도록 하는 장치이며, 0.5초 간격으로 수신된 자료가 계단형이 아니라 부드러운 파형이 기록이 되도록 평활화하는 기능이 있음.

③ 우선 텔레미터

관측국과 감시국이 떨어져 있는 경우, NTT 전용 회선을 이용하여 관측국에서 감시국 까지 관측 자료를 전송하는 것으로 본 장치를 이용할 때에는 별도 NTT와 회선 사용에 관한 계약을 해야할 필요가 있음.

④ 케이블 보안기

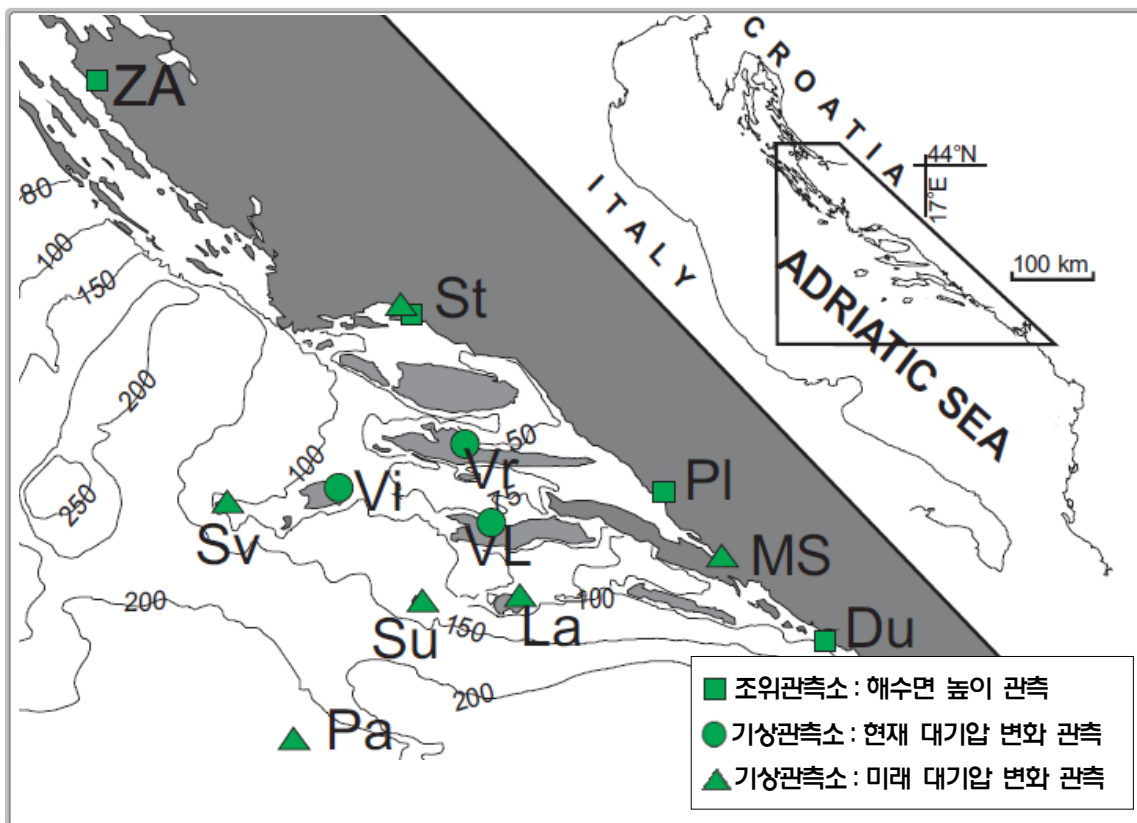
이 장치는 부근에 낙뢰가 있었을 때 이에 수반되는 유도전류로부터 기기를 보호하기 위한 것으로 통상, 수중과 육상에 각각 1대씩 기기의 바로 옆에 설치함.



<그림 3.2.10> 일본 루모이 항에서 해상계와 검조를 이용한 동시관측

3 크로아티아의 대응기술 기술개발 사례

- 지중해에 접해 있는 크로아티아 남서부 해안은 대기압의 미세 변동이 해양 위를 이동할 때 발생하는 해양 장주기 진행파(meteo-tsunami)로 큰 피해를 입고 있음.
- 이러한 피해를 줄이고 실시간으로 예보와 경보를 수행하기 위하여 피해가 발생하는 항구의 서쪽에 미세 기압 변동을 1초 간격으로 관측할 수 있는 정밀 기압계 3개를 중부 Adriatic 항구들 (Vela Luka, Stari Grad and Vis)에 2008년 11월에 설치하였으며, 해양 장파 예측시스템이 기술적으로 가능한지 타당성 조사를 하였음 (Vilibic, 2009년 11월).
- 해양 장파 예측시스템을 활용하여 해양장파 발생에 관한 실시간 경보 시스템을 시험하고 있음. 현재 설치된 3개의 정밀 기압계를 이용하여서 실제 경보를 내리고 있는 데 시민들이 대피할 수 있는 시간이 약 15분 정도임. 이 대피를 위한 시간 늘리기 위하여 바다 가운데 바다에서 실시간으로 대기압을 관측할 수 있는 부이(buoy)를 설치하여 더 일찍 대기압 변동을 감지하고 경보를 내려서 국민들이 더 많은 대피시간을 갖도록 하기 위한 계획을 세우고 있음.
- 실시간 경보 시스템의 시험 운영이 끝나면 더 많은 미세 대기압 관측소와 조위 관측소를 설치할 예정임(Sepic and Vilibic 2011). <그림 3.2.11>



<그림 3.2.11> 관측소 위치

3.2.4 이안류에 대한 국외 대응기술

1 외국의 대응기술 기술개발 사례

- 매년 구조자의 80% 그리고 surf 구조자의 95%가 이안류로 인하여 발생하며 100명 이상의 사망자가 이안류 희생자이고 그 수도 점점 증가하는 추세이나 활발한 연구에 비해 이에 대한 대민 예보 및 교육 자료의 부족을 인식함.
- 매일 Surf Zone Forecast에 의하여 NOAA의 NWS(National Weather Service) 사무소로 Low, Moderate, High의 3단계 Outlook 정보가 제공됨.



<그림 3.2.12> NWS Office List



<그림 3.2.13> Rip Current Outlook

- 기존의 3단계 Outlook 정보 체제가 불충분함을 인식하고 Florida Beach에서 발생한 이안류 자료로부터 예보 시스템이 Jason et al.(2002)에 의하여 제안됨.
- 최근 미국 메릴랜드 주 Ocean City 등에서 Jason et al.(2002)의 식을 개량하여 지역 조건에 적용한 좀 더 다양한 예보 시스템 구축이 활발해지고 있으며 비디오 등의 관측 시스템 구축과 연계하여 신뢰도를 높이려는 노력도 병행되고 있음.

$$R=R_H +R_T +R_\theta +R_h$$

ECFLURCS INDEX				
Wave Period		Wave Direction		
T(s)	factor	θ (deg)	factor	
T < 6	0	$\theta > 35$ or $\theta < -20$	0	
6 <= T < 9	0.5	$\theta > 30$ or $\theta < -15$	1	
9 <= T < 11	1	$\theta > 25$ or $\theta < -10$	2	
11 <= T < 12	2	$\theta > 15$ or $\theta < -5$	3	
T >= 12	3	15 >= θ >= -5	4	
Wave Height		Tide Level		
Ho (ft)	factor	h(m)	factor	
Ho < 1	0	h > -0.2	0	
1 <= Ho < 2	0.5	-0.5 < h <= -0.2	1	
2 <= Ho < 3	1	-0.75 < h <= -0.5	2	
3 <= Ho < 5	2	h <= -0.75	1	
5 <= Ho < 8	3			
Ho >= 8	4			
Summation of factors >= 5.5: Riskiness of Rip current				

<그림 3.2.14> Jasson et al.(2002)의 이안류 위험 수준 산정식

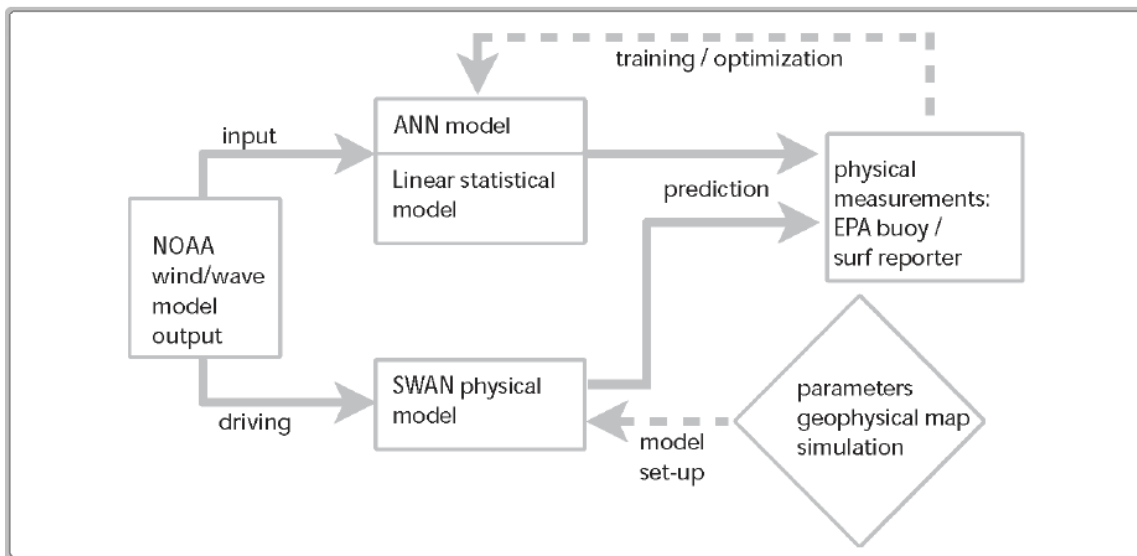


<그림 3.2.15> 미국 Ocean City(MD 주)의 비디오 이미지로부터의 Sand Bar 형상

- 호주도 CoastSAFE Alive Project를 통해 호주는 물론 미국 하와이, 캘리포니아, 텍사스 등에 설치된 140여개의 카메라와 파랑관측부이, WW3라는 파랑 모의 기술과 연계해 실시간 이안류 발생정보를 제공하는 CoastalCOMS 기술을 개발하고 있음.



<그림 3.2.16> 호주의 CoastalCOMS



<그림 3.2.17> CoastCOMS의 구조

- Eena Project와 같은 교육 및 홍보 프로젝트도 자발적인 대응방안의 하나로 제시함. Aka Eena라는 여자아이가 미국 North Carolina의 Outer Banks 해수욕장에서 이안류로 2006년 9월 사망한 후에 다음해 여름부터 그녀 가족들에 의하여 시작된 이안류 등의 해수욕장 안전 사고에 대한 교육 자료 배포가 렌트카 회사의 참여로부터 시작하여 National Park Service, Coast Guard, National Weather Service, Sea Grant, 그리고 여러 해양 구조팀과 서핑 전문가가 참여하는 형태로 확대되면서 안전교육, 홍보물 배포 등을 포함하여 희생 가족을 돕는 등의 다양한 형태로 Eena Project가 확대되고 있음.

3.2.5 국외 연구동향의 시사점

- 국외 선진국들에서 추진하고 있는 너울성 고파, 해양장파, 이안류 등 연안 이상현상에 대한 연구사례 및 대응기술 개발현황을 검토·분석한 결과, 아래 표와 같이 연구개발의 방향에 대한 시사점을 찾아볼 수 있었음

<표 3.2.2> 선진국들의 연안 이상현상에 대한 연구동향의 시사점

구분	너울	해양장파	이안류
발생외력	• 먼바다 해상폭풍	• 기상요란	• 연안 입사파랑
피해영향인자	• 파고, 파향, 주기 및 연안지형	• 파고, 파향, 주기 및 연안지형	• 해류, 파고, 파향, 주기 및 해변 해저지형
관측기술	• 거리구간별 관측장비 설치 • 원격관측기법 개발중	• 거리구간별 관측장비 설치 • 원격관측기법 개발중	• 대상해안 현장 종합관측장비 설치 • 원격관측기법 개발중
예측기술	• 3일 너울예보 수행 (미국 서해안)	-	• 발생가능성에 대한 3단계 예보 (미국)
대응기술	• 수치예측을 기반한 예보 생산	• 구간별 실시간 관측자료를 기반한 예보	• 수치예측을 기반한 예보 생산
정보전달	• 실시간 자료전송 및 온라인 예경보 제공	• 실시간 자료전송 및 온라인 예경보 제공	• 기상센터 및 언론을 통한 예보 전달
시사점	• 현상발생 관측을 위한 구간별 관측장비의 설치가 필요 • 현상의 효과적 관측을 위한 관측 신기술 개발이 필요 • 예측모델을 기반한 대응기술 수립	• 현상발생 관측을 위한 구간별 관측장비의 설치가 필요 • 현상의 효과적 관측을 위한 관측 신기술 개발이 필요 • 실시간 관측자료를 기반한 대응기술 수립	• 현상발생 관측을 위한 종합관측장비 설치가 필요 • 현상의 효과적 관측을 위한 관측 신기술 개발이 필요 • 예측모델을 기반한 대응기술 수립

3.3 국내 대응기술

3.3.1 국내 대응기술 개발현황 요약

- 최근 국토해양부, 기상청, 해양조사원, 소방방재청 등 관련 정부기관에서 우리나라 주변에서 발생하고 있는 너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대한 대응기술 개발 사업들을 추진 중에 있음. 각 기관에서 추진하고 있는 대응기술 개발 사례들의 주요내용을 간략하게 요약하면 다음과 같음.

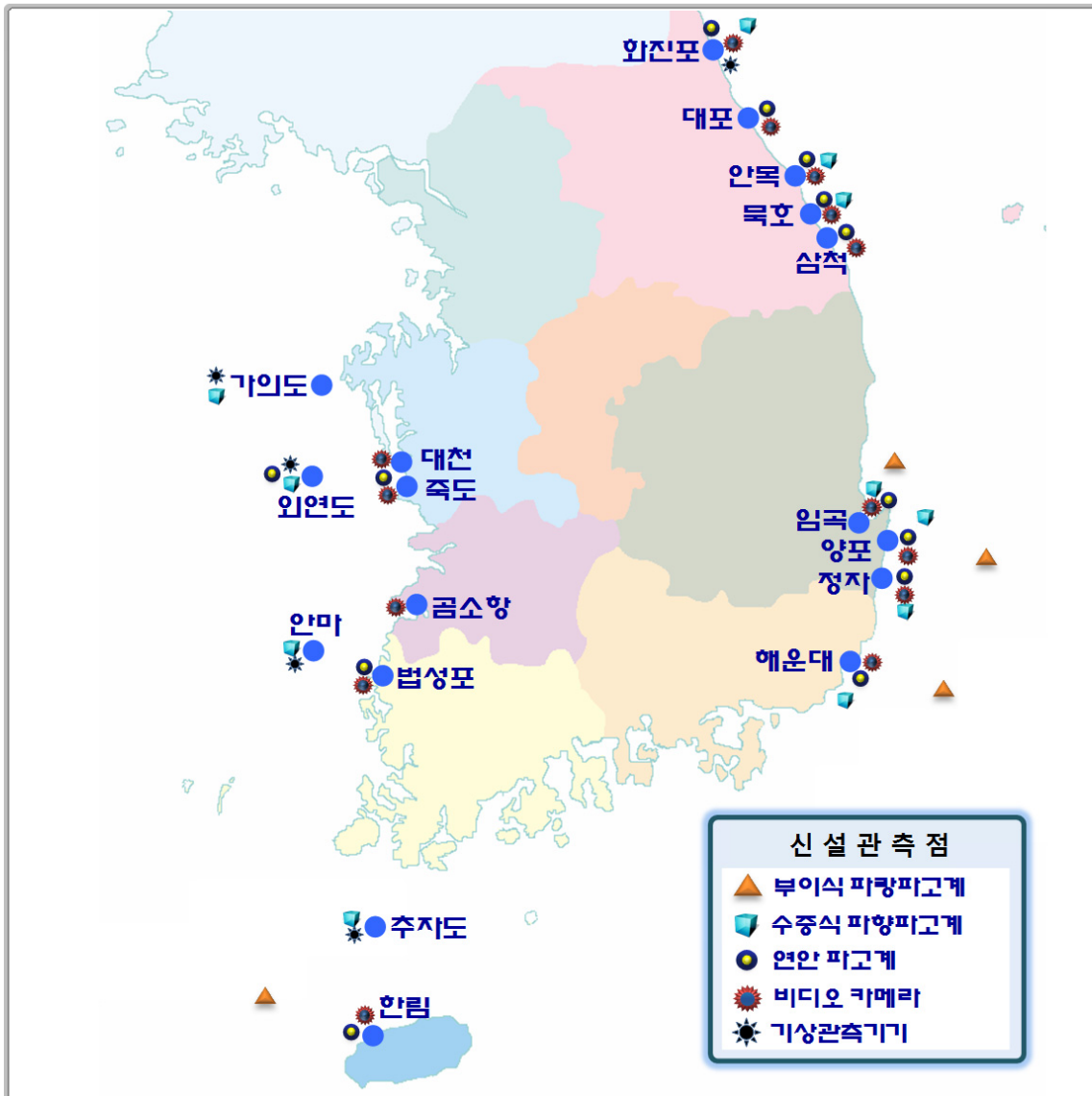
<표 3.3.1> 각 기관별 추진하고 있는 대응기술 개발사례

구 분	해양조사원	기상청	국토해양부	소방방재청	
사 업 명	연안사고지역 해양 이상현상 감시체계 구축 방안 연구	연안재해 실시간 감시 모니터링 체계 구축 방안	이안류 관측 및 발생구조 연구	방파제 재해예방 경보시스템 시범설치 사업	IT기술을 이용한 너울성파랑 대처 기술 개발
사업종류	기획 연구	기획 연구	연구 개발	연구 용역	연구 개발
연구기관	세종대	군산대	성균관대	해양연구원	군산대
연구책임자	이창훈 교수	최병주 교수	이정렬 교수	진기천 책임연구원	김태림 교수
사업기간	2010. 9 ~ 2010. 11 (3개월)	2009. 4 ~ 2009. 12 (8개월)	2010. 6 ~ 2012. 2 (21개월)	2010. 4 ~ 2012. 5 (2년)	2011. 5 ~ 2014. 4 (3년)
연구대상	너울, 해양장파, 이안류	너울, 해양장파	이안류	너울성 고파	너울성 고파
개발내용	<ul style="list-style-type: none"> • 권역별 이상현상 관측망 구축 계획 작성 • 연안재해 현상별 저감 대책 방안제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 해역별 이상현상 관측망 구축계획 작성 • 연안재해 감시 시스템구성 제안 • 동해 및 서해 연안재해 특보 기준안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 해운대 이안류 발생 관측 • 이안류 관측 시스템 개발 • 이안류 원인 규명 프로그램 개발 • 이안류 수치 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 방파제 도파 및 월파관측자료 수집 • 방파제 도파 추산 기술 • 현장 경보장치 설치 	<ul style="list-style-type: none"> • 너울성파랑 대처기술 구축 • 너울성파랑 대응 체계 운영
적용기술 및 장비	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 부이/수중 파향 파고계, CCTV 기상장비 • 너울예측모델 SWAN • 전달: 방송시설 및 전광판 	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 부이/수중 파향 파고계, CCTV 초음파식 파고계 • 너울예측모델 WW3, SWAN • 전달: 통합 자료 관리서비스, 전광판 	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 수중 파향파고계 및 유속계, GPS 부이, CCTV 등 • 예측 HAECUM수치 모델, NeRIPS 예보가이던스 • 전달: 인터넷 정보 서비스 	<ul style="list-style-type: none"> • 관측 수중 파향파고계 CCTV • 도파추산 도파 경험식, SWAN 모델 • 전달: 무선 인터넷, 전광판, 스피커 	<ul style="list-style-type: none"> • 원격탐사 등 IT 기술

3.3.2 해양조사원의 이상현상 감시체계 구축방안

1 권역별 관측망 구축계획

- 해양 이상현상 피해지역 분석결과 및 현황을 토대로 하여 관측망 기본설계안을 제시 하였음. <그림 3.3.1>
- 관측망 권역은 보령 죽도 유원지 및 대천해수욕장을 보령권역, 곰소항 및 법성포를 영광·고창권역, 한림지역을 제주권역, 해운대 해수욕장을 부산권역, 정자항 및 양포항을 울산·포항권역, 임곡방파제를 포항권역, 묵호항 및 삼척항을 삼척·동해권역, 안목항, 대포항, 화진포 지역을 강릉·속초권역으로 전 해역을 대상으로 8개 권역으로 구분.
- 각 권역의 범위는 위경도 각각 1°로 설정하였으며, 해당 권역이외에 동해 및 서해의 해양 이상현상 전파 특성을 고려하여 추가 관측망을 동해에는 울릉도 부근, 서해에는 백령도와 홍도 부근에 추가하여 관측망을 구축.



<그림 3.3.1> 관측망 계획안

㉠ 강릉·속초권역 관측망 구축

- 관측기기 총 8기 설치
 - 수중식 파향파고계(2), 연안 파고계(3), 비디오카메라(3), 기상 관측기기(1)
- 강릉시 안목항, 속초시 대포항, 고성군 화진포 전면에 연안파고계와 비디오카메라를 1기씩 설치, 화진포 북측해역과 안목항 남측해역에 수중식 파향파고계를 1기씩 설치하여 각 방향에서 전파되는 이상현상을 감시 및 관측할 수 있도록 함.

㉡ 삼척·동해권역 관측망 구축

- 관측기기 총 5기 설치
 - 수중식 파향파고계(1), 연안 파고계(2), 비디오카메라(2)
- 삼척시 삼척항과 동해시 묵호항 전면에 연안파고계와 비디오카메라를 1기씩 설치, 묵호항 북측해역에 수중식 파향파고계 1기를 설치하여 각 방향에서 전파되는 이상현상을 감시 및 관측할 수 있도록 함.

㉢ 포항권역 관측망 구축

- 관측기기 총 4기 설치
 - 수중식 파향파고계(1), 부이식 파향파고계(1), 연안 파고계(1), 비디오카메라(1)
- 포항권역은 영일만 내측의 임곡방파제 피해지역을 대상으로 관측망을 구축하여 임곡방파제에 비디오카메라 1기, 영일만 내측에 수중식 파향파고계 1기, 장기갑 전면에 연안 파고계 1기, 영일만 북측해역 강구항 해안에서 약 20km 동측 (N 36°18' 00", E 129°34' 48")에 부이식 파향파고계 1기를 설치함.

㉣ 울산·포항권역 관측망 구축

- 관측기기 총 4기 설치
 - 수중식 파향파고계(2), 부이식 파향파고계(1), 연안 파고계(2), 비디오카메라(2)
- 울산 정자항과 포항 양포항 전면에 연안파고계와 비디오카메라를 각 2기씩 설치, 정자항 남측해역과 양포항 북측해역에 수중식 파향파고계 및 해안으로부터 약 70km 동측(N 35°43' 12", E 130°06' 36")에 부이식 파향파고계를 설치함으로써 각 방향에서 전파되는 이상현상을 감시 및 관측할 수 있도록 함.

㉤ 보령권역 관측망 구축

- 관측기기 총 8기 설치
 - 수중식 파향파고계(2), 연안 파고계(2), 비디오카메라(2), 기상 관측기기(2)
- 보령 죽도유원지와 대천해수욕장 사이 남포방파제 전면에 연안파고계를 설치하고 각각 비디오카메라를 설치하여 해양 이상현상을 관측할 수 있도록 함.
- 또한 태안반도 북서방향에 위치한 가의도에 수중식 파향파고계와 기상 관측기기를 외연도 서측에 수중식 파향파고계, 연안 파고계, 기상 관측기기를 구축.

② 영광·고창권역 관측망 구축

- 관측기기 총 5기 설치
 - 수중식 파향파고계(1), 연안 파고계(1), 비디오카메라(2), 기상 관측기기(1)
- 법성포항 전면에 연안파고계를 법성포와 곰소항에 비디오카메라를 설치하여 해양 이상현상을 관측할 수 있도록 하였으며, 안마도 서측에 수중식 파향파고계, 기상 관측기기를 구축함으로써 해양 이상현상을 관측할 수 있도록 함.

② 제주권역 관측망 구축

- 관측기기 총 5기 설치
 - 수중식 파향파고계(1), 부이식 파향파고계(1), 연안 파고계(1), 비디오카메라(1), 관측기기(1)
- 한림지역 전면에 연안파고계와 비디오카메라 및 한림 해안에서 약 60km 서측(N 33°29' 24", E 125°40' 48")에 부이식 파향파고계와 북측의 추자도에 수중식 파향파고계, 기상 관측기기를 구축함으로써 해양 이상현상을 관측할 수 있도록 함.

② 부산권역 관측망 구축

- 관측기기 총 5기 설치
 - 수중식 파향파고계(1), 부이식 파향파고계(1), 연안 파고계(1), 비디오카메라(1)
- 부산 해운대 해수욕장 전면에 연안파고계와 비디오카메라 및 영도구 태종대 전면 수중식 파향파고계와 해운대 해수욕장에서 약 50km 남동쪽(N 35°01' 12", E 129°27' 36")에 부이식 파향파고계를 설치하여 이안류 발생을 감시 및 관측할 수 있도록 함.

② 대상권역외 관측망 구축

- 해양 이상현상 피해현황 분석 결과로 파악된 8개 권역 이외에 동해 울릉도 북서측(N 38°00' 00", E 130°24' 00")에 부이식 파향파고계, 울릉도에 기상 관측기기, 서해 백령도 서측에 수중식 파향파고계 및 기상 관측기기, 서해 홍도 서측에 기상 관측기기를 설치하여 각 방향에서 전파되는 이상현상을 감시 및 관측할 수 있도록 함.
- 이는 과거 서해안 피해는 대부분 북서 또는 서측에서 이동하는 기압변화에 따라 이상현상이 발생 및 전파되었고, 동해안에서는 발달된 저기압이 북동측에서 전파되어 피해가 발생했음을 고려한 관측망 계획임.

② 대상권역별 관측망 계획 요약 및 소요 예산액

<표 3.3.2> 권역별 관측망 계획

구분		부이식 파향파고계	수중식 파향파고계	연안 파고계	비디오 카메라	기상 관측기기	계
너울성고파	강릉·속초권역 (안목항, 대포항)	-	2	2	3	1	8
	삼척·동해권역 (삼척항, 묵호항)	-	1	2	2	-	5
	포항권역 (임곡방파제)	1	1	1	1	-	4
	울산·포항권역 (정자항, 양포항)	1	2	2	2	-	7
이상장파	보령권역 (죽도, 대천해수욕장)	-	2	2	2	2	8
	영광·고창권역 (법성포, 곰소항)	-	1	1	2	1	5
	제주권역 (한림)	1	1	1	1	1	5
이안류	부산권역 (해운대해수욕장)	1	1	1	1	-	4
동해광역		1	-	-	-	1	2
서해광역		-	1	-	-	2	3
계		5	12	12	14	8	

<표 3.3.3> 연차별 구축계획(안)

구분	기반구축단계						소계
	2011	2012	2013	2014	2015		
신규 구축	대상지역	• 동해광역 • 포항(시범)	• 서해광역 • 보령	• 삼척·동해 • 강릉·속초	• 영광·고창 • 제주	• 부산 • 울산·포항	
	연 소 요 예 산 (물가상승률고려)	1,780	3,639	5,427	3,443	5,159	19,448
유형 /유지 보수	대상지역			• 동해광역 • 포항	• 동해광역 • 포항 • 서해광역 • 보령	• 동해광역 • 포항 • 서해광역 • 보령 • 삼척·동해 • 강릉·속초	
	연 소 요 예 산 (물가상승률고려)			478	1,305	2,528	4,311
총 예 산		1,780	3,639	5,905	4,748	7,687	23,759

※ 총예산은 물가상승률 연간 3.1%가 고려됨 (단위: 백만원)

2 이상현상 피해저감을 위한 대책 방향

㉠ 동해안의 너울성 고파

- 너울성 고파가 동해안의 북쪽 해역에서 발생하기 때문에 울릉도와 화진포에 기상 관측기기를 두어 바람의 방향과 크기를 감지하도록 함. 또한, 일본, 중국의 기상자료를 이용하여 너울성 고파의 발생 가능성을 감지하도록 함.
- 해안선에서 멀리 떨어진 해역에 부이식 파향 파고계를 두어 너울성 고파의 방향과 크기를 감지하도록 함.
- 수치모형을 사용하여 해안선에서 멀리 떨어진 해역에서 감지된 너울성 고파가 해안선에 도달하는 시각과 파고를 예측함.
- 해안선 가까이에서 수중식 파향파고계, 연안파고계, 비디오카메라로 너울성 고파의 피해 정도를 관측하여 예측의 정도를 검증하고 개선하는 자료로 활용함.

㉡ 서·남해안의 이상장파

- 기압점프가 10분 미만으로 짧게 발생하기 때문에 해안선에서 멀리 떨어진 서쪽, 남쪽, 북쪽 섬에 AWS(Automatic Weather Station)를 설치하여 기압점프를 감지하도록 함.
- 해안선에서 멀리 떨어진 섬에 수중식 파향파고계를 두어 기압점프에 의한 장주기파의 전파방향과 파고를 감지하도록 함.
- 수치모형을 사용하여 해안선에서 멀리 떨어진 섬에서 감지된 장주기파가 해안선에 도달하는 시각과 파고를 예측하도록 함.
- 해안선 가까이에서 연안파고계와 비디오카메라로 이상 장파의 피해 정도를 측정하여 예측의 정도를 검증하고 개선하는 자료로 활용하도록 함.

㉢ 해수욕장의 이안류

- 기존의 기상청 자료, 일본의 기상자료를 이용하여 해운대 해수욕장에 이안류가 발생할 가능성을 감지하도록 함.
- 해운대에서 멀리 떨어진 해역에 부이식 파향 파고계와 수중식 파향 파고계를 두어 파랑의 방향과 크기를 이중으로 감지하도록 함.
- 수치모형을 사용하여 해운대에서 멀리 떨어진 해역에서 감지된 파랑이 해운대 해수욕장에 도달하여 이안류의 발생 가능성을 예측함.
- 해안선 가까이에서 연안파고계, 비디오카메라로 이안류의 피해 정도를 관측하여 예측의 정도를 검증하고 개선하는 자료로 활용함.

3 경보기술의 개발 방안

- 해양 이상현상에 대한 위험 경보를 제공하기 위해서 해역별 특성을 고려하여 동해안과 서·남해안으로 구분하여 별도 기준을 마련하는 것이 바람직할 것으로 판단됨. 동해안의 경우 조석의 영향과 크게 상관없이 월파가 발생할 수 있으나, 서·남해안의 경우는 태풍 내습 시에도 조위의 영향에 따른 해일 및 범람이 발생할 수 있음.
- 이상파랑 발생 경고방송을 내보내는 방송시설과 긴급 상황 및 영상 등을 전달할 수 있는 전광판을 위험예상지역에 설치해야 함.
- 기상청, 국립해양조사원, 해양연구원 등이 재해 경보를 위한 자료 관리, 관측 장비 및 분석 프로그램 등을 개별적으로 처리하여 통합적으로 이루어지고 있지 않으므로 향후 공통적으로 관련되는 파랑 정보(유의 파고, 주기 등), 해수면 변동(조위), 풍향, 풍속 등에 대한 관측 방법, 자료 관리, 분석 방법이 일괄적이고 체계적으로 처리하는 방안이 요구 됨.

3.3.3 기상청의 연안재해 감시체계 구축방안

1 파랑 관측망 확충 방안

▶ 파랑 관측망 제안

- 서해와 남해에서는 장파와 이상파랑을 관측할 수 있는 장소에 파향과 파고를 연속적으로 관측하는 장비를 설치. 해수면 높이를 5초에 한번씩 연속적으로 관측하는 연속관측과 풍파와 너울을 관측하기 위하여 1시간에 20분씩 0.5초 간격으로 해수면 높이를 관측하는 표준관측이 동시에 이루어져야 함.
- 풍파와 너울을 관측할 수 있는 동해 외해 지역에 설치될 주파랑 관측소 및 보조 파랑관측소는 파향과 파고를 동시에 관측할 수 있는 장비를 설치하며, 연속관측하는 것을 원칙으로 함. 때에 따라 해안에 도착한 지역적인 파고의 특성을 관측해야할 필요가 있을 때는 해안에서 파고만을 관측할 수도 있음.
- 신설 파랑 관측소가 기존 파랑 관측망에 포함되면 동해의 너울과 서해와 남해의 장파 및 이상파랑을 실시간으로 감시하는 능력이 증진되며, 우리나라 연안을 따라 대부분 지역에서 파랑관측이 이루어지게 되고 특히 파향과 주기에 대한 에너지 스펙트럼 및 외해에서 얻어진 파향 및 파고자료를 파랑 수치 예보 모델을 검증하고 개선하는데 사용하여 파랑 예측 정확도를 향상시키는 역할을 할수있음
- 기상청의 신설 계획안에 포함된 파랑 관측소를 표기하여 <그림 3.3.2>에 각 지역별 파랑 관측소의 분포를 조사하였음.



<그림 3.3.2> 기상청 파랑 관측소 신설계획안

2 예측 시스템 구축 방안

② 동해 너울 예측시스템의 개발 방안

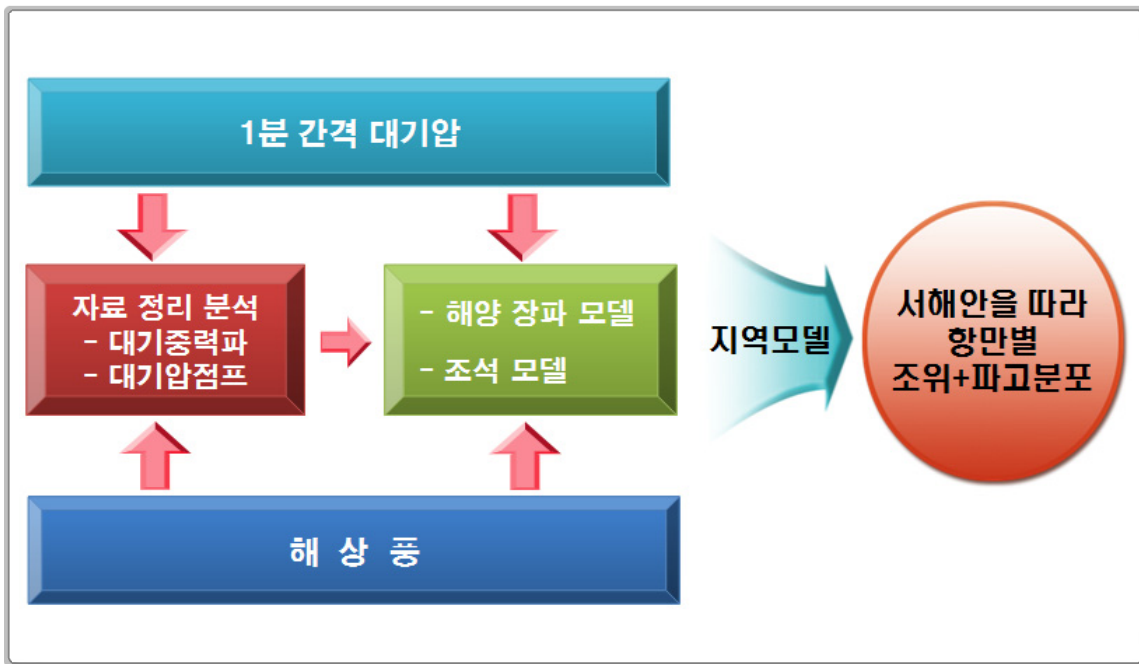
- 우리나라 동해에서의 정확한 파랑 및 너울 예보를 위한 파랑 예측 구축 시스템은 <그림 3.3.3>과 같음.
- 먼저, 입력전에 사용가능한 해양기상 부이와 파고계로부터 관측된 기상자료와 Quikscat, Altimeter 및 SAR 등의 위성관측으로 획득된 바람자료를 이용한 자료 분석과 검증을 통하여 그 정확도를 높이는 작업이 이루어져야 하며, 일기도를 바탕으로 동해의 해상풍을 계산하고 이를 최근 전 세계적으로 가장 많이 활용하고 있고 또한 정확도가 높은 WWIII 모델에 입력.
- 동해안의 연안역 및 항만 주변해역에 대한 상세한 파랑예보는 천해파랑 예보 모델인 SWAN 모델을 수행하여 이루어져야 하며, 외부 경계해역에서의 파랑조건은 동해해역 전체에 대하여 수행된 WWIII 모델로부터 획득함.
- 또한 SWAN 모델 수행시 사용 가능한 현장관측 자료 및 위성 관측자료를 이용하여 분석하고 검증한다면 정확도가 높은 외부 경계 자료를 생성할 수 있으므로 보다 더 정확한 파랑 예보가 가능할 것으로 판단됨.



<그림 3.3.3> 동해 너울 예측 시스템 구성도
(주기 12초, nowcast + 3일 예보)

② 서해 해양장파 예측시스템의 개발 방안

- 황해와 남해에 발생하는 이상파랑은 주로 10 ~ 60분 주기의 해양장파가 해안에 도착하였을 때 나타나므로 해양장파를 생성하고 전파시킬 수 있는 모델을 수립.
- 하지만 우리나라 서해안은 조석에 의하여 변화하는 해수면의 높이가 크므로 조석 모델도 독립적으로 수행하여 두 결과를 합성하고 해수면 높이를 구하여야 하며, 각 항만과 연안역마다 복잡한 지형과 해안선으로 인하여 증폭효과가 나타나므로 각 지역별로 상세한 지형과 해안선을 갖는 모델을 수립하여 최종 해수면 높이의 변화를 예측하여야 함. <그림 3.3.4>

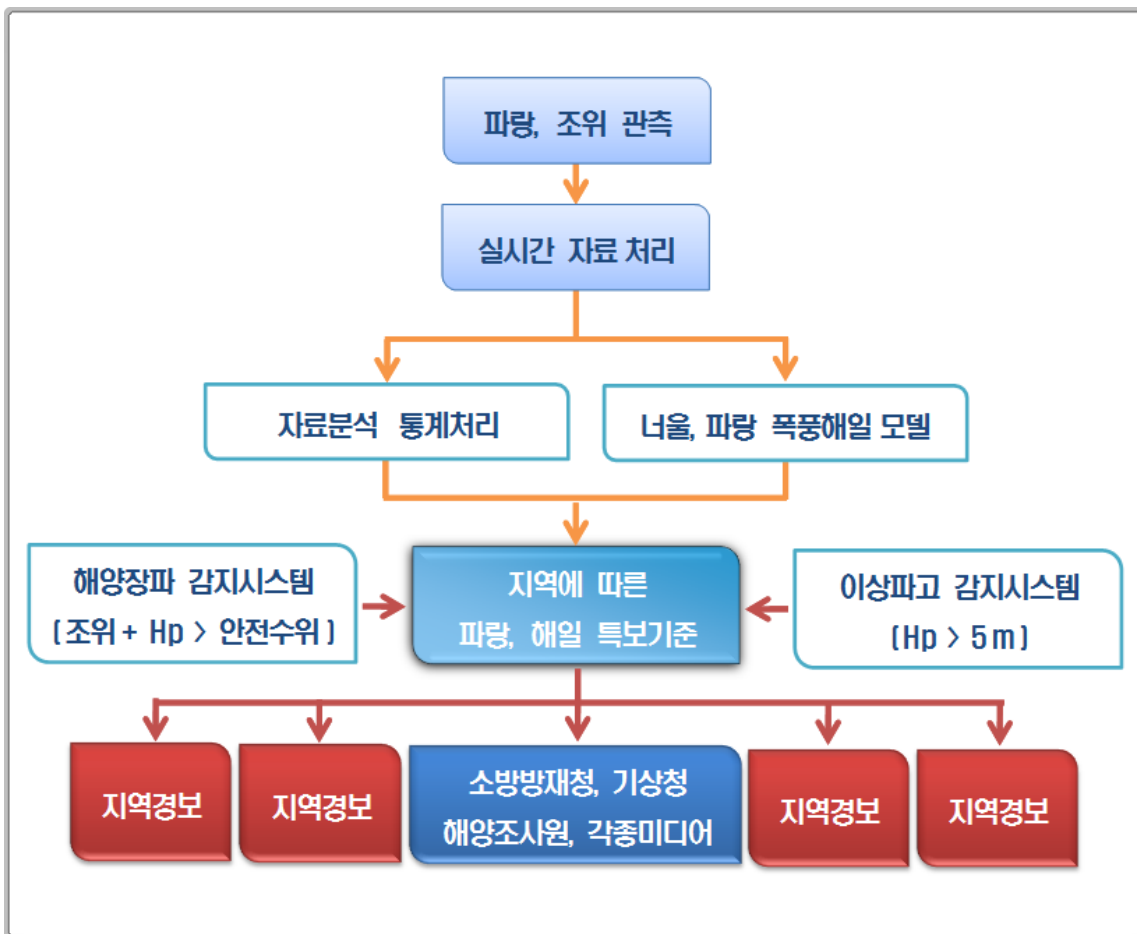


<그림 3.3.4> 황해와 남해 장파 예측 시스템 구성도
(주기 10~60분, nowcast + 6시간 예보)

- 황해와 남해에 발생하는 장파를 예측하는 시스템을 수치 모델을 이용하여 갖춘 나라는 전 세계적으로 아직 없으며, 이론적으로는 2차원 천해방정식 해양모델에 대기압과 바람을 외력으로 사용한 모델을 구축할 수 있으나 이때 사용되는 대기압과 바람은 대기 중력과의 이동과 대기압 점프의 이동을 포함하는 미세구조이므로 그 값들을 실시간으로 운용되는 대기 예측 모델로부터 받는 것이 실제적으로 어려움.
- 또한 이 값들을 2차원 천해방정식 해양 모델에 제공하여 장파의 발생과 전파를 실시간으로 예측하여 그 결과를 제공하는 것 또한 어려움.
- 하지만 시험적으로 그 실현 가능성과 효율성을 연구하는 것이 필요함. 또한 정확한 장파예측을 위해서는 외해지역에 있는 섬들에서 1분 간격으로 미세 대기압 관측과 바람관측이 이루어져야 함.

3 경보 시스템의 개발 방안

- 조석에 의하여 주기적으로 상승하고 하강하는 운동을 하고 이 조석에 의한 해수면 변화는 조석 모델을 통하여 정확한 예측이 가능함. 이러한 주기적인 조석에 의한 해수면 상승과 하강높이에 파에 의한 해수면 상승높이를 추가하면 최종 해수면 높이가 되고 이 해수면 높이가 각 지역별로 정해진 최저시설물의 표고를 넘으면 시설물과 연안구조물에 해수가 범람하게 됨.
- 지역별로 연안재해 (폭풍해일, 장파, 너울피해 등) 경보를 발령하기 위해서는 먼저 각 지역 최저시설의 표고를 측량하는 것이 필요.
- 외해에서의 관측과 수치모델들을 이용하여 (1) 조석에 의한 조위, (2) 폭풍해일모델 결과로 나온 해수면의 높이, (3) 파랑 수치모델 결과로부터 나온 최고 파고를 더해 그 결과로 예상되는 해수면이 연안 최저 시설물의 표고보다 높은 경우 연안 재해 경보 발령. <그림 3.3.5>
- 또한 실시간 관측을 통하여 관측된 해수면의 높이가 연안 최저시설물의 표고에 10 cm ~ 25 cm 범위내로 접근하면 연안재해 주의보나 경보를 발령. <그림 3.3.5>



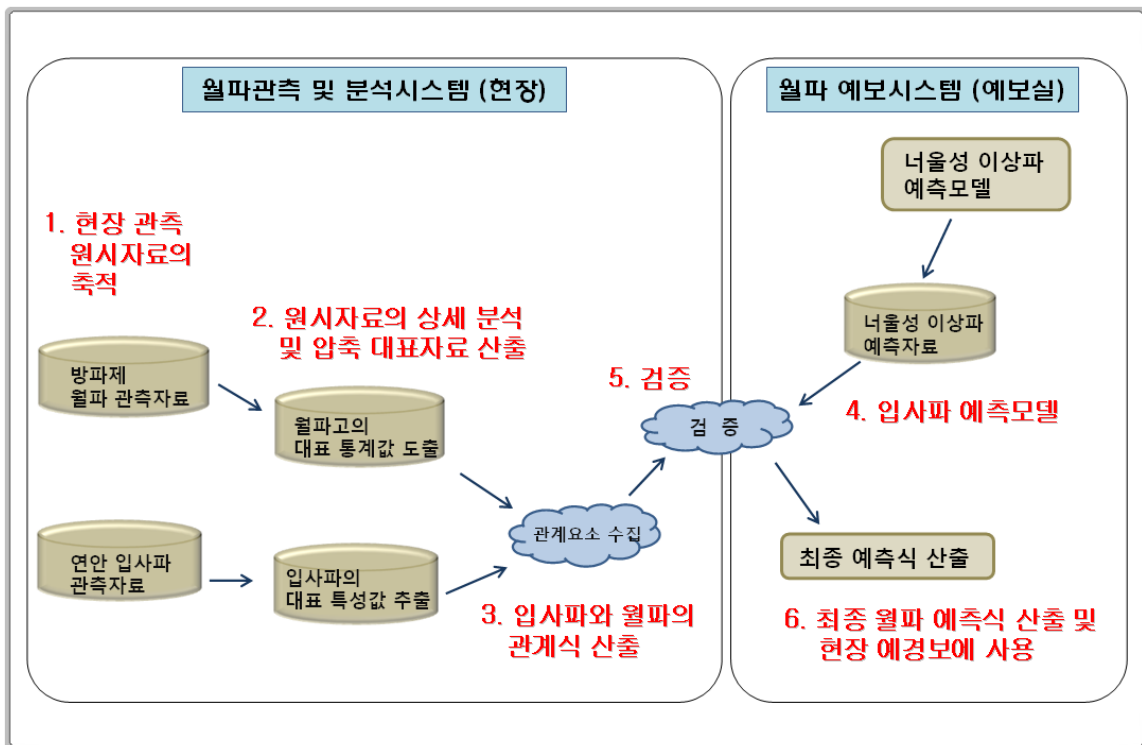
<그림 3.3.5> 연안 재해 연안특성에 맞는 특보 설정 및 발령 개념도

3.3.4 국토해양부의 방파제 재해예방 경보시스템 시범설치 사업

1 방파제 재해예방 경보시스템의 구성

① 재해예방 경보시스템의 개발 흐름

- 동해안에서 발생하는 월파현상의 대부분은 동해 북동부 먼 바다로부터 이동해 온 너울성 고파의 입사파가 원인이 되어 발생함. 지역에 따라 발생하는 월파현상의 정도는 같은 크기의 입사파라 할지라도 입사파향, 방파제의 사면특성 및 지형특성의 영향에 따라 다양한 형태로 나타남.
- 경보시스템의 개발은 크게 월파 예보시스템 및 현장 월파 관측시스템으로 나눔. 월파예보 시스템은 동해 전 해역에 대한 광역 및 주문진 연안지역에 대한 파랑예측 모델의 실시간 운용을 통해 폭풍해일 및 너울성 고파 특성을 갖는 입사파를 예측함.

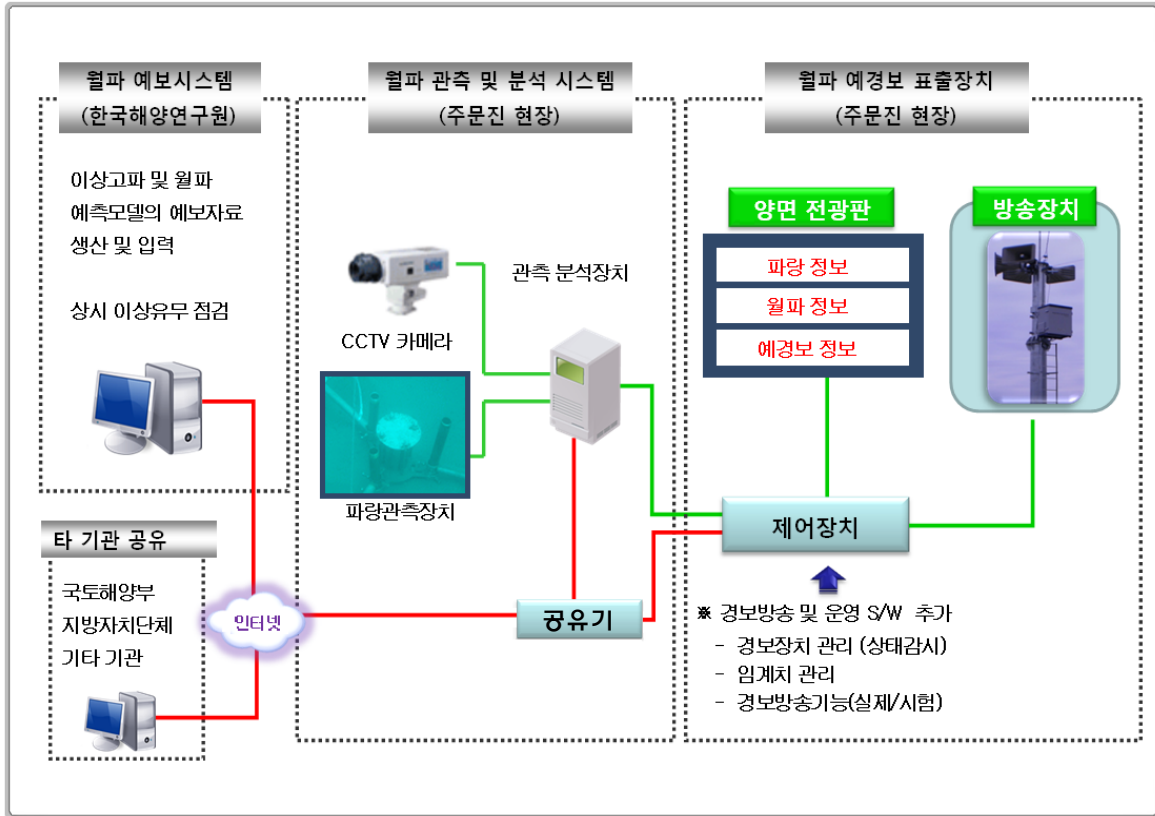


<그림 3.3.6> 방파제 재해예방 경보시스템의 개발 흐름도

- 월파 관측 시스템은 현장에서의 연안 입사파 및 방파제 월파를 실시간으로 관측 및 분석하는 것으로 현장에서 관측한 입사파의 자료는 입사파 예측 모델의 정확성을 검증하고 향상하는데 쓰이며, 방파제의 월파 관측자료는 연안 입사파와 방파제 월파현상의 상관관계를 분석하여 최종 월파 예측식을 도출하는 데 사용. <그림 3.3.6>

② 재해예방 정보시스템의 구성

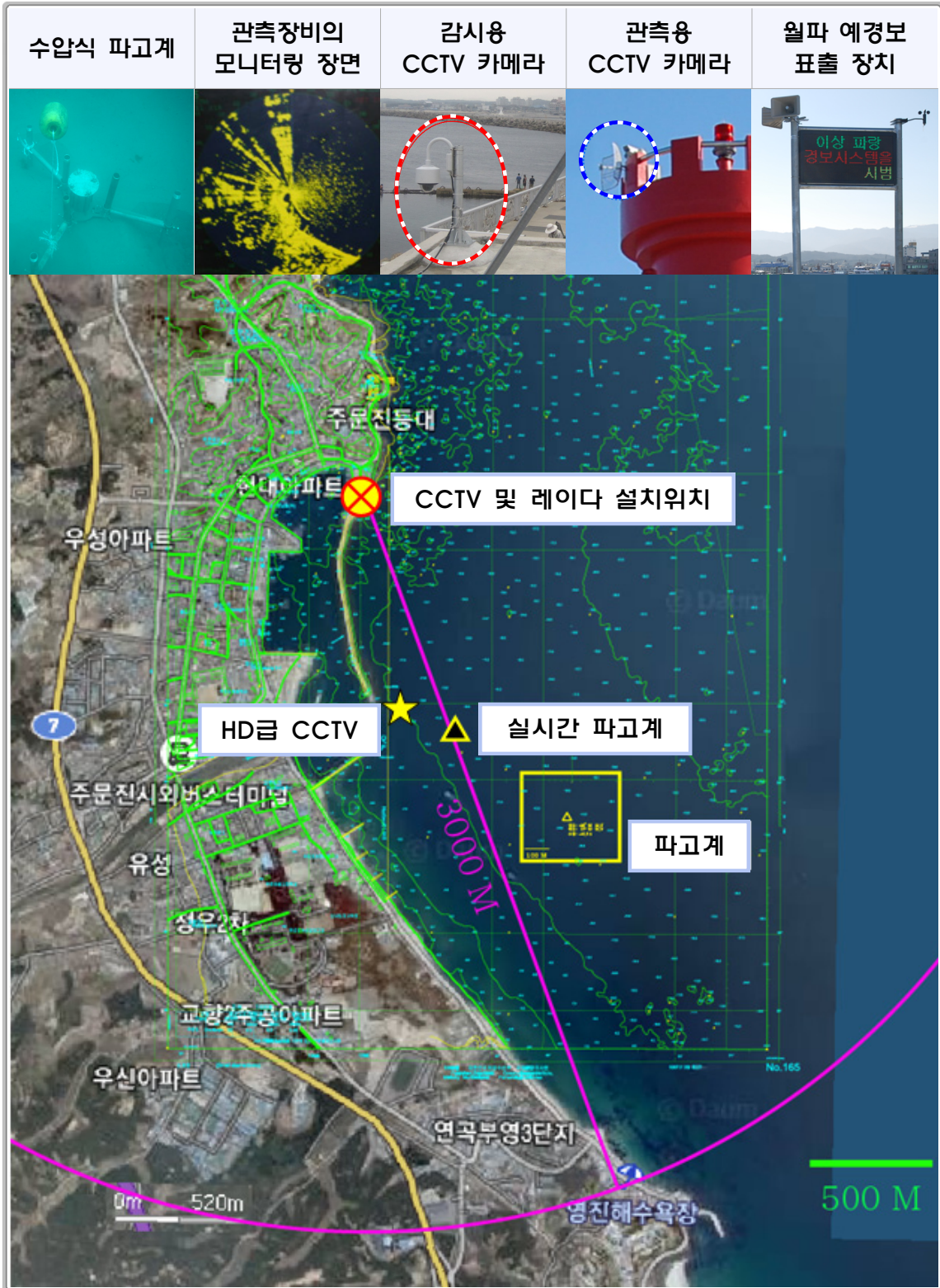
- 방파제 재해예방 정보시스템은 <그림 3.3.7>에 제시된 바와 같이 월파 예보시스템, 현장 월파 관측시스템, 월파 예경보 표출장치 등 크게 세부분으로 구성.



<그림 3.3.7> 방파제 재해예방 정보시스템의 구성

- 입사파 및 월파 예보시스템은 당 연구원의 해양예보시스템의 일부분으로 구축되어 운영중에 있으며, 매일 12시간 간격으로 향후 72시간 예보자료가 생산되어 시범사업 현장에 지원됨. 월파 발생에 따른 자연재해 및 인명피해의 위험을 사전에 경보하기 위해서는 해양예보 시스템으로부터의 입사파 및 월파 예보자료의 지원이 필요하며, 입사파 및 월파 관측 시스템은 주문진 현장에 설치되어 관측 자료를 수집하고 분석함.
- <그림 3.3.8>은 입사파 및 월파 관측 시스템의 구성 장비들이 설치된 위치를 보여준다. 입사파의 관측을 위해서 방파제 전면 해상에 초음파식 파향·파고계 및 수압식 파고계 등 2대의 파랑 관측계기가 설치되었고, 방파제에는 도파 및 월파의 관측과 모니터링을 위해서는 CCTV 카메라 2대가 설치되었음.
- 또한, 입사파의 원격탐사를 위한 항해용 (X-band) 레이더 1대도 설치되었으며, 초음파식 파향·파고계와 항해용 (X-band) 레이더는 당 연구원의 기본연구사업인 “연안파랑 관측, 분석 및 장기산출”의 연구를 위해 설치한 것임.

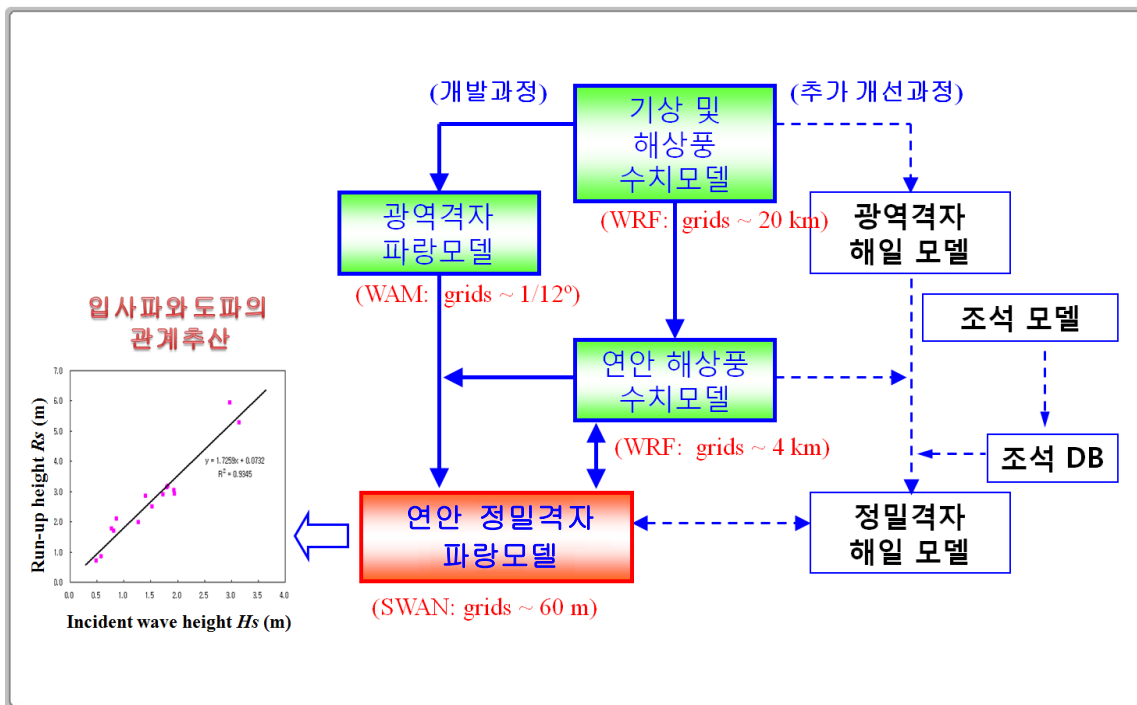
- 월파 예경보의 현장 전달을 위한 경보 표출장치로 양면 전광판 1식 및 방송장치 1식이 설치. 전광판에 표출되는 내용은 실시간 기상정보, 실시간 파랑관측 정보, 월파 예보정보 및 방파제 재해예방에 관한 홍보 등이며, 방송장치는 월파 예경보의 등급별 경보내용을 방송함.



<그림 3.3.8> 장비들의 설치 위치도

2 방파제 입사파 및 도파 예측시스템

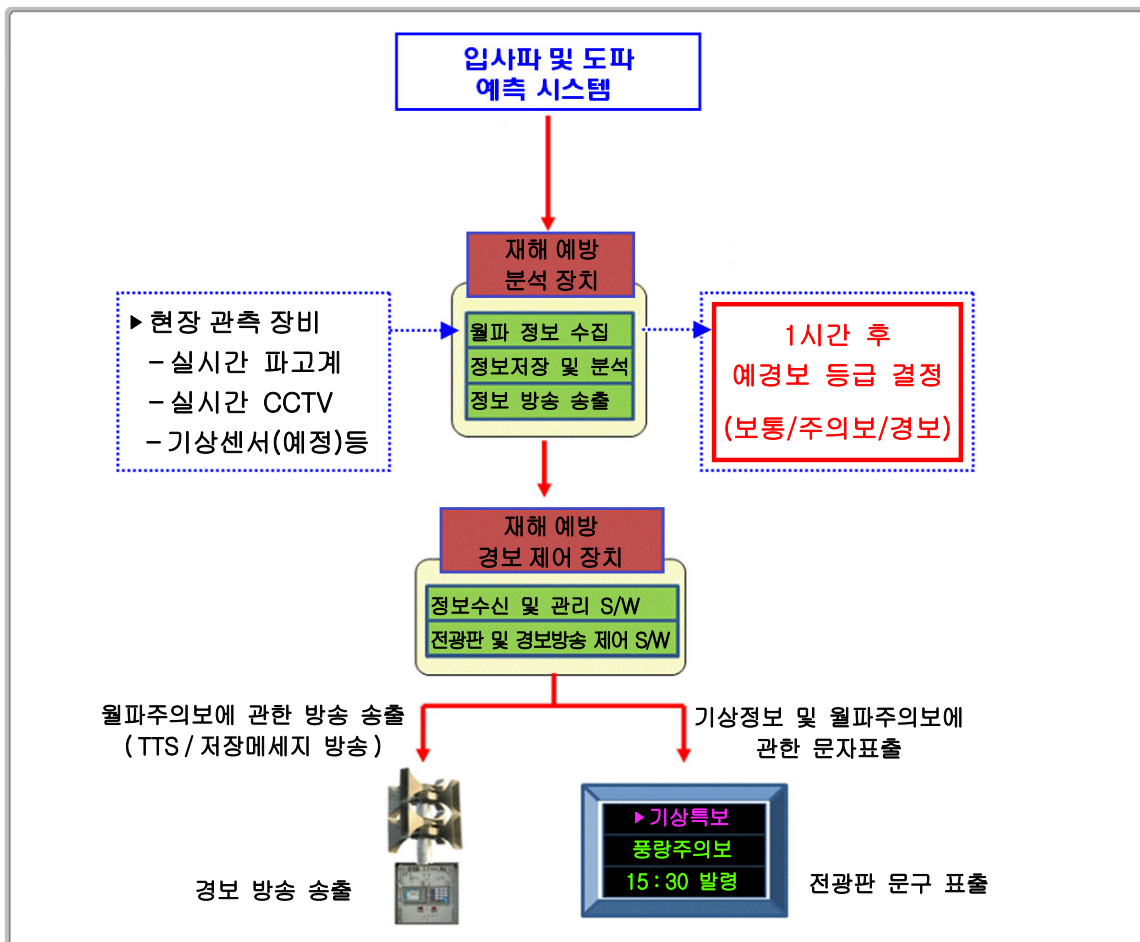
- NCEP 전구 기상 예보 모델 결과로부터 한반도 일대에 대해 WRF 모델로 정밀 격자 기상 예측.
- 기상 입력 자료로부터 동해 전체를 포함하는 광역 파랑 모델(WAM 4.52)로부터 동해안으로 매 시간별 입사하는 심해파랑 (2차원 파랑 스펙트럼) 72시간 예측.
- 추산되는 동해 연안으로 입사파를 경계조건으로 하여 국지 정밀격자 천해 파랑 모델(SWAN 모델)을 이용해 국지 방파제 입사파 72시간 예측 국지 방파제 입사 파 예측 정보로부터 문헌 조사 및 주문진항에서 현장 관측 실험(입사파, 도파 동시 관측) 자료 분석으로 얻은 도파 예측 모델을 이용하여 72시간 도파 예측.
- 예측된 72시간 도파 예측 결과는 인터넷 홈페이지를 통해 사용자가 이용할 수 있게 전달하고 필요시 관계자에서 정보 전달.
- 도파 예측 정보를 압축 요약하여 주문진 방파제 전광판에 도파 예측 정보 표출
- 방파제 인명 피해 위험 예상 시에는 그 내용을 전광판에 요약 표출.



<그림 3.3.9> 방파제 입사파 및 도파 예측 시스템

3 방파제 재해예방 경보시스템의 작동 절차

- 먼저, 입사파 및 도파 관측장비에 의해서 실시간으로 모니터링되는 파랑정보를 관측시스템의 컴퓨터에 전달하여 자동으로 수집하고 분석하여 저장함.
- 월파 예보시스템은 매일 오전 향후 72시간의 연안 입사파 및 방파제 도파 예보 자료를 생산, 현장 관측시스템에 전달하며, 실시간 파랑관측 정보를 방파제 도파 예경보 표출장치인 재해예방 경보 제어장치에 자동으로 전송하여 송출시킴.
- 매 시간마다 송출되는 예경보 정보는 월파 예보시스템에 의해서 생산된 향후 72시간에 대한 1시간 간격의 예측자료 중에서, 현재 시각으로부터 1시간 이후의 예측자료를 근거로 예경보 등급을 결정하여 발령되며, 예경보 등급 결정의 기준은 지금까지 수집된 연안 입사파 및 방파제 도파 관측자료를 근거로 산출됨.
- 현장 지형측정 결과, 주문진항 방파제 상단의 높이는 평균 해수면 기준으로 약 7.2 m이었으며, 이 방파제 상단의 높이를 근거로 예경보 발령등급을 보통 (도파고 3m 이하), 주의보 (도파고 3 ~ 6 m), 경보 (도파고 6 m 이상) 등 3단계로 구분함.
- 방파제 재해예방 경보 제어장치는 월파 예경보 표출장치를 관리하는 장비로, 월파 관측시스템의 분석 컴퓨터에서 실시간으로 파랑관측 및 방파제 도파 예경보 정보와 예경보 발령 및 경고 내용을 양면 전광판과 방송장치를 통해서 자동으로 송출함. <그림 3.3.10>

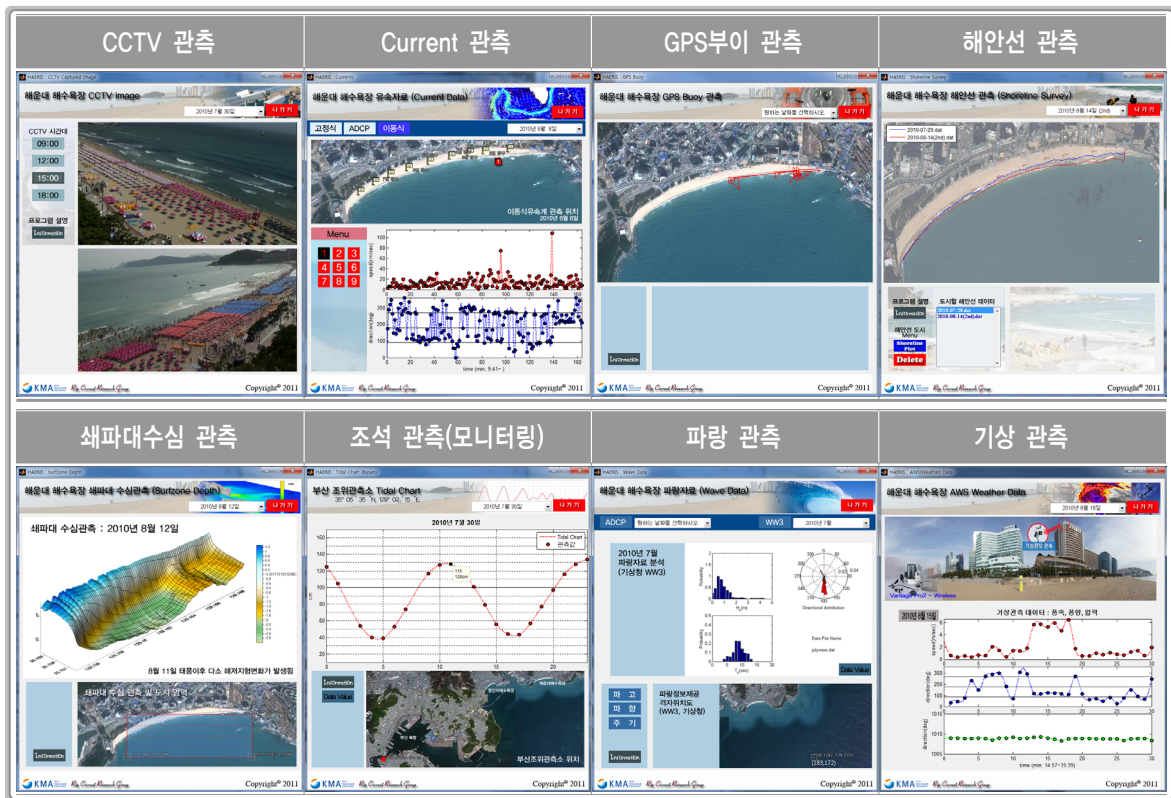


<그림 3.3.10> 방파제 재해예방 예경보 시스템의 작동절차

3.3.5 기상청의 이안류 발생구조 연구사업

② 해운대 이안류 원인규명 관측

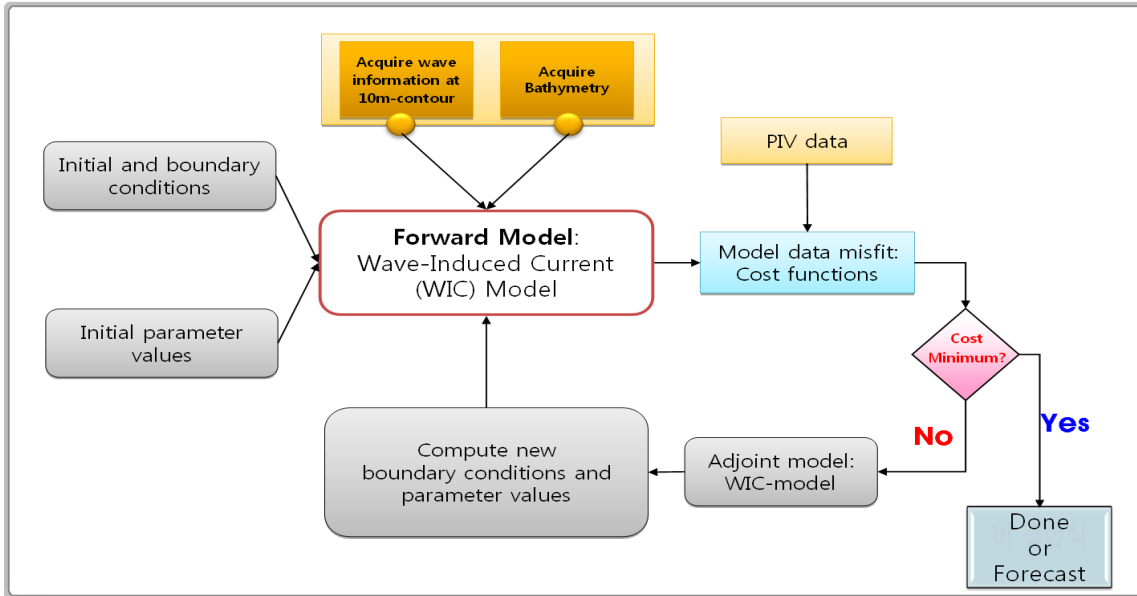
- 해운대 이안류 발생 기작 연구를 위한 심해 파랑, 천해 유속 및 수위, 해안선 및 수심 변화, CCTV 및 열감지 관측 등
- HAERIS(HAEundae RIpcurrent Study)는 관측 결과의 upload와 자동 분석 시스템으로 메인화면에서 원하는 관측항목을 선택하면 해당관측을 수행한 날짜가 표시되고, 각 관측항목별로 세부 관측 및 분석 결과의 도시가 가능한 별도의 상세창이 제공됨.
- 이안류 관측에 의한 발생 기작 연구를 통하여 예보에 효율적인 최적의 관측 시스템 제안



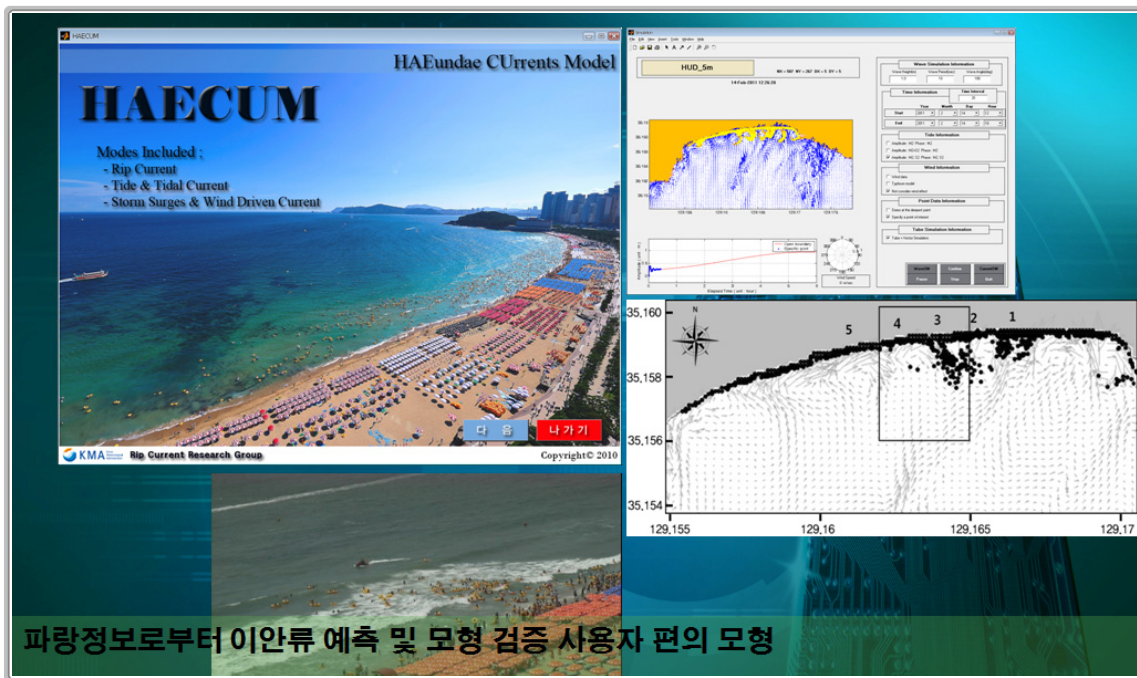
<그림 3.3.11> 관측항목 및 관측결과 예

③ 이안류 발생 모델 재현

- 해운대 이안류 발생 기작 연구를 위하여 얻어진 관측자료의 분석과 모델 검증 과정을 통한 이안류 발생 재현
- 해운대에 최적화된 수치모형인 HAECUM(HAEundae CUrrent Model)을 개발하고 기존 발생한 사례와 비교 분석

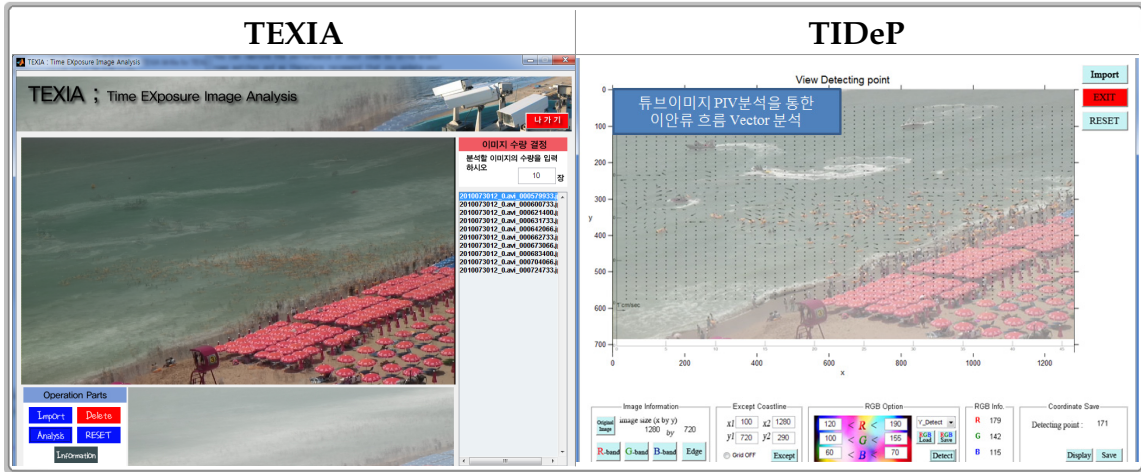


<그림 3.3.12> 모형의 검증과정



<그림 3.3.13> HAECUM의 GUI화 및 이안류 및 튜브 거동의 결과 예

- 동일 장소에서 촬영한 CCTV 이미지의 다중 이미지 분석을 통한 이안류 채널 위치 파악, 해저지형 파악 등이 가능한 TEXIA(Time EXposure Image Analysis)의 개발
- CCTV에서 모니터링한 튜브이미지의 PIV분석을 통한 이안류의 흐름파악을 위해 튜브의 좌표감지 소프트웨어인 TIDeP(Tube Image Detecting Program)을 개발하였고, 이를 통해 PIV분석까지 자동으로 수행하는 툴 개발



<그림 3.3.14> 이안류 발생 상황 분석 및 모형 검증 시스템

① 주요해수욕장 이안류 특성 연구

- 관측자료를 토대로 수립된 수치 모형을 서해, 남해, 동해의 주요 해수욕장에 적용하고 각각의 해안 이안류 발생 특성을 분석

② 이안류 진단가이드 작성 및 검증

- 기상청 심해 파랑 예보 자료로부터 이안류 위험도 진단을 가이드를 작성하고 현장 이안류 발생 사례에 적용하여 검증
 - 이안류 자기 진단 프로그램인 NERiPS(NEAR shore Ripcurrent Predict System)를 개발하여 실제 해수욕장을 이용하는 비전문적인 해수욕객 입장에서 현재 상황을 판단하여 이에 따른 이안류의 발생 가능성 및 위험도를 진단할 수 있도록 함
 - NERiPS-H는 2010년 하계에 해운대에서 실제 관측한 조석, 파향, 파고, 주기 등 자료를 기반으로 실제 CCTV 등의 관측을 통해 모니터링한 이안류의 발생정도에 대한 비교검증을 거쳐 해운대 해수욕장에 최적화되게 개발한 이안류 진단 프로세스임. 지속적인 비교검증을 통해 보다 신뢰성 높은 예보 모형이 되도록 함.



<그림 3.3.15> 예보 가이드

③ 효과적 예경보 체계 구축 방안 제시

- 진단 가이드 및 관측계기와 수치모형을 연계하여 이안류 사고 예방을 위한 실시간 예경보 체계의 구축 방안 제시

3.3.6 기존 연구과제의 분석결과 및 시사점

- 국토해양부, 기상청, 해양조사원, 소방방재청 등 관련 정부기관에서 추진 중에 있는 연안 이상현상에 대한 대응기술 개발 사업들의 검토결과를 요약하면 아래 표와 같고, 이를 토대로 연구개발 과제의 중복성을 피하고, 차별화하기 위한 개발방향을 다음과 같이 고려해 볼 수 있음

<표 3.3.4> 각 기관별 추진하고 있는 대응기술의 중복성 분석

구분	해양조사원	기상청		국토해양부	소방방재청
사업명	연안사고지역 해양 이상현상 감시체계 구축 방안 연구	연안재해 실시간 감시 모니터링 체계 구축 방안	이안류 관측 및 발생구조 연구	방파제 재해예방 경보시스템 시범설치 사업	IT기술을 이용한 너울성파랑 대처 기술 개발
연구대상	너울, 해양장파, 이안류	너울, 해양장파	이안류	너울	너울
연구결과	기획 연구보고서	기획 연구보고서	현장 예측기술	현장관측, 예측 및 경보기술	감시 및 대처기술 (사업 시작단계)
연구결과 공통점	• 해역별 관측망 구축 계획에 중점	• 해역별 관측망 구축 계획에 중점	• 해운대 이안류 현장관측 운영	• 입사파 및 방파제 도파 현장관측	-
연구결과 상이점	• 현상별 저감 대책 방향 제시	• 현상별 예보 시스템 구축안 제안	• 현장 예측모델 시범 개발, 적용	• 현장 경보 단말 장치 설치	-
연구결과 제한점	• 기존 관측장비 및 관측망기술로는 이상현상 특성 관측시 한계 있음 • 이상현상 발생시 즉시적인 예경보 기술 개발 및 확보방안 미흡	• 기존 관측장비 및 관측망기술로는 이상현상 특성 관측시 한계 있음 • 현상별 예보 시스템 구축을 위해서는 정도 높은 예측 모델 개발이 선행되어야 함	• 기존 관측장비 및 관측망기술로는 이상현상 특성 관측시 한계 있음 • 이안류 발생 예측 모델의 정확성 향상 필요	• 예경보 정보의 생산을 위한 예측모델의 개발 및 검증이 선행되어야 함	-
향후 연구개발 방향	<ul style="list-style-type: none"> • 이상 현상현상을 효과적으로 감지 및 감시할 수 있는 관측기술의 개발 • 현상별 관측기술 개발 및 관측자료를 토대로 한 발생메카니즘과 원인규명에 대한 연구 필요 • 현상별 발생예측 기술 및 모델의 정확성 향상, 그리고 즉시적인 예경보 시스템 체제 개발 				

- 위의 연구개발 과제들에서는 주로 기존의 관측장비를 사용하여 해역별 관측지점의 확대 구축을 기반으로, 연안 이상현상에 대한 대응기술 개발에 중점을 두고 있음. 하지만 기존의 관측장비들은 한 지점에서만 물리량을 측정하는 (point-measurement) 방식이기 때문에, 수심이 얇은 천해에서 주변지형의 영향으로 국지적인 변동성이 크게 나타나는 연안 이상현상의 특성을 공간적으로 감시 및 모니터링하는 데는 한계가 있음
- 한국해양연구원, 해양조사원 및 기상청 등 해양 관련기관에서 우리나라 주변해역에 약 100여개 가까운 해양 관측지점을 운영하고 있음. 하지만, 기존의 해양 관측망을 통해서 취득된 자료들 중에, 연안 이상현상의 과거 발생사례에 관한 원인규명을 위해 활용할 수 있는 자료는 극히 일부분임. 즉, 기존 관측장비의 확대 구축만으로는 연안 이상현상 발생에 관한 양질의 관측자료를 확보하는데 한계가 있음
- 따라서, 향후 연구개발의 방향으로는, 원격탐사 등 첨단 IT 기술을 사용하여 연안 이상현상의 시공간적 특성을 효과적으로 관측하기 위한 현상별 맞춤형 모니터링 기술 개발이 요구됨
- 또한, 연안 이상현상에 대한 효과적인 대응을 위해서는 정확성 있는 예측자료의 생산을 통해서 사전에 대비토록 하는 것이 필요하기 때문에, 정도 높은 예측모델의 개발을 위한 발생메카니즘 및 전과특성에 관한 원인규명 연구가 요구됨
- 추가로, 연안 이상현상이 매년 발생빈도가 증가 추세에 있어 대응기술의 확보가 시급히 요구되므로, 향후 이상현상 발생시 적시성 있는 대응기술의 활용을 위해서는 발생원인 규명 및 예측기술 개발과 함께 예경보 시스템의 현업화 개발 연구에도 중점을 둘 필요가 있음

04 연구개발 목표 및 중점과제 도출

- 4.1 개발기술의 기능전개 및 세부목록
- 4.2 연구개발 RFP 도출을 위한
전문가 설문
- 4.3 연구개발 목표 및 수준 설정
- 4.4 기술로드맵 및 중점개발과제
추진체계
- 4.5 연차별 목표 및 연구내용

제 4장 연구개발 목표 및 중점개발과제 도출

4.1 개발 기술의 기능전개 및 세부목록

- 너울성 고파, 이안류 및 해양장파 등 연안 이상현상은 해양 물리량 (예, 파랑, 해류, 조류, 조석 등) 사이에 서로 상호작용을 통하여 발생하는 현상들임. 이에 따라 각 현상별로 구분지어 대응기술 분야를 세분화할 경우, 세부기술 분야간 중복성이 발생하기 때문에, 연안 이상현상에 대한 종합 대응기술의 수립 차원에서 개발을 추진하는 것이 타당함.
- 해외 선진국 연구개발 사례 및 국내 유사연구 사례 분석결과, 연안 이상현상에 대해 대응하기 위한 연구개발 기술분야를 관측시스템, 예측시스템, 그리고 대응시스템 등 3가지 분야 기본기능으로 구분할 수 있음.
- 3가지 기본기능은 다시 12개의 세부기능으로 구성할 수 있음.



🔍 관측시스템의 요소기술

[중복성 : 많음 ○, 보통 △, 적음 ×]

세부기능	연안 이상현상	요소기술	요소기술 개발 기획의 중복성여부	R&D 적합성 및 우선순위 [상(1),중(2),하(3)]		
				적합성	우선순위	
원격탐사 등 효과적인 관측 기술 개발	너울	점측정방식 센서를 이용한 너울성 파향 스펙트럼 관측기술 개발	×	1	1	
		비디오, X밴드-레이다 등 원격영상 기법을 이용한 너울 감지기술 개발	○	1	1	
		SAR, HF, VHF 레이다 등 주파수방식 탐사기법을 이용한 너울 감지기술 개발	×	1	1	
		원격탐사자료와 현장 점측정자료를 융합한 너울의 시공간 특성 분석기술 개발	×	1	1	
	해양장파	기상쓰나미 유발 기상외력 요소관측을 위한 기상센서의 개발	×	1	1	
		점측정방식 센서를 이용한 해양장파 스펙트럼 관측기술 개발	×	1	1	
		비디오, X밴드-레이다 등 원격영상 기법을 이용한 연안 해양장파 감지기술 개발	×	1	1	
		SAR, HF, VHF 레이다 등 주파수방식 탐사기법을 이용한 원거리 해양장파 감지 기술 개발	×	1	1	
		원격탐사자료와 현장 점측정자료를 융합한 해양장파의 시공간 특성 분석기술 개발	×	1	1	
	이안류	비디오, X밴드-레이다 등 원격영상 기법을 이용한 연안 이안류 감지기술 개발	×	1	1	
		원격탐사자료와 현장 점측정자료를 융합한 이안류의 발생구조 특성 분석기술 개발	△	1	1	
	관측 지점 및 관측 지역의 확대	너울 및 해양장파	해안에서 거리구간별 주요 핵심 관측구역 및 관측요소의 설정	○	1	1
			해안에서 거리구간별 융합 관측망 체계 설계 및 구축	△	1	2
			인공위성, 레이다, 비디오 등 원격탐사 기법을 이용한 관측범위의 확대	○	2	2

[중복성 : 많음 ○, 보통 △, 적음 ×]

세부기능	연 안 이상현상	요소기술	요소기술 개발 기획의 중복성여부	R&D 적합성 및 우선순위 [상(1),중(2),하(3)]	
				적합성	우선순위
관 측 지 점 및 관 측 지역의 확대	이 안 류	주요 이안류 발생 해수욕장의 관측구역 및 관측요소의 설정	○	1	1
		발생외력 및 이안류 관측을 위한 융합 관측망 설계	△	1	1
기 관 간 관 측 체 제 공 동 활 용 및 개 선	공 통	해양 관측자료의 품질관리 (quality-control) 기술	○	1	1
		해양 관측자료의 DB 표준화 프로그램 기술	○	1	3
		해양 관측자료 전산시스템의 공유 네트워크 기술	○	3	3
		해양 관측자료의 통합관리 시스템 및 자료제공 서비스 개발	○	3	3
실시간 관측 및 전 달 체 계 구 축	공 통	케이블, 무선통신, 위성통신 등 실시간 자료전송 기술 및 인프라 구축	○	3	1
		웹 기반 GUI 개발	△	3	3
		대용량 해양 관측자료의 압축 기술	×	2	3
	너 울	실시간 다방향 파향스펙트럼 분석 알고리즘 기술 개발	×	1	1
		파랑장파	실시간 중력파-장파 대역별 파향스펙트럼 분리 및 분석 알고리즘 기술 개발	×	1

② 예측시스템의 요소기술

[중복성 : 많음 ○, 보통 △, 적음 ×]

세부기능	연안 이상현상	요소기술	요소기술 개발 기획의 중복성여부	R&D 적합성 및 우선순위 [상(1),중(2),하(3)]	
				적합성	우선순위
예측기술 개발을 위한 이론 연구	너울	발생외력(해상풍 등) 특성과 너울성 고파의 발생특성의 관계 분석 기술	×	1	1
		너울성 고파의 해류와 상호작용 및 천해 전파특성 분석 기술	×	1	1
		너울성 고파의 해안 도파 및 범람 특성 분석 기술	×	1	1
	해양장파	발생외력(기압변동 등) 특성과 해양장파의 발생특성의 관계 분석 기술	×	1	1
		해양장파의 조류/해류와 상호작용 및 천해 전파특성 분석 기술	×	1	1
		해양장파의 해안 도파 및 범람 특성 분석 기술	×	1	1
	이안류	발생외력(입사파, 쇄파대 해면경사 등) 특성과 이안류의 발생특성의 관계 분석 기술	○	1	1
		연안 지형특성과 이안류의 발생구조 특성 분석 기술	○	1	1
	예측모델 정확성을 향상 위한 연구	너울	너울성 고파의 예측모델 개발 및 검증 기술	×	1
해류, 해일 등 해양모델과 너울성 파랑모델의 통합 수치모의 기술			×	1	1
해양장파		해양장파의 예측 가능성 분석	×	1	1
		해양장파의 수치모델 개발 및 검증 기술	×	1	1
이안류		이안류의 예측모델 개발 및 검증 기술	○	1	1
		파랑 수치모델과 이안류 연안 순환모델의 통합 수치모의 기술	○	1	1

[중복성 : 많음 ○, 보통 △, 적음 ×]

세부기능	연안 이상현상	요소기술	요소기술 개발 기획의 중복성여부	R&D 적합성 및 우선순위 [상(1),중(2),하(3)]	
				적합성	우선순위
예측모델 현업화 체계 구축	너울	발생외력의 신속 입력자료 생산체제 기술	×	1	1
		발생외력 생산체제와 해양순환모델 - 너울성 파랑모델간 연계 운영 기술	×	1	1
		외해역 광역격자 및 연안 정밀격자 기반 신속 예측자료 생산체제 기술	×	1	1
	해양장파	해양장파 예측모델의 현업예보 가능성 분석	×	1	1
	이안류	해상풍, 입사파랑 등 신속 입력자료 생산체제 기술	△	1	1
신속 입력자료 생산체제와 이안류 등 연안순환모델간 연계 운영 기술		△	1	1	
재난피해 예측모델 수립	너울	너울성 고파의 연안 도파 및 침수범람 예측모델 개발 기술	×	1	2
		너울성 고파로 인한 연안구조물 월파고 및 월파량 산출 기술	×	1	2
		너울 예측모델과 조석, 조류 및 해일 등 해양모델과 연계한 연안 침수피해 예측모델 개발 기술	×	1	2
	파랑장파	조석, 조류 및 해일 등 해양모델과 연계한 해양장파의 해안 침수피해 평가모델 기술	×	1	2
	이안류	이안류 발생 및 발달에 따른 연안 지형 및 수심 변화 평가모델 기술	×	1	2

🔍 정보시스템의 요소기술

[중복성 : 많음 ○, 보통 △, 적음 ×]

세부기능	연안 이상현상	요소기술	요소기술 개발 기획의 중복성여부	R&D 적합성 및 우선순위 [상(1),중(2),하(3)]	
				적합성	우선순위
과거 피해 사례 분석 자료 DB화	너울 및 해양장파	과거 이상현상 내습규모 및 내습특성별 수치모의(hindcast) DB 제작 기술	×	1	3
		이상현상 내습규모 및 내습특성별 연안지역 피해범위 재해도 제작 DB 기술	○	1	3
		연안재해 피해지역별 피해자 발생수, 피해현황 등 자료 DB 기술	×	3	2
		이상현상 내습특성별 연안지역 피해발생 특성 분석 DB 기술	×	2	2
	이안류	과거 이안류 발생사례 수치모의(hindcast) DB 제작 기술	○	1	3
		피해지역별 피해자 발생수, 피해현황 등 자료 DB 기술	○	2	2
신속 정보 전달 체제 구축	공통	비상 상황보고 및 의사결정을 위한 정보망 기술	×	2	3
		실시간 관측 및 예측 시스템과 경보발령 체계간 연동 기술	×	2	3
		연안재해 내습유형별 자동 안내 및 전파 개발 기술	×	3	3
		유관기관 정보망 공유 기술	×	3	3
		전파유형별 경보 발령/방송 문구 관리 기술	×	2	3
		현장 재난발생 예경보 발령을 위한 단말 장치 및 통신기술	×	2	3

[중복성 : 많음 ○, 보통 △, 적음 ×]

세부기능	연 안 이상현상	요소기술	요소기술 개발 기획의 중복성여부	R&D 적합성 및 우선순위 [상(1),중(2),하(3)]	
				적합성	우선순위
재 난 피 해 저 감 및 차 단 기 술 개 발	공 통	연안재해 상황발생시 초기대응을 위한 매뉴얼 관리기술	×	2	3
		연안재해 피해국면 단계별 초기대응 시나리오 개발 기술	×	2	3
		연안재해 상황별 안전경로에 의한 대피경로 안내 기술	×	2	3
	너 울 및 이 안 류	사전 예측자료에 기반한 피해예상지역 접근로 차단장치 및 조기 대피안내 기술	×	3	3
		이상현상 발생 이전, 연안지역 주변 대피시설 개발 기술	×	2	3
	해 양 장 과	원거리 조기 관측자료에 기반한 피해예상지역 접근로 차단장치 기술	×	3	3
조기감지에 따른 연안지역 주변 대피시설 개발 기술		×	2	3	
재 난 피 해 영 향 평 가 체 계 개 발	공 통	과거 연안재해 현상별 수치모의 결과 DB자료에 기반한 재난피해 영향 예측 기술	×	1	3
		실시간 연안재해 피해 집계 및 추가 피해 예측 기술	×	1	3
		연안재해 발생에 따른 사회·경제적 손실의 계량화 평가 기술	×	1	3

🔍 연구개발 추진 요소기술군(group)

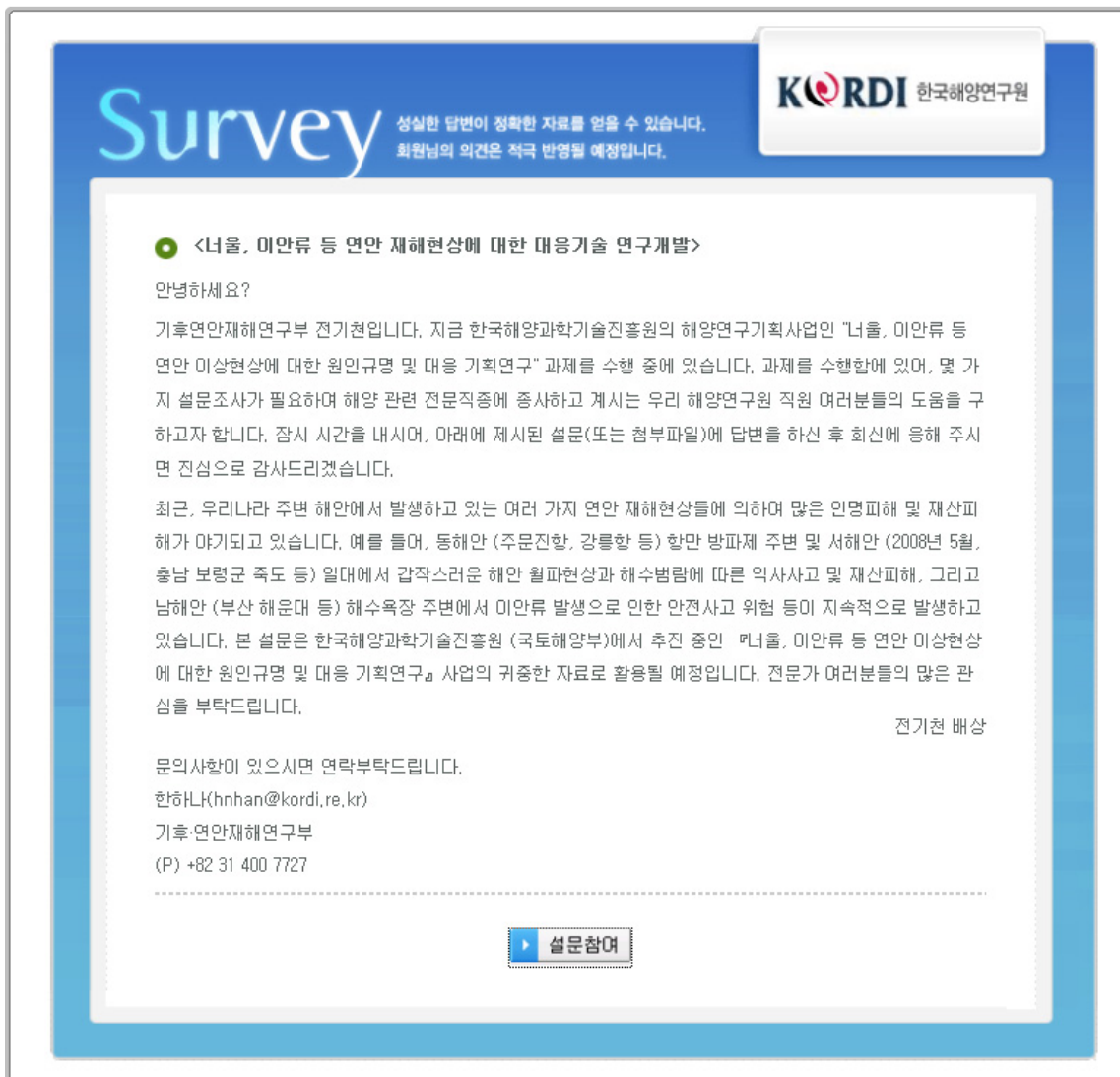
기술분야	정의 및 내용	세부기술
연안 이상현상의 관측 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 재해 요소의 발생외력(해상풍 등) 및 재해 요소의 발생에 대한 효율적, 체계적 관측 • 재해요소 및 발생외력 관측을 바탕으로 해양 재난 발생시 신속대응으로 발생현황 예측 및 단기예보 체제 	<ul style="list-style-type: none"> • 원격탐사 기술을 이용한 연안이상현상 발생 감지 기술 • 연안 이상현상 유발 발생외력의 요소관측기술 • 점측정 방식과 시공간 원격탐사 방식을 융합한 연안 이상현상 발생특성 관측기술 • 해안으로부터 거리구간별 핵심관측구역 및 관측요소의 관측망 기술
연안 이상현상의 발생원인 이론기술 및 조기감지기술	<ul style="list-style-type: none"> • 발생외력과 재해요소의 발생특성에 대한 이론 정립 • 재해요소의 발생원인 규명을 통한 사전예측 가능체제 	<ul style="list-style-type: none"> • 점측정 자료와 원격탐사 자료를 융합한 연안이상현상의 시공간 발생특성 분석기술 • 발생 외력과 연안이상현상 발생특성의 관계 분석 이론기술 • 장파-중력과 대역별 파향 스펙트럼 분리 및 분석 알고리즘 기술 • 발생외력, 재해요소 특성 및 연안 해수순환 특성의 상호작용 분석 기술
연안 이상현상의 발생 예측 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 발생외력 입력 자료와 수치모의 기술을 이용한 재해 요소의 발생예측 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 재해 요소의 수치모의 기술 • 연안 재해 요소의 수치모델과 연안 순환 모델의 통합 수치모의 기술 • 발생외력의 신속 입력자료 생산체제 기술 • 외해역 광역격자 및 연안 정밀격자 기반 • 실시간 입력자료 생산체제 및 협업 체제로 사전 피해저감

- 기술 기능전개 및 기술트리를 통하여 도출한 요소기술들 중에, 타부처 및 기관에서 추진중인 유사 연구개발과제들과의 중복성이 없고, 또한 타부처의 고유기능(특히, 소방방재청)이 강한 요소기술들을 제외한, 연구개발의 적합성 및 우선순위가 상위인 것들을 분류하여 3개의 기술군(연안 이상현상의 관측기술, 연안 이상현상의 발생원인 이론기술 및 조기감지기술, 연안 이상현상의 발생예측기술)으로 연구개발 세부분야를 결정하였음.
- 위의 3가지 세부기술군은 기술기능전개에서 결정한 3개 기본기능하의 기능을 반영토록 하였으며, 세부기술은 요소기술들에서 간략화하였음.

4.2 연구개발 RFP 도출을 위한 전문가 설문

4.2.1 전문가 설문조사 개요

- 중점 연구개발 과제를 도출하고 연구개발의 목표 및 내용을 설정하기 위하여, 위의 기술조사 목록을 기초로 하여 전국 해양과학 및 해안공학 전문가 집단을 대상으로 2011년 4월과 5월에 두 차례에 걸쳐 설문조사를 의뢰하였음.
- 전자우편을 통하여 한국해양과학기술회 소속 전회원 및 한국해양연구원 소속 전 직원을 대상으로 설문지를 배포하였으며, 설문지 배포 이후 1 주일간 응답지 회신을 취합한 후 설문조사 결과를 분석하였음.
- 전문가 집단 대상 설문조사 문항은 연구개발의 필요성, 국내 기술수준, 연구개발 우선순위 및 세부 기술개발 분야 등으로 구분하였으며, 기타 의견들도 수렴할 수 있도록 하였음.



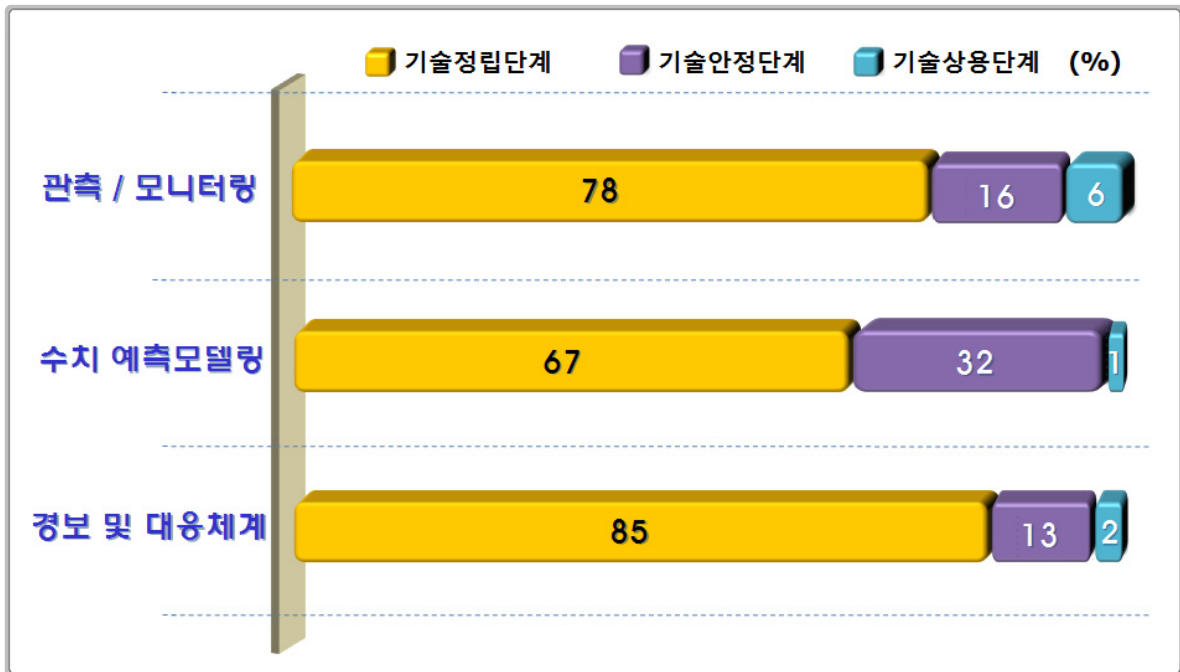
<그림 4.2.1> 전문가 설문조사 내용

- 설문조사 의뢰결과, 연구기관, 대학, 관련 정부기관 및 업체 등에 종사하는 전문가들로부터 총 90건의 응답지를 회수하였음. 응답자의 소속기관 분포는 연구기관 및 업체에서 약 80%를 차지하였고, 응답자의 대부분은 각 소속기관에서 충분한 전문성을 가지고 가장 활발하게 활동하게 되는 30~50대의 연령대이었음

4.2.2 전문가 설문조사 결과

② 전문가 설문조사 결과의 종합 분석

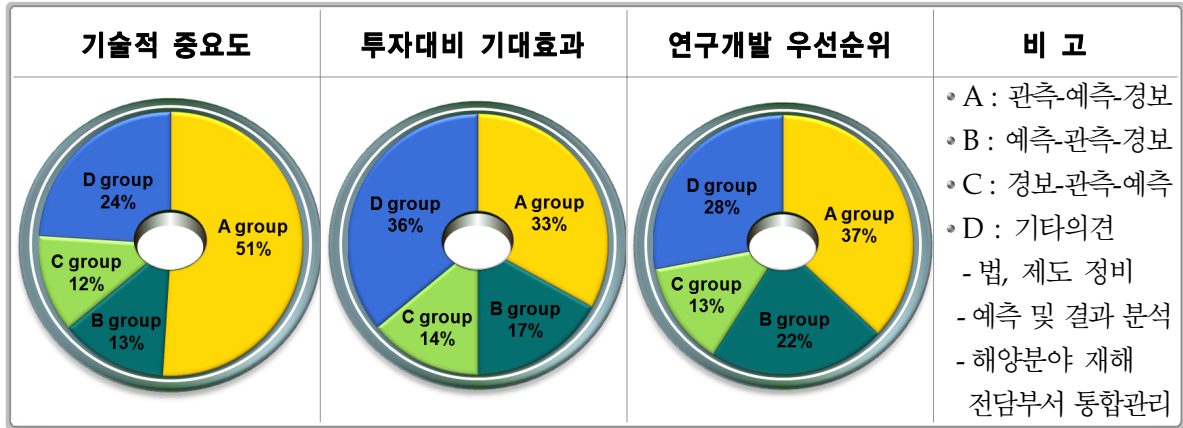
- 연구개발의 필요성에 대해서는, 전문가들은 사회·국가적 관점에서 소중한 인명의 피해 및 재산피해를 저감시키기 위해서 이상 현상 대응기술의 개발이 시급히 요구된다는 의견을 가장 많이 제시하였고, 다음으로 기술적인 전문가 관점에서 발생 원인을 규명하고 예경보 기술을 수립하기 위해서도 기술개발이 시급히 요구된다는 의견을 많이 제시하였음.
- 연안 이상 현상 대응기술의 국내 기술수준에 대해서는 설문조사 결과, 대응기술의 각 구성요소 기술인 관측시스템, 예측시스템, 그리고 경보시스템 기술 분야에서 모두 기초 개발단계인 기술정립단계에 있는 것으로 나타났음. 이는 각 시스템별 기술개발이 기술상용단계에까지 이루어지기 위해서는 6년 이상의 장기사업으로 추진되어야 함을 제시하고 있음. <그림 4.2.2>



<그림 4.2.2> 연안 이상현상의 대응을 위한 국내시스템별 수준

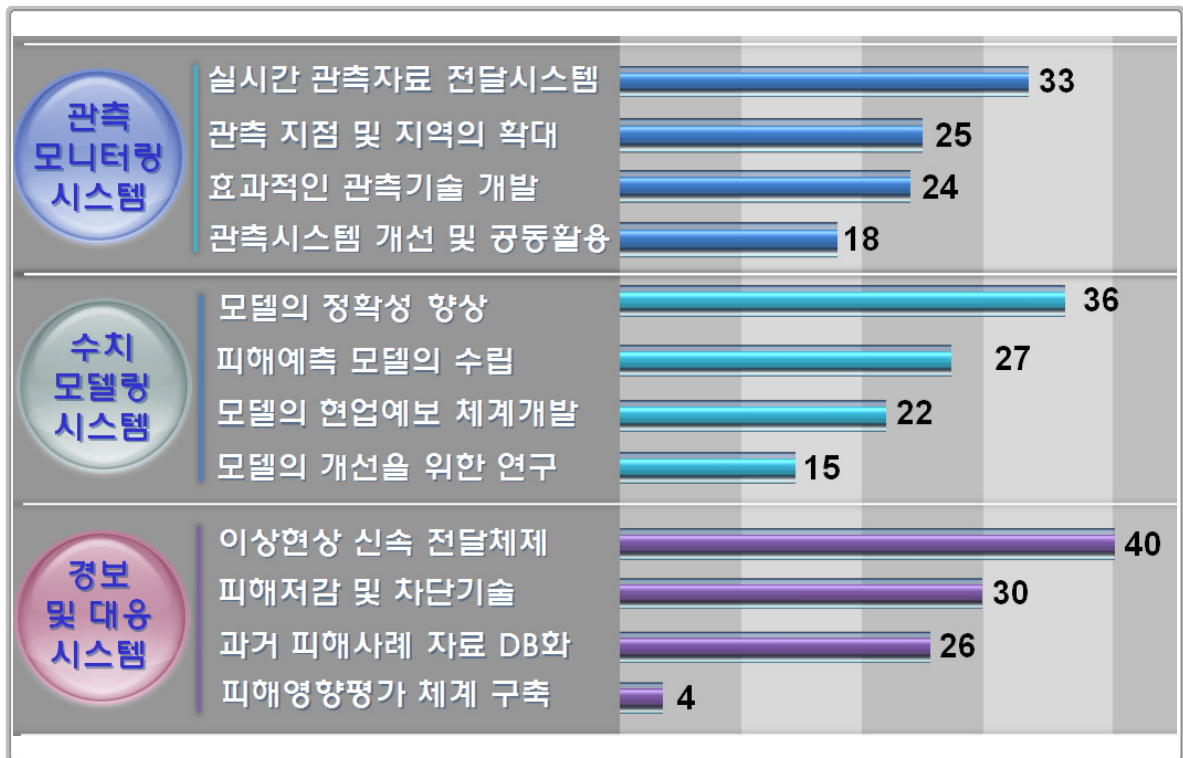
- 대응기술의 3가지 구성요소인 관측, 예측 및 경보 시스템들 중 연구개발 우선순위로는, 기술적 중요도, 투자대비 기대효과, 그리고 기술개발 우선순위 관점에서

모두 일관되게 관측시스템 → 예측시스템 → 경보시스템 순으로 기술개발을 위한 투자가 필요하다는 의견이 가장 많이 제시되었음. 이에 따라, 이 우선순위대로 기술개발비의 투자비중이 적절하게 배분될 필요가 있음. <그림 4.2.3>



<그림 4.2.3> 대응기술 확보를 위한 우선연구 분야

- 각 시스템별 세부 기술 개발 분야로는, 대부분이 실시간 관측시스템 구축, 예보 기술의 정확성 향상, 그리고 신속한 이상 현상 경보 전달체계 구축 등 실시간 및 신속 전달체계 개발에 가장 많은 의견을 제시하였음. 이로 부터, 대응기술 개발이 실제적인 효과를 거두기 위해서는 기술정립단계나 기술안정단계를 넘어서 기술상용단계까지 지속적으로 추진되어야 할 것으로 평가할 수 있음. <그림 4.2.4>



<그림 4.2.4> 연안 이상 연구 세부 기술개발 분야

4.3 연구개발 목표 및 수준 설정

4.3.1 기술발전 단계 및 향후 연구개발 방향

구분	현재 기술발전 단계		향후 연구개발 방향	
	국내·외동향	전문가 의견	국내·외동향	전문가 의견
관측시스템	<ul style="list-style-type: none"> 연안 이상현상은 지역적인 영향으로 피해 차이가 큼 기존의 점 관측 방식의 모니터링 체계에서는 잘 나타나지 않는 특성이 있음 CCTV, 원격탐사 등 첨단기술을 이용한 관측기법이 개발 및 적용 시도 관련부처에서 원거리 과학기지 건설 및 실시간 해양 관측시스템 구축을 위해 노력 	기술정립단계 (국내)	<ul style="list-style-type: none"> 원거리부터 근거리까지 체계적 관측망 구축 CCTV, 원격탐사 등 IT기술을 활용한 공간적 관측기법 개발 및 상용화 연안 이상현상의 효과적 감시를 위한 통합 관측체계 개발 실시간 해양 관측시스템 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 실시간 관측 전달체계 개발 관측 지점 및 지역의 확대 IT기술 등 효과적 관측기술 개발
예측시스템	<ul style="list-style-type: none"> 동해 너울성 고파에 대한 풍파 수치모델의 적용 가능성 검증 연안 해수유동모델을 활용한 이안류 예측기법을 개발중 서해 해안장파의 경우, 관측자료의 미비로 발생원인의 불확실 때문에 예측기술 개발이 매우 더딤 우리나라 주변 기상 예측모델과 파랑 수치모델간 상호 연계 운영을 위한 기술 개발 풍파모델, 해일모델, 조석-조류 모델, 해수순환모델 등 각 해양물리 요소별 수치 모델들이 잘 수립되어 있지만, 연안 이상현상을 위한 모델간 통합 수치모델은 미흡 풍파, 해일, 해수순환 등 해양예보 시스템의 현업예보를 위한 개발 및 구축중임 	기술정립단계 (국내)	<ul style="list-style-type: none"> 연안 재해요소별 예측 모의기법 개발 연안 이상현상의 국지 예측을 위한 정밀격자 기반 수치 모의 기법 수립 실시간 예측모델의 현업예보를 위한 체계 개발 및 구축 기후변화에 따른 연안 이상현상 발생 및 재해예측 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 예측모델의 현업예보 체계 개발 예측모델의 정확성 향상 피해예측 및 평가모델 수립
경보시스템	<ul style="list-style-type: none"> 연안 이상현상의 예측기술 미흡에 따른 연안지역 사전 경보전달 체계 구축 미비 기상청의 대중매체를 통한 대국민 해양기상정보 전달 홍수범람 등 재난상황 발생에 따른 소방방재청(재난상황실)의 실시간 재난 및 대피 정보 전달체계 운영 지진해일의 경우, 기상청의 특보 발령 및 소방방재청 지진 해일대응시스템 가동체계 구축 	기술정립단계 (국내)	<ul style="list-style-type: none"> 연안 이상현상의 사전 예측을 통한 실시간 경보 및 대피기술 등 대응체계 기술 개발 국토해양부에서 동해 너울성 고파에 대한 관측, 예측 및 경보 시스템 구축을 위한 방파제 재해예방 시범사업을 추진중 인터넷, 휴대폰 등 IT 기술 발달에 따른 정보망 구축방법의 다양화 	<ul style="list-style-type: none"> 이상현상 경보 신속 전달 체계 폐해 저감 및 차단 기술 과거 피해사례 자료 DB화

4.3.2 연구개발의 최종목표 및 기술개발 전략

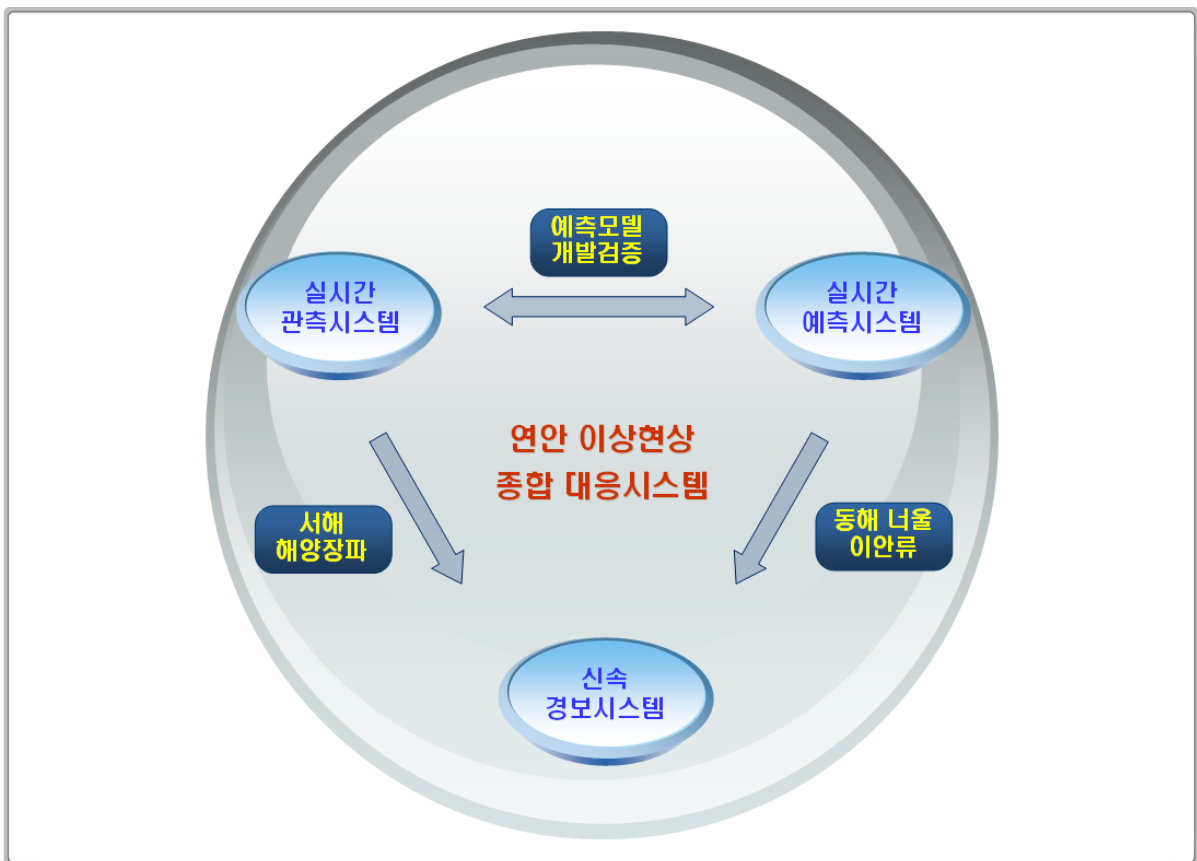
② 비전

- 지구온난화 등 기후변화의 영향으로, 최근 몇 년간 우리나라 주변해역에서 빈번하게 발생하고 있는 연안 이상현상에 관한 대응기술의 개발 및 확보를 통하여 이상현상으로부터 인명 및 재산 피해를 저감하고, 해양재난에 대한 국가차원의 위기관리 능력 향상에 기여

② 최종목표

- 향후 5년간 (2012-2016), 너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대응하기 위한 관측 및 예측시스템 등 종합 대응시스템 기술 개발
 - 실시간 너울 및 이안류 예측기술 개발
 - 해양장과 조기감지 기술개발 및 현상규명

② 기술개발 전략 및 중점 연구개발의 방향 도출

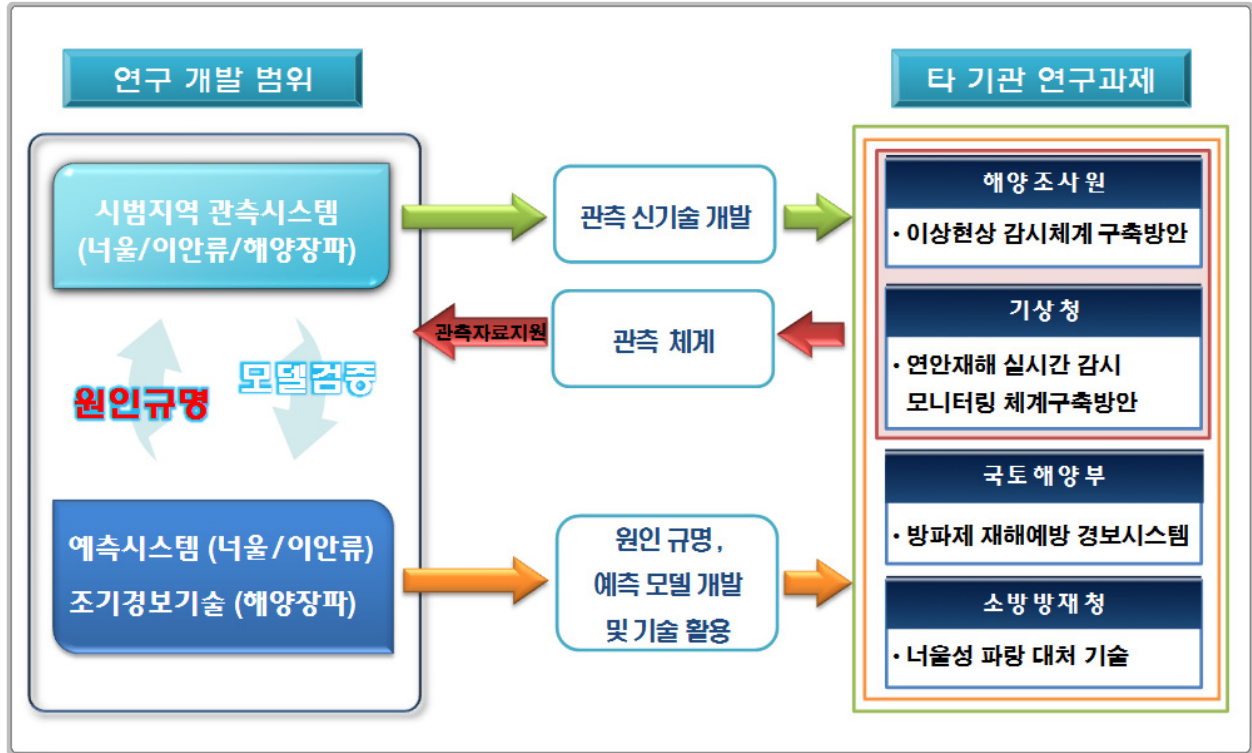


- 전문가 설문결과에 따른 우선순위에 근거하여, 연안 이상현상 발생의 신속한 관측, 예측 및 경보를 위한 실시간 정보 전달체계 구축을 기술개발 전략의 핵심가치로 추진

- 현재 국내외 기술개발 현황 및 기술수준 분석결과에 근거하여, 동해안의 너울성 고파 및 해수욕장 이안류는 수치모델을 통한 사전 예보의 가능성이 높은 만큼, 예측시스템의 개발기술에 근거하여 경보시스템을 운영하는 방향으로 대응시스템을 수립
- 실시간 예측시스템의 정확성은 이상 연안현상의 점진적인 관측자료 축적으로 비교 및 검증과정을 통하여 향상
- 서해에서 기상 쓰나미 등 해양장파의 경우, 아직까지 발생 메카니즘에 대한 원인 규명이 미진하고, 관련자료 또한 미비하여, 대응기술 개발의 추진방향을 관측시스템의 실시간 장거리 감시체계 구축을 기반으로 한 경보시스템의 수립으로 설정하는 것이 타당함.
- 현재까지, 서해에서 해양관측 기술 및 체계가 해양장파의 특성 및 발생 메카니즘을 규명할 수 있는 정도의 양질의 자료를 확보하지 못하고 있으므로, 효과적인 해양장파 관측기술 및 실시간 전송체계 기술의 개발이 우선적으로 필요함. 향후, 축적되는 관측자료를 바탕으로, 서해 해양장파의 발생원인 규명 및 예측기술의 확보를 위한 지속적인 개발노력 또한 필요함
- 해마다 발생하고 있는 연안 이상현상에 의한 인명피해 및 재산피해를 사전 예방 또는 저감하기 위한 대응기술이 사회·국가적으로 절실히 요구되는 만큼, 개발기술의 상용화 및 산업화 단계까지 장기간에 걸친 전략적 연구개발 추진
- 이상현상 발생에 대한 신속한 예경보 전달체계와 관련한 경보시스템 기술은 연구개발 성격 보다는 기존의 정보통신 기술을 활용하는 응용연구 성격이 강하고, 또한 국가재난 경보체계 기술과 연계하여 확장·구축할 수 있는 가능성이 높은 만큼, 연구개발과제에서는 우선적으로 연안 이상현상에 대한 관측기술 향상, 발생원인 규명 및 예측기술 개발에 중점을 두고 추진

🔍 타 기관 유사 연구과제와 연계활용 전략

- 시범해역 관측시스템 구축 및 운영을 통한 관측 신기술 개발로 타 기관에서 구축중인 감시체계 개선에 활용
- 관측자료 기반 발생원인 규명 및 예측시스템 개발기술은 연안재해에 대한 타 기관별 대응기술 수립에 활용
- 타기관(해양조사원, 기상청등)의 광역 관측망을 통한 관측자료는 원인규명 및 예측시스템 개발에 활용.



4.3.3 중점개발분야의 목표, 내용 및 범위

중점분야	개발기술	개발목표	연구개발 내용 및 범위
① 실시간 너울 및 이안류 예측기술 개발	너울 및 이안류 예측 시스템 개발	• 너울 및 이안류의 예보를 위한 수치 예측모델의 현 업체계 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 재해요소의 발생원인 및 내습특성 분석 • 파랑-해류-조석 통합모델 기반 예측모델 개발 및 개선 • 재해요소의 발생외력 (해상풍 등)에 대한 신속한 경계 치 자료 생산 및 입력체계 구축 • 예측모델의 광역격자 및 국지 정밀격자 기반 신속 예측 자료 생산체계 및 현업예보 체계 개발 • 예측모델의 정확성 향상
	너울 및 이안류 관측 기술 개발	• 너울 및 이안류현상을 효 과적으로 관측할 수 있는 관측기법 및 실시간 자료 전송 체계 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 재해요소 관측자료의 발생특성 분석기술 개발 • CCTV, X-밴드 레이다 등 국지적 감시기술 개발 • 인공위성, HF 레이다 등 광역적 감시기술 개발 • 점관측 및 원격관측의 시공간 융합 관측기술 개발 • 재해요소의 실시간 분석, 전송 및 DB화 기술 개발
② 해양장파 조기감지 기술개발 및 현상 규명연구	실시간 관측 조기 감지 체계 기술 개발	• 서해 해양장파의 실시간 관측체계망을 기반으로 한 신속 발생감지 및 현상 분석 기술 등 조기감지 체 계 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 해양장파의 조기감지를 위한 실시간 관측망 개발 • 거리별 실시간 기상 관측체계망 개발 • 원격탐사 등 첨단 관측 및 감지기술 개발 • 재해요소 발생특성의 실시간 분석, 전송 및 DB 기술 개발 • 관측체계의 실시간 원격관리 및 서비스 지원을 위 한 정보망 개발
	현상 규명 및 예측 기술 개발	• 서해 해양장파의 발생 메커니즘 규명 및 예측 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 발생외력 특성 및 해양장파 발생 메커니즘 규명 • 해양장파의 예측 및 예측 가능성 분석 • 해양장파의 예측 모의기법 개발

4.3.4 최종 연구 성과물

① 중점분야: ① 실시간 너울 및 이안류 예측기술 개발

- 재해요소의 발생외력 (해상풍 등)에 대한 신속 입력자료 생산 체계
- 파랑 - 해류 - 조석 통합 해양모델 기반 재해요소의 예측모델링 기술
- 예측모델의 광역격자 및 국지 정밀격자 기반 신속 예측자료 생산체계 및 현업에 보 체계
- CCTV, HF 레이다, 인공위성 등 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 첨단관측 기술
- 원격탐사 활용기술과 전통적 점관측 기법을 통합한 시공간 융합 관측망체계
- 연안재해요소 관측자료의 실시간 분석, 전송 및 DB화 기술
- 관측체계의 실시간 원격관리 및 서비스 지원을 위한 정보망

② 중점분야: ② 해양장파 조기감지 기술 개발 및 현상규명 연구

- 서해 해양장파의 조기감지를 위한 실시간 구간별 관측망체계 및 경보체계 기술
- CCTV, HF 레이다, 인공위성 등 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 첨단관측 기술
- 원격탐사 활용기술과 전통적 점관측기법을 통합한 시공간 융합 관측망체계
- 해양장파 관측자료의 실시간 분석, 전송 및 DB화 기술
- 해양장파의 발생 메커니즘, 발달 및 전파 특성
- 해양장파 발생에 따른 피해예측 및 평가모델

4.4 기술로드맵 및 중점개발분야 추진체계

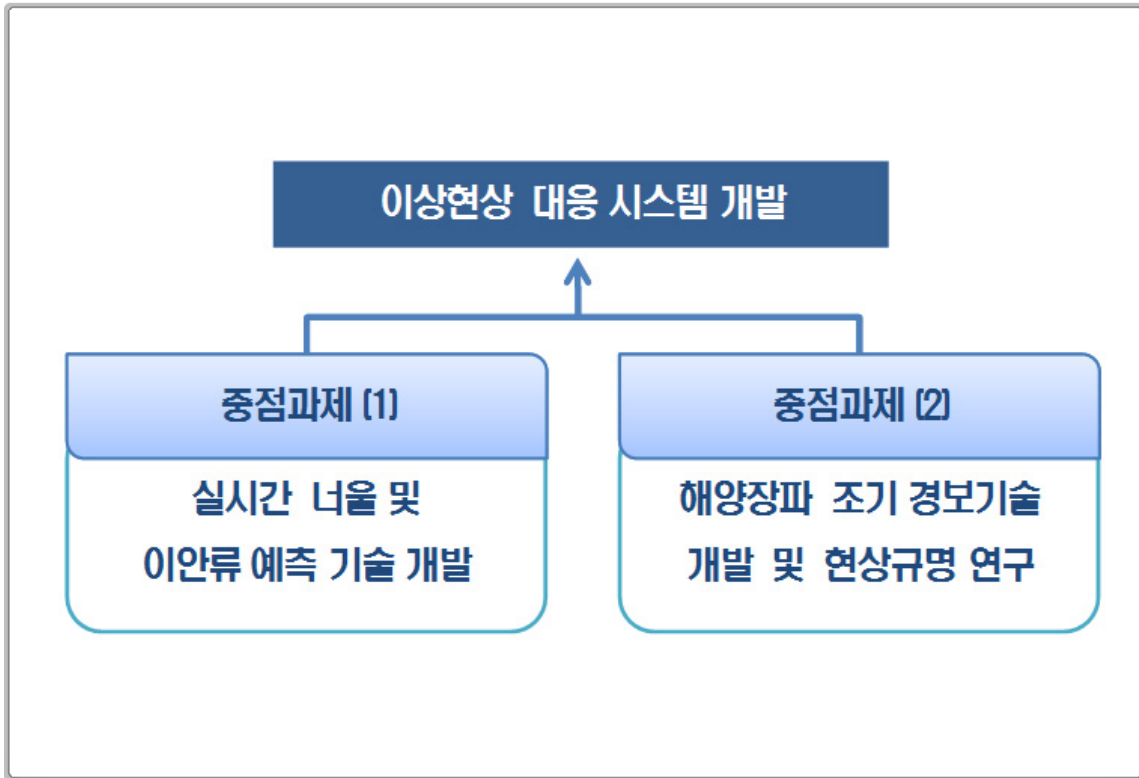
4.4.1 총괄 로드맵

< 이상현상 대응시스템 단계별 연구개발 목표 >								
주요업무	1단계[개발기술의 정립 및 안정화]						2단계[상용화]	
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	연구비	6차년도 이후	
이상현상 관측지역 선정 및 관측기술개발	해역별 관측기술 개발					9	▶ 종합관측망 및 현업예보 대상 해역 전 연안확대	
실시 간 너울 및 이안류 예측기술	너울성고파	관측기술	동해 너울성 고파				13	▶ 첨단 융합 관측 기술 산업화 및 융합화
		연구분석	발생특성 및 메커니즘 분석연구				5	
		예측기술	너울성 고파 예보체제				12	
	이안류	관측기술	남해 이안류				11	▶ 해양장파 예측 모델 가능성분석 및 개발
		연구분석	발생특성 및 메커니즘 분석연구				4	
		예측기술	이안류 예보체제				7	
해양장파 조기감지 기술개발 및 현상규명	해양장파	관측기술	서해 해양장파				17	
		연구분석	발생특성 및 메커니즘 분석연구				8	
		예측기술	해양장파 예보체제				14	
연구비 (%)	단계별	10	25	25	20	20	100	
	누계	10	35	60	80	100	100	

<그림 4.4.1> 기술개발 로드맵

4.4.2 중점 개발분야

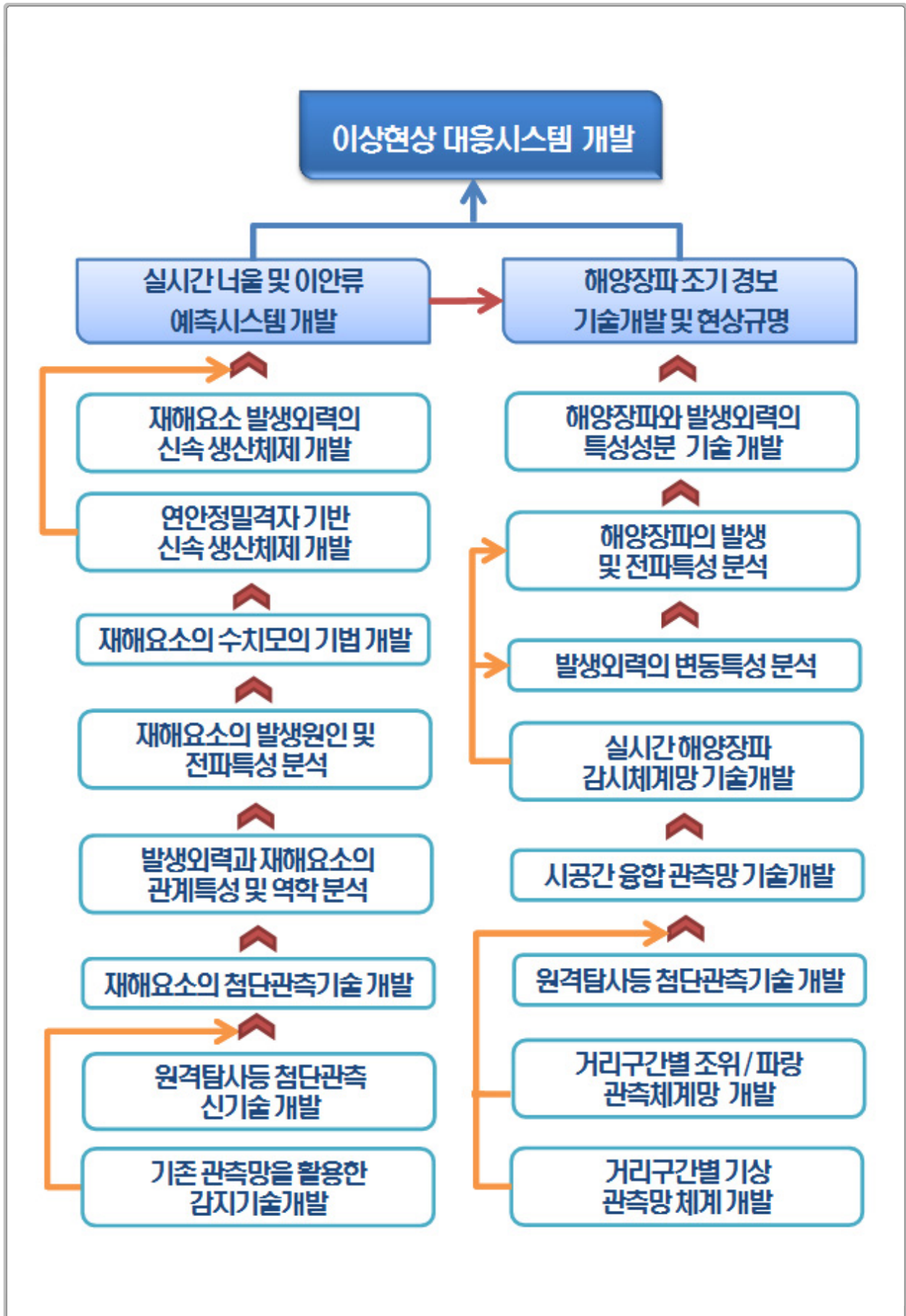
- 연안 이상현상의 대응시스템을 성공적으로 개발하기 위해서는 앞의 2개 중점개발 분야가 상호 보완적으로 기술개발이 동시에 수행될 수 있도록 하고, 이를 추진하기 위해서는 단일사업으로 구성하는 것이 가장 바람직함. 이에 따른 연구개발 추진체계는 아래와 같음.



<그림 4.4.2> 연구개발 추진체계

- 연구 추진형태 : 산/학, 산/연, 또는 산/학/연 협력체제로 추진
- 역할분담: 학/연 부분에서는 연안 이상현상에 대한 원인규명 및 예측기술 개발과 관련된 연구분야를 담당하고, 산업체 부분에서는 관측망 구축 및 관측 신기술 개발분야를 담당하는 것이 바람직하다고 판단됨.

🔍 과제 수행 추진체계



🔍 개발과제의 추진 일정표

중점 개발 분야		작업 계획 (년)				
		제 1 차년도	제 2 차년도	제 3 차년도	제 4 차년도	제 5 차년도
실시 이 예 측 개 시 안 스 테 뮴 발	발생 외력과 재해 요소간 발달특성분석	■	■			
	재해 요소 발생 원인 및 특성분석	■	■			
	재해 요소 수치 모의 기법		■	■	■	
	연안 정밀격자 기반 통합 예측모델 개발			■	■	■
	재해요소 발생 외력 신속생산 체제개발			■	■	■
	기존 관측망 활용 감지 기술 개발	■	■	■	■	
	원격탐사 등 첨단 관측 기술 개발	■	■	■	■	
	재해요소의 시공간 융합관측기술 개발	■	■	■	■	
	재해 요소의 첨단관측기술 개발	■	■	■	■	
해조 기 및 규 명 장 감 개 현 연구 과 지 발 상 구	발생외력 변동특성 분석 기술 개발		■	■	■	
	해양장과 발생 특성 분석 기술 개발		■	■	■	
	발생외력과 해양장과 특성분석 기술 개발			■	■	■
	조기 감지 체계 기술 개발			■	■	■
	거리 구간 별 기상 관측망 개발	■	■	■	■	
	거리 구간 별 파랑 관측망 개발	■	■	■	■	
	원격 탐사 등 관측 신기술 개발	■	■	■	■	
	시공간 융합 관측망 기술 개발		■	■	■	
	실시간 해양장과 감시 체계망 기술 개발		■	■	■	

② 개발과제의 수행 연구비 소요액(억원)

구 분		소요내용	소요액(억원)	
1차년도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 현장연구 시범지역 선정 및 기본관측망 설치	5	10
		• 너울성 고파 발생 특성 및 메카니즘 연구	2	
		• 너울현상 관측 신기술 검토 및 개발	3	
2차년도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	25
		• 너울성고파 발생 특성 및 메카니즘 연구	3	
		• 너울성고파 예측 모델 개발	3	
	이안류 (남해)	• 이안류 현장연구 시범지역 선정 및 기본 관측망 설치	5	
		• 이안류 발생 특성 및 메카니즘 연구	2	
	해양장파 (서해)	• 해양장파 현장연구 시범지역 선정 및 기본 관측망 설치	5	
		• 해양장파 발생 특성 및 메카니즘 연구	2	
공통	• 이상현상 관측 신기술 개발	3		
3차년도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	25
		• 너울성고파 예측 모델 개발	3	
	이안류 (남해)	• 이안류 현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	
		• 이안류 발생 특성 및 메카니즘 연구	2	
		• 이안류 예측 모델 개발	2	
	해양장파 (서해)	• 서해장파 기본 관측망 운영 및 개선	4	
		• 서해장파 발생 특성 및 메카니즘 연구	3	
		• 서해장파 관측기반 경보 분석기술	4	
	공통	• 이상현상 관측 신기술 개발	3	
4차년도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	20
		• 너울성고파 예보체제 시범운영	3	
	이안류 (남해)	• 이안류 현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	
		• 이안류 예보체제 시범운영	2	
	해양장파 (서해)	• 서해장파 기본 관측망 운영 및 개선	4	
		• 서해장파 발생 특성 및 메카니즘 연구	3	
		• 서해장파 관측기반 경보 분석기술	4	
5차년도	너울성고파 (동해)	• 동해 너울현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	20
		• 너울성고파 예보체제의 현업화	3	
	이안류 (남해)	• 이안류 현상 기본 관측망 운영 및 개선	2	
		• 이안류 예보체제의 현업화	3	
	해양장파 (서해)	• 서해장파 기본 관측망 운영 및 개선	4	
		• 서해장파 관측기반 조기감지의 시범운영	6	
총액(억원)			100	

📌 정량적 연구성과목표

성 과 지 표	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1. 논문 편수 (국내/국외)	4/0	8/4	8/4	7/3	7/3
2. SCI급 논문 편수	0	6	7	8	7
3. 특허 출원/ 등록 (국내/국외)	3/0	4/2	5/3	5/3	5/2
4. 국제 공동연구 (건)	1	3	3	3	3
5. 사업 진척율 (%)	15	35	55	80	100

② 최종 성과물에 대한 목표달성 평가지표

중점개발과제	최종성과물	평가지표	
실시안 및 이안류 예측기술 개발	1	<ul style="list-style-type: none"> 재해요소의 발생외력 (해상풍 등)에 대한 신속 입력자료 생산 체계 	<ul style="list-style-type: none"> 향후 72시간 예보 입력자료 생산가능 여부
	2	<ul style="list-style-type: none"> 파랑 - 해류 - 조석 통합 해양모델 기반 재해요소의 예측모델링 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 게재 논문수 달성 정도
	3	<ul style="list-style-type: none"> 예측모델의 광역격자 및 국지 정밀 격자 기반 신속 예측자료 생산체계 및 현업예보 체계 	<ul style="list-style-type: none"> 향후 72시간 예보 생산가능 여부
	4	<ul style="list-style-type: none"> CCTV, HF 레이다, 인공위성 등 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 첨단관측 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 특히 출원후 달성 정도
	5	<ul style="list-style-type: none"> 원격탐사 활용기술과 전통적 점관측 기법을 통합한 시공간 융합 관측망 체계 	<ul style="list-style-type: none"> 이상현상 관측 정확성 (80%이상) 달성여부
	6	<ul style="list-style-type: none"> 연안재해요소 관측자료의 실시간 분석, 전송 및 DB화 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 현장관측에서 분석 - 전송 - DB화까지 1시간내 가능 여부
	7	<ul style="list-style-type: none"> 관측자료 및 예측결과 서비스 정보망 	<ul style="list-style-type: none"> 웹사이트 구축 여부
해양장파 조기감지 기술 개발 및 현상 규명 연구	8	<ul style="list-style-type: none"> 서해 해양장파의 조기감지를 위한 실시간 구간별 관측체계망 및 경보 체계 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 이상현상 관측률(80% 이상) 여부
	9	<ul style="list-style-type: none"> CCTV, HF 레이다, 인공위성 등 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 첨단관측 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 특히 출원수 달성 정도
	10	<ul style="list-style-type: none"> 원격탐사 활용기술과 전통적 점관측 기법을 통합한 시공간 융합 관측망 체계 	<ul style="list-style-type: none"> 원격탐사 관측 정확성 (80%이상) 달성 여부
	11	<ul style="list-style-type: none"> 해양장파 관측자료의 실시간 분석, 전송 및 DB화 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 현장관측에서 분석 - 전송 - DB화까지 1시간내 가능 여부
	12	<ul style="list-style-type: none"> 해양장파의 발생 메커니즘, 발달 및 전파 특성 	<ul style="list-style-type: none"> 게재 논문수 달성 정도
	13	<ul style="list-style-type: none"> 해양장파 발생에 따른 피해예측 및 평가모델 	<ul style="list-style-type: none"> 시나리오별 대응 매뉴얼 작성여부

4.5 연차별 목표 및 연구내용

4.5.1 연구과제 연차별 목표 및 연구내용

연 차	목 표	연 구 내 용
1 차 년 도	해역별 시범지역 선 정 및 이 상 현 상 관 측 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> 과거 발생자료 연구, 사전 조사 및 분석을 통한 사업계획 마련 해역별 이상현상 관측 및 예측시스템 개발을 위한 시범지역 조사 및 선정 동해 시범지역 너울성 고파 모니터링을 위한 최적 관측망 설계 및 구축 재해요소의 효과적인 모니터링을 위한 기존 관측망 및 원격탐사 등 IT 기술의 통합 활용방안 검토, 제시 CCTV, 레이다 등 원격탐사 기술을 이용한 첨단 관측기술 개발 (1단계)
	너울 및 이안류 발생특성 분석 및 예측모델 개발을 위한 기 반 연 구	<ul style="list-style-type: none"> 너울성 고파 및 해수욕장 이안류 등 연안 이상현상의 발생, 발달 및 전파 특성에 관한 국내외 문헌조사 및 이론 연구 동해 너울 및 해수욕장 이안류 등 국내 연안 이상현상에 대한 과거 관측자료의 수집, 재해 발생 메커니즘 및 발달특성 분석 너울 및 이안류의 예측 가능 모델기술 분석
2 차 년 도	이 상 현 상 관 측 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> 남해 시범지역 이안류 모니터링을 위한 최적 관측망 설계 및 구축 서해 시범지역 해양장파 모니터링을 위한 최적 관측망 설계 및 구축 CCTV, 항해용(X-band) 레이다 등 국지적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 감시기술 개발 (2단계) 인공위성, 항공촬영, HF 레이다 등 광역적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 관측기술 개발 (2단계) 재해요소에 대한 원격관측 및 점관측기법의 시공간 융합 관측기술 개발 (1단계)
	너울 및 이안류 예측모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> 동해 너울 및 해수욕장 이안류의 발생 메커니즘 규명 및 예측기법 연구 너울 및 이안류의 예측모델 개발 동해 너울성 파랑 내습에 따른 해안 도파 및 월파추산기술 개발 연안역 입사파랑 예측기술과 연계한 해안 이안류 발생 예측 모델 개발 동해 너울 및 해수욕장 이안류의 예측모델 적용을 위한 시범지역 수치 격자 개발
	기상쓰나미 등 해 양 장 파 의 관 측 기 술 기 반 연 구	<ul style="list-style-type: none"> 해양장파의 효과적인 모니터링을 위한 기존 관측망 및 원격탐사 등 IT 기술의 통합 활용방안 검토, 제시 해안에서 거리별 발생외력 관측을 위한 기상관측망 체계기술 개발 기상쓰나미 등 해양장파의 발생, 발달 및 전파 특성에 관한 이론 및 국내외 예측기술 연구

연 차	목 표	연구 내용
3 차 년 도	이 상 현 상 관 측 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> • 해역별 시범지역 재해요소 관측망 개선 및 운영 • CCTV, 항해용(X-band) 레이다 등 국지적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 감시기술 개발 (3단계) • 인공위성, 항공촬영, HF 레이다 등 광역적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 관측기술 개발 (3단계) • 재해요소에 대한 원격관측 및 점관측기법의 시공간 융합 관측기술 개발 (2단계)
	해류, 조석, 파랑 통합 기반 너울, 이안류 예측모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 해류, 조석, 파랑 사이의 상호작용을 고려한 너울 예측기술 개선 • 너울 예측기술 개선으로 해안에서 도파 및 월파 추산기술 향상 • 해류, 조석, 파랑 사이의 상호작용을 고려한 이안류 예측기술 개선 • 해류, 해일, 조석 및 파랑 등 각 요소별 예측모델의 통합 기반 너울 및 이안류 예측모델 개발
	실 시 간 해양장파 분석 및 전송체계 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 해양장파 종합 관측체계의 실시간 분석, DB화 및 전송 기술 개발 • 서해 해양장파에 대한 과거 관측자료의 수집, 발생 메커니즘 및 발달특성 분석 • 해양장파의 예측 가능 모델기술 분석
	초 기 대 응 관리시스템 기반기술 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 과거 피해사례 및 피해현황에 대한 조사, 피해자료 DB 구축 • 재난상황 발생시 초기대응을 위한 매뉴얼 및 관리 기술 조사 및 확보 • 현장 예경보 및 정보지원 관리를 위한 선진 기술 조사 및 검토 • 국내 관련기관 및 지자체의 행정체계를 고려한 초기대응 관리체계 검토 및 방안 제시
4 차 년 도	연안 정밀격자 기반 신속 너울, 이안류 예 측 체 계 개 발	<ul style="list-style-type: none"> • 동해 너울성 파랑 및 해수욕장 이안류 예측모델 기술의 테스트 및 검증 • 너울 및 이안류 예측모델의 입력자료인 발생외력 (예, 해상풍 등)에 대한 신속 생산체계 개발 • 전 해상 광역격자 및 연안 정밀격자 기반 너울 및 이안류 신속 예측체계 개발 • 재해요소에 대한 융합 관측망의 실시간 자료분석, 전송 및 DB 기술 개발
	해 양 장 파 의 조 기 경 보 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> • 해양장파 종합 관측체계의 실시간 자료분석, 전송 및 DB 기술의 장기운영을 통한 운용성 검증 및 안정성 확보 • 서해 해양장파의 실시간 종합 관측망 기반 재해발생 조기감지 기술 개발 • 서해 해양장파 발생에 대한 예측기법 개발

연 차	목 표	연구 내용
5 차 년 도	너울 및 이안류 예측모델의 현업 예 보 체 계 개 발	<ul style="list-style-type: none"> • 발생외력의 신속 생산체계 및 해류 - 해일 - 조석 - 파랑 예측모델 기반 너울 및 이안류의 통합 현업예보 운영체계 개발 • 통합 예측 시스템의 현업 예보체계 개발 및 예보 대상지역의 단계적 확대방안 마련 • 재해요소에 대한 실시간 융합 관측망의 장기 운영 및 정확성 검증
	관 측 기 반 해양장파 조기 감 지 기 술 의 시 범 운 영	<ul style="list-style-type: none"> • 발생외력 감시를 위한 기상 관측망 및 해양장파의 시공간 융합 관측망의 실시간 시범서비스를 위한 정보망 개발 • 해양장파의 실시간 종합관측망 기반 조기감지 기술의 시범운영 • 서해 해양장파 발생에 대한 조기감지 기법의 검증 및 개선

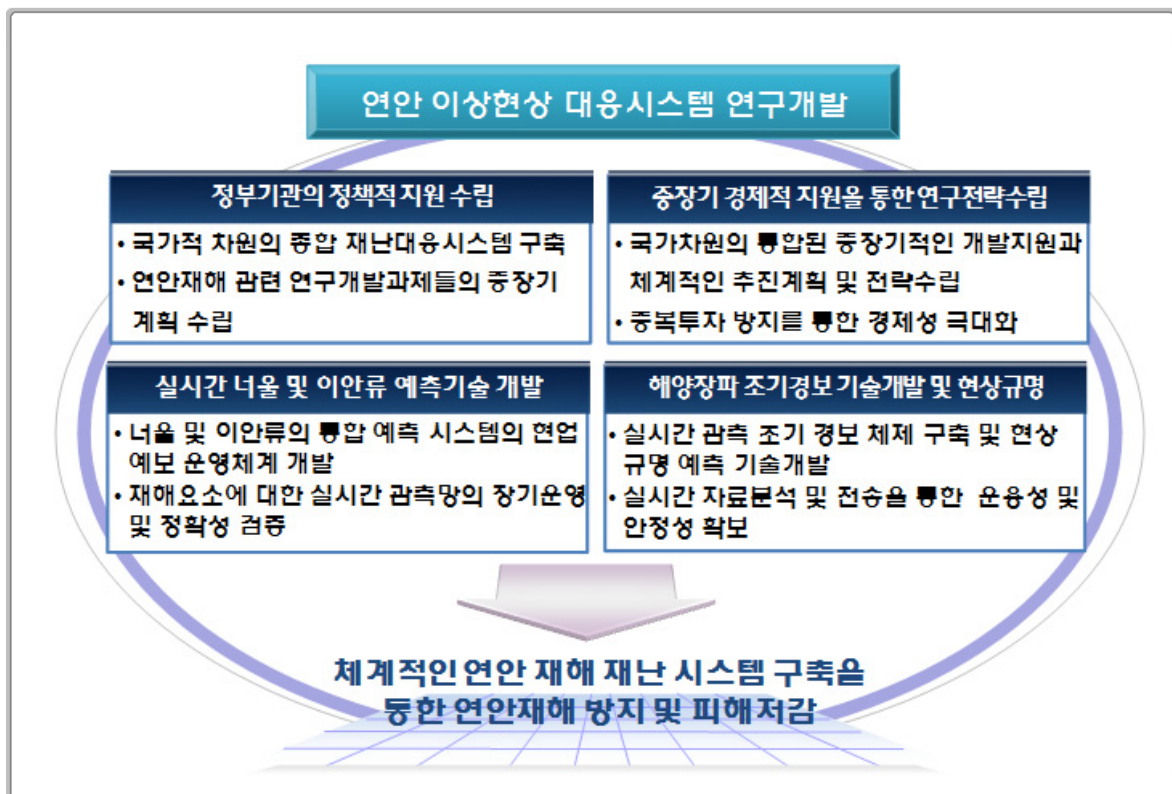
05 연구개발 추진의 타당성분석

- 5.1 정부지원의 필요성
- 5.2 정책적 타당성 분석
- 5.3 기술적 타당성 분석
- 5.4 경제적 타당성 분석

제5장 연구개발 추진의 타당성 분석

5.1 정부지원의 필요성

- 최근 지구온난화 등에 기인한 기후 변화로 인해 해수면 상승 추세가 지속되고 있으며, 해수 온도 상승에 따른 해상 폭풍 및 고파의 강도가 증대되고 있는 추세여서 향후 대규모 연안재해가 발생할 가능성은 매우 높음
- 근래에 들어 최근 몇 년간, 동해안에서 너울성 고파, 서·남해안에서 해양장파, 해수욕장의 이안류등 연안 이상현상이 자주 발생하여 인명 및 재산피해를 야기시켰으며, 과거 5년간 (2005~ 2009), 연안 이상현상에 의한 인명피해로는 사망 및 실종자가 총 55명, 부상자가 총 24명 발생하였고, 재산피해액으로는 피해가 집계된 3차례의 경우에 대해서만 약 55억원 이상이 발생하였음.
- 연안의 자연재해를 예방하고 피해를 최소화하기 위해서는 파랑특성 및 재해예방 연구, 각종 자연재해의 감시, 예측기술등의 개발이 요구됨. 또한 감시와 예측을 위한 상시시스템 구축과 이상기상현상 예측능력 제고를 위한 연구개발 노력이 필요.
- 특히 우리 나라의 자연환경 지식에 바탕을 두어 자연재해를 감시, 평가, 예측하는 기술개발 연구를 통해 피해 저감대책을 수립해야 하는데, 최근 수십년간 컴퓨터를 이용한 수치예보기술의 발전이 예보의 정확성과 신속성을 크게 향상시켰음.



- 하지만 연안재해의 방지를 위한 현재의 과학지식과 정량적인 사전 예보기술은 아직도 많이 개선, 연구되어야 하며, 연안시설의 노후도에 따른 연안 침수, 시설물 파손과 유실, 해안 침식등도 발생원인 되므로 이들의 보수·보강을 위한 정량적 예측평가 기술이 필요함.
- 또한, 수립된 연안재해요소의 예측 및 분석에 관한 기반기술을 토대로, 향후 연안 이상현상시 발생원인 규명 및 예경보 지원을 위한 대응기술 개발능력이 충분히 확보되기 위해서는 연안재해에 대해 장기적인 변화를 고려하면서 경제적인 효과를 극대화시킬 수 있는 정부의 중장기 계획이 연속선상에서 수행되어야 함.

5.2 정책적 타당성 분석

5.2.1 정부 정책현황 및 지원방향

구 분	정 부 정 책 현 황	지 원 방 향
자연재해 대책 법	<ul style="list-style-type: none"> 자연재해, 인적재난, 사회적 재난을 일컬음. 자연재해 예방, 복구, 저감 기술개발등의 사항을 포함 관련 연구개발 및 기반조성, 산업육성 위한 자연재해저감 기술 진흥계획 수립을 규정함 	<p>② 환경부 “국가 기후변화 적응대책 (2011~2015)”</p> <ul style="list-style-type: none"> 건강, 재난/재해, 농업등 10개 분야 87개 과제 추진 연안 취약성 평가 및 정밀관측평가 등 외력변화 관리체계 구축 및 연안재해 적응방안 수립이 채택 <p>② 정부 연안정비계획 사업 개선방안</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 사전예방 중심, ② 연안의 자연회복성 도모 ③ 안전하고 품위있는 연안정비, ④ 복합 연안공간창조를 통한 지역경제활성화 <p>② 정부 기후변화 종합대책</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 기후변화에 대응하기 위한 종합대책 ① 온실가스 감축, ② 기후변화 적응, ③ 연구개발 ④ 인프라 구축, ⑤ 국제협력 분야로 구분 <ul style="list-style-type: none"> ● 해양수산 분야 연안 및 항만 적응 대책 ① 연안부문 취약성 및 영향평가 ② 자연재해대응 조기경보시스템 구축 ③ 해수면 상승 정밀감시 및 예보기술개발 ④ 연안 구조물 설계기준 강화 및 구조물 보강
지진재해 대책 법	<ul style="list-style-type: none"> 지진과 지진해일로 인한 재해로부터 생명과 재산 및 주요시설을 보호하기 위하여 필요한 사항들을 규정 	
항 만 법	<ul style="list-style-type: none"> 항만구역내 항만 시설구조물의 경우 그 설치 및 관리에 관한 사항은 항만의 지정, 개발, 관리, 사용 및 재개발에 관한 사항을 규정하는 항만법에 근거함 	
연 안 관 리 법	<ul style="list-style-type: none"> 연안재해에 대응한 연안구조물의 설치, 정비, 관리 등에 관한 사항은 연안관리법에 의거 기존의 연안 정비사업들은 사후대응(피해복구)방식으로 추진 	

5.2.2 기존 정책에 따른 실시간 해양관측 현황과 문제점

② 실시간 관측 및 활용체계 미비

- 아직은 국내의 많은 해양관측 자료가 비실시간적으로 수행되고 있는 경우가 많으며, 실시간으로 관측되는 요소도 충분히 활용되지 못하여 해양의 현황파악과 예보에 제대로 활용되지 못하고 있는 경우가 많음.

② 수요의 증대에 따른 해양자료 및 서비스 기반 부족

- 연안활동 지원 및 연안재해방지 지원을 위한 다양한 해양정보 및 서비스 수요가 증대되고 있어 해양관측 자료의 요구도 다변화 및 확대되고 있는 추세이나, 이를 만족시키는 방향으로 계획이 추진되지 않음.

② 장기적 미래지향적인 투자계획 및 관련기관의 협조 부족

- 해양관측 및 활용을 각 기관별로 독자적으로 수행하고 있어 상호 연계성이 미흡하고, 사업비 부족에 따른 신규시설·장비의 확충 제약으로 관측 해역이 편중, 중복되고 사각지대가 발생하며, 관측 자료의 통합 및 표준화 미비로 자료의 공동 활용이 미흡함.
- 따라서 체계적이고 통합적인 해양관련업무의 계획 수행이 이뤄지지 않고 있으며, 공통적인 부분이 무시되거나 또는 중복 투자되는 경우가 많음.

② 해양자료의 장기연속 모니터링의 어려움

- 실시간 현장 관측장비는 장기간 연속적으로 설치되어 가동되어야 함으로 노후화, 선박과의 충돌, 도난등으로 인해 장기간 연속으로 운영하는 데는 위험부담이 크며, 특히 관측 센서들의 정기적인 검교정은 실시하기 매우 어려움.
- 또한 현재 해양 환경 요소를 장기간 연속적으로 모니터링 업무를 수행 가능한 인력과 기술 및 예산을 확보하지 못하고 있는 실정임.

② 해양정보 생산운영체제 미비

- 최근 해양에 대한 수치 예보기술이 크게 발달하여 상당한 정밀도의 해양정보의 생산 제공이 가능하게 되었지만 아직 해양정보를 이러한 최신의 해양 수치 모델링 및 해양 원격탐사 기술을 활용하여 현업적으로 생산하는 체제가 수립되어 운용되지 않음.

5.2.3 정부지원의 필요성

- 최근 지구온난화 등에 기인한 기후 변화로 인해 해수면 상승 추세가 지속되고 있으며, 해수 온도 상승에 따른 해상 폭풍 및 고파의 강도가 증대되고 있는 추세여서 향후 대규모 연안재해가 발생할 가능성이 매우 높음
- 이로 인한 고파랑, 해일발생 및 이상해면 상승에 따른 범람현상 등으로 인한 인명 손실, 연안침수, 제반 연안구조물의 붕괴·유실, 해안침식 등에 의한 연안재해 피해를 최소화하고 연안시설물의 안전관리 및 국토안전관리를 위한 장기대책 수립 등을 위해 외국의 선진사례와 같이 해양재난에 대한 과학적 대처기술의 개발이 시급히 요구됨
- 연안재해에 대해 장기적인 변화를 고려하면서 효과를 극대화시킬 수 있는 대응책을 도출하기 위해서는 각 부처에서 산발적으로 진행되는 관련 연구개발과제들이 정부의 중장기 계획의 연속선상에서 수행되어야 하며, 이를 위한 실천전략의 수립이 시급함.
- 또한 사전예방 중심의 연안정비 추진을 위해서는 연안 이상현상별(즉 해역별) 맞춤형 재해대응 기술력을 확보하도록 지원하는 것이 필요함.
- 특히 해양관측망의 경제성 및 평가에 따라 우선순위를 정하여 연구개발 및 구축에 필요한 기술을 먼저 개발하고 현재 해양관련 각 부처의 해양관측시스템을 개선하여 최대로 활용하는 과업부터 선행되고 보완되어야 함.
- 추후 21세기 국가번영을 위한 녹색성장의 시대를 위한 해양산업, 연안물류시설, 그리고 연안에서의 수산업 및 주민생활의 안전을 약속할 수 있는 국가적 차원의 체계적이고 미래지향적인 종합 대응시스템의 구축이 필요.

5.3 기술적 타당성 분석

5.3.1 타 연구과제와의 차별화방안

- 최근 국토해양부, 기상청, 해양조사원, 소방방재청 등 관련 정부기관에서 우리나라 주변에서 발생하고 있는 너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대한 대응기술 개발 사업들을 추진 중에 있음.
- 대부분의 타 연구과제들은 기존의 관측장비를 이용한 해양관측망의 확대 구축을 기반으로 하는 연안 이상현상 대응기술 개발에 중점을 두고 있음. 그러나 기존의 관측장비들은 주로 한 지점에서만 물리량을 측정하는 점-관측 (point-measurement) 방식으로 관측자료를 취득하기 하기 때문에, 연안에서 주변 지형의 영향으로 국지적인 변동성이 큰 이상 현상을 공간적으로 감시 및 모니터링하는 데는 한계가 있음.
- 현재, 해양조사원 및 기상청에서 우리나라 주변의 약 100여개 가까운 해양 관측지점을 운영하고 있지만, 과거 연안 이상현상 발생에 관한 원인규명을 위해 활용할 수 있는 자료는 극히 일부분으로 적용하기에는 어려움.
- 따라서 본 연구에서는 연안 이상현상에 대한 효과적인 대응을 위해 발생원인 규명과 예측기술 개발을 통한 사전 예경보 시스템 구축 및 연안 이상현상의 효과적인 관측을 위해 레이다, CCTV, 인공위성 등 첨단 IT기술을 이용한 이상현상별 맞춤형 감시기술 개발에 중점을 두었음.

5.3.2 기술개발의 기대효과

- 우리나라에서, 2003년 태풍 매미에 의해 발생한 막대한 연안재해를 계기로 그 이후, 연안방재와 관련된 활발한 연구가 이뤄졌으며, 각종 연구 및 개발기술이 개선되어 왔음
- 국토해양부의 “폭풍해일 설계해면 및 천해 설계파 추산 연구 (2006.7 ~ 2010.6)”에서는 장기간의 설계해면 추산 및 천해파 산출기술을 개발하여, 향후 파랑 예측기술 개선 및 연안침수 재해위험도 및 방재대책 마련을 위한 기반기술을 수립하였음.
- 또한 교과부(과거, 과기부)의 선행연구를 통해 관련 핵심 기술 (정밀격자 기반 파랑 및 해일 수치모델링 기술 등)이 확보되어 있으며, 기상 입력자료와 연계하여 통합 적용 체계의 구축기술 및 국지정밀 해일예보 현업화 기술이 또한 구축되어 운영 중에 있음
- 특히, 국가해양관측시스템 개발, 천해파랑 산출시스템 등의 여러 연구사업을 통해 조석, 폭풍해일 및 파랑예보시스템 구축 연구를 지속적으로 수행해 왔으며, 이에 따라 우리나라 주변에서 연안재해를 유발하는 요인인 여러 요소의 예측 모델 (조석, 해일, 파랑 등)은 비교적 잘 수립되어 있음
- 위와 같이 수립된 연안재해요소의 예측 및 분석에 관한 기반기술을 토대로, 향후 연안 이상현상의 발생원인 규명 및 예경보 지원을 위한 대응기술 개발능력이 충분히 확보되어 있음.

5.4 경제적 타당성 분석

5.4.1 연안 이상현상에 의한 피해규모

- 과거 5년간, 연안 이상현상에 의한 인명피해 및 재산피해 규모를 요약하면 다음과 같음.

<표 5.3.1> 서울성 고파에 의한 인명피해 및 재산피해 규모

사례번호 (발생지역)	발생일자	피해지역	인명피해 (명)		재산피해		
			사망 (실종포함)	부상	규모	평가액	비고
동 해 안	1 '05.10.22~23	속초 (영랑동)			횃집 3동 반파, 도로 파손	15억원	대략 산출
		강릉 (주문진항)	1				
		동해 (대진항)		3	방파제 파손		
		포항 (임곡방파제)	2		농경지 2.5ha 침수		
		울산 (정자방파제)	1		선박 1척 침몰, 방파제 및 도로 파손		
	2 '06.10.8~9	포항 (양포항)	2			30억원	'취' 와 '이' (2010)
		부산 (사하)	1				
		울릉도 (저동)	1				
	3 '06.10.23~24	고성 (봉포항)	1				
		속초	7		선박 1척 침몰		
4 '07.10.28	속초 (영금정)	1					
5 '08.2.24	강릉 (안목항)	3					
6 '09.1.10	강릉 (주문진항)	2					
7 '09.1.30~31	울산 (방어진)	9		선박 1척 침몰			
	거제 (홍도)	4					
8 '09.11.1	영덕 (해맞이공원)	1					
합 계			36	3		45억원 이상	

<표 5.3.2> 이안류에 의한 인명피해 규모

사례번호 (발생지역)	발생횟수	피해지역	피해내용 (명)			
			사망	구조	비고	
남해안	9	10회	• 부산 해운대 해수욕장	1		'07.6.30
	10	1회	• 부산 기장군 임랑 해수욕장	3	1	'10.9.25
	11	1회	• 전남 완도 명사십리 해수욕장		1	'09.8.6
		1회	• 전남 신안 대광 해수욕장		3	'09.8.7
서해안	12	2회	• 충남 대천 해수욕장	2	2	'10.7.18, '10.8.1
합 계				6	7	

<표 5.3.3> 해양장파에 의한 인명피해 및 재산피해 규모

사례번호 (발생지역)	발생일자	피해지역	인명피해 (명)		재산피해			
			사망 (실종포함)	부상	규모	평가액	비고	
남해안	13	'05.2.09	제주 (한림)			주택 10여채 침수		
서해안	14	'07.3.31	고창 (상하면)	3			10억원	'최'와'이' (2010)
			홍동읍			선박 21척 파손		
			영광 (법성면)	1		선박 5척 파손, 가옥 120여채 침수		
15	'08.5.04	대천 (해수욕장)				해변 과다 침수		
		보령 (죽도)	9	14				
합 계			13	14		10억원 이상		

- 소중한 생명을 액수로 환산할 수 없음을 고려할 때, 연안 이상현상에 의해 발생하는 인명피해는 상당한 규모라고 할 수 있음.
- 과거 5년간 집계된 인명피해 및 재산피해를 근거로, 본 기획연구를 통하여 제시한 5차년도에 걸쳐 수행되는 이상현상 대응기술에 대한 연구개발 소요액은 충분한 타당성을 가지고 있다고 할 수 있음.

06 기대효과 및 활용방안

6.1 기대효과

6.2 성과활용방안

제6장 기대효과 및 활용방안

6.1 기대효과

6.1.1 기술적 기대효과

- 연안 이상현상 (너울성 고파, 해양장파, 위험이안류 등)에 대한 관측 신기술 개발 및 체계적인 관측기술의 향상으로 양질의 연안 이상현상 관측자료 확보
- 연안 이상현상에 따른 재해요소 (너울성 고파, 해양장파, 위험이안류, 연안해일 등)에 대한 원인규명을 통한 체계적인 사전예측 기술의 확보
- 연안 이상현상에 대한 사전예측 시스템 구축을 통한 조기대응 및 조기경보 시스템 기술 개발에 기여
- 연안재해에 대한 사전예측 수치모의 기술을 활용한 사후피해 평가기술 개발에 기여
- 연안재해에 대한 사전예측 시스템 구축을 기반으로, 신속한 대응 및 복구지원 대책 등 방재의 전 과정이 유기적이고 원활한 대처방안을 통한 효과적이고 체계적인 방재지침의 확보에 기여
- 연안 이상현상에 대한 지속적인 모니터링 및 장기 관측자료의 확보로 연안방재 구조물의 최적 설계 기반자료로 활용
- 해안 방재시설 및 건축물 등 연안구조물에 작용하는 재해외력 요소의 장기 통계 분석 및 장기 수치모의를 통한 연안방재 구조물의 적정 설계외력 산출자료의 개선
- 실시간 무선 송신기술의 적용 및 보편화를 통한 연안 모니터링 체계의 확충

6.1.2 사회·경제적 기대효과

- 국민들의 해양활동이 증가하는 상황에서, 연안 이상현상에 따른 재해요소의 발생 직전 신속 예보지원으로 연안재해 방지 및 피해 저감
- 연안재해 피해평가의 수치모형 적용을 통한 피해정도의 적시적 산출, 긴급대응 조치 및 조정을 통한 피해 최소화
- 연안 해수범람 및 저지대 침수에 의한 인명피해 및 재산피해 저감
- 또한, 연안에서 어업활동 이외에 레크레이션, 관광, 여가활용 등 연안자원의 대중적 가치 향상에 기여
- 연안개발 산업분야간 해양정보의 생산, 공유, 실용화 등을 통한 해양산업 육성에 기여
- 연안재해 대응관련 정보의 통합, 공유, 안전대책 수립 및 교육을 통한 연안관리 기술의 국가적 보급

- IT기술과의 기술융합으로 관측기술 및 예보모의기술, 경보결정 및 전달기술 과정의 시스템 지능화 등 선진국형 국제경쟁력 강화

6.2 성과 활용방안

6.2.1 과학기술적 활용방안

- 국가 전 연안에 대한 통합 연안 이상현상 대응시스템의 구축으로 재난대비 의사결정을 위한 기술자료 지원
- 연안의 재해유발 요소의 모니터링과 과학적 계측을 통한 장기 관측자료의 축적으로 물리해양 및 연안공학 등 유사 학문분야 모델 개발 및 검증에 활용
- 해양재난에 대응하는 연안방재 신기술 개발에 활용
- 기후변화에 대비한 연안재해 피해저감 신기술 확보
- 연안 이상현상에 대한 과학적이고 체계적인 연구 및 기술개발을 통한 국가적 차원의 정책 및 대책 수립을 위한 자료 제공

6.2.2 사회·경제적 활용방안

- 중앙정부, 지방자치단체, 유관기관 및 일반국민 등 재해에 신속하게 대처할 수 있는 연안재해 대응 정보 및 서비스 제공
- 지능성 유비쿼터스 센서 및 휴대용 디바이스 기술 등과의 융합을 통한 연안 예경보체계의 수립을 위한 기반 제공
- 지능성 센서네트워크 기술, 비디오영상 해석기술, 도시 정보화 기술 등과의 융합을 통한 연안재해 대응기술의 디지털 정보화 시스템 구축
- 연안재해 예측기술과 디지털 정보전달 시스템의 융합을 통한 연안통합관리체계의 기반 마련 및 수립 운용으로 연안 서비스 및 비즈니스 콘텐츠산업 육성
- 해안관광 및 해양레크리에이션 활동에 대한 안전관리 측면에서 연안 이상현상에 대한 충분한 자료 공급 및 안전대책 마련으로 해양 레크리에이션 관련 산업의 보호

07 연구개발 제안서(RFP)

- 7.1 연구개발의 필요성
- 7.2 연구개발현황 및 수준
- 7.3 연구개발 연차별 목표 및 내용
- 7.4 중점연구 소요기간 및 예상 정부지원액
- 7.5 연구결과의 기대효과

제 7장 중점기술과제별 연구개발제안서(RFP)

7.1 연구개발의 필요성

- 최근 지구온난화 등에 기인한 기후 변화로 인해 해수면 상승 추세가 지속되고 있으며, 해수 온도 상승에 따른 해상 폭풍 및 고파의 강도가 증대되고 있는 추세여서 향후 대규모 연안재해가 발생할 가능성은 매우 높음
- 근래에 들어 최근 몇 년간, 동해안에서 너울성 고파, 서·남해안에서 해양장파, 해수욕장의 이안류등 연안 이상현상이 자주 발생하여 인명 및 재산피해를 야기시켰으며, 과거 5년간 (2005~ 2009), 연안 이상현상에 의한 인명피해로는 사망 및 실종자가 총 55명, 부상자가 총 24명 발생하였고, 재산피해액으로는 피해가 집계된 3차례의 경우에 대해서만도 약 55억원 이상이 발생하였음.
- 동해안에서 주로 나타나는 너울성 고파는, 동해 먼 바다에서 폭풍에 의해 발생한 풍파가 우리나라 동해 연안에까지 도착하는 동안 약 10~15초 주기의 너울성 고파랑으로 전이되며 해상상태가 잦아지는 상황에서 갑작스럽게 전파되어 오기 때문에 많은 인명 및 재난 피해를 야기시키고 있음.
- 남해 해수욕장에서 발생하는 이안류는, 주로 해변으로 밀려오는 너울성 파도 등 고파랑이 원인이 되어 특정 물리조건에서 해변에서 바다쪽으로 갑작스럽게 발생하는 해수의 흐름임. 특히, 피서객이 많은 7~8월에 집중적으로 해수욕장의 여러 지점에서 발생하고 있어, 이에 따라 인명사고 등 안전사고의 위협이 되고 있음.
- 서해안에서 발생하고 있는 이상 해양장파는, 주로 수 분에서 수십 분 사이의 주기를 갖는 기상 쓰나미가 원인이 되고 있음. 지난 2008년 5월 4일, 충청남도 보령시 죽도에서 발생한 해양장파는 주기가 수십 초에서 3분 이내이고, 최대 파고가 약 1.4m 인 것으로 나타났음. 2007년 3월 31일에는 서해안 일대에서 약 10~60분 주기의 장파가 발생하여 해안을 따라 군산부터 남쪽인 영광까지 많은 인명피해 및 재산피해를 입혔음.
- 연안의 자연재해를 예방하고 피해를 최소화하기 위해서는 파랑특성 및 재해예방 연구, 각종 자연재해의 감시, 예측기술등의 개발이 요구됨. 또한 감시와 예측을 위한 상시시스템 구축과 이상현상 예측능력 제고를 위한 연구개발 노력이 필요.

- 연안이상현상 발생시 원인규명 및 예경보 지원을 위한 대응기술 수립과 연안재해 요소의 예측 및 분석에 관한 기반기술의 개발을 위해서는 연안재해에 대해 장기적인 변화를 고려하면서 경제적인 효과를 극대화시킬 수 있는 정부의 중장기 계획이 연속선상에서 수행되어야 하며, 이를 위한 실천전략의 수립이 시급함.
- 추후 21세기 국가번영 및 녹색성장의 시대를 위한 해양산업, 연안물류시설, 그리고 연안에서의 수산업 및 주민생활의 안전을 약속할 수 있는 국가적 차원의 체계적이고 미래지향적인 종합 대응시스템의 구축이 필요.

7.2 연구개발현황 및 수준

② 선진국 연구개발 현황의 비교

구분		내용	해양장파	이안류
미국	관측	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 실시간 관측망 • 1~30초 주기의 파랑 관측 • 외해, 대륙사면, 대륙붕, 연안 등 4개 권역으로 체계적 관측 • 예측모델 입력 및 검증 자료로 이용 • 인공위성 개구 합성 레이더(SAR) 및 HF 레이더 기술개발중 	<ul style="list-style-type: none"> • NOAA에서 해양 진행장파의 관측 및 경보시스템 개발중 • 해양장파의 연안 도착 전 관측, 자료처리 및 통신 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • SAND DUCK(NC, 1997), RIPEX(CA, 2001), NCEX(CA, 2003), RCEX(CA, 2007)등의 현장종합관측 수행
	예측	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 서해안 실시간 너울 예보 프로그램 (CDIP)을 통한 3일 예보 수행 • NOAA 기상서비스 및 데이터 부이센터에 예보 자료 제공 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Surf Zone Forecast에서 매일 이안류 발생 가능성이 low, moderate, high의 3단계로 예보됨.
	정보전달	<ul style="list-style-type: none"> • 인터넷을 통한 데이터 부이센터(NDBC) 정보 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안에 해양 진행장파 경보를 위한 기준마련(protocol) 및 작성 중 	<ul style="list-style-type: none"> • NWS(National Weather Service)를 통하여 인명구조팀, 비상관리팀, 언론을 통하여 대중에게 전달
일본	관측	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 실시간 파랑정보망 • 파랑관측 해상계를 해안으로부터 1~3 km (수심 50 m) 지점에 설치 • 해저케이블을 통한 감시국, 기상청 및 항만 기술연구소에 통보 • HF 및 VHF 레이더 관측기술 개발중 	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 파랑정보망의 해상계는 파랑 뿐만 아니라 조위자료도 관측하여 육상감시국에 전송 • 연안역 항만에서도 실시간 조위계를 설치하여 운영중 	-
	예측	<ul style="list-style-type: none"> • 일본항만기술연구소 예측모델 개발중 	-	-
	정보전달	<ul style="list-style-type: none"> • 연안지역 대형표시판에 파랑 및 기상정보 표출 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안지역 대형표시판에 쓰나미 등 해양장파 정보 제공 	-
크로아티아	관측	-	<ul style="list-style-type: none"> • 기상쓰나미 해양장파의 조기경보를 위한 실시간 관측시스템 개발중 • 먼바다 설치 대기압 관측 부이로부터 조기 기압 변동 실시간 감시 및 경보 	-
	정보전달	-	<ul style="list-style-type: none"> • 경보시스템 개발중 	-

📍 국외 연구동향의 시사점

구분	너울	해양장파	이안류
발생 외력	<ul style="list-style-type: none"> • 먼바다 해상폭풍 	<ul style="list-style-type: none"> • 기상요란 	<ul style="list-style-type: none"> • 연안 입사파랑
피해영향 인자	<ul style="list-style-type: none"> • 파고, 파향, 주기 및 연안지형 	<ul style="list-style-type: none"> • 파고, 파향, 주기 및 연안지형 	<ul style="list-style-type: none"> • 해류, 파고, 파향, 주기 및 해변 해저지형
관측 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 거리구간별 관측장비 설치 • 원격관측기법 개발중 	<ul style="list-style-type: none"> • 거리구간별 관측장비 설치 • 원격관측기법 개발중 	<ul style="list-style-type: none"> • 대상해안 현장 종합관측장비 설치 • 원격관측기법 개발중
예측 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 3일 너울예보 수행 (미국 서해안) 	-	<ul style="list-style-type: none"> • 발생가능성에 대한 3단계 예보 (미국)
대응 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 수치예측를 기반한 예보 생산 	<ul style="list-style-type: none"> • 구간별 실시간 관측자료를 기반한 예보 	<ul style="list-style-type: none"> • 수치예측을 기반한 예보 생산
정보 전달	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 자료전송 및 온라인 예경보 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 자료전송 및 온라인 예경보 제공 	<ul style="list-style-type: none"> • 기상센터 및 언론을 통한 예보 전달
시사점	<ul style="list-style-type: none"> • 현상발생 관측을 위한 구간별 관측장비의 설치가 필요 • 현상의 효과적 관측을 위한 관측 신기술 개발이 필요 • 예측모델을 기반한 대응 기술 수립 	<ul style="list-style-type: none"> • 현상발생 관측을 위한 구간별 관측장비의 설치가 필요 • 현상의 효과적 관측을 위한 관측 신기술 개발이 필요 • 실시간 관측자료를 기반한 대응기술 수립 	<ul style="list-style-type: none"> • 현상발생 관측을 위한 종합 관측장비 설치가 필요 • 현상의 효과적 관측을 위한 관측 신기술 개발이 필요 • 예측모델을 기반한 대응기술 수립

7.3 연구개발 연차별 목표 및 내용

(1) 과제명 : 이상현상 발생원인 규명 및 예측기술 개발

(2) 최종 목표

- 향후 5년간 (2012-2016), 너울, 이안류 등 연안 이상현상에 대응하기 위한 관측 및 예측시스템 등 종합 대응시스템 기술 개발
 - 실시간 너울 및 이안류 예측기술 개발
 - 해양장과 조기감지 기술개발 및 현상규명

(3) 연차별 목표

연 차	목 표	연 구 내 용
1 차 년 도	해역별 시범 지역선정 및 이 상 현 상 관측기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 과거 발생자료 연구, 사전 조사 및 분석을 통한 사업계획 마련 • 해역별 이상현상 관측 및 예측시스템 개발을 위한 시범지역 조사 및 선정 • 동해 시범지역 너울성 고파 모니터링을 위한 최적 관측망 설계 및 구축 • 재해요소의 효과적인 모니터링을 위한 기존 관측망 및 원격탐사 등 IT 기술의 통합 활용방안 검토, 제시 • CCTV, 레이다 등 원격탐사 기술을 이용한 첨단 관측기술 개발 (1단계)
	너울 및 이안류 발생특성 분석 및 예측모델 개발을 위한 기 반 연 구	<ul style="list-style-type: none"> • 너울성 고파 및 해수욕장 이안류 등 연안 이상현상의 발생, 발달 및 전파 특성에 관한 국내외 문헌조사 및 이론 연구 • 동해 너울 및 해수욕장 이안류 등 국내 연안 이상현상에 대한 과거 관측자료의 수집, 재해 발생 메커니즘 및 발달특성 분석 • 너울 및 이안류의 예측 가능 모델기술 분석
2 차 년 도	이 상 현 상 관 측 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> • 남해 시범지역 이안류 모니터링을 위한 최적 관측망 설계 및 구축 • 서해 시범지역 해양장과 모니터링을 위한 최적 관측망 설계 및 구축 • CCTV, 항해용(X-band) 레이다 등 국지적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 감시기술 개발 (2단계) • 인공위성, 항공촬영, HF 레이다 등 광역적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 관측기술 개발 (2단계) • 재해요소에 대한 원격관측 및 점관측기법의 시공간 융합 관측기술 개발 (1단계)
	너 울 및 이 안 류 예 측 모 델 개 발	<ul style="list-style-type: none"> • 동해 너울 및 해수욕장 이안류의 발생 메커니즘 규명 및 예측기법 연구 • 너울 및 이안류의 예측모델 개발 • 동해 너울성 파랑 내습에 따른 해안 도파 및 월파추산기술 개발 • 연안역 입사파랑 예측기술과 연계한 해안 이안류 발생 예측 모델 개발 • 동해 너울 및 해수욕장 이안류의 예측모델 적용을 위한 시범지역 수치 격자 개발
	기상쓰나미 등 해양장파의 관 측 기 술 기 반 연 구	<ul style="list-style-type: none"> • 해양장파의 효과적인 모니터링을 위한 기존 관측망 및 원격탐사 등 IT 기술의 통합 활용방안 검토, 제시 • 해안에서 거리별 발생외력 관측을 위한 기상관측망 체계기술 개발 • 기상쓰나미 등 해양장파의 발생, 발달 및 전파 특성에 관한 이론 및 국내외 예측기술 연구

연 차	목 표	연구 내용
3 차 년 도	이 상 현 상 관 측 기 술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> •해역별 시범지역 재해요소 관측망 개선 및 운영 •CCTV, 항해용(X-band) 레이다 등 국지적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 감시기술 개발 (3단계) •인공위성, 항공촬영, HF 레이다 등 광역적 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 관측기술 개발 (3단계) •재해요소에 대한 원격관측 및 점관측기법의 시공간 융합 관측기술 개발 (2단계)
	해류, 조석, 파랑 통합 기반 너울, 이안류 예측모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> •해류, 조석, 파랑 사이의 상호작용을 고려한 너울 예측기술 개선 •너울 예측기술 개선으로 해안에서 도파 및 월파 추산기술 향상 •해류, 조석, 파랑 사이의 상호작용을 고려한 이안류 예측기술 개선 •해류, 해일, 조석 및 파랑 등 각 요소별 예측모델의 통합 기반 너울 및 이안류 예측모델 개발
	실 시 간 해양장파 분석 및 전송체계 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •해양장파 종합 관측체계의 실시간 분석, DB화 및 전송 기술 개발 •서해 해양장파에 대한 과거 관측자료의 수집, 발생 메커니즘 및 발달특성 분석 •해양장파의 예측 가능 모델기술 분석
	초 기 대 응 관리 시스템 기반기술 수립	<ul style="list-style-type: none"> •과거 피해사례 및 피해현황에 대한 조사, 피해자료 DB 구축 •재난상황 발생시 초기대응을 위한 매뉴얼 및 관리 기술 조사 및 확보 •현장 예경보 및 정보지원 관리를 위한 선진 기술 조사 및 검토 •국내 관련기관 및 지자체의 행정체계를 고려한 초기대응 관리체계 검토 및 방안 제시
4 차 년 도	연안 정밀격자 기 반 신 속 너울, 이안류 예 측 체 계 개 발	<ul style="list-style-type: none"> •동해 너울성 파랑 및 해수욕장 이안류 예측모델 기술의 테스트 및 검증 •너울 및 이안류 예측모델의 입력자료인 발생외력 (예, 해상풍 등)에 대한 신속 생산체계 개발 •전 해상 광역격자 및 연안 정밀격자 기반 너울 및 이안류 신속 예측체계 개발 •재해요소에 대한 융합 관측망의 실시간 자료분석, 전송 및 DB 기술 개발
	해 양 장 파 의 조기감지 기술 개 발	<ul style="list-style-type: none"> •해양장파 종합 관측체계의 실시간 자료분석, 전송 및 DB 기술의 장기운영을 통한 운용성 검증 및 안정성 확보 •서해 해양장파의 실시간 종합 관측망 기반 재해발생 조기감지 기술 개발 •서해 해양장파 발생에 대한 예측기법 개발
5 차 년 도	너울 및 이안류 예 측 모 델 의 현 업 예 보 체 계 개 발	<ul style="list-style-type: none"> •발생외력의 신속 생산체계 및 해류 - 해일 - 조석 - 파랑 예측모델 기반 너울 및 이안류의 통합 현업예보 운영체계 개발 •통합 예측 시스템의 현업 예보체계 개발 및 예보 대상지역의 단계적 확대방안 마련 •재해요소에 대한 실시간 융합 관측망의 장기 운영 및 정확성 검증
	관 측 기 반 해양장파 조기 감 지 기 술 의 시 범 운 영	<ul style="list-style-type: none"> •발생외력 감시를 위한 기상 관측망 및 해양장파의 시공간 융합 관측망의 실시간 시범서비스를 위한 정보망 개발 •해양장파의 실시간 종합관측망 기반 조기감지 기술의 시범운영 •서해 해양장파 발생에 대한 조기감지 기법의 검증 및 개선

(4) 주요 연구개발 내용

① 중점분야: ① 실시간 너울 및 이안류 예측기술 개발

- 재해요소의 발생외력 (해상풍 등)에 대한 신속 입력자료 생산 체계
- 파랑 - 해류 - 조석 통합 해양모델 기반 재해요소의 예측모델링 기술
- 예측모델의 광역격자 및 국지 정밀격자 기반 신속 예측자료 생산체계 및 현업예보 체계
- CCTV, HF 레이다, 인공위성 등 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 첨단관측 기술
- 원격탐사 활용기술과 전통적 점관측 기법을 통합한 시공간 융합 관측망체계
- 연안재해요소 관측자료의 실시간 분석, 전송 및 DB화 기술
- 관측체계의 실시간 원격관리 및 서비스 지원을 위한 정보망

② 중점분야: ② 해양장파 조기감지 기술 개발 및 현상규명 연구

- 서해 해양장파의 조기감지를 위한 실시간 구간별 관측체계망 및 경보체계 기술
- CCTV, HF 레이다, 인공위성 등 원격탐사 기술을 이용한 재해요소 첨단관측 기술
- 원격탐사 활용기술과 전통적 점관측기법을 통합한 시공간 융합 관측망체계
- 해양장파 관측자료의 실시간 분석, 전송 및 DB화 기술
- 해양장파의 발생 메커니즘, 발달 및 전파 특성
- 해양장파 발생에 따른 피해예측 및 평가모델

7.4 중점연구 소요기간 및 예상 정부지원액

① 개발과제의 예상 정부 지원액 (억원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총액 (억원)
이상현상 발생원인 규명 및 예측기술개발	10	25	25	20	20	100

7.5 연구결과의 기대효과

② 기술적 기대효과

- 연안 이상현상 (너울성 고파, 해양장파, 위험이안류 등)에 대한 관측 신기술 개발 및 체계적인 관측기술의 향상으로 양질의 연안 이상현상 관측자료 확보
- 연안 이상현상에 따른 재해요소 (너울성 고파, 해양장파, 위험이안류, 연안해일 등)에 대한 원인규명을 통한 체계적인 사전예측 기술의 확보
- 연안 이상현상에 대한 사전예측 시스템 구축을 통한 조기대응 및 조기경보 시스템 기술 개발에 기여
- 연안재해에 대한 사전예측 수치모의 기술을 활용한 사후피해 평가기술 개발에 기여
- 연안재해에 대한 사전예측 시스템 구축을 기반으로, 신속한 대응 및 복구지원 대책 등 방재의 전 과정이 유기적이고 원활한 대처방안을 통한 효과적이고 체계적인 방재지침의 확보에 기여
- 연안 이상현상에 대한 지속적인 모니터링 및 장기 관측자료의 확보로 연안방재 구조물의 최적 설계 기반자료로 활용
- 해안 방재시설 및 건축물 등 연안구조물에 작용하는 재해외력 요소의 장기 통계 분석 및 장기 수치모의를 통한 연안방재 구조물의 적정 설계외력 산출자료의 개선
- 실시간 무선 송신기술의 적용 및 보편화를 통한 연안 모니터링 체계의 확충

② 사회·경제적 기대효과

- 국민들의 해양활동이 증가하는 상황에서, 연안 이상현상에 따른 재해요소의 발생 직전 신속 예보지원으로 연안재해 방지 및 피해 저감
- 연안재해 피해평가의 수치모형 적용을 통한 피해정도의 적시적 산출, 긴급대응 조치 및 조정을 통한 피해 최소화
- 연안 해수범람 및 저지대 침수에 의한 인명피해 및 재산피해 저감
- 또한, 연안에서 어업활동 이외에 레크레이션, 관광, 여가활용 등 연안자원의 대중적 가치 향상에 기여
- 연안개발 산업분야간 해양정보의 생산, 공유, 실용화 등을 통한 해양산업 육성에 기여
- 연안재해 대응관련 정보의 통합, 공유, 안전대책 수립 및 교육을 통한 연안관리 기술의 국가적 보급
- IT기술과의 기술융합으로 관측기술 및 예보모의기술, 경보결정 및 전달기술 과정의 시스템 지능화 등 선진국형 국제경쟁력 강화

참 고 문 헌

기상청, 2009: 연안재해 실시간 감시 모니터링 체계 구축 방안

정원무, 오상호, 이동영, 2007: 동해안에서의 이상 고파, 한국해양해양공학회지, 제19권, 제4호, pp. 295-302.

정원무, 오상호, 2009: 동해안 이상너울의 관측 및 특성 분석, 한국수자원학회지, 제42권, 제4호, pp. 43-47.

최병주, 박용우, 권경만, 2008: 한국 서해안에서 발생한 해양장파의 형성과 전파 과정, Ocean and Polar Research, 30(4), 453-466.

최진렬, 이시경, 2010: 너울성 파도에 대한 재난관리 과정분석: 강릉 안목항 사고와 보령 죽도 사고를 중심으로, 한국공공관리학보, 24(2), 71-98.

해양조사원, 2010: 연안사고지역 해양 이상현상 감시체계 구축방안 연구

Bryant, E., 2001: Tsunami: The Underrated Hazard, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 350.

Gonzalez, J. I., S. F. Fareras, and J. Ochoa, 2001: Seismic and meteorological tsunami contributions in the Manzanillo and Cabo San Lukas seiches, Marine Geodesy, 24, 219 - 27.

Haslett K., E. Mellor, and A. Bryant, 2009: Meteo-tsunami hazard associated with summer thunderstorms in the United Kingdom , Physics and Chemistry of the Earth, 34, 1016 - 1022.

Jansa, A., Monserrat, S., and Gomis, D. 2007: The rissaga of 15 June 2006 in Ciutadella (Menorca), a meteorological tsunami, Adv. Geosci., 12, 1 - 4.

Monserrat, S., A. Ibberson, and A. J. Thorpe, 1991: Atmospheric gravity waves and the "rissaga" phenomenon, Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 117, 553-570.

Monserrat, S., C. Ramis, and A. J. Thorpe, 1991: Large-amplitude pressure

- oscillations in the Western Mediterranean, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 183-186.
- Monserrat, S., D. Gomis, A. Jansa, and A. B. Rabinovich, 2006: The rissaga of 15 June 2006 in Ciutadella Harbour, Menorca Island, Spain, *Tsunami Newsletter*, 38(2), 5-7.
- Rabinovich, A. B. and S. Monserrat, 1996: Meteorological tsunamis near the Balearic and Kuril Islands: Descriptive and statistical analysis, *Nat. Hazards*, 13(1), 55-90.
- Sepic J., M. Orlic and C. Vilibic, 2008: The Bakar Bay seiches and their relationship with atmospheric processes, *ACTA ADRIATICA*, 49(2): 107-123.
- Sepić, J., Denis, L., and Vilibić, I.: Real-time procedure for detection of a meteotsunami within an early tsunami warning system, *Phys. Chem. Earth*, 34, 1023 - 031, 2009a.
- Šepić, J. and Vilibić, I., 2011: The development and implementation of a real-time meteotsunami warning network for the Adriatic Sea, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 83-91.
- Tintore, J., D. Gomis, S. Alonso, and D. P. Wang, 1988: A theoretical study of large sea level oscillations in the Western Mediterranean, *J. Geophys. Res.*, 93, 10 797-10 803.
- Vilibic, I. and Mihanovic, H. 2003: A study of resonant oscillations in the Split harbor. (Adriatic Sea), *Estuar. Coastal Shelf Sci.* 56, 861 - 867.
- Vilibic, I. and J. Sepic, 2009: Destructive meteotsunamis along the eastern Adriatic coast: Overview, *Physics and Chemistry of the Earth*, 34, 904-917.

주 의

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