

XAI 복합 연안환경위험 실시간 진단·예측 및 정책지원 플랫폼 기술개발

# K-Coastal Risk Platform

## K-CRP

Geo-Physical AI + XAI 기반 복합 연안환경위험 진단·단기예측 및 정책의사결정 지원 플랫폼

사업기간: 1단계 5년 + 2단계 3년 = 총 8년 | 사업규모: 연 50억 × 5년 = 약 250억 원 | 컨소시엄: KIOST·NIFS 등 주관 + (주)엔지스 외

# 연안환경위험, 이미 '복합' 단계로 진입

고수온·빈산소·적조·부유사가 동시·연쇄 발생하는 시대

2011~2024  
양식 자연재해 피해

4,763억

원

고수온 피해가 전체의 73% 차지

고수온 단독 피해액

3,472억

원

14년간 누적 / 최대 위험 요인

2024년 단일연도 피해

1,430억

원

2018년 이후 최대 규모 피해



연안환경위험 대응은 더 이상 사후복구 중심으로 지속 가능하지 않다.

2020~2024년 재난지원금·보험금 지원 투입 예산: 2,323억 원 ← 피해보상보다 선제대응이 필요한 구조

# 현 행정체계의 구조적 한계

분산·단일·사후 중심 구조로는 복합위험에 대응 불가



## 데이터 분산

부처·기관별 관측 데이터가 분절 운영되어 복합위험 통합 판단 곤란



## 단일 지표 한계

단일 지표 중심 정보로는 복합 연안환경위험 조기 감지 어려움



## 통합 엔진 부재

위성·현장관측·수치모델을 통합 분석하는 기반 엔진 없음



## 실시간 예측 미흡

물리적 타당성을 갖춘 실시간 진단 및 단기예측 체계 미흡

## 설명 정보 부족

위험 발생 원인과 기여요인을 이해할 수 있는 설명형 정보 제공 부족



## 공통 인프라 부재

중앙정부·지자체·현장 대응주체가 공통 활용 가능한 운영형 인프라 없음

사후복구 중심 행정



48~72시간 선제대응형 행정

# 사업 개요

K-Coastal Risk Platform (K-CRP) 핵심 요약

항목	내용
사업명	XAI 복합 연안환경위험 실시간 진단·예측 및 정책지원 플랫폼 기술개발
사업 기간	1단계 5년 (3+2, 중간평가 포함) + 2단계 3년 = 총 8년
사업 규모	1단계 연 50억 원 × 5년 = 약 250억 원 / 2단계 별도 협의
시범지역	1차: 남해권(통영·고성) + 서해권(태안) → 2차: 동해권 확대 → 2단계: 전국 7개 권역
컨소시엄	주관(KIOST·NIFS 등), (주)엔지스, (주)해강기술, 한국연안협회, 참여대학 1~2개
핵심 KPI	탐지 정확도 70%↑   오경보율 30%↓   예측 리드타임 48~72h   시범 2개 권역↑

# K-CRP가 해결하는 5가지 핵심 복합위험

개별 현상이 아닌 동시·연쇄 작용하는 복합위험 전체를 하나의 틀에서 진단



## ① 복합 연안생태계 교란

고수온·빈산소·성층 강화·저염수 유입·부유사 확산·적조 등 복수 요인의 동시·연쇄 작용 → 생태계 건전성 변화



## ② 고수온·빈산소 복합위험

수온↑ + 성층 강화 → 저층 DO 감소 → 양식생물 폐사  
48~72h 전 예측으로 조기출하·산소공급 우선 순위 제시



## ③ 냉수대·성층 변화 심화

냉수 용승·수괴 분리로 단기간 해양환경 급격 변화  
수온·염분·해류·성층 통합 → 해양환경 급변 대응 지원



## ④ 염분 변화·저염수 유입

강우·하천 유입·담수 방류 → 염분 변화 → 생물 스트레스  
취약 해역 사전 모니터링·관리기준 보완 지원



## ⑤ 부유사·탁도 확산

준설·매립·해상공사·파랑 변화 → 탁도 확산  
공사시간 조정·오탁방지막 운영·민원 예방 지원

# 기존 체계와의 차별성

측정 대상·개념 층위·기술·데이터 모두 상이 — 보완 관계

## CDAS

연안재해 취약성 평가체계

**핵심개념** 재해취약성 평가

**성격** 정적 평가체계

**대상위험** 태풍·해일·파랑·침식 등 물리적 재해

**갱신주기** 연 1회 이하 정적 갱신

**AI 활용** 없음 또는 제한적

**활용목적** 취약지역 파악 및 계획 수립 지원

## K-CRP

복합 연안환경위험 운영 플랫폼 (본 사업)

**핵심개념** 복합 연안환경위험 조기대응·정책지원

**성격** 실시간 진단·단기예측 기반 운영형

**대상위험** 고수온·빈산소·냉수대·성층·염분·부유사 등

**갱신주기** 실시간·배치 혼합 상시 운영

**AI 활용** Geo-Physical AI 기반 진단·예측 + XAI 설명

**활용목적** 정책의사결정 지원 및 현장 조기대응

## 적조대응체계 (수과원)

적조 예찰·예보·방제 대응

**핵심개념** 적조 예찰·예보·방제 대응

**성격** 특정 위험 대응 중심의 실행형

**대상위험** 적조 중심, 수산피해 최소화

**갱신주기** 예찰·예보·속보 중심 수시 갱신

**AI 활용** 적조 생물 자동 식별 등 특정 업무 중심

**활용목적** 적조 피해예방 및 현장 대응

# 국외 유사 시스템 비교

국내 최초 수준의 통합 복합위험 운영 플랫폼

기관/국가	시스템명	주요 기능	K-CRP와 차이
EU Copernicus (유럽)	CMEMS	전 지구·유럽 해역 실시간 해양환경 모니터링·예측 / Nowcast~5일 예보	광역 스케일 중심 복합 지수화·행정 경보 연계 없음
NOAA (미국)	HAB Forecasting	위성 기반 유해조류 모니터링 Chlorophyll-a 분포 제공	탐지·현황 제공 중심 빈산소·고수온 복합 지수화 없음
일본 JMA·수산청	적조·고수온 관측	연안 수온 실시간 관측 적조 발생 긴급 통보	단일 지표 경보 통합 플랫폼 아님
HABNet (UK)	ML 탐지·예측	위성 기반 HAB 탐지 CNN·LSTM 앙상블 91%	연구 단계 빈산소·고수온 복합화·행정 연계 없음
<b>K-CRP (한국, 제안)</b>	K-Coastal Risk Platform	SST·DO·Chl-a·염분·탁도 복합 지수 실시간 진단 + XAI + 48~72h 예측·API	국내 최초 통합 운영 플랫폼 행정 경보 직결·복합위험+XAI+API 결합

# 핵심 기술 구조: 2단 아키텍처

Geo-Physical AI → 복합위험 진단·예측 + XAI → 원인 설명·정책 지원

## ① Geo-Physical AI (GPA)

복합위험 진단·예측 엔진

- ▶ 위성·현장관측·수치모델 자료 통합
- ▶ 해양환경 물리기작 명시적 반영
- ▶ 6개 축 핵심 변수 상호작용 분석
- ▶ 48~72시간 단기예측 리드타임 확보
- ▶ 학습 데이터 부족 상황에도 물리적 타당성



## ② XAI (설명형 AI)

원인 설명·정책 지원 레이어

- ▶ SHAP 기여도 분석 — 변수별 기여 시각화
- ▶ 역할별 자연어 리포트 자동 생성
- ▶ 정책담당자·지자체·어업인 맞춤 정보
- ▶ 경보 판단 근거 자동 기록·관리
- ▶ 행정 책임 근거 제공 (감사 대응)

물리적 타당성(GPA) + 설명 가능성(XAI) = 기술적 완결성 + 정책·현장 활용성

# GPA 기반 복합위험 진단·예측 알고리즘

6개 축 핵심 환경변수 통합 → 비선형 상호작용 + 시계열 누적 패턴으로 위험 정량화

## 축 01 생물학적

주요 변수: 적조밀도, 유해생물 종류·분포

데이터 연계: 수과원 적조 예보 출력 → LO 입력 연계

## 축 02 물리적

주요 변수: 수온·염분·탁도·파고

데이터 연계: 현장 IoT + 수치모델 + GPA Earth FM 파인튜닝

## 축 03 화학적

주요 변수: DO·pH·TN·TP·COD

데이터 연계: 수질자동측정망 + 수과원 관측망

## 축 04 해양환경

주요 변수: 해류·성층·조류·용승·침강

데이터 연계: ROMS/HYCOM + GPA PINN 공백 보완

## 축 05 기상

주요 변수: 폭염·태풍·강수·바람

데이터 연계: 기상청 + GPA Earth FM (72h 예보)

## 축 06 운영

주요 변수: 양식밀도·가두리 위치·사료 투여

데이터 연계: 양식장 IoT·운영 DB (수과원 미취급)

# XAI 기반 설명형 위험정보 생성

SHAP 기여도 분석 → 역할별 자연어 리포트 자동 생성 → 경보 기록·관리

## ① SHAP 기여도 분석

- ▶ 복합위험 등급 산출 주요 원인 정량화
- ▶ 변수별 SHAP 값 시각화
- ▶ 위험 발생 원인 우선순위 설명
- ▶ 지역별·시기별 기여 패턴 비교

## ② 역할별 자연어 리포트

- ▶ 정책담당자: 위험 원인 요약·대응 우선순위·행정 판단 근거
- ▶ 지자체 실무자: 해역별 위험 수준·조치 권고·타임라인
- ▶ 어업인: 양식장별 위험 알림·조기출하·방류 등 행동 지침

## ③ 경보 판단 근거 기록관리

- ▶ 경보 발령 시점 GPA·XAI 기여도 자동 저장
- ▶ 경보 이력 vs 실제 피해 결과 비교 분석
- ▶ 행정 보고서 연동·감사 대응 기록 체계
- ▶ 행정 책임 근거 제공

※XAI 리포트 자동화 기능은 3년차 핵심 산출물이며 중간평가 현장 활용성 기준의 핵심 근거로 활용

# 실시간 데이터 파이프라인 및 운영 플랫폼

위성·현장관측·수치모델 → GPA 분석엔진 → WebGIS + REST API + 모바일 Push

## 데이터 소스



### 위성 원격탐사

GOCI-II (1h주기) / Sentinel-1 SAR / Sentinel-3



### 현장 관측망

KHOA 해양관측망 / MEIS 연안환경측정망 / 조위·기상



### 수치모델

ROMS / HYCOM (6h 간격, 무상 공개) / 기상·파랑 예측



## GPA 분석 엔진

- 실시간·배치 혼합형 복합위험 탐지
- 격자 단위 + 행정구역 단위 이중 집계
- NetCDF → PostGIS ETL 자동화
- 10종+ 위성·관측 통합 DB
- 복합위험 지수(CRI) 산출
- XAI 기여도 분석 레이어
- 대응조치 위험저감 시뮬레이션



## 서비스 출력



### WebGIS 위험지도

MapLibre GL / 시계열 대시보드



### REST API 연계

행정시스템 연계 / 경보 판단 자료 자동 제공



### 모바일 Push 알림

Firebase FCM / APNs / 위험등급 Push

# 단계별 추진 로드맵

1단계 1차(1~3년) → 1단계 2차(4~5년) → 2단계(6~8년)

## 1단계 1차 (1~3년차)

방법론·시스템 프로토타입(v1.0) 개발

주요 산출물

- 통합 DB 10종↑ 구축
- CRI 지표 10개↑ 확정
- 복합위험 모듈 4개 완성
- 백테스트 탐지 60%↑
- XAI 리포트 자동화
- 플랫폼 v1.0 운영

### 핵심 KPI

- ✓ 탐지 정확도 70%↑
- ✓ 시범 2개 권역 실증
- ✓ 플랫폼 v1.0 운영

## 1단계 2차 (4~5년차)

플랫폼 v2.0 개발 및 시스템 운영

주요 산출물

- 플랫폼 v2.0 고도화
- 동해권 2개 권역 확대
- 운영 프로토콜 확정
- 정책연계 기반 준비

### 핵심 KPI

- ✓ 탐지 70%↑·오경보 30%↓
- ✓ 시범 4개 권역 실증
- ✓ 운영 프로토콜 1식

## 2단계 (6~8년차)

전국 확대 적용 및 제도화 추진

주요 산출물

- 전국 7개 권역 확산
- 해파리·기름확산 모듈
- 연안관리법 고시 반영
- 제도화 및 정책연계

### 핵심 KPI

- ✓ 전국 7개 권역 서비스
- ✓ 법령·고시 반영 검토
- ✓ ODA 파일럿 1개국



# 시범지역 권역 확대 전략

복합위험 유형·해양환경 특성이 다른 권역을 단계적으로 적용 → 범용성 축적

1단계 1차 (1~3년차)	<b>남해권 (통영·고성)</b> 주요 위험: 침식·냉수대·적조 복합위험	선택 근거: NIFS 인접 / 3대 위험 동시 검증 / 현장접근 최적
	<b>서해권 (태안)</b> 주요 위험: 조석차·갯벌침식·기름확산	선택 근거: 허베이 스피리트 데이터 / 서해 모델 초기 보정
1단계 2차 (4~5년차)	<b>동해권 (강릉·삼척)</b> 주요 위험: 냉수 용승·해류 급변	선택 근거: 남해 모델 재보정 후 Kuroshio 분기 해류 보정
	<b>울산만권</b> 주요 위험: 산업·항만 복합위험	선택 근거: 동해·울산 관측망 공유 / 산업단지 연계
2단계 (6~8년차)	<b>경기만·남서해·제주 외</b> 주요 위험: 조석·부유사 / 도서·리아스 / 외래종	선택 근거: 행정·조례 협력 / 제주 ODA 레퍼런스 활용







# 컨소시엄 역할 분담

전문기관 협력 기반의 연구·개발·운영·확산 통합 추진체계

<p><b>주관기관</b> KIOST · NIFS 등</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 방법론 총괄·국가관측망 연계</li> <li>▶ 적조특보 체계 연계</li> <li>▶ SCI 논문 책임</li> </ul> <p>해양환경 핵심 연구기관 법정 특보 권한 보유</p>	<p><b>플랫폼 개발</b> (주)엔지스</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 데이터 통합 파이프라인</li> <li>▶ GIS-API 플랫폼 구축·운영</li> <li>▶ WebGIS 대시보드 개발</li> </ul> <p>GIS·해양 공간 플랫폼 전문</p>	<p><b>XAI-AI 기술</b> (주)해강기술</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ XAI 기반 원인 분석</li> <li>▶ 자연어 리포트 자동 생성</li> <li>▶ SHAP 기여도 시각화</li> </ul> <p>XAI 기술 전문 자연어 생성 기능 구현</p>
<p><b>정책·확산</b> 한국연안협회</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 지자체 협력·시범지역 운영</li> <li>▶ 정책 연계·현장 확산</li> <li>▶ 전국 연안 네트워크</li> </ul> <p>전국 연안 지자체 네트워크 행정 활용 채널</p>	<p><b>수치모델링</b> 참여대학 (부산대·전남대 등)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 연안 수치모델(ROMS-HYCOM)</li> <li>▶ 알고리즘 검증·SCI 게재</li> <li>▶ 재보정 방법론 개발</li> </ul> <p>ROMS-HYCOM 운영 경험 국내 연안 연구 실적</p>	<p><b>위성·원격탐사</b> 충남대·인하대·항우연</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ GOCI-II 영상 처리</li> <li>▶ Chl-a-SST 알고리즘 개발</li> <li>▶ 위성 해양 원격탐사</li> </ul> <p>GOCI 활용 연구 실적 위성 해양 전문기관</p>

# 사용자별 활용 시나리오

피해 난 뒤 보상하는 행정 → 위험을 설명하고 먼저 움직이는 행정

 <h3>중앙정부</h3> <p>전국 연안 복합위험 현황·권역별 위험수준·대응 우선순위 대시보드 확인</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ 사전 정책조정·예산 배치·관계기관 협력 중심으로 전환</li></ul>	 <h3>지자체 담당 공무원</h3> <p>담당 해역의 복합위험 지도·XAI 원인 설명 리포트·대응 시나리오 확인</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ 경험 의존적 판단 → 데이터 기반 조기 행동 행정으로 전환</li></ul>	 <h3>어업인·양식업자</h3> <p>내 양식장 주변 복합위험 수준·위험 변화 추세·행동 참고정보 확인</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ 조기출하·산소공급 준비·시설점검·사료 공급 조정 등 사전 대응</li></ul>
 <h3>현장대응기관</h3> <p>위험지역·영향범위·조치 우선순위·대응 타이밍 확인</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ 한정된 인력·장비를 위험 우선순위에 따라 효율 배치</li></ul>	 <h3>연안공사·항만관리</h3> <p>탁도·부유사 확산 가능성·영향권·민원 예상 지역 확인</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ 공사시간 조정·방지막 운영·사전 안내로 갈등·민원 예방</li></ul>	 <h3>연구기관·민간기업</h3> <p>장기 연안환경 데이터·복합위험 사례·API 기반 연안위험 정보 활용</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ 수산물 수급·해양보험 리스크·항만·양식장 입지분석 서비스 개발</li></ul>

## 4단계 복합위험 정보 제공 체계

시범지역 운영 기준(안) – 향후 연안관리법 고시 반영 추진

**관심**

0.0 ~ 0.3

**주의**

0.3 ~ 0.6

**경계**

0.6 ~ 0.8

**심각**

0.8 ~ 1.0

위험 단계	위험 수준	의미	대응 방향
관심	0.0 ~ 0.3	환경 변화 모니터링 필요	정기 모니터링·정보 공유
주의	0.3 ~ 0.6	일부 위험 징후 도달	현장 점검·사전 통보
경계	0.6 ~ 0.8	복합위험 발생 가능성 높음	대응반 검토·행정 판단 지원
심각	0.8 ~ 1.0	즉각적 위해 우려	긴급 대응·상황 전파 강화

# 기대효과 종합

행정판단 · 현장대응 · 재정 효율화 · 정책 연계 · 기술혁신 · 제도화



## 행정 의사결정 지원

XAI 리포트로 위험 원인·기여도·영향범위·대응 우선 순위 제시 → 중앙·지자체 상황판단·정책조정·자원 배분 지원



## 현장 대응 고도화

복합위험 징후 조기 통합 판단 → 산소공급 장비 사전 배치·조기출하·공사시간 조정·방지막 운영 등 실행형 대응 지원



## 재정지출 효율화

사후복구·보상 중심 재정 부담 완화 → 위험 우선순위에 따른 장비·인력·예산 배분으로 재정 효율화



## 정책 연계 및 제도화

해양공간관리계획·자연재해저감 종합계획·기후변화 적응대책과 연계 → 전국 확산·연안관리법 고시 반영



## GPA·XAI 기반 기술혁신

복합위험 진단·단기예측·원인 설명·정책지원 기능 통합 → 물리적 타당성+설명 가능성 동시 확보



## 데이터 생태계 조성

API 기반 공공 인프라 개방 → 수산물 수급·해양보험 리스크·항만·양식장 입지분석 등 민간 서비스 연계

# 검증 및 제도화 전략

예측 신뢰성·설명 가능성·운영 적합성·행정 활용성 단계적 검증

구분	검증 내용	목표
예측 성능	주요 복합위험 이벤트 조기 탐지 정확도	70% 이상
오경보 관리	위험정보 오경보율 검증	30% 이하
예측 선행성	복합위험 단기예측 리드타임	48~72시간
현장 적용성	시범지역 행정·현장 활용성 평가	2개 권역 이상
설명 가능성	XAI 리포트 이해도·수용성 평가	정책·현장 활용 가능 수준

## 제도화 로드맵

### 1단계 1차 (1~3년)

시범지역 운영 프로토콜 개발  
관심·주의·경계·심각 4단계 기준 검증

### 1단계 2차 (4~5년)

부처 협의 병행 착수  
해양공간관리계획 연계 가능성 검토

### 2단계 (6~8년)

연안관리법·수산업법 고시 반영 목표  
전국 확산 및 표준화 기반 확립

# 모듈형 플랫폼 확장 전략

공통 인프라 위에 새로운 위험 유형 모듈을 낮은 비용으로 단계적 추가

## 고수온 조기경보

1단계 1차 포함

개발 규모: 없음

기술 준비도: ◎ 즉시

SST 이미 핵심 변수 / 기상청 모델 연계

## 빈산소 탐지

1단계 2차

개발 규모: 소규모

기술 준비도: ○ DO 재활용

저층 DO 관측 보강 병행 / 동해·울산만 연계

## 냉수대 알림

1단계 2차

개발 규모: 소규모

기술 준비도: ○ SST·해류 재활용

동해안 시범 권역 연계 / 냉수 용승 패턴 재보정

## 해파리 이동 예측

2단계

개발 규모: 중규모

기술 준비도: ○ 조류모델+DB

원전·해수욕장 수요 / 한수원 협력 가능

## 기름·부유물 확산

2단계

개발 규모: 중규모

기술 준비도: ○ 궤적모델 추가

해양오염방제 의무 / 연간 50건+ 사고 대응

## 블루카본 모니터링

2단계 후반~

개발 규모: 별도과제

기술 준비도: △ 방법론 미성숙

탄소중립 연계 / 2단계 말 연구 착수 검토

# "피해가 난 뒤 보상하는 행정에서 위험을 설명하고 먼저 움직이는 행정으로"

K-Coastal Risk Platform (K-CRP)

Geo-Physical AI × XAI 기반 복합 연안환경위험 진단·단기예측·정책지원 플랫폼

## 사업기간

총 8년 (1단계 5년 + 2단계 3년)

## 1단계 규모

약 250억 원 (연 50억 × 5년)

## 핵심 KPI

탐지 70%↑ · 오경보 30%↓ · 리드타임  
48~72h

## 컨소시엄

KIOST·NIFS·(주)엔지스·(주)해강기술·연안협  
회 외