



# 해양 재해 · 재난 대응에 기여하는 해양과학기술 해양 재해 대응하는 ‘운용해양예보시스템’과 해저로봇 ‘크랩스터 CR200’

2014년 4월 16일 인천에서 제주를 운항하던 세월호가 전라남도 진주 앞 바다 맹골수도에서 침몰하여, 300명이 넘는 사망 또는 실종자가 발생하는 비극적인 사고가 발생하였다. 세월호 침몰사고에서 나타난 바와 같이 사고 해역 주변의 해양환경에 대한 관측자료가 없는 상황에서 초기 대응 전략의 수립이나 수색 구조에 필요한 정보를 신속히 제공하는 시스템의 필요성이 매우 중요함을 알 수 있다.



글\_전기천  
한국해양과학기술원  
책임연구원  
kcjun@kiost.ac

글쓰이는 서울대학교 기상학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위, 박사과정을 수료했으며 운영해양시스템 연구에 참여했다.

## 해양 환경 변동 및 예측정보 시스템 ‘운영해양예보시스템(KOOS)’

운영해양예보시스템(KOOS, Korea Operational Oceanographic System)은 해양에서의 다양한 변화 요소, 즉 파도, 조석, 조류, 해류, 수온, 염분 등의 여러 해양환경 변동에 대한 현재 상황 및 미래의 예측정보를 생산하는 시스템을 말한다.



글\_전봉환  
한국해양과학기술원 부설  
선박해양플랜트연구소 책임연구원  
bhjeon@kriso.re.kr

글쓰이는 부경대학교 기계공학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 충남대학교에서 박사학위를 받았다. 다양한 무인잠수정 개발에 참여했으며 현재 ‘다관절 복합이동 해저로봇 개발’ 과제 연구책임자로 해저로봇 크랩스터를 개발하고 있다.

2007년 12월 ‘허베이스피리트(Hebei Spirit)’호의 유류유출로 인한 오염 사고로 발생한 서해안의 환경 대재앙 사건 이후, 우리 연안과 해양에서 오염 물질과 적조의 확산·이동 양상을 예측하고 해난사고 시 수색 구조에 필요한 정보를 제공해 연안재해에 대응하며, 연근해 어로작업, 안전항해, 군작전, 연안·항만공사, 해양레저 등 다양한 해양활동을 지원하기 위한 해양예보시스템을 구축하고 운영하는 기술을 개발하는 것이 시급하다는 인식을 하게 됐다. 이에 해양수산부에서는 해양예보시스템을 구축하기 위한 단계별 실천계획을 수립하고, 2009년 8월에 한국해양과학기술원(KIOST)에서는 운영해양예보시스템인 KOOS의 연구개발에 착수해 2013년 7월까지 1단계 연

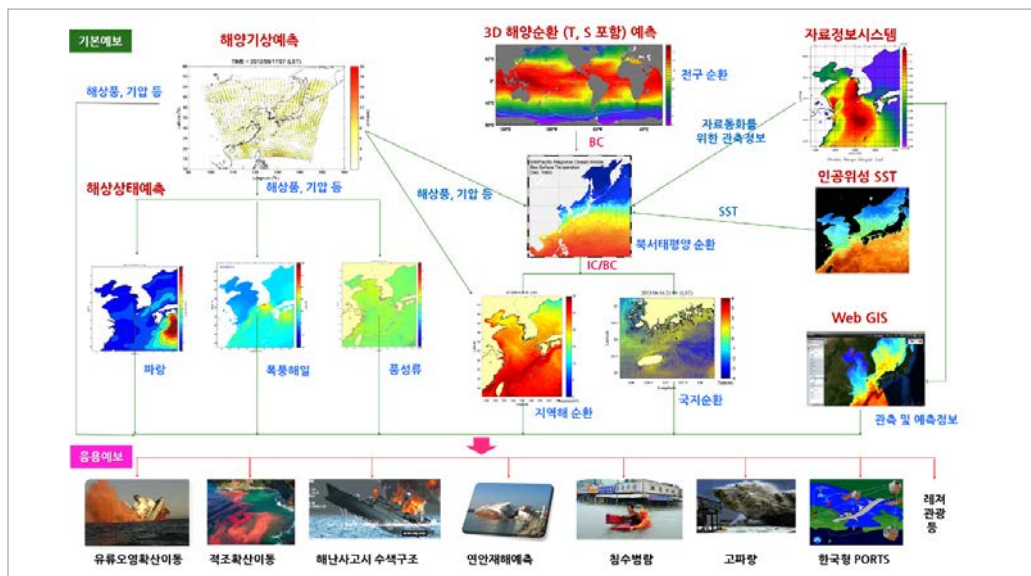
구를 수행했다.

1단계 연구를 통해서 우리 해역에서 처음으로 실시간 해양관측(인공위성 원격탐사포함)과 수치모델링 기술을 결합하여 기상외력에서부터 활용예보에 이르기까지 체계적으로 연계된 운용해양예보시스템(KOOS)을 개발·구축해 현재 시범운영단계에 있다. 운용해양예보시스템(KOOS)은 아직 시범운영단계지만 그간 천안함 사고를 비롯한 재난발생시에 수색구조 및 오염물질확산 예측정보를 제공해왔으며, 금번 세월호 사고시에도 사고해역의 조류, 파고, 수온 등의 해황정보뿐만 아니라 실종자의 수색구조 영역을 예측하는 데에 많은 도움을 주고 있다.

### 해양수치모델과 연계한 해양예측정보로 해양환경 예측

운용해양예보시스템은 인공위성 원격탐사 자료를 포함해 현장에서의 각종 플랫폼으로부터 실시간으로 얻은 해양관측자료를 각종 해양수치모델과 연계·결합하여 생산되는 해양예측정보를 바탕으로 수색구조, 유류유출, 적조 등을 예측하는 시스템이다. 운용해양예보시스템은 해양모델의 입력자료 산출에 필요한 해양기상예측시스템을 비롯하여 해양순환, 파랑 및 폭풍해일, 조석 및 조류, 풍성류 등 각종 해양예측시스템과 주요 항만 및 연안국지에서 300m의 해상도로 해양정보를 산출하는 항만해역통합예측정보시스템, 수색구조 및 유류유출 확산 예측시스템 등을 포함하고 있다.

해양기상예측모델로는 WRF(Weather Research and Forecasting)를 사용해 한반도 연안과 인근해역을 대상으로 각종 해양예측모델에 필요한 해상풍, 해면기압 분포 등의 기상정보를 산출하고 있으며, 해양순환모델인 ROMS(Regional Ocean Modeling System)와 MOM(Modular Ocean Model)을 이용해 황해·동중국해 및 동해의 지역해양에 대한 3차원 해수순환 예측시스템도 만들었다. 이 시스템으로부터 해류, 수온, 염분 등의 변동 상황과 예측정보



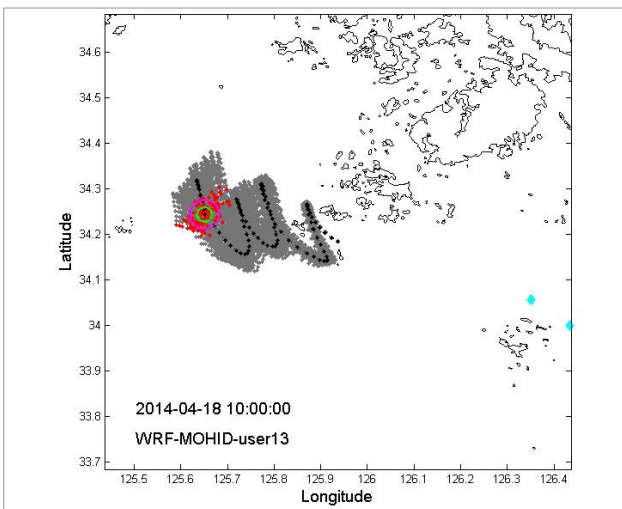
▶▶ 1. 운용해양예보시스템(KOOS)의 주요 구성요소. 해상상태, 해양기상, 3차원 해양순환에 대한 예측(기본예보)은 물론이고 유류오염 확산, 레저관광 등에 대한 응용 예보가 가능하다.

를 생산해 연안 국지 모델의 외해 경계에 대한 입력정보로 사용하고 있다. 그리고 우리나라 주변해양 및 연안에서의 파랑과 폭풍해일 예측시스템을 구축했고, 이들로부터 태풍 내습 시 고파랑 및 해일 예측, 연안지역의 침수범람 등과 같이 연안 재해를 방지하고 피해를 줄이기 위한 정보, 해안 침식이나 해수욕장에서의 이안류를 예측하기 위한 해양환경정보를 제공할 수 있다.

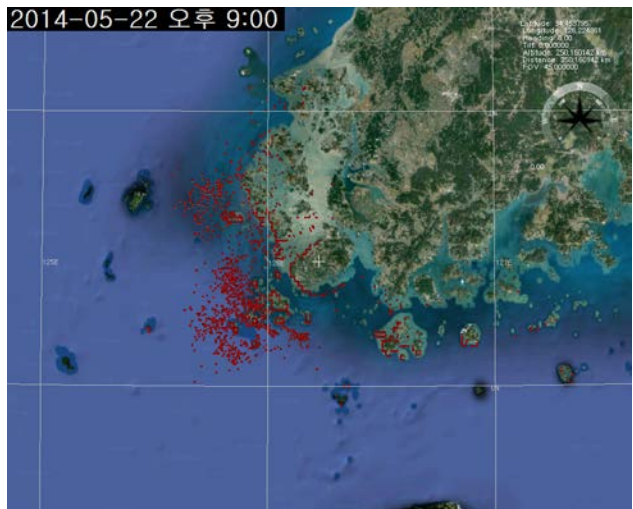
또한 연안에서 고해상도로 조석, 조류, 풍성류를 예측하는 시스템을 MOHID(MODELO HIDrodinamico)모델을 기반으로 구축했다. 이러한 예측시스템을 통해 기본적인 해양환경 요소의 현황 및 72시간 예측정보를 1일 2회 자동으로 생산하는 시스템을 구축했으며, 이를 활용해 유류오염 이동확산 예측시스템, 수색구조 시스템, 항만해역통합예측정보시스템 등의 예보 시스템을 마련해 시범 운용하고 있다. 예를 들어 주요 항만에서 항해안전을 지원하기 위한 항만해역통합예측정보시스템인 I-MAPS(Integrated-MARitime Prediction System)을 수립해 주요 6개 항만 해역에서 시범 운영하고 있으며, 특히 수색구조 및 유류오염 이동확산 예측시스템은 PC에서도 가동할 수 있도록 간단한 표출시스템을 구축하여 해양경찰청에서도 시범적으로 운용할 수 있도록 하였다.

### 세월호 구조 환경 예측 정보 제공

한국해양과학기술원에서는 지난 4월 16일 세월호 침몰사고가 발생한 직후인 11시 45분에 운용해양예보시스템에서 생산된 정보를 바탕으로 1차보고서를 작성하여 해양경찰청에 제공하였다. 초기에는 인터넷 매체를 통해 사고에 대한 정보를 취득했으며, 모델수행에 필요한 정확한 사고 위치는 10시 45분경에 해양경찰청에서 제공받을 수 있었다. 많은 승객들이 구명조끼를 착용한 채 바다에 뛰어내렸다는 보도자료에 의거해 수색구조모델의 수행조건을 설정하였다. 즉, 표류자들이 해수면 위로 떠있는 상태로 해류, 조류의 영향뿐만 아니라 바람의 영향을 상당히 받은 것으로 가정하였다.



▶▶ 2. 1차보고서에 수록된 사고발생 48시간 후(4월 18일 10시)의 표류위치 예측도(빨간 점은 최종 위치이며 회색 점은 이전 시간의 위치를 나타냄)



▶▶ 3. 유류 오염 확산범위 예측도

여기서 사용된 해류 및 조류의 자료는 MOHID모델에서 산출됐으며, 바람자료는 WRF모델에 의해 산출된 자료를 사용하였고, 사고발생시각으로부터 최대 48시간 후까지 표류위치를 예측하였다. 예측된 자료는 지도 상에 그림으로 표출하고 30분 간격으로 위경도 좌표와 확률반경을 제시하였다. 또한 유류유출에 대한 정보는 연료탱크에 남아있는 200kl의 유류가 40시간 동안 유출되는 것으로 가정하여 60시간 후까지의 확산범위를 예측하였다.

1차보고서에서 표류위치가 바람의 영향을 많이 받는 것으로 나타났기 때문에, 바람자료의 정밀도를 20km 해상도에서 4km의 해상도로 향상된 자료를 사용하여 표류위치를 재산정해 16일 오후 6시에 2차 보고서를 발표하였다. 17일 10시에 발표한 3차보고서부터는 사고 지역에서의 원활한 구조 활동과 대형 크레인을 이용한 인양 작업에 참고할 수 있도록 사고 해역의 기상(바람), 해상상태(파랑, 유속, 조위) 예측 정보를 제공하기 시작했으며, 2km의 해상도로 산출했던 조류와 파랑자료를 300m의 해상도로 산출하기 시작하였다. 특히 조류자료는 잠수사들이 0.5m/sec 이하의 정조시에 맞추어 작업수행계획을 수립하는 데 많은 도움을 주었다. 이후 19일까지는 최소 12시간마다 9차보고서까지 발표했으며, 20일 이후부터는 매일 한 번씩 보고서를 발표하고 있다.

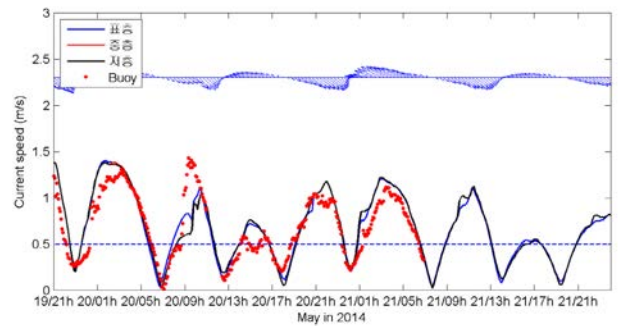
### 세월호 선체인양시 필요한 정보 제공

조류모델의 신뢰성을 확보하기 위해 해양조사원에서는 사고해역에 해류관측기기를 설치하였다. 일반적으로 조위보다 조류의 예측이 어려움에도 불구하고 운용해양예측시스템에서 산출한 조류의 예측은 관측자료와 상당히 일치하고 있어서 표류위치의 예측이 상당한 신빙성을 갖고 있음을 확인하였다. 그러나 표류위치의 예측범위가 나날이 넓어짐에 따라 4월 29일 이후부터는 수색을 효과적으로 수행하기 위한 수색영역을 표출하기 시작하였다. 즉, 실종자가 선박에서 이탈되는 날짜에 따라 표류되는 범위가 다르게 나타나므로, 이를 반영한 수색영역을 나타내었다.

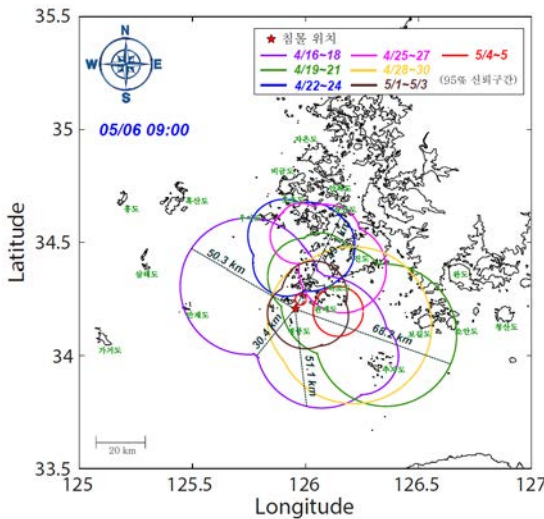
운용해양예측시스템은 세월호 사고 초기에는 구난을 위한 표류위치 예측에 초점을 맞추었으며, 그 이후에는 선박 내의 실종자 수색을 위한 잠수사의 활동을 지원하는데 필요한 사고지점의 조류, 파랑, 수온 등 해양환경예측에 초점을 맞추었다. 또한 기름 유출에 대응하여 유류오염 확산범위를 예측하고 실종자의 유실에 대비한 수색영역 설정 등 구난 상황의 변화에 대응하여 즉각적으로 필요한 정보를 제공해왔다. 또한, 향후 선체인양이 실시되면 인양시 필요한 자료를 지속적으로 제공할 예정이다.

### 슈퍼컴으로 해양예측정보 생산 시스템 구축해야

이와 같이 세월호와 같은 국가적인 재난상황에 필요한 정보를 즉각적으로 생산할 수 있는 것은 기상 및 해양 요소의 예측 모델을 종합적이고 체계적으로 구축하여 현업에 운영하는 것을 목표로 하고 있는 운용해양예보시스템의 1단계 구축이 성공적으로 수행되었기 때문이다.



▶ 4. 사고지점의 예측 유속(실선)과 관측자료(빨간 점)의 비교. 점선은 작업가능 유속. 화살표는 유행을 나타냄.



▶ 5. 선박에서 이탈되는 날짜에 따른 실종자 표류범위

본 연구사업은 2단계 연구가 2013년 10월부터 6년간 수행될 예정이다. 1단계에서 개발·수립된 시스템을 국가 해양관련기관에서 실제 현업에 활용할 수 있도록 예보정확도를 향상시키며 시스템을 고도화하는 한편, 이와 관련된 예측기술을 현업기관으로 이전하고, 1단계에서 다루지 못했던 적조의 이동확산을 예측하기 위한 시스템을 개발하며 현업에서 운용하는 것을 목표로 하고 있다.

재해·재난 사고가 발생할 때 신속하게 정확도 높은 해양환경 정보와 예측정보를 제공하기 위해서는 현장에서의 실시간 해양관측과 수치예측모델, 원격탐사 등 각 기술을 상호 연계·결합하고 체계적인 해양예측정보를 슈퍼컴으로 신속하게 생산할 수 있는 시스템이 요구된다. 따라서 여러 해양관련기관에서 수행하는 관측을 체계적으로 운용할 수 있도록 개선하고 신속한 모델수행을 위한 슈퍼컴 도입에 많은 투자가 이루어지기를 기대한다.

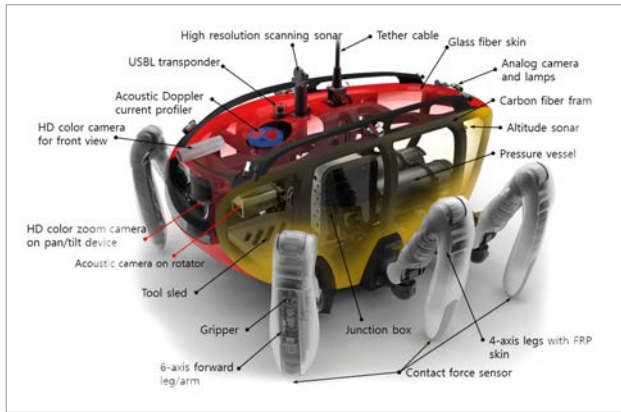
### 바다 대부분 잠수사들이 접근 못해

이번 세월호 사고에서 다시 한 번 드러났지만, 선박이 침몰할 경우 초동 구조와 탐색의 중요성은 아무리 강조해도 지나침이 없고, 이 일을 하는데 아직 잠수사를 능가하는 장비는 없다. 가장 빨리 현장에 투입될 수 있으며 시각, 촉각, 청각으로 복잡한 선체 내부를 탐색할 수 있고, 장애물을 헤치고 목표물을 찾아 올 수 있다. 예측하지 못했던 돌발적 상황에 합리적 판단으로 즉각 대응할 수 있고, 필요할 때마다 적절한 도구를 활용해 작업한다.

그러나 잠수사들의 안전 또한 보장돼야 하고, 아직은 잠수사들이 접근할 수 없는 곳이 전체 바다의 대부분을 차지한다는데 문제가 있다. 스쿠버 장비를 이용할 경우 무감압 잠수 한계 수심은 40m이고, 무감압 잠수 체류시간은 5분 이내이다. 또한 10℃ 이하의 수온이나 1노트 이상의 유속에서는 잠수를 피하도록 하고 있다. 해수표면 위에서 생명줄을 통해 공기를 공급 받는 표면공급잠수의 경우 60m까지 잠수가 가능하고, 산소와 헬륨 혼합기체를 사용할 경우, 60~100m 수심까지 잠수한다. 그러나 잠수사들은 질소마취, 기체색전증, 감압병, 저체온증 등 잠수병의 위험에 항상 노출돼 있다. 특히 우리나라의 서해안과 남해안은 세계에서 보기 드물게 조속이 빠르고 물이 혼탁하며 수온차가 커서 잠수사들에겐 늘 위험하다.

### 해저 수색에 최적화된 해저로봇 ‘크랩스터 CR200’

그래서 개발된 것이 바로 게(Crab)와 가재(Lobster)의 영문을 혼합해서 이름 붙여진 수중로봇 ‘크랩스터(Crabster) CR200’이다. 해양수산부의 지원으로 2010년부터 개발중인 크랩스터는 200m 해저까지 내려갈 수 있으며 수온에 관계없이 하루 24시간 체류할 수 있다. 특히, 기존의 수중로봇과는 달리 여섯 개의 다리로 해저에서 보행 이동함으로써 조류환경에 강한 한편, 계측장비들에게는 안정한 위치와 자세를 제공한다. 고해상도 스캐닝소나를 이용하여 혼탁한 해저에서 150m 반경 이내의 물체도 탐지할 수 있고, 초음파 카메라를 이용하여 전방 15m 이



▶▶ 6. 크랩스터 CR200에 장착된 장비: 조류 극복에 유리하도록 유선형 몸체와 여섯 개의 다리로 음성부력의 몸체를 지지하며 걸어서 이동한다. 혼탁한 시계를 극복하기 위해 초음파카메라와 스캐닝소나 등의 음향 장비를 탑재하고 있다.



▶▶ 7. 세월호 선체의 수중 촬영을 마치고 인양되는 크랩스터 CR200: 4월 23일 20시30분부터 약 2시간 30분 동안 세월호 북서쪽 100~70m 지점에서 침몰한 세월호의 선체를 스캐닝소나를 이용해 촬영했다.

내의 동영상 촬영도 가능하다. 또한 총 10대의 광학카메라로 주변을 촬영하고 수심·온도·전도도·수층별 유속 등의 데이터를 실시간 수집 제공한다.

여섯 개의 다리 중 앞의 두 다리는 7관절로 이루어져 로봇팔 기능을 겸하고 있어 필요시 안쪽에 접혀 있던 로봇팔을 펼쳐 샘플 채취 작업도 한다. 길이는 2.45m, 폭 2.43m, 높이 1.3m 이고 공기 중 중량이 약 650kg이며 수중에서는 150kg 정도지만 장착되는 장비에 따라 가변적이다. 선상의 원격제어실과 진수인양장치, 그리고 해저로봇 크랩스터가 하나의 시스템으로 운용된다.

### 기대에 못미친 인명구조 지원

크랩스터는 아직 선내로 진입하여 인명을 직접 구조해 낼 정도로 지능적이지 못하고, 철판을 뚫고 선내 진입 통로를 개척할 수 있을 정도로 강력한 힘은 없다. 하지만, 조류가 있는 혼탁한 해저의 탐색과 수색에는 최적화 되어있다. 이번 세월호 탐사에 처음으로 투입되어 스캐닝 소나로 세월호의 선체를 촬영하고 주변 해저에서 발견된 물체들을 초음파카메라로 식별해 내기도 했지만, 이런 크랩스터의 장점이 잠수사의 인명구조 활동 지원에는 충분히 활용되지 못해 큰 아쉬움이 남는다.

사람이든 로봇이든 대자연의 힘을 이길 수는 없다. 3m가 넘는 파도와 8노트가 넘는 조류에 대형 바지선의 닻줄이 끊어지는 환경을 작은 로봇이 견딜 수는 없다. 더욱이 모든 면에서 인간 잠수사를 능가하는 구난로봇은 영원히 있을 수 없다. 현재의 크랩스터 CR200은 잠수사들의 한계, 즉 수심, 수온, 조류, 시정, 체류시간의 한계를 조금 더 넓히는, 그것도 자연이 허락할 때만 가능한 작은 로봇일 뿐이다.

사고현장과 팽목항에서 크랩스터와 함께 머문 20일 동안 인명과 과학기술, 그리고 구조장비와 크랩스터에 대해 깊이 생각했다. 가슴 아픈 이 사고의 소중한 경험과 교훈으로 과학기술은 인명구조에 한 걸음 더 다가가야 한다. 잠수사들을 대신해서 침몰선체의 철판을 뚫고, 문짝을 뜯어 낼 정도로 강력한 중작업용 크랩스터가 필요할 것이란 예전의 생각은 확신으로 굳어져만 간다. (ST)