

Review

한반도 주변 해역 운용해양시스템 구축 방향

이동영^{1*} · 박광순¹ · Jun Shi²

¹한국해양연구원 기후·연안방재연구부
(426-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29

²덴마크 기상연구소
Lyngbyvej 100, DK-2100 Copenhagen E, Denmark

Establishment of an Operational Oceanographic System for
Regional Seas around Korea

Dong-Young Lee^{1*}, Kwang-Soon Park¹, and Jun Shi²

¹*Climate Change & Coastal Disaster Prevention Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea*

²*Danish Meteorological Institute
Lyngbyvej 100, DK-2100 Copenhagen E, Denmark*

Abstract : An operational oceanographic system needs to be established for the preservation and management of marine environments and resources, and also to secure the safety and efficiency of marine operations in Korea. One of the major roles of operational oceanography is to deliver ocean science products which can meet the requirements of users such as marine industries, the general public, government agencies, and scientific research communities. Technical issues in relation to development of an effective operational oceanographic system in Korea are identified and discussed. Among others, cooperation among the agencies in ocean, meteorology, hydrology and environment, and also among those of neighboring countries is important for the development of an effective operational oceanographic system. The strategy for building a system that meets the demands of users, with consideration to potential problems, are explored.

Key words : operational oceanography, ocean prediction, users demand, Ocean Science R&D

1. 서 론

최근 해양분야에 대한 연구개발도 기상분야와 마찬가지로 실시간 해양관측, 기초 해양현상 연구 및 예측기술 연구가 현업 예측업무로 연결되어 해양관련 여러 현안 문제에 직접 활용되는 운용해양시스템(Operational Oceanographic System)의 실현으로 진전되고 있다. 우리나라에서도 해양

및 연안개발, 각종 재해저감 및 방지, 해상에서 안전항해와 경제활동의 지원, 해양환경 및 해양자원의 보전과 관리 등에 활용되며, 국가의 해양 관련업무 수행 지원, 해양산업 지원, 일반 국민 지원 체제로 확장될 수 있는 운용해양시스템의 개발·구축이 요구되고 있다.

세계 각국에서는 해양오염으로부터 해양환경의 보전, 해양생태계의 보전과 해양과 연안에서 자연재해 저감 및 인간의 활동 지원이 각국의 연안 및 인근해에서 주요 관심사항이 되고 있다. 해양분야도 미국, 유럽 등 선진국에서는

*Corresponding author. E-mail : dylee@kordi.re.kr

현장관측과 해양예측모델, 원격탐사 등 각 기술이 상호 연계되어 최대의 정보를 생산하는 방향으로 미래의 해양과학기술이 발달되고 있다. 전지구관측시스템(GEOSS: Global Earth Observing System of Systems)의 해양모듈인 전지구 해양관측시스템(GOOS: Global Ocean Observing System)은 IOC, WMO, UNEP 및 ICSU의 협력으로 1991년부터 추진되고 있다. 해양예측을 위한 운용해양시스템은 더 세분되고 뚜렷이 경계되어 구분되는 지역해양에 대해 구축되어, 현재 GOOS의 지역프로그램으로 EuroGOOS, MedGOOS, Black sea GOOS, GOOS-AFRICA, NEAR-GOOS, Pacific Islands GOOS, IOGOOS, IOCARIBEGOOS, SEAGOOS 등이 추진되고 있다(Wood et al. 1996; Dahlin et al. 2005; Lee and Taira 1997). 미국의 경우 미국에서의 운용해양시스템 구축을 위한 통합해양관측시스템(IOOS: Integrated Ocean Observing System)이 2001년부터 추진되고 있다(Ocean.US 2002; Ocean.US 2006a, 2006b). 미국에서의 운용해양시스템의 예로 NOS(National Ocean Service)에서 미국의 주요 항만에서 선박의 안전항해 및 해양수송의 효율성을 제고하기 위해 해수면, 조류, 염분, 기상(풍향, 풍속, 대기압, 수온)을 실시간으로 관측하고 이와 함께 예측 정보를 제공하는 실시간물리해양정보시스템(PORTS[®])을 구축하여 운영중에 있다(NOAA 1999, 2004, 2008).

우리나라의 경우 국토해양부(이전의 해양수산부)에서 우리나라의 체계적인 국가해양관측망 구축을 위해 실시간 해양관측시스템 구축 기본계획(해양수산부 2001)을 마련하여 계속기에 의해 현장에서 무인 작동·지속적으로 실시간 또는 준 실시간으로 해양환경을 관측하는 실시간해양관측시스템을 단계적으로 구축 중에 있다(해양수산부 2002, 2006). 체계적인 해양관측망과 연계한 해양환경현황 및 예측정보를 생산, 제공할 수 있는 “운용해양시스템”의 구축을 위한 기본계획을 수립하여(해양수산부 2007), 운용해양시스템 구축을 위한 연구개발 사업이 2009년부터 시작되었다.

본고에서는 운용해양시스템 기초를 소개하고 그 필요성과 구성 요소, 생산정보의 내용과 운용해양시스템이 해양정보의 사용자와 해양과학 연구개발의 역할을 고찰함으로써 해양과학에서의 중요성을 살펴보고자 한다. 또한 우리나라에서의 운용해양시스템 구축의 효율적인 추진을 위해 사용자의 요구 수렴, 각 요소 기술의 체계적 연계, 해양정보산업의 육성 및 국내 기관 및 외국 기관과의 협력 등 그 활성화 방안을 기술하였다.

2. 운용해양시스템 개요

운용해양시스템의 정의

운용해양시스템이란 해양관련 국가기관, 산업체, 민간

이 각종 해양활동에 필요로 하는 해양환경 변화 현황과 예측정보를 생산·제공하는 시스템을 말하며, 운용해양시스템은 체계적인 관측시스템을 통해 장기간에 걸쳐 연속적으로 운영되는 실시간 해양관측, 자료통신 및 관리, 수치모델링 및 정보 전달의 통합된 시스템을 의미한다(해양수산부 2007).

운용해양시스템의 필요성

최근 우리나라의 사회·경제의 급속한 발달로 다양한 해양정보의 필요성이 증대되고 있다. 대규모 해양개발 사업의 지원이 요구되고 있고, 활발한 해상교통에 따른 선박의 안전항해 지원 및 해난 사고시 유류오염 확산 예측, 수색·구조 지원이 필요하다. 또한 임해공단, 각종 연안시설의 공사·운영, 모래, 석유등 광물자원의 개발, 양식 등 산업 활동 확대와 연안거주, 위락활동 등의 확대에 따른 연안활동 지원 및 연안재해 방지 지원의 필요성이 제기되고 있으며, 연안 환경오염 증대에 대한 대책 그리고 적조대책 등이 요구되고 있다.

기상분야에서는 기상현상 연구, 예측기술 연구 및 기상관측 네트워크를 활용한 현업 기상예보 업무를 통해 국가, 산업체 및 일반 국민의 각종 해양 활동 및 재해 방지 등에 대한 지원을 하고 있다. 최근의 과학기술의 발전을 최대한으로 활용하여 해양 조사 업무도 우리의 해양에서 각종 산업 활동 지원과 재해방지에 직접 활용할 수 있도록 발전시키는 것이 요구되고 있다. 사용자들이 해양관련 각종 업무를 효율적으로 수행하기 위해서는 해양환경요소(국지정밀 기상, 해상상태, 3차원 해·조류, 조석, 수온, 염분 등)의 현황 및 예측 정보를 적시에 효과적으로 생산·제공하는 운용해양시스템의 구축이 공통으로 요구되고, 이것이 정부에서 통합 해양 행정의 요구와 관련한 중요한 핵심 문제라고 볼 수 있다.

운용해양시스템은 해양관련 여러 분야에서의 사용자들 만족시키게 될 것이며, 사용자들은 운용해양시스템의 결과를 활용함으로써 직·간접적으로 이익을 얻을 수 있고, 나아가서는 운용해양시스템의 서비스로부터 잠재적인 사회·경제적인 이익을 창출할 수 있을 것이다.

운용해양시스템에서 생산·제공되는 성과물

운용해양시스템에서 생산·제공되는 중요한 성과물은 다음과 같다.

현황 정보

실시간 현장 및 원격탐사자료를 바탕으로 자료동화를 통해 사용자가 필요로 하는 모든 지점에서 현재의 해양환경 상태를 생산하여 제공한다. 느리게 변하는 요소는 현황정보의 활용으로 미래 상태의 단기 예측으로 활용할 수 있다.

예측 정보

해양환경의 현황으로부터 수치모델링을 통해 미래의 해양환경 상태를 연속적으로 예측하여 제공한다. 대부분의 사용자가 요구하는 정보로서 그 예측기간은 요소에 따라 다르며, 과학기술의 발달로 점차 길어지고 있다.

후측 정보

과거의 장기간의 자료로부터 필요한 기간의 해양환경정보를 해양모델로 생산하여 과거 특정 기간의 해양정보와 더불어 과거의 장기간 자료의 경향과 변화 특성, 통계 특성의 파악을 통해 장기간의 미래에 대한 통계적 예측정보를 생산·제공한다.

운용해양시스템의 구성

사용자가 필요로 하는 해양환경 정보를 적시에 정기적으로 생산·제공하기 위한 운용해양시스템은 실시간 현장 및 원격탐사 해양관측, 해양자료 동화 및 해양 모델링 그리고 해양 정보의 관리, 정보 전달 체제 등 복잡한 종합정보시스템으로 구성된다. 현재의 해양상태를 실시간으로 관측하고, 관측된 자료를 분석하여 예보자에게 즉시 전달하여 자료동화가 이루어지고, 이를 연계하여 해양예측모델을 이용하여 미래 해양상태의 예측정보가 생산되고, 그 결과를 최종 사용자에게 여러 매체를 통해 전달하여 활용한다. 또한 생산된 정보는 중간단계의 사용자(예를 들면 해양기상용역업)에게 제공되고, 이에 부가가치를 더하여 최종 사용자가 원하는 더욱 구체적인 해양환경 정보를 생산·제공하여 사용하게 된다. 이러한 과정은 Fig. 1에서 보여주고 있다.

운용해양시스템은 이들 구성요소들이 모두 갖추어져야 가능하다. 해양분야는 기상분야에 비해 그 발전이 느렸으나, 최근에 ARGO 등 현장해양관측기술과 인공위성을 이용한 원격해양탐사기술이 크게 발전하고 자료동화기술,

수치모델링기술 모두가 어느 정도의 수준으로 도달하게 되어 현실화되기 시작하였다. 운용해양시스템의 중요한 요소인 해양관측과 해양모델링에 대해 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

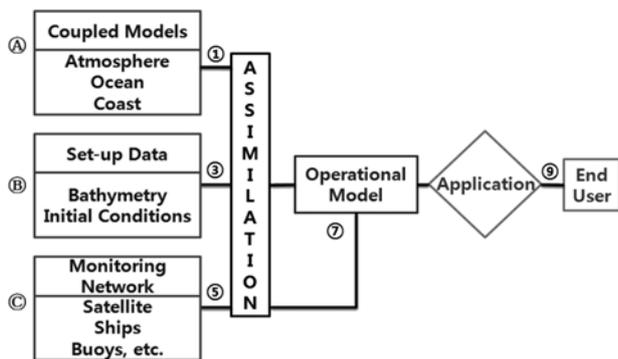
사용자가 요구하는 형식과 간격의 자료와 정보를 제공하는 정상 운영의 실시간 해양관측시스템은 연안과 외양에서 변화를 탐지하는데 요구되는 각종 해양환경 요소들을 측정하는데 필요한 플랫폼, 센서, 샘플링 장비 및 관측기술로 구성된다. 최근 전자기술의 발달과 활용으로 관측센서와 관측장비가 발달하고, 통신기술의 발달로 실시간 해양관측의 실용화가 가능하게 되었다. 근래에 와서는 현장 관측소에서의 관측과 더불어 원격해양탐사기술을 이용해 넓은 지역해양에 대한 광역의 관측이 가능하여 운용해양시스템에 크게 기여하고 있다. 3차원 해양순환과 해양환경, 생태 등 복잡한 요소들의 예측을 위해서는 실시간 해양관측시스템에 의한 자료와 원격탐사자료 등을 이용하여 자료동화기술에 의해 해양모델의 초기조건을 생산하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위해서는 지역해양 전체에 대한 자료가 요구된다.

현장관측 자료의 한계를 극복하여 사용자가 필요로 하는 임의의 지점에서 해양환경의 현황과 예측정보를 생산·제공하는 것은 해양예측모델링기술을 사용함으로써 가능하다. 컴퓨터의 발달과 해양과정의 이해 증대로 해양예측모델링기술이 실용화가 되어 해양정보의 생산기술이 최근 괄목할만한 발전을 이루고 있다. 해양모델링기술은 대상 해양 전체와 연안의 해양상태에 대한 과거의 추산, 현황 그리고 미래를 예측하는데 사용되는 중요한 도구이다.

3. 운용해양시스템의 해양과학 연구개발에의 역할

운용해양시스템은 해양과학과 사용자를 연결함으로써 최근에 와서 더욱 중요하게 되었다. 운용해양시스템은 해양과학기술의 연구개발과 해양서비스를 지속가능하게 하는 기반이 된다. Fig. 2는 운용해양시스템과 해양 연구개발(R&D), 사용자 그리고 해양연구와 운용해양시스템을 위한 투자 사이의 관계를 보여준다.

운용해양시스템을 통해 해양정보를 생산·서비스하는데 사용되는 지식과 기술은 해양과학의 연구와 기술개발로부터 이루어진다. 해양환경을 잘 예측하기 위해서는 해양관측기술, 자료전달·관리기술, 자료동화기술, 해양 및 연안에 대한 각종 과정의 이해 증진과 해양모델에서의 파라메타화 등 해양과학 연구개발(R&D)이 지속적으로 이루어져야 한다. 지속 가능한 운용해양시스템을 위해서는 자료동화를 포함한 해양모델, 해양관측 그리고 운영 플랫폼



1 Coupling; 3 Data sets; 5 Optimise Networks; 7 QA; 9 Link

Fig. 1. Components involved in a marine forecasting system (Prandle et al. 2003).

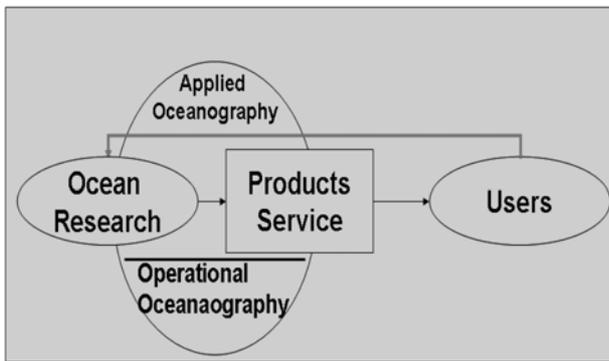


Fig. 2. Operational Oceanography - a sustainable platform for marine research and service.

품을 균형있게 조화를 이루어 발전시키는 것이 요구된다. 운용해양시스템은 사용자가 필요로 하는 정보의 생산을 목표로 하기 때문에 운용해양시스템을 통해 해양과학과 사용자가 연결된다. 한편 운용해양시스템의 발전을 위해서는 해양과학의 연구개발에 의해 이루어지는 최신 해양 연구 결과를 시기적절하게 사용자가 요구하는 해양정보의 생산·지원에 적용하는 것이 필요하다. 운용해양시스템 구축에 기반이 되는 해양의 기초 연구는 사실상 해양과학기술의 중요한 부분을 차지하고 있어 운용해양시스템은 해양과학의 연구개발에서 중요한 많은 연구과제의 수요를 창출하고 있다.

해양과학의 연구개발은 기초 연구에서부터 마지막 응용에 이르기까지 모두가 운용해양시스템을 지원하기 위해 필요한 것이다. 궁극적으로 새로운 기술과 새로운 해양의 이해에 기초한 운용해양시스템은 해양지식과 과학기술의 저장고 역할을 한다. 해양과학 연구개발에 의해 새로운 연구결과가 만들어지면, 많은 경우 그 결과는 운용해양시스템으로 이전되어 연구결과는 지속적으로 사용할 수 있게 된다. 또한 더욱 더 먼 장래에 대한 예측이 가능하도록 하여, 해양을 이용하고 관리하는데 도움을 줄 뿐만 아니라 기후변화를 예측하는데도 크게 도움이 될 것이다. 이렇게 운용해양시스템으로 이전된 새 연구 결과는 연구자가 이직하거나 연구과제가 중단되더라도 사라지지 않고 지속적으로 활용되게 된다.

해양과학의 연구개발비는 많은 부분을 정부에서 투자하고 있으나, 구체적인 목적을 위해 산업체에서 투자하는 경우도 있다. 해양의 연구개발이 운용해양시스템을 통해 사용자에게 혜택을 주게 되므로 사용자는 기꺼이 해양의 연구개발에 투자하게 된다. 따라서 운용해양시스템은 해양 연구를 지속 가능하게 하는 역할을 한다. 해양에서의 조사와 연구개발은 많은 비용이 소요되는데, 운용해양시스템이 활성화되지 않은 국가에서는 해양의 연구개발 투자가 효율성이 없기 때문에 해양연구·개발의 투자가 회의적으

로 되어 투자가 위축되거나 중단될 수 있다. 따라서 해양의 연구개발이 운용해양시스템을 통해 많은 사용자에게 혜택을 제공하는 것이 지속적인 해양의 연구개발비 확보를 위해 가장 중요한 역할을 할 것이다.

4. 효과적인 운용해양예측시스템 구축 추진 방향

운용해양시스템의 여러 요소중에서 사용자가 필요로 하는 해양환경 정보를 생산·제공하는 해양예측시스템의 구축을 중심으로 그 추진 방향에 대해 기술한다.

우리나라 사용자의 요구 수렴

운용해양시스템의 주목적은 사용자의 요구를 만족시키는 해양정보를 생산하여 제공하는 것으로 사용자는 해양 서비스를 지원하는 원동력이다. 운용해양시스템의 사용자는 중간 사용자와 최종 사용자의 두 그룹으로 분류될 수 있다. 운용해양시스템의 최종 사용자는 정부기관(자원관리, 환경보호, 비상시와 국가방위를 위한 연안역 관리에 관련된 정부 및 지방정부), 해양 산업체, 비정부기관, 일반 대중, 국제기구 및 연구기관을 포함한 다양한 사용자 그룹이 있다. 이들은 각자의 요구에 맞는 해양정보의 지원을 요구하고 있다. 중간 사용자는 운영기관으로부터 생산되는 기반 해양정보를 제공받아 이를 가공하여 최종 사용자가 요구하는 더 구체적인 정밀 정보로 변환시켜 부가가치를 더하여 최종 사용자에게 서비스한다.

최종 사용자의 요구 증대는 운용해양시스템이 활성화되는데 근본이다. 사회, 경제가 발전함에 따라 사용자의 요구가 달라지고 확대되게 되므로 여기에 맞추어 확대된 해양정보의 생산·지원이 요구된다. 사용자 위주의 해양관측 정보와 지원시스템 구축을 위해서는 해양관련 여러 정부기관, 산업체 및 일반 국민이 각자의 문제를 해결하기 위해 필요로 하는 해양정보가 무엇인지에 대한 수요 파악 그리고 여러 응용 분야에서 구체적인 해양자료와 해양정보의 요구를 정확히 파악하여야 한다.

국민의 생활과 산업활동은 육지로부터 가까운 연안에 집중되어 있어 최종 사용자는 주로 연안에서의 각종 해양환경요소에 대한 정확한 예측정보의 지원을 요구하고 있다. 연안에서의 해양환경요소는 외해보다 시·공간적 변동이 크므로 보다 정밀한 격자에서의 정보가 요구된다. 따라서 대부분의 사용자의 요구를 만족시키기 위해서는 연안 국지의 정밀격자에서 해양환경정보의 생산·제공시스템이 우선적으로 필요하다. 우리나라 주변의 지역해양과 연안에서 운용해양시스템의 효과적 구축 및 운영을 위해 사용자의 요구를 정확히 파악하여 이를 단계적으로 만족시키는 것을 목표로 전략 계획을 만들어 추진하는 것이 필요하다. 사용자의 요구가 파악되면 이를 만족시키는 자료

및 정보 생산에 공통적으로 요구되는 요소부터 먼저 파악하고, 이를 확보하는 체계부터 수립해야 할 것이다. 제한된 재원으로 사용자의 모든 요구를 다 충족시키는 데는 한계가 있기 때문에 적은 노력으로 비교적 용이하게 활용 가능한 분야부터 시작하여 투자 효용 분석을 통한 우선순위를 정해 단계적으로 구축해나가는 것이 바람직하다.

해양예측을 위한 각 요소 기술의 체계적 연계

우리나라는 그동안의 선행 연구를 통해 연안에서 발생하는 문제의 해결을 위해 필요한 여러 요소 기술들이 개별적으로는 대체로 잘 확보되어 있으나, 이들을 연계하여 적용할 수 있는 체계가 미흡하여 실제 각종 현안문제 해결에 활용되지 못하는 경우가 많다. 예를 들어 유류오염 확산 모델도 확보되어 있고, 이를 적용하기 위해 필요한 정밀격자에서의 해상풍, 조류, 풍성 해류, 파랑 등의 수치모델링기술도 확보되어 있으나, 실제 유류오염사고 발생 시에 유류오염 확산·이동 예측에 필요한 여러 요소들의 즉각적인 예측과 이들을 체계적으로 연계시켜 정확한 유류오염 확산·이동을 예측하는 시스템이 실용화가 잘 안되고 있는 것은 좋은 예이다. 우리나라에서 운용해양예측 시스템을 구축하는데 중요한 부분은 해양예측 모델의 수립과 그 운영을 위한 입력 자료의 확보, 연결이다.

해양예측모델

효과적인 연안정보의 생산을 위해서는 먼저 원해에서 발생하여 연안으로 들어오는 해양환경요소에 대한 입사정보의 현황, 예측 및 장기 통계정보가 선행되어 추산되어야 하며, 이를 이용하여 연안모델에 의해 연안국지에서의 정보를 생산하게 된다. 해양모델은 기본적인 해양요소(파랑, 조석, 조류, 해일, 풍성류, 해류, 수온, 염분 등)의 생산모델과 이들을 활용한 각종 응용 요소(유류오염, 부유사, 오염물, 표류체 등)의 이동·확산을 예측하는 모델이 있으며, 지역해양 전체를 포함하는 모델과 연안과 하구에 적용하는 모델 등 여러 종류가 있다. 앞으로 더욱 복잡해지는 해양예측모델은 그 수립과 발전에 여러 전문가들이 투입되는 사용자가 많은 공개된 모델을 바탕으로 외국 전문가들과 협력을 통해 우리나라 주변 지역해양의 특성에 맞게 발전시키는 것이 요구된다.

사용자가 집중되어 있는 연안에서 여러 활용 모델은 대개가 제한된 지역에 대해 외해 경계조건을 입력하여 운영하는 것이 많으며, 이들은 주로 용역사업 등에 사용을 위해 제작사(또는 개발사)에서 Source Code 없이 실행파일만 고가로 유료 판매하는 상용화된 것이 많다(예: DHL의 Mike시스템, Delft의 Delft 3D 등). 한편 일부 Source Code가 제공되는 모델, 예를 들면 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)와 MOHID(Hydrodynamic Module)

를 들 수 있다. 이들 연안 활용 모델들은 지역해양 모델들로부터 외해 경계조건을 받아 연결되어야 한다. 지역해양 모델로는 Structured Grid 모델로 ROMS(Regional Ocean Modeling System) 그리고 Unstructured Grid 모델로 FVCOM(Finite Volume Coastal Ocean Model) 등이 좋은 후보 모델이다.

궁극적으로는 하나의 모델로 전 지역해양과 연안 국지를 다루고 역학요소와 그 활용을 모두 다룰 수 있는 예측 시스템을 구축하여 확장해 나가는 것이 바람직하나, 이에 많은 인력과 시일이 필요하기 때문에 우선 가능한 기술로 바로 가까운 시일 내에 서비스가 가능한 시스템을 구축하면서 장기적인 목적을 향해 연구개발과 병행해 나가는 것이 바람직하다고 본다.

해양모델의 입력자료 확보 연결

1) 해양모델의 입력자료인 해양-대기간의 경계조건으로 기상입력 확보

해양역학요소의 예측을 위한 운용해양시스템 구축 및 운영을 위해서는 해양과 연안에서 각종 서비스를 위한 기초 정보로서 해양모델의 표면경계조건으로 해양-대기간 교환량의 추정이 필요하며, 이를 위해 기상예보결과가 해양모델과 바로 연결이 되어야 한다. 사용자의 요구가 많은 연안에서는 해상풍은 국지적 영향을 많이 받기 때문에 도서, 반도, 육지의 국지 영향을 고려하기 위해 정밀 격자의 지역기상모델에 의해 분석되어야 연안예측의 정확도를 높일 수 있다. 지금까지 해양분야에 많은 연구자들이 해양모델을 수립해 놓고도 해양모델의 기상입력 예측자료와 연결시키지 못해 예측체제로 발전시키지 못하고 있는 경우가 많았다. 사용자들이 집중되어 있는 연안에서의 예측지원을 위해서는 연안의 국지영향을 고려하여 해풍과 육풍의 영향까지 고려하는 정밀격자 기상모델의 수립·운용이 요구된다. 한국해양연구원에서는 그 중간 과정으로 태풍 이외의 일반적인 경우에 국내외 연구기관과 협력연구를 통해 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 또는 NCEP(National Centers for Environmental Prediction) 등 전지구 기상예보 모델의 결과를 이용하여 HIRLAM(HIGH Resolution Limited Area Model) 모델 또는 WRF(Weather Research & Forecasting Model) 모델 등의 지역기상모델을 운용함으로써 지역해양 모델의 국지 기상입력정보를 생산·제공하는 체제를 시범적으로 운영하고 있다. 태풍의 경우에는 더욱 시·공간적인 변동이 커서 미육군공병대와 OceanWeather Inc가 공동 개발한 TC96모델을 수립해 운영하고 있다(Thompson and Cardone 1996). 이들을 정상적으로 지속적으로 운영하여 지역해양모델의 국지 기상입력정보를 생산·제공하는 체제의 수립이 요구된다. 궁극적으로는 우리나라 기상

청이 연안에서 운용해양예측에 필요한 정밀격자 기상예측 결과를 생산하여 중간 단계의 사용자에게 제공함으로써 최종 사용자가 요구하는 연안정보의 생산·제공이 되도록 연결되어야 할 것이다.

2) 외해 경계조건

사용자의 요구가 집중되어 있는 연안에서 여러 최종 사용자가 요구하는 정보를 생산하기 위해서는 지역해양 전체를 포함하는 기본 해양역학 예측시스템의 구축이 동시에 이루어져 연안활용모델들과 잘 연결이 되어야 가능하다. 수년 전만 하더라도 해양의 가장 기초가 되는 3차원 해양순환의 예측이 어려워 상대적으로 쉬운 파랑, 조석, 해일, 풍성류 등과 이를 적용하는 응용에 해양서비스의 중점을 두었다. 그러나 근래에 와서 대양에서 ARGO에 의한 현장 관측자료의 확보를 통해 GODAE(Global Ocean Data Assimilation Experiment) 등 전 해양에 대한 자료동화가 가능하게 되어 지역해양 모델의 외해 경계조건 연결이 가능하게 되었는데 이와의 체계적 연결·활용체제의 구축이 필요하다.

3) 육지에서의 경계조건

인간의 활동이 많은 큰 강 유역과 인근 연안에서의 연안환경현황과 예측을 위해서는 강에서 연안으로 들어오는 유량과 각종 요소의 입력 자료가 필요하다.

4) 해양, 연안모델의 초기 조건

파랑, 조석, 조류, 폭풍해일, 풍성류 등 해상상태 관련 예측은 주로 경계조건에 의해 생산될 수 있으나, 3차원 해양순환모델과 그 응용의 해양환경, 생태예측을 위해서는 종합 해양관측에 의한 초기조건이 요구된다. 이 초기 조건의 생산이 운용해양시스템에서 가장 어려운 문제로 실시간 현장관측망의 확보와 원격해양탐사자료의 활용을 통해 자료동화기술이 확보되어야 한다.

해양 정보 산업의 육성

우리나라는 기상청이 수행하고 있는 해양 기상 지원 업무를 넘어서 종합적인 해양환경 정보의 생산·지원 체제를 갖춘 해양예측업무를 담당하는 조직의 설치를 검토하는 것이 필요하다. 정부에서 직접 수행하는 것이 어려우면 전문 기관에 위탁하는 방법도 고려할 수 있을 것이다.

정부에서 모든 사용자가 요구하는 정밀한 해양정보를 생산·제공하는 것은 현실적이지 않다. 따라서 점진적으로 해양정보산업을 육성하여 사용자의 부담으로 사용자의 요구에 맞는 연안국지 정보의 지원체제를 구축해 나가야 할 것이다. 해양에 대한 이용이 대폭적으로 증가하고, 다양한 양질의 해양정보에 대한 국가적 수요가 증대하여 해양정

보 서비스 산업이 활성화되면 민간기업의 참여 유도가 요구된다. 선진국에서는 운용해양시스템의 일환으로 해양정보를 상품화하여 유료 서비스하는 해양정보산업을 육성하는 방향으로 추진되고 있는데, 우리나라의 경우 사용자가 경비를 부담하여 해양정보를 입수·활용하는데까지는 다소 시일이 걸릴 것으로 사료된다.

국내 관련 기관간 및 인접 국가간 협력

국내 기관간 협력

운용해양예측시스템을 구축, 운영하기 위해서는 정밀 수심격자망, 실시간 해양관측자료와 원격해양탐사 자료 그리고 기상, 하천 등으로부터 해양예측을 위해 필요한 입력 자료의 신속한 제공이 요구되는데, 이를 위해서는 해양, 수문 그리고 기상 기관 등 관련 기관 사이에 긴밀한 협조 체제가 구축되어야 한다. 해양관측이 여러 기관에서 수행되어 이들 기관간의 실시간 자료교환 등 협력이 요구되고, 기상의 직접적인 영향을 받는 각종 해양현상의 예측을 위해서는 해양모델의 해양-대기 경계면에서의 경계조건으로 해양-대기간 각종 교환량의 추정이 필요하며, 이를 위해 정밀격자 기상예측 모델 결과의 활용이 필수적이다. 궁극적으로는 운용해양시스템이 우리나라 기상청의 기상예측결과와 연결하여 활용하는 방향으로 추진되어야 것이다. 이를 위해서는 기상청과의 긴밀한 협력이 이루어져야 한다. 인간 활동이 상대적으로 집중되어 있는 강 하구 및 주변 연안에 대한 정확한 예측 지원을 위해 수문, 환경 관련 기관과의 협력을 통해 강에서 바다로 입력되는 각종 요소의 정보가 요구된다.

지역해양을 공유하는 인접 국가 간 협력

우리나라의 각 연안으로 전파되어 들어오는 각종 해양현상은 동해, 황해, 동중국해 등 동북아 지역해양에서 생성되어 연안으로 전파되어 온다. 해양현상은 국경없이 서로 연계되어 있고 전파되기 때문에 우리나라 주변 해양에 대한 현황 파악 및 예측을 위해서는 동해, 황해, 그리고 동중국해 전 해상에 대한 해양의 모니터링 정보가 실시간으로 입수되어 활용되어야 한다. 기상분야에서는 전 세계적으로 관측 자료가 즉시 교환되어 활용되는 체제가 갖추어져 있으나, 해양현상은 공간 스케일이 기상에 비해 상대적으로 작기 때문에 인근 국가 사이의 실시간 자료의 교환 활용이 우선적으로 필요하다. 운용해양예측시스템은 지역 해양 전체 자료를 이용하여야 하기 때문에 지역해양 전체를 한 시스템으로 하는 방안이 필요하다. 운용해양예측시스템의 효율적 구축을 위해 중국, 일본, 러시아 그리고 나아가 북한과의 협력이 절실히 요구된다.

Global Ocean Observing System(GOOS) 구축 전략으로 그리고 세계의 지역협력의 시범 사업으로 동북아해양

관측시스템(NEAR-GOOS)이 추진되어 왔는데, 이를 바탕으로 우리나라의 운용해양시스템을 발전시키는 것이 한반도 주변 지역해양에 대한 운용해양예측시스템 구축의 기반이 될 것이다. 연안에는 비교적 많은 관측소가 설치되어 운영되고 있으나, 육지 영향이 적은 외해에서의 현장 관측 자료가 부족한 편이다. 외해 해양관측의 문제점을 해결하는 방안으로는 중국, 일본 등 인접국가와 협력하여 각국이 보유하고 있는 역량을 공동 활용하는 것이 실용적일 것이다. 운용해양예측시스템의 구축을 위해 NEAR-GOOS의 활성화가 요구된다.

선진 연구 기관과의 협력

해양예측모델은 사용자가 많은 공개된 모델을 바탕으로 하는 것이 바람직하다. 제한된 시간에 우리나라 주변 지역해양에 운용해양예측시스템을 구축하기 위해서는 먼저 외국의 지역해양에서 많은 시행착오를 거쳐 운용해양예측시스템을 수립하여 정상적으로 운영하고 있는 외국 기관과의 협력이 크게 도움이 될 것이다. 해양예측모델을 우리 주변 지역해양에 맞게 수정·보완하는 데도 모델의 개발자 혹은 많은 사용 경험자들과 협력한다면 더 빨리 이룩할 수 있을 것이다. 원격탐사기술의 적용이나 수립되어 운영되는 모델의 검증 및 개선을 위한 현장실험 자료의 확보도 선진 외국기관과 협력을 통해 더 원활히 할 수 있을 것이다.

5. 요약 및 결론

해양과학의 연구와 기술개발로 이루어진 지식과 기술을 운용해양시스템을 통해 사용자가 필요로 하는 정보로 생산·제공할 수 있다. 따라서 운용해양시스템이 해양과학과 사용자를 연결함으로써 정부기관이나 산업체가 해양연구에 지속적인 투자를 가능하게 하기 때문에 해양과학기술의 발전을 위해서도 운용해양시스템의 개발과 구축은 필요하다. 운용해양시스템의 구축을 위해서는 실시간 해양관측기술, 자료동화기술, 원격탐사기술, 해양모델링기술 등 각 요소 기술들이 체계적으로 연계되어야 한다. 이들 중요 요소 중에 하나만 빠지더라도 문제가 생기기 때문에 먼저 현재 우리나라에서 운용해양시스템을 구축하는데 장애가 되는 요소의 파악과 단계적인 해결이 필요하다.

사용자들이 집중되어 있는 연안에서의 해양예측시스템의 운용을 위해서는 연안의 국지적인 영향을 고려하는 정밀격자 기상모델의 수립·운용이 요구된다. 우리나라 기상청이 이를 생산·제공하여 최종 사용자가 요구하는 정밀 연안정보의 생산·제공이 가능하도록 연결되어야 할 것이다. 큰 강의 하구와 인근 연안에서 각종 정보의 생산·지

원을 위해서는 수문, 환경 관련 기관과의 협력이 요구된다. 우리나라 주변 해양 전체에 대한 현황 파악 및 예측을 위해서는 지역해양을 공유하고 있는 인근 국가 사이에서도 해양자료의 교환 및 활용 분야에서 협력이 필요하다. 제한된 시간에 우리나라 주변 지역해양에 운용해양예측시스템을 구축하기 위해서는 선진 연구 기관들과 협력을 통해 먼저 외국의 지역해양에서 많은 시간을 들여, 시행착오를 거쳐 수립하여 정상적으로 운영하고 있는 운용해양예측시스템을 도입하여 우리 현실에 맞게 개선, 발전시키는 것이 도움이 될 것이다. 예를 들면 EU와의 협력으로 '황해 해양관측 및 예측정보시스템(YEOS)' 구축 협력 사업은 좋은 예이다.

운용해양시스템 개발의 주요 목적은 자연재해, 유류오염 등 해양에서의 현안 문제 해결 및 해상교통, 원활한 해양산업 활동의 지원을 위해 해양관련 국가기관 등의 사용자가 필요로 하는 해양환경의 현황과 예측정보를 생산·제공하는 것이다. 운용해양시스템으로부터의 서비스는 구체적인 사용자 그룹을 위한 서비스를 위해 이들 사용자의 요구 수렴이 지속적으로 이루어져야 한다. 해양관측, 예측 기술 개발이 지속적으로 이루어지고, 해양과학기술 개발에서 이룩한 새로운 기술들을 즉각 적용하여 새롭고 효과적인 서비스가 이루어지도록 하여야 할 것이다.

한편 국가의 해양관련 현업 업무를 더 잘 지원할 수 있도록 관련 국가기관의 전문 인력을 크게 확보하여 운용해양시스템의 운영 및 서비스를 수행하는 것이 필요하다. 대학이나 연구기관의 고급 인력을 국가 해양 관련 현업 업무에 활용할 수 있도록 유도하는 것이 필요하며, 해양정보의 구체적인 수요자를 만족시킬 수 있도록 해양정보 산업을 육성시키는 것도 필요하다.

사 사

본 연구는 국토해양부 연구개발사업 "한중해양과학협력" 사업과 "운용해양(해양예보)시스템 연구" 사업의 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

- 해양수산부 (2001) 국가해양관측망 기본계획. 해양수산부, 198 p
- 해양수산부 (2002) 해양관측 및 예보시스템. 한국해양연구원, BSPM 155-00-1477-1, 624 p
- 해양수산부 (2006) 해양관측 및 예보시스템. 한국해양연구원, BSPM 37801-1880-1, 430 p
- 해양수산부 (2007) 국가해양관측망 기본계획에 따른 운용해양시스템 구축 계획. 한국해양연구원, 223 p
- Dahlin H, Flemming NC, Marchand P, Petersson SE (2005)

- European operational oceanography: present and future. In: Proceeding of the Fourth international conference on EuroGoos, 854 p
- Lee DY, Taira K (1997) Development of NEAR-GOOS. In: Proceedings of the First international conference on EuroGOOS, Hague, Netherlands, 7-11 October 1996
- NOAA (1999) NOS Procedures for developing and implementing operational nowcast and forecast systems for PORTS. NOAA technical report NOS CO-OPS 0020, 35 p
- NOAA (2004) A NWS guide to the use of NWLON and PORTS computer-based products. National Ocean Service. NOAA technical report NOS CO-OPS 026, 54 p
- NOAA (2008) Physical oceanographic real-time system (PORTS) brochure. National Oceanic and Atmospheric Administration
- Ocean.US (2002) An integrated and sustained ocean observing system (IOOS) for the United States: design and implementation. Ocean. US report no 2, The National Office for Integrated and Sustained Ocean observations, 18 p
- Ocean.US (2006a) U.S. GOOS national report: U.S. national implementation and planning activities-2005 highlights. Ocean.US report no 14, The National Office for Integrated and Sustained Ocean observations, 29 p
- Ocean.US (2006b) The first U.S. integrated ocean observing system (IOOS) development plan. Ocean.US report no 9, The National Office for Integrated and Sustained Ocean observations, 86 p
- Prandle D, She J, Legrand J (2003) Operational oceanography: the stimulant for marine research in Europe. In: Wefer G, Lamy F, Mantoura F (eds) Marine science frontiers for Europe. Springer, Berlin, pp 161-171
- Thompson EF, Cardone VJ (1996) Practical modeling of hurricane surface wind fields. J Waterw Port Coast Ocean Eng-ASCE **122**(4):195-205
- Woods JD, Dahlin H, Droppert L, Glass M, Vallerga S, Flemming NC (1996) The strategy for EuroGOOS. EuroGOOS pub no 1, Southampton Oceanography Center, Southampton

Received Oct. 27, 2009

Accepted Dec. 9, 2009