

Note

<https://doi.org/10.7850/jkso.2018.23.4.204>  
pISSN : 1226-2978

## 이내비게이션을 활용한 해양환경관측 및 빅데이터 분석방안

이관홍<sup>1\*</sup> · 박재훈<sup>1</sup> · 하호경<sup>1</sup> · 김도원<sup>2</sup> · 이우주<sup>3</sup> · 김홍태<sup>4</sup> · 신현정<sup>1</sup><sup>1</sup>인하대학교 해양학과, <sup>2</sup>인하대학교 수학과, <sup>3</sup>인하대학교 통계학과, <sup>4</sup>선박해양플랜트연구소 해양안전환경연구본부

# Methodology on e-Navigation-Assisted Ocean Monitoring and Big Data Analysis

GUAN-HONG LEE<sup>1\*</sup>, JAE-HUN PARK<sup>1</sup>, HO KYUNG HA<sup>1</sup>, DO WAN KIM<sup>2</sup>, WOJOJO LEE<sup>3</sup>, HONGTAE KIM<sup>4</sup> AND HYUN-JUNG SHIN<sup>1</sup><sup>1</sup>Department of Oceanography, Inha University, Incheon 22212, Korea<sup>2</sup>Department of Mathematics, Inha University, Incheon 22212, Korea<sup>3</sup>Department of Statistics, Inha University, Incheon 22212, Korea<sup>4</sup>Maritime Safety & Environmental Research Division, KRISO, Daejeon 34103, Korea\*Corresponding author: [gilee@inha.ac.kr](mailto:gilee@inha.ac.kr)

Editor Do-Sung Byun

Received 3 October 2017; Revised 21 September 2018; Accepted 28 November 2018

### ABSTRACT

본 연구에서는 이내비게이션 시스템이 장착된 연안 및 국제여객선을 활용하여 효율적으로 해양환경관측을 실시하고 관측된 해양 환경 빅데이터를 분석할 수 있는 방안을 제시하였다. 먼저, 이내비게이션 시스템과 운영 개념을 소개하고, 우리나라 연안의 해양환경 모니터링 현황을 개괄한 후, 기존 관측망의 단점을 보완하고 장점을 강화할 수 있도록 이내비게이션을 활용한 해양환경 모니터링 관측방법과 관측요소(기상, 물성, 유속 및 수심)를 제안하였다. 또한, 이내비게이션 시스템이 장착된 여객선에서 관측한 자료를 실시간으로 분석하는 시공간 혼합효과모형, 앙상블기법 및 무요소기법과 같은 해양빅데이터 분석 기법을 제안하였다. 본 연구는 연안 선박과 소형어선에 중점을 둔 한국형 이내비게이션 추진에 도움이 될 것으로 기대한다.

This study proposes a cost-effective method to monitor coastal environments using e-Navigation-implemented domestic and international ferries, and to analyze big data of records such as wind, temperature, salinity, waves, and currents that are gathered through e-Navigation system. First, we present the concept and architecture of e-Navigation operation system based on the General Information Center on Maritime Safety and Security. Then, the marine observation system that can be applied to ferries operating in our nation's territory is discussed. Analytical methods, such as spatio-temporal mixed effects model, ensemble method, and meshfree method, in handling real-time big data obtained by the e-Navigation observing system are then explained in detail. This study will support the implementation of the Korean e-Navigation project that focuses on the safety of small vessels such as coasters and fishing vessels.

**Keywords:** e-Navigation, Marine environment, Monitoring, Big data, Analysis

## 1. 서론

지구온난화와 기후변화에 따라 세계의 바다 및 한국 연안은 급격한 해양환경 변화를 겪고 있다. 한반도 주변해역에서는 수온이 증가하고 해수면이 상승하고 있으며, 플랑크톤 종 조성 및 회유하는 어류의 종이 변하고 있다(Kim *et al.*, 2010). 또한, 해양에서 발생하는 변화가 기후변화에 미치는 영향과 해양환경 변화가 해양생태계에 미치는 영향 등으로 인해 해양의 중요성이 점점 부각되면서 기후 변화와 생태계 변동 역학에 중요한 해역을 중심으로 ARGO (<http://www.argo.ucsd.edu/index.html>)

및 OceanSITES (<http://www.oceansites.org/>)와 같은 해양관측망이 확대되고 있다(Schofield *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2017). 또한, 세계기상기구(World Metrological Organization, WMO) 와 UNESCO 산하 정부간해양학위원회(Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC)의 해양 및 해양기상 공동기술위원회(Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology, JCOMM; <http://www.jcommops.org/>)는 Voluntary Observing Ship (VOS)과 Ship Observations Team과 같은 다양한 해양 및 해양기상 관측 프로그램을 운영하고 있다(Kent *et al.*, 2007; 2010). 우리나라 해역에서도 해양 관측 수요가 급증하면서 국립수산과학원의 국가해양환경측정망과 국립해양조사원의 실시간해양관측망과 같은 관측망을 운영하고 있으며 JCOMM에도 참여하고 있지만, 현장관측의 현실적·기술적 어려움으로 인해 해양 내부를 관측한 자료는 여전히 부족한 실정이다(Hahn, 1992; Lim and Kim, 2008).

국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서 2019년부터 국제적으로 시행할 예정인 이내비게이션은 선박과 선박 또는 선박과 육상의 실시간 통신 및 정보교환을 증진시켜 항행안전을 도모하는 선박운행체계이다(An, 2015, 2016). 이내비게이션의 핵심기술 국산화 및 국제표준화를 위해 해양수산부의 R&D사업으로 진행되고 있는 차세대 해양안전종합관리체계 기술개발은 우리나라 연안에 LTE통신을 구축하고, 실시간 통신을 통한 선박의 해양안전 종합상황인식 및 항행안전지원서비스를 제공하게 된다. 본 연구에서는 선박의 항행안전을 도모하기 위하여 개발되는 이내비게이션을 구현한 선박의 해양환경모니터링 활용 가능성을 주목한다. 특히, 국내 도서 및 중국, 일본 및 러시아를 하루 또는 이틀에 한번 왕복하는 정기 연안여객선과 국제여객선은 연안에 집중되고 두 달 혹은 세 달 간격으로 시행되고 있는 전통적인 해양환경 관측에 비해 광역적이고 효과적인 해양환경 장기모니터링을 가능하게 할 것이다. 그러므로 본 연구에서는 이내비게이션을 구현한 연안 및 국제여객선을 활용한 해양환경모니터링 방법 및 효용을 고찰한다.

LTE통신망을 통해 다수의 선박에서 획득한 해양환경 빅데이터는 실시간 분석이 이루어져야 실시간으로 선박의 항행안전지원서비스에 사용될 수 있다. 그러므로, 실시간 자료 분석이 요구되지 않는 기존의 자료분석기법과는 다른 발전적/예견적 방향을 갖는 미래기술에 대비한 다양한 형태의 빅데이터를 효율적으로 처리/해석할 수 있는 기법이 요구된다(Liu *et al.*, 2017). 그러므로, 본 연구에서는 국내에서 추진되고 있는 이내비게이션 선박을 활용한 해양환경관측 방법을 제시하고, 이내비게이션 선박에서 획득한 해양 빅데이터에 적용할 수 있는 빅데이터 처리기법과 활용방안을 고찰하였다. 이를 위해서 2장에서는 한국형 이내비게이션 운영시스템을 소개하고, 3장에서는 우리나라 연안의 해양환경모니터링 시스템을 개괄한 후, 이내비게이션 여객선을 활용한 해양환경관측 요소 및 방법을 제시하였으며, 4장에서는 해양 빅데이터 분석 방법 및 활용방안을 고찰하였고, 5장의 결론에서는 본 해양관측의 효용성 및 극복해야 할 문제를 제시하였다.

## 2. 한국형 이내비게이션 시스템 운영개념

### 2.1 국제해사기구의 이내비게이션 시스템

170여개의 회원국을 가지고 있는 UN의 12번째 전문기구인 국제해사기구(IMO)는 “해운업에 영향을 미치는 모든 형태의 기술적인 문제에 관하여 정부가 수행하는 규정이나 지침에 있어서 정부 간 상호협력 촉진을 위한 장치를 제공하는 것이며, 해상안전, 효율적인 항해 및 선박으로부터의 오염방지 및 통제와 관련하는 최고 수준의 실질적인 기준을 제공하고 촉진하기 위해서 설치되었다”(IMOKorea, 2017). 최근에 IMO는 해상무선통신환경을 개선하고 최신 정보통신기술을 활용하여 선박에 전자 해도를 기반으로 항법시스템을 자동화·표준화시키고, 육상에서는 관제 모니터링을 통해 선박의 안전운항을 원격 지원하는 차세대 해양안전종합관리체계인 이내비게이션 도입을 추진하고 있다(An, 2015).

영국, 미국, 일본 등 7개국이 2005년에 제안한 이내비게이션은 항행안전분과(Sub-Committee on Safety of Navigation)와 통신 및 탐색·구조분과(Sub-Committee on Radiocommunications and Search and Rescue)의 공식 의제로 채택된 이후, 2008년 IMO 제85차 해사안전위원회(Marine Safety Committee)에서 이내비게이션 전략이 승인되었다. 이후 IMO는 이용자 요구분석을 통한 전략이행계획(Strategic Implementation Plan)을 2009~2012년에 수립하였으며, 2014년 11월 IMO 제 94차 MSC에서 전략이행계획이 승인되었다(An, 2015, 2016; Kang *et al.*, 2015; Lee and Park, 2013).

이내비게이션을 구현하기 위한 전략이행계획은 선박, 육상 및 통신 요소에 대한 일반적인 기대수준에 내재된 이내비게이션의 비전을 소개하고 있으며, 다섯 가지 이내비게이션 우선 순위 솔루션을 다음과 같이 제시하고 있다(Kang *et al.*, 2015; IMO, 2017).

- S1 조화롭게 개선된 사용자 친화적 항해선교 설계
- S2 표준화되고 자동화된 보고수단
- S3 선교장비와 항해정보의 향상된 안정성과 신뢰성
- S4 통신장비를 통해 수신한 정보의 통합 및 전시
- S9 해상교통관제서비스(Vessel Traffic Service, VTS) 포트폴리오의 향상된 의사전달

여기에서 다섯 번째 솔루션(S9)에 해당하는 해사서비스포트폴리오(Maritime Service Portfolios, MSP)는 이내비게이션을 통해 육상에서 해상으로 제공되는 서비스로서 Table 1과 같이 항해 시 항만, 연근해 및 혼잡 또는 제한 수역, 대양 횡단, 해양, 극지방 및 원해 지역 등에 따라 달라지는 안전 항해를 위한 정보요구사항을 충족시킬 수 있도록 제공하는 16개 서비스로 구성되어 있다.

**Table 1.** List of e-Navigation MSPs

No	Identified Services
MSP1	VTS Information Service (IS)
MSP2	Navigational Assistance Service (NAS)
MSP3	Traffic Organization Service (TOS)
MSP4	Local Port Service (LPS)
MSP5	Marine Safety Information Service (MSI)
MSP6	Pilotage Service
MSP7	Tugs Service
MSP8	Vessel Shore Reporting
MSP9	Telemedical Assistance Service (TMAS)
MSP10	Maritime Assistance Service (MAS)
MSP11	Nautical Chart Service
MSP12	Nautical Publication Service
MSP13	Ice Navigation Service
MSP14	Meteorological Information Service
MSP15	Real-time Hydrographic/Environmental Information Service
MSP16	Search and Rescue Service

## 2.2 한국형 이내비게이션 시스템 운영개념

우리나라에서 최근 5년간 연평균 1,524건의 해양사고가 발생하는데, 이 가운데 73.1%(1,126건)가 어선에서 발생하고, 어선 사고로 매년 223명의 인명 피해가 발생한다(KMST, 2008-2014; Park *et al.*, 2016). 이러한 해양사고의 유형 가운데 기관 손상을 제외하면 충돌·좌초 사고가 연평균 351건(22.7%)로 가장 많고, 해역별로 항만 인근과 연안 해역에서 가장 많이 발생한다. 그러므로 해양사고 감소를 위해서는 연안 해역에서 운항하는 연안 선박과 어선에 의한 사고예방, 충돌·좌초 사고 예방 및 인적과실에 의한 사고 예방이 절실한 형편이다. 이러한 연근해에서 운행되는 소형 선박은 열악한 항해장비와 고령화된 선원으로 인해 사고에 더 취약하므로, 이러한 선박이 더 많고 유용한 정보를 쉽게 제공받을 수 있는 해양안전 종합정보시스템 개발이 절실하게 대두되었다(Kang *et al.*, 2015; Park *et al.*, 2016).

IMO 이내비게이션 개발에 따라 국내에서는 해양수산부 주도로 한국형 이내비게이션 구축을 위한 프로그램이 개발되었다. 차세대 해양안전종합관리시스템 구축을 목적으로 해양수산부는 한국형 이내비게이션 프로젝트 기획연구를 2013년에 실시하였고, 이 기획연구는 2014년 1월과 11월에 각각 미래창조과학부의 기술성 평가와 기획재정부 예비타당성 조사를 통과하였다(An, 2015; Kang *et al.*, 2015). 기획연구와 예비타당성조사 결과를 바탕으로 이내비게이션의 통신 인프라를 구축하고 핵심기술을 개발하는 해양수산부의 한국형 이내비게이션 사업인 “차세대 해양안전종합관리체계기술개발” 사업이 2016년에 1,308억 원의 예산으로 시작되었다.

한국형 이내비게이션의 핵심 목표는 한국 연안 100 km 이내에서 육상 수준의 초고속 무선통신 교환이 표준화된 방법으로 실시간으로 이루어져, 선박과 육상에서 생산되는 다양한 정보를 수요자 요구에 맞춰 연계·통합하여 실시간 맞춤형 정보서비스를 제공함으로써 항해 안전을 극대화하는 것이다. 즉, 한국형 이내비게이션은 2019년도에 모든 국제선박에 이내비게이션을 의무화하겠다는 IMO의 계획에 따라 이내비게이션 핵심기술을 개발하는 것이 기본적인 요건이다. 하지만, 한국형 이내비게이션은 IMO의 계획을 따르는 것을 넘어서 세계기술을 선도하겠다는 계획을 포함하고 있을 뿐만 아니라, 해상에서도 육상 수준의 정보를 이용할 수 있도록 해상의 무선통신환경을 개선하는 육지로부터 100 km 이내의 국내 연안 해역에 초고속 해상 무선통신체계(LTE-M)를 구축하는 것을 포함하고 있다(An, 2015). 특히, VTS의 관제운영 방식인 VHF 무선설비 설치 의무가 없으며 해양사고의 70% 이상을 점하고 있는 어선의 경우 휴대전화가 유일한 통신 수단이므로 초고속 해상 무선통신체계(LTE-M)는 이내비게이션 해상교통관리체계 내에서 어선을 포함한 소형선박의 관리를 가능하게 한다. 그러므로 한국형 이내비게이션이란 국제항해선박을 대상으로 한 IMO의 이내비게이션 개념에 어선 및 연안 소형선 대상 서비스 제공 등이 추가된 우리나라 해상환경에 특화된 이내비게이션이다(Park *et al.*, 2015).

한국형 이내비게이션 시스템은 LTE-M으로 구성된 해상무선 통신네트워크, 범용수로정보표준(S100) 기반의 전자해도, 표준해사 데이터교환체계(Common Maritime Data Structure), 해사 클라우드, 해사통합데이터베이스 등으로 기존의 해양안전종합정보시스템을 확장한다. 한국형 이내비게이션 시스템의 서비스 부분은 이러한 플랫폼을 기반으로 Table 1에서 제시한 실시간수로/환경정보서비스, 기상정보서비스, 해상안전정보서비스 등 다양한 서비스가 제공될 뿐만 아니라, 한국형 이내비게이션에서 개발되는 사고취약선박 안전항로지원 서비스, 어선 맞춤형 최적안전지원 서비스 및 소형선박용 전자해도 스트리밍 서비스를 포함한다.

이상과 같은 한국형 이내비게이션은 IMO에서 추진하는 이내비게이션을 선도할 뿐만 아니라 국내의 실정에 적합한 해상 교통 종합관리를 위한 시스템을 확장해서 대형선박뿐만 아니라 어선과 같은 소형 선박의 해양 안전을 극대화하는데 기여할 것이다. 그렇지만, 한국형 이내비게이션에서 개발된 플랫폼을 통해 다양한 서비스가 제공되기 위해서는 해상 교통량, 항해보조, 해상안전과 같은 정보 뿐만 아니라 해양기상, 조류 및 수심과 같은 정보가 실시간으로 수집되고 분석·통합되어야 한다. 특



히, 소형 선박의 항행안전에 획기적인 기여를 하게 될 최적안전항로 지원시스템의 필수 기초자료는 해양기상, 조석 및 조류와 같은 해양환경 실시간 자료이다. 비록 우리나라 연안에서 해양환경 자료를 획득하고 있지만, 현재 이내비게이션에 직접 활용하기에는 자료의 양과 분포가 충분하지 못하다. 다행스러운 점은 이내비게이션은 이내비게이션 서비스에 활용 가능한 자료를 전송하고 분석할 수 있는 충분한 전송속도를 갖고 있을 뿐만 아니라 이내비게이션 선박은 해양환경 자료를 획득하는 관측 플랫폼이 될 수 있다는 것이다.

### 3. 이내비게이션 선박을 활용한 해양환경관측

#### 3.1 우리나라 주변 해양환경모니터링 현황

해양수산부에서는 해양환경을 보호하고 지속가능한 이용을 위하여 지속적이고 종합적인 조사(해양환경모니터링)을 실시하고 있다. 우리나라의 해양환경조사는 국립수산과학원의 연근해를 대상으로 하는 국가 해양환경관측망과 연안역 유해적조 모니터링, 해파리 모니터링 및 근해역 어장환경조사가 있으며, 해수면높이, 해수유동, 그리고 파랑 관측 등 해양물리학적 특성과 수심을 조사하는 국립해양조사원의 해양관측조사와 기상청의 해양기상관측이 있다. 이외에도 해양환경관리공단에서 해양생태계 기본조사, 해양환경측정망, 그리고 연안습지 기초 조사 등을 수행하고 있으며, 해양경비안전본부에서는 해양폐기물배출해역에 대한 정기적인 해양환경조사를 실시하고 있다. 이상과 같이 해양환경조사는 해양물리 및 해양지질학적인 특성 뿐만 아니라 수질, 생태 및 오염물질과 같은 다양한 항목에 대해 수행되고 있다. 본 연구에서는 시료의 분석이 필요하지 않고 이내비게이션 선박에서 자동관측 및 전송이 가능하며 한국형 이내비게이션 서비스와 관련된 항목들만 검토하였다.

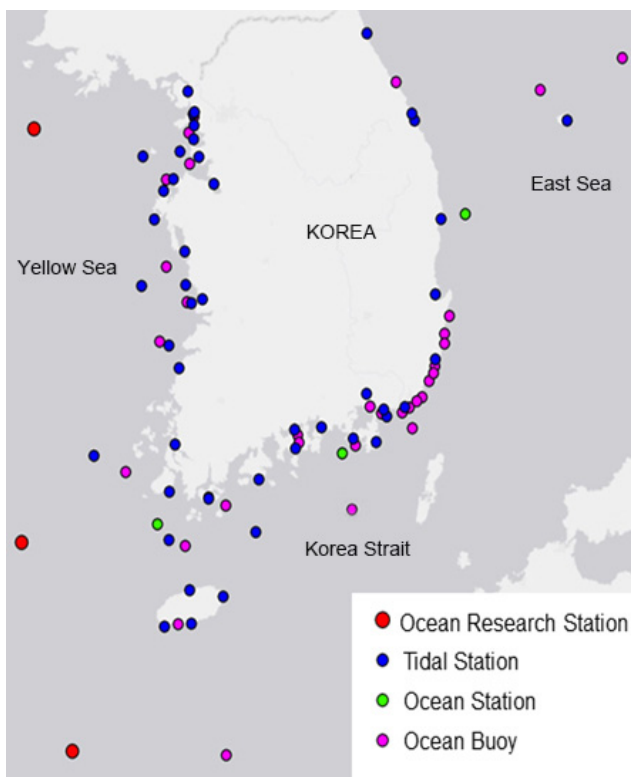


Fig. 1. KHOA real-time oceanographic observation networks and monitoring stations.

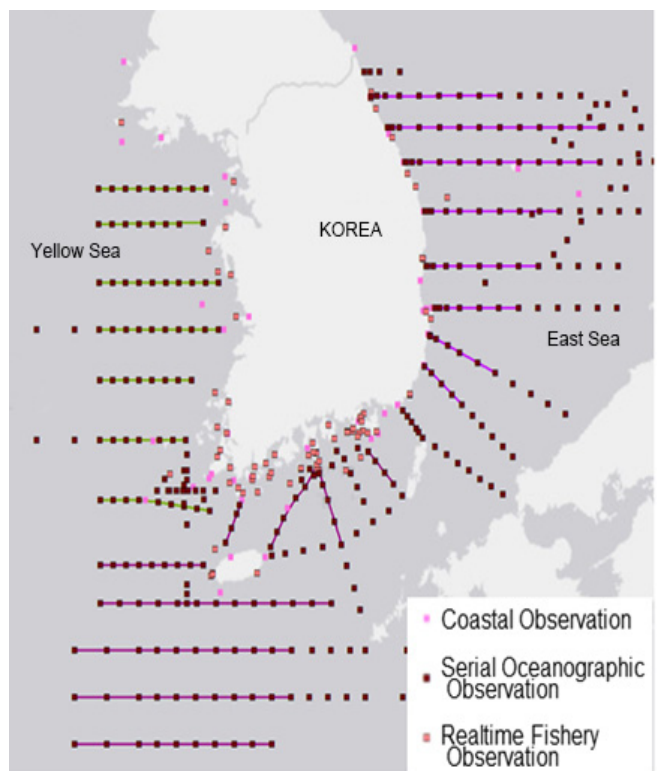


Fig. 2. NIFS oceanographic observation networks and monitoring stations.

국립해양조사원은 관할해역에서 국가해양관측망을 운영하여 선박교통안전, 해양보전·개발, 해양재해 및 기후변화에 대응하기 위한 조석, 해류, 수온, 염분, 해양기상 등 해양물리환경 모니터링을 실시하고 있다. 3개 해양과학기지(이어도, 신안가거초, 웅진소청초)에서는 조위, 파고, 파주기, 수온, 풍향·속, 기온, 기압 등의 자료를 실시간으로 수집하고 제공하고 있다. 또한, 동해안 7개, 남해안 19개 및 서해안 24개소의 조위관측소에서는 조위, 수온, 염분, 풍향, 풍속, 기온 및 기압을 실시간으로 관측하고 있으며, 진도 복사초, 후포 왕돌초, 통영 교본초와 울릉도 쌍정초의 4개 해양관측소에서 조위, 파고, 파주기, 풍향, 풍속, 기온 및 기압을 관측하고 실시간으로 제공하고 있다. 이외에 해양관측 29개소와 해수유동관측소(HF-Radar) 33개소에서 해수유동을 관측하고 있다. 이외에도 광역 해양환경변화 모니터링을 위한 주기적인 해류 및 물리특성(수온, 염분)관측을 연 4회에 걸쳐 실시한다. 이상에서 기술한 국립해양조사원 관측 정점은 Fig. 1에 나타냈으며, Table 2에는 각 관측망의 정점, 관측요소, 관측 시기 및 관측소 이름을 나타냈다.

국립수산과학원에서는 1961년부터 정선해양관측을 실시하고 있는데, 이는 우리나라에서 가장 오래된 해양환경 모니터링이다. 우리나라 연안의 25개 정선에서 207개 정점의 수온, 염분, DO, 영양염류, 동식물 플랑크톤 등 17개 항목을 연 6회(2, 4, 6, 8, 10, 12월)에 걸쳐 측정하고 있다. 그리고 국립수산과학원의 각 지방연구소에서 수행하는 연안정지 관측이 34개소에서 매일 오전 10시에 1회씩 수온, 기온, 비중, 운량, 천기에 대해 실시되고 있다. 이에 더하여 국립수산과학원에서는 전국 54개소에서 수온, 염분 및 용존산소를 관측하고 전송하는 실시간 해양환경 어장정보 서비스를 실시하고 있다. 국립해양조사원 관측 정점과 정선은 Fig. 2에 나타냈으며, Table 3에는 각 관측망의 정점/정선, 관측요소, 관측 시기 및 관측소 이름을 나타냈다.

**Table 2.** Observation elements of KHOA real-time oceanographic observation networks

Network	No. Stn	Elements	Frequency	Name
Ocean Research Station	3	Tide, Waves, Water Temperature, Winds, Air Temperature, Air Pressure	Real-time	Ieodo, Gageocho, Socheongcho
Tidal Station	50	Tide, Water Temperature, Salinity, Wind, Air Temperature, Air Pressure	Real-time	East Coast 7, South Coast 19, West Coast 24
Ocean Station	4	Tide, Wave, Wind, Air Temperature, Air Pressure	Real-time	Boksacho, Gyoboncho, Wangdolcho, Sangjeongcho
Ocean Buoy	29	Currents	Real-time	Main Waters 10, Main Route 16, Rip Currents 3
Current Station	33	Surface Currents	Real-time	Busan Newport 2, Yeosu 4, Korean Strait 4, Ulsan 2, and others
Current and Ocean Physics	10	Currents, Water Temperature, Salinity	Mar., May, Jul., Nov.	

**Table 3.** Monitoring elements of NIFS oceanographic observations (NOS)

Network	No. Stn.	Elements	Frequency	Name
Coastal Obs.	34	Water and Air Temperature, Wind, Specific Gravity, Cloudiness	1/Day	Marado, Socheongcho, Ulleungdo, Dokdo, etc.
Realtime Fishery Obs.	54	Water Temperature, Salinity, DO	Real-Time	Jindo, Hupo, Tongyeong, etc.
Serial Oceanographic Obs.	207	17 Elements, including Water Temperature, Salinity, DO, Nutrients, Planktons	6/Yr	East Coast 69, Korean Strait 54, Yellow Sea 52, East China Sea 32

기상청에서도 해양환경에 대한 모니터링을 실시해왔으며, 기상에 대한 해양의 중요성이 부각되면서 관측 정점과 빈도가 증가하고 있다. 덕적도, 외연도 등 17개 정점에서 실시하는 국내부이 관측망에서는 풍향, 풍속, 기압, 습도, 기온, 수온, 파고 및 파향을 실시간으로 관측하고 전송하고 있으며, 파고 부이 49개 정점에서는 파고, 파랑 주기 및 수온을 실시간으로 관측하여 전송하고 있다. 또한, 국내 등표를 활용한 9개 정점에서는 풍향, 풍속, 기압, 수온, 파고, 파랑 주기 및 조위를 실시간으로 관측 전송한다. 이상과 같은 기상청 관측 정점은 Fig. 3에 나타냈으며, Table 4는 각 관측망의 정점, 관측요소, 관측 시기 및 관측소 이름을 나타냈다.

이상에서 기술한 해양환경 모니터링은 크게 정점관측과 측선관측으로 분류된다. 측선관측은 우리나라 전 해역에 대한 광역 관측을 실시하지만 예산 및 관측의 어려움으로 인해 연 4-6회의 모니터링으로 제한되어 있다. 그렇지만, 한반도 주변 해역의 장기적인 해황 변동 및 기후변화의 기초자료로 사용되는 가장 오랫동안 지속된 모니터링이다. 반면, 정점관측은 180개소에 달하는 다수의 정점에서 이루어지고 있으며, 실시간 관측 및 전송이 가능하므로 최근에 활용도가 높아지고 있다. 그렇지만, 많은 정점들이 연안 또는 섬 주위에 집중되어 있으며, 섬과 구조물에 의한 교란이 없는 외해에 위치하는 정점은 많지 않다. 또한, 해양에 장비를 설치해서 관측하는 해양조사관측망은 유지보수에 고비용이 소요된다. 예를 들어, 국립해양조사원의 경

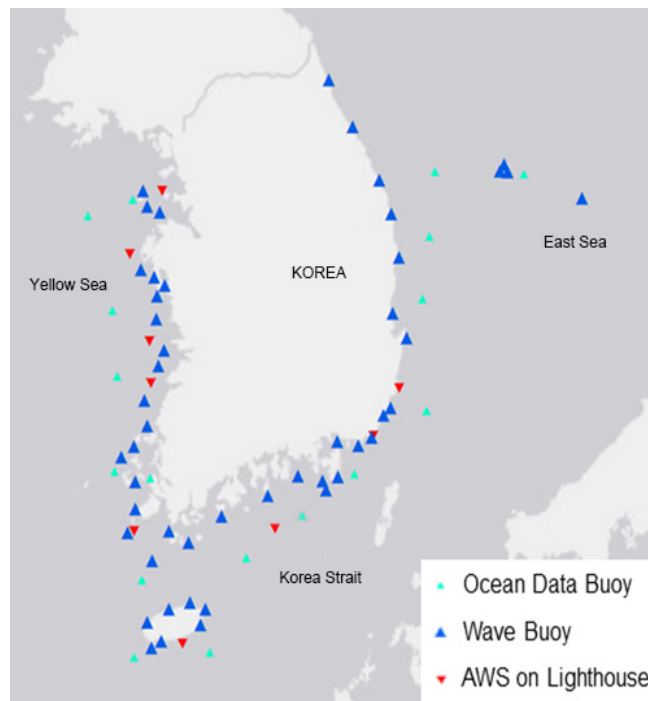


Fig. 3. KMO oceanographic observation networks and monitoring stations.

Table 4. Monitoring elements of KMO oceanographic observation networks

Network	No. Stn.	Element	Frequency	Name
Ocean Data Buoy	17	Wind, Air Pressure, Humidity, Air and Water Temperature, Waves	Real-Time	Deokjeokdo, Oeyundo, Ulleungdo, Dokdo, etc.
Wave Buoy	49	Wave Height, Wave Period, Water Temperature	Real-Time	Sinjindo, Sapsido, Ijakdo, Jawoldo, etc.
AWS on Lighthouse	9	Wind, Air Pressure, Water Temperature, Waves, Tide	Real-Time	Sesudo, Gadaeam, Sipidongpado, Galpaeyo, Hasuseo, etc.

우 2016년에 해양환경관측망 운영예산으로 89.5억이 소요되었다. 이러한 정점관측과 측선관측의 단점을 보완하고 장점을 강화할 수 있는 포괄적이고 효율적인 해양환경 모니터링을 위해서는 기존 관측망에, 다음 장에서 소개하는, 짧은 관측 주기를 갖는 광역적인 측선관측망을 추가하는 것이다.

### 3.2 이내비게이션 활용 해양환경모니터링

우리나라에서 이내비게이션이 시행된다는 것은 육지로부터 100 km 이내의 연안 해역에 초고속 해상무선 통신체계(LTE-M)가 구축되고, 이 통신체계를 통해 LTE급 정보의 송수신이 가능함을 의미한다. 그러므로, 이내비게이션이 구현된 선박을 활용해서 해양환경자료를 획득하고 자료를 실시간 전송하는 해양관측은 기존의 정점 및 측선관측망을 보완하는 획기적인 관측망이 될 것이다.

연안해운통계연보에 따르면 부산-제주 항로를 포함하여 전국에 96개의 항로가 존재하고 있다(KSA, 2016). 96개의 항로 가운데 섬이 많지 않은 동해에는 울릉도와 독도를 운항하는 5개 항로에서 9척의 연안여객선이 운항하는 반면, 다도해인 대한해협과 황해에서는 각각 45 및 46 항로에서 74와 77척의 연안여객선이 운항하고 있다. 황해와 대한해협의 많은 여객 항로는 유인도가 많은 목포, 여수, 완도 마산-통영 지역에 집중되어 있는데, 이 지역에서는 20척 이상의 여객선이 10개 이상의 항로에서 운항하고 있다. 또한, 이들 지역에서는 섬과 섬을 운항하는 보조항로가 다수 운항되면서, 이 지역 대부분의 항로 및 연안 여객선은 다도해 주변의 짧은 거리를 운항하고 있다. 반면, 황해와 대한해협의 인천, 목포, 완도, 해남 및 부산에서 제주도를 운항하는 여객선들은 연안에서 벗어나 외해를 운항하는 항로를 갖는다(Fig. 4). 그러므로 이들 항로는 정점 관측을 보완하는 광역적인 연근해 해양관측을 가능하게 할 것이다.

2016년 현재 우리나라에서 운항하는 국제여객선은 중국, 일본 및 러시아로 취항하고 있다. 이 가운데 인천, 평택 및 군산의 3개 도시에서 12개 도시에 걸쳐 16개 항로 및 선박이 취항하는 중국 항로의 규모가 가장 크다. 반면, 부산에서 취항하는 일본의 4개 항로(시모노세키, 하카다, 대마도, 오사카)에는 12척의 선박이 운항되고 있다. 그리고, 러시아는 속초와 동해에서 블라디보스토크를 운항하는 2개 항로가 있다. 이들 국제 여객선은 제주도, 울릉도 및 백령도를 운항하는 국내 여객선들과 마찬가지로 광역적인 해양환경 모니터링에 적합한 항로를 갖고 있다. Fig. 5는 국내 및 국제여객선 항로를 실시간 관측정점에 함께 표현한 것으로, 실시간 정점관측망을 보완하는 해양환경관측망이 될 수 있음을 보여주고 있다.

비록 이내비게이션이 구현된 연안 및 국제여객선의 항로가 기존 정점관측망을 보완하는 해양환경관측망이 될 수 있다고 하더라도, 여객선에서 실질적으로 해양환경 관측이 이루어질 수 있어야 할 것이다. 본 연구에서는 이내비게이션 사업의 목적에 부합하면서 선박에서 실시간 관측 및 전송이 가능한 아래와 같은 해양환경 요소들을 고려하였다. 이들 환경요소는 국립해양조사원, 국립수산업과학원과 기상청의 실시간 정점관측에서 관측하고 있으므로, 이들 정점을 보완하는 광역 측선관측망에서 모니터링하기에 적합하다.

1. 기상 - 갑판에 기상센서를 설치하여 풍향, 풍속, 기온, 습도 모니터링
2. 물성 - 선박 취수구에 수온염분자동기록장치(Thermosalinograph, TSG)를 설치하여 해양 표층의 수온과 염분 모니터링
3. 유속 - 선저에 음향도플러유속프로파일러(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)를 설치하여 층별 유속, 유향 및 음향강도 모니터링
4. 수심 - 선박에서 운용하는 소나를 활용하여 수심 모니터링



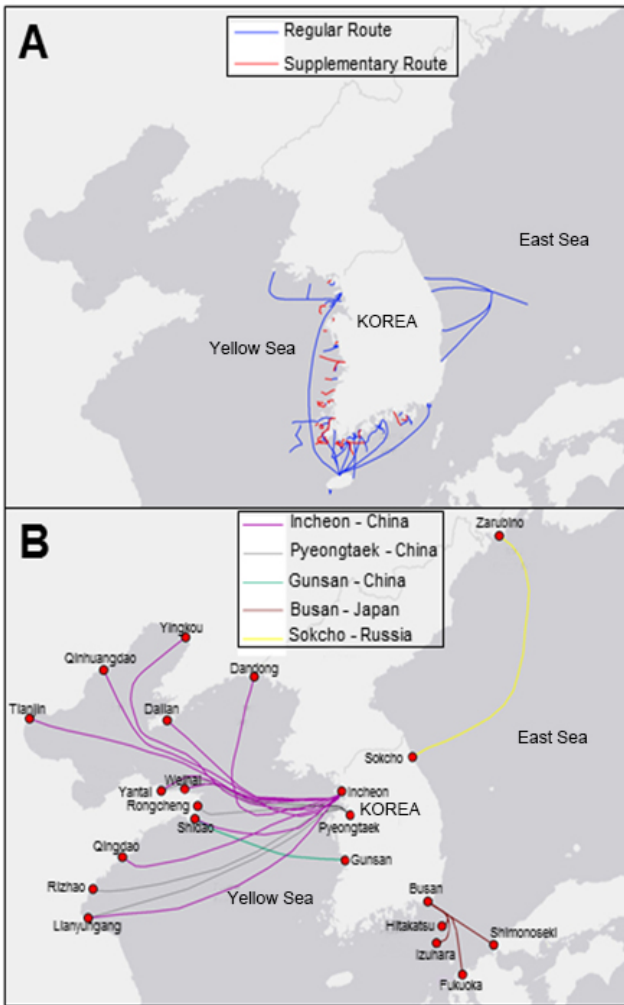


Fig. 4. Routes of domestic ferries(A) and international ferries(B).

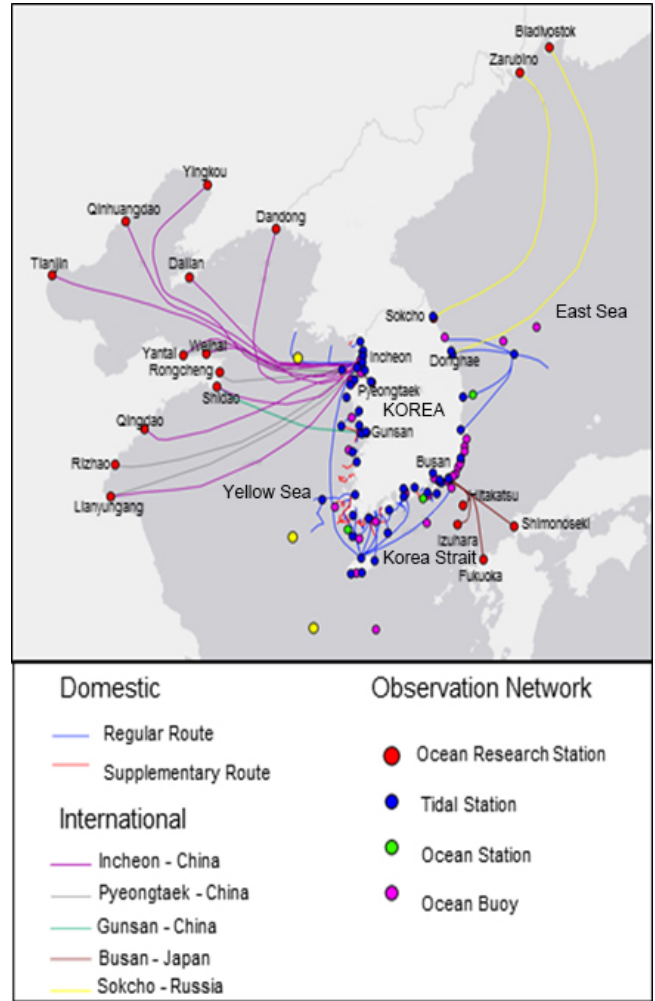


Fig. 5. Routes of domestic and international ferries overlaid to oceanographic observation stations.

위에서 기술한 환경요소에 대한 선박, 특히 여객선에서의 관측은 충분히 가능하다. 또한, 이들 요소에 대한 실시간 관측 및 자료 전송도 가능하며, 현업과 연구에 사용 가능할 정도로 자료의 질이 검증되었다. Kim *et al.* (2002)과 Park and Kuk (2012)는 각각 부산항과 여수항 인근 해역을 운항하는 선박에 자동기상관측시스템을 설치하고 기상 자료를 획득하여 서비스하는 해양기상정보 서비스 시스템의 개발을 보고하였다. 또한, 국립수산물과학원에서는 울릉도를 운항하는 여객선에 TSG를 설치하여 수온과 염분을 측정하고 있으며, 자료는 실시간으로 송신하고 있다(Jeong *et al.*, 2013). 비록 장기간에 걸친 TSG 자료를 활용한 국내 연구결과가 존재하지는 않지만, 외국의 경우에는 자료의 질을 검증하고 해양학 연구에 활용한 경우가 다수 존재한다(예, Emery *et al.*, 1997; Schloesser *et al.*, 2016). 국내의 경우는 선저에 구멍을 뚫어 장비를 설치하는 방식에 대한 거부감으로 여객선에서 ADCP를 설치한 사례는 없지만 10여척 이상의 연구선에서는 선저 ADCP를 이용한 유속 프로파일 관측이 수행되고 있다. 해외의 경우에는 여객선에 ADCP를 설치해서 정기적인 유속 관측이 실시되고 있으며, 이렇게 관측된 유속 자료를 활용한 사례가 다수 존재한다(예, Buijsman and Ridderinkhof, 2007; Hanawa *et al.*, 1996; Takikawa *et al.*, 2005). 현재, 국내의 연구선에서 관측되는 유속 자료는 자료 크기와 전송속도 제한으로 인하여 실시간 전송이 이루어지고 있지는 않지만, 이내 비게이션 LTE-M은 연구선과 여객선에서 관측되는 유속 자료의 실시간 전송을 가능하게 할 것이다. 마지막으로, 소나는 모든

여객선에 설치하는 것을 국내법으로 규정하고 있으므로, 이내비게이션을 통한 자료 획득 및 활용이 가능할 것이다.

이내비게이션 여객선을 활용한 해양환경 모니터링은 기존의 정점관측이나 정선관측에 비하여 다양한 장점이 존재한다. 이미 기술한 바와 같이, 이내비게이션 체계에 기반을 두고 있으므로, 관측자료의 실시간 송신이 가능하다. 그리고, 연안여객선과 국제여객선은 광역적인 항로를 하루 또는 이틀에 한번씩 왕복하므로 넓은 지역에서 정기적이면서도 장기적인 관측이 가능하다. 또한, 자료의 송·수신에 필요한 통신체계 구축에 소요되는 초기비용이 높지만, 이내비게이션 사업을 통해서 구축된 통신체계를 활용하기 때문에 해양환경 모니터링에 소요되는 비용은 여객선의 관측장비 구축 및 유지·운영에 국한되고, 이들의 예산 규모는 상대적으로 낮다. 그러므로 이내비게이션 여객선을 활용한 해양환경 관측은 기존의 관측망을 보완하는 저비용·고효율 해양환경 관측망을 이룰 것이다.

#### 4. 실시간 해양환경 빅데이터분석 시스템

기존의 해양환경관측망에서 획득한 자료와 이내비게이션이 장착된 연안 및 국제여객선에서 실시간으로 획득한 비정형의 자료(c.f., Fig. 5)는 빅데이터의 3V (Volume, Velocity, Variety) 정의에 부합된다(Beyer and Laney, 2012). 회귀분석, 주성분 분석, 정준 상관분석, 신경망 모형 등과 같이 기존의 해양환경 자료를 분석하기 위해 전통적으로 널리 사용되었던 분석 방법(Hsieh *et al.*, 1998)들은 빅데이터 시대에도 여전히 유용한 통계적 분석 방법이다. 그렇지만 전통적인 분석방법들은 비정형의 해양환경 빅데이터 변수 분석에 필수적으로 고려해야 할 시공간 상관성을 적절하게 반영하지 못하고 있다(Liu *et al.*, 2017). 시공간 상관성을 적절하게 반영하지 못하는 경우 관측되지 않은 지점의 예측 값에 편의(bias)가 생기거나 추정치의 불확실한 정도를 과소평가하는 문제가 생기게 된다. 본 장에서는 비정형 해양환경 빅데이터가 가질 수 있는 이러한 문제점을 줄일 수 있는 대안적인 빅데이터 분석 기법과 분석자료의 활용방안을 살펴보았다.

##### 4.1 대규모 시공간 자료분석 및 실시간 예측

이내비게이션 시스템으로부터 얻어지는 해양 환경 변수들은 시간과 위치, 즉 공간에 따라 변화하는 특성을 갖는다. 따라서 시공간 혼합 효과 모형(spatio-temporal mixed effects model)을 고려하는 것이 필요하다. 해당 모형은 아래와 같은 형태로 기술될 수 있다.

$$Y_{ijt} = \chi_{ijt}^T \beta + \nu_{ijt} + \epsilon_{ijt} \quad (1)$$

아래첨자  $i, j, t$ 는 각 변수들이 공간상의  $(i, j)$ 점에서 시간  $t$ 에 고려되고 있음을 뜻하고,  $Y_{ijt}$ 는 반응변수,  $\chi_{ijt}$ 는 설명변수,  $\beta$ 는 고정효과(fixed effect),  $\nu_{ijt}$ 는 시공간 상관성을 설명해주는 변량효과(random effect),  $\epsilon_{ijt}$ 는 랜덤오차를 뜻한다. 여기서, 해양 환경 변수들의 시간 축에서의 상관성과 공간상에서의 상관성, 이들의 상호작용 등을 모두 고려함으로써 관측되지 않은 지점에서의 해양 환경 변수 값을 기존의 방법보다 더 정확히 예측하는 것이 가능하게 되는데, 이 때 시공간 상관성을 통계 모형에 반영하기 위해 차원이 매우 큰 행렬의 연산이 필요하다. 위의 모형에서 상관성을 설명해주는 항인  $\nu_{ijt}$ 를 벡터로 생각해 보면, 전체 가로 격자수×전체 세로 격자수×관측된 시점의 총 개수를 길이로 갖는다. 예를 들어, 1000개 가로, 세로, 시점을 갖는 경우  $\nu_{ijt}$ 의 벡터 길이는  $10^9$ 이 되어 예측 값을 만들어내기 위해서는  $10^9 \times 10^9$  크기의 공분산 행렬을 다루어야 한다. 이는 현재 일반적인 통계 소프트웨어에서 다룰 수 있는 수준을 훨씬 뛰어넘는 크기로 특별한 계산 기법을 필요로 한다. 이러한 문제점을

해결하기 위한 방법으로 공분산 행렬을 시간 쪽의 공분산 행렬과 공간 쪽의 공분산 행렬의 크로네커 곱(Kronecker product) 등의 특별한 모형을 가정하거나  $\nu_{ijt} = \nu_{ij} + \nu_t$  형식으로 분해하는 방법을 사용하게 된다. 이처럼 계산가능한 문제로 변환시키는 경우 예측 정확도의 손실이 발생할 수 있으므로 가정 조건이 잘 만족하는지 확인하는 작업이 필수적이다. 이외에도, 큰 행렬 간의 곱과 역행렬의 계산 등이 반복적으로 필요하므로 성긴 행렬 계산(sparse matrix computation)과 병렬 계산(parallel computing) 기법을 적절히 활용하여 효율적인 알고리즘을 구성하는 것이 중요하다. 실시간 예측을 목표로 하는 경우, 칼만 필터와 같은 순차적 업데이트가 가능한 알고리즘을 사용하여 매우 빠르게 예측 값을 계산하는 것이 가능하다. 특히,  $t$  시점을 예측할 때  $t$  시점 이전의 모든 값을 메모리에 저장할 필요가 없고 이전 시점에서의 최적 예측값 등의 요약 통계량을 활용하는 알고리즘이므로 빅데이터 분석에 특별한 강점을 지닌다.

## 4.2 예측력 강화를 위한 앙상블 및 최신 기계학습 기법 활용

예측이 목적인 경우 한 개의 최적 모형을 찾는 것보다, 여러 약한 학습자(weak learner)로부터의 결과를 종합하여 사용하는 앙상블 기법이 매우 유용하다. 앙상블 기법은 0-1을 예측하는 분류문제의 경우  $i$  번째 약한 학습자의 예측값을  $f_i$  라고 할 때,  $k$  개의 약한 학습자의 결과를

$$g_k = \sum_{i=1}^k \frac{f_i}{k} \quad (2)$$

의 방식으로 결합하여,  $g_k$ 가 특정 한계치를 넘으면 1 아니면 0으로 예측하게 된다. 특히 배깅(Bagging), 랜덤 포레스트(Random Forest) 등의 앙상블 기법이 현재 공학 및 금융 분야에서 널리 사용되고 있는데 해양 환경 변수를 분석 및 예측하는 것에도 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 앙상블 기법이 성공적이기 위해서는  $f_i$  들 간의 상관성이 작아야 된다는 조건이 필요한데, 해양학 분야에서 사용되는  $f_i$  들 간의 상관성이 어느 정도인지는 앞으로 더 연구되어야 할 부분이다. 한편, 해양 분야에서 전통적으로 사용되어오던 신경망 모형은 내재된 비선형성으로부터 야기되는 예측 값의 불안정성이 그 동안 가장 큰 문제점으로 지적되었는데, 이러한 문제점을 해결하는 방법으로서 앙상블 접근은 매우 효과적인 해결책이다. 최근에는 공간적 상관성을 가지는 자료에 있어서 앙상블을 이용한 접근법이 한 개의 최적 모형보다는 더 나은 예측력을 가진다는 이론적인 결과가 보고되기도 하였다(Davies *et al.*, 2016). 이처럼 이론과 실제에서 앙상블 기법은 시공간적으로 분포하고 있는 변수의 예측문제에서 성능의 우수성이 확인되고 있으므로 해양 환경 자료 분석에서도 우선시 고려되어야 할 분석 기법이다. 앙상블 기법 이외에도 최근 복잡도가 매우 큰 빅데이터를 바탕으로 인공지능 기법의 발전이 두드러지고 있는데, 그 중 가장 각광을 받고 있는 딥 러닝 기법들을 해양 빅데이터 분석에도 고려해 볼 만하다.

## 4.3 고차원의 비구조적 데이터의 세련된 가공 및 분류

해양에서 관측되는 비정렬(non-conforming) 비구조적(unstructured) 데이터를 획득했음에도 불구하고 데이터가 없는 지점에서의 값의 추측 혹은 값의 시공간적인 변화를 추측하는 기법이 필요한데 여기에 무요소(meshfree) 기법을 도입해서 관측된 데이터를 기반으로 중요위치에서 값의 변화를 실시간으로 볼 수 있게 할 수 있다. 무요소법이란 유한요소근사에서 요소를 제거한 개념의 근사방법으로 데이터 사이의 연결성을 미리 주지 않아도 데이터 재생커널(reproducing kernel)을 만들면 미싱 데이터의 재생을 가능하게 해준다.

$$f(x, t) = \sum_i K_{\rho_i(x)}(y_i - x; y_i) f(y_i, t) \quad (3)$$

$K_{\rho_i(x)}$ 를 재생커널이라 말하고 데이터 분포와 국소적 반경함수(dilation function)  $\rho_i(x)$ 에 의존하기 때문에 중요위치(x) 근방의 국소적 비정형적 측정데이터들만 있으면 국소적으로 정의되는 재생커널을 실시간 계산 가능하다. 따라서 이 방법도 도입한다면 비정형적 데이터로부터 격자화된 점들에서의 데이터를 생성할 수 있고 이를 4.1과 4.2에서의 방법의 전처리된 가공 데이터로 이용될 수 있다. 그러므로 비정형 비구조적 자료처리에 매우 큰 장점이 있다. 여기에는 데이터간의 거리개념을 정해주는 정밀한 국소적 반경함수가 필요한데 기존의 방법은 이를 반영하지 못했다. 물론 기존 무요소방법은 3차원 데이터까지만 주로 다루었기 때문에 이를 임의 차원으로 확장 개발하는 것이 필요하다. Kim and Kim (2004)에 의하면 비구조적인 데이터에서 자료동화에서 필요한 근삿값의 정확성을 높이기 위해서는 국소적 반경함수  $\rho_i(x)$ 의 도입이 필수적임을 밝혔다. 이 방법의 분해능과 정확도는 반경함수에 의존함이 이론적으로 증명되어 있고 이를 활용하면 다차원의 비구조적인 해양데이터의 세련된 처리에 가장 적합한 방법으로 개선될 수 있다. 그러나 빠른 데이터처리를 위해서는 조합론(combinatorics)의 고급이론이 필요하고 4.1과 4.2에서처럼 데이터 형태를 추정하는 빅데이터 분류기법이 적용되어야 한다. 정밀한 자료동화기법과 접목하면 한반도 기상관측 등과 같은 거대 시뮬레이션의 정밀도를 높이는데 크게 기여할 것으로 예상된다.

#### 4.4 해양환경 빅데이터 분석 자료의 활용

광대한 해양에서 정형화된 격자에서 관측을 수행하고 자료를 획득하는 것은 쉽지 않다. 그렇지만 위에서 제시한 다양한 빅데이터 분석방법을 사용하여 비정형화된 해양환경자료에서 더 정확한 구조적인 환경변수를 예측하는 자료처리가 가능하다. 이렇게 얻은 자료의 활용에는 다음 세 가지를 고려할 수 있다. 첫째는 이내비게이션 구현된 선박에서 획득한 빅데이터를 분석한 자료는 한국형 이내비게이션 소형선박 최적안전지원서비스의 해양환경 기초자료로 활용하는 것이다. 연안에 집중되어 있는 기존의 해양환경관측망뿐만 아니라 외해 지역의 해양환경 기초자료를 제공함으로써 한국형 이내비게이션이 목표하는 해양안전을 구현하는데 공헌을 할 수 있을 것이다. 둘째, 본 연구에서 제시한 관측방법에 따라 우리나라 전역을 포괄하는 관측망에서 획득하는 빅데이터 분석 자료를 기상 및 해양수치모델의 자료동화기법에 접목하는 것이다. 오늘날의 기상 및 해양수치모델은 비약적인 발전을 이루었지만, 모델을 평가하고 검증하는 자료는 여전히 부족한 형편이다. 특히 정기적인 관측이 수행되지 않는 황해 중부 지역의 자료는 한반도 기상 및 해양모델의 정확도를 높이는데 크게 기여할 것이다. 셋째는 우리나라 연근해 기후 및 해양환경의 장기변화 연구에 기여할 것이다. 국립수산과학원의 정선관측은 50년 이상 유지되면서 한반도 주변 해역의 해양변동을 이해하는데 크게 공헌하였다. 이에 상응하는 짧은 주기의 관측자료와 빅데이터 분석은 복잡한 자연현상을 규명하는데 기여할 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 이내비게이션 시스템을 갖춘 연안여객선을 활용하여 해양환경관측을 실시하고 자료를 분석할 수 있는 방안을 제시하였다. IMO에서 시행 예정인 이내비게이션을 위한 한국형 이내비게이션 시스템은 우리나라의 해상통신과 항행 안전을 위한 서비스 기능을 획기적으로 향상시키게 된다. 본 연구에서는 이내비게이션을 개괄하고 우리나라 해양환경 모니터링 현황을 검토하였다. 그리고 이내비게이션 시스템을 갖춘 연안여객선에 적용 가능한 해양관측시스템의 구성 요소를 제안하고, 본 연구에서 제안한 해양관측시스템으로 관측한 자료를 실시간으로 분석하는 해양 빅데이터 분석 기법을 제안하였



다. 본 연구에서 제안한 이내비게이션 활용 해양환경 모니터링은 광역 지역의 장기적인 자료를 저비용으로 획득하는 획기적인 방안이 될 것이다. 그리고 이내비게이션 여객선에서 획득한 자료는 이내비게이션 서비스의 필수적인 콘텐츠를 개발하는데 필요할 뿐만 아니라, 한국형 이내비게이션 시스템의 소형선박 최적안전지원서비스를 제공하는데 필수적이라고 본다.

## 사 사

이 논문은 2016년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(IMO 차세대 해양안전 종합관리체계 기술개발)이며, 해양수산부의 하구역종합관리시스템 개발연구의 지원을 받았다.

## 참고문헌(References)

- An, K., 2015. A Study on the Improvement of Maritime Traffic Management by Introducing e-Navigation, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, **21**(2): 164-170.
- An, K., 2016. E-Navigation Services for Non-SOLAS Ships, *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, **4**: 13-22.
- Beyer, M.A. and D. Laney, 2012. The importance of big data: A definition, Stamford, CT: Gartner.
- Buijsman, M.C. and H. Ridderinkhof, 2007. Long-term Ferry-ADCP Observations of Tidal Currents in the Marsdiep Inlet, *Journal of Sea Research*, **57**(4): 237-256.
- Davies, M.M. and M.J. van der Laan, 2016. Optimal Spatial Prediction Using Ensemble Machine Learning, *The International Journal of Biostatistics*, **12**(1): 179-201.
- Emery, W.J., K. Cherkauer, B. Shannon and R.W. Reynolds, Hull-Mounted Sea Surface Temperatures from Ships of Opportunity, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **14**(5): 1237-1251.
- Hahn, S.-B., 1992. Hydrographic Observations aroundnear Korean Peninsula: Past, Present, and Future, *The Journal of the Oceanographic Society of Korea*, **27**(4): 332-341.
- Hanawa, K., Y. Yoshikawa and T. Taneda, 1996. TOLEX-ADCP monitoring, *Geophysical Research Letters*, **23**(18): 2429-2432.
- Hsieh, W.W. and B. Tang, 1998. Applying Neural Network Models to Prediction and Data Analysis in Meteorology and Oceanography, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**(9): 1855-1870.
- IMO, 2017. International Maritime Organization, Draft E-Navigation Strategy Implementation Plan, website accessed: 19 Apr., 2017, <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Documents/enavigation/SIP.pdf>.
- IMOKorea, 2017. International Maritime Organization Korea, Background and Purposes, website accessed: 19 Apr., 2017, <http://imokorea.org>.
- Jeong, H.-D., S.-W. Kim, J.-W. Lim, Y.-K. Choi and J.-W. Park, 2013. Time-Series Variation of Sea Surface Salinity in the Southwestern East Sea, *The Sea*, **18**(4): 163-177.
- Kang, W.-S., J.-D. Park, I.-S. Cho and D.-H. Kim, 2015. A Study on Conceptual Design for Optimum Safety Routing System at the Coastal Sea Area, *Ship Safety*, **38**: 32-42.
- Kent, E.C., S.D. Woodruff, and D.I. Berry, 2007, Metadata from WMO Publication No. 47 and an Assessment of Voluntary Observing Ship Observation Height in IOADS, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **24**: 214-234.
- Kent, E., G. Ball, D. Berry, J. Fletcher, A. Hall, S. North, and S. Woodruff, 2010, The voluntary observing ship scheme. In: Hall, J., D.E. Harrison and D. Stammer, (Eds.), *Ocean Obs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society*. ESA Publication WPP-306, Italy.



- Kim, D. W. and H.-K. Kim, 2004, Point Collocation Method Based on the FMLSrk Approximation for Electromagnetic Field Analysis, *IEEE Transactions on Magnetics*, **40**(2): 1029-1032.
- Kim, T.-H., J.-H. Yang, S.-K. Jung, W.-W. Park and J.-C. Nam, 2002. Meteorological Observation of Pusan Harbor using Automatic Weather Monitoring System, *Korea Association of Earth Science Spring Meeting*, **22**: 43-43.
- Kim, Y.-T., H.-Y. Yu, H.-K. Kim, M.-Y. Park, H.-J. Lee, J.-J. Lee and H.-Y. Park, 2010. Increase of Seawater Temperature and Sea-Level in Southern Sea of Korea, *Korea Association of Ocean Science and Technology Spring Meeting*, 77-78.
- Korean Maritime Safety Tribunal(KMST), 2008-2014. Investigation report of Maritime Safety Judgement.
- Korean Shippers Association, 2016. State of Coastal Ferry Company, Shinkwang Press, 132.
- Lee, K.-I. and J.-H. Park, 2013. e-Navigation and Ship ICT, *Information and Communication*, **30**(10): 46-62.
- Lim, C.-H. and T.-D. Kim, 2008. Status of m-GEOSS based on National Oceanographic Observation System, *Journal of Korea Water Resources Association*, **41**(12):74-79.
- Liu, Y., M. Qiu, C. Liu and Z. Guo, 2017. Big data challenges in ocean observation: a survey, *Personal and Ubiquitous Computing*, **21**: 55-65.
- Park, B.-S., I.-K. Kang, S.-J. Ham, C.-W. Park, S.-H. Kim and H.-K. Cho, 2016. The Main Factor and Counterplan for Marine Casualties of Fishing Vessel According to the Type of Fishing Gear in Korea, *Journal of Korean Society of Fishing Technology*, **52**(3): 232-240.
- Park, I.-W. and S.-K. Kuk, 2012. Development of Marine Meteorological Service System using Marine Transportation in Yesu Area, *Korean Institute of Navigation and Port Research Fall Meeting*, 393-396.
- Schloesser, F., P. Cornillon, K. Donohue, B. Boussidi and E. Iskin, 2016, Evaluation of Thermosalinograph and VIIRS Data for the Characterization of Near-Surface Temperature Fields, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **33**(9): 1843-1858.
- Schofield, O., S. Glenn, J. Orcutt, M. Arrott, M. Meisinger, A. Gangopadhyay, W. Brown, R. Signell, M. Moline, Y. Chao, S. Chien, D. Thompson, A. Balasuriya, P. Lermusiaux and M. Oliver, 2010. Automated sensor network to advance ocean science, *EOS*, **91**(39): 345-346.
- Takikawa, T., J.-H. Yoon and K.-D. Cho, 2005. The Tsushima Warm Current through Tsushima Straits Estimated from Ferryboat ADCP Data, *Journal of Physical Oceanography*, **35**(6): 1154-1168.