Article

KOGA 기획과 활용연구

신창웅^{1*} · 박광순¹ · 노영재² · 장경일³ · 방익찬⁴ · 문일주⁴ · 김태림⁵ ·
김봉채¹ · 김동선¹ · 김광희¹ · 김기완⁶ · 노태근⁷ · 임관창⁸

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

²충남대학교 자연과학대학 해양환경과학과
(305-764) 대전광역시 유성구 대학로 79

³서울대학교 자연과학대학 지구환경과학부/해양연구소
(151-742) 서울특별시 관악구 관악로 599

⁴제주대학교 해양과학대학 지구해양과학과
(690-756) 제주특별자치도 제주시 제주대학로 102

⁵군산대학교 해양과학대학 해양건설공학과
(573-701) 전북 군산시 대학로 1170

⁶오토닉스
(140-848) 서울특별시 용산구 원효로3가 46-1

⁷부산대학교 자연과학대학 해양연구소/해양시스템과학과
(609-735) 부산시 금정구 장전동 산 30

⁸국립해양조사원 해양과
(400-800) 인천광역시 중구 서해로 195

Planning and Application of the Korea Ocean Gate Array (KOGA)
Program

Chang-Woong Shin^{1*}, Kwang-Soon Park¹, Young-Jae Rho², Kyung-Il Chang³, Ig-Chan Pang⁴,
Il-Ju Moon⁴, Tae-Lim Kim⁵, Bong-Chae Kim¹, Dong-Sun Kim¹, Kwang-Hee Kim¹,
Ki-Wan Kim⁶, TaeKeun Rho⁷, and Kwan-Chang Lim⁸

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

²Department of Oceanography & Ocean Environmental Sciences, College of Natural Sciences
Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

³School of Earth and Environmental Sciences/Research Institute of Oceanography, College of Natural Sciences
Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

⁴Department of Earth and Marine Sciences College of Ocean Science
Cheju National University, Jejudo 690-756, Korea

⁵Department of Coastal Construction Engineering, College of Ocean Science and Engineering
Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

⁶OTRONIX Co. Ltd.,
Seoul 140-848, Korea

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

⁷*Marine Research Institute/Department of Oceanography, College of Natural Sciences
Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

⁸*Oceanographic Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Administration
Incheon 400-800, Korea*

Abstract : In late 2010, the Korea Hydrographic and Oceanographic Administration proposed a national monitoring project involving the deployment of 8 realtime ocean data buoys. The area occupied by the buoy-array, located south of the Jeodo Ocean Research Station, can be regarded as a kind of gateway to Korean waters with respect to warm currents and the shipping industry. The acronym for the project, KOGA (Korea Ocean Gate Array) was derived from this aspect. To ensure the success of the project, international cooperation with the neighboring countries of China and Japan is highly desirable. Once KOGA is successfully launched and the moored buoys start to produce data, the data will be applied to various areas such as data assimilation for operational oceanography, circulation dynamics, biogeochemical studies, satellite observations, and air-sea interactions. The aim of this paper is to provide suggestions for KOGA planning and applications.

Key words : Korea Ocean Gate Array (KOGA), data buoy, East China Sea, Monitoring, operational oceanography

1. 서 론

Korea Ocean Gate Array(KOGA) 계획은 국립해양조사원에서 국가 관할해역(외해) 관측망 구성 계획에 따라 우리나라 관할해역 최남단에 설치하는 8개의 해양관측부이 배열이다(Fig. 1). 계획된 위치는 대략적으로 30°30'~32°00'N, 125°00'~127°00'E이다. 이 해역은 우리나라 선박이 태평양으로 나갈 때 통과하는 문과 같은 영역이다. 따라서 KOGA 설치 해역은 우리나라로서는 수출입 물동량의 99% 이상이 이곳을 통하여(류 1997) 이루어지는 매우 중요한 해역이다.

그 뿐만 아니라 동중국해에서 KOGA가 설치되는 해역은 우리나라에 피해를 주는 태풍의 길목이다. 태풍이 우리나라에 접근하기 전에 그 특성을 정확히 알고 예측하는 것은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 따라서 이어도 과학기지과 더불어 KOGA에서 해양 및 기상 자료를 생산해 낸다면 우리나라에 영향을 주는 태풍을 사전에 예측하는데 큰 도움을 받을 수 있을 것이다(문 등 2007, 2010).

전 세계는 지구온난화에 따른 기후변화에 의해 환경이 어떻게 변할 것인가에 관심이 모아졌다. 우리나라 주변해역은 전 세계 평균 해양의 해표면 수온 상승률보다 더 높은 수온상승률을 기록하고 있다(Jung 2008). 한반도 주변의 바다는 서태평양 아열대 해역에서 발원하는 쿠로시오로부터 분지된 대마난류의 영향을 받는다. 대마난류는 KOGA 설치해역 주변을 지나 황해와 동해로 유입된다. 따라서 기후변화에 따른 우리나라 주변 해양의 변화 원인을 파악하기 위해서는 KOGA 설치 해역에서 장기간의 해

양, 기상 관측을 지속적으로 수행하여야 할 필요가 있다.

우리나라 연안의 장기 해수면 변화를 보면 서해안이나 남해안보다 제주도주변에서 해수면 상승률이 2배 이상 크게 나타나는데(Jeon 2008) 아직 그 원인을 밝히지는 못하였다. 해수면 상승률이 유독 제주 부근에서 높게 나타나는 원인을 밝히기 위해서는 제주 주변 바다에 영향을 주는 쿠로시오에서 분지되는 대마난류를 지속적으로 관찰해야 한다. KOGA를 적절히 활용하면 이러한 해수면상승률을 밝히는 단서를 찾아 낼 수 있을 것이다.

해양을 이해하고 후세에 물려줄 자산으로 보전하며, 유용하게 활용하기 위해서는 관측을 통하여 해양현상을 파악하고 그 현상을 모델로 재현할 수 있어야 한다. 더 나아가 기상처럼 해양을 예보하기 위해서는 관측을 계속적으로 수행하여 현재 상태를 분석하고 이를 기반으로 자료동화 과정을 거쳐야 한다. 그런 의미에서 KOGA에서 관측되는 자료는 우리나라 주변 해역 해양예보에 꼭 필요한 요소가 될 것이다.

따라서 KOGA는 우리나라에 영향을 주는 태풍과 동중국해 순환연구에 필수적이며 실시간으로 자료가 생산되면 자료동화와 해상수송로 정보로 중요한 역할을 하게 될 것이다. 그러나 KOGA 설치해역은 한중일 3국의 해상경계 협정이 체결되지 않은 해역이며 중국에서 주장하는 배타적경제수역에 포함되어 있어 독자적으로 추진하게 되면 문제의 소지가 있을 수 있다. 또한 KOGA 설치 예상해역은 중국어선이 활발하게 조업하는 동중국해 대륙붕으로써 부이 유실이 우려된다.

본 논문에서는 앞으로 설치될 KOGA의 설치 위치, 관

Table 1. Data buoy observation programs

관측프로그램	주관기관	관측항목	비고
국가해양관측망 (http://marine.mltm.go.kr/USR/WPGE0201/m_19237/DTL.jsp)	국립해양조사원, 기상청, 국립수산과학원, 한국석유공사, 한국해양연구원	조석, 수온, 파랑, 해류 및 해상기상	2010년까지 91개소 예정 해양관측기지, 해양관측소(항로 표지 및 돌핀부두), 관측부이(해 양기상 및 해일), 조위관측소 등
실시간어장정보시스템(http://portal.nfrdi.re.kr/risa/subpage/index.jsp)	국립수산과학원	양식장의 해양환경 정보 (수온, 염분, 용존산소)	2009년 현재 27개 관측소 운영 중(Fig. 2, 3)
TAO/TRITON array (http://www.pmel.noaa.gov/tao/)	NOAA/JAMSTEC	해양기상, 수온, 염분, 유속	NOAA: 55개 JAMSTEC: 12개
OOI (Ocean Observatories Initiative) (http://oceanobservatories.org/)	Consortium for Ocean Leadership(WHOI, OSU, SIO, UW, UCSD)	물리, 화학, 생물, 지질, 공학	전지구, 지역, 연안 스케일로 나누어 설치 예정

측 장비 및 항목 등에 대한 제언과 KOGA에서 안정적으로 자료가 생산되면 그 자료를 활용한 연구 가능 주제에 대한 필요성을 살펴보고자 한다.

2. 국내외 관측부이 프로그램

부이를 이용한 관측 프로그램의 국내외 동향은 실시간으로 자료를 전송하여 처리 후 서비스 및 연구를 위하여 저장하는 개념이다(Table 1). 국내에는 국가해양관측망과 실시간어장정보서비스가 대표적이다. 국제적으로는 부이를 이용한 관측에서 가장 성공적인 열대태평양의 TAO/TRITON array 프로그램이 있다. 현재 미국에서 계획 및 설치 중인 OOI 프로그램은 부이를 비롯하여 다양한 형태로 관측하고 자료를 종합하는 프로그램이다. 그 외에도 많은 국가에서 해양관측부이를 운용하고 있다.

3. KOGA 설계

설치 위치

KOGA 부이를 설치할 위치는 매우 중요하다. 위치에 따라 원하는 자료가 생산될 수도 있고 아닐 수도 있기 때문이다. 또한 설치하고자 하는 해역은 한중일 3국이 서로 영유권을 주장하는 곳이기 때문에 면밀히 검토하여 설치 위치를 정하여야 한다. 만일 중간선을 넘어 일본이나 중국 해역에 설치될 경우는 상대국에 6개월 전에 해양조사계획을 제출하여 일본에는 동의, 중국에는 허가를 얻어야 한다. 중간선 안쪽에 설치한다고 하여도 경계획정이 이루어지지 않은 해역이므로 주변국을 설득하여 한중일 3국의 해양협력을 이끌어 나갈 필요가 있다. 특히 중국 외교부는 2006년 9월 이어도에 대한 한국의 관할권을 인정할 수 없다는 공식성명을 내기도 하여 특별한 주의가 필요하다. 따라서 KOGA 부이에서 획득되는 자료는 한중일 3국이 공

동으로 필요하다는 인식을 공유할 필요가 있다.

KOGA를 한 해역에 집중하여 설치하는 방안은 국립해양조사원의 초기 계획안이다(Fig. 1). 이것은 부이가 한 곳에 집중하여 있으므로 그 해역에 대한 해양 환경을 비교적 정밀하게 관측할 수 있다. 가까운 거리에 집중하여 있으므로 관리하는데 시간이 더 적게 소모될 수 있다. 그러나 이어도 남쪽에 부이를 집중 배치하면 우리나라 주변해역에 영향을 주는 대마난류에 대한 수송량을 잘 관측할 수 없는 단점이 있다. 이것을 보완하기 위하여 부이 여례이를 두 개의 해역으로 나누는 방안이 있다(Fig. 4). 부이의 위치는 해류자료로부터 계산된 대마난류의 수송량과 해수면과의 상관관계를 도출하고, 장기적으로 축적되고 연속적으로 측정되는 해면고도자료로부터 대마난류 수송량의 장기변동과 모니터링이 가능하도록 하기 위해서 위성 트랙에 맞춰서 설계하였다. 또한 각 Cluster의 4대의 해양부이는 해류 방향에 평행한 방향과 수직인 방향의 역학적 고찰이 가능하도록 해양부이를 배열한 것이다.

Cluster I(해양부이 4대)은 조류가 우세하고 해류가 미약하며, 황해냉수와 쿠로시오 지류 난수역의 경계이고, 연간 해양-대기 순 열 플럭스가 음수이며 이러한 플럭스가 주로 해양-대기 상호작용에 의해 결정되는 해역이다. 또한 여름철에는 양자강 회석수 영향을 받는 곳이다. Cluster II(해양부이 4대)는 제주도과 일본 구주사이의 대마난류 통과역으로 해류에 의한 영향이 상대적으로 크고, 연간 해양-대기 순 열 플럭스가 외해 해류에 의한 열 수송 영향이 있는 해역이다. Cluster I 보다는 양자강회석수 영향이 적은 해역이다.

관측부이 및 계류 시스템

일반적으로 해양관측부이 시스템은 부이, 자료 획득, 표출 등 세부분으로 구성되어 있다. 해양 부이에서 측정된 원시자료는 무선 통신으로 육상 기지에 전달된다. 전달된

Fig. 1. Map for location of KOGA and observation net of KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Administration).

Fig. 2. Location map of TAO/TRITON buoy.

Fig. 3. Typical type of TAO buoy mooring system.

자료는 자료 질 검정을 거친 후 사용자에게 제공되며 데이터베이스에 저장한다.

Fig. 4. A proposed clusters of KOGA buoy array on the JASON track.

계류시스템은 관측 자료를 실시간으로 전송하고 대기 관측을 위해 표층에 부이를 계류하며 이 부이를 통하여 무선통신이 가능하게 된다. 계류 부이 시스템은 부이본체, 계류 라인, 앵커로 구성되어 있다.

부이 본체는 크기와 형태가 다양하며 설치위치, 측정항목의 특성, 이용할 선박의 규모에 따라 결정한다. 크기는

Fig. 5. Packing and mooring schematics of data buoy system for shallow water.

Table 2. Next generation ATLAS buoy mooring sensors (Atmosphere)

Measurement	Manufacturer: Model #	Resolution	Range	Accuracy
Wind speed	R. M. Young: 05103	0.2 m s^{-1}	$1\text{--}20 \text{ m s}^{-1}$ ($0.4\text{--}36 \text{ m s}^{-1}$)	0.3 m s^{-1} or 3%
Wind direction	R. M. Young: 05103	1.4°	$0\text{--}355^\circ$	$5^\circ\text{--}7.8^\circ$
	E.G. and G. 63764 or KVH LP101-5	1.4°	$0\text{--}359^\circ$	
Air temperature	Rotronic Instrument Corp.: MP-100	0.01°C	$14\text{--}32^\circ\text{C}$ ($0\text{--}40^\circ\text{C}$)	0.2°C
Relative humidity		0.4%RH realtime 0.02%RH delay mode	55-95%RH (0-100%RH)	2.7%RH
Rainfall	R. M. Young: 50203-34	0.2 mm hr^{-1}	0-50 mm	0.4 mm hr^{-1} on 10 min filtered Data
Downwelling shortwave radiation	Eppler Laboratory: PSP-TAO, Delrin case	0.4 W m^{-2}	$200\text{--}1000 \text{ W m}^{-2}$ ($0\text{--}1600 \text{ W m}^{-2}$)	2%
Downwelling longwave radiation	Eppler Laboratory: PIR-TAO, Delrin case, 3-output (1)	0.1 W m^{-2} 0.03°C	200 W m^{-2} @ 20°C (thermopile only)	1%
Barometric pressure	Paroscientific: MET1-2	0.1 hPa	800-1100 hPa	0.01% of reading

Table 3. Next generation ATLAS buoy mooring sensors (Ocean)

Measurement	Manufacturer: Model #	Resolution	Range	Accuracy
Sea surface and subsurface temperature	PMEL electronics using YSI (Yellow Springs Instruments) thermistor 46006	0.001°C	$6\text{--}32^\circ\text{C}$ ($0\text{--}40^\circ\text{C}$)	0.02°C
Sea surface and subsurface temperature	Sea Bird Electronics: SBE16, SBE37	0.001°C	$1\text{--}31^\circ\text{C}$ ($-5\text{--}35^\circ\text{C}$)	0.003°C
Salinity	Sea Bird Electronics: SBE16 (Seacat)	0.0001 S m^{-1}	$3\text{--}6 \text{ S m}^{-1}$ ($0\text{--}6 \text{ S m}^{-1}$)	0.02 psu
	SBE37 (Microcat)	0.0001 S m^{-1}		
	Sea Bird cell with PMEL electronics	0.002 S m^{-1}		
Water pressure	Paine: 211-30-660-01	0.03 psi	400-800 psi (0-1000 psi)	1.4 psi
Ocean current (profile)	RD Instruments: Narrow band, 150 kHz	0.1 cm s^{-1} 0.006	$(0\text{--}256 \text{ cm s}^{-1})$	5 cm s^{-1} , 2.5°
Ocean current (single point)	SonTek: Argonaut	0.1 cm s^{-1} 0.1°	$(0\text{--}600 \text{ cm s}^{-1})$	5 cm s^{-1} , 5°

1.5 m에서부터 12 m에 이르기까지 다양하다. 부이는 계류 라인 및 부착 장비 등을 달고 표층에 떠 있을 수 있는 부력이 있어야 한다.

계류 라인은 수중에서 측정하는 자료 전송을 위하여 wire rope로 하며 부이크기와 부착되는 장비에 따라 직경을 달리 한다. 바닥에 고정하기 위한 추 또는 닳은 체인에 연결한다. 부이와 관측 장비 회수의 편리를 위해 계류 라인과 체인 사이에 음파분리기(Acoustic Release)를 해저부근에 장착 한다. 연구목적으로 여러 가지 센서를 장착하고 분리하며 실험하기에 편리한 것은 대형 부이 이다. 그러나 정형화된 대기·해양의 자료를 얻기 위해서는 천해용 소형 관측부이를 사용하면 간편하게 계류시스템을 갖출 수 있다.

천해용 소형 관측부이는 미국 Scripps 해양연구소에서 개발한 것으로 다루기에 편리하게 설계되어 있다(Fig. 5). 이 부이의 특징은 해상에 떠있는 부이의 훼손을 막기 위

해 보호막이 있으며, 전원은 배터리로 1년간 유지되도록 설계 되었다. 설치하는 원하는 위치의 수심에 맞게 일체형으로 조립되어 있는 것을 투하하면 자동으로 계류되게 되어 있다.

부이에 부착할 장비는 대기 및 표층해양 관측센서, 위치센서, 전원공급장치, 통신 및 제어장치 등이다. 위치센서는 부이의 위치를 감시하기 위한 GPS와 관측 장비의 방위보정을 위한 Compass로 구성한다. 통신 및 제어기는 관측 자료를 저장하고 무선통신으로 자료를 내보내는 데이터로거, 위성통신기기 등이다. 전원공급 장치는 태양전지판과 배터리 및 충전기로 이루어져 있으며 기타장비로 야간에 부이를 표시하기 위한 signal lantern과 선박충돌방지를 위한 radar 반사기 등이 있다.

대기 측정 장비는 기온, 기압, 습도, 풍향·풍속, 일사량, 강수량 등이다. 해양센서는 층별로 수온과 염분을 측정할 수 있는 CTD, 유속과 유향을 측정하는 ADCP로 구

성 한다. CTD는 계류 라인에 설치하고 ADCP는 부이 하부에 수심에 맞는 주파수를 선택하여 설치한다. 대기·해양 관측 센서는 이미 국제적으로 검증된 TAO ATLAS 부이의 센서 사양을 따르는 것이 좋다(Table 2, 3). 보호 덮개가 있는 소형 부이에서는 풍속측정을 위해 초음파 센서를 사용한다.

그러나 기존의 정형화된 장비만을 가지고는 다양한 연구 자료를 지원할 수 없다. 예를 들어 제주도 주변해역의 해수면 상승이 다른 해역보다 큰 이유를 밝히기 위해 해저에 압력계를 설치하는 것과 동중국해의 이산화탄소 수치를 연구하기 위해 CO₂ 연속측정장치의 설치가 필요하다. 주변해역을 항해하는 선박에 해상상태를 제공하기 위해서는 파고계가 필요하며, 생태계의 변화를 예측하기 위한 질산염연속측정장치를 설치하는 것 역시 고려해볼만하다. 그 외에도 수중잡음, 용존산소, 엽록소 등을 측정하는 장비들을 연구목적으로 설치할 수 있다.

KOGA 부이를 두 개의 Cluster로 나누고, 각 Cluster에 대형부이 1대 소형부이 3대를 설치한다. 대형부이에는 기본적인 대기 및 해양 관측 장비 외에 연구용장비를 장착할 수 있도록 충분한 전원과 공간을 확보한다. 여기에는 해양-대기 플럭스 정량화를 위한 센서를 장착하며, 해저면 용력을 직접 관측하는 tripod를 설치한다. 또한 엽록소, 용존산소, 영양염, 탁도 및 광량 측정이 가능한 센서들을 장착한다. 위성트래크 Cross-over 위치와 플럭스 측정을 위한 대형 부이의 경우 수층 밑도구조의 시계열을 파악하기 위하여 수온과 염분센서를 수직적으로 조밀하게 배열한다. 모든 해양부이 인근에는 해저면 압력을 측정할 수 있는 별도의 bottom-mounted frame을 계류한다.

유지 및 관리

부이에 장착되어 있는 장비에 대한 장비 교환주기는 장비에 따라 다르다. 각 장비는 시간에 따라 관측치가 상대적으로 이동하게 된다. 풍향, 풍속, 기온, 기압 등의 센서들은 비교적 안정성이 높다. 따라서 비교적 안정성이 높은 기상장비는 정기(1년)적으로 보수를 해주면 된다. CTD는 장비 특성상 안정도가 있는데 시간에 따라 센서가 측정하는 값이 이동하게 된다. 일례로 부이에 장착되는 SBE37-IM의 경우 전기전도는 1개월에 0.0003 S/m, 수온 0.002°C가 이동하며 압력은 연간 전체 측정 스케일의 0.05% 이동하게 된다. 또한 ADCP는 표층에 장착된 부착생물에 의하여 트랜스듀서를 주기적으로 청소해 줄 필요가 있다. 따라서 CTD는 계류된 센서를 회수 후 검교정된 센서로 교체하고, 다음 교체를 위하여 검교정해야 하며 ADCP는 주기적으로 청소해야 한다. CTD 검교정을 위해 각 부이에 부착되어 있는 개수만큼 추가로 필요하다.

이미 널리 사용되는 장비의 경우 검교정에 무리가 없으

나 생물화학적 장비는 충격이나 생물부착에 민감하기 때문에 유지관리 주기가 1년은 너무 길 수 있다. 생물화학 센서는 심한 경우 여름에는 1주일 단위로 보수를 해야 할 필요가 발생한다. 장비에 대한 유지관리 이외에도 계류부 시스템 전체에 대한 훼손이 발생할 수도 있다. 이러한 경우 장비가 분리, 파손되어 자료가 전송되지 않을 수도 있고, 계류 라인이 절단되어 다른 위치로 표류할 수도 있다. 따라서 여분의 부이와 장비를 충분히 확보하고 있어야 사고에 대비할 수 있으며 결측을 최소화 할 수 있다. 연구를 위한 관측 장비는 전력소모가 많거나 예민한 부분이 있으므로 실시간으로 관측되는 자료를 보고 수시로 유지관리할 수 있어야 한다.

자료 관리

KOGA에서 실시간으로 관측되는 자료는 위성을 통하여 국립해양조사원에서 관리하는 data server에 저장한다. 실시간으로 관측하기 어려운 분야는 유지보수를 위해 현장에 갔을 때 자료를 받아온다. 수집된 자료는 관련기관과 인터넷에 공개할 자료는 1차 처리를 거쳐 빠른 시간 안에 공개한다. 그러나 관측 자료에는 오차가 발생하고 측정치 자체로는 물리적인 단위를 갖지 않는 것들이 많이 있으므로 이러한 것을 필터링하고 의미를 갖는 단위로 환원하여 2차로 자료를 공개한다. 비공개 자료는 원시자료를 연구자나 관련기관에 바로 넘겨서 처리할 수 있도록 한다. 비공개 자료는 연구자에게 일정기간 사용우선권을 주긴 하지만 그 기간이 지나면 공개하는 것을 원칙으로 한다.

4. KOGA 활용연구

KOGA가 설치되어 안정적으로 자료를 생산한다면 이 자료를 활용한 연구를 다음과 같이 크게 4가지로 분류할 수 있다.

1) 동중국해 해수 및 물질순환 연구

- 대만난류, 대마난류, 양자강 희석수 거동, 황해저층냉수 거동, 전선 연구
- 기후변화에 따른 아열대 해양 변화가 동해 순환에 주는 영향
- 동중국해의 영양염, 일차생산, 해양-대기 이산화탄소 교환 시계열 분석 연구

2) 동중국해 해양-대기 상호작용 연구

- 동중국해 해양-대기 간 플럭스 정량화 및 상호작용 연구
- 해양 이산화탄소 연속관측시스템 구축
- KOGA 자료를 이용한 동중국해 태풍-해양 상호작용 연구

- 3) 파랑 및 해수면 변동 연구
 - 동중국해 내부파에 대한 시공간 특성 연구
 - KOGA array를 이용한 동중국해 해수면 변화 연구
- 4) 기타연구
 - 동중국해 해양잡음 변동성 연구
 - 해저 지진/지진해일 관측

동중국해 해수 및 물질순환 연구

동중국해는 우리나라 주변해역으로 유입되는 해수들이 지나오는 상류에 해당하는 해역으로서, 쿠로시오로부터 분리되어 북상하는 대마난류수, 대만해협을 통과해 북동향하는 대만해류수, 여름철 남풍에 의해 표층을 따라 동진하는 양자강저염수, 여름철에 저층을 따라 남하하는 황해저층냉수들이 어떻게 변화하며 흐르느냐에 따라 우리나라 주변해역의 해황이 결정된다고 볼 수 있다. 그러므로 동중국해의 해수순환을 파악하는 것은 매우 중요하다.

그러나 지금까지 동중국해의 해수순환을 파악하는 것은 쉽지 않은 과제였다. 가장 큰 이유는 동중국해의 해수순환이 복잡하기 때문이다. 쿠로시오의 해수가 동중국해로 유입되는 것은 확실하지만 오랫동안의 관측과 연구에도 불구하고 어느 해역에서 어떻게 유입되는지는 아직까지 정확하게 모르고 있다. 또한 대마난류가 대만해협을 통해 동중국해로 유입되는 대만해류와 어느 해역에서 어떻게 합류하는지 아니면 서로 평행하게 흐르는지에 대해서도 모른다. 이러한 문제들은 동중국해의 해수순환을 파악하고 나아가 우리나라 주변해역을 보다 세밀하게 이해하기 위하여 필요하다. 더구나 기후변화가 점점 더 중요해지고 있는 상황에서 우리나라 주변해역에 가장 영향을 많이 주고 있는 동중국해를 연구하는 것은 바람직한 상황이다.

KOGA 해역은 동중국해의 해수나 해류들이 모두 지나가는 해역으로 동중국해의 해수순환을 파악하기 위해 필요한 해역이지만 주변국들과 떨어져 있기 때문에 관측이 비교적 소홀했던 해역이다. KOGA 자료를 활용하여 동중국해 순환을 이해하기 위한 연구주제를 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 대만난류의 이해: 대만난류는 동중국해와 더 나아가 대만해협의 흐름에 영향을 주는 해류이다. 대만난류의 세기에 따라 쿠로시오에서 유입되는 대만난류의 유량과 경로가 변하고 양자강저염수의 이동과 대만해협을 통과하는 해수들의 특성들이 달라지는 것으로 보인다. KOGA 자료로부터 대만난류의 세기와 특성을 이해하는 것이 목적이다.

(2) 대마난류의 이해: 동중국해의 해수순환에서 가장 중요한 문제는 쿠로시오의 일부 해수들이 어떻게 동중국해로 유입되는가의 문제이다. KOGA 자료는 이에 대한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대하며 이 연구의 목적은

쿠로시오와 대마난류의 관계를 이해하려는 것이다.

(3) 양자강 저염수 이동의 이해: 강수량이 많아지는 여름철 양자강 유출수로 인해 동중국해의 수위가 영향을 받는다. 양자강 저염수는 매년 그 분포가 바뀌는데 이것은 바람이 주된 원인이라는 것이 기존의 연구에서 밝혀졌다. KOGA에서 관측되는 자료를 이용하여 양자강 저염수를 모니터링 하고 이 자료를 바탕으로 동중국해 및 황해에서 양자강저염수 순환 모델을 검증하는 것이 목적이다.

(4) 황해저층냉수의 거동 이해: 성층이 강해지는 여름철 동중국해 및 황해에는 저층에 냉수대가 형성이 된다. 관측되는 냉수대는 해마다 그 분포 양상이 조금씩 바뀌고 있기 때문에 이러한 냉수대의 거동을 모니터링하고 그 원인을 밝혀내는 것이 목적이다. 그러나 KOGA 해역에까지 황해저층냉수가 남하하는지는 확실하지 않으며 이것을 밝히는 것도 좋은 과제가 될 수 있다.

(5) 전선 변화 이해: KOGA 해역에는 여러 해수들이 지나가며 그 해수들 간에 전선이 형성된다. 대양성 난류수와 연안수 간의 전선은 난류수의 유입과 연안수 확장의 결과이며 동중국해와 황해의 해황을 알려주는 지표가 될 수 있다. 또한 양자강저염수의 분포변화는 해저를 따라 동중국해로 유입되는 쿠로시오 해수량과 관계가 있는 것으로 보이며 이들의 관계를 이해하는 것이 연구 목적이다.

기후변화에 따른 아열대 해양변동이 동해 순환에 미치는 영향

동해는 북위 34도에서 46도 동경 128도에서 140도에 위치하고, 서쪽으로 한반도와 동쪽으로 일본열도에 의해 거의 폐쇄된 대륙주변의 연해로서 그 폭은 북태평양의 1/10에 불과하지만, 깊이는 평균 1,500 m로서, 양상 비율이 대양의 그것에 비해 대단히 큰 편으로, 독특한 해수 순환 양상과 수직 운동을 보이며, 지구 기후 변화의 산 실험장(Miniature Ocean)으로 국제사회에 잘 알려져 있는 사실이다(Kim and Kim 1996). 동해는 중위도에 위치하고 있어서 남쪽의 열대해역의 영향과 북쪽의 시베리아 대륙의 영향을 받는 전형적인 아시아 몬순 대에 속하고 있다.

전지구적 기후 변화가 역시 극동 아시아 지역에서도 일어나고 있는데, 아시아 몬순이 기후온난화 과정 속에서 변화하고 있다고 생각된다. 여기서 한반도 주변의 가장 큰 수괴인 동해 또한 기후 변화에 노출되어 있어 해황 변동과 아울러 순환 시스템의 변화가 있을 것으로 예견이 되나, 현재까지 자세한 연구 성과는 불비하다. 그런데, 동해는 남쪽의 쿠로시오로부터 분지되는 대마난류에 의한 열수송과 아울러, 북쪽의 동계 몬순에 따른 열손실에 의해 열균형이 이루어지고 있었으나, 열수송량의 증가와 아울러 약화되는 시베리아 고기압 세력(Gong and Ho 2002)에 의한 열손실의 감소는 동해의 열수지에 있어서 잉여열의

Fig. 6. Flow pattern of Kuroshio and Tsushima Current.

축적이 우려되고 있는 현실이다. 그러나 현재까지 구체적 연구 성과는 미미한 실정이다. 그 이유는 여러 측면에서 찾아야 하나, 동해 전역에 대한 열적 균형에 대한 모니터링 능력의 한계와 대마난류의 유입의 초기 조건에 대한 정보의 부족에서 찾을 수 있다.

우리나라 주변의 해류 시스템은 필연적으로 적도해역의 해류 시스템(북적도 해류, 민다나오 해류, 쿠로시오)과 연계되어 있다(Fig. 6). 지구온난화에 따른 영향은 지역별로 큰 차이를 보이지만, 적도해역의 해양-대기 상호 작용에 중대한 영향을 미쳐서, 동태평양에서 발생하는 엘니뇨-남방진동(ENSO)의 강도와 발생 패턴에 변화를 일으킨다고 이해되고 있다(Cai and Power 2009).

우리나라 주변의 해류는 서태평양 경계류의 하나인 쿠로시오로부터 분지되어 큐슈 남서 해역에서 북상하는 대마난류가 대한해협을 통과하게 되고, 다시 동한난류로 분지하여 북상하게 되는데, 분지하는 위치에 따라 동한난류의 세기 및 열 수송량은 달라질 수 있다. 이후 동해 내에서의 순환 시스템은 대한해협을 통과하게 되는 대마난류의 초기 조건(해수수송량, 열 수송량, 분지 방식)에 따라 대단히 복잡하게 북쪽의 리만/프리모리에 해류 및 북한한류와 상호 작용을 하면서 동해 전체의 순환 양상을 결정하게 되는데, 이는 초기 조건에 따라 달리 발전하는 비선형 역학 시스템의 특징을 따르는 것으로 이해된다.

대한해협을 통과하는 대마난류에 의한 열 수송량의 크기는 동해 내에서의 여러 현상(울릉분지내의 난수성 소용

돌이, 블라디보스토크 주변에서의 중규모 난수성 소용돌이)에 중요한 영향을 미치게 되며, 월동 과정(wintering process)을 통하여 중·저층수가 표층과의 혼합을 통하여 깊은 수심의 각종 영양 염류가 표층으로 유입하게 된다. 이러한 과정을 통하여 봄철에 대단히 높은 1차 생산 해역을 발생시키고(Liu and Chai 2009) 동해 내의 생태계 시스템에 큰 영향을 주게 되어, 궁극적으로는 수산에 이르기까지 연쇄적인 결과를 초래하게 된다(Lee et al. 2009). 이러한 일련의 복잡한 과정을 이해하는 것은 동해의 해양 상태를 이해하고, 나아가 예측하고, 예보하는데 필수적 과업임은 누구도 부인할 수 없을 것이다. 그런데, 이러한 이해의 첫 단추는 앞에서 지적한 쿠로시오로부터 대마난류의 분지 과정에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 동해의 순환 및 기후적 변동의 이해를 위하여 결국, 아열대 해역의 쿠로시오의 거동과 변동 양태를 적도 및 아열대 해역의 변동 특성과 관련하여 이해하는 일이 이제 국내 물리해양학계의 가장 큰 과제가 되고 있다. KOGA를 통한 동중국해의 해황을 아는 것은 동해에 영향을 줄 해류를 사전에 파악할 수 있는 의미를 가진다.

영양염, 일차생산, 해양-대기 이산화탄소 교환 시계열 분석 연구

동중국해는 대륙붕이 잘 발달되어 있어 해양생물자원과 해저자원의 보고이다. 적도지역에서 기원한 고염고온의 난류인 쿠로시오가 통과 할 뿐만 아니라 중국대륙으로부터 유입되는 막대한 양의 담수가 계절적으로 영향을 주는 해역이다. 특히 동중국해 대륙사면 해역은 쿠로시오와 대륙붕수의 혼합이 일어나 물질교환이 활발하며 외양에서 분기되는 대마난류가 한반도 주변해역으로 고온고염의 물을 수송하며 연안에서는 중국대륙으로부터 하천을 통해 유입되는 담수가 한반도 주변해역에 영향을 끼친다.

현재 기후변화에 따른 전 지구적인 규모의 온난화현상은 동중국해지역에서의 쿠로시오 해류의 상대적인 중요성에 영향을 미칠 수 있다. 또한 장강상류지역에 댐건설로 인한 장강 유출수 영향이 변하고 이에 따른 질산염의 유입이 감소될 것으로 예상된다. 따라서 한반도 주변해역의 물리화학적 환경의 변화와 이에 따르는 해양생태계의 변화가 수반될 것으로 추측된다. 이미 한반도 주변해역에서는 수산자원의 변화, 적조현상의 증가, 백화현상 발생, 및 열대해양 생물의 출현등과 같은 해양생태계의 변화가 일어나고 있다. 따라서 한반도 주변해역의 생태계변화의 이해를 위해서 쿠로시오 해류의 변동과 해양생태계의 기저에 위치한 식물플랑크톤의 생체량과 크기별 분포특성의 변동, 그리고 식물플랑크톤의 성장에 가장 중요한 요소 중의 하나인 영양염의 변동 특히 해양에서 제한 요소로 작용하는 질산염의 변동 특성 파악이 중요한 요소이다.

대륙붕지역은 지구온난화의 주된 원인인 이산화탄소를 일시적으로 흡수하는 것으로 알려져 있다. 대륙붕의 이산화탄소 흡수 능력은 해수의 냉각에 의한 용해도 증가에 의한 대륙붕 펌프작용이 일어나는 곳이다. 따라서 지구온난화로 인해 쿠로시오 해류 세기변동에 따른 열염 수지의 변화는 대륙붕지역에서의 이산화탄소 흡수 능력에도 영향을 끼칠 것으로 사료된다. 그러므로 해양표층과 대기에서 이산화탄소 분압의 장기적인 관측도 요구될 뿐만 아니라 수층에서도 이산화탄소 기체관련 인자인 alkalinity와 pH의 장기적인 관측이 필수적이다.

동중국해 해양-대기 간 플럭스 정량화 및 상호작용 연구

동중국해는 계절별로 몬순의 영향을 받으며, 남쪽으로는 열대 해역에서 기원한 쿠로시오 해류의 영향을 받는다. 특히 동중국해는 겨울철 건조한 기단의 영향과 강한 북풍 계열의 바람, 그리고 해양-대기 간 온도차로 인해 대기로의 열손실이 매우 크다. 동중국해에서의 최초로 열교환을 산정한 것은 AMTEX 결과를 이용한 Kondo (1976)의 연구이다. 31년간의 자료를 (주로 COADS 자료) 이용하여 bulk method로 계산한 기후적 해양-대기 열교환의 계절변화는 4월부터 8월말까지는 대기로부터 열을 받는

Fig. 7. Distributions of long term mean latent heat based on climatology data of RA15, NCEP, SOC.

반면에 9월부터 3월까지의 열손실이 일어나며, 겨울철 열손실은 약 320 W/m^2 에 달하고 증발잠열이 열손실의 주요 요인이다(Hirose et al. 1999). 순 열교환은 음의 값을 가지며, 이러한 열의 손실은 쿠로시오가 수송하는 열량과 균형을 이룰 것으로 사료된다.

동중국해는 기존의 연구 결과에서와 같이 해양-대기간 열교환이 계절적으로 큰 변동을 보이며, 이러한 열교환의 연변동도 클 것으로 사료되는 반면에 열교환의 연변동이 나 기후변화에 따른 열교환의 경향을 파악한 연구는 미흡하다. 기후적인 열교환의 정량적인 계산 결과도 연구자마다 다른 자료를 사용한 관계로 차이를 보인다(Hirose et al. 1999).

최근 수치모델을 이용한 동중국해 순환 연구가 활발하며, 이러한 모델의 입력 자료로 NCEP이나 ECMWF와 같은 재분석 자료가 사용되고 있으며, 이러한 재분석 자료는 열교환의 장기 평균된 경향뿐 아니라 열교환의 시간 변동을 함께 제공하므로 모델의 입력 자료로 많이 쓰인다. Fig. 7은 모델의 입력 자료로 많이 사용되는 세 종류의 플릭스 climatology 중 평균 증발잠열의 분포를 나타낸다. 세 가지의 climatology가 모두 유사한 분포를 보이는 반면에 절대 값에 있어서는 큰 차이를 보이고 있다.

해양의 상층과정을 이해하고 보다 정확한 해양순환 모델링을 위해서는 표층 경계조건으로 부과되는 표면 열 및 담수 플릭스 값이 정확도를 가져야 한다. 해양부이에서 실측한 열 플릭스와 이러한 climatology에서 제시하는 플릭스는 해역에 따라 큰 차이를 보이며, 대기로 방출되는 플릭스 성분 중 주된 차이를 보이는 성분은 해역에 따라 다르다. Kuroshio 속류 해역의 경우 순 열교환의 차이는 연중 40 W/m^2 에 달하며, 동 해역에서는 주로 증발잠열이 큰 오차를 보인다.

천해인 동중국해의 수층은 계절에 따라 성층의 변화가 큰 해역이다. 강한 계절풍과 해표면 냉각에 의해 겨울철에는 수층이 수직적으로 균질한 반면, 약한 바람과 해표면 가열 및 담수유입 등으로 인하여 여름철에는 강한 계절적 수온약층이 형성된다. 동중국해에서 이러한 성층의 변화는 생태계와 해수순환 및 양자강 희석수의 거동에 큰 영향을 미칠 것으로 사료되는 반면에, 성층의 계절변화 및 여름철 성층 강도의 변화가 해양-대기간 플릭스 교환과 어떠한 연관이 있는지는 잘 파악되지 않은 상태이다.

동중국해는 쿠로시오와 황해냉수 혹은 연안수간에 전선역이 형성되어 있으며(Hickox et al. 2000), 최근의 연구 결과에서 바람이 세지 않은 봄철에 동중국해 전선역을 따라 강한 바람이 부는 것으로 밝혀졌다(Chen et al. 2003). 이는 해저지형과 해양-대기 상호작용에 의한 것으로 제안되어졌다. 전선역에서의 순환과 혼합은 동중국해 유광대로의 영양염을 공급하는 주요 기작이 되므로 이에 대한

보다 체계적인 관측과 연구가 필요하다.

해양 이산화탄소 연속관측시스템 구축

산업혁명이후 화석연료의 사용으로 대기 중으로 대량으로 방출된 이산화탄소를 포함한 대기 중 온실기체의 농도가 급격히 증가하고 있으며, 이로 인한 지구의 평균기온이 증가하고 있음이 지난 수십 년간 과학계에서 지속적으로 보고되었다. 현재 지구온난화는 과학계를 넘어 인류사회 전반에 걸쳐 지구환경이 당면한 문제로 받아들이며, 전 지구적 차원에서 해결해야 할 과제로 인식하고 있다.

수많은 과학자들의 공동 작업을 통해 기후변화로 인한 지구온난화 정도와 전 지구 규모의 탄소 수지가 새롭게 갱신되고 있으며, 그 결과를 5년 마다 IPCC 보고서를 발간하여 보고하고 있다. IPCC 2007년 보고서에 의하면, 서기 2100년에는 이산화탄소와 같은 온실기체의 온실효과에 의해서만 지구평균 기온이 약 $0.3\sim 6.4^\circ\text{C}$ 가량 상승될 것으로 추정되며 2000~2005년 사이에 인위적으로 방출된 이산화탄소는 약 $7.2\pm 0.3 \text{ PgC/yr}$ 이었으며, 이중 약 30% 가량인 $2.2\pm 0.5 \text{ PgC/yr}$ 이 해양으로 유입되어 대기로부터 제거되는 것으로 보고하였다. 1990년대를 기준으로 총 방출량이 $6.3\pm 0.4 \text{ PgC/yr}$ 이었으며, 해양의 흡수량이 $1.7\pm 0.5 \text{ PgC/yr}$ 이었던 것을 감안하면 십여 년간 총탄소방출량은 약 14% 가량 증가했으며, 해양의 이산화탄소 흡수량은 약 29% 가량 증가 했다.

인간 활동으로 추가 방출된 이산화탄소의 양과 이의 변화는 상대적으로 정확히 알려져 있으나, 해양이나 육상에 의한 이산화탄소의 자연제거 과정에 대해서는 아직까지 완전히 파악되고 있지 않다. 해양은 전 지구 탄소 순환에서 꾸준히 소모원으로 작용하고 있음에는 변함이 없지만 해양내 탄소순환과정의 불확실성으로 인해 이산화탄소 흡수량 추정치는 연구자들에 따라 차이가 많다.

해양에 존재하는 이산화탄소는 다양한 물리, 화학, 생물학적 과정을 통해 해양 내에서 순환한다. 대기 이산화탄소가 해양으로 유입되는 해양-대기 이산화탄소 교환은 해양 표면에서의 기체교환 속도와 대기-해양 간 이산화탄소 농도 차이에 의해 결정된다. 해양 이산화탄소 농도는 해수의 물리적 특성인 수온과 염분, 화학 특성인 총이산화탄소와 알칼리도, 생물 특성인 광합성과 호흡량 등과 같은 복합적인 요인들에 의해 결정된다. 따라서 해양 이산화탄소 연구는 해양 이산화탄소 농도만 관측하는 것이 아니라 이산화탄소 농도에 영향을 미치는 다양한 물리, 화학, 생물학적 요인들에 대해서 관측이 이루어져야 한다.

현재까지 해양에서 이산화탄소 관측은 주로 연구선을 이용하여 수행하였으며, 이런 관측은 이산화탄소의 수평 분포를 파악하는 데는 수월하지만, 시간에 따른 이산화탄소 변화를 파악하는 데는 한계가 있다. 시간에 따른 이산

Fig. 8. Tracks of Typhoon affected to the Korean Peninsula from 1950 to 2007. Red lines are tracks of passing KOGA area. Green dot means Jeodo Ocean Research Station.

화탄소 변화는 대기-해양 이산화탄소 플럭스를 보다 정밀하게 측정하게 할 뿐만 아니라 이산화탄소 농도 변화에 미치는 물리, 화학, 생물학적 요인들을 정확히 파악할 수 있게 한다. 따라서 최근에 미국에서는 관측부이에 이산화탄소 관측장비나 센서를 탑재하여 시간에 따른 이산화탄소 변화를 관측하고 있다. 하지만 우리나라에서는 시간에 따른 이산화탄소 변화에 대한 연구가 거의 수행되지 않아 이에 대한 연구가 시급하다.

동중국해 태풍-해양 상호작용 연구

KOGA는 한반도 상륙 태풍의 길목에 위치한다. 한반도로 향하는 태풍의 대부분은 동중국해를 통과하며, 특히 동중국해의 중심에 위치한 예상 KOGA 지역을 통과한 태풍은 한반도 상륙 태풍의 52%를 차지한다(Fig. 8). 따라서 KOGA에서 관측된 자료는 한반도에 상륙하는 태풍의 특성을 파악하고 예측하는 데 활용될 수 있다.

태풍예측 기술을 향상시키기 위해서는 무엇보다 태풍역내에서 관측된 자료가 필요하다. 특히, 태풍 북상 시에 방재 계획을 세우고 실행하기 위해서는 한반도에 태풍이 상륙하기 최소 하루 전에 태풍예측을 위한 관측자료가 필요하다. 그러나 이 시기에 대부분의 태풍은 먼 해상에 위

Fig 9. A proposed KOGA location on the simulated temperature with data assimilation at 30 m depth in July. There were Kuroshio in the east side of Jeju and Yellow Sea Bottom Cold Water in the other side. Typhoon marks of red and blue represent tracks passing Kuroshio and Yellow Sea Bottom Cold Water, respectively. Yellow X mark and black dots mean Jeodo Ocean Research Station and proposed KOGA locations, respectively. Black dots with yellow mean stations for observing vertical temperature profiles.

치하고 있어 관측 자료를 확보하는 데에 어려움이 많다. KOGA는 태풍이 제주도 서귀포에 도달되기 약 5-7시간, 그리고 한반도 내륙지방에 상륙하기 9-13시간 전에 동중국해에서 태풍정보를 관측하여 예측에 활용할 수 있다.

KOGA는 태풍강도를 결정하는 수온변동을 모니터링할 수 있다. 태풍의 주요 에너지원은 고온의 해수에서 증발에 의해 발생하는 잠열이다. 따라서 태풍의 강도는 이동 경로상의 수온분포에 크게 좌우된다(Moon 2005; Moon and Kwon 2010). 우리나라에 영향을 미치는 태풍은 이동 경로 상에 있는 남해, 황해, 그리고 동중국해를 통과한다. 이 해역에서 수온분포에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 쿠로시오와 황해저층냉수이다. 쿠로시오는 27°C 이상의 고온의 난류로 우리나라로 향하는 태풍이 반드시 통과해야 하는 길목에 위치한다(Fig. 9). 특히, 제주도 동쪽을 통과하여 동해로 진입하는 쿠로시오 지류(대마난류)는 한반도 상륙 시기까지 태풍 강도에 영향을 미칠 수 있다. 황해저층냉수는 황해 중심부에서 제주도 서쪽해역까지 저층에 존재하는 냉수괴이다. 이 수괴는 태풍 통과 시기에 강한 바람에 의한 혼합과 용승작용으로 해수면온도를 쉽게 하

강시키는 원인이 된다(Moon and Kwon 2010). 실제로 제주도 서측해역을 통과해 우리나라에 상륙한 태풍들(Fig. 9 빨간색 표시 태풍)은 대부분 황해저층냉수의 영향을 받아 그 강도가 급격히 떨어졌었다. 따라서 한반도로 향하는 태풍은 제주도를 경계로 어느 쪽으로 북상하느냐에 따라 그 강도는 크게 달라질 수 있다. KOGA 지역은 쿠로시오 난류와 황해저층냉수가 만나는 경계에 위치하고 있어 해양의 수온변동을 모니터링하기에 가장 좋은 장소이다. 특히, 이곳은 계절별로 쿠로시오 난류와 황해저층냉수의 확장 및 축소 등 시공간적인 변동이 심하여 KOGA에서 관측된 수온변동의 시계열 자료는 한반도로 북상하는 태풍의 강도를 예측하는데 유용하게 사용될 수 있다.

KOGA는 태풍과 양자강 저염수의 상호작용 연구에 최적지에 위치해 있다. 최근 상층해양의 수온구조뿐만 아니라 염분구조도 태풍의 강도에 큰 영향을 미칠 수 있음이 알려졌다(Moon and Kim 2010). 한반도에 상륙하는 태풍의 길목에 위치한 양자강 저염수 지역은 수직적으로 염분의 변화가 매우 커 여름철에 강한 성층이 이루어진다. 이 위를 지나는 태풍은 강한 성층으로 인해 수직혼합에 방해를 받으며 그 결과 해수면온도 변화에 영향을 준다. 이렇게 태풍 영역 내에서 변화된 해수면온도는 태풍의 강도에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. KOGA의 염분 관측자

료는 양자강 저염수가 한반도에 상륙하는 태풍의 강도에 얼마나 큰 영향을 미치는 지를 조사하는데 매우 유용하게 사용될 것이다.

동중국해 내부파에 대한 시공간 특성 연구

우리나라 여름철 서해는 다수의 내부파가 SAR 영상을 통하여 관측되고 있다(Fig. 10). 서해의 내부파는 10 m 이상의 진폭을 가지고 있으며 이로 인한 수온 약층의 주기적인 수직 이동은 여름철 서해 물성 관측 시 반드시 고려되어야 한다. 여름철에는 강한 성층으로 상층에 염양염이 고갈되어 있다. 내부파는 염양염이 고갈된 상층에 염양염을 공급하는 중요한 역할을 한다. 또한 내부파는 성층 해양에서 혼합에 중요한 역할을 담당하여 수온염분의 미세구조를 밝히는데 반드시 고려해야 할 사항이다.

위성 단독으로 내부파를 관측하는 것은 공간적인 특성 정보만을 제공하고 현장에서 계류를 통한 관측은 시간적인 정보만을 제공하는 제약이 있다. 따라서 동일한 내부파에 대하여 위성과 현장 관측을 동시에 수행하면 시공간적인 특성을 모두 관측할 수 있다. 내부파의 특성을 이해하면 해양환경을 해석하는데 큰 도움을 받을 수 있다.

우리나라 서해에서 관측한 SAR 영상에서 다수의 내부파가 관측되고 있지만 현장 관측의 부재로 연구에 어려움

(a)

(b)

Fig. 10. (a) Location of Internal wave packets observed off the southwest coast of Korea (Hsu et al. 2000), (b) ERS-2 SAR image of the Yellow Sea off the west coast of Korea acquired on 23 July 1997 (GOA. 2004).

이 있다. Luzon strait와 타이완 인근 해역에서는 이미 1990년대부터 현장 관측과 SAR 영상 관측을 동시에 활용한 연구를 수행하여 오고 있다. 선진국에서 이루어진 내부파 연구에 비하여 상대적으로 우리나라 인근 해역에서의 내부파 연구는 매우 부진한 상태이다. 내부파는 성층 해양에서 외해의 에너지가 연안으로 전파되는 과정에서 대륙붕이나 해저 장애물을 만나면 발생할 수 있다. 따라서 동중국해 대륙붕은 내부파 발생해역으로 생각되며 이 해역에서 우리나라 연안으로 전파된다고 사료된다. 그러므로 KOGA 해역에서 생산되는 자료는 내부파연구에 좋은 결과를 줄 수 있다.

KOGA array를 이용한 동중국해 해수면 변화 연구

제주부근의 장기 조위 관측 자료 분석 결과는 서해안, 동해안 연안역과 비교할 때 해수면 상승률이 2배 이상 크게 나타났다(Fig. 11). 해수면 상승은 수온 상승으로 인한 해수부피의 팽창, 해빙, postglacial-rebound에 의한 지각 운동 및 해류의 변화 등에 기인한다. 그러나 아직 제주에서의 해수면 상승이 우리나라 동해안과 서해안에 비해 높은 원인을 규명하지 못하고 있다.

인공위성 고도자료는 위성이 최초 발사된 이래 지난 15년 동안 해양연구, 운송해양학 분야에서 큰 진전을 이루게 하는데 기여하였으며, 특히 광역에 걸친 표층 해류의 시·공간적 분포를 파악하는데 유용하게 활용이 되었고 최근

에는 심층대류(deep convection) 연구에도 활용되는 등 (Herrmann et al. 2009) 자료의 활용성이 점차 증대하고 있다. 그러나 수심이 얇은 대륙붕과 연안역에서는 조석 및 기상현상의 고도자료 획득 주기보다 짧은 주기 signal에 의한 오류, 연안역에 인접한 해역에서 radiometer 자료의 질 저하 등의 이유로 인하여 천해역이나 연안역에서는 인공위성 고도자료의 활용이 제한적이었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 향후 보다 고정밀도의 sampling이 가능한 인공위성의 사용이 기대되는 반면에 기존에 축적된 자료와 현재 routine하게 획득되는 자료를 적절히 활용하는 방안이 강구되어야 한다.

동중국해 대륙붕 해역은 조류가 강한 반면에 비조석 성분의 해류가 미약하고(<10 cm/s), 활발한 어로활동 등으로 장기적인 광역에 걸친 해류관측이나 모니터링이 쉽지 않으므로, 위성 고도자료로부터 해류 성분을 파악하는 기술 개발이 필요하다. 또한 이러한 정보를 활용하면 수치모델에 자료동화 기법을 사용하여 동중국해 순환 재현과 예측에 있어서도 큰 진전을 볼 수 있을 것이다. 수심이 깊은 동해의 경우 해면고도 자료의 모델로의 동화(assimilation)가 모델 결과의 정확도를 높이는 데 기여한다(Kim et al. 2009).

동중국해 비조석 성분 해류는 tidal rectification, 대만난류와 대마난류에 의한 강제력 및 희석수 유출과 바람에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으나 해류의 수직적인 구조, 경압류와 정압류의 기여 정도, 해저면 마찰의 기여 등에 관한 역학적 이해가 미흡하다. 특히 수심이 얇은 동중국해 대륙붕의 해류에는 지형류와 비지형류가 함께 포함되어 나타날 것으로 예상된다. 해류의 역학을 정량적으로 파악하고 변동성을 규명하기 위해서는 해류 및 해저면 응력 관측과 함께 공간적인 해저면 압력 분포를 파악할 필요가 있다.

동중국해 해양잡음 변동성 연구

해양잡음은 해양음향 환경특성을 나타내는 주요 현상의 하나이다. 주로 해표면상의 바람과 강우, 해변에서 부서지는 파도, 고래류와 어류, 해저지진 활동 및 항행선박 등 다양한 원인에 의해 해양잡음은 발생되고 있다. 해양잡음은 발생원인에 따라 스펙트럼 특성이 상이하다. 따라서 해양잡음의 특성을 파악하여 특정 주파수 대역의 해양잡음을 활용하면 역으로 해표면상의 풍속 및 강우량 등 해양환경을 원격으로 측정할 수 있다. 또한 고래류와 어류 등의 자원분포 및 이동경로를 추정하기 위한 기초자료로 해양잡음은 활용된다. 따라서 우리나라가 동중국해 해양환경을 보호하고 활용하기 위해서는 해양잡음 변동성을 연구할 필요가 있다.

또한 해양잡음은 수중음파를 신호로 다룰 때 신호 대

Fig. 11. Long term trends of sea level rise around the Korean Peninsula (after Jeon 2008).

잡음을 산출하는 데 필요하다. 따라서 해양잡음 자료는 수중음향 장비의 사용범위를 예측할 때와 새로운 수중음향 장비를 개발할 때 기초자료로 사용되고 있다. 그러므로 우리나라가 해양강국으로 발전하는 데 필요한 해양음향 장비를 개발하기 위해서는 반드시 각 해역별 해양잡음 특성을 알아야 한다.

KOGA 해역의 해양잡음은 점차 빈번해지는 동중국해에서의 해저지진 활동을 모니터링하여 지진의 진원지, 크기 및 발생빈도 등 해저지진 특성을 밝히는 데 활용될 수 있다. 그리고 해수중에는 대기중에서와 마찬가지로 다양한 잡음이 존재하는 데 정교한 수중음향 측정기에 의하여 녹음된 바람소리, 빗소리, 파도소리, 고래류와 어류의 다양한 소리 및 선박의 소리 등은 대국민 홍보용 및 교육용으로 사용되어 친해양 의식을 고취할 수 있다. 따라서 동중국해 KOGA 해역에서 해양잡음에 관한 연구는 상기의 여러 가지 의미에서 반드시 이루어져야 한다.

기타 연구

한반도는 비교적 지진 발생이 적은 유라시아판(Eurasian plate) 주변부에 위치하고 있으나, 한반도 동쪽의 유라시아판과 태평양판 경계, 그리고 남쪽의 유라시아판과 필리핀판의 경계에서는 많은 지진이 발생하고 있다. 류큐 트렌치(Ryukyu Trench)를 따라 발생하는 지진의 경우, 필리핀판이 유라시아 대륙판의 하부로 섭입하면서 발생하며 규모 6.5 이상의 대규모 지진이 발생할 수 있다. 이 지역에서 발생하는 대규모 지진의 경우 지진해일을 일으킬 가능성도 크다.

지진/지진해일 발생 후 빠른 시간 내에 그 발생을 탐지하여 파괴력있는 지진과 혹은 해일과의 도착이전에 그 발생 사실을 전파하고 이에 대비할 수 있도록 ‘지진 및 지진해일 조기경보 시스템(Earthquake and Tsunami Early Warning System)’을 구축할 필요가 있다.

우리나라 지진관측 및 통보업무를 담당하고있는 기상청에서는 지진조기경보시스템의 필요성을 인식하고 관련 기획과제를 수행하고 있으나 국내 육상에서 발생하는 지진의 효과적인 감시 및 통보/경보에 그 초점이 맞춰져 있어 해양에서 발생하는 지진, 특히 류큐트렌치 부근에서 발생하는 지진의 효과적인 감시에는 한계가 있다. KOGA에 지진 및 지진해일 관측 기능을 갖추어서 해양에서 발생하는 지진 및 지진해일을 효과적으로 감시하고 이로 인한 피해를 감소시킬 수 있을 것이다.

과거 해양관측은 주로 선박을 이용하여 바다에서 직접 장비를 투입하여 해양특성을 측정하거나 생물이나 지질을 채집하는 것이었다. 그러나 근래에는 첨단장비가 발달하여 바다에서 선박을 운용하지 않고 인공위성으로 해표면 수온·염분뿐만 아니라 해색 등을 측정하여 연구에

응용하고 있다. 그러나 위성에서 관측하는 항목들은 직접 측정하는 것이 아니고 전파를 이용하는 것이므로 그 특성에 맞게 물리적인 단위로 바꿔주는 알고리즘이 필요하다. 이 알고리즘은 전 세계 모든 해양에서 적용되기에는 오차가 크므로 측정하고자 하는 해양에서 기준점을 정하여 보정하는 것이 필요하다. 동중국해 KOGA는 이 역할을 충분히 담당할 수 있는 자료를 생산할 것으로 생각된다.

부이를 해상에서 장기간 운용하기 위해서는 가혹한 환경에서 견딜 수 있으며 장비를 부착하는 방법에 따라서 설계가 달라져야 한다. 또한 부이를 이용하여 파고를 관측하는 경우 실제 파고와 부이에서 측정하는 파고에 차이가 발생할 수 있다. 이러한 부이의 안정성과 파고관측을 정밀하게 하는 등의 부이설계를 연구하는 분야도 KOGA 사업으로 발달할 수 있다.

5. 결 어

본 기획 연구를 통하여 국립해양조사원의 제안에 따른 해양관측부이 어레이(Korea Ocean Gate Array, KOGA)의 위치 선정 검토, 생산될 자료를 활용하여 추가적으로 이어질 해양학적 연구 성과 제고를 위한 안을 고찰한 결과는 다음과 같이 요약된다. KOGA 설치 위치는 한 곳에 집중하는 것 보다는 해양학적인 연구와 활용에 더 많은 도움이 되도록 부이어레이를 2개의 Cluster로 분리한다. 인공위성 트랙을 고려하여 4개의 부이는 이여도과학기지 남쪽에 설치하고 나머지 4개는 제주도과 규슈 사이에 설치하여 대마난류를 모니터링하기에 좋은 위치에 설치한다. 부이는 각 Cluster에 대형부이 1개와 소형부이 3개로 구성한다. 소형부이에는 정형화된 대기 해양관측을 위한 센서를 장착하여 설치와 유지보수를 편리하게 한다. 대형부이에는 연구 실험용 장비를 장착할 수 있도록 공간과 전력을 확보한다. 초기에는 운용해양학에 필수적인 대기 및 해양에 대한 기본적인 항목관측을 위한 장비를 설치하고, 추후에 안정적으로 부이가 운영되면 대형부이에 실험적으로 연구 장비를 추가 장착하여 운영한다. KOGA가 안정적으로 운영 되면 한반도 주변해역 자료동화에 필수적인 요소가 될 것이다. 또한 KOGA에서 생산되는 자료를 활용하여 동중국해 해수 및 물질순환, 대기-해양 상호작용, 풍파 및 해수면 변동 연구, 생지화학 연구 등 많은 분야에 활용 가능할 것으로 예상된다.

사 사

본 연구는 국토해양부 연구개발사업 “운용해양(해양예보)시스템 연구” 사업의 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

- 류상열 (1997) 국토21세기. 나남출판. 628 p
- 문일주, 심재설, 민인기, 최의수 (2007) 이어도 과학기지의 해양 기상학적 중요성. 2007 이어도 연구 학술세미나 논문집, 85-91
- 문일주, 심재설, 이동영, 이재학, 민인기, 임관창 (2010) 이어도 과학기지를 활용한 태풍연구: Part I. 태풍관측의 중요성 및 현황, 대기, 심사중
- Cai W, Power S (2009) El Niño and Climate Change. Report from: International ENSO Workshop held at Greenhouse 2009, Perth, 25-27 March 2009. CSIRO Marine and Atmospheric Research, Aspendale, Australia
- Chen D, Liu WT, Tang W, Wang Z (2003) Air-sea interaction at an oceanic front: Implication for frontogenesis and primary production. *Geophys Res Lett* **30**, doi:10.1029/2003GL017536
- Global Ocean Associates (2004) An atlas of internal solitary-like waves and their properties, Second edition.
- Gong D-Y, Ho C-H (2002) The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia. *Theoretical and Applied Climatology* **72**(1):1-9
- Hermann M, Bouffard J, Beranger K (2009) Monitoring open-ocean convection from space. *Geophys Res Lett* **36**. doi:10.1029/2008GL036422
- Hickox R, Belkin I, Cornillon P, Shan Z (2000) Climatology and seasonal variability of oceanic fronts in the East China, Yellow and Bohai seas from satellite SST data. *Geophys Res Lett*, **27**. doi:10.1029/1999GL011223
- Hirose N, Lee H-C, Yoon J-H (1999) Surface heat flux in the East China Sea and the Yellow Sea. *J Phys Oceanogr* **29**:401-417
- Hsu MK, Liu AK, Liu C (2000) A Study of internal waves in the China Seas and Yellow Sea using SAR. *Continental Shelf Res* **20**:389-410
- Jeon D (2008) Relative sea-level change around the Korean Peninsula. *Ocean and Polar Res* **30**(4):373-378
- Jung S (2008) Spatial variability in long-term changes of climate and oceanographic conditions in Korea. *J Environ Biol* **29**(4):519-529
- Kim YH, Chang K-I, Park JJ, Park SK, Lee S-H, Kim Y-G, Jung KT, Kim K (2009) Comparison between a reanalyzed product by 3-dimensional variational data assimilation technique and observations in the Ulleung Basin of the East/Japan Sea. *J Mar Syst* **78**:249-264
- Kim K-R, Kim K (1996) What is happening in the East Sea (Japan Sea)?: Recent chemical observations from CREAMS 93-96. *J Korean Soc Oceanogr* **31**:164-172
- Kondo J (1976) Heat balance of the East China Sea during the Air Mass Transformation Experiment. *J Meteor Soc Japan* **54**:382-398
- Lee J-Y, Kang D-J, Kim I-N, Rho T, Lee T, Kang C-K, Kim K-R (2009) Spatial and temporal variability in the pelagic ecosystem of the East Sea (Sea of Japan): A review. *J Mar Syst* **78**(2):288-300
- Liu G, Chai F (2009) Seasonal and interannual variation of physical and biological processes during 1994-2001 in the Sea of Japan/East Sea: A three-dimensional physical-biogeochemical modeling study. *J Mar Syst* **78**(2):265-277
- Moon I-J (2005) Impact of a coupled ocean wave- tide-circulation system on coastal modeling. *Ocean Modeling* **8**(3):203-236
- Moon I-J, Kim SH (2010) Impact of river plumes on tropical cyclone intensity. 2010 Ocean Science Meeting, 22-26 February, Portland
- Moon I-J, Kwon SJ (2010) Impact of upper-ocean thermal structure on the intensity of the Korean peninsular landfall typhoons. *Progress in Oceanogr.*, under review

Received Apr. 15, 2010

Revised Jun. 24, 2010

Accepted Aug. 3, 2010