

INFORMATION

동해 기후변동 예측 연구 2002년도 해양관측 계획

장경일* · 석문식 · 유신재 · 김석현
한국해양연구원 해양환경 · 기후연구본부

해양관측의 배경

동해는 수심 2000 m 보다 깊은 세 개의 심해분지로 이루어진 반면에 동중국해, 북태평양 및 오호츠크해 등 동해를 인접한 해역과는 대한해협을 포함하여 수심이 200 m 보다 얇은 4개의 해협으로만 연결되어 있는 관계로 수심 200 m 보다 깊은 곳에 분포하는 동해의 해수는 동해 내에서 형성되고 순환한다. 축소판 해양으로 불리는 동해를 동서로 가로지르는 극전선 남쪽의 난류 수역에서는 대한해협을 통해 동해로 유입되는 대마난류수가 상층을 점유하고 있으며, 극전선 이북의 일본분지에서는 심층수가 형성되어(Seung and Yoon, 1995) 동해 남부로 확장한다. 최근의 연구 결과는 동해의 심층수 수온이 증가하고 용존산소가 감소하는 등 동해가 큰 변화를 겪고 있는 것으로 알려져 있으며(Kim and Kim, 1996; Kim, et al., 1999; Kim, et al., 2001; Minami, et al., 1999), 아직 원인이 규명되지 않았지만 물리, 생지화학적 환경 변화 외에 동물 플랑크톤이나 어족자원의 장기변동 등 동해 생태계의 장기변동 역시 인지되었다(로, 1986; Kang, et al., 2000; Zhang, et al., 2000).

한국해양연구원에서는 동해의 장·단기 기후변동에 관한 이해를 높이고, 향후 기후변동에 따른 해양환경 변화 예측 기술을 개발하기 위하여 2000년도부터 공공기술이사회 지원에 의한 한국해양연구원 기본과제의 일환으로 '동해 기후변동 예측 연구' 사업을 시작하였다. 한국해양연구원에서의 동해 연구는 1980년대 초반으로 거슬러 올라가지만 기후변동에 특별히 초점을 맞춘 연구는 1996년도 수행된 기획연구과제에 기반을 두며(한국해양연구소, 1996) 이후 고해양학 연구가 1995~1998년도에 이루어졌고(한국해양연구소, 1997), 1997~1999년에는 최초로 울릉분지 해역에서 장기 심층해류 관측을 수행한 바 있다(한국해양연구소, 1998). 2000년부터 시작된 기후변동 예측 사업의 연구 내용은 기존의 장기 축적된 자료를 분석하여 생태변수와 해수물성의 장기 변동을 파악하고, 다학제간 해양관측을 통해 물리적 강제력 변동이 생태계와 생지화학 변수의 분포에 미치는 영향을 이해하며, 해양순환 모델과 생태모델을 접합한 복합 모델 개발을 통해 향후의 기후변동 시나리오에 따른 생태계 반응을 이해하는데 있다(한국해양연구소, 2000; 한국해양연구원, 2001).

본 발표에서는 동해 기후변동 예측 연구 사업의 일환으로 2000, 2001년에 걸쳐 수행된 해양관측과 주요 연구결과를 간략히 소개하고 2002년도 실시 예정인 해양관측 계획을 소개하고자 한다.

해양관측의 소개

동해로 유입되는 대마난류는 대한해협 통과 후 한국 동해안을 따라 북상하는 동한난류와 일본 연안을 따른 흐름으로 나뉜다. 동한난류는 37~38°N 근방에서 연안으로부터 멀어지면서 수평적으로 약 100 km의 규모를 갖는 시계방향의 난수성 소용돌이를 형성한다. 울릉분지에 나타나는 난수성 소용돌이는 울릉분지의 해황 변동에 영향을 미치며, 생태계와 생지화학 변수의 시·공간적인 구조에 큰 영향을 미치리라 사료된다. 울릉분지 해역을 대상으로 난수성 소용돌이를 가로지르는 단면과 인공위성 해석자료로부터 생산력이 높으리라 예상되는 해역에서 해수의 물성분포, 영양염 분포 및 엽록소, 동·식물플랑크톤 분포와 난치자어 분포의 상관성을 규명하기 위한 다학제간 해양관측이 2000, 2001년 봄철과 가을철 식물플랑크톤 번성 시기에 맞추어 실시되었다.

Fig. 1은 2001년 4월 난수성 소용돌이를 남북으로 가로지르는 단면에서의 수온과 엽록소 분포(Fig. 1C)를 나타낸다. 엽록소 분포는 CTD에 장착된 형광센서에 의해 기록된 전압을 채수에 의해 측정된 엽록소 값과 비교 후(Fig. 1B) 엽록소 농도로 환산된 값을 이용하였다. 난수성 소용돌이로 인하여 표층으로부터 10.0°C 등온선이 나타나는 수심 약 170 m까지 수직적으로 균질한 층이 관측점 G7부터 G14까지 약 120 km 규모로 나타난다. 소용돌이 중앙부에서는 1.0 µg/l 이상의 높은 표층 엽록소 값을 보이며, 소용돌이가 가장자리에 해당하는 G4~G6과 G14 부근에서는 표층에서의 엽록소 값이 낮게 나타난다. G4 북쪽 소용돌이 내부에서는 대부분의 관측점에서 수심 약 30 m에 엽록소 최대층(subsurface chlorophyll maximum layer: SCM)이 나타나며, SCM에서의 최대 엽록소 값은 2.0~2.5 µg/l로 나타난다. 소용돌이 남쪽의 수평적인 수온전선이 나타나는 G2에서도 표층부터 수심 약 40 m까지 1.0 µg/l 이상 최대 2.0~2.5 µg/l의 높은 엽록소 값을 보이며, 수온구조는 G2를 중심으로 보다 작은 규모의 소용돌이가 존재함을 암시한다. 단면의 가장 북쪽에 위치한 G18에서는 남쪽의 다른 관측점에 비해 수심이 보다 깊은 30~70 m에 걸쳐 SCM층이 강하게 나타난다.

정성적 관측과 병행하여 울릉분지 일원에서 해류계와 침강입자 채취기 계류를 통한 해류 및 침강입자 플럭스 변이 특성 장기관측이 실시중이다. 울릉분지에서 해류계 계류에 의한 심층 해류의 장기관측은 한국해양연구원의 동해 관련 여러 연구사업을 통해 1996년대이래 수행 중이며, 현재의 해류관측은 동해 기후변동 예측 연구 사업의 일환으로 실시 중이다. 최초의 심층해류 관측은 한국해양연구원, 서울대학교 및 미국 우즈홀 연구소가 공동으로 일본분지와 울릉분지의 심해 통로에 해당하는 울릉도와 독도사이 Ulleung Interplain Gap(UG)의 중앙부(EC1)에서 1996년에 실시되었으며, 이 후 현재까지 EC1에서는 수심 400 m 보다 깊은 곳

*Corresponding author: kichang@kordi.re.kr

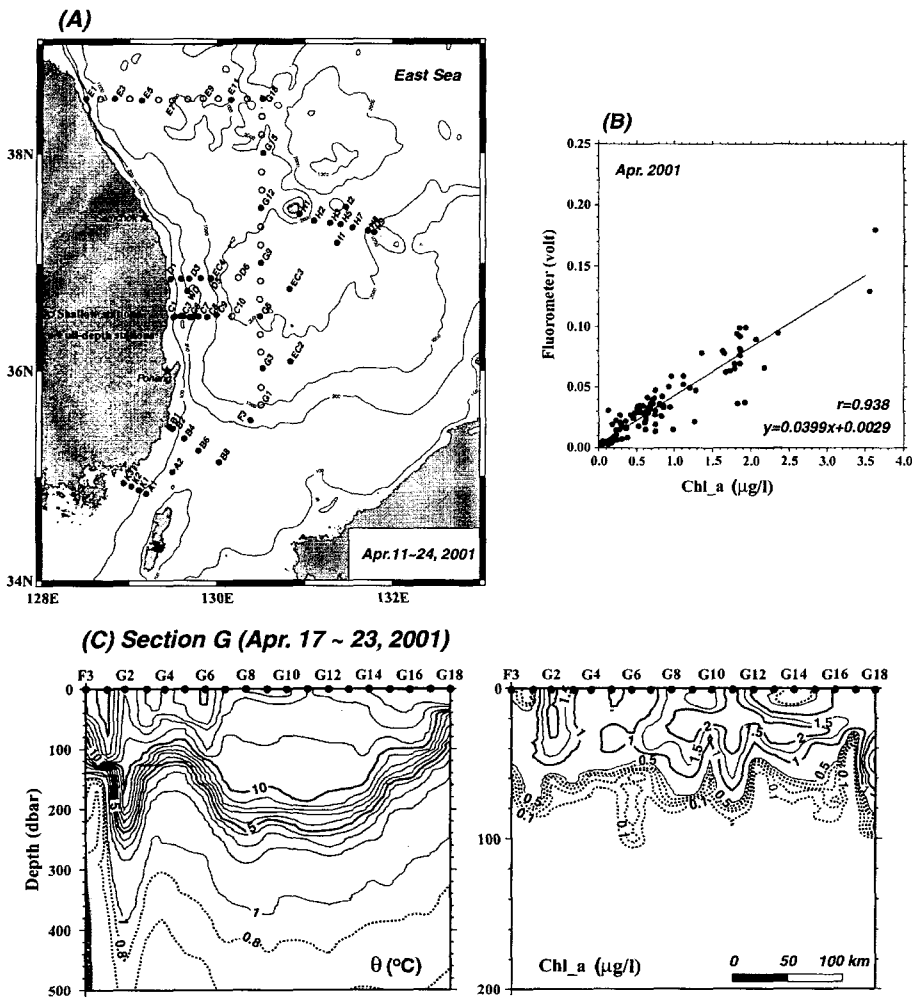


Fig. 1. (A) CTD stations occupied during April 11~24, 2001. (B) Linear regression between in-situ chlorophyll-a concentration ($\mu\text{g/l}$) and chlorophyll fluorescence (V) measured by fluorometer in April, 2001. (C) Vertical sections of potential temperature (left) and chlorophyll-a concentration (right) on a long meridional line in April, 2001. Locations of stations are shown in (A).

에서 해류관측이 계속되고 있고 EC1외에 울릉분지의 3개 위치에서도 1998년 이래 심층해류 관측이 실시 중이다(Fig. 2). 울릉분지의 4개 위치에서 관측 개시 이후 2000년 5월까지 관측된 심층해류의 특성을 살펴보면 EC1에서는 남서향류가 전 기간에 걸쳐 우세하게 나타나고 있어 UIG를 통해 일본분지에서 기원된 심층수가 울릉분지로 유입됨을 알 수 있다(Fig. 3). 한국 동해안 대륙사면에서는 비교적 유속이 강하고 안정적인 남향류가 나타나며, 울릉분지 남쪽과 중앙의 EC2와 EC3에서의 저층류는 EC1이나 EC4에 비해 미약하며 시간변동이 심한 것을 알 수 있다. 4개 위치에서 관측된 심층류의 시간변동은 계절변동이 뚜렷치 않은 반면에 15~40일 규모의 중규모 변동이 우세한 것으로 나타난다.

울릉도-독도 간 UIG 해역은 울릉분지에 출현하는 난수성 소용돌이의 영향을 받는 해역으로 UIG에서의 해류변동은 소용돌이의 움직임 등과 연관될 가능성이 있다. 소용돌이의 존재는 인공위성에 의한 해표면 수온분포(SST)로 용이하게 파악할 수 있지만 구름으로 인하여 시간적으로 균일한 간격으로 UIG에서의 SST 분포를 파악하기에는 한계가 있다. 울릉도-독도사이의 해수면 차이는 UIG에서의 평균적인 표층해류와 연관될 가능성이 있으므로, 이를 이용하여 난수성 소용돌이의 변동과 연관된 표층해류의 변동을 간

접적으로 추정할 수 있다. 울릉도에는 국립해양조사원에서 운영 중인 검조가 있으며, 울릉도-독도간 해수면 차이의 변동을 파악하고 EC1에서의 해류변동과 연관성을 검토하기 위하여 독도에서의 2000년 5월부터 장기적인 해수면 관측이 실시 중이다. 해수면 관측은 독도 동도의 접안시설로부터 약 200 m 떨어진 수심 약 20 m의 수중에 조위계(Water Level Recorder, Aanderaa사)가 안착된 구조물을 설치하여 실시 중이다.

2002년 해양관측 계획

2002년도의 해양관측은 4월이나 5월의 봄철과 가을철인 9월에 실시할 예정이며, 봄철에는 현재 계류중인 해류계 및 침강일자 채취기 계류선의 회수와 재계류를 그리고 가을철 관측은 한-러 공동 조사로서 다학제간 정성관측이 실시될 예정이다.

봄철 해양관측

EC4에서의 심층 해류 관측은 2001년 4월에 중단된 상태며, EC1~EC3에서는 2001년 10월에 계류선 재 설치 후 현재까지 해류관측이 이루어지고 있다. 특히 2001년 10월 EC1 계류 시에는 수심

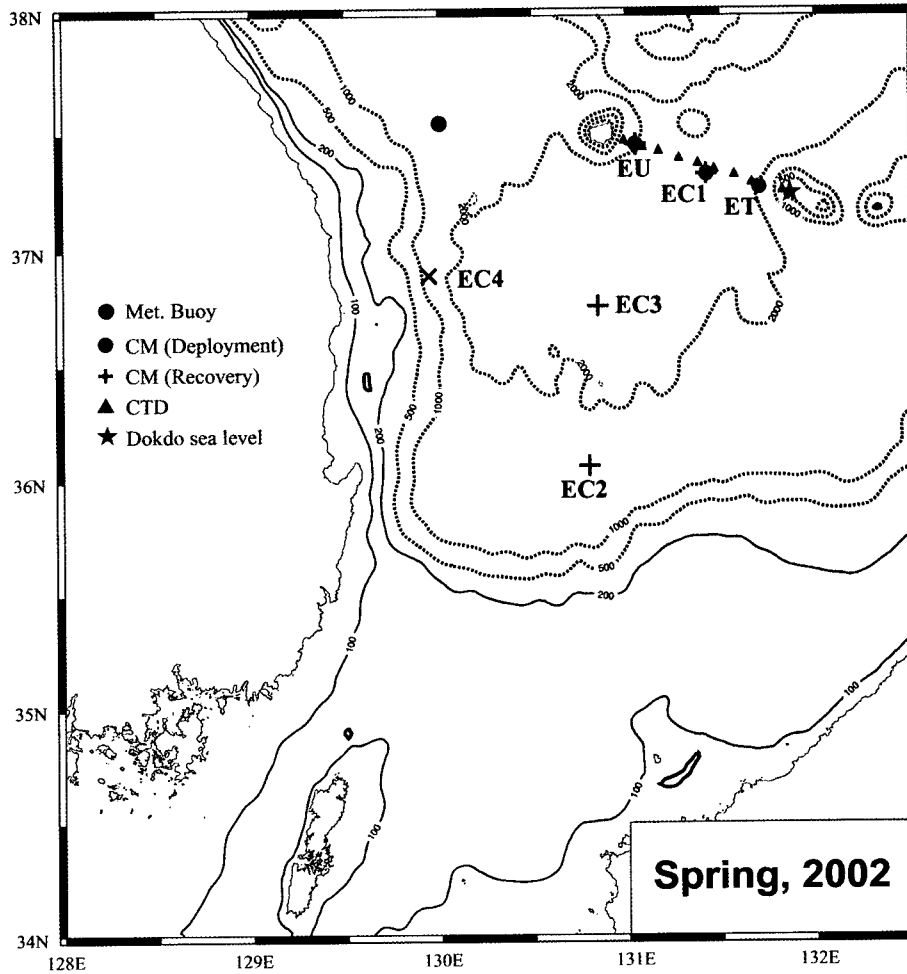


Fig. 2. Locations of currentmeter moorings deployed in 2001 (+), tide-gauge mooring off Dokdo (★), and ocean data buoy of Korea Meteorological Administration (filled green circle). Currentmeter moorings will be re-deployed at three locations (filled red circles) in the Ulleung Interplain Gap between Ulleungdo and Dokdo after the recovery at EC1, EC2, EC3, and EU in spring 2002. Full-depth CTD casts in the UIG (▲) are also planned to make.

400 m 보다 깊은 곳에서의 해류변동과 동시에 상층의 해류변동을 파악하기 위하여 수심 200 m 부근에 초음파유속계(acoustic Doppler current profiler)를 계류선에 부착하였다. 울릉도에 인접한 EU에는 2001년 4월 해저면으로부터 약 20 m 높이에 해류계를 설치하여 현재까지 저층 해류를 관측 중이다. 2002년 봄철에는 EC1, EU, EC2, EC3에서의 계류선을 회수한 후 EC1, EU에는 계류선을 다시 계류하고 독도에 인접한 ET에는 추가로 계류선을 설치할 예정이다. 울릉도-독도간 UIG에서의 3개 위치 계류선 설치의 UIG를 통해 울릉분지로 유입되는 해수의 수송량을 보다 정확히 산정하고, 최근의 수치모델 결과에서 나타난 바와 같이(Hogan and Hurlburt, 2000) UIG의 독도 인접한 부근에 울릉분지에서 유출되는 심층의 북동향류가 존재하는 지를 규명하기 위함이다. 해류계 계류와 병행하여 울릉도-독도간 UIG에서 전 층에 걸친 CTD 관측이 수행될 예정이다. 울릉도-독도간 해류계 계류 및 CTD 관측과 병행하여 2001년 10월에 배터리 등 교체 후 독도 인접 수중에 재설치한 조위계를 회수하여 자료를 획득 후 다시 설치할 예정이다.

현재 기상청에서는 한국 동해안과 울릉도 사이에 해양기상부이를 설치하여 운용중이며, 해양기상부이를 이용한 관측요소는 풍향, 풍속, 기압, 기온 등 기상요소와 표층수온과 해면파 등이다. 기상청과 협의 후 부이 설치 인접해역이나 부이 자체에 해양 상층의 해류 등을 측정할 수 있는 장비를 설치하여 해양 상층에서의 해양 요소를 기상청과 공동으로 관측할 예정이다.

가을철 해양관측

9월에 예정된 가을철 다학제간 관측은 한국해양연구원과 러시아 Pacific Oceanological Institute(POI)가 공동으로 실시하는 한-러 공동조사로서 울릉분지로부터 일본분지에 이르는 중단 관측을 통한 해수의 물성분포와 생지화학변수 및 biomass 분포와의 연관성을 파악하는데 목적이 있다. 이를 위해 Fig. 4에 표시된 정선을 따라 CTD에 의한 해수특성 관측과, FRRF, HYDRORAD, HYDROSCAT, SAFIRE를 이용한 광학관측, 수층별 채수를 통한 용존산소, 엽록소, 일차생산 및 동·식물플랑크톤 분석과 네트를 이용한 동·식물플

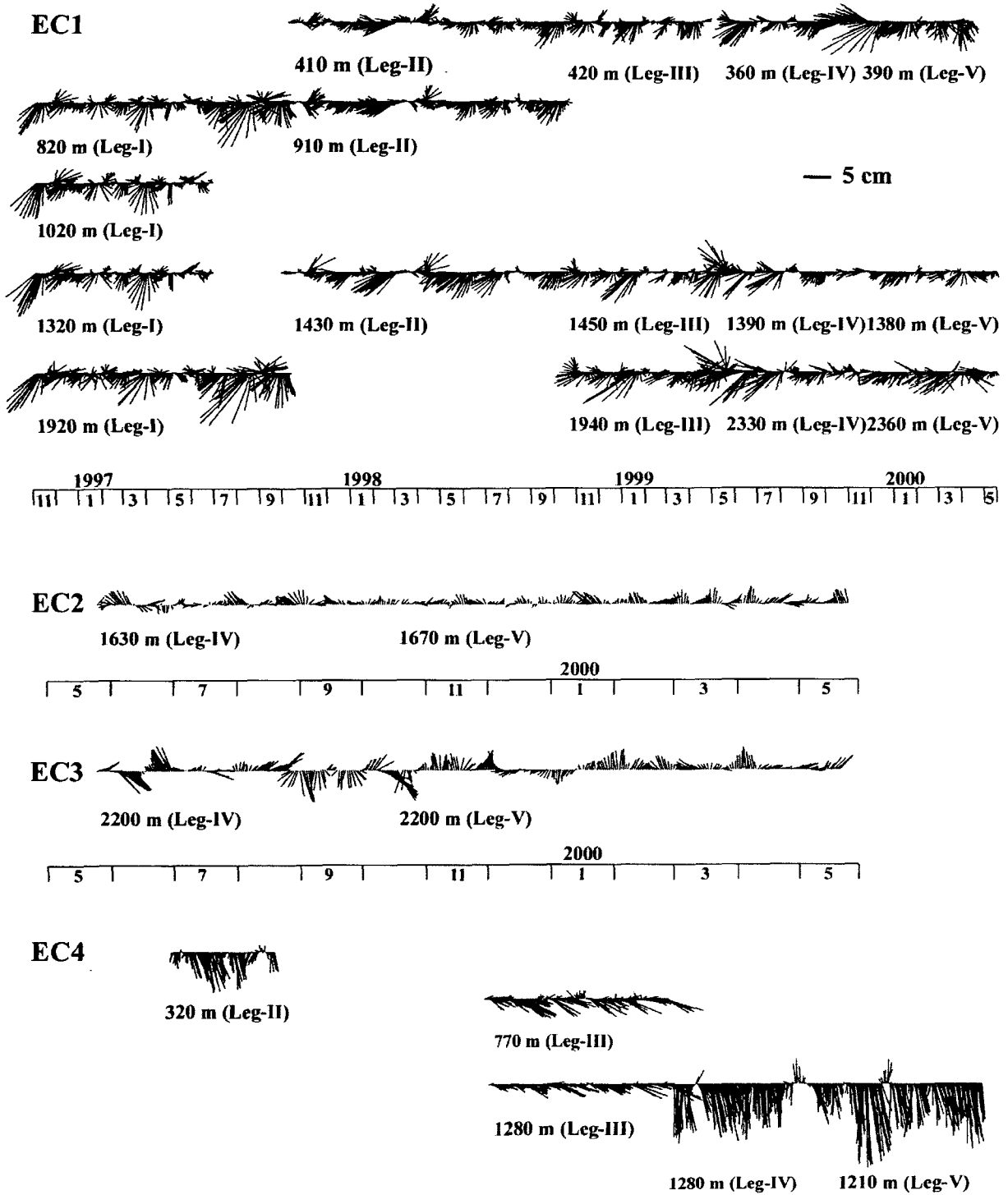


Fig. 3. Vector time series of low-pass filtered currents at moorings EC1, EC2, EC3, and EC4. Mooring locations are shown in Fig. 2.

랑크톤, 어란과 자치어 채집이 이루어 질 예정이다. 또한 울릉분지와 일본분지의 해류 및 침강입자 플럭스 변동 양상을 동시적으로

비교하기 위하여 일본분지 남서 해역에 1개의 계류선을 설치할 예정이다.

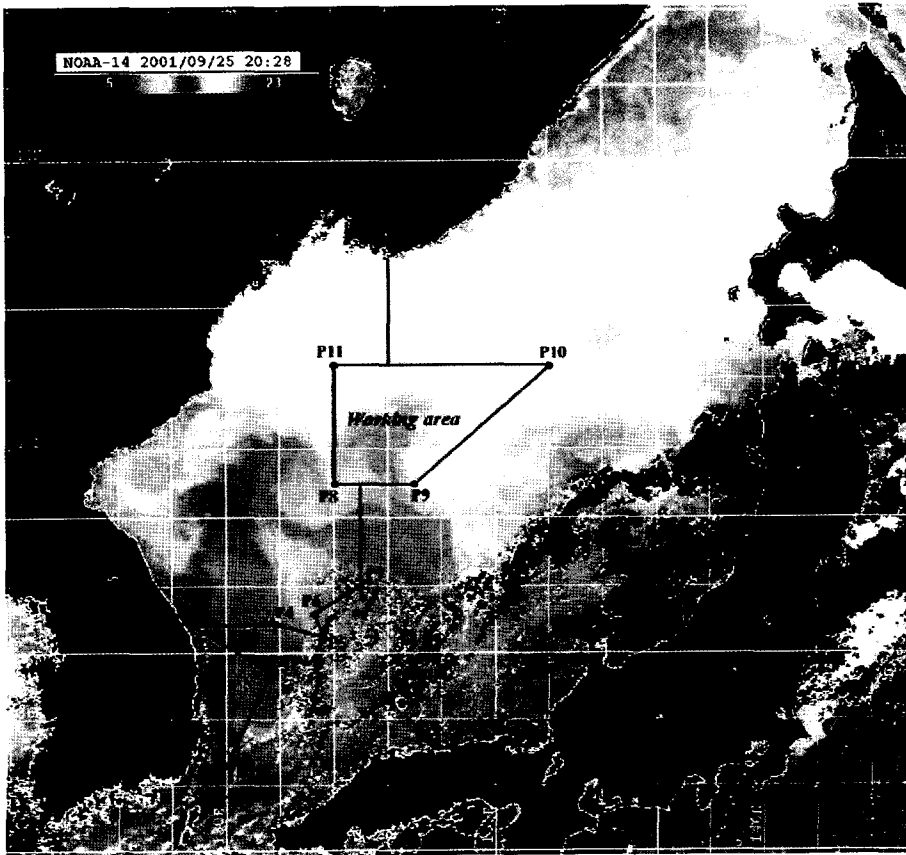


Fig. 4. Hydrographic lines and meso-scale survey area scheduled in autumn 2002 through a joint Korea-Russia expedition.

참고문헌

로춘봉, 1986. 곱추송어의 성장과 수량변동 경향에 대한 연구. 수산과학기술 논문집. 공업출판사, 평양, 110-117.

한국해양연구소, 1996. 동해종합연구기획. 한국해양연구소, BSPK00026-928-1.

한국해양연구소, 1997. 동해분지의 해양환경 변화와 지구조 진화 연구(1차년도). 한국해양연구소, BSPE97605-00-1037-5.

한국해양연구소, 1998. 동해의 분지간 해수교환의 시·공간적 변동성 연구. 한국해양연구소, BSPE98710-00-1125-1.

한국해양연구소, 1999. 동해 기후변동 예측과 진화 연구. 한국해양연구소, BSPE00783-00-1306-1.

한국해양연구원, 2000. 동해 기후변동 예측 연구. 한국해양연구원, BSPE817-00-1396-1.

Hogan, P.J. and H.E. Hurlburt, 2000. Impact of upper ocean-topography coupling and isopycnal outcropping in Japan/East Sea models with 1/8° to 1/64° resolution. *J. Physical Oceanogr.*, **30**: 2535-2561.

Kang, S.K., S. Kim and S.-W. Bae, 2000. Changes in ecosystem components induced by climate variability off the eastern coast of

the Korean Peninsula during 1960-1990. *Progress in Oceanography*, **47**: 205-222.

Kim, K., K.-R. Kim, D.-H. Min, Y. Volkov, J.-H. Yoon and M. Takematsu, 2001. Warming and structural changes in the East (Japan) Sea: A clue to future changes in global oceans? *Geophysical Research Letters*, **28**: 329-3296.

Kim, K.-R. and K. Kim, 1996. What is happening in the East Sea (Japan Sea)? Recent chemical observation during CREAMS 93-96. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **31**: 164-172.

Kim, K.-R., K. Kim, D.-J. Kang, S.Y. Park, M.-K. Park, Y.-G. Kim, H.S. Min and D. Min, 1999. The East Sea (Japan Sea) in change: A story of dissolved oxygen. *MTS Journal*, **33**: 15-22.

Minami, H., Y. Kano and K. Ogawa, 1999. Long-term variations of potential temperature and dissolved oxygen of the Japan Sea Proper Water. *J. Oceanogr.*, **55**: 197-205.

Seung, Y.-H. and J.-W. Yoon, 1995. Some features of winter convection in the Japan Sea. *J. Oceanogr.*, **51**: 61-73.

Zhang, C.I., J.B. Lee, S. Kim and J.-H. Oh, 2000. Climatic regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean waters. *Progress in Oceanography*, **47**: 171-190.