

한국 해양물리 연구의 현황과 발전 : 문헌검토

이흥재* · 승영호**

*한국해양연구소 해양물리연구부

**인하대학교 해양학과

A Review on Status and Development of Physical Oceanography Research in Korea

HEUNG-JAE LIE* AND YOUNG HO SEUNG**

**Physical Oceanography Division, Korea Ocean Research & Development Institute,
Ansan, P.O. Box 29, 425-600, Korea*

***Department of Oceanography, Inha University, Incheon, 402-751, Korea*

1992년까지의 국내 해양물리 연구동향을 간략히 정리하였으며, 이 분야의 연구논문 및 조사활동을 분야별, 연구 해역별로 요약하여 해양물리 및 타 분야 연구활동의 참고가 될 수 있도록 정리하였다. 지금까지의 해양물리 연구 대상해역은 전반적으로 한반도 주변 연근해역에 치우친 감이 있었고 연구내용도 전통적인 해수특성이나 조석의 범위를 크게 벗어나고 있지 못하다. 따라서 앞으로의 연구는 basin-scale 순환에 역점을 두어 국내 해양학계의 큰 과제인 대마난류의 기원, 황·동중국해의 순환, 동해의 3차원 순환을 해결하는 방향이 되어야 할 것이다.

The trend of physical oceanography research in Korea till 1992 is briefly described. Research papers and activities are reviewed and classified according to the research field and geographic area. So this work can be served as a reference in planning future researches and surveys. Most of the research areas are confined to the nearshore around the Korean Peninsula and the research field do not extend far beyond the classic subjects of physical properties of water masses and tides, etc. Future researches should thus be oriented to the basin-scale circulation aiming at the national oceanographic tasks such as the formation of the Tsushima Warm Current, circulation in the Yellow-East China Seas, and three dimensional circulation of the East (Japan) Sea.

머릿말

우리나라 해양물리학자와 국내 해양기관이 한반도 주변해역에서 1992년까지 수행하여 왔던 해양물리 분야의 연구와 조사활동에 대한 현황과 주요 연구내용에 대해 발표된 문헌을 중심으로 검토하였다. 최근 Choi와 Lie (1992)는 국내에서 수행하였거나 수행중인 주요 연구프로그램에 대해 종합 정리하였고, 한 (1992)과 이 (1992)는 한반도 주변해역에서의 해양관측 활동사와 국내 해양기관별 조사활동에 대

해 기술하였다. 한반도 주변해역의 해양물리 연구에 관한 종합 검토는 발표논문을 토대로 Lie (1984)가 황해의 수괴분류와 해수유동에 관해, 승 (1992)이 황해, 남해, 동해의 수괴와 해수순환에 대해 총체적인 정리를 하였다. 그러나 이들 논문에서는 주제별로 필요시 연구 논문을 인용하였기 때문에 문헌 조사의 목적에는 다소 불편한 감이 없지 않았다. 따라서 본고에서는 국내 해양물리계의 연구 논문을 대부분 총망라하여 이를 분야별, 해역별로 분류함으로써 해양물리 연구자는 물론 타분야 연구자에게 지금까

지의 조사 및 연구 현황에 대한 구체적이고 종합적인 정보를 제공하고자 한다. 아울러 이들 조사 및 연구 성과와 문제점을 검토하여 향후 조사 및 연구 활동에 참고가 되도록 하였다.

정리의 편의상 해양물리의 전반적인 현황을 파악할 수 있도록 국내 연구동향과 발전을 먼저 기술하고 국내 해양관련기관의 정기관측과 지역 및 국제공동 조사를 간략히 소개하고 본 논문의 핵심부분인 조사와 연구내용을 황해, 동중국해, 동해, 기타 해역으로 구분하여 검토한 후 주변해역 해양물리분야에서 앞으로 수행해야 할 가장 중요하다고 생각되는 세가지 연구과제를 제시하였다. 또한 연구자들의 연구활동에 도움이 될 수 있도록 참고문헌 목록을 해역별로 구분하여 수록하였다. 한편 지리적인 한계가 분명하지 않은 대한해협을 동해에 포함시켰으며 진해만과 같은 공간적으로 규모가 작은 폐쇄성 해역에서의 연구내용은 다루지 않았다. 참고문헌은 국내 해양물리학자들이 주로 발표하는 한국해양학회지와 JECSS 논문집 그리고 저명한 국제학술지에 발표된 논문 위주로 정리하였고 다른 국내학회지에 발표된 일부 논문도 포함시켰다.

연구동향과 발전

1. 연구영역

해양물리는 해수의 물리적 특성과 해수순환을 밝히고 해양계내에서의 물리과정, 해양과 대기의 상호작용을 주 연구대상으로 한다. 따라서 해양물리 연구는 그 자체의 순수연구 영역 이외에 해양물리의 지식을 반드시 필요로 하는 지역 및 전 지구적 규모의 기후변동, 해양환경보전, 수산업을 위한 어·해황 현황 및 예보, 안전항해, 해상 및 수중 군사 작전에 이르기까지 광범위한 응용 연구영역을 갖고 있다.

2. 조사·연구의 동향과 발전

지금까지 국내 해양물리분야 연구활동은 소형관측선으로 관측이 가능한 강 하구역을 포함한 한반도 연안해역을 대상으로 한 연안해양 연구에 치중하였으나 1990년대 들어 대양항해가 가능한 조사선의 보유와 고급 기장비 도입으로 동중국해, 태평양, 남빙양으로까지 연구 대상해역을 확장하여 활발한 조

사활동이 시작되었다.

국내 해양물리의 초기 연구·조사 시기인 1960년대에는 연근해 수산활동을 위한 어·해황 현황과 예보를 위한 수산물리와 연안역에서 안전항해를 위한 수로업무의 한 부분으로 출발하였다. 1970년대에는 한국해양연구소(구: 한국해양개발연구소)의 설립과 대학에 해양물리 석·박사 과정이 개설되면서 해양물리 연구와 교육이 시작되었으나 한반도 주변 지역해에 대한 물리특성과 조석에 관한 연구가 주류를 이루었다. 1980년대에는 외국 해양 전문기관에서 교육 훈련 받은 많은 젊은 학자의 귀국과 현대화된 관측 기장비의 도입으로 해류관측과 정밀 물리특성 조사가 가능하게 되어 연구의 양과 질에서 큰 발전이 있었다. 1990년대 들어 한국해양연구소의 전용 조사선(온누리호, 이어도호)의 진수로 심해 대양 조사활동이 시작되고 대학협동연구센터의 공동 조사선 건조, 국립수산진흥원과 수로국의 신조선 건조의 착수로 조만간 보다 조직적이고 체계적인 대규모 조사·연구활동이 가능하게 될 것이다. 최근에는 대규모 국제공동조사·연구 프로그램인 세계해양대순환실험(World Ocean Circulation Experiment), 열대해양과 전지구대기(Tropical Ocean and Global Atmosphere) 연구에 직접 참여하여 기여를 하고 있으며 더 나아가 남극 세종기지 주변 해역에서 해양물리 관측을 매년 실시하는 단계까지 도약하였다.

연구활동의 양과 질의 성장을 가늠하는 하나의 기준으로 한국해양학회지와 주요 국내학회지에 지금까지 발표된 해양물리분야의 논문수를 세부 분야별로 구분하여 조사하면(안희수 제공, 1992) 1980년 이전까지는 연 10편 미만의 논문이 발표되었으나 1980년을 기점으로 연 15~20편으로 증가하였고 90년대 들어 20편 이상으로 대폭 증가할 정도로 연구가 빠른 속도로 활발해지고 있다. 또한 80년대부터 저명한 국제전문학술지와 학술대회에 게재되는 국내 학자들의 논문수의 꾸준한 증가는 연구의 질이 향상되었음을 입증한다. 국내학술지에 수록된 논문을 주제별로 살펴보면 해류, 물리특성, 조석, 파랑분야 연구가 주축을 이루고 열수지, 혼합 등은 비교적 적게 발표되었다. 연대별로 연구경향을 보면 1960년대는 조석에 관한 논문이 가장 많았고 70년대부터는 해류와 물리특성 논문이 급격히 증가하여 1980

년대 후반부터는 이 분야의 논문수가 조석보다 2.5배 이상으로 증가하여 본격적인 해양물리 연구활동이 시작하였다고 볼 수 있다. 발표된 논문을 연구대상 해역별로 분류하면 남해 (동중국해 북부)와 동해 (특히 대한해협)에 대해 각각 70여편이 발표되었으나 황해 연구는 상대적으로 약간 적은 50여편이 발표되었다.

3. 조사 기·장비의 발전

해양물리 조사에 이용되는 기기와 장비는 1980년대를 전후하여 많은 변화가 있었다. 수온과 염분 자료 획득은 1980년대 초까지는 모든 국내기관이 고전적인 방법인 난센채수기로 채취한 해수를 자동 염분측정기 (Auto-salinometer)로 염분을 측정하고 채수기에 부착된 전도온도계로 수온을 관측하였으나 1982년도에 한국해양연구소가 Neil Brown CTD (Mark IIIB) 시스템과 Rossette 채수기를 처음 도입함으로써 정밀도가 높은 수온과 염분의 자동측정 그리고 자동 해수채취가 가능하게 되었고 1992년에 두척의 조사선에 신 모델인 MARK V CTD, Rossette 채수기, XBT 발사기를 설치하여 운영하고 있다. 국립수산진흥원도 1980년대 중반 Neil Brown CTD를 일부 조사선에 설치하여 동해와 남해의 정선관측에 사용하고 있다. 한편 한국해양연구소와 일부 대학에서는 사용과 이동이 간편한 자체 기록용 이동식 소형 CTD 시스템을 1980년대 중반부터 사용하고 있으나 정밀도는 약간 떨어진다. 또한 수온의 수직구조를 규명하기 위한 다층 수온측정기 (Aanderaa thermistor chain)을 1970년대 후반부터 한국해양연구소에서 사용하고 있다.

해류관측은 1970년대까지 에크만 유속계, CM2와 Braystoke 유속계를 이용하여 선상에서 단기간 정점 유속 관측을 하였고 지금까지 일부 기관에서 GEK에 의한 표층류 조사를 하고 있으나 1970년대 후반부터 자기 자동기록이 가능한 Aanderaa 유속계가 도입되어 장기간 정점 유속관측이 가능하게 되었고 1980년대 음파전단기인 acoustic release 시스템이 도입되어 심층류 관측을 실시할 수 있게 되었다. 국립수산진흥원과 대학 일부에서도 1980년대 중반부터 여러가지의 자동기록 유속계를 사용하여 해류관측을 실시하고 있다. 1990년에 다층 유속관측이 가능한 선박예인용 ADCP가 도입되고 1992년에는 해양연구

소 조사선 두척에 ADCP가 장착되어 운영되고 있으며 계류형 ADCP도 도입되어 장기간 다층 유속관측이 가능하게 되었으며, 건조중인 대학공동조사선과 교통부수로국 선박에도 ADCP가 장착될 예정이다. 또한 한국해양연구소와 국립수산진흥원이 1990년부터 NOAA 위성에 탑재된 Argos 시스템으로 위치 추적이 가능한 부이를 이용하여 표층류를 Lagrangian 방법으로 관측하고 있다. 해수면 관측장비로는 교통부수로국이 각 검조소에 부표식 정밀 검조기를, 여러기관이 이동식 간이 수압식 검조기를 주로 사용하고 있다. 한국해양연구소에서는 1970년대 중반부터 수압식 자동기록 검조기 (Aanderaa Water Level Recorder)를 사용하여 조석에 의한 해수면과 가속도 측정식 Waverider를 이용하여 파랑에 의한 해수면 변화를 측정한다.

한편 광역해역의 해표면 수온을 신속하게 측정할 수 있는 NOAA 인공위성 적외선 영상자료의 활용이 보편화 되었다. 기상청이 기상예보용으로 NOAA 자료 수신소를 1980년대 초 도입한 이후 진해기계장이 끝이어서 설치하였고 1980년대 후반 국립수산진흥원이 한반도 주변해역 어·해황예보를 위해, 그리고 서울대학교가 교육 및 연구용으로 각기 설치하였다. 한편 수치실험과 해양자료처리 분석에서는 컴퓨터 계산 능력이 빠른 속도로 발전하고 있어 개인용 컴퓨터, Work Station은 물론 super computer도 폭 넓게 활용되고 있다.

정기관측과 국제공동조사

1. 정기관측

1.1 정선관측 (물리특성)

한반도 주변 연안해역에서 어·해황 예보를 위한 해양자료 수집을 목적으로 국립수산진흥원이 각 해역에 정기관측선을 설정하여 2개월마다 각 정점에서 수온과 염분관측을 실시하고 있다. 현재의 관측망은 1961년부터 유지하고 있으며 표준수심에서 난센 채수기로 수온과 염분을 조사하고 있으며 1980년대 중반부터 일부해역에서 Neil Brown CTD 시스템으로 조사하고 있다. 정선관측자료는 국내 해양물리 연구의 기본자료로 폭 넓게 이용되고 있으며 1961~1990년 자료가 정리되어 디스켓에 수록 배포되고 있다. 한편 교통부수로국에서도 동해를 대상으로

근 10년 이상 CTD 및 GEK 관측을 해오고 있어서 매년 여름이 포함된 1회 이상의 관측자료가 수로 연보(년 1회 간행)에 수록되고 있다.

1.2 조석관측 (해수면 자료)

연안해역에서 안전항해를 위한 조석예보를 목적으로 교통부 수로국이 주요 항만에 고정 검조소를 설치하여 지속적으로 해면변화를 관측하고 있다. 관측은 현재 총 21개 지점에서 실시하고 있으며 동해에는 속초, 묵호, 울릉도, 포항, 울산, 남해에는 부산, 진해, 가덕도, 여수, 완도, 추자도, 거문도, 제주, 서귀포, 그리고 서해에는 인천, 안흥, 고정, 군산, 위도, 대흑산도, 목포에 검조기가 설치 운영되고 있다. 관측자료는 상당부분 전산입력되었다. 또한 교통부 수로국에서는 한반도 연근해를 대상으로 조류 조사를 해오고 있어서 이 결과가 조류도로 출간되고 있다.

2. 지역 및 국제공동조사

2.1 CSK 공동조사

쿠로시오 수계의 영향을 받는 동중국해, 황해, 동해의 해황구조와 변동을 파악하기 위해 지역국가간 CSK (Cooperative Study of Kuroshio) 공동조사가 IOC-WESTPAC 후원으로 처음으로 추진되었다. 조사는 1965년부터 1970년까지 한국 일본 중국 3국에 의해 실시되었고, 우리나라에서는 국립수산진흥원과 교통부 수로국이 참여하여 물리특성과 GEK 조사를 실시하였다.

2.2 한국-미국-중국 황·동중국해 공동조사

황해와 동중국해에 대한 공동조사의 필요성이 인식되어 한국과 중국 사이 미수교 상태에서 중국-미국, 한국-미국 양국간 공동조사 형태로 1986년 1월과 8월 2회에 걸쳐 미국 해양조사선으로 조사를 실시하였다. 중국측에서는 중국과학원 청도해양연구소가 미국측에서는 WHOI가 주축이 되었고 한국측에서는 서울대, 한국해양연구소, 성균관대, 제주대, 교통부 수로국이 참여하였다. 조사는 황해와 동중국해 전역에서 CTD 관측, 황해 동부해역 수개점에 유속계 설치, 그리고 인공위성 추적부이 실험으로 구성되었다.

2.3 한국-일본 대한해협 공동조사

대한해협에서 해류의 수직구조를 규명하기 위하여 한국해양연구소와 일본 구주대학 응용역학연구소

공동으로 CTD와 예인용 ADCP 조사를 1987년부터 1989년까지 3년에 걸쳐 조사하였다. 또한 대한해협을 통과하는 수송량의 변동을 조사하기 위하여 부산(송정)과 일본 Hamada 사이에 매설된 해저 통신케이블의 전압변동을 측정하고자 서울대, 성균관대, 일본 구주대 응용역학연구소가 공동으로 1987년에 관측을 시작하였다.

2.4 한국-중국 황해 공동조사

한-중 해양과학 협력으로 연구기간이 3년인 “황해의 해양자원 개발 연구” 사업이 1991년도에 착수되었다. 황해 해양자원도 작성을 위한 공동조사가 한국측에서는 인하대학교가, 중국측에서는 중국과학원 청도해양연구소가 중심이 되어 1992년 9월 1차 해양조사를 완료하였다. 해양 전문가가 참여하고 있으며 해양물리분야에서는 주로 물리특성 조사와 연구를 하고 있다.

2.5 세계해양대순환실험 (WOCE)

IOC와 WMO 공동으로 1990년부터 10년간 추진하는 장기 해양변동과 기후변동 연구 프로그램인 세계해양대순환실험 (World Ocean Circulation Experiment)의 한 분야인 표층류 프로그램 (Surface Velocity Program)에 한국해양연구소와 국립수산진흥원이 참여하고 있다. SVP 프로그램은 Argos 시스템을 이용한 인공위성추적부이 실험으로 구성되고 대마난류의 기원과 변동 규명을 목적으로 한국해양연구소는 1991년부터 구주서방에서 CTD 조사와 부이실험을, 국립수산진흥원은 제주도 동부해역에서 부이실험을 진행하고 있다.

2.6 열대해양과 전지구대기 (TOGA/COARE)

전 지구적 기후변동을 위한 해양-대기 상호작용 규명을 위해 WCRP (World Climate Research Program)가 1985년부터 10년간 추진하는 열대해양과 전지구대기 (Tropical Ocean and Global Atmosphere) 연구에 기상연구소, 서울대학교, 한국해양연구소가 공동으로 참여하여 Atlas 부이 한대를 열대서태평양에 1992년에 설치하였고 한국해양연구소에서는 1300톤급 조사선 온누리호를 1992년 11월에 COARE 해역에 파견하여 동경 137°를 따라 열대해역을 횡단하면서 CTD 관측을 1차 실시하였다.

2.7 동해 황·동중국해 해양학술대회 (JECSS)

동해 황·동중국해를 연구대상으로 하는 지역국가간 학술교류와 이해증진을 위해 순수 민간차원에

서 JECSS (Japan and East China Seas Study) 모임이 구성되어 1981년부터 2년마다 해양물리분야의 종합학술발표회를 갖고 있다. 1-4차 모임은 일본 Tsukuba 대학에서, 5차는 한국 강릉에서, 6차는 일본 Fukuoka에서 개최되었고 7차는 1993년 5월 중국 청도에서 개최되었다. 이 모임을 통해 지역국가 해양과학자 사이에 학술교류가 활발하게 이루어 졌고 공동조사와 연구가 성사되었다.

황 해

1. 해양조사

황해는 중국대륙과 한반도사이에 위치한 평균수심 44 m의 천해로 양자강 하구에서 제주도를 연결하는 경계선에 의해 동중국해와 지리적으로 구분되는 표면적이 $0.487 \times 10^6 \text{ km}^2$ 인 만 형태의 해역이다. 황해는 육지로부터 방대한 양의 담수와 부유물질이 유입되고 수심이 낮아 기상변동에 민감하게 반응하며 조석운동이 탁월하다. 또한 황해남부역에서는 동중국해에서 기원한 고염·고온의 난류수와 황해 자체에서 생성된 저염수와의 교환이 활발하다. 따라서 반폐쇄성 해역으로 천해역임에도 불구하고 그 현상은 대단히 다양하고 복잡하다.

황해에 대한 해양조사는 2차 세계대전까지 일본 학자에 의해 활발히 이루어 졌으나 2차 세계대전을 전후하여 조사가 중단되었다. 냉전시대에는 황해 전 해역을 대상으로 한 조사활동이 불가능하여 국내 조사 연구활동이 황해 동남해역으로 제한될 수 밖에 없었으나 최근 한·중 수교로 해양공동조사가 일부 성사되어 진행 중이다. 본격적인 국내 조사는 국립수산진흥원이 1960년대 초부터 실시하고 있는 정선 관측이다. 황해의 정선관측은 관할수역인 동남해역에 국한되었고 물리특성 자료인 수온과 염분을 측정하고 년도별로 자료집을 발간하고 있다. 체계적인 정밀해양조사는 한국해양연구소가 1982년부터 1986년까지 Neil Brown CTD 시스템과 Aanderaa 유속계를 이용하여 수행한 해양자원도 작성연구사업으로 시작되었고 그 결과의 일부가 "Oceanographic Atlas of Korean Waters, Vol. 1 Yellow Sea"로 출판되었다. 한편 1970년대 후반 미국-중국간 과학기술협정이 조인됨에 따라 황해와 동중국해가 일부 미국해양학자들의 관심해역으로 부상되어 미-중 해

양퇴적역학 공동프로그램으로 양국 공동조사가 1980-1981년에 양자강 하구역을 중심으로 수행되었고, 1984년 6월 서울에서 "Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea"에 관한 워크샵이 개최되었다. 이후 북한 관할수역을 제외한 황해와 동중국해 전체를 조사대상으로 한국-미국-중국 공동조사가 1986년 1월에는 미국조사선 Thomas Thompson, 8월에는 Thomas Washington에 의해 수행되었고 한국측에서는 서울대학교, 한국해양연구소, 성균관대학교, 제주대학교, 교통부수로국이 참가하였다. 한-중 수교를 전후하여 "황해 해양자원 개발연구" 과제가 3년기간의 한·중 공동해양연구로 1991년에 착수하였다. 이 프로그램은 인하대학교와 중국과학원 청도해양연구소가 주축이 되어 진행되고 있으며 황해 전체를 대상으로 1차 관측이 1992년 9월에 있었다. 그외 여러대학에서 간헐적으로 소규모의 관측을 수행한 바 있다.

2. 연구동향

황해난류가 동중국해 북부해역을 통과하여 황해 남부역으로 유입되고, 황해냉수가 동중국해 북부역으로 확장하며, 황해 서부역의 연안류가 저염의 해수를 동중국해로 수송하는 반면 양자강 하천수가 황해 남부역으로 북동진하여 황해와 동중국해수의 교환이 매우 활발하게 이루어 진다. 이에 많은 학자들은 황해와 동중국해를 하나의 지역 해양계로 보고 연구를 하기도 한다. 황해에 대한 국내학자들의 연구대상은 크게 물리특성, 해수순환, 조석과 조류 세가지로 구분할 수 있다. 1980년대 중반까지 연구동향을 보면 물리특성은 황해 동남해역을 대상으로 수온과 염분을 정점별로 측정하여 수괴를 분류하고 수평 및 수직분포와 물리특성의 계절변화를 파악하는데 주력하였고, 수괴의 시·공간 분포에 근거하여 해류의 경로를 추정하고 간단한 해석적 모델에 의한 순환형태와 2차원 수치모델을 이용한 풍성해류 연구가 주류를 이루었다. 조석은 2차원 수치모델을 경기만 등 연안역과 황·동중국해 전해역에 적용하여 해수면 변화와 조류를 계산하였다. 1980년대 초부터 CTD, 유속계, 슈퍼컴퓨터, NOAA 적외선 영상기법, 새로운 분석기법의 도입으로 조사·연구방법이 크게 개선되어 정성적 연구에서보다 정량적인 연구로 전환이 되었다. 이후 물리특성의 정밀구

조와 수괴분석, 기존 해류모식도에 대한 재해석과 계절별 해수순환 형태, 정교한 2차원과 3차원 수치 모델에 의한 조석과 풍성해류 연구가 착수되었다. 최근에는 물리특성의 계절분포에 따른 층별 해수순환, 열염전선과 조석전선의 형성과 흐름, 대기-해양 상호작용에 의한 황해냉수의 형성, 황해난류의 계절변동, 조류의 3차원 구조와 퇴적물 이동, 연안수와 외해수 그리고 황해와 동중국해 해수교환, 기상변화에 대한 천해역인 황해의 반응에 연구자의 관심이 집중되고 있다.

연구성과를 간단히 살펴보면 황해의 본격적인 연구는 한국해양연구소의 “황해자원도 (환경도) 작성 연구”가 큰 계기가 되었다. 수괴를 4가지로 (황해냉수, 황해난류수, 양자강회석수, 연안수)로 재분류하고 CTD자료에 근거하여 물리특성 분포를 재검토했다 (Lie, 1984). 여름철 양자강회석수의 흑산도 주변으로의 북상과 (Lie, 1987), 제주도 서부해역에서 겨울철 동서 방향의 강력한 열염전선의 형성 (Lie, 1985)이 발견되었다. 정선자료를 이용하여 물리특성의 계절분포가 제시되고 (Kang, 1971), 실험적 직교함수 분석에 의한 수온의 계절변동과 (Lie et al., 1986) 황해난류수의 여름 특성에 대한 연구 (Park, 1986a)가 있었으며, Cluster 분석법을 이용한 황·동중국해의 수괴분류에 대한 검토가 있었다 (Kim et al., 1991). 또한 20년간 조사된 정선자료와 3년 동안 조사한 CTD 자료를 바탕으로 물리특성의 계절별 수평·수직분포도가 작성되고 (KORDI, 1987), 황해의 열수지 (Lee and An, 1987)와 봄철에 황해 중부역에서 수온역전 (이, 1992), 황해냉수의 이상 저온현상 (양 등, 1984), 냉수와 표층수의 관계 (Kang and Kim, 1987), 냉수와 기온과의 관계 (김, 1992)에 대한 접근이 있었고, 물리특성의 계절변동과 조류가 강한 경기만과 한반도 남서연안역에서 조석혼합에 의한 수직적으로 균질한 혼합수의 존재가 확인되었고 (Lie, 1989, Seung et al., 1990), 남서연안 조석혼합역에서 고농도의 부유물과 조석혼합의 관계를 NOAA 적외선 영상과 LANDSAT MSS 영상자료를 통해 분석하였다 (Lie et al., 1992). 금강하구역에서 조석과 염분구조의 상관성 연구 (Chung et al., 1983; Chung and Bhang, 1984)에 관한 연안해양 연구가 부분적으로 수행되었다.

황해 동부해역에서 표류병 투하 실험 (Lee, 1970)

에 의한 표층류 관측이, 그리고 유속계 계류에 의한 흑산도와 어청도 부근해역에서 관측이 (KORDI, 1983~1986) 있었다. 공간적으로 균일한 바람장에 의한 순압 해수순환에 대한 2차원 수치모델 (Choi, 1982; An, 1987)과 점성에 의한 속도의 수직변화를 고려한 접근 (Choi, 1984)이 시도되고, 바람에 의한 황해냉수의 남하 (Park, 1986b), 시간에 따라 변하는 바람에 의해 생성되는 정압조건하에서 해류에 대한 단순 해석적 모델 연구 (Kang, 1982), 밀도분포로부터 여름철 순환에 대한 연구 (Seung, 1987)가 있었다.

조석, 조류, 해면 변화에 관한 연구는 비교적 활발하였다. 초기 연구는 주로 인천항과 경기만을 대상으로 조석 관측과 분석 (Yi, 1972; 봉, 1978; Jung, 1980; 한, 1980), 2차와 3차 수치모델 계산 (Choi, 1980a, 1983; 최, 1981)이 집중적으로 이루어 지고 아산만에 대한 수치계산 (An and Lee, 1976)도 시도되었다. 황해와 동중국해 전해역에 대한 조석현상에 대한 체계적인 수치연구는 Choi (1980b)에 의해 시작되었고 관측조류와 계산 결과를 비교 (Choi, 1985a) 하였다. 황해 조석시스템에 대한 해석적 연구 (Kang, 1984)와 태풍에 의해 발생하는 폭풍해일에 관한 연구 (Whang, 1971; Choi, 1985b) 그리고 경기만에서 해저경계면에서 전단속도의 계산 (Choi, 1991)이 부분적으로 수행되었다. 한편 장주기 해면 변화에 영향을 끼치는 대륙붕파의 존재에 대한 연구 (Hsueh and Pang, 1989)도 있었다.

동중국해

1. 해양조사

동중국해는 북으로는 황해, 한반도 남해안, 대한해협과 경계를 이루고 남으로는 대만해협, Ryukyu 열도, 일본 구주 남단을 잇는 선을 경계로 북서 태평양과 접하고 있다. 따라서 남으로부터는 대양수가 유입하여 일부가 대륙연안수와 혼합하고, 북으로는 해수가 황해와 동해로 유출되며, 반대로 황해의 서부연안역으로부터 연안수가 동중국해로 유입한다. 따라서 동중국해는 연안수와 외해수가 공존하는 해역으로 해양학적으로 현상이 매우 다양한 해역이다. 총 면적이 $0.752 \times 10^6 \text{ km}^2$ 이며 평균수심이 349 m이나 동중국해 대륙사면을 경계로 심해부와 천해부로

구분된다. 심해부는 대륙사면과 류꾸열도사이 오끼나와 trough로 평균수심이 1000 m 이상이고 천해부는 대륙붕역으로 대부분 100 m 이하의 수심이다.

동중국해, 특히 중남부 해역에 대한 국내연구 활동은 타 해역에 비해 매우 미미하다. 해양관측은 주로 국립수산진흥원의 정선관측에 의해 유지되고 있지만 조사해역이 동중국해 북부인 남해 연안역에 국한되었다. 1960년대 중반 쿠로시오 공동조사계획인 CSK에 국립수산진흥원과 교통부 수로국이 참여하여 5년여 조사활동을 벌인 것이 첫번째 체계적인 조사로 평가되고, 그 후 1987년부터 4년간 한국해양연구소가 남해 해양환경도 작성을 위해 제주도 주변해역이 포함된 동중국해 북부역을 대상으로 CTD로 정밀조사를 실시하였다. 1980년대 초부터 서울대와 제주대가 공동으로 제주도 주변해역에서 해양관측을 실시하기도 하였으나 동중국해에서의 우리나라의 조사활동 실적은 다른 해역에 비해 거의 전무한 실정이다. 최근 한반도 주변해역의 해황과 기후에 큰 영향을 미치는 대마난류의 기원과 형성을 규명하고자 세계해양대순환실험에 참여하여 인공위성 추적부이를 구주서방과 제주도 동부역에 투하하여 추적하고 있다. 국의 조사연구활동을 간략히 살펴보면 1980년대 초반 미국-중국이 양자강 하구역에서 체계적인 정밀조사를, 그리고 1986년에 우리나라-미국-중국이 미국 조사선을 이용하여 동중국해와 황해 전역에 걸쳐 겨울과 여름 두 차례에 걸쳐 물리특성과 해류관측을 실시하였다. 이후 1980년대 후반부터 중국과 일본이 7년 공동조사를 계절별로 시행하여 년도별로 해양환경도를 출판하고 있다.

2. 연구동향

지구상 최대해류의 하나인 쿠로시오가 동중국해의 대륙사면을 따라 북동진하면서 대륙붕상에 대만난류나 대마난류와 같은 지류를 생성시킨다. 이들 지류는 북상하면서 동중국해는 물론 동해 및 황해에도 막대한 열과 염을 공급한다. 또한 중국대륙과 황해로부터 방대한 양의 담수(연간 10^{12} m^3 이상)가 유입되고 있으며 조석운동이 대륙붕역에서 우세하게 나타난다. 일본과 중국과학자들은 동중국해 전역을 대상으로 광역 조사활동을 특히 동중국해의 해수순환, 양자강하천수, 연안수와 쿠로시오수계의 혼합,

쿠로시오와 그 변동에 중점 연구를 수행하고 있다. 반면 우리나라의 조사 대상해역은 주로 제주도 주변해역과 남해 연안역이어서 우리의 연구분야가 연안해양현상에 국한되고 연구도 물리특성 분포의 정성적 분석에 치중될 수 밖에 없었다. 국내 연구동향을 보면 황해에서와 비슷하며 주요 연구주제는 남해 연안역에서 물리특성의 시·공간 분포, 남해안 연안전선, 제주도 주변 해역의 수괴와 황해난류의 확장, 대한해협 입구에서 대마난류수의 물리특성 분포로 정성적인 성격의 연구 위주였으나 1980년대 중반부터 남해에 대한 정밀해양특성, 제주도 주변해역의 조석, 황해냉수의 남하, 황해난류의 경로에 대한 정량적인 접근이 있었다. 동중국해 전역에 대한 조석연구는 황해를 포함한 해역을 대상으로 한 2차원 수치모델 연구가 활발히 이루어 졌다. 대마난류의 기원과 경로, 황해난류의 경로, 양자강 희석수의 확장, 2차원 해수순환모델, 3차원 조석수치모델 연구와 같은 동중국해 전체 해양시스템과 관련된 연구는 1980년대 후반부터 주요 과제로 연구자의 관심이 모아지고 있다.

한국 남해에 대한 해양특성과 분포에 대한 연구를 우선 살펴보면 정선관측 자료를 이용하여 남해 수괴의 계절변화 (Kang, 1974), 남해 연안역에 존재하는 수온전선의 계절분포 (Gong, 1971)와 추계 특성조사와 위성영상자료 분석에 의한 열·염전선 (Lee et al., 1984)에 대한 분석이 있었다. 제주도를 포함한 남해 전해역에서 CTD로 조사한 자료를 분석하여 수괴와 물리특성의 계절분포가 제시되었고 (KORDI, 1984-1990), 서울대-제주대의 공동조사 자료로부터 하계 제주도 주변해역에서 수괴와 물리특성이 분석되고 (Kim et al., 1991), 황해남부와 제주도 부근해역의 여름 물리특성자료를 정리하여 황해난류수와 황해냉수의 특징과 흐름에 대한 제시 (Park, 1986)가 있었다. 대마해협의 입구인 제주도 동부해상에서 혀모양의 대마난류수 확장 (Rho and Hirano, 1983)과 한국해양연구소의 CTD 자료로부터 가을철 제주도 남부에서 대마난류수의 서쪽으로 확장 (Byun and Chang, 1988)이 보고되었다. 동중국해 전해역에서 한국-미국-중국 공동조사를 통해 획득한 1986년도 1월과 8월 CTD 자료를 이용하여 황·동중국해 수계에 대한 분류 (Kim, Kim et al., 1991)와 1977년 조사된 일본자료에 근거하여 하계 물리특성

분포 (Park, 1985)가 기술되었다. 하계 제주도 연안에서 수직적으로 균질한 해수의 존재 (Kim and Lee, 1982), 남해 연안수온과 염분의 시계열분석 (Kim, 1982), 제주와 남해안 사이 표층수온의 변화 (Rho and Kim, 1983), 표층에서의 수온역전 (Kim and Yug, 1983), NOAA 적외선 영상자료에 의한 남해 연안수의 수온분포 (김, 1989)에 대한 연구가 수행되었다.

조석에 의한 해면변화와 균일한 바람장에 의한 해수유동이 앞에서 논의한 바와 같이 황해와 동중국해를 대상해역으로 한 수치모델 연구 (Choi, 1980, 1984)가 있었다. 지역 해양현상으로 낙동강 하구역에서 조석과 조류 (유와 장, 1979), 제주도 주변해역에서 M2 분조의 비대칭성에 대한 해석적 연구 (Kang, 1984)와 자료분석에 의한 M2 분조의 진폭과 위상 분석 (Kim and Lee, 1986), 일주조의 특성분석이 (Lee and Kim, 1988) 수행되었고 조석에 의한 잔차류 연구 (Park and Kim, 1987)도 있었다. 한편 태풍해일에 의한 해면변화 (Hwang, 1971)가 일부 연구되었다.

해수순환은 해류관측에 의한 연구보다는 주로 수괴의 분포특성과 수치모델에 의해 연구되었다. 수치모델에 의한 연구에는 쿠로시오로부터 대마난류의 형성 및 이의 수송량에 대한 것(남과 승, 1992; Seung and Nam, 1992)이 있으며, 해수특성에 근거한 해수순환 연구는 남해 연안에서의 해수유동의 일반적 특성 (Lim, 1976), 황해 동부 연안역으로 황해난류의 북상설에 대한 부정 (Lie, 1985, 1987), 황해냉수의 남하 (Park, 1986), 여름철 황해난류의 제주해협으로 우회 (Kim, Rho et al., 1991)가 보고되었다. 동중국해 바람분포에 따른 개략적인 취송류의 추정 (Chang, 1970), 낙동강 하구역에서 하천수의 확산 (추, 1978), 염분분포로부터 추정된 흐름 (장 등, 1981)에 관한 연구도 있었다. 해수특성자료를 분석하여 대마난류의 기원에 대한 논의 (Lim, 1971)와 동중국해에서 대마난류 기원과 경로 규명을 위한 1991년 하계와 1992년 춘계-동계 위성추적부이 실험과 CTD 관측에 의한 동경 126°를 따라 대마난류의 북상과 구주서방에 시계방향으로 회전하는 소용돌이의 존재 (이 등, 1991, 1992)를 확인하였다.

동 해

1. 해양조사

동해는 한반도, 일본열도, 시베리아 동안에 의해 둘러싸인 타원형의 준 폐쇄 해역으로 단지 수심이 얕은 몇개의 해협을 통해서만 외해수와의 교환이 일어난다. 표면적은 10^6 km^2 , 평균수심이 1361 m로 동중국해 보다 더 넓다. 동해 남부와 일본 서안에서 대륙붕이 비교적 발달한 편이나 그 외 지역은 수심 2000 m 이상의 분지로 형성되어 지중해와 비슷하게 지역해이면서도 심해에 속한다. 외해역의 해수와 교환은, 대한해협을 통해 동중국해에서 북상해온 고온·고염의 대마난류수가 유입되고 반면에 일본 열도 사이에 위치한 소야, 쓰가루 해협을 통해 동해의 해수가 태평양으로 유출된다.

동해에 대한 연구는 황해나 동중국해에 비해 활발하게 이루어진 편이다. 1930년대 일본에 의해 동해 전해역에 대한 조사가 이루어 졌으나 그후 수십년간 동서 냉전시대가 지속되어 북부해역에서 조사된 해양자료의 접근이 어려웠고 지역국가간 공동협력이 불가능하여 동해에 대한 해양학적 이해는 아직도 대단히 미미하나 최근 한국-일본-러시아 공동협력 분위기가 조성되고 조사 계획이 구체화되고 있다.

동해의 해양특성과 순환에 대한 선구적인 조사는 1932년 일본 Uda 교수에 의해 이루어 졌는데 당시 50여척 이상의 선박을 동원하여 황해와 동중국해를 포함한 한반도 전 주변해역에서 동시관측을 하였고 이를 기초자료로 수괴와 순환의 기본 형태를 제시하였다. 2차 세계대전 전후 20여년 이상 관측이 거의 중단되고 1950년대 말 이후 일본과 우리나라 해양 관련 기관이 정점관측을 실시하기 시작하였다. 국립수산진흥원은 동해 남서해역에서 정기 정선관측을 1960년 이후 2개월마다 수행해 오고 있으며 교통부 수로국은 대한해협을 포함한 동해 남서부 해역에서의 안전항해를 위한 표층류 조사를 1980년대 중반부터 10개년 계획으로 연 4회 GEK로 표층류를 조사하고 있다. 한국해양연구소는 1983년에 처음으로 CTD를 이용하여 일반물리특성을 조사하였고 1985년부터 1988년까지 3년간 동해의 어·해양예보 예측 시스템 구축을 위한 정밀해양조사를 3년간 교통부

수로국과 국립수산진흥원의 선박지원을 받아 남서해역에서 CTD 관측을 하고 국내 최초의 심층류 관측을 통해 중부역에서 성공적으로 수행하였다. 또한 1982년에 착수한 한국주변해역에서 해양자원도 작성연구의 정부 특정연구과제의 조사해역을 1991년부터는 대한해협을 포함한 동해 남서부해역으로 선정하여 CTD에 의한 정밀 물리특성, ADCP에 의한 상층류의 수직구조, 위성부이를 이용한 표층류 조사를 하고 있으며 1992년부터 3년간 울릉도 주변해역에 존재하는 중규모 소용돌이의 규명을 위한 조사활동이 시작되었다. 한편 해군 당국의 위탁을 받아 한국해양연구소는 1990년부터 4년간 남서해역에서 2개월 마다 CTD와 ADCP 관측을 실시하고 있다. 서울대학교는 과학재단의 연구비 지원을 받아 1982년부터 1985년까지 동해 남서해역의 수괴 및 순환을 위한 조사와 1987년부터 3년간 목적기초연구비 지원을 받아 대마난류와 동해 해수순환에 관한 조사·연구를 하였고 1990년부터 3년간 인하대 한양대와 공동으로 동해 해수순환 조사를 연속사업으로 계속 진행하고 있다. 한편 한국해양연구소는 대한해협에서 해류의 수직구조를 조사하기 위해 국제공동연구과제를 추진하여 (1987-1990) 일본구주대 응용역학연구소와 공동으로 예인용 ADCP를 이용하여 대한해협을 횡단하는 단면에서 다층 유속조사를 하였고 구주대-서울대-성균관대는 대한해협에서 수송량의 시간변동을 측정하기 위한 공동연구과제로 부산과 일본 하마다 사이에 매설된 해저케이블의 전압을 1987년부터 측정하고 있다.

2. 연구동향

준 폐쇄성 해역이면서 심해인 동해에는 대양에서 존재하는 거의 모든 종류의 물리현상이 나타나고 있어 소대양이라고 불릴 정도로 물리현상이 매우 다양하고 복잡하다. 동해의 해양물리구조는 대한해협을 통해 진입하는 대마난류수계와 동해 북부해역에서 생성되는 북한한류수계의 시·공간 분포가 상층순환과 물리특성을 결정하고, 동해중간수 (혹은 중층수)와 고유수가 중·저층의 해수순환과 물리특성을 좌우한다. 또한 대양에서와 같이 남북방향으로의 열염순환이 동해 해수순환 구조에 큰 영향을 끼칠 것으로 생각된다. 동해에 대한 연구는 주로 상층의 물리특성과 해수순환을 대상으로 이루어졌고 심층

순환과 열염순환에 대한 연구는 아직 초보 단계에 머물고 있다. 국내 연구동향을 보면 1980년대 중반까지는 수온과 염분자료 분석을 통한 대한해협에서 대마난류수의 특성과 역학계산에 바탕한 수송량의 계산, 울기 연안역에서 발생하는 연안용승, 동해 남서해역에서의 북한한류수의 남하가 주로 연구되었고 1980년 중반 이후 대마난류의 계절변동, 북한한류수의 분포, 대마난류의 분지와 경로, 남서해역에서 물리특성의 정밀구조에 대한 연구가 주종을 이루었고, 1980년대 후반부터 대마난류의 수직구조와 시간변동, 해석적 모델과 수치모델에 의한 상층해수순환, 적외선 영상기법을 병행한 극전선과 소용돌이의 추적, 직접관측에 의한 심층류 조사와 수치모델에 의한 심층순환이 주요 연구과제로 등장하고 있다.

수괴와 해수특성 분포는 동해 연안냉수대에 대한 해양학적 특성이 기술되고 (공과 박, 1969), 북한한류계수의 수계가 동해 연안역에서 발견되고 (Kim and Kim, 1983), 염분최소 용존산소 최대인 북한한류수계의 층 (Kim and Chung, 1984)과 울릉분지에서 염분최소인 중층수가 확인 (Kim, Kim et al., 1991) 되었고, 동해 남서부에서 중간수의 시간 공간 변동성 (Kim, Lie et al., 1991), 동해 연안 중층냉수와 겨울냉각과의 관련성 (Seung and Nam, 1991)에 대한 연구가 있었다. 연안수온의 계절변화에 대한 분석 (공, 1968; 이, 1984), 상층수의 계절변화 (Kang and Kang, 1987), 대마난류 유역 연안수의 계절 및 경년변동 (Kang and Choi, 1985)과 실험적 직교함수분석 (Choi and Kang, 1987), 표층수온의 anomaly (Gong and Kang, 1986; Kang and Gong, 1987)와 이상 저온수온 (홍 등, 1984), 밀도역전 (Kim and Cho, 1982), 열교환과 혼합층과의 관계 (Shim and Kim, 1981), 열수지 (Han, 1972; Kang, 1984), 울릉도 부근 난수괴(Kang, 1990) 및 이와 바람과의 관계 (Na, 1988)에 대한 연구가 있었다. 동해에 다양하게 나타나는 해양 열전선의 분포를 몇가지 그룹으로 분류하고 (An and Chung, 1982; Gong and Son, 1982), 1961년부터 1980까지 20년간 조사된 일본과 국내 해양특성자료를 이용하여 열전선의 월별 분포도를 자료집으로 발간(공과 이, 1984)하였다. 표류병 투하와 물리특성 자료로부터 동해 표층류 분포에 대한 추정 (Lee and Chung, 1981)이 있었

으며, 동해 중부 울진연안에서 1년간 장기 유속관측에 의한 연안류의 계절변동 (Lie, 1984)을 분석하고, 주문진 연안역에서 유속관측과 부표추적에 의한 하계 밀도류인 남향류 (Lie and Byun, 1985)와 동해 중부해역의 심층에 하계-추계 유속계 계류에 의한 남향류의 존재 (Lie et al., 1989)를 처음으로 확인하였다. 겨울철 순환연구를 위한 variational inverse 방법의 응용 (Suk, 1988), 폐쇄해역으로 가정한 동해의 해수순환 (김과 정, 1989), 표층냉각과 해저지형에 의한 울릉난수괴 형성 (Seung et al, 1990), 냉수형성이 동한난류에 미치는 영향 (승과 남, 1992)에 대한 수치모델 연구가 있었으며, 유입-유출과 열교환에 의한 순환 (Seung and Kim, 1989), 유입-유출과 표면냉각 및 바람응력에 의한 동한난류의 이안과 북한난류 형성 (Seung, 1992)에 대한 연구가 진행되었다. 물리특성에 근거하여 하계 대마난류의 북상한계 (Hong and Cho, 1983), NOAA 영상분석과 특성자료에 의한 대마난류의 분지 (Kim and Legedakis, 1986), 2층 베타 해양에서 유입에 의한 정상순환 (Kang, 1988)에 대한 연구가 있었다.

대한해협 서수도에서 단기 선상관측에 의한 해·조류분석 (이, 1970), 유속계 계류에 의한 장기관측에 의한 해류의 시간변동 (Byun and Chang, 1984; 이 등, 1985, 1988), ADCP에 의한 대한해협 횡단면에서 해류의 수직구조의 조사와 분석 (변 등, 89, 90; Kaneko et al., 1991)과 부산-하마다 사이의 해저 케이틀 전압변동에 의한 유속추정 (Kawatate et al., 1991)이 있었고, 해수면 자료를 분석하여 해협을 통과하는 수송량의 계절 및 영년변화 (Yi, 1966, 1970)와 서수도에서 평균유속의 추정 (Lee and Chung, 1977), 역학계산에 의한 대한해협의 수송량 (한, 1991)과 대한해협과 동해 중부해역을 통과하는 수송량의 비교 (Lim and An, 1985), 서수도의 지형류 (Shim et al., 1984)에 대한 연구가 있었다. 한편 대한해협에서 해수의 물리특성 구조 (Hahn, 1979), 수온과 염분의 시간변화 (Park, 1972), 서수도에서 하계 저층냉수와 흐름 (Lim and Chang, 1969; Lim, 1973), 표층수온의 경년변화 (Kang and Lee, 1984), 장주기 수온변동 (Ro, 1989), 추계 연안전선 (Lee et al, 1984), 낙동강 하천수의 영향 (추, 1975)에 대한 고찰이 있었다. 한편 태풍 통과시 해면변동에 대한 수치실험 (Hong and Yoon, 1992)도 있었다.

연안현상 특히 울기 연안역에서 봄-여름에 형성되는 용승현상은 많은 국내 과학자의 연구대상이었다. 1970년대 울기 연안에서 냉수의 존재가 밝혀지고 (An, 1974; Lee, 1978; 승, 1974; Lee, 1983), 용승의 물리특성과 해류구조 규명을 위한 관측이 시도되었고 (Byun and Seung, 1984; Lee and Na, 1985), 태풍 통과시 관측된 연안 현상의 기술 (Seung and Byun, 1984)도 있었다. 3층 해양에서 바람의 역할에 대한 해석 모델 (Byun, 1989)이 시도되고 용승현상의 재현 (An, 1981), 구부러진 해안선이 용승에 미치는 영향 (Seung, 1984), 이류와 확산에 의한 냉수의 이안 (Seung, 1988)에 대한 수치모델에 의한 접근이 있었으며 동한난류의 강화로 인한 연안반류의 생성에 대한 해석모델 연구 (Seung, 1986)도 있었다.

동해 중부 울진 연안역에서 하계 내부조석파의 존재 (이 등, 1992)와 내부조석파 발생에 대한 모델 제시 (임, 1991)가 있었고, 중부 심해역에서 관성류의 존재 (Lie, 1988)가 다층 수온연속측정과 유속계의 심층계류에 의해 직접 확인되었고 동해안에서 관측된 해면자료를 분석하여 남쪽으로 전파되는 대륙붕파에 대한 연구 (Lee and Chung, 1982)와 동해안과 일본연안에서의 해면자료를 분석하여 반시계 방향으로 전파하는 관성주기보다 긴 장주기 파동 (Isoda et al., 1991)의 특성을 검토하였다.

주변해역 및 북서태평양, 기타분야

한반도 전 연안역에서 조사한 자료를 이용하여 표층연안수의 계절 변동 (임, 1971; Gong, 1968; Hahn, 1982), 표층수온과 상층염분 그리고 열용량의 계절변화 (Kang and Jin, 1983, 1984), 시계열적 방법에 의한 표면수온 변동의 예측 (강 등, 1991), 해표면에서 열수지 (Bong, 1976), 표층수온과 기온과의 상관성 (Kim, 1983), 해양상층에서 수온역전 발생 (Kang, 1983)에 대한 분석이 있었다. 10년 장기 해표면 기압분포도로부터 한반도 주변해역에서의 월평균 해상풍과 바람의 응력을 계산하고 (나 등, 1992) 해양 표면 혼합층의 수치모델 연구에 대한 검토 (오와 임, 1992)가 있었다.

해석모델에 의한 황해 동중국해 남중국해에서의 취송류 생성 (Kang, 1984), 주변해역 표층수온에

미치는 몬순의 영향 (Kang, 1985), 월평균 해면의 계절변화 (Yi, 1967; Kang and Lee, 1985), 황해 동중국해 동해를 하나의 연구해역으로 한 M2 조석 현상의 수치모델 (Kang et al., 1991), 폭풍해일의 수치실험 (Oh and Kim, 1990), 동해와 동중국해에서 DSA-5 모델에 의한 파랑예측 (Park and Kim, 1984), 해저 경사면에서 주기적인 바람에 의한 해양의 반응을 보기위한 회전판 실험 (Na and Kim, 1991)이 수행되었다.

북태평양에서 장기간 관측된 XBT자료를 이용하여 북서태평양 상층수온의 계절과 경년변동 그리고 로스비파의 전파와 엘니뇨의 관계 (Lie and Endoh, 1991)가 논의되고, 북태평양 중위도에서 상층수온의 변동과 내부파의 전파 (Yun et al., 1991)와 엘니뇨 현상에 대한 통계적 분석 (김, 1992)이 있었다. 또한 쿠로시오 전선역에서 수괴분석 (Shin et al., 1988)과 전선의 구조 (Shin et al., 1991)에 대한 연구도 있었다.

주요 문제점 및 중점연구과제

1. 주요문제점

지금까지 국내 해양물리학자와 기관이 조사활동한 해역은 우리의 관할수역인 한반도 주변 연근해역이고 연구도 해수의 물리특성의 분포와 구조 그리고 조석분야에 주로 치중하였다. 따라서 황해, 동중국해, 동해 각각에 대한 전반적인 해수순환과 현상에 관련된 물리과정에 대한 우리의 이해는 대단히 피상적이다. 더우기 세 지역해의 해수순환과 물리특성은 아시아 몬순에 의해 크게 지배를 받고 쿠로시오의 한 지류인 대마난류에 의해 큰 영향을 받고 있으며 지역해 사이 해수 교환이 활발하게 이루어지고 있으나, 대마난류의 기원과 경로조차 확인되고 있지 않을 정도로 전체 주변해역 해양계에 대한 국내 해양물리 연구활동은 미진한 실정이다. 이에 앞으로는 국부해역 물리현상의 기술이나 역학구조의 규명도 중요하지만 그 보다는 주변해역 전체 혹은 지역해의 basin scale 규모의 순환구조를 밝히는 데 역점을 두고 조사활동을 하여야 하며 가장 우선적으로 해결해야 할 과제 세가지를 아래에 제시하였다.

2. 중점연구과제

2.1 대마난류의 기원과 경로

동중국해, 황해, 동해에 염과 열에너지를 공급하는 대마난류는 한반도 주변해역의 해양물리특성과 해수순환을 결정지우는 가장 주요한 요소중 하나이다. 이 해역에서 생존하고 있는 해양생물의 시·공간 분포가 대마난류수에 민감하게 반응하게 되어 대마난류의 운동메카니즘을 파악하지 않고는 어황예보가 거의 불가능하다고 해도 과언이 아니다. 또한 대마난류가 수송하는 방대한 양의 열에너지가 대기로 방출되어 해안지역은 물론 한반도 지역기후 자체에도 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 지역 기상의 정확한 예보를 위해서도 대마난류에 의한 상층 해황변동을 고려해야 한다. 대마난류의 기원에 대한 관심은 기본적으로 두가지 가설로부터 출발한다. 즉 Nitani(1972)에 의한 구주서방 깊은 골에서의 분리설, 대만해협을 통과하는 대만난류의 연장설 (Beadsley et al, 1985; Fang et al., 1991)이다. 이외에 난류확산 혹은 와류활동에 의해서 대륙사면의 북쪽으로 널리 퍼진다는 설(Hue, 1982)이 있기도 하다. 2차원 수치모델 (Seung and Nam, 1992; 남과 송, 1992)에서 대마난류는 대만난류의 연장이라는 결과를 얻은 바 있으나, 최근의 위성추적부이 실험 (이 등, 1992)은 기존의 가설과 다른 결과를 보인다. 한편 Hsueh 등에 의한 일련의 연구(1986, 1989)에서 겨울철 황해난류가 바람에 의해 형성되어 황해의 깊은 골을 따라 대마난류수가 유입한다고 알려지고 있다. 이러한 연구결과들은 무척 고무적인 것으로 받아들여져야 할 것이나 이는 연구의 시작에 지나지 않는다고 보아야 겠다. 대마난류의 형성과 이의 경로를 보다 확실히 규명하기 위하여는 쿠로시오 본류가 통과하는 대륙사면을 포함한 광범위한 대륙붕 해역에서 장기간 정밀 해양조사가 필요하고 수치모델에 의한 역학적 접근이 병행되어야 한다. 구체적인 방법으로는 동중국해 대륙붕과 쿠로시오를 횡단하는 적어도 하나 이상의 관측선을 구축하여 연 2회 이상 정기관측을 장기간 지속하고, 대마난류 분기가 예상되는 해역을 선정하여 표류부이와 유속계에 의한 정확한 해류 경로와 변동을 조사하고, CTD와 동위 원소에 의한 외해수와 연안수의 혼합과정을 밝히고, 해수순환을 위한 해석적모델과 3차원 수치모델 연구를 병행하는 것이다.

2.2 황해와 동중국해의 해양순환

반 폐쇄성 해역인 황해와 인접해 있는 동중국해 북부해역은 중국과 우리나라의 공업화로 공장폐수의 유입, 해상사고에 의한 유류와 화학물질의 유출, 도시 집중화에 따른 방대한 양의 생활오수의 유입으로 해양환경과 어장환경이 점차 악화되고 있다. 황해는 조석현상이 우세하여 공간적으로 작은 범위에서 해수유동과 확산은 잘 이루어지나 해수순환은 매우 느려 황해 전체 규모의 해수와 물질순환은 매우 완만한 것으로 알려지고 있다. 따라서 황해 환경관리와 이용을 위해 황해와 동중국해 북부해역에서 해수순환에 대한 정확한 이해가 필요하다. 황해남부와 동중국해 북부해역에서 기본 순환 형태는 계절에 따라 크게 변하지만 동중국해 해수(물질)가 황해로 유입하고 황해해수(물질)가 동중국해로 유출되는 것으로 믿어진다. 황해와 동중국해 경계면을 기준으로 해수의 유출입은 서부역에서 활발하고 연중 중국연안을 따라 흐르는 비교적 강한 남향류가 동중국해로 연안수를 수송하는 것으로 알려져 있다. 여름에는 황해냉수가 깊은 골을 따라 남하하고 양자강 희석수가 간헐적으로 황해 중부 및 동부로 북상하나, 겨울에는 냉수의 남하와 양자강수의 이동이 중단되는 한편 황해냉류가 동중국해 해수를 황해 서부로 수송하는 것으로 알려지고 있다. 우리나라 남서연안에는 여름에는 조석전선을 따라 겨울에는 동서방향으로 발달한 열염전선을 따라 2차 흐름이 존재할 것으로 생각되나 남북방향의 물질순환은 대단히 미약한 것으로 추정된다. 돌이켜 보면, 황해에서의 해수유동을 조사한 예는 더러 있다. 한국해양연구소(1982-1986) 및 Hsueh(1988)에 의한 해류계 계류, 1986년 7~10월에 한-미-중 합동 조사시 투하된 위성추적 부표가 대표적인 것이다. 그러나 이들 조사에서 밝혀진 것은 겨울철 북서계절풍과 연관된 황해냉류의 발달 외에는 별로 없는 실정이다. 다만 해류가 극히 미약하고 변화가 심하여 그 규칙성을 발견할 수 없다는 것이다. 따라서, 황해 해수순환의 규명을 위하여는 두가지 측면의 노력이 필요할 것 같다. 첫째, 미약한 순환의 규칙성을 발견하기 위하여 보다 장기적이고 계획적으로, 기존의 방법보다는 물질순환의 측정에 중점을 두고 둘째, 황해순환의 역학적 기구에 대하여 우리의 이해가 부족할 수도 있으므로 역학적인 측면의 연구도 병행되어야 한다. 이에 해수와 물질순환을 장기간 계

절별로 모니터링하는 관측선을 황해와 동중국해 경계선을 따라 구축하여 물질의 유출입을 정확히 측정하고 완만한 황해의 해수유동의 시·공간 변화를 Lagrangian 방법으로 측정하고 해수유동의 시간변동 파악을 위한 소수 정점에서 해류를 관측하고 황·동중국해 해수순환을 재현할 수 있는 바람과 밀도 구조를 고려한 수치모델 연구가 무엇보다 먼저 선행되어야 한다.

2.3 동해의 해수순환

해협을 통해서만 해수가 유출입하는 수심이 깊은 동해는 황해, 동중국해와는 달리 해수순환 형태가 복잡하다. 해수유동은 크게 상층순환과 심층순환으로 구분이 되지만 지금까지 주로 남부해역 상층순환에 대해 조사와 연구가 이루어 졌다. 동해의 해수유동의 기본모양은 대한해협을 통해 유입된 대마난류수가 북상을 하고 북부해역에서 형성된 해수가 남하하는 것이다. 대체로 고온 고염의 대마난류수는 북상 내지 동진하고 저온 저염의 북한난류수와 동해고유수는 남하 내지 서진하여 대마난류수 아래에 위치하게 된다. 그러나 동해 해수순환을 구성하고 있는 대마난류의 분지 혹은 사행, 한류수와 심층수의 확장경로와 크기, 극전선의 형성과 이에 수반된 중규모 현상에 대한 우리의 이해는 대단히 부족하다. 위에 제시한 문제점을 밝히기 위해 막대한 연구비와 인력이 소요됨으로 무엇보다도 지역국가간 공동조사와 연구가 필요하며, 우리는 관할수역인 동해의 남서해역을 연구대상으로 현상을 규명해야 할 것이다. 넓고 깊은 동해의 해수순환을 파악하기 위해 여러가지 종류의 조사와 연구가 필요하나 다음 세 가지가 가장 기본이라고 생각된다. 첫째로는 주요 해류의 크기와 변동을 모니터링하는 관측선의 구축이다. 대마난류수가 유입하는 동해의 관문인 대한해협을 횡단하는 선, 동한난류가 통과하고 북한난류수가 확장하는 동해-울릉도-독도를 연결하는 선에서 물리특성과 해류를 모니터링하는 것이다. 둘째는 인공위성추적 부이의 활용이다. 넓고 깊은 동해의 해수순환을 시·공간 분포를 가장 경제적이고 효율적으로 측정할 수 있는 방법은 인공위성 추적부이를 표층, 중층, 하층에 투하하여 해수의 흐름을 직접 추적하는 것이다. 셋째는 동해 주요현상에 대한 역학구조 규명과 수치모델에 의한 현상의 재현이다. 순환의 주요 역학구조를 밝히기 위해 모니터링과

정밀조사자료 그리고 기존자료에 대한 종합분석과 이론적 연구가 필요하고 상층과 심층의 해수순환을 재현할 수 있는 3차원 수치모델의 개발이 요구된다.

참고문헌

1. 황해

- 김명하, 1992: 동남 황해의 저층수의 변동성에 관한 연구. 석사학위논문, 서울대, 50 pp.
- 봉종현, 1978: 인천항 부근 수로의 조류. 한국해양학회지, 13: 29-34.
- 양성기, 조규대, 홍철훈, 1984: 1981년 하계 황해저층냉수의 이상저수온 현상. 한국해양학회지, 19: 125-132.
- 이상호, 1992: 황해 동부에서 4월에 관측된 수온역전. 한국해양학회지, 27: 259-267.
- 정경태, 1981: Response 기법에 의한 인천 천해 조석분석. 해양연구, 3: 7-12.
- 최병호, 1981: 경기만의 조석계산. 해양연구, 3: 13-22.
- 한상복, 1980: 인천의 조차변동. 한국해양학회지, 15: 123-128.
- An, H.S. and S.W. Lee, 1976: A numerical experiment of tidal currents in Asan Bay. J. Oceanol. Soc. Korea, 11: 18-24.
- An, H.S. 1987: The numerical simulation of the oceanic circulation in the Yellow Sea. J. Korean Earth Sci. Soc., 8: 171-176.
- Choi, B.H. 1980a: Tidal computations for Incheon Bay. J. Oceanol. Soc. Korea, 15: 112-122.
- Choi, B.H. 1980b: A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. KORDI Report 80-02. PSPI 00019, 72 pp.
- Choi, B.H. 1982: Note on current driven by a steady uniform wind stress on the Yellow Sea and East China Sea. La mer, 20: 65-74.
- Choi, B.H. 1983: A three-dimensional numerical model of Kyonggi Bay. J. Oceanol. Soc. Korea, 18: 10-20.
- Choi, B.H. 1984: Computation of current driven by a steady uniform wind stress on the East China Sea using a three dimensional numerical model. J. Oceanol. Soc. Korea, 19: 36-43.
- Choi, B.H. 1985a: Observed and computed tidal currents in the East China Sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 20: 56-73.
- Choi, B.H. 1985b: Computation of the Typhoon surges of July-August 1978 in the East China Sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 20: 1-11.
- Choi, J.-H. 1991: Estimation of boundary shear velocities from tidal current in the Gyeonggi Bay. Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 26: 340-349.
- Chung, J.Y., J.H. Lee, and H.S. An. 1983: Circulation dynamics of the Keum River estuary. I. Variability of the salinity boundary layer. J. Oceanol. Soc. Korea, 18: 142-148.
- Chung, J.Y. and I.K. Bhang, 1984: Circulation dynamics of the Keum River estuary. II. Fluid dynamics characteristics. J. Oceanol. Soc. Korea, 19: 141-152.
- Hsueh, Y., R.D. Romea and D.W. DeWitt. 1986: Winter-time winds and coastal sea-level fluctuations in the Northeast China Sea. Part I: Numerical model. J. Phys. Oceanogr., 16: 241-261.
- Hsueh, Y. and I.-C. Pang, 1989: Coastally trapped long waves in the Yellow Sea. J. Phys. Oceanogr., 19: 612-625.
- Kang, C.J. 1971: On the seasonal variation of the oceanographical conditions in the eastern part of the Yellow Sea. Bull. FRDA, 8: 9-29.
- Kang, Y.Q. 1982: On transports driven by time-varying winds in horizontally bounded shallow sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 17: 41-51.
- Kang, Y.Q. 1984: An analytic model of tidal waves in the Yellow Sea. J. Marine Res., 42: 473-485.
- Kang, Y.Q. and H.K. Kim. 1987: Relationships between the wintertime surface water temperature and the summertime bottom water temperature in the west sea of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 22: 228-235.
- Kim, K., K.-R. Kim, T. S. Rhee, H. K. Rho, R. Limeburner, and R. C. Beardsley. 1991: Identification of water masses in the Yellow Sea and the East China Sea by cluster analysis. In: Oceanography of Asian Marginal Seas, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 253-268.
- Korea Ocean Research & Development Institute. 1983-1986: A study on the atlas of Marine resources in the adjacent seas of Korea-Yellow Sea. Annual Reports.
- Korea Ocean Research & Development Institute. 1987: Oceanographic Atlas of Korean Waters. Vol. 1. Yellow Sea. 147 pp.
- Lee, C.K. 1970: Drift bottle experiments in the eastern Yellow Sea, 1962-1966. In: The Kuroshio, edited by J.C. Marr. East-West Center Press, Honolulu, 79-84.
- Lee, H.C. and H.S. An. 1987: A study on the heat budget in the southeastern area of the Yellow Sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 22: 217-227.
- Lie, H.-J. 1984: A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). J. Oceanol. Soc. Korea, 19: 187-194.
- Lie, H.-J. 1985: wintertime temperature-salinity characteristics in the southern Hwanghae (Yellow Sea). J. Oceanogr. Soc. Japan, 41: 291-298.
- Lie, H.-J. 1987: Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. Progress in Oceanogr., 17: 229-242.
- Lie, H.-J. 1989: Tidal fronts in the southeastern Hwanghae (Yellow Sea). Cont. Shelf Res., 9: 527-546.
- Lie, H.-J., I.K. Bhang, and Y.Q. Kang. 1986: Empirical orthogonal function analysis of seawater temperature in the southeastern Hwanghae. J. Oceanol. Soc. Korea, 21: 193-202.
- Lie, H.-J., H.-R. Yoo, and S.S. Yug. 1992: Observation of cold coastal water with high turbidity around the southwestern tip of Korean Peninsula. In: Proceedings of Conference for Pacific Ocean Environments & Probing, 25-31 August, Okinawa. Vol. 2, 858-863.
- Park, Y.H. 1986a: Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in summer. Progress in Oceanogr., 17: 243-254.

- Park, Y.H. 1986b: A simple theoretical model for the upwind flow in the southern Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **21**: 203-210.
- Seung, Y.H. 1987: A summer circulation inferred from the density (temperature) distribution in the Eastern Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**: 63-70.
- Seung, Y.H., J.H. Chung, and Y.C. Park. 1990: Oceanographic studies related to the tidal front in the mid-Yellow Sea off Korea: Physical aspects. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **25**: 84-95.
- Whang, C.P. 1971: On the variation of sea level due to meteorological disturbances on the coast of Korea. I. Storm surges caused by Typhoon Billie, 1970, on the west and south coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **6**: 92-98.
- Yi, S.-U. 1972: On the tides, tidal currents and tidal prisms at Incheon Harbor. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **7**: 86-97.
- 2. 동중국해**
- 남수용, 송영호, 1992: 동해해수 유입에 대한 수치모델: 대마난류의 형성 및 수송량. *한국수산학회지*, **25**: 58-64.
- 유청로, 장선덕, 1979: 낙동강 하구의 조석과 유동. *한국해양학회지*, **14**: 71-77.
- 이홍재 등, 1991: Kursohio 해역에서 해양변동 연구 (1차년도). *한국해양연구소 보고서*, BSPG 00131-377-1, 136 pp.
- 이홍재 등, 1992: Kursohio 해역에서 해양변동 연구 (2차년도). *한국해양연구소 보고서*, BSPG 00168-473-1, 122 pp.
- 장선덕, 유청로, 이문옥, 이재철, 1981: 낙동강 하구의 염수운동. *한국해양학회지*, **16**: 31-37.
- 추교승, 1978: 낙동강 하천수의 유입확산에 따른 해양변동. *수로기술연보*, **1101**: 9-18.
- Byun, S.K. and K.I. Chang, 1988: Tsushima Current water at the entrance of the Korea Strait in Autumn. *Progress in Oceanogr.*, **21**: 295-306.
- Chang, S.-D. 1970: Computation of wind drift currents in the southern waters of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **3**: 199-206.
- Choi, B.H. 1980: A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. *KORDI Report 80-02*. PSPI 00019. 72 pp.
- Choi, B.H. 1984: Computation of current driven by a steady uniform wind stress on the East China Sea using a three dimensional numerical model. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 36-43.
- Fang, G., B. Zhao and Y. Zhu, 1991: Water volume transport through the Taiwan Strait and the continental shelf of the East China Sea measured with current meters. In: *Oceanography of Asian Marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 345-358.
- Gong, Y. 1971: A study on the south Korean coastal front. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **6**: 25-36.
- Hwang, C.P. 1971: On the variation of sea level due to meteorological disturbances on the coast of Korea. I. Storm surges caused by Typhoon Billie, 1970, on the west and south coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **6**: 92-98.
- Kang, C.-J. 1974: A study on the seasonal variation of the water masses in the southern sea of Korea. *Bull. FRDA*, **12**: 107-121.
- Kang, Y.Q. 1984: An analytic model of the M2 tide near Cheju Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 18-23.
- Kim, B.-K. 1982: Variation coefficient of water temperature and salinity in the southwestern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **17**: 74-82.
- Kim, B.-K. 1989: Study on the southern coastal waters of Korea by NOAA image. *J. Korean Soc. Remote Sensing*, **5**: 57-67.
- Kim, H.J. and S.-S. Yug, 1983: Inversion phenomena of temperature in the Southern Sea of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **16**: 111-116.
- Kim, K. and S.H. Lee, 1982: Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **17**: 59-68.
- Kim, K. and S.H. Lee, 1986: Variation of the M2 tide amplitude around the Jeju-do. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **21**: 171-183.
- Kim, K., H.K. Rho, and S.H. LEE, 1991: Water masses and circulation around Cheju-do in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **26**: 262-277.
- Kim, K., K.-R. Kim, T.S. Rhee, H.K. Tho, R. Limeburner, and R.C. Beardsley, 1991: Identification of water masses in the Yellow Sea and the East China Sea by cluster analysis. In: *Oceanography of Asian Marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 253-268.
- Korea Ocean Research & Development Institute, 1984-1986: A study on the atlas of Marine resources in the adjacent seas of Korea-Yellow Sea. *Annual Reports*.
- Korea Ocean Research & Development Institute, 1987-1990: A study on the atlas of Marine resources in the adjacent seas of Korea-South Sea. *Annual Reports*.
- Lee, S.H. and K. Kim, 1988: Variation of the diurnal tides around Jeju-do. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **23**: 62-69.
- Lee, J.C., J.Y. Na and S.D. Chang, 1984: Thermohaline structure of the shelf front in the Korea Strait in early winter. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 56-67.
- Lie, H.-J. 1985: Wintertime temperature-salinity characteristics in the southern Hwanghae (Yellow Sea). *J. Oceanol. Soc. Korea*, **41**: 291-298.
- Lie, H.-J. 1987: Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. *Progress in Oceanogr.*, **17**: 229-242.
- Lim, D.B. 1971: On the origin of the Tsushima Current water. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **6**: 85-91.
- Lim, D.B. 1976: The movements of the waters off the south coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **11**: 77-88.
- Park, Y.H. 1985: Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 12-21.

- Park, Y.H. 1986: Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in summer. *Progress in Oceanogr.*, **17**: 243-254.
- Park, Y.H. and S.-I. Kim, 1987: A numerical study on tide-induced residual currents around Chejudo Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**: 9-18.
- Rho, H.K. and T. Hirano, 1983: Tongue-like warm water appeared in the east entrance of the Jeju Strait. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **16**: 299-304.
- Rho, H.K. and K. Kim, 1983: Variation of sea surface temperature between Jeju and Mogpo, and between Jeju and Wando. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 64-72.
- Seung, Y.H. and S.Y. Nam, 1992: A numerical study on the barotropic transport of the Tsushima Warm Current, *La mer*, **30**, 139-148.
- 3. 동해**
- 공 영, 1968: 연안수온의 계절변동에 관하여. *수진원 연구보고*, **3**: 59-79.
- 공 영, 박정길, 1969: 한국동해 냉수역의 해양학적 특성. *수진원 연구보고*, **4**: 69-91.
- 공 영, 손송정, 1982: 한국 동해의 해양 열전선에 대한 고찰. *수진원 연구보고*, **28**: 25-54.
- 공 영, 이홍재, 1984: 동해 남부해역의 열전선분포. 한국 해양연구소 보고서, BSPE00055-86-7B, 216 pp.
- 김영의, 정종률, 1989: 동해의 해수순환에 대한 Numerical modelling 연구. I. 폐쇄해역으로 가정한 경우. *한국 해양학회지*, **24**: 96-108.
- 변상경 등, 1989: 한국해협에서의 해류구조연구 (II). 한국해양연구소 보고서, BSPG00090-253-1, 47 pp.
- 변상경 등, 1990: 한국해협에서의 해류구조연구 (III). 한국해양연구소 보고서, BSPG00115-320-1, 34 pp.
- 승영호, 1974: 8월의 한국동안에서의 수온분포에 관한 역학적 고찰. *한국해양학회지*, **9**: 52-58.
- 승영호, 남수용, 1992: 냉수형성이 동한난류에 미치는 영향에 대한 2층모델. *한국수산학회지*, **25**: 65-72.
- 이창기, 1970: 대한해협의 해·조류에 관하여. *수진원 연구보고*, **6**: 175-231.
- 이홍재, 1984: 동해연안수온의 일별변화. *해양연구*, **6**: 1-6.
- 이홍재, 신창용, 승영호, 1992: 동해 죽변 연안해역에서 조석주기의 내부수온변동. *한국 해양학회지*, **27**: 228-236.
- 이홍재, 추교승 등, 1985: 한국해협에서 하계 해수특성과 조석운동. *해양연구소 보고서*, BSPE00055-86-7c, 65 pp.
- 이홍재 등, 1988: 고리주변 환경종합평가 및 관련모델개발-해양확산모델개발. 에너지연구소 보고서 KAERI. NSC/397/89, 386 pp.
- 추교승, 1975: 홍수시 낙동강 하천수가 대한해협에 미치는 영향. *수로기술연보*, 75-78.
- 한상복, 1991: 대마난류의 평균 용적수송량 추정. *수진원 연구보고*, **45**: 23-29.
- 홍철훈, 조규대, 양성기, 1984: 1981년 하계 동해연안역의 이상저수온 현상. *한국해양학회지*, **19**: 11-17.
- An, H.S. 1974: On the cold water mass around the southeast coast of Korean peninsula. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **9**: 10-18.
- An, H.S. 1981: Numerical modelling of the coastal upwelling near the poleward edge of the western boundary current. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **16**: 12-23.
- An, H.S. and J.Y. Chung, 1982: The fluctuation of the thermal front in the southeastern area off Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **17**: 33-40.
- Byun, S.K. 1989: Sea surface cold water near the southeastern coast of Korea: wind effect. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **24**: 121-131.
- Byun, S.K. and S.D. Chang, 1984: Two branches of Tsushima Warm Current in the western channel of the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 200-209.
- Byun, S.K. and Y.H. Seung, 1984: Description of current structure and coastal upwelling in the southwest Japan Sea-summer 1981 and spring 1982. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, editd by T. Ichiye. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 83-93.
- Choi, S.-W. and Y.Q. Kang, 1987: Empirical orthogonal function analysis of coastal water temperatures in the Tsushima Current region. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **20**: 89-94.
- Gong, Y. and Y.Q. Kang, 1986: SST anomalies off the southeastern coast of Korea. *Bull. FRDA*, **37**: 1-9.
- Han, Y.H. 1972: Heat budget over the south-western part of the Japan Sea in the month of January and cold water mass in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **7**: 19-23.
- Hahn, S.D. 1979: Variability of physical structure in Korea Strait. In: *The Kuroshio IV*, The Japan Academy, Tokyo, 129-154.
- Hong, C.H. and K.D. Cho, 1983: The northern boundary of the Tsushima Current and its fluctuations. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 1-9.
- Hong, C.H. and J.H. Yoon, 1992: The effects of Typhoon on the coastal sea level variation in the Tsushima Strait. *Umi no Kenkyu*, **1**: 225-250 (in Japanese).
- Isoda, Y., T. Yanagi and H.J. Lie, 1991: The mean sea level variation with the period of several days along the southwest Japan Sea. *Cont. Shelf Res.*, **11**: 167-182.
- Kang, Y.Q. 1984: Atmospheric and oceanic factors affecting the air-sea thermal interactions in the East Sea (Japan Sea). *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 163-171.
- Kang, Y.Q. 1988: On the formation of the East Korean Warm Current. *Ocean Research*, **10**: 1-6.
- Kang, Y.Q. 1990: Spatio-temporal characteristics of the Ullung Warm Lens. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **23**: 407-415.
- Kang, Y.Q. and S.W. Choi, 1985: Annual and interannual fluctuations of coastal water temperatures in the Tsushima Current and the Kuroshio Regions. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **18**: 497-505.
- Kang, Y.Q. and Y. Gong, 1987: Markov chain properties of SST anomalies at the southeastern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**: 57-62.
- Kang, Y.Q. and O.G. Kang, 1987: Annual variation of

- water temperature in the upper 200 m off southeast coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**: 71-79.
- Kang, Y. Q. and B. D. Lee, 1984: Year-to-year fluctuations of seasonal variation of surface temperature in the Korea Strait. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **17**: 557-565.
- Kaneko, A., S.-K. Byun, S.-D. Chang and M. Takahashi, 1991: An observation of sectional velocity structure and transport of the Tsushima Current across the Korea Strait. In: *Oceanography of Asian marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 179-196.
- Kawatate, K. et al., 1991 (14 persons): A cross-spectral analysis of small voltage variation in a submarine cable between Hamada and Pusan with speed variation of the Tsushima Warm Current. In: *Oceanography of Asian marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 207-222.
- Kim, H. J. and K. D. Cho, 1982: Inversion phenomena of density in the Japan Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **17**: 69-73.
- Kim, C. H., H.-J. Lie and K.-S. Chu, 1991: On the intermediate water in the southeastern East Sea (Sea of Japan). In: *Oceanography of Asian marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 129-142.
- Kim, K. and J. Y. Chung, 1984: On the salinity-minimum and dissolved oxygen-maximum layer in the East Sea (Sea of Japan). In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 55-65.
- Kim, C. H. and K. Kim, 1983: Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 73-83.
- Kim, K., K.-R. Kim, J. Y. Chung, H. S. Yoo and S. G. Park, 1991: Characteristics of physical properties in the Ullung Basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **26**: 83-100.
- Kim, K. and R. Legekis, 1986: Branching of the Tsushima Current in 1981-1983. *Progress in Oceanogr.*, **17**: 265-276.
- Lee, J. H. and J. Y. Chung, 1982: Continental shelf waves off the eastern coast of Korea. *La mer*, **20**: 169-180.
- Lee, J. C. 1983: Variations of sea level and sea surface temperature associated wind-induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 149-160.
- Lee, J. C. and C. H. Chung, 1977: An estimation of average current velocity in the western channel of the Korea Strait from mean sea level data. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **12**: 67-74.
- Lee, J. C. and W. Chung, 1981: On the seasonal variations of surface current in the eastern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **16**: 1-11.
- Lee, J. C. and J. Y. Na, 1985: Structure of upwelling off the southeast coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 6-19.
- Lee, J. C., J. Y. Na and S. D. Chang, 1984: Thermohaline structure of the shelf front in the Korea Strait in early winter. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 56-67.
- Lee, K. B. 1978: Study on the coastal cold water near Ulsan. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **13**: 5-10.
- Lie, H.-J. 1984: Coastal current and its variation along the east coast of Korea. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 349-408.
- Lie, H.-J. Near-inertial current oscillations off the mid-east coast of Korea. *Progress in Oceanogr.*, **21**: 241-253.
- Lie, H.-J. and S.-K. Byun, 1985: Summertime southward current along the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 22-27.
- Lie, H.-J., M. S. Suk and C. H. Kim, 1989: Observations of southward deep currents off the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **24**: 63-68.
- Lim, C. H. and H. S. An, 1985: The comparison of the volume transport in the Korea Strait and in the middle of the East Sea (Japan Sea). *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 51-55.
- Lim, D. B. 1973: The movement of the cold water in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **8**: 46-52.
- Lim, D. B. and S.-D. Chang, 1969: On the cold water mass in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **4**: 71-82.
- Lim, K.-S., 1991: Internal tides in an axially symmetric basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **26**: 133-143.
- Na, J. Y. 1988: Wind stress distribution and its application to the upper-layer structure in the East Sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **23**: 97-109.
- Nam, S.-Y. and Y. H. Seung, 1992: A numerical model on the inflow into the Japan Sea: the formation and transport of the Tsushima Warm Current. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **25**: 58-64.
- Park, C. K. 1972: Hourly change of temperature and salinity in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **7**: 15-18.
- Ro, Y.-J. 1989: Interannual variability of sea water temperature in the southern waters of the Korean East Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **24**: 1-14.
- Seung, Y. H. 1984: A numerical experiment of the effect of coastline geometry on the upwelling along the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 24-30.
- Seung, Y. H. 1986: On the response of coastal water to the intensification of East Korea Warm Current along the east coast of Korea- a theoretical consideration. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **21**: 229-235.
- Seung, Y. H. 1988: An advection-diffusion model for the distribution of surface cold water near Ulgi (Ulsan), southeast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **23**: 13-23.
- Seung, Y. H., S. Y. Nam and S. R. Lee 1990: A combined effect of differential cooling and topography on the formation of Ulleung Warm Eddy. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **22**: 375-384.
- Seung, Y. H. 1992: A simple model for separation of East Korean Warm Current and formation of North Ko-

- rean Cold Current. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **27**: 189-196.
- Seung, Y.H. and S.K. Byun, 1984: Measurements of storm-induced baroclinic motions along the east coast of south Korea. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 95-102.
- Seung, Y.H. and K. Kim, 1989: On the possible role of local thermal forcing on the Japan Sea circulation. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **24**: 1-14.
- Seung, Y.H. and S.-Y. Nam, 1991: Effect of winter cooling on surface hydrographic conditions off Korean coast in the East (Japn) Sea. In: *Oceanography of Asian marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 163-178.
- Shim, T. and K. Kim, 1981: On the variation of the mixed layer depth and the heat flux in the Sea of Japan. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **16**: 49-56.
- Shim, T., W.J. Wiseman, O. Huh and W.-S. Chuang, 1984: A test of the geostrophic approximation in the western channel of the Korea Strait. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 263-272.
- Suk, M.S. 1988: Application of a variational inverse model to determine a wintertime circulation in the East Sea of Korea. *Progress in Oceanogr.*, **21**: 281-293.
- Yi, S.-U. 1966: Seasonal and secular variations on the water volume transport across the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **1**: 7-13.
- Yi, S.-U. 1970: Variations of oceanic condition and mean sea level in the Korea Strait. In: *The Kuroshio*, edited by J.C. Marr, East-West Center Press, Honolulu, 125-141.
- 4. 기타**
- 강용균, 김복기, 송영호, 1991: 한반도 근해 표면수온의 시계열적 예측. *황해연구*, **4**: 1-14.
- 공 영, 1968: 연안수온의 계절변동에 관하여. *수진원연구보고*, **3**: 59-79.
- 김해경, 1992: 엘니뇨현상에 관한 통계적 분석. *한국해양학회지*, **27**: 35-45.
- 나정열, 서장원, 한상규, 1992: 한국 근해의 월평균 해상풍. *한국해양학회지*, **27**: 1-10.
- 송영호, 1992: 한반도 주변의 수괴와 해수순환. *한국해양학회지*, **27**: 324-331.
- 오임상, 이영로, 1992: 해양 표면 모델링에 대한 고찰. *한국해양학회지*, **27**: 311-323.
- 이석우, 1992: 한국 연안 해양학의 현황과 과제. *한국해양학회지*, **27**: 342-349.
- 임기봉, 1972: 한국 연안수온의 월별변동과 평년상에 대하여. *수진원 연구보고*, **9**: 29-45.
- 한상복, 1992: 한반도 주변의 해양관측: 과거, 현재, 미래. *한국해양학회지*, **27**: 332-341.
- Bong, J.H. 1976: Heat exchange at the sea surface in the Korean coastal seas. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **11**: 43-50.
- Choi, B.H. and H.-J. Lie, 1992: Physical Oceanography Programme of the East China Sea and the East Sea (Japan Sea) Dynamics in Korea. *Proceedings of PORSEC-92*, Okinawa, 25-31 August, 1992, 28 pp.
- Hahn, S.D. 1982: Seasonal variation of coastal water movement in Korea. *Bull. FRDA*, **28**: 15-24.
- Kang, S.K., S.-R. Lee and K.-D. Yum, 1991: Tidal computation of the East China Sea, the Yellow Sea and the East Sea. In: *Oceanography of Asian marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 25-48.
- Kang, Y.Q. 1983: On the generation of temperature inversions in the upper layer of the ocean. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 43-48.
- Kang, Y.Q. 1985: Influence of the Asian monsoon and the Kuroshio on the sea surface temperature in the Yellow Sea, the Japan and the East China Seas. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 1-9.
- Kang, Y.Q. 1984: An analytical model of wind-driven currents in the Yellow, the East China and the South China Seas. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 143-154.
- Kang, Y.Q. 1985: Seasonal variation of heat content in the neighbouring seas of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 1-5.
- Kang, Y.Q. and B.D. Lee, 1985: On the annual variation of the mean sea level along the coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 22-30.
- Kang, Y.Q. and M.S. Jin, 1984a: Seasonal variation of surface temperature in the neighbouring seas of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 31-35.
- Kang, Y.Q. and M.S. Jin, 1984b: Annual variation of salinity in the neighbouring seas of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 105-110.
- Kim, B.K. 1983: Periodic and correlation analysis between water temperature and air temperature in the Korean waters. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **18**: 55-63.
- Lie, H.-J. 1984: A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 187-194.
- Lie, H.-J. and M. Endoh, 1991: Seasonal and interannual variability in temperature of the upper layer of the northwest Pacific, 1964-1983. *J. Phys. Oceanogr.*, **21**: 385-397.
- Na, J.Y. and B. Kim, 1991: Laboratory experiments of periodically forced homogeneous flow in a rotating cylindrical container. In: *Oceanography of Asian marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 63-74.
- Oh, I.S. and S.I. Kim, 1990: Numerical simulations of the storm surges in the seas around Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **25**: 161-181.
- Park, Y.H. and C.S. Kim, 1984: Wave prediction in the Japan and East China Seas using DSA-5 model. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 409-423.

- Shin, H. R., Y. Michida and Y. Nagata, 1991: The structure of the Kuroshio front in the vicinity of separation point where the Kuroshio leaves the Japanese coast. *J. Japanese Oceanogr. Soc.*, **47**: 111-125.
- Shin, H. R., Y. Nagata and J. Yoshida, 1988: Detailed water mass analysis in the Kuroshio front with special reference to its double structure. *Dynamics of Atmosphere and Oceans*, **12**: 173-189.
- Yi, S.-U. 1967: On the variations of monthly mean sea

levels along the coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **2**: 24-33.

- Yoon, J.-Y., J. M. Price and L. Maggard, 1991: Observational characteristics of internal temperature fluctuations in the mid-latitude North Pacific. In: *Oceanography of Marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1-24.

Accepted December 23, 1993