

BSPE 97665-00-1019-1

기상-해황 예보능력 향상을 위한
황해에서의 대기-해양 상호작용 Mechanism
연구기획 보고서

Yellow Sea Air-Sea Interaction Program
Science and Implementation Program

1998. 1.

한국해양연구소

제출문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 ‘기상-해황 예보능력 향상을 위한 황해에서의 대기-해양 상호작용 mechanism 연구기획’의 최종보고서로 제출합니다.

1998년 1월 일

연구책임자: 이 홍 재

해양분야

한국해양연구소: 이 재학
김 철호
방 인권
전 동철
이 석

기상분야

기상연구소: 홍 윤
오 재호
권 원태
정 성대
김 태희
강 기룡

요 약 문

I. 제목

기상-해황 예보능력 향상을 위한 황해에서의 대기-해양 상호작용 mechanism 연구기획

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 목적

3단계 10년 기간으로 추진되고 있는 국책연구사업인 ‘황해종합연구’의 2단계 목표는 주요 쟁점과정에 대한 정밀조사와 분석이다. 이에 2단계 주요 사업으로 추진해야 할 ‘해양-대기 상호작용’ 분야의 주요과제를 도출하고 각 과제별 연구방향과 내용을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 중요성

- 황해의 해양-대기 상호작용 분야의 국내 조사와 연구활동은 저조하고 체계적으로 수행되고 있지 않다. 그러나 이 분야의 연구는 해양과 기상변화 예측 능력을 향상시킬뿐 아니라 여러 해양관련 응용분야 (환경, 자원, 국방, 기후변동, 재해방제)에 크게 활용된다.
- 황해의 해양현상과 해양순환계는 황해의 기상조건에 따라 민감하게 반응하며 해양순환계는 황해의 해양환경보전 및 생물자원분포에 직접 영향을 미친다. 한편, 한반도 기상변동은 황해를 통과하는 기압계가 황해로부터 열과 수분을 공급받아 어떻게 발달하고 변질되는냐에 크게 좌우된다.
- 해양과 대기는 그 경계면을 공유하고 있으며 경계면을 통해 열과 물질 그리고 역학적 에너지를 상호교환한다. 따라서 해양과 대기의 제반 특성과 호

름에 대한 정밀자료의 획득과 과정에 대한 역학규명이 필요하다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 내용

국책연구사업인 ‘황해종합해양조사’의 2단계 사업을 위한 해양-대기 상호작용 분야의 연구기획 및 과제도출, 과제별 연구추진방향 제시.

2. 범위

가. 기획팀 구성

해양-대기 상호작용 연구기획을 위한 해양물리전문가 (한국해양연구소)와 대기과학 전문가 (기상연구소)로 기획팀 구성.

나. 과제도출 과정과 종합

- 기획팀 합동회의를 2회 개최하여 연구기획방향과 과제도출방법을 협의.
- 해양물리와 대기과학 분야별로 과제를 도출하고 각 과제별로 필요성, 국내외 연구현황, 연구 목적과 내용, 추진방법을 기술.
- 과제별 연구목적과 범위 그리고 과제간 연계성에 따라 제시된 과제를 종합검토.
- 각 과제 목표에 따라 세부과제 구성을 조정하고 내용을 보완하여 6개 과제를 도출.

IV. 연구개발 결과와 활용에 대한 건의

1. 도출 연구과제명

과제 1. 해양-대기 상호작용과 황해의 해수순환

- 과제 2. 해상기상변화와 해수면변동
- 과제 3. 대기-해양 경계층의 구조와 열교환
- 과제 4. 해양기상 감시 및 예측기술
- 과제 5. 해양기상부이에 의한 해양-기상 및 열교환 관측시스템 구축
- 과제 6. 태풍감시 및 예측기술

2. 활용에 대한 건의

국책연구사업 ‘황해종합연구’의 2단계 사업목표가 주요 쟁점현상에 대한 과정규명이다. 황해의 관리, 이용, 개발을 위해서 해양-대기 시스템과 관련된 과정연구가 반드시 수행되어야 할 것이다. 본 기획연구에서 도출된 과제와 세부과제는 해양-대기 상호작용과 직접 관련된 주요과정을 포함하고 있으며 해양과 대기변화를 예측하는데 반드시 반영되어야 할 내용으로 구성되었다. 따라서, 도출된 과제와 내용은 황해연구의 2단계 기획에 바로 활용할 수 있다.

목 차

요약문	iii
그림 목차	ix
제1장 총론	1
제1절 황해의 지형학적, 해양학적, 기상-수문학적 주요특성	1
1-1 지형학적 특성	1
1-2 해양학적 특성	3
1-3 기상-수문학적 특성	6
제2절 황해에서 해양-대기 상호작용 연구는 왜 중요한가	8
제3절 황해의 해양-대기 상호작용 연구는 어떤 분야에 이용되는가	9
3-1 황해의 해양환경 보호 및 관리	9
3-2 생물자원관리 및 연안역 개발	9
3-3 자연재해 방제, 수색 및 구난	10
3-4 해양방위, 기후변동 등	11
제4절 해양-대기 상호작용 연구기획팀 구성 및 기획목표	12
4-1 기획연구 추진경위	12
4-2 연구기획목표	13
제2장 연구과제의 구성 및 개요	15

제1절 연구과제의 학문적 특성과 기초연구현황	15
제2절 중점연구사업의 구성과 방향	17
제3절 중점연구과제의 도출	18
3-1 일차시안	18
3-2 중과제 도출 및 주요 연구목적	19
제3장 중과제 연구계획	23
중과제1. 해양-대기 상호작용과 황해의 해수순환	25
중과제2. 해상기상 변화와 해수면 변동	39
중과제3. 대기-해양 경계층의 구조와 열교환	51
중과제4. 해양기상 감시 및 예측기술	65
중과제5. 해양기상부여에 의한 해양-기상 및 열교환 관측시스템 구축	81
중과제6. 태풍감시 및 예측기술	93

그림목차

그림 1. 황해의 해저지형도	2
그림 2a. 황해의 겨울철 해수면수온	4
그림 2b. 황해의 여름철 해수면수온	5
그림 3. 황해와 동중국해에서 해상풍의 1월과 7월 응력분포 (단위: dyne/cm ²)	7
그림 4. 대기-해양 경계층에서 발생하는 과정들의 모식도	16
그림 5. 황해에 투하한 위성추적부이의 이동궤적	29
그림 6. 위성고도계인 TOPEX/POSEIDON의 황해와 동중국해상에서 궤도.	43
그림 7. 해무의 발생	67
그림 8. 미국 NOAA 표준형인 직경 3m 해양기상부이의 단면도	84
그림 9. 3대의 시험연구용 해양기상부이를 황해에 설치할 경우 예상위치	87
그림 10a. 한국해양연구소 해양기상부이의 사진	88
그림 10b. 한국해양연구소 해양기상부이의 자료 송수신 체계	89
그림 11. 태풍의 위공위성사진	94

제1장 총론

제1절 황해의 지형학적, 해양학적, 기상-수문학적 주요특성

1-1 지형학적 특성

황해는 한반도 서안과 중국대륙에 의해 둘러싸인 직사각형 모양의 반폐쇄성 천해로 남으로 한국 남해와 동중국해 북서역과 접하고 있다. International Hydrographic Bureau의 convention에 따르면, 황해와 동중국해의 경계는 통상 중국 동안의 양자강 하구에서 제주도 서단을 연결하는 직선으로 정의하고 있으나 (Uda, 1966)¹ 제주도와 한국 남해안 사이인 제주해협에서는 그 경계가 아직까지도 정확히 정의되어 있지 않다. 지리적 편의상 제주해협에서의 경계를 동경 126도 10분을 택하기도 한다 (Lie, 1984)².

황해는 리아동반도와 산둥반도 사이에 위치한 Bohai (발해)만과 그의 해역으로 구분하기도 하는데 중국정부는 발해만을 내해로 간주하고 타국이 이 해역에서 조사활동을 제한하고 있는 실정이다. 황해의 총 표면적은 48.7 만 km²로 한반도 면적의 약 2배 이상이며 평균수심은 44 m의 천해이다. 따라서 황해에 담겨 있는 해수의 총부피는 약 $0.194 \times 10^5 \text{ km}^3$ 이며, 무게로는 약 19.5조 톤에 해당한다. 한편, 발해만의 평균수심은 전체 평균수심의 약 반인 21 m이다.

황해의 수심분포를 보면, 수심이 60 m 이상인 깊은 골이 한반도 쪽으로 치우치긴 하였지만 황해중앙부에서 남북방향으로 발달하였고 중국과 한국연안쪽으로 갈수록 수심이 얕아진다. 중심골은 남으로 갈수록 제주도 쪽으로

주 1. Uda, M., 1966. Yellow Sea. In. The Encyclopedia of Oceanography. Ed. R.W. Fairbridge, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 994-998.

2. Lie, H.-J., 1984. A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea(H wanghae). J.Oceanol. Soc. Korea, 19(2), 187-194.

Bathymetry of the Yellow Sea

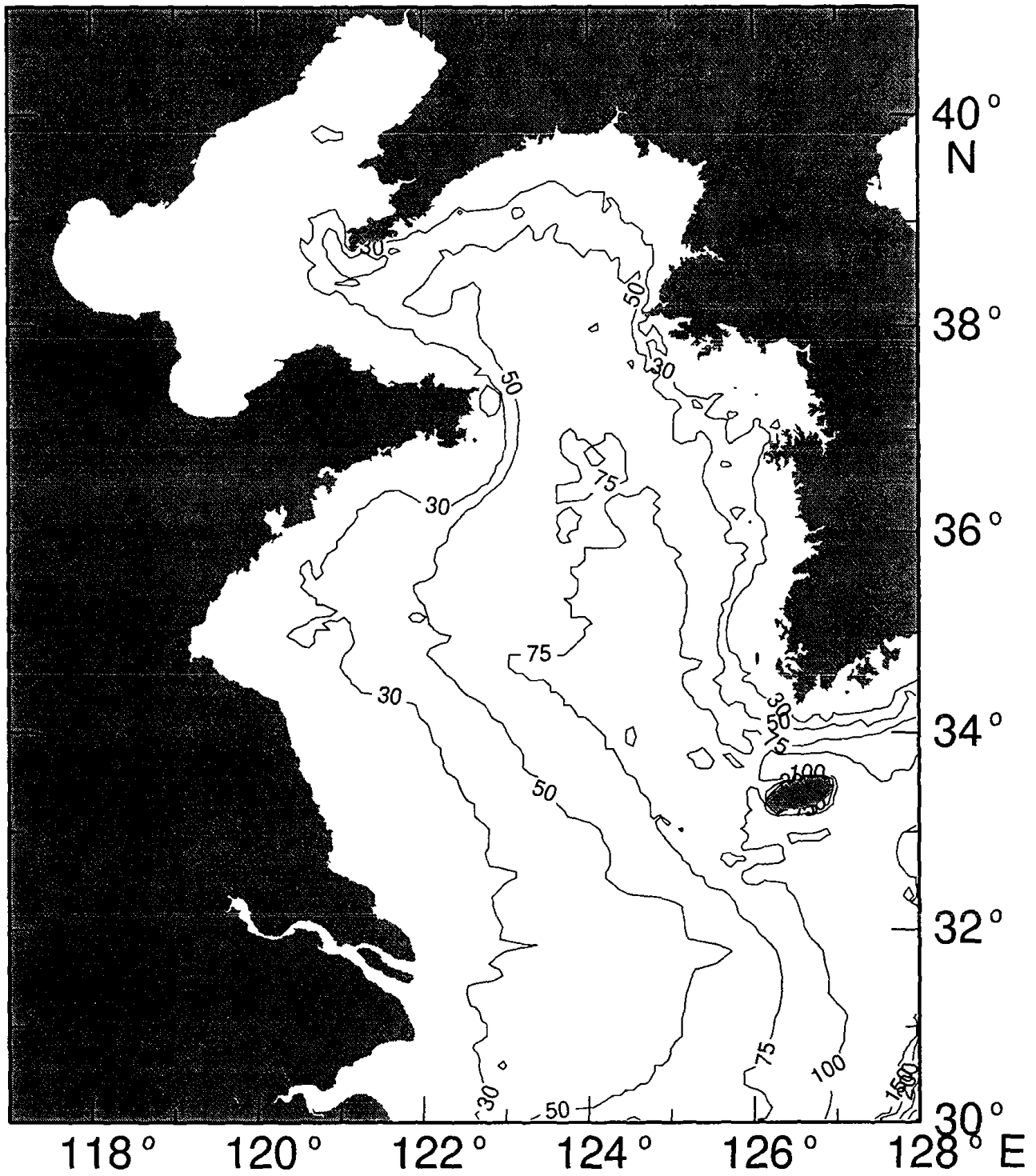


그림 1. 황해의 해저지형도

점점 치우쳐서 60-100 m 등수심선이 제주해협과 동중국해로 확장분포하는 모양을 보인다. 한편, 강하구역에서는 사구 (sand bank)와 수로가 잘 발달되어 있다.

1-2 해양학적 특성

황해의 대표해수는 통상 염분이 낮은 연안수와 동중국해에서 올라오는 염분이 높은 Kuroshio 수계로 구분한다. 그러나 중위도에 위치한 타 연안역에서와 같이 해수의 해양학적 특성은 매우 심한 계절변동을 보인다. 더욱, 황해는 수심이 얕고 중국과 한반도에 위치한 강으로부터 강수유입이 많으며 몬순기후대에 위치하기 때문에 해황의 계절변동 및 경년변동이 다른 천해역보다도 크다. 따라서 수계, 해수순환, 생물·화학적 특성의 계절적 대표성을 정의하기가 용이하지 않지만, 몬순이 황해에 끼치는 영향이 대단히 커서 해양학적 분포특성과 해수순환을 통상 겨울과 여름으로 구분하여 황해의 해양학적 특성을 기술하고 있다.

황해의 해양학적 특성 해역별로 구분하기도 한다. 담수에 영향을 직접 받는 강하구역, 강한 조석에너지의 영향을 받는 조석혼합역, Kuroshio 수계의 영향을 받는 난수역, 난수와 황해해수가 접촉하여 형성하는 전선역, 담수와 조석에너지의 영향이 상대적으로 작은 황해 중앙역으로 구분하여 해양학적 특성을 기술하는 것이다.

황해의 대표적 해양학적 특성중 하나는 조차가 크며 조류가 강하다는 것이다. 조석과 조류는 해양물리 화학적 분포특성을 결정할뿐아니라 황해에 서식하고 있는 모든 생태계에도 지대한 영향을 미친다. 해양현상이 조석주기, 특히 대조기와 소조기가 반복됨에 따라 변화하며 여기에 담수유입이나, 난수유입, 기상학적 요소가 복합적으로 작용할 때는 해황변동의 원인과 구조를 정확히 규명하기가 매우 어렵게 된다. 그러나 이러한 원인과 구조의 규명없이는 황해를 이해한다고 할 수 없는 것이다.

Temperature (February : surface)

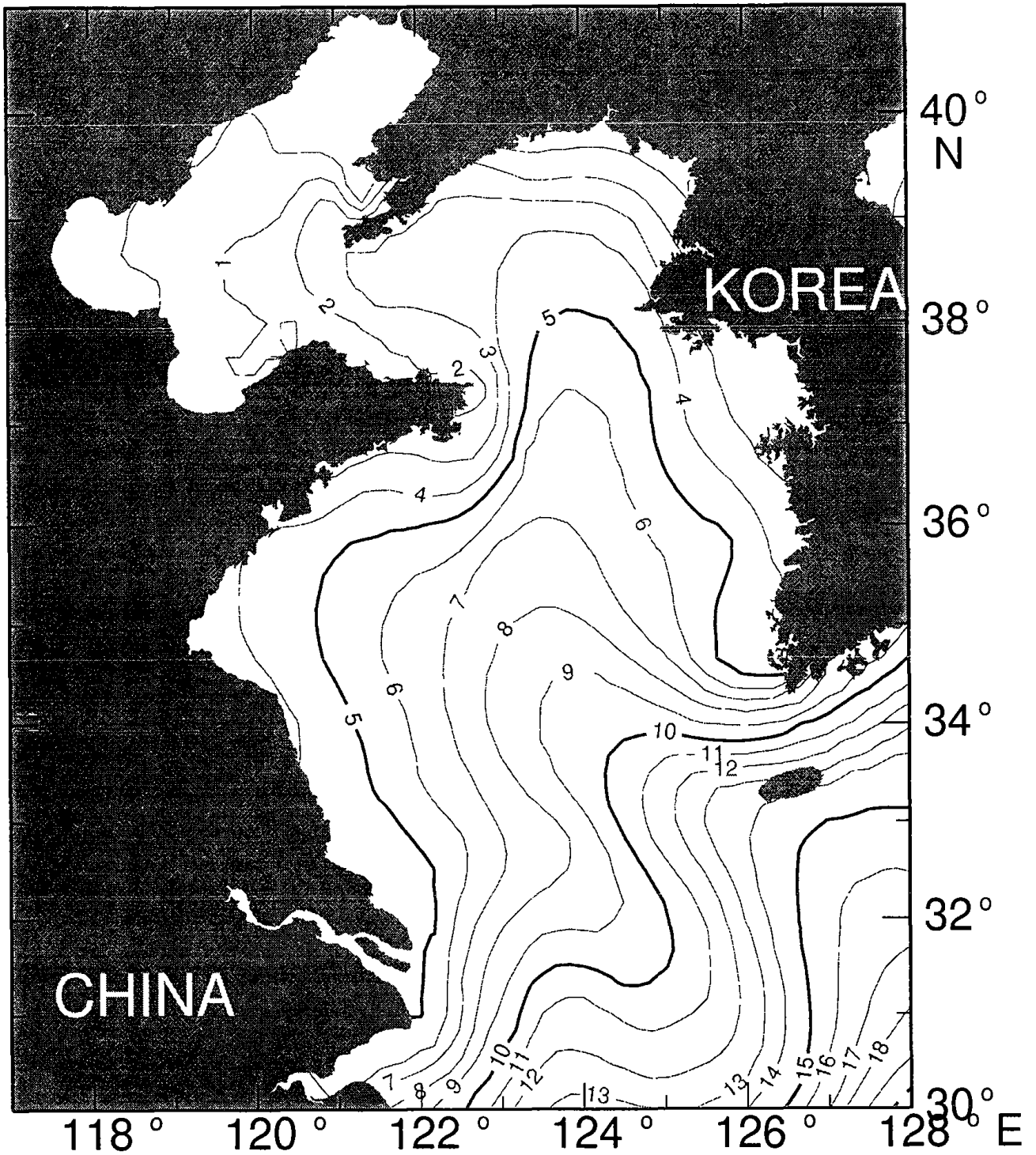


그림 2a. 황해의 겨울철 해표면수온

Temperature (August : surface)

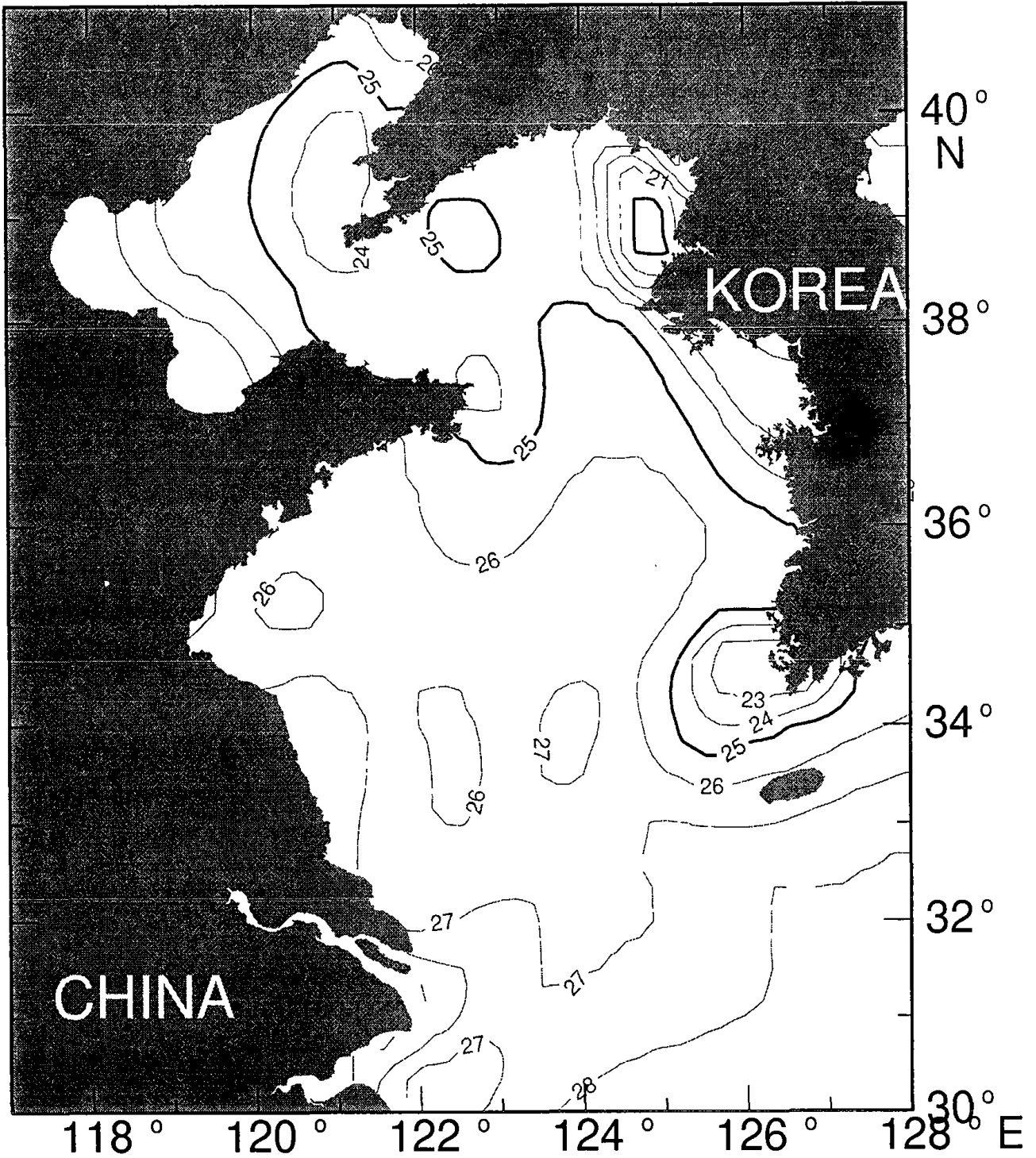


그림 2b. 황해의 여름철 해표면수온

1-3 기상-수문학적 특성

한반도를 포함한 주변해역에서의 전형적인 기상학적 패턴은 한대성 (polar) 대륙기단과 열대성 해양기단에 의해 좌우된다. 겨울철인 11월부터 3월까지는 차고 건조한 대륙기단이 발달하여 북풍계열의 바람이 강하다. 반면에 여름철에는 대륙기단이 대륙으로 후퇴하고 따뜻하고 습한 해양기단이 북상하여 남풍계열의 바람이 우세하게 된다. 또한 여름철에는 열대성 저기압인 태풍이 빈번히 내습하기도 한다. 전이기간인 봄과 가을에는 중국대륙에서 동으로 이동하는 기단이 발달하며 기상변화도 매우 불규칙하다.

황해상에서 기온은 대체로 위도에 평행한 분포를 보이며 남에서 북으로 기온이 감소한다. 기온은 1월에 최저를, 8월에 최고를 보이고 연교차는 대단히 커서 황해 남부에서 약 21 °C 황해 북부에서는 약 30 °C에 달한다. 겨울철에는 황해의 해면수온이 해면기온보다 높아서 해양이 대기로 열을 공급하나 여름철에는 이와 반대로 수온이 기온보다 낮아 대기로부터 해양으로 열이 이동한다.

연평균 강수량은 황해남부에서 약 1400 mm, 북부에서는 약 500 mm로 남에서 북으로 갈수록 작아지며 황해 전체평균은 1000 mm 정도다 (Kim, 1973). 이러한 강수량은 우기인 6월부터 9월사이에 집중되며 그 양은 연강수량의 약 60 %를 차지한다.

중국 및 한반도에 있는 하천을 통해 황해 및 동중국해상으로 유입하는 담수의 양은 연간 약 $1.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 이며 이중 약 63 %가 양자강을 통해 유입되는 것으로 알려지고 있다. 이러한 막대한 양의 하천수는 황해 및 동중국해의 해수면을 약 1.5 m 상승시킬 수 있는 양이다. 따라서 하천수와 강수량을 함께 고려하면, 담수는 황해의 해수면을 약 2.5 m나 상승시킬 수 있는 양이다. 또한 황해의 염분을 33 ‰이라고 하면 담수의 유입은 염분을 약 1.3 ‰ 정도 감소시킬 수 있다.

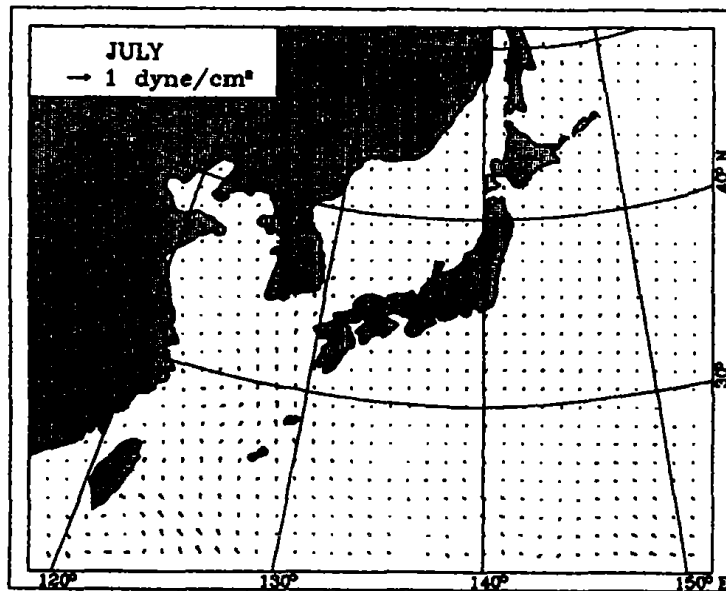
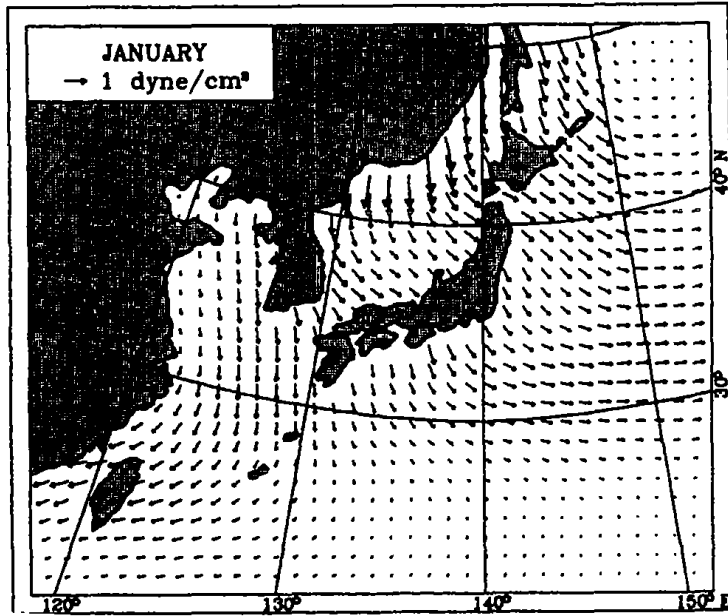


그림 3. 황해와 동중국해에서 해상풍의 1월과 7월의 응력분포

제2절 황해에서 해양-대기 상호작용 연구는 왜 중요한가

해양학에서 다루는 주대상은 바닷물에 대한 해양학적 특성과 흐름이며 대기과학의 주 연구대상은 공기의 물리적 특성과 흐름이다. 그러나 해양과 대기는 그 경계면을 공유하고 있어서 경계면을 통해 열과 물질 그리고 역학적 에너지를 상호교환한다. 따라서 해양이나 대기의 제반 특성과 흐름을 이해하기 위해서 해양과 대기에 대한 정확한 특성분포와 흐름에 대한 자료가 요구된다. 해양-대기 사이의 물질과 에너지 교환, 그리고 경계층에서의 구조를 규명하기 위하여 선진 외국에서는 오래전부터 활발한 조사와 연구가 수행하고 있으나 국내에서는 이 분야에 대한 중요성을 인식은 하면서도 아직은 체계적인 조사와 연구를 수행하지 못하고 있는 실정이다.

해양-대기 상호작용은 황해의 해양구조에 결정적 영향을 미치며 황해 및 한반도 상공의 대기구조에도 큰 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. 상호작용에 대한 조사와 연구는 학술적 측면에서 중요할 뿐 아니라 해양과학 및 대기과학과 연계된 여러 응용분야에 대한 바른 이해를 위해서도 대단히 중요하다.

황해는 천해로 황해상의 대기변동에 민감하게 반응한다. 바람의 세기와 방향은 풍성류의 세기와 방향을 주도하여 해수의 유동구조를 결정 짓기 때문에 황해의 해수가 동중국해로 유출되거나 동중국해의 해수가 황해로 유입하는 것은 황해상의 바람장에 따라 좌우된다고 해도 지나친 표현은 아니다. 또한, 바람장 및 해양-대기 열교환으로 수층과 대기층의 안정도가 결정되기 때문에 해수 및 대기특성의 수직구조도 이러한 상호작용의 결과인 것이다.

한반도 대기시스템은 중국대륙에서 형성되거나 중국대륙을 통과해서 동으로 이동하는 대기시스템에 영향을 받을 수밖에 없다. 특히, 중국대륙으로부터 한반도로 접근하는 이동성 기압은 황해상을 통과하면서 황해로부터 열과 수분을 공급받아 발달하게 된다. 이렇게 발달된 이동성 기압은 바로 황해는 물론 한반도 기상에 직접 영향을 미친다. 반면에 대기가 황해 및 한반도를

통과하면서 포함하고 있던 제반 물질을 방출함으로써 황해 해수의 특성 및 대기권의 특성을 변질시키는 역할을 하기도 한다.

제3절 황해의 해양-대기 상호작용 연구는 어떤 분야에 이용되는가

3-1 황해의 해양환경 보호 및 관리

우리나라 및 중국에서 발생하는 대부분의 육상기원 오염물질은 강 및 하천을 통해 하구역으로 도착하게 되어 일차적으로 하구역을 오염시키게 된다. 오염물질의 누적과 지속적인 유입은 하구역의 해양환경을 더욱 악화시킬뿐 아니라 확산 및 강한 조류에 의해 오염이 연안역으로 확장된다. 오염물질의 유입은 바다수질의 악화는 물론이거니와 이곳에 서식하는 생물의 2차오염을 초래한다. 한편, 우리나라 및 중국 정부 당국자는 해양오염으로 황해가 황폐화됨을 인식하기 시작하였으나 그 조사 연구활동이 아직은 연안역에서 오염물질의 농도분포조사에 머물고 있는 실정이다.

그러나 연안역의 오염물질의 외해역으로 확장 및 이동은 황해 전체해역에 대한 건강유지 및 상태진단에 가장 기본적으로 요구되는 중요한 요소인 것이다. 또한 황해의 오염된 물질 혹은 오염원이 황해내에서만 정체되어 있는 것이 아니라 우리나라 남해 및 인접하고 있는 동중국해상으로까지 확장될 수 있기 때문에 환경보호 및 관리 측면에서 황해의 해역별, 계절별 유동 환경에 대한 정확한 자료와 정보가 필요하다.

3-2 생물자원관리 및 연안역 개발

황해에는 많은 종류의 어족자원이 서식하고 있다. 이들 토착성 어종과 더불어 동중국해에서 서식하는 일부 난류성 어종에게는 천해인 황해가 좋은 산란장이자 유어의 성장지인 것이다. 종합적이고 장기적인 계획없이 농지 및 공업지역 확보를 위한 무분별한 연안역 개발과 간척사업으로 인하여 주요

산란장 및 성장지가 파괴되고 있다. 이러한 단기적 개발정책으로 인한 환경 악화는 고효율 생산해역인 황해의 이용도를 사실상 인위적으로 낮추는 것이라고 평가할 수 있다.

주요한 산란장과 성장지는 적극 보호하고 난치자어가 잘 성장할 수 있도록 그들의 서식지를 해양오염과 연안개발로 보호하면서 연안역개발과 농경지 확보를 고려하는 정책이 요구된다. 이러한 정책의 추진은 생물자원보호 및 관리 측면과 연안역개발이라는 두가지 상이한 측면의 조화가 필요하다. 자연보호와 인위적 개발의 조화는 황해라는 전체시스템에 대한 해양과학적 조사와 연구를 토대로 이루어 져야하며 특히 물리환경 (기상-해양물리)에 대한 기본적인 조사 및 상시감시체계하에서 연구검토되어야 하는 것이다.

3-3 자연재해 방제, 수색 및 구난

1997년도 서해안 일부 해역의 해수범람으로 농경지와 일부 도시가 수몰되는 큰 피해가 발생하였고, '백중사리'가 중요 잇슈로 대두되어 이에 대한 국가대책위가 구성되고 부처별 업무영역에 대한 재정리와 역할분담까지 심각하게 논의되었다. 이 해수범람은 조석현상에 기상현상이 복합되어 발생한 것으로 열대성 저기압이 황해역을 통과하면서 비정상적인 해수유동을 유발하여 우리나라 서해안에 해수면을 상승시킨 것이다. 그러나 이상해수면 변화를 예측하지 못하는 원인을 살펴보면, 첫째로는 황해상에서 해상기상정보는 직접관측에 의한 실시간 자료로부터 이루어 지는 것이 아니며 육상과 위성으로부터 획득되는 자료로부터 간접 추정되고 있으며, 둘째로는 황해상으로 기압대 통과경로 및 세력에 대해 황해가 어떻게 반응하는지에 대한 정보를 현재의 해양관측과 모니터링체계에서는 얻을 수 없으며, 셋째로는 기상변화에 대한 해양반응에 관한 기초연구도 미미하였고 실관측자료 없이 황해에 적용할 수 있는 적합한 모델개발을 할 수 없다는 것이다.

수년전 서해에서 여객선 침몰사고로 많은 인명과 재산피해가 발생하였으나 그 당시 즉각적인 인명구조와 사체수색에 해상상태에 대한 정확한 정보가 없어 많은 어려움이 있었다. 바람 및 해수유동에 대한 정확한 정보가 제공될 수 있는 체계가 구축되어 있었다면 인명피해를 줄일 수 있었으며 사체

수색이 신속히 이루어 질 수 있었을 것으로 판단한다.

이러한 과거에 발생하였던 해양재난시 사전에 적절히 대처하지 못하였던 것은 부처별 역할분담이나 협조체제에 문제가 있었다기 보다는 대책에 근간이 되는 해양-기상의 과학적 감시체계가 구축되어 있지 않고 지속적인 기초연구도 소홀히 하였다는 사실에 있다.

3-4 해양방위, 기후변동 등

대잠전 작전에서는 해양표층혼합층의 두께와 밀도분포, 유동환경과 같은 가장 기본적인 해양정보를 필요로 한다. 이 기초해양정보들은 해상기상상태에 대단히 민감하게 반응하며 대기와 해양간 열교환에 의해 결정된다. 특히, 해수의 수온, 염분, 밀도 등의 구배가 큰 전선역에서 해양정보를 신속하게 예보하는 것이 해상군작전의 성패를 좌우할 수 있다. 이에 선진 강대국은 전략적차원에서 자국관할수역은 물론 분쟁가능해역을 대상으로 지속적인 해양자료의 수집, 특수목적에 위한 자료의 고급정보화, 특별조사를 실시하고 있으며 기초조사와 연구는 민간연구기관으로 하여금 수행하도록 하고 있다.

수년전부터 지구온난화로 지구환경이 급격히 변화함으로 인류생존을 위협할 수 있다는 가능성이 커짐에 따라 지구환경보전을 위한 세계 정상회의가 열려 각국의 탄산가스 배출량을 규제하는 등 적극적 대책을 논의하고 있는 실정이다. 또한, 열대해역에서의 발생하는 엘니뇨가 전지구적 기후변동에 어떤 영향을 미치고 기후변동에 따라 사회 경제에 어떻게 영향이 파급되는가를 평가하기 위해 각국이 고심하고 있다. 특히, 전세계 기후와 몬순과의 관계규명이 주요한 문제중 하나로 대두되어 아시아 몬순기후에 대한 국제공동 조사 및 연구가 적극적으로 추진되고 있다. 우리나라는 몬순 기후권에 속해 있기 때문에 기후변동이 농수산업 생산력을 직접 좌우하고 있을뿐 아니라 사회경제적으로 미치는 영향도 매우 크다. 그러나, 이들 기후변동감시와 기초연구에 대한 체계적 활동은 타분야에 비해 투자와 지원이 매우 부족한 실정이다.

제4절 해양-대기 상호작용 연구기획팀 구성 및 기획목표

4-1 기획연구 추진경위

과학기술처가 황해의 환경보전과 자원이용을 위한 조사연구를 위해 1994년 3월 한국해양연구소로 하여금 ‘황해종합연구기획’ 연구를 추진하도록 하였고 1995년 2월 기획보고서가 제출되었다. ‘황해종합연구기획팀’은 1995년부터 2004년까지를 3단계로 구분하여 매 단계별 주요기획방향과 주요과제를 제시하였으며 과학기술처는 1단계 기획방향인 황해 basin 규모 현상 연구의 토대를 마련하기 위한 해양자료 획득이라는 방향에 맞추어 ‘황해종합조사연구’라는 국책과제를 공모하여 1995년 11월부터 연구비를 지원하고 있다.

1995년부터 3년 기간으로 수행되고 있는 1단계 조사연구의 핵심은 황해 전해역을 대상으로 기초해양자료를 획득하여 2단계 목표인 과정연구의 토대를 구축하는 것이다. 한편, 과학기술처는 한-중 해양과학기술 협력을 강화하였고 1단계 사업중 해양순환과 물질플럭스를 한-중 공동조사로 추진하도록 하여 한국해양연구소와 중국국가해양국 제1해양연구소가 공동조사를 성공적으로 수행하고 있다.

한편, 황해종합기획에서는 해양-대기 관측조사가 한 분야로서 전반적인 연구방향과 목표가 기술되어 있으나 1단계 사업에서는 목표에 비해 연구내용 및 범위가 대단히 제한적이다. 따라서 해양-대기에 대한 체계적인 조사가 2단계 황해종합연구에서는 제대로 반영되어 해양-대기 상호작용에 대한 연구가 본격적으로 수행될 필요가 있다. 따라서 3단계 10년기간으로 기획하였던 해양-대기 분야를 2단계 황해종합연구에서는 어떻게 추진하는 것이 바람직하며 어떤 과제를 다루어야 하는가에 대한 사전 준비를 위하여 한국해양연구소 해양물리학자와 기상연구소 기상학자로 구성된 기획연구팀을 구성하게 되었다.

4-2. 연구기획 목표

황해종합연구 기획에서는 해양-대기관측조사 사업분야를 하나의 주요 연구분야로 제시하였다. 1단계 황해국책과제에서는 해상기상관측시스템을 설치하고 시험운영하는 것을 목표로 해양-대기관측조사사업을 중과제로 선정하였다. 이 중과제는 ‘종합해양관측’과 ‘해양-대기관측시스템 연구’라는 두 개의 세부과제로 추진하고 있으나 세부과제간 연계성이 부족하고 해양-대기관측시스템 연구 세부과제도 성격이 다른 2개팀이 수행하고 있는 실정이다.

따라서, 2단계 황해종합연구에서는 과제간 연계성이 강화되어야 하며 특히 해양과 대기과학분야가 실질적으로 상호보완적인 역할을 담당하여 대기과학과 해양과학이 공동으로 수행해야하는 과제를 도출해야 한다. 공동연구를 필요로 하지 않는 학문적 독자성이 강한 세부과제는 해양-대기관측 조사사업에서 수행하는 것보다 각 연구기관이 독립적으로 수행하는 것이 보다 효율적일 것이다. 이에 본 연구를 2단계 황해종합연구에서 중과제인 해양-대기 분야를 위한 연구기획과제로 추진하였으며, 해양-대기 상호작용의 세부과제의 도출과 구체적 연구방향을 제시하는데 목적을 두었다.

제2장 연구과제의 구성 및 개요

제1절 연구과제의 학문적 특성과 기초연구현황

우리나라 주변해역에서 해양-대기 상호작용에 대한 체계적인 조사와 심도있는 연구가 수행된 바는 없다. 그러나 선진 외국에서는 이미 오래전부터 해양-대기 상호작용이 해양현상은 물론 대기현상에 미치는 영향이 지대함을 인식하여 해양 및 대기과학자들이 공동으로 해양-대기 상호작용에 관한 연구를 수행하여 두 매질간 열교환에 대한 기본적인 실험적 관계를 밝힌 바 있다. 해양과 대기 사이에 있는 경계층을 통해 열에너지와 역학에너지 교환이 이루어 진다. 따라서 해양-대기 경계층과 경계층에 접하고 있는 해양표층과 대기하층에서의 미세물리구조 파악이 교환과정 및 해양-대기 상호작용 역학을 규명하는데 핵심이 된다. 최근에 정교한 관측센서들의 개발과 각종 센서를 제어 통합할 수 있는 전자기술의 발달로 경계층에서의 미세현상이 상당히 밝혀지기는 하였으나 아직도 실험단계를 벗어나지 못하여 에너지 교환과정 등 경계층 및 혼합층내에서 물리구조의 시간 및 공간 변동을 정확히 예측하지는 못한다.

경계층과 혼합층의 미세구조에 관한 역학과정이 밝혀지지 않는 않지만 열과 역학에너지 교환이 중규모 및 대규모의 해양과 대기구조 변동에 어떻게 영향을 주는가에 대해서는 깊이 있는 기초연구가 수행되었다. 주요 기초연구로는 바람에 의한 해류발생과 basin규모의 해수순환, 바람과 대기압에 의한 해면변화 (표면파 및 장파), basin규모의 해양-대기 사이의 열교환, 해양표층의 열손실에 의한 해양대류순환, 용승 및 지역적 해표면 수온의 하강에 따른 해무발생, 해양-대기 상호작용에 의한 기압계의 변형과 대기안정도 등을 열거할 수 있다. 이러한 제반 현상들은 황해에서도 존재하며 기초연구결과는 황해에도 바로 응용할 수 있다. 그러나 황해는 타해역과는 달리 반폐쇄성 해역으로 수심이 얕고 복잡한 해저지형을 갖고 있기 때문에 대기변동에 대한 해양반응과 해양변동에 대한 대기반응이 황해 고유의 특징적 형태를 가질 것이다.

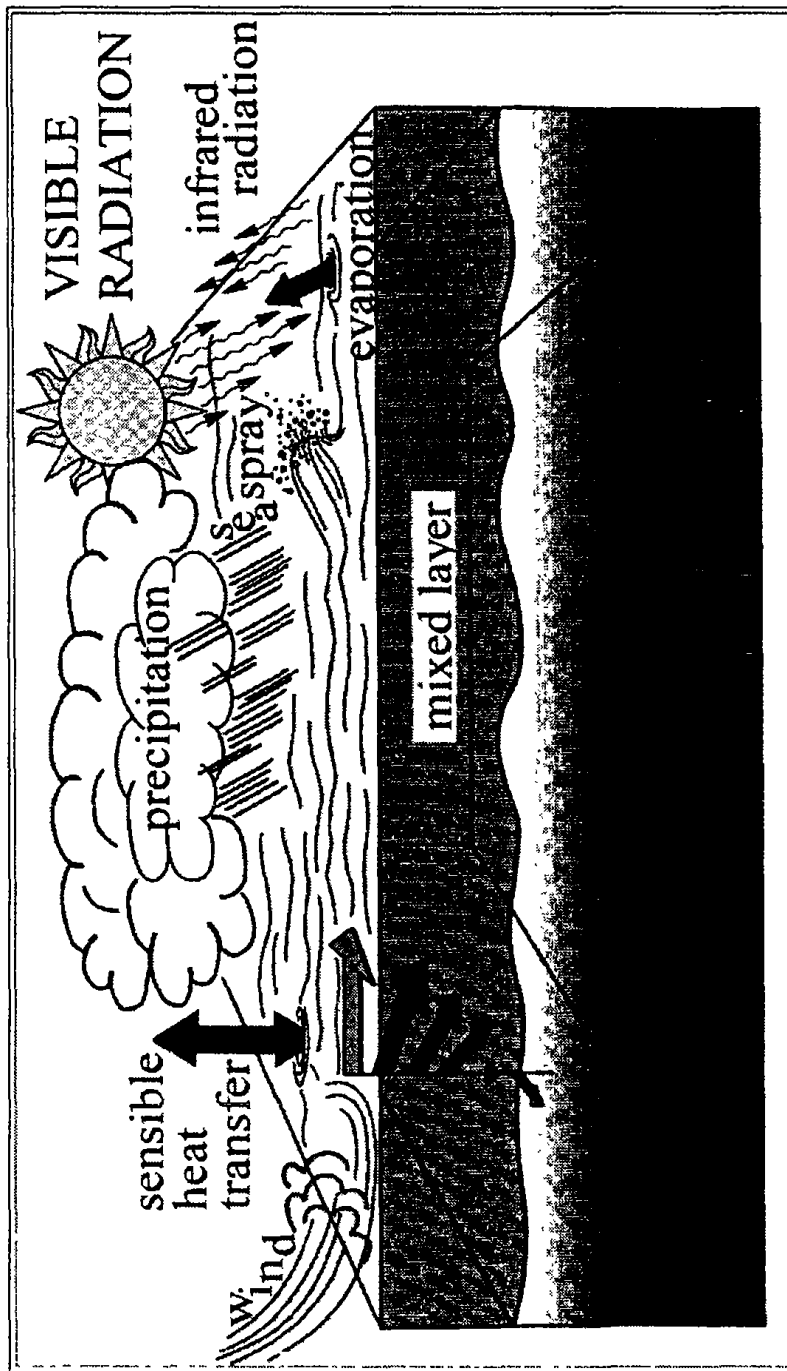


그림 4. 대기-해양 경계층에서 발생하는 과정들의 모식도

제2절 중점 연구사업의 구성과 방향

황해에서 해양-대기 상호작용 규명과 활용분야를 고려하여 어느 임의점 혹은 국부해역에서 미세규모의 해양-대기 상호작용보다는 황해라는 basin 규모의 중규모 해양-대기 상호작용에 연구의 중점을 두었다. 즉, 기압계가 황해를 통과할 때 황해의 해수가 어떻게 반응하는지, 황해의 해양구조가 통과하는 기압계를 어떻게 변형시키는가를 연구의 중심으로 설정하고 이 두가지 큰 주제를 해결하기 위한 중과제 및 세부과제를 도출하였다.

황해에 설치되어 있는 해양기상부이의 현황을 보면 중국이 황해북부에 1대, 한국기상청이 서해 연안역에 두 대를 설치하여 운영하고 있으나 중국측은 자료를 공개하지 않고 있으며 한국 기상청이 운영하는 부이는 안전성 확보 및 자료송신을 위하여 섬 가까이에 설치하여 황해의 해상기상을 대표한다고 보기는 어렵다. 또한 부이의 설치목적이 기상관측에 있기 때문에 해양-대기 상호작용에 필요한 종합자료를 생산하고 있지 않다. 따라서 무엇보다도 해양과 기상을 정확히 관측할 수 있는 해양기상관측부이를 황해의 basin 규모의 구조를 조사할 수 있는 대표점을 선정하여 장기간 운영할 수 있는 관측시스템을 구축하여야 한다.

해양분야에서는 기상조건에 민감하게 반응하는 해양표층혼합층, 해수유동, 해수면변화, 해양전선에 대한 관측과 이론연구를 중심으로 하고 기상분야에 이에 대한 자료와 연구결과를 제공하도록 한다. 반면에 기상분야에서는 이동성 기압계의 발달과 변형, 해상풍, 악기상에 대한 관측과 이론 연구는 물론 황해를 통과한 기압계가 한반도 육상기상에 미치는 영향을 평가하며 해양분야에 관측과 연구결과를 이용할 수 있도록 제공하도록 한다. 또한, 이러한 해양과 대기 연구를 위한 관측망이 향후 상시 국가관측망으로 전환되는 경우에는 획득되는 자료가 관련학계 및 관련당국에게 연구 및 예보에 활용될 수 있도록 제공되어야 할 것이다.

제3절 중점연구과제의 도출

3-1 일차시안

본 연구기획팀은 해양과 대기분야 과학자로 구성되었기에 해양과학자는 해양과학의 입장에서 대기과학자는 대기과학 입장에서 각각 해양-대기 상호작용에 대한 기획과제 1차시안을 작성하였다. 1차시안에서 제시된 주요 세부과제는 아래와 같다.

해양부분

1. 황해의 열수지와 시공간 변화
2. 해양-대기 열교환과정
3. 해상기상에 의한 해류발생 및 변동
4. 해수순환 수치모형실험
5. 해양표층혼합층의 구조와 변화
6. 해양기상부이 설치와 운영기법
7. 해양전선의 형성과 소멸
8. 전선과 해무와의 관계

기상부분

1. 황해의 열수지분포
2. 해양-대기 경계층 연구
3. 국지해양기상 예측성
4. 악기상에 의한 해수면변화
5. 해무감시기술 개발
6. 집중호우 및 대설의 예보 정확도 제고
7. 해상 낙뢰 발생 감시 및 예측기술 개발
8. 태풍정보 생산체계 구축
9. 태풍진로 예측기법

10. 태풍위치 및 강도분석기법

11. 태풍해일 감시기술개발

3-2 중과제 도출 및 주요 연구목적

해양과학과 대기과학 입장에서 각각 작성한 1차시안을 검토한 결과, 많은 세부과제가 내용과 범위에서 약간의 차이는 있었지만 연구목표는 서로 일치하였다. 해양-대기 상호작용시스템의 규명이라는 전체목표 달성을 위해 제시된 과제를 기반으로 중과제를 도출하였고 중과제내에서 세부과제간 학문적 연계성과 연구업무의 효율성을 고려하여 세부과제를 재배치하거나 추가 조정하였다. 따라서 제시된 6개의 중과제와 세부과제 구성에 대해 학문분야의 입장에 따라 약간의 이견이 있을 수 있다. 그러나 중과제의 연구목적은 황해의 해양-대기시스템을 이해하는데 반드시 필요한 사항이다.

<중과제 1> 해양-대기 상호작용과 황해의 해수순환

목적: 황해의 해류를 발생시키는 가장 중요한 외력인 해상풍의 구조와 변동성을 체계적으로 계산하고 황해의 해수특성을 결정짓는 해양-대기간 열수지 관계를 규명하며, 해류의 시-공간 구조를 관측하여 해상풍과 해류변동과의 역학구조를 제시한다. 이러한 역학구조를 기초로 황해의 해수순환수치모형을 개발하고 해상풍과 열수지에 의한 해수순환을 모의한다. 중과제는 다음과 같은 세부과제로 구성된다.

1. 황해의 해상풍과 열수지 분포
2. 해류관측 및 해상풍에 의한 해류변동
3. 해수순환 수치모형실험

<중과제 2> 해상기상변화와 해수면변동

목적: 기존의 연안해수면관측망을 보완하는 원해해수면 관측을 실시하여 황해 전체의 해수면 관측체계를 구축하며, 위성관측을 통한 해수면고도자료의 분석기술을 정립하여 해수면자료를 종합정리하고, 이를 근거로 악기상 발

생시 해수면의 이상반응을 체계적으로 분석하여 악기상과 해수면과의 역학 구조를 규명하고 이상해수면 변화를 수치모형실험으로 모의한다. 중과제는 기본적으로 아래와 같은 네가지 세부과제로 구성된다.

1. 해수면 관측 및 변동구조 분석
2. 위성고도(altimetric)자료의 분석
3. 악기상과 이상해수면 변동
4. 해수면 변동 수치모형실험

<중과제 3> 대기-해양 경계층의 구조와 열교환

목적: 대기와 해양간의 상호작용 통로로서 우리나라의 기후와 황해의 해수 순환에 큰 영향을 미치는 황해의 해양혼합층의 구조를 분석하고, 공간적 분포와 시간적 변동을 파악하며, 대기-해양간의 수직적 열교환 과정을 밝히고, 황해에 적합한 해양혼합층 수치모형을 개발하여, 2단계로 대기-해양 접합모형, 해수순환 모형과의 접합, 해양혼합층 예보모형으로의 발전을 기한다. 중과제는 세가지 세부과제로 구성된다.

1. 해양표층혼합층의 구조분석 및 계절변동
2. 대기-해양 경계층에서의 열교환과정
3. 표층혼합층 수치모형실험

<중과제 4> 해양기상 감시 및 예측기술

목적: 황해 및 동중국해상에서 기압계의 급격한 변동성과 변화과정의 요인을 파악하여 해상기상모델의 기초를 세우고, 해양의 수온전선이 대기에 미치는 영향과 기상현상에 의한 다양한 크기의 외력변화에 해양전선이 어떻게 변화하는지를 밝히며, 해상 악기상, 즉, 해무, 집중호우 및 대설에 대한 예측의 정확도를 높이는 기반을 구축한다. 중과제는 네가지 세부과제로 구성된다.

1. 황해 및 동중국해의 해양기상 변동성
2. 해양전선이 해상기상에 미치는 영향

- 3. 해무감시기술
- 4. 집중호우 및 대설 예보 정확도 향상

<중과제 5> 해양기상부이에 의한 해양-기상 및 열교환 관측 시스템 구축

목적: 황해에서 해양과 기상변화를 직접관측하여 실시간으로 해양과 기상변화를 예측할 수 있는 국가감시망을 구축하기 위한 연구용 해양-기상부이를 설치 시험운영하여 설치 및 운영기술을 확보하며, 주요 해양-기상센서를 부이에 부착하여 센서의 성능과 통합운영체계를 구축하며, 관측된 자료를 저렴한 경비로 효과적으로 원거리 통신할 수 기술을 개발하고 송수신된 자료를 처리하여 국가 database화 한다. 중과제는 아래와 같은 세가지 세부과제로 구성된다.

- 1. 해양기상부이의 설치 및 시험운영
- 2. 해양-기상 센서의 통합
- 3. 해양-기상자료의 송수신 및 처리기법

<중과제 6> 태풍감시 및 예측기술

목적: 해마다 3-4개의 태풍이 우리나라에 영향을 미친다. 태풍내습시 집중호우 및 해일에 의한 피해가 매년 반복되고 있다. 그러므로 태풍 감시를 비롯한 태풍중심 위치 및 강도, 진로 분석 및 예측기술의 개발은 기상분야 뿐만 아니라 집중호우 대비 및 해상 방재 분야에 필수적이다. 따라서 본 연구를 통하여 객관적이고 종합적인 태풍감시 및 예측기술을 개발한다. 중과제는 네가지 세부과제로 구성한다.

- 1. 입체적 태풍감시기술 개발
- 2. 태풍진로 예측기술 개발
- 3. 태풍위치 및 강도분석기법
- 4. 태풍해일 감시기술개발.

제3장 중과제 연구계획

중과제명

1. 해양-대기 상호작용과 황해의 해수순환
2. 해상기상변화와 해수면변동
3. 대기-해양 경계층의 구조와 열교환
4. 해상기상 감시 및 예측기술
5. 해양기상부이에 의한 해양-기상 및 열교환 관측 시스템 구축
6. 태풍 감시 및 예측기술 개발

<중과제 1>

해양-대기 상호작용과 황해의 해수순환

1. 연구목적

황해의 해류를 발생시키는 가장 중요한 외력인 해상풍의 구조와 변동성을 체계적으로 계산하고 해수의 해수특성을 결정짓는 해양-대기간 열수지 관계를 규명하며, 해류의 시·공간 구조를 관측하여 해상풍과 해류변동과의 역학구조를 제시한다. 이러한 역학구조를 기초로 황해의 해수순환 수치모형을 개발하고 해상풍과 열수지에 의한 해수순환을 모의한다.

2. 세부과제구성

- 황해의 해상풍과 열수지 분포
- 해류관측 및 해상풍에 의한 해류변동
- 해수순환 수치모형 실험

3. 배경

3.1 필요성

해상풍과 열수지는 해류를 구동시키는 가장 직접적인 요인이다. 황해의 해류는 동계의 강한 북풍계열의 바람에 의해 계절적으로 흐름형태가 바뀌어진다. 동계의 냉각과 하계의 가열효과는 황해의 수괴분포를 수직적으로 현저히 다른 구조로 만듦으로써 황해의 해류분포를 계절적으로 상이한 형태로

특징짓는다. 따라서 황해의 해류체계를 규명하기 위해서는 먼저 이러한 해류의 구동력이 되는 해상풍과 열수지(해면열속)를 정량적으로 파악할 필요가 있다. 해류의 구동조건에 대해 정량적으로 파악할 수 없었던 과거에는 가상의 수치를 가지고 해류를 산정할 수밖에 없었다. 그 결과 제시된 황해의 해류분포 혹은 해수순환도는 과연 실제적인 황해의 분포도를 제시하고 있는지 많은 의문이 제기된다.

황해의 해조류 특성은 시간에 따라 왕복운동을 하는 조류성분이 매우 강하게 나타나며 실질적으로 해수와 물질의 이동을 일으키는 해류성분은 동해의 대마난류나 동중국해의 쿠로시오 등과 비교하여 일반적으로 대단히 약한 것으로 알려져 있다. 황해는 이와 같이 미약한 평균해류의 특성과 더불어 왕성한 어획활동에 의해 그 동안 해류조사가 제한받아 왔으며 또한 황해의 중국측 해역은 실질적인 해류관측이 최근까지 불가능하였기 때문에 아직도 전체적인 해류시스템이 불명확하다.

해상풍에 의한 해류발생기구를 규명하기 위한 이론적인 연구는 오래 전부터 이루어져 왔는데 이 과정에서 해면에 작용하는 해상풍에 의해 해양내부로 전달되는 응력은 운동량의 수직확산 과정과 해저면의 마찰저항에 의해 수직적으로 재분배되며 해면변화를 야기함으로써 해류의 공간구조를 결정짓는 역할을 한다. 해상풍의 강도와 운동량 확산계수, 해저마찰계수 등 해류의 발생과 전파, 소멸에 관여하는 역학적 요소들은 체계적인 현장관측 없이는 정확히 평가할 수 없는 물리량들이다. 기존의 수치모형 실험(Choi 등; 1982, 1984, 1992)에서는 이러한 파라메타들의 크기를 적당히 가정할 수밖에 없었으며 또한 이상적으로 설정한 황해의 해상풍계를 구동조건으로 하고 있기 때문에 이러한 수치모형 결과는 종관적인 바람에 의해 야기되는 황해의 3차원적인 실제 해류분포를 사실적으로 묘사하고 있다고 보기 어렵다. 따라서 황해해류의 시공간적 분포특성을 정량적으로 파악하기 위해서는 이론 연구 결과 혹은 수치모형의 적용에 앞서 이와 같은 물리인자들과 실측해류와의 역학관계를 체계적인 현장관측을 통해 먼저 규명하여야 한다.

해양의 현상이 비선형적 현상이거나 불규칙적인 외력이 작용하는 비정상적인 과정인 경우 수치적인 방법에 의존하지 않을 수 없다. 또한 현실의 해

양순환에 있어서는 대부분 복잡한 해저지형과 해수밀도의 시공간적인 변화가 존재하기 때문에 이러한 요소들이 복합적으로 해수운동에 미치는 영향을 고려하고자 할 때에 수치모형을 통한 연구가 요청되게 된다. 관측자료는 많은 역학적 요인들이 상호작용 함으로써 나타난 결과의 한 단면을 보여준다. 수치모형연구는 이와 같이 현장자료가 내포하고 있는 현상에 관여하는 물리적인 여러 요소들의 영향을 각각 분리하거나 또는 결합시켜서 반복적으로 고찰할 수 있는 유용한 실험방법이다.

황해는 평균수심이 44 m의 천해 반폐쇄성 해양으로서 황해의 물리적 특성을 결정짓는 주요한 인자들은 현저한 조석현상과 동아시아 몬순, 계절에 따른 해표면 가열과 냉각, 양자강의 담수유입, 대마난류와 쿠로시오의 유입 영향 등이다. 황해의 실제적인 해류 분포와 해수순환 체계를 규명하기 위해서는 순환에 영향을 미치는 이상과 같은 주요한 물리적 인자들의 시·공간적인 변동성과 그 상호작용을 종합적인 차원에서 고찰하여야 한다. 이를 위해서는 앞서 기술한 바와 같이 수치모형실험을 이용한 접근방법이 절실히 요청된다. 이때 요구되는 수치모형은 궁극적으로 황해의 해수순환을 정량적으로 재현할 수 있는 모형이 되어야 할 것은 분명하다.

3.2 국내외 현황

황해의 해상풍에 대해서는 나 등(1992)이 매일 천기도로부터 1978-1992년의 기간동안 계산한 바람자료가 있고 유럽중기예보소의 전구기상예보모형 결과인 해상풍 자료가 있어서 과거의 현상에 대한 예측실험 (hindcasting)등을 위한 목적으로 활용 가능하다. 그러나 황해의 해류체계를 예보하기 위해서는 정도 높은 실시간 바람자료의 획득이 요구되며 기존에 모형으로부터 산출된 바람도 황해의 실측 해상풍과 비교, 보정 되어야 한다. 한편 황해 열수지에 관한 최근의 연구로는 Hirose 등(1996)이 계산한 기후학적인 황해 열수지 분포 연구가 있는데 경험식(bulk formula)에 근거하여 산출된 장기 평균치이기 때문에 종관적인 해상 실측치와는 편차가 적지 않으리라 예상된다.

체계적인 해류관측을 통한 해류발생의 현상규명에 관해 세계 대표적인 연구로는 미국 서부연안에서의 용승현상 규명을 위한 연안해류 관측과 기상

해일을 예측하기 위한 영국, 프랑스 등에 의한 북해연안의 연근해 해류관측 등이 있다. 최근에 국내에서도 인공위성 부이추적을 통한 라그란지안 해류관측이 활발하게 이루어지고 있다 (해양연구소, 1996). 1단계 황해국책사업의 세부과제인 해류조사에서도 황해 해수순환의 기본개념을 확인하고 재정립하고자 다량의 위성추적부이 실험을 실시하고 있다. 그러나 강한 어업활동으로 투하된 부이가 손상되거나 회수되어 상대적으로 충분한 자료를 제공하고 못하고 있으나 지금까지 획득된 자료는 황해의 해수순환시스템이 정설로 받아들이고 있는 구조와 다르다는 귀중한 결과를 제시하고 있다. 그러나 해류계 계류방식의 정점해류조사는 많은 시도에도 불구하고 성공적으로 해류계가 회수되지 못하여 대단히 부족하며 대부분의 관측자료도 1개월 내외의 단기간 관측자료이다.

지금까지 황해에 관하여 수행된 수치모형 연구는 크게 나누어 조석(조류) 모형실험과 조석항류 산정실험, 해상풍 순환모형실험, 열염순환모형실험 등으로 분류할 수 있다. 조석모형 실험은 Choi(1980, 1988)와 Kang(1991)등에 의해 주로 이루어졌는데, 현재는 상당히 고해상도의 조석모형이 수립되어 황해의 조류패턴을 사실적으로 묘사하는 단계에까지 이르렀다. 그러나 Choi(1989)와 Kang(1996) 등이 제시하고 있는 조석에 의한 항류도 해류계로 검출하기 어려울 정도의 미약한 흐름이어서 조석항류만으로는 황해의 평균적인 해류분포를 설명하기 어렵다.

황해의 순환을 야기하는 또 하나의 요인은 종관규모의 바람과 동아시아 몬순에 의한 해면응력이다. Choi 등은 가상적인 풍계와 기후학적으로 구해진 계절풍 등을 구동력으로 하여, 2차원 및 3차원의 수치모형 실험을 행했는데 (Choi, 1982, 1984; Choi & Suh, 1992) 이 실험 결과는 대체로 황해와 동중국해의 한국과 중국측 연안을 따라서는 바람 방향을 따르는 흐름이, 상대적으로 수심이 깊은 황해 중부 해역에서는 바람방향을 거스르는 흐름이 형성되는 결과를 보이고 있다. 그러나 이와 같은 풍성류는 바람의 강도와 해저마찰력의 상대적 크기에 크게 지배되기 때문에 복잡한 해저지형을 가지는 황해에서 종관규모의 바람에 의해 야기되는 해류는 기존의 이상적인 조건하의 수치모형 결과보다 훨씬 더 변화가 풍성할 것이 예측된다.

Drifter trajectories(1986-1997)

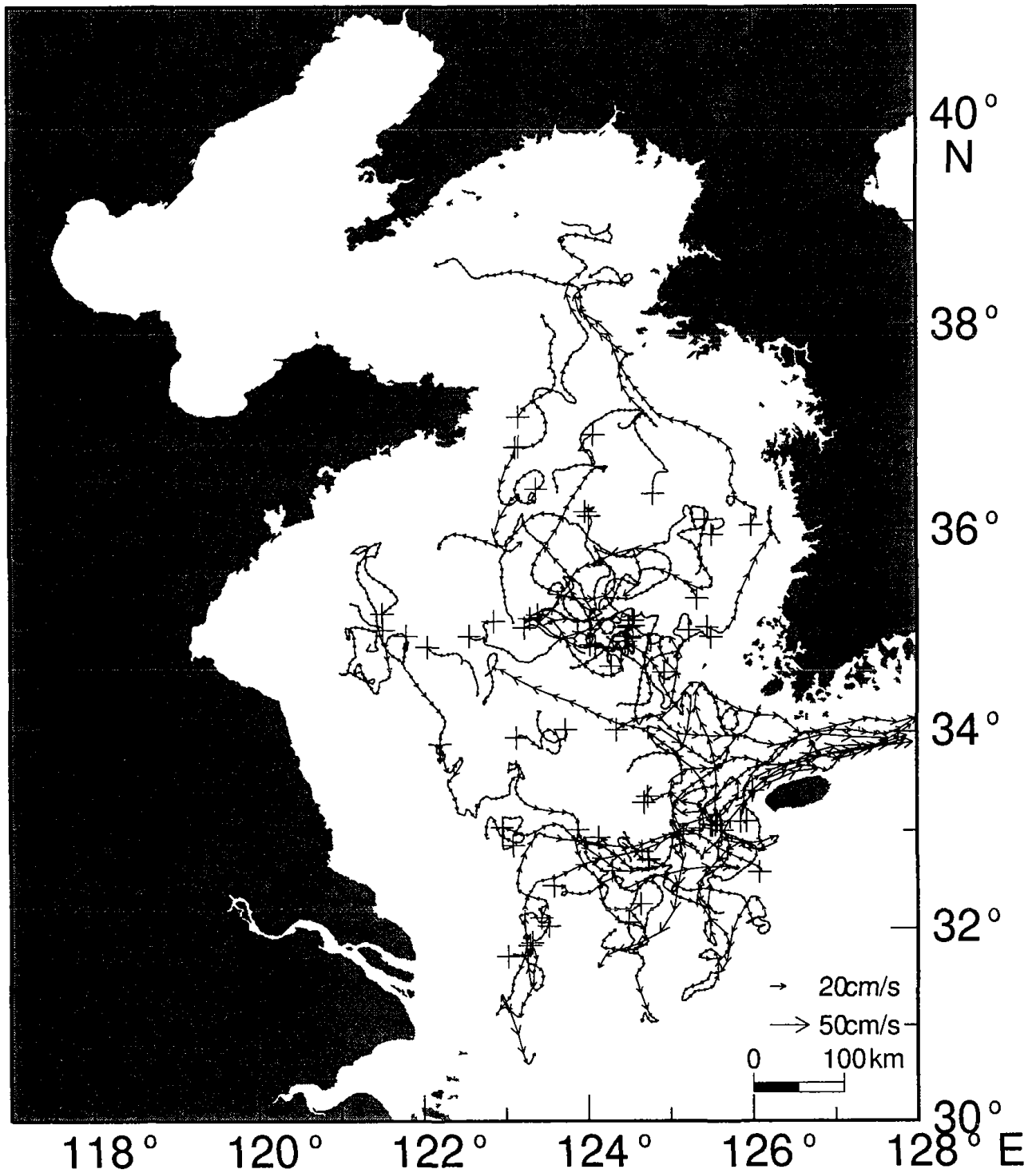


그림 5. 황해의 투하한 인공위성추적부이의 이동궤적

원시방정식으로 구성된 해양대순환모형 (Ocean General Circulation Model)을 이용한 황해의 순환연구로는 Yanagi와 Takahashi (1993), Lee (1996), Nam (1997) 등의 연구가 있다. Yanagi와 Takahashi는 모델의 예보치가 관측치에 접근하도록 하는 진단모형 (Robust-Diagnostic model) 방식을 시도하였는데 쿠로시오의 유입이 고려되지 못하였으며 모델의 공간적 분해능이 낮은 점과 진단모델임에도 불구하고 양질의 관측자료가 입력치로 사용되지 못하는 등의 몇 가지 취약점으로 인해 그 실험결과에는 큰 신뢰성을 두기가 어렵다. 이에 반하여 Lee (1996)의 실험은 순환에 미치는 해저지형의 역할을 잘 살릴수 있도록 비교적 공간적으로 높은 분해능과 그에 적절한 수치방안 및 조석혼합 효과의 모수화 등을 도입하고 양질의 해표면 열염속 자료와 바람응력 자료를 입력한 것이 큰 특징인데, 모형의 결과가 쿠로시오와 대마난류의 유입유출 조건에 강하게 영향받는 점이 단점이라 보여진다. Nam (1997)의 모형은 Lee (1996)에 비해 쿠로시오의 영향까지 고찰할 수 있는 광역해역으로서 격자간격도 비교적 조밀하고 양호한 결과를 제시하고 있다. 그러나 황해 내부의 조석혼합 효과와, 수치모형의 해저지형 처리기법상의 문제, 해표면의 열염 및 바람의 구동조건 등 개선해야할 영역이 다수 남아 있다.

4. 연구과제 목표 및 내용

4.1 황해의 해상풍과 열수지 분포

4.1.1 연구목표

본 연구의 기본 목표는 황해에서 해상기상부이를 이용하여 해상풍 및 열속에 대해 국지적인 관측을 수행하고 그 결과들과 기존의 해상풍 산출모형-Cardon Model, 각국 기상청 예보모형(한국, 일본, 유럽중기예보소 등)-이 출력하는 해상풍 및 해면열속과의 비교검토를 통해 최종적으로 실시간으로 고해상도의 정확도 높은 해상풍, 열속 자료를 산출하는 체제를 구축하는 것이다.

4.1.2 연구내용

- 황해의 해상기상부이의 해상풍 관측치와 모형(Cardon 모델 및 기상청 예보모형)출력 해상풍과의 비교, 검토
- 해상기상부이의 해면열속 측정
- 황해의 열수지에 관여되는 해상기상요소의 선상관측 및 기존자료수집
- 직접관측에 의한 열속과 모형 및 경험식에 근거한 열속과의 비교, 검토
- 고해상도 실시간 해상풍 및 해면 열속 산출 모델 구축

4.2 해류관측 및 해상풍에 의한 해류변동

4.2.1 연구목표

황해의 해류발생과정에서 역학적으로 중요한 요인인 해상풍의 강도와 시공간적 변동성, 그에 따른 해류의 변화특성을 선정된 정점에서 계류 측정하고 위성추적부이 실험을 실시한다. 또한 황해의 전체적인 해류분포 특성을 이해하기 위한 해상풍과 황해 해류의 역학구조를 규명한다.

4.2.2 연구내용

- 황해 해상기상부이의 해상풍 관측정점에서의 계절별 층별 해류관측
- 켈빈파 혹은 육붕파의 전파과정과 해류관계 규명을 위한 한국연안과 중국연안 주요 정점에서의 해류관측과 조위관측
- 해상풍에 의한 황해해수순환을 위한 위성추적부이 실험
- 연직 일층과 연직 다층의 단순한 역학모형/수치모형을 이용한 해상풍 구동 순환모의실험.

4.3 해수순환 수치모형 실험

4.3.1 연구목표

원시방정식에 기초한 3차원 해양대순환 수치모형을 이용하여 황해의 해수순환을 재현 및 예측하는 것이 목표이다. 이 순환모형에서는 황해의 순환을 결정하는 조석, 바람, 담수유입, 쿠로시오의 영향 등을 고려하며 모델 대상해역은 쿠로시오의 영향을 파악하기 위하여 북서태평양의 일부해역까지 확장하도록 한다. 복합적인 순환모델을 단기 해황예측이 가능한 수준으로

지 발전시키는 기초작업을 한다.

4.3.2 연구내용

- 모델 수립 및 모델입력자료를 위한 기존 관측자료의 데이터베이스 구축
- 순환 재현실험과 모형검증,
- 순환모델의 세련화 및 자료동화 기법을 이용한 해양예측체계의 구축

5. 추진전략

5.1 중과제 5 ‘해양-기상 관측 및 운영시스템’과의 관계

본 중과제는 관측(해상기상부이를 이용한 해상풍, 해면열속 관측과 해류 관측)과 실시간 해상풍, 해면열속 예측체계 구축 및 해양 수치모델링 분야로 구성되어 있다. 관측부문은 중과제 연구 5 ‘해양-기상 관측 및 운영시스템’과 긴밀히 연계되어 있다. 따라서 해양기상부이의 설계와 운용, 자료검증 단계에서부터 해상풍과 해면열속 관측에 협력체제를 구축하는 것이 필수적이다. 또한 해상기상부이 설치단계에서 생산되는 부이관측자료는 본 중과제 1에서 기존의 다른 출처의 자료들을 활용하여 검증, 보정하도록 한다. 해상풍 및 해면열속의 실시간 예측을 위해서는 기상청 예보모형과의 협력체제를 구축하는 것이 가장 바람직하다.

5.2 해류계 계류 전략

해류관측의 성공여부는 어업활동으로부터 기기유실을 방지하고 안전하게 양질의 장기 자료를 회수하는데 있다. 이를 위해서 해상기상부이 동체 혹은 그 인접 장소에 해류계를 설치토록 고안하도록 한다. 황해의 전체적인 해류 특성을 파악하기 위하여 되도록 많은 수의 해류계를 설치하는 것은 현실적으로 가능한 방안이 되지 못하므로 부이 설치 장소와 연관하여 전략적으로 중요한 장소를 선정, 최적의 해류계 설치 방안을 구도하도록 한다.

5.3 위성추적부이 실험

해상풍에 의한 황해 전체의 해수순환 구조 파악을 위하여 다량의 위성추적부이를 동일시기에 전해역에 끌고루 투하하여 해류정보를 수집한다. 이 자료를 이용하여 해역별 해상풍에 대한 해류발생을 분석하며 해수순환모형 결과와 상호비교한다. 또한 오염원의 이동과 확산실험에 입력자료로 활용할 수 있도록 한다.

5.4 수치모델의 수립, 검증, 세련화

세계적으로 사용되고 있는 3차원 수치모형 중 황해의 해수순환을 재현하는데 가장 적합한 모형을 취합, 선정하여 황해의 해양특성에 맞도록 채용하는 한편, 모델 입력자료로 사용하기 위한 기존의 해양관측자료 및 기상자료, 해저지형 자료등을 수집하여 정리한다. 격자화한 기존자료를 이용하여 평균적인 계절별 해수순환을 재현하고 특정해역의 해황과 역학과정을 분석하며 순환모델 결과와 직접해류 관측결과 및 해수특성 분포와의 비교를 통하여 모형의 신뢰도를 검증한다. 모델의 정확도를 높이기 위하여 국지적으로 혹은 전 모델영역에서 격자체계를 보다 세분화 하며, 새로운 수치방안의 개발과 도입, 각종 모수의 최적화, 자료동화(data assimilation) 기법의 적용 등을 수행한다.

5.5 국제공동연구

세계적으로 사용되고 있는 대표적 해양대순환 수치모형으로는 미국 NOAA GFDL연구소의 Modular Ocean Model (MOM)과 Mellor-Yamada 모델로 알려진 Princeton Ocean Model (POM), Max Planck Institute for Meteorology의 Oberhuber가 개발한 OPYC 모델, Miami대학에서 개발한 Miami Isopycnic Coordinate Ocean Model (MICOM), 일본 구주대학 응용역학연구소의 RIAM순환모형 (RIAMOM), 등이 있다. 기존 수치모형의 취약점인 해저지형 처리기법과 자유수면 계산을 위한 모드분리 계산기법, 엔스트로피 보존기법 등을 도입하고 있는 RIAMOM을 기본 수치모형으로 하되 모형수립단계에서는 MOM도 활용하도록 한다. 이를 위해 현재 일본 구주대학 역

학씨뮤레이션센터와도 공동연구를 추진중에 있다.

6. 소요예산 (직접경비)

6.1 황해 해상풍과 열수지 분포

(단위: 천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	15,000	15,000	20,000	50,000
여비,승선수당	5,000	5,000	7,000	17,000
선박사용료	20,000	20,000	0	40,000
기기구입비	15,000	15,000	5,000	35,000
재료비	15,000	10,000	15,000	40,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	75,000	70,000	54,000	199,000

6.2 해류관측 및 해상풍에 의한 해류변동

(단위: 천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	20,000	20,000	20,000	60,000
여비,승선수당	10,000	10,000	8,000	28,000
선박사용료	20,000	20,000	20,000	60,000
기기구입비	40,000	40,000	20,000	100,000
재료비	80,000	80,000	80,000	240,000
수용비,기타	10,000	10,000	10,000	30,000
계	180,000	180,000	158,000	518,000

6.3 해수순환 수치모형 실험

(단위: 천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	20,000	20,000	20,000	60,000
여비,승선수당	5,000	5,000	7,000	17,000
선박사용료	0	0	0	0
기기구입비	15,000	15,000	5,000	35,000
재료비	30,000	30,000	45,000	105,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	75,000	75,000	84,000	234,000

7. 기대성과 및 활용방안

- 해면열속 자료는 황해 기상을 위한 수치예보에 필수적인 자료를 제공하게 될 것이다.
- 해수순환모형은 향후 개발해야할 대기·해양 접합모형의 해양부문 모형으로서 역할을 수행할 수 있다.
- 황해로 유입 혹은 투기되는 오염물질의 이동·확산을 예측하고 방재하는 체제를 구축할 수 있다. 또한 SAR (Search & Resque)를 위한 기본 자료로 활용될 수 있다.
- 황해의 수온과 염분, 해류는 황해의 생산성 평가와 예측, 어류와 어란의 이동·확산 예측, 황해 생태계 모델링 등의 연구분야에서 필수적인 물리적 변수를 제공하게 된다.
- 황해와 동중국해, 황해와 한국 남해사이의 해수순환과 물질순환을 규명할 수 있는 토대를 확보하게 된다.

8. 참고문헌

- 한국해양연구소(1995) 황해종합연구기획-1994. 과학기술처, 214 pp.
- 한국해양연구소(1996) 쿠로시오해역과 동중국해의 해양순환, BSPN 00278-901-1, 467 pp.
- An, H.S. (1977) A numerical experiment of the M2 tide in the Yellow Sea. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan.* 33, 103-110.
- Awaji, T. (1982) Water mixing in a tidal current and the effect of turbulence on tidal exchange through a strait. *Jour. Phy. Oceanogr.*,12, 501-514.
- Choi, B.H. (1980) A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. KORDI Rep. 80-02, Korea Ocean Research and Development Institute, Seoul 72 pp.
- Choi, B.H. (1982) Note on currents driven by a steady uniform wind stress on the Yellow Sea and the East China Sea. *La mer*, 20 65-74.
- Choi, B.H. (1984) Computation of currents driven by a steady uniform wind stress on the East China Sea using a three-dimensional numerical model. *Jour. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 36-43.
- Choi, B.H. (1988) A fine grid two-dimensional M2 tidal model of the East China Sea. *Jour. Korean Assoc. Hydrol. Soc.*, 21, 183-192.
- Choi, B.H. (1992) Computation of meteorologically-induced circulation on the East China Sea using a fine grid three-dimensional numerical model. *Jour. Korean Soc. Coast. & Ocean Engineer.*, 4, 45-58.
- Hirose, N, Kim, C.-H. and J.-H. Yoon (1996) Heat budget in the Japan Sea, *J. Oceanogr.* 52, 553-574.
- Imasato, N., S. Fujio, Q. Zhang, T. Awaji, K. Akitomo (1994) Three-dimensional numerical experiments on tidal exchange

- through a narrow strait in a homogeneous and a stratified sea. *Jour. Oceanogr.*, 50, 119-139.
- 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*, ed. by K. Takano, Elsevier Sci. Publisher, 25-48.
- Lee, H.-C. (1996) A numerical simulation for the water masses and circulations of the Yellow Sea and the East China Sea. *Doctoral Dissertation*, Kyushu University, 150 pp.
- Lee, S. H. (1997) PAMS-JECSS 9th Conference, Taiwan.
- Na, J.-Y., J.-W. Seo and S.-K. Han (1992) Monthly-mean sea surface winds over the adjacent seas of the Korean Peninsula. *J.ceanol. Soc. Korea*, 27, 1-10.
- Nam, S.-Y. (1997) Numerical experiments of the formation of the Tsushima Current in the East China Sea. *Doctoral Dissertation*, Inha University, 158 pp.

<중과제 2> 해상기상변화와 해수면변동

1. 연구목적

기존의 연안해수면관측망을 보완하는 원해 해수면 관측을 실시하여 황해 전체의 해수면 관측체계를 구축하며, 위성관측을 통한 해수면고도자료의 분석기술을 정립하여 해수면자료를 종합정리하고, 이를 근거로 악기상 발생시 해수면의 이상반응을 체계적으로 분석하여 악기상과 해수면과의 역학구조를 규명하고 이상해수면 변화를 수치모형실험으로 모의한다.

2. 세부과제구성

- 해수면 관측 및 변동구조 분석
- 위성고도(altimetric)자료의 분석
- 악기상과 이상해수면 변동
- 해수면 변동 수치모형실험

3. 배경

3.1 필요성

천체력, 해상기상, 지각운동은 해수면 변화를 일으키는 주요한 힘이다. 조석을 발생시키는 기조력에 의한 해수면변화는 시간 그리고 공간적으로 매우 규칙적이기에 상대적으로 많은 연구가 있었으며 이를 위한 관측망이 비교적 잘 구축되어 있는 실정이다. 해저지진에 의한 해수면 변화는 발생빈도가 낮긴하지만 큰 지각활동의 발생은 연안역에 큰 피해를 입히기 때문에 해저지

진 다발해역에서는 해저지진발생을 조기에 감지하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 해상기상은 주기가 짧은 표면파(파랑) 뿐 아니라 비교적 장주기 해수면 변화도 발생시키는데 특히 강풍을 동반한 기압계가 통과할 때 연안역 침수와 방파제 파괴와 같은 국가적 재난을 일으킨다.

황해에서 해수면은 주로 조석과 해상기상에 의해 변한다. 특히 고조일 때 규모가 큰 기압계의 통과는 더 큰 해수면변화를 야기시키며 따라서 황해연안역은 악기상에 의한 해수면 상승으로 큰 피해를 자주 당한다. 수심이 깊은 해역에서 해수면이 기압이나 바람에 어떻게 반응하는가에 대해서는 이론적으로 잘 알려져 있다. 그러나 황해와 같이 폐쇄성 해역에 수심이 얇은 바다에서 해상기상에 의한 해수면 변화연구는 해역별 특성에 따라 연구가 되어야 하며 국내에서는 기초연구도 이제 시작단계에 불과하다. 특히 황해의 표면적과 비슷하거나 큰 기압계가 황해를 자주 통과하고 가끔 태풍이 내습한다. 이때 황해의 해수면이 시간 공간적으로 어떻게 변하는지에 대해서는 아직 알려진 바가 없다. 단순모델에 의한 해수면변화 연구가 학술적으로 연구되고 있으나 이를 입증할 만한 관측자료는 대단히 부족하며 또한 모의나 예측모델을 개선하거나 모델결과를 입증할 만한 관측체계가 구축되어 있지 않다. 연안역에서 안전항해나 항만관리 목적으로 고정 검조소가 주요 지점에 설치되어 있으나 외해역에서 연안역으로 전파되는 해면변화가 어떤 물리과정을 통해 증폭 혹은 변형되는지 여부를 판단할 수 있는 관측은 시도된 바 없으며 기존자료도 전무한 실정이다.

따라서 황해의 해수면 변동의 시공간 구조를 밝힐 수 있는 기초연구는 물론 악기상 발생시 해수면이 어떻게 변화하는지 감지할 수 있는 관측시스템의 구축과 이를 기초로 해수면변화를 예측할 수 있는 모형연구가 필요하다.

3.2 국내의 연구현황

3.2.1 국내

가. 국립해양조사원

안전항해 및 항만보호를 위한 해수면변화를 감시하기 위하여 주요항만에

고정검조소를 설치 운영하고 있다. 인천 고정 군산 위도 대륙산도 추라도 6 곳에 검조기가 설치되어 있다. 장기간 조사된 해수면자료를 이용하여 조석예보를 실시한다.

나. 연구소 및 대학

국립해양조사원이 관측한 해수면자료를 이용하여 조석의 물리적 특성과 변동원인을 분석하며, 황해 조석모델을 개발하여 조석 및 조류를 모의하고 예측하는 실험을 한다. 또한 연안에서 측정된 대기압과 해수면 자료를 분석하여 연안에서 대기압에 의한 해수면의 반응에 대해 기초연구로 수행하며 단순화한 기상조건하에서 황해의 해수면이 어떻게 반응할 것인가에 대해서 초보적인 연구가 수행되었다. 최근에는 TOPEX/POSEIDON 위성고도자료를 수집하여 조석연구에 이용하기 시작하였다.

3.2.2 국외

가. 인공위성고도자료에 의한 해수면변화연구

미국 NASA 불란서 CNES가 공동개발한 TOPEX/POSEIDON 위성에서 관측되고 있는 해수면자료를 분석하여 전세계해양 및 지역해양의 해수면의 시공간변화를 체계적으로 분석하고 있다. 미해군연구소는 황해 및 동중국해 상에서 위성고도자료와 해상풍과의 관계를 심도있게 연구하고 있다.

나. 외해에서 해수면 변화 감시

외해역 조석 및 기상에 의한 해수면 변화를 체계적으로 조사하기 위하여 조위계를 황해 및 동중국해 상에 다수 설치하여 관측을 실시한 바 있으며 이를 유속과 비교하는데까지 이용하고 있다.

4. 연구과제 목표 및 내용

4.1 연구목표

국립해양조사원의 연안해수면 관측자료와 외해역 해수면 관측자료를 중

합분석하여 황해 전체의 해수면변동에 대한 시공간적인 변화를 분석하고, 위성해수면고도자료의 활용기법을 도입하여 황해 해수면변화의 기본구조를 밝히는 체제를 구축한다. 악기상 발생시 기상해일, 이상고조 등 이상해수면 변화를 체계적으로 분석하여 악기상과 해수면과의 역학구조를 규명하고 이상해수면 변화를 수치모형실험으로 모의한다. 수치모형실험을 확장하고 기존관측망을 보완하여 기상변화에 따른 해수면 변화를 예측할 수 있는 방안을 제시한다.

4.2 연구내용

- 기존 연안해수면자료를 획득하여 연안해수면 변화를 분석
- 외해역 황해 중앙골과 황해 남부에 조위계를 설치하여 연안해수면과 외해 해수면을 상호비교 분석
- TOPEX/POSEIDON 자료를 수집하고 해수면분석 기법도입
- 기상변화에 대한 해수면 반응 분석
- 악기상 발생시 해수면의 이상반응 검토 및 역학구조 규명
- 수치모형실험에 의한 해수면 변화 모의
- 황해 해수면 변화를 감시할 수 있는 관측시스템과 예측시스템 기반구축

5. 추진전략

5.1 해수면자료 수집

- 국립해양조사원의 협조를 받아 장기간 관측된 연안역 해수면자료를 수집한다.
- 중국과 협의하여 대외비밀자료로 분류하고 있는 해수면자료를 획득하도록 노력한다.
- 1992년부터 관측되고 있는 TOPEX/POSEIDON 위성고도자료를 수집한다.

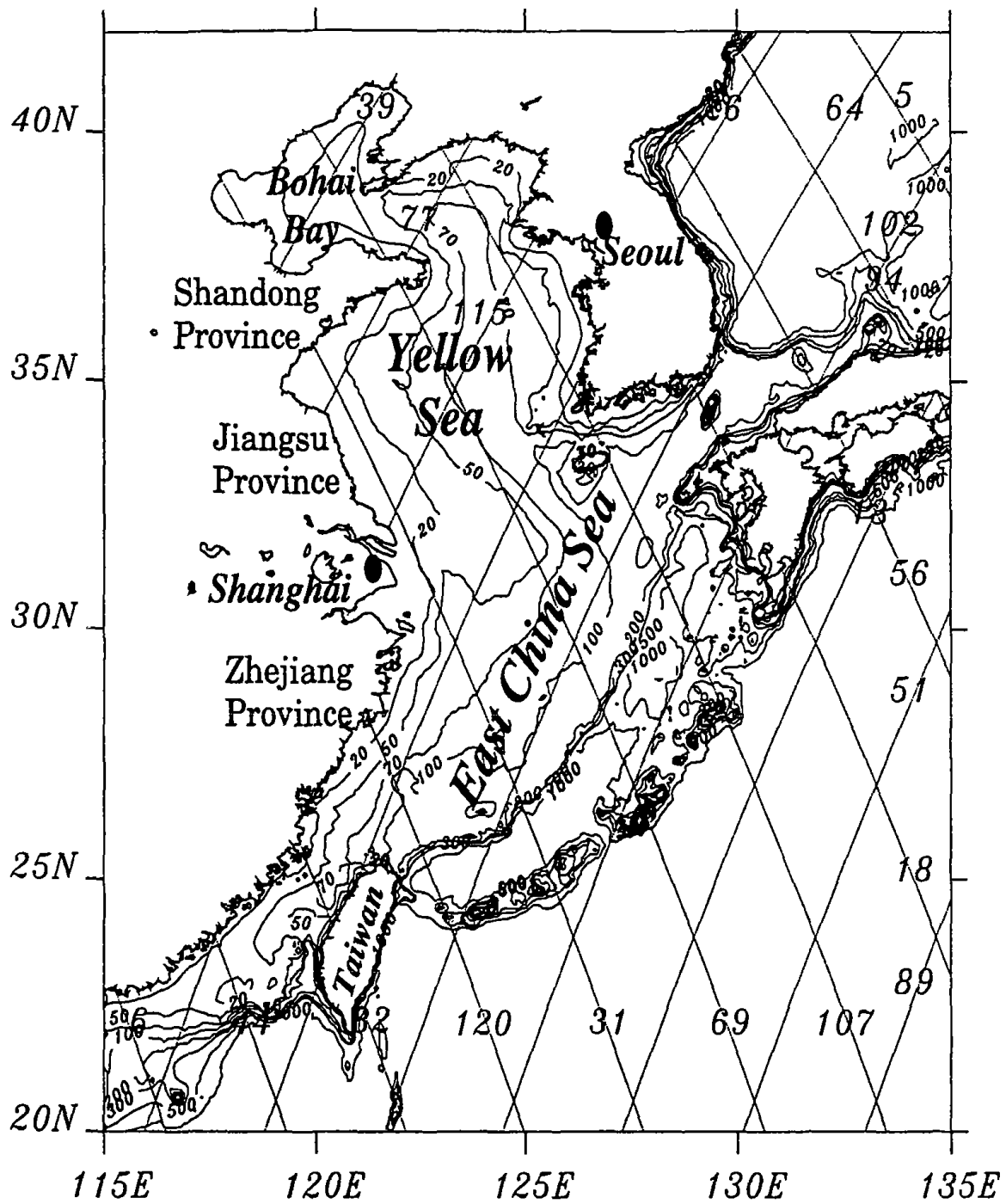


그림 6. 인공위성고도계인 TOPEX/POSEIDON의 황해와 동중국해상에서 궤도

5.2 외해역 해수면관측

- 황해 외해역인 황해중앙골 및 남부 그리고 해양기상부이 부근에 3대의 조위계를 설치하여 외해역에서 해수면변화를 관측한다.

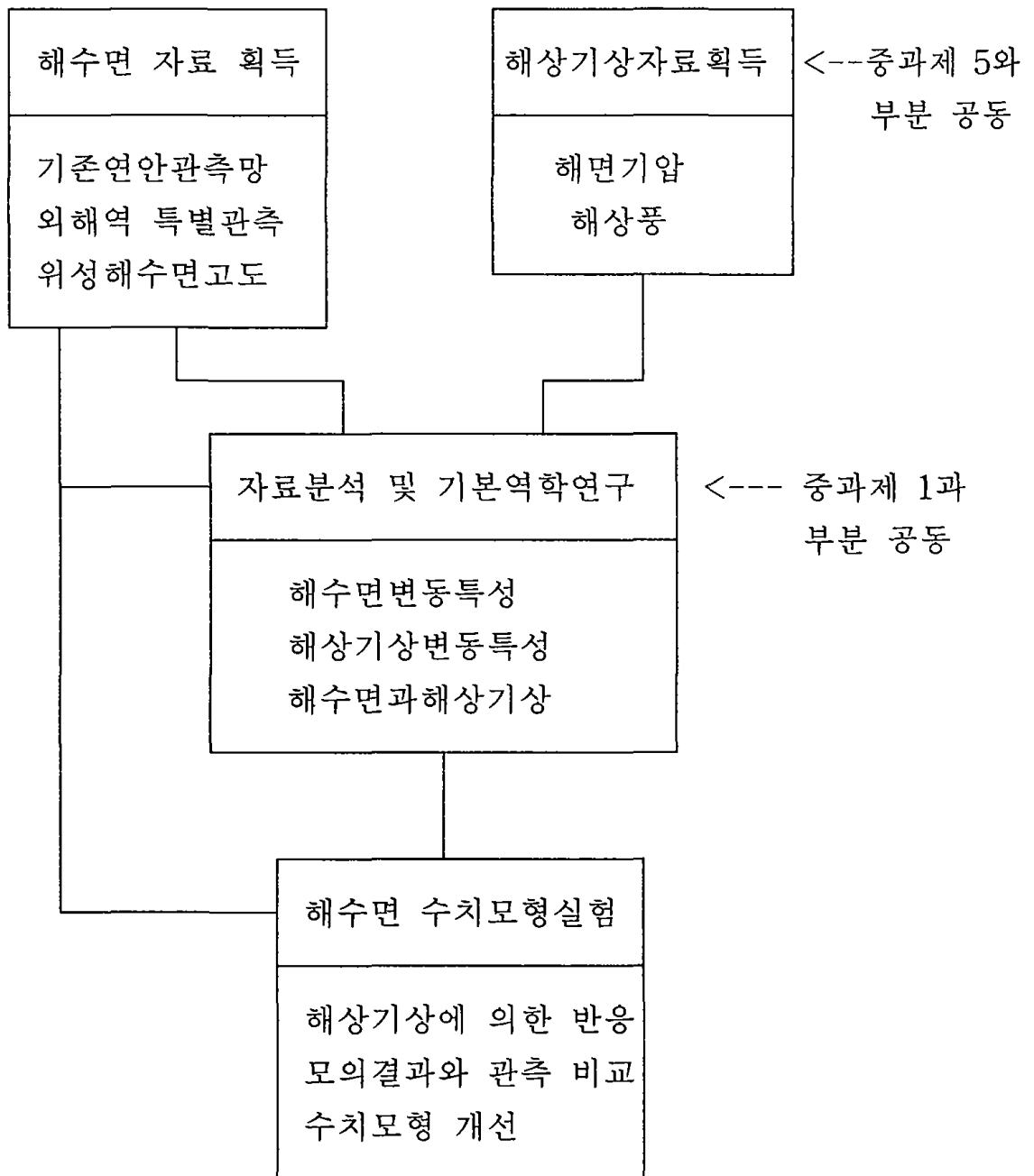
5.3 해상기상에 의한 해수면변화

- 해상풍모델에 의해 계산된 10년 이상의 바람자료와 연안해수면 자료를 분석하여 해상풍과 해수면과의 역학과정을 연구한다.
- 위성고도자료와 연안해수면자료를 해상풍과 비교하여 황해 해수면변화의 시공간구조를 분석한다.
- 연안역 범람 등 악기상에 의한 이상해수면 발생경우를 선별하여 악 기상이 발생 할 때 해수면이 어떻게 반응하는가를 분석한다.

5.4 해수면변동 모형실험

- 해상기상의 연평균 분포특성에 의한 해수면 반응 모의 실험
- 해상기상의 월평균 분포특성에 의한 해수면 반응 모의 실험
- 순간 해상기상분포 특성에 의한 해수면 반응 모의실험
- 모형실험결과와 관측결과 상호비교
- 수치모형개선 및 관측망 효율성 검토

5.5 추진체계



6. 소요예산 (직접경비)

6.1 해수면 관측 및 변동구조 분석

(단위: 천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	15,000	15,000	15,000	45,000
여비,승선수당	4,000	6,000	6,000	16,000
선박사용료	10,000	10,000	10,000	30,000
기기구입비	20,000	10,000	10,000	40,000
재료비	10,000	15,000	15,000	40,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	64,000	61,000	63,000	188,000

6.2 위성고도(altimetric)자료의 분석

(단위: 천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	10,000	15,000	15,000	40,000
여비,승선수당	5,000	8,000	8,000	21,000
선박사용료	0	0	0	0
기기구입비	10,000	10,000	10,000	30,000
재료비	10,000	10,000	10,000	30,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	40,000	48,000	50,000	138,000

6.3 악기상과 이상해수면 변동

(단위: 천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	10,000	15,000	15,000	40,000
여비,승선수당	5,000	5,000	5,000	15,000
선박사용료	0	0	0	0
기기구입비	10,000	10,000	10,000	30,000
재료비	5,000	10,000	10,000	25,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	35,000	45,000	47,000	127,000

6.4 해수면 변동 수치모형실험

(단위: 천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	20,000	20,000	20,000	60,000
여비,승선수당	5,000	7,000	7,000	19,000
선박사용료	0	0	0	0
기기구입비	20,000	20,000	20,000	60,000
재료비	10,000	10,000	15,000	35,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	60,000	62,000	69,000	191,000

7. 참고문헌

Choi, B.H. 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern

- China Sea. KORDI Report 80-02, PSPI00019, 72 pp.
- Choi, B.H. 1985. Computation of the Typhoon surges of July-August 1978 in the East China Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20, 1-11.
- Fu, L.L. and R.E. Cheney, 1995. Application of satellite altimetry to ocean circulation studies: 1987-1994. *Rev. of Geophys.*, supplement, 213-223.
- Hendricks, J.R., R.R. Leban, G.H. Born, and C.J. Koblinsky, 1996. Empirical orthogonal function analysis of global TOPEX/POSEIDON altimeter data and implication for detection of global sea level rise. *J. Geophys. Res.*, 101, 14131-14145.
- Hsueh, Y., R.D. Romea and D.W. DeWitt, 1986. Winter-time winds and coastal sea-level fluctuations in the Northeast China Sea. Part II: 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.
- Jacobs, G.A., G.H. Born, M.E. Parke, P.C. Allen, 1992. The global structure of the annual and semiannual sea surface height variability from Geosat altimetric data. *J. Geophys. Res.*, 97, 17813-17828.
- Kang, Y.Q. 1984. An analytic model of tidal waves in the Yellow Sea. *J. Marine Res.*, 42, 473-485.
- Le K.-T., 1997. A three-dimensional coupled model for simulating storm surge generated by typhoon. *The Yellow Sea*, 3, 1-8.
- Lie, H.-J. 1984. A note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 187-194.
- Oh, I.S. and M.M. Subbotina, 1996. Geostrophic response of the Yellow Sea to cyclone passage *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 31(4), 183-195.
- 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.

Yanagi, T., A. Morimoto, and K. Ichikawa., 1997. Co-tidal and co-range charts for the East China Sea and the Yellow Sea derived from satellite altimetric data. *J. Oceanogr.*, 53(3),303-309.

<중과제 3> 대기-해양 경계층의 구조와 열교환

1. 연구목적

대기와 해양간의 상호작용 통로이며 우리나라의 기후와 황해의 해수순환에 큰 영향을 미치는 황해의 해양혼합층의 구조를 분석하고 공간적 분포와 시간적 변동을 파악하며 대기-해양간의 수직적 열교환 과정을 밝히고 황해에 적합한 해양혼합층 수치모형을 개발하여 2단계로 대기-해양 접합모형, 해수순환 모형과의 접합, 해양혼합층 예보모형으로의 발전을 기한다.

2. 세부과제구성

- 해양표층혼합층의 구조분석 및 계절변동
- 대기-해양 경계층에서의 열교환과정
- 표층혼합층 수치모형실험

3. 배경

3.1 필요성

대기와 해양은 각각의 경계층을 통하여 상호작용하며 대기의 경계층은 대기경계층(Atmospheric Boundary Layer; ABL), 해양의 경계층은 해양경계층(Oceanic Boundary Layer; OBL)이라 하며, 통틀어 혹성경계층(Planetary Boundary Layer; PBL)이라 한다. 해양경계층은 대기경계층에 비해 상대적으로 관측 및 연구가 부족하여 대기경계층에서의 경험이 많이 활용되고 있다. 해수면 바로 밑은 바람, 파도 그리고 표층냉각에 의해 거의 항상 난류상태에

있으며 결과적으로 수온, 염분 그리고 운동량과 그 밖의 보존성 특성들이 수직적으로 균일하게 분포하여 해양혼합층 (Ocean Mixed Layer; OML), 혹은 상층혼합층 (Upper ML)이라 불린다 (Kraus, 1988). 또한, 에너지 감쇠 (dissipation)도 수직적으로 거의 균일하게 분포하며 난류운동에너지 (Turbulent Kinetic Energy)는 아래의 안정된 층에서 급격히 감소하여 해양혼합층과 그 밑의 내부층과 구별하게 된다. 해양혼합층은 난류운동에너지가 유입되는 해수면과 수온과 염분이 급격히 변하는 수온약층에 의해 경계되어진다.

해양혼합층수심(OML Depth; OMLD)의 연변화는 해수면온도의 연변화와 다른 양상을 보인다. 냉각이 일어나는 계절의 끝시점에(북반구에서는 3월 혹은 4월) 최대깊이가 관측되고 이후 급격히 감소하여 3개월 후(6월)에 최소깊이에 도달하며, 하지 이후 다시 깊어진다 (해양혼합층의 수온은 가열이 일어나는 계절의 끝인 8월 혹은 9월까지 계속 증가한다). 일변화도 연변화와 같은 논리를 적용할 수 있다.

온대지역의 온난한 육상기후는 늦은 봄부터 여름사이에 해양혼합층에 저장되어 있던 열에 의함이 크며, 이 저장되어 있던 열은 가을과 겨울에 대기로 방출되어 기후의 연변화와 경년변화뿐만 아니라 열과 화학물질의 전지구적 순환에도 결정적인 영향을 미친다. Levitus (1982) 등이 월평균 혹은 계절평균 해양혼합층수심을 도시하였으며, 이는 연변화, 일변화, 중규모 와류에 의한 일시적 변동, 내부파에 의해 영향을 받는다.

해양혼합층의 평균 깊이를 50 m로 가정하였을 경우의 열용량은 전체 해양의 1/80에 불과하나 대기에 비하면 20배에 달하며, 해양혼합층의 화학물질 저장용량도 같은 비율을 적용할 수 있다. 대기-해양 경계층을 통한 대기와의 에너지와 물질의 교환은 해양혼합층의 아래 경계층을 통한 해양내부와의 교환보다 훨씬 크며, 이로 인해 해양혼합층의 열과 화학물질의 완충역할이 중요하게 된다. 이 완충역할의 고려가 경년 (interannual, decadal, and secular) 기후변화 연구에 있어 특히 중요하다.

해양혼합층이 차지하는 부피는 전체 해양에 비하면 극히 작고 대규모 순환에 미치는 직접적인 영향은 미미하다. 많은 순환모델이 해양혼합층을 직접

다루지 않고도 해수순환을 성공적으로 재현하고 있다. 그러나, 대기-해양 경계의 역학과정은 해수면온도의 결정 그리고 예측에 있어 지배적인 요소이며, 이는 곧, 대기-해양 복합 시스템의 성공적인 운용과 재현을 위해서는 필수적이다. 즉, 해양혼합층은 기후예측에 있어 중요한 역할을 하며 또한, 장기 기상예보, 해양방위, 해양생태계 등에 미치는 영향도 크므로 해양혼합층에 대한 연구와 더불어 해양혼합층 모형의 개발은 필수적이라 할 수 있다.

3.2 국내·외 연구현황

한국 주변해역에 대한 해양혼합층의 연구는 주로 동해에 집중되어 왔다. Shim and Kim (1981)의 동해 남서부에서의 혼합층수심과 열수지의 관계에 대한 연구가 있으며, 한국근해 해양혼합층의 계절별 분포 및 해양혼합층 예보모델에 관한 국방과학연구소(1992)의 연구가 있다. 오(1993)는 한반도 근해 혼합층수심의 월별 공간분포를 구하였다. Noh et al.(1996)은 Mellor-Yamada 난류마감방안에 기초한 해양혼합층 모형을 해수순환 모형에 접합시켜 수평이류의 영향이 큰 동해에 적용하였다.

황해의 경우는 오(1993)가 1961~1990년의 국립수산진흥원 정선자료로부터 혼합층수심의 월별 공간분포를 구하였고, Chu et al. (1997)은 미해군자료를 이용하여 역시 월별 혼합층수심을 구하였다. 사용한 자료에 따라 오(1993)의 연구는 우리나라 부근해역에 국한되었고 Chu et al. (1997)은 발해만 까지 포함하는 서해전역에 걸친 공간적 분포를 구할 수 있었다.

Chu et al. (1997)은 혼합층수심이 매개변수의 하나인 매개변수(parameter) 모형에 관측 수온의 수직분포를 적용시켜 혼합층수심을 구하였다. 수온이 수직적으로 균일한 겨울철 (12월~4월)에는 혼합층수심이 수심과 일치하므로 성층이 되는 여름철 (5월~11월)의 경우만 혼합층수심의 시공간적 분포를 살펴보았다. 5월에 혼합층의 수심이 급격히 낮아져 서해전역에 걸쳐 5~10 m의 분포를 보이며 이러한 경향은 7월까지 대체로 지속되고 8월 이후로는 태양에 의한 가열의 감소와 바람이 강해짐에 따라 깊어지게 된다. 공간적 분포의 특징으로는 혼합층수심의 분포가 대체로 수심의 분포와 일치하여 연안에서 얇고 중앙부에서 깊게 나타나 중앙부의 경우 11월에 20~25

m에 이른다. 지역적으로 양자강 하천수와 조류가 혼합층수심에 영향을 미칠 수 있다.

해양혼합층을 중점적으로 연구하기 위한 대규모 프로젝트로는 1970년대의 MILE (Mixed Layer Experiment)과 1980년대의 LOTUS (Long-Term Upper Ocean Study)를 들 수 있으며 TOGA/COARE (Tropical Ocean and Global Atmosphere/ Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment)는 표층의 플럭스자료가 완벽한 유일한 연구 프로젝트였다 (Kantha and Clayson 1994). 해양기상부이 Papa와 November에서 관측된 장기자료는 수치모형의 결과와 비교할 수 있는 유용한 자료이다.

최근의 국외의 주요 연구팀은 미국 우즈홀 해양연구소의 해양상층부과정 연구그룹(Upper Ocean Processes Group)을 들 수 있다. 이 그룹은 기상과 해양요소 센서를 장착한 자료부이의 계류를 통해 해양상층부를 관측하면서 동시에 수치모형 연구도 병행하고 있으며 최근에는 대서양, 태평양, 아라비아해 등에 계류관측을 하고 있다.

해양혼합층 수치모형

해양혼합층의 재현은 입력자료로 해수면에서의 플럭스, 해양혼합층 아래층의 상태, 이류(advection), 그리고 해양혼합층 자체의 초기선행조건이 필요하며, 출력자료로 표층수온, 평균수온, 속도구조를 제공하게 된다. 이 조건을 충족시키는 해양혼합층 모형은 다음의 3종류가 있다. 1) 적분모형 (Integral model, or bulk model) 2) 확산모형 (Diffusive model) 혹은 난류모형 (turbulence model), 3) 뛰어옮기기 모형(transilient model)

1) 적분모형

이 모형의 특징은 우선적으로 보존성 특성의 수직구배가 무시할 수 있을 정도로 작은 혼합층이 표층 아래에 있다고 가정하는데 있으며, 지배방정식을 혼합층에 대하여 적분하여 혼합층 전체의 모멘텀과 열의 균형을 혼합층의 경계에 작용되는 외부입력을 통해 고려하는 것으로 많은 연구가 이루어졌다 (Niiler 1975, Niiler and Kraus 1977, Garwood 1977).

가장 간단한 적분모형으로는 해양혼합층 깊이를 일정하게 고정하며, 이류의 영향을 무시하며, 해양내부층과 절연시킨 모형을 들 수 있다. 이 경우, 깊이의 변화가 없어 열용량이 고정되어 있으며 기후연구와 이산화탄소 문제에 사용된 바 있다.

해양혼합층에 저장할 수 있는 열량은 보통 수온변화 보다는 깊이변화에 좌우되며, 해양혼합층의 깊이는 혼합에 사용될 수 있는 난류운동에너지에 좌우된다고 하는 개념에 기초한 이론이 Ball (1960)에 의해 정립되고 Kraus and Turner (1967)에 의해 해양에 적용되었다. 이에 근거한 모형으로는 Niiler 모형 (1975), Garwood 모형 (1977)등이 있다. 적분모형의 한 종류로 Pollard et al. (1973)에 의해 처음 제시되고 Price et al. (1986)이 개량시킨 역학 불안정성(dynamical instability) 모형이 있다.

2) 확산모형

확산모형에서는 적분모형과 달리 수직구조에 대한 아무런 가정 없이 혼합층내의 난류혼합과 확산을 직접 매개변수화하여 구한다. 매개변수는 첫째, 이론과 관측으로부터 얻어진 경험값을 이용하거나 반경험식으로부터 구하기도 하며, 둘째, 난류를 직접 모형화하여 구한다. 후자의 경우 Mellor and Yamada (1982), Gaspar et al. (1990)은 2차 모멘트에서, Andre and Lacarrere (1985)는 3차 모멘트에서 방정식을 마감(close)하였다. 전자의 경우 가장 오래되고 널리 쓰이는 것은 다음의 식과 같이 난류를 평균변수(mean variables)로 나타내는 선형모형으로 분자확산과 같은 논리에 의하여 와도확산 개념에 기초하여 구한다.

$$\overline{w'T} = -K \frac{\partial T}{\partial z}$$

여기서 와도확산계수 K는 경험적으로 구해지며 많은 이론들이 K를 구하기 위해 제시되었다. 고전적인 K-이론들은 평균변수의 변화예측에 제한되어 있어 평균들의 상호곱이나 변동량의 곱의 변화는 선형모형이나 1차(first order) 이론으로는 고려될 수 없다. 난류운동에너지나 온도분산을 구하기 위해서는 고차원의 마감안(closure scheme)이 필요하다.

Mellor and Yamada (1974)는 난류의 마감을 단순화 정도에 따라 level을 구별하였다. 가장 높은 'level 4'는 10개의 2차의 예측 미분방정식을 포함하며 3급의 상관성(correlation)은 단순화하거나 매개변수화 하였다. 다음의 'level 3'는 3개의 속도발산 방정식이 하나의 난류운동에너지 방정식으로 대체된다. 또 다른 하나의 예측방정식은 온도발산에 대한 것이다. 난류 모멘텀과 온도의 수송은 진단방정식에서 구해진다. 'level 2'와 'level 1'은 진단방정식만을 포함하며, 와도계수나 혼합길이에 대한 여러 가지의 매개변수방안이 이용된다.

최근의 Mellor and Yamada 난류 마감방안에 대한 개량 연구로는 Galperin et al. (1988)과 Kantha and Clayson (1994), 그리고 Noh (1996) 등이 있다.

3) 뛰어옮기기 모형

Stull (1984)이 뛰어옮기기 모형의 개념을 제시하였으며 Stull and Kraus (1987)가 해양에 적용하였다. 이 모형의 특징은 여러 크기의 와류가 서로 다른 거리까지 전달하게 하는데 있다. 즉, 수직적으로 격자상자가 쌓여있다고 할 때 i번째 상자의 시간 t때의 수온은 다음의 식과 같이 아래위의 상자들로부터 전달된 수온의 합으로 나타내지며 이때 각 상자가 전달하는 양은 2차원의 계수로 결정된다.

$$T_i(t + \Delta t) = \sum_{j=1}^n C_{ij} T_j(t)$$

Stull and Driedonks (1987)는 난류운동 에너지의 단순화한 형태에 기초한 계수를 제시하였다.

Gaspar et al. (1988)은 이류의 영향이 적은 해양부이 Papa에서 관측한 1969~1970년의 자료와 위의 세 모형의 결과를 비교·분석하였다. 적분모형은 Niiler and Kraus (1977)와 Gaspar (1988) 모형을, 확산모형은 Therry and Lacarrere (1983) 모형을, 뛰어옮기기 모형은 Stull and Driedonks (1987) 모형을 채택하였다. 계산부담은 적분모형이 가장 작고 뛰어옮기기 모형이 가장 크다. 난류모형은 적분모형에 비해 약 30배 정도 시간부담이 크며 뛰어옮기기 모형은 약 150배 가량 크다. 해수면수온의 재현에 있어서는 어느

모형도 다른 것에 비해 월등하지 않았다. 그러므로, 자세한 수온의 수직구조 보다는 해수면수온이 중요한 기후연구등에 있어서는 다른 모형에 비해 계산 시간이 가장 적게드는 장점을 지닌 적분모형이 유리할 것이다. Kraus (1988)는 적분모형의 가장 큰 장점은 간단하고 일반화하기 쉽다는 데 있다. 또한 적분모형에서 사용하는 방정식들은 쉽게 역변환할 수 있어 인공위성 관측자료와 함께 사용할 수 있으며 계산시간의 큰 부담 없이 해수순환 모형에 접합될 수 있는 장점도 지니고 있다.

확산모형은 전통적인 난류이동 연구에 기초하며 모든 확산모형들은 무차원의 비례상수들을 사용한다. 그 수는 차원이 클수록 그리고 모델이 복잡해질수록 많아진다. 몇몇은 실험이나 크기(scale) 분석에 의해 구할 수 있으나, 정확성에 문제가 있을 수 있고, 고차원의 마감안에서 쓰이는 몇 개의 상수는 전혀 관측이 안되거나 독립적으로 구할 수 없는 것들이 있다. 그러므로, 관측수직구조를 모델의 조율을 통하여 아주 잘 재현할 수는 있으나, 물리적 중요성이나 결과를 보편적으로 적용하는 데에는 문제가 있을 수 있다. 즉, 많은 수의 예측방정식과 수많은 항들은 고차원의 마감방안이 제공할 수 있는 투명성과 직접적 물리적 통찰을 제한하게 되며, 또한 계산시간에 부담이 되어 일반 순환모델에 포함되어 사용하기에는 효율의 문제가 있다.

4. 연구과제의 목표 및 내용

4.1 연구과제의 목표

- 황해의 해양혼합층의 구조를 분석하고 시·공간적 변동을 파악한다.
- 황해의 대기-해양 경계층에서의 열교환과정을 밝힌다.
- 황해에 적합한 해양혼합층 수치모형을 개발한다.

4.2 세부과제의 구성과 목표

과제 1. 해양혼합층의 구조분석 및 계절변동

기존 및 추후 관측 해양자료를 이용하여 해양혼합층의 구조를 분석하며 시·공간적 변화를 파악한다.

과제 2. 대기-해양 경계층에서의 열교환과정

해양자료부이로부터 얻어지는 자료를 통해 대기-해양 경계층의 시간적 변화와 수직적 열교환과정을 밝힌다.

과제 3. 해양혼합층 수치모형실험

기존의 여러 수치모형중에서 황해의 해양혼합층을 재현하기에 가장 적합한 수치모형을 선택하고 황해에 적합한 경험 매개변수들을 구하여 황해의 해양혼합층 수치모형을 개발한다.

4.3 연구내용

과제 1. 해양혼합층의 구조분석 및 계절변동

- 기존의 관측된 수온·염분자료를 국내 및 국외에서 수집한다.
- 혼합층의 수직구조를 분석한다.
- 혼합층수심의 시·공간적 변화를 파악한다.
- 표층수온과 혼합층수심의 관계, 표층수온과 염분과의 관계 등 준실시간 수직구조 파악을 위한 통계적 처리방법을 개발한다.

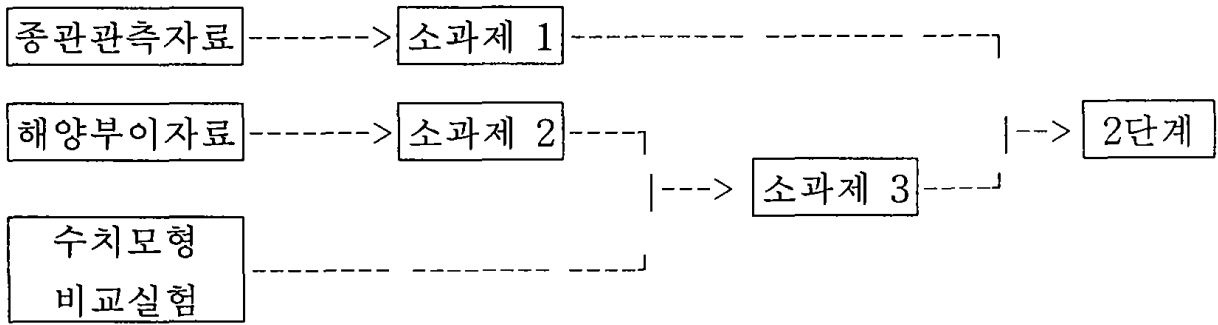
과제 2. 대기-해양 경계층에서의 열교환과정

- 해양자료부이로부터 얻어지는 자료를 분석하여 열교환과정을 밝힌다.
- 황해에서의 대기-해양 열교환의 특징을 밝힌다.
- 수직적 열교환과 수평적 열교환의 상대적 중요성을 살펴본다.

과제 3. 해양혼합층 수치모형실험

- 기존의 알려진 해양혼합층 수치모형을 수집하고 적용실험을 한다.
- 소과제 2에서 얻어진 자료를 이용하여 각 해양혼합층 수치모형의 장단점을 비교하여 황해에 가장 적합한 수치모형을 선택한다.
- 또한, 수치모형에서 사용되는 매개변수의 황해에 적합한 수치를 찾아낸다.
- 해양혼합층 예보를 위한 1차원 수치모형 개발의 가능성 여부를 판단한다.

4.4 추진전략



5 소요예산 (직접경비)

● 세부과제별로 아래 양식에 따라 작성

(단위: 천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	10,000	12,000	15,000	37,000
여비, 승선수당	12,000	20,000	12,000	44,000
선박사용료	0	60,000	0	60,000
기기구입비	20,000	20,000	40,000	80,000
재료비	10,000	10,000	15,000	35,000
수용비, 기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	57,000	127,000	89,000	273,000

● 과제별

(단위: 천원)

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	합계
소과제 1	50,000	50,000	50,000	150,000
소과제 2	50,000	50,000	50,000	150,000
소과제 3	100,000	100,000	100,000	300,000
합계	200,000	200,000	200,000	600,000

● 항목별

(단위: 천원)

구 분	소과제 1	소과제 2	소과제 3	합계
인건비	30,000	30,000	60,000	120,000
여 비	5,000	5,000	8,000	18,000
기술정보활동비	2,000	2,000	3,000	7,000
연구기자재비	3,000	3,000	6,000	12,000
재료 및 전산비	8,000	8,000	20,000	36,000
수용비	2,000	2,000	3,000	7,000
합 계	50,000	50,000	100,000	200,000

* 직접경비 + 외부인건비 = 총액의 약 50%

인건비 = 내외부인건비 + 개발보전금 + 연구관리비

6. 기대성과 및 활용방안

- 해양혼합층은 해양생태계의 시·공간적 분포를 이해하는데 필수적으로 이를 통해 수산자원 관리의 과학적 근거를 제시하게 된다.
- 해양혼합층은 대잠전 등의 해양방위에 있어 중요한 요소이다.
- 우리나라 기상예보의 정확성을 높일 수 있다.

- 태풍의 진로예측, 폭풍의 발생 및 성쇠예측에 도움이 된다.
- 해양혼합층은 오염물질의 분산에 중요한 역할을 하므로 오염물질 분산예측기술의 발전에 기여할 수 있다.
- 해양혼합층 모형과 기상모형의 접합을 통해 진일보한 기상-해양 접합수치 예보모형을 개발하는데 활용한다.
- 해양혼합층 모형을 해수순환 모형에 접합하여 수평이류 효과를 고려한 해양혼합층의 변화를 살펴본다.

7. 참고 문헌

- 국방과학연구소, 1992. 미시적 MLD (온도혼합층) 모델에 관한 연구 II. pp185.
- 오임상, 1993. 동해 중부해역에서의 표면혼합층의 장주기변동에 관한 연구. 한국해양연구소, pp 64.
- Andre, J.C., and P. Lacarrere, 1985. Mean and turbulent structures of the oceanic surface layer as determined from one-dimensional third order simulations. *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 121-132.
- Ball, F.K., 1960. Control of inversion height by surface heating. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 86, 483-494.
- Chu, P.C., C.R. Fralick Jr., S.D. Haeger, and M.J. Carron, 1997. A parametric model for the Yellow Sea thermal variability. *J. Geophys. Res.*, 102(C5), 10499-10507.
- Galperin, B., L.H. Kantha, S. Hassid, and A. Rosati, 1988. A quasi-equilibrium turbulent energy model for geophysical flows. *J. Atmos. Sci.*, 45, 55-62.
- Garwood, R.W., Jr., 1977. Modelling the seasonal cycle of the upper ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 7, 455-468.
- Gaspar, Ph., 1988. Modeling the seasonal cycle of the upper ocean. *J.*

- Phys. Oceanogr., 18, 161-182.
- Gaspar, Ph., Y. Gregoris, and J.-M. Lefevre, 1990. A simple eddy kinetic energy model for simulations of the oceanic vertical mixing: Tests at station Papa and Long-Term Upper Ocean Study Site, J. Geophys. Res., 95, 16179-16193.
- Gaspar, Ph., Y. Gregoris, R. Stull and Ch. Boissier, 1988. Long-term simulations of upper ocean vertical mixing using models of different types. In: Small-scale Turbulence and Mixing in the Ocean, edited by J.C.J. Nihoul and B.M. Jamart, Elsevier Oceanographic Series, 46, 169-184.
- Kantha, L.H., and C.A. Clayson, 1994. An improved mixed layer model for geophysical applications, J. Geophys. Res., 99, 25235-25266.
- Kraus, E.B. 1988. Merits and defects of different approaches to mixed layer modelling. In: Small-scale Turbulence and Mixing in the Ocean, edited by J.C.J. Nihoul and B.M. Jamart, Elsevier Oceanographic Series, 46, 37-50.
- Kraus, E.B. and J.S. Turner, 1967. A one-dimensional model of the seasonal thermocline. Tellus, 19, 98-106.
- Levitus, S., 1982. Climatological Atlas of the World Ocean. NOAA Professional Paper 13., pp 173.
- Mellor, G.L. and T. Yamada, 1974. A hierarchy of a turbulence closure model for planetary boundary layers. J. Atmos. Sci., 31, 1791-1806.
- Mellor, G.L. and T. Yamada, 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851-875.
- Niiler, P.P., 1975. Deepening of the wind-mixed layer. J. Mar. Res., 33, 406-422.
- Niiler, P.P. and E.B. Kraus, 1977. One-dimensional model of the upper

- ocean. In: *Modelling and Prediction of the Upper Layers of the Ocean*, edited by E.B. Kraus, Pergamon Press, 143-172.
- Noh, Y., 1996. Dynamics of diurnal thermocline formation in the oceanic mixed layer. *J. Phys. Oceanography*, 26(10): 2183-2195.
- Noh, Y., C.-J. Jang, C.-H. Kim, and J.-H. Yoon, 1996. Embedding an oceanic mixed layer model into an ocean general circulation model of the East Sea (Japan Sea). *La mer*, 34, 95-107.
- Price, J.F., R.A. Weller, and R. Pinkel, 1986. Diurnal cycling: Observations and models of the upper ocean response to diurnal heating, cooling and wind mixing. *J. Geophys. Res.*, 91, 8411-8427.
- Pollard, R.T., R.B. Rhines, and R.O.R.Y Thompson, 1973. The deepening of the wind-mixed layer. *Geophys. Fluid Dyn.*, 3, 381-404.
- Shim, T., and K. Kim, 1981. On the variation of the mixed layer depth and the heat flux in the Sea of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 16, 49-56.
- Stull, R.B., 1984. Transient turbulence theory, Part 1: the concept of eddy mixing across finite distances. *J. Atmos. Sci.*, 41, 3351-3367.
- Stull, R.B. and A.G.M. Driedonks, 1987. Applications of the transient turbulence parameterization to atmospheric bound layer simulations, *Bound. Layer Meteorol.*, 40, 209-239.
- Stull, R.B., and E.B. Kraus, 1987. The transient model of the upper ocean. *J. Geophys. Res.*, 92, 10745-10755.
- Therry, G. and P. Lacarrere, 1983. Improving the eddy kinetic energy model for planetary boundary layer dissipation. *Bound. Layer Meteorol.*, 25, 63-88.

<중과제 4> 해상기상 감시 및 예측기술

1. 연구목적

황해 및 동중국해상에서 기압계의 급격한 변동성과 변화과정의 요인을 파악하여 해상기상모델의 기초를 세우고, 해양의 수온전선이 대기에 미치는 영향과 기상현상에 의한 다양한 크기의 외력변화에 해양전선이 어떻게 변화하는지를 밝히며, 해상 악기상, 즉, 해무, 집중호우 및 대설 등에 대한 예측의 정확도를 높이는 기반을 구축한다.

2. 세부과제의 구성

- 황해 및 동중국해의 해양기상 변동성
- 해양전선이 해상기상에 미치는 영향
- 해무감시기술
- 집중호우 및 대설 예보 정확도 향상

3. 배경

3.1 필요성

황해 및 동중국해는 북반구 중위도 편서풍대에 위치한 지리적 특성으로 고·저기압 및 장마 등 기압계의 급격한 변화에 많은 영향을 미치고 있다. 따라서 우리나라의 기상예보의 정확도 향상을 위하여 황해 및 동중국해에서의 해상기상의 연구가 절대 필요한 부분이다. 또한 황해와 동중국해는 조업을 위한 어선 활동, 한국 및 중국의 산업활동과 교역에 관련된 선박의 이동, 섬

들이 많아 연안항로의 이용 등으로 항해의 안전이 필요한 곳으로서 이와 관련하여 해상안개(해무)의 파악 및 예측은 그 중요성이 매우 높다. 뿐만 아니라 연안 해무는 항공기 운항 및 국방에 대한 중요성도 지대하므로 이를 체계적으로 연구할 필요가 있다.

해상에서 국지적으로 발생하는 악기상으로 인한 피해는 증가하는 추세로 과거 10년간 (1983-1992년)의 해상 악기상으로 인해 연평균 290여명의 인명 피해(사망, 실종)와 2,600여 억원의 재산피해를 입었으며, 황해 연안에서 발생한 집중호우로 약 12만 정보의 농경지가 침수를 유발하는 강도가 강화되었다. 그러나 해상에서의 집중호우나 낙뢰 등과 같은 중·소 규모의 기상현상과 해무의 예측에 관한 연구는 관측 장비 및 종관 관측망의 시공간적 한계로 인해 상대적으로 부진하였다. 그 동안 연구를 제약하였던 관측자료의 부족을 기상레이더와 기상 위성 등의 원격탐사 장비의 발달과 미세격자 수치모델의 개발 등으로 인해 집중호우 등을 동반하는 뇌우와 해무 발생 감시 및 예측에 대한 가능성이 높아지고 있다.

이러한 연구는 해양-대기 상호작용의 기본적인 배경의 틀 속에 수행되어야 할 필요가 있다. 표 1은 영국, 미국, 독일 등 9개국이 참여하였고 연구선 14척과 비행기 3대에 의한 동시관측 및 35군데 계류관측 등으로 이루어진 대규모 해양-대기 상호작용 연구사업이었던 JASIN (Joint Air-Sea Interaction Project; Pollard 등, 1983) 연구 내용을 보여주는 것으로 해양분야의 관측대상이 수괴구조, 상층 수온, 내부파, 전선, 혼합층역학 및 수면파 등 상층의 모든 해양물리학적 현상을 포함하고 있음을 알 수 있다. 즉, 해양-대기 상호작용 연구는 해수면과 대기 경계면 현상만을 다루는 것이 아니고 적어도 해수면혼합층 깊이까지의 해양물리학적 연구가 수행 되어야 하는 것이다. 수괴구조는 그 동안 많은 관측을 통하여 계절적 분포는 파악되어있기 때문에 개별적 물리현상의 연구가 해양-대기 상호작용 연구의 범위 내에서 이루어져야 할 필요가 있다. 이러한 관점에서 해양전선이 해상기상에 미치는 영향에 대한 연구는 결과의 응용과 과학적인 측면에서 매우 필요한 부분이다.

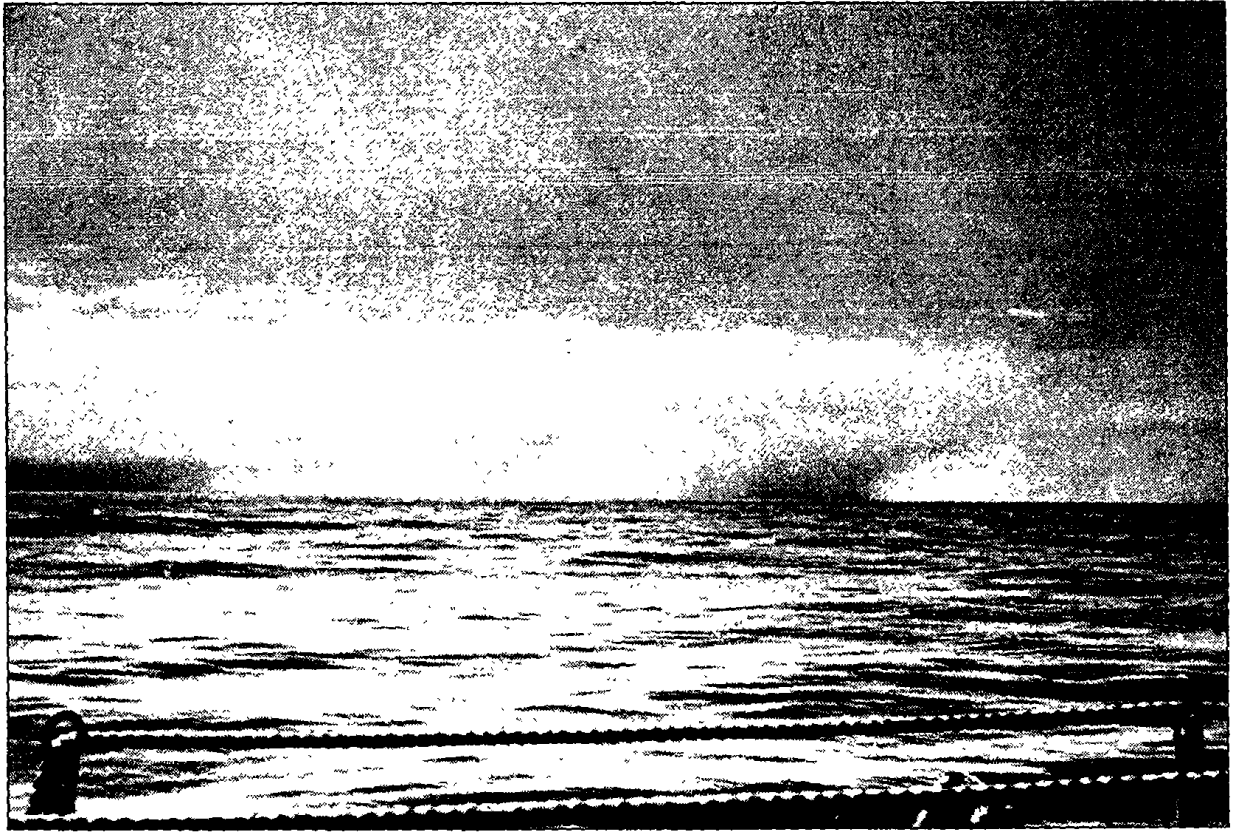


그림 7. 해무의 발생

표 1. JASIN 연구 개요 (Pollad 등, 1983)

분 야	연구 세부 분야	관측 내용 (규모)
대 기	경계층 수지 (BL budgets) 경계층 난류(turbulent)구조 복사 (radiation) 전선 (fronts) 수면유동 (surface flow)	라디오손데(200 km), 비행기(50 km) 비행기(50 km), 기구 (수시간) 비행기(50 km) 선박(200 km), 라디오손데 (200 km, 1일) 선박, 부이, 비행기, Seasat (수십-수백km, 수일-수주)
해 양	수괴(water masses) 구조 상층수온 내부파 (internal waves) 전선 (fronts) 혼합층 (mixed layers) 역학 감쇄 (dissipation) 수면파 (wave), 가스 교환	CTD/STD 관측, 해류계 (200 km) 천해용 CTD (200 km), FIA 계류 FIA 해류계 (수 km) Sea-Soar, 표류 spar, CTD, 해류계 (20 km) spar 부이, Sea-Soar, 뜰개(수 km), 해류계(40 km) octuprobe (수 cm) 파고계, pitch-roll 부이, 사진, HF radar, Ra ²²²
인공 위성 Seasat	바람, 응력 (stress) 수증기량 (water content) 바람, 수면파	scatterometer (50-500 km) microwave radiometer (50-600 km) 고도계, synthetic aperature radar

4. 연구과제의 목표 및 내용

4.1 황해 및 동중국해의 해양기상 변동성

4.1.1 필요성

황해와 동중국해는 우리나라의 해황, 날씨 및 기후 변화에 중요한 변수로 작용한다. 따라서 해상을 지나는 기압계의 발달 및 감쇄에 대한 변동성과 예

측의 연구를 통하여 단기 및 중.장기 예보의 정확도를 향상시킬 필요가 있다. 또한 기압계가 황해 및 동중국해를 통과하면서 대기안정도의 변화를 가져오기 때문에 중국에서 유입되는 오염물질의 해상 유입과 대기중 이동 연구에 해상기상 변동성연구의 필요성이 있다.

4.1.2 연구의 한계성

연구인력- 현재 국내에는 해상기상의 전문 연구인력이 거의 없는 상태로 전문가의 양성이 시급하다. 따라서 해상기상의 연구 방법, 현장 실험 및 자료처리와 해석 등이 기존의 기상학자와 해양물리학자에 의해 이루어져야 하는 만큼 효율성의 한계가 있다.

자료확보- 중국내의 종관적인 기상자료는 기상자료교환의 관례에 비추어 어려움은 없으나 황해 및 동중국해 서부해역의 기상관측 및 해양관측의 어려움이 있다. 중국과 공동연구로서 자료확보가 가능하겠지만 실질적인 현장관측에 한계가 예상된다.

4.1.3 연구목적

황해와 동중국해를 통과하는 기압계 및 전선의 변동성을 파악하여 해상 기상모델의 변수 및 모수화에 자료를 제공하는데 목적이 있다.

4.1.4 연구내용

- 기압계 이동의 계절적 특성 파악
- 황해 및 동중국해상에서의 급격한 기압계 변동의 통계적 분류
- 해상기상 변동의 요인 규명 및 각종 변수의 모수화
- 해상기상 모델 기초 연구

4.1.5 추진전략

- 기존자료 분석을 통한 통계적 접근
- 현장관측 필요시 중국과 공동연구를 통하여 황해 및 동중국해 서부역 자료 확보

4.2 해양전선이 해양기상에 미치는 영향

4.2.1 필요성

황해와 동중국해 대륙붕 상에서의 표층에서 관측되는 열염전선은 쿠로시오계통 고온수와 황해내부 및 연안수 계통 저염수의 경계로서 황해와 동중국해의 경계해역에서 형성되는 전선과 한반도 및 중국연안에서 연안류와 조석혼합의 영향이 복합되어 나타나는 전선으로 대별할 수 있다. 수온전선에서는 해수면온도의 수평변화가 급격하기 때문에 전선을 가로지르면서 해양-대기간 열수지에 큰 변화가 가능하다. 이러한 상황하에서 해무발생 및 대기전선 또는 저기압 발달에 대한 해양의 영향의 달라지게 되므로 위와 같은 국지적 악기상 현상 연구에서는 해양의 전선 파악이 중요한 사항이 된다. 이는 황해 및 동중국해상을 통과하면서 일어나는 저기압과 전선의 발달이 우리나라 기상예보의 핵심정보라는 점에서 대기의 현상변화의 촉매역할을 하는 해양의 현상규명 연구가 절대 필요함을 의미한다. 동중국해의 남쪽해상에서의 저기압 발달의 연구(예, Xie 등, 1991)에 비해 황해와 동중국해 북쪽해역에서의 현상은 전혀 연구가 되어있지 않기 때문에 우리나라 기상예보의 능력향상의 관점에서 이의 필요성을 더해주고 있다.

동중국해와 황해남부의 염전선(salinity front)은 쿠로시오계통 고염수와 양자강유출수 등의 저염수 사이에 형성이 되기 때문에 이차적인 해양-대기 상호작용의 결과로 볼 수 있다. 대기 현상의 관점에서는 염전선 역할의 중요성은 덜하지만 해양 현상의 관점에서는 염전선 변화 및 이동은 대단한 중요성을 가진다. 따라서 해양-대기 상호작용 연구의 테두리 내에서는 염전선의 해양학적 효과에 대한 연구에 앞서서 양자강유출수 및 황해의 연안수가 어떻게 염전선 형성에 미치는가에 대해 밝혀줄 필요가 있다.

4.2.2 국내외 연구현황

열염전선 자체의 연구는 해양물리학의 과정연구에서 하나의 큰 가치를 형성하고 있다 (Fedorov, 1983). 전선이 해류, 소용돌이, 연안조석, 하구역학

및 대규모 수괴 연구 등과 항상 함께 나타나기 때문이다. 또한 전선은 어장과 밀접한 관계가 있으므로 수산학에서의 응용연구도 중요한 부분이 되어 있다. 천해의 경우 황해 및 동중국해와 유사한 환경인 북해 및 조지아뱅크 등에서는 조직적인 연구가 활발하게 되고 있으나, 황해와 동중국해 대륙붕에서는 매우 미진하다. 더구나 해양-대기 상호작용과 결부된 연구는 전무한 상태다.

황해와 동중국해에서의 전선연구는 대부분 연안의 조석전선 연구에 국한되어 있다 (Choo and Cho, 1984; Lie, 1989; Seung 등, 1990; Zhao, 1991). Zheng and Klemas(1982)는 NOAA 인공위성의 적외선 영상자료를 이용하여 겨울철 황해남부와 한반도 남해안의 전선에 대한 기술을 한 바 있다. Kazmin (1992)은 전선의 연구에 있어 인공위성 원격탐사 자료와 현장관측자료의 동시 이용의 효율성을 황해와 동중국해의 예를 들어 설명한 바 있다. 그러나 이러한 연구들중 해양-대기 상호작용이나 구체적인 해양의 물리적 과정 연구와 결부된 것은 찾기 힘들다. 다만, Lee 등(1997)은 황해와 동중국해 경계역의 전선의 계절변화가 매우 기계적이고 기상의 일차적(바람) 및 이차적(강우)인 효과에 기인함을 제시하여 해양-대기 상호작용 연구의 가능성을 보여 준바 있다.

4.2.3 문제점 및 한계성

관측 해역의 선정 - 황해와 동중국해에는 주변국가들의 국가적 이해가 상충하고 있는 곳이다. 특히 1996년에 한국, 중국 및 일본이 각각 배타적 경제수역(EEZ) 선포를 한 후로 해양관측의 해역 설정에 큰 제약을 받고 있다. 해양-대기 상호작용의 연구가 근본적으로 현장관측자료를 바탕으로 하기 때문에 우리나라 단독 연구만으로는 충분한 관측자료의 확보가 사실상 불가능하다.

연구선의 이용 - 황해와 동중국해상을 통과하면서 발달되는 저기압과 전선의 경우 1일이면 해상을 통과하기 때문에 해양에서 대기로 유입되는 에너지의 조사를 위하여 연구대상 해역 자료의 동시성이 요구된다. 따라서 여러 척의 연구선이 해역과 목적을 분담하여 동시관측을 해야될 필요가 있는 경

우에 이를 위한 연구선의 이용에 제약이 있다.

계류관측 - 어업활동은 계류를 통한 관측의 가장 큰 장애물이다.

4.2.4 관측의 필요성 및 목적

해양 - 대기 상호작용은 해수면 경계층에서의 열교환과 같은 아주 작은 규모의 현상부터 ENSO (El Nino-Southern Oscillation)와 같은 대양규모의 현상까지 다양한 크기의 연구대상이 있다. 황해와 동중국해에서의 해양-대기 상호작용 연구는 해수면경계의 열수지에서부터 황해순환과 관련된 분지 크기의 해양-대기 상호작용이 연구대상이라 할 수 있다. 해양전선의 이해는 전선이 대기현상에 어떠한 영향을 주는가에 그 초점을 둘 수 있다. 이와 함께 대기현상의 영향을 받는 해양 순환이라는 관점에서 해양전선의 연구도 큰 의미를 갖는다. 즉, 황해남부와 동중국해 북부 해역에서 항시 존재하는 전선은 두 가지 의미를 모두 만족하는 연구 대상이라 할 수 있다.

본 과제에서는 황해와 동중국해 경계해역 열염전선의 계절적 특성을 규명하기 위하여 각 계절별로 전선의 수평 및 수직구조를 파악하고 전선상에서 열염의 수평이동을 규명하여 해양-대기간 수지에 대한 배경 자료를 제공하는데 목적을 둔다.

4.2.5 관측내용 및 해역

가. 관측내용

CTD 정점관측 - 전선역보다 넓은 해역의 해황 판단을 위한 관측

SeaSoar 연속관측 - 국지해역 집중 및 반복 관측

CTD 및 Thermistor 체인 상층 단기 계류관측, 열염전선의 단기간 변화관측

인공위성 탐사자료(AVHRR) 자료의 분석 - 전선의 장기변화 추정

나. 연구해역

연구해역은 동중국해와 황해남부의 경계해역으로 한다. 이곳은 연중 전선이 존재하고 계절변화가 뚜렷하기 때문에 연구목적을 달성하기 위한 가장 적절한 해역이다. 총괄과제의 집중관측은 여러 세부과제간 협의를 거쳐 결정

한다.

4.2.6 추진전략

가. 공동관측과 국내기관의 참여

앞에서 지적하였던 문제점과 한계점을 극복하기 위하여 한 연구팀에 의한 단독관측보다는 공동관측의 필요하다.

국제공동관측 - 각국의 EEZ 내에서 관측을 위하여 해당국가의 연구진이 참여하는 공동 관측이 필요하다.

국내기관 참여 - 항해에 인접한 대학교와 연구선박을 보유하여 선박이용이 비교적 용이한 여러 기관이 참가하도록 한다.

나. 타 연구과제와 긴밀한 협조 유지

광역 정선관측 - 총괄과제 주도하에 집중현장관측시 집중관측 해역보다 넓은 해역을 설정하여 전반적인 전선역해황의 파악을 한다.

전선 국지해역 집중 반복 관측 - 전선역의 시공간적인(1주일 이내) 변화에 대한 자료를 얻기 위하여 SeaSoar 등을 이용한 관측을 실시한다.

정점 연속관측 - 전선역 상층의 해수특성치의 정밀한 수직 변화를 조사한다. 이는 대기관측과 함께 수행되도록 한다.

다. 연구 추진일정

전선역 변화 특성연구는 적어도 계절의 특성파악을 목적으로 할 때 3년의 조사기간을 설정한다. 집중관측은 국제공동조사의 계획과 관련이 있으므로 1년의 예비조사를 포함한 3년의 연구기간이 필요하다.

4.3 해무감시 기술

4.3.1 필요성

해상에서 발생하는 해무는 물류수송 및 해상조업을 위한 항해의 안전에 큰 영향을 미치고 있다. 그러나 해상에서의 관측자료의 결핍은 해무가 발생할 수 있는 기상요소 조사 및 기압계와 풍계의 파악을 어렵게 하여 해무발

생에 관련된 대기-해양의 상호작용에 관한 연구가 부진하였다. 최근 해양부 이 관측과 위성원격탐사자료 및 수치모델의 활용기법 개발은 이와 같은 어려움을 해소할 수 있는 계기가 되리라고 판단된다.

4.3.2 국내외 연구현황

해무는 정확한 예보가 거의 불가능하고 강한 뇌우 발생 가능성이 있을 때 해무에 대한 주의를 하는 정도이다.

4.3.3 한계성

연구인력과 자료 확보 측면에서 1세부과제인 해양기상 변동성의 경우와 같은 한계성이 있다.

4.3.4 연구의 목적

해양관측 및 위성자료를 이용한 해무감시기술 개발을 목적으로 함.

4.3.5 연구내용

- 해무의 해상 관측시스템 연구 및 위성자료 활용 기법 연구
 - 부이 운영 및 자료생산
 - AVHRR, SSM/I 위성자료를 활용한 해무 분석
- 수치모델에 의한 해무 모사기법 개발
 - 해무 메카니즘 이해를 통한 수치모델의 개선
- 해양관측, 위성 및 수치모델에 의한 해무 감시 시스템 구축
 - 해양관측 및 위성에 의한 해무 감시시스템 최적화
 - 해무 예측의 현업화

4.3.6 추진전략

- 기존자료의 통계적 처리
- 해양-대기 열수지 관련 과제와 공동 현장관측
- 중국과 공동 연구실시

- 해무발생 및 변화 예측을 위한 중국측과 기상 자료 교환

4.4 집중호우 및 대설 예보 정확도 향상

4.4.1 배경 및 필요성

해상에서 국지적으로 발생하는 악기상으로 인한 피해가 점차 늘어나고 있고, 과거 10년간 (1983-1992년)의 호우 및 해무 등 악기상으로 인해 연평균 290여명의 인명피해 (사망, 실종)와 2,600여 억원의 재산피해를 입었으며 약 12만 정보의 농경지가 침수를 유발하는 집중호우도 황해상에서 발생하고, 그 강도가 강화되었다. 집중호우를 유발하는 뇌우는 수평규모가 수백m에서 수십 km이하인 meso- β 규모로서 현재의 종관규모의 관측망으로서는 탐지가 용이하지 않고, 뇌우는 수 시간 이내의 짧은 시간에 급격히 성장하여 집중호우, 뇌우 등에 의한 피해를 초래하므로 현재의 단기 예보로는 그 예측이 어렵다. 그 동안 기상에 관한 연구는 주로 종관규모 이상의 기상현상 예측 능력 향상에 우선 순위를 두어 왔다. 그로 인해 기압시스템 변동에 따른 종관 기상 예측 능력은 상당히 향상되었다. 그렇지만 해상에서의 집중호우와 같은 중·소 규모의 기상현상의 예측에 관한 연구는 관측 장비 및 종관 관측망의 시공간적 한계로 인해 상대적으로 부진하였다.

4.4.2 국내외 현황

- 집중호우는 중규모적 특성을 지니고 있으므로 현재의 종관관측의 시·공간적 제약 때문에 호우를 발생시키는 중규모 물리과정 그리고 기후모델 과 중규모 수치모델에서의 그들의 모수화에 관련된 문제들이 아직까지 충분히 해결되지 않은 관계로 호우 예보에 어려움이 많다.
- 황해와 동해 등 해양에서의 상층 관측자료 부족은 집중호우를 유발하는 중규모 시스템의 역학적 특징 규명을 더욱 어렵게 한다.
- 외국의 경우 수십년 동안 꾸준히 되풀이 되어 온 대규모 야외 관측 실험을 통해 국지 악기상 연구에 필요한 관측자료를 생산하여 이를 토대로 중규모 이하의 국지 악기상을 예측할 수 있는 미세격자 수치모델 개발 등을 시도하고 있다.

- 또한 레이더 자료 등을 활용하여 국지 악기상을 감시 및 예측하는 기법이 계속적으로 개발·개선되고 있다. 특히 발달된 레이더 자료 처리 기술을 토대로 하여 집중호우를 유발하는 중규모 시스템 예측 모델인 미세격자 수치모델의 품질 향상 및 현업화 가능성을 탐구하고 있다.

4.4.3 연구의 목적

- 집중호우 및 대설의 예보 정확도 제고

4.4.4 연구내용

- 호우, 대설 발생에 있어서 황해 또는 연근해에서의 해양-대기 상호 작용 연구
 - 기후학적 호우, 대설 발생조건 조사
 - 호우, 대설 사례의 종관 또는 중규모적인 특성 파악
- 레이더, 위성을 이용한 호우, 대설 예측 기법 연구
- 관측 및 수치모델에 의한 집중호우, 대설의 예측 시스템 구축
 - 수치모델의 물리과정 개선 및 예측기법 최적화
 - 결과 분석/검증 및 현업화

4.4.5 추진전략

- 타사업과 연구보완 (행상기상 변동성, 해양-대기 열수지, 해상풍 등)
- 국내 유관기관 공동 참여
- 인공위성 원격탐사자료의 활용도를 높임 (악기상 관련 관측)

5. 소요 예산

5.1 황해 및 동중국해의 해양기상 변동성

(단위: 천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	10,000	12,000	15,000	37,000
여비,승선수당	12,000	20,000	12,000	44,000
선박사용료	0	40,000	0	40,000
기기구입비	10,000	10,000	20,000	40,000
재료비	10,000	10,000	15,000	35,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	47,000	97,000	69,000	213,000

5.2 해양전선이 해양기상에 미치는 영향

(단위:천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	10,000	12,000	15,000	37,000
여비,승선수당	15,000	20,000	32,000	67,000
선박사용료	50,000	60,000	70,000	180,000
기기구입비	24,000	30,000	20,000	64,000
재료비	6,000	8,000	6,000	20,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	100,000	135,000	150,000	385,000

5.3 해무감시 기술

(단위:천 원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	10,000	12,000	15,000	37,000
여비,승선수당	10,000	15,000	20,000	45,000
비행기사용료	0	50,000	50,000	100,000
기기구입비	100,000	50,000	30,000	180,000
재료비	25,000	18,000	28,000	71,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	150,000	150,000	150,000	450,000

5.4 집중호우 및 대설 예보 정확도 향상

(단위:천 원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	10,000	10,000	15,000	35,000
여비,승선수당	10,000	20,000	12,000	42,000
선박사용료	0	40,000	0	40,000
기기구입비	100,000	100,000	50,000	250,000
재료비	25,000	25,000	16,000	66,000
수용비,기타	5,000	5,000	7,000	17,000
계	150,000	200,000	100,000	450,000

6. 기대효과 및 활용방안

- 해양기상 연구의 전문가 양성
- 해양기상 모델 개발 능력 배양

- 육상 단기 예보모델 정확도 향상에 기여
- 악기상 예보에 필요한 해양정보의 확보
- 해상관측기술과 관측자료 활용기법 획득
- 악기상 (해무, 집중호우, 대설, 해상낙뢰)의 예보능력 향상으로 1차 방재 대책 강구
- 어업 및 환경, 항공, 국방에 자료제공

7. 참고문헌

- Choo, H.S. and K.D. Cho, 1984, The structure of tidal front in the eastern Yellow Sea in the summer of 1982, Bull. Korean Fish. Korea, 26, 340-349.
- Fedorov, K.N., 1983, The Physical Nature and Structure of Oceanic Fronts, Springer-Verlag, New York, 333pp.
- Kazmin, 1992, Frontal zones in Pacific Ocean: satellite and ship data analysis, (unknown proceedings), 846-850.
- Lee, J.H., H.-J. Lie, Y. Tang and E. Zou, 1997, Fronts in the northern East China Sea, Proceedings of PAMS/JECSS XI, Taipei, Taiwan.
- Lie, H.-J., 1989, Tidal fronts in the southeastern Huanghai (Yellow Sea), Cont. Shelf Res., 9, 527-546.
- Pollard, R.T., T.H. Guymer and P.K. Taylor, 1983, Summary of the JASIN 1978 field experiment, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 308, 221-230.
- 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.
- Xie, S.M., D.Y. Wei, C.L. Bao and T. Aoki, 1991, The mechanism of explosive cyclogenesis over the sea east of China and Japan, In

Oceanography of Asian Marginal Seas, Ed. by K. Takano, Elsevier, 367-380.

Zhao B., 1991, Tidal mixing and shallow water continental shelf fronts in the Yellow Sea, Proceedings of the 2nd Int'l Symp. on Marine Sci. in the Yellow Sea, July 27-29, 1991, Qindao, Qingdao Ocean Univ. Press, 88-99.

Zheng, Q.A. and V. Klemas, 1982, Determination of winter temperature patterns, fronts, and surface currents in the Yellow Sea and East China Sea from satellite imagery, Remote Sensing of Environment, 12, 201-218.

<중과제 5> 해양기상부이에 의한 해양-기상 및 열교환 관측 시스템 구축

1. 연구목적

황해에서 해양과 기상변화를 직접관측하여 실시간으로 해양과 기상변화를 예측할 수 있는 국가감시망을 구축하기 위한 연구용 해양-기상부이를 설치 시험운영하여 설치 및 운영기술을 확보하며, 주요 해양-기상센서를 부이에 부착하여 센서의 성능과 통합운영체계를 구축하며, 관측된 자료를 저렴한 경비로 효과적으로 원거리 통신할 수 기술을 개발하고 송수신된 자료를 처리하여 국가 database한다.

2. 세부과제구성

- 해양기상부이의 설치 및 시험운영
- 해양-기상 센서의 통합
- 해양-기상자료의 송수신 및 처리기법

3. 필요성

해상교통이 점차로 빈번해짐에 따라 해상교통사고의 가능성이 증가하게 되었으며, 해양 스포츠 등 바다에서의 문화/오락적인 여가를 더 찾게된 현대인에게 앞으로 해상상태의 예보는 육상의 일기예보만큼 일상생활의 일부로서 점차 자리잡게 될 것이다. 또한, 황해를 통한 중국과의 물류교환 및 관광객의 수요가 급증함에 따라 해상예보의 필요성은 더욱 증가될 전망이다. 따

라서, 보다 향상된 모델을 이용한 해상기상예보는 앞으로 바다를 이용하는 전문기관 및 전문인 뿐만 아니라 일반인에게도 유용한 정보가 된다. 해상예보모델의 입력자료로서 대기와 해양의 상호작용을 관측한 변수들이 요구되고 있는 바, 모델결과의 신뢰성은 경계조건의 정확성 및 실시간 입력에 결정적인 영향을 받는다.

대기와 해양의 열/물질(물) 교환과정 및 수지를 이해하기 위해서는 경계면 근처에서 대기와 해양 지표변수 (index parameters)를 장기간 직접 측정하는 것이 가장 효과적이다. 위성을 통한 간접 측정은 넓은 영역을 동시에 탐사할 수 있는 장점이 있지만, 여기에도 알려진 복잡한 보정계산 (algorithm)과정에 포함되는 계수를 실측치로서 비교 보정해야하므로 이러한 직접관측 자료가 필수적이다. 목적에 따라서는 선박을 이용한 해양관측시 대기변수들을 동시에 관측하기도 하지만, 이 경우는 일회성에 그치므로 경계면을 통한 여러 가지 시간규모의 대기-해양의 교환과정을 충분히 이해하는 데는 장기간 직접 관측한 자료가 해상예보의 향상에 필수적이고도 가장 적합하다.

황해에서 해양기상부이를 통한 예보체계는 오염물질의 이동과 확산, 해양환경의 관리와 감시, 안전항해를 위한 해상기상 등 해황예보, 해양방위, 해난구조와 같은 국가적인 문제에 효율적으로 대처하기 위한 종합적인 자료를 실시간으로 제공함으로써 경제-산업적으로 그 활용성을 극대화할 수 있다.

4. 국내외 연구현황

- 한국해양연구소

1988년도 소형부이를 연구용으로 시험제작하여 동해에서 시험운영하였고, 1997년도에는 내만용 직경 2m 부이를 제작하였고 기초해양센서를 부착하여 진해만에 설치하여 부이의 운영기술과 송수신시스템을 시험하고 있는 중이다.

한편, 국내 기술이 취약한 직경 3 m 이상되는 해양기상부이의 운영경험을 쌓아 이 분야의 기술축적을 위해 미국 NOAA 표준형인 직경 3 m 부이

를 1996년에 연구시험용으로 도입하여 소흑산도 해상에서 시험운영하였다.(그림 8)

- 기상청

해상기상예보업무를 개척하기 위하여 캐나다에서 제작한 해상기상부이를 3대 도입하여 1997년부터 서해연안에 두 대, 남해연안에 1대를 설치하여 시험운영하고 있다.

- 일본과 중국은 대형 부이를 동해, 황해, 동중국해상에 설치하여 해양과 기상을 상시 모니터링하고 있으며 해황과 해상기상예보의 입력자료로 활용하고 있다. 일본(과기청 산하 해양과학기술센터)은 다수의 해양기상부이를 북서태평양에 설치하여 대양의 해황을 실시간으로 모니터링하는 사업을 국책사업으로 선정하여 계획대로 추진하고 있는 중이다.

- 미국, 캐나다, 서유럽 등은 해양-기상 상호작용 연구의 중요성을 인식하여 1960년대부터 대형 해양기상부이를 본격적으로 개발하여 해황과 해상기상 예보의 기초자료로 활용하고 있다. 1980년대 중반이후, 부이기술과 통신기술의 발달로 대형부이보다 제작과 운영비가 훨씬 저렴한 직경 3 m 부이를 표준형으로 개발하여 현업 및 연구용으로 해상에 설치하여 해양과 기상을 동시에 실시간으로 모니터링하고 이 자료를 이용함으로써 적중률이 향상된 해상기상 예보시스템을 운영하고 있다.

5. 연구목표

황해에서 해양과 기상변화를 실시간으로 모니터링할 수 있는 국가관측망을 구축하기 위한 기반연구를 실시한다. 이를 위하여 해양기상부이의 제작, 설치 및 운영기술을 확보하고, 주요 해양-기상센서의 통합운영시스템을 개발한다. 또한, 본 연구과제에서 필요로 하는 가장 기본적인 자료를 제공함으로써 황해의 해양-기상 연구를 촉진시키며, 해양-대기 경계층에서 미세 열교환 구조를 관측한다.

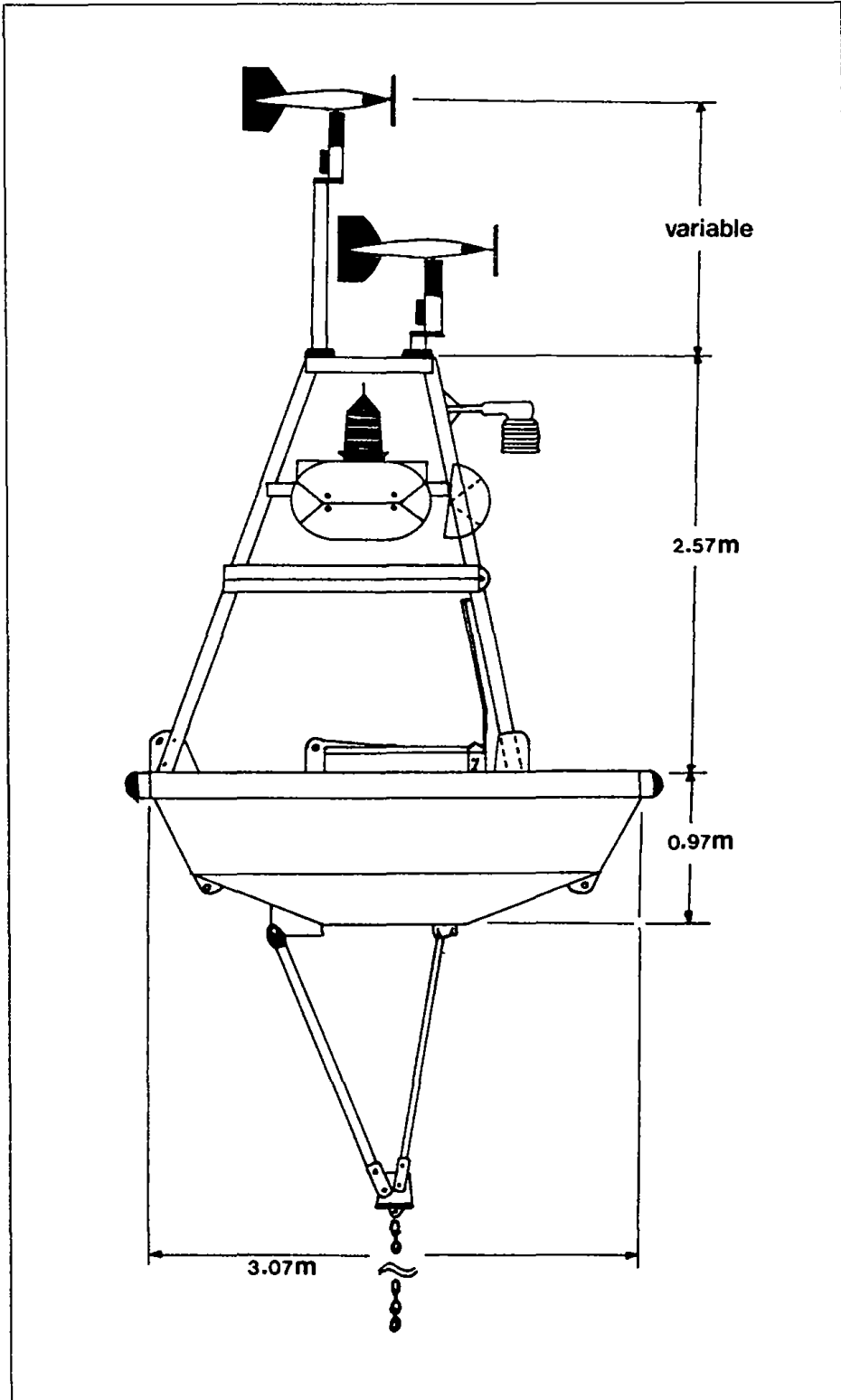


그림 8. 미국 NOAA 표준형인 직경 3m 해양기상부이의 단면도

6. 연구범위 및 내용

- 해양기상부이의 설치 및 시험운영

부이의 안전계류, 보수 및 유지관리 기술, 부이 몸체의 국내시험제작

- 해양-기상 센서의 통합

기상센서 : 기온, 습도, 해면기압, 풍향과 풍속, 복사량 등

해양센서 : 해표면과 각 층별 수온-염분, 조위, 유속과 유향, 각종 광센서

각종 센서가 감지한 자료의 통합기법

- 해양-기상자료의 송수신 및 처리기법

자료의 압축, 근거리 및 원거리 자료 송신, 부이센서의 제어, 수신자료의 처리.

7. 추진전략

7.1 기상청과 부이업무 협조유지 및 자료의 공동활용

기상청이 상시 운영하는 연안해상기상부이에 해양센서를 부착하여 기상 및 해양변수를 동시에 측정할 수 있도록 협조를 요청하고, 반면에 본 연구에서는 황해의 외해역 및 주요 해양과정이 발생하는 해역에 부이를 설치하여 자료를 기상예보에 활용할 수 있도록 제공한다.

7.2 해양기상부이의 안전확보 및 유지관리

해양기상부이가 조업중이거나 항해중인 대형선박으로부터 손상되거나 침수될 우려가 높기 때문에 사전 예방차원에서 해양경찰청, 국립해양조사원 등 관련국가기관에 사전 협조를 요청하며, 유실이나 손상시 회수할 수 있도록 협력체계를 유지한다. 반면에 부이에서 실시간 모니터링되는 자료를 관련 국가기관에 상시 제공하여 그들의 고유업무에 도움을 줄 수 있도록 한다.

7.3 부이의 설치, 상시 운영 및 보수유지

- 해양기상부이를 황해 중부 (선갑도 한국해양연구소 기지와 연계), 중남부 (흑산도 외해역), 그리고 남부 (제주도 서부 외해역) 3곳에 설치한다 (그림 9).

- 부이와 육상 연구실간 자료 전송은 무선과 위성통신 방법을 병행하되 최적 예산절감 방안을 강구하여야 하며 이를 위해 육상에서 전송방법을 제어할 수 있는 기법을 도입한다.(그림 10).

- 부이는 매 6개월마다 계류선의 안전성 확보 및 정기보수를 위하여 연구선을 파견하는 것을 원칙으로 한다. 또한, 관측센서 혹은 태양전지판 등이 손상당하는 긴급상황이 발생할 시 최단시간내 연구선 혹은 관계기관의 선박을 파견하여 대체할 수 있도록 상시협조체제를 유지하도록 한다.

7.4 전문인력의 훈련 및 확보

- 국내에서 해양기상부이의 중요성을 인식하고 있으며 각 부처별로 그 수요가 계속 증가하고 있으나 국내에 이를 전담할 고급전문인력이 절대 부족하며 전문조직이 아직은 제대로 구성되어 있지 못한 실정이다. 따라서 이 과제를 통해 부이 설치 및 보수, 센서, 통신분야의 전문가를 양성하도록 한다.

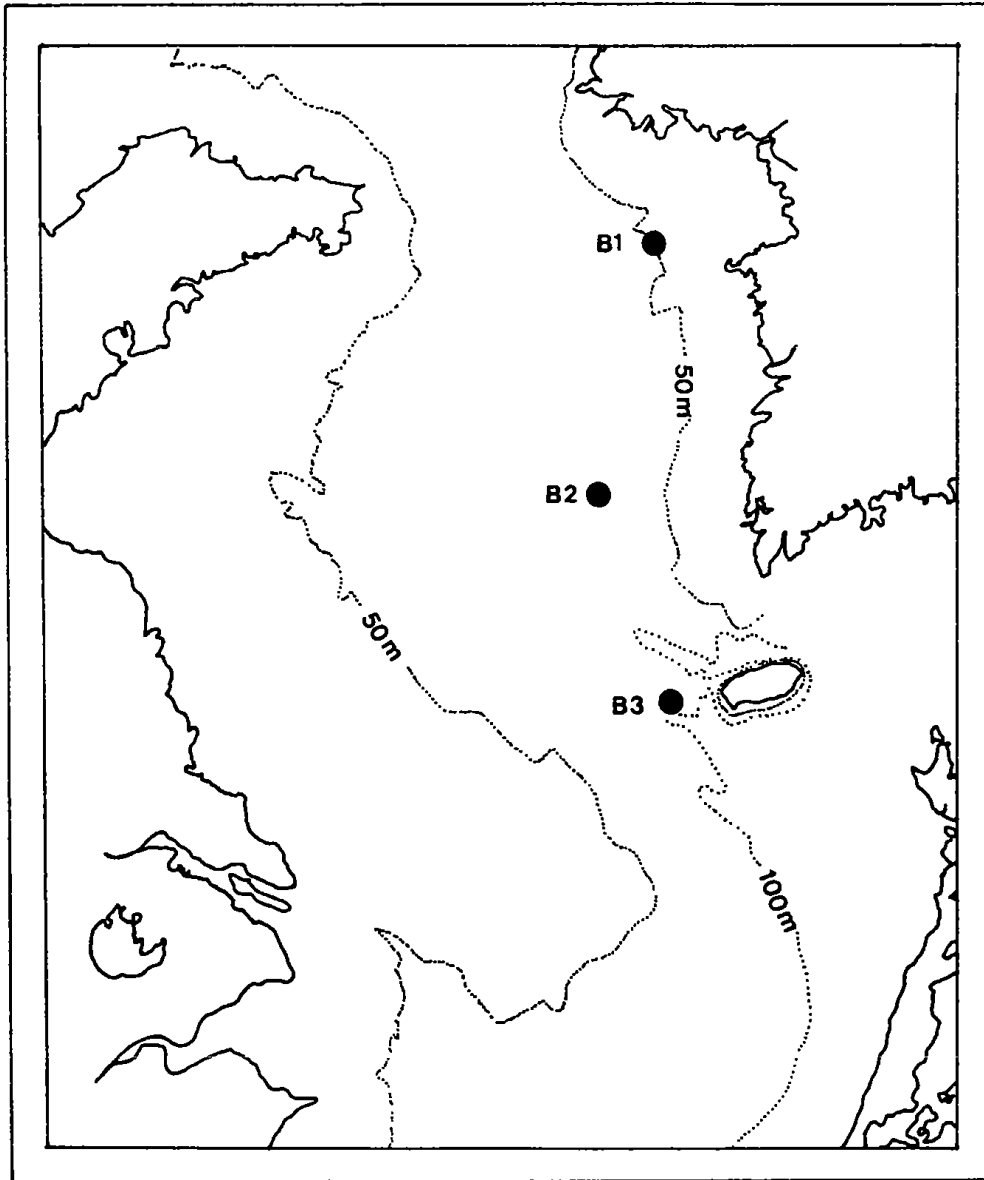


그림 9. 3대의 시험연구용 해양기상부이를 황해에 설치할 경우
예상위치

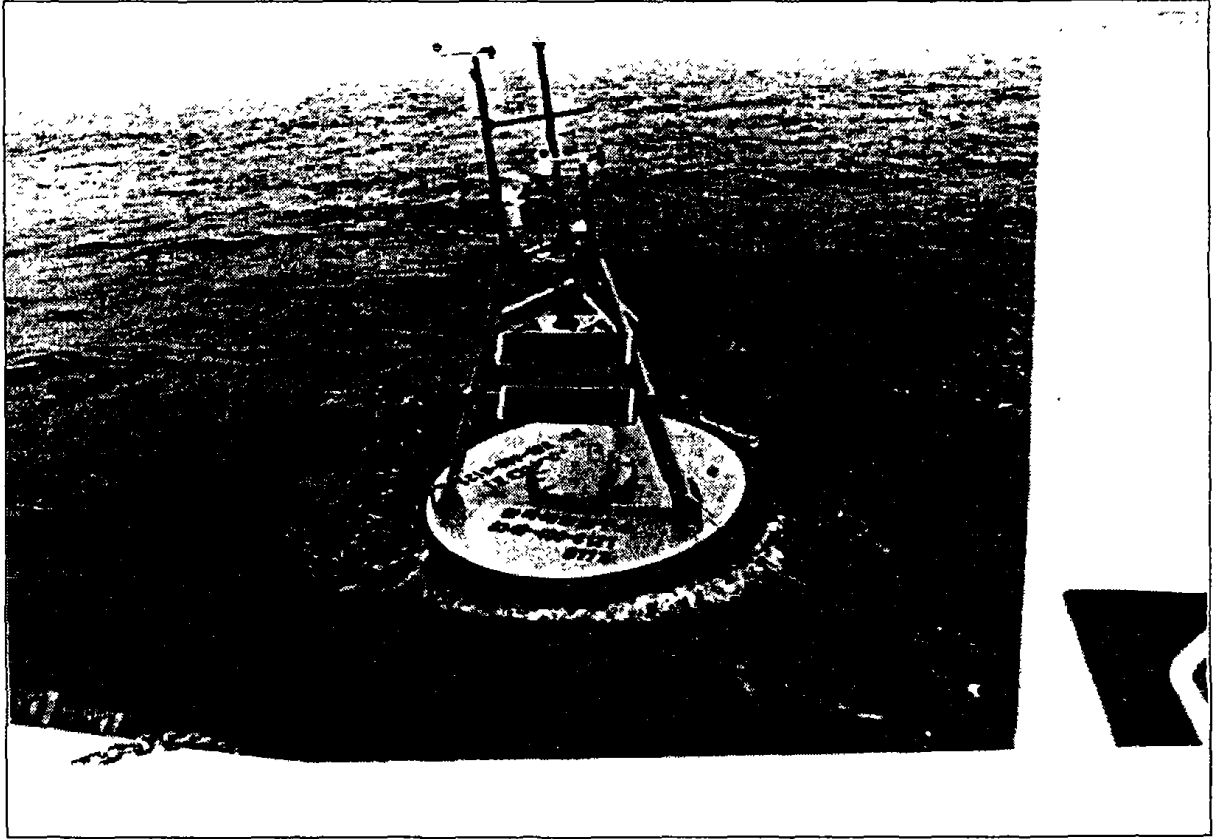


그림 10a. 한국해양연구소 해양기상부이의 사진.

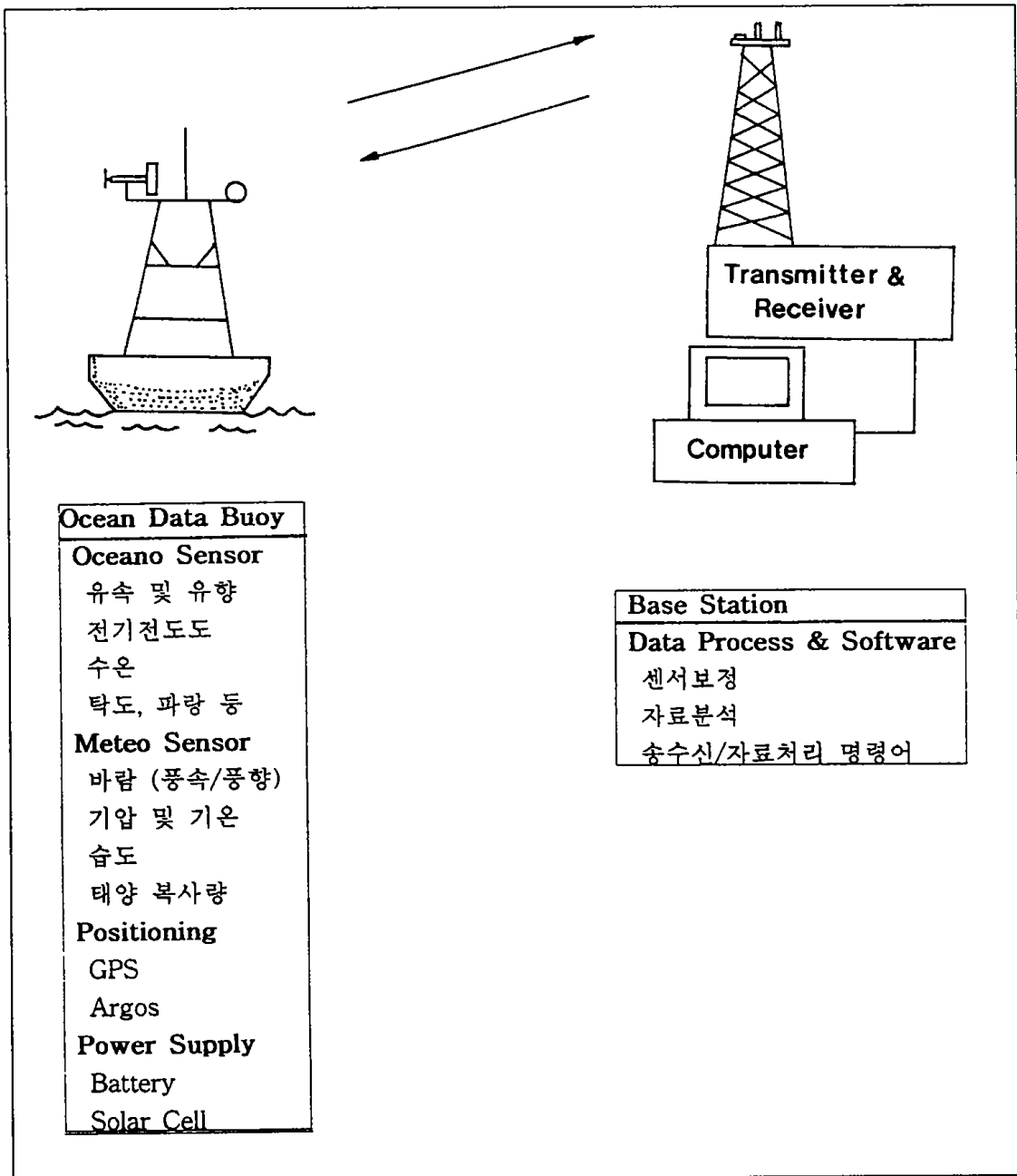


그림 10b. 한국해양연구소 해양기상부이의 자료송수신체계

8. 소요예산 (직접경비)

(단위:천원)

경비내용	1차년도	2차년도	3차년도	계
외부인건비	30,000	30,000	30,000	90,000
여비,승선수당	10,000	10,000	10,000	30,000
선박사용료	20,000	20,000	30,000	70,000
기기구입비	200,000	250,000	200,000	700,000
재료비	50,000	50,000	70,000	170,000
수용비,기타	5,000	10,000	10,000	25,000
계	315,000	370,000	400,000	1085,000

9. 기대성과 및 활용방안

9.1 대국민 해양기상 정보제공

해양기상부이를 통해서 실시간으로 관측되는 자료는 즉시 수신소 (해양연구소)로 집적되어 일차처리된 후 관계기관, 어민에게 정확한 해상정보를 제공함으로써 해상경제활동을 적극 지원한다.

9.2 해황 및 해상기상 예보능력 향상

해황 및 해상예보가 주로 육상 (또는 섬)에서 관측된 기상변수에 주로 의존하여 이루어진 것이라면, 상설 해양기상부이에 의해 실시간으로 관측되는 정확한 정보는 해황 및 기상예보 모델의 입력자료로 바로 활용되어 예보능력을 향상시킬 수 있다.

9.3 해난사고 예방, 해양환경보전 및 오염 방제

신속 정확한 해양기상 정보는 해상안전사고를 예방하는데 필수적인 자

료이다. 또한 유출유 등 해양오염사고가 발생하거나 긴급한 구난 및 수색이 요청될 때 현장에서 조사되는 해양과 기상정보는 반드시 확보되어야 하는 필수자료인 것이다.

10. 참고문헌

- 이홍재 등. 1990. 연근해역에서 해황모니터링 시스템 연구-해양관측부이를 이용한 동해 중부 해황관측(1차년도)-. 해양연구소 보고서 BSPG 00099-3001-1.
- 이홍재, 이경인, 박건태, 황쌍철, 전호경, 1991. 소형해양관측부이의 설계, 제작, 시험운영. 해양연구, 13(2), 79-86.
- ARGOS. 1989. Guide to the ARGOS System Berteaux. H. O. 1976. Buoy engineering. John Wiley Sons, Inc., N.Y., U.S.A.
- Hamilton, G.D. 1986. National Data Buoy Center Programs. Bull. American Meteo. Soc., 67: 411-415.
- Hamilton, G.D. 1988. Small coastal data buoys. Proceed. 4th Conference on Meterological and Oceanography of the Coastal Zone. Calif, American Meteo. Soc.: 74-78.
- Hayes, H. P. 1991. The tropical atmosphere ocean array-TOGA TAU Implementation Plan. PMEL/NOAA.
- Jacobs, J. A. 1990. Next generation meteorological bouys. New open ocean buoys can reliably fill the Eastern Atlantic weather data information gap. Sea Tech., Feb. 1990: 19-21.
- Walden, R. G. and N. N. Panicker. 1973. Analysis of taut buoy mooring technology means of acquisition and communication of ocean daa. W.M.O.,Marine Science Affairs Rep. No.7.
- Wang,Z. 1987. Effort be made in the basic theoretical study and experimental work of buoys. Haiyang Jishu, 6: 50-57.

<중과제 6> 태풍 감시 및 예측기술 개발

1. 연구개발의 중요성

1.1 배 경

한반도는 지정학적으로 유라시아 대륙 동안의 반도, 편서풍 지대에 위치하고 있어 대륙과 해양에서 발생하여 이동하는 기압계의 직접적인 영향을 받고 있다. 따라서 한반도 주변 해역은 기상학적으로나, 해양학적으로나 모두 중요한 의미를 지니고 있으며, 주변 해역의 조밀한 관측은 보다 정확한 해양 기상예보 및 감시를 위해서 절대 필요하다. 황해를 비롯한 한반도 부근 해역에 대한 해양 기상 감시자료는 해상교통, 수산업, 양식업 그리고 해양 환경보전 등 다방면에 긴요하게 활용되어지고 있다. 특히 해마다 3-4개의 태풍의 영향을 받는 우리나라로서는 태풍에 의한 피해를 줄이기 위해서 이의 정확한 감시 및 예측이 절대적으로 필요한 실정이다. 그러므로 태풍의 감시 및 예측기술의 개발은 기상분야 뿐만 아니라 집중호우 대비 및 해상 방재 분야에 필수적이라고 할 수 있다.

1.2 필요성

우리나라는 해마다 3-4개의 태풍의 영향을 직·간접적으로 받으며 우리나라에서 발생하는 집중호우의 많은 경우는 태풍에 의해 발생되고 있다. 또한 태풍의 북상과 함께 해양에서 해일 및 파고 해상풍이 발생하며 이에 따라 해상 조업중단 및 선박피해 등의 태풍 피해가 발생하고 있다. 그러므로 태풍 감시를 비롯한 태풍중심 위치 및 강도, 진로 분석 및 예측기술의 개발은 기상분야 뿐만 아니라 집중호우 대비 및 해상 방재 분야에 필수적이다. 따라서 본 연구를 통하여 객관적이고 종합적인 태풍감시 및 예측기술을 개발하고자 한다.

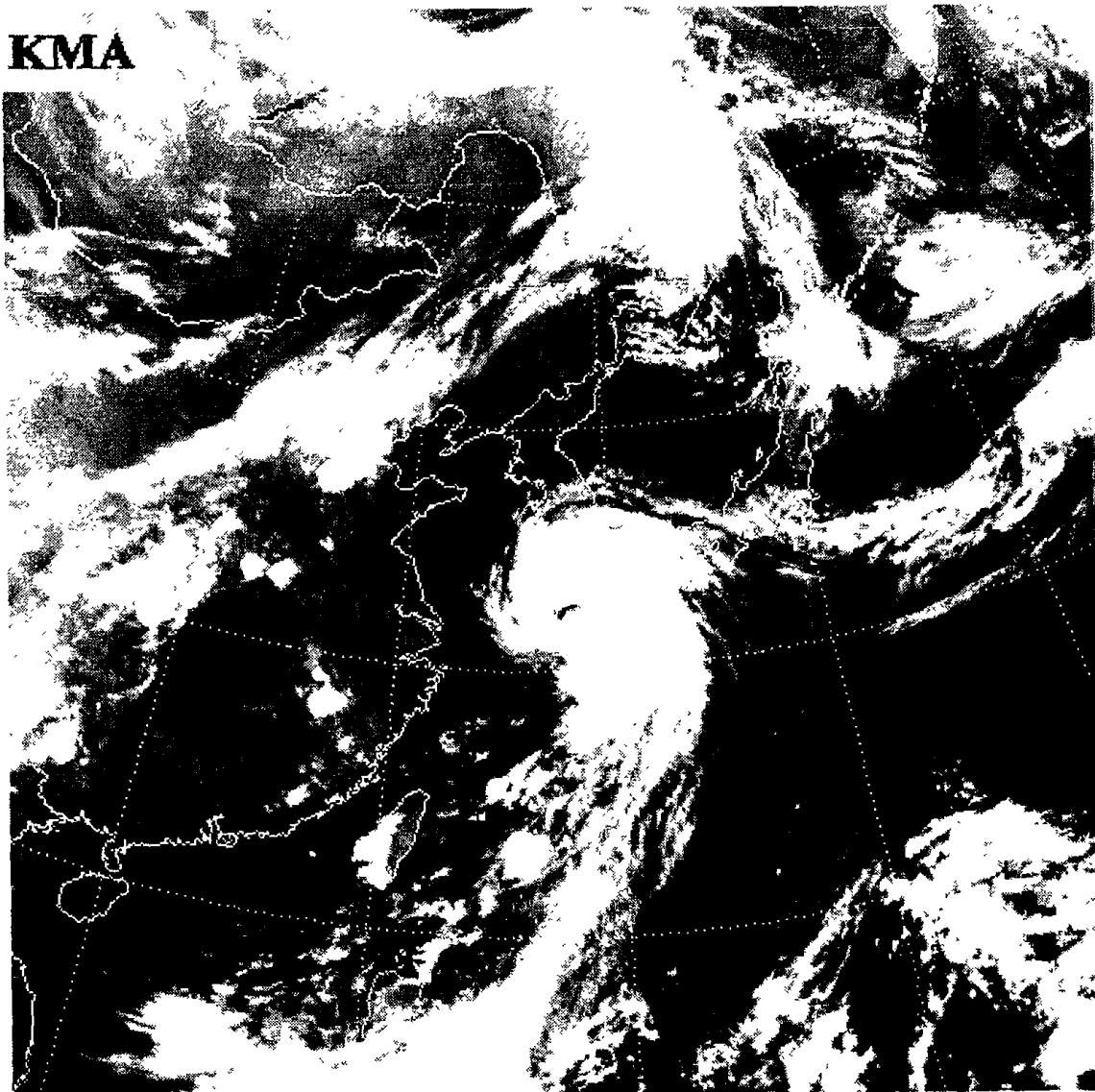


그림 11. 태풍의 인공위성 사진

2. 국내 · 외 현황

2.1 국내현황

현재의 태풍감시 및 예측은 지상관측자료 분석 및 위성영상자료 참조에 기초한 주관적인 방법으로 한계가 있음.

2.2 국외현황

미국에서는 정지기상위성 자료와 일반기상 자료의 동시 분석 시스템 구축과 종합적인 태풍 중심 및 진로, 강도 추정방법을 개발하여 현업에서 태풍 예측에 이용하고 있다. 일본에서는 Dvorak 방법에 기초한 객관적인 태풍분석법을 현업에서 이용하고 있다.

3. 중과제 연구목표 및 세부과제구성

3.1 연구목표

- 무인항공기, 표류부이, drop-sonde를 활용한 태풍정보 생산 체계 구축
- 지상관측, 수치모델 및 위성 감시에 의한 종합적 태풍 진로 예측기법 구축
- 위성자료를 이용한 태풍 위치 및 강도 분석기법 구축
- 해양 수치모델 및 위성 감시에 의한 종합적 태풍 해일 감시 기술개발

3.2 세부과제구성

- 입체적 태풍감시기술 개발
- 태풍진로 예측기술 개발
- 태풍위치 및 강도분석기법
- 태풍해일 감시기술개발

4. 세부과제별 내용

4.1 입체적 태풍 감시기술 개발

- 무인항공기, 표류부이, drop-sonde 운영기법 구축
- 해양-대기 관측에 의한 태풍정보 생산체계 구축
- 국제 공조 체제 구축

4.2 태풍 진로 예측기술 개발

- 태풍 예측 수치모델 개선
- 위성자료에 의한 태풍진로 예측기법 개발
- 통계적 태풍예측 기법구축
- 수치모델, 통계적방법, 및 위성에 의한 진로 예측 기법 통합연구

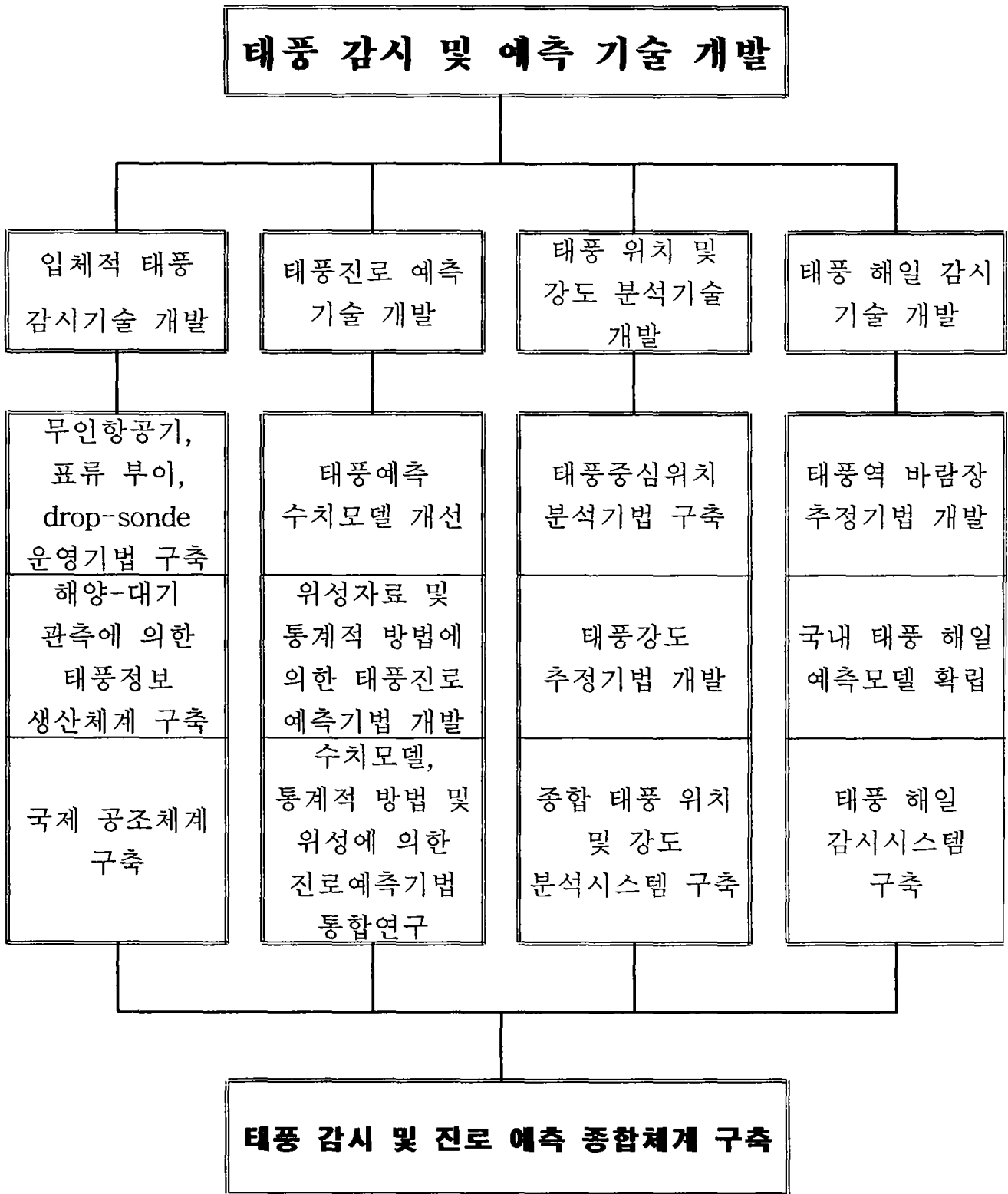
4.3 태풍 위치 및 강도 분석 기술 개발

- 태풍 중심위치 분석기법 구축
- 태풍강도 추정기법 개발
- 종합 태풍 위치 및 강도 분석 시스템 구축

4.4 태풍 해일 감시기술 개발

- 태풍역 바람장 추정기법 개발
- 국내 태풍 해일 예측모델 확립
- 태풍 해일 감시시스템 구축

5. 추진체계



6. 소요예산

구분	1차년도	2차년도	3차년도	총액
제1세부과제	5.0억	5.5억	6.0억	16.5억
제2세부과제	1.2억	1.6억	1.8억	4.6억
제3세부과제	1.0억	1.2억	1.3억	3.5억
제4세부과제	1.0억	1.2억	1.5억	3.7억

7. 기대효과

- 태풍 감시 및 분석/예측 기술 축적
- 종합 태풍 감시 및 예측 시스템 구축을 통한 기상정보의 신속하고 정확한 대국민 제공으로 해상재해 대비능력 제고.