

제주도 주변해역의 연구성과와 전망

노 흥 길(제주대학교 명예교수)

1. 연구과정

한국주변해역의 연구가 시작된 것은 1915년부터 중요항구(12개 항구, 10일 간격) 및 등대(1916년, 10개소, 격일)의 수온, 비중, 간이 기상상태 등을 측정한 것이 한국 해양연구의 시초라고 할 수 있다.

또, 1917년부터 그림 (1)과 같은 정선이 설정되어 한국주변해역에 대한 과학적 연구가 시작되었고, 특히, 1921년에 조선총독부 산하 수산시험장(부산)이 설립되어 한국주변해역 해양연구의 중심 역할을 수행하였다. 이러한 연안정점(항구 및 등대) 및 정선관측은 미지상태의 한국주변해역에 필요한 자료수집 및 조사보고서 등이 간행됨과 더불어 특히, 1934년부터 1936년까지 한국, 일본, 대만의 합동으로 해류판을 투하하여 동중국해 및 한국주변해역의 표층해류를 조사한 결과에 따라 그림 (2)와 같은 해류양상이 밝혀진 것은 그 시대의 해양연구 중 중요한 업적이라 할 수 있다.

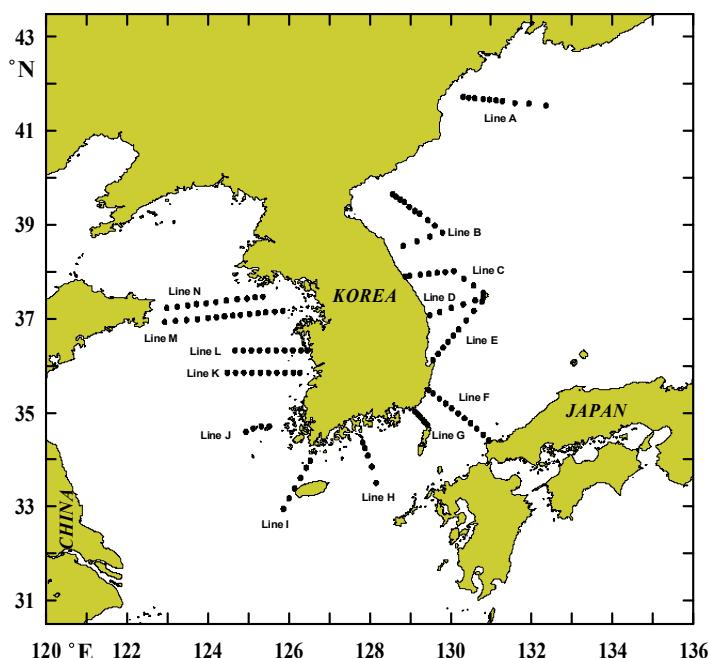


그림 1. 한국주변해역의 해양정선 위치도(1917~1960)

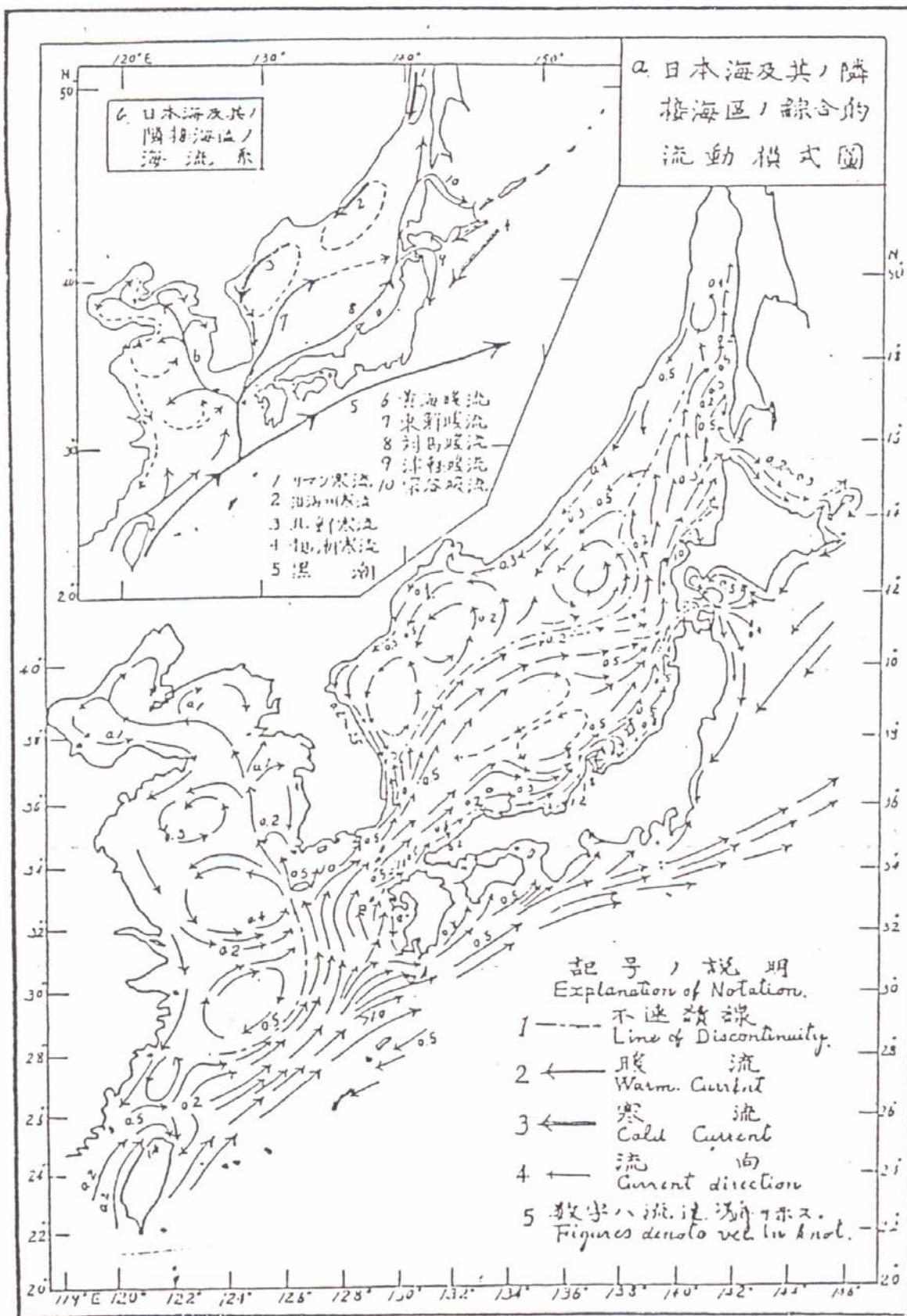


그림 2. 한국 및 그 인접 해역의 해류(5, 6월), uda(1934)

1945년 해방 이후에도 중앙수산시험장(현재, 국립수산과학원)은 한국주변해역 연구역할의 중심이 되어 지속되었고 특히, 1961년부터 38°N 이남 해역의 정선해양관측망(그림 3)이 새롭게 설정되어 한국주변해역의 해양연구에 필요한 자료수집이 집적되었고, 연안정점도 늘어났다. 특히, 제주 주변해역에 그림 (3)과 같이 204정선, 203정선, 313정선, 314정선 과 산지, 우도, 마라도 등대에 연안정점이 설정되어 제주도 주변해역 및 연안에 대한 귀중한 자료가 수집되었고, 우리나라 해양 및 수산업에 있어 중요한 해역인 제주도 주변해역에 대한 해양학적 연구의 질적 향상을 도모하게 되었다. 그 중 1965~1976년까지 국제적 협동조사인 CSK(Cooperative Study of Kuroshio and Adjacent Waters)가 실시되어 한국해양연구 발전에 큰 역할을 수행했다. 특히, CSK 조사와 더불어 한국해양학회(1966년), 한국수산회(1968년), 한국어업기술학회(1970년)와 같은 학회가 창립되었고, 부산수산대학(1941년)과 더불어 제주대학교 수산과(1965년) 및 각 대학의 해양학과가 신설되었다. 또한, 1973년에는 한국해양연구소가 설립되어 한국해양 및 수산업 연구가 국립수산과학원 위주에서 탈피하여 여러 대학 및 연구소에 의한 다양한 연구와 현대적 연구방법에 의해 한국 주변해역의 세밀하고 정확한 실태가 차츰차츰 밝혀졌으며 앞으로도 더욱 깊이 있는 연구가 진행되어 한국 주변해역의 실체가 더욱 밝혀질 것이다.

이러한 발전과 진행은 선박을 이용한 연구자료 수집이 유일한 방법이었지만, 최근에는 인공위성과 과학적인 기기의 발전 및 컴퓨터에 의한 시뮬레이션 등과 같은 다양하고 정밀한 연구방법이 진행되어 지구표면의 3분의 2에 해당되는 바다가 미지 상태였다가 다양하고 정밀한 연구가 활발히 이루어져 지구의 환경, 기상, 자원 등이 급격하게 발전되고 있다. 이상의 해양연구발전에 따라 제주도 주변해역도 제주대학교 해양과학대학을 중심으로 타 기관과의 협동 및 현대적인 연구방법이 진행되어 올바른 실태 및 이론이 발전하고 있다.

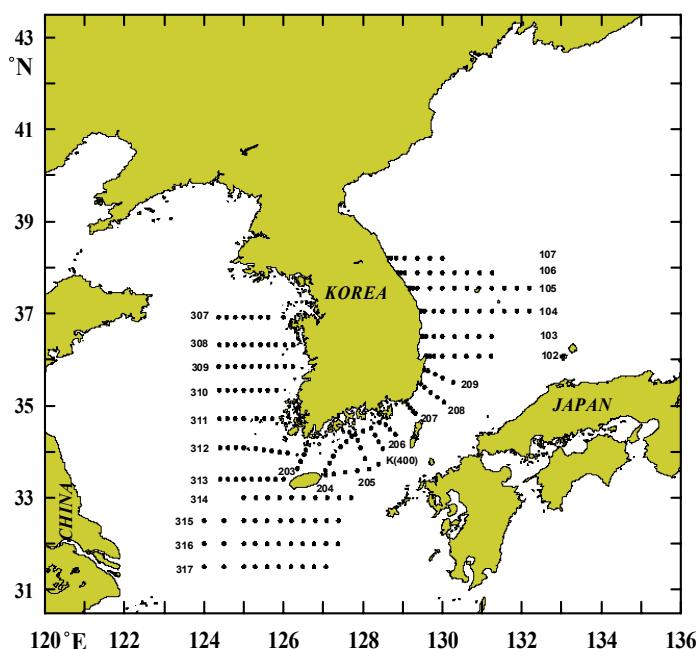


그림 3. 한국주변해역의 해양정선 위치도(1961~현재)

이러한 결과는 특히, 제주대학교 실습선(제양호, 벽경호, 한라호, 아라호)의 역할이 큰 힘을 얻어 현재까지 연구진행 발전에 있어 핵심이 되고 있다.

제주도 주변해역은 한국주변해역의 두뇌에 해당될 정도로 환경, 기상, 생물 등의 규명에 관련되고 있고, 이들 요인의 미래 변화예측을 파악할 수 있는 기초 장소이다. 또, 제주도 주변해역은 제주도의 환경, 기후, 생물, 문화, 산업, 관광 등과 같은 제반 상황에 중요한 역할이 될 수 있는 제주의 중요한 분야이다.

이번 제주학연구의 해양 및 수산에 관련된 발표 내용은 발표자 및 제주대학교 해양과학대학의 관련 연구자들의 연구결과가 중심이 되고 기타 연구기관의 연구내용이 일부 활용되고 있다.

2. 제주도 주변해역의 해황 특성

1) 제주도 주변해역의 대마난류와 황해난류

제주도 주변해역에는 대마난류, 황해난류, 황해저층냉수, 중국대륙연안수 및 한국남해연안수가 영향을 미치고 (그림 4) 이들 수괴가 계절에 따라 변화하여 제주도 주변해역의 해황이 시계열에 따라 달라진다 (그림 5).

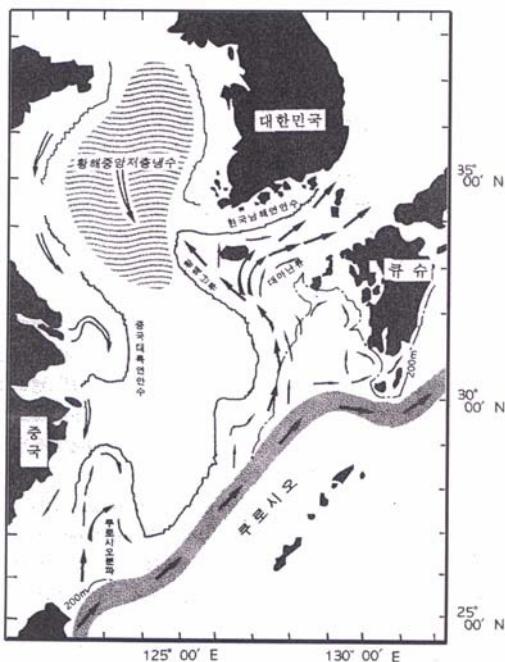


그림 4. 동중국해, 황해, 한국남해의 주요 해류 및 수괴분포 모식도

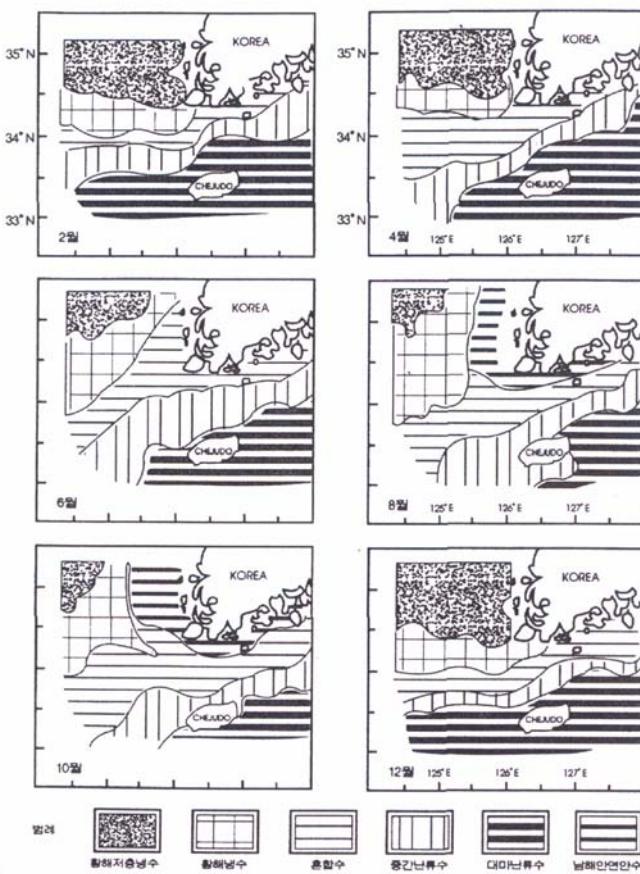


그림. 5. 제주도 주변해역의 월별 평균적 저층수괴분포

2) 제주도 서쪽해역의 난류

제주도 주변해역에는 북상하는 대마난류 중 서귀포 서쪽 주변해역에서 분지되어 제주도 서쪽해역(그림 6,7,8)을 따라 북상하는 난류를 황해난류(그림 7)라고 하나 이 난류는 동계와 하계에 따라 흐름방향도 다르며 이 난류가 어느 해역까지 영향을 미치는지도 명확하지 않다. 또, 제주도 서쪽연안에는 동계에는 고온, 고염분인 난류가 모슬포 및 한림(그림 7) 연안을 따라 북상하다가 동쪽으로 회전하여 애월, 제주시, 북촌, 세화 등과 같은 제주도 북쪽연안을 따라 띠모양의 좁은 난류가 흘러 제주도 동쪽을 따라 북상하는 대마난류와 합류된다. 그러나 하계에는 고염분(34.0‰ 이상) 수가 명확하지 않지만, 그 난류 중 저층에는 동계와 같은 흐름이 나타난다.

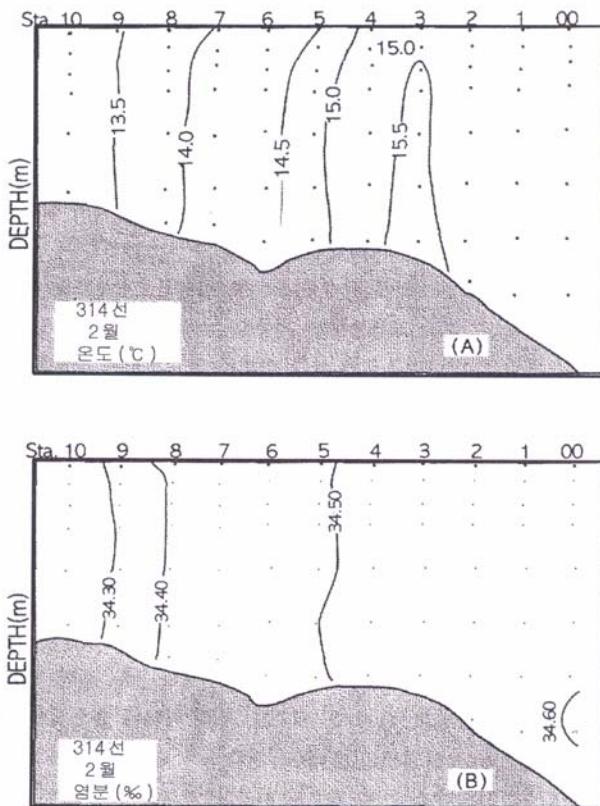


그림 6(a). 2월의 평균(1978~1987) 수온(A), 염분(B) 연직분포(314정선)

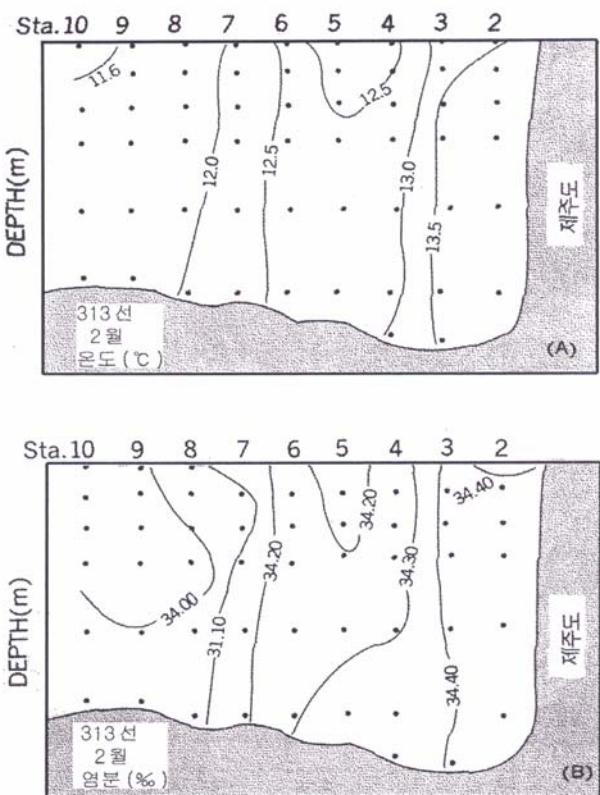


그림 6(b). 2월의 평균(1978~1987) 수온(A), 염분(B) 연직분포(313정선)

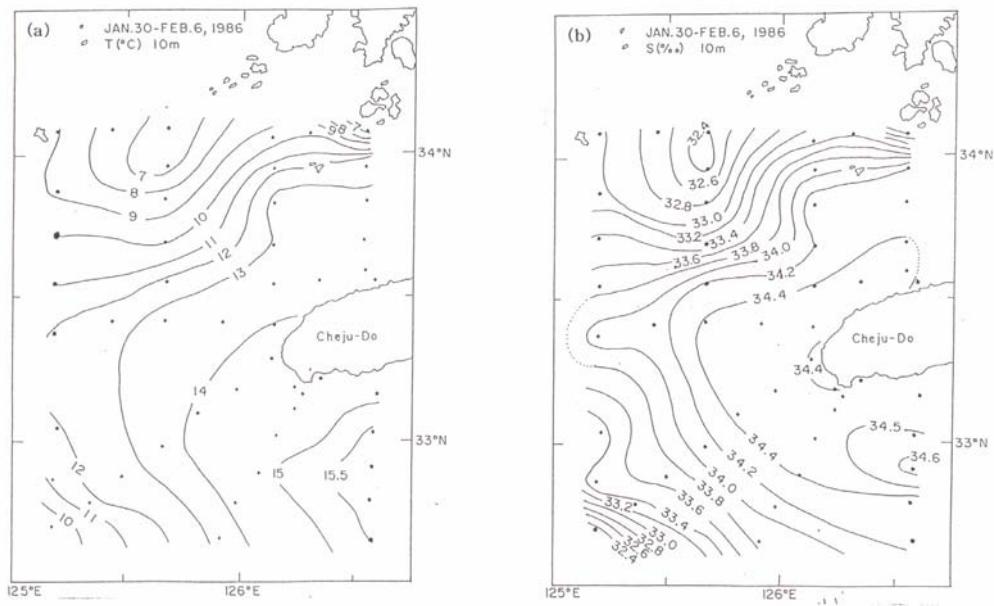


그림 7. 1986년 동계(1월 30일~2월 6일)의 제주도 서쪽해역의 10m 층의 수온, 염분 수평분포

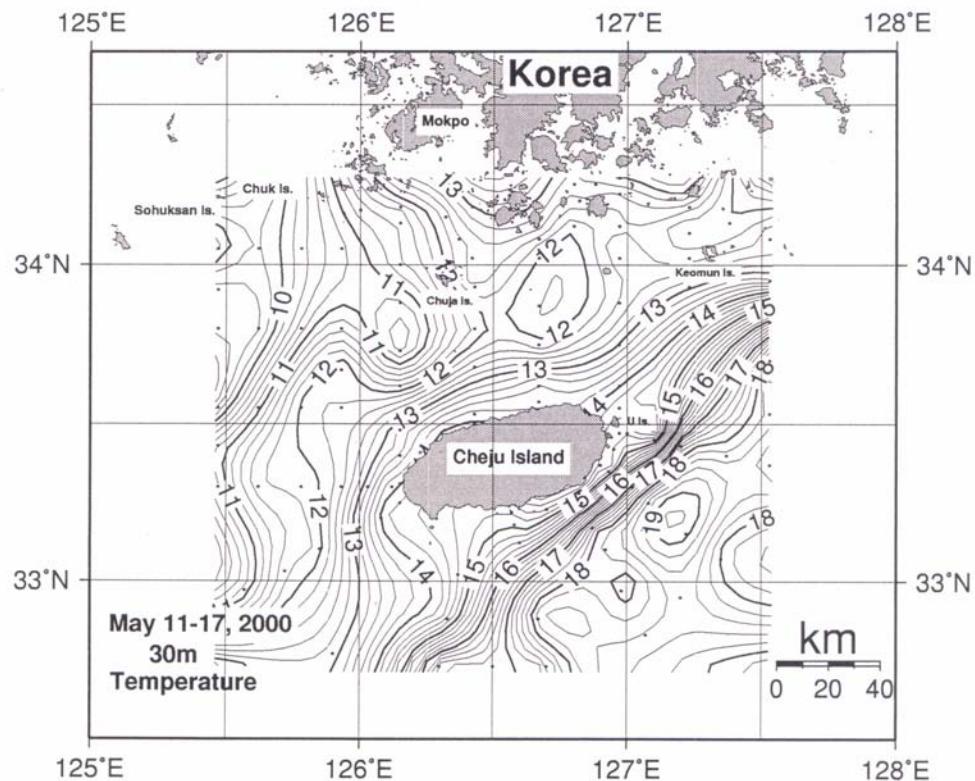


그림 8. 2000년 5월의 제주도 주변해역의 30m층의 수온수평분포도

3) 제주해협 동쪽입구에서 출현하는 설상(舌狀)의 대마난류수

제주도 동쪽에는 제주도 남쪽에 분포하는 대마난류가 북상하지만, 그림 (9)와 같이 설상(舌狀)의 모양이 되어 제주해협 동쪽입구에 분포하여 제주도 북쪽연안을 따라 떠 모양의 흐름이 삽입된 대마난류와 마주치고 이러한 해양구조가 제주해협 동쪽입구에 고등어 및 갈치 어장을 형성시키게 된다.

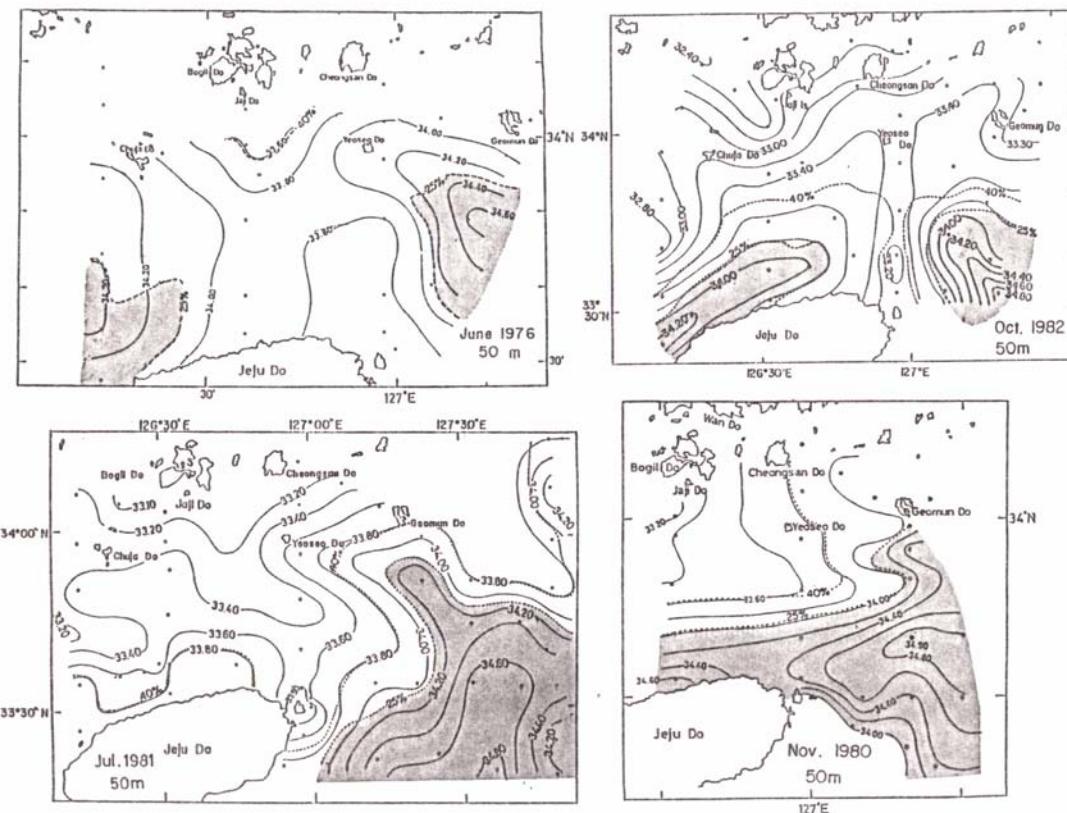


그림 9. 50m층의 염분수평분포도

4) 제주해협내의 저층저온수

하계가 되면 제주해협의 표층에 중국대륙연안수(고온·저염분)가 출현하지만, 해협저층에는 11~13°C의 저온수가 해협서쪽에서 그림 (10)과 같이 동쪽으로 확장하여 표층수온(27~30°C)은 높고, 저층은 낮아 100m 깊이에서 표·저층간에 11~16°C 정도의 큰 차이가 생긴다. 이러한 저층 저온수가 바람 및 흐름에 의해 표층 또는 제주도 연안역까지 영향을 미치게 된다.

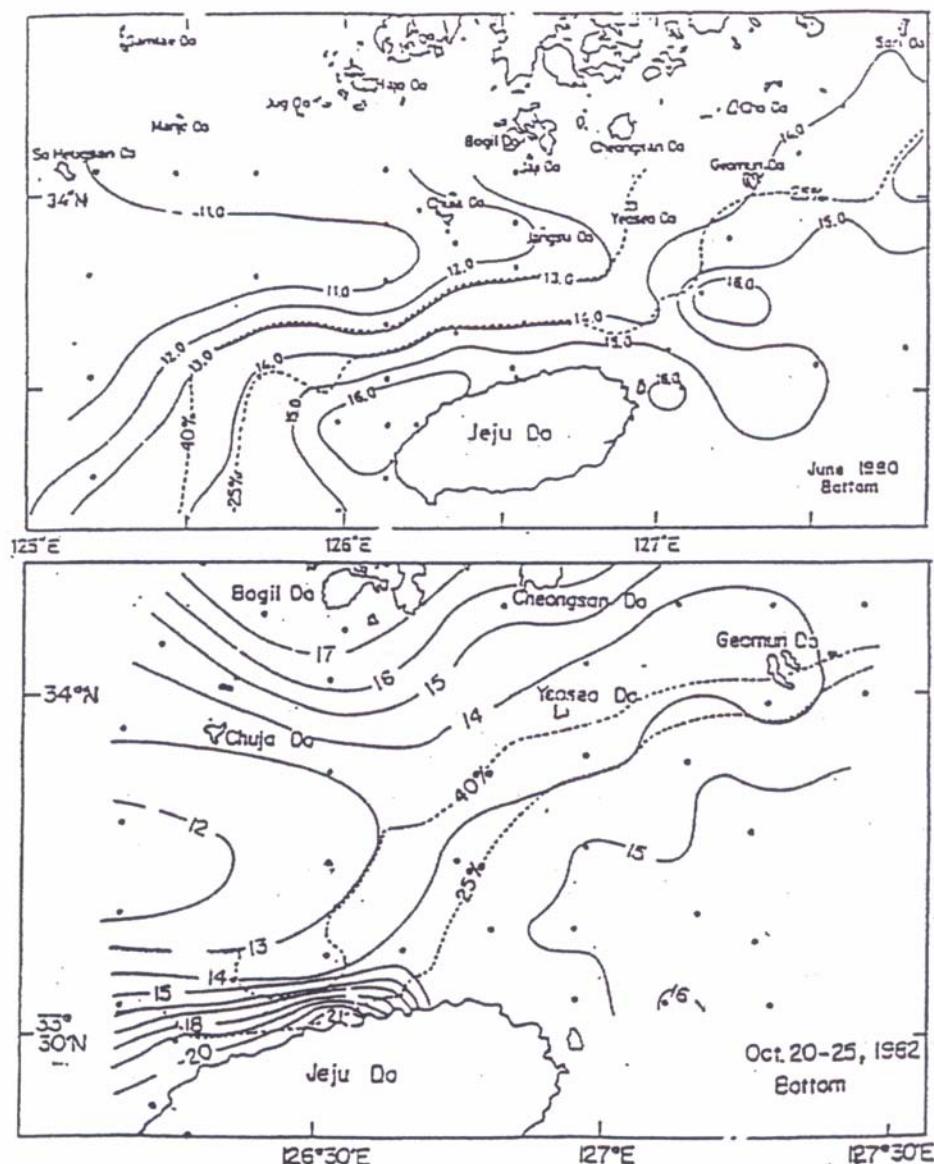


그림 10. 제주해협의 저층수온 수평분포도

5) 중국대륙연안수(양자강유출수)

양자강의 유량이 동계에는 적고(약 $3\text{만 m}^3/\text{sec}$) 하), 하계에는 많아(약 $5\text{만 m}^3/\text{sec}$ 정도) 중국 동부 연안에 염분이 매우 낮은 연안수가 하계에 제주도 주변해역까지 확장하여 표층(20~30m 수심까지)의 염분이 32.0% 이하의 저염분수가 그림 (11)과 같은 양상을 나타낸다.

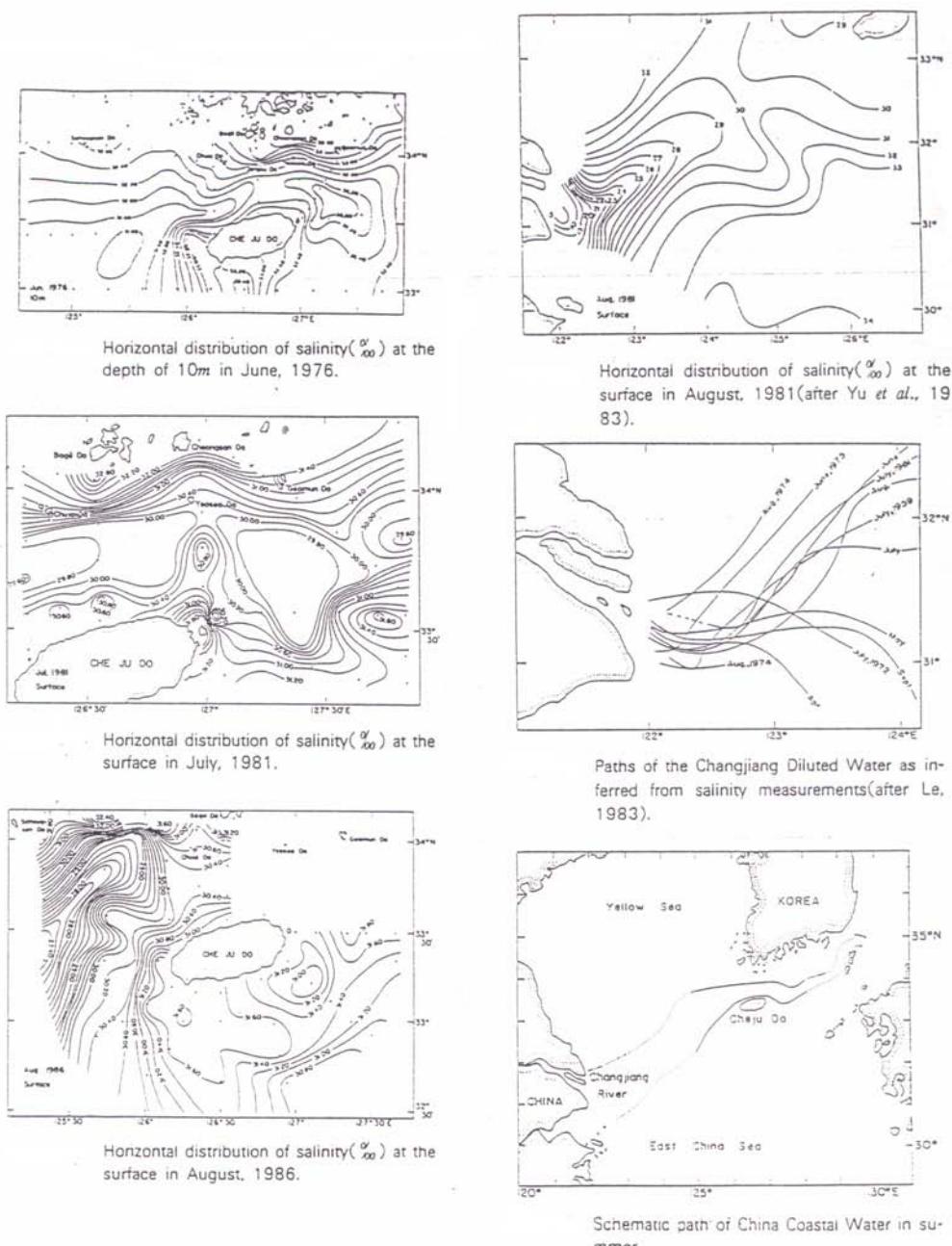


그림 11. 표층 염분수평분포 및 중국연안수의 이동경로

6) 제주도 주변해역의 해류상태

제주도 주변해역의 해류조사는 해류계 및 표류 Buoy(GPS에 의한 자기위치기능 Buoy)를 이용했고, 여러 연구자의 측류자료와 저자가 조사한 자료 등에 의해 대마난류의 흐름모양(그림 12 a,b)과 중국대륙연안수의 이동상태(그림 13)가 밝혀졌고, 제주해협내의 흐름양상(그림 14 a,b 및 15 a,b)과 제주해협 동쪽입구의 이동모양(그림 16) 등과 같은 종합적 자료를 정리해 제주해협 및 제주 동쪽 해역의 세밀한 해류모형도(그림 17)까지 도식화 되어 제주 서쪽해역의 황해난류를 제외한 제주도 주변해역의 해류대세가 거의 밝혀졌다.

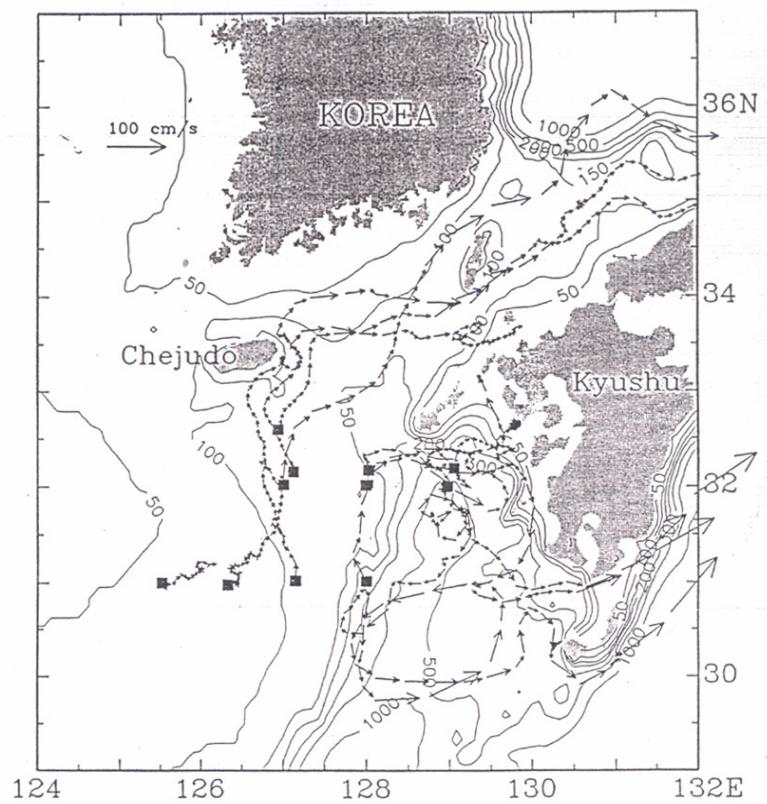


그림 12(a). 표류 GPS Buoy에 의한 위치궤적도

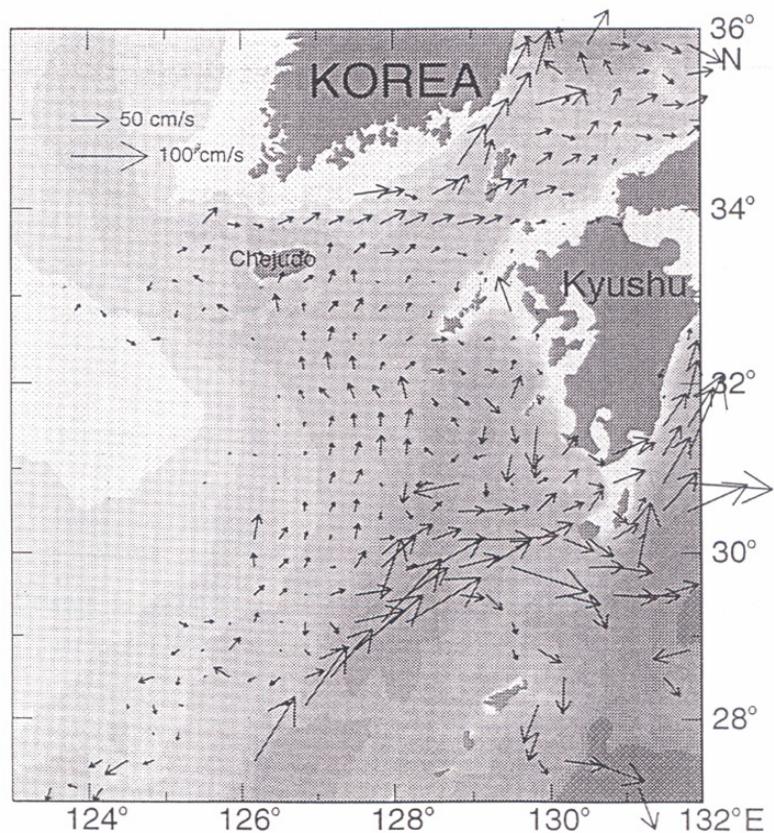


그림 12(b). 평균 해류벡터로 구성한 동중국해 동부해역의 상층 해류도

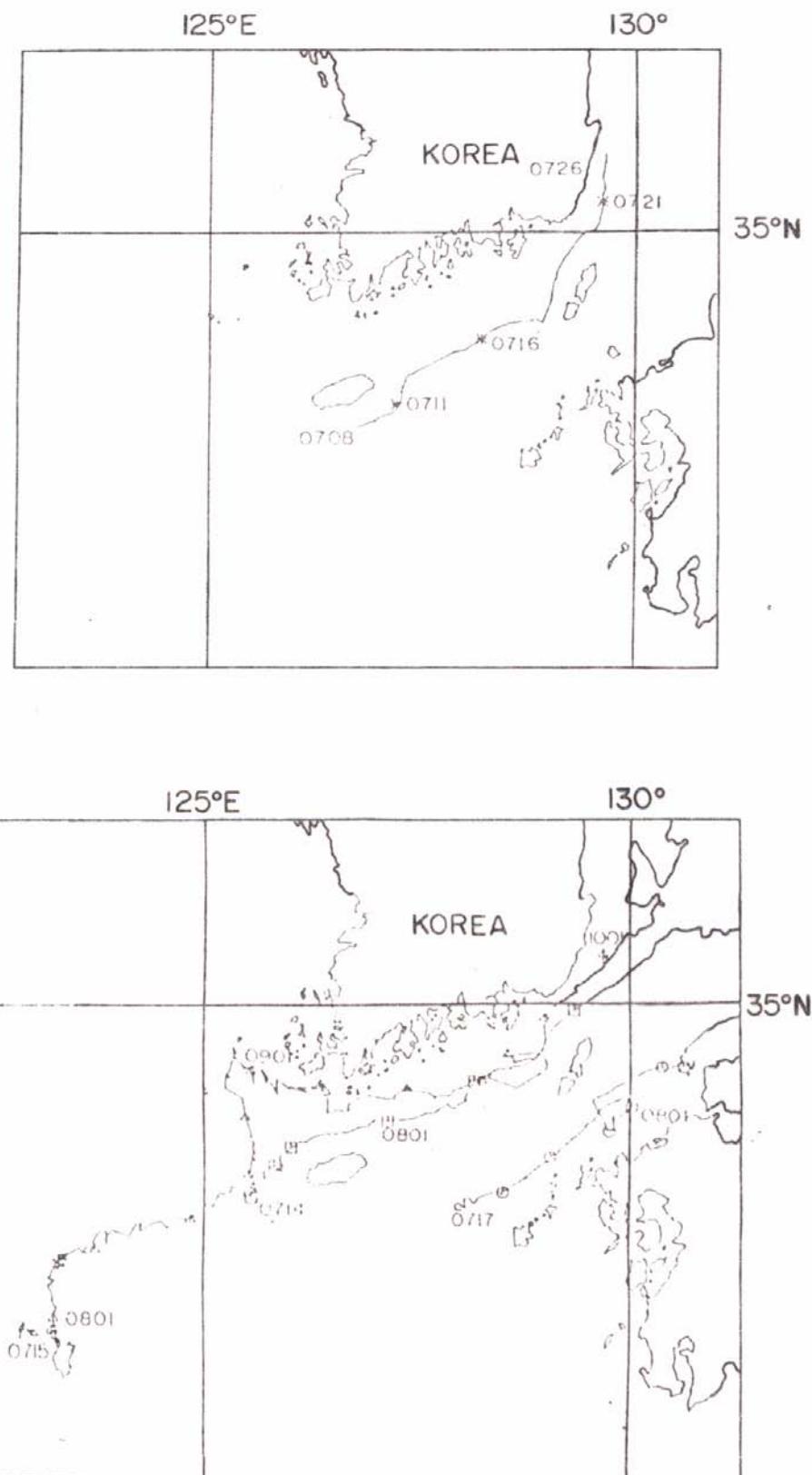


그림 13. 동중국해 북부해역의 표류 Buoy의 이동궤적도

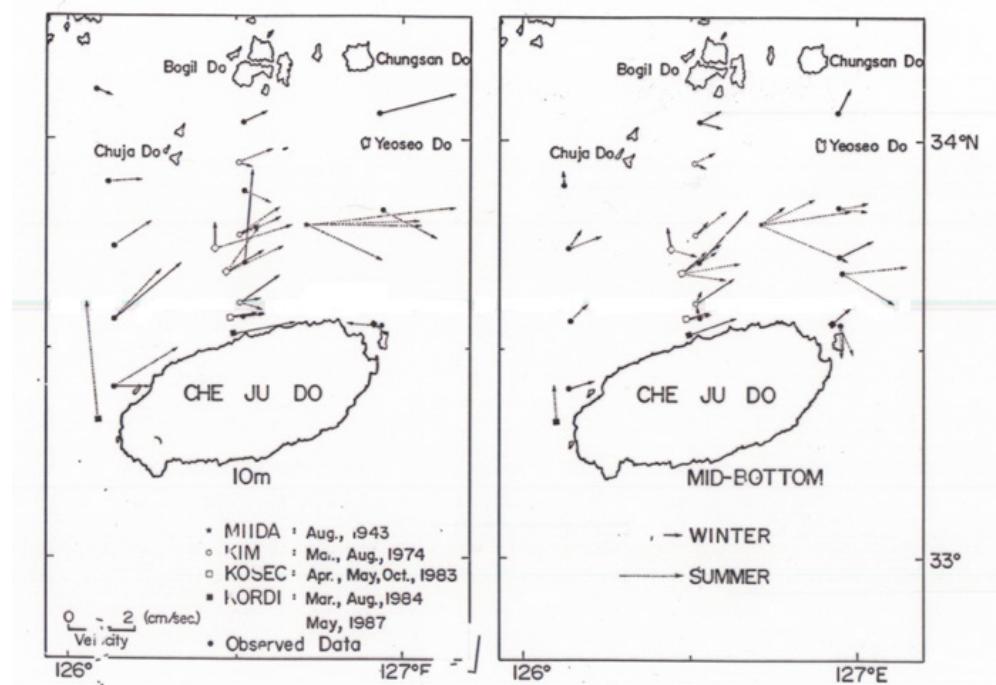


그림 14(a). 해류계에 의한 제주해협 항류 분포도

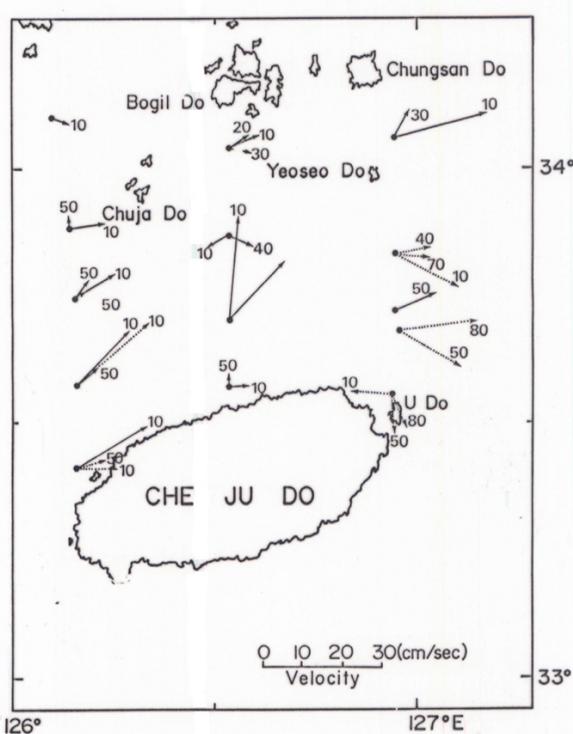


그림 14(b). 해류계에 의한 제주해협의 각종 항류 분포도
(화살표 끝의 숫자는 수심(m) 표시)

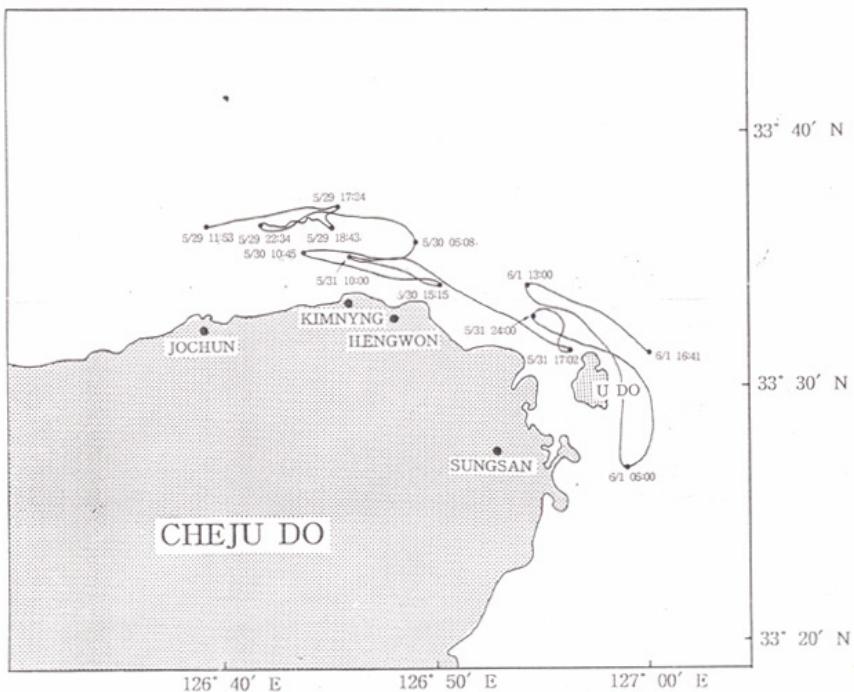


그림 15(a). 표류 Buoy에 의한 제주해협 북부연안의 표류 궤적도(1996년 5월)

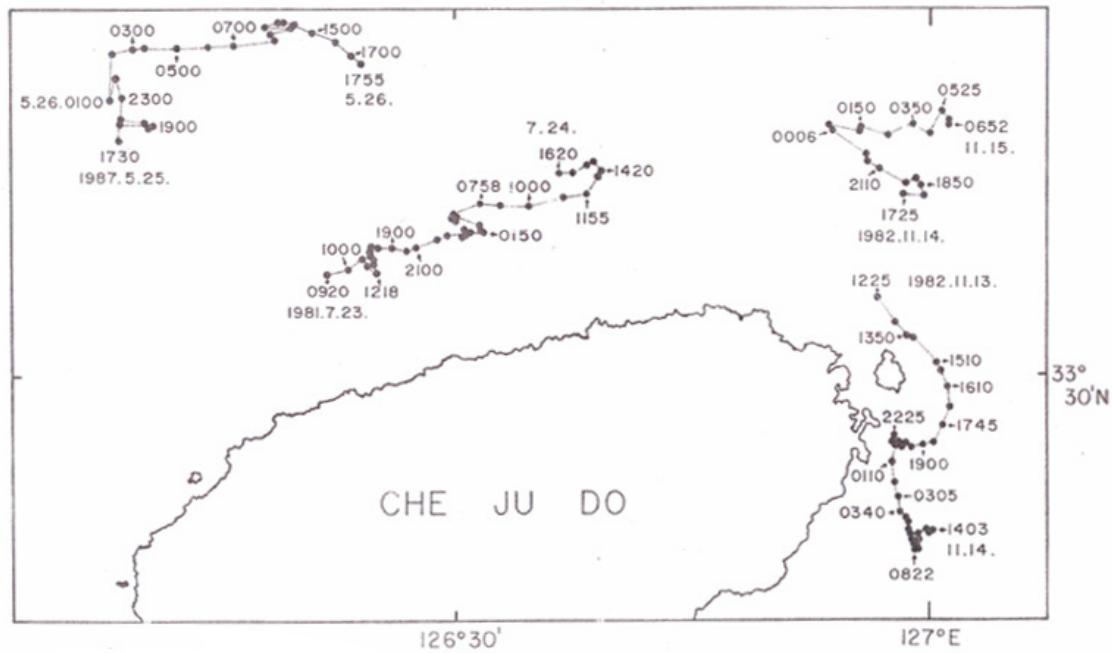


그림 15(b). 표류 Buoy에 의한 제주해협의 표류 궤적도

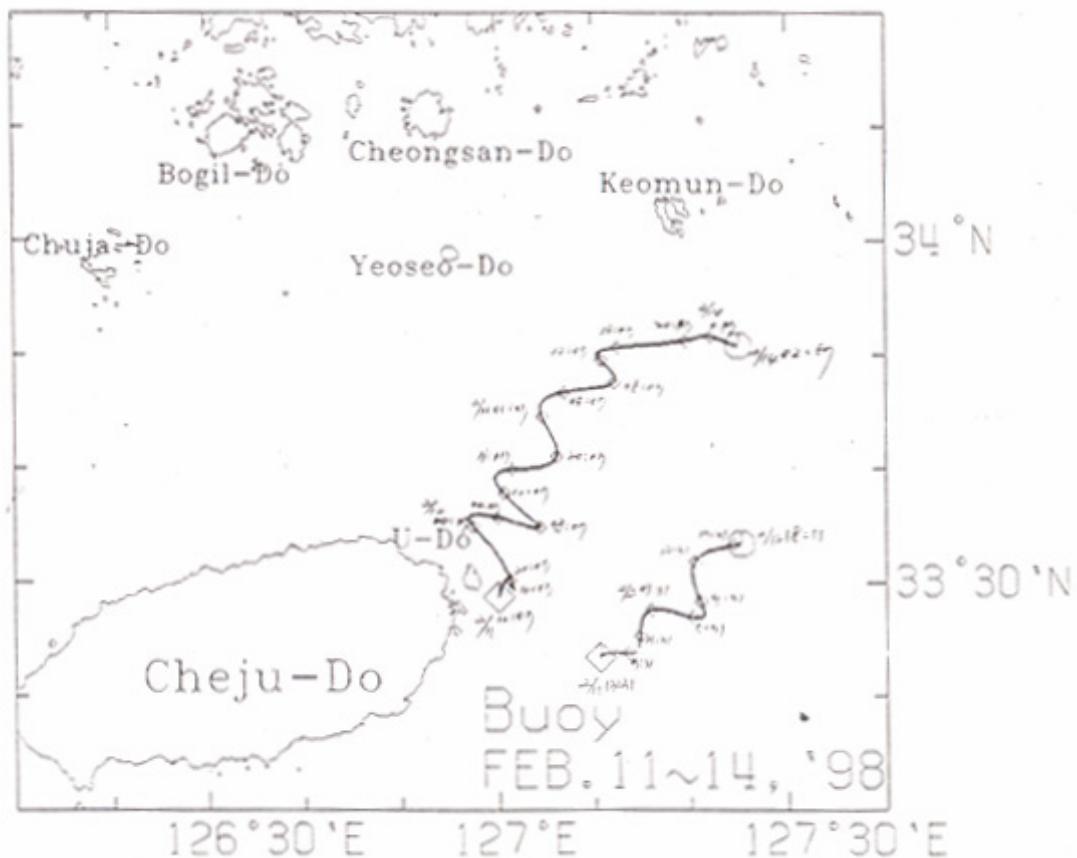


그림 16. 표류 Buoy에 의한 제주해협 동쪽입구의 표류 궤적도

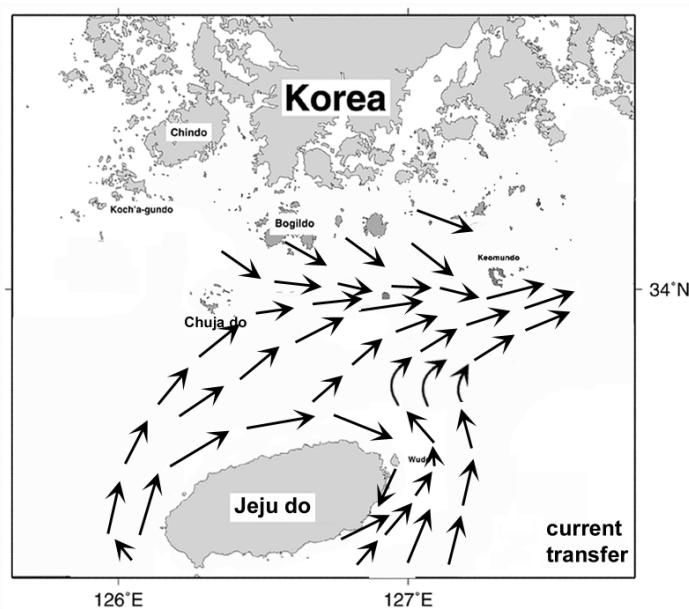


그림 17. 제주해협 및 동 해협의 북부 해류 모식도

7) 제주해협내의 멸치 난치어 이동상황

제주해협의 멸치 난치어 분포와 난치어 이동상황이 밝혀졌고 (그림 18), 제주해협내의 멸치 난치어가 남해연안까지 수송될 수 있을 뿐만 아니라 멸치 자원량의 변화 영향에도 중요한 요인이 될 수 있다.

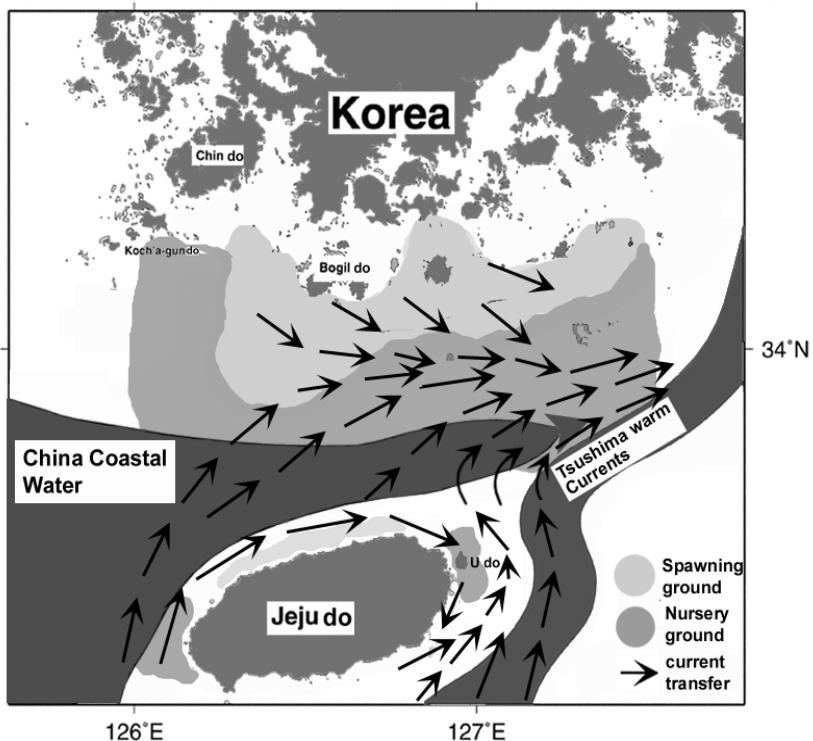


그림 18. 제주해협의 멸치 난치어 분포와 난치어 이동 모식도

8) 제주도 연안 수온 및 염분 변화

그림 (19)와 같이 한림, 우도, 서귀포, 산지의 연안정점에 대한 10일 간격을 조사한 10년 (1970~1979년)의 각 정점의 수온자료를 평균한 월별 평균수온과 4개 정점의 수온자료를 종합한 제주 평균수온과 비교했다. 동계의 제주 평균 최저수온은 13°C 정도이고 하계의 최고수온은 25.5°C 정도로 제주도 외해수온(27~30°C)보다 연안의 평균 최고수온이 낮은 것이 특징이다. 또, 한림의 평균 연안 수온은 제주도 평균 수온보다 높다. 우도 평균수온의 경우 동계는 거의 비슷하고 춘, 하계는 약간 낮지만, 추계 수온은 높다. 서귀포 평균수온은 제주도 평균수온보다 항상 높고, 산지 평균수온은 동계 최저수온과 하계의 최고수온이 가장 낮으며 제주도 평균수온보다도 항상 낮다.

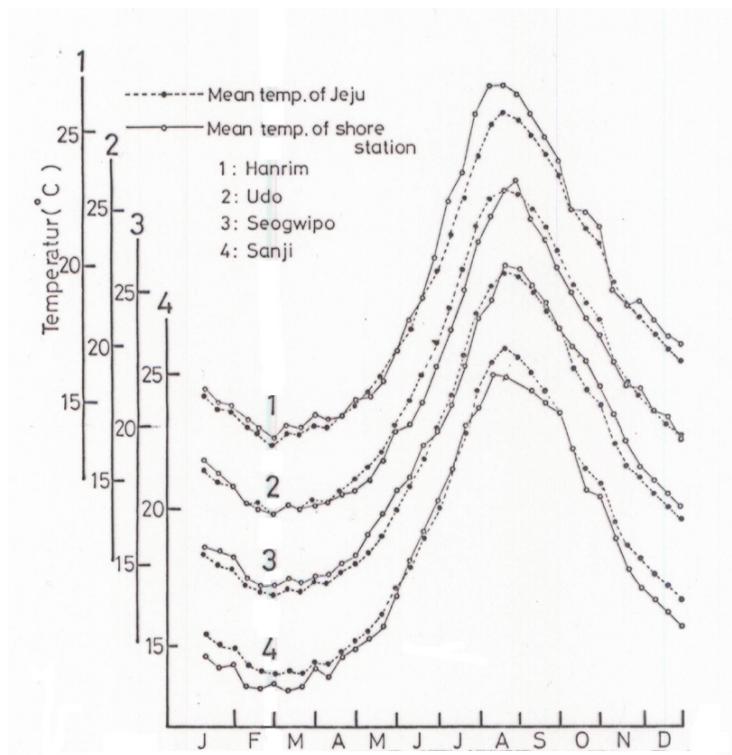


그림 19. 연안정점(한림, 우도, 서귀포, 산지)의 10년(1970~1979) 간 수온을 정리한 월별 평균 수온변화

그림 (20)은 제주도 연안의 24개 정점(그림 21)의 15일 간격에 2년간(1998년, 1999년) 조사한 수온, 염분자료를 종합한 제주도 월별 평균수온, 염분변화이다.

제주도 평균 최저수온은 13°C (2월)이고, 최고수온은 26°C (8월)이다. 그림 (19)의 최고, 최저수온과 그림 (20)의 최고수온과 최저수온은 거의 비슷하다. 그림 (20)의 제주도 평균 염분은 최고염분 34.0psu (4월), 최저염분은 29.8psu (9월)이지만, 주년 평균염분은 $31.5\sim 34.0\text{psu}$ 정도이다. 또, 동계와 춘계(12월~6월, 33psu 이상)의 평균 염분이 높고, 하계의 평균 염분이 낮다.

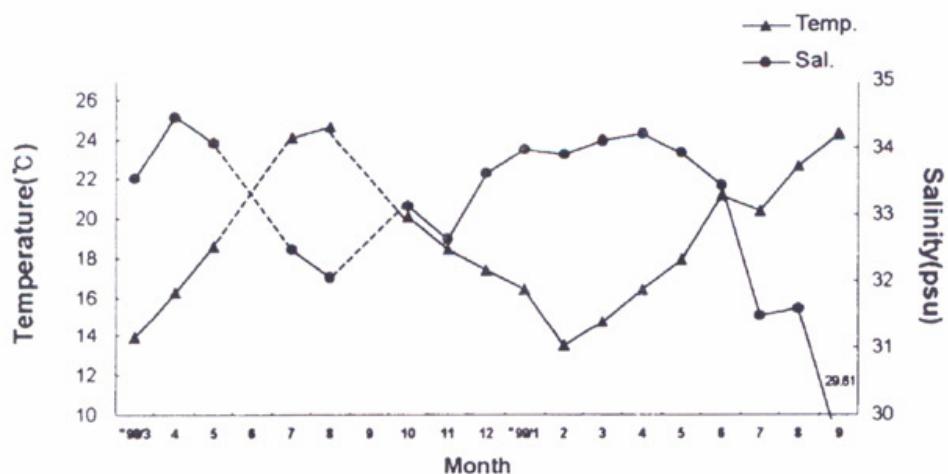
그림 (21)은 각각의 제주도 연안 정점의 1999년도 수온, 염분변화이다. 그 중 수온변화는 제주항부터 종달리까지 동쪽방향에 따라 점차적으로 수온이 낮아지고 최저 수온도 11°C (종달리 정점)까지 낮아진다. 성산포 정점부터 수온이 높아(13°C)지면서 표선 정점에서 강정 정점까지 14°C (서귀포 제외) 이상의 고온수가 나타나지만, 중문 정점부터 구엄 정점까지 $13\sim 14^{\circ}\text{C}$ 이하의 수온이 되며 도두 및 제주항 수온은 다시 14°C 정도가 된다. 그러므로 제주도 연안 정점의 동계수온은 제주항부터 동쪽 방향으로 하도 및 종달리까지 수온이 점차적으로 낮아지고, 표선부터 강정 연안까지의 수온이 가장 높다.

동계의 각 정점 염분은 온평, 모슬포, 고산 정점을 제외하면 각 연안정점의 염분이 거의 변화하지 않은 안정된 34psu 이상의 고염분이 나타난다.

그림 (22a)와 같이 1998년 8월 수온은 제주항부터 세화까지 제주도 북부 동쪽연안이 $21\sim 22^{\circ}\text{C}$ 정도의 저수온이 나타나고 하도 연안부터 고산연안까지 $24\sim 27^{\circ}\text{C}$ 범위의 고온수가

나타나지만 최고수온(27°C)인 화순 이외는 제주도 남부, 동쪽 및 서쪽의 남부연안의 수온은 $24\sim26^{\circ}\text{C}$ 의 범위이다. 특히, 하계의 각 연안정점 수온 변화가 심하지 않아 하계 염분변화와는 달리 안정된 상태이며 그림 (22b)과 같이 1999년 하계 수온도 1998년 수온과 거의 같은 양상이지만 제주항 수온이 18°C 정도의 최저수온이 나타났고, 중문에 최고 수온(26°C)이 나타난 것이 특징이라고 할 수 있다.

그림 (22b)와 같이 1998년 8월 염분은 31~33.5psu로 제주도 연안의 염분이 높아 30psu 이하의 저염분은 나타나지 않았다. 1999년 8월 염분변화가 심해 세화(27.41psu), 중문(25.85psu), 신창(28.70psu), 애월(29.43psu) 연안의 염분이 29psu 이하의 저염분이 출현했지만 그 외의 제주도 연안 염분은 31~34psu 이하의 변화로 1998년과 거의 같다. 다만, 29psu 이하의 저염분과 34psu 정도의 고염분(모슬포)이 나타낼 정도로 염분변화가 1998년보다 심하다.



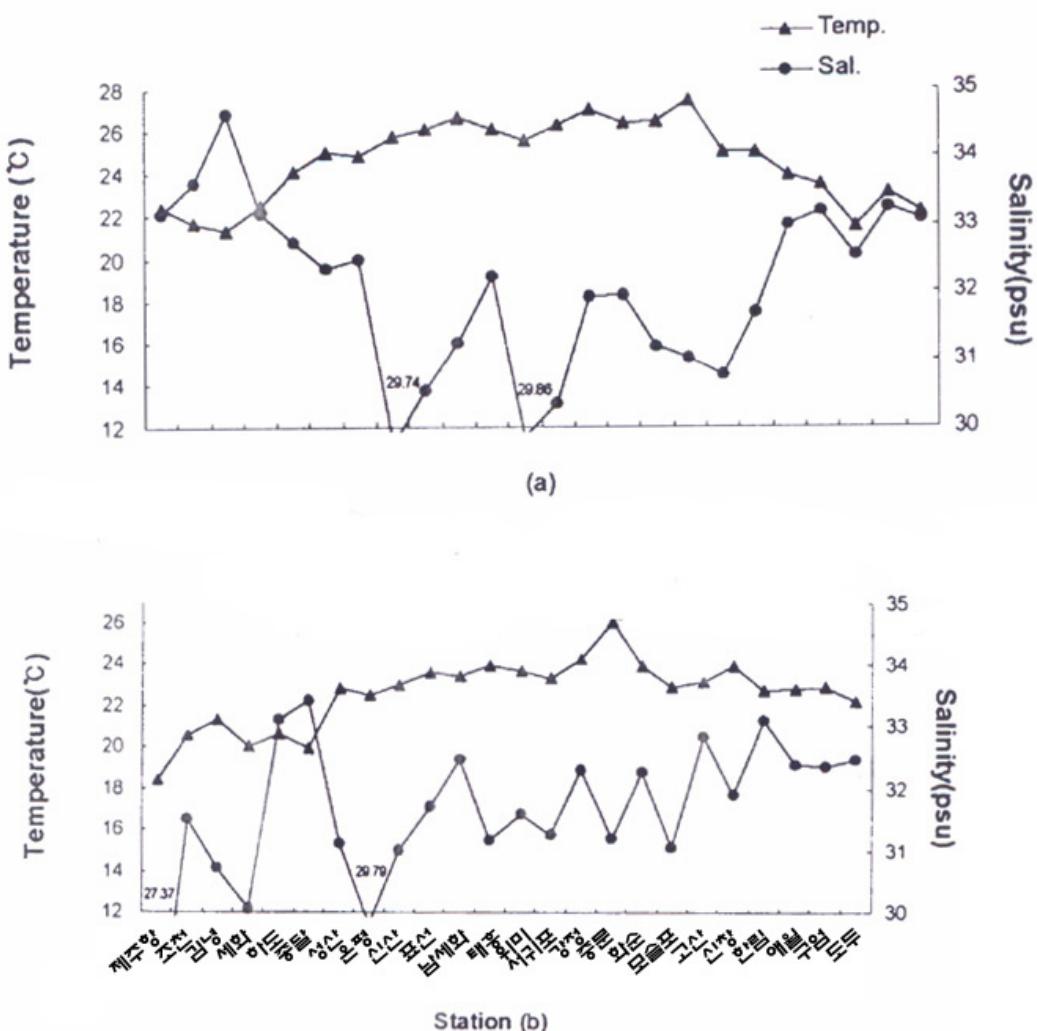


그림 22(a,b). 제주도의 24개 정점의 8월 수온, 염분 변화도
(a: 1998년, b: 1999년)

그림 23(a,b)은 추자도 수온 (a) 및 염분 (b) 변화로 추자도 수온은 제주항보다 수온이 낮고, 동계에는 10°C보다 낮으며 하계에는 23°C 정도로 주년간 제주항 수온보다 낮은 것이 특징이다. 염분 (b)은 제주항과 거의 같은 염분 경향이지만, 동계는 34psu 정도로 제주항과 거의 같고, 하계에는 31psu 정도로 제주항보다 약간 높다. 특히, 제주항보다 염분 30psu 이하의 저염분이 나타나지 않고 주년간 제주항보다 추자도의 염분변화가 안정된 상태이다.

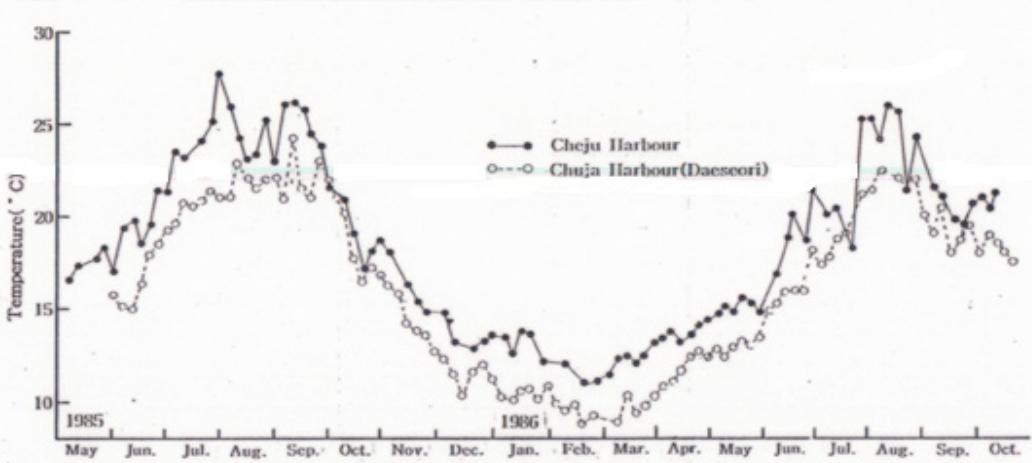


그림 23(a). 제주항과 추자도 대서리항의 수온 변화도

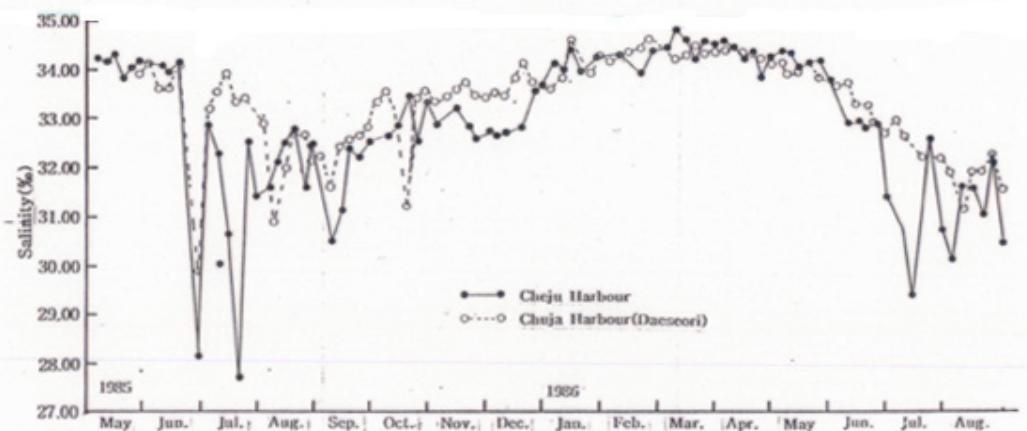


그림 23(b). 제주항과 추자도 대서리항의 염분 변화도

3. 제주도 주변해역의 어장형성기구

그림 24(a,b,c)는 고등어 어장상태로 제주도 주변해역 중 어장가치가 큰 정도의 분포로 제주해협 동쪽입구에 가장 좋은 어장(42.0%)이 형성되고(그림 24a), 제주해협 및 제주도 서쪽과 제주도 남서쪽 주변에 좋은 어장(11.1~11.9%)이 된다.

그림 24(b)는 한국 남해 및 서해남부의 전선 및 해구별 고등어 어획량 분포도를 나타내고, 그림 24(c)는 동중국해 북부 및 한국주변해역의 고등어 회유 추정도이다.

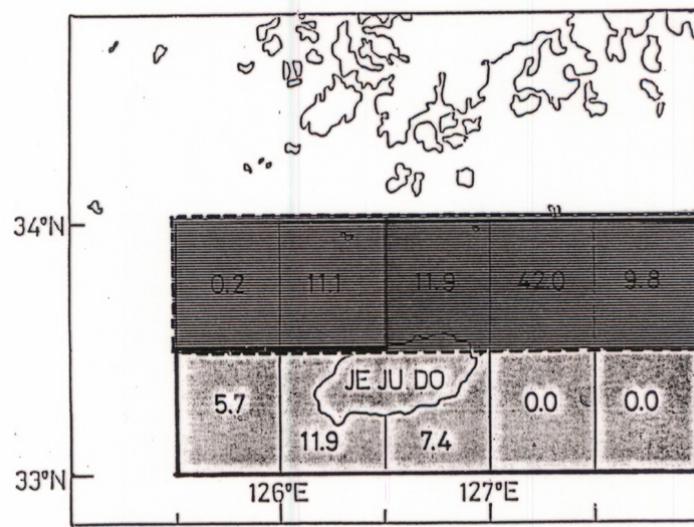


그림 24(a). 제주도 주변해역 중 고등어 어장의 해구별 어획량(%) 분포도

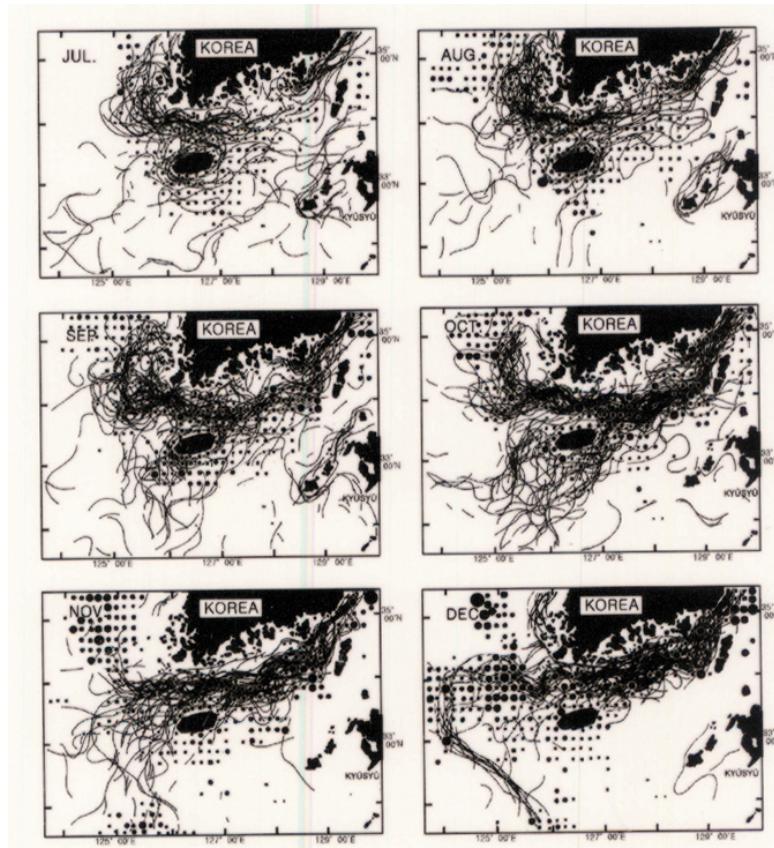


그림 24(b). 한국남해 및 서해남부 해역의 전선과 어획량 분포
(1991~1996년의 7월에서 12월)

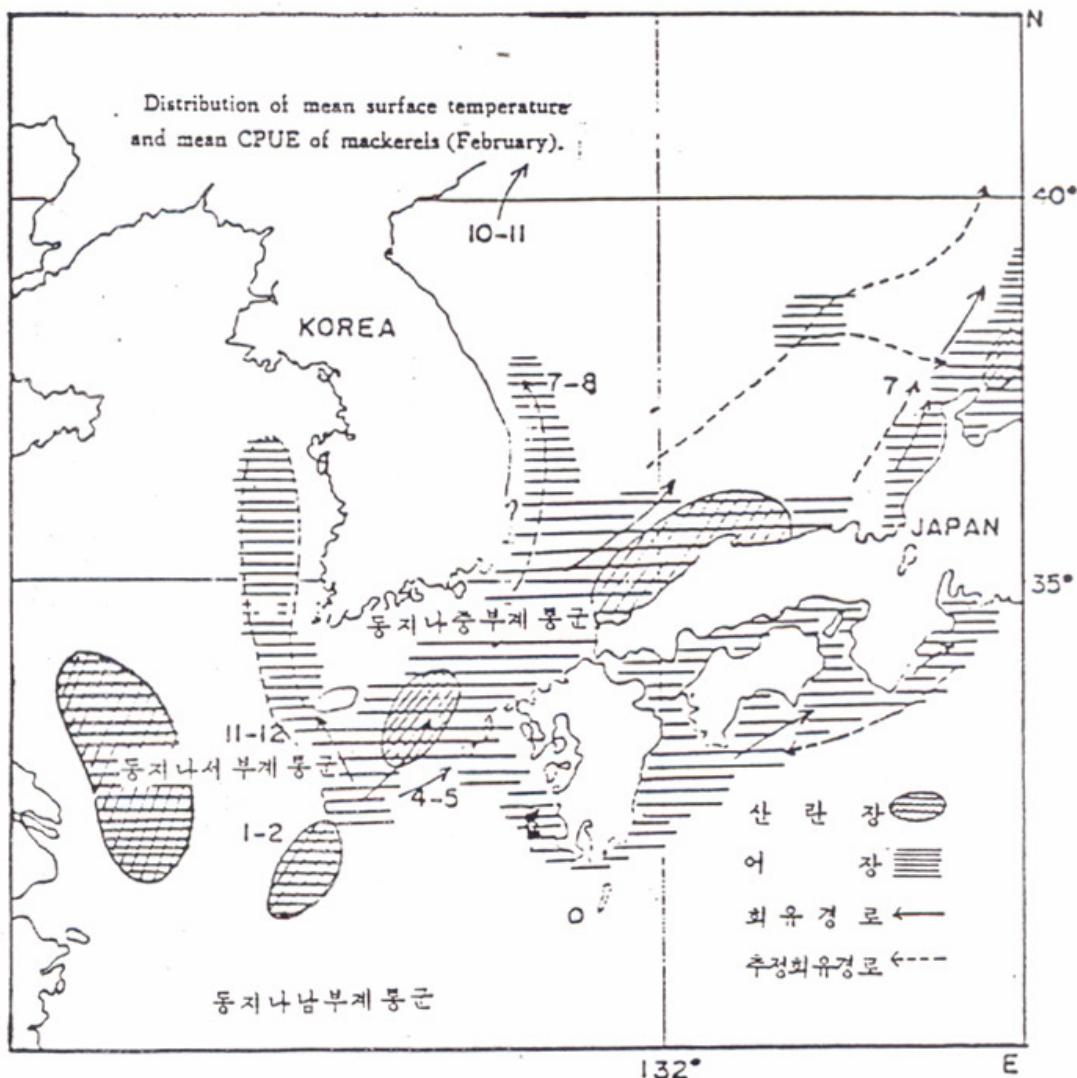


그림 24(c). 한국 주변해역의 고등어 회유 추정도

그림 25는 제주해협의 갈치 어장과 수온, 염분분포로서 갈치어장은 6월부터 어장이 시작되어 12월까지 어장이 형성되며 제주해협 동쪽 입구의 난류수와 제주 북부 연안의 전선 및 와류가 나타나는 곳에 좋은 어장이 형성된다.

마라도 주변해역의 방어어장은 10월부터 익년 1월에 형성되고, 이 어장은 동중국해의 중부해역에서 월동하다가 춘계에 북상하여 한국 남부 및 동해로 이동하는 계군과 한국서해로 이동하는 계군이 있지만, 이들 두 계군 모두 추계가 되면 다시 남하하여 제주도 주변해역을 거쳐 마라도 주변해역으로 이동하므로 마라도 해역의 방어 어장이 형성된다. 이처럼 10월부터 마라도 주변어장이 형성되는 구조는 마라도 주변의 와류형성과 제주해협 및 제주도 서쪽해역의 해황이 중요한 요인이다.

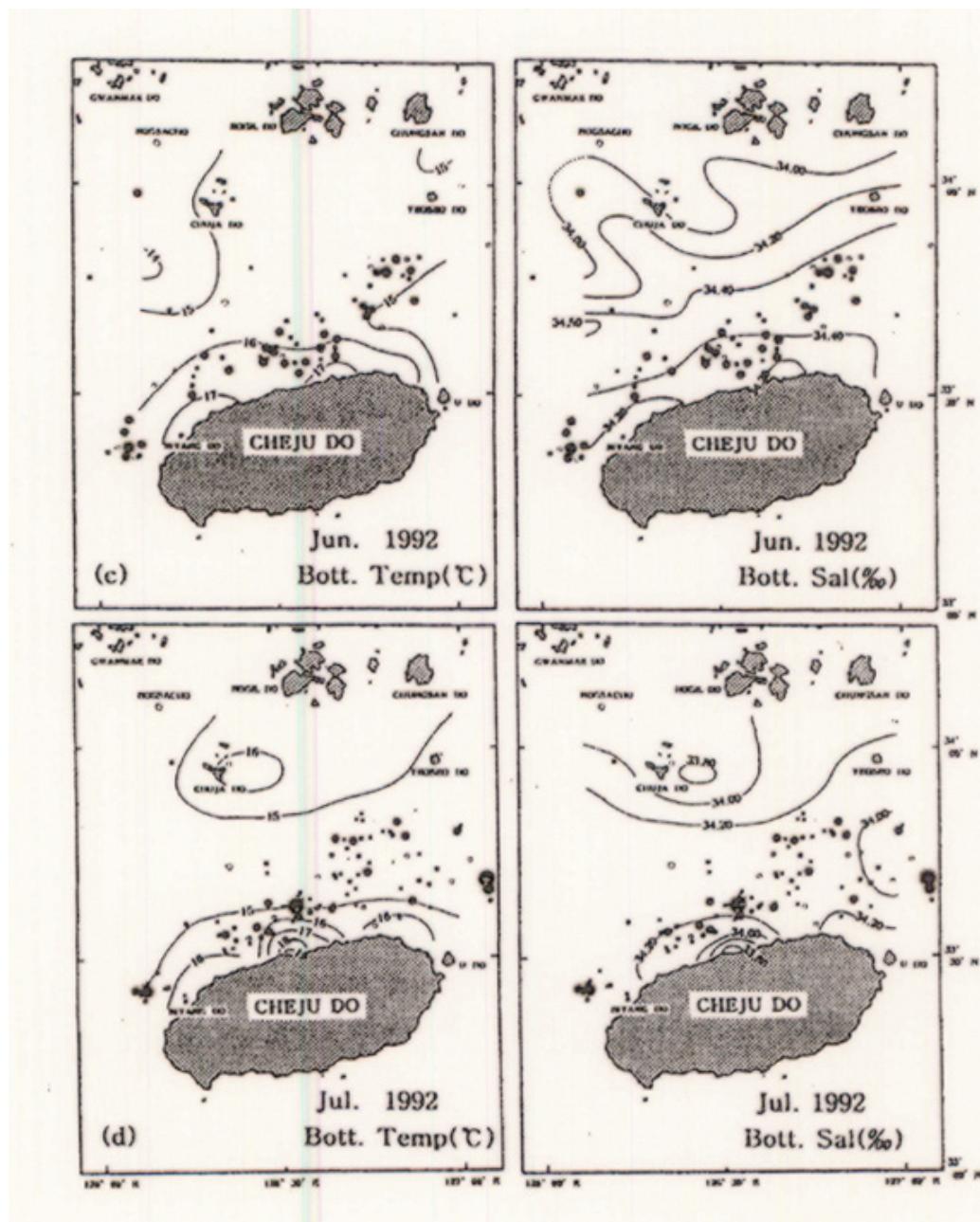


그림 25(c~d). 제주해협의 갈치어장과 저층 수온, 염분 분포도
(1992년 6월~12월)

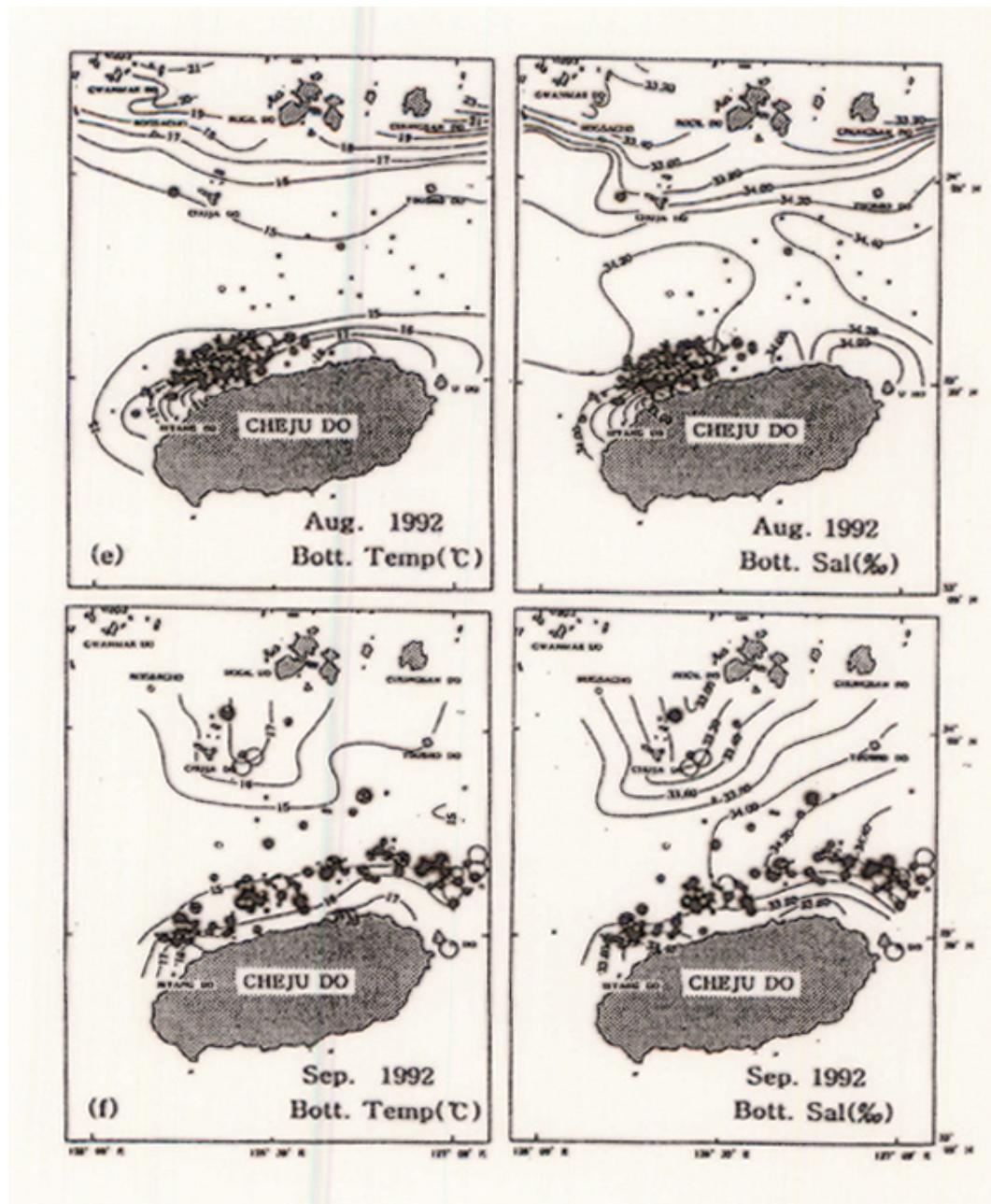


그림 25(e~f). 제주해협의 갈치어장과 저층 수온, 염분 분포도
(1992년 6월~12월)

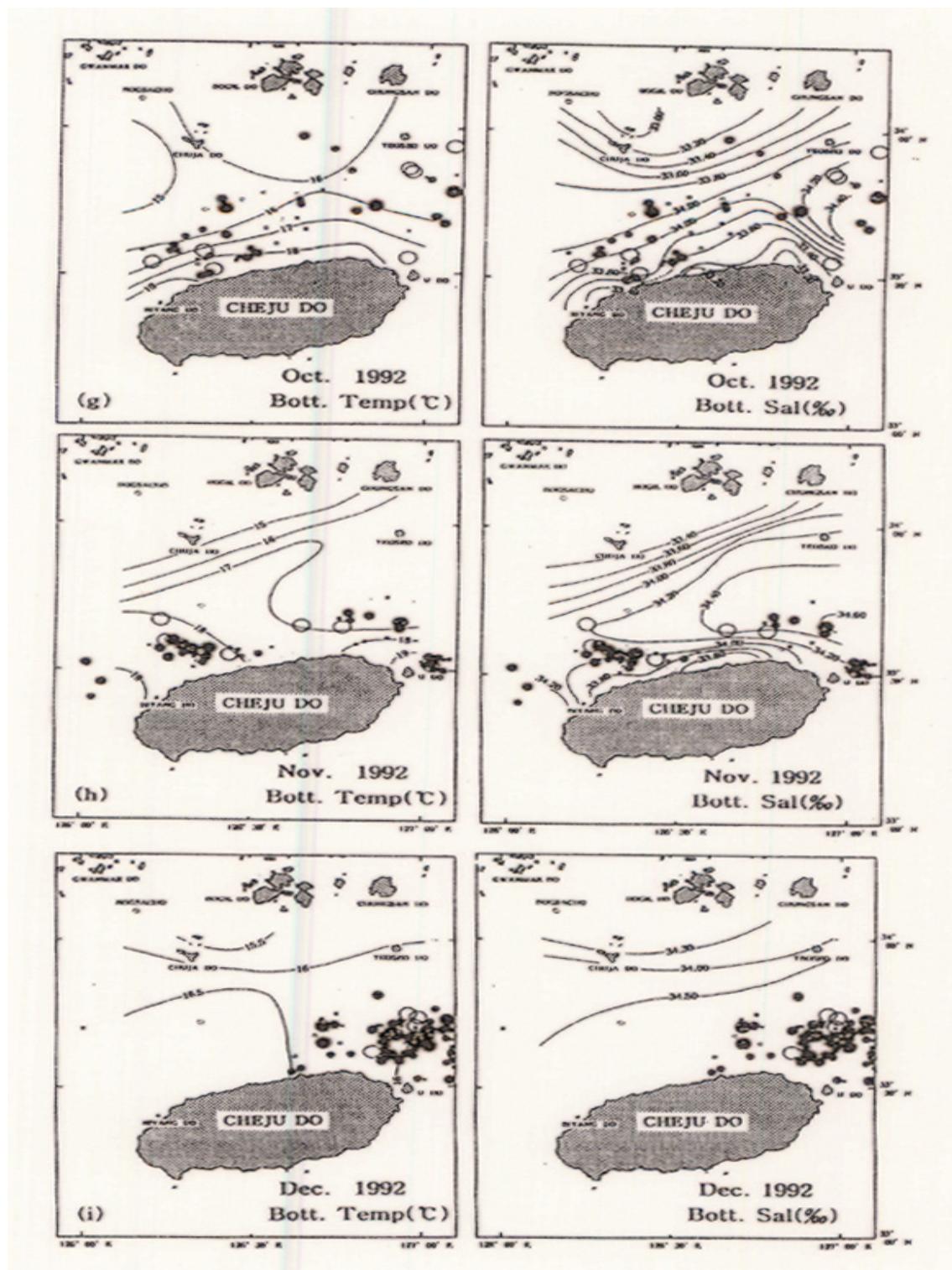


그림 25(g~i). 제주해협의 갈치어장과 저층 수온, 염분 분포도
(1992년 6월~12월)

4. 제주도 주변해역에 대한 연구전망

1) 제주도 서쪽 황해난류에 대한 연구 규명

제주도 주변해역의 해황 및 해류에 대한 상당한 연구가 이루어졌지만 제주도 서쪽해역을 거쳐 서해로 북상하는 황해난류는 유속이 약하고 서해의 조류가 강해 황해난류의 유로 및 분포해역이 명료하게 규명되지 않으므로 이 난류에 대한 상세한 연구가 필요하다.

2) 제주도 주변해역의 주요 어류의 어장 형성

한국주변해역에 분포하는 중요 어류 및 갑각류, 연체류 (참조기, 옥돔, 삼치, 참돔, 전갱이, 붕장어, 꽁치, 꽃게, 오징어 등)가 제주도 주변해역에 월동 및 산란장이 되다가 춘계에 한국 주변해역으로 북상한다. 이후 추계가 되면 다시 제주도 주변해역으로 이동하므로 제주도 주변해역은 한국 주변해역 중 가장 좋은 어장이 형성되는 중요한 해역임에도 불구하고 이러한 어장형성에 대한 상세한 연구가 이루어지지 않고 있다. 특히 참조기 회유도(그림 26)와 같이 제주도 주변해역의 월동장에서 춘계가 되면 서해로 북상하여 대흑산도, 위도, 연평도 주변해역에 좋은 어장이 형성되었지만, 자원량 감소로 한때는 거의 어획되지 않았다. 그러나 최근 추자도 주변해역에 참조기 어장이 형성되는 것은 제주도 수산업의 큰 바램이라 할 수 있으므로 과거의 참조기 어장 형성이 재개발될 수 있도록 자원량 증대와 참조기 어장기구에 대한 적극적인 연구가 필요하다.

3) 제주도 연안환경과 어촌의 경제전망

제주도 연안의 수온상승과 육상 오염물질 유입 등에 의해 백화현상이 점차 확대되어 해조류 감소로 인해 유용생물의 먹이가 감소하는 등 연안생태계가 변화하여 제주도 연안의 조간대 및 10m이하의 천해환경이 나빠지고 있다. 그러므로 인공적인 방법에 의해 해조류가 조성되도록 주기적이고 적극적인 노력이 이루어져 천해역의 백화현상 축소를 위한 해조류가 번무하는 환경이 어촌의 경제적 성장에 기초가 될 수 있다. 또, 해조류의 조성은 바다와 더불어 제주도의 대기 안에 포함된 이산화탄산 가스를 감소시키는 중요 요인으로 제주도 환경개선에도 크게 기여할 수 있다.

백화현상은 고수온에 의한 요인이 가장 크므로 제주도 연안 중 수온이 낮은 곳(김녕~하도연안)을 이용하는 것도 해조류 조성에 쉽게 할 수 있을 것으로 생각된다.

이처럼 제주도 연안의 해조류 조성은 경제 및 관광개발에도 도움이 되며 어촌의 구조개선과 해녀 보존 및 육성, 연안의 생물자원량 증대 및 보존 등과 같은 종합적인 어촌계 개선은 어촌경제에 큰 도움이 될 수 있다.

4) 마리나 산업의 개발

최근 해양을 이용한 요트 및 요트정박항, 스키 스쿠버, 해양관광 등과 항만 주변공간의 활용, 어촌의 소규모 항을 정비한 해양레저 시설과 각종 장비, 인력의 개발 등과 같은 마리나 산업이 급속도로 개발될 것으로 예상된다.

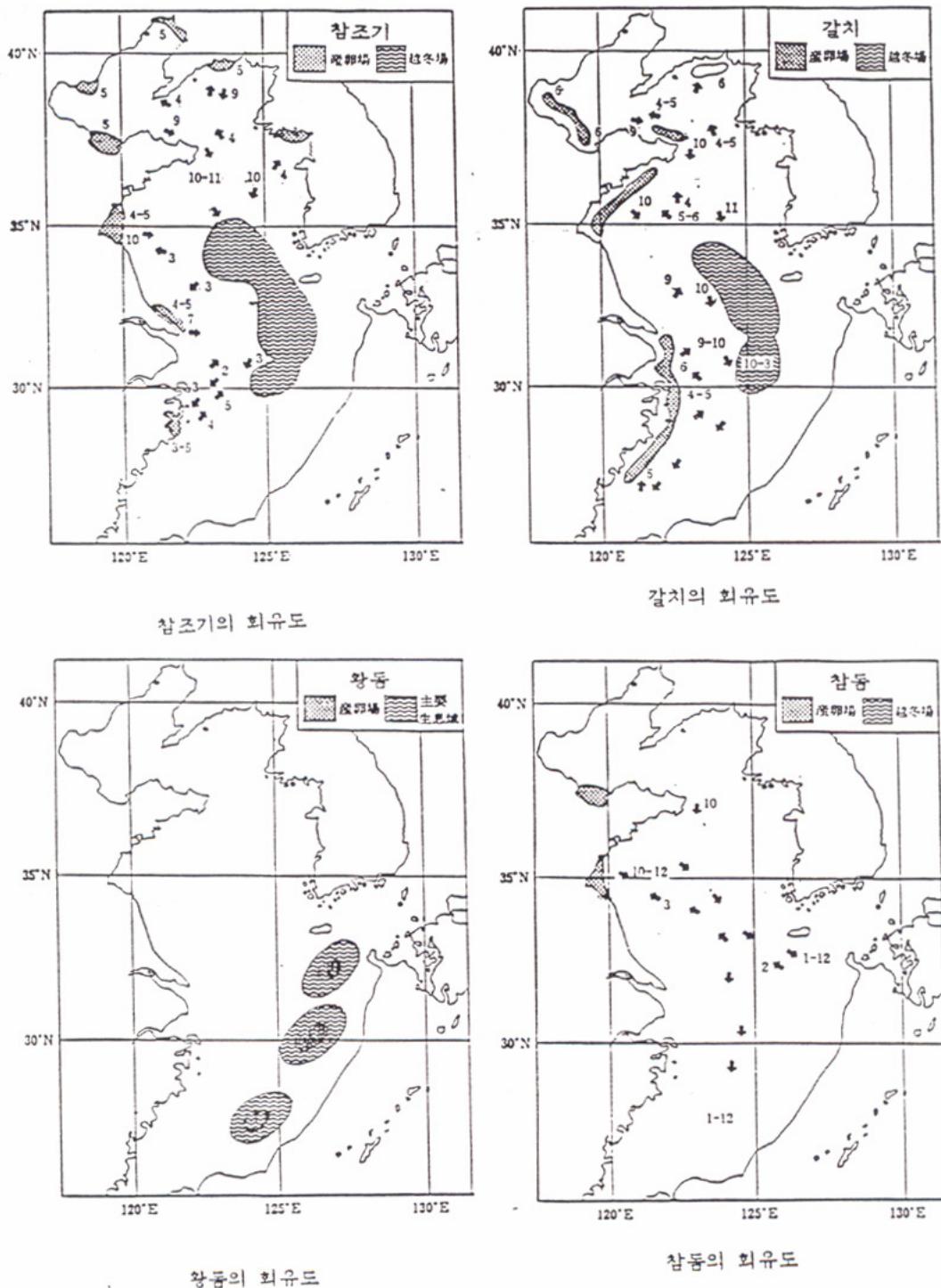


그림 26. 참조기, 갈치, 황돔, 참돔의 회유도

5. 결 론

제주도 주변해역의 해황을 규명하기 위하여 대마난류 및 난류 수괴(水塊) 분포, 제주해협 동쪽입구에 출현하는 설상의 대마난류수, 제주도 서쪽해역에 출현하는 대마난류수가 제주도 북쪽연안까지 나타나는 양상, 제주해협의 저층저온수, 중국대륙연안수, 제주도 연안수온 및 염분변화 등과 같은 연구가 이루어졌다. 또, 제주해협의 멸치 난치어 분포 및 수송기구, 대규모의 동중국해 동부 및 제주도 주변해역의 대마난류의 류황, 중국대륙연안수의 제주도 서쪽해역 및 한국남해의 이동상태 등이 밝혀졌고, 국지적인 제주해협 및 제주도 동쪽연안의 흐름상태가 상세히 규명되었다.

한국주변해역 중 각종 어류의 가장 좋은 어장이 형성되는 제주주변해역의 고등어, 갈치 및 방어 어장형성기구가 연구되었고, 특히, 참조기의 회유 및 자원량과 추자도를 중심으로 제주도 서쪽해역의 어장형성기구, 황해난류에 대한 연구가 필요하다.

제주도 주변해역에 대한 연구전망은 제주도 연안환경과 어촌의 경제, 마리나 산업의 개발 등과 같이 제주도 환경 및 해양산업이 앞으로 발전할 중요한 분야이다.