석사학위논문

동중국해 해수순환의 계절변화와 대한해협의 유량변화

제주대학교 대학원
해 양 학 과

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

오 경 희

1998년 6월

동중국해 해수순환의 계절변화와 대한해협의 유량변화

지도교수 방 익 찬

오 경 희

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

1998년 6월

오 경 희의 이학 석사학위 논문을 인준함.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

심사위원장 고 유 봉 ㊞

위 원 이 형 모 ㊞

위 원 방 익 찬 ㊞

제주대학교 대학원

1998년 6월

Seasonal variations of circulation in the East China Sea and volume transport in the Korea Strait

Kyung-Hee Oh

(Supervised by professor Ig-Chan Pang)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY

GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

JUNE, 1998

목 차

그림 목차 (List of Figure) ····· i
표 목차 (List of Tables) ····· iii
Summary ····· iv

Ⅰ. 서 론 ····· 1

Ⅱ. 해수분포의 계절변화 ····· 4
1) T-S diagrams로 본 해수분포 ····· 4
(1) 계절분포 ····· 4
(2) 공간분포 ····· 8
2) 해수특성의 수평분포로 본 해수분포 ····· 12
3) 수괴분석으로 본 해수분포 ····· 17
4) 해수분포 변화로 본 유량변화 ····· 24

Ⅲ. 해수순환의 계절변화 ····· 24
1) 힘의 균형 ····· 24
2) 역학심도로 본 해수순환 ····· 30

Ⅳ. 결 론 ····· 32
- 참고 문헌 ····· 36
- 요 약 ····· 39
- 감사의 글 ····· 40

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림 목차 (List of Figures)

Fig.1. Seasonal variations of volume transport across the section KS, PN, I and G. (A) Location of the Sections. Sea floor depth in meters. (B) across the section KS (from Toba et al., 1982). (C) across the section PN referred to 700db surface and the sections I and G referred to 1000db surface. Standard deviation is shown. (from Nishizawa et al., 1982). ·····2

Fig.2. GCM model results for the input waters of (A) 30Sv and (B) 40Sv through a 300Km-width section east of Taiwan. Waters freely flow out through the eastern boundaries. Stream lines in Sv unit. (from Pang et al., 1993). ·····3

Fig.3. Stations of the Cooperative Study of the Kuroshio and Adjacent Regions (CSK) in (A) Feb., (B) Apr.,(C) Aug., and (D) Oct., during the period of 1965~1989. ·····6

Fig.4. T-S diagrams of the Yellow Sea and East China Sea in Feb., Apr., Aug., and Oct., during the period of 1965~1989. ·····7

Fig.5. Squares of 1 degree in latitude and longitude in the Yellow and East China Seas, being used for T-S diagram. X and Y axes of the squares represent salinity (30~35‰) and temperature (0~30℃). ·· ·····9

Fig.6. Spacial T-S diagrams of the Yellow and East China Seas in (A) Feb., (B) Apr., (C) Aug., and (D) Oct., during the period of 1965~ 1989. ·····10

Fig.7. Horizontal distributions of mean temperatures and salinities in the depths of 0, 50, and 100m. in (A) Feb., (B) Apr., (C) Aug. and (D) Oct., during the period of 1965~1989. ·····13

Fig.8. (A) Four water types for water mass analysis. Four water types represents CCW (Changjiang Coastal Water), YSCW (Yellow Sea Cold Water), TWW (Tsushima Warm Water) and KSW (Kuroshio

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Surface Water). (B) Stylized diagram of the distribution and interaction of water masses in the coastal sea. The shaded regions correspond to the zones of horizontal and vertical mixing waters. The directions of movement of waters in the process of transformation are shown by arrows (from Miller, 1950). ····· ····19

Fig.9. Mixing ratios (%) of four water types in the depths of 0, 50, and 100m, in (A) Feb., (B) Apr., (C) Aug. and (D) Oct., during the period of 1965~1989. ····20

Fig.10. Vertical distributions of temperature and salinity across (A) S-line and (B) P-line.····25

Fig.11. Location of the sections S and P.····27

Fig.12. Sea surface variations from dynamic depth anomaly in Feb. and Aug. across (A) S line and (B) P line. Districts Y, K, C, EO and EI represent Yellow Sea, Kuroshio area, Changjiang river mouth, Outer sea of the ECS (near the continental shelf break) and Inner sea of the ECS (between the Y(C) and the EO). ····28

Fig.13. Dynamic topography of the sea surface relative to the bottom or 500m for greater depth in Feb., Apr., Aug. and Oct., during the period of 1965~1989. in dynamic metres. (1 dynamic metre = $10m^2/s^2$). ····31

Fig.14. (A) Seasonal variation in the diagnostically calculated sea surface circulation (from Yanagi and Takahashi, 1993). (B) Seasonal variation in the surface geostrophic current estimated from altimetric data (from Yanagi, 1997). ····33

Fig.15. Schematic representation of the circulation in the Yellow and the East China Seas (from Pang et al., 1998). ····34

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 목차 (List of Tables)

Table.1 Freshwater discharge statistics for the five largest rivers flowing into the the Yellow Sea and the East China Sea. Values represent annual monthly averages and units are $10^3m^3/s$.·····5

Table.2 Monthly average precipitaion at Shanghai from 1912 to 1972 and evaporation from 1947 to 1960 in the East China Sea.($10^3m^3/s$). ·····5

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

SUMMARY

Seasonal variations of circulation in the East China Sea and volume transport in the Korea Strait

In order to study the influence of the seasonal variations of circulation in the East China Sea (ECS) on the seasonal variation of volume transport in the Korea Strait (KS), seasonal variations of water mass distribution and circulation in the ECS are analyzed with CSK (Cooperative study in the Kuroshio and Adjacent Regions) data during period of 1965~1989. Tsushima Warm Water (TWW) expand toward the central Yellow Sea from the ECS in winter, but in summer the Yellow Sea Bottom Cold Water expand toward the ECS along central Yellow Sea in the lower layer. It is due to the seasonal variation of pressure field in ECS. Changjiang Coastal Water (CCW) seems to weaken the pressure field of the ECS in summer, which distribute extensively from the river mouth to the shelf area in the surface layer. Therefore, TWW shrinks to the shelf break and Tsushima current becomes stronger than in winter. It turn out that the difference of TWW volume in ECS between summer and winter are enough to make influences on the seasonal variations of volume transport in the KS.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Key Word : Changjiang Coastal Water, Tsushima Warm Water, Yellow Sea Bottom Cold Water, Pressure field.

Ⅰ. 서 론

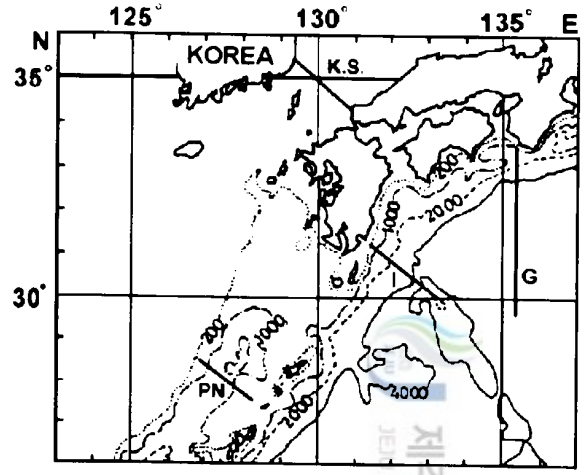
대한해협의 유량은 겨울보다 여름에 증가하는 뚜렷한 계절변화를 보인다 (Yi, 1966 Toba et al., 1982 Mitta and Ogawa, 1984 Pang and Kim, 1990). Yi (1966)에 의하면 대한해협을 통과하는 대마난류는 2월과 4월에 걸쳐 최소치를 7월과 9월에 걸쳐 최대치를 보이며, 그 변동폭은 2.0Sv정도이다. Yi가 역학계산을 통해 대마난류의 유량을 계산한 반면, Toba et al. (1982)은 대한해협과 쓰가루해협사이의 해수면 차이를 이용해서 1.6Sv이라는 변동폭을 계산해 냈다. 이 외의 연구 결과들도 변동폭에 있어서는 다소 차이를 보이지만, 계절변화를 한다는 것에는 의견을 모으고 있다.

대한해협 유량변화의 원인에 대해서는 명확히 설명된 바 없으나, 일반적으로 받아들여지고 있는 것이 쿠로시오의 변화에 의한 영향이다. 그러나 대한해협 유량의 계절변화가 쿠로시오의 변화에 의한 것이라면 크게 두 가지의 문제점이 나타나게 된다.

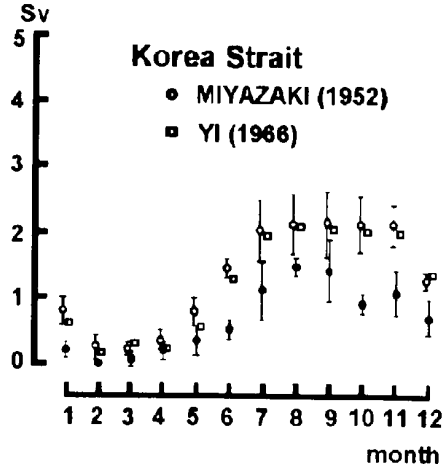
첫째, 대한해협의 유량이 계절에 따라 뚜렷한 변화를 보이는데 비해 쿠로시오는 뚜렷한 계절변화를 보이지 않는다 (Nitani, 1972). 그림.1은 대한해협(B)과 쿠로시오 해역(C) 유량의 계절변화를 나타낸 것이다 (Nishizawa, 1982). 대한해협을 통과하는 대마난류수는 겨울보다 여름에 약 2.0Sv 정도의 유량증가를 보이면서 계절변화를 하고 있는 반면, 대한해협에 영향을 줄 수 있는 PN선에서는 거의 계절변화를 하고 있지 않다. I와 G선을 통과하는 쿠로시오는 겨울에 감소하고 여름에 증가하는 계절변화를 하고 있으나 대한해협에 영향을 주는 해역은 아니다.

둘째, 그림.2는 쿠로시오와 대마난류수의 유량관계를 보여주는 GCM 모델 결과이다 (Pang et al. 1993). 이것은 2차원 순압모델결과로 경압해류는 보여주지 않지만 대한해협의 유량변화가 쿠로시오의 유량변화에 비례하는 것을 보여주고 있다. 다시 말해, 대한해협의 유량이 두 배의 변화를 하기 위해서는 쿠로시오가 두 배의 유량변화를 해야 한다는 것이다. 그러나 동중국해내 쿠로시오가 계절에 따른 변화를 하더라도 두 배의 유량변화를 한다는 것은 기대하기 어렵다.

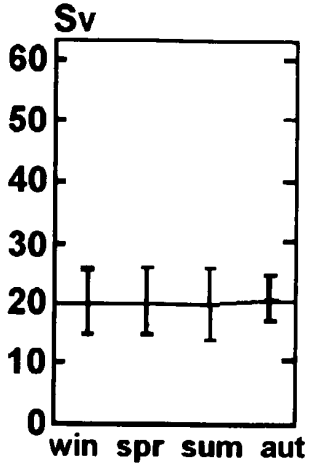
그러므로 쿠로시오의 변화로 대한해협 유량의 계절변화를 설명하기는 어렵다. 남(1996)의 보고에 의하면 대한해협에서 대마난류의 수송량은 쿠로시오와 다른 계절변동을 보이며, 대마난류의 수송량은 쿠로시오 수송량의 변화에 거의 영향을

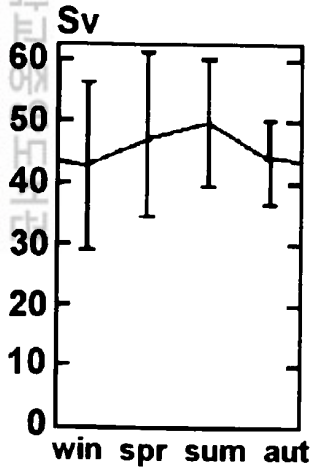


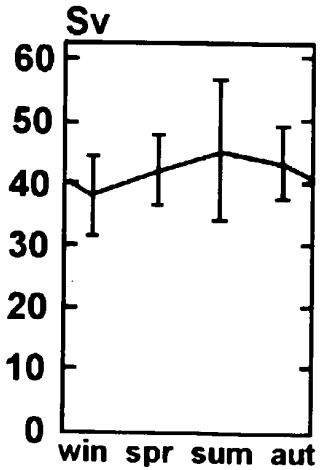
(A)



(B)

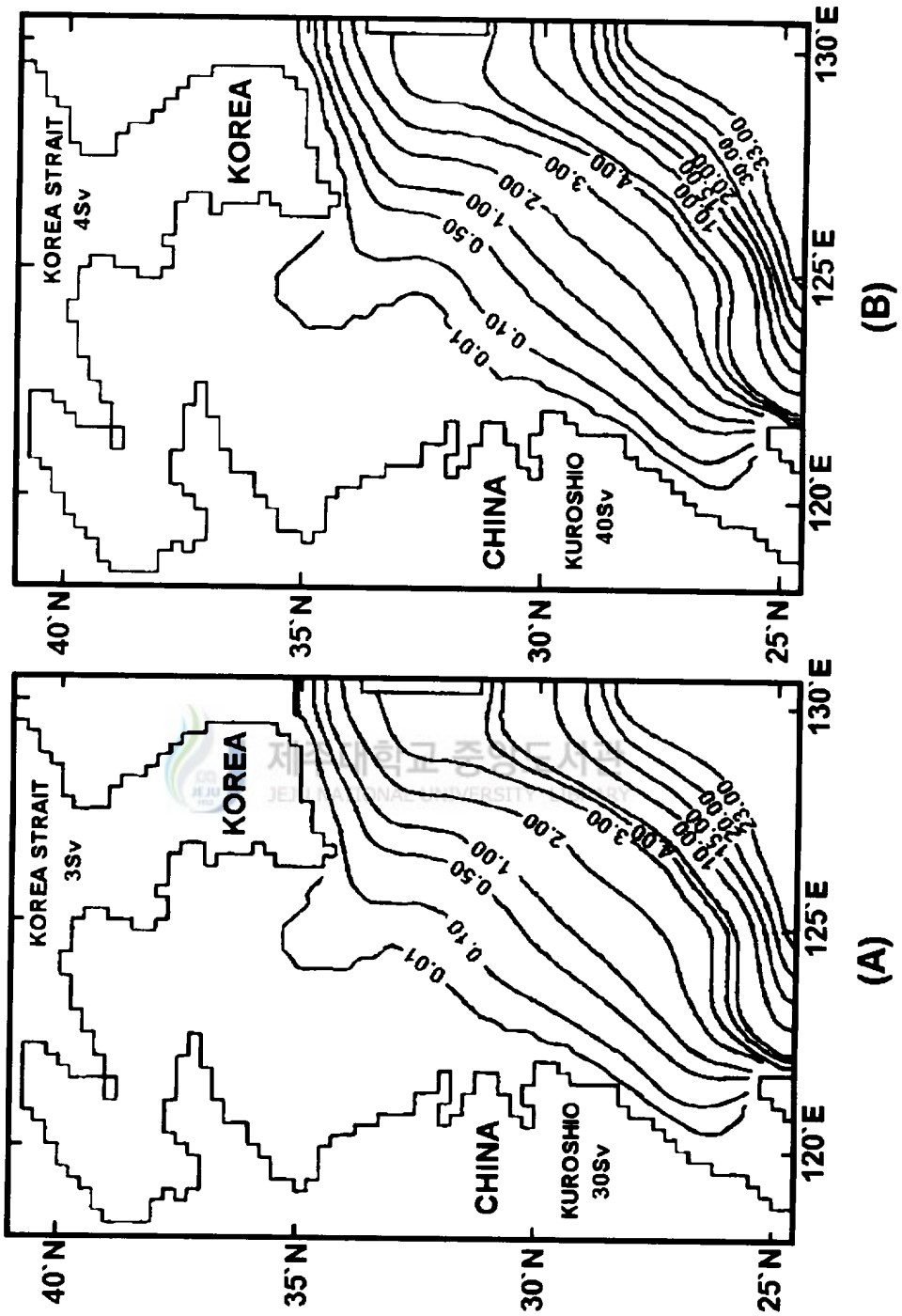






(C)

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY


KOREA STRAIT
3Sv
KOREA
CHINA
KUROSHIO
30Sv
KOREA STRAIT
4Sv
KOREA
CHINA
KUROSHIO
40Sv
40`N
35`N
30`N
25`N
120`E
125`E
130`E
0.01
0.10
0.50
1.00
2.00
3.00
4.00
10.00
15.00
20.00
30.00
33.00
(A)
(B)

받지 않는다고 한다. 쿠로시오의 영향 외에 생각할 수 있는 것은 동중국해로 유입되는 담수량과 증발량, 강수량의 변화이다. 표.1과 2는 황해와 동중국해로 유입되는 담수량과 증발량, 강수량의 최소값과 최대값을 나타낸 것이다. 대개 최소값은 겨울철에 최대값은 여름철에 나타나며, 동중국해로 유입되는 담수의 상당부분이 양자강으로부터 유입되고 있음을 알 수 있다 (Chen, 1994). 그러나 여름철에 증가되는 담수량은 대한해협의 유량변동에 영향을 주기에는 너무 작다.

그렇다면 대한해협 유량의 계절변화 원인으로는 동중국해 해수순환의 계절변화를 생각할 수 밖에 없다. 이 논문에서는 동중국해 해수순환의 계절변화가 대한해협 유량의 계절변화에 어느 정도 영향을 줄 수 있는 지를 해수특성 자료를 중심으로 살펴보았다. 사용된 자료는 쿠로시오와 주변해역에 대한 공동연구를 목적으로 관측된 CSK (Cooperative study of the Kuroshio and Adjacent Regions) 자료 중 1965~1989 년까지의 수온과 염분자료이다. 수집된 자료들이 전체적으로는 24년간의 시기를 갖지만 관측시기와 관측점이 매우 불규칙하기 때문에 여기서는 비슷한 관측점들을 갖는 달을 중심으로 분석하였다. 분석이 이루어진 달은 2, 4, 8, 10월이며, 2월과 4월은 겨울철로, 8월과 10월은 여름철로 분류하였다. 그러나 대부분의 분석은 2월과 8월에 초점을 맞추었다 (그림.3).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅱ. 해수분포의 계절변화

1. T-S diagrams로 본 해수분포

(1) 계절분포

황해와 동중국해에서 관측된 해수특성값의 계절분포를 보기 위해 그림.4와 같이 2월과 4월, 8월, 10월의 해수특성치를 T-S diagrams에 표시하였다. 가로축은 염분 (30~35‰), 왼쪽 세로축은 수온 (0~30℃), 오른쪽 세로축은 sigma-t이다. 편의상 수온의 최대값은 30℃로 제한했으나 이를 벗어나는 특성값의 수는 많지 않다.

겨울철인 2월의 해수특성분포는 크게 쿠로시오 해수와 동중국해 해수로 구분된다. 쿠로시오 해수는 고염이며, 동중국해 해수는 쿠로시오 중층수와 연결된 대

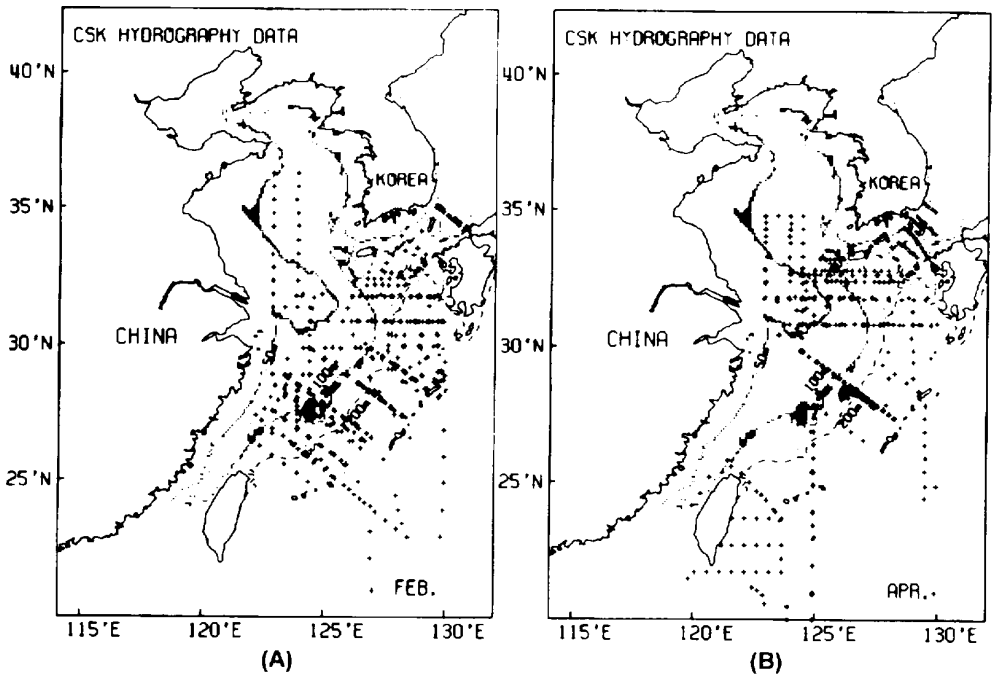
Table.1 Freshwater discharge statistics for the five largest rivers flowing into the the Yellow Sea and the East China Sea. Values represent annual monthly averages and units are $10^3m^3/s$.

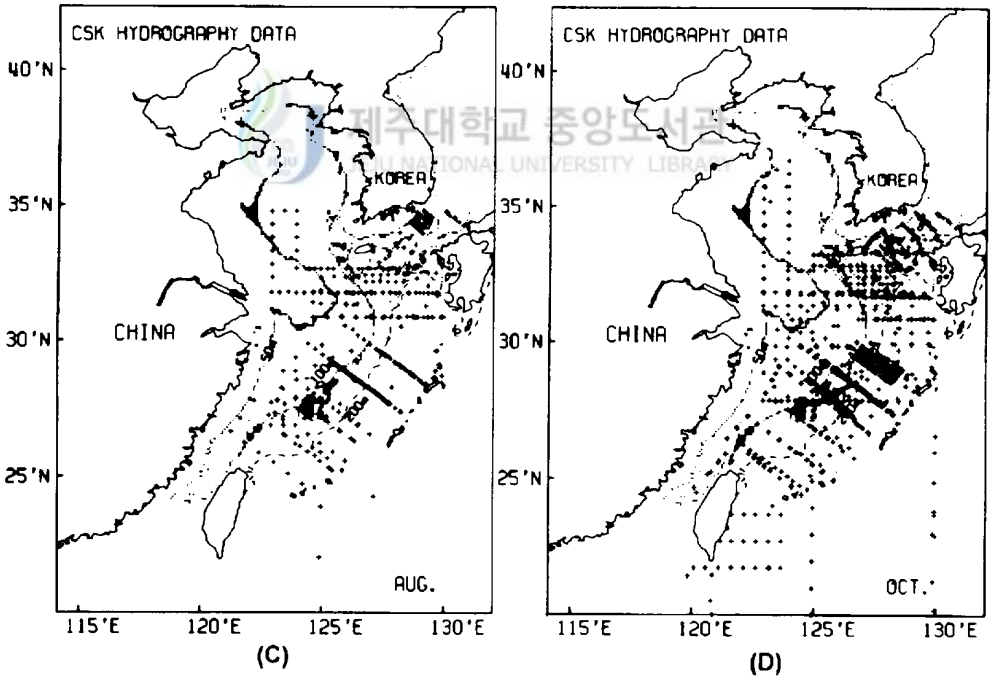
River	A. mean	Minimum	Maximum	Ref.
Changjiang	20.0	10.0 (Jan)	50.0 (July)	Yang et al. (1983)
Yalu	1.1	0.6 (Apr)	1.6 (July)	Schubel et al. (1984)
Huangho	0.9	0.5 (Feb)	2.0 (Sep)	Qin and Li (1983)
Han	0.8	0.1 (Jan)	3.2 (July)	Schubel et al. (1984)
Keum	0.2	0.03 (Jan)	0.5 (June)	Schubel et al. (1984)

Table.2 Monthly average precipitaion at Shanghai from 1912 to 1972 and evaporation from 1947 to 1960 in the East China Sea.($10^3m^3/s$)

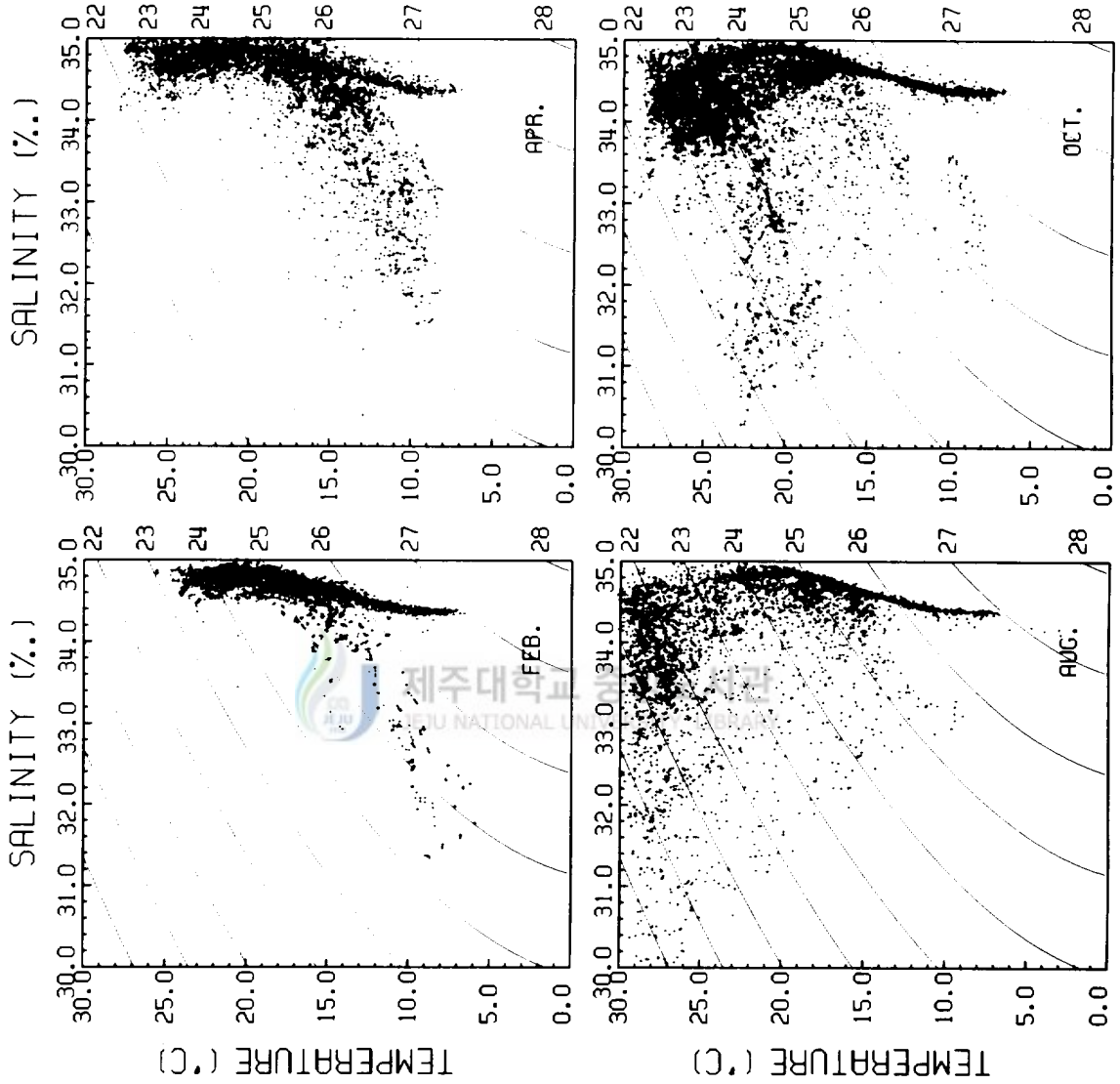
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

	A. mean	Minimum	Maximum	Ref.
Evaporation	16.8	32 (Jan)	4 (July)	Wyrtki (1966)
Precipitation	12.7	4.9 (Dec)	25 (June)	Wernstedt (1972)





제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

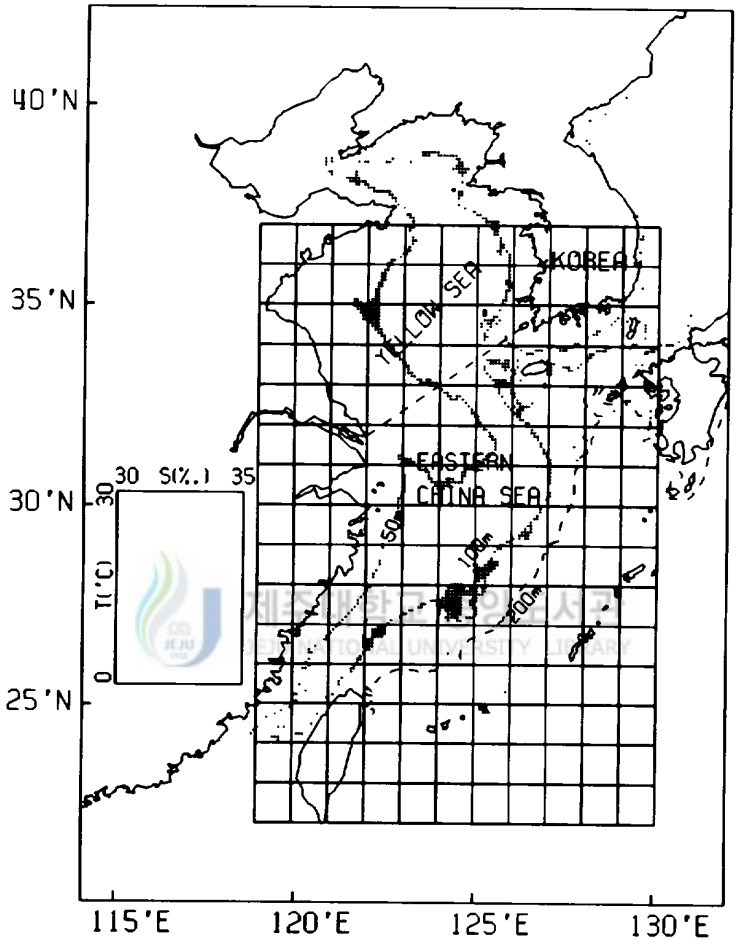
대난류수로부터 저온저염의 황해냉수로 연결된다. 동중국해 해수가 쿠로시오 해수의 중층수 (10~18℃, 34.4~34.8‰. Sverdrup et al., 1942)와 연결되고, 쿠로시오 표층수 (>21.2℃, >34.74‰, Chen, 1994)와 연결되지 않는 것은 특이한 점이다. 4월의 해수특성분포는 2월과 비슷한 구조를 보이며, 전체적으로는 수온상승이 나타나고 있다.

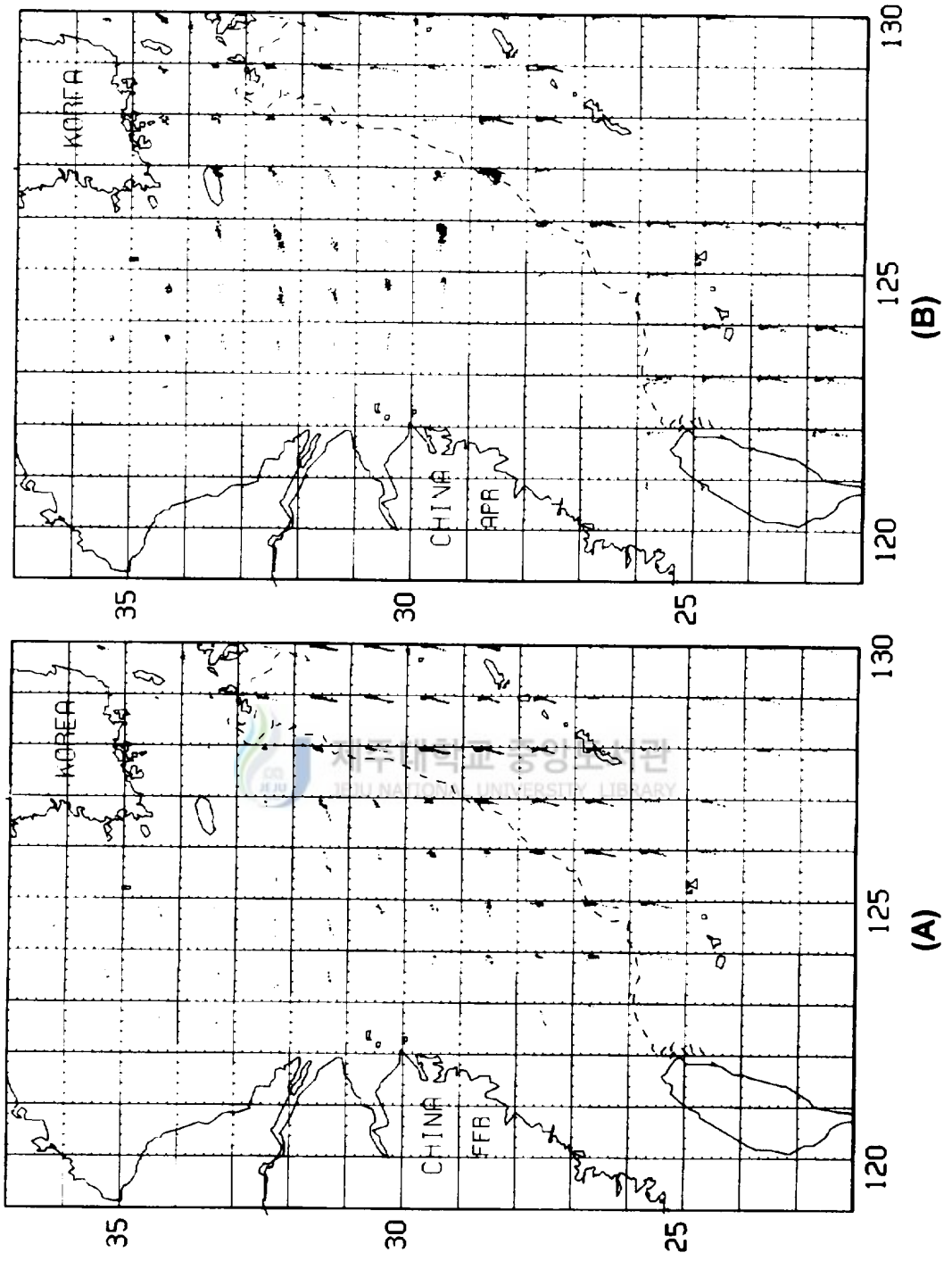
여름철인 8월에는 겨울철 해수특성분포 구조를 기본으로 고온저염화된 표층수가 나타나고 있다. 고온저염의 양자강연안수(<32‰)가 뚜렷하게 나타나고, 이로 인해 동중국해 해수가 폭넓게 저염화되고 있다. 겨울철 황해냉수의 특성치보다는 다소 고온고염이긴 하지만 10℃이하, 33.4‰이하의 냉수(황해저층냉수)가 나타나고 있다. 10월달 분포는 8월과 비슷한 특징을 보이고 있다. 그러나 표층수의 수온·염분특성치는 전반적으로 8월보다 낮으며, 특히 양자강연안수의 수온특성치는 5℃정도 낮아졌다. 황해저층냉수의 특징은 8월보다 뚜렷하게 나타나고 있는데 이것은 관측점의 차이 때문이다.

(2) 공간분포

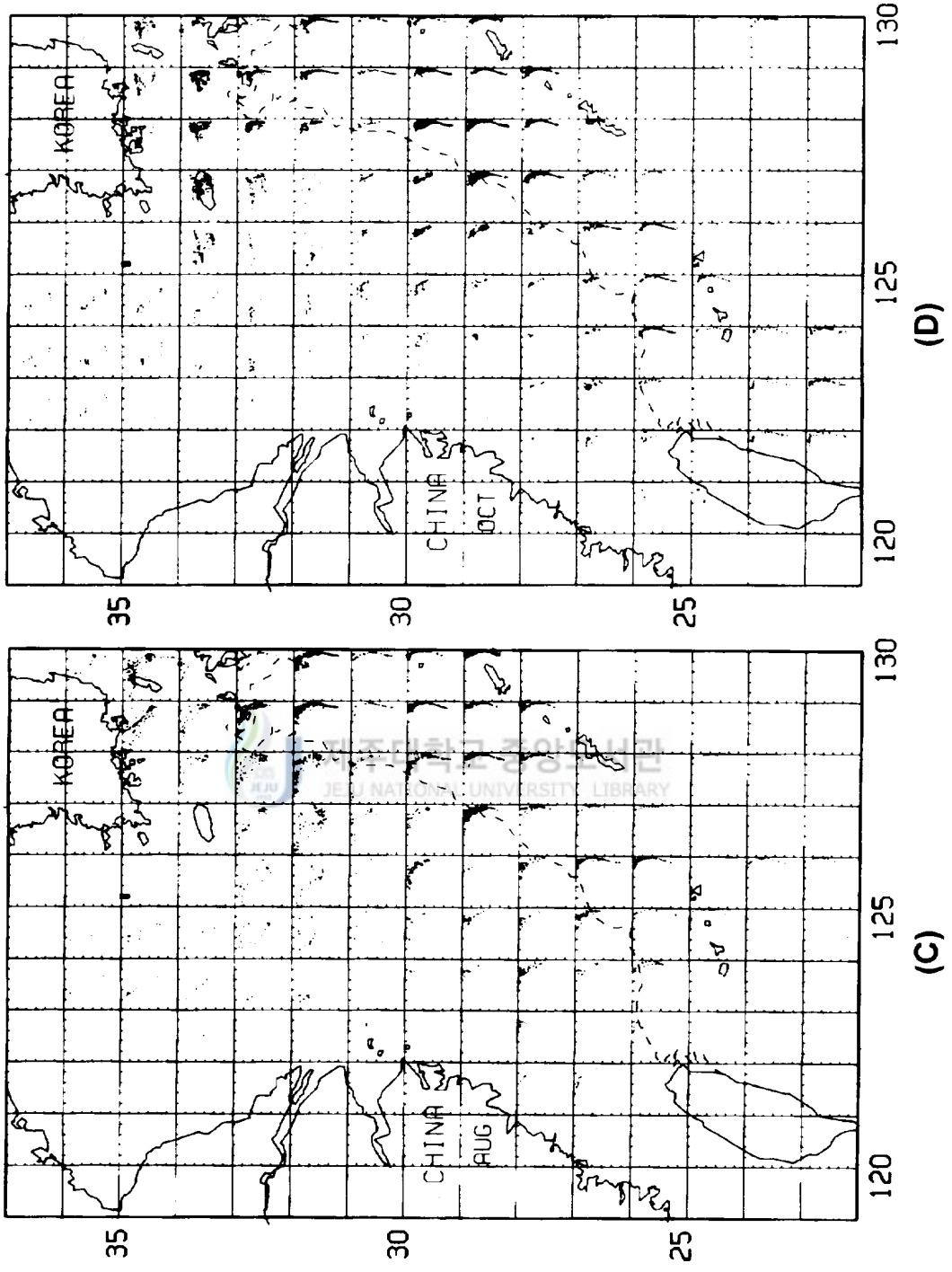
해수특성의 해역별 분포 특징을 보기위해 연구해역을 그림.5와 같이 위도·경도를 각 1° 로 하는 단위격자망으로 나누었다. 각각의 단위격자망은 왼쪽 아랫부분에 제시한 것처럼 가로축을 염분(30~35‰), 세로축을 수온(0~30℃)으로 하는 T-S diagrams로 이용하였다. 그림.6은 그림.5에서 보인 격자망부분만을 확대한 것으로, (A)는 2월, (B)는 4월, (C)는 8월, (D)는 10월의 분포도이다. 점선은 200m 등수심선으로 동중국해의 대륙붕단을 나타내고 있다.

겨울철인 2월에는 그림.4에서 보였던 겨울철 특징인 쿠로시오 해수와 동중국해 해수가 대륙붕단을 경계로 뚜렷하게 구분되어 분포하고 있다. 황해 중심해역에서는 저온저염수들이 분포하고 있으며 제주 서부해역에서는 뚜렷하진 않지만 고염수가 나타나고 있다. 대륙붕단상에 분포하고 있는 대마난류수는 대만 부근해역에서 대한해협으로 연결되고 있다. 만약 알려진 바와 같이 어떤 특정 해역을 통해 대마난류수가 쿠로시오에서 분지된다면 (Uda, 1934 Nitani, 1972 Kondo, 1985), 동중국해 대륙붕상에 쿠로시오 표층수의 특징이 나타나는 해역이 있어야 한다. 그러나 그러한 해역은 보이지 않으며 특별한 분지해역도 찾기 어렵다. 4월달에는 관측 해역이 2월과 조금 다르지만 해수특성분포에 있어서는 비슷한 특징들을 보이고 있다.


40°N
35°N
30°N
25°N
115°E
120°E
125°E
130°E
KOREA
YELLOW SEA
EASTERN
CHINA SEA
50m
100m
200m
30 S(‰) 35
30
0
T(°C)



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

여름철인 8월에는 수온상승과 담수의 유입에 의한 고온저염화 때문에 겨울철(2월)에 뚜렷한 구분을 보이던 쿠로시오 해수와 동중국해 해수의 구분이 뚜렷하게 나타나고 있지 않다. 동중국해 북부해역에서는 고온저염의 양자강연안수가 대한해협 근처까지 폭넓게 분포하고 있으며, 뚜렷하지는 않으나 그림.4에서 나타났던 여름철 황해저층냉수가 제주 남서부해역까지 분포하고 있다. 10월달의 전반적인 분포형태는 8월과 비슷하다. 그러나 표층수의 수온, 염분 특성치가 여름철인 8월보다 낮아진 것을 볼 수 있으며, 저염수의 분포해역도 축소되어 나타나고 있다.

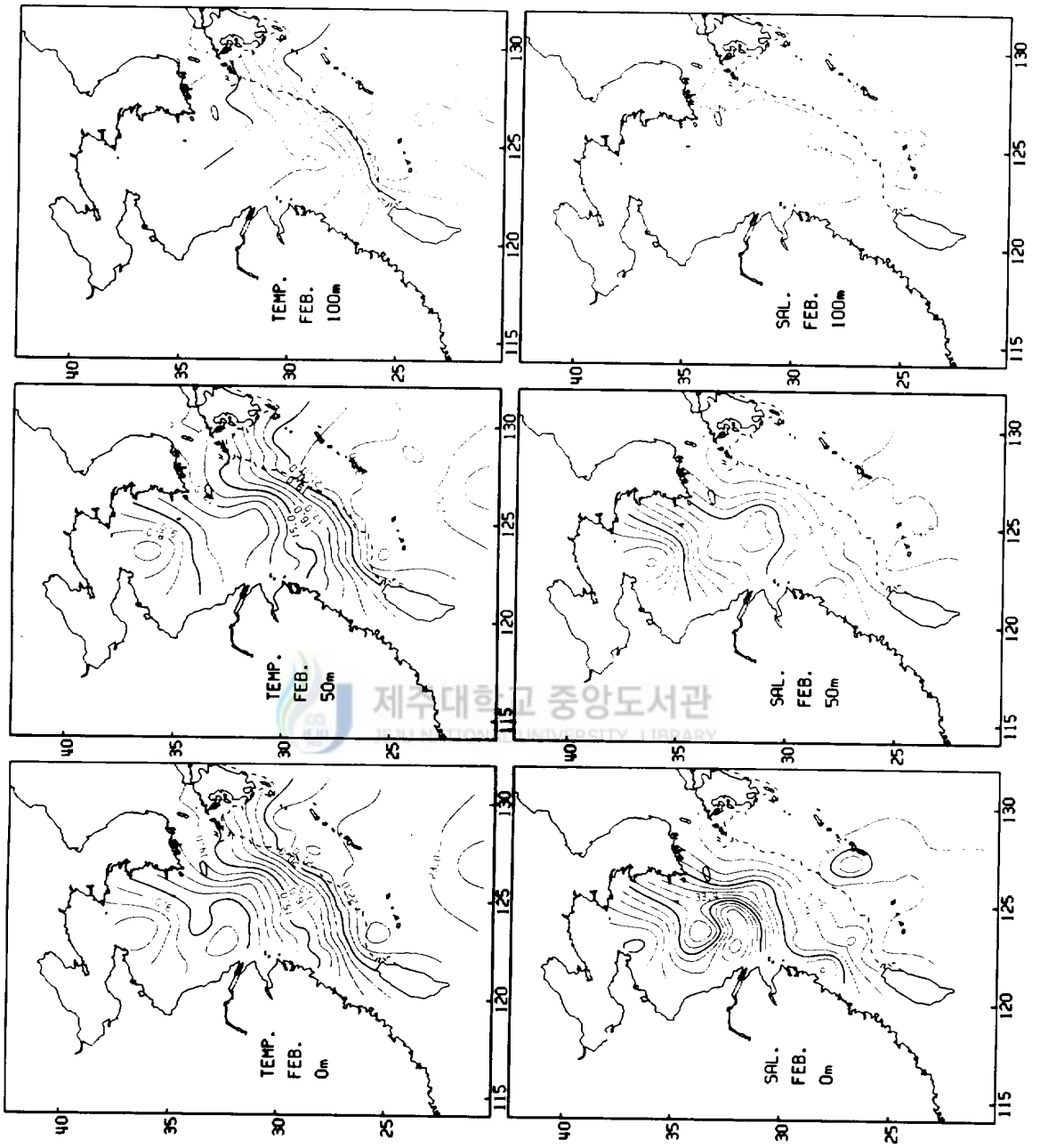
해수특성변화에서 겨울철과 여름철의 차이는 여름철에 표층수가 고온저염화되는 현상이다. 태양에너지에 의한 수온상승과 급증하는 강우와 강수에 의한 저염수의 유입으로 나타나는 저염화 현상은 해수특성들을 변화시키는 요인들이다. 연구 해역에 있어 이런 현상들은 쿠로시오 해역보다는 동중국해에서 두드러지며, 그 중에서도 양자강연안수가 영향을 미치는 해역에서 가장 두드러진 특징을 보인다.

2. 해수특성의 수평분포로 본 해수분포

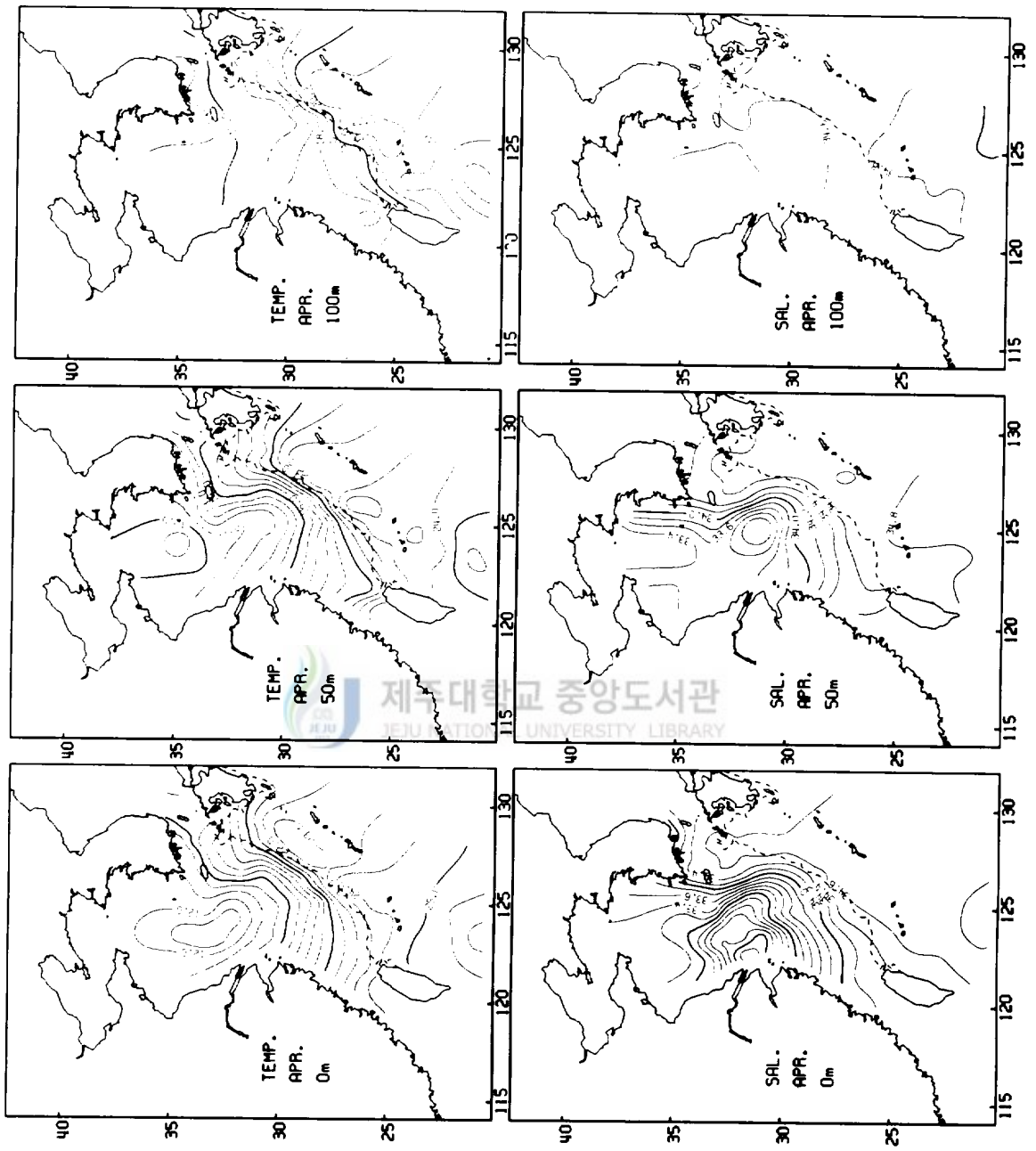
그림.7은 수온과 염분의 수심별(0m, 50m, 100m) 수평분포도이다. 겨울철인 2월 (그림.7(A))에는 황해입구를 제외하고는 각 수심별 수온과 염분이 비슷한 분포구조를 보이고 있다. 이런 연직구조는 겨울철에 강한 수직혼합이 일어나고 있음을 보여주고 있다. 황해입구 해역에서 특성별과 수심별로 해수특성분포가 다르게 나타나는 이유는 이 해역이 해수들이 마주쳐 복잡한 곳인데 비해 관측점은 별로 많지 않기 때문으로 보인다. 따라서 겨울철에 황해중앙부에 나타나는 난류수의 북상은 이 그림에서는 뚜렷하지 않다. 황해입구 해역에서 비교적 조밀한 관측점을 갖는 4월분포(그림.7(B))에서는 난류수의 북상구조가 나타나고 있으며, 전반적인 수온분포도는 2월과 비슷한 구조를 보인다. 그러나, 4월달임에도 불구하고 표층염분분포(0m)에서는 동중국해로 확장되는 저염수의 분포가 나타나고 있다.

여름철인 8월(그림.7(C))에는 2, 4월과 달리 0m와 50m의 수온과 염분의 분포구조가 서로 다르다. 이것은 여름철 표층수의 고온저염화로 인해 해수의 연직구조가 달라지고 있음을 보여주고 있다. 표층분포(0m)에서는 전 해역이 고온화되어 있으며, 양자강입구에서부터 동중국해 전반에 걸쳐서는 저염수가 폭넓게 분포하

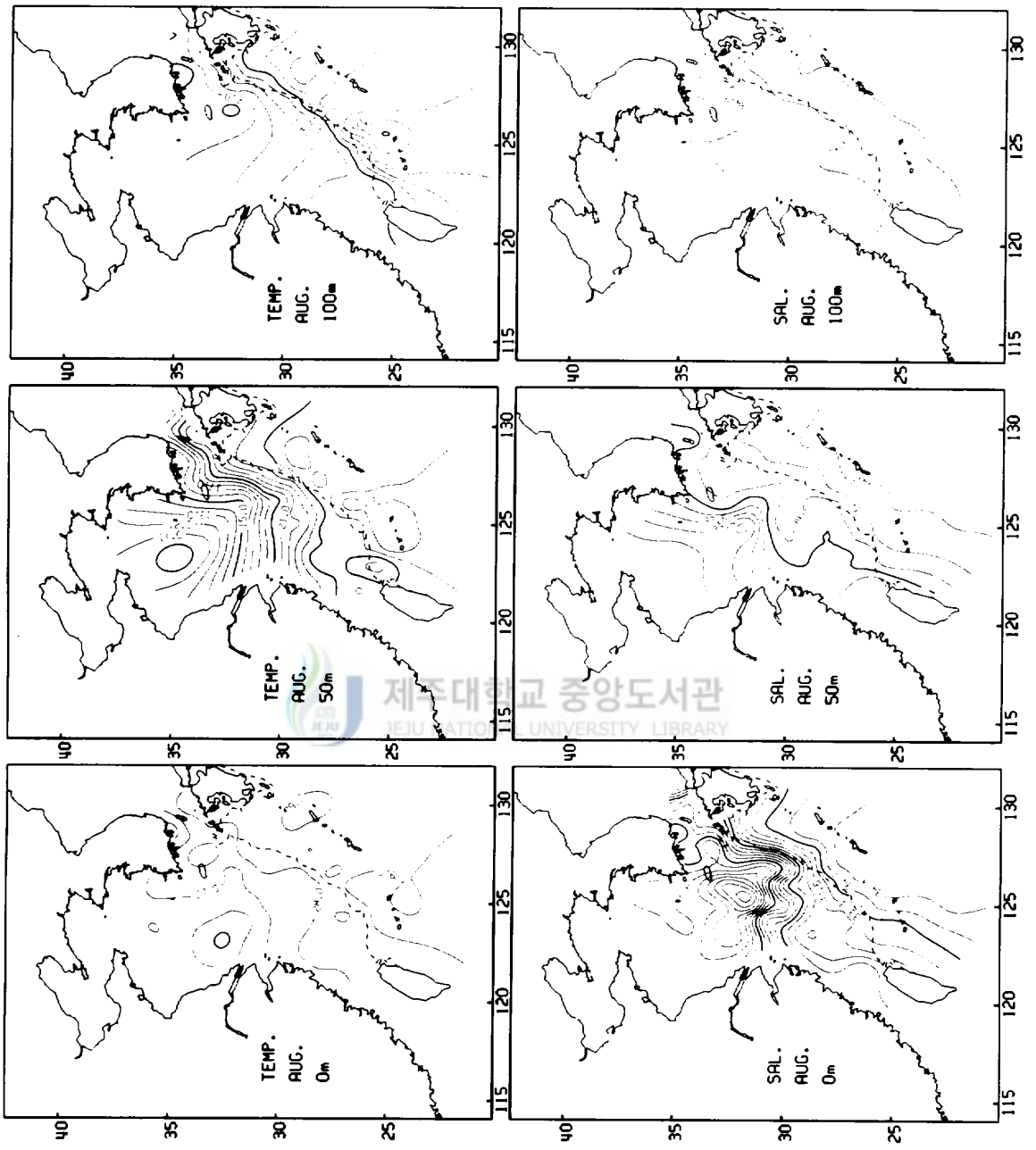
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



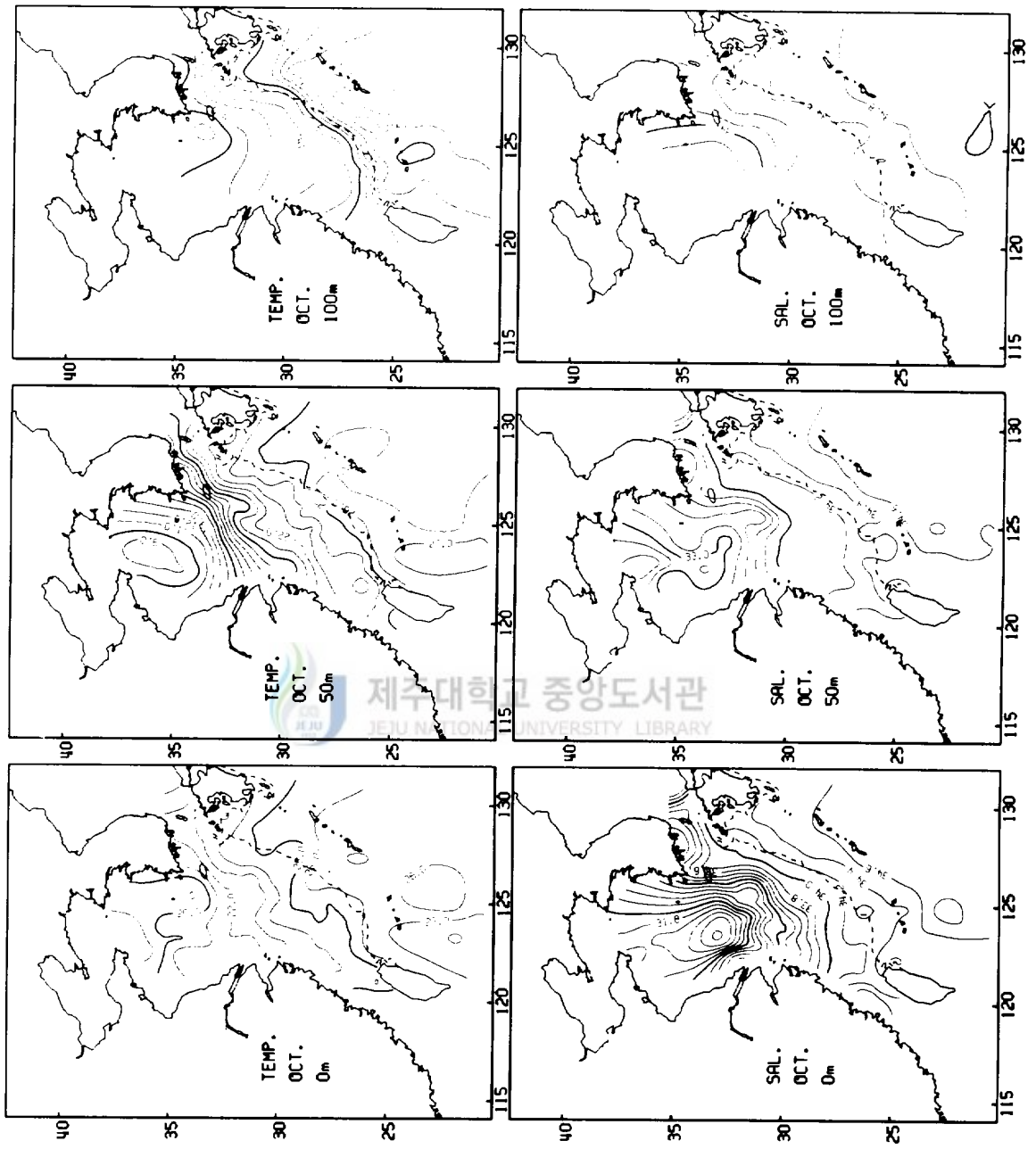
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

고 있다. 이 저염수의 영향으로 북위 29'N~33'N 사이의 대륙붕단 부근에서는 강한 염분전선이 형성되어 있다. 이런 전선구조는 수심 50m층의 수온분포도에서도 나타나고 있다. 표층에서 염분전선이 형성된 위치에 저층에서는 수온전선이 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이 수온전선의 형성은 황해중심에서 동중국해 방면으로 황해저층냉수가 남하하고 있을 가능성을 보여주고 있다.

황해저층냉수의 남하는 수온특성의 변화를 감안하면 보다 쉽게 설명될 수 있다. 황해 저층(50m층)의 수온특성분포를 보면 겨울철인 2월(그림.7(A))에 황해중심 해역에서 8℃의 특성을 보이던 해수가 여름철인 8월(그림.7(D))에는 11℃로 약 3℃정도 상승한다. 이런 수온상승을 감안한다면, 여름철에 황해저층냉수가 상당부분 동중국해로 남하한다고 볼 수 있다. 그러나 이런 고려는 타당함에도 불구하고 근거가 충분하지 않다. 따라서 이러한 고려를 보다 체계적으로 하기 위해 다음 절에서 혼합비율을 계산하는 수괴분석으로 해수분포를 살펴보았다.

3. 수괴분석으로 본 해수분포

그림.4에 나타난 황해와 동중국해의 수괴는 쿠로시오 심층수를 제외하면 크게 4개의 수괴로 나눌 수 있다. 우선 겨울철(2월)에 나타나는 동중국해 해수와 쿠로시오해수가 연결되는 지점에 위치하는 저온고염의 대마난류수(TWW, Tsushima Warm Water)와 저온저염의 황해냉수(YSCW, Yellow Sea Cold Water)가 있으며 여름철에 나타나는 고온저염의 양자강연안수(CCW, Changjiang Coastal Water)와 여름철에 고온화된 고온고염의 쿠로시오 표층수(KSW, Kuroshio Surface Water)가 있다. 쿠로시오 표층수는 여름철에 고온화된 대마난류 표층수를 포함하고 있지만 겨울철 특성을 포함하기 위해 쿠로시오 표층수라 하였다. 쿠로시오 심층수는 동중국해 수괴분석에 있어 필요하지 않기 때문에 고려하지 않았다.

혼합비율을 구하기 위해서는 이 4개 수괴들을 대표하는 특성값을 정해야 한다. 이 때의 대표값은 각 수괴의 특성을 대표한다기 보다는 T-S diagram상의 해수들을 포함할 수 있는 값이어야 하기 때문에 극한값들이다. 4개의 해수타입은 T-S diagrams (그림.4)에 기초해서 각 계절의 특징을 최대한 포함할 수 있는 해수특성치를 선택하였다. 계절에 따라 해수특성값을 각각 달리 사용하는 것은 기

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

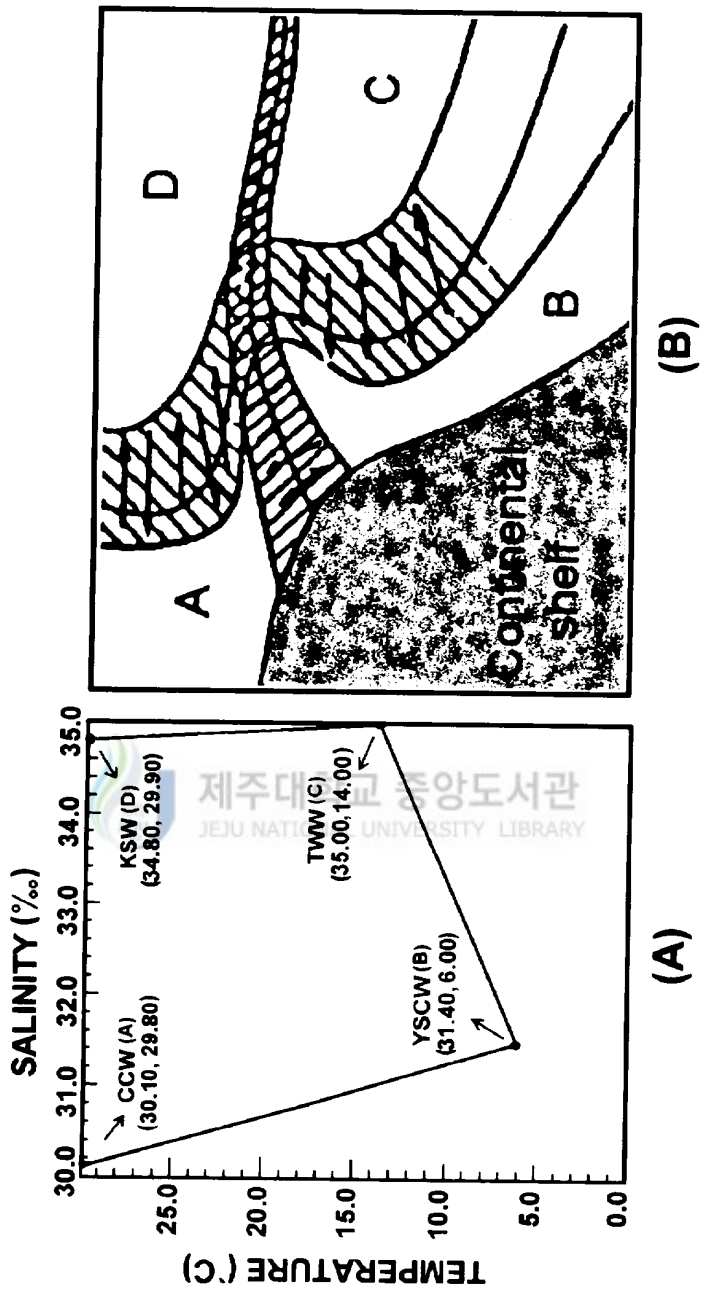
준이 일정치 않아 계절변화를 비교하는데 어려움이 있기 때문에 여기서는 전 계절을 통해 같은 해수특성값을 사용했다. 이들의 특성값은 그림.8(A)에 제시되어 있다. 혼합비율계산은 수온과 염분만을 가지고 수괴분석을 하였던 Miller(1950)의 식을 사용하였으며, 4개의 수괴가 각각 독립적으로 혼합하는 것이 아니라 수평방향과 수직방향으로 2쌍의 수괴사이에서 주로 혼합이 이루어진다는 가정에 의한 것이다 (그림.8(B)).

그림.9는 해수타입의 혼합비율을 계산한 결과를 수심별(0m, 50m, 100m)로 나타낸 것이다. 겨울철인 2월(그림.9(A))에는 YSCW와 TWW가 주된 분포를 보이고 있다. 0m와 50m층에서 YSCW는 황해중심에서 약간 중국쪽으로 치우친 채 분포하고 있다. 이런 분포 형태는 해수특성의 수평분포에서 보여주었던 형태와 상당히 유사하다. TWW는 표층(0m)과 중층(50m)에서 황해남부까지 동중국해 전반에 걸쳐 폭넓은 분포를 보이고 있다. 이 해수가 황해남부까지 분포를 보이는 것은 TWW가 겨울철에 황해남부에 이르기까지 동중국해 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있음을 보여주며, TWW가 겨울철에 황해방면으로 북상하여 분포하는 것을 알 수 있다. 4월(그림.9(B))에도 전반적인 수괴분포 특징은 2월과 비슷하다. 그러나 TWW가 2월보다는 상당부분 대륙붕단 부근으로 축소되어 있다. 수평분포에서 보여주었던 분포와는 조금 다른 양상을 보이고 있는 것으로 보아 자료의 분포가 불규칙 (동중국해 남쪽해역의 자료가 거의 없음) 한데 그 원인이 있는 것 같다.

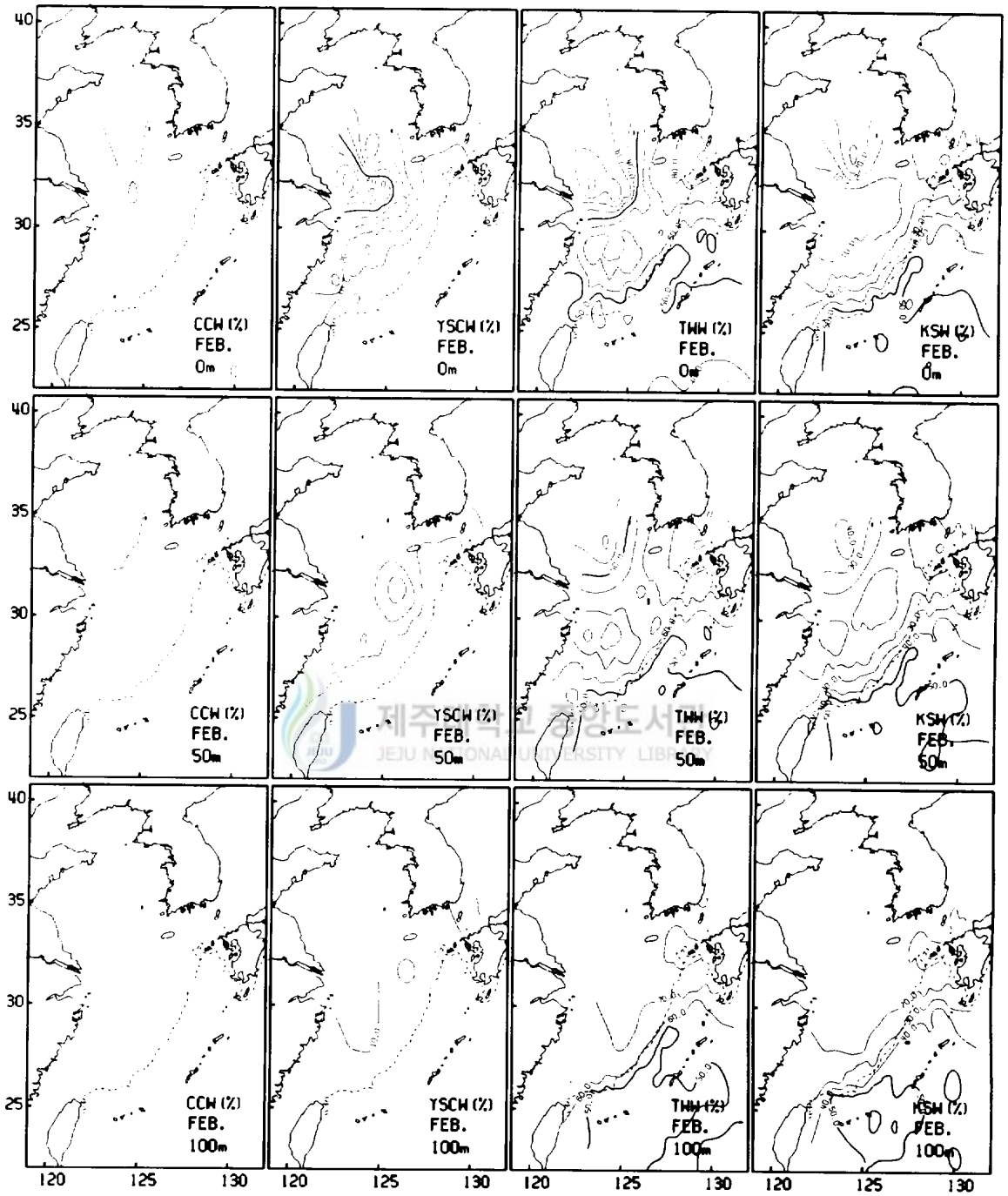
제주대학교 중앙도서관

여름철인 8월(그림.9(C))에는 표층(0m)에서는 CCW와 KSW가, 50m층에서는 TWW와 YSCW가 주된 분포를 보이고 있다. CCW는 양자강 주변해역에서 동중국해를 가로질러 제주 동쪽해역까지 이르는 폭넓은 분포를 보이고 있다. 50m층에서는 겨울철(2월)에 황해부근까지 동중국해 전반에 걸쳐 폭넓은 분포를 보이던 TWW가 대륙붕단 부근에 축소되어 분포하고 있다. YSCW는 그 혼합비율정도는 작지만 황해방면에서 동중국해 방면으로 확장되어 분포하고 있는 것을 볼 수 있다. 10월분포(그림.9(D))에서는 TWW의 분포가 거의 제주도 근방에 치우쳐 있다.

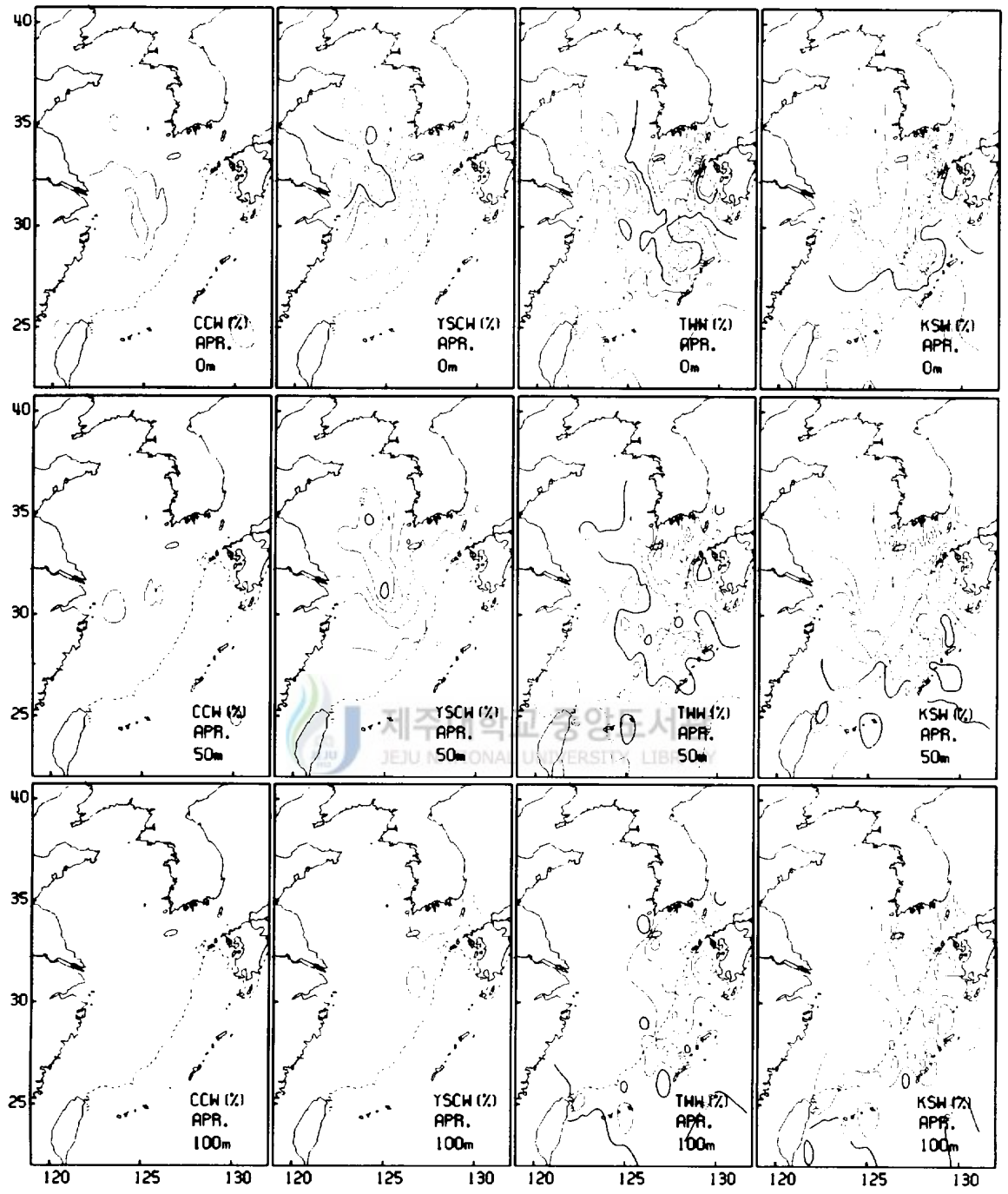
혼합비율을 이용한 수괴분석 결과는 수온과 염분의 수평분포에서 확실하지 않았던 부분을 명확하게 보여주었다. 즉, 황해와 동중국해에서는 난류수가 겨울철에 황해방면으로 북상하여 분포하는데 비해, 여름철에는 동중국해 방면으로 남하하



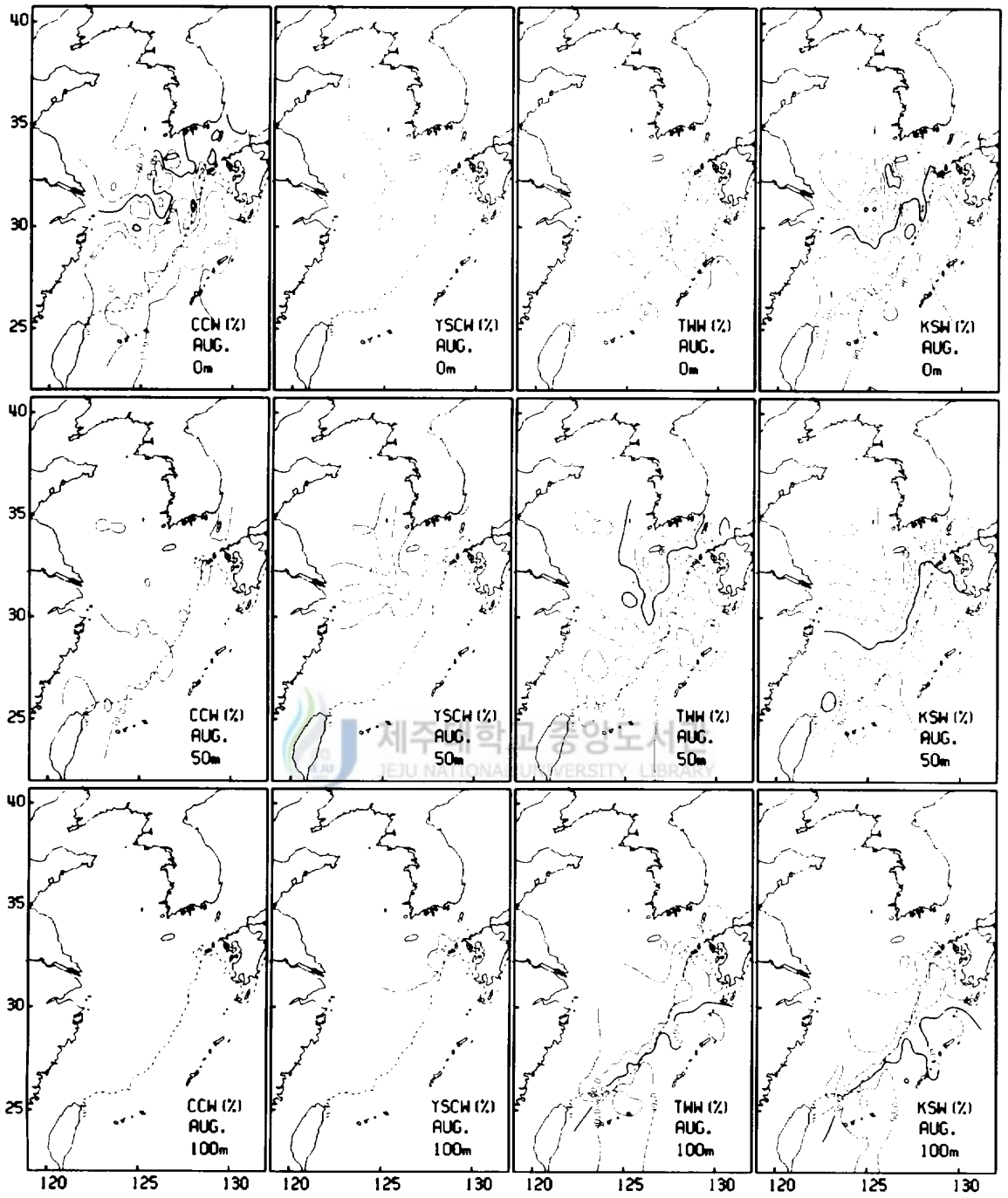
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



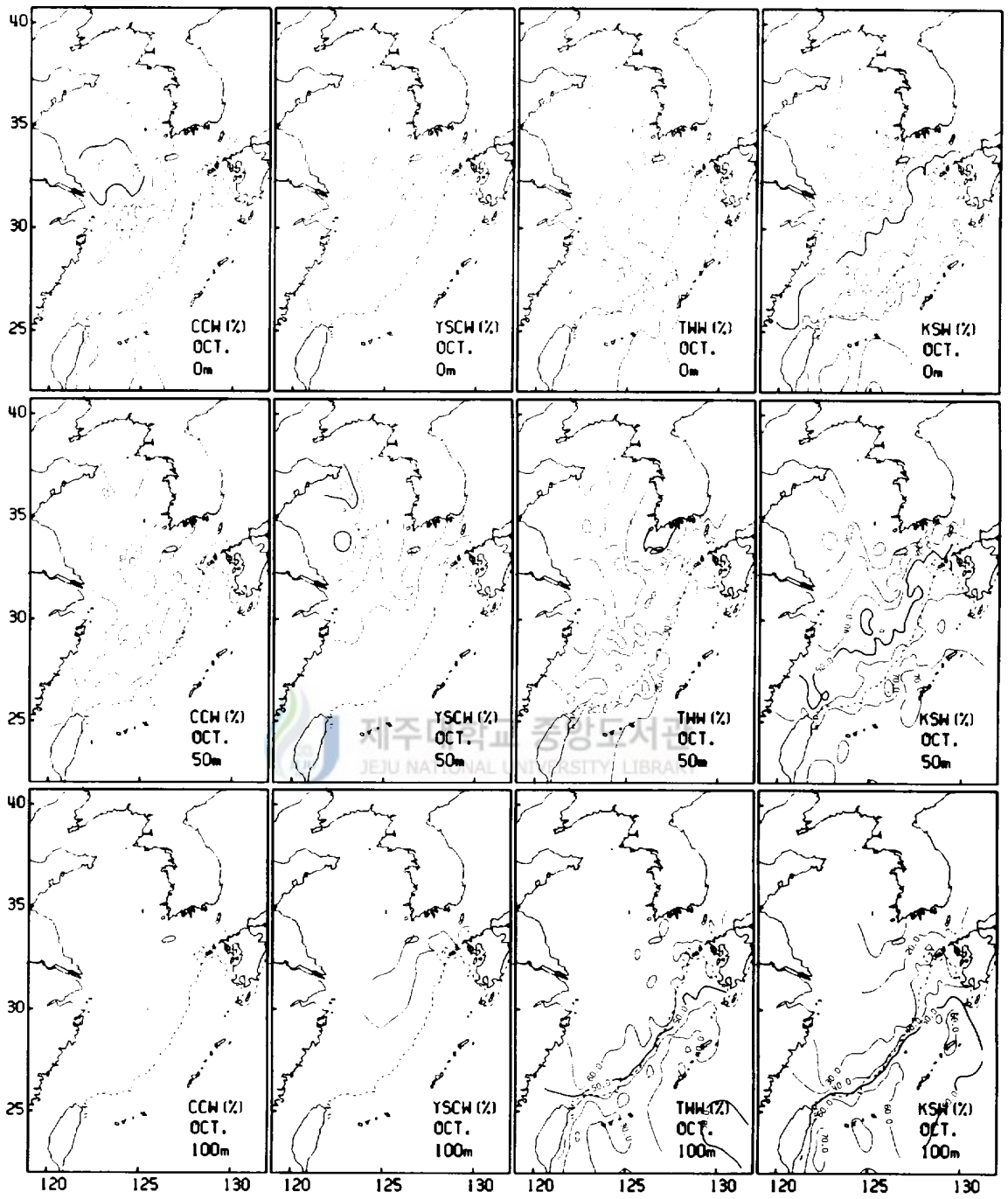
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

여 분포한다. 이것은 황해저층냉수의 이동과 함께 발생하며 대마난류수는 겨울철에 북상하고 여름철에 남하하는 계절변화를 보여준다.

4. 해수분포 변화로 본 유량변동

겨울철에 황해방면까지 분포했던 대마난류수가 여름철에는 대륙붕단 부근으로 축소되어 분포하는 것으로부터 대한해협을 통과하는 대마난류수 유량의 계절변동량을 대략 계산해 볼 수 있다.

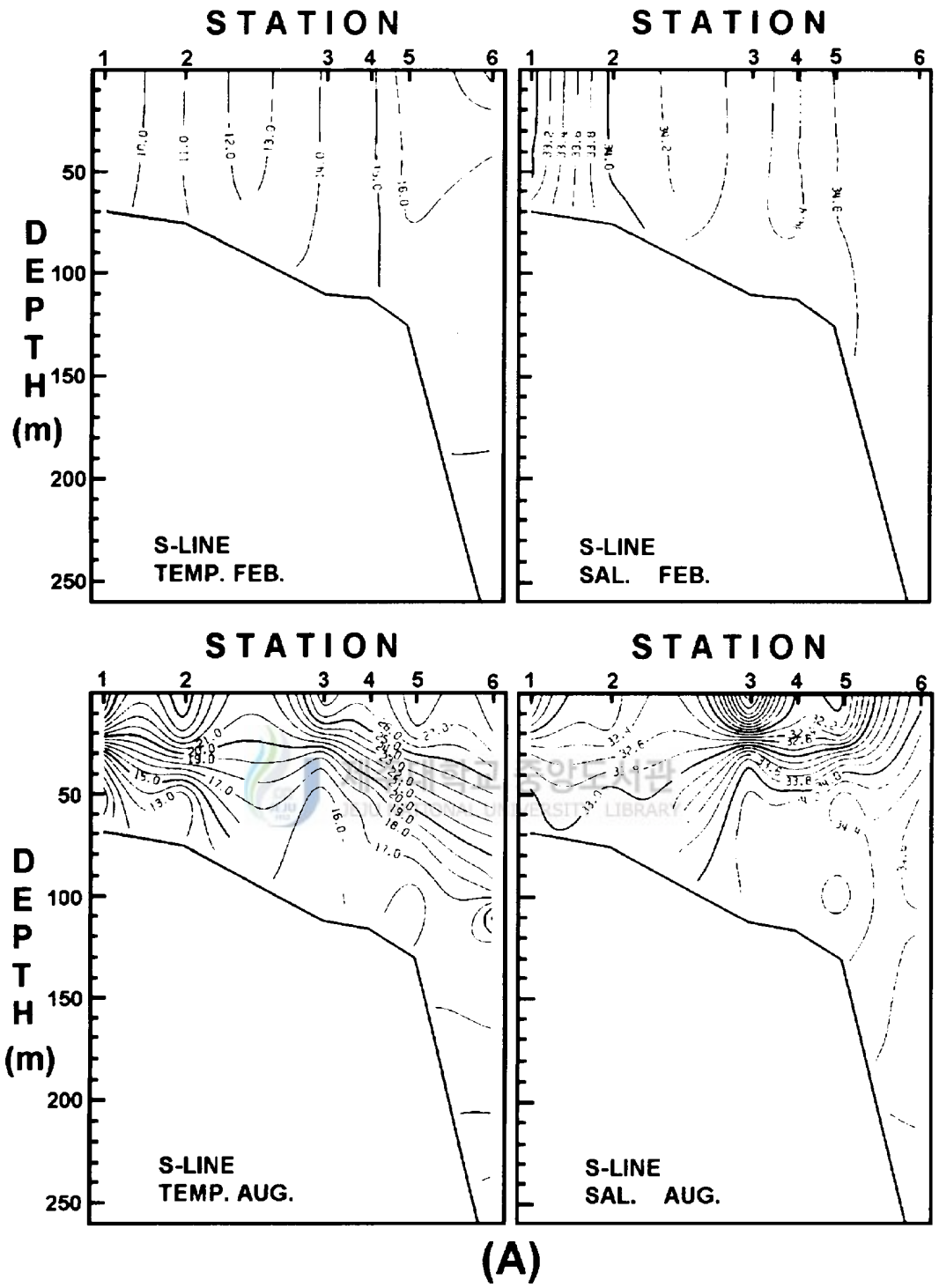
그림.10(A), (B)는 그림.11에서 동중국해를 가로지르는 S선과 P선의 수온과 염분의 수직단면도를 보여준다. S선의 수온분포에서는 겨울철에 황해냉수의 경계로 받아들여지고 있는(현, 1996 Pang et al, 1998) 33.5‰이하, 10℃이하의 해수가 S2이북에 분포하고 있다. 또한 34‰이상 고염의 대마난류수가 대략 S2부근에까지 분포한다. 여름철에는 수온의 증가로 저층냉수를 어느 온도로 정해야하는지 쉽지 않다. 따라서 여름철에는 염분으로만 구분해 보았으며 일단 34‰을 대마난류수의 경계로 생각해 보았다. 염분분포에서 2월에 S2지점에 나타났던 34‰선은 8월에는 S3의 저층에 나타나고 있다. P선에서도 대략 겨울철에 P2에서 여름철에 P3로 이동하고 있다. S2지점에서 S3지점까지의 거리는 약 240Km이다. 대마난류수의 남북거리를 대륙붕단과 평행하게 약 1000Km정도로 하고, 100m의 수심을 갖는다고 할 때, 이 만한 양의 대마난류수가 약 6개월간의 시간간격으로 대한해협으로 유출된다면, 이 때의 유량변동폭은 약 1.5Sv 정도일 것이다. 이 수치는 대한해협의 유량변동폭(약 2.0Sv)과 일치하지는 않지만 근사치를 보여주고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

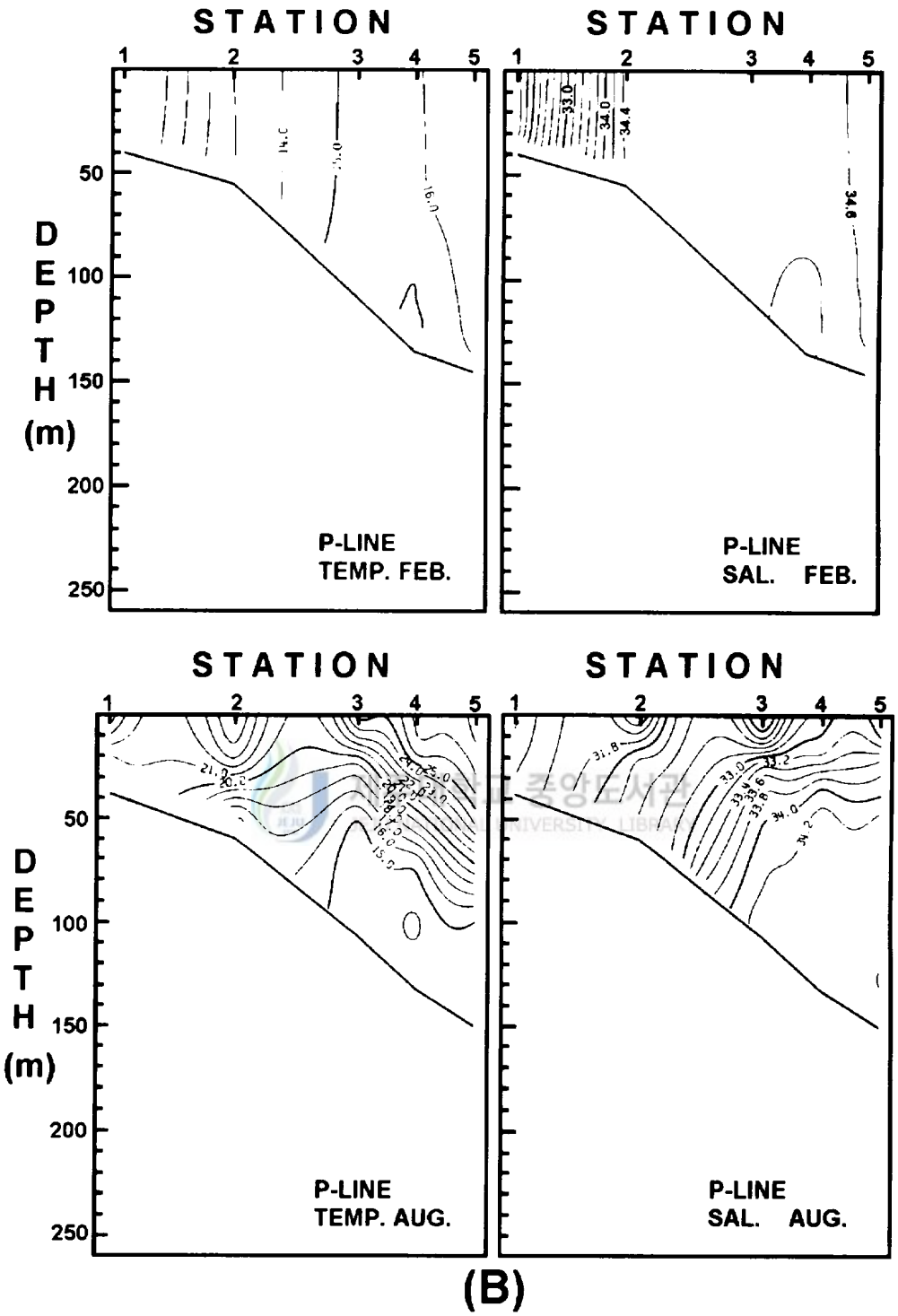
Ⅲ. 해수순환의 계절변화

1. 힘의 균형

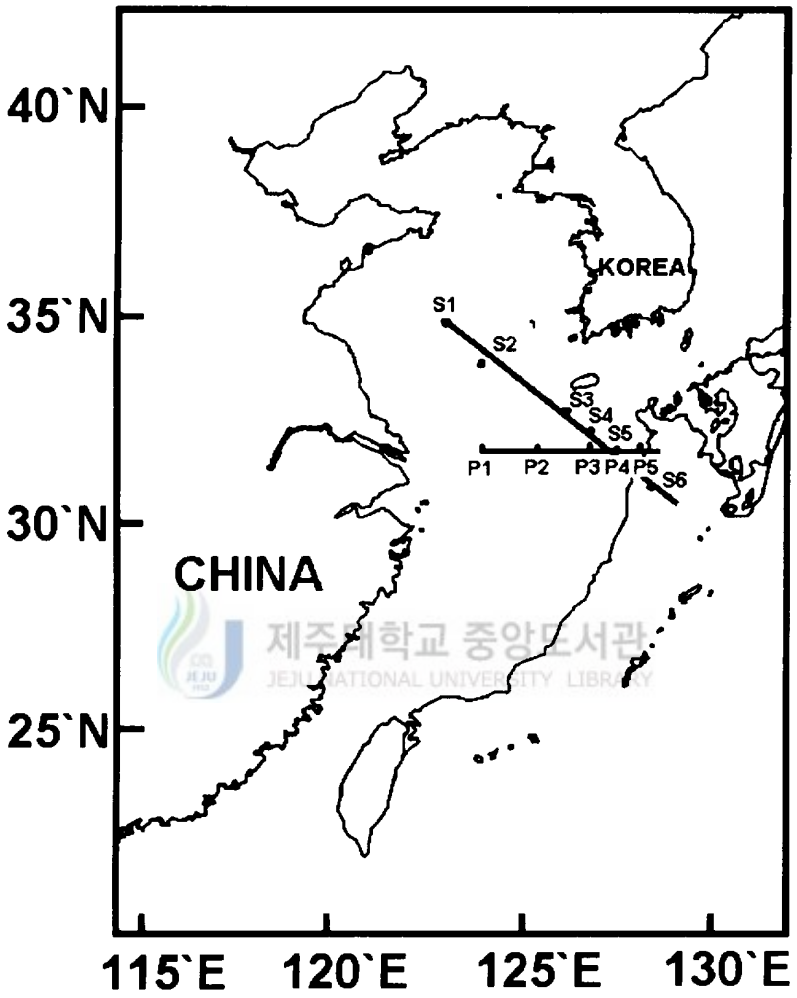
지금까지 살펴본 해수분포의 계절변화는 겨울철에 황해방면으로 북상하는 난류수의 분포와 여름철에 동중국해 방면으로 남하하는 황해저층냉수의 분포를 특


STATION
1 2 3 4 5 6
DEPTH (m)
50
100
150
200
250
S-LINE
TEMP. FEB.
S-LINE
SAL. FEB.
S-LINE
TEMP. AUG.
S-LINE
SAL. AUG.

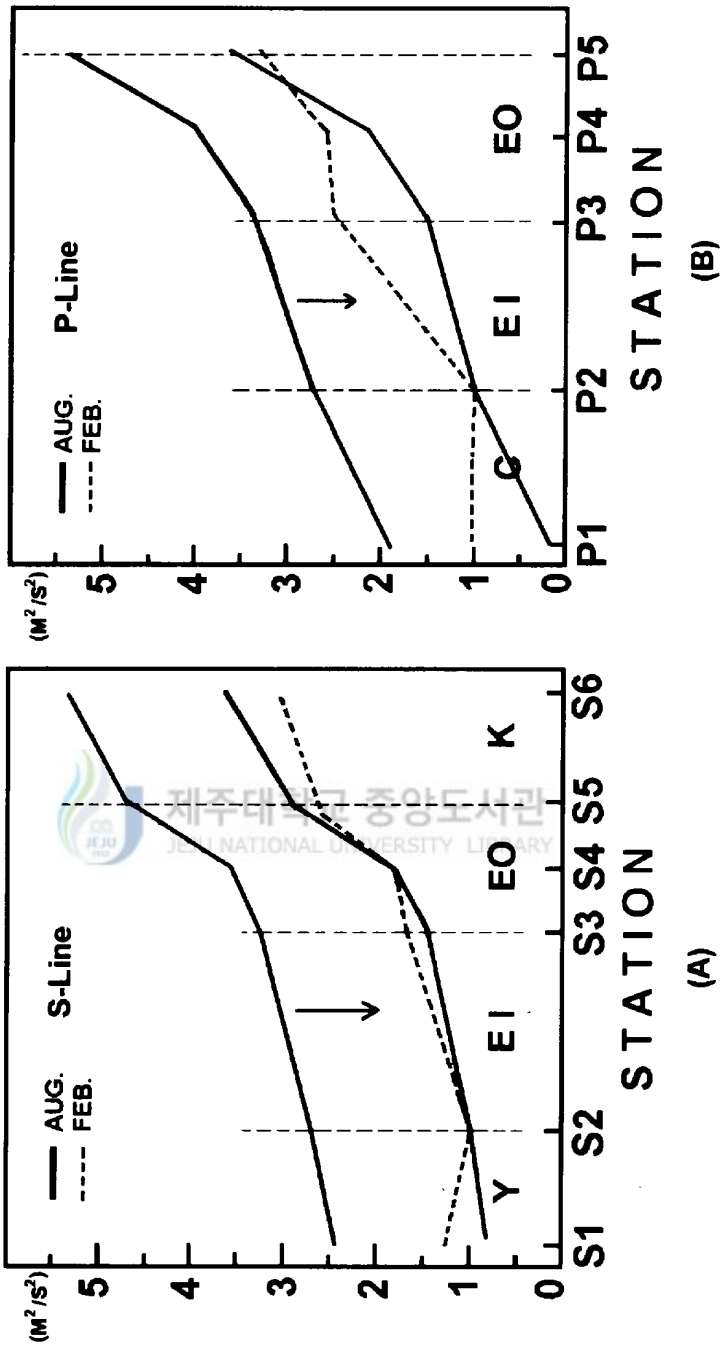
(A)


STATION
1
2
3
4
5
DEPTH (m)
50
100
150
200
250
P-LINE
TEMP. FEB.
P-LINE
SAL. FEB.
P-LINE
TEMP. AUG.
P-LINE
SAL. AUG.

(B)



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

정적으로 보여주었다. 이에 따라 겨울철에 동중국해 전반에 걸쳐 폭넓은 분포를 보이던 대마난류수는 여름철에는 대륙붕단 부근으로 축소되어 분포하게 되며, 이 축소된 거리로 유도된 대마난류수의 유량변동폭(약 1.5Sv)은 대한해협을 통과하는 대마난류수의 유량변동폭과 근사치를 이루었다. 이 절에서는 이러한 변화를 야기시키는 원인을 알아보기 위해 황해와 동중국해의 해수면 변화를 살펴보았다.

해수면 변화를 보기위해 그림.3에 제시된 관측점에서 일부 자료만을 선택해 그림.11과 같이 황해와 동중국해를 가로지르는 S선과 양자강입구 부근에서부터 동중국해를 동서로 가로지르는 P선의 해수면의 변화를 살펴보았다. 해수면 높이는 역학심도로 구했으며 무류면은 해저로 놓았다.

그림.12에서 점선은 2월, 실선은 8월의 해수면을 나타낸다. 해역은 S선에서는 황해(Y)와 동중국해 안쪽해역인 동중국해 내해(EI), 대륙붕단 부근인 동중국해 외해(EO), 쿠로시오 해역(K)으로 구분하였다. P선에서는 양자강부근 해역(C)과 동중국해 내해(EI), 동중국해 외해(EO)로 구분하였다. 분석상의 편의를 위해 2월을 기준으로 하고, 8월 해수면 높이에서 일정값을 뺀 후 S2와 P2의 해수면을 일치시켜 2월달 해수면과 같은 선상에 놓고 비교하였다.

S선과 P선이 같은 경향을 보여주고 있는데, 동중국해 내해(EI)에서는 2월보다 8월에 완만한 해수면 경사를, 동중국해 외해(EO)에서는 2월보다 8월에 급한 해수면 경사를 보여주고 있다.

여름철 동중국해 내해의 완만한 경사는 수온상승과 담수의 유입에 의한 해수특성의 변화로 설명될 수 있다. 고온저염화된 동중국해 내해의 해수는 겨울보다 여름에 높은 해수면을 형성하면서 해수면 경사는 완만해진다. 완만해진 해수면 경사는 동중국해 외해쪽에서 내해쪽으로 형성되는 압력장(pressure field)을 약화시키면서 겨울철 동중국해 내해쪽으로 확장된 해수를 대륙붕단 방면으로 이동시키게 된다. 이것은 여름철 황해저층냉수가 동중국해 방면으로 남하할 수 있는 원인을 제공해줌과 동시에 대마난류수가 대륙붕단 방면으로 축소되어 분포하는 원인을 설명해 주고 있다. 대륙붕단 쪽으로 밀려든 해수로 인해 대륙붕단 부근에서는 전선이 형성되어 해수특성의 변화가 커지게 되고, 결국 대륙붕단 부근의 해수면 경사는 겨울철보다 여름철에 커지게 된다. 이것은 대마난류수가 겨울철보다 여름철에 강화되고 있음을 보여주고 있는 것으로, 여름철 대륙붕단 부근에서 대마난류수는 폭이 좁아지면서 유속이 빨라지게 된다. 또한 이 해역은 수심이 깊은

곳이기 때문에 전체적으로는 유량이 증가하게 된다.

2. 역학심도로 본 해수순환

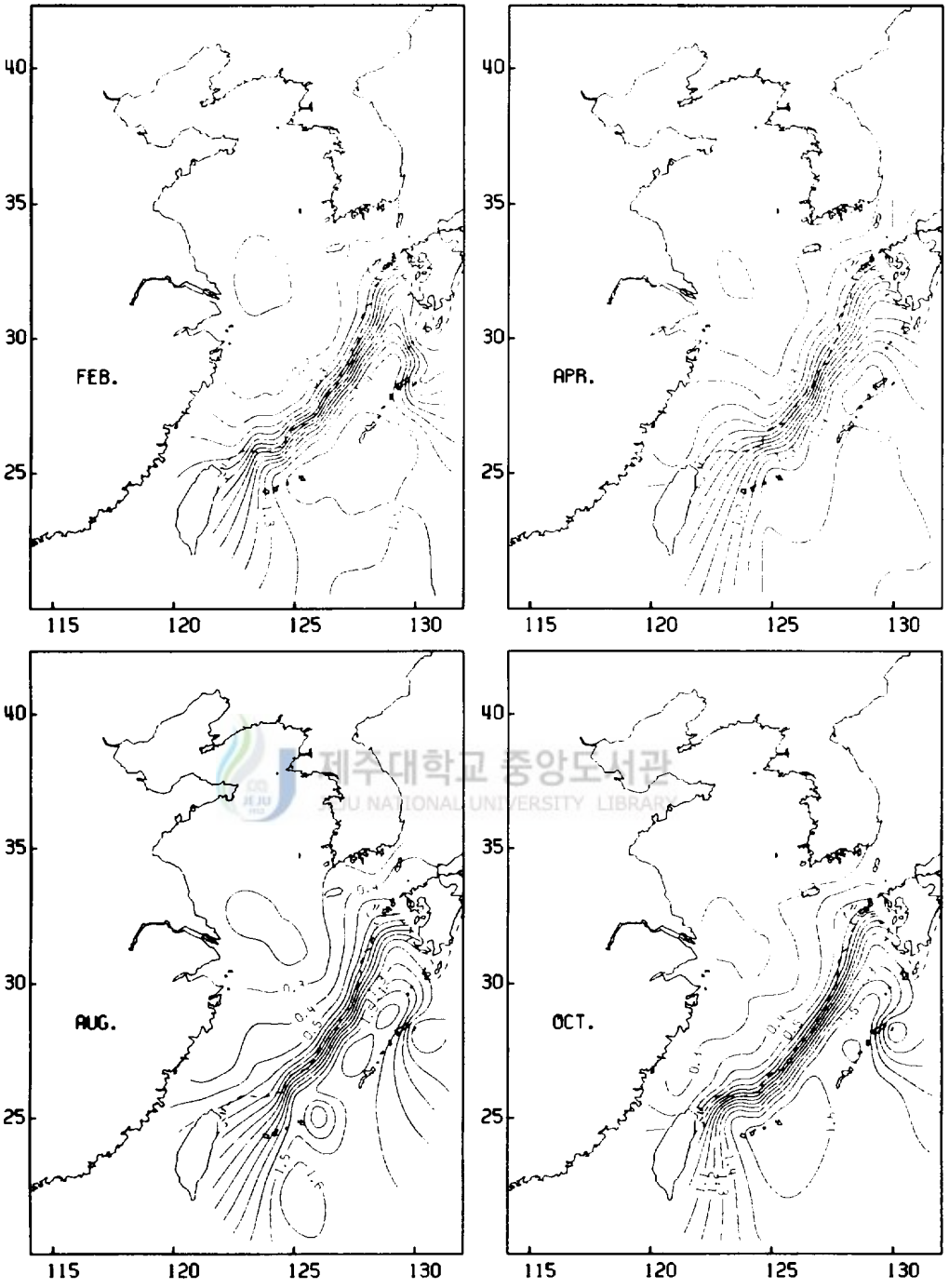
황해와 동중국해의 해수순환구조를 살펴보기 위해 역학심도편차(dynamic depth anomaly)를 계산해 그 분포를 살펴보았다.

그림.13은 수심이 500m이하일때는 표층에서 저층까지, 수심이 500m이상일때는 표층에서 500m까지를 무류면으로 한 역학심도편차 분포도이다. 500m는 동중국해의 대마난류를 파악하기에는 충분한 수심이다. 참고로 수심이 500m이상인 곳은 쿠로시오 중층수의 하부에 가까우며, 쿠로시오 수송량의 거의 대부분은 500m이천에서 나타나기 때문에(Nitani, 1972), 500m보다 이심인 곳에서의 변화는 무시할 수 있다.

겨울철인 2월에 0.3~1.4의 분포범위를 보이는 쿠로시오 해수의 역학심도편차가 여름철인 8월에는 0.5~1.5의 분포범위를 보인다. 이것은 쿠로시오가 계절에 따른 변화를 거의 하지 않음을 나타내고 있으며, 오히려 여름보다 겨울에 유량이 증가할 수 있음을 보여준다. 이에 비해 대한해협에서는 겨울철인 2월에 0.2~0.3으로 0.1정도의 차를 보이던 것이 여름철인 8월에는 0.3~0.5로 0.2정도의 차를 보임으로써 겨울철보다 약 2배정도 증가했음을 알 수 있다. 이는 대한해협을 통과하는 대마난류수의 흐름이 겨울철보다 여름철에 2배정도 빠르다는 것을 보여주고 있으며, 결국 2배정도의 유량증가를 기대할 수 있다.

대한해협을 가로지르는 등치선들은 대륙붕단을 따라 대만부근 해역으로 연결되고 있다. 이것은 대마난류수가 어떤 특정 해역을 통해 쿠로시오로부터 분지된다는 견해 (Uda, 1934 Nitani, 1972 Kondo, 1985)와는 다른 결과를 보여주는 것으로, Lee(1996)의 보고에서도 동중국해 내에서 쿠로시오로부터 분지되는 대마난류수의 흐름은 나타나고 있지 않다. 참고로 이것은 그림. 4에서 2월에 쿠로시오 해수와 동중국해 해수가 분리되어 나타난 것과 일치하는 결과다. 또한, 대륙붕단 바깥쪽을 따라 북상하는 쿠로시오는 큐슈 남서쪽해역에서 시계방향의 회전을 가지며, 이 해수는 도카라 해협을 통해 동중국해를 빠져나가고 있다. 이런 양상은 쿠로시오가 대마난류에 직접적인 영향을 주지 않는다는 것을 의미하며, 대한해협

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

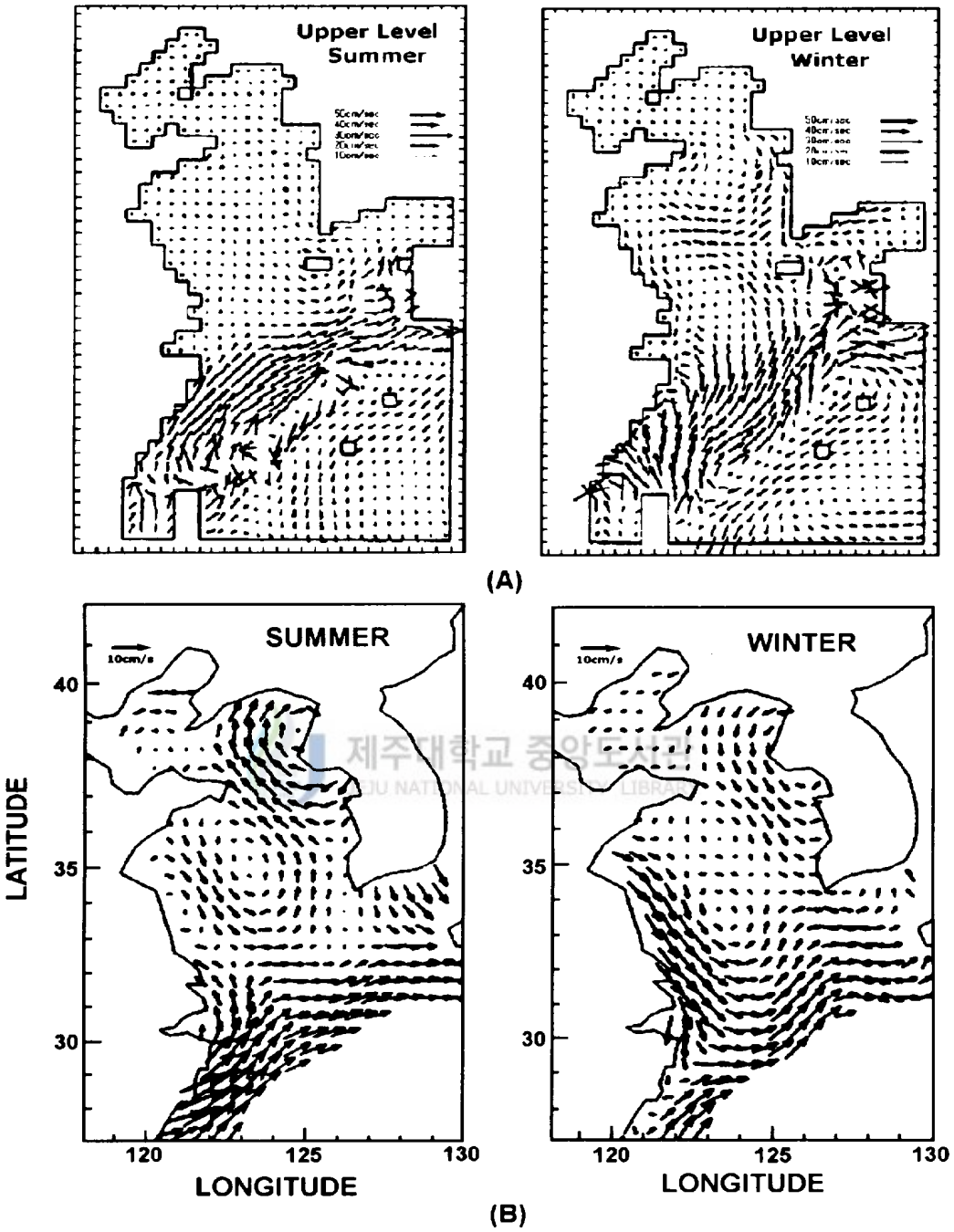
의 유량변화가 쿠로시오에 의한 것이 아니라 동중국해 해수순환의 변화에 의한 것이라는 견해를 뒷받침해 주고 있다.

Ⅳ. 결 론

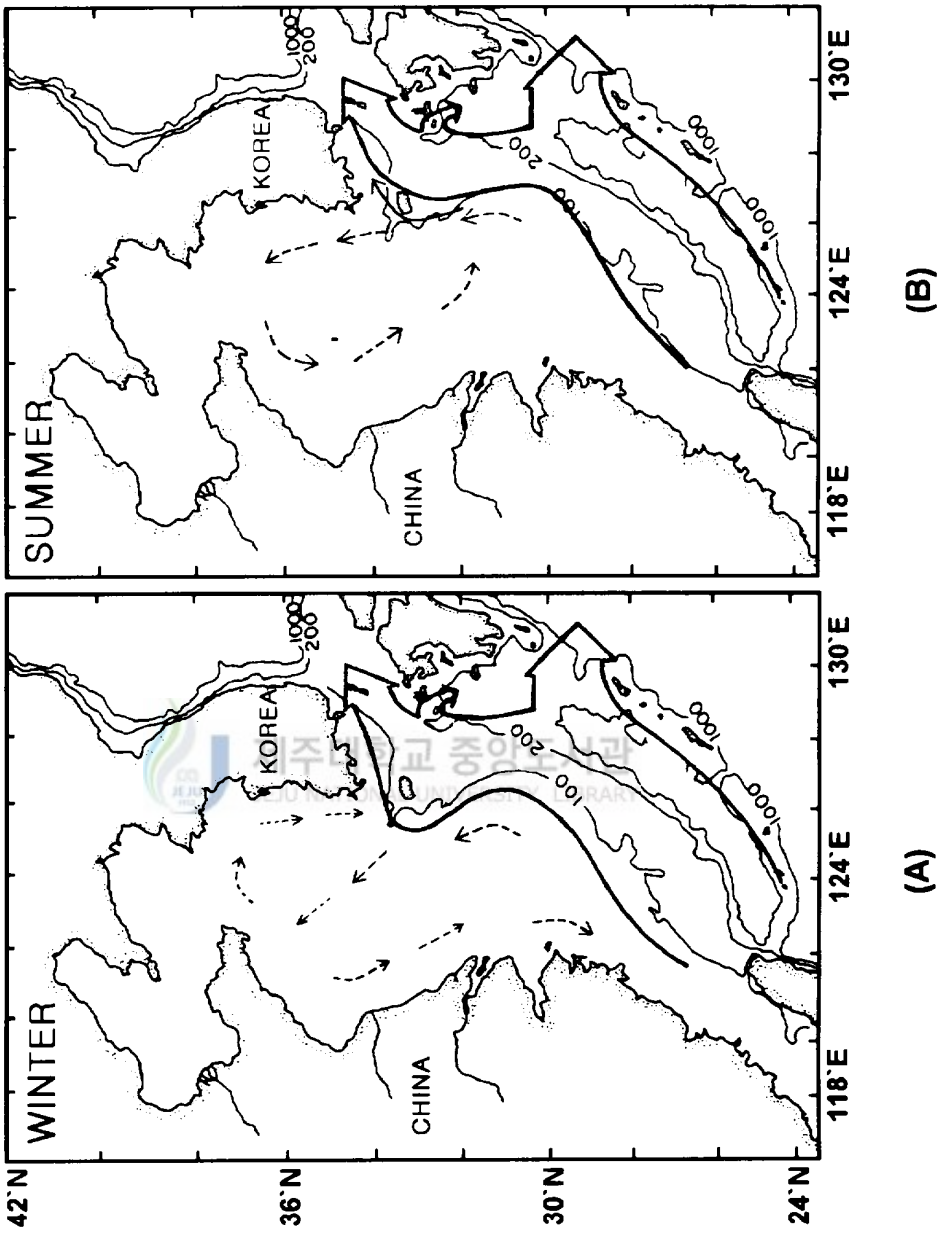
동중국해 해수분포의 계절변화와 이에 따른 해수순환의 계절변화가 대한해협 유량의 계절변화에 어느 정도 영향을 주는 가를 파악하기 위해 1965~1989년까지의 CSK자료를 사용하여 특성분포분석과 수괴분석을 실시하였다.

그 결과 동중국해 해수분포의 계절변화는 크게 두 가지 특징을 보이고 있다. 첫째, 겨울철에는 대마난류수가 동중국해로부터 황해방면으로 북상하여 분포하고 있다. 이로 인해 동중국해 전반에 걸쳐 대마난류수가 폭넓은 분포를 보이지만, 여름철에는 대마난류수가 대륙붕단 부근으로 축소되어 분포한다. 둘째, 여름철 표층에서는 동중국해 방면으로 양자강연안수가 폭넓게 분포하고 있으며, 저층에서는 황해저층냉수가 황해중심 골을 따라 동중국해 방면으로 남하하고 있다. 이런 특징들은 황해와 동중국해의 해수순환 양상을 보여주는 결과들에 의해서도 확인 될 수 있다. 그림.14(A)와 그림.14(B)의 해수순환 패턴은 정확히 일치하지는 않지만 두 그림 모두 겨울철에 황해쪽으로 북상하던 대마난류수가 여름철에는 대륙붕단 방면으로 축소되는 계절변화를 보여주고 있다. 또한 이런 결과들은 Pang et al.(1992, 98)이 제시한 황해와 동중국해 해수순환의 계절변화 모식도를 잘 뒷받침해 주고 있다 (그림.15).

이와 같은 동중국해 해수순환의 계절변화는 동중국해 내해의 압력장(pressure feild)의 변화에서 비롯되는 것으로 나타났다. 여름철에 동중국해 방면으로 폭넓게 확장된 양자강연안수는 해수면 경사를 완화시켜 겨울철에 동중국해 방면에서 황해 방면으로 향하던 압력경도력를 약화시키는 역할을 한다. 약화된 압력경도력의 영향으로 황해중앙으로부터 저층냉수가 남하하게 되고, 동중국해 해수는 대륙붕단 부근으로 이동된다. 결국 겨울철에 동중국해 전역에 걸쳐 폭넓게 분포하던 대마난류수는 여름철에는 대륙붕단 부근으로 축소되어 분포하면서 대륙붕단 부근에 강한 전선을 형성하게 된다. 강한 전선으로 인해 대마난류의 유속은 빨라지며 대륙붕단 부근으로 이동되어 분포해역이 축소된 대마난류수는 대한해협으로 유출



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY


WINTER
SUMMER
KOREA
CHINA
1000
200
100
42`N
36`N
30`N
24`N
118`E
124`E
130`E
(A)
(B)

되면서 대한해협의 유량을 증가시킨다. 축소된 거리에 의해 유도된 대마난류수 유량의 변동폭은 약 1.5Sv정도이다. 이것은 대한해협을 통과하는 유량의 변동폭과는 일치하지 않지만, 대한해협 유량의 계절변화에 영향을 주기에는 충분하다. 그러므로 동중국해 해수순환의 계절변화가 대한해협의 유량변화를 일으키는 주된 요인 중의 하나라고 생각할 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

참 고 문 헌

Chen C., R. C. Beardsley, R. Limeburner and K. Kim, 1994. Comparison of winter and summer hydrographic observations in the Yellow and East China Seas and adjacent Kuroshio during 1986, *Continental Shelf Res.* 14(7/8), 909~929.

Kondo, M., 1985. Oceanographic investigations of fishery grounds in the East China Sea I, Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50m and near the bottom. *Bull, Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, 62, 19~66.

Lee H. C., 1996. A Numerical simulation for the water masses and circulations of the Yellow Sea and the East China Sea. *Kyushu Univ.* 120 ~133

Miller A. R. 1950. A study of mixing processes of the edge of the continental shelf, *J. Mar. Res.*, 9(2).

Mitta, T. and Y. Ogawa, 1984. Tsushima currents measured with Current meter and Drifters : *In Ocean hydrodynamic of the Japan and East China Ses.* T. Ichiye, editor, Elsevier, Amsterdam, 67~76.

Nishizawa J., E. Kamaihira, K. Komura, R. Kumabe. and M. Miyazaki, 1982. Estimation of the Kuroshio Mass Transport Flowing out of the East China Sea to the North Pacific. *La mer* (Tokyo), 20(5), 5~59.

Nitani H., 1972. Beginning of the Kuroshio : KUROSHIO. Stommel, H. and K. Yoshida, editor, *Univ. Tokyo Press, Japan*, 129~163.

Pang I. C., H. K. Rho and T. H. Kim, 1992. Seasonal variations of Water Mass Distributions and their cause in the Yellow Sea, the East China Sea and the Adjacent Sesas of Cheju Island. *Bull. Korean fish. Soc.* 25(2), 151~163.

--------- T. H. Kim, T. Matsuno, H. K. Rho, 1993. On the Origin of Tsushima Current(I) : Barotropic Case. *Bull. Korean Fish. Soc.* 26(6), 580~593.

---------- K. H. Hyun, H. K. Rho, J. H. Lee and I. S. Oh, 1998. Seasonal variation of water mass distributions in the eastern Yellow Sea and the Yellow Sea Warm Current. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, in print.

Park Y. H., 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea, *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 20(2), 12~21.

Qin Y. S. and F. Li, 1983. Study of influence of sediment loads discharged from the Hanghai river on sedimentation in the Bohai and the Hanghai Sea. In : *Proceedings of the International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with special reference to the East China Sea, April* 12-16 : Hangzhou, China, Vol. 1, China Ocean Press, Beijing, 83~92.

Schubel J. R., H. T. Shen and M. J. Park, 1984. A comparison of some characteristic sedimentation processes of estuaries entering the Yellow Sea. In : *Marine geology and physical processes of the Yellow Sea, proceedings of Korea-U. S. Seminar and Workshop, June* 19-23, 1984, *Seoul, Korea*, 286~308.

Sverdrup H. V., M. W. Johnson and R. H. Fleming, 1942. *The oceans*. Prentice-Hall, New Jersey, pp.1087

Toba, Y., K. Tomizawa, Y. Kurasawa and K. Hanawa, 1982. Seasonal and year-to-year variability of the Tsushima-Tsugaru Warm Current system with its possible cause. *La mer* (Tokyo), 20, 41~51. Also in "Proceedings of the First JECSS Workshop" (ed. by T. Ichiye and K. Takano). *The Japanese-French Oceanogr. Soc.*, 5~15.

Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *J. Imp. Fisher. Exp. st.*, 5, 57~190.

Wernstedt F. L., 1972. World climate data, Climatic Data Press, pp.522.

Wyrtki K., 1966. Seasonal variation of heat exchange and surface temperature in the North Pacific Ocean. *Hawaii Institute of Geophysics*, University of Hawaii, pp.80.

Yanagi T. and S. Takahashi, 1993. Seasonal variation of Circulations in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. of Ocenogr.*, 49, 503~520.

--------- and A. Morimoto and K. Ichikawa, 1997. Seasonal variation in surface circulation of the East China Sea and the Yellow Sea derived from satellite altimetric data. *Continental Shelf Res.*, 17(6), 655~664.

Yang Z. S., J. D. Milliman and M. G. Fitzgerald, 1983. Transfer of water and sediment from the Yangtze River to the East China sea, June, 1980. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 72~82.

Yi S. U., 1966. Seasonal and Secular variations of the water volume transport across the Korea Strait. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 12, 7~13.

남수용, 1996. 동중국해에서 대마난류 형성에 대한 수치실험 연구. 인하대학교 박사 학위논문. 25~50

방익찬, 김태희, 1990. 황해와 동지나해 해수순환에 대한 바람의 영향. 제주대학교 논문집. 31, 49~61

현경훈, 1996. 남·서해의 계절순환과 여름철 난류수의 서해 유입. 제주대학교 석사 학위논문, 12~17.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

요 약

동중국해 해수순환의 계절변화와 대한해협의 유량변화

동중국해 해수순환의 계절변화가 대한해협 유량의 계절변화에 어떤 영향을 주는 지를 알아보기 위해 쿠로시오와 주변해역에 대한 공동연구(CSK)를 목적으로 관측된 수온, 염분자료(1965~1989)를 사용하여 동중국해 해수분포의 계절변화와 이에 따른 해수순환의 계절변화를 살펴보았다. 겨울철에는 황해방면으로 난류수가 확장되는 반면 여름철에는 저층에서 동중국해 방면으로 저층냉수가 확장되고 있다. 이러한 변화는 동중국해에서 황해로 향하는 압력장이 여름철에 약화되면서 발생하는데 압력장이 약화되는 원인은 양자강연안수로 인한 저염화 때문이다. 이로 인해 대마난류수는 여름철에 대륙붕단 부근으로 축소되며, 대륙붕단 가까이에서 유속이 강화된다. 축소된 거리에 의해 환산된 대마난류수 유량의 변동은 대한해협 유량의 계절변화에 영향을 주기에 충분하다.

주요어 : 양자강연안수, 대마난류수, 황해저층냉수, 압력장

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

감사의 글

긴 터널을 빠져 나온 듯한 느낌이지만 왠지 모를 아쉬움에 자꾸 뒤를 돌아보게 됩니다. 아마도 많은 분들의 사랑에 만족스러운 보답을 드리지 못한 아쉬움이겠지요. 긴 방황의 시간들이 있었지만 그 속에서도 작으나마 이런 결실을 얻을 수 있도록 사랑과 격려로 배움의 길로 인도해 주신 방익찬 교수님께 진심으로 감사의 말씀 드립니다. 그리고 1년동안 부족한 저를 지도해 주셨던 나가사키 대학의 matusno선생님과 해양학연구실 가족들, 짧은 유학생활동안 항상 함께 해주셨던 지금도 연구에 전념하고 계실 박환준 선생님, 문상욱 선배님, 원배 오빠와 정화언니, 현진언니에게도 고마운 마음 전합니다.

바쁘신 와중에도 논문심사를 위해 애써 주셨던 고유봉 교수님과 지도 교수님 이상으로 논문지도에 관심을 가져주시고, 논문심사를 위해 어려운 걸음 해주셨던 한국 해양연구소 이형모 박사님께 짧은 글로나마 깊은 감사의 말씀 드립니다. 미흡한 논문이지만 많은 관심과 조언을 주셨던 윤정수 교수님, 최영찬 교수님, 이준백 교수님, 윤석훈 교수님께도 깊이 감사드립니다. 이제는 대가족이 된 해양학과 대학원생들, 특히 만학의 길을 걷고 있는 선배님들과 배움의 문을 두드린 후배 대학원생들에게 항상 좋은 일이 함께하길 진심으로 기원합니다. 그리고 오랜 시간 동안 즐거움과 어려움을 같이 하며 힘이 되어주었던 경훈선배와 묵묵히 자기 길을 가고 있는 창수, 항상 웃음을 주는 영미, 어려움 속에서도 배움의 끈을 놓지 않고 계시는 유종인 선생님 그리고 항상 멀리서 지켜봐 주시는 김태희 선배님과 문재인 선배님에게 감사의 마음을 전합니다. 어려운 유학생활에서도 웃음을 잊지 않고 학문의 길을 가고 있는 나의 영원한 친구 은주에게 사랑의 마음을 전하며, 따뜻한 위안을 주는 재철, 정훈, 혜금, 상운, 창희에게 좋은 일만 가득하길 빕니다. 큰 아들이라는 무거운 짐 속에서도 동생들의 일이라면 아낌없이 희생하는 사랑하는 오빠와 힘든 학문의 길을 갈 동생 훈이, 우리 가족의 꿈인 막내 진이에게 미안한 마음과 아울러 사랑한다는 말을 전합니다. 마지막으로 사랑이라는 말만으로는 왠지 부족한 느낌이 들지만 사랑밖에는 드릴수 없는 부족한 제게 제 길을 갈 수 있도록 묵묵히 마음을 열고 지켜봐 주시는 사랑하는 어머니, 아버지께 감사의 마음과 함께 이 논문을 드립니다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY