석 사 학 위 논 문

황해와 동중국해 해수순환에 대한 바람의 영향

제 주 대 학 교 대 학 원

해 양 학 과

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

김 태 희

1990년 12월

황해와 동중국해 해수순환에 대한 바람의 영향

지도교수 방 익 찬

김 태 희

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함.

1990년 12월

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

김태희의 이학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장 _____

위 원 _____

위 원 _____

제 주 대 학 교 대 학 원

1990년 12월

Effects of winds on the circulations in the Yellow and East China Seas

Tae-Hee Kim
(Supervised by professor Ig-chan Pang)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

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

DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1990. 12

목 차

List of Figures and table

Summary ——— 1

Ⅰ.서 론 ——— 2

Ⅱ.해수분포의 계절변화와 해수순환 ——— 7

Ⅲ.Box Model ——— 8

Ⅳ.수치모델실험 ——— 22

Ⅴ.결 론 ——— 23

Ⅵ.토 의 ——— 31

참고문헌 ——— 33

부 록 ——— 38

감사의 말씀

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

List of Figures and Table

Fig. 1 Map of the East China Sea. ——— 3

Fig. 2. Known or argued phenomena related to circulations in the Yellow and East China Seas (a) in winter, (b) in summer. ——— 4

Fig. 3. Seasonal variations of mean salinity distributions on the 50m layer in the Yellow Sea and East China Sea (After Kondo, 1985) ——— 8

Fig. 4. Seasonal variations of the northern boundaries(34.0‰ isoine) of Tsushima waters areas in the East China Sea. ——— 10

Fig. 5. Seasonal variations of mean temperature distributions on the 50m layer in the Yellow Sea and East China Sea (After Kondo, 1985) ——— 12

Fig. 6. T-S diagrams of 50m layer in the area of 126°E-127°E and 31°30'N (a) in winter (b) in summer, during 5 years. ——— 13

Fig. 7. Vertical temperature distributions along the 32°N Section (a) in winter (b) in summer. ——— 14

Fig. 8. Vertical temperature distributions along 4 latitudinal sections from north to south in summer. ——— 15

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 9. Schematic representation of Box Model used in this paper ——— 19

Fig.10. Numerical results of the circulations in the Yellow and East China Seas driven by only the Kuroshio Current. ——— 24

Fig.11. Numerical results of the circulations in the Yellow and East China Seas driven by the Kuroshio Current and Northerly Winds. ——— 26

Fig.12. Numerical results of the circulations in the Yellow and East China Seas driven by the Kuroshio Current and Southerly Winds. ——— 27

Fig.13. Schematic representation of the circulations in the Yellow and East China Seas (a) in winter (b) in summer. ——— 29

Fig.A-1. Finite difference grid used in the Model. ——— 40

Table 1. Values of each variable used in Box Model. ——— 21

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Summary

In the East China Sea, the distributions of the Tsushima waters are extended to the north-west direction in winter, to the entrance of the Yellow Sea, and shrinked to the south-east direction in summer, to the south and east of Cheju Island. This seasonal variations seem to be related with the seasonal variations of Tsushima water transport in the Korea strait. The analysis on the seasonal salinity variations in the north-west seas of Cheju Island show the necessity of water flows to and from the Yellow Sea. This could give a clue to the present argument of the existence of Yellow Sea Warm Current in winter and also of the south-extension of Yellow Sea Bottom Cold Water in summer. As upwind flows driven by seasonal wind, the water flows to and from the Yellow Sea drive another circulation in the East China Sea and thus result in the seasonal variations of water distributions.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅰ.서 론

동중국해(East China Sea)는 대부분의 수심이 약 200m 이하의 대륙붕으로 형성된 천해역으로 북쪽으로는 황해와 접해있고 남쪽으로는 북태평양과 접해있으며 대한해협을 통해 동해와도 접해있다(Fig.1). 동중국해 대륙붕 가장자리를 따라 쿠로시오(Kuroshio)가 흐르고 있고, 이 해류의 일부가 동중국해로부터 북상하여 대한해협을 통해 동해로 유입되어 대마난류를 형성하게 된다. 고온고염인 대마난류수 (광의의 의미로 쿠로시오 본류에서 동중국해로 북상한 후 대한해협으로 유출되는 모든 고온고염의 쿠로시오계 해수)의 분포는 동중국해에서 겨울철에 북서쪽으로 확장하고, 여름철에 남동쪽으로 후퇴하는 계절변화를 하는 것으로 보고 되었는데(방과 김 1989), 이러한 해수분포의 계절변화는 황해와 동중국해의 해수순환을 파악하는데 매우 중요하다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

황해와 동중국해에서의 해수순환은 계절에 따라 다르게 나타나고 있다. 즉, 북서풍이 부는 겨울철에는 동중국해에서 대마난류수의 분포범위가 제주도의 북서방향으로 확장되고(방 과 김, 1989), 또 황해난류수가 황해로 유입하고 있으며(Kim, 1988; KORDI, 1986), 대한해협에서 대마난류수의 유량은 감소하는 현상이 나타난다. 반면에 남동풍이 부는 여름철에는 대마난류수의 분포범위가 남동방향으로 축소되고, 황해저층냉수가 남하하고(윤, 1986; Lie, 1986; Park, 1985), 양자강연안수가 표층에서 제주해협으로 유입(김, 1986; Lie, 1986; Kim, 1988)되고 있으며, 대한해협에서는 대마난류수의 유량이 증가하고 있다. 이러한 해수순환들을 겨울철과 여름철로 나누

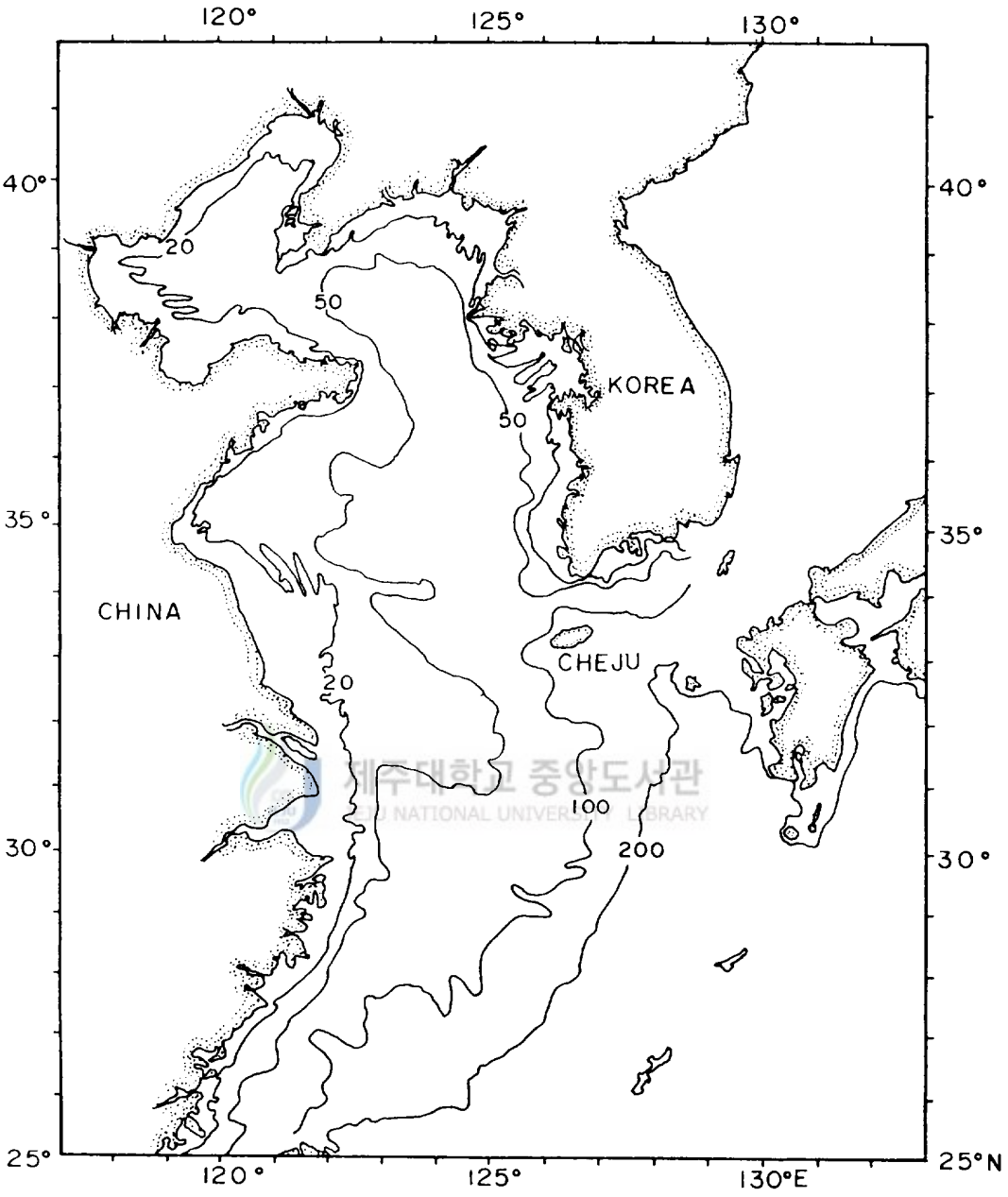


Fig. 1 Map of the East China Sea.

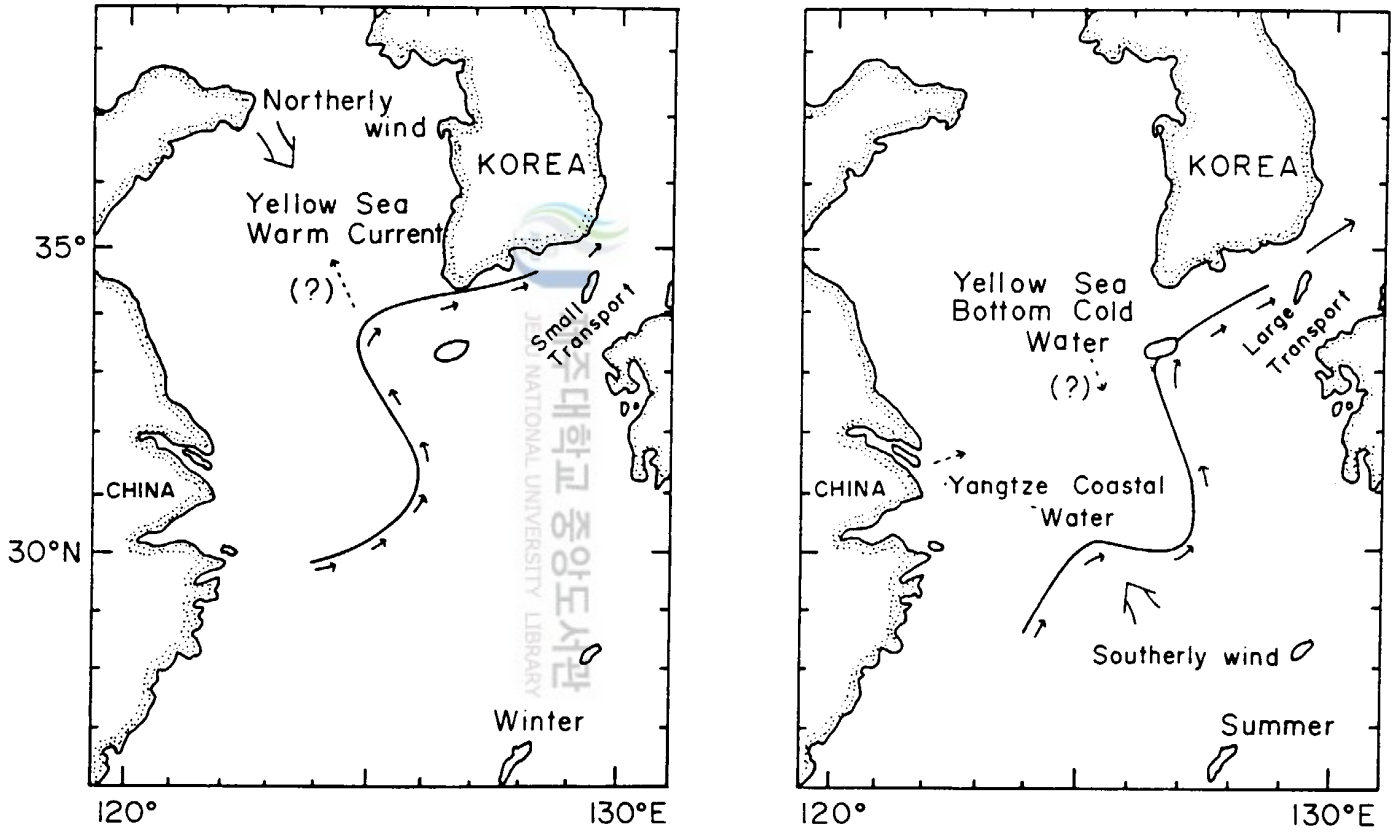


Fig. 2. Known or argued phenomena related to circulations in the Yellow and East China Seas (a) in winter, (b) in summer.

어 Fig.2에 나타내었다. 이 현상들의 특징은 특정한 계절에만 나타나거나 또는 계절에 따른 변화를 보이는 것으로 어떤 계절적 요인에 의해 발생하는 현상들로 보인다. 이와는 대조적으로 대마난류수는 년중 나타나는 강한 흐름으로서 계절적 요인이 아닌 다른 요인에 의해 발생하는 현상으로 생각된다. 그러나, 이러한 대마난류수의 흐름만으로는 황해와 동중국해에 나타나는 대마난류수 분포의 계절변화를 설명하기 힘들다. 그러므로 황해와 동중국해에는 서로 독립된 요인에 의해 발생하는 두 개의 해수순환이 있는 것으로 보인다. 이 해역에서 계절적으로 변화하는 해수순환은 그것이 발생하는 시간의 길이(6개월)로 보아 대마난류수의 흐름과 같은 강한 해수순환이 아닌 완만한 흐름의 해수순환으로 생각된다. 이와같이 완만한 해수순환은 황해와 동중국해의 여러 해수순환 현상들과 관계있는 것으로 보여 이 해역의 해수순환 규명에 매우 중요한 의미를 갖는다고 생각된다.

황해와 동중국해에서 해수분포의 계절변화를 일으킬 수 있는 요인으로는 크게 쿠로시오 유량 및 유속의 계절변화, 해양표면을 통한 대기와 해양간의 열교환에 의한 계절적인 변화와, 계절풍으로 생각할 수 있다. 이 중 쿠로시오의 변화는 규칙적인 계절변화가 뚜렷이 나타나지 않기 때문에 (Nakao, 1977; Nitani, 1972) 동중국해의 계절변화의 요인으로 보기는 힘들며, 해양표면을 통한 열교환과정 또한 동중국해에서 표층의 영향이 미약한 50m수심의 계절변화를 설명하기 어려워 역시 계절변화의 요인으로 보기 어렵다. 따라서 계절풍이 황해와 동중국해에서 해수분포의 계절변화를 일으킬 수 있는 요인으로 보인다. 본 연구에서는 이 해역에서 계절풍에 의한 해수순환을 살펴보았다.

Kondo(1985)에 의한 13년 평균한 염분과 수온의 50m수심에 대한 수평분

포와 여름철과 겨울철에 각각 5개년 동안의 관측된 C.S.K.자료, 그리고 수산진흥원의 해양조사연보(1974)를 사용하여 해수분포의 계절변화를 살펴보았으며, 동중국해에서 해수분포의 계절변화와 대한해협에서의 대마난류 유량의 계절변화와의 관계도 살펴 보았다. 다음으로 제주도 서방해역과 황해에서 겨울철 황해난류수의 유입과 여름철 황해저층냉수의 남하와 관련되는 해수의 유출입의 존재여부를 해수의 유량과 염의 보존을 이용한 Box Model로 유추해 보았다. 마지막으로 바람에 의한 해수순환을 2차원 1층(single layer) 수치모델로 실험하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅱ. 해수분포의 계절 변화와 해수 순환

쿠로시오(Kuroshio)는 고온·고염인 대마난류수를 동중국해에 공급하는 데 반해 황해와 중국대륙의 연안해역은 저염인 연안수들을 동중국해로 유출하고 있다. 그러므로 동중국해와 제주도 주변을 흐르는 해수는 고온·고염인 대마난류수와 이에 대비되는 저온·저염인 해수들로 크게 구분할 수가 있으며, 본 연구에서는 고염의 대마난류수를 제외한 모든 저염의 해수를 편의상 연안수라고 표현하였다. 본 연구에서 주로 살펴보려는 것은 쿠로시오계 해수와 연안수 분포의 계절변화이므로 일사량이나 강우량, 증발량과 같은 해양표면으로 부터의 영향이 크게 미치지 않는다고 생각되는 50m 수심의 수온 및 염분의 자료를 사용하였다. 이 수심에서는 동중국해로부터 북상하는 대마난류수가 년중 34.0‰ 이상이므로(박 등, 1985; 방과 김, 1989; Byun and Chang, 1984; Lie, 1984; Park, 1985) 대마난류수와 연안수를 34.0‰ 로 구분하였다. 이 염분값은 황해와 동중국해에서 대마난류수(황해난류수 혹은 대마난류수)의 년중 최저염분값 이므로 동중국해의 50m 수심에서 대마난류수와 연안수를 구별하는 경계값으로 사용하여도 무방하리라 보아진다

Fig.3은 50m수심의 13년 평균 수평 염분 분포로(Kondo, 1985) 동중국해에서 대마난류수와 연안수는 대체로 남서-북동 방향을 경계로 분포하고 있으며, 이 경계가 계절에 따라 변하고 있음을 보여준다. 즉, 겨울철에는 고염의 대마난류수가 양자강뢰 부근의 일부를 제외한 넓은 해역에 분포하며, 특히 제주도 북서해역의 황해 입구역까지 확장되고 있다. 반면에 여름철에는 대마난류수가 제주도를 경계로하여 이남이동(以南以東)으로 남하하여 분포하고 있고, 동중국해에서도 남동 방향으로 후퇴하고 있음을 알 수가 있

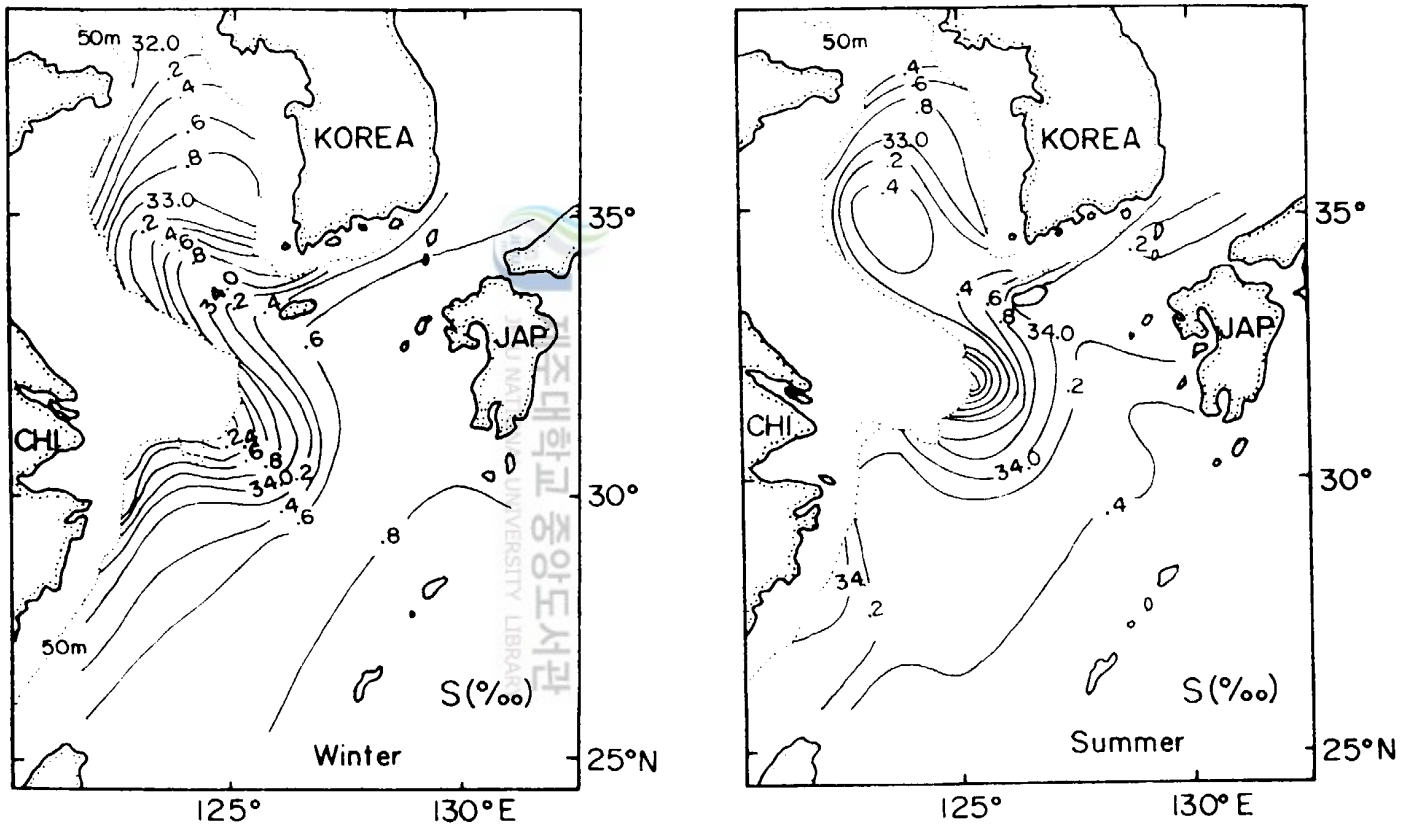
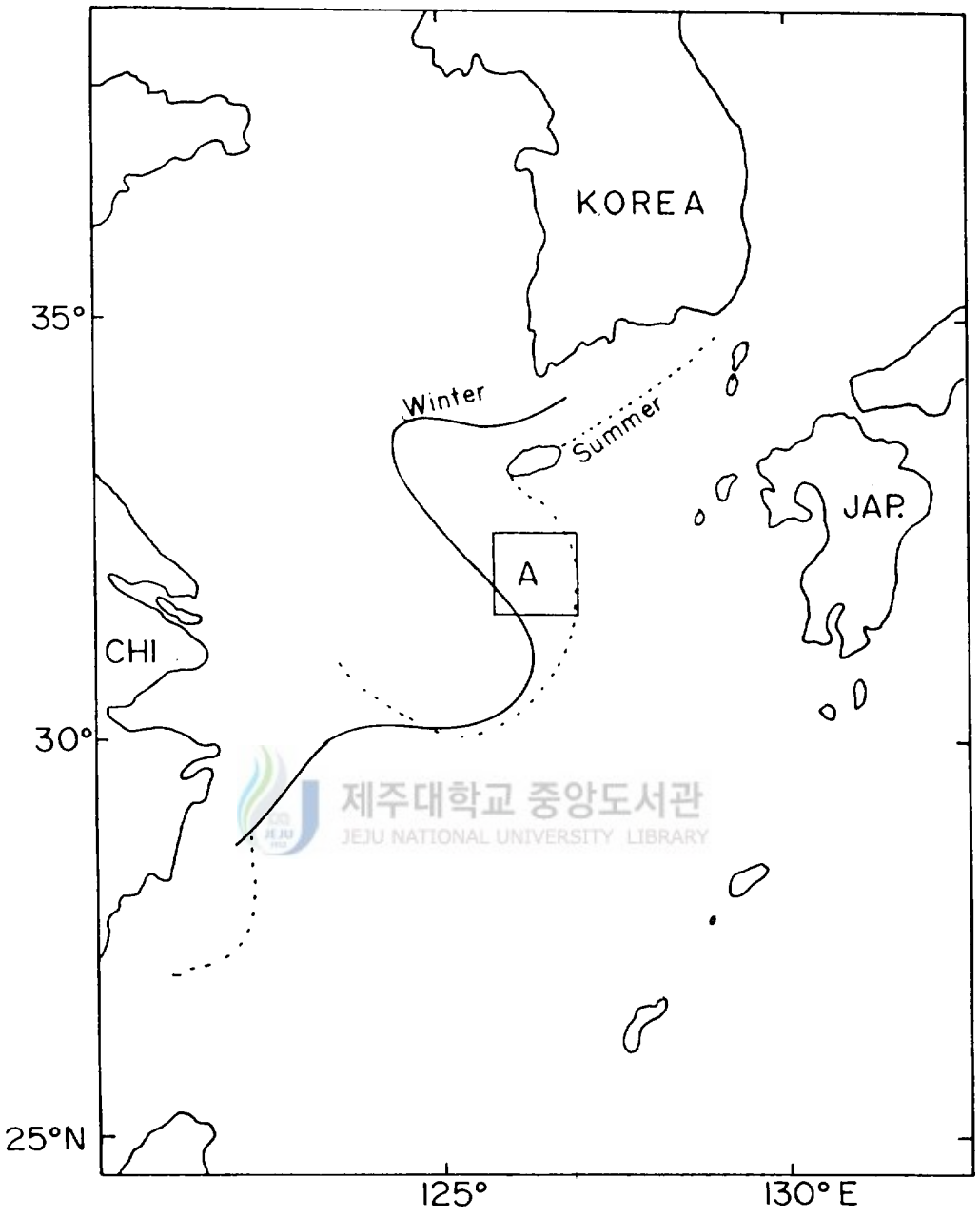


Fig. 3. Seasonal variations of mean salinity distributions on the 50m layer in the Yellow Sea and East China Sea (After Kondo, 1985)

다. 이러한 해수분포의 계절변화가 대한해협의 대마난류 유량에 영향을 미칠 가능성이 있는지를 보기 위하여, 대한해협에서 대마난류 유량의 계절변화와 동중국해의 해수분포 변화에 의한 해수량의 변화가 같은 규모(order)인지를 살펴보았다.

제주도 서방해역으로 수송된 대마난류수의 용적은 겨울철에는 많고 여름철에는 적으며, 대한해협에서 대마난류수의 유량은 겨울에 적고 여름에는 많은 계절변화를 나타내고 있다. 이러한 두 유량변화의 규모가 서로 어떤 관계인지 살펴보기 위하여, 동중국해와 제주도 주변해역에서 해수분포의 계절변화로 부터 계산된 대마난류수 유량의 차이와 대한해협의 대마난류수 유량의 계절변화에 의한 차이를(Fig.4) 비교·검토하였다. 대한해협에서 대마난류수 유량의 계절에 따른 차이는 아직 확실한 결론에 이르지 못하였다. Yi(1966)는 대한해협의 유량은 8월과 9월에 2.13Sv, 2월에는 0.19Sv으로 그 차이는 약 2Sv이라 하였으며, Lim and An(1985)은 여름철에 1.33Sv, 겨울철에 0.19Sv이라 하였고, Miita and Ogawa(1984)의 해류관측, Ichiye(1984), 임과 안(1989)의 결과에서도 그 차이는 약1Sv정도의 계절변화를 보였다. Fig.4는 Fig.3에서 겨울과 여름의 34.0‰ 등염분선의 위치를 나타낸 것으로서 계절에 따른 대마난류수 분포역의 차이를 보여준다. 이것으로 부터 동중국해에 분포하는 대마난류수의 동계와 하계의 용적차이를 구할 수 있다. Fig.4에서 해수분포의 계절변화가 나타나는 해역의 평균수심이 약100m, 변화하는 면적이 700-900Km^{2}로서, 이러한 변화가 6개월에 걸쳐 일어날 때 유량은 약 0.5Sv 정도로 산출된다. 이 값은 대한해협 유량의 계절변화량과 약간 차이는 있지만, 대한해협에서 대마난류수 유량의 계절변화와 동중국해 해수분포의 계절변화는 같은 규모라는 것을 알 수가 있다. 이와함께 동중국

제주대학교 중앙도서관



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 4. Seasonal variations of the northern boundaries(34.0‰ isoline) of Tsushima waters areas in the East China Sea.

해에서 대마난류수의 북측 경계(34.0‰)를 따라 여름철에는 이 해수와 연안수사이에 강한 밀도차이가 형성되어 해수의 흐름(밀도류)은 강하게 되는 것으로 보인다. 이 두 요인중 어느것이 대한해협에서 대마난류의 계절변화에 더 큰영향을 미치는지는 모르나, 대마난류의 계절변화가 쿠로시오 해류의 변화에 의한 것이라기 보다 동중국해 해수순환의 요인에 의한 영향일 가능성이 있다.

만약 여름철 대한해협에서 대마난류수 유량의 증가가 동중국해에서 대마난류수와 연안수 사이에 나타나는 밀도류에 의한 것이라면, 여름철에 대한해협을 통해 유출되는 대마난류의 많은 유량이 서수도를 통과한다는 사실을 쉽게 설명할 수가 있을 것이다. 대한해협에서 대마난류수 유량의 계절변화는 겨울철에는 동·서수도의 차이가 거의 없으며, 여름철에는 대부분의 해수가 서수도를 통해서 유출이 되고 있다(KORDI, 1988 b; Lim and An, 1985). 이상의 결과는 동중국해로 유입되는 대마난류수의 계절변화가 없다면, 대한해협에서 유량의 계절변화는 제주도 주변해역에서 해수분포의 계절변화에 의한 것으로 설명되어질 수 있다는 것을 보여준다. 대마난류수의 변화는 확실한 계절변화로 나타내지 않으므로(Nitani, 1972), 동중국해에서 대마난류수의 계절변화가 없다는 가정은 적어도 동중국해의 계절변화를 살피는 데는 타당한 것으로 볼 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

동중국해 해수분포의 계절변화를 파악하는데는 제주도와 양자강퇴 부근해역 사이에 년중 분포하는 저온·저염인 연안수의 분포가 중요하다고 생각된다. Fig.5는 Kondo(1985)에 의해 13년 평균한 50m수심에 대한 수온의 분포를 나타낸 것인데, 저온의 연안수는 겨울에는 중국대륙에서 동중국해쪽으로 설상의 분포를 하고 있고, 여름철에는 황해 남부에서 잠입하는 양상으로

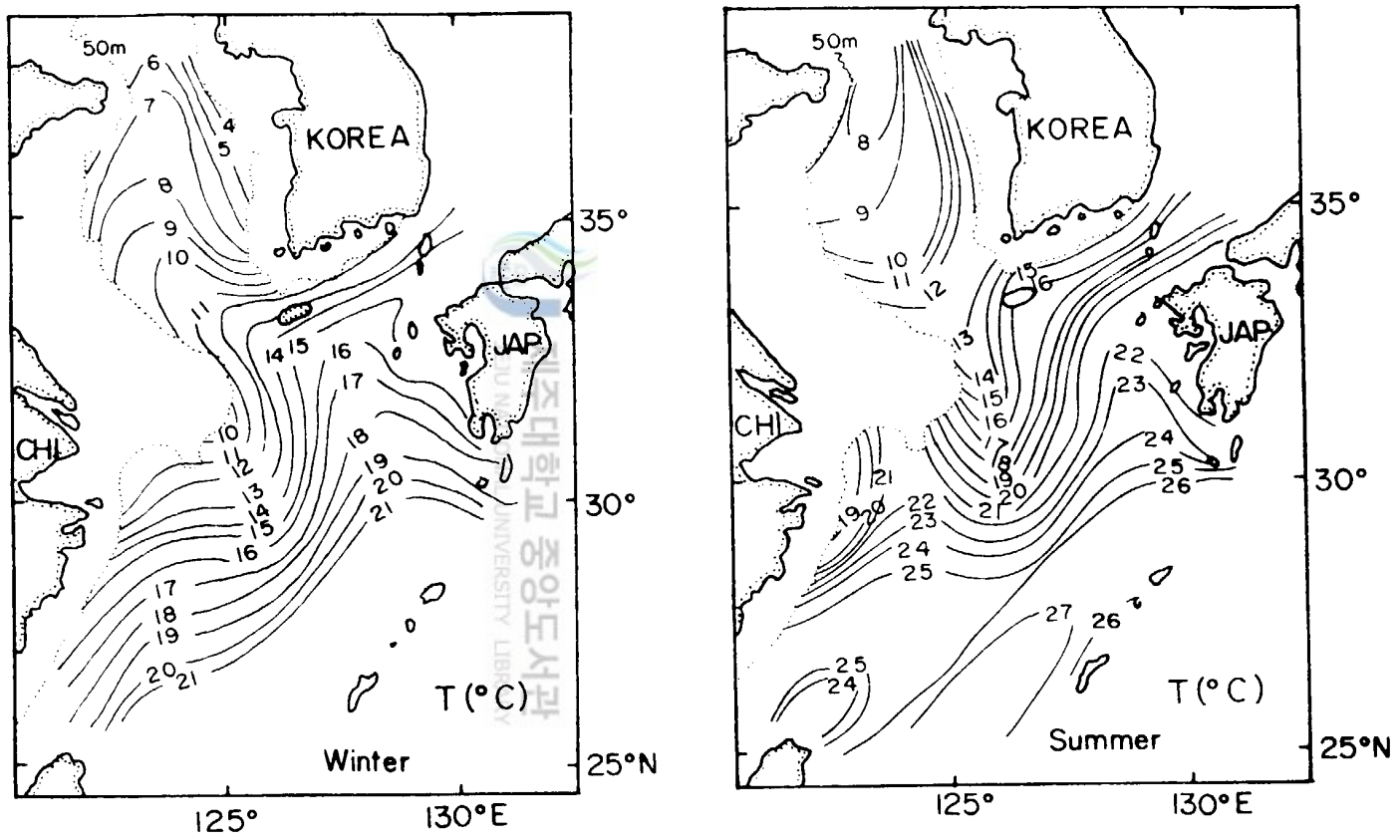
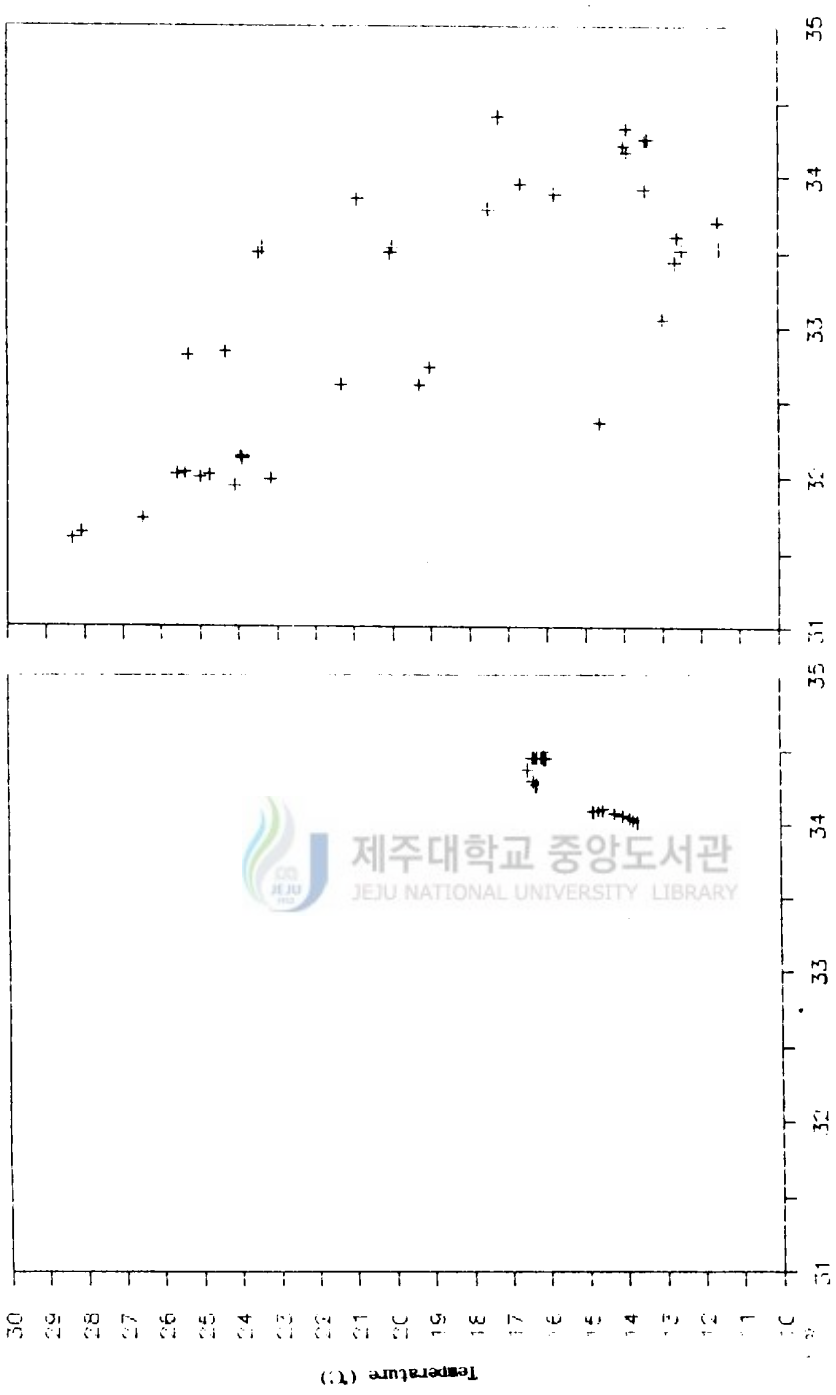


Fig. 5. Seasonal variations of mean temperature distributions on the 50m layer in the Yellow Sea and East China Sea

(After Kondo, 1985)

분포하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 겨울에는 중국대륙을 따라 남하하는 중국대륙연안수의 영향을 받고, 여름에는 황해 남부역에서 제주도 서남방 해역을 지나 남하하는 황해저층냉수괴(Park, 1985)의 영향으로 추측된다. 이를 알아보기 위해 양자강퇴 부근해역의 저염수와 쿠로시오계 해수의 경계해역(Fig.4의 A)에서 5개년 C.S.K.자료(겨울철; 1971년, 1972년, 1973년, 1974년, 1976년, 여름철; 1972년, 1972년, 1974년, 1975년, 1977년)를 사용하여 여름과 겨울의 T-S diagram을 Fig.6에 나타내었다. 이 결과 여름철에는 겨울철 보다 더 찬 해수가 분포함을 알 수 있는데, 이것은 여름철 저층의 찬 해수가 이 해역에서 겨울철에 생성된 해수가 아니라 다른 해역에서부터 유입된 것으로 생각된다. 여름철의 저온수는 주변해역 중 황해저층냉수 밖에 없기 때문에, 이 해수는 황해저층냉수가 남하한 것으로 추측된다. Fig.7은 겨울과 여름철 32° N 정선의(약 124 - 130° E) 수직수온분포로 이 저온수가 중국대륙연안에서 기인한 것이 아니라 황해저층냉수에 기인한 것으로 추측된다. Fig.8은 여름철 저층의 저온수를 북쪽에서 부터 남쪽으로(33° 24'N, 33° N, 32° N, 31° N) 추적한 것으로 여름철 양자강퇴 부근의 저온(저염)수는 황해저층냉수의 남하에 따른 영향이라고 보아진다. 이러한 황해저층냉수가 여름철에 남하하는 문제는 황해와 동중국해의 해수순환을 규명하는데 아주 중요한 역할을 할 것이다.

동중국해 및 황해 남부해역에 대한 해수분포 결과로 부터 해수 흐름에 대한 계절변화를 유추해 본다면, 겨울철에는 제주도 서방해역으로부터 황해 중앙해역으로 해수가 유입되며, 중국대륙을 따라 남하하는 해수는 양자강퇴 부근해역에 저온저염의 해수를 공급할 것이다. 반대로 여름에는 중국대륙과 한반도 연안을 따라 연안수가 북상하며, 황해 중앙부 해역에서 남하하는 해



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 6. T-S diagrams of 50m layer in the area of 126°E-127°E and 31°30'N (a) in winter (b) in summer, during 5 years.

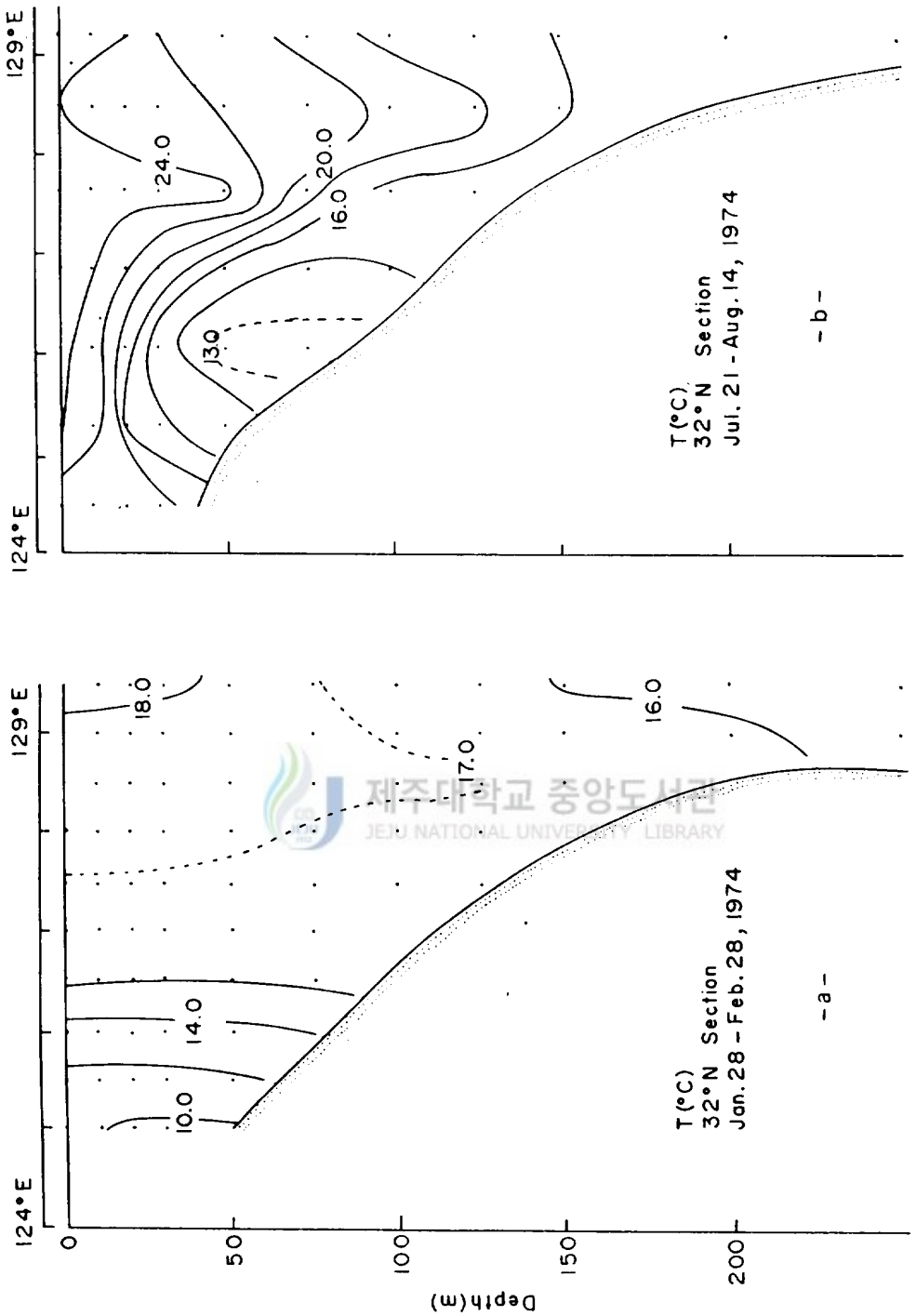


Fig. 7. Vertical temperature distributions along the 32°N Section (a) in winter (b) in summer.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

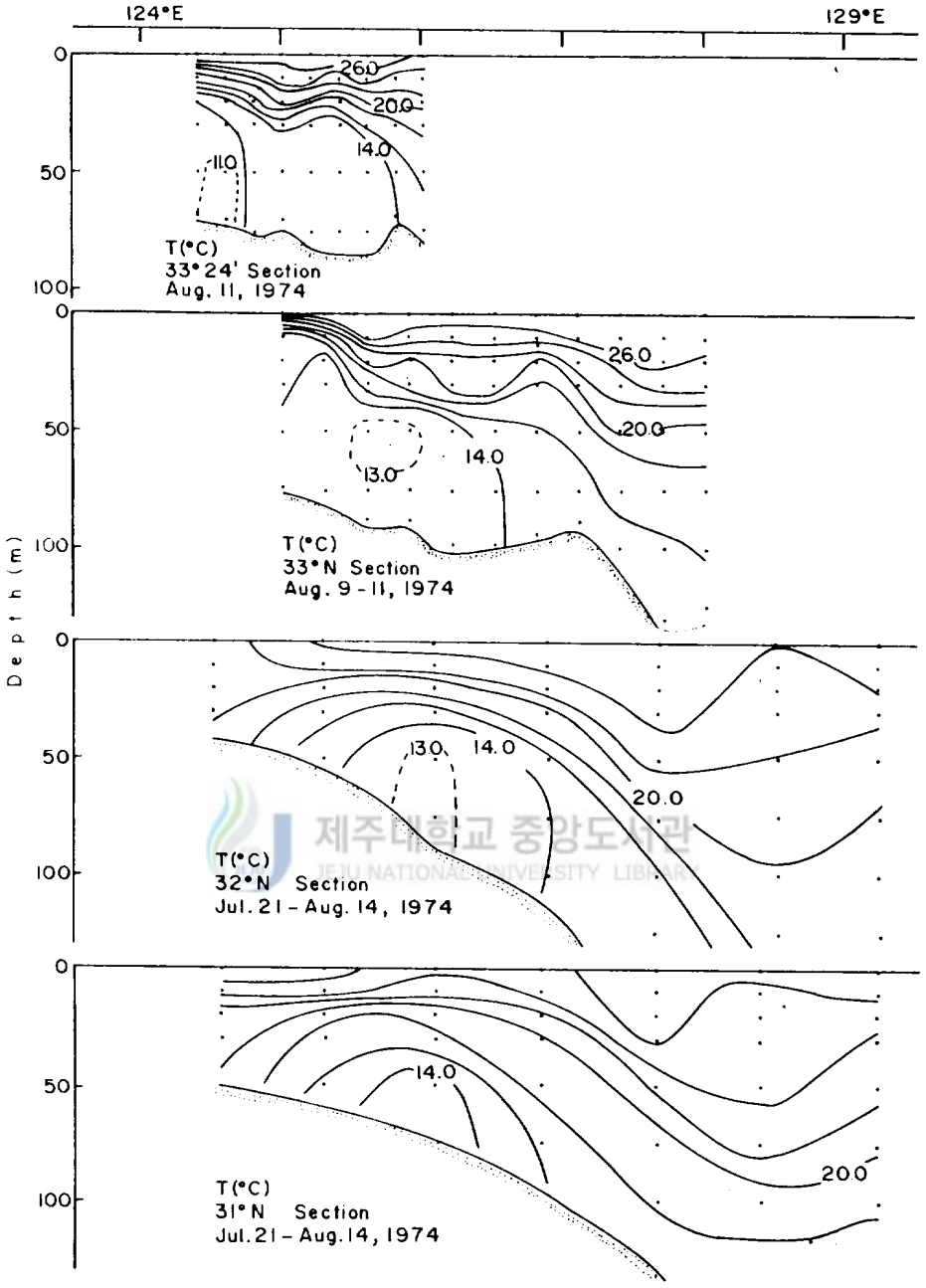


Fig. 8. Vertical temperature distributions along 4 latitudinal sections from north to south in summer.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

수는 양자강뵈 부근해역에 저온저염수를 공급할 것이다. Fig.3과 Fig.5의 염분및 수온의 수평분포에서 양자강뵈 부근해역의 연안수는 여름철에 대마난류수 분포를 더욱 남쪽으로 밀어 동중국해에서 대마난류수의 분포를 남동방향으로 후퇴시킨다. 그러므로 대한해협에서 대마난류 유량의 계절변화를 발생시키는 원인으로 보이는 이러한 해수순환은 겨울철 황해난류수의 유입과 여름철 황해저층냉수의 남하의 원인으로 보인다.

그러나 겨울철 황해난류수의 황해유입은 가능한 역학이 제시되었음(Park, 1986 a; Pang, 1987; Hsueh and Pang, 1989)에도 부정하는 견해(Lie, 1984, 1985; Nakao, 1977; 등)와, 긍정적인 견해(Byun and Chang, 1988; Kim, 1988; 등)로 나뉘어져 아직 해결되지 않고 있는 상태이다. 이 문제가 아직 명확히 해결되지 않고 있는 이유는 황해난류수가 매우 미약하고 불규칙한 형태의 흐름이므로 관측되어지기 매우 어렵기 때문이다. 그러므로 황해난류수의 존재는 다른 간접적인 방법으로 우선 밝혀져야할 것이다. 따라서 본 연구에서는 제주도 북서해역에서의 염분분포와 그 계절변화를 유량의 보존으로 설명되는 Box Model을 사용하여 황해난류수 존재를 정성적으로 살펴보았다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅲ. Box Model

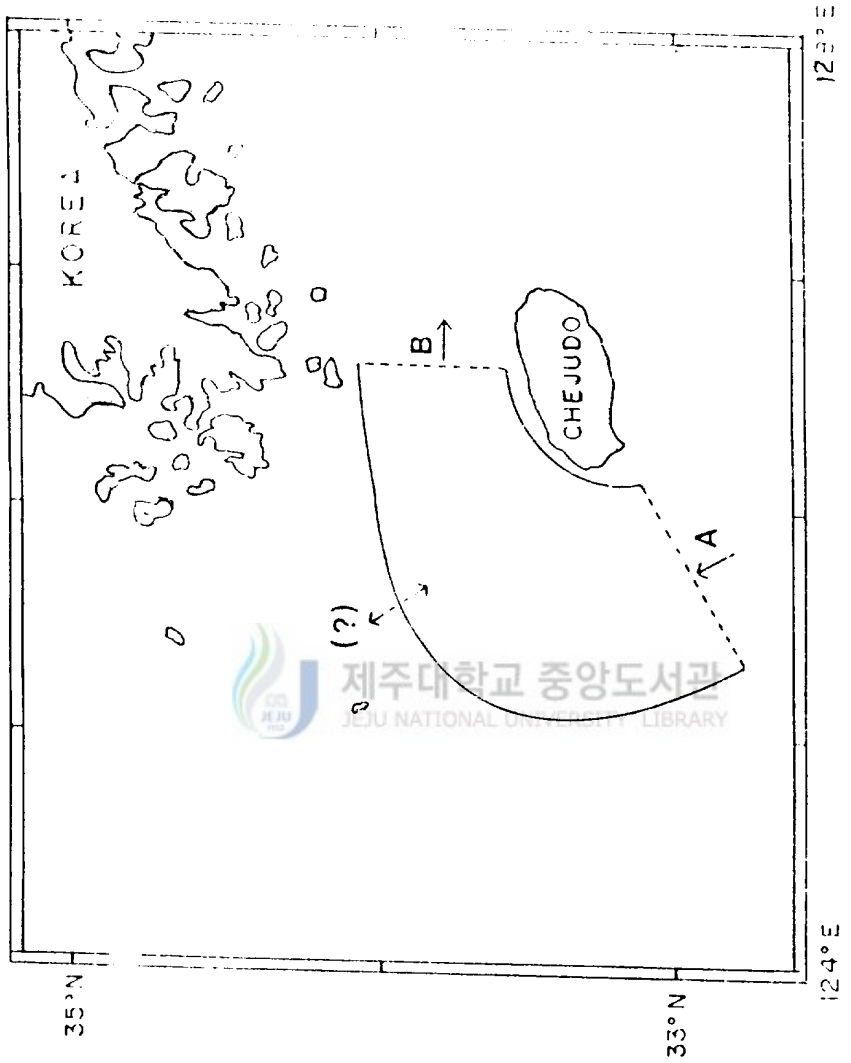
제주도 북서해역에서는 염분의 계절변화가 뚜렷하게 나타나고 있다 (Fig.3). 이러한 염분의 변화는 해수순환에 의한 결과로 나타나므로 이 해역에서 대마난류수의 유출·입을 고려하기 위해 Box Model을 실험하였다. Box Model에는 질량보존과 염보존 방정식이 이용되며(Knauss, 1977; Proudman, 1953), Box는 Fig.9와 같이 설정되었다. 수치실험과 (Park and Kim, 1987) 해류 관측 결과에 의하면 제주도 서안에서는 년중 북상하는 흐름이 있음을 알 수가 있으며, 제주도 주변해역에 대한 수온염분의 자료분석에서도 여름철에 제주도 서안으로는 고염수가 유입된다고 보고 되고 있다 (박 등, 1985; Lie, 1986; Park, 1986 b). 따라서 해수의 흐름은 제주도 서방을 통해 (단면 A) 유입되고 제주해협을 통해 (단면 B) 유출이 되는 것으로 가정한다. 질량보존 방정식과 염보존 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$A_i \times V_i - A_o \times V_o + d\eta \times R = d\xi \times R$$

$$A_i \times V_i \times S_i - A_o \times V_o \times S_o = dS \times H \times R / \Delta t$$

아랫첨자 i와 o는 유입과 유출되는 단면을 나타내고, A, V, S, $d\eta$, $d\xi$, Δt, dS, H, R은 각각 단면적, 유속, 염분량, 강수량 - 증발량, 해수면의 변화량, 시간, Box내 염분의 변화량, 평균 수심 그리고 Box의 표면적을 나타낸다. 여기서 이용되는 변수에서 염분값은 수산진흥원 해양조사년보 (1988)에서 표층에서 최대 관측수심까지 평균한 값을 취하였고, 강수량과 증발량은 기상년보(1988), 해면변화는 수로기술년보(1988)에 보고된 값을 취하여 Table 1에 나타내었다. 여름철 V_o는 김(1987)에 의해 관측된 제주해



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 9. Schematic representation of Box Model used in this paper

협에서의 항류 유속을 취하였고 겨울철 Vi는 제주도 서안에서 관측된 값을 취하였다(KORDI, 1987).

제주도 서북방 해역에서 해수분포의 계절변화는 겨울에서 여름사이에는 저염화되고 여름에서 겨울사이에는 고염화되는 현상이 나타나고 있으므로 이 시기에 Box내의 염분변화(dS) 는 각각 (-)값과 (+)값이 나타나게 된다. 그런데 단면 A를 통해 유입되는 해수의 염분은 단면 B를 통해 유출되는 해수의 염분보다 년중 높게 나타나고 있다. 그러므로 Box내에서는 년중 고염수가 유입되고 저염수가 유출되므로 단면 A 와 B로의 해수 유출입은 년중 이 해역의 염분을 증가시키고 있다. Table 1의 값을 사용할 경우 겨울에서 여름사이에 Box내의 염분 변화는 약 0.5‰정도의 고염화 현상이 나타나며, 여름에서 겨울사이의 염분 변화는 약 2.0‰ 이상의 고염화가 나타난다. 그러나 실제로는 겨울에서 여름사이에는 오히려 저염화 되고 있으며, 여름에서 겨울사이에도 이와같은 고염의 해수는(약 35.0‰ 이상) 나타나지 않는다. Box 내에서 염분의 계절변화는 약 1‰정도인데, 이러한 염분의 여름철 저염화를 강수량으로 설명하기 위해서는 약 2500㎜이상의 강수량이 필요하므로 강수량으로는 설명할 수가 없다.

제주대학교 중앙도서관

그러므로 대마난류수보다 염분이 낮은 양자강연안수(중국대륙연안수)와 황해혼합수 등이 모두 A단면을 통하여 유입된다고 가정했을때, 이 Box내에서 황해로의 해수유출입이 없다면 제주도 북서해역의 이러한 염분변화는 설명될 수 없을 것이다. 이 결과는 겨울에서 여름사이에 황해로 부터 이 해역에 저염인 연안수가 유입되고 여름과 겨울사이에 이 해역에서 황해로 고염수가 유출되고 있다는 것을 시사하는 것이다. 이 계산의 결과로써 황해로의 유출입은 흐름의 세기가 대마난류수나 대한해협에서의 대마난류수에 비

Table 1. Values of each variable used in Box Model.

	Winter	Summer
S_i(‰)	34.515	33.391
So(‰)	34.188	33.211
V_o(m/s)	?	0.07
V_i(m/s)	0.05	?
$d\eta$(m)	0.0283	0.3706
R(m^2)	$1.34*10^{+10}$	
H(m)	75	
Δt(sec)	15,552,000	
A_i(m^2)	5,185,600	
A_o(m^2)	2,222,400	
$d\zeta$(m)	0.317	
dS(‰)	0.916	

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

해 매우 약하나 황해난류수의 존재 가능성을 시사하고 있는 것이라 할 수가 있다.

이 결과와 앞에서 설명한 황해저층냉수의 남하 징후는 황해와 동중국해역에서 계절에 따라 발생하는 해수순환의 결과라고 해석 되어진다. 이 흐름의 변화는 계절에 따라 규칙적으로 나타나기 때문에 이 흐름의 변화를 발생시키는 요인은 서론에서 언급한 바와같이 여러 요인 중 계절풍에 의한 영향일 것이다. 계절풍은 황해에 역풍류를 발생시키는데, 본 논문에서는 실제와 유사한 해안선과 해저지형을 사용하였을 경우에 역풍류현상이 발생하는지의 여부를 계절풍을 이용한 수치모델실험으로 살펴보았다.

Ⅳ. 수치모델 실험

황해의 해저지형의 특징인 양항성 대륙붕(Double-shelf)은 바람의 효과가 나타나기 좋은데, 그 이유는 Ekman Transport가 양쪽 해안에 영향을 주어 대륙붕 상에 여러 종류의 파를 발생시키며 이 파들이 바람의 효과를 전달하기 때문이다. 바람의 변화는 이 해역에서 대개 1일 이상의 주기를 가지기 때문에 그 효과도 장주기의 파로 전달된다. 해수면의 변화는 Kelvin Wave 에 의해, 유속의 변화는 Continental Shelf Wave 에 의해 주로 결정된다(Pang, 1987; Hsueh and Pang, 1989). Kelvin Wave 에 의해 결정된 해수면은 중요한 압력경도력를 발생시키며 황해의 골을 따라 역풍류(upwind flow) 를 발생시킨다. 황해에서 역풍류의 형태로 나타나는 흐름은 황해 해수순환의 중요한 요인으로 보이며 제주도 주변해역과 더 나아가 동중국해의 해수분포를 변화시킬 것으로 생각된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

동중국해 및 황해의 해수순환에 있어서 계절풍의 영향을 살펴보기 위하여 유한차분법을 적용한 Barotropic Heap Model (Flather and Heaps, 1975)을 이용하여 수치모델 실험을 하였다. 본 연구에서는 이 모델에 바람응력(wind stress)을 추가하여 계절풍의 영향을 살펴 보았으며, 비선형항은 제외시켜서 수행하였다. 각 격자망의 동서, 남북방향의 거리는 모두 15miles (22,780m)이며 쿠로시오가 유입되는 남부 개방경계(open boundary) 에서는 항상 일정한 해수가 유입이 될 수 있도록 하였고, 해수가 모델 밖으로 유출되는 동부 개방경계에서는 해수가 강제적으로 유출되는 것을 피하기 위해서 자유 경계조건을 사용하였다. 이것은 대부분의 수치실험에서와 같이 강제

경계조건을 사용할 경우 대마난류가 강제적으로 북상하게 되며, 따라서 동중국해에서 강제적인 흐름이 발생하게 되는데 이것을 피하기 위한 것이다. 저층마찰계수는 수심에 따라 다르게 사용하였는데(부록참조), 그 이유는 남부 경계에서 주어지는 초기의 해수유입이 정북방향이므로 모델해역으로 유입된 해수가 갑자기 심한 수심변화를 겪고 그로인한 vorticity의 변화가 쿠로시오를 남쪽으로 몰리게 하여 실제와 다른 해류를 보이기 때문이다. 이 현상은 model의 남부 경계에서의 해수 유입이 초기에 실제와 같이 등수심선을 따라 주어지지 않기 때문에 나타나는 현상인데, vorticity변화를 완화시키기 위해 저층마찰계수를 수심에 따라 다르게 함으로써 제거할 수 있었다. 모델은 f-plane이며, 계절풍의 영향은 겨울철에는 북풍, 여름철에는 남풍의 성분을 사용하였는데 모두 10m/s로 일정한 바람의 효과를 고려 하였다.

모델 결과는 Fig.10, Fig.11 그리고 Fig.12에 각각 a와b 두개로 나타내었다. 각 그림에서 (a)는 황해와 동중국해 해수순환을 하나의 크기로 나타내었는데, 황해와 제주도 주변에서 해수순환의 크기가 매우 작아 잘 나타나지 않으므로 황해와 제주도 주변해역의 해류를 자세하게 나타내기 위해 해류가 상대적으로 큰 동중국해를 제외한 해수흐름을 (b)에 나타내었다.

Fig. 10은 바람의 영향을 고려하지 않고, 단지 남부 경계역에서 쿠로시오의 유입만을 고려했을때의 동중국해 해수순환을 나타낸 것이다. 유입된 대부분의 해수는 Kyushu남부의 Tokara해협을 통해 유출되고, 일부만이 대한해협으로 유출이 되고 있음이 보인다. 본 그림에서는 황해에서 해수의 흐름이 나타나지 않고 있는데, 이것은 황해로 유입되는 해류의 세기가 미약하기 때문이며 (크기는 대마난류수 흐름의 1/100 정도) 바람이 없을 때는 황해의 해수순환이 매우 작다는 것을 보여준다. 즉 쿠로시오에 기인하는 해수

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

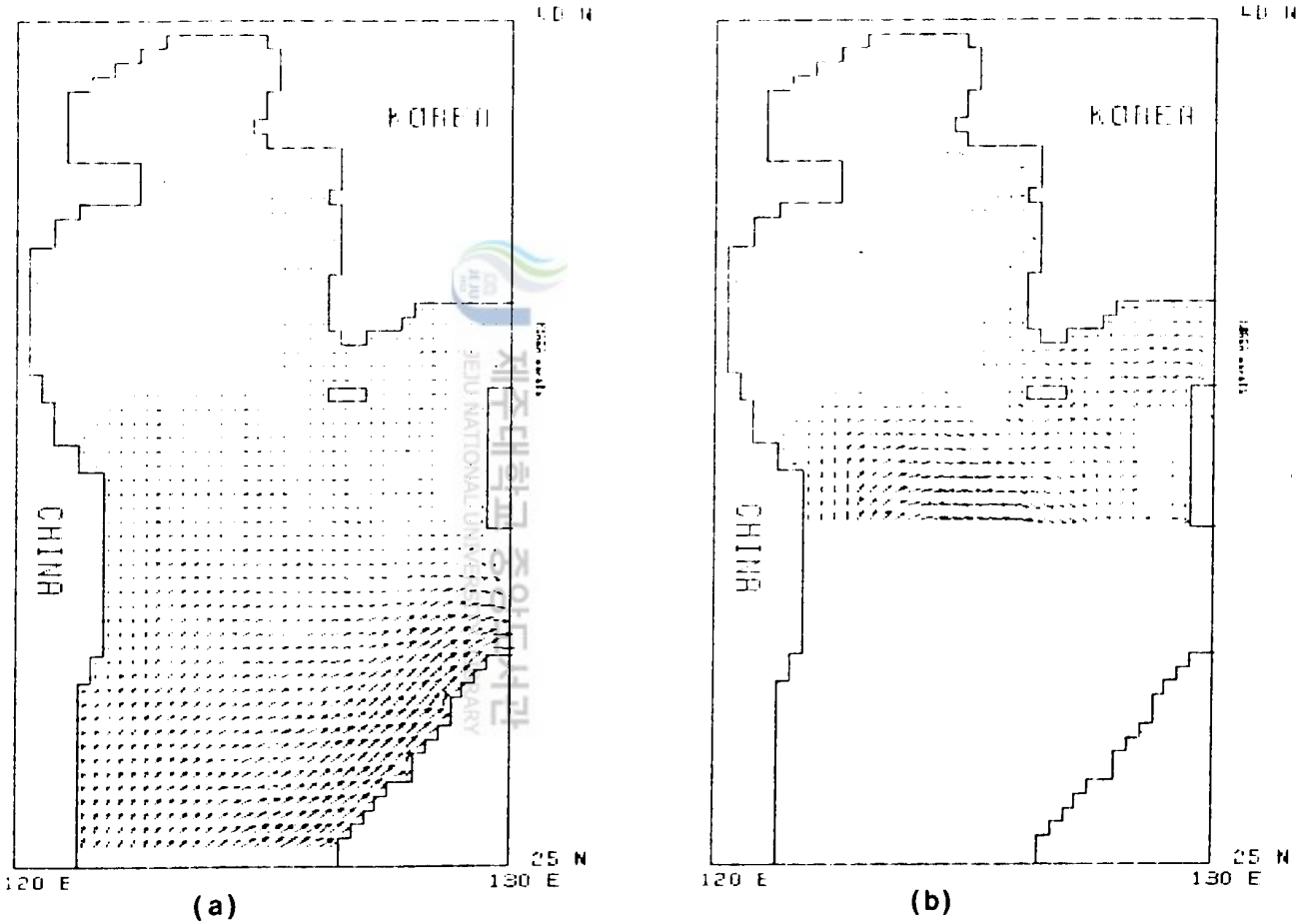


Fig.10. Numerical results of the circulations in the Yellow and East China Seas driven by only the Kuroshio Current.

순환은 황해에서 매우 미약한 해수순환 만을 일으키며, 그 해수순환의 방향도 항상 등수심선을 따르는 시계방향의 순환이다(안, 1985).

Fig. 11과 Fig.12는 각각 북풍과 남풍 때의 해수순환을 보여준다. 쿠로시오 본류역에서의 해수 순환은 바람의 영향이 해류의 세기에 비해 작기 때문에 계절변화가 나타나지 않고 있다. 그러나 해류세기가 미약한 제주도 서남방과 황해에서 바람의 영향에 의한 해수순환은 바람의 방향에 따라 다르게 나타나고 있다. 한국이나 중국 연안을 따라서는 바람의 방향과 같은 해류가 나타나는데 비해 황해 중부역과 제주도 서북방 해역에서는 바람의 방향과는 반대되는 방향의 흐름이 나타난다. 즉 황해의 중앙골에 해당하는 해역에서는 지형에 의해 복잡하기는 하나 북풍때에는 북상하는 해수의 흐름이 나타나고 남풍때에는 남하하는 해수의 흐름이 보이고 있다. 이것은 실제와 유사한 해안선과 해저지형을 사용한 수치모델에서도 역풍류가 나타난 것이며, 역풍류에 대한 앞서의 여러 연구결과들 (Hsueh and Romea, 1983; Park, 1986 a; Pang, 1987; Hsueh and Pang, 1989) 뒷받침해 주고 있으며, 해류관측결과(Hsueh, 1988)와 다른 수치실험 결과와도 부합되는 것이다(KORDI, 1987; Yuan and Su, 1983; 최, 1984; Hsueh et al., 1985).

바람의 영향을 고려하지 않고 단지 남부 경계역에서의 해수 유입으로 수치실험을 하였을 경우(Fig. 10) 황해와 제주도 주변해역의 해수순환은 상당히 미약하고 더욱이 황해의 해수 순환은 잘 나타나지 않고 있다. 그러나 바람의 영향을 고려하였을 때(Fig. 11, 12) 제주도 주변해역과 황해에서 뚜렷한 해수순환이 발생하고, 그 순환이 바람의 방향에 따라 바뀐다는 것은 이 해역의 해수순환은 계절풍의 영향에 의한 것임을 보여준다. 이러한 계절풍에 의한 해수순환은 1차적인 해수순환의 흐름에 비해 매우 미약한 2차적

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

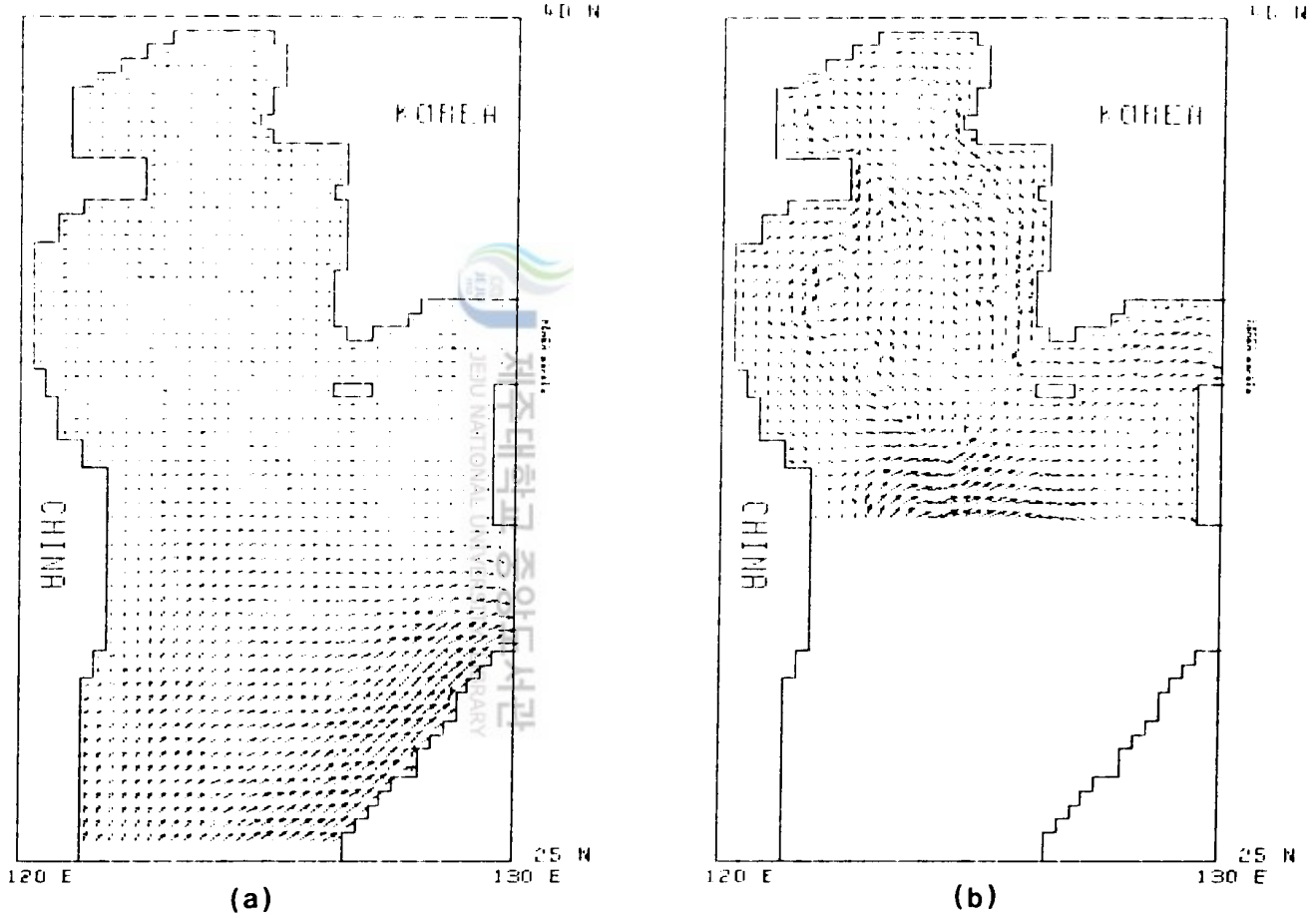


Fig.11. Numerical results of the circulations in the Yellow and East China Seas driven by the Kuroshio Current and Northerly Winds.

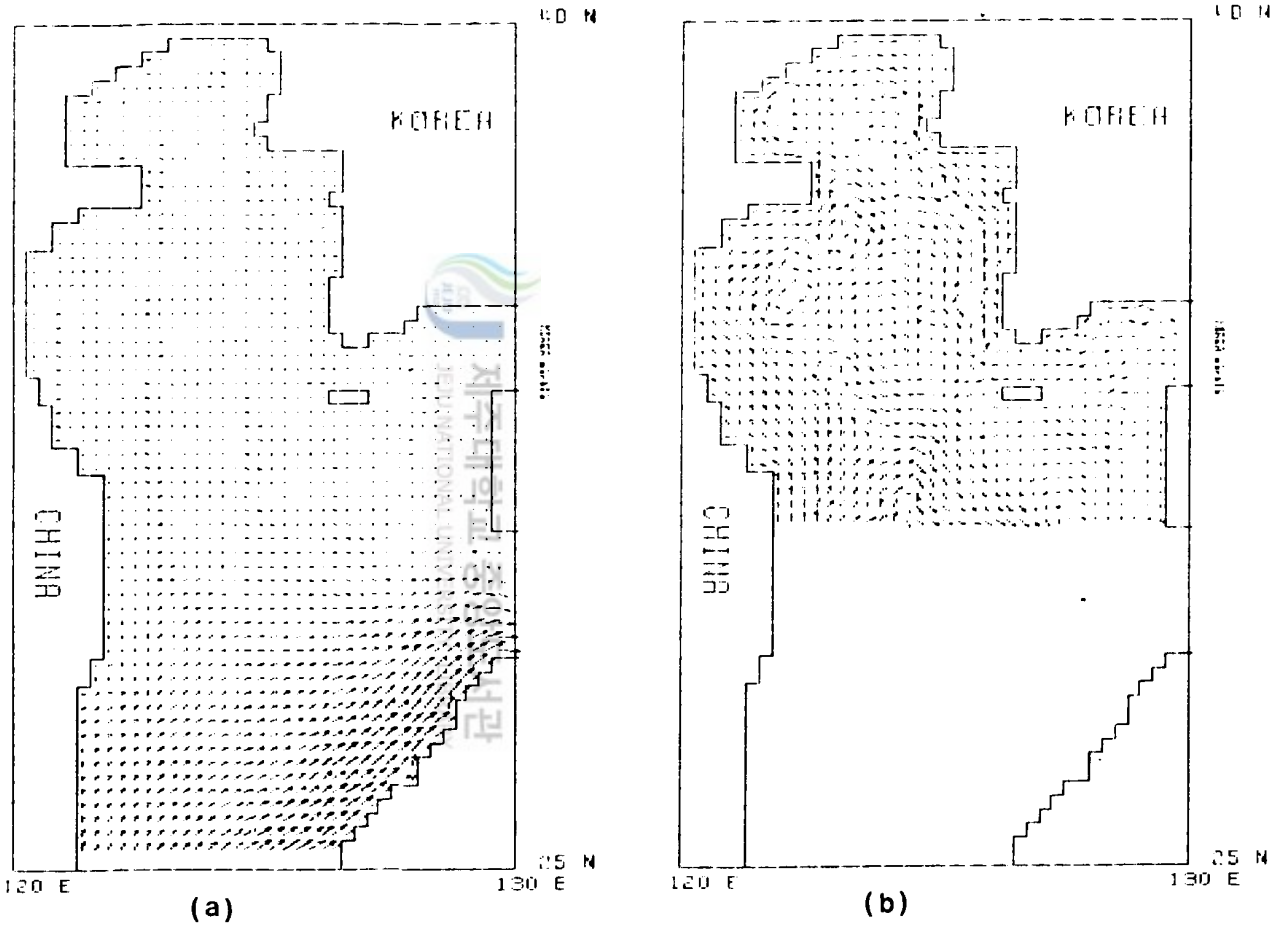


Fig.12. Numerical results of the circulations in the Yellow and East China Seas driven by the Kuroshio Current and Southerly Winds.

인 해수순환이며, 쿠로시오 본류역에서는 나타나지 않고 그 외의 대부분의 동중국해역에 영향을 끼치고 있는 것으로 보아진다. 따라서 계절풍에 의한 해수순환은 황해와 동중국해역의 해수순환을 이해하는데 매우 중요한 흐름으로 이 해역에 발생하는 대부분의 계절현상의 요인으로 보인다. 즉, 2차적인 해수순환이 1차 해수순환에 영향을 주어 대한해협에서 대마난류수 유량을 계절변화시키며, 겨울철 황해난류수의 유입과 여름철 황해저층냉수의 남하와 같은 해류는 물론 여름철에 양자강 연안수가 제주도 주변해역으로 유입되는 현상도 이 해수순환에 의한 영향으로 추측된다.

Fig. 13은 이러한 해수순환을 종합하여 황해와 동중국해에서 계절에 따른 해수순환을 모식도로 나타내어 본 것이다. 겨울철에는(a) 북서계절풍에 의한 역풍류 효과로 제주도 서방해역에서 황해로 대마난류수를 유입시켜 동중국해에서 대마난류수의 분포를 북서방향으로 확장시키며, 그 결과 대한해협을 통해 유출되는 대마난류수의 유량을 감소시킨다. 한반도와 중국연안을 따라서는 바람의 방향과 같은 남하하는 흐름이 보이며, 중국대륙을 따라 남하하는 연안수의 일부는 양자강퇴에 유입된다. 여름철에는(b) 남동계절풍에 의한 역풍류 효과로 황해중부에서 제주도 서방 해역으로 남하하는 해수의 흐름은 동중국해에서 대마난류수의 분포를 남동방향으로 압박하면서 후퇴시킨다. 그 결과 대한해협을 통해 동해로 유출되는 대마난류수의 유량을 증가시키게 될 것이다. 황해중앙골을 따라 동중국해로 유출되는 해수는 양자강퇴를 향하게 되며, 다시 1차순환을 따라 제주도 주변해역으로 흐르게 된다. 그리고 만일 양자강연안수가 동중국해에서 이 순환을 따라 흐른다면, 여름철 남동계절풍에 의한 Ekman transport의 영향으로 제주도 부근해역에 쉽게 유입될 것이다.

제주대학교 중앙도서관

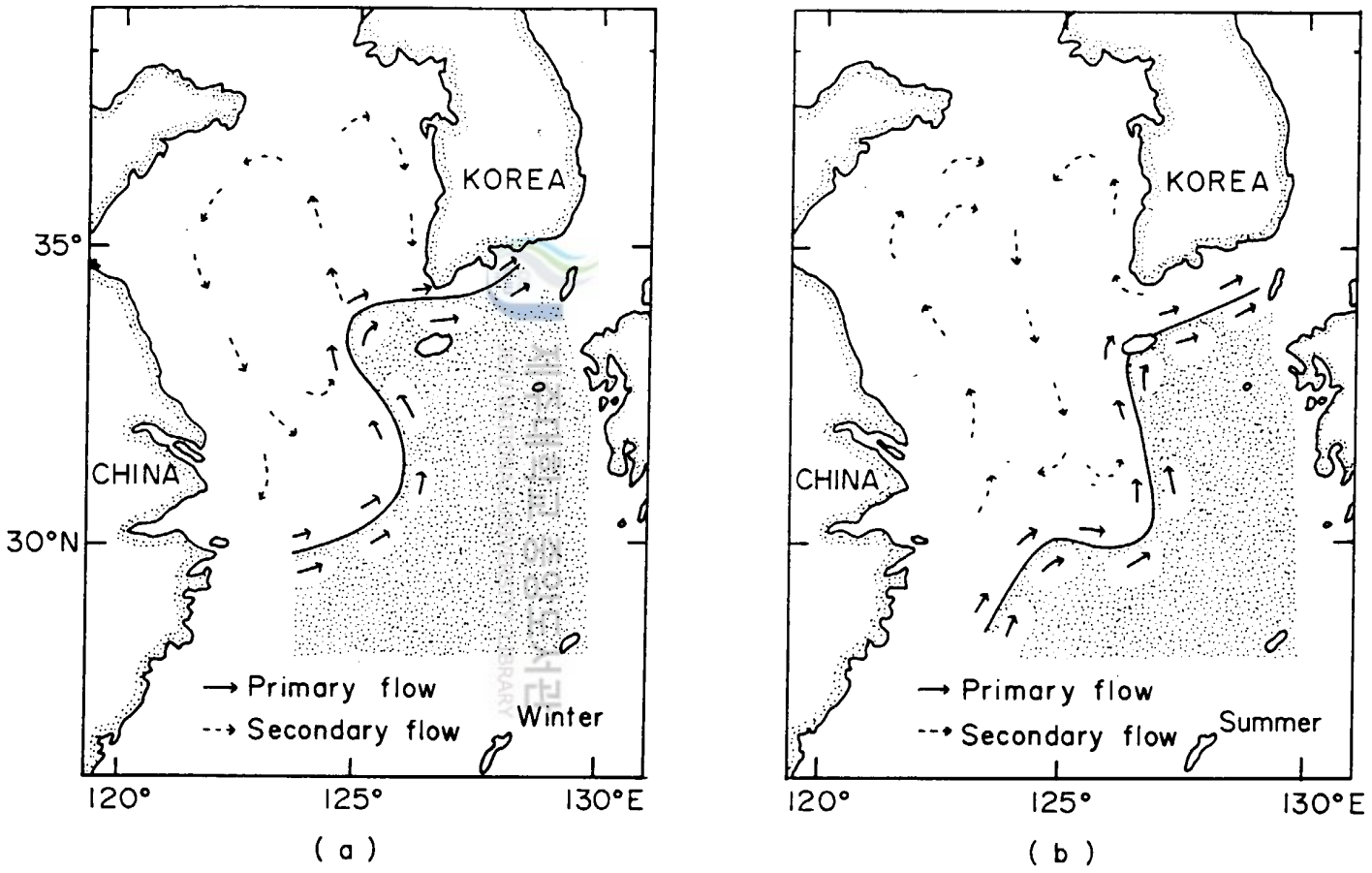


Fig.13. Schematic representation of the circulations in the Yellow and East China Seas (a) in winter (b) in summer.

V. 결론

(I) 황해와 동중국해 50m이심에서 대마난류수 분포의 계절변화는 겨울철에 북서방향으로 확장되고 여름철에 남동방향으로 후퇴하는데, 이 변화가 대한해협에서 유출되는 대마난류수 유량의 계절변화에 영향을 미치는 것으로 추측된다.

(II) 제주도 북서방 해역의 염분 변화는 제주도 서북방 해역과 황해사이에 해수의 유출입이 반드시 있어야 한다는 것을 보여준다. 그 흐름은 북서계절풍이 부는 겨울철에는 제주도 서방해역에서 황해로 고온고염의 대마난류수를, 남동계절풍이 부는 여름철에는 반대로 황해에서 제주도 서방해역으로 저온저염의 해수를 흐르게 한다. 이 결과 동중국해에는 여름철에 겨울철보다 찬 저층해수가 나타난다. 관측자료도 여름철 양자강퇴에 분포한 저온수가 황해저층냉수와 연결되어 있음을 보여준다.

(III) 실제의 형상과 유사한 해안선과 해저지형을 고려한 수치모델 실험결과, 제주도 북서방 해역과 황해 중부역에 바람의 방향과는 반대 방향의 역풍류가 나타나며 황해와 제주도 북서해역의 해수순환을 보여준다. 이로부터 동중국해의 해수분포를 일으키는 황해로의 유출입은 계절풍에 의한 것임을 알 수가 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅵ. 토의

양자강뵈 부근해역에는 저염수가 년중 와류를 형성하고 있으며 이 저염수의 분포는 여름철에 비해 겨울철에 서쪽으로 약간 이동된 양상을 보이는데 (Mao et al., 1983) 이 와류는 Fig.5에서와 같이 주변해역의 흐름과 연결되어 년중 반시계방향으로 회전하는 것으로 보인다.

이러한 와류는 하층보다는 상층에서 뚜렷하게 나타나는데(Yuan et al., 1986), 이 원인으로는 황해난류와 황해연안류에 의한 영향(Mao et al., 1983), 대만난류와 해저지형적인 영향(Yuan and Su, 1983) 등이 복합적으로 작용하여 나타나는 것으로 유추된다. 그러나 이러한 현상은 본 연구의 목적과는 약간 다른 견지에서 살펴보아야 하므로 추후의 연구과제로 제시한다.

대한해협에서 유량의 계절변화를 살필 때 동중국해로 북상하는 대마난류수 유량의 계절변화가 없다고 가정하였다. 그러나 이 계절변화는 아직 밝혀지지 않은 상태이며, 황해와 동중국해의 해수순환을 연구하기 위해서는 앞으로 보다 상세히 밝혀져야 할 것이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

대한해협을 통과하는 대마난류는 Kyushu 남서쪽에서 쿠로시오로 부터 분기되어 북상한다고 믿어지고 있으나, 수치모델에서 본 바와 같이 이 흐름은 해저지형에 의한 자연스러운 흐름은 아니다. Lim(1971)에 의하면 대마난류수는 쿠로시오 해수가 동중국해에서 lateral mixing에 의해서 형성된다고 하나, 현재 대마난류의 북상원인으로는 Tsukaru 해협과 대한해협에서의 해수면의 차이에 의한 영향(Minato and Kimura, 1980)과 동중국해에서의 Reynold's stress (Ichiye, 1984)에 의한 영향 등이 보고되었으며, 그 외에

대만의 가까운 동쪽해역을 통해 유입되는 해수에 의한 해류(안, 1985)와 밀도류 등이 있다. 그러나 대마난류의 복상 원인은 아직 밝혀지지 않은 상태이며 황해와 동중국해의 해수순환 연구를 위해서 역시 규명되어야 할 과제이다

본 연구 결과로는 대만북쪽으로 유입되는 해류는 여름에 강하고 겨울에 약할 것으로 추측된다.

본 연구에서는 황해와 동중국해 해수순환의 계절변화를 계절풍에 의한 영향으로 살펴보았다. 그러나 이 해역에 대한 심도있는 연구를 위해서는 바람의 영향 뿐 만 아니라 대기와 해양표면에서 나타나는 상호작용의 영향에 대한 연구와 더불어 이론적인 결과를 입증할 만한 장기적인 자료수집이 병행되어야 하겠다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

참고문헌

안 희수, 1985. 2층 밀도 성층 모델을 이용한 황해 및 동중국해 순환의 수치 실험. 한국 지구과학 학회지, 6, 43-48.

Byun, S.K. and K.I. Chang, 1988. Tsushima current water at entrance of the Korea strait in Autumn. Prog. Oceanog., 21, 295-206.

최 병호, 1984. 3차원수치모델을 이용한 동지나해의 정상균일풍의 응력에 의한 해류의 산정. 한국해양학회지. 19, 36-43.

Flather, R.A. and N.S. Heaps, 1987. Tidal Computations for Morecambe Bay. Geophys. J. R. Astr. Soc., 41, 439-517.

Hsueh, Y., 1988. Recent current Observations in the Eastern Yellow Sea. J. Geophy. Res., 93, 6875-6884.

-----, and I.C. Pang, 1989. Coastally Tapped Long Wave in the Yellow Sea. J. Phys. Oceano., 19,612-625.

-----, and R.D. Romea, 1983. Wintertime winds and Coastally sealevel fluctuations in the northeast China Sea. Part: Ⅰ. Observations. J. Phys. Oceano., 13, 2091-2106.

-----, -----, and P. W. Dewitt, 1985. Wintertime winds and Coastally sealevel fluctuations in the northeast China Sea. Part: Ⅱ. Numerical Model. J. Phys. Oceanog. 16, 241-261

Ichiye T., 1984. Some problems of circulation hydrography of Japan Sea and the tsushima current : Ocean hydrodynamic of the Japan and

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

East China Sea. T. Ichiye, edtor, Elsevier, Amsterdam, 15-54.

Kim, K., 1988. Hydrography and currents in the Yellow Sea and Northern East China Sea: Proceeding of symposium on development of Marine resources and International cooperation in the Yellow Sea and the East China Sea. Go, Y.B., editor, Marine Research Institude, Cheju National Univ., Korea, 19-30.

김 상현, 1987. 제주 해협의 해류 유동에 관한 연구. 제주대학교 석사학위논문, pp.63.

김 인옥, 1986. 제주주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 제주대학교 석사학위논문, pp.55.

Knauss, J., 1978. Introduction of Physical Oceanography. Prentice-Hall, pp.339.

Kondo, M., 1985. Oceanographic investigations of fishery grounds in the East China Sea- I .Charateristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50m and near the bottom. Bull, Seikai Reg. Fish. Res. Lab., No.62, 19-66.

KORDI, 1986, 파랑도(소코트라 암초)와 그 주변해역의 다목적 이용계발을 위한 조사연구(I). BSPE 00074-107-1.

-----, 1987. 한국해역 종합해양자원도 작성연구. 남해, BSPG 00046-163-7.

-----, 1988a.한국해역 종합해양자원도 작성연구. 남해, BSPG 00062-200-7.

-----, 1988b. 한국해협에서의 해류구조 연구. 1차년도, BSPG 00063-201-1.

Lim, C. H. and H. S. An, 1985. The comparision of the volume transport in the Korea strait and in the Middle of the East Sea

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(Japan Sea). J. Oceanog. Soc. Korea, 20, 50-55.

Lim, D. B., 1971. On the origin of the Tsushima current water. J. Oceanog. Soc. Korea, 6, 85-71.

임 경란, 안 희수, 1989. 제주도 남방해협의 해수면 변동과 쓰시마난류의 상관성 연구. 한국 지구과학 학회지, 10, 111-119.

Lie, H.J., 1984. A Note on water Masses and General Circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). J. Oceanog. Soc. Korea, 19, 187-194.

----------, 1985. Wintertime Temperature and Salinity Characteristic in the Southweatern Hwanghae(Yellow Sea). J. Oceanog.Soc. Japan, 41, 281-291.

----------, 1986. Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. Prog. Oceanog., 17, 229-242.

Mao, H., I. Hu, B. Zhao, and Z. Ding, 1983. A cyclonic eddy in the Northern East China Sea : Sedimentation on the continentar Shelf with Special Reference to the East China Sea. Acta, editor, Oceanologica Sinica. China Ocean Press, Beijing, 280-287.

Miita, T. and Y. Ogawa, 1984. Tsushima currents measured with Current meter and Drifters : In Ocean hydrodynamic of the Japan and East China Sea. T. Ichiye, edtor, Elsevier, Amsterdam, 15-54.

Minato, S. and K. Kimura, 1980. Volume transport of the western boundary current penetrating into a maginal sea. J. Oceanog. Soc. Japan, 36, 185-195.

Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

East China Sea and the Yellow Sea. J. Fac. Mar. Sci. Technol., Tokai Univ. Spec. No. Nov., 199-366.

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

Pang, I.C., 1987. Theory of coastally trapped waves and its application to the Yellow Sea. Ph.d. dissertation, Florida State Univ., Tallahassee, pp128.

방 익 찬, 김 태희, 1989. 동지나해 해수 분포의 계절 변화와 해수 순환. 제주대학교 논문집, 28, 61-73.

Park, Y. H., 1985. Some Important Summer Oceanogrphic Phenomena in the East China Sea. J. Oceanog. Soc. Korea, 20, 12-21.

------, 1986 a. A Simple Theoretical Model for the Upwind flow in the Southern Yellow Sea. J. Oceanog. Soc. Korea, 21, 203-210.

------, 1986 b. Water characteristics and movement of the Yellow Sea Warm Current in Summer. Prog. Oceanog. 17, 243-254.

------ and S.I. Kim, 1987, A Numerical method study on tide-induced residual currents around Chejudo Island. J. Oceanog. Soc. Korea, 23, 9-18.

박 용항, 전득산, 정종률, 심재형, 1985. 대마난류 근원지에서의 수괴들의 역학적 구조와 기초생산력 조사 연구. 한국과학재단 조사연구보고서.

Proudmen, J., 1953. Dynamical Oceanography. Grent Britain, pp.409.

Yi, S.U., 1966. Seasonal and Secular variation of the water volume transport across the Korea strait. J. Oceanog. Soc. Korea, 1, 7-13.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

윤 용훈, 1986. 황해저층냉수의 특성규명과 남하증거.
재주대학교 석사학위논문. pp.55.

Yuan, Y. and S. jilan, 1983, A Twolayer Circulation Model of the East China Sea. Sedimentation on the continentar Shelf with Special Reference to the East China Sea. Acta, editor. Oceanologica Sinica. China Ocean Press, Beijing, 335-345.

------, ------, and X. Sangyun, 1986, A diagnostic model of summer circulation on the northwest shelf of the East China Sea. Prog. Oceanog. 17, 163-176.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

부 록

유한 차분법을 적용한 barotropic Heap Model(single layer)에 사용된 연속 방정식과 운동 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Hu) + \frac{\partial}{\partial y}(Hv) = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} - fv + \frac{ku(u^2 + v^2)^{1/2}}{H} + g\frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial \tau_x}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + fu + \frac{kv(u^2 + v^2)^{1/2}}{H} + g\frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial \tau_y}{\partial z} = 0$$

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

여기서 각 변수들은 다음과 같다.

x,y ; 좌표계에서 수평방향의 성분

t ; 시간

u,v ; x,y 방향에서의 평균 유속

ξ ; 해수면의 높이

H ; 해저 총 수심 = h + ξ

h ; 해저 수심

f ; coriolis 변수

k ; 저층 마찰 계수

g ; 중력 가속도

ρ ; 해수의 평균 밀도

z ; 좌표계에서 수직 방향의 성분

τ_x, τ_y ; x 와 y방향에서의 바람 응력

$$\tau = C_d * \rho_a * W * |W|$$

C_d; 무차원 계수, ρ_a; 대기의 밀도, W; 풍속

방정식에 이용된 상수 값들은 다음과 같다.

t ; 200 sec

g ; 9.81 m/s^2

ρ ; 1025 Kg/m^3

f ; $2\Omega\sin\Phi$ (Φ=33°)

C_d; $1.4*10^{-3}$

ρ_a; 1.2 Kg/m^3

k ; h < 50m 이면, k=0.0025

50m ≤ h < 100m 이면, k=0.005

100m ≤ h < 200m 이면, k=0.01

200m ≤ h 이면, k=0.025

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

격자망의 구성은 Fig. A-1에 나타내었다. 격자망은 3가지 격자점으로 구성된다. ζ격자점; o, u격자점; +, v격자점; × 로 나타내었다. 해수가 유입되는 개방경계에서 ζ는 $\zeta=\zeta_o\cos(\sigma t-\phi)$로 계산한다. 여기서 ζ_o는 진폭, ϕ는 위상을 나타낸다. 모델 수행의 초기 상태는 t=0에서 u=v=ζ=0에서 수행하였고, model내에서 ζ, u,v의 수행과정은 Flather and Heaps, 1975)에 기술되어 있으므로 제시하지 않겠다.

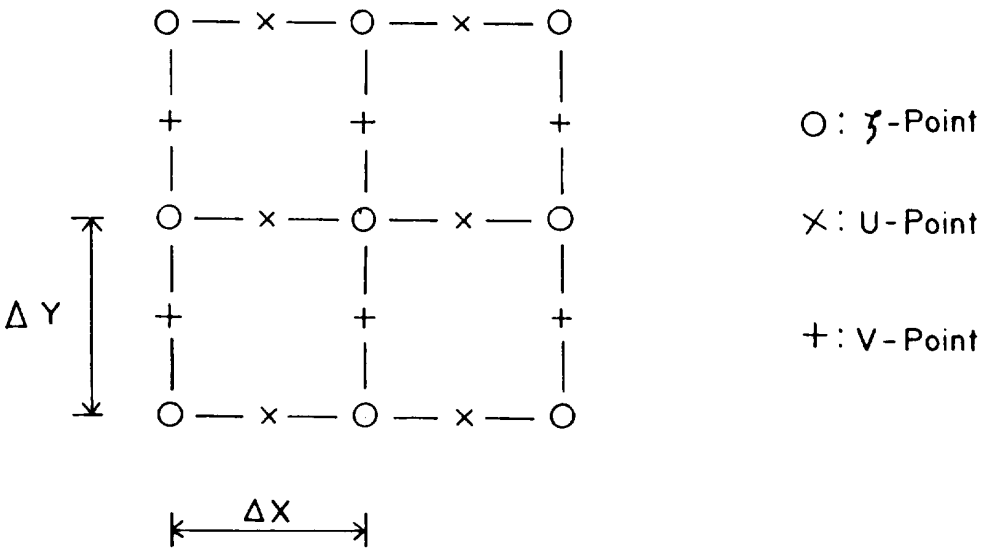


Fig.A-1. Finite difference grid used in the Model.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

감사의 말씀

본 연구를 수행하는데 있어 정성으로 이끌어 주시고 지도하여 주신 방익찬 교수님께 이자리를 빌어 깊은감사를 표하고자 합니다. 그리고 본 논문을 심사하여 주신 양성기 교수님, 조언을 해주신 노 홍길 교수님, 항상 관심을 기울여 주신 고 유봉 교수님, 윤 정수 교수님, 최 영찬 교수님 그리고 이 순백 교수님께도 감사드립니다.

멀리 떨어져 있으면서도 용기를 북돋아 주신 박 용항 교수님과 유 용훈 선배님께 감사드립니다. 아울러 항상 옆에서 지켜봐 주시고 아낌없는 충고와 격려를 해주신 고 기원 선배님, 신 희섭 선배님께도 감사드립니다.

귀찮은 일도 마다않고 도와준 박 원배·이 정화 부부에게도 감사 드리며, 항상 벗이 되어준 학우 영석, 순석, 컴퓨터에 많은 도움을 준 재호, 자료정리에 도움을 준 창훈과 경훈에게도 고마움을 표합니다. 또한 여러 친우들에게도 고마움을 표합니다.

끝으로 불편하신 몸으로 아무런 말없이 도와주신 작은 형수님과 항상 힘이 되어 주신 작은 형님, 그리고 항상 격려와 도움 잊지않고 보살펴 주신 큰 형님·형수님, 누님과 매형 그리고 동생에게도 감사드리며, 오랜 대학원 시절동안 학문의 길을 펼칠 수 있도록 끝없는 사랑과 정성으로 심혈을 다해 뒷바라지 해 주신 부모님께 이 작은 결실을 드리고자 합니다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY