

제주도 북서해역의 해수분포와 해수순환

방익찬* · 노홍길** · 김태희*

*제주대학교 해양학과
**제주대학교 어업학과

Water Mass Distributions and Circulations in the Northwestern Sea of Cheju Island

Ig-Chan Pang* · Hong-Kil Rho** · Tae-Hee Kim*

*Department of oceanography, Cheju National University, Chejudo 690-756 Korea
**Department of fishery, Cheju National University, Chejudo 690-756 Korea

On the northwestern sea of Cheju Island, which is important to clarifying the circulation structure of the Yellow Sea and the East China Sea, the circulation has been studied through analyzing the seasonal variation of water mass distributions. The data were observed in February and June, 1994. The water mass distributions in February show that Yellow Sea Warm Water (YSWW) flows into the Yellow Sea through the southern sea of Sohuksando (which can be deduced from it's wide distributions to the west), and Yellow Sea Cold Water (YSCW) flows southward through Taehuksando area between Sohuksando and the Korean Peninsula. On the other hand, the water mass distributions in June show that Yellow Sea Bottom Cold Water (YSBCW) flow southward to the southern sea of Sohuksando (YSWW disappeared and YSBCW occupies the area) and YSWW flows into the Yellow Sea through Taehuksando area (the characteristics of water mass on Taehuksando area are linked to those of YSWW, not to those of YSBCW)

The results agree with the circulation structure presented by Pang *et al.* (1992) that northerly winds in winter season drive southward flows along the coasts and northward flows along the Yellow Sea trough while southerly winds in summer season drive northward flows along the coasts and southward flows along the Yellow Sea trough, so that YSWW flows into the Yellow Sea along the Yellow Sea trough in winter and along the western coast of Korean Peninsula in summer.

서론

황해와 동중국해 그리고 제주도 주변해역에
는 여러 해수들의 흐름이 있다. 그러한 흐름에

는 여름철의 황해저층냉수의 남하 (Asaoka
and Moriyasu 1966; Nakao 1977; Lie 1984;
Park 1985; Kim *et al.* 1991; Youn *et al.*
1991), 겨울철의 황해난류수의 북상(Uda

1934; Byun and Chang 1988; Pang *et al.* 1992), 여름철에 제주도해협으로 양자강연안수의 유입(Yu *et al.* 1983; Beardsley *et al.* 1983; Zhao *et al.* 1983; Kim 1986) 등의 있다. 이러한 흐름들은 대부분 개별적으로 연구되어 왔는데 그것은 이들이 각기 다른 역학에 의한 것이라는 생각을 반영하는 것이다. 그러나 최근의 이들이 개별적인 역학에 의해서가 아니라, 이 해역 전반에 걸친 하나의 역학에 의해 발생할 지 모른다는 학설이 발표되었다 (Pang *et al.* 1992).

이 학설은 이 해역의 해수순환을 두 순환계로 구분하였다. 하나는 쿠로시오해류에서 분리되어 동중국해로 북상한 후 대한해협으로 흐르는 대마난류로 이 해역에서 가장 강하고 년중 유지되는 1차순환이며, 다른 하나는 황해를 중심으로 발생하는 순환으로 계절에 따라 순

환의 방향이 바뀌고 흐름이 매우 약한 2차순환이다. 2차순환은 바람에 의해 형성되는데 이것이 가능한 이유는 이 해역의 수심이 아주 얇아 바람의 효과가 나타날 수 있으며 이렇게 형성된 약한 해류를 상쇄시킬만한 뚜렷한 해류가 없기 때문이다. 이 순환의 기본 역학은 황해의 양 연안에서는 바람방향의 순풍류가 발생하며 중앙의 골을 따라서는 바람방향과 반대방향의 역풍류가 발생한다는 것이다 (Csanady 1982). Fig. 1은 Pang *et al.* (1992)에 의해 제시된 단순모식도로 황해와 동중국해의 해수순환의 계절변화를 보여준다. 여름철에는 남풍에 의해 해류가 황해의 양 연안을 따라 북상하고 중앙골을 따라 남하하며 겨울철에는 북풍에 의해 황해의 양 연안을 따라 해류가 남하하고 중앙골을 따라 북상하는 해류가 발생한다. 이 순환에 의해 황해의 중앙

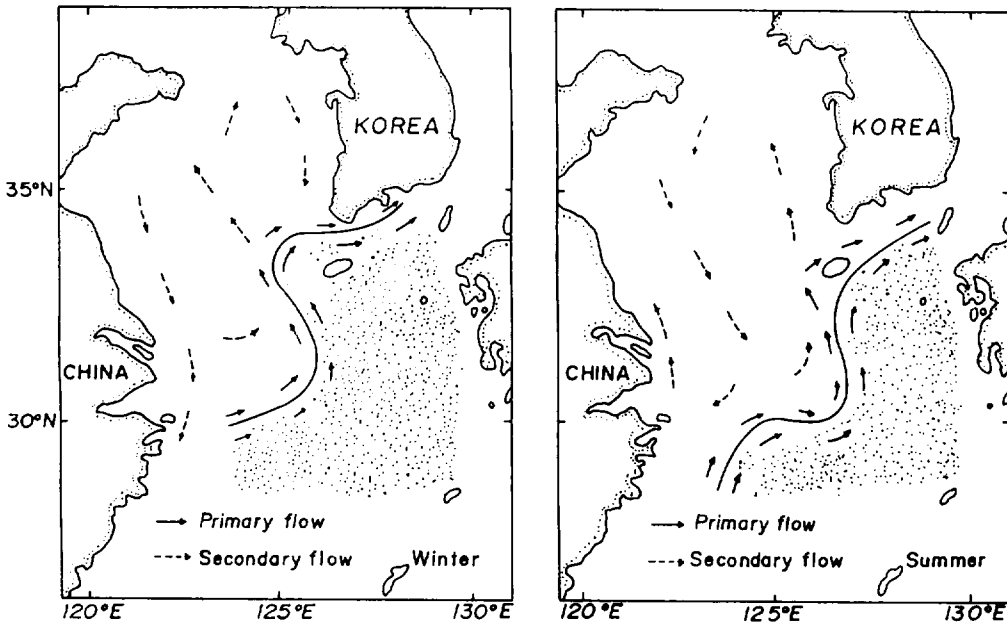


Fig. 1. Schematic Circulation Diagram of the Yellow Sea and the East China Sea in winter and summer, based on two Circulations: Primary One driven by Kuroshio Transport and Secondary One driven by Monsoon Winds. For the primary circulation (Tsushima Current), only boundary flow is emphasized to show its relation to the secondary circulation.

골을 따라 여름철에는 황해저층냉수가 남하하고 겨울철에는 황해난류가 북상하는 계절순환이 발생한다는 것이 이 학설의 주장이다.

이 학설을 뒷받침할 만한 자료들은 많이 있다. 1983년 1월에서 4월까지 황해의 골을 중심으로 관측된 해류자료에는 겨울철 북풍에 의한 역풍류가 뚜렷이 나타나 있으며 (Hsueh *et al.* 1989), 인공위성으로 추적하는 부표의 궤적도 이러한 순환의 가능성을 보여주고 있다 (person communication). 해수특성분포의 자료는 황해의 골을 따라 겨울철에는 고온고염의 해수가 많이 북상하여 분포하고 여름에는 저온저염의 해수가 남하하여 분포하는 것을 보여준다 (Rho, 1985; Pang *et al.* 1992). 그러나 아쉽게도 대부분의 자료는 우리나라 해역에 국한되어 있고 앞으로도 당분간은 황해전역에 걸친 자료를 관측하는 것이 쉽지 않을 전망이다. 그러므로 이 연구에서는 황해해역을 중심으로 한 계절순환의 길목에 해당하여 황해해수순환의 구조를 알기 위해 가장 중요한 해역인 제주도 북서해역을 중심으로 특성분포 변화를 분석함으로써 이 해역의 해수순환을 밝혀 보려고 한다. 특히 여름철 저온현상해역으로 알려진 한반도 남서연안해역의 분석으로부터 황해난류수의 황해유입 문제를 제기하여 앞으로 황해순환연구에 획기적인 계기를 마련해 보고자 한다.

해수분포의 계절변화

해수분포의 계절변화를 살펴보는 목적은 해수분포의 계절변화에서 이 해역의 해수순환을 유추해 보려는 것이다. 자료는 1994년 2월과 6월에 각각 관측되었으며 그때의 관점은 Fig. 2에 표시되어 있다. 2월은 겨울철, 6월은 겨울철에서 여름철로 변하는 시기에 해당한다. 이 해역의 해수순환에서 특히 우리가 알고 싶은 점은 황해가 어떤 경로로 고염의 해수를 공급받는지이다. 많은 하천수가 황해로 유입되에도

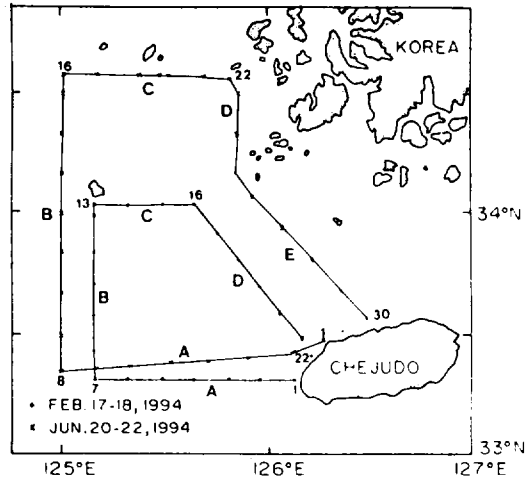


Fig. 2. Observation Stations on the northwestern Sea of Cheju Island in Feb. 17-18 and Jun. 20-22, 1994.

불구하고 황해의 염분이 유지되고 있는 것은 황해로 고염의 해수가 유입되기 때문에 가능할 것이다. 그러나 지금까지 일반적으로 받아들여지고 있는 순환은 대개 황해에서 동중국해로의 유출수들이며 유입수들에 대해서는 아직도 논란 중이다. 논란 중인 순환의 대표적인 것이 황해난류수이다. 황해난류수가 황해로 유입되지 않는다는 많은 주장(Lie, 1984, 1985; Nakao, 1977; Kim *et al.*, 1991; etc.)에도 불구하고 겨울철에 유입된다는 주장(Pang *et al.*, 1992)이 점점 설득력이 갖는 것으로 보인다. 그러나 아직도 여름철에 고염계의 해수가 황해로 공급될 수 있다는 학설은 아직 한번도 제시되지 않았다. 하천유입수, 강수량 등에 의한 저염화가 황해난류수의 유입이 없는 오랜 시간동안 계속된다면 여름철 황해의 염분은 더욱 저염화 될 것이므로 여름철 고염수의 공급은 반드시 필요하다. Pang *et al.* (1992)은 여름철에 서해안을 따라 외해의 해수가 황해로 유입될 수 있는 순환모델을 제시하였다. 그러므로 이 장에서는 황해의 유입수를 연구하는데 중요한 제주도 북서해역의 해수분포를

분석함으로써 황해난류수의 유입가능성을 살펴 보려 한다.

2월의 해수분포 Fig. 3은 2월에 관측해역에 나타난 수괴들의 T-S Diagram이다. 2월에 관측해역의 수괴들은 T-S Diagram에 거의 직선상에 나타나 이들이 고온고염의 대마난류수와 저온저염의 황해냉수의 혼합에 의해 생성된 수괴들이라는 것을 보여준다. 또한 이 수괴들은 대략 3무리를 형성하고 있는데 하나는 12.5℃ 이상, 33.4% 이상인 고온고염의 대마난류수와 다른 하나는 10℃ 이하, 33.4% 이하인 저온저염의 황해냉수이며, 나머지는 그 사이의 10-12.5℃, 33.4-34.3%인 황해난류수이다. 황해난류수를 다시 나누는 것은 견해에 따라 달라질 수 있으나 이 논문에서는 수괴분석이 목적이 아니기 때문에 편의상 모두 황해난류수로 부를 것이다.

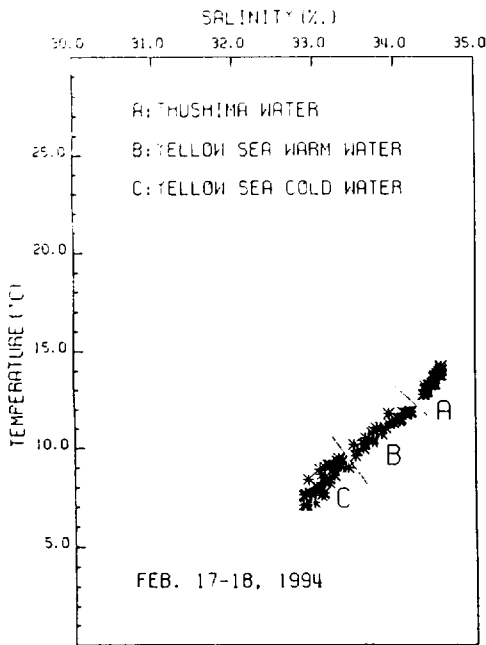


Fig. 3. T-S Diagram of all data in Feb. 17-18, 1994.

Fig. 4는 5m 층의 수온(a)과 염분(b)의 수평분포를 보여준다. 대마난류수는 제주도 연안

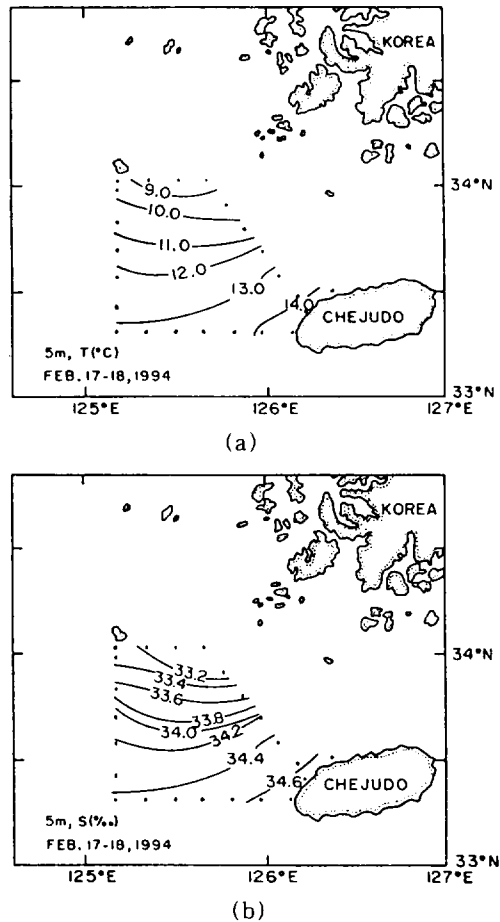
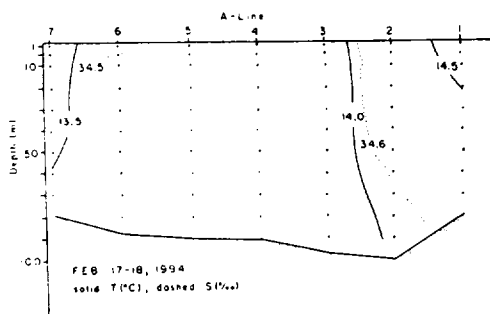


Fig. 4. Horizontal Distribution of (a) Temperature and (b) Salinity on the depth of 5m in Feb. 17-18, 1994.

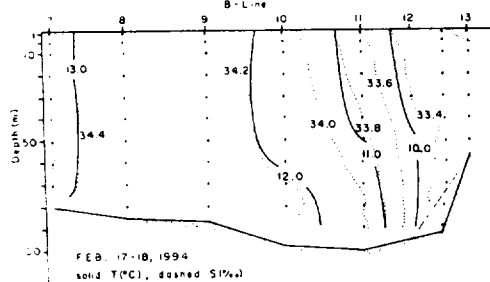
역을 중심으로 제주도 서방해역에서 제주해협으로 연결되어 분포하고 있어 대마해수가 제주도 서방해역을 지나 모두 제주해협으로 유출되는 것을 보여 준다. 황해냉수는 서해안을 따라 소록산도 이남해역까지 자리잡고 있으며 황해난류수는 대마난류수와 황해냉수 사이에 분포하고 있다. 황해난류수의 분포를 보면 D 단면에서는 좁게 분포한데 비해 B단면에서는 남북으로 넓게 분포해 B단면 서쪽해역으로 보다 폭넓게 확장되어 황해로 연결될 가능성을 보여준다. 황해냉수와 황해난류수의 경계선의

방향이 약간 북서-남동방향으로 치우쳐 있다는 것이 이 가능성을 더욱 크게 한다. 이 분포만으로는 해수순환을 말하기 어려우나 우리가 이미 알고 있는 지식이나 제시된 학설(Fig. 1, Pang et al., 1992)로 미루어 볼 때 이 분포는 황해난류수가 소흑산도 서쪽해역을 지나 황해 중앙부를 통해 황해로 유입되고 황해냉수는 한반도 서해안을 따라 남하하는 구조와 일치한다.

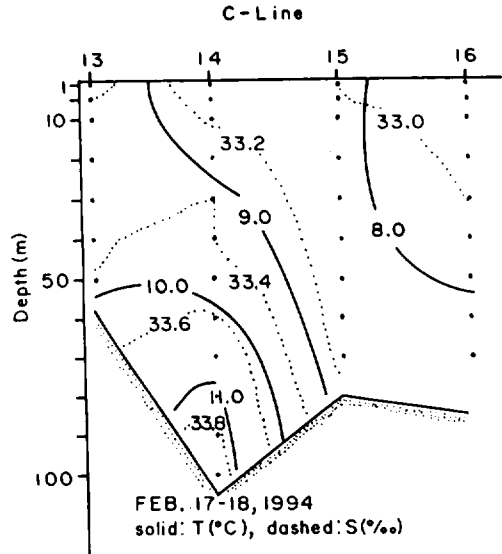
Fig. 5는 Fig. 2에 나타난 2월 관측단면 A-D의 수온·염분 수직분포도로서 겨울철에는 해수가 수직적으로 거의 균일한 분포를 하고 있다는 것을 보여준다. A단면에는 대마난류수만이 보이며 B와 D단면에는 3 수위가 모두 나타난다. 그러나 B단면에는 남쪽의 대마난류수와 북쪽의 황해냉수 사이에 황해난류수가 폭넓게 분포하는데 비해, D단면에는 남쪽에 대마난류수와 북쪽에 황해냉수가 폭넓게 분포하며 그 사이의 황해난류수는 매우 좁은 범위에 분포해 D단면 해역에서 대마난류수와



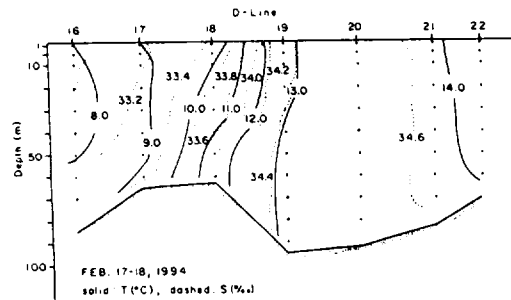
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 5. Vertical Distribution of Temperature and Salinity along (a) A, (b) B, (c) C, and (d) D Lines in Feb. 17-18, 1994.

황해냉수 사이에 전선이 형성됨을 볼 수 있다. D단면의 8℃와 9℃ 등온선을 보면 황해냉수가 남쪽으로 흐르는 모양이며 그로인해 황해난류수가 대마난류수를 압박하면서 생긴 것으로 추측된다. 이러한 방향은 이 시기에 우세한 북서계절풍의 방향과도 일치한다. C단면에서는 대부분 황해냉수가 분포하나 골의 저층에 황해난류수가 약간 분포하여 이 부분에서도 황해냉수가 황해난류수를 압박하는 형태를 보여준다.

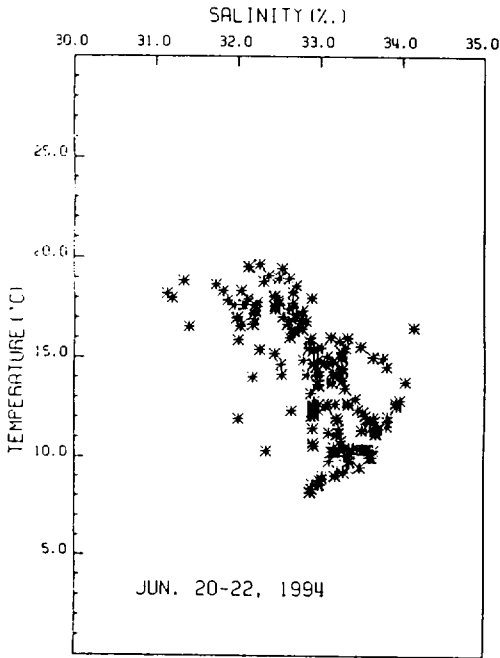


Fig. 6. T-S Diagram of all date in Jun. 20-22, 1994.

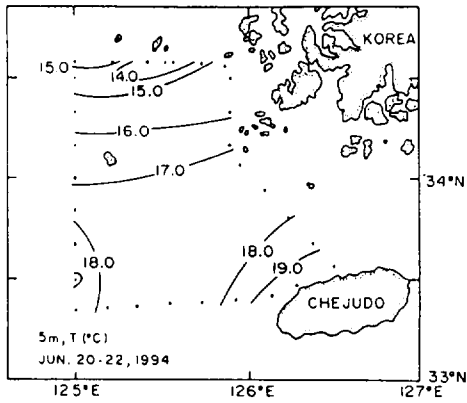
6월 해수분포 Fig. 6은 6월에 관측해역에 나타난 수괴들의 T-S Diagram이다. 6월에 관측해역의 수괴들은 2월에 비해 다양하다. 2월(Fig. 3)과 6월(Fig. 6)의 T-S Diagram을 비교해 보면 저온저염의 황해냉수는 약 1°C 정도 기온이 상승하였으나 염분은 거의 변화하지 않은 상태로 6월에도 이 해역에 나타난다. 이것은 겨울철에 형성된 황해냉수가 수온이 약간 상승하였으나 여전히 그 성질을 유지한 채 저층에 분포하기 때문이다. 이 시기에 황해냉수는 황해저층냉수로 분리워지며 그 양은 2월에 비해 매우 적어졌다. 고온고염의 대마난류수는 보이지 않으며 저염수들이 많이 나타나는데 특히 31‰ 정도의 저염수도 나타나 양자강연안수의 영향의 6월에 이미 시작됨을 알 수 있다. 이 시기에는 T-S Diagram 상의 해수특성분포가 황해난류수에서 양자강연안수로 연결되어 황해저층냉수를 제외한 해

수들이 이 두 해수들의 혼합에 의해 형성된 것임을 알 수 있다.

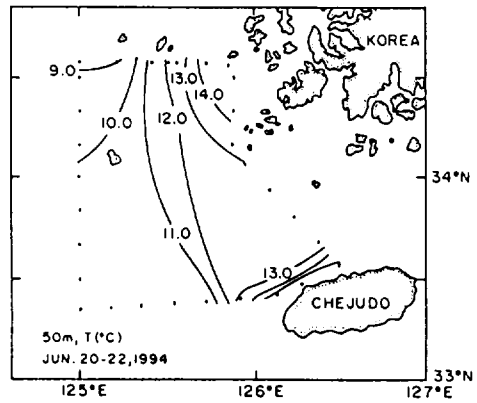
6월에 수괴분류는 2월 보다 복잡하며 2월과 같이 수괴들이 T-S Diagram 상에서 무리를 형성하고 있지 않기 때문에 분류하기가 쉽지 않다. 우선 황해저층 냉수와 다른 해수와 의 경계도 모호하다. 그러나 황해저층냉수는 2월의 염분 상한선인 33.4‰ 보다 염분이 높아질 수는 없으므로 33.4‰을 염분 상한선으로 정할 수 있으며 염분 상한선과 함께 해수의 혼합과정을 생각하면 황해저층냉수의 수온 상한선도 정할 수 있다. 즉 2월의 황해난류수 특성의 상한선인 10°C, 33.4‰의 해수가 약 17.5°C, 32.0‰의 고온저염의 양자강연안수와 혼합되어 특성이 변한다면 이 두지점을 잇는 직선상에 나타날 것이다. 이 직선은 황해난류수와 양자강연안수 사이의 혼합수들이 보이는 대체적인 특성변화 방향과 거의 평행하다. 황해저층냉수의 염분 상한선인 33.4‰ 보다 약간 낮은 염분을 갖고 수온이 약간 높은 무리의 해수특성은 그 직선보다 저온저염에 위치하기 때문에 황해난류수가 변질되어 생성되었다고 볼 수 없으며 황해저층냉수가 온도가 높아져 생성되었음을 알 수 있다. 그러므로 6월에 황해저층냉수의 수온상한선이 약 10.5°C임을 알 수 있다. 황해난류수의 수온·염분 상한선은 이 시기에 큰 의미가 없다. 왜냐하면 대마난류수가 나타나지 않기 때문에 황해난류수가 고온고염의 해수와 경계지워질 필요가 없기 때문이다. 대신에 하한선은 황해저층냉수와 경계지워지며 10.5°C, 33.4‰이다. 그러나 이 이외의 수괴들은 이 수괴들과 양자강연안수의 혼합수로서 특성범위가 매우 크고 다른 수괴의 특성값과 겹쳐지기 때문에 특성값의 범위를 정의하기 곤란하다.

6월에는 2월과는 달리 성층이 이루어지기 때문에 표층의 분포와 저층의 분포가 다르다. Fig. 7은 5m 층의 수온(a)과 염분(b)의 수평 분포이며 Fig. 8은 50m 층의 수온(a)과 염분

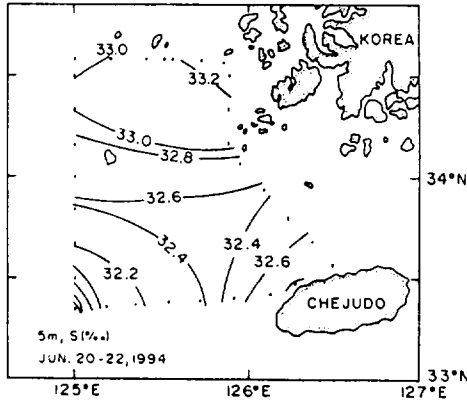
제주도 북서해역의 해수분포와 해수순환



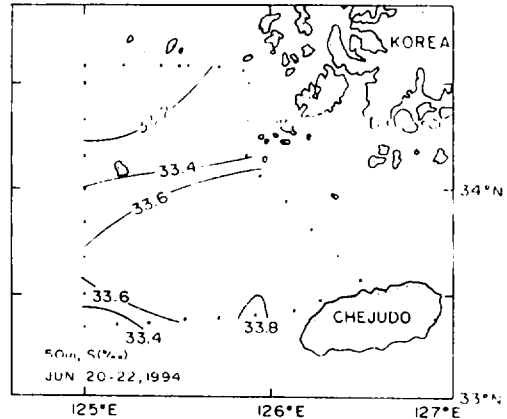
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 7. Horizontal Distribution of (a) Temperature and (b) Salinity on the depth of 5m in Jun. 20-22, 1994.

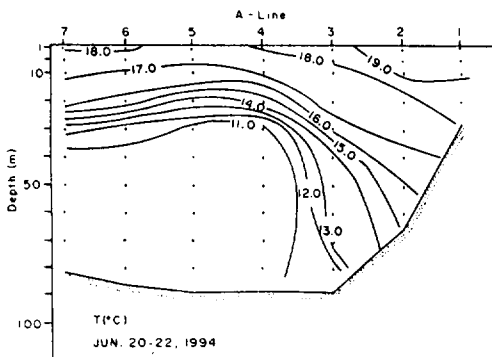
Fig. 8. Horizontal Distribution of (a) Temperature and (b) Salinity on the depth of 50m in Jun. 20-22, 1994.

(b)의 수평분포들이다. 이 시기의 표층분포에는 이미 양자강연안수의 저염영향이 관측해역의 남서해역에서 제주해협까지 나타나 있으며 대흑산도 부근의 한반도 남서 연안에도 비교적 차고 높은 염분의 해수가 분포해 있다. 대흑산도 부근해역은 여름철 이상저온해역으로 알려진 해역이며(김과 강, 1993; 강, 1979) 표층분포만으로 본다면 대흑산도부근의 찬 해수는 황해 중앙부의 해수와 연결되어 있고 외해와는 연결되지 않는 것으로 보인다. 그러나 50m층의 수평수온분포에서는 대흑산도부근의 해수가 황해 중앙부와 연결된 것이 아니라 오

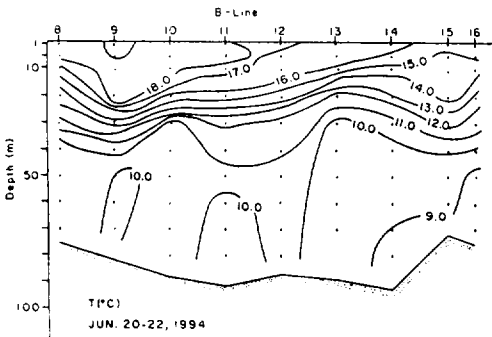
히려 외해와 연결된 것으로 나타난다. 이러한 50m 층의 수온분포는 다음 장에서 언급하듯이 황해의 해수순환을 밝히는 데에 매우 귀중한 의미를 갖는다.

Fig. 9과 Fig. 10은 Fig. 2에 나타난 6월 관측단면 A-E의 수온·염분 수직분포도이다. A 단면을 보면 약층이 형성되어 상층과 하층이 구별되며 상층에는 양자강연안수가 전 단면에 분포한다. 하층에는 동쪽에 황해난류수가 서쪽에 황해저층냉수가 분포하며 대마난류수는 보이지 않는다. 제주도 연안에서 동온선이나 동

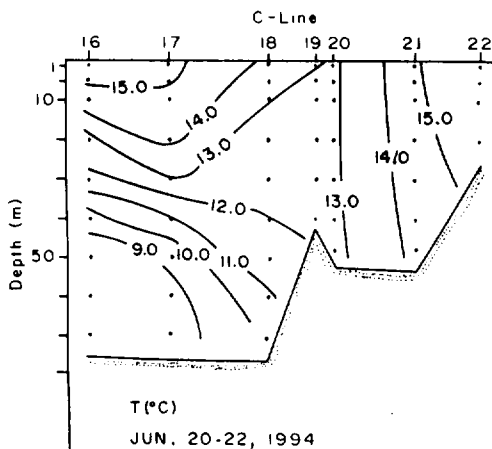
염분선이 저층을 향해 굽어져 있는데, 이는 수심이 얕은 많은 연안역에서 발생하는 상·하층의 혼합으로 인한 형태라기 보다는 고온고염의 해수(황해난류수)가 이 해역을 지나 남쪽에서부터 북쪽으로 흘러가기 때문으로 보인다



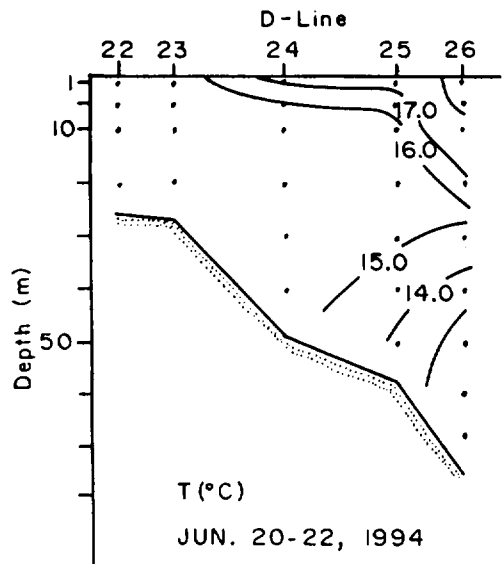
(a)



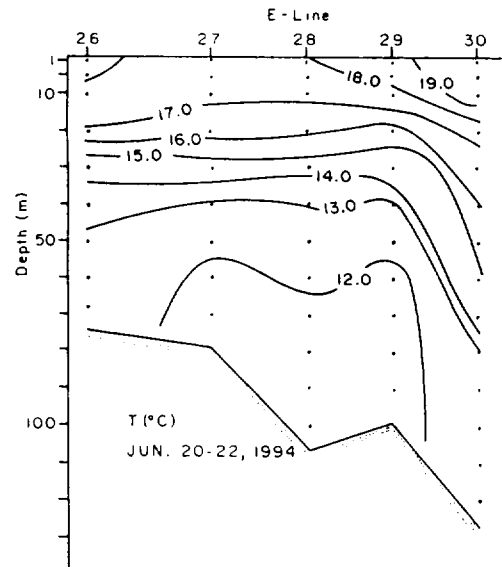
(b)



(c)



(d)



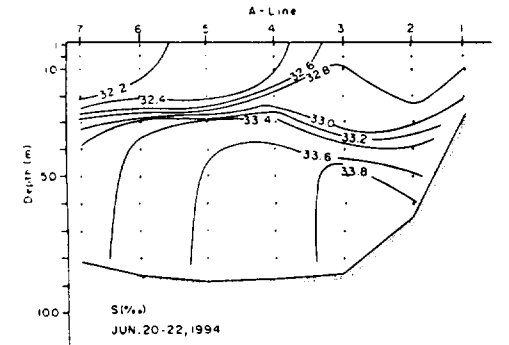
(e)

Fig. 9. Vertical Distribution of Temperature along (a) A, (b) B, (c) C, (d) D, and (e) E Lines in Jun. 20-22, 1994.

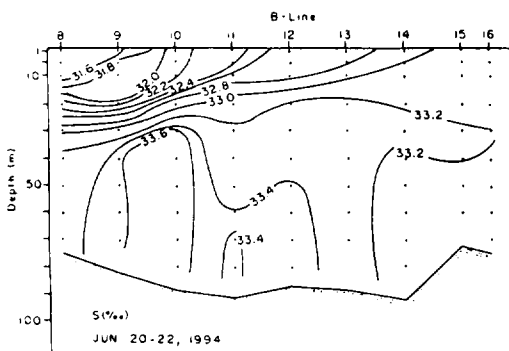
다. 이는 제주도 연안의 표층수온이 외해의 표층수온보다 높아 상·하층 혼합에 의한 것으로 보기 힘들기 때문이다. 저층에서는 황해난

제주도 북서해역의 해수분포와 해수순환

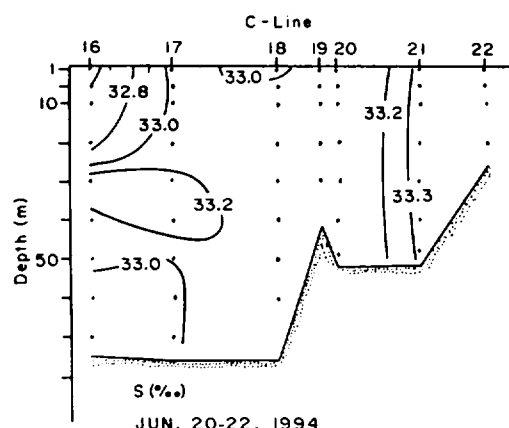
류수와 황해저층냉수가 대치하고 있음을 볼 수 있는데 황해난류수의 분포범위가 제주도 연안에 한정되고 황해저층냉수가 이 단면에 나타남을 볼 수 있다. B 단면의 상층에는 양자강연안수가 저층에는 황해저층 냉수가 분포하는데 북쪽으로 갈수록 양자강연안수의 영향



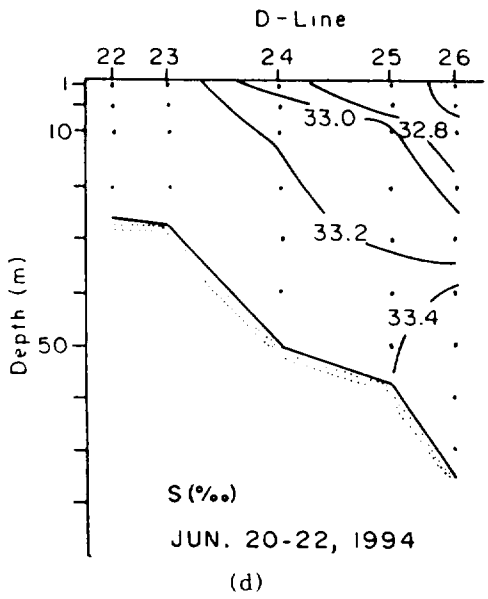
(a)



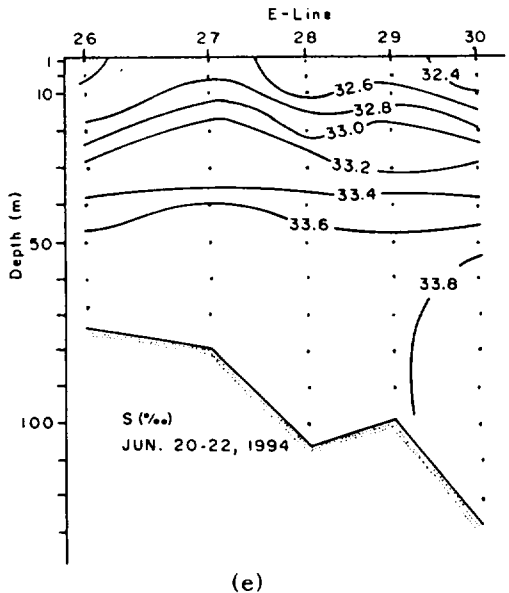
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 10. Vertical Distribution of Salinity along (a) A, (b) B, (c) C, (d) D, and (e) E Lines in Jun. 20-22, 1994.

이 약화되고 황해저층냉수의 영향이 강화됨을 볼 수 있다. C 단면에는 특이한 모양이 나타난다. 관측점 19 이서의 해역에는 다른 해역과 같이 상·하층의 성층이 이루어 지고 있는데 반

해 이동의 해역에는 전 수심이 균일한 분포를 하고 있다. 이러한 분포는 다시 남쪽해역으로 내려가면 사라져 버린다. D와 E단면에서 관측점 25 이남의 해역에는 다시 성층이 이루어지며 상층에는 양자강연안수의 영향으로 저염의 표층수가 저층에는 황해난류수가 분포하고 있다. 이와같이 상·하층이 균일한 특성을 보이는 해역은 여름철 이상저온현상이 나타난다고 보고된 해역과 일치하며 여름철 황해의 해수순환을 밝히는데 중요한 해역으로 다음장에서 설명할 것이다.

대흑산도 부근 저온현상해역과 황해의 해수순환

한반도 남서해역인 대흑산도 부근해역은 여름철에 표층수온이 주변보다 낮은 이상저온이 나타나는 해역으로 알려져 왔다 (강, 1979; 김과 강, 1993). Fig. 8의 6월 수평수온분포에는 역시 이 해역에 저온이 분포하고 있다. 이러한 표층저온은 Fig. 9(c)와 10(c)의 수직단면분포에서 알 수 있는 바와 같이 상·하층의 해수가 혼합되어 저층의 저온해수가 상층에 영향을 미치기 때문이며, 이러한 혼합이 가능한 이유는 수심이 낮은 이 해역에 강한 조류가 생성되기 때문이다(김과 강, 1993). 그러나 이 논문에서 이 해역에 관심이 있는 것은 저온현상의 역학 때문이 아니라 이 해역의 해수가 어디로 부터 공급되었는지가 황해해수순환을 밝히는데 열쇠의 역할을 하기 때문이다.

이 해역의 해수가 황해에서 공급되었다면(강, 1979) 여름철에 고염계의 해수가 유입될 가능성은 없어진다. 여름철에 황해난류수는 제주도 연안 가까이에만 분포하며 서쪽에는 황해저층냉수가 폭넓게 자리잡고 있기 때문에 소흑산도 이남해역을 통해 황해로 연결될 수는 없다. 그러므로 여름철에 고염계의 해수가 황해로 유입될 수 있는 유일한 통로는 대흑산

도 부근 해역을 통해 유입되는 것이다. 그러나 여름철의 수평분포에는 Fig. 7, 8과 같이 대흑산도 부근해역과 그 이남 해역에 강한 전선이 형성되어 해수의 유입이 불가능한 것으로 보이며(Lie, 1984, 1985; Nakao, 1977; Kim *et al.*, 1991; etc.), 또한 대흑산도 부근해역의 해수가 황해저층냉수와 연결된 것처럼 나타나 이러한 주장을 더욱 뒷받침해 주어 왔다. 그러나 이러한 주장이 옳다면 황해에는 여름철에 황해로 유입되는 막대한 하천수나 강수량으로 인해 염분의 유지가 불가능하다. 황해의 여름철 염분을 유지하기 위해서는 어디로든가 고염계 해수의 유입이 필요하며 그 통로는 대흑산도 부근의 한반도 서해안 밖에는 없다.

6월의 관측결과는 이 문제의 해답을 제시해주고 있다. Fig. 9(c)에 나타난 수직수온분포에는 관측점 18과 관측점 20의 해수기둥을 비교해 보면 관측점 18의 해수기둥은 대부분 13℃ 이하임에 비해 관측점 20의 해수기둥은 모두 13℃ 정도의 수온을 가지고 있기 때문에 관측점 18의 해수기둥이 상·하로 혼합될 경우 관측점 20의 수온을 가질 수 없다. Fig. 10(c)의 수직염분분포를 보면 이러한 추론이 더욱 명확해 진다. 대흑산도 부근 해역의 해수기둥 염분은 거의 33.2‰인데 비해 황해저층냉수 해역의 해수기둥은 저층은 이보다 약간 낮고 상층은 많이 낮아 황해저층냉수 해역의 해수기둥이 상·하로 혼합되어 대흑산도 부근해역의 염분을 만들 수는 없다. 이것은 대흑산도 부근해역이 하천수의 영향을 많이 받고 있는 해역이라는 점을 감안하면 더욱 확실해진다. 이러한 고염이 대흑산도 부근해역 이북의 해수에 의해 공급받았다고는 생각할 수도 없으며 Fig. 10(c)에서 볼 수 있듯이 반드시 이남의 해수에 의해 공급받음으로써 만이 가능하다.

Fig. 8(b)의 50m 층의 수평염분분포에서 대흑산도해역과 이남의 해역에 전선이 형성된

것은 대흑산도해역에 많은 하천수가 유입되었기 때문이며 하천수 유입으로 영향을 받지 않는 수온분포를 보면 황해난류수가 제주도 해역에서 대흑산도해역으로 유입되고 있는 것을 뚜렷이 볼 수 있다. 이것은 여름철에 황해난류수가 서해연안을 따라 황해로 유입될 가능성을 보여주며 Fig. 1에서 제시된 여름철 해수순환을 뒷받침해 주는 결과이다.

결론 및 토의

황해와 동중해의 해수순환은 지금까지 오랫동안 연구되어 왔으나 아직도 명확하게 설명할 수 있는 부분이 거의 없는 실정이다. 그 이유는 황해가 만의 형태로 해수의 유출·입이 적어 해수순환이 매우 완만한데다 수심이 얕고 강수, 하천수, 바람 등 기상의 영향을 많이 받아 해수분포의 변화가 심하고 뚜렷한 분포를 나타내지 않기 때문이다. 그러나 최근 이해역의 해수순환을 이해하는 데에 실마리를 제공하는 이론이 제시되었다 (Pang et al., 1992). 이 이론은 우선 이 해역의 해수순환을 1·2차순환으로 구분하여 두 순환이 다른 역학에 의해 발생한다는 것을 밝혀 지금까지 순환역학의 이해에 혼란을 일으켰던 부분을 정리하였다. 1차순환은 대마해류의 순환으로 년중 지속되는데 비해 2차순환은 계절풍에 의해 발생하는 순환으로 이를 단순화시킨 모식도가 Fig. 1로 제시되었다. Fig. 1의 대마해류순환은 2차순환과의 관계만을 보이기 위해 그 경계의 흐름만을 강조하여 단순화시켰다. 계절풍에 의해 발생하는 2차순환은 그 역학이 해안을 따른 순풍류와 골을 따른 역풍류로서 계절에 따라 순환의 방향이 바뀌게 된다. 이러한 구조 중 역풍류의 축은 실제로는 황해의 깊은 골을 따르지 않고 황해에서의 마찰에 의해 중국 쪽으로 치우치게 된다. 제주도 북서해역은 이러한 황해의 순환구조를 확인하기에 좋은 해역

이다.

제주도 북서해역에서 대마난류수의 분포는 겨울철에 나타나며 여름철에는 나타나지 않아 대마난류수가 겨울철에는 이 해역으로 유입되고 있으나 여름철에는 유입되지 않음을 보여준다. 겨울철에 제주도 연안에 나타나는 대마난류수 분포는 제주해협으로 집중되어 이 해역으로 유입된 대마난류수는 제주해협으로 유출됨을 알 수 있다.

소흑산도 이남의 해역을 보면 겨울철에 황해난류수가 서쪽으로 폭넓게 분포하여 황해로 유입될 가능성을 보여 주는데 비해 여름철에는 황해저층냉수가 자리잡고 있어 이 해역을 통한 황해난류수의 황해유입이 불가능해진다. 반면에 소흑산도와 한반도 남서해안 사이 즉 대흑산도 부근해역을 보면 겨울철에는 황해냉수가 소흑산도 이남해역까지 남하하여 분포하므로 황해냉수가 서해안을 따라 남하하는 분포를 보여주는데 반해 여름철에는 이 해역의 해수기둥 전체의 수온과 염분이 높아 그 해수 특성이 황해저층냉수가 아닌 황해난류수의 영향에 의해서만이 형성될수 있다는 것을 보여주어 황해난류수가 이 해역을 통해 황해로 유입될 가능성을 보여주었다. 여름철에 황해난류수가 이 해역을 통해 황해로 유입될 가능성은 황해순환을 밝히는데 매우 중요한 것으로 여름철에 고염의 해수가 황해로 공급될수 있는 유일한 통로이기 때문이다. 이 해역은 여름철에 이상저온현상이 나타나는 해역으로 알려져 왔으며 그 저온은 황해저층냉수로부터 공급된 저층수와 표층수가 조류혼합으로 인해 섞이기 때문에 나타나는 현상으로 이해되어 왔다. 이러한 해석은 황해저층냉수가 이 해역으로 유입된다는 것을 말하며 자연히 황해난류수의 유입이 차단된다는 것을 뜻한다. 그러나 이 연구의 관측자료는 이러한 견해를 바꾸게 하는 결정적인 계기를 마련하였다.

이러한 결과는 Fig. 1에 제시된 해수순환의

계절변화를 뒷받침해 주는 것이다. 그러나 관측해역의 범위가 황해난류수의 황해유입을 보다 확실히 보여줄 수 있을 만큼 넓지 못하기 때문에 앞으로 확대된 해역의 조사가 필요하다. 특히 겨울철에 소흑산도 남쪽해역을 통해, 여름철에 대흑산도 해역을 통해 황해난류수가 황해로 유입되는 것을 밝히기 위해서는 관측해역이 보다 서방해역과 북방해역으로 확대되어야 할 것이다.

사 사

이 논문은 주로 1993-1994년 과학기술처의 연구과제(과제번호 BSPN 00246-711-1)로 수행되었으며, 일부는 일본문부성에서 지원된 '대마해류역의 생물지리'에 관한 한일간의 공동연구과제(Grant-in Aid No. 04045041 from the Ministry of Education, Culture, and Science, Japan)로 수행되었다.

참고문헌

Asaoka, O. and S. Moriyasu, 1966. On the Yellow Sea in Winter (Preliminary Report). *Oceanogr. Mag.*, 18(1-2):73-81.

Beardsley R.C. and R. Limeburner, 1993. Structure of the Changjiang River Plume in the East China Sea during June 1980: Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea. *Acta*, editor, *Oceanologica Sinica*. China Ocean Press, Beijing, 243-260.

Byun, S.K. and K.I. Chang, 1988. Tsushima Current Water at Entrance of the Korea Strait in Autumn. *prog. Oceanog.*, 21:295-296.

Csanady, G.T., 1982. Circulation in the

Coastal Ocean. D. Reidal Pub. Co., p. 279

Hsueh, Y. and I.C. Pang, 1989. Coastally Trapped Long Waves in the Yellow Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 19(5):612-625

Kim I.O., 1986. A Study on Coastal Waters of the China Continent appeared in the neighbouring Seas of Cheju Island. MS thesis, Cheju National Univ., 46pp.

Kim, K., H.K. Rho and S.H. Lee, 1991. Water Masses and Circulation around Cheju-Do in Summer. *J. Oceanog. Soc. Korea*, 26(3):262-277.

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

Lie, H.J., 1985. Wintertime Temperature and Salinity Characteristics in the south-western Hwanghae (Yellow Sea). *J. Oceanog. Soc. Japan*, 41:281-291.

Nakao, T., 1977. Oceanic Variability in relation to Fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Technol. Tokai Univ. Spec.*, No. Nov., 199-366.

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 Seas of Cheju Island. *Bull. Korean fish. Soc.*, 25(2):151-163.

Park, Y. H., 1985. Some Important Summer Oceanographic Phenomena in the East China Sea. *J. Oceanog. Soc.*

- Korea, 20:12-21.
- Park, Y. H., 1986. A Simple Theoretical Model for the Up-wind flow in the southern Yellow Sea. *J. Oceanog. Soc. Korea*, 21: 203-210.
- Rho, H. K., 1985. Studies on marine environments of fishing grounds in the waters around Cheju Island, Ph. D. Thesis, Univ. of Tokyo:215.
- 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.
- Youn, Y. H., Y. H. Park. and J.H. Bong, 1991. Enlightenment of the Characteristics of the Yellow Sea Bottom Cold Water and its southward Extension. *J. Korean Earth Science Society*, Vol. 12(1):25-37.
- Yu, H., D. Zheng, and J. Jiang, 1983. Basic Characteristics of the Studies Area. Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea. *Acta, editor, Oceanologica. Sinica*. China Ocean Press, Beijing, 270-279.
- Zhao, B. and G. Fang, 1991. Estimation of Water Volume Transports through the main Straits of the East China Sea, *Acta Oceanologica*, 10:1-13.
- Zhao, J., R. Qiao, R. Dong, J. Zhang, and S. Yu, 1983. An Analysis of Current Conditions in the Investigation Area of the East China Sea: Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea. *Acta, editor, Oceanologica. Sinica*. China Ocean Press, Beijing, 288-301.
- 김복기, 강용균, 1993. 서부남부 전선남부 전선역의 1990년 해황. *황해연구*, 5:21-32.
- 강철중, 1979. 한국서해 해황의 계절적 변동에 대하여. *수산진흥원연구보고지*, 8:9-29.