

제주도 서남방 동중국해역에서 하계 해양전선 형성과 수질특성

허만영 · 최영찬[†]
제주대학교 해양학과

Formation and Characteristics of Ocean Fronts at the East China Sea in Southwestern Sea Area from Jeju Island, Summer

M. Y. Heo and Y. C. Choi[†]

Department of Oceanography, Cheju National University, 66 Jejudaehakno, Jeju-si, Jeju-do, 690-756, Korea

요 약

제주도 서남쪽 동중국해 해역에서 하계인 8월에 형성되는 외양 전선역의 특성을 알아보기 위해 1999년 8월 하순에 관측이 이루어 졌는데, 그 결과를 요약해 보면 A 라인에서는 경도 124°, 위도 31°30' 에 위치한 정점 A5에서 표층부터 수심 50 m까지의 밀도가 21.4에서 22.1의 범위로 비교적 균등한 분포를 보임으로써 중국연안쪽의 22.0과 외양역의 22.0의 값과는 구분되는 전선역이 형성된다. 또한 B 라인에서는 경도 124°, 위도 33°에 위치한 정점 B6에서 A 라인에서와 마찬가지로 중국연안쪽과 외양역의 밀도 20.0과 구분되는 전선역이 형성된다. 이 결과는 동중국해 해역에서 양자강 담수의 유출로 인한 외양역(에서)의 전선역이 양자강에서 정동방향으로는 동경 124°, 동북쪽으로는 동경 124°30' 에서 형성되고 있음을 보여주는 것이다. 전선역에서의 영양염 특성은 전선역을 중심으로 중국 연안쪽에서 높고, 외양역에서 표층과 저층간의 농도차가 뚜렷하게 나타나는 반면에 전선역에서는 상하 층이 거의 균일하며 낮은 농도 분포를 보인다. 엽록소 a의 농도도(는) 전선역을 중심으로 중국 연안쪽과 외양역에서 높으나 전선역 중심에서는 낮은 분포를 보인다. 이상과 같은 결과로 볼 때 전선역이 형성되는 해역은 상하혼합과정에서 흐름의 증대로 인해 식물플랑크톤의 활성이 낮아지기 때문에 생산력이 낮아지는 것으로 생각된다. 또한 여름철 동중국해 해역에서 형성된 외양전선역은 중국대륙 담수의 유출량에 따라 전선역이 제주도까지 밀려올 가능성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

Abstract – The results of analyzing the hydrographic observations in the southwestern sea of Jeju Island in the last 10 days of August 1999 to investigate the characteristics of oceanic front area appeared in the East China Sea in August from is summarized as follows: In Line A, a front appears at Station A5 of 124°E and 31°30'N, showing relatively uniform density of 21.4 to 22.1 in the surface layer of 50m depth, which is distinguished from 22.0 shown in the sides of China and open ocean. In Line B, a front also appears at Station B6 of 124°E and 33°N, of which density is distinguished from 20.0 shown in the sides of China and open ocean as in Line A. As a result, the front area caused by fresh water runoffs from the Yangtze River in the East China Sea is formed at 124°E and 124°30' in the direction of east and northeast from Yangtze River, respectively. Nutrient concentrations in the study area are characterized by higher density in the side of China and by clear density difference between the upper and the lower layers in the side of open ocean, while by uniformly lower density concentration between the upper and the lower layers in the front area. Chlorophyll-a concentrations is high in the sides of China and open ocean, while low in the front area. Judging from the above results, the productivity in the front area is lower according to the inactivity of phytoplankton due to increased flow from vertical mixing between the upper layer and the lower layer. Also, the front area in the East China Sea in summer may be moved towards the adjacent sea of Jeju Island by increasing fresh water runoffs from the Yangtze River in summer.

Keywords: Fresh water(담수), Front zone(전선역), Chlorophyll-a(엽록소)

[†]Corresponding author: ycchoi@cheju.ac.kr

1. 서론

일반적으로 해양에서 전선을 서로 다른 수괴간의 불연속면이라 부른다. 이러한 전선의 양측면에는 유속, 수온, 염분, 수질 등이 급변한다.

전선에는 외양역전선, 연안역전선, 혼합형 전선으로 구분되어지고 있다. 외양역 전선으로는 제주도 남방해역에서 쿠로시오(Kuroshio) 전선, 한국동해북부해역에서 오아시오전선, 아한대수와 쿠로시오의 아한대전선, 그리고 중위도 해역에서 나타나는 아열대 수축선인 아열대 전선 등이 구분되어지며, 연안역 전선에는 연안용승전선, 하구역전선, 내만연안전선, 조석전선이 나타나어지고 있다. 혼합형 전선은 외양, 연안 전선의 중간형태나, 연안에서도 육상수 유입과 유입이 없는 해역에서 나타나는 전선을 구분할 때 쓰여진다. 연구해역인 동중국해(East China Sea) 및 제주도 주변 해역은 대부분 수심이 200 m이하의 대륙붕으로 형성된 천해역으로 북쪽으로는 우리나라 황해와 접해있고 남쪽으로는 북태평양과 접해있으며 제주도 동쪽 대한해협을 통해 동해와 접해있다. 특히 제주도 주변해역은 대마난류수, 중국대륙육상수유입, 황해냉수괴, 한국 남해육상수 유입 등으로 복잡한 양상을 띠는 해역으로 동중국해 대륙붕 가장자리를 따라 쿠로시오의 지류인 고온고염인 대마난류수가 겨울철에는 북서쪽으로 확장하고(Nitani[1972]), 여름철에는 남동쪽으로 후퇴하는 계절변화를 하는 것으로 보고되고 있다(빙과 김[1989], Guan[1994]). 그러므로 동중국해 및 제주주변해역에 출현하는 고온·고염의 난류세력과 저온·저염의 냉수세력 및 연안수들 사이에 수온·염분 전선이 형성되며 특히 여름철에는 중국대륙 육상수중 양쯔강(長江)의 유입으로 표면 염분을 저하시키는 수괴가 제주도 서북해역까지 그 세력권을 형성하여(김[1986], 김과 노[1994], Lie[1986]) 연안 전선역이나 그 세력권이 확장되면서 외양역에서 전선역이 형성된다.

이러한 전선역에는 와동현상의 발달이나 전선의 굴곡과 장벽효과 등이 있어 어류의 분포와 회유에 영향을 미치고, 특히 북반구에서 난수성 와(亂水性渦)는 물질의 집적효과, 냉수성 와(冷水性渦)는 용승현상에 의해 영양염류가 풍부한 저층수를 상층에 공급하여 생산성을 높이므로 어류를 밀집시키는 역할을 한다.

따라서 어장학적인 전선연구 및 전선과 어장과의 관한 연구가(Nakano(1997), 조[1986], 공[1971], 노와 정(1978)] 이루어졌으며, 한국남해역과 한국남서해역 제주도 주변해역에서 형성되는 전선에 관해서도(공[1971], 공과 손[1982]) 연구되었다.

그러나 우리나라에서는 아직까지 주변 연안역 전선이나 외양역 전선에 관한 연구가 미흡하며 본 연구 대상해역인 제주도 서남방 동중국해역의 서로 다른 수괴간의 전선역 형성에 관한 규명이나, 전선역 주변의 물리·화학적 특성에 관한 연구가 부족한 현실이다.

이에 본 연구는 중국대륙육상수 유입이 많은 하계인 8월에 제주도 서남방 동중국해 해역에서의 전선역 형성과 그 주변 해수의 특성을 물리·화학적으로 규명해 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사방법

본 연구조사는 1999년 8월 26일부터 9월 2일까지 제주도 서쪽해역에서부터 중국상해(양쯔강하구)까지 동경 122°에서 127°, 북위 31°30'에서 34°(Fig. 1)의 21개 정점에서 조사되었다. 채수는 표준수심(0 m, 10, 20, 30, 50, 75 m, >75 m)에서 반톤채수기로 채수되었다.

2.2 분석방법

수질분석은 해양환경공정시험법(해수부[1997]) 및 그에 준하는 시험방법으로 행하였다.

수온 및 염분은 현장에서 CTD(SBE19)로 측정하였으며, 이것

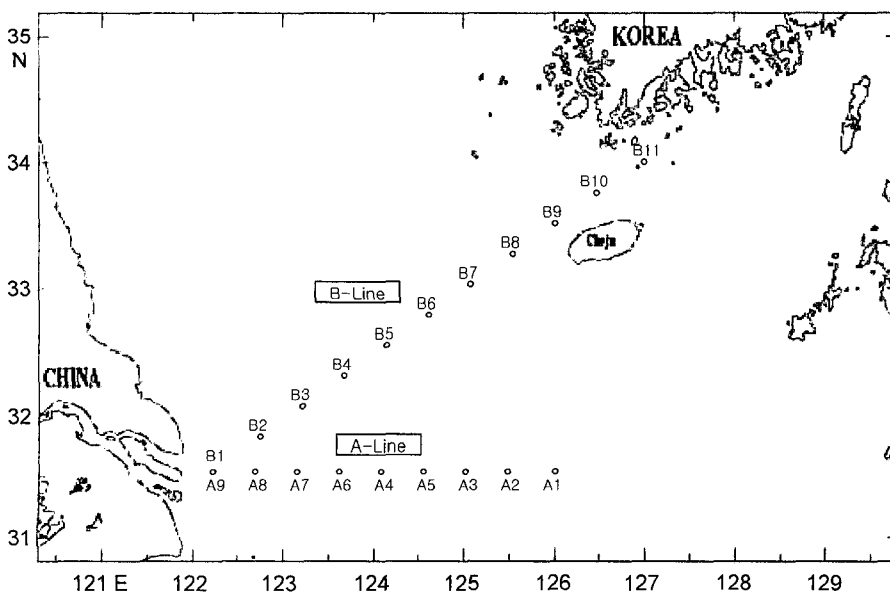


Fig. 1. Location of sampling stations in the East China Sea.

으로 밀도를 구하였다. 인산염 인($PO_4^{3-} - P$)은 Ascorbic acid method에 준하여 분석을 행하였다. Chlorophyll a(엽록소 a)는 시수를 GF/C로 여과하여 90% Acetone 10 ml를 첨가하고 20시간 암냉소에 보관한 후 3,000~4,000 rpm에서 15분간 원심분리 시켜서 750 nm, 663 nm, 645 nm, 630 nm에서 흡광도를 측정 한 값을 Scor/Unesco 식으로 계산하였다(Strickland and Parsons[1972]).

3. 결과 및 고찰

본 연구는 제주도 서남방 동중국해역에서 여름철 중국 대륙육상수(양쯔강)의 유입에 따른 저염분수괴의 영향으로 외양전선역형성에 따른 수형의 변화를 물리·화학적으로 밝히기 위하여 수온, 염분에 의한 밀도로 전선역 경계를 구분하였으며 이러한 전선역을 중심으로 중국 연안쪽과 외양쪽을 구분하여 영양염류, 엽록소 a의 농도분포 특성을 고찰하였다.

특히 Fig. 1에서 제주도 서쪽에서 남쪽 방향인 북위 31°30', 동경 127°에서 122°까지(양쯔강 하구역)의 A line, 그리고, 북위 31°30', 동경 122°에서 제주도 서부해역인 북위 34°, 동경 127°에 이르는 B line을 중심으로 하여 결과를 고찰하고자 한다.

3.1 Density(σ_t)

3.1.1 A line(31°30'N, 127°E ~ 34°N, 122°E)

A line에서의 해수 밀도분포는 Fig. 2에서 보는 바와 같으며 육상유입(양자강수)역인 A9에서 σ_t 가 15.0인 저밀도수가 A7 정점 표층수까지 낮은 밀도(19.0)를 갖도록 영향을 주고 있었다.

또한 정점 A6에서부터 A1까지 해역의 10 m 수심까지 밀도(σ_t)가 20.0, 20 m 수심에서도 21.0인 저밀도수가 분포하고 있다. 그러나 A5지점에서는 표층수부터 50 m 저층에 이르기까지 σ_t 가 21.4에서 22.1까지 비교적 균등한 밀도를 가진 혼합층이 뚜렷하게 분포하고 있다. 이와 같이 A5지점은 밀도분포에서 연안과 외양역간

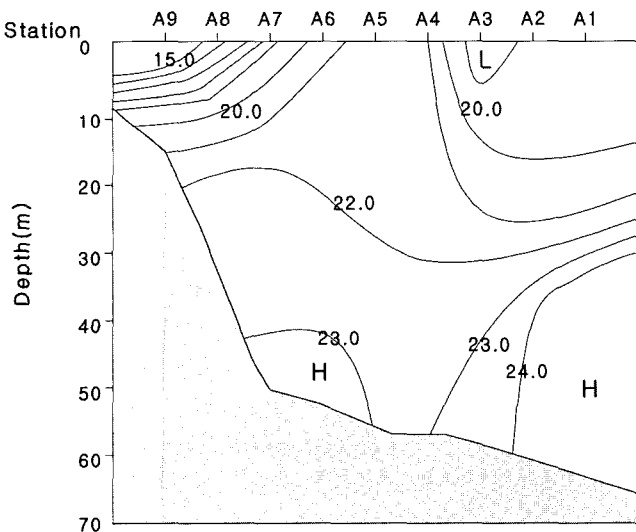


Fig. 2. Vertical section of density (σ_t) along line A.

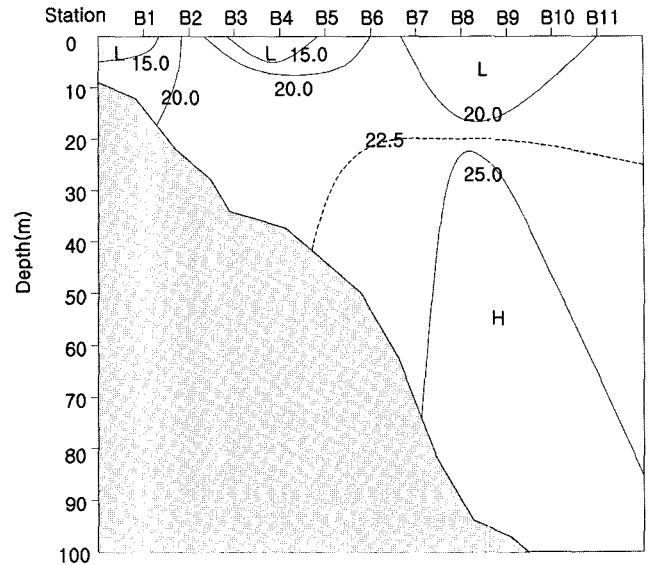


Fig. 3. Vertical section of density (σ_t) along line B.

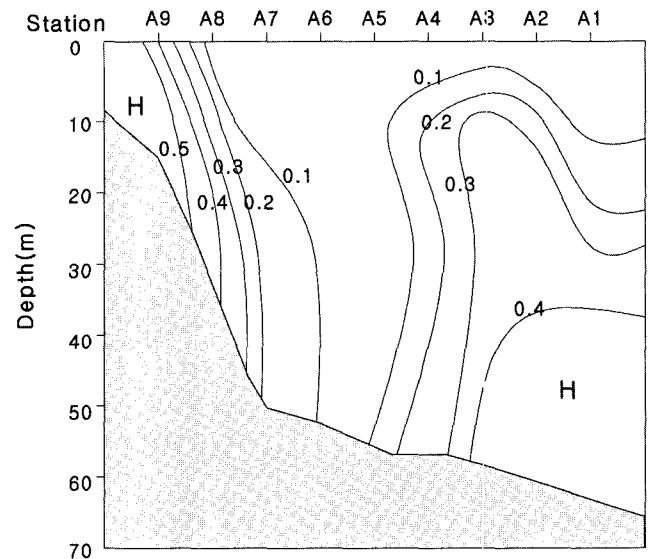


Fig. 4. Vertical section of phosphate concentration ($\mu\text{g-at/l}$) along line A.

의 혼합역인 전선역이 형성되고 있음을 확인하여 주고 있다.

3.1.2 B line (31°30'N, 122°E ~ 34°N, 127°E)

B line에서의 해수 밀도 분포에서 보면 가장 연안정점인 B1에서 B5이하의 저밀도수와 B3, B9를 중심으로 한 10 m 이내의 수심층까지 σ_t 가 20 이하의 비교적 저밀도수가 코어를 형성하면서 존재하고 있다.

가장 높은 고밀도대(>25.0)는 B7의 70 m와 B11 60 m으로의 포물선형의 밀도분포로 형성하고 있다. 그러나 B2의 10 m에서부터 B6의 전층에서 σ_t 가 21정도의 밀도수가 혼합층을 형성하면서 존재하고 있었다. 이러한 결과로 볼 때 정점 B6을 중심으로 연안과 외양역이 구분되어지고 있었다.

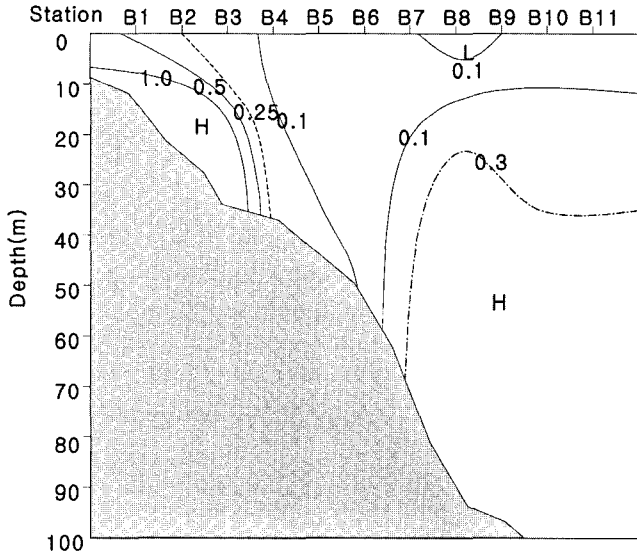


Fig. 5. Vertical section of phosphate concentration ($\mu\text{g-at/l}$) along line B.

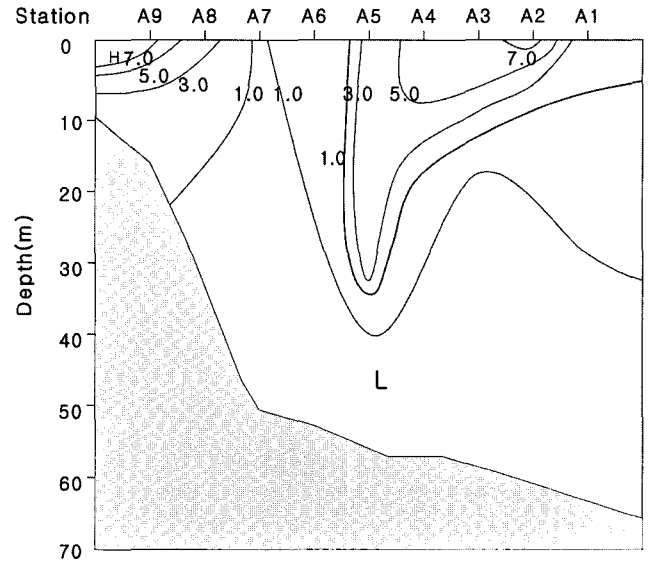


Fig. 6. Vertical section of chlorophyll-a concentration (mg/m^3) along line A.

3.2 인산 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 연직분포

3.2.1 A line

A line에서 인산염 연직분포도(Fig. 4)에서는 중국연안역인 A9에서는 수심이 낮은 10 m에서 가장 높은 농도($1.75 \mu\text{g-at/l}$)를 나타내었다.

이와 같은 고농도수는 A6부근에서는 가장 낮은 농도인 $0.05 \mu\text{g-at/l}$ 이하가 표·저층 간 농도 차 없이 균일한 혼합층을 형성하고 있다. 반면 이보다 외양역에서는 10 m 이심부터 $0.1 \mu\text{g-at/l}$ 이상의 농도수가 존재하여 A5해역이 연안역, 외양역과 경계를 나타내는 현상을 보이고 있어 밀도(σ_t)에 따른 전선역인 혼합층을 인산염에서도 잘 보이고 있다.

3.2.2 B line

B line에서의 인산염의 연직분포도(Fig. 5)에서는 중국쪽 연안역인 B1에서는 $1.0 \mu\text{g-at/l}$ 의 높은 농도가 B4 표층수, B5의 저층수까지 영향을 미치고 있는 현상을 볼 수 있다. 반면 외양역인 B7에서부터는 $0.1 \mu\text{g-at/l}$ 이상의 농도수역이 B6의 20 m 이심에까지 나타나고 있다.

B5와 B6사이의 해역에서는 $0.06 \mu\text{g-at/l}$ 정도의 균질한 해수가 표·저층에서 분포하며 연안역과 외양역의 높은 농도 영역과 경계를 이루면서 저농도 영역이 표·저층에 균질하게 분포하고 있어 밀도(σ_t) 분포에서 나타난 전선역인 혼합층 특성이 인산염에서도 잘 나타나고 있다.

3.3 엽록소 a 농도 연직분포

3.3.1 A line

A line에서의 엽록소 a의 연직분포(Fig. 6) 특성은 중국연안쪽인 A9에서 7 mg/m^3 이상의 고농도를 보이고 있으며 이러한 고농

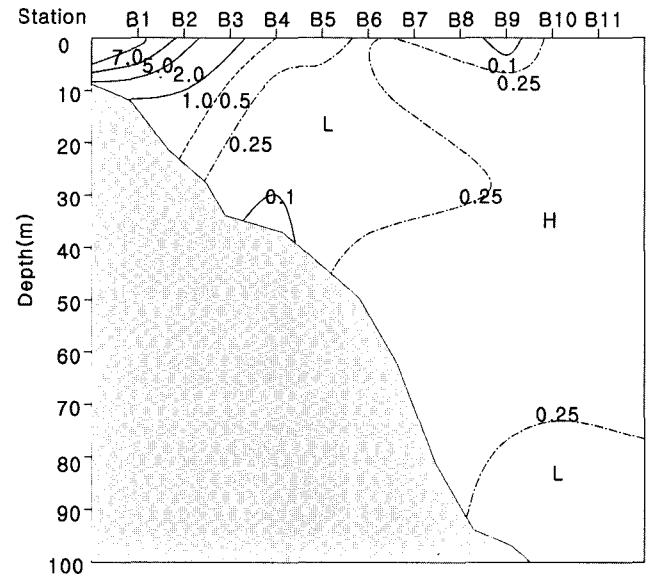
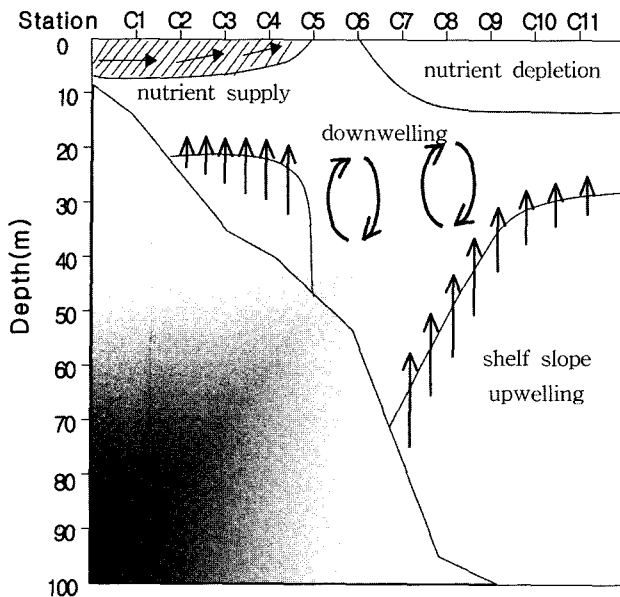
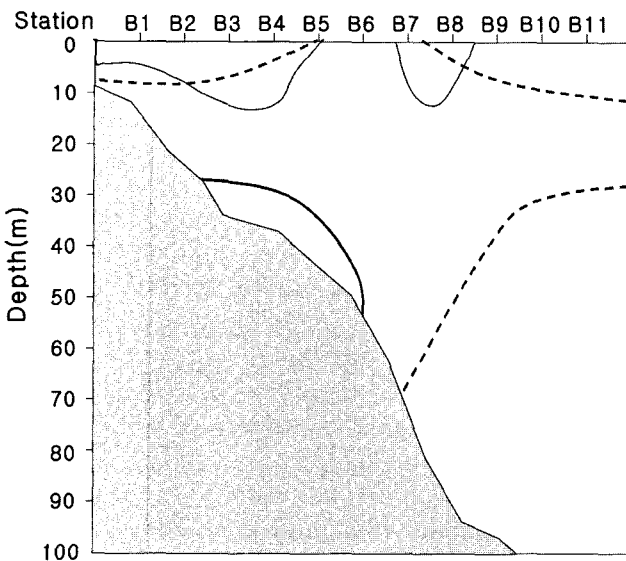


Fig. 7. Vertical section of chlorophyll-a concentration (mg/m^3) along line B.

도분포는 A7해역 표층수 1.0 mg/m^3 까지 나타나고 있으나 A6해역에서는 표·저층수 모두 0.1 mg/m^3 이하의 주변역보다 낮은 농도분포를 보였다. 그러나 외양역 A5에서부터 제주도 서남방인 A1까지는 0.2 mg/m^3 이상에서 0.5 mg/m^3 까지 증가하고 있어 A6해역은 중국연안수와 제주서남방의 해역수와 경계층을 형성하는 영역이 밀도 전선역과 일치하고 있다. 본 해역에서의 엽록소 a의 낮은 농도분포는 전선역에서 강한 혼합층 형성에 의해 영양염이 낮으며 식물플랑크톤도 강한 혼합과정에 의한 짧은 체류시간 때문에 증식을 제한받는다라는 연구 결과로 설명할 수 있다(Matsuda, Tamiji and Toshiya[1995]).



영양염 공급



식물플랑크톤 성장

Fig. 8. Schematic diagram of nutrients provision (A) and phytoplankton growth (B) in front sea area.

3.3.2 B line

B line에서의 엽록소 a의 연직분포도(Fig. 7)를 보면 중국연안역인 B1에서 고농도영역(7 mg/m³ 이상)가 B5까지 0.5 mg/m³까지 낮아지면서 분포하고 있다.

또한 제주도 서북방에서 한국남해안까지 이르는 B8에서 B11까지는 0.3 mg/m³의 비교적 높은 농도를 나타내는 분포를 보이고 있다. 그러나 B5에서 B7까지는 표·저층수 모두가 0.3~0.5 mg/m³의 주변 중국연안역이나 한국 남해안수보다 낮은 분포를 하고 있다.

이는 전선역 형성시나 혼합층에서의 저영양염분포와 강한 혼합 과정에 따른 식물플랑크톤의 체류시간이 짧은 관계라는 연구논문

과 잘 일치하고 있다(Lee[1983], Zheng and Klemas[1982]).

3.4 외양전선역에서의 영양염 공급기구와 엽록소 a 농도

밀도에 의한 전선역 구분과 전선역을 중심으로한 영양염과 엽록소 a 농도 분포로부터 전선역 내에서는 영양염이나 엽록소 농도가 낮는데 이는 잦은 혼합과정에 의한 생육환경이 양호하지 않음을 알 수 있다. 또한 전선역 전후방에서의 성층형성은 수온약층으로 저층수의 영향을 받지 않는 곳이었으며 영양염 상태는 성층으로 인한 저층수에서의 공급차단으로 인하여 표층에서는 고갈상태가 유지되고 있다. 엽록소 분포는 전선역 부근에서 엽록소가 가장 낮게 나타나는 현상을 보이고 있다.

5. 요약

제주도 서남쪽 동중국해 해역에서 하계인 8월에 형성되는 외양전선역의 특성을 알아보기 위해 1999년 8월 하순에 관측이 이루어 졌는데, 그 결과를 요약해 보면 A 라인에서는 경도 124°, 위도 31°30'에 위치한 정점 A5에서 표층부터 수심 50m까지의 밀도가 21.4에서 22.1의 범위로 비교적 균등한 분포를 보임으로써 중국연안쪽의 22.0과 외양역의 22.0의 값과는 구분되는 전선역이 형성된다. 또한 B 라인에서는 경도 124°, 위도 33°에 위치한 정점 B6에서 A 라인에서와 마찬가지로 중국연안쪽과 외양역의 밀도 20.0과 구분되는 전선역이 형성된다. 이 결과는 동중국해 해역에서 양자강 담수의 유출로 인한 외양역(에서)의 전선역이 양자강에서 정동방향으로는 동경 124°, 동북쪽으로는 동경 124°30'에서 형성되고 있음을 보여주는 것이다.

전선역에서의 영양염 특성은 전선역을 중심으로 중국 연안쪽에서 높고, 외양역에서 표층과 저층간의 농도차가 뚜렷하게 나타나는 반면에 전선역에서는 상하 층이 거의 균일하며 낮은 농도 분포를 보인다. 엽록소 a의 농도도(는) 전선역을 중심으로 중국 연안쪽과 외양역에서 높으나 전선역 중심에서는 낮은 분포를 보인다.

이상과 같은 결과로 볼 때 전선역이 형성되는 해역은 상하혼합 과정에서 흐름의 증대로 인해 식물플랑크톤의 활성이 낮아지기 때문에 생산력이 낮아지는 것으로 생각된다. 또한 여름철 동중국해 해역에서 형성된 외양전선역은 중국대륙 담수의 유출량에 따라 전선역이 제주도까지 밀려올 가능성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2002년도 제주대학교 BK21 교육개혁지원비에 의해 연구되었다.

참고문헌

[1] 공 영, 1971, "한국남해연안 전선에 관한 연구", 한국해양학회지, 제6권 제1호, 25-36.

- [2] 공 영, 손승정, 1982, “한국 동해의 해양 열전선에 대한 연구”, 수질연구보고. 제26권, 25-52.
- [3] 방익찬, 김태희, 1989, “동지나해 해수 분포의 계절변화와 해수 순환”, 제주대학교 논문집, 제28권, 61-73.
- [4] 김인옥, 1986, “제주주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구”, 제주대학교 석사학위논문.
- [5] 김인옥, 노홍길, 1994, “제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구”, 한국수산학회지, 제27권 제5호, 515-528.
- [6] 노홍길, 정공훈, 1978, “환경조건이 고등어 전갱이 어군의 분포에 미치는 영향”, 제주대학교 어업연구지, 125-128.
- [7] 조규대, 1986, “동지나해의 선망 어장 환경, 어업기술학회지”, 제22권 제4호, 104-116.
- [8] 해양수산부, 1997, “해양환경공정시험법, 해수편”, 16-67.
- [9] Guan, B., 1994, “Patterns and Structures of the currents in Bohai, Huangjai and East China Sea. In: Oceanology of China Sea”, Vol. 1, Ed. by Zhou D., Y. Ling and C. Zeug, Kluwer Academic Publishers, 17-26.
- [10] Lee, C. J. 1983, “Characteristics of front near thrmination of winter Temperature Patterns, Fronts, and Surface Currents in the Yellow Sea and East China Sea frome Satellite Imagery Remotesensing of Environment”, 12, 201-218.
- [11] Lie, H. J., 1986, “Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae”, Prog. Oceanog., 17, 229-242.
- [12] Nitani, H., 1972, “Beginning of the Kuroshio, In: Kuroshio, Ed.”, H. Stommed and K. Yoshida, Univ., Tokyo Press, 358-369.
- [13] Nakao, T., 1977, “Oceanic variablity in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea”, J. Fac. Mar. Sci. Technol., Tokai Univ., 199-367.
- [14] Osamu Matsuda, Tamiji Yamamoto and Toshiya Hashimoto, 1995, “Mechanisms of Nutrient Supply in Coastal Fronts”, Cotinental Shelf Reearch, 33(1), 9-18.
- [15] Zheng, Q. A. and Klemas, V., 1982, “Determination of winter Temperature Patterns, Fronts and Surface Currents in the Yellow Sea and East China Sea from Satellite Imagery Remotesensing of Environment”, 12, 201-218.
- [16] Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R., 1972, “A Practical Handbook of Seawater Analysis”, Bul. Fish. Res. Bd. Can., 167.

2003년 12월 2일 원고접수

2004년 1월 21일 수정본 채택