

## 황해 중·동부 연안 수역의 조석전선이 식물 플랑크톤 생산력과 분포에 미치는 영향

최 중 기  
인하대학교 해양학과

### The influence of the tidal front on primary productivity and distribution of phytoplankton in the mid-eastern coast of Yellow Sea

JOONG-KI CHOI

*Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402, Korea*

경기만 바깥수역에 조석 전선 형성이 식물플랑크톤 생태에 미치는 영향을 알기 위하여 국립 수산진흥원의 정기 정선 관측 자료 분석과 3차에 걸친 현장조사가 서해 중동부 연안 수역에서 이루어 졌다. 수온과 용존산소의 자료를 분석한 결과 조석 전선이 경기만 바깥수역인 태안 반도 서편에 춘·하계에 걸쳐 형성되는 것이 발견되었다.

조석 전선의 형성은 식물플랑크톤의 분포와 일차 생산력에 영향을 주는 것으로 나타났다. 전선 형성 수역의 식물플랑크톤 현존량, 색소량, 일차 생산력이 연안 혼합 수역이나 바깥 성층 형성 수역의 현존량, 색소량, 일차 생산력보다 높게 나타났다. 전선 형성 수역의 이러한 높은 일차 생산력은 좋은 광조건과 풍부한 영양염 공급에 기인된 것으로 보인다. 전선수역을 경계로 연안 수역은 비교적 높은 색소량과 낮은 일차 생산력을 보이고 성층 형성 수역은 낮은 색소량과 비교적 높은 일차 생산력을 보였다. 성층 형성 수역의 비교적 높은 일차 생산력은 표층의 미세플랑크톤에 의한 높은 동화율과 수온 약층 아래에 많이 나타나는 부유성 저서 규조류가 좋은 광조건으로 높은 생산력을 보였기 때문이다. 대체로 본 조사수역은 춘하계의 전선형성에 따라 연안 혼합 수괴, 전선 형성 수괴, 성층 형성수괴로 구분되며 이에 따라 Chlorophyll 분포, 일차 생산력 분포, 식물플랑크톤의 정량 분포도 이에 영향을 받고 있음을 보여주었다.

In order to study the formation and structure of tidal fronts and their influence on the distribution and productivity of phytoplankton in the outer of Kyonggi Bay, analyses on the water temperature data from 1977 to 1986 and 3 surveys from 1981 to 1986 were carried out in the mid-eastern coast of the Yellow Sea. Temperature gradients and dissolved oxygen gradients were implied that the tidal fronts are formed at the outer of the Kyonggi Bay along the western side of Tae-An peninsula from spring to summer. The formations of tidal fronts in this study area influence the distribution of phytoplankton and primary productivity. The standing stocks, chlorophyll concentrations and primary productivity of phytoplankton in the frontal area are higher than those of the outer stratified waters and the inner coastal mixed waters. These high production in the frontal area are resulted from good light condition and rich nutrient within the water columns. With a boundary of frontal area, there are relatively high chlorophyll concentrations and primary productivity in the coastal mixed waters while there are low chlorophyll concentrations and relatively high primary productivity in the stratified waters. These relatively high primary productivity in the outer area are resulted from the high potential production by nanoplankton in the surface layer and the high production of tycho-pelagic diatoms under the thermocline with the deep transparency.

## 서 론

서로 다른 속성을 가진 두 수괴가 만날 때 경계면에 물리, 화학, 생물학적으로 독특한 특성을 가진 전선(front)이 형성된다. 특히 조석운동이 활발한 잘 혼합된 연안 수괴와 성층이 형성되어 안정된 바깥 수괴사이의 경계면에는 조석전선이 형성되어 물리적 구조에서 차이가 날 뿐만 아니라 생물의 분포에도 큰 영향을 준다. 이렇게 전선이 형성된 수역은 오래전부터 어부들에게 고기가 많이 잡히는 곳으로 알려져 왔으나 그 구체적인 원인은 별로 밝혀지지 않다가 Uda(1938)가 일본 연안의 전선 수역이 생물들의 분포의 경계면이며, 부유물질이 집적되는 곳으로 거론하면서 전선수역이 생물학적으로 중요한 곳임이 인식되기 시작하였다. 특히 조석전선이 해양의 1차 생산자인 식물플랑크톤의 분포 및 성장에 큰 영향을 주는 것이 최근의 많은 연구(Pingree *et al.*, 1978, 1983; Simpson *et al.*, 1982)로 밝혀지고 있고 먹이 연쇄의 기본이 되는 식물플랑크톤의 생산력에 영향을 줌에 따라 보다 윗 단계 생물들의 분포와 성장에도 영향을 주고 있음이 알려지고 있다. Pingree 등(1974)은 영불 해협 전선수역에서 부유생물들이 월등히 많은 것을 발견하고 수온, 염분, 조류를 조사한 결과 수심, 조석변화, 계절변화가 조석전선의 형성과 유지에 중요한 요인으로 결론지었다. 그들은(1975) 또한 조석전선 수역에서 여름철 식물플랑크톤 대 증식과 적조 현상을 발견하고 그 원인을 추적한 결과 이러한 현상은 수괴의 이동에 따라 혼합수괴의 높은 영양염이 성층 형성 수괴와 만나는 진광대위로 공급되어 식물플랑크톤의 성장을 촉진하기 때문이라고 하였다. Simpson 등(1982)도 이와 유사한 의견으로 영양염이 고갈된 성층 수괴 위에 혼합수괴의 풍부한 영양염이 공급됨에 따라 이러한 대 증식이 발생된다고 하였다. 이점에 대해 Horne 등(1978)은 전선수역이 두 수괴를 분리하는 것이 아니라 유동과 혼합이 일어나는 수역이기 때문에 이러한 대 증식이 가능하다고 하였다. 이와같이 전선수역의 높은 1차 생산력에 대한 연구가 많이 진행되었음에도 불구하고 아직 그 정확한 원인이 밝혀지지 않고 있다.

우리나라 근해에서 전선형성과 관련된 생태학적 연구는 Gong(1971)이 남해안 선망어장 형성의 원

인을 전선과 연관지어 설명한 것이 처음이었고 Cho 등(1983)에 의하여 군산 앞바다에 형성되는 대륙붕 전선의 구조와 부유생물의 분포에 대하여 언급된 바 있으나 이와 관련된 식물플랑크톤 생태특성 및 1차 생산력에 관하여는 연구된 바가 없다.

본 연구 수역인 경기만은 강한 조류가 형성되어 내만에는 잘 혼합된 수괴가 유지되나 만 바깥수역에는 계절적으로 성층이 형성되어 경계면에 조석전선이 형성되는 것이 예비조사결과(Choi, 1985; Seoung *et al.*, 1990) 나타났으며 전선의 형성에 의해 내만 수역의 식물플랑크톤의 분포가 영향을 받는 것이 예측되었다.

본 연구에서는 1차적으로 수온 분포 자료를 이용하여 경기만 바깥 수역에 형성되는 조석전선의 위치 및 구조를 파악하고 조석전선을 경계로 나타나는 식물플랑크톤의 분포 패턴을 밝히며 이들 수괴의 양상에 따른 식물플랑크톤의 1차 생산력을 파악함으로써 서해 연안 수괴의 1차 생산력의 분포 양상과 수서 생물분포의 근본적인 요인을 이해하고자 한다.

## 조사 내용 및 방법

조석전선 형성 양상과 경기만 바깥수역의 식물플랑크톤의 분포 및 생산력을 파악하기 위해 1단계로 국립 수산진흥원의 정선 해양 관측 자료중 서해의 307선 과 308선의 각 정점에 대한 수온자료를 1977년부터 1986년까지 격월별로 뽑아 분석하였고 2단계로 해양연구소(1982)의 황해 유용 생물자원 개발에 관한 연구보고서에 발표된 자료중 12개 정점의 1981년 4월과 6월의 수온, 용존산소량 분포를 인용 비교하였고(Fig. 2), 이 수역에서 별도로 식물플랑크톤의 정량분석을 통해 수괴의 분포와 식물플랑크톤의 분포를 비교하였다. 제 3단계로 전선형성이 가장 뚜렷할 것으로 예상되는 1986년 7월 초에 경기만 내에서 부터 외해 수역까지 Fig. 1과 같이 24개 정점을 정하고 연속관측과 정선관측을 실시하여 수온, 염분 분포를 조사하고 식물플랑크톤의 정량분석과 Chlorophyll 분포 및 1차 생산력을 측정하였고 1986년 6월에 수산진흥원 307, 308선 정선 해양관측지점에서 Chlorophyll과 식물플랑크톤의 정량조사를 수행하였다.

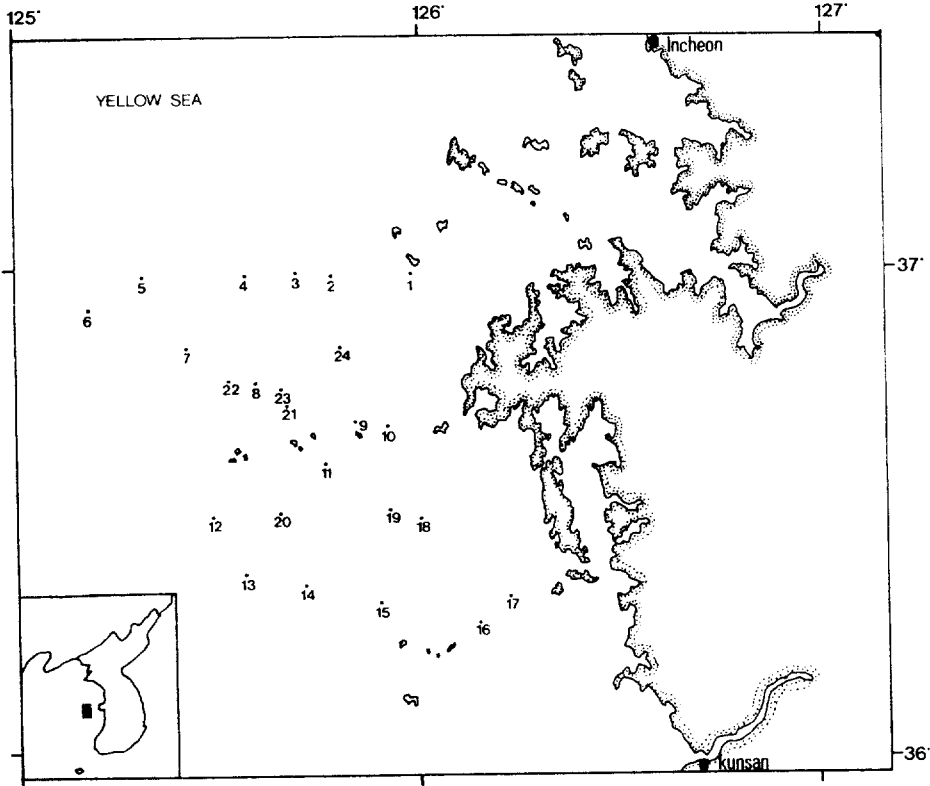


Fig. 1. Map showing study area and sampling stations in the middle part of the Yellow Sea, July 1986.

Fig. 1의 연속관측시 표층수의 수온, 염분은 Interocean의 monitoring system (Model 513D)을 이용하여 선상에서 연속 관측하였고 식물플랑크톤의 분포양상을 추정할 수 있는 Chlorophyll의 수평분포를 알기 위하여 field fluorometer (Turner Design)을 이용하여 내만에서부터 성층형성 수괴까지 표층에서 Chlorophyll를 연속측정 보정하였다. 연속관측과 동시에 24개 정점에서 정선관측을 통하여 STD meter(Alec electronics AST-3000)로 수온과 염분, 깊이를 수직적으로 측정하였다. 또한 각 정점에서 투명도는 Secchi disk로 측정하였다. 식물플랑크톤 정량 자료는 Nikon 광학현미경하에서 net phytoplankton 과 nanoplankton 개체수를 구분하여 계수하였다.

1차 생산력 측정은 연안수역과 전선수역, 성층형성 수괴를 포함하는 9개 정점에서 각 수층별로 Niskin bottle로 채수 후 C-14방법을 이용하여(Carpenter and Lively, 1980; Parsons *et al.*, 1984) BOD bottle로 선상에서 배양후 측정하였다. 이 때

미세플랑크톤의 1차 생산력과 Chlorophyll a 측정은 채수된 해수를 20  $\mu$ m Filter로 여과하여 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 조석전선 형성 위치 및 구조

서해 연안은 겨울철 대기의 강한 냉각 효과와 강한 북서계절풍에 의해 수직적으로 상하층의 혼합이 잘 이루어져(Nakao, 1977) 수괴의 성층형성을 볼 수 없고 수직적으로 균일한 분포를 이루고 있음을 알 수 있다(Choi, 1987). 그러나 춘계에 들어가면서 북서계절풍이 약화되고 일사량의 증가로 표층수온이 상승되기 시작하여 동계와 같은 강한 수직혼합 현상은 보이지 않는다. 연안쪽으로 강한 조석 작용에 의해 수직적으로 상하의 혼합이 심하고 육수의 영향으로 낮은 표면 수온 분포를 보이고 있으나 조석 영향이 작은 바깥수역은 증가된 일사량으로 표면수온이 상승되어 연안 수역과는 큰 온도차를 보인다 (Table 1, Fig. 2). Fig. 2와 Table 1과 같이 정점 10

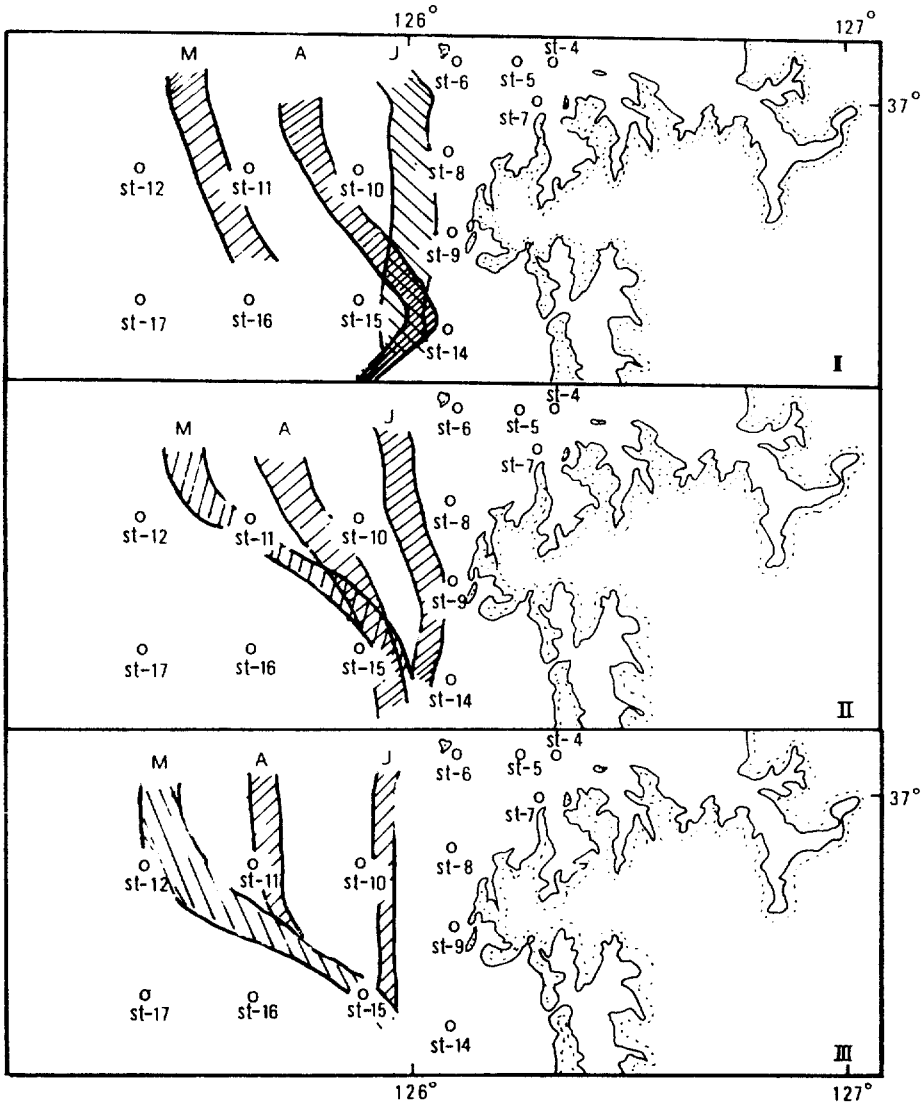


Fig. 2. Monthly variations of discontinuous boundary of water temperature(I), Dissolved oxygen(II), Standing crops of nanoplankton(III) in this study area. March(M), April(A) and June(J) 1981.

과 11, 정점 14와 15사이에는 최대 표면 수온의 차이가  $3.6^{\circ}\text{C}$ 로 큰 수평 경사를 보이고 있어 전선 형성이 시작되는 가능성을 보여준다. 하계에 들면서 (6월) 전반적으로 수온이 상승하여 표층수온이  $12\text{--}20^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보인다. 연안 수역이 낮고 외해역으로 나갈수록 상승하는 경향을 보인다. 연안수역은 조석작용의 영향으로 혼합이 잘되어 상하층간에 수온의 수직경사가 보이지 않는다(Fig. 3). 외해역에는 표층수온이 상승하여  $17^{\circ}\text{C}$  이상의 수온분포를 보

나 저층에는  $10^{\circ}\text{C}$  이하의 낮은 수온분포로 저층 냉수괴를 이루어 표층수와의 사이에 뚜렷한 수온약층을 형성하고 있다. 대체로 이 수온약층은 수심  $10\text{--}30\text{ m}$  사이에 형성되어 성층수괴를 이루게 하고 있다. 이 성층 형성 수괴와 안쪽의 혼합 수괴사이에는 수온의 수평경사가 큰 수온전선이 형성된 것으로 보인다(Fig. 2,3). 대체로 307선에서는 정점 4와 5사이에 전선이 형성되는 것으로 보이고 308선에서는 정점 2와 정점 4사이에 형성되는 것으로 보인다. Fig.

Table 1. The distributions of surface water temperature and dissolved oxygen in the survey of KORDI, 1981 (In KORDI, 1982)

Station	Water temperature		D. O.	
	April	June	April	June
St. 4	6.3	15.3	10.6	9.0
St. 5	6.1	14.4	10.5	9.4
St. 6	6.8	14.4	10.2	9.1
St. 7	7.0	14.4	10.7	9.2
St. 8	6.8	12.6	10.5	9.4
St. 9	6.8	13.5	10.7	9.2
St.10	6.3	16.3	10.1	8.9
St.11	9.8	17.2	8.2	8.6
St.12	9.3	18.6	8.2	8.4
St.14	5.3	14.4	10.5	9.4
St.15	7.0	18.6	8.1	8.2
St.16	6.3	16.4	8.6	8.6
St.17	7.8	18.9	8.7	8.1

2, 3, 4, 5에서 조적전선의 형태가 태안반도를 끼고 연안을 따라 길게 형성되는 것을 볼 수 있으며 수온분포와 밀도분포( $\sigma_t$ )를 보면 서로 유사한 분포양상을 보이는데 이것은 밀도분포가 염분분포보다는 수온분포에 영향을 더 많이 받고 있음을 의미하며 전선형성이 육수의 유입에 의한 것보다 조석변화에 기인한 것임을 알 수 있다. 연속측정 결과에 의한 7월의 표면 수온의 분포를 보면 6월과 비슷한 양상이나 내만쪽 수온의 상승으로 6월과 같은 수온의 큰 수평경사는 보이지 않고 있다. 정점 1에서 정점 6에 이르는 수역의 수온의 수직단면을 보면 정점 2에서 외해쪽으로 수심 10 m 층에 약한 수온 약층이 형성되고, 정점 13에서 정점 17에 이르는 수역에서도 정점 14 바깥 수역에 뚜렷한 수온약층이 형성되었다 (Fig. 4). 이와같은 성층형성 수괴와 정점 1, 17의 안쪽 혼합 수괴 사이에는 비교적 수온의 수평경사가 크고 수직경사가 완만한 전선수역이 형성된 것으로 보인다. 8월의 표층수온은 연중 가장 높고 수직적으로 층상구조가 가장 잘 발달되어 있다 (Fig. 5). 특히 외해쪽은 10-30 m 사이에 강한 수온약층이 형성되어 저층 냉수괴와 고온의 표층수괴로 분리시키고 있다. 저층 냉수괴는 6월보다는 더 균일한 수괴를 이루면서 잘 발달되어 있다. 307선의 정점 5 안쪽은 약한 수온약층으로 완만한 수직경사를 보이고 있다. 따라서 6월과 같이 연안쪽에 강한 혼합수

괴가 나타나지 않고 있다. 이는 조석작용에 의한 상하층간의 혼합이 표층수온의 상승으로 인한 밀도경사에 의해 약화된 것으로 간주된다. 대체로 이와같은 완만한 밀도경사가 경기만 내부에까지 영향을 미친 것으로 사료된다.

가을이 되면서 기온이 내려가 표층수온이 떨어지고 강한 북서계절풍이 불어(Choi, 1985) 표층 수괴가 잘 섞인다. 대체로 수심 20 m 이내의 표층 수괴는 이같은 바람과 조석의 영향으로 수직적으로 큰 경사를 보이지 않는다. 그러나 바람의 영향이 적은 수심 40-50 m의 수층에는 표층에서 하강한 강한 수온약층이 형성되어 저층 냉수괴와 표층 고온 수괴를 분리시키고 있다 (Fig. 6). 그러나 연안 표층수와 바깥 표층수와는 뚜렷이 구별되지 않는다. 표층에서 조석전선 형성이 뚜렷하지 않다.

1981년 해양연구소 조사 수역의 용존 산소량 분포는 Table 1과 같이 정점에 따라 크게 변하고 있다. 4월의 용존 산소량은 연안에서 정점 10까지는 연안수의 특성인 비교적 높은 용존 산소량(Choi, 1985) 분포로 균일한 분포를 보이고 있으나 바깥 수역인 정점 11과 12에서는 갑자기 1.9 mg/l만큼 감소되고 있으며 정점 14와 15사이에서도 2.4 mg/l만큼 급격히 감소되었다. 또한 6월의 경우도 정점 8, 9와 정점 10사이, 정점 14와 15사이에도 용존 산소의 큰 수평경사를 보여주고 있다. 이와같은 전선수역에서의 용존 산소량 분포 양상은 수온의 분포 양상과도 잘 일치하고 있다 (Fig. 2).

1986년 7월의 연속관측시에 측정된 염분의 표층 분포는 Fig. 7과 같이 수온분포나 용존 산소의 분포와는 다른 양상을 나타내고 있다. 경기만내에서는 31‰ 이하의 낮은 염분도를 보이고 있어 육수의 영향이 큰 것으로 나타났다. 대체로 태안반도를 끼고 연안에 평행하게 분포하는 경향이나 격렬비열도 하부에서는 동남 방향으로 낮은 분포를 보이고 있다. 이는 하계에 금강으로 부터 많은 담수가 유입되어 북서 방향으로 영향을 미쳤을 가능성이 있는 것으로 보인다. 따라서 본 조사 수역은 춘계에서 하계에 걸쳐 표층수온의 상승과 조석작용에 의해 연안 혼합 수괴와 바깥 성층수괴가 형성되며 이 사이에 계절적으로 전선 수괴가 경기만 바깥수역에 형성되는 것으로 보인다.

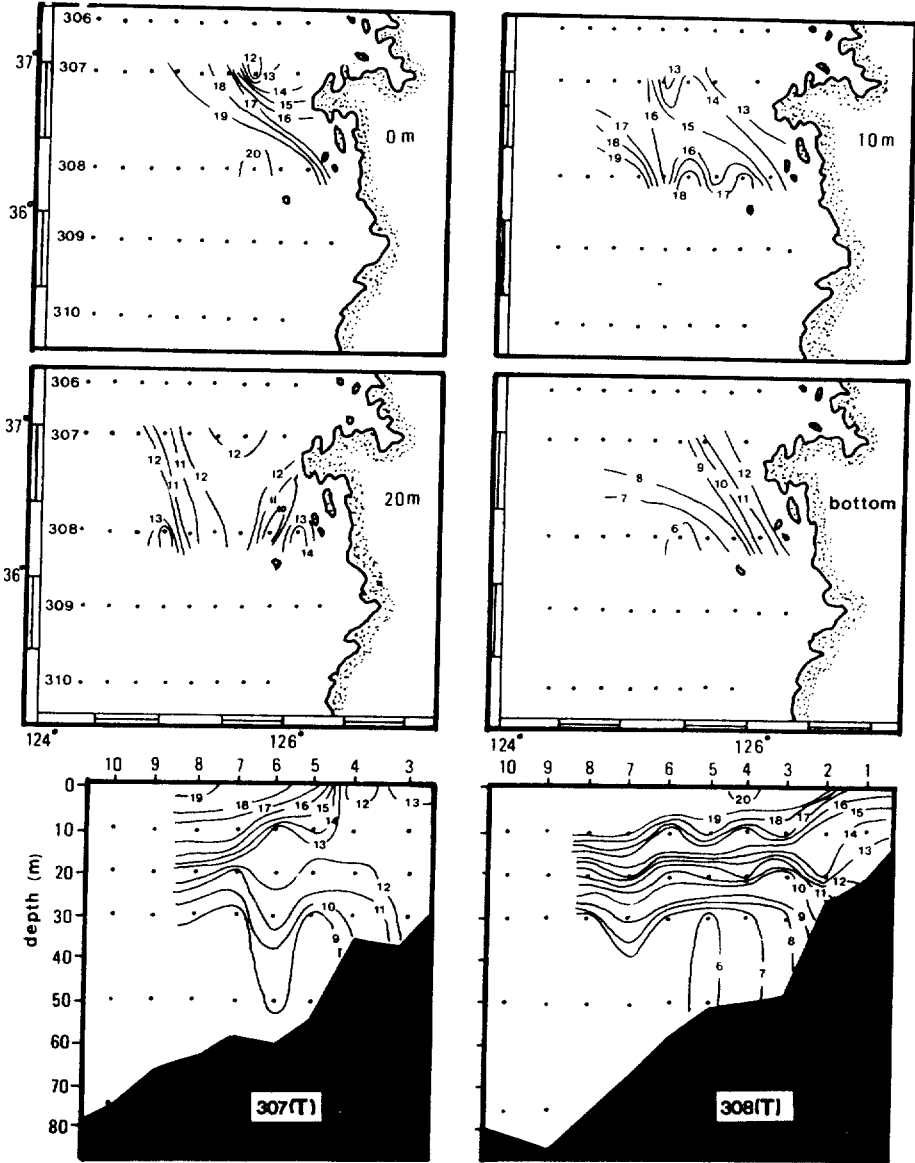


Fig. 3. The horizontal and vertical distribution of water temperature in the 307 and 308 lines, June 1986.

2. 전선 수역의 Chlorophyll 분포

본 연구 수역에서 1986년 6월에 국립 수산진흥원 정기 정선 관측 지점인 307선과 308선에서 수직적으로 조사된 Chlorophyll 분포는 Fig. 8과 같다. 307선의 표층 Chlorophyll 분포는 정점 4의 연안쪽이 2-4  $\mu\text{g/l}$ 로 비교적 낮은 편이고 정점 4에서 6사이에는 5-8  $\mu\text{g/l}$ 로 높은 분포를 보이고 정점 7 바깥쪽은 3  $\mu\text{g/l}$  이하의 낮은 분포를 보이고 있다. 이는 1986년 6월의 수온 분포에 의한 조석 전선 형성과도 잘

일치하고 있다. 수온 분포에 의하면 정점 4와 6사이에 조석 전선이 형성되었음을 알 수 있고, Chlorophyll 분포는 이 전선 수역에서 가장 높게 나타나고 있다. 전선 수역의 높은 Chlorophyll 분포는 cyclonic eddy에 의한 경우도 있으나(Pingree *et al.*, 1979) 본 조사 수역에서는 cyclonic eddy 현상이 뚜렷하지 않다. 본 수역의 높은 Chlorophyll 분포는 충분한 영양염이 분포하고(Son *et al.*, 1989), 빛이 충분하기(투명도 : 10 m) 때문인 것으로 추정된다. 그에 비해

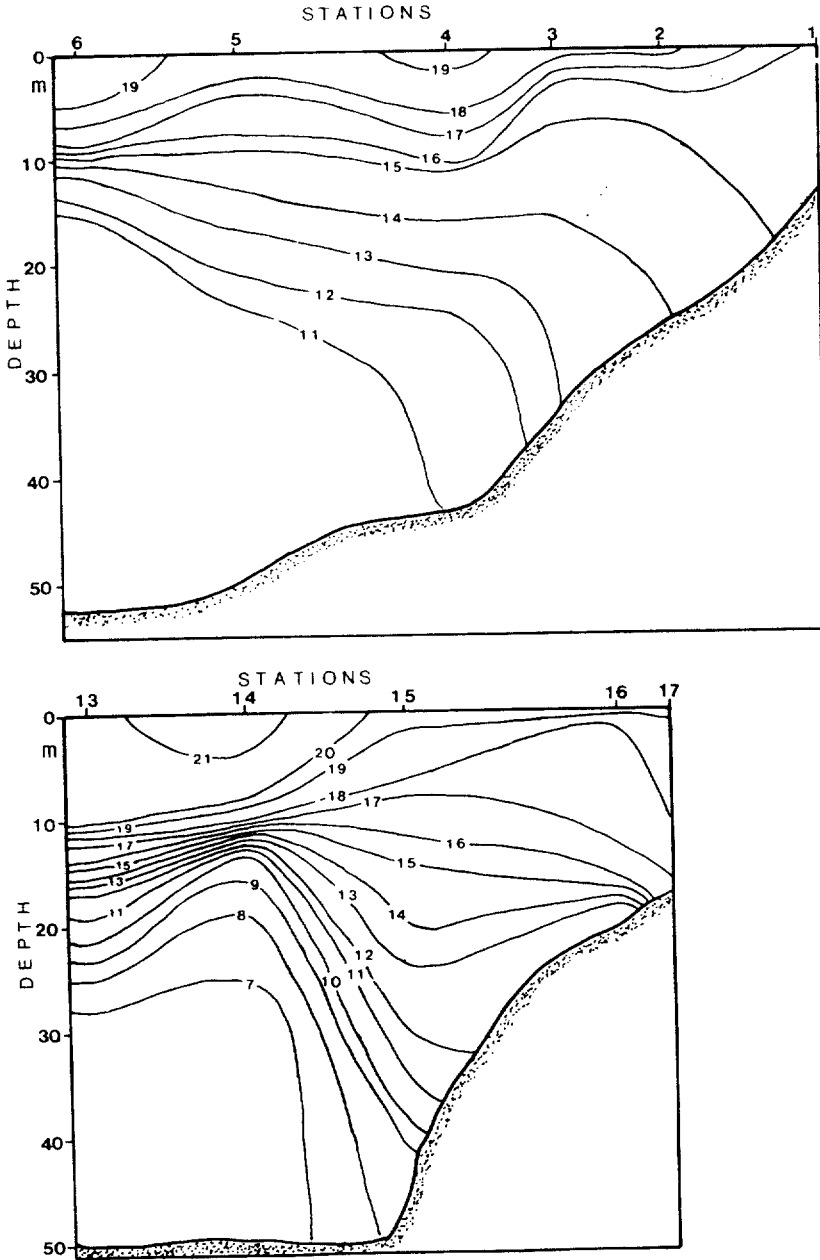


Fig. 4. The vertical distribution of water temperature in the continuous survey of July, 1986.

성층 형성 수괴의 표층은 빛은 충분하나 (투명도 : 10 m 이상) 10-20 m의 층에 형성된 강력한 수온약층으로 영양염으로 유입이 없기 때문에 Chlorophyll의 낮은 분포를 보인다. 대신에 이 수온약층의 바로 아래 수심인 30 m 지점은 빛과 영양염의 공급으로 높은 Chlorophyll 농도를 보인다. 수온약층

아래의 Chlorophyll의 증가는 수온약층 아래에 영양염이 비교적 풍부하고 저서성 부유구조류가 많이 나타났기 때문이거나 수괴의 혼합으로 아래로 내려온 식물플랑크톤 세포들이 표층수괴의 안정으로 수온약층 아래 머무르는데 기인되었을 수도 있다(Pingree *et al.*, 1976). 연안의 혼합 수괴는 부족한

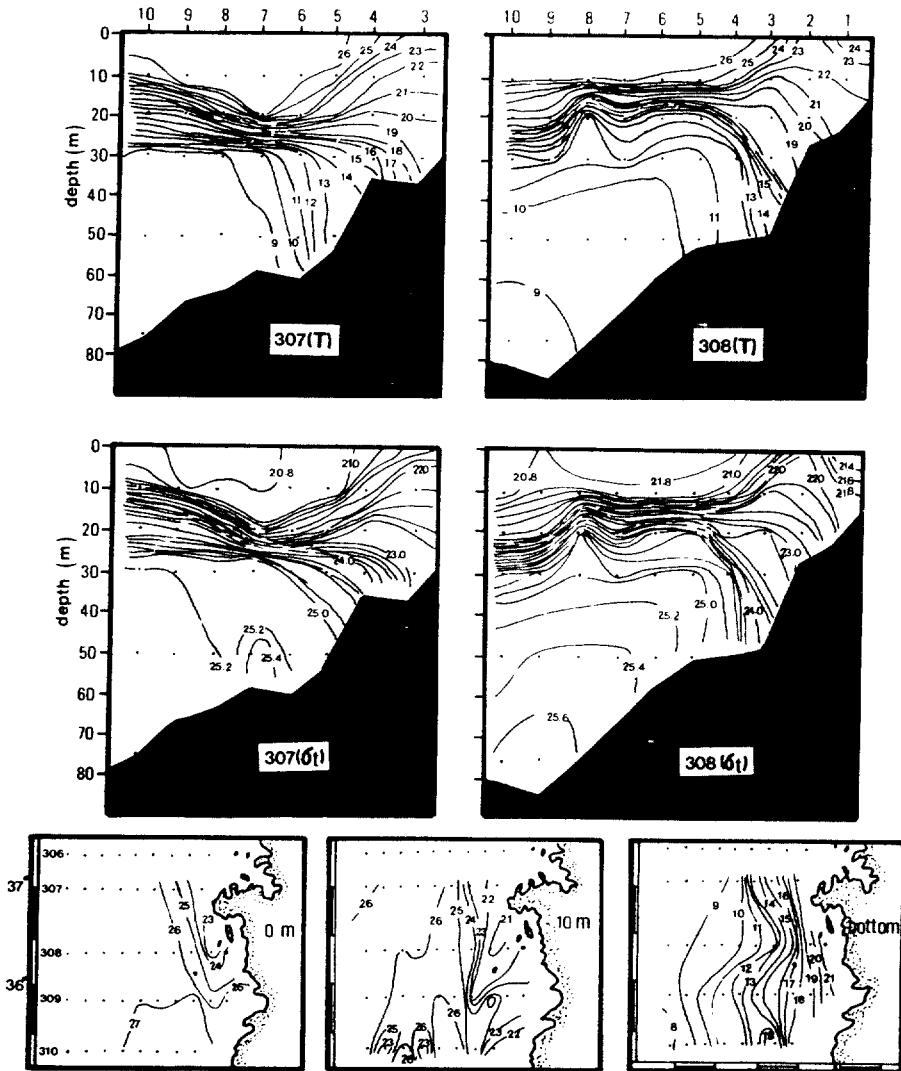


Fig. 5. The horizontal and vertical distribution of water temperature and density in the 307 and 308 lines; August 1982.

광조건(투명도 : 5 m)으로 수직적으로 비교적 낮은 Chlorophyll 분포를 보이고 있다. 308선에서도 정점 3 바깥의 성층 수괴는 2  $\mu\text{g/l}$  이하의 낮은 Chlorophyll 농도를 보이고 정점 2 부근의 전선 수역은 3-6  $\mu\text{g/l}$ 의 높은 Chlorophyll 분포를 보인다. 전선 수역과 가까운 정점 3의 수심 20-30 m 지점에는 높은 Chlorophyll 농도가 보인다.

1986년 7월의 연속 관측시에 나타난 전선 수역의 Chlorophyll 분포는 6월과 같이 뚜렷하지 않다. 표층의 Chlorophyll 분포를 보면(Fig. 9) 정점 1과 2

사이에 뚜렷한 수평경사를 보이면서 연안에 평행한 분포를 보이고 있다. 성층 형성 수역은 1.5  $\mu\text{g/l}$  이하로 낮은 분포를 보이고 연안의 혼합 수괴는 3.0  $\mu\text{g/l}$  이상의 비교적 높은 분포를 보인다. 전선 수역으로 예상되는 정점 2와 24 부근이 4.0  $\mu\text{g/l}$  이상으로 높게 나타난다. Chlorophyll의 수직적인 분포는 연안수역에서는 대체로 상하가 균일하게 분포하나 성층 형성 수괴는 표층이 낮고 저층이 높은 Chlorophyll 분포로 뚜렷한 층상구조를 하고 있다. 이에 비해 전선수역은 표층 부분과 저층 부분에 높은 Ch-



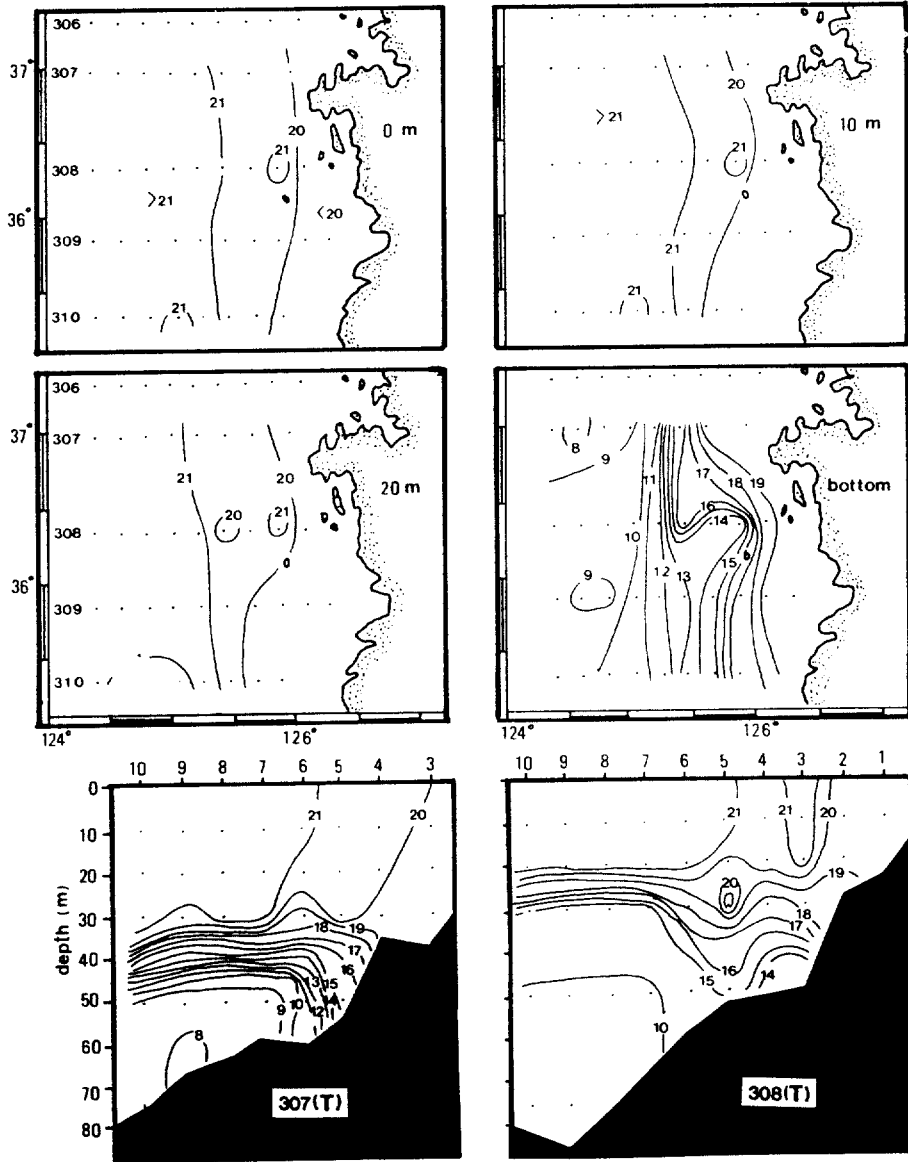


Fig. 6. The horizontal and vertical distribution of water temperature in the 307 and 308 lines, Oct. 1979.

lorophyll 분포를 보이고 층상구조가 뚜렷하지 않다 (Fig. 10). 이와같이 조석 전선 형성이 연안의 혼합 수괴와 성층 형성 수괴의 식물플랑크톤 분포에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

### 3. 미세식물플랑크톤에 의한 Chlorophyll 분포

20  $\mu$  이하의 미세식물플랑크톤에 의한 Chlorophyll 분포는 Table 2와 같이 정점과 깊이에 따라 다른 분포를 하고 있다. 86년 6월의 경우 307선의 표층

미세플랑크톤의 Chlorophyll 분포는 total chlorophyll 분포와 같이 전선 수역이 가장 높고 혼합 수괴, 성층 수괴의 순으로 되어 있다. 그러나 미세플랑크톤이 전체에 대한 비율을 보면 성층 형성 수괴가 가장 높고 혼합 수괴, 전선 수괴의 순으로 비율이 감소하고 있다. 이는 성층 형성 수괴의 표층이 수온약층에 의해 영양염 공급이 차단되어 부족한 영양상태에서 netplankton보다는 크기가 작은 미세플랑크톤이 성장하기 때문이다 (Simpson *et al.*, 1982 ;

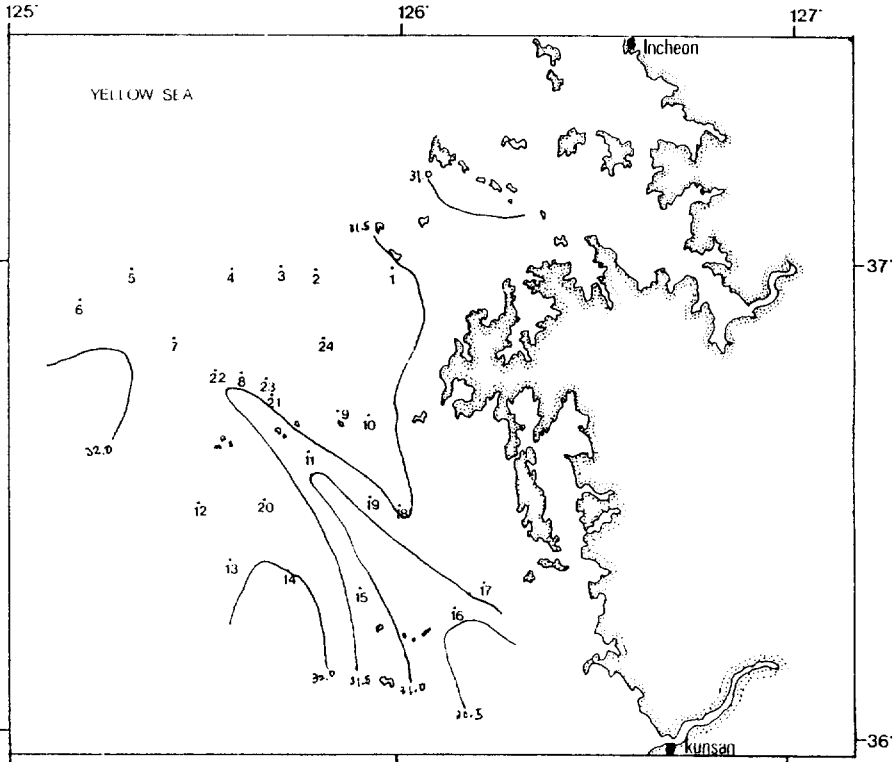


Fig. 7. The horizontal distribution of surface salinity in the continuous survey of July, 1986.

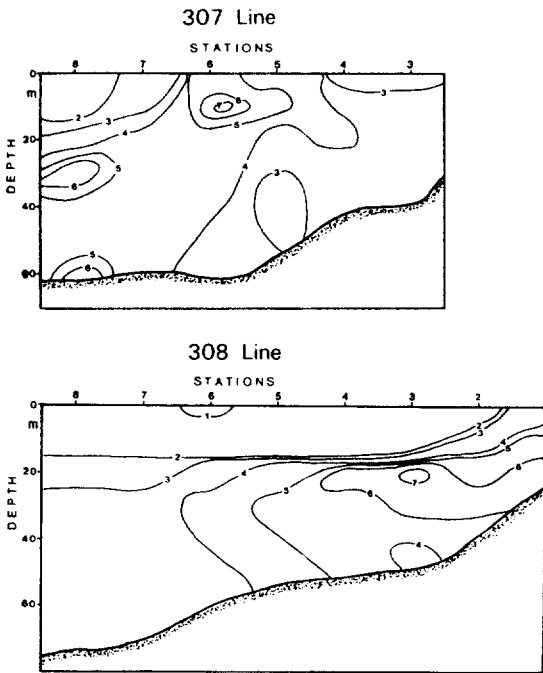


Fig. 8. The vertical distribution of chlorophyll a in the 307 and 308 lines, June 1986.

Pingree *et al.*, 1976). 수직분포를 보면 연안의 혼합 수괴와 전선 수역은 상하가 균일한 분포를 보이거나 하층에서 증가하는 경향이다. 성층 형성 수괴에서는 수온 약층 아래에서 미세플랑크톤의 역할이 감소하는 경향이다. 이는 수온약층 아래가 비교적 영양염이 풍부하고 수온이 낮기 때문에 비교적 크기가 큰 규조류가 많이 출현하기 때문이다. 이와같이 전선 수역을 경계로 바깥 성층 형성 수괴는 미세플랑크톤의 비율이 높고 전선수역 및 연안의 혼합 수괴는 미세플랑크톤의 역할이 감소되고 있다.

#### 4. 전선 수역에서의 1차 생산력 분포

전선 수역이 식물플랑크톤 군집에 미치는 영향을 알기 위하여는 전선 수역 주변의 1차 생산력의 분포를 분석하는 것이 보다 효과적이다. 86년 7월 연속관측시에 본 조사 수역에서 C-14 방법에 의해 측정된 1차 생산력의 분포는 Table 3과 같다. 연안 혼합 수괴인 St.1, St.17에서 106 mgC/m<sup>2</sup>/day 이하의 낮은 값을 보이고 바깥 성층 형성 수괴인 St.14, St.

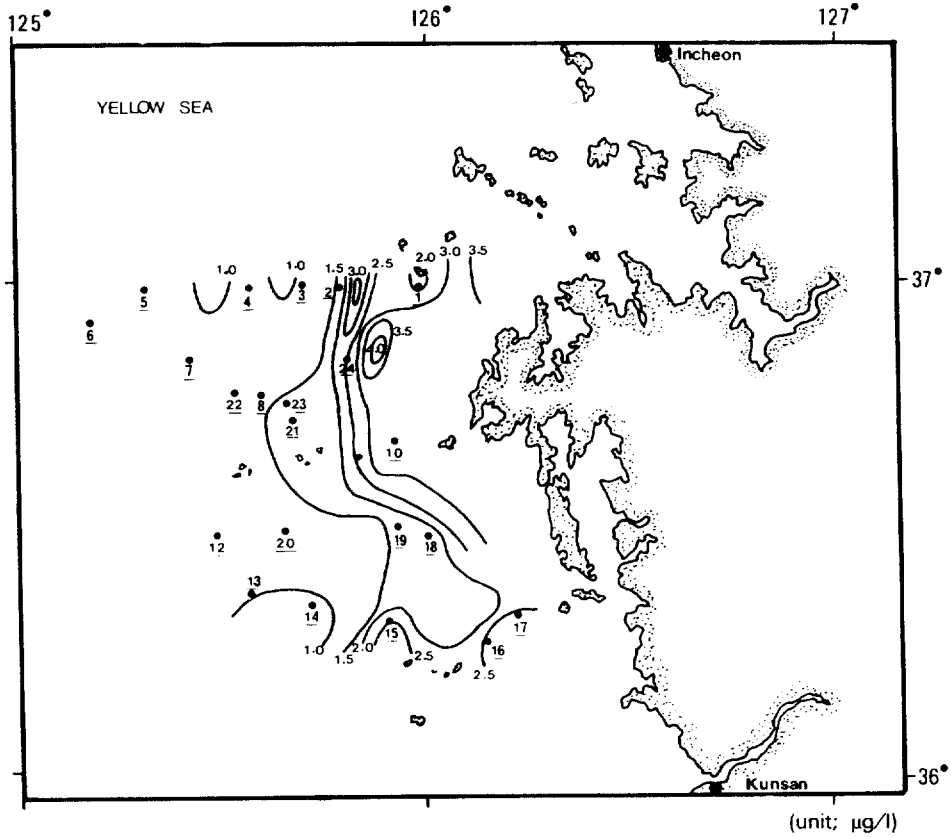


Fig. 9. The horizontal distribution of surface chlorophyll a in the continuous survey of July, 1986.

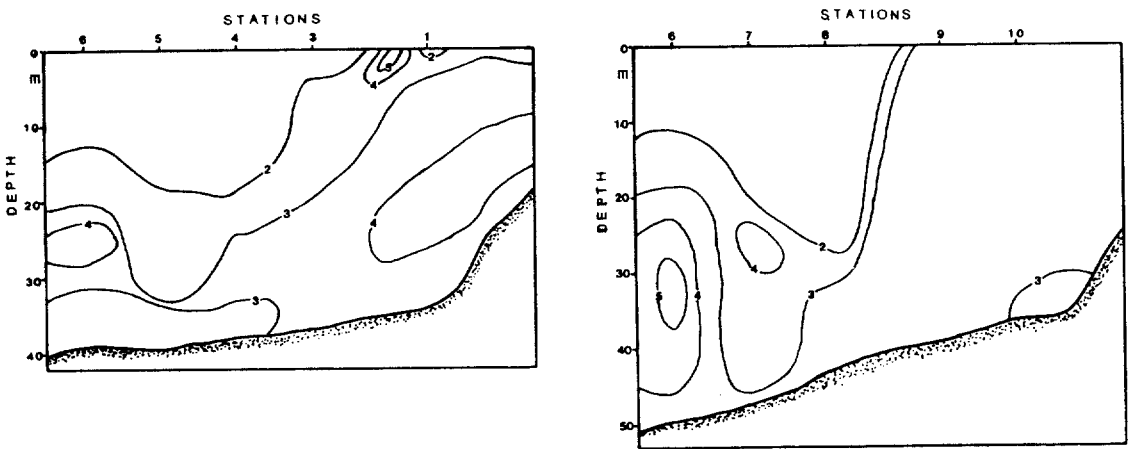


Fig. 10. The vertical distribution of chlorophyll a in the continuous survey of July, 1986.

22에서 비교적 높은 값을 보이고 있다. 특히 전선 수역인 St.19에서 가장 높은 값인  $365.6 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$  를 보이고 있다.

1차 생산력에 있어서 미세식물플랑크톤의 역할을

보면 혼합 수역인 St.1에서 총 1차 생산력의 62.2%인  $46.6 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$  이고 성층 형성 수괴인 St.14에서 84.9%인  $179.4 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$  이며, 전선 수역인 St.15에서 68.0%인  $91.9 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$ 로 연안 혼합 수괴나

Table 2. The distribution of total chlorophyll a and nano-size chlorophyll a in the 307 and 308 lines, June, 1986.

Station	Depth (m)	Chlorophyll a ( $\mu\text{g/l}$ )					
		307 Line			308 Line		
		Total	Nano	%	Total	Nano	%
01	0	-	-	-	3.00	2.02	67.3
	10	-	-	-	5.88	5.69	96.8
	20	-	-	-	6.95	4.61	66.3
02	0	-	-	-	1.64	1.63	99.4
	10	-	-	-	3.32	2.46	74.1
	20	-	-	-	5.40	3.48	64.4
03	0	2.52	2.07	82.1	1.42	1.39	97.9
	10	3.48	2.91	83.6	1.42	1.39	97.9
	20	3.48	2.69	77.3	7.01	6.07	86.6
	30	3.29	2.94	89.4	6.26	3.70	59.1
04	0	2.84	2.69	94.7	1.14	1.11	97.4
	10	3.07	2.94	95.8	1.55	1.39	89.7
	20	4.14	2.78	67.1	6.79	5.31	78.2
	30	3.29	2.84	86.3	5.44	4.20	77.2
05	0	4.17	2.43	58.3	1.14	1.12	98.2
	10	5.59	2.62	46.9	1.14	1.12	98.2
	20	3.98	1.61	40.5	4.17	3.63	87.1
	30	2.66	1.01	38.0	5.53	4.49	81.2
	50	2.98	0.82	27.5	4.27	3.38	79.2
06	0	5.06	2.43	48.0	0.88	0.87	98.9
	10	7.52	6.95	92.4	1.36	1.34	98.5
	20	4.51	3.98	88.2	5.88	5.75	97.8
	30	4.92	4.18	85.0	4.70	3.82	81.3
	50	3.09	2.56	82.8	3.82	3.03	79.3
07	0	2.11	1.99	94.3	1.14	1.06	93.0
	10	2.56	2.21	86.3	1.61	1.45	90.1
	20	4.01	3.89	97.0	2.88	2.59	89.9
	30	4.42	3.25	73.5	19.02	13.27	69.8
	50	4.33	3.29	76.0	3.69	2.68	72.5
08	0	1.80	1.76	97.8	1.45	1.39	95.9
	10	1.90	1.45	76.3	1.52	1.51	99.3
	20	3.95	3.57	90.4	2.75	2.62	95.3
	30	6.60	5.53	83.8	3.60	3.10	86.1
	50	4.93	4.14	84.0	2.59	2.15	83.0
	60	6.09	4.74	77.8	2.37	1.90	80.2

전선 수역보다 성층 형성 수괴가 높게 나타났다. 이는 성층 형성 수괴에서는 수온약층위의 미세플랑크톤 역할이 크기 때문인 것으로 사료되며 그 결과는 Chlorophyll 분포와도 잘 일치한다.

성층별 1차 생산력 분포를 보면 Table 3과 같이

표층에서는 연안 혼합 수괴인 St.1, St.17, St.24 등에서 높게 나타나고 전선 수역인 St.15, 18, 19에서도 비교적 높게 나타난다. 성층 형성 수괴인 St.14, St.22, St.23 등에서  $4.0 \text{ mgC/m}^3/\text{hr}$  이하로 낮게 나타난다. 이는 혼합 수괴의 표층이 영양염이 풍부한데다 빛도 충분히 투입되었기 때문이고, 전선 수역도 비교적 영양염 조건과 광조건이 좋기 때문에 1차 생산력이 높다. 그러나 성층 형성 수괴의 표층에서는 빛도 충분하나 수온약층에 의한 영양염의 유입이 차단되기 때문에 1차 생산력이 작게 나타난다(Son *et al.*, 1989; Pingree *et al.*, 1976). 성층 형성 수괴의 경우 중층에서 1차 생산력이 큰 증가를 보이는 것은 수온약층 바로 아래서 충분한 광조건과 높은 영양염 분포로 광합성 작용이 양호하게 일어났기 때문인 것으로 본다(Simpson, 1982). 이와같은 수온약층의 높은 생산력은 Chlorophyll의 높은 분포와도 잘 일치하고 있다. 연안 혼합 수괴의 경우 저층으로 갈수록 생산력이 급격히 감소하는 경향이나 성층 형성 수괴나 전선 수역의 경우는 크게 감소하지 않는다. 이는 수괴의 투명도가 높아 유광층이 깊기 때문에 (30 m 이상) 저층에도 충분한 빛이 공급되므로 비교적 높은 1차 생산력을 보이는 것이다.

Chlorophyll에 대한 1차 생산력의 비율 즉 Potential production을 보면 Table 3과 같이 표층에서 높고 저층으로 갈수록 감소한다. 이는 영양염 조건보다는 광조건에 따라 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 즉 광조건에 따라 식물플랑크톤의 activity adaptation 정도가 달라짐을 의미한다. 성층 형성 수괴의 표층의 경우와 같이 낮은 영양염 조건하에서도 미세플랑크톤의 activity가 높기 때문에 중층보다 높은 동화율을 보인다. 중층이나 저층의 경우 비교적 높은 Chlorophyll 분포를 보이나 광조건이나 낮은 수온 조건 등으로 동화율이 낮게 나타난다. 대체로 수온약층 위에서 동화율은 증가하고 아래에서 감소하는 경향이다(Pingree *et al.*, 1976). 동화율의 수괴분포는 전선 수역이 충분한 빛과 충분한 영양조건으로 가장 높고 성층 형성 수괴도 표층 Chlorophyll 분포는 낮으나 동화율은 비교적 높고 연안 혼합 수괴는 전반적으로 낮은 편이다.

## 5. 전선형성에 따른 식물플랑크톤 분포

Table 3. The distribution of primary productivities and Assimilation numbers in this study area, July, 1986.

Station	Total p.p (mgC/m <sup>3</sup> /day)	Depth (m)	p.p (mgC m <sup>3</sup> /hour)	Chlorophyll (mg m <sup>-3</sup> )	AN (p.p/chl)
St. 1	75.0 nano (46.6)	0	11.90	1.67	7.12
		10	15.55	3.56	4.37
		20	6.83	4.44	1.54
St.14	211.3 nano (179.4)	0	3.18	0.82	3.88
		12	11.15	4.25	2.76
		27	12.79	4.21	3.04
St.15	135.1 nano (91.9)	0	15.53	2.41	6.44
St.17	106.1	0	8.31	2.67	3.11
		10	7.04	2.16	3.26
St.18	175.5	0	7.26	1.91	3.80
		10	4.26	3.11	1.37
		20	1.65	7.20	0.23
St.19	365.6	0	5.96	1.53	3.90
		20	11.06	4.88	2.27
St.22	157.3	0	4.04	1.15	3.52
		15	5.21	3.05	1.71
		25	5.46	3.62	1.51
St.23	143.6	0	3.75	1.24	3.02
		10	6.48	2.24	2.89
		20	3.85	2.72	1.41
St.24	75.6	0	6.42	2.73	2.35
		10	7.97	3.42	2.33
		20	5.92	3.28	1.81

**종조적 특성 :** 본 연구의 연속 조사시에 출현한 식물플랑크톤은 총 89종이 출현하였다. 이 중 규조류가 62종, 와편모조류가 24종, 규질편모류가 2종, 크립토모나드류가 1종등으로 비교적 와편모조류가 다양하게 출현하였다. 특히 수온이 높은 외양의 표층 수역에 와편모조류가 다양한 출현을 보여주고 있다. 규조류는 연안의 혼합 수괴나 성층 형성 수괴의 저층에 주로 분포하고 있다. 대체로 연안의 혼합 수역에 규조류가 다양하게 분포하고 있고 전선수역은 연안종과 외양종의 구분없이 분포하며 가장 다양한 출현 양상을 보이고 성층 형성 수괴의 표층은 종 조성이 빈약하나 수온약층 아래에서는 저서성 규조류가 다양하게 출현하고 있다. 성층 형성 수괴의 표층에만 주로 출현하는 종은 *Dinophysis ovum*, *Amphidinium crassum*, *Ceratium kofoidii*, *C. mac-*

*roceros*, *Pyrophacus horologicum*, *Protoporidinium leonis* 등 와편모조류이다. 연안 혼합수괴에만 주로 출현하는 종은 *Bacillaria paxillifer*, *Pluosigma angulatum*, *Pleurosigma elongatum*, *Actinoptylus senarius*, *A. splendens*, *Actinocyclus ehrenbergii*, *Biddulphia granulata* 등 대부분 저서성 규조류이다. 규조류 중 *Asterionella glacialis*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira eccentrica*, *Triceratium favus*, *Nitzschia seriata* 등은 전수역에 걸쳐 출현하나 성층 형성 수괴에서는 수온약층 아래에 존재한다. 즉 성층 형성 수괴 표층과 연안 혼합 수괴의 식물플랑크톤 종 조성은 구분되나 성층 형성 수괴저층의 식물플랑크톤 종 조성은 연안 혼합 수괴의 종 조성과 유사하다. 전선 수역의 경우는 연안종과 외양종이 같이 출현한다. Lee et al.(1967)과 Choi(1983)에 의한 조사

Table 4. The distribution of standing crops of phytoplankton occurring in the continuous collections of July, 1986.

Station	Depth	Total cells (cells/ml)	Nano cells (cells/ml)	Dominant species
St. 1	S	86	36	<i>Skeletonema coastatum</i>
	M	162	19	"
	B	262	31	"
St. 3	S	398	371	<i>Chroomonas</i>
	M	403	330	<i>Paralia sulcata</i>
	B	473	357	"
St. 4	S	393	371	<i>Chroomonas</i>
	M	680	659	"
	B	440	350	<i>Paralia sulcata</i>
St. 5	S	603	559	<i>Chroomonas</i>
	M	1035	1009	"
	B	652	567	"
St. 6	S	450	406	<i>Chroomonas</i>
	M	574	537	"
	B	1029	950	"
St. 7	S	532	495	<i>Chroomonas</i>
	M	958	926	"
	B	443	357	<i>Paralia sulcata</i>
St. 8	S	551	488	<i>Chroomonas</i>
	M	342	310	"
	B	500	377	<i>Paralia sulcata</i>
St. 9	S	538	479	<i>Chroomonas</i>
	M	705	599	"
	B	761	604	<i>Paralia sulcata</i>
St.10	S	1618	1525	<i>Chroomonas</i>
	M	1001	921	"
	B	1769	1651	<i>Paralia sulcata</i>
St.11	S	359	333	<i>Chroomonas</i>
	M	139	104	"
	B	725	623	"
St.12	S	767	720	<i>Chroomonas</i>
	M	763	743	"
	B	274	220	<i>Paralia sulcata</i>
St.13	S	340	290	<i>Chroomonas</i>
	M	645	610	"
	B	1400	1140	<i>Paralia sulcata</i>
St.14	S	242	208	<i>Chroomonas</i>
	M	2067	2019	"
	B	3174	2830	<i>Paralia sulcata</i>
St.15	S	1957	1914	<i>Chroomonas</i>
	M	2954	2709	<i>Eucampia zoodiacus</i>
	B	450	331	<i>Paralia sulcata</i>
St.16	S	1622	1485	<i>Chroomonas</i>
	B	564	518	<i>Paralia sulcata</i>

Table 4. continued

Station	Depth	Total cells (cells/ml)	Nano cells (cells/ml)	Dominant species
St.17	S	1035	983	<i>Chroomonas</i>
	B	1229	1130	"
St.18	S	1312	1159	<i>Skeletonema costatum</i>
	M	309	261	<i>Paralia sulcata</i>
	B	2117	1900	<i>Paralia sulcata</i>
St.19	S	558	546	<i>Chroomonas</i>
	M	909	874	"
	B	1142	832	<i>Paralia sulcata</i>
St.20	S	300	261	<i>Chroomonas</i>
	M	267	245	<i>Prorocentrum triestinum</i>
	B	604	291	<i>Paralia sulcata</i>
St.21	S	445	403	<i>Chroomonas</i>
	M	1022	996	"
	B	633	417	<i>Paralia sulcata</i>
St.22	S	563	490	<i>Chroomonas</i>
	M	260	249	"
	B	862	779	<i>Paralia sulcata</i>
St.23	S	499	456	<i>Chroomonas</i>
	M	425	371	<i>Paralia sulcata</i>
	B	677	539	"
St.24	S	195	152	<i>Pralia sulcata</i>
	M	380	314	<i>Asterionella glacialis</i>
	B	486	360	<i>Paralia sulcata</i>

보다 전선 수역에서의 종 조성 구분이 뚜렷하지 않은 것은 본 연속 조사가 7월중에 행해져 6월보다 외양종이 연안수역으로 다양하게 유입된 것으로 보인다.

전선 수역을 경계로 출현상태를 구분해 보면 성층 형성 수괴 표층은 *Rhizosolenia stouterforthii*, *Rhizosolenia styliiformis*, *Ceratium kofoidii*, *C. macroceros*, *C. tripos*, *Amphidinium crassum*, *Protoperidium leonis*, *Pyrophacus horologium*, *Dissodinium pseudocalanii* 등이 주로 출현하고 있다. 이중 *Rhizosolenia styliiformis*, *C. kofoidii*, *C. macroceros*, *C. tripos* 등은 Kuroshio 지표종으로 본 수역 바깥쪽이 쿠로시오 지류에 일부 영향을 받은 것으로 사료된다. 연안 혼합 수괴에는 *Actinocyclus ehrenbergii*, *Actinocyclus senarius*, *A. splendens*, *Biddulphia aurita*, *B. longicuris*, *B. granulata*, *Bacillaria paxillifer*, *Ditylum brightwelli*, *Odontella mobiliensis*, *O. sinensis*,

*Paralia sulcata*, *Pleurosigma angulatum*, *P. elongatum*, *Rhizosolenia setigera* 등이 자주 출현하고 있다.

#### 6. 식물플랑크톤의 정량분포

연속 조사시 행한 식물플랑크톤의 정량분포는 Table 4와 같이 St.1의  $86 \times 10^3$  cells/l에서 St.14의  $3174 \times 10^3$  cells/l까지 정점과 깊이에 따라 큰 변화를 보이고 있다. 북부 연안 수역인 St.1과 St.24를 제외하고는  $300 \times 10^3$  cells/l 이상의 높은 분포를 보이는데 이는  $10 \mu\text{m}$  이하의 nanoplankton이 다량으로 출현하고 있기 때문이다. nanoplankton은  $19-2830 \times 10^3$  cells/l 분포로 총출현량의 11.7-97.8%를 차지하고 있다. 대체로 연안 혼합 수역보다는 외해 쪽으로 나갈수록 nanoplankton의 출현비율이 높아지고 저층보다는 표층이나 중층에서 nanoplankton의 출현비율이 높은 것은 Chang and Shim(1986)의 결과와도 유사하다. 총 현존량에 있어 가장 높은

Table 5. The distribution of standing crops of phytoplankton and the percentage of nanoplankton occurred in the KORDI survey area, 1981

(cells/l)

Station	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.
St. 6	348,844 (1.0%)	1,143,675 (1.0%)	875,325 (1.0%)	953,442 (0.5%)	166,135 (1.3%)	204,314 (12.0%)
St. 8	413,099 (1.0%)	432,650 (2.6%)	376,637 (2.6%)	219,501 (59.8%)	116,427 (7.6%)	63,004 (40.8%)
St. 9	425,754 (1.0%)	789,802 (1.0%)	339,138 (3.6%)	567,864 (2.4%)	273,533 (3.0%)	109,010 (44.5%)
St.10	368,298 (1.0%)	812,890 (1.0%)	131,370 (40.2%)	243,936 (9.8%)	83,052 (86.1%)	77,280 (8.75%)
St.11	328,380 (1.0%)	350,625 (6.6%)	96,216 (82.4%)	58,469 (33.4%)	65,340 (83.3%)	33,660 (5.9%)
St.12	314,168 (8.2%)	118,342 (62.6%)	—	—	11,844 (76.2%)	—
St.14	396,754 (1.0%)	69,372 (3.7%)	428,922 (10.8%)	388,075 (3.6%)	127,308 (4.4%)	70,005 (24.6%)
St.15	308,315 (4.0%)	297,381 (91.6%)	486,900 (16.8%)	85,050 (92.6%)	15,317 (64.2%)	964,524 (35.1%)
St.13	196,350 (912%)	60,340 (44.3%)	—	—	26,880 (55.0%)	—

분포를 보인 곳은 St.14의 저층, St.15의 표층, 중층, St.18의 저층, St.19의 저층, St.10의 저층등으로 전선수역이거나 전선수역 인접수역이다. 이는 Chlorophyll의 분포와도 잘 일치하는 결과이다. 전반적으로 연안 혼합 수괴쪽이 전선수역이나 성층 형성 수괴에 비해 현존량이 적게 나타나나 netplankton은 연안 혼합 수괴와 성층 형성 수괴의 수온약층 밑에서 높게 나타나고 있다. 이는 netplankton의 주 구성원인 저서성 구조류가 대부분 연안 혼합 수괴와 수온약층 아래 수직 혼합이 잘 되는 곳에서 부유되어 나타났기 때문이다(Choi and Shim, 1986). 주로 연안 혼합 수괴와 성층 형성 수괴의 저층에서는 *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Asterionella glacialis*, *Nitzschia longissima*, *Amphora lineolata*, *Eucampia zoodiacus* 등 구조류가 우점하여 나타난다. 성층 형성 수괴의 표층이나 전선수역의 표층에는 *Chroomonas sp.* 계통의 소형의 식물플랑크톤이나 *Prorocentrum triestinum*, *Gymnodinium sp.* 등의 소형 와편모조류가 우점하고 있다. 식물플랑크톤의 정량 분포와 Chlorophyll 분포, 1차 생산력의 분포를 비교하면 대체로 정량분포와 Chlorophyll 분포가 높은 곳에서 1차 생산력이 높게 나타나고 있다. 1982년 2월부터 6월까지 본 조사 수역에서의 식물플랑크톤의 현존량

분포는 Table 5와 같다. 이 Table에 의하면 2월중 식물플랑크톤의 정량 분포는 거의 전 정점에서 균일하다. 또한 nanoplankton의 비율도 총 개체수의 1% 이하로 극히 적은 출현량을 보이고 있다. 그러나 3월이 되면서 증가하여 3월에 St.12와 15에서는 62-92%까지 증가하고 있고 4월에는 St.11에서 82%, 5월에는 St.15에서 92%, 6월에는 St.10, 11에서 80% 이상 분포하고 있다. 대체로 봄부터 여름이 되면서 수괴의 성층 형성에 따라 nanoplankton이 증가하는 경향이다. 이들 nanoplankton의 비율에 따른 분포 양상을 보면(Fig. 2) 동시에 조사된 수온과 용존산소량의 분포양상과도 잘 일치하고 있다. 즉 전선수역을 경계로 nanoplankton이 연안 혼합 수역보다는 바깥 성층 형성 수괴에 많이 나타나고 있어 nanoplankton의 출현 상태가 연안 혼합 수역과 성층 형성 수괴를 구분할 수 있는 좋은 지표가 될 수 있음을 보여주고 있다.

#### 7. 식물 플랑크톤 정량분포에 의한 수괴 구분

1986년 7월의 연속조사 정점의 식물플랑크톤 정량 자료를 Jaccard's Index를 써서 집괴 분석(Cluster analysis)을 한 결과 조사수역의 표층(Fig. 11)과 저층(Fig. 12)은 그림과 같이 구분되었다.



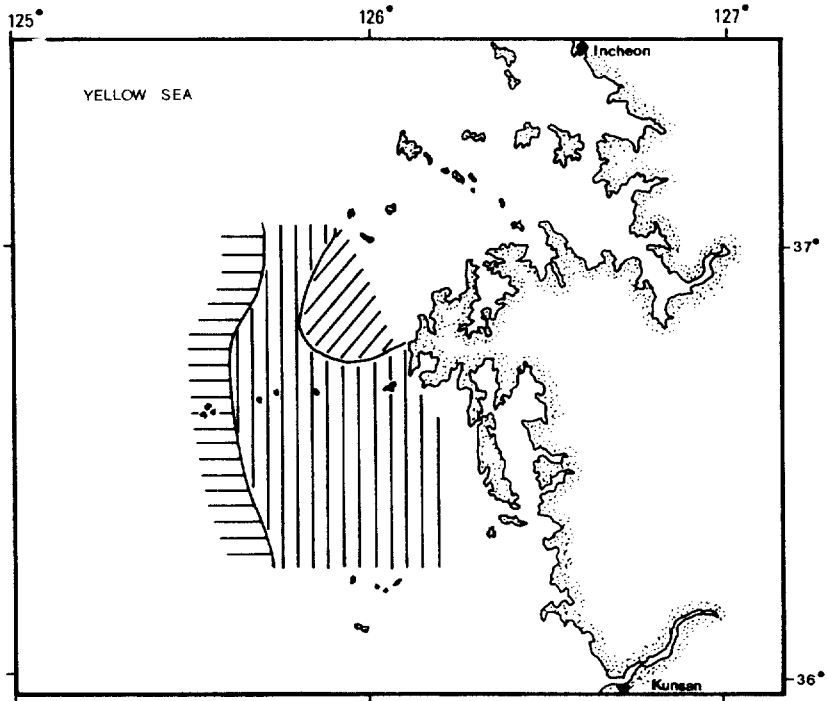


Fig. 11. Phytohydrographic regions based on cluster analysis of surface stations.

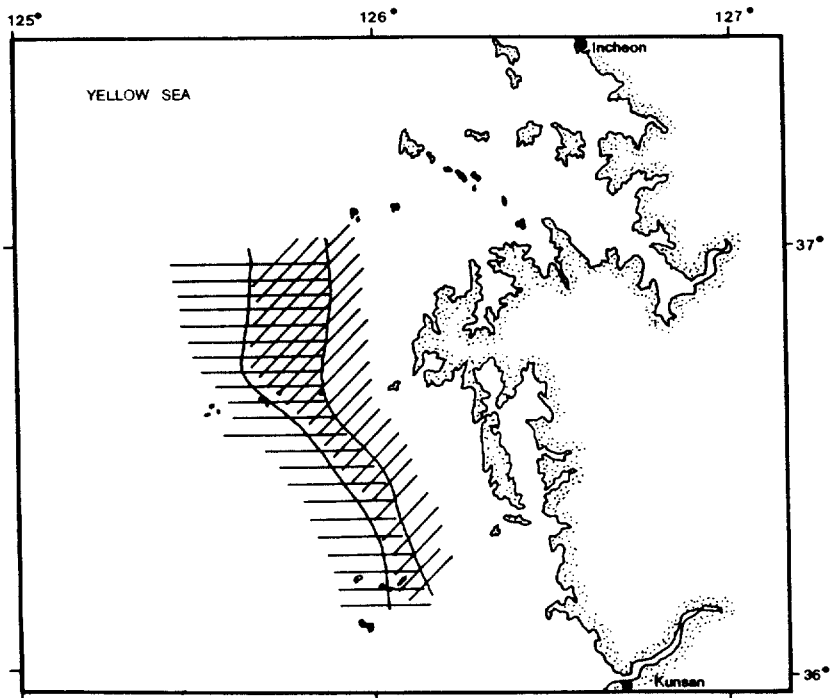


Fig. 12. Phytohydrographic regions based on cluster analysis on bottom stations.

표층은 크게 세 그룹으로 나뉘어져 St.1과 St.24로 대표되는 경기만과 연결되어 경기만의 영향을 받은 연안수역, St.5, 6, 12, 13으로 대표되는 바깥 성층 형성수역, St.7, 9, 11, 15, 20 등으로 대표되는 경기만 연안수역과 바깥 성층수역의 경계면으로 구분되었다. 저층은 전형적인 연안 정점인 St.1, 9, 16, 17, 성층형성수역인 St.5, 6, 7, 12, 13, 20 등과 전선수역인 St.3, 9, 10 등으로 뚜렷이 구분되었다. 위의 결과로 본 조사수역은 하계에 연안수역과 바깥 성층형성수역으로 뚜렷이 구분되며 그 사이에 경계수역이 있으며 전선이 형성됨을 알 수 있었다. 특히 표층은 경기만 연안의 영향이 태안반도 좌측까지 미침을 식물플랑크톤 분포로 알 수 있었다.

이상의 연구 결과 본 조사수역이 하계에는 연안수역, 전선수역, 성층형성수역이 이루어짐을 알 수 있고 이러한 수괴의 형성으로 식물플랑크톤의 분포와 종조성, 1차생산력등이 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구가 이루어지게 재정적인 지원을 하여준 한국과학재단에 감사를 표합니다. 또한 본 연구 수행에 큰 도움을 주신 박용철 교수와 논문 교정에 조언을 주신 심재형 교수님과 장만 박사께 감사를 드리고 자료 수집과 원고 정리를 도와 준 한정호, 신경순, 정경호, 강연식, 양은진 대학원생들에게도 감사를 표합니다.

### REFERENCES

- Carpenter, E.J. and J.S. Lively, 1980. Review of estimates of algal growth using C-14 tracer techniques. In: *Primary productivity in the sea*. Ed. by P. Falkowski. Plenum Press, 161-178.
- Chang, M. and J.H. Shim, 1986. A study on the phytoplankton of the Yellow Sea in spring. 1984. *Ocean Res.* 8: 1-11 (in Korean).
- Cho, K.D., S.Y. Hong, H.J. Kim and Y.R. Yang, 1983. Structure of shelf front distribution of plankton in the Eastern part of the Yellow Sea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 16: 316-326 (in Korean).
- Choi, J.K., 1983. Newly recorded phytoplankton for Korea. from the Yellow Sea. *Bull. Inst. Basic Sci. Inha Univ.* 4: 111-117.
- Choi, J.K., 1985. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Korea. Ph. D. Thesis. S.N.U., 320 pp.
- Choi, J.K., 1987. Influence of the shallow sea front off Kyeonggi Bay on primary productivity and community structure of phytoplankton. KOSEF Report, 70 pp. (in Korean).
- Gong, Y., 1972. A study on the south Korea Coastal front. *J. Ocean. Soc. Korea.*, 6: 25-36 (in Korean).
- Horne, E.P.W., M.J. Bowman and A. Okubo, 1978. Cross-frontal mixing and cabbelling. In: *Oceanic fronts in coastal processes*. Ed. by M. J. Bowman and W. E. Esaias Springer verlag, 105-113.
- Kim, S.C., 1982. Suspended particulate matters in the Keum Estuary and the adjacent continental shelf MS Thesis, S.N.U., 69pp.
- KORDI, 1982. Studies on the development of the useful fisheries resources in the Yellow Sea. BSPE 0045-67 3:97pp (in Korean).
- Lee, M.J., J.H. Shim and C.K. Kim, 1967. Studies on the plankton of the neighboring seas of Korea. Part 1: On the marine conditions and phytoplankton of the Yellow Sea in summer. Reports. *The Inst. Mar. Biol. S.N.U.* 1: 1-14.
- Mann, K.H., 1982. Ecology of coastal waters. A systems approach. Univ. Cali. press. Berkely, 329 pp.
- 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.* 199-376.
- Parsons, J.R., Y. Maita and C.M. Lalli, 1984. A manual of Chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, 173pp.
- Pingree, R.D., G.R. Forster and G.K. Morrison, 1974. Turbulent Convergent Tidal Fronts. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 54: 469-479.
- Pingree, R.E., P.R. Pugh, P.M. Holligan and G. R. Forster, 1975. Summer phytoplankton blooms and red tides along tidal fronts in the approaches to the English Channel. *Nature, London.* 258: 672-677.
- Pingree, R.D., P.M. Holligan, G.T. Mardell and R.N. Head, 1976. The influence of physical stability on Spring, Summer and Autumn phytoplankton blooms in the Celtic Sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 56: 845-873.
- Pingree, R.D., P.M. Holligan and G.T. Mardell, 1978. The effects of vertical stability on phytoplankton distributions in the summer on the northwest European shelf. *Deep Sea Res.* 25: 1011-1028.
- Pingree, R.D., P.M. Holligan and G.T. Mardell, 1979. Phytoplankton growth and cyclonic eddies. *Nature*, 278: 245-247.
- Pingree, R.D., G.P. Mardell and L. Maddock, 1983. A marginal front in Lyme Bay. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 63: 9-15.
- Seung, Y.H., J.H. Chung and Y.C. Park, 1990. Oceanographic studies related to the tidal front in the mid-Yellow Sea of Korea: Physical aspects. *J. Ocean. Soc. Kor.*, 25: 84-95.
- Simpson, J.H., D.J. Edelsten, A. Edwards, N.C.G. Morris

- and P. B. Tett, 1979. The Islay front: physical structure and phytoplankton distribution. *Estuarine coastal mar. sci.*, **9**: 713-726.
- Simpson J.H., P.B. Tett, M.L. Argote-Espinoza, A. Edwards, K.J. Jone and G. Savidge, 1982. Mixing and phytoplankton growth around an island in a stratified sea. *Continental Shelf Res.*, **1**: 15-31.
- Son, S.K., Chung, K.H., Jo, J.S. and Y.C. Park, 1989. Seasonal variation of nutrients, total dissolved free amino acids and bacterial biomass in the Yellow Sea. *Yell. Sea. Res.*, **2**: 1-12.
- Uda, M., 1938. Researches on "Siome" or Current rip in the seas and Oceans. *Geophys. Mag.*, **11**: 307-372.
- 
- Received July 12, 1991  
Accepted August 24, 1991