

한국 남해 연안전선의 생물·화학적 특성 및 영양역학 구조

강영실·전경암
국립수산진흥원

Biological and Chemical Characteristics and Trophodynamics in the Frontal Zone in the Southern Waters of Korea

Young Shil KANG and Kyeong Am JEON

National Fisheries Research & Development Institute, Pusan 619-900 Korea

Biological and chemical characteristics and trophodynamics in the frontal zone were investigated in the southern waters of Korea. Temperature, nutrients (dissolved inorganic nitrogen, PO_4^{3-} -P, and SiO_2 -Si) chlorophyll *a* and zooplankton were collected and analyzed along the two transects, the frontal zone and the non-frontal zone, in April, 1994.

Nutrients were higher in the non-frontal zone than in the frontal zone. But chlorophyll *a* concentration was high in the frontal zone, particularly at the 20 m depth of the main frontal station (St. TII-2), where was located at the junction between the stratified layer and the non-stratified layer with the lowest nutrients. Zooplankton was more abundant in the frontal zone than in the non-frontal zone, particularly at the innermost station of the frontal zone. Copepods showed high composition rate more than 90% at all stations except the main frontal station (St. TII-2). At the main frontal station (St. TII-2), euphausiids and siphonophores were dominated.

Chlorophyll *a* revealed a significant relationships with SiO_2 -Si in both transects and copepods in the non-frontal zone. Copepods also showed very close relationship with siphonophores in the frontal zone. This suggests that the abundance of copepods could be controlled as bottom-up in the non-frontal zone and as top-down in the frontal zone.

Key words: front, copepods, siphonophores, euphausiids, top-down, bottom-up

서 론

전선은 물리·화학·생물학적으로 서로 다른 특성을 가진 두 개의 수괴가 접하여 수렴하는 전이(轉移)지역을 말한다. 전선역에서는 물리적인 수렴현상으로 영양염류가 풍부하며, 따라서 식물플랑크톤의 생산력이 매우 높다 (Pingree et al., 1975; Floodgate et al., 1981). 그러나 식물플랑크톤을 먹이생물로 하는 동물플랑크톤이 항상 풍부하게 나타나는 것이 아니며 (Kiorboe and Johansen, 1986; Yamamoto and Nishizawa, 1987), 특히 동물플랑크톤 중 주요그룹인 Copepoda의 경우 전선역에서 생산력은 높으나 현존량은 낮다고 보고된 바 있다 (Uye et al., 1992). 이와같은 현상은 동물플랑크톤을 포식하는 처어 및 siphonophores, chaetognaths 등과 같은 각종 육식성 동물플랑크톤이 전선역에 다량 모여, 동물플랑크톤을 섭이한 결과라고 논의되었다 (Uye et al., 1992). 그러나 일반적으로 전선역에서는 일, 이차생산력이 높아 어장으로써 매우 중요하며 (Gong, 1971; Kiorboe et al., 1988; Nakata et al., 1995), 또한 종조성이 매우 풍부한 것으로 알려져 있다 (Bowman and Easias, 1977).

한국주변해역에서 주로 나타나는 전선을 보면, 서해에서는 조석전선이 (Choi, 1991), 동해에서는 극전선과 열전선이 (Gong and Son, 1982) 있다. 남해의 경우, 남해연안수와 대마난류수가 상접하여 형성되는 연안전선이 있으며, 이는 시기에 따라 위치와 세력을 조금씩 달리한다 (Gong, 1971; Kang, 1974). 서해의 조석전선역에서는 높은 일차 생산력을 보이며 (Choi, 1991), 또한 전선을 경계로 하여 식물플랑크톤과 동물플랑크톤의 종별 분포에 차이가 나타났다 (Cho et al., 1983). 동해의 극전선역에서도 냉·온수성 규조류가 혼합하여 나타났으며 기초생산력과 식물플랑크톤의

현존량이 높았다 (Park et al., 1991). 남해 연안전선역의 경우, 전선이 강하게 형성되는 시기에 전선역에서 고등어가 특히 다량 어획되어 이곳이 고등어 어장으로 매우 중요한 것으로 밝혀진 바 있다 (Gong, 1971; Kim, 1982).

이와같이 전선은 직·간접적으로 그 해역의 생태계 구조에 영향을 미치며, 이에따라 먹이망 구조 및 생물생산량이 다른 해역과 다른 양상을 가진다. 따라서 전선해역의 생물·화학적 특성과 영양역학 구조를 밝히는 것은 어장의 생산력 추정을 용이하게 하며, 또한 어장의 효율적 관리를 위한 기초자료로 매우 중요하다. 그러나 우리나라 주변해역에서 형성되는 전선에 관한 연구는 매우 제한되어져 있다. 특히, 남해 연안전선에 관한 연구로는 전선의 물리·화학적 특성 및 전선역이 선망어업에 미치는 영향에 관한 것이 있으며 (Gong, 1971; Kang, 1974; Kim, 1982), 기초생물 생산기작이나 영양역학관계 등 생물학적특성에 관한 연구는 없다. 따라서 본 연구는 한국 남해연안의 전선을 중심으로 수온, 영양염류, chlorophyll *a* 및 동물플랑크톤의 조성 그리고 주요한 이차생산자인 초식성 요각류 (copepods)를 중심으로 생물 상호간의 상관관계를 분석하여 영양역학 (trophodynamics) 구조를 밝혔다.

재료 및 방법

1994년 4월에 한국 남해안 수온의 수직 및 수평적 분포 특성을 현장에서 분석하여, 전선이 형성된 해역을 전선대 (Transect II: TII)로 정하여 이곳을 중심으로 종(從)으로 6개의 정점을 정하고, 이 해역과 비교 분석하기 위하여 전선이 형성되지 않은 해역을 비전선대 (Transect I: TI)로 정하여 7개의 정점을 정하였다 (Fig. 1).

수온은 각 정점에서 10 m층별로 측정하였고, DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen), PO_4^{3-} -P 그리고 SiO_2 -Si, chlorophyll a는 격점 (TI-1, 2, 3; TII-1, 2, 3, 4)의 표층, 20, 50 m층과 저층에서 측정하였다. 동물플랑크톤도 격점에서 NORPAC net (구경 45 cm; 망목 330 μ m)로 저층에서 표층까지 1 m/sec의 속도로 수직채집하였다.

수온은 CTD (Sea Bird, SBE19)로 측정하였으며, NO_3^- 는 Cu-Cd칼럼을 이용한 환원법으로, NO_2^- 는 산성에서 Sulfanilamide와 반응시켜 diazo화하고 a-NED 제2염산염으로 발색시키는 방법으로, PO_4^{3-} -P은 ascorbic acid method로, SiO_2 -Si는 Molybden blue method로 비색정량하였다.

Chlorophyll a는 4개층에서 각각 500 ml를 채수하여 형광광도계 (Turner Designe, Model 10-Au-000)로 측정하였다. 동물플랑크톤은 대분류하여 분류군별로 계수하였으며, 주요 그룹인 copepods,

euphausiids, siphonophores의 출현개체수 및 그룹간 및 chlorophyll a와의 상관관계를 구하여 영양역학구조를 분석하였다.

결 과

수온

비전선대 (TI)는 11.4~15.5°C의 수온 범위이며, 정점간 수온차가 1°C내외로 매우 작았다. 또한, 수직 혼합도 잘 이루어져 표·저층간 온도차가 1°C 미만이었다 (Fig. 2). 전선대 (TII)의 수온은 10.6~16.2°C 범위로 정점간 수온차가 3~4°C로 매우 크게 나타났으며, 정점 TII-2에 인접하여 강한 수온전선이 형성되어 TII-2가 전선의 중심지로 나타났다. 특히, 수층 20 m 이하층에서 수온전선이 강하게 나타났으며, TII-2의 수심 20 m를 기점으로하여 연안으로 가면서 성층이 형성되었다. 표·저층간 온도차는 0.9~4.6°C이며 전선이 형성된 정점 TII-2에서 가장 크게 나타났다.

영양염류

DIN은 비전선대 (TI)에서는 평균 2.93 μ M, 범위 1.59~4.93 μ M이며, 전선대 (TII)에서는 평균 1.90 μ M, 범위 0.59~4.36 μ M로 비전선대에서 농도가 더 높았다 (Fig. 3). 전선대에서는 연안의 표층에서 외양의 저층으로 가면서 점차적으로 높아지는 경향을 나타내었다. 특히, 외양의 수심 50 m 이하층에서 높은 농도가 분포하여, 전선대의 정점 TII-2의 수심 20 m층에서 연안의 저층으로 가면서 매우 낮은 농도 분포를 보였다. 비전선대에서는 연안정점인 TI-1의 저층과 TI-2를 경계로 한 외양의 표층과 그리고 정점 TI-3과 TI-4 간의 30 m 이심층에서 3 μ M 이상의 높은 농도 분포를 보였다.

PO_4^{3-} -P은 비전선대에서는 평균 0.36 μ M, 범위 0.27~0.59 μ M이며, 전선대에서는 평균 0.20 μ M, 범위 0.10~0.40 μ M로 역시 비전선대에서 농도가 높았다. 비전선대에서는 연안의 저층에서 높은

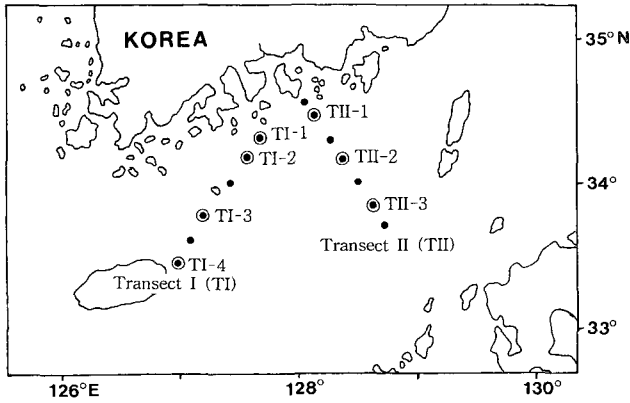


Fig. 1. Map showing the study area and sampling stations.
 ◎: Stations for collecting zooplankton and measuring nutrients and chlorophyll a
 ● and ○: Stations for measuring temperature

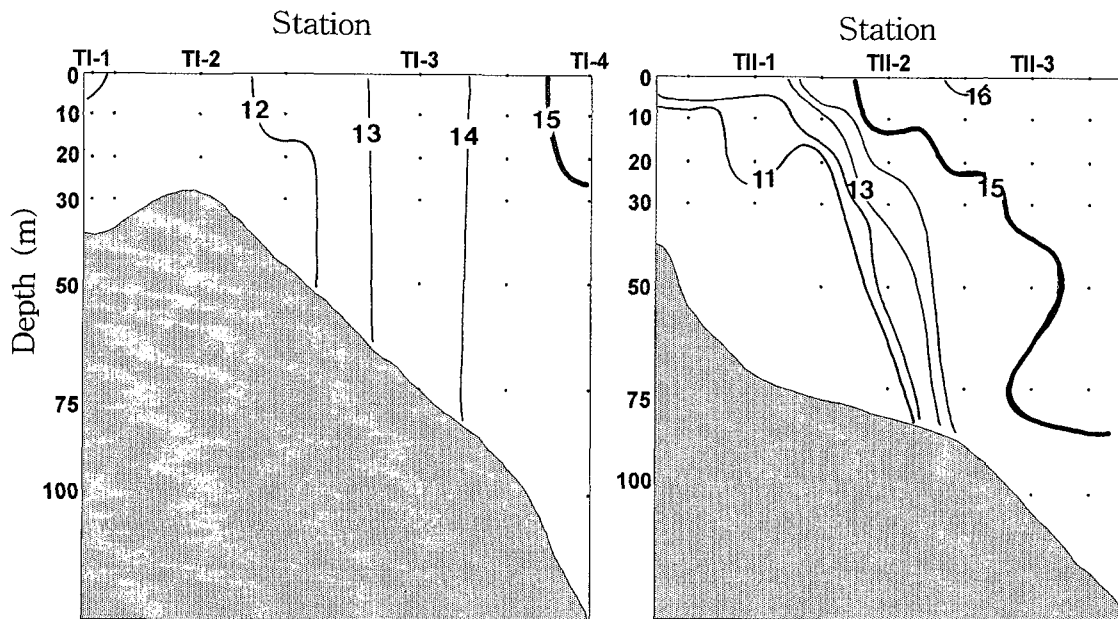


Fig. 2. Vertical distributions of temperature (°C) in the two transects in the southern waters of Korea in April, 1994.

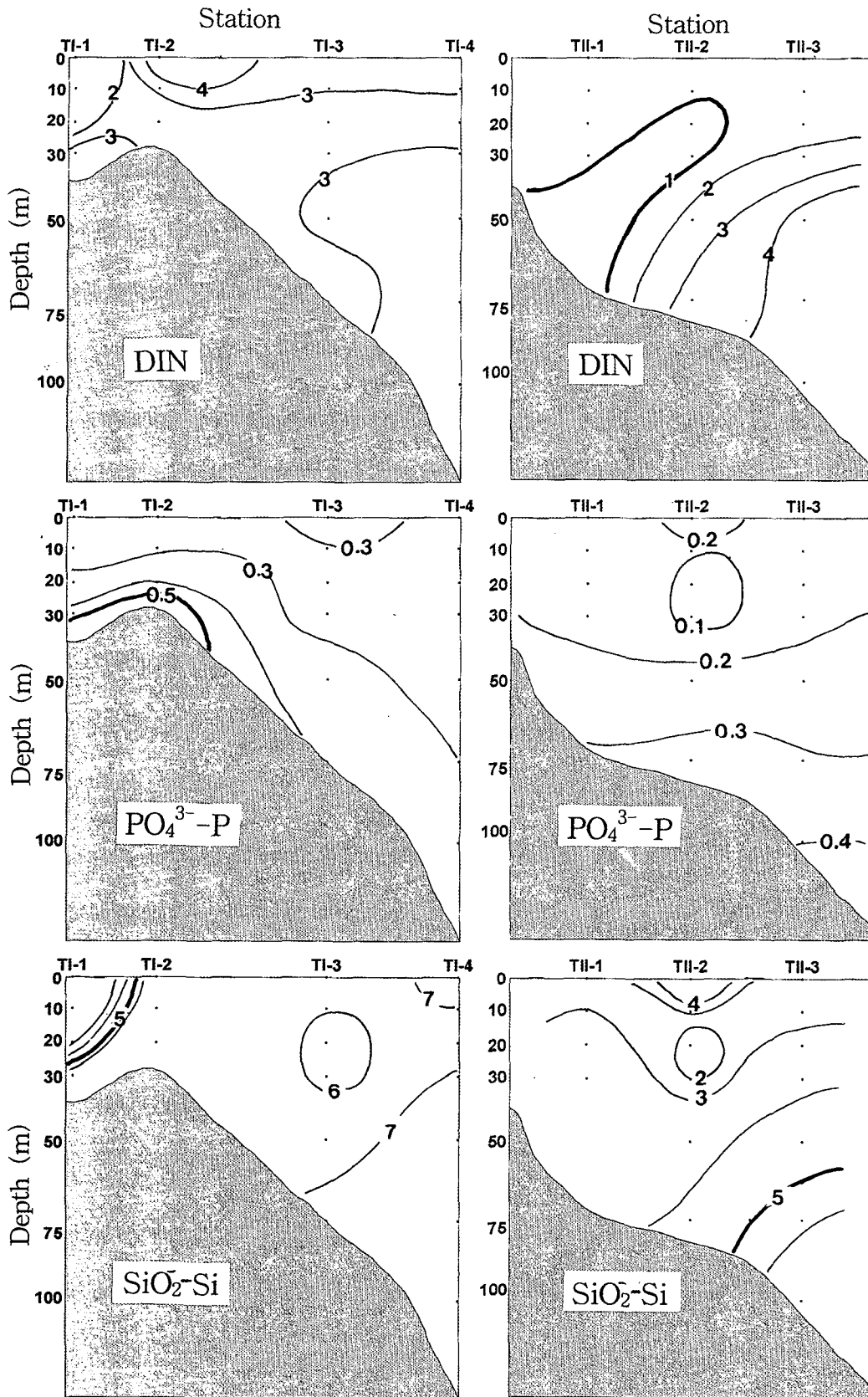


Fig. 3. Vertical distributions of DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen, μM), $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (μM) and $\text{SiO}_2\text{-Si}$ (μM) in the two transects in the southern waters of Korea in April, 1994.

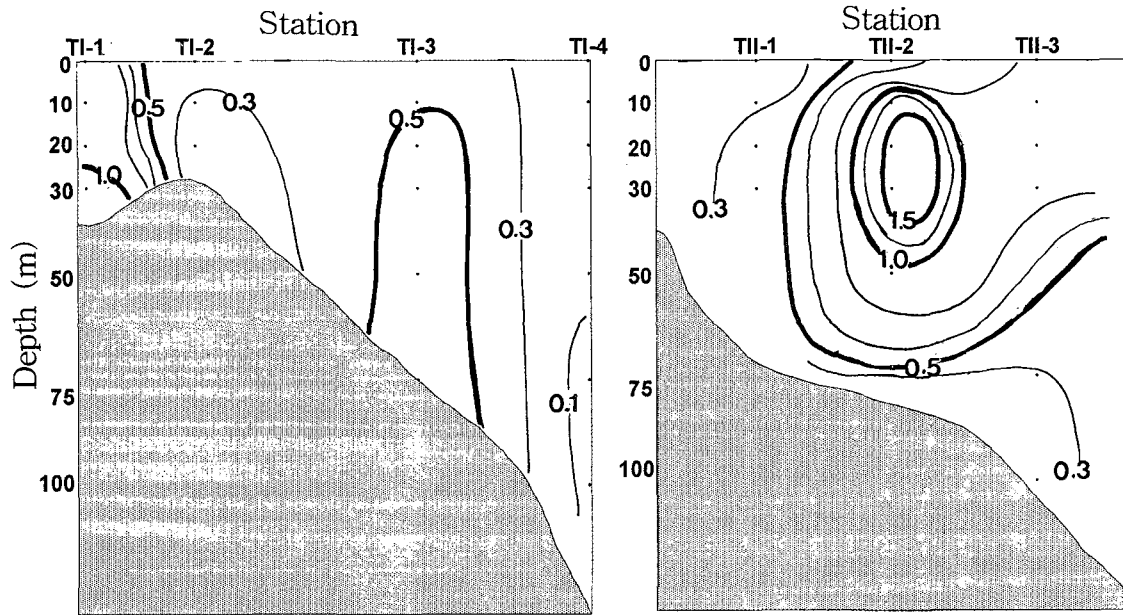


Fig. 4. Vertical distributions of chlorophyll a ($\mu\text{g}\ell^{-1}$) in the two transects in the southern waters of Korea in April, 1994.

농도를 보이거나 전선대에서는 외양의 저층에서 높은 농도를 보였다. 전선대에서는 수심 30 m를 중심으로 표층으로 가면 0.1 μM 내외의 매우 낮은 농도의 균질한 분포를 보이며, 정점 TII-2의 20 m층에서는 0.1 μM 이하의 최소값을 보였다.

$\text{SiO}_2\text{-Si}$ 역시 비전선대에서 평균이 5.92 μM , 범위가 2.37~7.77 μM 로 전선대의 평균 3.67 μM , 2.71~6.58 μM 범위 보다 높았다. 비전선대에서는 연안에서 외양으로 가면서 점차적으로 높아지는 경향을 보이거나, 전선대에서는 표층에서 저층으로 가면서 높아지는 경향을 보였다. 전선대에서 전선의 중심지인 TII-2의 수심 20 m층에서 1.60 μM 의 가장 낮은 농도를 보였다.

Chlorophyll a

Chlorophyll a는 비전선대에서는 평균 0.467 $\mu\text{g}\ell^{-1}$ 이며, 전선대에서는 0.698 $\mu\text{g}\ell^{-1}$ 로 전선대가 비전선대 보다 약 1.5배 높았다. 비전선대에서는 연안에서 chlorophyll a가 풍부하였으며, 특히 연안의 저층에서 1.24 $\mu\text{g}\ell^{-1}$ 로 매우 높았다 (Fig. 4). 그러나 외양의 저층에서는 0.006 $\mu\text{g}\ell^{-1}$ 로 매우 낮았다. 전선대에서는 전선의 중심지인 TII-2에서 가장 높았으며 특히, 수심 20 m층에서 1.626 $\mu\text{g}\ell^{-1}$ 으로 가장 높았다.

동물플랑크톤

동물플랑크톤 출현량은 비전선대에서는 평균 127.0 inds. m^{-3} , 전선대에서는 262.1 inds. m^{-3} 로 전선대가 비전선대에 비해 약 2배 높았다. 특히, TII-1에서 451.6 inds. m^{-3} 로 가장 높았으며 다음으로 TII-2에서 높았다 (Fig. 5). 비전선대에서 동물플랑크톤 출현량은 67.9~156.3 inds. m^{-3} 범위로, 정점 TI-3에서 가장 높으며, 외양정점인 TI-4에서 가장 낮았다.

Copepods의 평균 출현량은 비전선대에서는 111.7 inds. m^{-3} 이며, 전선대에서는 146.0 inds. m^{-3} 로 전선대가 비전선대에 비해 약 1.5 배 높았다. 비전선대에서는 51.1~136.4 inds. m^{-3} 범위로 연안정점

인 TI-1에서 다른 정점에 비해 출현량이 많았으며, 외양정점인 TI-4에서 가장 적었다 (Fig. 6). 전선대의 경우, 83.3~414.0 inds. m^{-3} 범위로 연안정점인 TII-1에서 가장 높으며, 다음 TII-2, TII-3의 순으로 나타났다.

Euphausiids의 평균 출현량은 비전선대에서 7.8 inds. m^{-3} 이며, 전선대에서 32.1 inds. m^{-3} 로 전선대가 비전선대에 비해 약 4배 높았다. 비전선대의 경우, 0.8~21.7 inds. m^{-3} 범위로 역시 copepods가 다량 출현했던 TI-3에서 21.7 inds. m^{-3} 로 가장 높은 출현량을 보였다. 전선대에서는 13.2~64.2 inds. m^{-3} 범위로 전선의 중심인 정점 TII-2에서 64.2 inds. m^{-3} 의 가장 높은 출현량을 보였으며, 외양역인 TII-3에서도 18.8 inds. m^{-3} 로 출현량이 많았다.

Siphonophores의 평균 출현량은 비전선대에서 4.2 inds. m^{-3} 이며, 전선대에서 6.6 inds. m^{-3} 로 전선대가 비전선대에 비해 약 1.5배 높았다. 비전선대에서는 0.4~10.8 inds. m^{-3} 범위로 TI-2에서 가장 낮고 외양인 TI-4에서 가장 높았다 (Fig. 6). 전선대의 경우, 1.3~14.5 inds. m^{-3} 범위로, 전선의 중심지인 TII-2에서 14.5 inds. m^{-3} 로

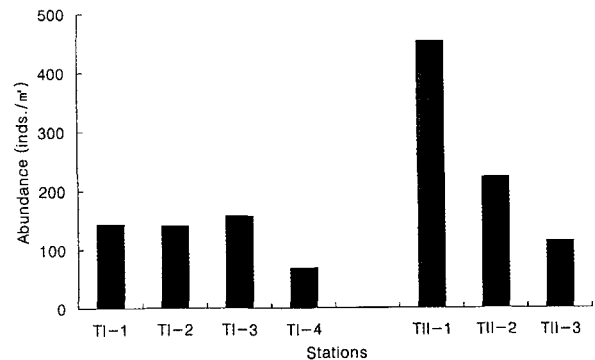


Fig. 5. Zooplankton abundance (inds. m^{-3}) in the two transects in the southern waters of Korea in April, 1994.

타 정점에 비해 월등히 높은 출현량을 보였다.

동물플랑크톤 중 주요 그룹인 copepods, euphausiids와 siphonophores의 조성을 보면 (Fig. 7), copepods의 조성률은 전선의 중심지인 TII-2에서 59.0%로 조사정점 중 가장 낮았으며, 연안정점인 TII-1과 TI-1에서 조성률이 90% 이상으로 매우 높았다. Euphausiids는 copepods와는 달리 TII-2에서 28.9%의 조성률로 전 조사정점 중 가장 높으며, 이에반해 연안정점인 TI-1, 2와 TII-1에서는 매우 낮았다. Siphonophores는 TI-4에서 15.9%의 조성률로 가장 높고, 다음이 TII-2로써 조성률이 6.5%였다. 그러나 TII-2에서의 출현량이 14.5 inds.m⁻³ TI-4의 10.8 inds.m⁻³보다 높았다. 전선의 중심지인 TII-2에서 copepods의 조성률이 낮은 반면 상대적으로 euphausiids와 siphonophores의 조성률이 높으며, 또한

출현량도 전 조사정점 중 가장 높았다.

영양역학구조

영양염과 chlorophyll a 그리고 동물플랑크톤의 영양단계별 상관관계를 분석하여, 생태계 내에서 영양역학구조 양상을 파악하고자 하였다. 연구해역에서 일반적인 영양역학 구조를 파악하기 위해서 전 연구 해역에서의 영양단계별 상관관계를 분석하였다 (Table 1). 또한, 전선대와 비전선대 해역에서 영양역학구조의 특성을 파악하기 위하여 각 해역의 영양단계별 상관관계를 파악하였다. 각 영양염 및 chlorophyll a의 평균에 대한 편차와 log 변환한 copepods, euphausiids, siphonophores 출현량으로 상호관계를 분석하였다.

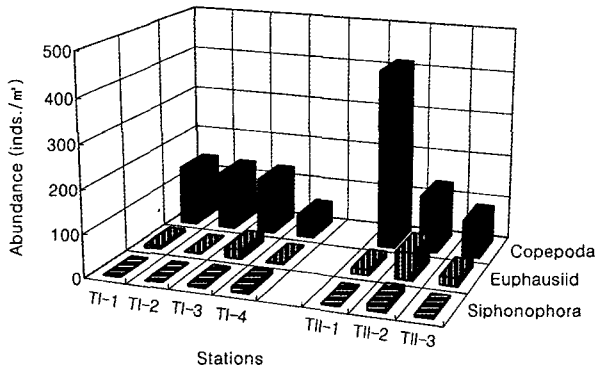


Fig. 6. Abundance (inds.m⁻³) of Copepoda, Euphausiid and Siphonophora in the two transects in the southern waters of Korea in April, 1994.

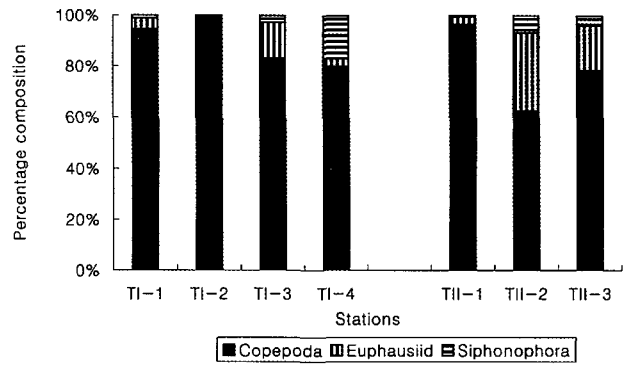


Fig. 7. Percentage composition of Copepoda, Euphausiid and Siphonophora in the two transects in the southern waters of Korea in April, 1994.

Table 1. Correlation coefficient (R²) between each trophic levels in the study area (all area surveyed), frontal area and non-frontal area

	The study area			The frontal area			The non-frontal area		
	Chlorophyll a	Deviation Chlorophyll a	Log-transformed Siphonophora abundance	Chlorophyll a	Deviation Chlorophyll a	Log-transformed Siphonophora abundance	Chlorophyll a	Deviation Chlorophyll a	Log-transformed Siphonophora abundance
Deviation DIN	0.2485 (24)			0.2667 (10)			0.1257 (14)		
Deviation PO ₄ ³⁻ -P	0.1228 (24)			0.7266 (10)			0.0857 (14)		
Deviation SiO ₂ -Si	0.5133 (24)			0.6260 (10)			0.4801 (14)		
Log-transformed Copepoda abundance		0.3348 (7)			0.4426 (3)			0.9363 (4)	
Log-transformed Euphausiid abundance		0.4781 (7)			0.9975 (3)			0.3974 (4)	
Deviation Copepoda abundance			-			0.6129 (3)			0.0254 (4)
Deviation Euphausiid abundance			0.4921 (7)			0.9863 (3)			0.0254 (4)

*(): Number of date, -: value less than 10⁻⁴

전선대와 비전선대 해역을 모두 포함한 전 연구해역에서의 특성을 보면, chlorophyll a는 영양염과 모두 음의 상관관계를 보이며 (Fig. 8), 특히 SiO_2^- -Si와 높은 음의 상관성을 보였다. 또한 copepods와 euphausiids 중 euphausiids와 상관성이 높았다. Siphonophores는 copepods와는 상관성이 없는 것으로 나타난 반면, euphausiids와는 상관성이 있는 것으로 나타났다.

전선대 해역에서의 특성을 보면, chlorophyll a는 PO_4^{3-} -P와 SiO_2^- -Si와 매우 높은 상관관계를 보였으며, copepods와 euphausiids 중에서는 euphausiids와 0.9975라는 매우 높은 상관성을 보였다. Siphonophores는 copepods와 0.6129, euphausiids와는 0.9863의 높은 상관성을 보였다. Copepods는 chlorophyll a와는 0.4426의 낮은 상관성을 보인 반면, siphonophores와는 0.6129의 높은 상관성을 보였다.

비전선대 해역을 보면, chlorophyll a는 SiO_2^- -Si와 다른 영양염에 비해 높은 상관성을 보였다. 또한, chlorophyll a는 copepods와 0.9363의 매우 높은 상관성을 보인 반면, euphausiids와는 낮은 상관성을 보였다. Siphonophores는 copepods와는 0.0254의 매우

낮은 상관성을 보인 반면 euphausiids와는 0.3077로 copepods에 비해 높은 상관성을 보였다. Copepods는 chlorophyll a와는 0.9363의 높은 상관성을 보인 반면, siphonophores와는 0.0254의 매우 낮은 상관성을 보였다.

고찰

Chlorophyll a는 비전선대에 비해 전선대에서 높은 값을 보이며 특히, 전선의 중심지인 정점 TH-2에서 수층별 평균 $0.924 \mu\text{g}\ell^{-1}$ 로 매우 높은 값을 나타내어 전선대에서 기초생산량이 높다는 사실 (Kiorboe et al., 1988)과 일치한 결과를 보였다. 또한, TH-2의 20 m층에서 $1.626 \mu\text{g}\ell^{-1}$ 로 가장 높은 값을 보였다. 정점 TH-2에서 20 m층을 중심으로 연안으로 약한 성층이 형성되어 있으며 수심 20 m층에서 저층까지 수온경도 약 4°C 의 강한 전선이 형성되어 있다. 따라서 정점 TH-2의 20 m층은 성층과 비성층의 분기점이며, 또한 전선지역이라서 chlorophyll a의 생산이 가장 높게 나타난 것으로 판단된다. Legendre (1981)와 Loder and Platt (1985)도 전선해역 중에서도 특히, 성층과 비성층과의 경계역에서 식물플랑크톤의 대변식이 일어난다고 밝힌 바 있다. 또한, Simpson et al. (1982)는 성층 형성해역에서도 성층과 비성층의 분기점인 수층에서 1차생산력이 크며, 이는 충분한 광조건과 높은 영양염 분포로 광합성 작용이 양호하게 일어났기 때문이라고 밝힌 바 있다.

Chlorophyll a 양이 전선대에서 높은 것과 달리 영양염의 농도는 비전선대에서 전선대에 비해 약 1.5~2배 높았다. 전선대 중에서도 정점 TH-2의 20 m층에서 영양염의 농도가 가장 낮았다. Chlorophyll a가 이곳에서 가장 높으며, 또한 전선대에서 높은 것을 감안할 때 풍부한 영양염이 이미 chlorophyll a의 생산에 소모되었기 때문이라 판단된다. Chlorophyll a와 각 영양염간의 상관관계를 분석한 결과, 모두 음의 상관관계를 보였으며 특히 SiO_2^- -Si와 가장 높은 음의 상관성을 보여 이와같은 사실을 잘 입증하였다 (Fig. 8).

전선대 (TH) 중에서도 전선의 중심지인 TH-2에서 chlorophyll a가 가장 높고 이를 중심으로 연안 정점인 TH-1보다 외양 정점인 TH-3에서 chlorophyll a가 높았으나 비전선대 (TI)에서는 연안인 TI-1에서 매우 높고 외양에서 낮아지는 일반적인 양상을 보였다. 전선대의 경우, 연안에는 수심 20 m를 중심으로 성층이 형성되므로해서 표층에 빛은 충분하나 수온약층에 의하여 영양염의 유입이 차단되었기 때문에 chlorophyll a가 낮게 나타난 것으로 판단된다. Pingree et al. (1976)도 이와같은 결과를 Celtic sea에서 보고한 바 있다. 또한, 전선대 (TH)에서는 전선을 중심으로 성층이 형성되지 않은 외양에서 chlorophyll a가 높게 나타난 이와같은 현상을 Uye et al. (1992)도 일본 연안에서 보고한 바 있다. Armstrong et al. (1987)은 Benguela해역의 용승 전선에서 식물플랑크톤의 생산과 종조성에 관하여 연구 보고하였다. 그들은 전선역에서 식물플랑크톤 생산량이 높으며 외양으로 가면서 점차적으로 낮아진다고 보고하면서 전선에서는 규조류가 주 종이나 외양에서는 작은 크기의 편모조류가 주 종임을 보고하였다. 본 연구에서 chlorophyll a와 SiO_2^- -Si가 전선역에서 특히 높은 음의 상관성을 보이는 것도

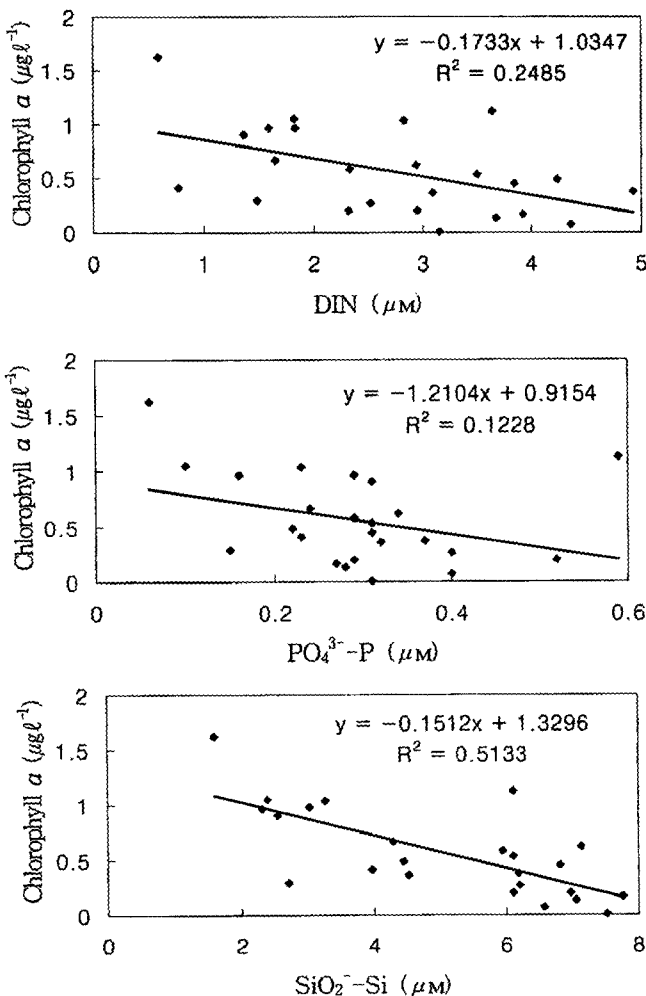


Fig. 8. Relationships between chlorophyll a concentration and nutrients (DIN, PO_4^{3-} -P and SiO_2^- -Si).

전선역에서 규조류가 우점종이므로 해서 나타나는 현상인 것으로 판단된다.

동물플랑크톤의 출현량은 전선대에서 비전선대에 비해 월등히 높으며 특히, 전선의 중심지와 연안에서 높았다. 전선의 중심지인 정점 TII-2에서는 copepods의 조성이 타 정점에 비해 낮은 반면, euphausiids와 siphonophores의 조성이 높았다. Siphonophores의 경우, 출현량이 14.5 inds.m^{-3} 로 매우 높아 copepods에 대한 포식압이 매우 클 것으로 나타났다. Purcell (1992)은 Chesapeake Bay에서 copepods에 대한 scyphomedusae의 포식압에 관한 연구에서 scyphomedusae가 1일 동안 섭이하는 copepods의 양은 약 434개체라고 밝혔다. Scyphomedusae와 비슷한 크기이며 동일한 식성을 가진 siphonophores의 1일 copepods 섭이량이 scyphomedusae와 같다는 가정하에서 siphonophores에 의해 포식되어졌을 copepods 양을 계산하였다. 전선의 중심지인 TII-2에서는 1일 502,398 개체의 copepods가 포식 될 것으로 추정되었다 (Fig. 9). 전선의 중심지인 TII-2에서의 copepods 출현량과 포식되어졌을 양을 합하면 총 512,866 개체로 타 정점에 비해 월등히 많은 양을 보였다. 따라서 정점 TII-2에서 copepods 출현량이 낮은 것은 포식이 하나의 요인일 것으로 판단된다. Yamamoto and Nishizawa (1987)은 동물플랑크톤이 Kuroshio의 warm-core ring의 가장자리에 강하게 밀집되어 있다고 보고하였다. 그러나 Kiorboe et al. (1988)와 Uye et al. (1992)은 copepods의 알 생산은 전선지역에서 높으나 현존량은 오히려 전선지역에서 낮다고 밝히며 이는 포식압이 원인일 것이라고 논의하였다. 특히, 전선역에 siphonophores와 육식성 요각류, 그리고 *Noctiluca milialis*가 밀집되어 있다고 보고하였다.

영양단계별 상관관계를 구하여 이차생산자인 copepods를 중심으로 영양역학 구조를 분석하였다. 전선대 해역에서 copepods 출현량은 chlorophyll a와 0.4426의 상관성을 보인 반면 포식자인 siphonophores와는 0.6129의 높은 상관성을 보였다. 따라서 전선역 해역에서 copepods 출현량은 포식자인 siphonophores에 의해 크게 조절을 받고있는 것으로 판단된다. 이에반해 비전선대에서는 chlorophyll a와는 0.9363의 높은 상관성을 보이나 siphonophores와는 0.0254로 상관성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 이 해역에서 copepods 출현량은 먹이생물인 식물플랑크톤의 양에 의해

크게 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 따라서 전선대 해역은 실질적으로 chlorophyll a가 풍부하여, copepods의 생산은 높으나, 이들을 포식하는 포식자가 다량 출현하므로해서 오히려 출현량은 낮은 것으로 판단되었다. Uye et al. (1992)는 전선해역은 scyphomedusae, siphonophores와 같은 육식성 동물플랑크톤과 치어어가 다량 출현하며, 이 해역의 copepods 출현량은 포식에 의해 조절되어, 오히려 비전선대 해역에 비해 출현량이 낮다고 밝혔다. 또한, 전선역은 copepods에 대한 포식압이 매우 커서 copepods의 재가입에 부적합한 해역이며, 이 해역의 copepods 출현량은 top-down 조절을 받고 있다고 밝혀 본 연구와 일치한 결과를 보였다.

요 약

전선역의 생물·화학적 특성 및 영양역학구조를 밝히기 위하여 한국 남해안의 전선대 해역과 비전선대 해역에서 수온, 영양염, chlorophyll a와 동물플랑크톤을 조사, 분석하였다. 영양염은 비전선대 해역이 전선대 해역에 비해 높았으나, chlorophyll a는 전선대 해역에서 높았다. 특히, 전선의 중심지에서도 성층과 비성층의 분기점이 되는 수심 20 m층에서 chlorophyll a가 가장 높았다. 그러나 전선의 중심지인 정점의 수심 20 m층에서 영양염이 가장 낮았다. Chlorophyll a는 영양염과 모두 음의 상관성을 보였으며, 특히 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 와 가장 높은 음의 상관성을 보여, 전선대에서 영양염 농도가 낮은 것은 chlorophyll a생산에 사용되었기 때문이라 판단된다.

동물플랑크톤 출현량은 전선대해역에서 비전선대해역 보다 월등히 높았으며, 특히 전선대 해역의 전선을 중심으로 한 연안에서 가장 높았다. 동물플랑크톤 중 copepods가 90% 내외의 높은 조성을 보이나, 전선의 중심지에서 copepods는 약 60%의 조성을 보인 반면 siphonophores와 euphausiids가 높은 조성을 나타내었다. Copepods는 비전선대 해역에서는 chlorophyll a와 높은 상관성을 보인 반면, 전선대 해역에서는 포식자인 siphonophores와 높은 상관성을 보였다. 따라서 copepods 출현량은 전선대 해역에서는 top-down조절을 받고 있으며, 비전선대 해역에서는 bottom-up조절을 받는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Armstrong, D.A., B.A. Mitchell-innes, F. Verheye-dua, H. Qaldrion and L. Hutchings. 1987. Physical and biological features across an upwelling front in the southern benguela. S. Afr. J. mar. Sci., 5, 171~190.
- Bowman, M.J. and W.E. Easias. 1977. Oceanic front in the coastal processes. Springer-Verlag, 114pp.
- Cho, K.D., S.Y. Hong, H.J. Kim and Y.R. Yang. 1983. Structure of shelf front and distribution of planktons in the eastern part of the Yellow Sea. Bull. Korean Fish. Soc., 16 (4), 316~329 (in Korean).
- Choi, J.K. 1991. The influence of the tidal front on primary productivity and distribution of phytoplankton in the mid-eastern coast of Yellow Sea. J. Oceanol. Soc. Korea, 26, 223~241 (in Korean).

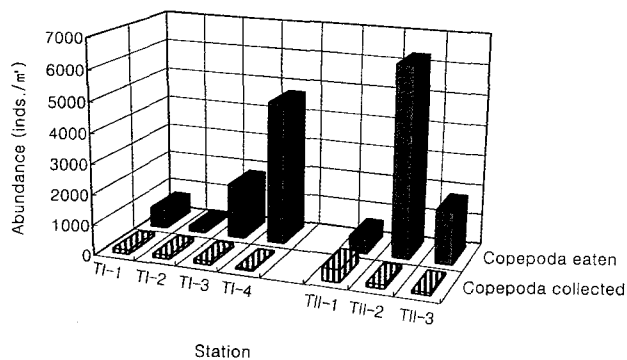


Fig. 9. Abundances (inds.m^{-3}) of Copepoda eaten by Siphonophora and collected in the fields in the southern waters of Korea in April, 1994.

- Floodgate, G.D., G.E. Fogg, D.A. Jones, K. Lochte and C.M. Turley. 1981. Microbiological and zooplankton activity at a front in Liverpool Bay. *Nature*, 290, 133~136.
- Gong, Y. 1971. A study on the south Korean coastal front. *J. Korean Fish. Soc.*, 6, 25~36 (in Korean).
- Gong, Y. and S.J. Son. 1982. A study of oceanic thermal fronts in the southwestern Japan Sea. *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Agency*, 28, 25~54 (in Korean).
- Kang, C.J. 1974. A study on the seasonal variation of the water masses in the southern sea of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 12, 107~121 (in Korean).
- Kim, B.K. 1982. The study of the oceanographic condition and fishing grounds of purse-seine in the southern sea of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 30, 7~29 (in Korean).
- Kiorboe, T. and K. Johansen. 1986. Studies of a larval herring (*Clupea harengus* L.) patch in the Buchan area. IV. Zooplankton distribution and productivity in relation to hydrographic features. *Dana*, 6, 37~51.
- Kiorboe, T., P. Munk, K. Richardson, V. Christensen and H. Paulsen. 1988. Plankton dynamics and larval herring growth, drift and survival in a frontal area. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 44, 205~219.
- Legendre, L. 1981. Hydrodynamic control of marine phytoplankton production: the paradox of stability. In: Nihoul, J.C.J. ed. *Ecodynamics*. Elsevier, Amsterdam, pp. 109~207 (cited in Kiorboe et al., 1988).
- Loder, W.J. and T. Platt. 1985. Physical controls on phytoplankton production at tidal fronts. In: Gibbs P.E. ed. *Proceedings 19th European Marine Biology Symposium Cambridge University Press, Cambridge*, pp. 3~19 (Cited in Kiorboe et al., 1988).
- Nakata, K., H. Zenitani and D. Inagake. 1995. Differences in food availability for Japanese sardine larvae between the frontal region and waters on the offshore side of Kuroshio. *Fish. Oceanogr.*, 4/1, 68~79.
- Park, J.S., C.K. Kang and K.H. An. 1991. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the polar front region off the East coast of Korea in summer. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24 (4), 237~247.
- 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.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.
- Purcell, J.E. 1992. Effects of predation by the scyphomedusan *Chrysaora quinquecirrha* on zooplankton populations in Chesapeake Bay, USA. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 87, 65~76.
- 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. *Contriental Shelf Res.*, 1, 15~31.
- Uye, S.I., T. Yamaoka and T. Fujisawa. 1992. Are tidal fronts good recruitment areas for herbivorous copepods? *Fish. Oceanogr.*, 1/3, 216~226.
- Yamamoto, T. and S. Nishizawa. 1987. Small-scale zooplankton aggregations at the front of a Kuroshio warm-core ring. *Deep-Sea Res.*, 33 (11/12), 1729~1740.

1998년 7월 4일 접수

1998년 10월 19일 수리