

동해남부연안 냉수대 변동과 관련된 해양환경 및 식물플랑크톤의 변동 특성 *

오현주^{1*} · 서영상² · 허 승³

The Relationship Between Phytoplankton Distribution and Environmental Conditions of the Upwelling Cold Water in the Eastern Coast of the Korean Peninsula *

Hyun Ju OH^{1*} · Young Sang SUH² · Seung HEO³

요 약

2001~2003년 하계에 동해남부의 기장연안에서 수온, 식물플랑크톤, 영양염류 등 자료를 분석하여 냉수대의 특이해황과 식물플랑크톤의 종조성, 클로로필-a의 일일변동과의 관계를 분석하였다. 냉수대 발생시 연안수온은 단기간내에 큰 공간 변동을 나타내었다. 연안 용승 냉수의 발달과 동시에 냉수종 식물플랑크톤이 출현하였으나, 전체적으로 다양한 종수와 개체수의 증가를 보였다. 또한, 냉수대의 일일변동에 따라 분포종과 양이 변화를 보였다.

주요어 : 식물플랑크톤, 영양염류, 클로로필, 용승, 냉수, NOAA, SeaWiFs

ABSTRACT

By analyzing the sea surface temperature (SST), phytoplankton and NOAA/AVHRR satellite data of Gijang, located at the eastern coast of the Korean peninsula during the period of 2001 to 2003, we have analyzed the daily variation in the upwelling cold water, phytoplankton, and chlorophyll a.

The SST of Gijang coast appeared rapid change due to the temporal and spatial variation of the upwelling cold water. This in turn led to an increase in the number of phytoplanktons and other varieties.

2004년 11월 1일 접수 Received on November 1, 2004 / 2004년 12월 14일 심사완료 Accepted on December 14, 2004

* 본 연구는 국립수산과학원의 과제 "첨단위성 해양정보 활용시스템 운영"의 일환으로 수행되었습니다.

1 국립수산과학원 남해수산연구소 South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute

2 국립수산과학원 해양연구팀 Oceanography Division, National Fisheries Research and Development Institute

3 국립수산과학원 서해수산연구소 West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute

* 연락저자 E-mail: biojoy@dreamwiz.com

es of organisms inhabiting in the Gijang coastal region.

KEYWORDS : *Phytoplankton, Nutrients, Chlorophyll, Coastal Upwelling, Cold Water, NOAA, SeaWiFS*

서 론

한국 동해 남부해역은 고온의 대마난류가 흐르는 해역이나 하계에 수년 주기로 주변 해역의 표면수온보다 상대적으로 -5°C 이상의 낮은 수온대를 형성하는 냉수대가 시공간적으로 다양한 변동을 보인다(Seung, 1974; 국립수산진흥원, 1997; 1998). 그리고 Fuh(1973)는 냉수대의 발생은 해수표면으로 이동하게 하는 해저지형과 해류의 상호작용의 결과라고 보고하였다.

한국남동해역에서 냉수대를 유발하는 요인으로 첫째, 대마난류의 저기압성 순환이 용승에 간접영향(Lee, 1978), 둘째, 울기~감포 연안에 발달한 동한난류로 인한 등온선의 경압사면(baroclinic tilting)과 지형적 영향(Lee와 Na, 1985), 셋째, 대한해협으로 내려오는 냉수의 남하(Lim와 Chang, 1969), 넷째, 남서풍 등이 보고되었다.

기장연안과 인접한 울기연안에 출현한 냉수대는 강한 남서풍이 3일 이상 지속될 때 해수면과 표층수온이 감소하는 효과에 의해 현저하게 나타나며(Lee, 1983), 하계 대한해협 서수도로 남하하는 북한한류가 울기연안에 인접하여 수온이 $3\sim 10^{\circ}\text{C}$, 염분농도가 $34.0\sim 34.4$ 인 표면냉수로 나타난다고 보고되었다(Kim과 Kim, 1983; Lim와 Chang, 1969). 그리고 감포~울기 연안에서 냉수대 발생의 주원인은 남서풍의 영향이며, 이외에도 해저지형과 동한난류의 영향인 것으로 보고하였다(Lee, 1998).

수일동안 지속되는 남서풍(southwesterly transient wind)에 의해 용승현상이 나타날 수 있으며, 여름철 냉수는 $10\text{ m}^2/\text{sec}$ 크기 정도인 최소 바람역적(wind impulse) 보다 큰 바람이 작용될 경우에만 표면에 나타날 수 있었다

(Byun, 1989). 또한 냉수대 현상은 표층에 가까운 냉수괴의 표면근접과 바람에 의한 약한 용승현상의 복합 작용에 의해 나타났다(Seung, 1974).

동해연안에서 냉수대의 출현과 소멸은 연안역과 수온변동에 따라 상관성이 달랐으며, 한국측 동해 전체 해양수괴가 평년에 비해 뚜렷한 저수온 현상일 때 시·공간적으로 큰 변동을 보이는 것으로 보고되었다(Suh 등, 2001)

냉수대 출현과 연관지은 동물플랑크톤의 변화는 수온변화에 따라 분류군수가 증가하나 개체수와는 유의적이지 않아 먹이조건에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다(Lee 등, 2004)

지금까지 하계 한국 남동부 해역 냉수의 출현 및 공간규모 변동에 대한 연구조사는 냉수대의 기원 및 시공간적 변동 특성, 출현요인, 바람과의 관계 등 다수의 물리학적 연구와 냉수대 출현 지역의 입자분포 등의 화학적 연구, 동물플랑크톤 분포에 대한 일부 연구만 진행되었으나, 식물플랑크톤(클로로필-a) 변동 특징 및 해양환경과의 관계에 대한 고찰은 미미한 실정이다.

그런데, 식물플랑크톤은 생태계에서 기초생산자로서 중요한 역할을 하며 생태계내의 물리·화학적 환경요인의 변동에 따라 종조성이나 출현 양에 있어 뚜렷한 변동을 보인다(Yang과 Kim, 1990).

따라서 본 연구에서는 기장연안 일일관측 표면수온과 위성원격탐사 자료를 활용하여, 하계 동해 연안에 용승 현상으로 발생, 소멸하는 냉수대의 시공간적 변동양상과 식물플랑크톤의 종조성 및 생체량 그리고 클로로필-a의 일일 변화간의 상호 관련성을 알아보고자 하였다.

연구 방법

하계 동해연안의 냉수대 발생중심 연안에 속한 기장연안에서, 2001~2003년, 6~8월 매일 오전 10시에 수온을 관측하였으며(그림 1), 식물플랑크톤(클로로필-a)과 영양염류를 분석하였다. 식물플랑크톤은 해수 1L를 채수한 후 루골용액으로 고정하였으며, 클로로필-a는 GF/F로 여과한 해수 1L를 냉암소에 보관 후 실험실에서 fluorometer에 분석하였다.

일정량의 해수를 채수하여 여과한 후 급속냉동시켜 실험실로 옮긴 다음 영양염류는 질산질소, 아질산질소, 암모니아질소, 인산인, 규산규소를 분석하였다. 분석방법은 질산질소는 Cu-Cd 칼럼을 이용한 아질산 환원법, 아질산질소는 α -NED 제 2염산법, 암모니아질소는 인도페놀법으로 측정하였으며, 질산질소, 아질산질소와 암모니아 질소를 합하여 용존무기질소(DIN)으로 표시하였다. 인산인과 규산규소는 몰리브덴 청법으로 비색정량하였다.

또한 기장연안을 중심으로 한 냉수대의 시·공간적 변동을 파악하고자 열감지 위성인 NOAA 위성에 탑재된 고해상도 감지기(AVHRR)의 적외선 band 자료와 가시영역 band 자료를 분석하여 얻어진 수온 분포 영상을 이용하여(국립수산과학원, 2001; 2002), 냉수대의 단기적 공간변동 분포상황을 분석하였다(Seaspace, 1989).

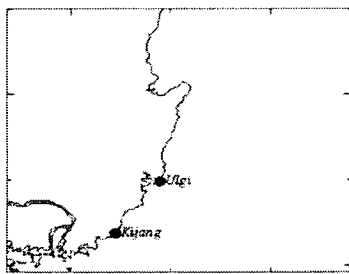


FIGURE 1. Gijang sampling station located in the southeastern coastal water of Korea

결과 및 고찰

1. 하계 기장 연안수온의 일별 변동과 냉수대

연중 수온의 변동 폭이 큰 하계(6~8월)에 2001~2003년 동안 측정된 수온 값을 나타내었다(그림 2). 하계에 수온의 변동 폭이 큰 현상은 하계 동해연안에 출현하는 냉수대의 영향에 의해 수온의 시공간적 변동이 일일 단위로 일어나는 것으로 판단된다.

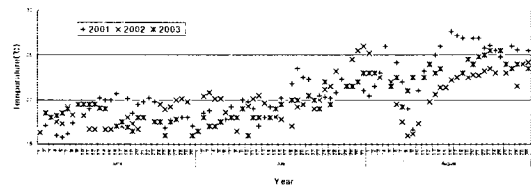


FIGURE 2. Daily variation of the SST at Gijang in the southeastern part of the Korean peninsula, 2001~2003

2001~2003년간 수온의 월별 평균값을 살펴보면(그림 3), 2001년의 경우 6월에 표준편차 1.53으로 가장 낮았으며 8월에 표준편차 2.80으로 가장 높았다. 2002년에는 6월에 표준편차가 1.19로 가장 낮았으며, 8월에 표준편차가 2.41로 가장 높은 값을 보였다. 2003년의 경우 6월에 표준편차가 1.07로 가장 낮은 값을 보였으나 최대값은 7월에 1.83으로 나타났다. 이는 연도에 따라 냉수대의 발생일수와 수온 차가 월별로 차이를 나타내며 냉수대의 세기 또한 다르게 나타남을 시사한다.

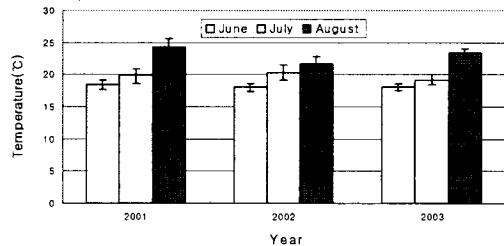


FIGURE 3. Variations of the monthly means and standard deviations of the temperature (°C) in from 2001 to 2003

2. 수온과 식물플랑크톤과의 관계

2001년 하계 기장에서 수온에 따른 식물플랑크톤의 변동을 살펴보았다(그림 4). 일광을 중심으로 냉수대가 처음 발생한 7월 4일 기장 연안 수온은 17°C를 보였으며, 식물플랑크톤의 밀도는 7월 4일 156,900 cells/L로 전날에 비해 약 20,000 cells/L 증가하였다. 7월 6일 이후 수온이 18°C 이상으로 증가함에 따라 식물플랑크톤의 밀도가 감소하는 경향을 보였으나, 이후 냉수대의 영향으로 수온이 다시 감소하면 식물플랑크톤의 밀도는 3~5일 정도의 시간적 지체 현상을 보이며 증가하였다.

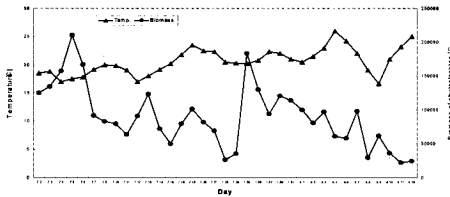


FIGURE 4. Variations of temperature (°C) and the biomass of phytoplankton, in the southeastern part of the Korea peninsula in July~August, 2001

2001년 6~8월 동안의 수온과 식물플랑크톤의 상관관계를 살펴보면, 음의 관계를 나타낼 수 있다(그림 5).

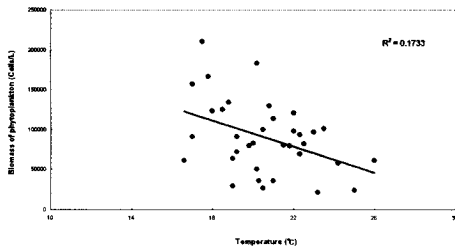


FIGURE 5. Relationship between of temperature (°C) and the biomass of phytoplankton in June~August, 2001

2002년의 경우(그림 6), 2001년과 유사한 분

포를 보였는데 냉수대가 발생한 7월 18일 이후 수온이 감소함에 따라 19일 식물플랑크톤은 187,000 cells/L, 4.43 µg/L의 농도를 보였다. 그런데 8월 4일 이후 표면수온의 급격한 하강은 태풍 KAMMURI가 통과하는 시기에 발생하였으며, 해수의 교란 양상 등이 식물플랑크톤의 농도 증가를 억제하는 작용을 한 것으로 추정된다

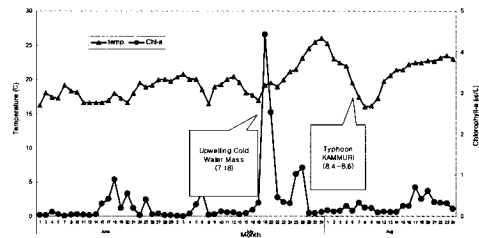


FIGURE 6. Variations of temperature (°C) and the chlorophyll-a in June~August, 2002

3. 식물플랑크톤과 영양염과의 관계

2002년 영양염류의 변동양상을 살펴보면(그림 7), 2002년 7월 18일 이후 냉수대가 발생되면 영양염의 농도가 증가하였고 냉수대 발생 2~3일 이후 영양염 증가의 영향을 받아 식물플랑크톤의 농도 역시 증가하였다.

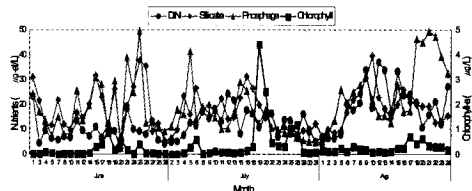


FIGURE 7. Relation of chlorophyll-a and nutrients (DIN, Silicate, Phosphate) in the southeastern part of the Korean peninsula in June~August, 2002

4. 위성영상으로 본 냉수대의 분포양상과 확장

2000년 7월 21일 기장연안의 현장관측에서

14.6°C로 냉수대가 가장 강하게 발생하였다. 이때 NOAA 적외선 위성영상 자료를 분석한 결과 기장~울기~감포를 중심으로 동해남부연안에 냉수대가 발생하였다(그림 8-a). Huntsman과 Barber(1997)에 의하면 남서부 아프리카에서 냉수대가 발생한 기간 동안 1차 생산력은 연안에 가장 가까운 10km 지역에서 영양염의 농도가 가장 높았으며, 1차 생산력은 외해로 갈수록 점차 증가하였다고 보고하였다. 그러나 기장연안에 냉수대가 발생하였을 때, 위성영상으로 분석된 클로로필-a의 농도 분포는 발달된 냉수대의 중심연안해역에서 가장 높게 나타났으며, 냉수대 중심 연안보다 외해역으로 갈수록 수온은 증가하나, 클로로필-a의 농도는 감소하는 경향을 보였다(그림 8-b). 그리고 냉수대 주변의 더운물 중심해역의 식물플랑크톤 농밀도는 비교적 최저값을 나타냈다.

2001년 7월 3일 냉수대가 위성영상 수온자료를 분석한 결과, 기장연안은 20~22°C 분포를 보이는 동해 먼바다보다 5°C 이상 낮은 분포를 보였으며 기장~구룡포 연안에서 냉수대가 발달하였다(그림 9).

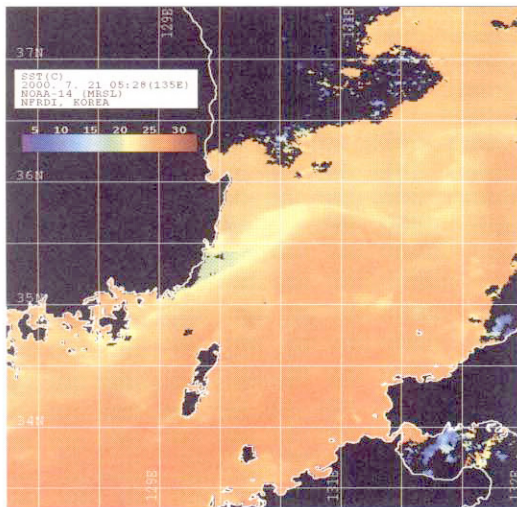


FIGURE 8-a Distribution of sea surface temperature derive from NOAA satellite in July 21, 2000

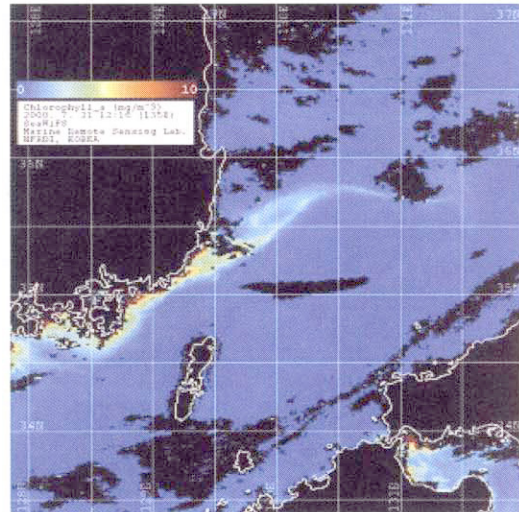


FIGURE 8-b. Distribution of chlorophyll from SeaWIFS satellite in July 21, 2000

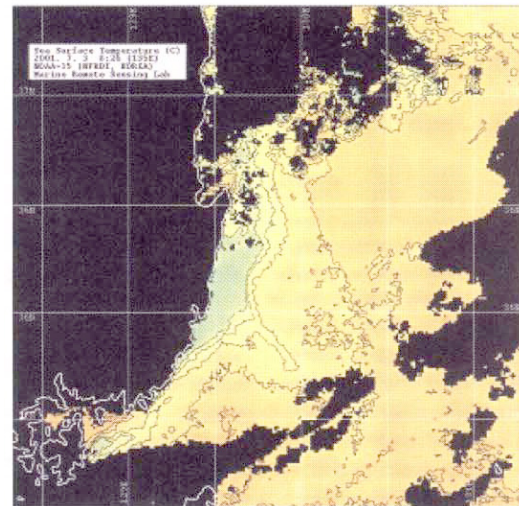


FIGURE 9. SST (°C) distribution derived from NOAA-14 satellite on July 3, 2001

5. 식물플랑크톤의 종조성 변동

기장연안 수온 자료와 식물플랑크톤 농도 변화에 따른 냉수대 변동의 시간적·공간적 상관

성을 구명하고자 하였다.

식물플랑크톤의 종조성과 그 양은 기장연안에서 냉수대의 출현 전에서부터 냉수대의 발생 및 발달과정과 소멸 후 해황의 시계열 변동에 따라 다양한 변화를 보였다(표 1).

2001년 7월 4일 냉수대가 발생함에 따라 출현하는 식물플랑크톤은 18속 34종으로 출현하는 종조성이 다양하였고 출현 개체수는 증가하는 경향을 보였다. 2002년 역시 냉수대가 발생한 18일 식물플랑크톤의 종조성은 23속 32종으로 가장 높은 농도를 보였다. 이와 같은 결과로 냉수대가 발생했을 때 주변보다 수온이 5°C 이상 낮음에도 불구하고 저층의 풍부한 영양분이 표층으로 공급되어 냉수종 뿐만 아니라 식물플랑크톤의 다양한 종들의 양이 증가를 보이는 이유가 됨을 시사한다.

2001년 7월 4일 냉수대발생시 출현한 식물플랑크톤 중 *Biddulphia aurita*, *Ceratium lineatum* 등의 냉수종이 다량 출현하였다. 이는 저층이 용승하여 주변온도보다 5°C 낮은 냉수대를 형성하여 냉수종이 우점할 수 있는 환경상태를 형성하는 것으로 판단된다.

결 론

2001~2003년 동안 하계 동해연안의 냉수대 발생중심 연안에 속하는 기장연안에서 수온은 냉수대의 영향에 의해 시공간적 변동이 일일단위로 일어났으며, 2001년과 2002년에 8월에 2003년에 7월에 표준편차가 가장 높은 값을 보여 냉수대의 발생일수와 수온차가 월별로 차이를 보였다. 이는 냉수대의 시·공간 변동이 월별, 연별로 다르게 나타남을 시사한다.

냉수대가 발생하면 식물플랑크톤의 출현 개체수와 농도는 증가하여 나타났다. 기장연안에서 냉수대가 가장 강하게 발달한 2000년 7월 21일 위성영상자료를 분석한 결과 클로로필 농도는 냉수대의 중심연안에서 가장 높게 나타났다.

2001년 냉수대가 발생하면 식물플랑크톤의

Table 1. Abundance of species and biomass of phytoplankton and sea surface temperature in Gijang, the southeastern coastal water of Korea in 2001

Date	Numbers		Phytoplankton biomass (Cells/L)	SST (°C)
	Genus	Species		
7. 2	27	41	110,470	18.5
7. 3	14	25	134,300	18.8
7. 4	18	34	159,600	17.0
7. 5	26	36	210,500	17.5
7. 6	20	32	166,900	17.8
7. 7	21	35	91,200	19.2
7. 9	18	41	83,000	20.0
7.10	14	22	79,500	19.8
7.11	18	28	63,400	19.0
7.12	17	38	90,900	17.0
7.13	21	41	120,150	18.0
7.14	18	30	68,040	19.2
7.16	14	21	50,300	20.2
7.18	15	23	79,500	21.8
7.19	16	22	101,000	23.5
7.20	10	13	82,000	22.5
7.21	13	24	69,200	22.3
7.23	9	13	26,400	20.5
7.24	8	13	35,500	20.3
7.25	17	25	183,500	20.2
7.26	13	21	129,700	20.8
7.27	16	22	93,800	22.3
7.30	17	23	120,700	22.0
7.31	17	30	113,850	21.0
8. 1	13	20	99,900	20.5
8. 2	17	27	80,200	21.5
8. 3	18	30	96,900	23.0
8. 4	17	23	61,100	26.0
8. 6	14	19	57,700	24.2
8. 7	19	25	97,000	22.0
8. 8	10	12	29,300	19.0
8. 9	21	26	61,300	16.6
8.10	10	12	35,700	21.0
8.11	11	11	21,700	23.2
8.13	11	11	23,570	25.0

밀도가 증가하였으나, 수온이 증가함에 따라 식

물플랑크톤의 밀도가 감소하여 나타나는 음의 상관관계를 보였다. 2002년의 경우 표면수온이 급격한 하강에도 불구하고 식물플랑크톤의 농도가 변하지 않는 것은 태풍 KAMMURI의 영향으로 식물플랑크톤의 증가를 억제하는 작용을 하는 것으로 추정된다.

식물플랑크톤의 종조성과 종의 변동은 냉수대가 발생시 출현하는 냉수종뿐만 아니라 개체수의 출현량 또한 증가하였다. 이는 냉수대의 발생으로 야기되는 수온의 감소영향보다 저층의 영양분이 표층으로 공급되는 영향이 출현되는 식물플랑크톤의 출현에 더 크게 영향을 끼치는 것으로 사료된다.

감사의 글

국립수산과학원 해양연구팀, 그리고 심사위원님의 노고에 감사드립니다. **KAGIS**

참고문헌

- 국립수산진흥원. 1997. 1996년도 한국근해수온 분포도. 277쪽.
- 국립수산진흥원. 1998. 1997년도 한국근해수온 분포도. 233쪽
- 국립수산과학원. 2001. 2000년도 한국근해해양 정보. 87쪽.
- 국립수산과학원. 2002. 2001년도 한국근해해양 정보. 94쪽.
- An, H.S. 1974. On the cold water mass around the southeast coast of Korean peninsula. J. Oceanol. Soc. Korea 9(1-2):10-18.
- Byun, S.K. 1989. Sea surface cold water near the southeastern coast of Korea: wind effect. J. Oceanol. Soc. Korea 24(3):121-131.
- Fuh, Y. 1973. Preliminary study of cold water mass near NNE of Taiwan. Acta-Oceanogra-Taiwan. 3:157-180.
- Kim, C.H. and K. Kim. 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea 18(1):73-83.
- Lee, C.R., C. Park and C.H. Moon. 2004. Appearance of cold water and Distribution of zooplankton off Ulsan-Gampo area, Eastern Coastal Area of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea 9(2):51-63.
- Lee, D.K., J.I. Kwon and S.B. Hahn. 1998. The wind effect on the cold water formation near Gampo-Ulgi coast. J. Korean Fish. Soc. 31(3):359-371.
- Lee, J.C. 1983. Variations of sea level and Sea Surface Temperature associated with wind induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. J. Oceanol. Soc. Korea 18(2):1-14.
- Lee, J.C. and J.Y. Na. 1985. Structure of Upwelling off the Southeast Coast of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea 20(3):6-19.
- Lee, K.B. 1978. Study on the coastal cold water near Ulsan. J. Oceanol. Soc. Korea 13(2):5-10.
- Lim, D.B. and S.D. Chang. 1969. On the cold water mass in the Korea strait. J. Oceanol. Soc. Korea 4(2):71-82.
- SeaSpace. 1989. Terascan Users Manual. Vol. 2, 203pp.
- Seung, Y.H. 1974. A dynamic consideration on the temperature distribution in the east coast of Korea in August. J. Oceanol. Soc. Korea 9(1-2):52-58.
- Seung, Y.H. 1984. An advection-diffusion model for the distribution of surface cold water near Ulgi(Ulsan). J. Oceanol. Soc. Korea 19(1):24-30.
- Suh, Y.S., L.H. Jang and J.D. Hwang. 2001. Temporal and spatial variations of the cold water occurring in the eastern coast of the

- Korean peninsula in summer season. J. Korean Fish. Soc. 3(5):435-444.
- Yang, H.S and S.S. Kim. 1990. A study on sea water and ocean current in the Sea adjacent to Korea Peninsula. 1. Physical processes influencing the surface distributions of chlorophyll and nutrient in the southern sea of Korea in summer. Bull. Korean Fish. Soc. 23(6):417-424. **KAGIS**