

2006년 동해 연안의 수괴 분포

최용규* · 정희동 · 권기영

국립수산과학원 동해수산연구소

(2009년 3월 20일 접수; 2010년 2월 11일 수정; 2010년 3월 5일 채택)

Water Distribution at the East Coast of Korea in 2006

Yong-Kyu Choi*, Hee-Dong Jeong, Ki-Young Kwon

East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea

(Manuscript received 20 March, 2009; revised 11 February, 2009; accepted 5 March, 2010)

Abstract

Based on the Results of Annual Monitoring Report of Korean Marine Environment in 2006, it was shown that the coastal area of the East Sea around Korean peninsula could be clearly divided into two parts: the area of upwelling and the North Korean Cold Current. In the upwelling area, the chlorophyll-a and nutrients were increased by the influence of the decrease of temperature and the increase of salinity. These mean that the appearance of cold water due to the upwelling causes nutrient rich water and also resulted in the high productivity.

Key Words : Upwelling, North Korean Cold Current, Productivity

1. 서론

21세기 해양시대를 맞아 해양선진국들은 해양환경 보전 및 자원관리에 대한 연안국 의무를 강화하면서 해양과 관련하여 UN 해양법협약, 연안국의 배타적 경제구역 설정, 생물다양성에 관한 협약 등 신해양질서로 해양환경보전 및 자원관리에 대한 국가간 협력을 강화하고 있다. 또한 국내적으로는 해양환경에 대한 국민적 관심이 고조되어 21세기 해양강국을 실현하고자 하는 정부의 노력이 가시화되고 있다. 이러한 관점에서 국가해양환경정책 운영은 환경정책 기본법 및 해양오염방지법에 근거하여, 전국 연안의 해양환경을 통합, 관리하기 위한 관측, 조사, 분석을 행하고 있다.

연안 해역도 국토의 일부분으로서 해양환경에 대한 인식이 새로워지고 있는 시점에, 동해 연안의 해양환경의 변화를 살펴보는 것도 의의가 있는 연구라고 생각된다.

한국 동해안은 경상남도 울주군 울기 이북에서 함경북도 경흥군 두만강 하구에 이르는 약 960 km의 해안선과 약 18,573 km²의 대륙붕을 가지고 있으며, 남해나 서해에 비해서 해안선이 단조롭고, 대륙붕이 거의 없는 것이 특징이다. 그러나 한국 동해 연안은 한류수와 난류수의 상호작용에 의해서 복잡한 해황을 나타낸다. 동해안의 지형학적 특성과 수괴를 특징짓는 해류로써 한국 동해 연안에서 빈번히 발생하는 냉수괴의 특성을 나누어 볼 수 있다. 장기갑 이북의 죽변-축산 연안의 냉수괴는 남하한 북한한류수계이며(김과 김 1983; 양 등 1991), 이는 연안 용승으로 표층까지 올라와 표층 냉수괴를 형성하기도 한다(Lee, 1983; Lee와 Na, 1985; Byun, 1989). 이러한 표층 냉수괴는

*Corresponding Author : Yong-Kyu Choi, East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea
Phone: +82-33-660-8536
E-mail: ykchoi@nfrdi.go.kr

연간 열수지의 변화와 함께 해황의 변동을 동반하기도 한다(최 등, 1009).

이러한 용승에 의한 냉수의 출현은 연안역에 풍부한 영양염을 공급하고 이로 인해 높은 생산력이 유지되어 많은 생물량을 초래하는 것으로 보고되고 있다(Lee와 Shim, 1990). 이러한 물리적 작용에 의한 생물 및 화학적 변동은 통계적 기법에 의해서 설명되기도 하는데, 통계적 요인 분석을 이용하여 한국 연안에서 수질의 변동 등을 설명하고 있다(김, 1998; Lee 등, 2003; 김, 2006).

따라서 우리나라 동해 남부 연안의 용승 해역에서의 수질 변동은 물리적인 작용에 의해서 생물화학적 변동뿐만 아니라 해역에 따른 수괴의 화학적인 변동도 있으리라 여겨진다. 본 연구는 동해 연안의 용승 해역에서의 수괴의 분포는 어떠한지를 살펴보았다.

2. 자료 및 방법

본 연구에 사용된 해양환경자료는 국립수산과학원에서 매년 동해 연안을 15개 해역으로 구분하여 총 63개 정점에서 연 4회(2, 5, 8, 11월)에 걸쳐 정기적으로 조사 분석하는 동해 해양환경 측정망자료(국립수산과학원, 2007)로써, 국립수산과학원(<http://portal.nfrdi.re.kr/envirodata>)에서 조사한 자료이다. 동해 연안에서 북쪽부터 남쪽까지 전반적으로 수질의 변화를 볼 수 있는 17개 정점을 선택하여 2006년도의 수질의 계절 변화를 살펴 보았다. 정점의 위치는 Fig. 1과 같으며, 위도와 경도는 Table 1에 나타내었다.

시료의 채취, 보관, 분석은 해양 환경 공정 시험 방법(해양수산부, 1998)에 따라 실시하였다. 시료 채취 시에는 조사해역의 조석, 조류, 해양 기상 상태, 강우 등에 의한 담수 유입량의 변화, 시료채취 정점등을 사전에 고려하여 해수 특성을 대표할 수 있도록 시료를 채취하였다. 본 연구에서는 해양환경 자료 중에서 수질 환경을 나타내는 수온, 염분, 질산질소, 아질산질소, 인산인, 암모니아, 규산규소, 용존무기질소, 용존무기인 그리고 chlorophyll-a의 값을 사용하였다.

그리고 수질의 환경인자간의 요인분석을 위한 통계적 기법은 SYSTAT(SYSTAT, 1999)를 이용하였다.

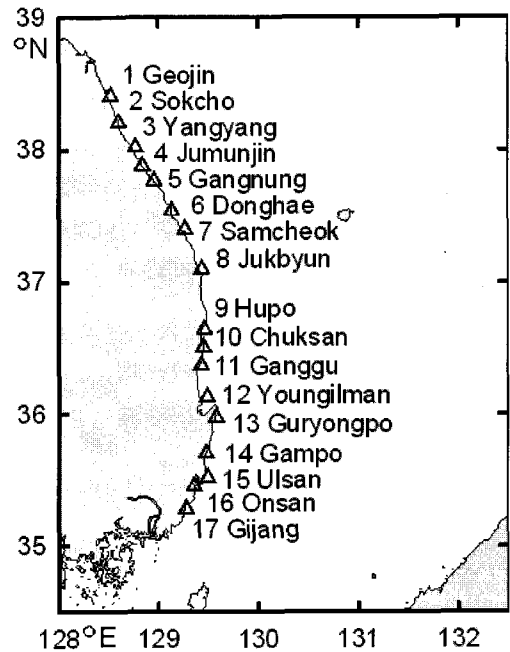


Fig. 1. Positions of sampling points at the east coast of Korea.

Table 1. Location of sampling points with latitudes and longitudes

St. No.	Location	Lat.(°N)	Long.(°E)
1	Geojin	38°24'33"	128°31'13"
2	Sokcho	38°12'03"	128°36'08"
3	Yangyang	38°01'14"	128°46'18"
4	Jumunjin	37°52'55"	128°50'03"
5	Gangnung	37°46'08"	128°57'35"
6	Donghae	37°32'25"	129°08'12"
7	Samcheok	37°24'08"	129°15'46"
8	Jukbyun	37°06'00"	129°25'59"
9	Hupo	36°38'43"	129°27'36"
10	Chuksan	36°30'25"	129°27'12"
11	Ganggu	36°22'17"	129°25'57"
12	Youngilman	36°07'58"	129°29'11"
13	Guryongpo	35°58'40"	129°34'40"
14	Gampo	35°42'11"	129°28'40"
15	Ulsan	35°31'14"	129°29'36"
16	Onsan	35°27'02"	129°21'29"
17	Gijang	35°17'00"	129°16'49"

3. 결과 및 고찰

정점별 그리고 계절별 수괴의 변화를 보기위하여 동해 연안 17개 정점에 있어서 표층과 저층에 대한 수온, 염분, 용존무기질소, 용존무기인 그리고 chl-a의 변화를 Fig. 2~Fig. 6에 나타내었다.

수온은 정점 1(거진)에서 2월에 표층과 저층에서 최소값(3.60°C)을 보였으며, 정점 2(속초)에서 8월에 표층에서 최대값(27.46°C)을 나타내었다(Fig. 2).

염분은 정점 7(삼척)에서 표층에서 최소값(22.80)을 보였으며, 정점 15(울산)의 저층에서 최대값(34.69)을 나타내었다(Fig. 3). 그러나 최소값을 제외하면 염분은 정점 16(온산)에서 32.16(표층)~34.69(정점 15 저층, 울산)의 범위였다(Fig. 3).

용존무기질소는 정점 13(구룡포)에서 5월에 저층에서 최소값(0.005 mg/l)을 보였으며, 정점 7(삼척)에서 5월에 표층에서 최대값(0.295 mg/l)을 나타내었다(Fig. 4).

용존무기인은 정점 2(속초)에서 5월에 표층에서 N.D.였으며, 정점 15(울산)에서 11월에 저층에서 최대값(0.033 mg/l)을 나타내었다(Fig. 5).

Chl-a는 정점 11(강구)에서 8월에 저층에서 최소값(0.09 µg/l)을 보였으며, 정점 17(기장)에서 8월에 표층에서 최대값(12.63 µg/l)을 나타내었다(Fig. 6). 그리고 11월에 저층은 관측값이 없었다.

수괴의 특성을 나타내는 각 항목들에 대한 최대값과 최소값 그리고 평균값을 Table 2에 나타내었다.

동해 연안 17개 정점에 대하여 수온과 염분의 계절별 변화를 보기위하여 T-S도를 Fig. 7에 나타내었다. 2월에는 수형의 분포가 밀도 26.0 kg/m³ 내외의 분포를 보였지만, 5월부터 수온의 상승 및 염분의 저하와 함께 8월에는 24.0 kg/m³ 이하였다. 그러나 11월이 되면 수온의 하강과 염분의 상승으로 다시 25.0 kg/m³

내외의 밀도가 높아지는 수형의 분포를 보인다.

Fig. 8은 수질 환경의 변동 특성을 보기위하여 계절별로 요인을 분석하여 나타낸 것이다. 고유값이 1 이상인 요인은 2월과 8월 그리고 11월에 3개의 요인이 계산되었고, 5월에 2개의 요인이 나타났다. 그러나 요인 1과 요인 2가 계절별 수질 특성의 변동을 각각 69.14%(2월), 70.62%(5월), 57.64%(8월) 그리고 72.78%(11월)을 설명하고 있어, 본 연구에서는 편의상 2개의 요인만을 나타내었다. 2월에는 48.93%를 설명하는 요인1에서 염분과 수온이나 chl-a등과 강한 음의 상관을 가지고 있다. 이러한 음의 상관은 5월에는 17.43%를 설명하는 요인2에서 나타났다. 그러나 8월에는 33.92%를 설명하는 요인 1에서 다시 염분과 수온이나 영양염 등과 강한 음의 상관을 나타내었다. 11월에도 51.91%를 설명하는 요인 1에서 염분과 모든 성분들이 강한 음의 상관을 나타내었다. 이것은 염분이 증가하면 수온이나 영양염이 감소하고 또한 chl-a도 감소함을 나타낸다. 반대로 염분이 감소하면 영양염이나 chl-a가 증가함을 시사하고 있다. 따라서 쓰시마 난류의 유입으로 동해 연안이 고염화되면 영양염과 식물플랑크톤은 감소함을 나타낸다. 반대로 저염수의 유입이 있으면, 영양염과 식물플랑크톤은 증가함을 나타낸다.

Fig. 9는 수질에 따른 지점별 분포와의 상관성을 보기위하여 수질의 집괴분석을 행하여 계절별로 나타낸 것이다. 2월, 5월 그리고 11월의 지점별 집괴분석은 정점 1의 거진부터 정점 7의 삼척까지 한 그룹으로 구분되고 그리고 정점 8의 죽변부터 정점 17의 기장까지 다른 그룹으로 각각 수질 특성을 달리하는 두개의 그룹으로 구분될 수 있다. 그리고 8월에는 이와는 대조적으로 정점 1의 거진부터 정점 12의 영일만까지의 한 그룹과 정점 13의 구룡포부터 정점 17의 기장까지 다른 그룹으로 구분될 수 있다.

Table 2. Minimum, maximum and mean values of water quality analyzed in this study

	Temp. (°C)	Salinity	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₂ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	SiO ₂ -Si (mg/l)	Chl-a (µg/l)
Min.	3.60	22.40	0.001	N.D.	0.002	N.D.	0.017	0.09
Max.	27.46	34.69	0.198	0.020	0.221	0.033	0.570	12.63
Mean	14.67	33.34	0.030	0.010	0.060	0.010	0.200	1.78

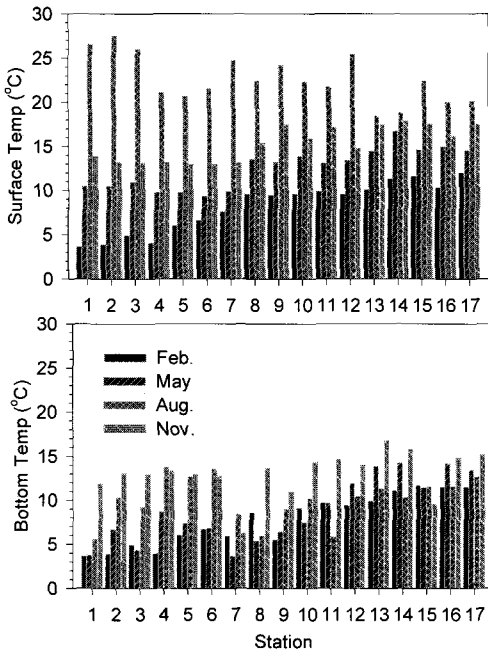


Fig. 2. Seasonal variation of surface and bottom temperature in each station.

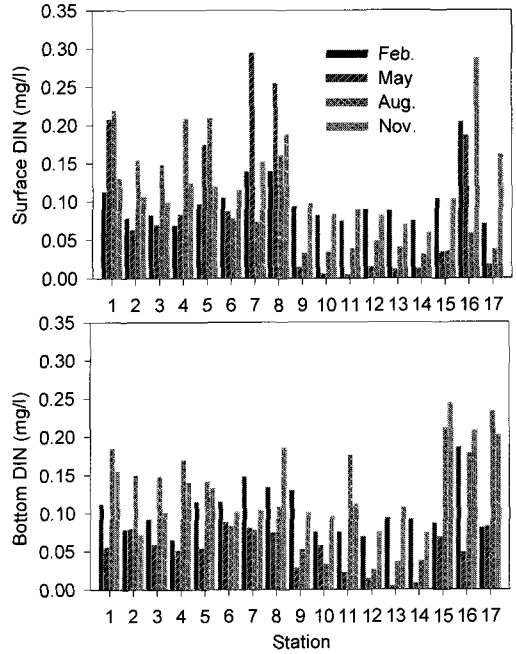


Fig. 4. Same as in figure 2 except for dissolved inorganic nitrogen.

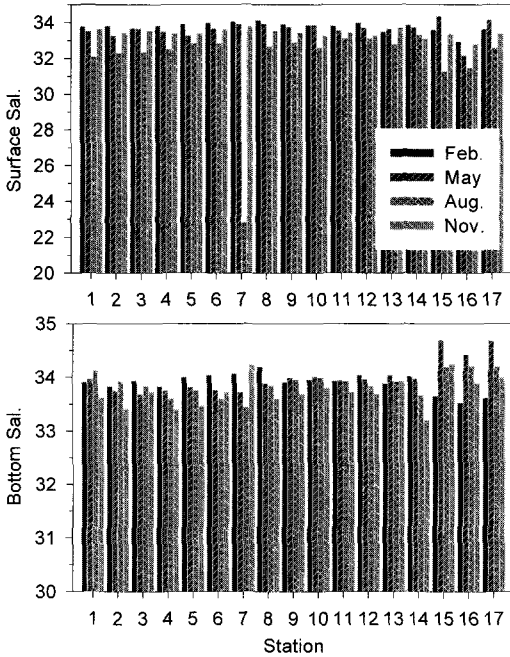


Fig. 3. Same as in figure 2 except for salinity.

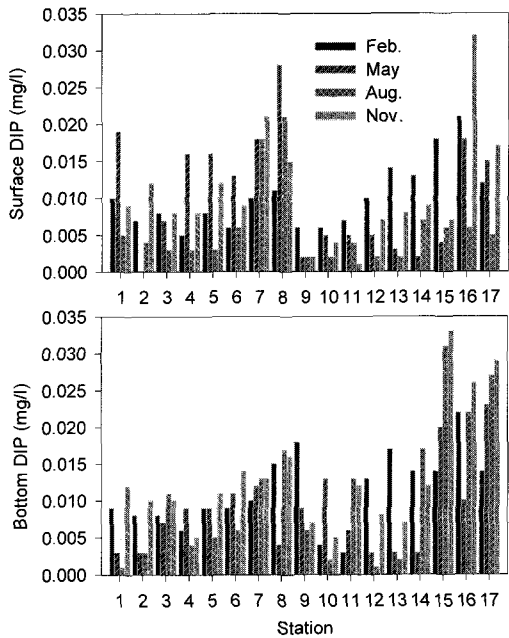


Fig. 5. Same as in figure 2 except for dissolved inorganic phosphorus.

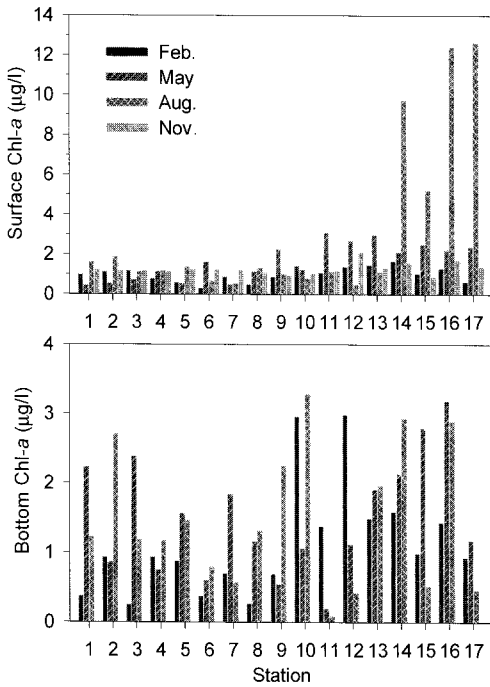


Fig. 6. Same as in figure 2 except for chlorophyll-a.

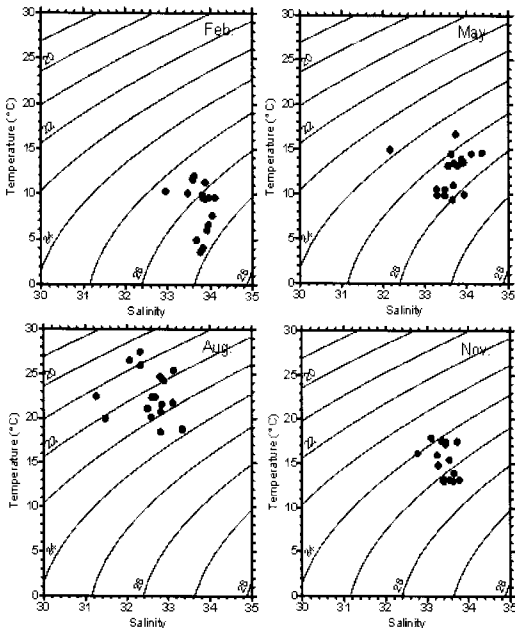


Fig. 7. T-S diagram on February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

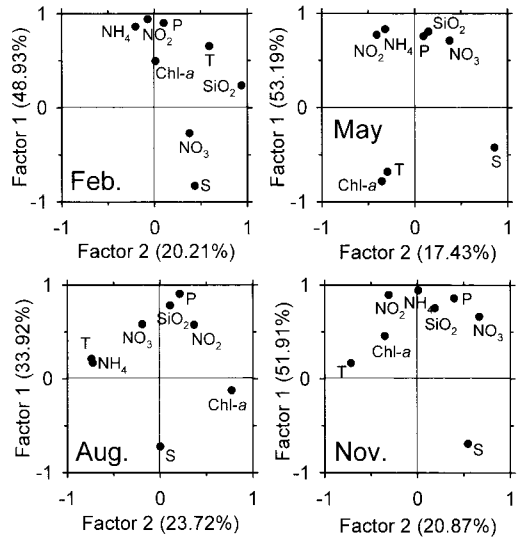


Fig. 8. Factor analysis for factor 1 and factor 2 on February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

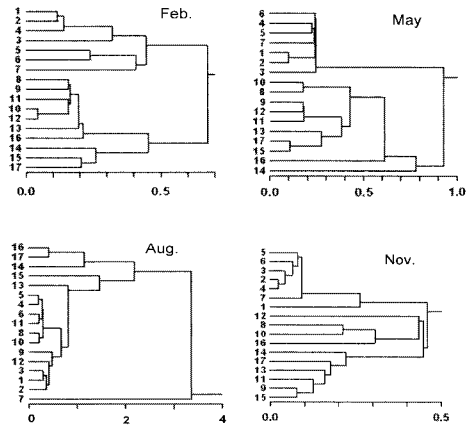


Fig. 9. Dendrogram obtained by cluster analysis with water quality analyzed in this study as shown in Table 2.

북한 한류는 경상북도 연안에서부터 표층으로부터 침강되어 하층류를 형성하며, 포항의 영일만 이남에서는 저층수나 연안 용승으로 나타난다(국립수산진흥원, 2001). 동해 연안에서 북한 한류는 주변의 수괴보다도 비교적 낮은 염분과 풍산소의 특성을 갖는 수괴로 구분된다. 이와 같은 북한 한류는 남쪽의 죽변-측산 연안까지 흘러 내려오며, 동계보다는 하계에 우세

하게 남하한다. 그리고 감포 해역에서도 북한 한류계수의 특성이 발견되기도 한다(김과 김, 1983). 이처럼 북한한류계수는 주문진 이북의 해역에서는 표층부터 중층까지 연중 지속적으로 존재하며 묵호 이남해역에서는 동한난류계수와 접하여 전선을 이루고, 난류계수 밑으로 침강하여 동해고유수의 상층에 위치한다. 여름철에 나타나는 죽변-축산 및 감포 연안의 냉수괴는 남하하는 북한한류계수이다(김과 김, 1983). 이러한 북한 한류계수는 여름철에 남동해안에 평행한 바람이 우세하며 울기-감포 근해에서 용승을 일으키는 것으로 나타났는데, 강한 남서풍이 3일 이상 지속될 때 해수면과 표층수온이 감소하는 용승효과가 현저하게 나타난다(Lee, 1983).

용승으로 인하여 수온이 하강하고 염분이 상승하는 물리적 변화 외에도 영양염, 클로로필 등이 증가한다. 용승에 의한 냉수의 출현은 연안역에 풍부한 영양염을 공급하고 이로 인해 높은 생산력이 유지되어 동물플랑크톤에 풍부한 먹이를 제공함으로써 많은 동물플랑크톤 생물량을 초래할 것으로 여겨진다. 따라서 동해연안 용승 해역의 동물플랑크톤의 분포는 큰 수온 변동에도 불구하고 수온보다는 먹이조건이 더 큰 분포의 영향 요인이 될 수 있다(이 등, 2004). 식물플랑크톤의 현존량 분포가 해양물리학적 환경요인과 긴밀한 관계가 있다(Lee와 Shim, 1990). 이와 같은 사실들은 여름철에 용승으로 인하여 냉수괴가 나타나는 감포 연안을 중심으로 그 이북의 정점과 그 이남의 정점들은 수질 특성을 각각 달리하고 있다는 사실을 뒷받침하고 있다.

Fig. 10은 동해 연안에서 계절별로 질소와 인의 비가 어떠한지를 보기 위해서 N:P비를 나타낸 것이다. 2월과 5월은 N:P비가 약 11로 식물플랑크톤의 증식에 질소가 제한인자로 작용하지만, 8월은 N:P비가 약 25로 인이 제한인자가 된다. 이러한 경향은 11월에도 이어져 N:P비가 약 18로 Redfield ratio보다 높게 나타났다. 정 등(1989)은 동해의 기초생산력을 분석한 결과, N:P ratio는 해역 전체 평균 13.4로서 질소계 영양염이 식물플랑크톤 생장의 제한 요인이라고 하였다. 그러나 계절 변화에 따른 해양 물리적 환경의 차이에 의해서 N:P비도 계절 변화를 나타낸다고 생각된다. 이러한 해황의 변화는 동해 연안에서 북한 한류 수계의

연안으로의 접근 혹은 이안에 따른 결과와 관련이 있을 수 있다(최와 조, 1997).

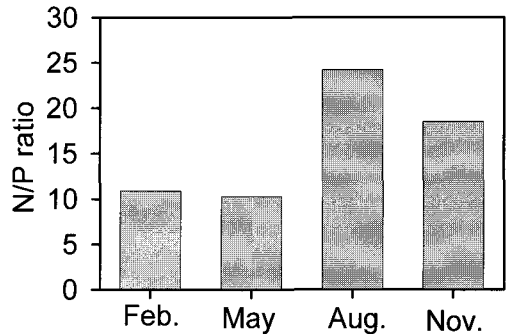


Fig. 10. N:P ratio at the East Coast in 2006.

Fig. 11은 2006년 6월 12일(a), 7월 31일(b), 8월 6일(c) 그리고 8월 14일(d)의 인공위성 수온영상자료이다. 동해 남부 연안은 용승으로 인하여 외양보다도 3~5°C 낮은 분포를 보인다. 이러한 연안 용승은 여름에 뚜렷하게 나타나며 이에 따라 수질의 특성이 남부 연안과 북부 연안으로 구분되어 나타난다고 여겨진다. 이와 유사하게 심 등(1989)은 동해 남부 해역에서 식물플랑크톤과 수문학적 조건과의 상관 관계는 ①한 국동부난수해역, ②북한한류해역, ③위 두 해역수의 영향을 받지 않는 외해역으로 구분하기도 하였다. 이러한 해역 구분은 기초생산력의 해역별 차이로 뚜렷하게 나타난다(Shim 등, 1995). 이러한 사실들은 해양학적 특성을 달리하는 현상이 나타나는 해역들에 의해서 지역적인 수괴의 특성이 구분될 수 있음을 시사하고 있다.

4. 결론

국립수산과학원의 해양환경조사연보(국립수산과학원, 2007)를 이용하여 우리나라 동해 연안의 수질 특성을 분석하였다. 그 결과, 여름철에 울기-감포 연안에서는 용승으로 인한 냉수의 출현으로 영양염과 엽록소-a가 높게 나타나는 현상이 관찰되었다. 이러한 지화학적 변화는 냉수의 출현이라는 물리적 환경변화와 함께 우리나라 동해 연안에서 나타나는 뚜렷한

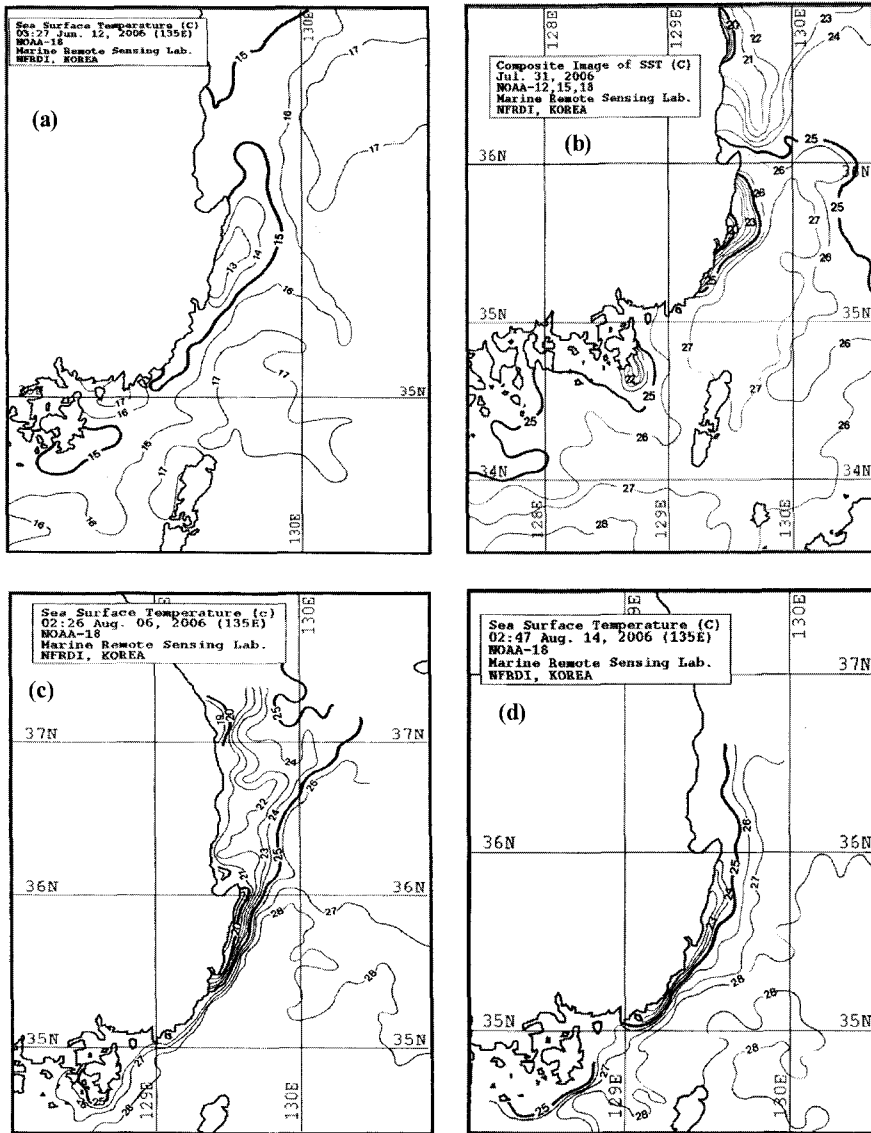


Fig. 11. Sea surface temperature on (a) 12 June, (b) 31 July, (c) 6 August and (d) 14 August redrawn from NOAA satellite images by National Fisheries Research and Development Institute.

해양학적 현상으로 이해된다. 이처럼 용승으로 인한 냉수의 출현으로 우리나라 동해 연안은 용승이 나타나는 남부 해역과 북한한류수가 나타나는 북부 해역으로 수질의 특성을 달리하는 해역으로 구분이 가능하였다. 용승 해역은 어장 형성에 좋은 조건을 제공하

는 반면에 해무의 발생으로 선박의 안전 운항에 지장을 초래하기도 한다. 산업적인 이용가치의 측면에서 수산자원의 변동과 함께 연안 용승 해역의 특성을 깊이 연구할 필요가 있다고 생각된다.

감사의 글

이 연구는 ‘동해 해양환경 변동 연구’(RP-2010-ME-009)의 일환으로 수행되었습니다. 그리고 해양관측과 함께 자료의 수집 및 관리를 위해서 수고하시는 관계자 모든 분께 감사의 말씀을 드립니다.

참고 문헌

- 국립수산과학원, 2007, 한국해양환경 조사연보 2006, 제 11 권, 국립수산과학원, 예문사, 부산, 396.
- 국립수산진흥원, 2001, 한국해양편람 제4판, 국립수산진흥원, 예문사, 부산, 436.
- 김종구, 1998, 다변량 해석기법에 의한 금강 하구역의 수질평가, 한국환경과학회지 7(5), 591-598.
- 김종구, 2006, 다변량 해석기법에 의한 인천 연안해역의 수질평가, 한국환경과학회지 15(11), 1017-1025.
- 김철호, 김구, 1983, 한국 동해안에 출현하는 냉수괴의 특성과 기원, 한국해양학회지 18(1), 73-83.
- 심재형, 양성렬, 이원호, 1989, 춘계 한국 동해 남부해역에서의 식물 수문학적 수역과 질산염약층의 수직양상, 한국해양학회지, 24(1), 15-28.
- 양한섭, 김성수, 강창근, 조규대, 1991, 한반도 근해의 해류와 해수특성 III. 한국 동해 중부 극전선역에 출현하는 수괴의 화학적 특성, 한국수산학회지, 24(3), 185-192.
- 이창래, 박 철, 문창호, 2004, 울산-감포 해역의 냉수 출현과 동물플랑크톤 분포, 한국해양학회지, 바다, 9(2), 51-63.
- 정창수, 심재형, 박용철, 박상갑, 1989, 한국 동해의 기초생산력과 질소계 영양염의 동적관계, 한국해양학회지, 24(1), 52-61.
- 최용규, 조규대, 1997, 1994년 11월 동해 중층수의 분포, 한국수산학회지, 30(1), 119-127.
- 최용규, 한인성, 서영상, 고우진, 김상우, 2009, 2006년 동해안 감포의 열수지, 한국환경과학회지, 18(1), 33-39.
- 해양수산부, 1998, 해양환경공정시험방법, 317.
- Byun, S. K., 1989, Sea Surface Cold Water near the Southeastern Coast of Korea: Wind Effect, The Journal of the Oceanological Society of Korea, 24(3), 121-131.
- 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, The Journal of the Oceanological Society of Korea, 18(2), 149-160.
- Lee, J. C., Na, J. Y., 1985, Structure of upwelling off the southeast coast of Korea, The journal of the Oceanological Society of Korea, 20(3), 6-19.
- Lee, W. H., Shim, J. H., 1990, Distribution of Phytoplankton Standing Crop and the Associated T-S Properties in the Southwestern East Sea (Sea of Japan), The Journal of the Oceanological Society of Korea, 25(1), 1-7.
- Lee, Y. H., Jung, J. J., Kim, H. K., 2003, Factor Analysis of the Seawater Quality of the Southern Coastal Waters of Korea, J. Fish. Sci. Tech., 6(3), 140-148.
- Shim, J. H., Yeo, H. G., Park, J. G., 1995, Primary Production System in the Southern Waters of the east Sea, Korea II. The Structure of Phytoplankton Community, The Journal of the Korean Society of Oceanography, 30(3), 163-169.
- SYSTAT, 1999, SYSTAT 9, Statistics I, II, SPSS INC., U.S.A.