

한국 남해의 갈수기와 풍수기에 따른 해양 환경 특성

최 용 규 · 양 준 용 · 이 영 식 · 유 준^{**} · 김 대 권^{***} · 한 인 성 · 고 우 진
국립수산과학원 해양연구팀, *국립수산과학원 양식환경연구센터
^{**}국립수산과학원 환경연구팀, ^{***}국립수산과학원 동해수산연구소
(2006년 9월 25일 접수; 2007년 2월 20일 채택)

Characteristics of Ocean Environment in the Dry and Wet Seasons in the South Sea of Korea

Yong-Kyu Choi, Joon-Yong Yang, Young-Sik Lee^{*}, Jun Yu^{**},
Dae-Kweon Kim^{***}, In-Seong Han and Woo-Jin Go

Ocean Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

^{*}Aquaculture Environment Institute, Tongyeong, Kyungnam 650-943, Korea

^{**}Marine Environment Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

^{***}East Sea Fisheries Research Institute, Gangneung, Gangwon-do 210-861, Korea

(Manuscript received 25 September, 2006; accepted 20 February, 2007)

To analyze the water characteristics in the dry and wet seasons, the data for temperature, salinity, nutrients and chl-*a* were used, which were observed in the south coastal area of Korea during April to October 2000. At Yeosu in the south coast of Korea, the higher values of 35.0 psu in salinity were shown in March and April, the lower values of 23.0 psu in salinity were shown in August and September. The annual range of salinity was 12.0 psu. The total amount of precipitation in the wet season (July to October) was occupied 68% (about 846 mm) during 2000. The precipitation of the dry season (November to June) was occupied 32% (about 394 mm) in the year. In the coastal area, the salinity variation is distinct in the period of July to October. Based on this result, we divided the season into two parts: the dry season during April to June and the wet season during July to October. Factor analysis was shown that temperature has strong negative relation and nutrients show positive relations in the dry season by the factor 1, which explains the total variance of 50.6% at the surface water. In the wet season, salinity has negative relation and nutrients show positive relation by the factor 2, which explains the total variance of 33.5%. The bottom layer also showed similar to those of surface water in the results of factor analysis. These mean that nutrients become rich due to the freshwater inflow in the wet season. The low saline water is shown not only in the south coast but also in the overall region in the South Sea of Korea. It is suggested that the South Sea of Korea may call a ROFI (Region of Freshwater Influence) system in summer.

Key Words : Wet season, Dry season, Factor analysis, ROFI

1. 서 론

남해는 동중국해의 북서부 해역에 위치하고 있으며, 지리적으로는 진도와 제주도를 경계로 황해와

구분된다. 그리고 제주도와 일본의 오도 열도(Goto Reto)를 잇는 지선에 의해서 동중국해와 구분되며, 대한 해협을 통해서 동해와 연결되어 있다¹⁾.

담수 영향역의 뚜렷한 특징은 담수 유입으로 인한 부력이다. 담수영향역에서의 수주는 태양 복사열 및 담수 유입에 의한 부력과 바람, 조석 등에 의한 교란 효과로 인하여 수주의 성층과 혼합이 계절에 따라 반복되며 유동의 변화가 일어난다²⁾. 이러한 담

Corresponding Author : Yong-Kyu Choi, Ocean Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea
Phone: +82-51-720-2221
E-mail: ykchoi@nfrdi.re.kr

수 영향역의 특징을 보면, 물리적으로는 수주의 성층과 혼합이 반복되며 담수유입에 의한 밀도류의 형성으로 유동장의 변화가 생긴다. 화학적으로는 담수유출에 의한 부영양화가 발생할 수 있으며, 또한 질소화나 탈질소화같은 화학적 작용이 왕성하다. 생물적으로는 광온, 광염성의 정착성 어류가 분포하며, 봄과 가을에 식물플랑크톤의 대증식이 발생할 수 있다. 지질적으로는 담수유입에 의한 부유물의 퇴적 작용으로 해저 지형의 변화가 발생할 수도 있다. 이와 같이 담수 영향역은 육지에서 유입되는 각종 물질이 생지화학적 과정을 거쳐서 외양으로 유출되는 완충지역이며, 물리적 환경으로도 유동장의 변화를 일으키는 아주 중요한 해역이라고 할 수 있다.

한편, 남해가 속하고 있는 동중국해는 해양계와는 달리 하구와 같은 영양염 순환을 보이며³⁾, 한국 남해 연안은 여름철에 연안 염하구 형태를 나타낸다⁴⁾. 이와 같이 여름철 한국 남해는 양자강 저염수의 유입뿐만 아니라 한반도로부터 유입되는 담수에 의해서 저염화가 뚜렷하다. 본 연구는 우선 한국 남해 연안역의 수괴 특성의 계절변화를 살펴보고 여름철에 담수가 수괴 특성에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이에 따라 한국 남해 연안뿐만 아니라 남해 전역이 여름철에는 담수영향역(Region of Fresh-water Influence: ROFI)임을 조심스럽게 제안하고자 하였다.

2. 자료 및 방법

한국 남해 연안에서 갈수기와 풍수기에 따른 수괴 특성을 보기 위하여, 2000년 4월부터 10월까지 한국 남해 연안의 16개 정점(Fig. 1)에서 조사된 수온, 염분, 영양염, chl-a 등의 자료를 사용하였다. 그

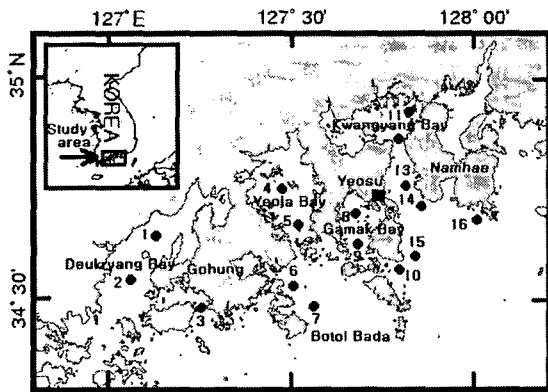


Fig. 1. Map showing the locations for water samplings (solid circles) and weather forecast office at Yeosu (solid square).

리고 연안역의 수온 및 염분의 계절 변화로부터 갈수기와 풍수기를 구분하기 위하여, 여수에서 2000년도에 관측된 연안 정지 수온 관측 자료와 여수기상대의 강수량 자료⁵⁾를 사용하였다. 여기서 연안 정지 수온 관측 자료는 인터넷을 이용하여 국립수산과학원(<http://www.nfrdi.re.kr>)으로부터 자료를 얻었다.

풍수기와 갈수기때의 수온-염분 관계를 보기 위하여 각 시기의 수괴 특성을 T-S도를 이용하여 살펴보았다. 또한 T-S도에서 구분된 각 시기별 수괴 특성에 대하여 다른 인자(영양염 등)와의 관계를 구체적으로 보기위하여, SYSTAT⁶⁾를 이용하여 영양염을 포함한 수괴 특성을 요인 분석해 보았다.

또한 연안역 뿐만 아니라 보다 넓은 해역의 염분 분포를 보기 위하여, 한국해양 조사연보⁷⁾를 사용하여 한국 남해 전역의 2000년 2월(갈수기)과 8월(풍수기)의 염분 분포를 살펴 보았다.

3. 결 과

3.1. 남해 연안의 수온과 염분 변화

여수연안에서 2000년에 조사된 연안정지 수온조사에서, 2월 중순에 최저 수온(약 5°C)을 보이고, 8월 말에 최고 수온(약 26°C)을 나타내어, 연교차는 약 21°C 였다. 염분은 3월과 4월경에 약 35.0 psu, 8월과 9월경에 약 23.0 psu를 나타내어 염분의 연교차는 약 12.0 psu 였다. 강수량은 고수온과 저염분을 나타내는 7월부터 10월(약 846 mm)에 2000년 전체 강수량의 68%를 나타내었으며, 11월부터 6월까지(약 394 mm)는 전체 강수량의 약 32%를 나타내었다(Fig. 2).

한국 남해 연안의 16개 정점에서 얻어진 자료를 가지고 T-S도를 이용한 수괴 분포에서 7월부터 10월까지의 염분의 변화 범위가 20.0~34.0 psu 였고, 4월부터 6월까지의 염분의 변화 범위가 33.0~34.0 psu 였다. 7월부터 10월까지의 염분의 변화 범위가 4월부터 6월까지의 염분의 변화 범위보다도 13.0 psu나 크게 나타났다(Fig. 3).

따라서 2000년 4월부터 10월까지 조사된 자료를 가지고 4월부터 6월까지를 갈수기, 7월부터 10월까지를 풍수기로 구분하였다.

3.2. 갈수기와 풍수기에 따른 수괴특성

갈수기와 풍수기에 따른 수괴 특성을 보기 위하여 요인 분석을 하였다. Fig. 4는 갈수기에 있어서 수괴 특성의 변동 요인을 설명하는 요인1과 요인2에 대해서 나타난 결과이다. 표층에서, 갈수기에는 전체 요인의 50.6%를 설명하는 요인 1이 수온과는 강한 음의 상관관계를 나타내는 반면에 영양염과는 강한 양의 상관을 보였으며, 풍수기에는 전체 요인

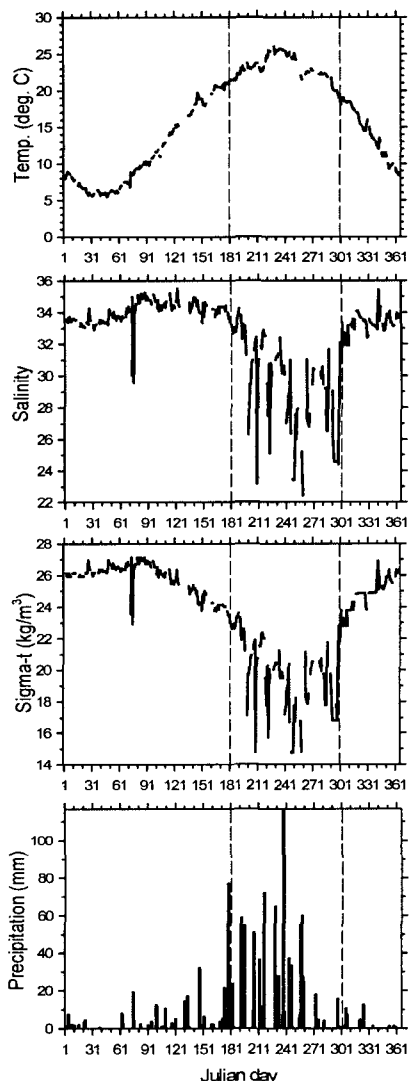


Fig. 2. Sea surface temperature (upper most), salinity (upper), sigma-t (lower) and precipitation (lower most) at Yeosu in 2000. Vertical dashed lines indicate the periods of wet season during July to October.

의 약 33.5%를 설명하는 요인 2가 염분과는 강한 음의 상관관계를 보이는 반면에 영양염과는 강한 양의 상관관계를 나타내었다.

Fig. 5는 풍수기에 있어서 수괴 특성의 변동 요인을 설명하는 요인 1, 2 그리고 3에 대해서 나타낸 결과이다. 표층에서 전체 요인의 33.5%를 설명하는 요인 2가 염분과는 강한 음의 상관관을 나타내었다. 저층에서도 또한 전체 요인의 31.06%를 설명하는 요인 1이 염분과 강한 음의 상관관을 나타내었다. 즉, 풍수기에 담수가 유입됨에 따라서 영양염의 농도가 증가함을 나타내고 있다.

그러면 이러한 성분들이 염분에 대해서 어떻게 분포하는가를 보기 위하여, Fig. 6에 질산질소, 아질산질소, 암모니아질소, 그리고 인산인을 염분에 대해서 나타내어 보았다. 풍수기는 갈수기보다도 염분의 분포 범위가 넓으며 영양염도 갈수기에 비해서 비교적 높은 값들을 나타낸다. 그러나 조사 정점들이 담수의 영향을 직접적으로 많이 받는 섬진강 하구역의 정점들이 있는 반면에, 북돌바다나 남해 외해측, 그리고 여자만이나 득량만과 같이 섬진강 하구에 있는 정점들 보다도 담수의 영향이 비교적 적은 정점들이 산재해 있어 일정한 분포 경향을 보이지는 않았다. 그러나 풍수기때에 섬진강 하구와 가까운 정점(정점 11~15)들에서 영양염의 값들이 높게 나타났다.

갈수기와 풍수기에 따른 식물플랑크톤의 분포를 보기 위해서 Fig. 7에 염분에 대한 chl-a를 나타내었다. 갈수기때는 chl-a가 2.5 $\mu\text{g/L}$ 이하였다. 그러나 풍수기에는 11.0 $\mu\text{g/L}$ 까지 나타났다. 이러한 chl-a의 분포를 각 월별 및 정점별로 표층에 대해서 나타낸 것이 Fig. 8이다. chl-a가 특히 높게 나타나는 시기는 7월과 8월이었다. Fig. 9에 나타낸 각 정점에서의 표층과 저층간의 밀도차를 보면, 7월과 8월에 표층과 저층간의 밀도 차이가 가장 크게 나타났다. 이것은 수주의 성층이 표층의 chl-a의 분포에 영향을 미치고 있음을 나타낸다.

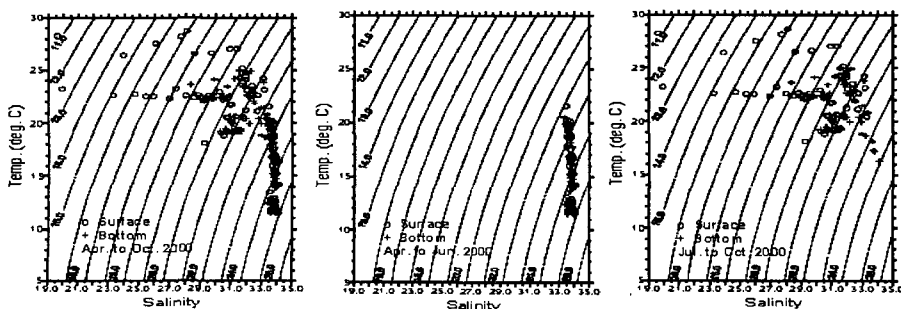


Fig. 3. T-S diagrams for all stations in 2000 during April to October (left), the dry season during April to June (middle) and the wet season during July to October (right) in 2000.

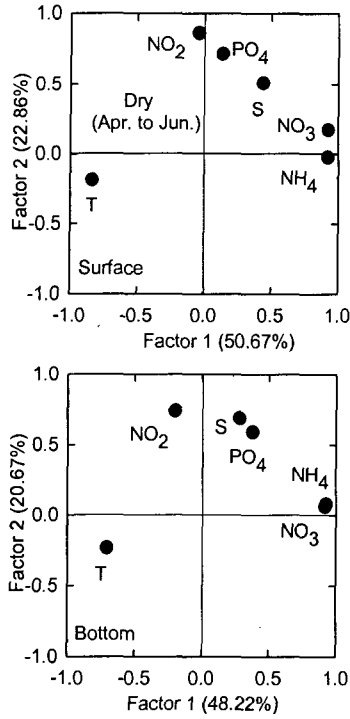


Fig. 4. Factor analysis after Varimax rotation for factor 1 and factor 2 of surface (upper) and bottom (lower) layers in the dry season (April to June).

3.3. 한국 남해의 2월과 8월의 염분 분포

Fig. 10은 국립수산과학원⁷⁾에서 매년 격월별로 관측을 수행하고 있는 한국 근해에서 한국 남해에 속하는 해역의 2000년 2월과 8월의 표층 염분의 수평 분포도를 나타낸 것이다. 한국 남해에서 표층 염분은 2월에 33.8~34.4 psu로 남북 대비의 분포를 보였고, 8월에도 31.4~32.4 psu로 남북대비를 나타내었다. 한국 남해에서 풍수기(8월)의 표층 염분은 갈수기(2월)보다도 약 1.4~2.0 psu 낮은 염분 분포를 보였으며, 오히려 외해역이 연안역보다도 더 낮은 염분 분포를 보이고 있다.

염분의 단면은 어떤가를 보기 위하여 Fig. 11에 여수에서 제주도의 우도에 이르는 관측 정선 204에 있어서 2000년 2월과 8월에 대해서 염분의 연직 단면도를 나타내었다. 정선 204는 Fig. 10에서 점선으로 나타낸 정선으로 여수 연안의 정점 1을 시작으로 우도의 정점 6까지 6개의 정점이다. 2월에는 염분이 약 33.0~34.5psu로 여수 연안역에서 33.0psu 이하의 저염수가 표층에 나타나고 있었다. 그리고 외해쪽으로 갈수록 염분은 34.5psu 이상으로 높아졌다. 이와는 반대로 8월의 단면도를 보면, 오히려 외해쪽인 정점 6에서 32.0pau 이하의 저염수가 표층을 점하고 있었으며, 여수 연안쪽은 32.0psu 이상의 염분을 나타내고 있었다.

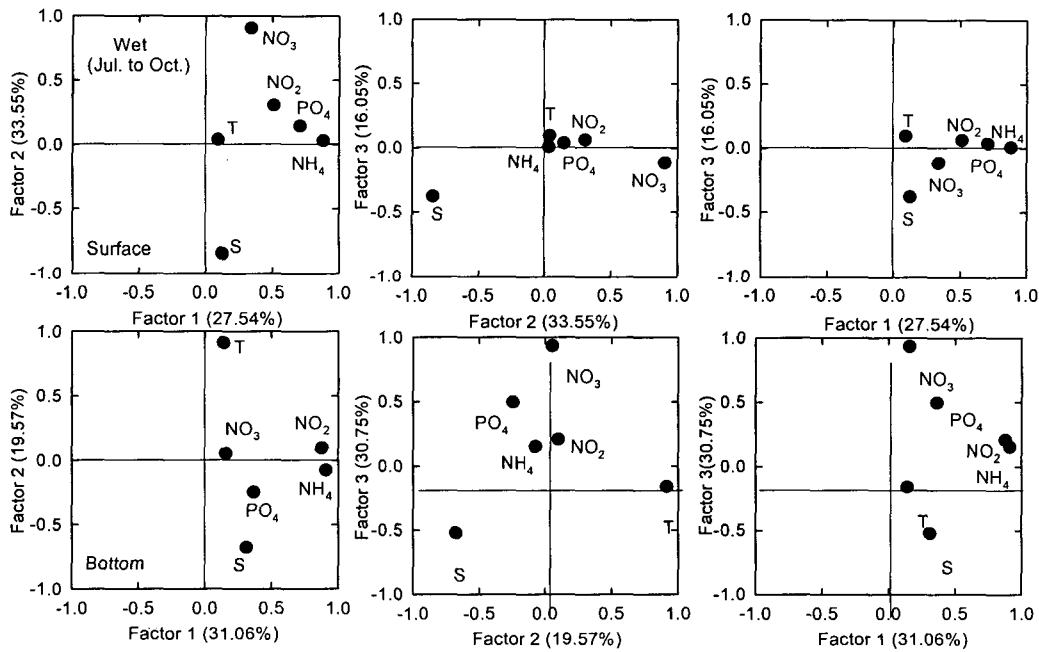


Fig. 5. Factor analysis after Varimax rotation for factor 1, factor 2 and factor 3 in each pair of surface (upper) and bottom (lower) layers in the wet season (July to October).

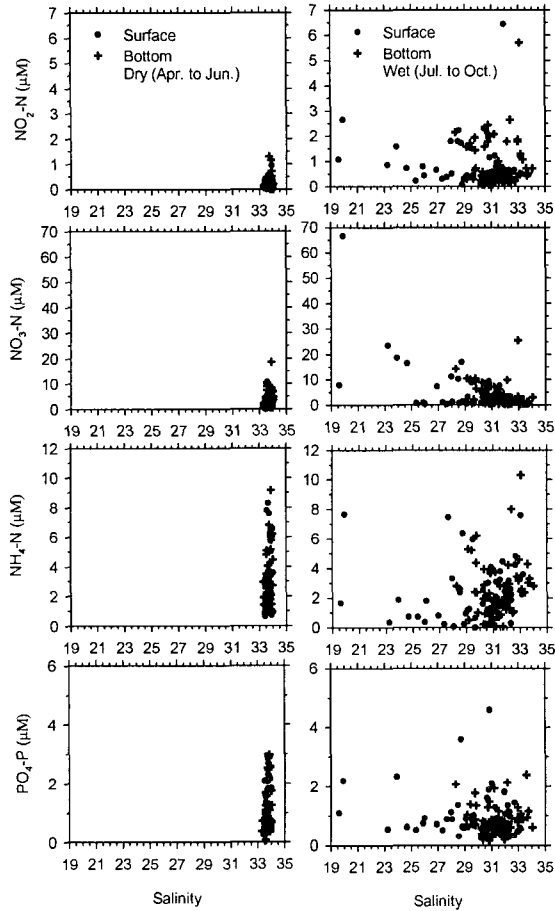


Fig. 6. Scatterplots of nutrients versus salinity for the dry (left) and wet (right) seasons.

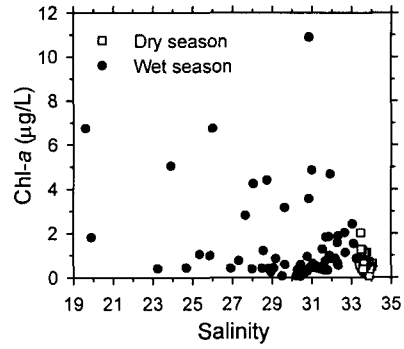


Fig. 7. Scatterplot of chl-a versus salinity for the dry season (open squares) and wet seasons (solid circles).

4. 고찰

4.1. 저염수와 영양염 분포

한반도는 몬순 기후로 특히 장마철이 되면 집중 호우로 대부분의 연강수량이 집중된다. 이러한 특성은 특히 7~10월에 연안수의 저염화와 함께 표층 해수의 저밀도화를 초래한다(Fig. 2). 한국 남해 연안역에서 7~10월의 영양염은 저염화에 따라서 영양염의 농도가 높아지는 뚜렷한 특징을 보인다(Fig. 5). 이러한 현상은 용존 무기 질소나 인산 인의 분포에서도 뚜렷하다(Fig. 6). 2)는 남동아시아와 오스트레일리아 사이에 있는 아시아 지중해가, 계절 변화를 보이기는 하지만 담수 유입으로 인하여, 광범위한 지역이 담수 영향역이 있는 해역(Region of Freshwater Influence; ROFI)이라고 하였다. 그리고 8)은 인도네시아의 자바해(Java Sea)의 북부 연안역

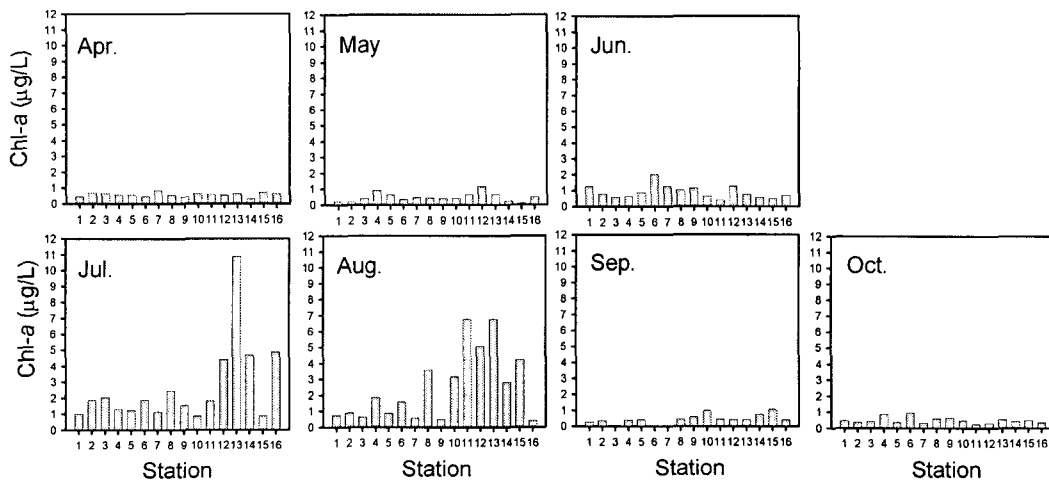


Fig. 8. Histograms for chl-a at the surface layer in each stations during April to October.

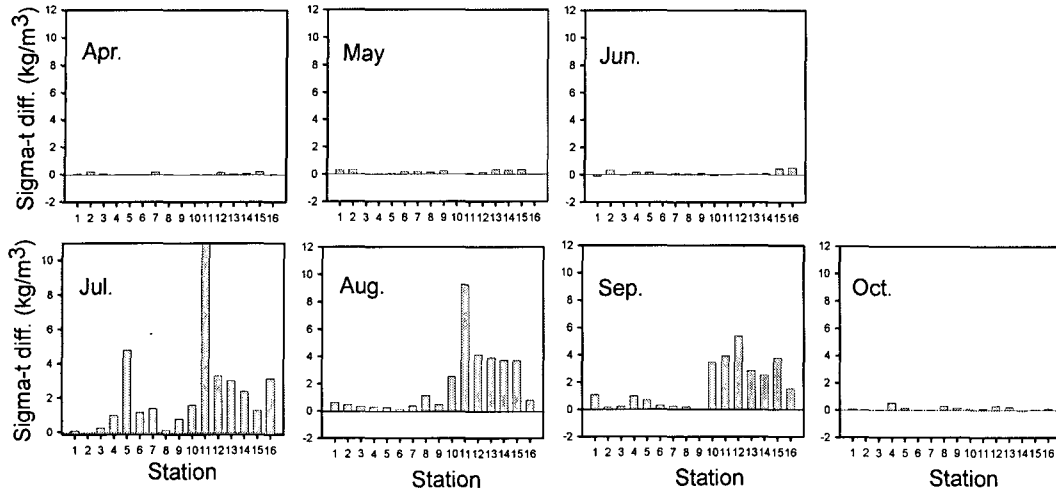


Fig. 9. Histograms for the difference of sigma-t (kg/m^3) between the surface and bottom layers in each stations during April to October.

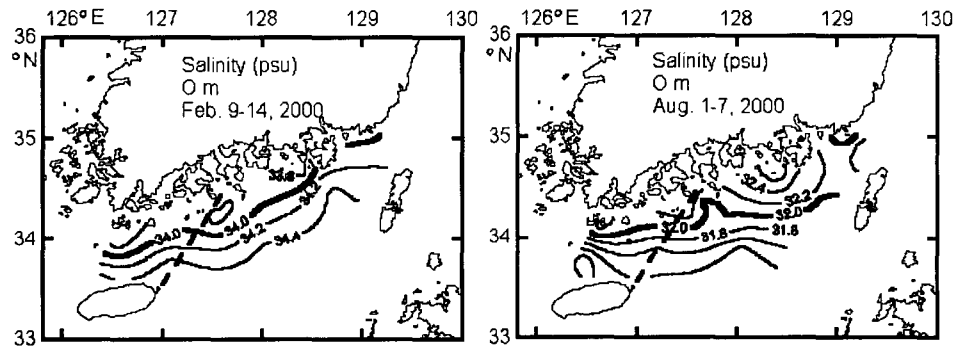


Fig. 10. Sea surface salinity in February (left) and August (right) at the South Sea of Korea in 2000. Dashed lines indicate the observation line 204 conducted by National Fisheries Research and Development Institute.

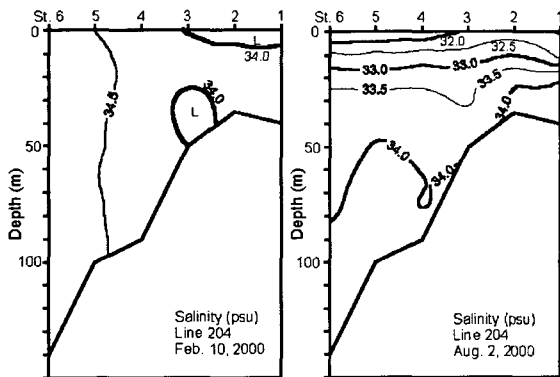


Fig. 11. Vertical distribution of salinity at line 204 in winter (left) and summer (right) in 2000. The observation line 204 was shown in figure 10 by dashed line.

이 염하구의 특성을 나타낸다고 하였다. 또한 한국 남해 연안뿐만 아니라 남해 전역이 여름철이 되면 저염화 현상이 뚜렷하다(Fig.10). 이러한 사실들은 한국 남해 연안과 남해 전역이 여름철에는 담수의 영향을 직접적으로 받아 저염화 현상이 뚜렷하므로, 한국 남해가 담수 영향역임을 시사하고 있다.

4.2. 담수 유입으로 인한 성층과 Chl-a

우기인 7~10월의 chl-a의 농도는 건기인 11~4월에 비해서 아주 높게 나타나고 있다(Fig. 7). 또한 Chl-a는 7월과 8월에 전 정점에서 높게 나타나고 있으며(Fig. 9), 또한 이때부터 표층과 저층간의 밀도 차이도 크다(Fig. 10). 9)는 금강 하구역에서 N/P 비와 표층과 저층간의 밀도 차이는 강한 상관성을 가진다고 하였다. 또한 10)은 하천을 통하여 유입되

는 영양염은 성층을 이루고 있는 연안역에서 식물플랑크톤을 크게 증식시킨다고 하였다. 11)은 성층은 영양염의 분포뿐 아니라 식물플랑크톤의 광합성에도 영향을 미친다고 하였으며, 12)는 식물플랑크톤 증식의 초기 발생은 성층의 강도에 따라서 영향을 받는다고 하였다. 이상과 같은 결과들은 성층의 발달이 영양염의 분포뿐만 아니라 식물플랑크톤의 증식에도 직·간접적인 영향을 끼치고 있음을 말하고 있다. 이와 같이 한국 남해 연안에서 풍수기에 담수 유입으로 인하여 성층이 지속되는 동안 저염한 표층수는 저층수와 혼합되지 못하고 표층에서 영양염이 일정한 농도로 유지되며, 식물플랑크톤의 증식에도 영향을 미치고 있다고 할 수 있다.

4.3. 겨울과 여름의 남해 외양의 염분 분포

13)은 동중국해 및 황해에서 여름에 양자강 유출수가 증가하여 쿠로시오 상층부에 직접적으로 영향을 준다고 하였다. 또한 14)와 15)는 한국 남해에서 여름철에 양자강 저염수가 제주도 근해를 통해서 남해로 유입되어, 광범위하게 남해의 표층을 점하고 있다고 하였다. 그리고 16)은 여름철에 제주도 주변 대부분의 해역에서 30.0psu 이하의 저염수 출현을 양자강 유역으로부터 유입된 담수의 영향이라고 밝혔다. 이와 같이 갈수기인 겨울에 한국 남해 연안역이 저염이지만, 풍수기인 여름에는 오히려 외해쪽이 더 저염한 분포를 보인다(Fig. 11). 이것은 양자강 저염수가 한국 근해로 유입함에 따라서 외해쪽이 한국 연안쪽보다도 더 저염한 분포를 나타낸다고 할 수 있다(Fig. 11).

따라서 한국 남해 연안과 남해는 풍수기에 저염수 유입으로 인한 뚜렷한 저염화 현상을 보이고 있어, 한국 남해 연안뿐만 아니라 남해 전역이 여름철에는 담수영향역계(Region of Freshwater Influence System: ROFI System)임을 조심스럽게 제안하고자 한다. 앞으로는 영양염 등의 물질 순환 과정이나 해양생태계 혹은 수산 자원의 변화·변동 등을 담수 유입의 영향 정도로써 살펴보는 것도 한국 남해를 이해하는데 좋은 연구 과제가 되리라 생각한다. 그러나 산사댐(Three-gorge Dam) 완공 후에는 저염수의 분포 양상이 상당히 달라지리라 예상된다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원(세부과제명: 한국해양자료센터 운영, RP-2007-ME-003)의 지원에 의해 운영되었습니다. 일선에서 해양관측에 관여하고 계시는 모든 연구원 및 시험 조사선의 모든 승무원들

께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 국립수산진흥원, 2001, 한국해양편람, 제4판, 국립수산진흥원, 436 pp.
- 2) 최용규, 양원석, 정주영, 2002, 금강하구 연안역의 해황과 관련한 영양염 전선, 한국수산학회지, 35(3), 289-297.
- 3) Wong G. T. F., Gong G-C., Liu K-K., Pai S-C., 1998, 'Excess Nitrate' in the East China Sea, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 46, 411-418.
- 4) 임동일, 엄임권, 전수경, 유재명, 정희수, 2003, 한국 남해 연안역에서 여름 풍수기에 형성된 연안 염하구 환경의 물리-화학적 특성, 한국해양학회지[바다], 8(2), 151-163.
- 5) KMA, 2000, Monthly weather report, Korea Meteorological Administration, Seoul, Korea.
- 6) SPSS Inc., 1999, SYSTAT 9: Statistics I, II, SPSS Inc., U.S.A.
- 7) NFRDI, 2001, Annual report of oceanographic observations for 2000, National Fisheries Research and Development Institute, Vol 49, 327pp.
- 8) Sachoemar S. I., Yanagi T., 2001, Seasonal variation of water characteristics in the 'northern coastal area of Java, La mer, 39, 77-85.
- 9) 최용규, 이삼근, 박경수, 이영식, 2000, 전북 연안의 담수 유입과 관련한 DIN, DIP의 계절변화, 수진연구보고, 58, 114-124.
- 10) Kang C. K., Kim P. J., Lee W. C., Lee P. Y., 1999, Nutrients and phytoplankton blooms in the southern coastal waters of Korea: I. The elemental composition of C, N, and P in particulate matter in the coastal bay systems, J. Korean Soc. Oceanogr., 34(2), 86-94.
- 11) Pingree R. D., Maddock L., Butler E. I., 1977, The influence of biological activity and physical stability in determining the chemical distributions of inorganic phosphate, silicate and nitrate, J. Mar. Biol. Ass. U.K., 57, 1065-1073.
- 12) Kudo I., Matsunaga K., 1999, Environmental factors affecting the occurrence and production of the spring phytoplankton bloom in Funka Bay, Japan, J. Ocenogr., 55, 505-513.

- 13) Chen C., Beardsley R. C., Limeburner R., Kim K., 1994, Comparison of winter and summer hydrographic observations in the Yellow and East China Seas and adjacent Kuroshio during 1986, *Continental Shelf Research*, 14(7/8), 909-929.
- 14) Pang I. C., Hyun K. H., 1998, Seasonal variation of water mass distributions in the eastern Yellow Sea and the Yellow Sea Warm Current, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 33(3), 41-52.
- 15) 이동섭, 1999, 여름과 겨울철 남해의 영양염 분포 특성, *한국해양학회지[바다]*, 4(4), 371-382.
- 16) 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암, 1998, 1996년 여름철 남해 표층수의 이상저염수 현상과 영양염류의 분포특성, *한국해양학회지[바다]*, 3(3), 165-169.