

남해 및 동중국해의 하계 수질 및 저질 환경평가

이대인¹ · 조현서^{2,*} · 윤양호² · 최영찬³ · 이정훈²

¹여수대학교 수산과학연구소, ²여수대학교 해양시스템학부, ³제주대학교 해양과학부

Summer Environmental Evaluation of Water and Sediment Quality in the South Sea and East China Sea

Dae-In Lee¹, Hyeon-Seo Cho^{2,*}, Yang-Ho Yoon², Young-Chan Choi³ and Jeong-Hoon Lee²

¹The Fisheries Science Institute, Yosu National University, Dundok-dong, Yeosu-si, Jeollanam-do, 550-749, Korea

²Division of Ocean System, Yosu National University, Dundok-dong, Yeosu-si, Jeollanam-do, 550-749, Korea

³Div. of Ocean Science, Cheju National University, Jeju-si, Jeju-do, 690-756, Korea

요 약

본 연구는 남해 근해 및 동중국해의 효율적 이용과 관리를 위한 기초연구로서 2001-2003년 6월에 수질과 저질환경 특성을 평가하였다. 연구해역 상층의 수괴는 북상하는 고온·고염의 쿠로시오 난류기원의 영향을 많이 받았고, 25 m 및 50 m층은 황해냉수의 영향을 받는 저온수가 동남향으로 확장하였고, 그리고 양자강 하구역에 인접한 정점들의 표층에서는 29.0 psu이하의 낮은 염분분포를 보였다. 수온약층은 대략 10 m층에서 형성되었고, 양자강 하구쪽으로 갈수록 얕아지고, 멀어질수록 깊어지는 경향을 나타내었다. COD(화학적 산소요구량)와 TN(총질소) 및 TP(총인)는 대부분 해역의 표층에서 해양환경기준 II등급이하를 나타내었으나, 양자강 하구역에 근접한 정점들에서는 TSS(총부유물질)농도가 급증하였고, COD는 해양환경기준 III등급을 초과하였을 뿐만아니라 영양염류도 적조발생 가능농도를 초과하는 분포를 보였다. Redfield ratio(무기질소대 무기인 비)는 2002년과 2003년에는 전 수층 평균값이 대부분 16이하의 값을 나타내었으나, 육상쪽으로 갈수록 16이상의 값을 보였다. Chl. *a*는 상층에서 양자강 영향지역과 남해 근해에서 상대적 고농도를, 대만난류해역에서 저농도를 보여주었고, 클로로필농도 극대층은 대략 수온과 밀도 약층 수심이나 그 하부에서 형성되었다. 대상해역으로의 영양염류 공급기구는 양자강을 포함한 담수에 의한 공급이 매우 중요한 기여를 하는 것으로 나타났고, 표층의 염분과 Chl. *a*는 매우 뚜렷한 음의 상관성을 나타내어서 높은 식물플랑크톤 생물량은 영양염류의 공급과정과 직결되는 것으로 판단되었다. 또한, 이러한 Chl. *a*는 무기질소에 비해 무기인과 상관성이 더 좋은 것으로 나타났고, 대상해역의 유기물질 분포에 식물플랑크톤에 의한 자생적인 기여가 큰 것으로 평가되었다. 퇴적물은 공간적으로 다소 불규칙한 변동이 있지만, 저질조성과 관련해서 양자강 하구쪽으로 갈수록 오염도가 낮고, 조사해역의 동쪽부분에서 유기오염의 정도가 상대적으로 크게 나타났지만, 그 오염도는 심하지 않는 것으로 분석되었다. 향후 본 대상해역에 있어서 산사댐 건설과 관련된 양자강 유량의 변화, 그리고 어업활동과 관련된 폐기물에 의한 해양환경의 영향평가 및 대책 연구가 수행되어져야 할 것이다.

Abstract – To evaluate environmental characteristics of the South Sea and East China Sea on summer, water and sediment quality were measured in June 2001-2003. Surface layer was affected by Warm water originated from the high temperature and salinity-Tsushima Warm Current, on the other hand, Yellow Sea Cold Water was spread to the bottom layer in the south-western part of the Jeju island, and salinity at stations near the Yangtze River was decreased below 29psu because of a enormous freshwater discharges. Thermocline-depth was formed at about 10m, and chlorophyll maximum layer was existed in and below the thermocline. COD(Chemical Oxygen Demand), TN(Total Nitrogen), and TP(Total Phosphorus) concentrations showed seawater quality grade II in surface layer of the most area, but concentrations of such as COD, Chl. *a*, TSS(Total Suspended Solid), and nutrients were greatly increased in the effect area of Yangtze River discharges. Correlations between dissolved inorganic nitrogen, Chl. *a* and salinity were negative patterns strongly, in contrast, those of inorganic phosphorus, COD and Chl. *a* were positive, which indicates that phy-

*Corresponding author: hscho@yosu.ac.kr

toplankton biomass and phosphorus are considered as important factors of organic matter distribution and algal growth, respectively, in the study area. The distribution of ignition loss, COD, and H₂S of surface sediment were in the ranges of 2.61-8.81%, 0.64-11.86 mgO₂/g-dry, and ND-0.25 mgS/g-dry, respectively, with relatively high concentration in the eastern part of the study area. Therefore, to effective and sustainable use and management of this area, continuous monitoring and countermeasures about major input sources to the water and sediment, and prediction according to the environmental variation, are necessary.

Keywords: Environmental characteristics(환경특성), South Sea and East China Sea(남해와 동중국해), Tsushima Warm Current(쓰시마 난류), Yellow Sea Cold Water(황해냉수), Yangtze River(양자강)

1. 서 론

한국 남해(South Sea) 근해를 포함한 동중국해(East China Sea)는 한국과 일본, 그리고 중국이 서로 인접하고 있고 대만난류와 중국대륙 연안수, 그리고 황해 저층냉수 등의 다양한 수괴가 서로 상접하여 복잡한 환경특성을 나타내고 있으며(Zhang and Weng[1996]), 이들은 계절에 따라 서로 세력을 달리하면서 전선(Front)을 형성하고 있다. 특히, 하계에는 양자강으로부터 막대한 담수의 유입영향을 크게 받는 지역으로 중국대륙과 한반도로부터 영양염이 풍부한 하천수가 유입되어 먹이생물이 풍부하며, 생산성이 높아 어장으로서의 가치가 매우 높은 곳으로 알려져 있다(Guo and Zhang[1996]). 따라서 본 연구해역은 우리나라 뿐만 아니라 인접 국가의 근해 어업자원의 어획 및 관리 등 수산 해양환경측면에서 매우 중요한 위치를 점유하고 있다.

그러나, 최근 이 해역은 국지적 그리고 지구 전체적 규모의 환경변화와 더불어 다른 해역과의 상호성으로 인해서 하계에 적조가 발생·확산되고 염분 및 탁도변화가 심해지는 등 수질변화와 함께 어업의 생산성이 저하되고 있는 실정이다. 또한, 한·중·일 간에는 어업협정이 체결되어 어족 생물자원에 대한 효과적인 보존과 관리 및 해양환경의 관리가 공동의 관심사가 되고 있다. 이러한 배경하에서 본 연구지역에 대한 종합적이고 체계적인 연구는 필연적이라 할 수 있다.

동중국해역은 남북으로는 타이완(Taiwan)과 제주도 남쪽 사이이며, 동서로는 중국대륙과 류큐열도(琉球列島)사이의 해역이다. 주요 해류는 쿠로시오(黑潮)로 타이완과 요나쿠니지마섬 사이의 통로로 유입되어 대륙사면을 따라 북상한 다음, 쿠로시오의 대부분은 류슈(九州) 남쪽의 토카라해협을 통해 태평양으로, 일부는 북서쪽으로 분기하여 대한해협과 황해쪽으로 흘러간다(Kondo[1985a]). 특히, 고온 고염의 쿠로시오수는 대한해협과 황해쪽으로 열과 염 등을 수송하기 때문에 한국, 일본 및 중국의 기후 및 어업과 밀접한 관계를 갖고 있고, 그리고 동중국해로 유입된 후에도 고온 고염 빈영양염의 성질을 계속 유지하기 때문에 연안수와의 혼합과정은 동중국해의 해황에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 즉, 한국 남·서해 및 제주도 근해에서 동계에는 대만난류 및 황해난류, 황해냉수, 한국 남·서해 연안수 등이 출현하고, 하계에는 고온·저염의 중국대륙 연안수가 표층을 점유하면서 중·저층에는 황해저층 냉수, 한국 남·서해 연안수, 대만난류수 등

(Nakao[1977]; Kim and Rho[1995])이 출현하여 이러한 수괴들이 시기와 계절별로 서로 상접하여 복잡한 해황을 형성하고 있다. 또한, 양자강으로부터 방대한 양의 담수, 영양염류, 부유현탁물과 퇴적물이 동중국해로 유입되고, 풍부한 용존무기영양염을 함유한 외해의 대륙사면 심층수가 대륙붕단을 통해 동중국해 대륙붕으로 유입되기 때문에 이들의 교환과정을 이해하는 것은 물질의 공급과정과 생지화학적 플럭스 견지에서 매우 중요한 측면이라 할 수 있다.

이러한 관점에서 동중국해에 대한 심층적인 연구는 매우 중요하나 체계적이면서 지속적인 연구성과는 매우 드물다. 더욱이, 황해와 동중국해로 유입되는 담수의 80%를 차지하는 양자강의 유출을 막는 산사댐이 지난 1993년부터 착공하여 2009년에 완공을 앞두고 있는 상황에서 해양환경의 변화가 기대되는 본 해역에서의 연구는 매우 중요한 측면이 있다 하겠다. 수질 및 저질의 생지화학적 환경특성은 현재 및 과거의 해양 생태계의 생산성과 진전성 및 이용현황을 나타내는 중요한 지표로서 시·공간적 변화가 크기 때문에 장기적인 변동특성을 파악하는 것이 필요하고 장래의 변화예측에 기본이 된다. 따라서 본 연구는 남해 근해 및 동중국해의 해양생태구조 및 자원평가, 적합한 환경용량 산정, 지속적 이용과 관리방안을 위한 기초연구로서, 우선 최근 2001년부터 2003년까지 하계인 6월의 해양 수질과 저질환경의 특성을 파악하여 이 해역의 해양환경을 종합적으로 평가하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구해역과 같이 조사대상 공간이 넓고 연안에서 멀리 떨어져 있을 경우의 현장조사는 조사정점 및 시기가 제약을 받게 되는데, 일반적인 해양환경의 예측 및 관리에 관한 연구에서는 적조 및 빈산소수괴가 발생한다든지 아니면 강우량에 따른 육상에서의 유입부하가 대폭적으로 증가하는 등 그 해역의 수질이 가장 악화될 수 있는 하계에 연구시점을 맞추고 있다. 이러한 배경하에서 본 연구에서도 여수대학교 실습선 동백호(약 1050톤)를 이용해서 2001년 6월 25일에서 29일사이, 2002년 6월 25일부터 29일, 그리고 2003년 6월 26일부터 30일사이에 Fig. 1에 표시한 정점들에서 조사를 수행하였다. 각 정점에서 표층(0m), 10 m, 25 m, 50 m와 저층(약 80 m)수를 Van Dorn 채수기를 이용하여 채수하였고, 퇴

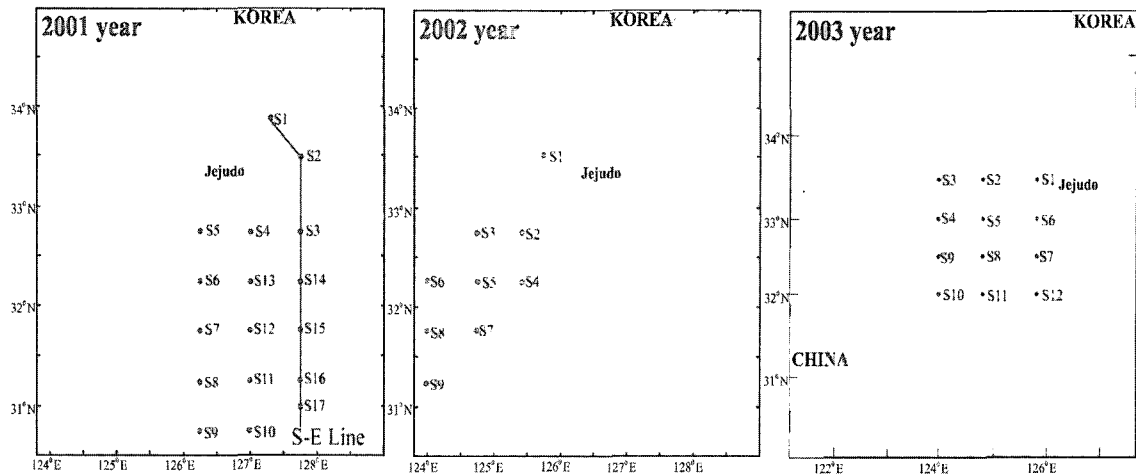


Fig. 1. Research stations in the South Sea and East China Sea during the 2001-2003 year.

적물 시료는 Grab을 이용하였다.

해수시료는 수온, 염분, pH(수소이온농도), TSS(총부유물질), DO(용존산소), COD(화학적 산소요구량), NH₄⁺-N(암모니아성 질소), NO₂⁻-N(아질산성 질소), NO₃⁻-N(질산성 질소), PO₄³⁻-P(인산인), Si(OH)₄-Si(규산 규소), TN(총질소), TP(총인)와 TOC(총유기탄소)를, 저질은 함수율, IL(강열감량), COD, AVS(산취발성 황화물) 및 POC(입자성 유기탄소)를 각각 분석하였다. 분석방법은 수온, 염분, pH와 DO는 현장에서 측정하였고, Chl. *a*는 Submersible Fluorometer(Chlorotech-Alec Electronic Co., Ltd, ACL 1151-D)를 이용하여 표층에서 저층까지 1m간격으로 연속측정하였다(윤[2002]). 그 외는 시료를 냉동보관하여 실험실로 운반한 후 해양환경공정시험방법(해양수산부[2002])과 海洋觀測指針(日本氣像協會[1985])에 의거하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수질환경특성 및 평가

본 연구해역에서 2001년-2003년 6월에 수층별로 분석된 수질 결과를 Table 1-3 및 Fig. 2-9에 나타내었다. Fig. 4-8의 2002년에

는 제주도 주변해역을 전체적으로 파악하기 위해서 2001년에 플러한 결과를 동시에 나타내었다.

pH의 수층별 평균값은 2001년에는 7.94-8.06, 2002년에는 8.09-8.27, 그리고 2003년에는 8.17-8.38범위로 2003년에 가장 높은 값을 보였다. 전체적으로 표층보다 저층이 유기물의 산화 등의 영향으로 낮은 분포를 보였고, 조사해역의 서쪽이 동쪽보다 높은 값을 나타내었는데, 이것은 식물플랑크톤의 양과 관련이 있는 것으로 나타났다.

수온은 Fig. 2와 같이 2001년도 표층은 약 20-27°C, 저층은 13-22°C범위였는데, 표층과 10 m층은 조사해역 남쪽에서 쿠로시오 기원의 난류가 북상하는 양상을 보였으나, 25 m 및 50 m층은 제주도 남서쪽에서 황해냉수의 영향을 받는 저온수가 강하게 우측으로 압박되었고(Kondo[1985b]; Hu[1986]; Matsuda et al.[1989]; 윤[2002]), 50 m층에서는 조사해역 남동쪽에서 22°C의 수온을 나타내어 서쪽과 뚜렷이 구분되었다. 2003년도 표층은 21-22°C범위로 조사해역의 위치상 전 해역에서 대륙연안수의 영향을 강하게 받고 있는 것으로 보였으며, 10 m층의 중앙부는 황해 저층냉수괴의 영향을 비교적 강하게 받는 것으로 나타났다. 25 m층의 남서해역은 고온의 대륙연안수 영향을 그리고 북서 및 남동해역은 저

Table 1. Range and mean values of analytical parameters in seawater at June, 2001.

Water Column	pH	DO	COD	TSS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	DIP	N/P	Si(OH) ₄ -Si
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(μg-at/L)	(μg-at/L)	(μg-at/L)	(μg-at/L)	(μg-at/L)	(μg-at/L)	(μg-at/L)
0 m	7.96-8.20 (8.05)	6.65-7.91 (7.24)	0.41-2.74 (1.14)	11.86-47.14 (19.11)	0.05-4.38 (0.73)	0.01-0.18 (0.07)	0.18-6.47 (1.65)	0.47-9.05 (2.44)	0.05-4.60 (0.46)	1.10-38.71 (12.94)	3.55-16.52 (9.25)
10 m	7.94-8.27 (8.06)	6.63-8.28 (7.29)	0.56-2.18 (1.20)	14.14-25.14 (18.40)	0.11-2.03 (0.58)	0.01-0.14 (0.04)	0.04-11.56 (1.79)	0.45-11.97 (2.41)	0.05-1.31 (0.22)	1.80-75.20 (17.30)	4.27-15.01 (9.76)
25 m	7.99-8.24 (8.06)	6.88-8.76 (7.51)	0.56-2.28 (1.09)	14.00-26.29 (17.61)	0.11-1.21 (0.45)	0.01-0.14 (0.04)	ND-3.24 (0.80)	0.13-4.51 (1.29)	0.05-0.42 (0.15)	0.93-32.03 (11.57)	3.69-18.94 (11.11)
50 m	7.93-8.24 (8.01)	5.90-8.59 (7.15)	0.17-2.38 (1.05)	6.57-25.86 (16.82)	0.09-6.24 (1.20)	0.01-0.25 (0.06)	0.05-5.99 (1.14)	0.18-12.49 (2.40)	0.05-0.52 (0.21)	1.29-53.21 (16.55)	5.54-16.03 (11.47)
Bottom	7.85-8.11 (7.94)	5.13-7.58 (6.56)	0.49-1.66 (0.95)	14.43-26.71 (19.36)	0.23-11.62 (1.79)	0.02-0.23 (0.09)	0.13-11.56 (1.70)	0.45-23.24 (3.57)	0.09-0.66 (0.21)	1.50-35.37 (16.46)	10.25-24.72 (15.99)

Table 2. Range and mean values of analytical parameters in seawater at June, 2002

Water Column	pH	DO	COD	TSS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	DIP	N/P	TN	TP	Si(OH) ₄ -Si
		(mg/L)			(μg-at/L)						(μg-at/L)		(μg-at/L)
0m	8.22-8.35 (8.27)	6.22-8.26 (6.81)	0.22-2.09 (1.08)	7.71-25.29 (10.77)	0.01-1.35 (0.42)	0.16-0.44 (0.28)	0.35-1.75 (0.70)	0.70-3.50 (1.40)	0.14-0.79 (0.37)	1.24-8.23 (4.48)	1.73-3.21 (2.42)	0.50-7.62 (2.01)	17.14-25.34 (21.97)
10m	8.07-8.31 (8.22)	4.96-6.66 (5.84)	0.42-2.09 (1.03)	7.86-29.14 (15.51)	0.09-1.65 (0.36)	0.13-0.99 (0.43)	0.07-1.19 (0.73)	0.48-3.81 (1.52)	0.19-1.39 (0.42)	1.73-6.51 (3.94)	1.43-4.84 (3.36)	0.42-1.77 (0.84)	17.01-25.09 (22.05)
25m	8.14-8.27 (8.22)	4.74-6.33 (5.57)	0.34-2.09 (1.02)	7.86-25.57 (15.75)	ND-1.35 (0.28)	0.16-0.83 (0.41)	0.20-1.65 (0.93)	0.58-2.86 (1.61)	0.17-0.81 (0.34)	2.85-7.37 (4.87)	0.77-6.88 (3.83)	0.56-1.67 (0.95)	19.30-25.65 (22.80)
50m	8.04-8.24 (8.13)	4.66-5.77 (5.43)	0.65-1.14 (0.90)	9.86-53.57 (22.92)	0.01-0.32 (0.19)	0.14-0.57 (0.29)	0.20-2.03 (1.35)	0.83-2.50 (1.84)	0.49-1.12 (0.70)	1.07-3.90 (2.77)	3.20-8.48 (6.44)	0.69-1.11 (0.89)	21.43-29.16 (24.86)
Bottom	8.07-8.10 (8.09)	5.07-6.18 (5.63)	0.89-1.01 (0.95)	10.14-17.71 (13.93)	0.02-0.03 (0.03)	0.18-0.18 (0.18)	1.65-1.94 (1.80)	1.86-2.13 (2.01)	0.88-1.05 (0.97)	1.77-2.42 (2.09)	6.88-8.11 (7.50)	0.85-0.89 (0.87)	26.17-26.95 (26.56)

Table 3. Range and mean values of analytical parameters in seawater at June, 2003

Water Column	pH	DO	COD	TSS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	DIP	N/P	TN	TP	Si(OH) ₄ -Si
		(mg/L)			(μg-at/L)						(μg-at/L)		(μg-at/L)
0 m	8.03-8.53 (8.38)	7.40-8.78 (7.89)	0.71-4.76 (2.46)	5.29-32.00 (21.70)	0.18-7.89 (1.77)	0.05-0.26 (0.12)	0.07-6.66 (1.15)	0.33-10.75 (3.04)	0.11-2.19 (0.59)	1.95-13.94 (6.34)	1.04-24.25 (9.69)	0.76-2.74 (1.44)	4.89-14.12 (10.24)
10 m	8.23-8.48 (8.37)	6.86-8.95 (7.82)	1.03-4.40 (2.50)	5.30-43.71 (23.94)	0.29-15.10 (2.59)	0.03-0.24 (0.09)	0.00-3.08 (0.49)	0.43-15.42 (3.17)	0.09-2.12 (0.38)	2.65-22.19 (7.87)	0.48-139.21 (15.32)	0.78-3.70 (1.44)	9.53-14.74 (12.12)
25 m	8.11-8.46 (8.25)	6.43-9.22 (7.56)	0.03-4.52 (2.04)	6.71-69.57 (31.04)	0.22-10.70 (1.56)	0.05-0.27 (0.15)	ND-4.69 (2.21)	0.42-11.27 (3.93)	0.14-4.66 (0.82)	2.42-13.73 (6.75)	2.04-99.78 (15.77)	0.74-5.91 (1.56)	10.59-19.55 (15.09)
50 m	8.08-8.28 (8.17)	6.60-7.75 (7.23)	0.27-3.16 (1.86)	9.14-47.86 (25.71)	0.15-3.82 (1.20)	0.09-0.27 (0.15)	1.17-6.48 (4.34)	1.54-10.57 (5.68)	0.41-1.42 (0.85)	3.74-8.53 (6.43)	1.68-27.39 (9.36)	1.04-2.76 (1.64)	13.21-19.44 (16.07)
Bottom	8.16-8.29 (8.24)	6.40-7.45 (6.98)	0.80-3.64 (2.57)	26.57-44.29 (36.24)	0.32-3.19 (1.30)	0.09-0.39 (0.21)	3.93-4.83 (4.49)	4.34-8.30 (6.00)	0.63-1.17 (0.83)	6.90-7.63 (7.21)	4.42-8.69 (6.21)	1.11-1.43 (1.31)	14.18-19.97 (17.05)

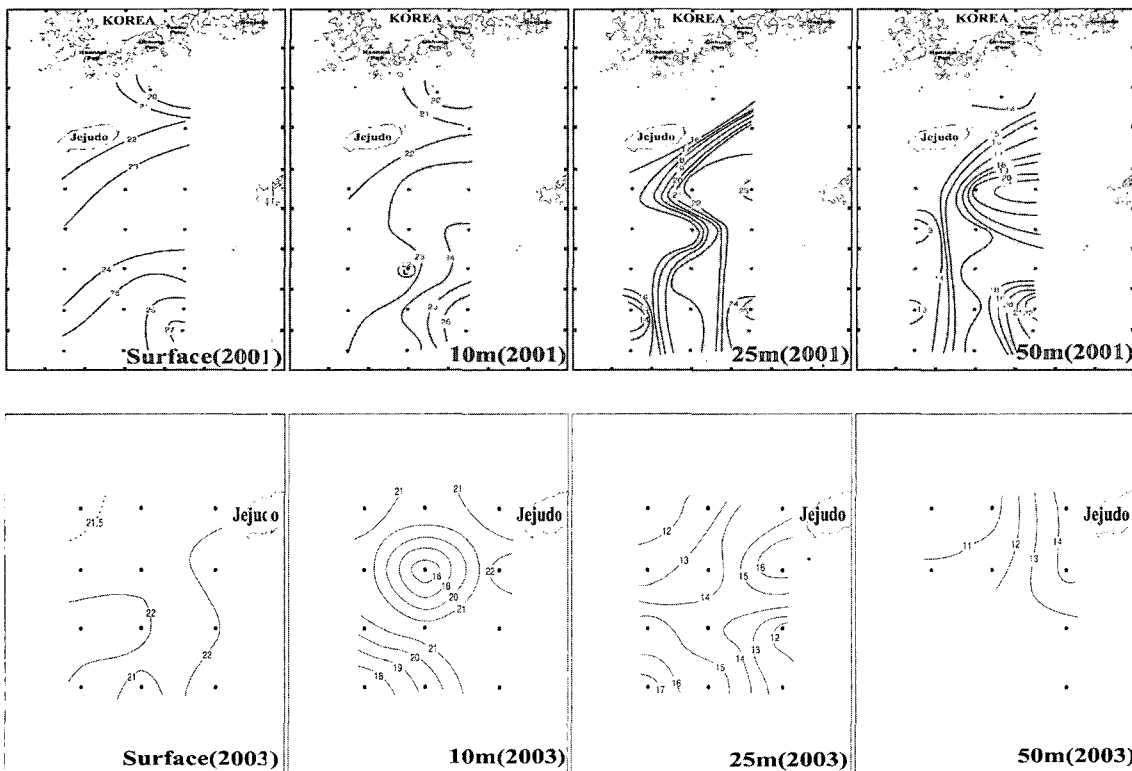


Fig. 2. Horizontal distribution of water temperature(°C) on 0 m, 10 m, 25 m, and 50 m layer in the study area at June, 2001 and 2003.

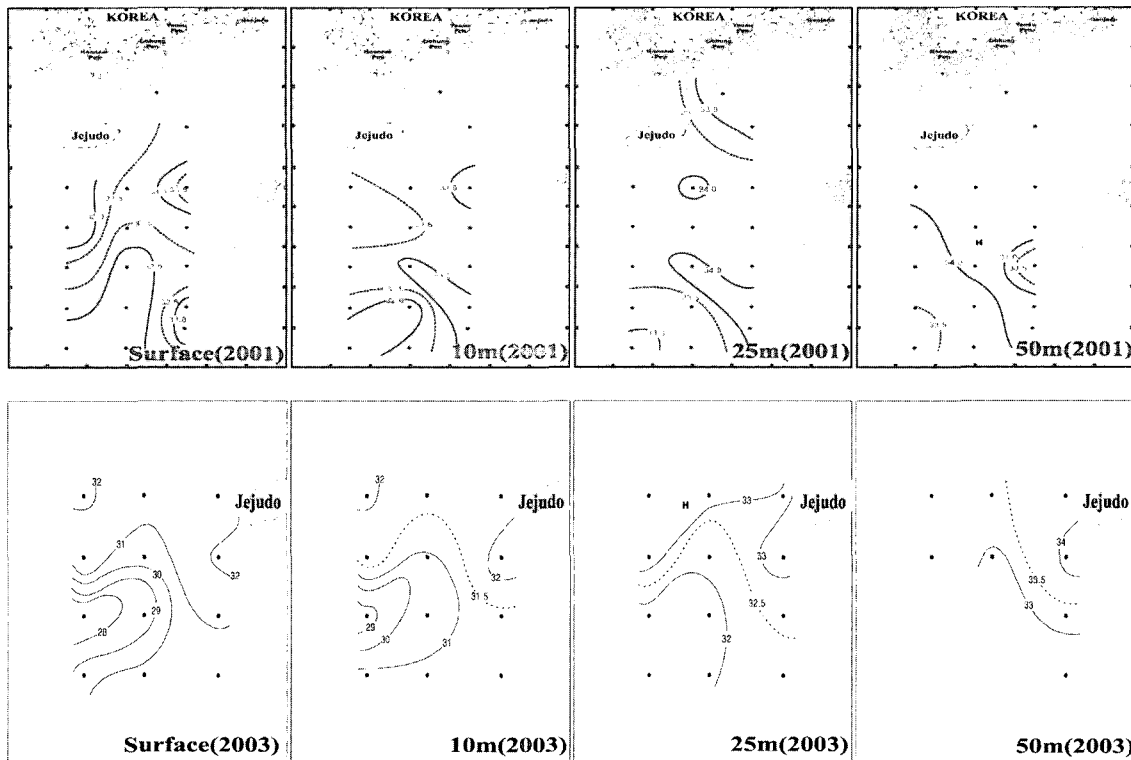


Fig. 3. Horizontal distribution of salinity(psu) on 0m, 10m, 25m, and 50m layer in the study area at June, 2001 and 2003.

온의 냉수괴 영향을 나타낸 반면, 제주도 서쪽은 고온의 대만난류의 영향을 받는 것으로 판단되었다. 그러나 50 m층은 제주남방 서쪽에서는 대만난류수 영향을, 조사해역의 북서쪽은 저온의 황해 냉수괴 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

염분은 Fig. 3과 같이 2001년도 표층은 32.0-33.5 psu범위로 조사해역의 우측은 33.0 psu이상의 고염수가 확장되어 나타나고 있지만, 중앙부의 남쪽과 북서쪽에서는 32.0psu이하의 저염수가 압박해 오는 양상을 보였다. 10 m와 25 m층에서도 표층과 유사하여 좌측은 저염수가, 우측에는 고염수가 유입되어 오는 양상을 보였다. 그러나 50 m층에서는 대부분 해역에서 33.5 psu이상의 염분을 나타내었다. 2003년도는 예년에 비해 많은 강수량으로 표층에서는 대부분 31.0 psu이하의 저염으로 육상기원 수괴영향이 강하게 나타났다. 10 m층도 표층과 유사하여 전체적으로 낮은 염분을 보였으며, 특히, 남서해역인 양자강 하구역에 인접한 정점에서는 29.0 psu이하의 낮은 염분분포를 보였다. 그러나, 25 m층은 북서해역의 33.0 psu이상의 염분을 보이는 황해 저층냉수괴와 연안수가 혼합된 양상을 보였으며, 50 m층은 제주도 서남해역에서 34.0 psu이상의 대만난류수 특성을 보이는 수괴와 대륙사면을 타고 남하한 것으로 보이는 33.0 psu내외의 황해 저층냉수괴가 혼합하는 특성을 보였다. 이와 같은 결과는 2001년도의 경우 대만난류, 황해 저층냉수괴 및 대륙연안수가 매우 복잡한 양상을 보였던 것과 달리, 2003년의 경우 조사해역이 강한 중국대륙연안수의 영향으로 대만난류세력이 매우 약화되었음을 나타낸다고 할 수 있다. 또한,

이러한 분포는 양자강의 영향을 받는 동중국해에서 조사한 김 [1995]의 결과에 비해 낮은 양상을 보여주었고, 여름철에 중국대륙 양자강의 유입으로 표층 염분을 저하시키는 수괴가 제주도 서북부해역까지 그 세력권을 미쳐 전선을 형성(김[1986]; Lie[1986]; 허와 최[2004])한다는 것을 뒷받침해 주었다.

DO의 수층별 평균값은 2001년에 6.56-7.51 mg/L, 2002년에 5.43-6.81 mg/L, 그리고 2003년에 6.98-7.89 mg/L범위로 2003년에 가장 높은 값을 보였고, 층별로는 표층에서 최대를 나타내었다. 2001년에는 전 수층에서 대부분 7 mg/L이상을 보였지만, 2002년에는 전반적으로 5 mg/L전후를 나타내었다. 이러한 분포는 본 연구해역이 다소 양자강과 멀리 떨어져 있어서 양자강 하구주변의 저층에서 4.0 mg/L이하가 나타난다는 결과(김[1995]; 김[1999])에 비해 다소 높았으며, 성층에 의한 저층 혐기성화 또는 빈산소수괴의 발생 등은 나타나지 않은 것으로 평가되었다.

COD는 Fig. 4와 같이 2001년에는 0.17-2.74 mg/L범위로 저층에서 평균 0.95 mg/L로 가장 낮았고, 10 m층에서 평균 1.20 mg/L로 가장 높았다. 2002년에는 0.22-2.09 mg/L범위로 표층에서 평균 1.08 mg/L로 가장 높았고, 그리고 2003년에는 0.03-4.76 mg/L범위로 50 m층에서 평균 1.86 mg/L로 가장 낮았고, 표층에서 평균 2.46 mg/L로 가장 높았다. 시기별로는 2003년에 가장 높은 값을 보였다. 2003년 10번 정점의 10 m층과 북서쪽 해역의 25 m 상층에서는 4 mg/L이상의 고농도를 보여주었다. 공간적으로는 2001년에는 남해 근해 표층과 50m층에서 2.0 mg/L이상을 보였고, 2001과 2002

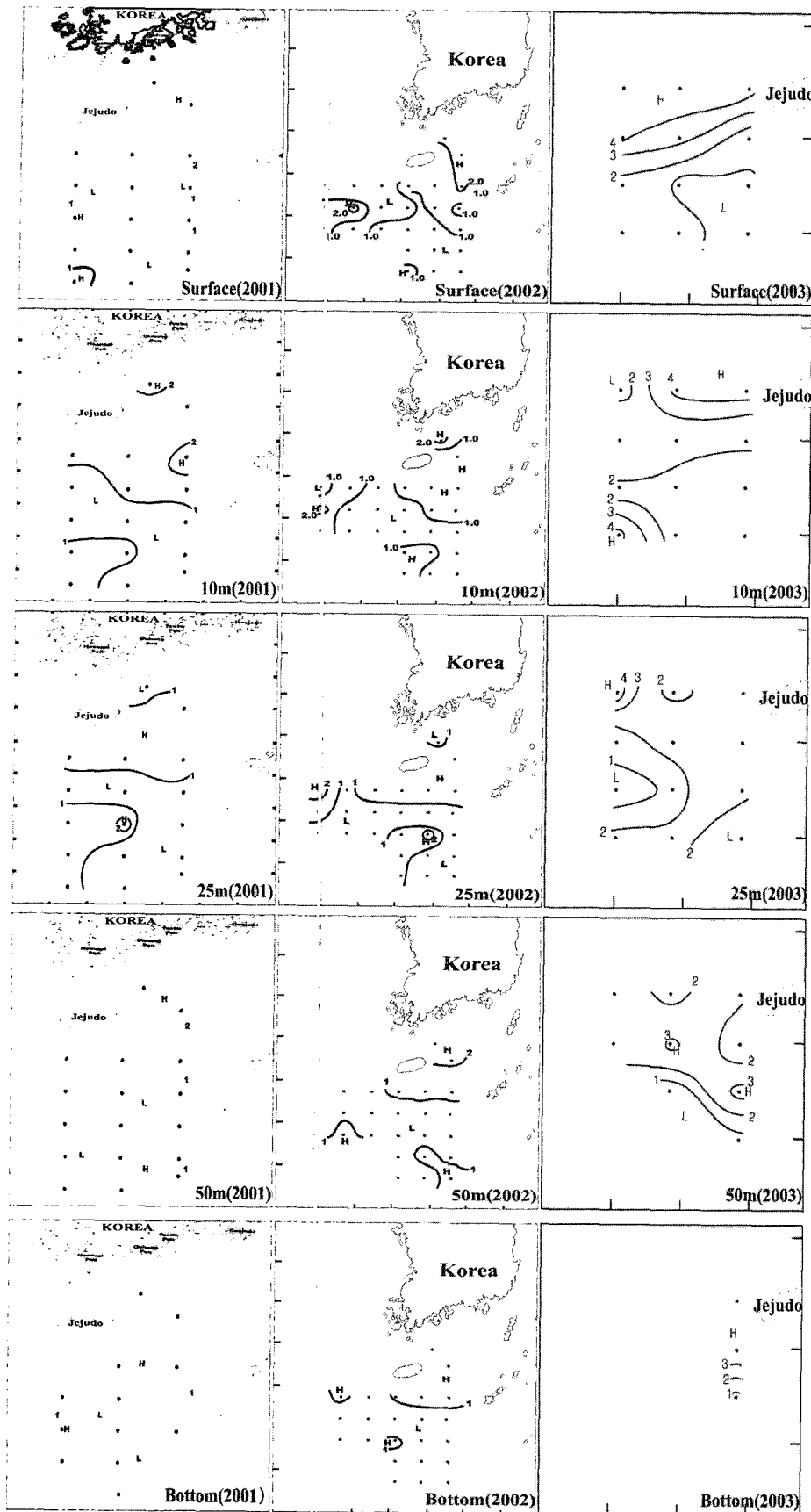


Fig. 4. Horizontal distribution of COD (mg/L) on 0 m, 10 m, 25 m, 50 m, and Bottom layer in the study area at June, 2001, 2002, and 2003, respectively.

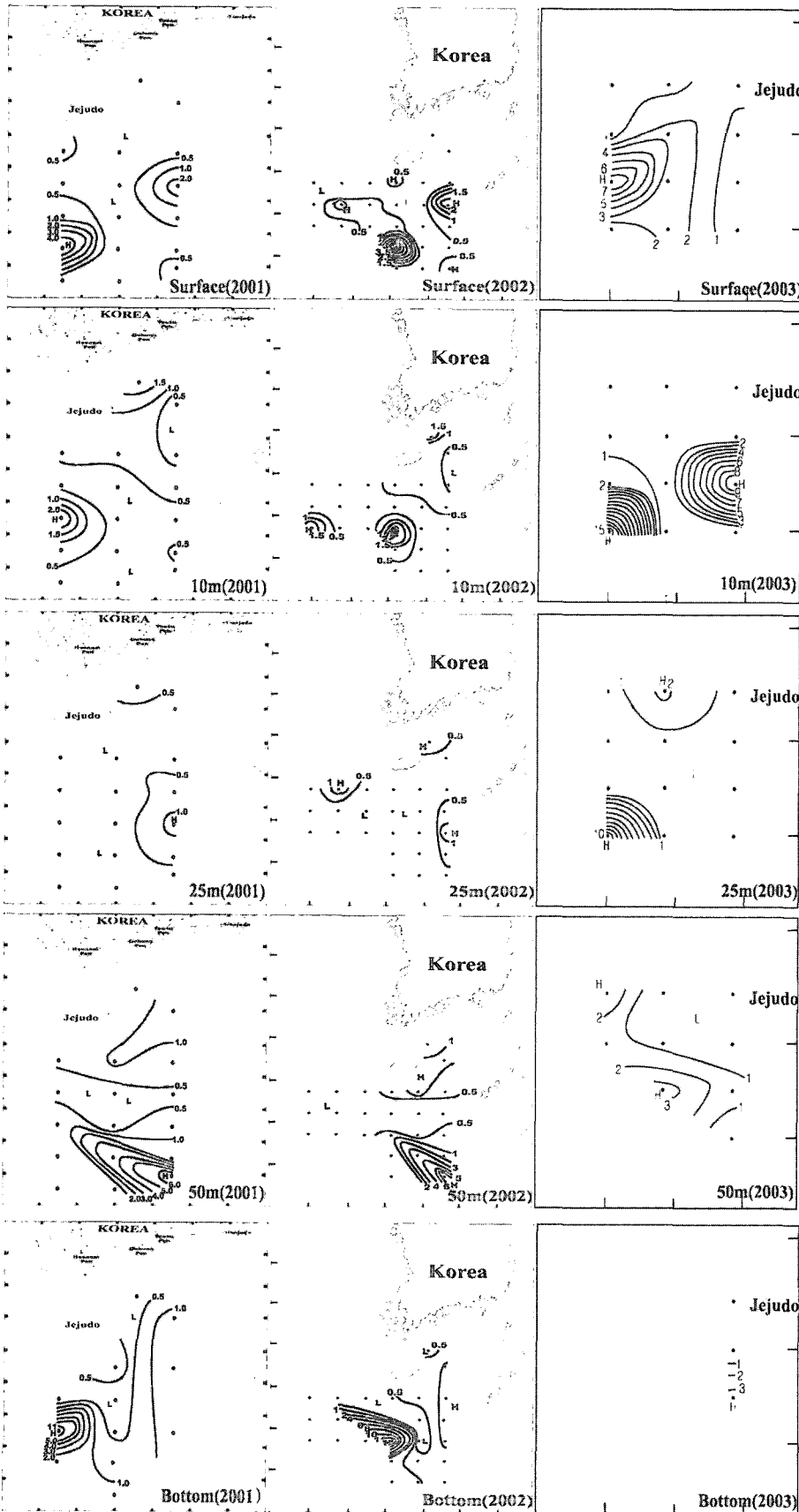


Fig. 5. Horizontal distribution of NH_4^+ ($\mu\text{g-at/L}$) on 0 m, 10 m, 25 m, 50 m, and Bottom layer in the study area at June, 2001, 2002, and 2003, respectively.

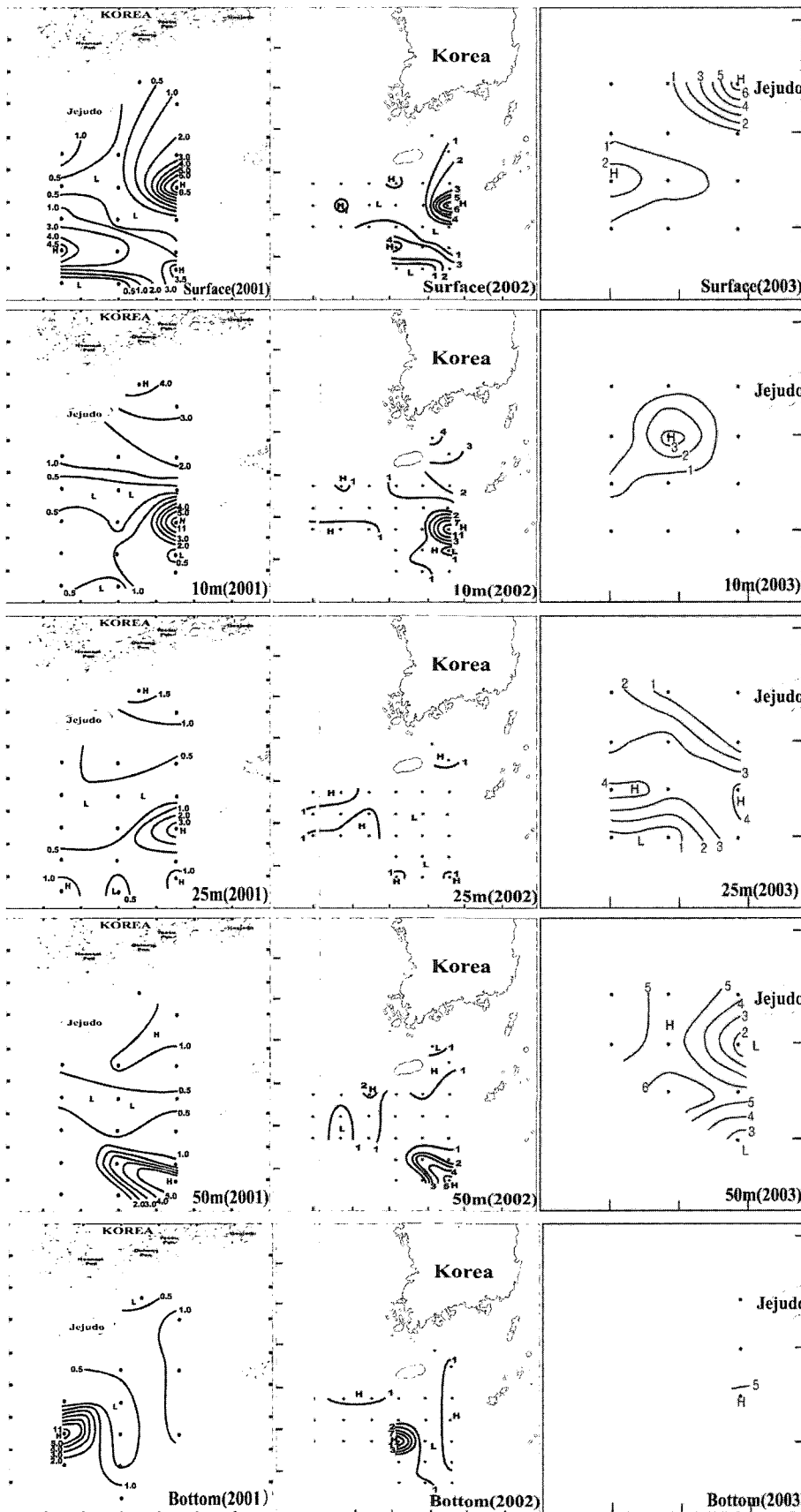


Fig. 6. Horizontal distribution of NO_3^- ($\mu\text{g-at/L}$) on 0 m, 10 m, 25 m, 50 m, and Bottom layer in the study area at June, 2001, 2002, and 2003, respectively.

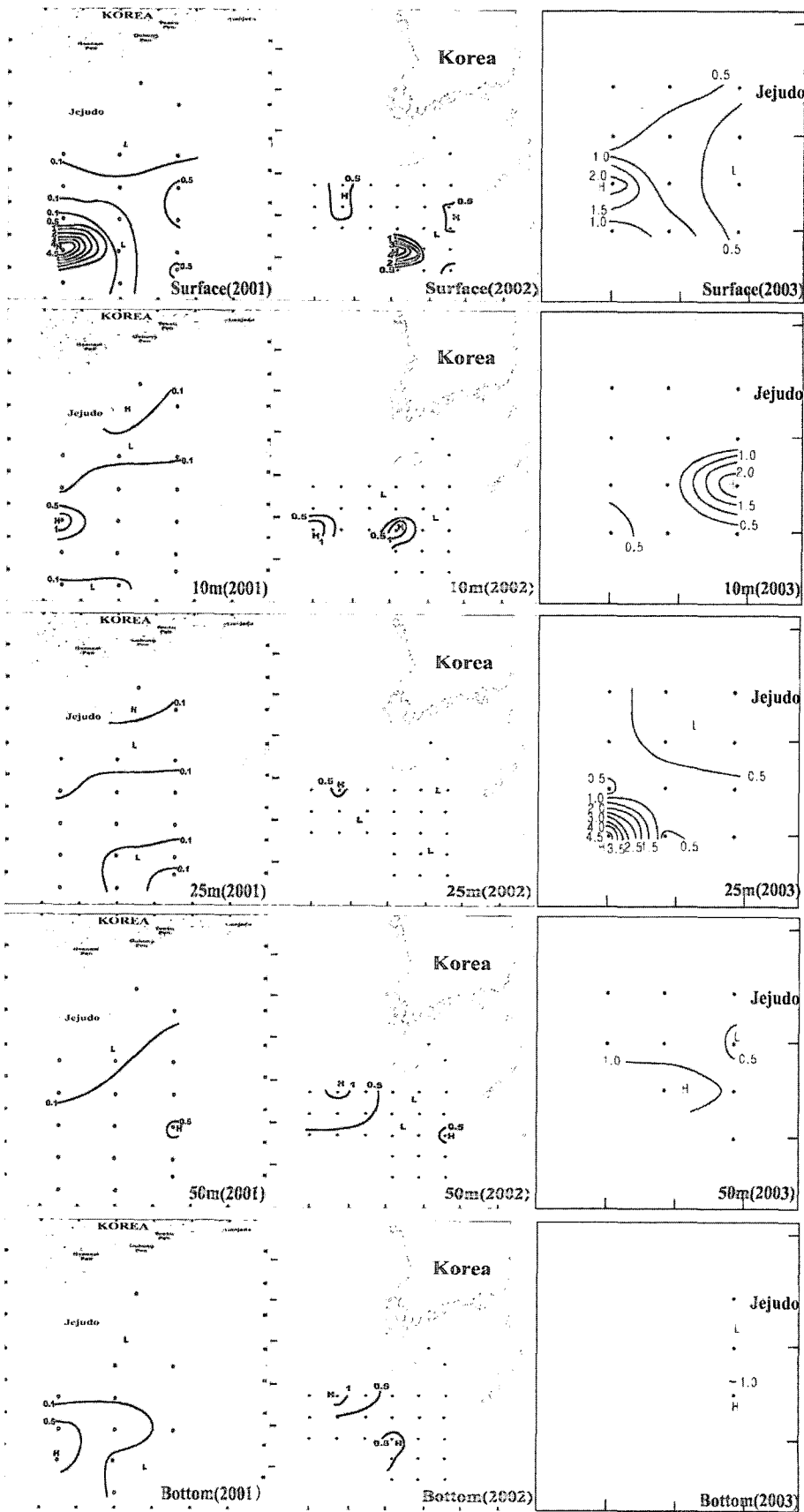


Fig. 7. Horizontal distribution of DIP ($\mu\text{g-at/L}$) on 0 m, 10 m, 25 m, 50 m, and Bottom layer in the study area at June, 2001, 2002, and 2003, respectively.

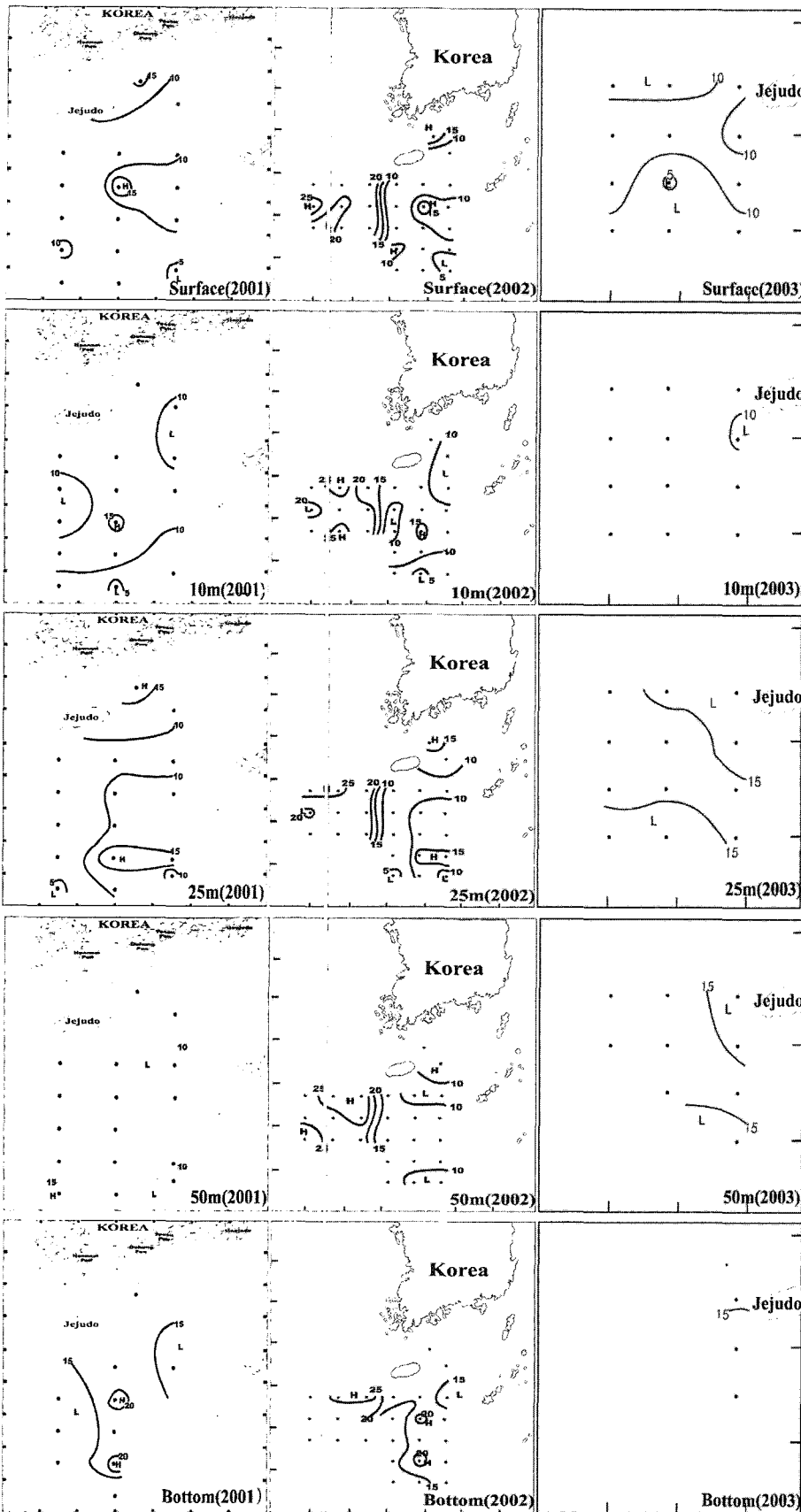


Fig. 8. Horizontal distribution of Si(OH)₄-Si(μg-at/L) on 0 m, 10 m, 25 m, 50 m, and Bottom layer in the study area at June, 2001, 2002, and 2003, respectively

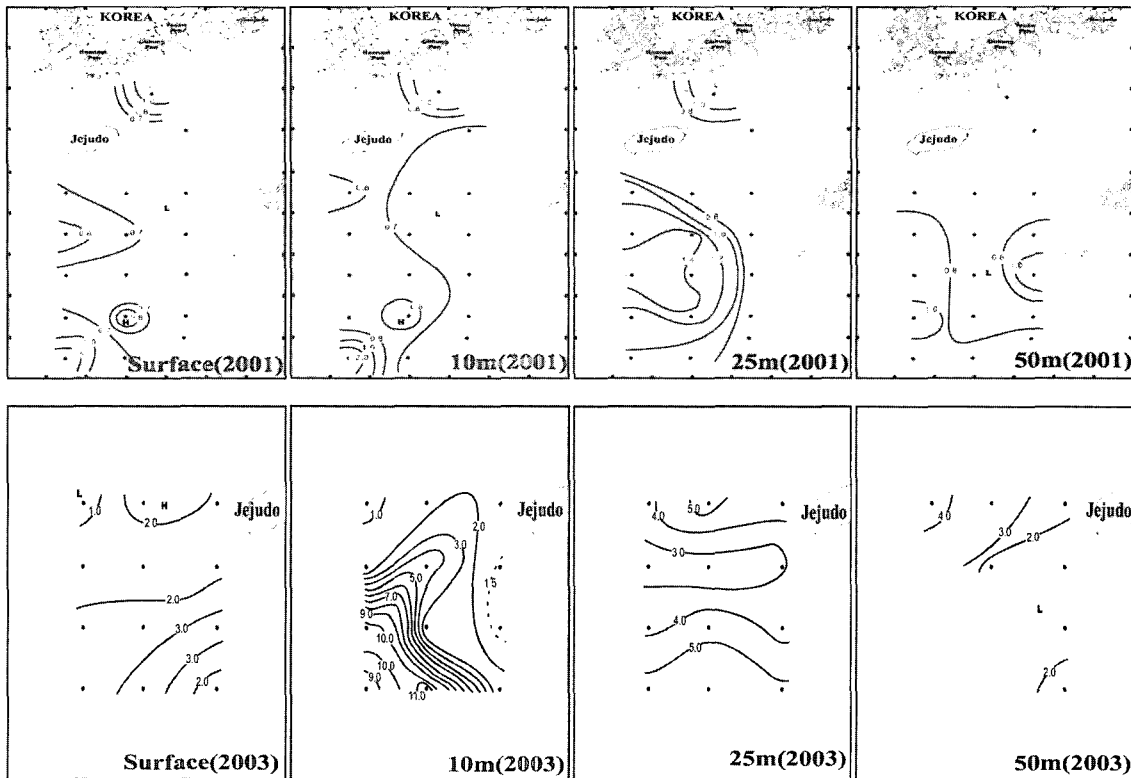


Fig. 9. Horizontal distribution of Chl. a(µg/L) on 0 m, 10 m, 25 m, and 50 m layer in the study area at June, 2001 and 2003.

년 모두 표층에서 제주도 동북해역인 남해 근해와 제주도 서쪽일부에서 고농도를 나타내어 해양수질환경기준 III등급에 해당하였으나, 대부분 해역은 II등급을 유지하였다. 2003년에는 표층에서 연구해역 북쪽은 해양수질 III등급을 초과한 고농도를 나타내었고, 남동쪽으로 갈수록 1 mg/L이하의 농도를 보여주었다. 이러한 COD는 육상에서의 오염원에 의한 공급보다는 식물플랑크톤의 생물량 분포 즉, 자생 COD와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

TSS의 수층별 평균값은 2001에 16.82-19.36 mg/L, 2002년에 10.77-22.92 mg/L, 그리고 2003년에 21.70-36.24 mg/L범위로 저층이 표층보다 다소 높았으며, 2003년에 가장 높은 값을 보였다. 조사해역의 남서쪽에서 양자강 유입의 영향으로 40 mg/L이상의 고농도를 나타내어 대상해역으로의 부유물 공급과 탁도에 양자강의 기여가 큰 것으로 판단되었다.

NH₄⁺-N는 Fig. 5와 같이 2001년에는 0.05-11.62 µg-at/L범위로 저층에서 평균 1.79 µg-at/L로 가장 높았고, 2002년에는 ND-1.35 µg-at/L범위로 표층에서 평균 0.42 µg-at/L로 가장 높은 값을, 그리고 2003년에는 0.15-15.10 µg-at/L범위로 양자강 하구 인접 정점의 10 m층에서 최대값을 나타내었다. 공간적으로는 2001년의 경우 표층, 10 m층과 저층에서는 연구정점의 남서쪽에서 2.0 µg-at/L이상의 고농도를, 중층에서는 남동쪽에서 다소 높은 분포를 보여주었다. 2002년도에는 2001년과 유사한 분포를 보였고, 중국대륙 인접한 정점에서 다소 높은 분포를 나타내었다. 2003년도에 제

주도 남서쪽에서 양자강의 영향으로 다소 높은 농도분포를 나타내었다. 이러한 분포는 동중국해에서 분석한 김[1995]과 Shen et al.[1992]의 결과보다 다소 높게 나타났다.

NO₂⁻-N의 수층별 평균값은 2001년에 0.04-0.09 µg-at/L, 2002년에 0.18-0.43 µg-at/L, 그리고 2003년에는 0.09-0.21 µg-at/L범위였고, 층별로는 2002년을 제외하고는 저층에서, 공간적으로는 조사해역의 남서쪽해역에서 높은 값을 나타내었다.

NO₃⁻-N은 Fig. 6과 같이 2001년에는 ND-11.56 µg-at/L범위로 10m층에서 평균 1.79 µg-at/L로 최대를, 2002년에는 0.07-2.03 µg-at/L범위로 저층에서 평균 1.80 µg-at/L로 최대를, 그리고 2003년에는 ND-6.66 µg-at/L범위로 저층에서 평균 4.49 µg-at/L로 최대를 나타내었고, 시기별로는 2003년에 가장 높은 값을 보였다. 공간적으로 살펴볼 때, 2001년 표층에서는 제주도 남동쪽과 남서쪽에서 고농도를, 중층에서는 남동쪽, 그리고 저층에서는 제주도 남서쪽에서 고농도를 나타내었다. 2002년에는 2001년과 유사하였고, 2003년 표층에서는 제주도 서쪽 인근해역에서 고농도를 나타내었고, 10 m층은 중앙부, 그리고 저층으로 갈수록 남서쪽에서 고농도를 보여주었다.

DIN(총용무기질소)은 2001년에는 수층별 평균값이 1.29-3.57 µg-at/L, 2002년에는 1.40-2.01 µg-at/L, 그리고 2003년에는 3.04-6.00 µg-at/L범위로 층별로는 저층이, 시기별로는 2003년에 가장 높은 값을 보였는데, 양자강으로 인접하는 정점일 수록 일본 수산

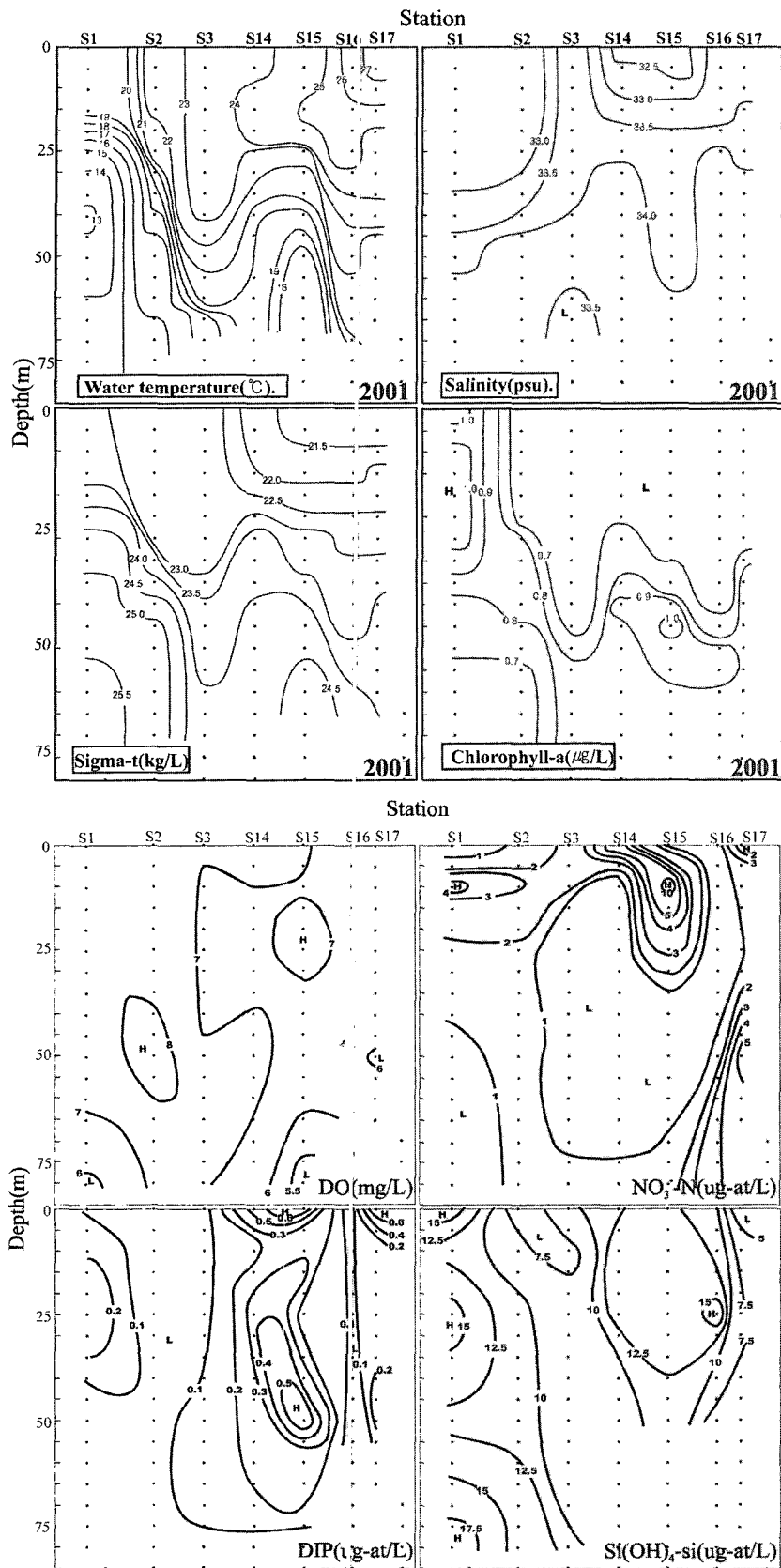


Fig. 10. Vertical distribution of water qualities along the S-E Line in the East China Sea at June 2001.

환경 수질기준(日本水産資源保護協會[1972])에 제시된 적조발생 가능농도인 7.14 $\mu\text{g-at/L}$ 를 상회하는 것으로 나타났다.

DIP(용존부기인)는 Fig. 7과 같이 2001년에는 0.05-4.60 $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 표층에서 평균 0.46 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최대를, 2002년에는 0.14-1.39 $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 저층에서 0.97 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최대를, 그리고 2003년에는 0.09-4.66 $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 50 m층에서 0.85 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최대를 보였다. 시기별로는 DIN과 같이 2003년에 가장 높은 값을 보였다. 공간적으로는 2001년에는 거의 모든 수층에서 남서쪽에서 고농도를, 2002년에는 연구정점들의 북서쪽에서 고농도를, 그리고 2003년에는 10m층에서 남동쪽에서 고농도를 보인 것을 제외하고는 대부분 남서쪽에서 최대분포를 나타내었다. 이러한 분포는 동중국해 북부해역에서 조사한 Shen et al.[1992]의 0.2-0.6 $\mu\text{g-at/L}$ 와 유사한 결과를 보였다.

TN은 2002년에는 0.77-8.48 $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 표층에서 평균 2.42 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최소를, 그리고 저층에서 7.50 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최대를 나타내었고, 2003년에는 0.48-139.21 $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 25m층에서 평균 15.77 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최대를 나타내었다. 대부분 정점에서 10 $\mu\text{g-at/L}$ 전후의 농도로 해역수질환경기준 I 등급을 나타내었지만, 10m와 25 m층 일부에서는 130 $\mu\text{g-at/L}$ 와 90 $\mu\text{g-at/L}$ 의 고농도로 III등급을 보였다.

TP는 2002년에는 0.42-7.62 $\mu\text{g-at/L}$ 로 표층에서 평균 2.01 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최대를 나타내었고, 평균적으로 표층은 해역수질환경기준 II등급이상, 나머지 층은 I등급을 나타내었다. 2003년에는 0.74-5.91 $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 평균적으로 모든 층에서 II등급을 나타내었고, 10 m와 25 m층의 남서쪽 일부해역에서는 III등급을 나타내었다.

DIN/DIP인 Redfield ratio는 2001년에는 0.93-75.20, 2002년에는 1.07-8.23, 그리고 2003년에는 1.95-22.19 범위로 2002년과 2003년에는 전 수층에서 평균값이 16이하의 값을 나타내었다. 층별로는 10 m층과 저층에서 상대적으로 높았고, 공간적으로는 육상쪽으로 갈수록 16이상의 값을 보여서 김[1995]과 유사한 결과를 나타내었다.

$\text{Si(OH)}_4\text{-Si}$ 는 Fig. 8과 같이 2001년에는 3.55-24.72 $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 저층에서 평균 15.99 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최대를, 2002년에는 17.01-29.16 $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 저층에서 평균 26.56 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최대를, 그리고 2003년에는 4.89-19.97 $\mu\text{g-at/L}$ 범위로 저층에서 평균 17.05 $\mu\text{g-at/L}$ 로 최대를 나타내었다. 공간적으로는 각 연구시점의 연구정점의 동쪽해역과 50m층의 남서쪽에서 상대적으로 높은 분포를 보여주었다.

식물플랑크톤 현존량을 나타내는 Chl. a 는 Fig. 9와 같이 2001년에는 거의 대부분 수층에서 1 $\mu\text{g/L}$ 전후로 표층과 10 m층에서 양자강 영향지역인 연구해역의 남서쪽에서 2.0 $\mu\text{g/L}$ 이상과 남해 근해에서 1.0 $\mu\text{g/L}$ 이상으로 상대적 고농도를 보여주었다. 특히, 25 m층에서는 황해 냉수괴가 확장되는 곳에서 부영양화기준인 10 $\mu\text{g/L}$ 를 초과하는 높은 생물량을 나타내었다. 전반적으로는 대만난류해역에서 낮은 분포를 보였다. 2003년에 조사한 지역은 2001년에 비해 중국대륙의 영향을 많이 받는 곳 즉, 영양염류의 농도가 높

기 때문에 상대적인 값이 높게 측정되었는데, 표층은 1-3 $\mu\text{g/L}$ 범위, 10 m층은 1-10 $\mu\text{g/L}$ 범위로 극대층을 이루었고, 조사해역 남서쪽에서는 10 $\mu\text{g/L}$ 이상의 고농도를 보였다. 25m층도 3-5 $\mu\text{g/L}$ 범위로 표층에 비해서 높았고, 남쪽과 북쪽에서 고농도를, 그리고 저층에서는 북서쪽으로 갈수록 4 $\mu\text{g/L}$ 이상의 상대적인 고농도를 보여주었다. 이러한 분포양상은 김[1995]과 Guo and Yang[1992]의 결과보다 높게 나타났다. 식물플랑크톤의 현존량은 기초생산력과 직결되고, 이것은 다시 어장의 생산성과 깊이 관련이 있다. 일반적으로 부영양화 내지 과영양화되어 식물플랑크톤의 폭발적 증식에 따른 적조가 발생되지 않는 범위에서 영양염류 공급에 따른 적절한 Chl. a 의 증가는 낮은 Chl. a 의 분포보다는 해양환경에 이로운 측면이 있을 수 있다. 대상해역의 수온, 염분, 영양염류 변동 등과 관련된 식물플랑크톤 분포변화의 세밀한 연구가 차후 수행될 필요성이 있다.

3.2 수질인자의 수직적 분포와 상관성

2001년 남해 외양역과 동중국해를 잇는 정선 S-E Line에서의 수질인자의 수직적 분포는 Fig. 10과 같다. 북쪽의 정점 S1과 S2 수층의 일부를 제외한 50 m수심까지 수온 20°C 이상에 염분 34psu 정도의 대만난류수가 광범위하게 분포하고 있으며, 50m층 이하에서는 저온 고밀도 특성을 나타내는 황해 냉수괴의 영향이 강하게 지배되고 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 Chl. a 농도도 황해냉수나 대륙연안수의 영향을 받는 수괴에서 상대적으로 높고, 대만난류 수괴에서 낮은 경향을 보였다. 북쪽의 정점 S1과 S2에서는 수온약층이 15-30 m층에서 보여지나, 외측으로 갈수록 깊어졌고 그리고 클로로필 농도 극대층도 수온약층이나 밀도약층 하부에서 보여지나, 대만난류영향을 강하게 받는 S15에서는 50 m수층에서 보였다. 용존산소분포도 북단의 정점에서는 30-60 m층에서 최대를, S14와 S15 정점에서는 15-30 m에서 최대분포를 나타내었고, 질산질소는 10 m층과 외양의 저층에서 고농도를 나타내었다. 인산인은 외양의 표층과 북단에서는 25 m층 그리고 S14와 S15에서는 50 m층에서 고농도를 보였는데, 이것은 클로로필 최대층과 거의 유사함을 보였다. 규산규소는 남해 근해의 모든 수층에서 고농도를 보였다.

2003년의 주요 정점에서의 수질인자의 수직적 분포는 Fig. 11과 같이 담수영향의 정도가 많은 정점에서 수온 및 밀도약층 형성 수심이 낮아지는 경향을 보여 양자강 하구에 가장 인접한 정점 S10에서는 10 m보다 낮은 수심에서 형성되었다. 전체적으로는 대략 10 m층에서 약층이 보여졌다. 즉, 수온 밀도약층의 형성수심은 조사대상해역의 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 깊어지는 경향을 나타내었고, 클로로필 농도의 극대층도 수온과 밀도약층 수심이나 하부에서 보여지나, S3에서는 약층보다 2배 깊은 수심인 30 m층에서 형성되었다. 특히, S3과 S12에서는 약층하부에서 클로로필 극대층을 형성한 후 점차 수심이 증가함에 따라 증가하였는데, 이는 식물플랑크톤의 종조성이 다소 운동력을 나타내는 외편모조류에 의한 것과 부유현탁물질에 대해서도 반응을 보이는 관측기계의 기계적 특성에서 오는 결과라 판단되었다.

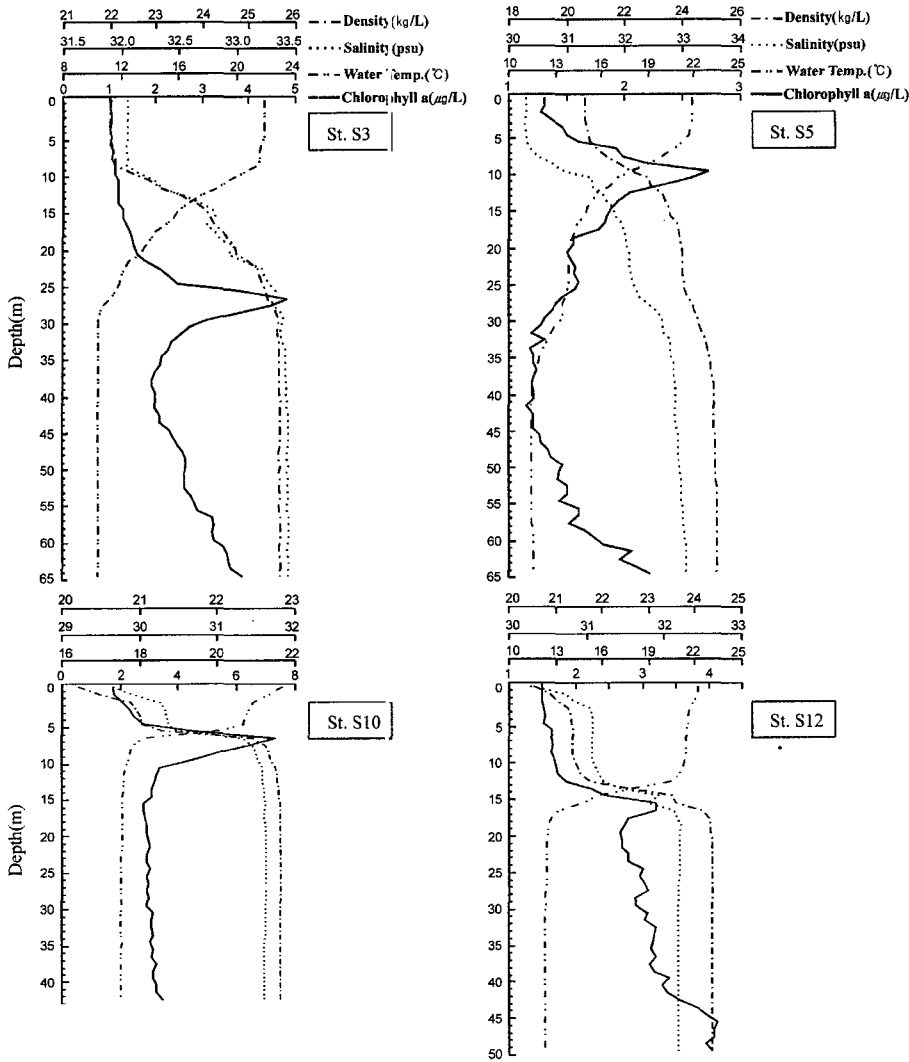


Fig. 11. Vertical distribution of water qualities in the East China Sea at June, 2003.

해양에서 보존적인 거동을 하는 염분과 표층에서의 주요 수질 인자와의 상관관계는 Fig. 12와 같다. COD와는 뚜렷한 상관성은 없는 것으로 나타났으나, 용존무기질소와는 저염일수록 농도가 증가하는 상관성이 나타났는데, 이것은 대상해역으로의 영양염류 공급기구, 즉, 대상해역으로 저염인 양자강을 포함한 담수에 의한 공급이 매우 중요한 기여를 한다고 할 수 있다. 이와 더불어서 염분과 Chl. a와도 매우 뚜렷한 음의 상관성을 나타내는데, 즉 저염수에서 높은 생물량은 영양염류의 공급과장과 깊은 관련이 있는 것으로 판단되어졌다. 이것은 양자강 하구쪽으로 갈수록 식물플랑크톤 생물생산과 적조발생가능성이 크다는 것과 일치된다. 또한, 이러한 Chl. a는 무기질소에 비해서 무기인과 더 상관성이 좋은 것으로 나타났다. 본 해역은 양자강을 포함한 담수유입과정으로 많은 양의 무기영양염류가 공급되어 일부 해역과 수층에서는 육상의 담수와 같이 무기인에 비해 무기질소가 많이 존재하지만, 대부분은 자연 해수와 같이 질소가 제한인자로 작용하고 있다. 그러나, 인의 순환과정과 존재량이 식물플랑크톤 현존량과 더 큰 상관성을 가진다는 것은 인의 거동에 대한 좀 더 세밀한 연구를 필요로 한

다. 식물플랑크톤과 COD와도 양의 상관성을 나타내었고, 또한 위에서 언급한 양자강 영향권을 포함한 대상해역에서의 높은 Chl. a 농도로 보아서 연구해역에서 유기물질 분포에 자생적인 영향이 큼을 암시한다고 할 수 있겠다.

한편, 동중국해에 미치는 수괴의 세력권에 대해서는 많은 연구자들에 의해 평가되고 있지만(Seung[1992]; Kondo[1985b]; Kim and Rho[1995]; 김 등[1998]), 본 연구조사결과로부터 명확한 해수유동경로를 추측하기는 어렵지만, 동중국해의 북동해역에 유입되는 대만난류수는 제주 남동쪽에서 멀리 떨어져 북동진하여 동해로 유입되고, 대만난류 수괴보다 황해냉수나 표층의 중국대륙 연안수의 영향을 받는 곳에서 높은 생물량을 나타내어 중국대륙에 기원하는 수괴확장이 클수록 동중국해의 생물생산이 높게 되는 것으로 판단되었다(Edmond et al.[1985]; Matsuda et al.[1989]; Yoon and Kim[1994]).

3.3 저질환경특성 및 평가

연구해역에서 2002년과 2003년에 조사한 저질특성은 Table 4-

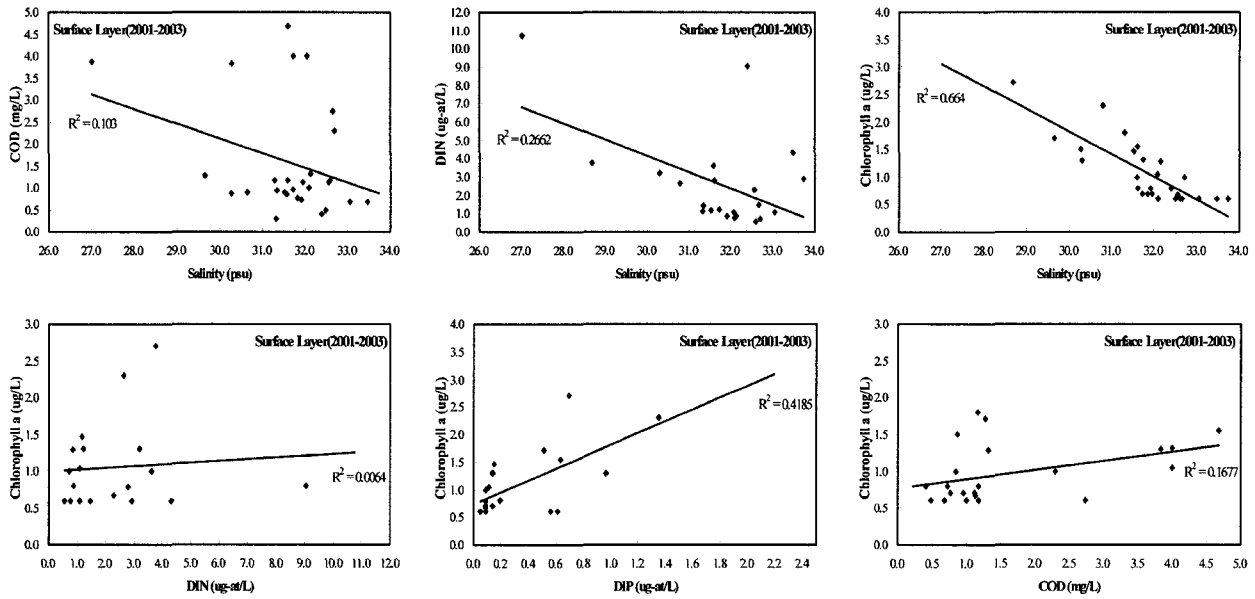


Fig. 12. Correlations between water qualities of surface layer in the study area.

5 및 Fig. 13과 같다.

퇴적물 유기물함량 지표의 하나인 강열감량(IL)은 2002년에는 3.43-7.29(평균 5.37)%범위로 S4에서 최대를 나타내었지만, 정점간 큰 변동은 없었다. 2003년에는 2.61-8.81(평균 5.60)%로 S6에서 최대를 보이는 등 연구해역의 남서쪽에서 비교적 낮고, 동쪽에서 고농도를 보여서 강과 최[2003]의 결과와 유사하지만, 2002년도와 비교해서 큰 변동은 없는 것으로 나타났다. 이러한 분포는 유사한 정점에서 분석한 김[1995]의 17-30%에 비해 낮은 것으로 나타났다. 또 다른 저질 유기오염의 지표 중 하나인 COD의 경우에는 2002년에는 0.64-8.94(평균 5.00)mgO₂/g-dry의 범위로 S4와 S8에서 고농도를 나타내었고, 2003년에는 0.86-11.86(평균 5.77)mgO₂/g-dry로 2002년 비해 다소 높았고, 북서쪽과 남동쪽에서 고농도를 나타내었다. 이러한 분포는 김[1995]의 결과에 비해 다소 높은 것으로 나타났지만, 또한 일본 수산용수기준(日本水産資源保護協會[1972])인 20 mgO₂/g-dry에 비해서 낮았다. 황화물(AVS)은 2002년에 ND-0.25 mgS/g-dry의 범위로 남서쪽에서 고농도를, 2003

Table 4. Range and mean values of analytical parameters in surface sediment at June, 2002.

Station	WC (%)	IL (%)	AVS (mgS/g-dry)	COD (mgO ₂ /g-dry)
S3	63.85	5.41	ND	0.64
S4	54.93	7.29	0.01	8.71
S5	66.05	5.62	0.13	6.57
S6	75.00	3.43	0.03	4.19
S7	81.66	4.59	ND	0.92
S8	66.85	5.90	0.25	8.94
Range	54.93-81.66	3.43-7.29	ND-0.25	0.64-8.94
Mean	68.06	5.37		5.00

Table 5. Range and mean values of analytical parameters in surface sediment at June, 2003.

Station	WC (%)	IL (%)	AVS (mgS/g-dry)	COD (mgO ₂ /g-dry)
S2	31.34	5.36	ND	3.62
S3	47.48	7.33	ND	11.86
S4	34.81	4.63	ND	7.47
S6	38.56	8.81	ND	6.68
S7	45.69	7.85	ND	5.11
S8	37.30	4.36	ND	5.86
S9	38.61	5.00	ND	6.05
S10	26.04	2.61	ND	0.86
S11	34.41	4.33	0.06	3.59
S12	40.81	5.72	ND	6.62
Range	26.04-47.48	2.61-8.81	ND-0.06	0.86-11.86
Mean	37.51	5.60		5.77

년에는 ND-0.06 mgS/g-dry로 2002년에 비해 낮은 값을 보였으며, S11 정점을 제외한 모든 해역에서 ND 값을 나타내었다. 이러한 양상은 일본 수산용수기준인 0.2 mgS/g-dry에 비해 대부분 낮은 것으로 나타났다.

황해에서는 유기오염의 지표를 나타내는 항목은 황해의 서쪽보다 동쪽에서 더 높게 나타나고 있는데, 이는 황해의 저질분포가 서쪽부분은 주로 sand로 되어 있고, 동쪽은 silt와 clay로 구성되어 있는 것과 그리고 한반도 인근으로부터의 유기오염이 중국보다 더 크게 나타나는 상황과 관련이 있다 하겠다(김[1999]). 본 연구에서는 정점간 그리고 저질항목간 다소의 불균직한 면이 있지만, 양자강쪽으로 갈수록 낮고 동쪽부분에서 유기오염의 정도가 상대적으로 크게 나타났지만, 그 오염도는 심하지 않는 것으로 판단되어 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료되었다.

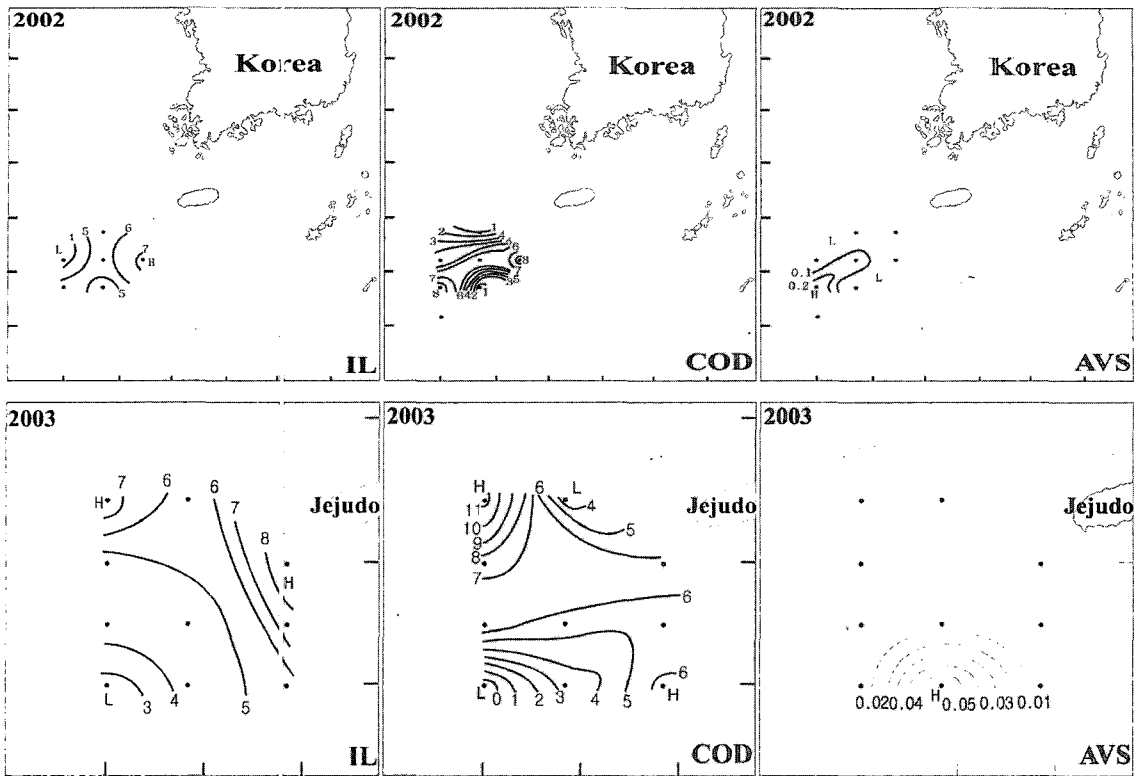


Fig. 13. Horizontal distribution of IL, COD, and H₂S of surface sediment in the East China Sea at June, 2002 and 2003.

3.4 연구제언

이상과 같은 연구결과를 바탕으로 다음 연구단계에서는 아래와 같은 과제를 수행할 필요성과 이에 따른 종합적인 연구접근이 이루어져야 한다고 본다.

- 1) 대상해역으로의 담수량 변동, 특히 산사댐 건설과 관련된 양자강 유량의 변화에 따른 대상해역의 고염분-저염분의 변동 예측과 저염분 확산범위를 파악하고, 중국의 남수북조(南水北調)정책에 따른 황해의 해양환경변동을 고찰
- 2) 기초생산력의 정량화와 환경변화에 따른 생물량 및 수질예측이 밖에 다른 세밀한 연구접근이 필요성에 따라 지속적으로 수행되어야 할 것이며, 다양한 연구자들사이에 활발한 공동연구가 이루어지는 것이 바람직하다 하겠다.

4. 결 론

남해 및 동중국해에서 2001년부터 2003년까지 하계의 수질과 저질환경특성을 파악해서 해양환경을 종합적으로 평가한 결론은 다음과 같다.

4.1 수 질

제주도 남서쪽 해역에서 표층 및 10m층의 수온은 북상하는 고온·고염의 쿠로시오 기원의 난류의 영향을 많이 받았고, 25m 및 50m층 황해냉수의 영향을 받는 저온수가 강하게 우측으로 압

박하는 양상을 띠었다. 특히, 연구해역의 남서쪽인 양자강 하구역에 인접한 정점에서는 29.0psu이하의 낮은 염분분포를 보였으나, 25m층과 50m층은 대만난류수 특성을 보이는 수괴와 황해 저층 냉수괴가 혼합하는 특성을 보였다. 수온 및 밀도약층은 대략 10m층에서 형성되었고, 양자강 하구쪽으로 갈수록 얕아지고, 멀어질수록 깊어지는 경향을 나타내었다.

유기물함량의 간접지표인 COD와 식물플랑크톤의 증식인자인 영양염류 농도로 볼 때, 대부분 해역의 표층에서 해양환경기준 II등급이하를 나타내었으나, 양자강 하구역에 근접한 정점들에서는 TSS농도가 급증하였고, COD는 해양환경기준 III등급을 초과하였을 뿐만아니라 영양염류도 적조발생 가능농도를 초과하였다. 또한, 남해 근해지역에서도 상대적인 고농도를 보여주었다. 조사시기별로는 2003년이 그리고 수층별로는 불규칙한 변동이 있지만, 유기물은 대략 표층 그리고 무기물은 저층에서 고농도를 보였다. Redfield ratio는 2002년과 2003년에는 전 수층에서 평균값이 16이하의 값을 나타내었고, 층별로는 10m층과 저층에서 상대적으로 높았고, 공간적으로는 육상쪽으로 갈수록 16이상의 값을 나타내었다. Chl. a는 상층에서 양자강 영향지역과 남해 근해에서 상대적 고농도를 보여주었는데, 특히, 황해 냉수괴의 영향을 받는 곳에서도 높은 생물량을 나타내어 대만난류해역에서 낮은 분포를 보인 것과 대조를 이루었다. 콜로로필농도 극대층은 대략 수온과 밀도약층 수심이나 그 하부에서 형성되었다.

용존무기질소는 저염일수록 농도가 증가하는 경향이 뚜렷하여

대상해역으로의 영양염류 공급기구는 저염인 양자강을 포함한 담수에 의한 공급이 매우 중요한 기여를 하는 것으로 나타났고, 염분은 Chl. *a*와 매우 뚜렷한 음의 상관관계를 나타내어서 높은 식물플랑크톤 생물량은 영양염류의 공급과정과 깊은 관련이 있는 것으로 판단되었다. 또한, Chl. *a*는 무기질소에 비해서 무기인과 상관성이 더 좋은 것으로 나타났고, 대상해역의 유기물질 분포에 식물플랑크톤에 의한 자생적인 기여가 중요한 것으로 평가되었다.

4.2 저 질

퇴적물의 유기물함량 지표인 강열감량은 2002년에는 3.43-7.29(평균 5.37)%, 2003년에는 2.61-8.81(평균 5.60)%범위로 연구해역의 남서쪽에서 비교적 낮고, 동쪽에서 높았다. COD는 2002년에는 0.64-8.94(평균 5.00)mgO₂/g-dry, 2003년에는 0.86-11.86(평균 5.77)mgO₂/g-dry범위로 2002년 비해 다소 높았고, 북서쪽과 남동쪽에서 고농도를 나타내었다. 황화물은 2002년에는 ND-0.25mgS/g-dry의 범위로 남서쪽에서 고농도를, 2003년에는 ND-0.06mgS/g-dry로 2002년에 비해 낮은 값을 나타내었다. 정점간 그리고 저질항목간 다소의 불규칙한 변동이 있지만, 저질조성과 관련해서 양자강쪽으로 갈수록 낮고 동쪽부분에서 유기오염의 정도가 상대적으로 크게 나타났지만, 그 오염도는 심하지 않는 것으로 판단되어 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료되었다.

사 사

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다(KRF-2004-075-C00020).

참고문헌

- [1] 강문규·최영찬, 2003, “제주도 서남방 동중국해에서 하계 입자성부유물 및 표층퇴적물의 C, N 분포 특성”, 한국해양환경공학회지, 6(4), 13-23.
- [2] 김광수, 1995, 생태계모델을 이용한 황해의 환경용량 산정, 부산수산대학교 대학원 박사학위논문, 159pp.
- [3] 김동명, 1999, 생태계모델을 이용한 황해의 부영양화 모델링, 부경대학교 대학원 박사학위논문, 135pp.
- [4] 김성수·고우진·조영조·이필용·전경암, 1998, “1996년 여름철 남해 표층수의 이상저염수 현상과 영양염류의 분포특성”, 한국해양학회지 「바다」, 3, 165-169.
- [5] 김인옥, 1986, 제주주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문.
- [6] 윤양호, 2002, “하계 동중국해 해양환경과 식물플랑크톤 생물량의 공간적 분포특성”, 여수대학교 수산과학연구소, 한국연안 및 동중국해의 해양생태계 연구보고서, 20-67.
- [7] 해양수산부, 2002, 해양환경공정시험방법.
- [8] 허만영·최영찬, 2004, “제주도 서남방 동중국해역에서 하계 해양진선 형성과 수질특성”, 한국해양환경공학회지, 7(2), 64-69.
- [9] 日本氣象協會, 1985, 海洋觀測指針.
- [10] 日本水産資源保護協會, 1972, 水産環境水質基準, 1-24.
- [11] Edmond, J.M., Spivack, B.C. Grant, M.H. Hu, Z. Chen, S. Chen, and X. Zeng, 1985, “Chemical dynamics of the Changjiang estuary”, Continental Shelf Research, 4, 17-36.
- [12] Guo Y. and Z. Yang, 1992, “Quantitative variation and ecological analysis of phytoplankton in the estuarine area of the Changjiang river”, Studia Marina Sinica(海洋科學集刊), China, 33, 153-189.
- [13] Guo, Y. and Y.S. Zhang, 1996, “Characteristics of phytoplankton distribution in Yellow Sea”, The Yellow Sea, 2(1), 90-103.
- [14] Hu, D., 1986, “Signature of El Nino in the East China Sea”, IOC Tech. Ser., Time Series of Ocean Measurements, 3(31), 43-50.
- [15] Kim, I.O. and H.G. Rho, 1995, “A study on China Coastal Water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island”, Bull. Korean Fish. Soc., 27, 515-528 (in Korean).
- [16] Kondo, M., 1985a, “Oceanographic investigations and the annual cycle of surface circulation in yellow Sea East China Sea and Korea strait”, La mer., 20, 210-222.
- [17] Kondo, M., 1985b, “Oceanographic investigations of fishing grounds in the East China sea and Yellow. I. Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50m and near bottom”, Bull. Seikai Regional Fish. Res. Lab., 62, 19-66.
- [18] Lie, H.J., 1986, “Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae”, Prog. Oceanog., 17, 229-242.
- [19] Matsuda, I., Y. Nishii, Y.H. Yoon, and T. Endo, 1989, “Observation of thermohaline structure and phytoplankton biomass in the shelf front of East China Sea during early summer”, J. Fac. Applied Biol. Sci., Hiroshima Univ., 28, 27-35.
- [20] 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., 199-367.
- [21] Shen Z., J. Lu, X. Liu, and H. Diao, 1992, “Distribution of characteristics of nutrients in the Changjiang River Estuary and the effect of the three gorges project on it”, Studia Marina Sinica, China, 33, 109-129.
- [22] Seung, Y.H., 1992, “Water masses and circulations around Korean peninsula”, J. Oceanogr. Soc. Korea, 27, 324-331 (in Korean).
- [23] Yoon, Y.H. and D.S. Kim, 1994, “A thermohaline structure and distribution of chlorophyll a in the East China Sea in summer”, Bull. Mar. Sci. Inst., Yosu Nat'l Fish. Univ., 3, 1-10 (in Korean).
- [24] Zhang, Q.L. and X.C. Weng, 1996, “Analysis of water masses in the south Yellow Sea in Spring”, The Yellow Sea, 2(1), 74-82.

2005년 2월 15일 원고접수

2005년 4월 27일 수정본 채택