

황해 해양투기해역에서의 해양화학환경

박용철 · 이효진 · 손주원 · 손승규¹
인하대학교 해양학과, ¹한국해양연구소 심해저자원연구센터

Chemical Environment of Ocean Dumping Site in the Yellow Sea

YONG CHUL PARK, HYO JIN LEE, JU WON SON AND SEUNG KYU SON¹

Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

¹Dee-Sea Resources Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

본 연구는 해양투기가 시작된 지 9년이 지난 현재 황해 투기해역과 주변해역의 해수질 현황을 파악하여 해양 투기가 해양환경에 미친 영향을 판단하고, 또한 투기해역 저층의 장기적인 영양염류 축적현상을 파악하여 해양 투기의 적정성 여부를 판단하고자 하였다. 투기해역은 주변해역과 비교할 때 영양염류 등이 저층에서 높게 나타나며 pH, 용존산소 포화도 등 기타 화학적 요인의 국지적 변화가 뚜렷하여, 해양투기에 따른 생지화학적 영향이 투기해역에 나타나고 있는 것으로 판단된다. 정점간 화학자료를 통계변수로 하여 수괴에 대한 집괴분석(cluster analysis)을 실시한 결과, 연구해역은 수온약층 상층의 표층수괴와 수온약층 이심의 저층수괴로 크게 2 대분 될 수 있었으며, 저층수괴는 다시 축적현상이 대체로 심화되어 있는 투기해역 저층수괴와 주변해역 저층수괴로 나뉘어 질 수 있었다. 한편 화학종 변수들에 대한 집괴분석 결과, 연구해역의 화학적 특성은 pH, 용존산소 포화도 그리고 COD의 특성과 영양염류 등의 특성에 따라 크게 2 대분 될 수 있었다. 이는 투기해역 저층에서의 유기물 산화에 따른 용존산소의 소비, CO₂ 증가에 따른 pH의 감소 그리고 높은 COD와 영양염류 농도의 증가 등의 요인을 반영한다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 연구결과는 투기해역이 해양투기에 의해 오염이 심화되고 있다는 사실을 뒷받침하는 것으로 사료된다. 한편 1987년 황해에서 해양투기가 시작되기 직전 투기해역 저층에서 연평균 3.7 μ M이던 총질소는 88년 해양투기 개시 이후 해마다 축적되어 92년에는 연평균 5.7 μ M로 증가되었으며, 본 연구가 수행된 96년과 98년에는 연평균 8.3 μ M에서 9.5 μ M까지 증가되어, 해양투기 이후 현재까지 영양염류가 약 250% 정도 농축되었다. 따라서 현재 황해의 투기해역은 환경용량을 초과하는 과도한 해양투기를 겪고 있으며, 이는 장기적으로는 황해 전반의 해양환경 및 수산환경에 악영향을 줄 가능성이 큰 것으로 판단된다.

To investigate impacts of waste disposal on the marine environment for 9 years since dumping activity commenced in the Yellow Sea, chemical analysis of seawater has been done in and around the ocean dumping site. Results show that biogeochemical changes have occurred locally in the dumping area compared with the reference area, resulting in low dissolved oxygen saturation, low pH, and high accumulation of nutrients in the bottom layer. According to cluster analysis, chemical environment of the study area can be largely divided into surface layer and bottom layer, and again the bottom layer can be divided into that of dumping area where nutrients are accumulated and that of reference area. Low pH, low dissolved oxygen, high COD and accumulation of nutrients mainly characterize the dumping area. Average concentration of total inorganic nitrogen in the bottom layer below the thermocline has increased from 3.7 μ M to 9.5 μ M, 250% accumulation in the dumping area since 1988. Therefore, the present results clearly show that the dumping site of Yellow Sea has received excessive sewage input beyond the environmental assimilatory capacity during the last decade. It may result in serious aggravation of seawater quality and basic ecosystem, and devastation of overall fishing grounds of Yellow Sea in the near future.

서 론

해양투기에 관련된 법률이 환경청에 의해 1988년에 신설된 이후, 육상폐기물의 해양투기가 황해 중부에 위치한 투기장과 부산/포항 외해에 위치한 투기장에서 실시되고 있는데, 투기물

의 성상은 식료품산업 폐기물과 폐산, 폐알칼리 등의 산업폐기물 그리고 분뇨 및 폐오니 등으로 조성되어 있다. 두 해역에서의 해양투기량은 1988년도의 100만 톤 규모에서 점차 증가하여 1996년에는 약 800만 톤에 이르렀다. 이러한 투기물의 조성 과 양적 증가는 70년대 중반 이후 세계적으로 해양투기가 감소되

고 투기장이 속속 폐쇄되는 추세에 역행하고 있는 것이다 (Deudall *et al.*, 1982; Manheim, 1982; Muir, 1982). 현실적으로 우리나라의 폐기물 발생량은 육상매립용량에 비하여 과도한 것이 사실이기 때문에 해양투기의 필요성도 부분적으로 인정될 수 있으나, 단순히 환경처리비용의 절감만을 고려한 현재의 근시안적 폐기물 관련 환경정책이 지속된다면, 이는 장기적인 국가 발전 및 국외 차원에서 볼 때 수산자원 보존과 국가 환경 위상에 커다란 손실로 나타날 수 있다.

해양투기가 제반 해양환경에 미치는 영향은 해역에 따라 상이하므로, 특히 황해와 같이 물리적 순환이 원활하지 못하고 생태적 제거용량이 포화되어 있는 해역은 해양투기장으로서의 기능과 적정 투기량 그리고 환경용량 등이 면밀하게 검토되어야 하나, 현재 우리나라의 해양투기는 이러한 과학적 검증없이 수행되고 있다 (Park and Choi, 1993). 황해의 중심해역은 매년 동계 기간 동안 수직적으로 혼합되며, 하계와 추계에는 성층이 형성되어 영양염류가 축적되는 순환을 반복하고 있다 (Son *et al.*, 1989). 하지만 황해 내의 수직혼합과 투기해역과 주변해역과의 수평적인 해수교환과는 개념적으로 상당한 시간의 차이가 존재하기 때문에 장기적인 물질 확산에 관한 물리환경적 고려가 해양투기의 운용에 있어서 매우 중요하다 (Park and Choi, 1993). 이와 동시에 만일 유입된 오염물질이 생태적 제거능력에 의하여 균형을 유지한다면 오염물질의 장기적인 축적이 일어나지 않을 것이기 때문에 투기해역의 영양염류 축적현상 여부에 대한 연구가 필요한 것이다. 따라서 본 연구는 해양투기가 시작된 지 9년이 지난 현재 황해 투기해역과 주변해역의 해수질 현황을 파악하여 해양투기가 해양환경에 미치는 영향을 판단하고, 또한 투기해역 저층의 장기적인 영양염류 축적현상을 파악하여 해양투기의 적정성 여부를 판단하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구조사는 1996년 7월과 1997년 11월 그리고 1998년 2월에 투기해역 및 주변해역에서 실시되었다. 97년 6월에는 투기해역 내에서 해양투기 후 시간에 따른 투기물의 농도변화를 조사하기 위한 연속관측이 실시되었으며, 투기해역 및 주변해역에서 각각 1 개 정점을 선정하여 일반 수질조사를 실시하였다. 연구해역의 조사정점은 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 분석에 필요한 시료는 니스킨 채수기(Niskin water sampler)를 이용하여 채수하였으며, 채취된 해수 중 영양염류 분석을 위한 시료는 묽은 염산(10% HCl)과 함께 초순수 세척 처리된 HDPE 시료병에 넣은 후 -20°C 이하에서 보관하여 실험실에 옮겨 분석하였다. 각 항목별 측정방법은 다음과 같다.

- (1) 수온 및 염분: 현장에서 CTD(Sea Bird)를 이용하여 측정하였다.
- (2) pH: 현장에서 pH meter(ORION 920A)를 이용하여 측정하였다.
- (3) 용존산소(DO): 현장에서 DO meter(YSI)를 이용하여 측정하였다.
- (4) 화학적 산소요구량(COD): 시료를 알칼리성으로 만든 후 과망간산칼륨 과잉량을 넣고 수욕에서 60 분간 가열 반응시킨

후, 요오드화칼륨 및 황산을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

(5) 부유물질(SS): 시료 1 l를 공극 사이즈 $0.45 \mu\text{m}$ 의 GF/C 여과지로 여과시킨 후 여과지를 80°C 에서 24 시간 건조시킨 후 전자저울(OHAUS)을 사용하여 정량하였다.

(6) 암모니아염-질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$): 시료에 페놀과 시안화나트륨 용액을 가한 후 알칼리성 시약과 차아염소산 나트륨(sodium hypochlorite) 용액의 혼합시료로 산화시킨 후, 분광기(spectrophotometer; Shimadzu double beam UV/Visible-260)로 파장 640 nm에서 발색된 시료의 흡광도를 측정하였다 (Solorzano, 1969).

(7) 아질산염-질소($\text{NO}_2^-\text{-N}$): 시료에 술파닐아미드(sulfanilamide)와 N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 용액을 가해서 발색시킨 후, 파장 543 nm에서 흡광도를 측정하였다 (Parson *et al.*, 1984).

(8) 질산염-질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$): NH_4Cl 완충용액(buffer) 상태에서 시료를 카드뮴관(cadmium column)에 통과시켜 아질산염으로 환원시킨 다음 술파닐아미드와 N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 용액에 의해 발색된 시료의 흡광도를 측정하였다. 흡광도를 카드뮴관의 환원율로 보정한 후 아질산염 질소의 농도를 감하여 질산염 질소의 농도를 구하였다 (Parson *et al.*, 1984).

(9) 인산염-인($\text{HPO}_4^{2-}\text{-P}$): 암모늄 몰리브데이트(ammonium molybdate), 황산, 안티몬 주석산칼륨(potassium antimonyl tartrate)의 혼합 시약을 시료에 가하고 아스코르브산(ascorbic acid)으로 환원하여 파장 885 nm에서 발색된 시료의 흡광도를 측정하였다 (Parson *et al.*, 1984).

(10) 규산염-규소($\text{Si(OH)}_4\text{-Si}$): 시료에 암모늄 몰리브데이트를 첨가하여 실리코몰리브데이트 혼합물(silicomolybdate complex)을 만든 후, 옥살산(oxalic acid)과 황산, 아스코르브산을 가하여 발색시켜 파장 810 nm에서 흡광도를 측정하였다 (Parson *et al.*, 1984).

결 과

물리적 환경 특성

연구해역의 영양염류 및 일반화학 자료는 Tables 1, 2에 표시하였다. 1996년 7월에 투기해역 바깥의 경기만 쪽에 위치한 정점 1과 2, 그리고 군산항 쪽에 위치한 정점 8과 9에서는 20 m 이하에서 수온약층은 다소 미약하게 형성되었고, 투기해역 내에 위치한 정점 3, 4, 6, 7에서는 20~30 m 부근에서 뚜렷한 수온약층이 형성되었다. 황해중심수역에 위치한 투기해역에서는 40 m 이심의 저층에서 $10.1\sim 11.8^{\circ}\text{C}$ 의 냉수괴가 존재하여 약 22°C 정도의 표층수괴와 약 11°C 의 큰 수온 차이를 보였다. 97년 11월에도 96년 6월과 유사한 수온분포를 보였으나, 수온약층의 수심이 40 m 부근으로 더욱 깊어졌으며 투기해역의 수온약층이 가장 뚜렷하였다. 98년 2월에는 연구해역의 수온이 $7.3\sim 8.1^{\circ}\text{C}$ 로 전반적으로 낮았으나 투기해역인 황해중심해역에서는 다소 높았으며, 수온약층은 형성되지 않았다. 이러한 수온 분포 특성은 과거 동일해역에서 조사된 Son *et al.* (1989)의 결과와 잘 일치하는 편이다.

황해중부해역은 동계에는 대기의 냉각효과와 강력한 북서계 절풍의 발달로 밀도약층이 소멸하고 수직혼합이 매우 강하게

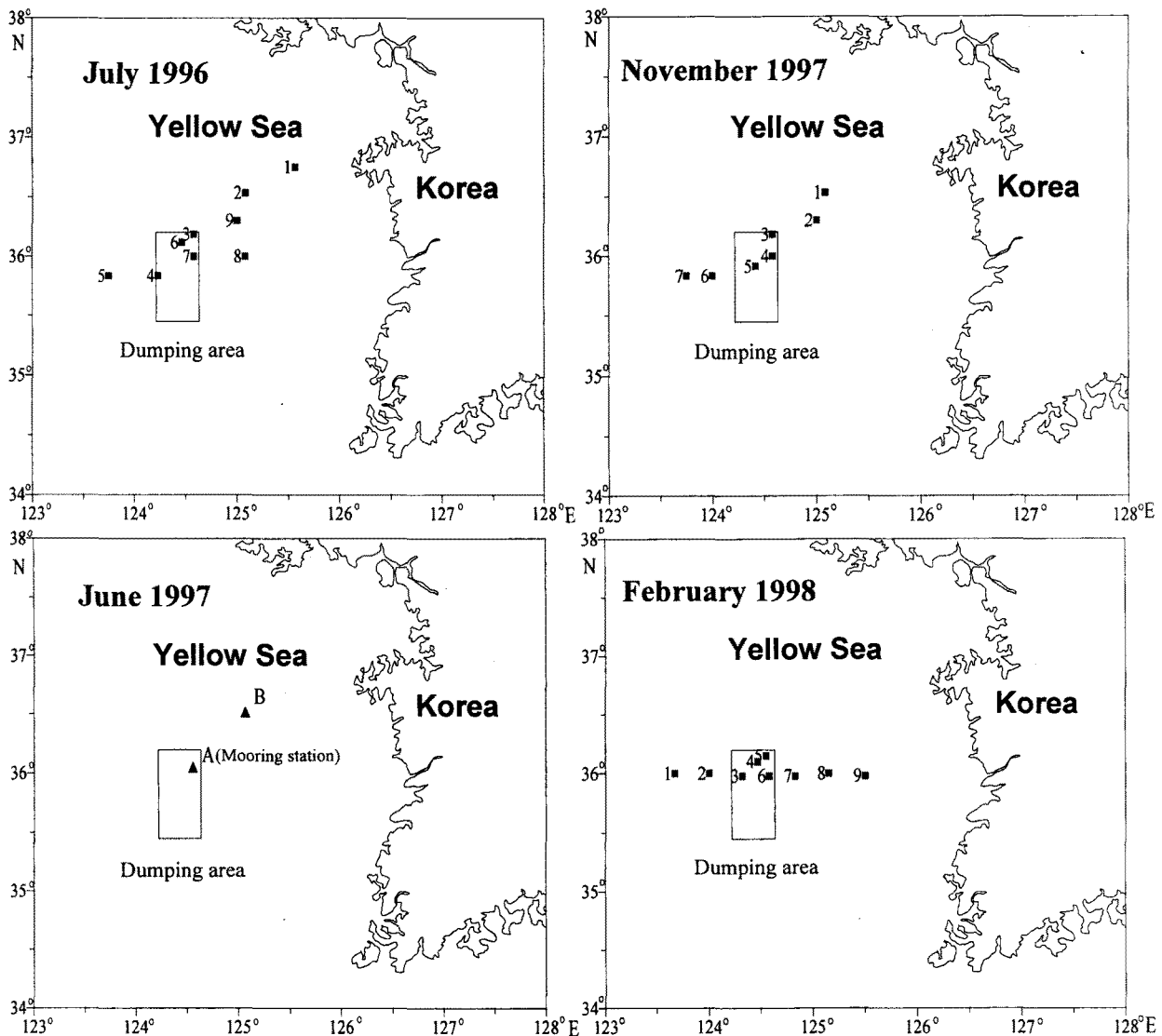


Fig. 1. Station maps of the study area. Rectangle represents the dumping area.

일어나므로 수직적인 차이가 거의 없이 표, 저 공히 10°C 이하의 수온을 보이며, 4월에서 11월 동안은 표층수온의 상승에 따라 성층이 형성되어 저층에는 주로 동계의 저층수와 일부 발해만으로 부터 기원된 냉수괴가 잔존하게 된다(Seung and Park, 1990). 따라서 투기해역의 밀도성층 기작은 염분보다는 해수온도 변화에 크게 좌우된다고 볼 수 있다. 이러한 황해중부해역에서의 밀도의 수직분포 변화는 매년 주기적으로 나타나 화학종 분포 및 순환 그리고 해양생태계에 커다란 영향을 미치게 된다. 특히 유기입자의 침강, 분해 및 무기영양염류의 재생산이 일어나는 저층수괴에서는 과도한 외부오염물질의 부하와 생화학적 제거기작의 불균형이 심화될 경우 화학종의 농축현상이 나타날 수 있다.

염분 또한 주변해역에 비하여 투기해역에서 상대적으로 높게 나타나 수온과 유사한 분포 경향을 보였는데, Seung and Park (1990), Park and Choi(1993) 등이 언급한 바와 같이 전체적으로 30.0~34.4 psu의 범위와 32.6 psu의 평균값을 보여 황해중심수역에서의 수괴 특성을 잘 나타내고 있다.

일반 수질(pH, 용존산소, COD) 분포

투기해역은 주변해역보다 유기물의 유입량이 많고 산화정도가 크기 때문에 pH나 용존산소 그리고 COD의 분포가 특이하게 나타날 수 있다. Table 1과 Fig. 2에 나타난 바와 같이 투기해역의 pH는 저층에서 감소하였는데, 이는 유기물 산화에 따른 CO₂의 증가에 의한 것으로 사료된다. 일반적으로 안정된 해수(35 psu 부근)의 pH는 8.1~8.2의 범위를 보이며 염분과 pH는 정의 상관관계를 갖는다. 대양의 경우 생물호흡과 분해활동이 활발하게 일어나는 800 m 부근의 수심에서 pH가 감소되기도 하나 그 이심에서는 다시 증가된다. 하지만 유기물의 과도한 유입으로 인하여 저산소 수괴를 이루고 있는 발트해나 흑해의 저층에서는 7.8 부근의 낮은 pH를 보이기도 한다(Goyet et al., 1991; Millero and Sohn, 1992). 따라서, 대양에 비하여 수심이 매우 얇은 투기해역의 저층에서 투기해역 바깥의 저층보다 pH가 낮은 것은 해양투기에 따른 과도한 유기물 유입이 투기해역의 저층수괴에 지화학적 영향을 미치고 있기 때문으로 판단된다.

Table 1. Seawater quality parameters in the study area

Station	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	pH	DO saturation (%)	DO	COD	SS	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Total Nitrogen		Si(OH) ₄
												(mg/l)	(μM)	
<i>July 1996</i>														
1	0	20.5	31.8	8.15	115.4	8.6	1.04	33.0	0.83	0.08	0.64	1.56	0.17	3.18
	10	18.7	31.5	8.18	112.7	8.7	1.04	30.5	0.80	0.17	0.31	1.27	0.20	3.20
	20	18.0	31.6	8.09	108.7	8.5	1.36	51.5	1.04	0.19	1.46	2.69	0.23	3.41
	40	15.7	32.4	8.06	99.5	8.1	0.76	38.5	1.44	0.46	1.88	3.78	0.32	4.21
2	0	21.6	32.1	8.13	104.3	7.6	1.12	36.0	0.65	0.17	0.52	1.34	0.12	1.32
	10	20.6	31.9	8.21	102.2	7.6	1.36	34.5	0.32	0.14	0.23	0.69	0.07	1.65
	20	17.2	32.5	8.16	107.6	8.5	0.60	42.0	0.18	0.15	0.23	0.56	0.12	2.03
	30	10.8	33.2	8.06	97.5	8.7	0.56	53.0	1.13	0.55	1.51	3.20	0.63	4.70
3	40	10.1	34.1	8.03	94.9	8.6	0.52	43.0	0.99	0.52	2.94	4.46	0.61	5.64
	60	10.0	33.2	8.06	97.5	8.9	0.76	36.5	1.28	0.55	3.28	5.11	0.66	5.49
	0	22.2	32.0	8.17	98.5	7.1	0.52	47.5	1.14	0.18	0.13	1.45	0.11	0.80
	10	20.2	32.0	8.12	100.9	7.6	1.24	47.5	0.53	0.18	0.24	0.95	0.04	0.86
4	20	18.8	32.5	8.17	101.8	7.8	1.28	39.5	0.34	0.15	0.31	0.79	0.06	0.83
	30	16.8	32.5	8.17	103.0	8.2	0.88	39.0	0.46	0.16	1.17	1.78	0.10	1.55
	40	11.8	33.3	7.98	92.3	8.1	0.32	49.5	0.26	0.12	4.21	4.60	0.40	5.23
	70	10.4	33.3	7.95	89.6	8.1	0.16	53.0	0.51	0.09	6.50	7.10	0.78	9.71
5	0	22.9	32.0	8.15	99.6	7.1	0.96	32.0	0.38	0.17	0.29	0.84	0.07	0.90
	10	22.3	32.0	8.15	97.2	7.0	0.92	41.0	0.14	0.14	0.39	0.67	0.08	0.83
	20	16.2	33.0	8.15	100.9	8.1	1.52	30.0	0.33	0.11	0.33	0.77	0.03	1.13
	40	11.3	33.2	7.98	93.5	8.3	0.16	42.5	0.12	0.13	3.66	3.91	0.43	7.78
6	70	10.8	33.4	7.90	81.5	7.3	0.08	37.5	0.44	0.11	8.16	8.71	0.88	14.80
	0	22.8	32.3	8.14	103.1	7.4	1.28	34.0	0.36	0.17	0.29	0.81	0.05	1.00
	10	22.1	31.6	8.19	100.8	7.3	0.60	36.5	0.35	0.14	0.48	0.97	0.07	0.89
	20	16.6	32.8	8.18	111.5	8.9	1.44	36.0	0.09	0.13	0.54	0.77	0.08	0.77
7	30	13.4	33.4	8.06	110.8	9.4	1.48	63.0	0.20	0.11	0.28	0.59	0.25	2.32
	40	11.8	34.4	7.98	102.1	8.9	1.44	41.0	0.67	0.20	1.85	2.73	0.30	5.42
	70	11.6	33.6	7.98	85.3	7.5	0.96	41.0	0.79	0.21	7.43	8.43	0.85	14.52
	0	22.8	32.2	8.19	99.6	7.1	1.64	31.0	0.50	0.11	1.13	1.74	0.11	0.86
8	10	23.2	32.2	8.18	97.5	6.9	1.44	33.0	0.35	0.16	0.14	0.65	0.06	0.74
	20	20.2	32.5	8.15	99.2	7.4	1.60	30.0	0.67	0.11	0.28	1.05	0.06	1.05
	30	13.0	33.4	8.05	94.7	8.1	1.60	33.0	0.35	0.13	4.26	4.75	0.54	6.64
	40	10.1	34.1	7.85	87.7	8.0	1.36	37.5	0.47	0.11	7.06	7.63	0.72	10.11
9	0	21.8	32.5	8.21	98.6	7.2	1.56	27.5	0.65	0.16	0.54	1.35	0.07	0.83
	10	22.0	32.4	8.17	99.9	7.2	1.56	58.0	0.67	0.12	0.37	1.17	0.09	0.74
	20	19.4	32.4	8.17	100.3	7.6	1.28	34.5	0.37	0.12	0.34	0.83	0.06	0.74
	30	18.6	31.9	8.17	99.7	7.7	1.80	47.0	0.12	0.08	0.18	0.38	0.04	0.75
10	40	10.4	33.6	7.86	84.2	7.6	1.48	40.0	0.15	0.09	9.56	9.80	0.79	10.24
	70	10.6	33.5	7.89	86.8	7.8	1.16	69.5	0.99	0.24	9.02	10.26	0.71	9.13
	0	21.5	32.2	8.20	101.4	7.4	2.00	56.5	0.68	0.17	1.79	2.64	0.08	0.95
	10	21.6	32.2	8.17	100.1	7.3	1.20	30.0	0.60	0.14	0.35	1.09	0.05	0.98
11	20	16.8	33.0	8.16	102.0	8.1	1.16	38.0	0.53	0.13	0.34	1.00	0.09	2.49
	0	21.3	32.3	8.17	98.4	7.2	2.16	30.0	0.59	0.13	0.52	1.24	0.04	0.89
	10	21.6	32.3	8.13	96.2	7.0	1.60	39.5	0.98	0.32	0.56	1.86	0.01	0.75
	20	11.8	33.1	8.02	94.5	8.3	1.12	21.5	0.51	0.22	3.18	3.91	0.46	4.96
Min.		10.0	31.5	7.85	81.5	6.9	0.08	21.5	0.09	0.08	0.13	0.38	0.01	0.74
Max.		23.2	34.4	8.21	115.4	9.4	2.16	69.5	1.44	0.55	9.56	10.26	0.88	14.80
Avg.		17.1	32.7	8.10	98.9	7.9	1.14	40.1	0.57	0.18	2.02	2.77	0.27	3.57
<i>June 1997</i>														
A (Dumping Site)	0	17.0	32.5				4.64	41.6	5.08	0.01	0.22	5.31		3.23
	30	10.2	32.7				2.84	60.4	4.19	0.24	0.89	5.32	0.27	2.94
	75	6.5	32.8				3.76	48.0	4.07	0.02	9.41	13.50	0.68	9.15
B	0	16.9	32.4				6.20	31.6	5.59	0.02	1.03	6.63		1.11
	30	6.2	32.7				5.52	50.4	6.95	0.15	1.22	8.32	0.39	3.89
	62	6.2	32.7				5.76	34.8	6.61	0.18	1.40	8.18	0.44	4.06
Min.		6.2	32.4				2.84	31.6	4.07	0.01	0.22	5.31		1.11
Max.		17.0	32.8				6.20	60.4	6.95	0.24	9.41	13.50		9.15
Avg.		10.5	32.6				4.79	44.5	5.41	0.10	2.36	7.88	0.44	4.06
<i>November 1997</i>														
1	0	15.3	32.8	8.18	87.1	7.1	1.92		2.36	0.21	0.90	3.47	0.31	20.64
	10	15.3	32.8	8.23	87.2	7.1			1.90	0.05	0.65	2.60	0.24	14.09
	20	15.2	33.0	8.21	84.9	7.0	1.84		1.99	0.19	0.96	3.14	0.38	12.31
	30	15.1	33.0	8.25	81.1	6.7	2.96		2.34	0.33	3.67	6.34	0.56	18.53
	45	12.8	33.1	8.09	65.9	5.7	1.76						0.83	25.73
2	0	15.7	32.2	8.26	87.0	7.1	2.80		2.51	0.18	0.74	3.43	0.18	13.53
	10	15.3	32.8	8.29	88.2	7.2	2.88		2.03	0.00	0.39	2.41	0.19	21.43
	20	15.0	32.9	8.25	88.1	7.2	4.00		3.12	0.52	1.27	4.91	0.24	15.15
	30	15.0	33.0	8.23	85.4	7.0	1.52		1.85	0.38	1.89	4.13	0.37	16.82
	50	11.0	33.1	8.09	64.0	5.7	0.48		1.76	0.00	6.66	8.42	0.77	18.66
3	60	10.7	33.1	8.06	64.2	5.8	1.60		2.08	0.00	6.39	8.47	0.75	20.30
	0	16.1	32.5	8.25	88.1	7.1	4.40		1.58	0.00	0.38	1.97	0.19	10.91
	10	16.1	32.7	8.27	87.9	7.1	5.04		1.39	0.00	0.42	1.81	0.14	10.52
	20	16.1	32.8	8.25	84.6	6.8	2.64		2.11	0.04	2.13	4.28	0.19	
	30	15.9	32.8	8.25	86.3	7.0	2.80		1.62	0.04	0.72	2.38	0.26	20.31
4	50	9.6	33.0	8.09	63.4	5.8	2.24		1.63	0.06	5.29	6.98	0.57	17.99
	70	7.9	32.9	8.01	63.6	6.1	2.00		1.65	0.00	6.62	8.27	0.75	17.04
	0	16.3	32.5	8.22	73.1	5.9	2.48		1.94	0.00	0.26	2.20	0.15	11.39
	10	16.2	32.7	8.27	83.2	6.7			1.54	0.00	0.22	1.76	0.16	18.11
	20	16.1	32.8	8.24	84.1	6.8			2.32	0.05	0.83	3.21	0.18	12.87

Table 1. Continued

Station	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	pH	Do saturation (%)	DO	COD	SS	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Total Nitrogen	HPO ₄ ³⁻	Si(OH) ₄	
						(mg/l)	(mg/l)		(μM)	(μM)	(μM)	(μM)	(μM)		
5	30	16.1	32.8	8.25	85.4	6.9			1.80	0.02	0.45	2.27	0.18	12.98	
	50	8.3	33.0	8.05	61.4	5.8	2.48		1.66	0.00	8.01	9.67	0.80	29.56	
	65	7.3	32.9	8.01	61.5	6.0	2.56		1.76	0.19	8.24	10.19	0.87	19.54	
	0	16.2	32.4	8.27	87.9	7.1	2.72		1.46	0.00	0.22	1.69	0.15	10.75	
	10	16.2	32.5	8.29	91.9	7.4	3.36		2.32	0.72	1.95	4.99	0.16	9.18	
	20	16.1	32.7	8.26	91.3	7.4	6.08		1.88	0.00	0.42	2.30	0.15	12.57	
	30	16.0	32.7	8.26	90.8	7.3	5.76						0.42	7.96	
	50	7.7	32.9	8.35	66.9	6.4	1.52		1.53	0.00	6.36	7.89	0.70	14.07	
	65	7.4	32.9	8.01	64.2	6.2	1.76		1.47	0.05	8.49	10.00	0.89	16.99	
	0	16.3	32.5	8.36	79.7	6.4	1.12		1.78	0.00	0.28	2.06	0.16	9.80	
6	10	16.3	32.5	8.30	81.0	6.5	1.28		1.89	0.11	0.56	2.56	0.14	9.99	
	20	16.3	32.5	8.32	89.2	7.2	1.52		1.43	0.00	0.07	1.50	0.12	14.40	
	30	16.2	32.7	8.32	89.7	7.2	1.68		1.37	0.00	0.06	1.43	0.10	12.26	
	50	8.7	33.1	8.15	71.4	6.7	2.32		1.38	0.00	5.46	6.83	0.64	18.18	
	60	8.4	33.1	8.07	58.7	5.6	1.76		1.64	0.00	8.84	10.47	0.97	21.52	
	0	16.3	32.3		65.9	5.3	2.32		2.24	0.27	1.50	4.00	0.17	7.15	
	10	16.3	32.3		85.2	6.9	1.44		1.93	0.00	0.26	2.19	0.12	11.25	
	20	16.2	32.6		86.3	6.9	1.12		1.79	0.00	0.27	2.06	0.19	8.97	
	30	16.1	32.7		85.8	6.9	1.04		1.83	0.00	0.29	2.12	0.16	10.01	
	50	9.0	33.3		55.7	5.2	0.56		1.57	0.00	6.71	8.29	0.75	12.78	
60	8.9	33.3		54.6	5.1	0.16		1.71	0.00	8.91	10.63	1.00	17.62		
Min.		7.3	32.2	8.01	54.6	5.1	0.16		1.37	0.00	0.06	1.43	0.10	7.15	
max.		16.3	33.3	8.36	91.9	7.4	6.08		3.12	0.72	8.91	10.63	1.00	29.56	
Avg.		13.7	32.8	8.21	78.1	6.6	2.32		1.85	0.09	2.76	4.70	0.40	15.10	
February 1998															
1	0	8.1	32.8	8.38	84.5	8.1	0.96		5.65	0.37	2.31	8.34	0.25	25.36	
	10	8.1	32.8	8.29	84.4	8.1	0.44		4.94	0.39	3.17	8.50	0.41	21.50	
	20	8.1	32.8	8.26	84.5	8.1	1.16		4.40	0.34	2.19	6.93	0.28	25.01	
	30	8.1	32.8	8.30	84.6	8.1	0.56		4.86	0.31	1.65	6.82	0.21	25.34	
	50	8.1	32.8	8.28	84.2	8.0	0.64		4.59	0.41	2.67	7.67	0.35	20.87	
2	65	8.1	32.8	8.28	84.0	8.0	1.24		4.76	0.34	3.79	8.89	0.31	19.93	
	0	7.9	32.9	8.48	82.6	7.9	0.68		5.03	0.30	5.18	10.51	0.37	20.31	
	10	7.9	32.9	8.31	83.0	8.0	0.36		4.72	0.40	3.45	8.57	0.42	23.36	
	20	7.9	32.9	8.27	83.1	8.0	0.64		5.08	0.31	3.32	8.71	0.33	16.27	
	30	7.9	32.9	8.24	82.9	7.9	1.36		5.10	0.35	5.19	10.64	0.36	27.43	
3	50	7.9	32.9	8.26	82.8	7.9	0.20		4.63	0.42	3.46	8.51	0.40	20.88	
	65	7.9	32.7	8.26	82.8	7.9	0.36		4.58	0.30	3.08	7.96	0.33	19.59	
	0	7.6	32.8	8.51	82.2	7.9	0.96						0.51	23.86	
	10	7.6	32.8	8.30	82.3	7.9	0.44		4.73	0.42	4.54	9.69	0.46	23.29	
	20	7.6	32.8	8.28	82.4	8.0	2.08		5.23	0.55	7.11	12.89	0.43	20.56	
4	30	7.6	32.8	8.27	82.4	8.0	1.00		4.95	0.32	3.96	9.23	0.36	24.99	
	50	7.6	32.8	8.25	82.4	8.0	0.68		4.62	0.34	4.13	9.10	0.48	23.66	
	70	7.5	32.8	8.23	81.8	7.9	0.72		4.58	0.38	4.37	9.33	0.50	27.05	
	0	7.4	32.9	8.35	81.0	7.9	1.28		4.98	0.26	5.75	10.99	0.59	34.63	
	10	7.4	32.9	8.24	80.9	7.8	1.40		7.66	0.25	5.67	13.58	0.63	24.34	
5	20	7.4	32.9	8.22	81.0	7.9	1.20		8.84	0.26	4.96	14.07	0.64	27.37	
	30	7.4	32.9	8.21	81.0	7.9	1.28		8.19	0.24	5.80	14.23	0.59	37.87	
	50	7.4	32.8	8.19	80.7	7.8	1.52		8.03	0.17	5.92	14.12	0.58	36.72	
	70	7.4	32.9	8.16	80.5	7.8	1.96		4.49	0.21	6.11	10.81	0.60	32.64	
	0	7.4	32.9	8.33	79.8	7.7	3.24		4.25	0.18	6.12	10.56	0.49	25.10	
6	10	7.4	32.9	8.24	80.2	7.8	1.12		4.74	0.23	6.40	11.38	0.62	29.14	
	20	7.4	32.9	8.22	80.2	7.8	0.80		5.20	0.18	6.24	11.62	0.66	40.90	
	30	7.4	32.9	8.20	80.3	7.8	0.36		3.44	0.24	6.56	10.25	0.61	25.91	
	50	7.4	32.9	8.20	80.3	7.8	0.80		1.59	0.16	6.19	7.94	0.63	28.20	
	70	7.4	32.9	8.19	80.4	7.8	1.28		5.62	0.20	6.37	12.19	0.61	37.09	
7	0	7.5	32.9	8.32	81.2	7.8	1.76		4.28	0.16	6.43	10.87	0.67	23.57	
	10	7.5	32.9	8.23	80.9	7.8	1.16		2.93	0.21	6.11	9.25	0.61	22.73	
	20	7.5	32.9	8.22	80.9	7.8	1.56		4.81	0.21	6.87	11.90	0.61	25.86	
	30	7.5	32.9	8.20	80.9	7.8	1.04		3.34	0.23	6.16	9.72	0.62	27.56	
	50	7.5	32.9	8.20	80.9	7.8	1.64		2.80	0.18	5.70	8.68	0.47	24.85	
8	70	7.5	32.9	8.19	80.7	7.8	2.84		2.59	0.21	6.76	9.56	0.60	23.44	
	0	7.5	32.9	8.21	82.6	8.0	2.36		3.57	0.12	7.64	11.33	0.64	24.07	
	10	7.4	32.9	8.18	81.9	7.9	0.64		2.16	0.11	6.75	9.03	0.66		
	20	7.3	32.9	8.20	81.8	7.9	0.72		3.41	0.14	6.52	10.07	0.69	26.17	
	30	7.3	32.9	8.19	81.8	8.0	1.04		1.88	0.07	6.76	8.71	0.67	33.35	
9	50	7.3	32.9	8.18	81.9	8.0	2.56		2.47	0.14	5.43	8.04	0.63	30.39	
	70	7.3	32.9	8.16	82.0	8.0	2.76		4.05	0.12	6.44	10.61	0.61	26.64	
	0	7.3	32.9	8.34	84.6	8.2	0.52		3.10	0.15	5.34	8.60	0.61	26.10	
	10	7.3	32.9	8.27	84.7	8.2	0.44		2.24	0.18	4.65	7.07	0.52	25.20	
	20	7.3	32.9	8.26	84.3	8.2	0.12		4.34	0.19	6.13	10.66	0.56	22.54	
10	30	7.3	32.9	8.25	84.3	8.2	0.60		2.05	0.16	5.59	7.80	0.54	21.16	
	50	7.3	32.9	8.24	84.4	8.2	1.16		2.46	0.19	4.84	7.49	0.49	22.20	
	65	7.3	32.9	8.26	84.4	8.2	0.44		2.72	0.14	5.35	8.22	0.59	27.00	
	0	7.8	33.0	8.37	84.8	8.2	0.36		1.61	0.25	6.88	8.74	0.77	34.34	
	10	7.8	33.0	8.28	85.0	8.2	0.20		2.46	0.25	7.32	10.02	0.75	24.78	
11	20	7.8	33.0	8.24	85.0	8.2	0.68		3.43	0.25	7.10	10.78	0.73	26.03	
	30	7.8	33.0	8.24	85.1	8.2	0.52		2.61	0.25	7.06	9.93	0.75	24.42	
	50	7.8	33.0	8.23	85.1	8.2	0.60		0.84	0.26	7.34	8.43	0.78	26.10	
	Min.		7.3	32.7	8.16	79.8	7.7	0.12		0.84	0.07	1.65	6.82	0.21	16.27
	max.		8.1	33.0	8.51	85.1	8.2	3.24		8.84	0.55	7.64	14.23	0.78	40.90
Avg.		7.6	32.9	8.26	82.5	8.0	1.06		4.15	0.25	5.40	9.80	0.54	26.11	

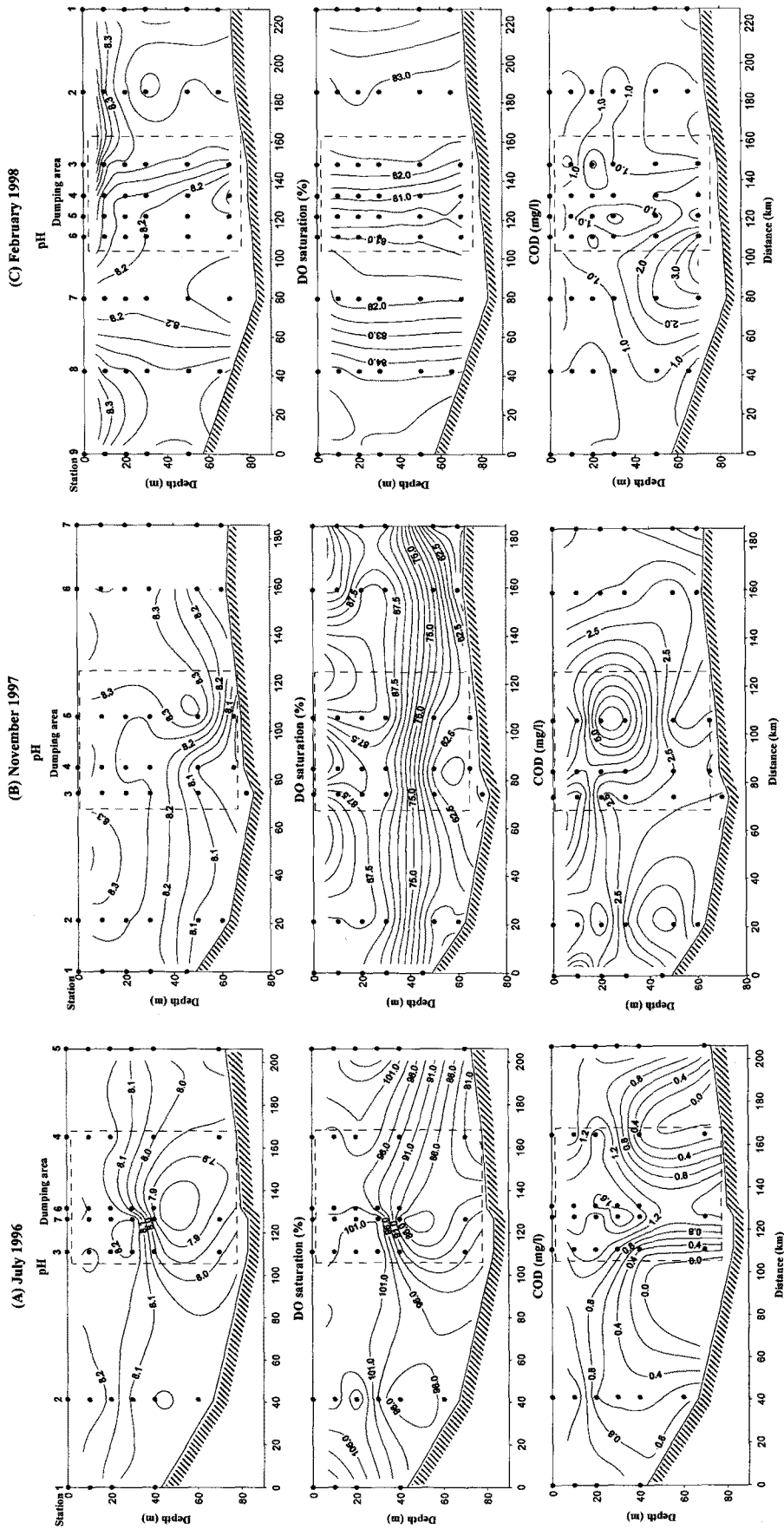


Fig. 2. Vertical sections of pH, DO, and COD in the study area in July 1996 (A), November 1997 (B), and February 1998 (C). Dumping area is designated as dashed line.

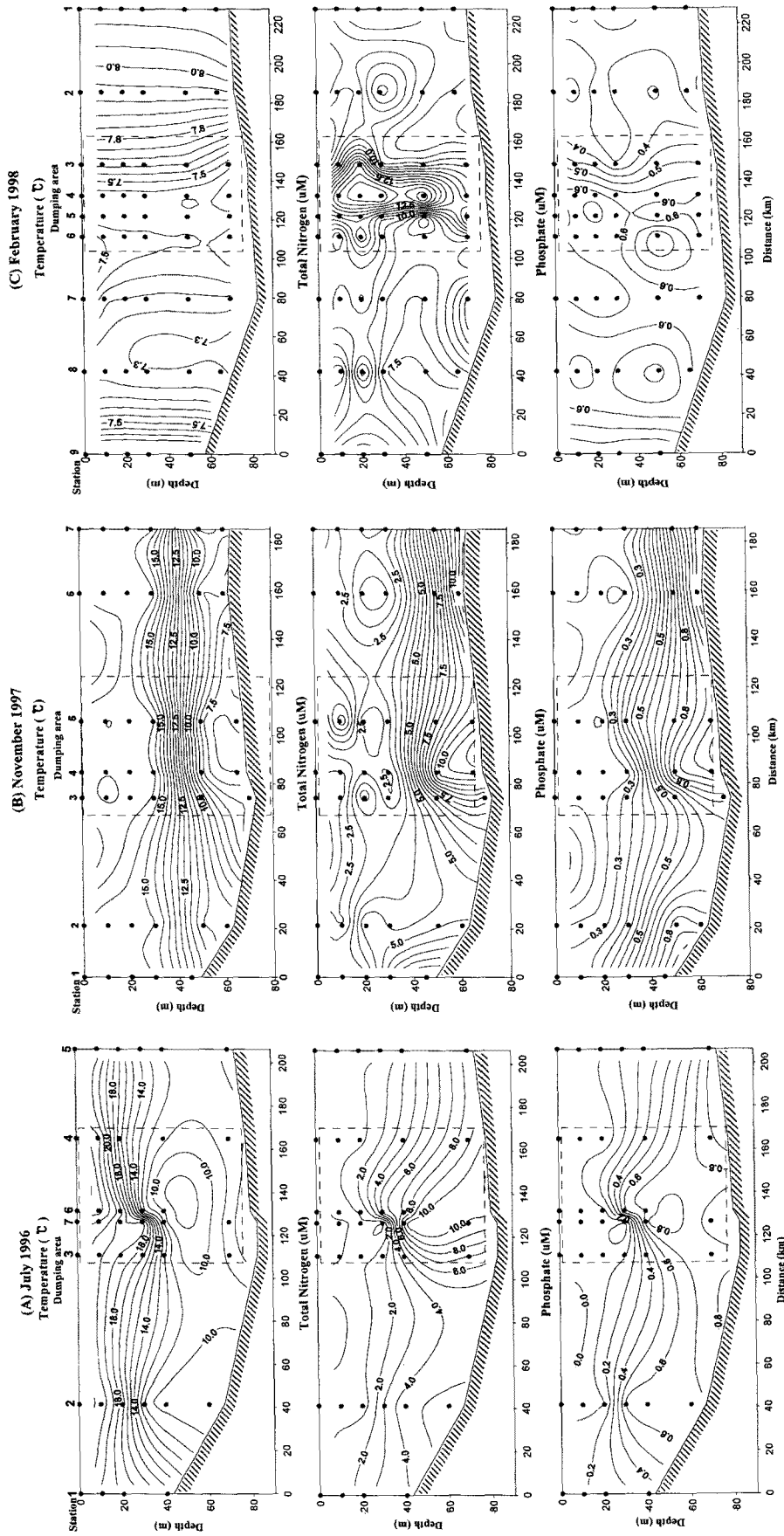


Fig. 3. Vertical sections of temperature, total nitrogen, and phosphate in the study area in July 1996 (A), November 1997 (B), and February 1998 (C). Dumping area is designated as dashed line.

이미 잘 알려진 바와 같이, pH의 감소는 탄산염 입자의 가수화학적 용해를 증가시키고 CO₂ 분압을 높여 해양의 CO₂ 흡수능력을 저해할 수 있다.

연구해역의 용존산소 분포는 Table 1과 같다. 용존산소 포화도는 96년 7월에 81.5~115.4%의 범위와 98.9%의 평균값, 97년 11월에 54.6~91.9%의 범위와 78.1%의 평균값, 그리고 98년 2월에 79.8~85.1%의 범위와 82.5%의 평균값을 보였다(Table 1). 특이한 것은 투기해역의 저층에서 주변해역의 저층보다 상대적으로 낮은 용존산소 포화도를 보이는 점이다(Fig. 2). 투기해역 저층에서의 용존산소 포화도 감소는 물리적 포화도 변화보다는 유기물 산화에 인한 것이기 때문에 pH의 감소와 정의 상관관계(96년 7월: $r=0.76$; 97년 11월: $r=0.72$)를 보인다. 이러한 pH 변화와 호흡에 의한 용존산소 변화(AOU)는 $\Delta pH = -2\Delta AOU(\text{mM})$ 의 관계를 보인다(Park, 1968). 따라서 해양투기 유기물의 산화에 따른 용존산소의 소비가 투기해역 저층에서 집중적으로 일어나고 있음을 알 수 있다.

투기해역의 COD는 표, 저 공히 주변해역보다 높게 나타나, 앞서 언급된 pH나 용존산소의 결과와 마찬가지로, 해양투기에 따른 유기물 유입이 투기해역에서 집중적으로 일어나고 있음을 보여준다(Table 1; Fig. 2). 이러한 결과는 투기해역에서의 물질 확산이 수직혼합이 활발한 동계를 제외하고는 초기 투기해역 환경영향평가 결과와는 달리 원활하지 못함을 지시하고 있다. 이에 따라 COD 기준으로 투기해역의 수질이 96년 7월에 II등급, 그리고 97년 11월에는 III등급으로 악화되었다.

영양염류 분포

1996년 7월에 연구해역의 질소계 영양염류 중 암모니아는 0.09~1.44μM의 범위와 0.57μM의 평균값, 아질산염은 0.08~0.55μM의 범위와 0.18μM의 평균값, 그리고 질산염은 0.13~9.56μM의 범위와 2.02μM의 평균값을 보였다(Table 1). 저층(40 m 이하)의 경우 암모니아와 아질산염 농도는 투기해역과 주

변해역 사이에 큰 차이가 없었으나, 질산염의 경우는 각각 평균 6.88μM과 3.48μM로 투기해역에서 월등히 높았다. 총질소(암모니아+아질산염+질산염)는 0.38~10.26μM의 범위를 보였으며, 투기해역과 주변해역의 저층에서 각각 평균 7.43μM과 4.90μM로 나타나 투기해역에서의 총질소 축적현상이 뚜렷하였다(Fig. 3). 97년 6월의 총질소량은 96년 7월보다 전반적으로 높게 나타났는데, 투기해역 내 정점 A의 저층과 주변해역의 정점 B 저층의 총질소는 각각 13.50, 8.18μM로 96년과 마찬가지로 투기해역에서 높게 나타났다. 암모니아/질산염의 비율은 96년 7월에 0.3으로 낮았으나 97년 6월에는 2.3으로 증가하였는데, 이는 해양투기물질의 환원 특성 때문으로 판단된다. 이러한 암모니아/질산염 비율의 증가는 투기되는 폐기물 중 분뇨 투기량의 증가와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다. 97년 11월의 총질소는 1.43~10.63μM의 범위와 4.70μM의 평균값을 보였는데 96년 7월과 마찬가지로 투기해역의 저층에서 주변해역의 저층보다 높게 나타났다. 98년 2월에는 수직적인 혼합이 매우 강하여 투기해역의 총질소가 표, 저층 공히 주변해역보다 월등히 높게 나타났다(Fig. 3). 이는 동계의 낮은 수온으로 인하여 식물성 플랑크톤에 의한 질소 흡수량이 작았기 때문이다. 한편 동계의 경우 투기해역(정점 4)의 암모니아는 7~8μM로 주변해역보다 높았으며, 암모니아/질산염의 비율은 1.2로 하계의 0.3보다 높게 나타났다.

연구해역의 인산염과 규산염은 96년 7월에 각각 0.03~0.88μM, 0.74~14.80μM의 범위를 보였고 97년 6월에는 0.27~0.68μM, 1.11~9.15μM의 범위를 보였다. 인산염과 규산염은 질소계 영양염류와 마찬가지로 투기해역의 저층에서 주변해역의 저층보다 높게 나타났다. 투기해역의 저층에서 총질소와 인산염이 공히 주변해역의 저층에서보다 높게 나타나는 것은(Fig. 3) 저층으로 침강, 유입된 유기물의 일부가 분해과정에 의해 재생산되어 축적되기 때문이다. 따라서 영양염류도 pH, DO, COD 등의 결과와 마찬가지로 해양투기에 의한 황해중심해역의 해양환경 변화를 보여준다.

Table 2. Time series observation after waste disposal at dumping site (Station A) in June 1997 (Starting time: 7:50)

Time	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (psu)	COD	SS	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Total Nitrogen	HPO ₄ ²⁻	Si(OH) ₄
				(mg/l)					(μM)		
8:00	0			12.48	71.5	178.73	0.18	0.51	179.43	0.00	3.27
	30	8.8	32.8	4.12	36.0	3.99	0.26	1.33	5.58	0.11	2.90
	75	6.7	32.8	4.28	39.6	4.60		9.13	13.73	0.49	8.57
12:00	0	17.4	32.5	4.96	41.2	4.83		0.28	5.12		2.46
	30	12.2	32.6	4.28	30.8	4.80	0.03	2.45	7.27	0.16	4.41
	75	7.0	32.9	2.60	48.8	4.27		7.81	12.08	0.47	9.08
16:00	0	17.8	32.5	4.08	44.4	4.22		0.20	4.41		2.23
	35	7.0	32.8	3.52	36.0	3.71	0.30	1.25	5.26	0.15	3.14
	75	6.9	32.8	3.36	56.0	3.24		7.52	10.76	0.40	8.78
20:00	0	17.6	32.5	3.88	35.6	4.59		0.31	4.90		2.31
	35	6.6	32.8	1.28	40.0	4.59		7.75	12.34	0.38	9.24
	75	6.9	32.8	2.48	52.0	4.51		7.79	12.30	0.45	9.21
24:00	0	17.3	32.5	3.04	30.8	4.31		0.37	4.69		2.64
	35	6.9	32.8	2.56	46.0	3.68	0.01	6.37	10.06	0.25	8.04
	70	6.9	32.8	2.76	37.2	4.03	0.01	7.45	11.49	0.41	9.19
Min.		6.6	32.5	1.28	30.8	3.24	0.01	0.20	4.41	0.00	2.23
Max.		17.8	32.9	12.48	71.5	178.73	0.30	9.13	179.43	0.49	9.24
Avg.		10.4	32.7	3.98	43.1	15.87	0.13	4.04	19.96	0.30	5.70

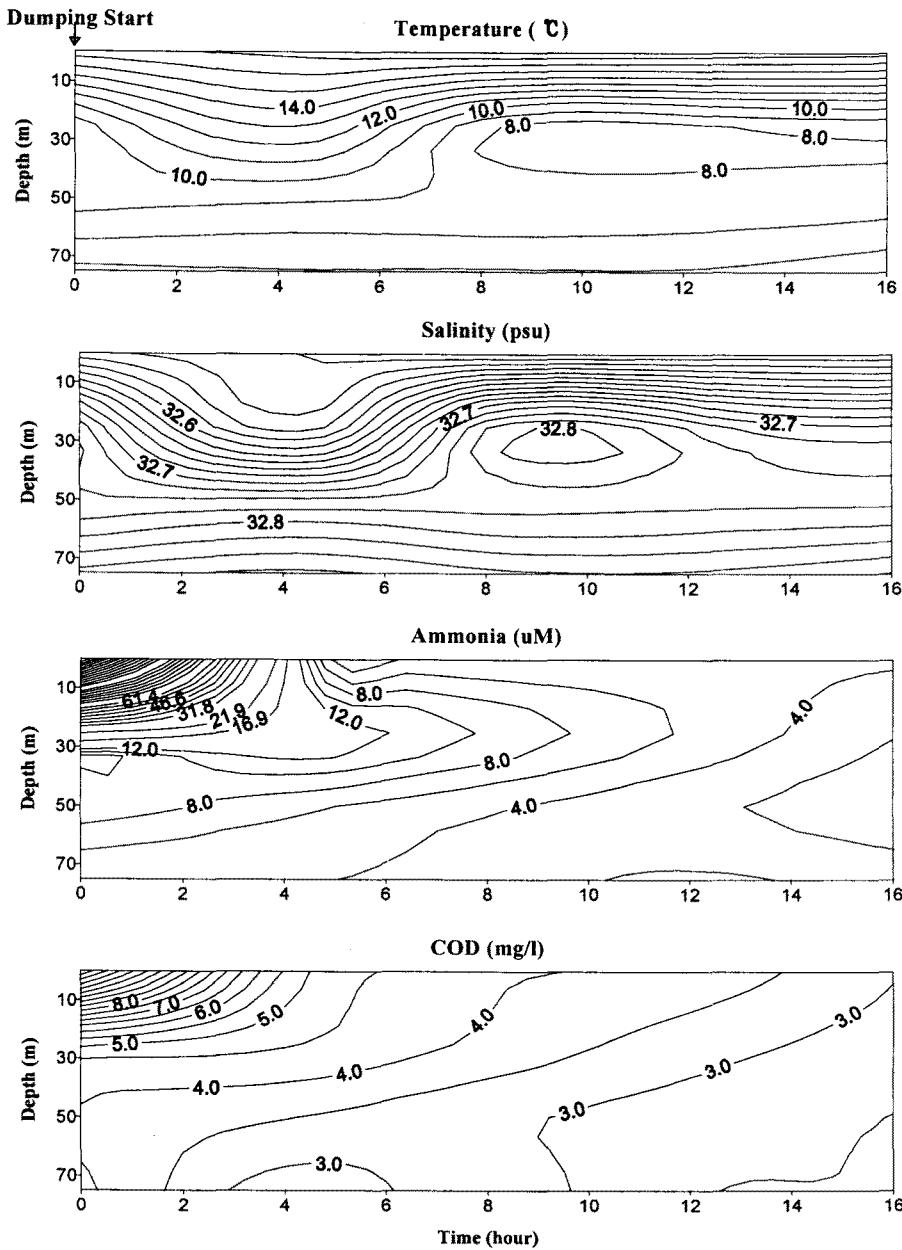


Fig. 4. Time series of temperature, salinity, ammonia, and COD after dumping at Station A, June 1997.

본 연구에서는 제한적이거나 97년 6월에 투기선박에 의해 해양투기가 일어난 직후 각 화학종의 시간에 따른 변화를 조사하였다. 해양투기 직후 표층 해수의 암모니아는 178.7µM로 매우 높았으나 12 시간 이후에는 4.6µM로 분산, 희석되었으며, COD 또한 투기 직후 12.48 mg/l에서 12 시간 후에는 3.88 mg/l로 감소하였다(Table 2). 투기 직후부터 4 시간 경과시까지 표층의 수온은 다소 높아지고 염분은 다소 낮아지는데 이는 투기되는 액상 폐기물에 의한 영향이다(Fig. 4). 해양투기물의 최종 희석비율은 투기선박에 의한 선미희석(wake dilution; 10^3)과 해양의 난류확산에 의한 희석(oceanic dilution; $10 \sim 10^3$)의 곱으로서 $10^4 \sim 10^5$ 의 범위를 갖는다. 이는 현재 투기되는 액상 폐기물의 COD가 약 10^5 mg/l인 점을 감안할 때 본 연구의 결과와 잘 일치된다. 예전보다 암모니아의 농도가 매우 높아진 것은 4~5년 전부터 인분이 계속적으로 투기되고 있기 때문인 것으로 사료된다.

토 의

환경요인 분석

이상의 결과에 나타난 바와 같이 투기해역은 주변해역에 비해 영양염류가 저층에 많이 축적되어 있으며, 다른 화학적 요인의 변화양상도 해양투기에 따른 생지화학적 영향이 황해중심해역 전반에 미치고 있음을 뚜렷하게 보여준다. 96년 7월의 화학자료만을 통계변수로 하여 수괴에 대한 집괴분석(cluster analysis)을 실시한 결과, Fig. 5에 나타난 바와 같이, 연구해역은 수온약층 상층의 표층수괴와 수온약층 이심의 저층수괴로 크게 2 대분 될 수 있었으며 저층수괴는 다시 대체로 축적현상이 심화되어 있는 투기해역 내의 저층수괴(정점 3, 4, 6, 7)와 주변해역의 저층수괴(정점 1, 2)로 나뉘어질 수 있었다. 한편 동일 자료를 이용한 화학종 변수들에 대한 집괴분석 결과, Fig. 6에 나

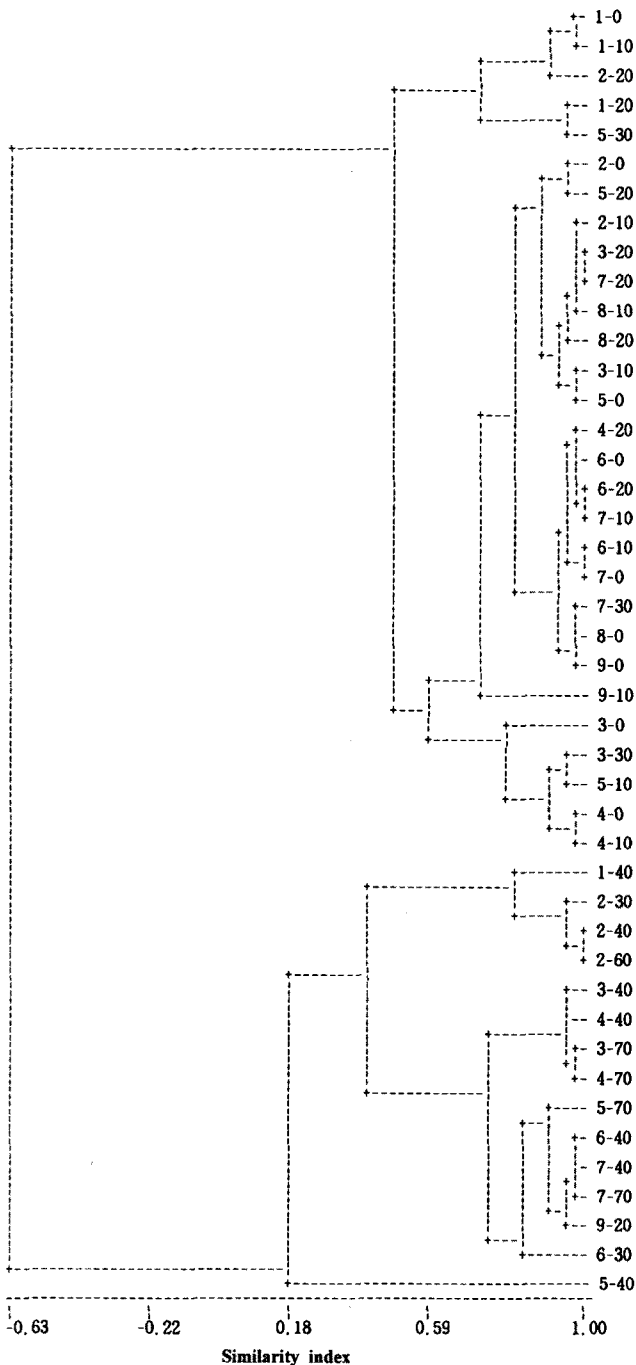


Fig. 5. Cluster analysis of sampling stations based on the distribution of chemical parameters (pH, DO saturation, COD, ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, and silicate).

탄산 바와 같이, 연구해역의 화학적 특성은 pH, 용존산소 포화도 그리고 COD의 특성과 영양염류 특성으로 크게 2 대분 될 수 있었다. 이는 앞서 언급된 투기해역 저층에서의 유기물 산화에 따른 용존산소의 소비, CO₂ 증가에 따른 pH의 감소, 그리고 높은 COD 및 영양염류 농도의 증가 등의 요인을 반영한다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 다변량 통계처리의 해석 결과는 투기해역이 해양투기에 의해 오염이 심화되고 있는 사실을 뒷받침하는 것으로 사료된다.

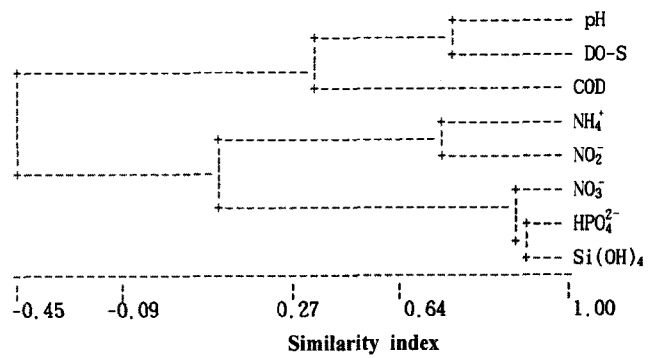


Fig. 6. Cluster analysis of chemical parameters (pH, DO saturation, COD, ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, and silicate).

투기해역 일원에서는 주로 *Noctiluca* 종에 의한 광범위한 적조현상이 빈발하였는데, 이는 영양염류보다는 투기물에 포함된 고농도의 유기물에 의한 것으로 사료된다. 즉, 투기해역 저층에 축적된 영양염류는 해마다 동계에 수층의 수직혼합시 표층으로 운송되어 *Noctiluca*나 기타 다른 식물 플랑크톤의 대번식을 일으키는 것이다. 투기해역에 인접한 황해중심수역에서의 적조현상에 대해서는 Zhang and Liu(1994)에 의해서도 항공 및 운항선박의 관측 자료가 보고된 바 있으며, 이들은 중국 대륙으로부터 대기를 통하여 유입되는 영양염류가 강우시 황해중심해역에 집중적으로 공급될 때 적조가 발생하는 것으로 추론하였다. 그러나 Zhang and Liu(1994)의 자료에 따르면 황해로 강우에 의해 유입되는 질소계 영양염류의 연간 총량은 약 37×10^9 mol이며 황해의 면적은 3.8×10^5 km²이므로 강우에 의해 공급되는 영양염류는 황해의 연간 기초생산력에 필요한 질소요구량의 4.6%에 불과하다. 물론, 하계철의 집중 호우로 인한 국지적인 표층 영양염류 증가에 따른 대번식의 가능성은 있다. 하지만 일정한 면적(약 4,000 km²)의 투기해역에 연간 300만 톤 이상의 고농도의 액상 폐기물이 집중적으로 그리고 연속적으로 투입되는 현재의 해양투기의 영향이 더욱 큰 것으로 사료된다.

해양투기해역 저층에서의 물질축적과 연변화

폐기물을 해양에 투기할 경우 가장 중요한 해양학적 고려사항은, 첫째 생태계의 환경용량(assimilation capacity)에 근거한 생태학적 선택과, 둘째 수리적 분산이 원활한 투기해역을 이용하는 물리학적 선택을 들 수 있다(Park and Choi, 1993). 즉 폐기물 해양투기는 일차적으로 물리적 이류와 확산이 원활하여 배경농도로 신속히 희석될 수 있는 물리적 환경에서 운용되어야 하며, 이차적으로는 생태계 및 수산자원에 미치는 영향이 최소화될 수 있고 궁극적으로 생화학적 분해와 흡수기작에 의해 유입된 폐기물이나 부산물질의 농도 증가나 축적현상이 없는 적정해역에서 운용되어야 한다. 그러나 현재 해양투기가 실시되고 있는 황해는 물리적인 해수 교환속도가 상당히 느린 해역으로, Park and Choi(1993)는 이미 황해의 염분수지 상자모형(box model)을 통하여 그 체류기간이 최소 5 년에서 최대 10 년에 이르는 것으로 밝힌 바 있다. 만일 현재 황해에서의 해양투기량이 적정하다고 가정하면, 첫째 단기적으로는 유입과 제거의 생태학적 균형을 통하여 투기해역에서 화학종 축적현상이

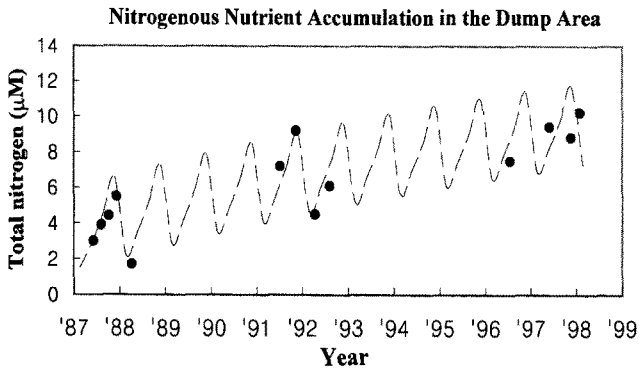


Fig. 7. Trend of nitrogen accumulation in the bottom layer (below 40 m in water depth) in the dumping area (references: Son *et al.*, 1989 (4/87—4/88); KORDI, 1992 (7/91—11/91, 4/92); Park *et al.*, 1994 (8/92); this study (7/96, 6/97, 11/97, 2/98)).

없어야 하며, 둘째 장기적인 물리학적 해수교환에 의한 희석을 고려하더라도 투기 시작한 88년으로부터 황해수의 체류시간(5년)을 감안한 93년 이후부터는 더 이상의 축적현상이 없어야 할 것이다. 그러나 이러한 가정들은 투기해역 저층수괴의 장기적인 현장 조사결과 모두 성립되지 않는다(Fig. 7). 87년 황해에서 해양투기가 시작되기 직전 투기해역 저층에서 연평균 3.7µM이던 총질소는 88년 해양투기 이후 해마다 축적되어 92년에는 연평균 5.7µM로 증가되었으며 본 연구가 수행된 96년과 98년에는 연평균 8.3µM에서 9.5µM까지 증가되었다. 이미 황해의 기초생산력은 최대 환경용량에 이르러 흡수능력이 있어서 포화되어 있기 때문에(Park and Choi, 1993) 영양염류 축적현상은 투기해역의 저층, 더 나아가 황해 전역의 저층으로 확산될 우려가 있다.

이상과 같이 현재 황해에서의 해양투기는 부적정한 해양투기량 결정에 의해 투기해역 저층에 영양염류의 농축현상을 장단기적으로 심화시키고 있다. 따라서 황해에서의 해양투기는 반드시 투기해역은 물론 황해 전역의 생태학적 제거능력과 투기물의 물리적 분산 정도를 면밀히 재검토하여 오염물질의 유입과 제거가 균형을 이룰 수 있는 적정 투기량이 산출된 후 운용되어야 한다. 한편 법규로 지정된 투기해역 내에서만 이루어져야 하는 해양투기가 감시, 감독의 현실적인 어려움과 규제방법의 미비로 투기행위자의 비정상적인 투기활동에 의한 투기해역 이외 지역의 해양환경 악화 가능성도 배제할 수는 없기 때문에, 투기활동을 상시 실시간으로 감시할 수 있는 제도와 감시장비의 구축이 절실히 필요하다.

사 사

본 논문을 자세히 검토해 주시고 좋은 논문이 될 수 있도록 의견을 주신 해양연구소 양동범 박사님과 군산대학교 해양학과 양재삼 교수님께 감사 드립니다. 또한 현장에서 많은 도움을 주신 국립수산진흥원 서해수산연구소 인천 888호 승무원분들에게도 감사 드립니다. 본 연구를 지원해 주신 해양수산부

해양환경과 및 어장개발과 관계자 분들께도 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

- 한국해양연구소(KORDI), 1992. 한반도 주변해역의 화학물질 수지 및 순환연구(서남해역) 제3차년도 연차보고서. BSPG-159-489-4, 231 pp.
- Duedall, I.W., B.H. Ketchum, P.K. Park and D.R. Kester, 1982. Global inputs, characteristics, and fates of ocean-dumped. In: *Wastes in the Ocean*, edited by Duedall, I.W., P.K. Park and D.R. Kester, John Wiley and Sons, New York, pp. 3-46.
- Goyet C., A.L. Bradshaw and P.G. Brewer, 1991. Carbonate system in the Black-Sea. *Deep-Sea Res.*, **38**: S1049-S1068.
- Manheim, F.T., 1982. Who is doing what in marine dumping. In: *Wastes in the Ocean*, edited by Duedall, I.W., P.K. Park and D.R. Kester, John Wiley and Sons, New York, pp. 47-68.
- Millero, F.J. and M.L. Sohn, 1992. *Chemical Oceanography*. CRC Press, London, 531 pp.
- Muir, W.C., 1982. History of ocean disposal in the mid-Atlantic Bight. In: *Wastes in the Ocean*, edited by Duedall, I.W., P.K. Park and D.R. Kester, John Wiley and Sons, New York, pp. 273-292.
- Park, P.K., 1968. The processes contributing to the vertical distribution of apparent pH in the northeastern Pacific Ocean. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **3**: 1-7.
- Park, Y.C. and J.K. Choi, 1993. Oceanographical consideration on waste disposal in the marine environment. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **28**: 142-152.
- Park, Y.C., C.H. Yoon and K.H. Chung, 1994. Amino acid composition and characteristic of dissolved organic compounds in the Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **29**: 171-182.
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli, 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, New York, 173 pp.
- Seung, Y.H. and Y.C. Park, 1990. Physical and environmental character of the Yellow Sea. In: *The Regime of the Yellow Sea*, edited by Park, C.H., D.H. Kim and S.H. Lee, Institute of East and West Studies, Seoul, pp. 9-38.
- Solorzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the Phenol hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.*, **14**: 779-801.
- Son, S.K., K.H. Chung, J.S. Jo and Y.C. Park, 1989. Seasonal variation of nutrients, total dissolved amino acids and bacterial biomass in the Yellow Sea. *Yellow Sea Res.*, **2**: 1-12.
- Zhang, J. and M.G. Liu, 1994. Observations on nutrient elements and sulfate in atmospheric wet depositions over the northwest Pacific coastal oceans-Yellow Sea. *Mar. Chem.*, **47**: 173-189.

1998년 8월 5일 원고 접수

1998년 9월 2일 수정본 채택