

건기와 우기시 화원면 주변 해역의 수질 비교

김도희†

목포해양대학교 해양환경공학전공

Water Quality in Hwawon Coastal Sea of Korea for Rainy and Dry Season

Do Hee, Kim†

Department of Marine Environmental Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

요 약

2006년 건기와 우기로 구분하여 연안개발 공사가 이루어지고 있는 해남군 화원면 주변 해역의 15개 정점과 하천 2개 지점 그리고 공사장 배출구 1개 지점에서 pH, 투명도, 염분, SS, DO, COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-+\text{NO}_3^-\text{-N}$, TN, TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 을 분석한 결과, pH, 투명도, 염분, SS의 경우, 90 mm 이상의 집중 강우가 있었던 8월에는 공사장의 배출구와 하천수의 유입구 인근의 해역의 표층수에서 강우에 의한 담수의 유입과 공사장의 배출수의 유입에 의한 영향이 뚜렷하게 나타났다. 하지만 그 외 지점에서는 정점 간, 수층 간 농도 차이가 나타나지 않았다. 예상과 달리 추계 건기에는 강한 바람에 의해 저층으로부터의 침전물질이 부유되어 SS의 농도가 하계의 강우시보다 더 높은 농도를 보였다. 그 외 COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TN, TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 농도도 유사한 경향을 보였다. 따라서 공사로 인한 연안해역의 수질 변화를 평가하기 위해서는 단순히 표층수의 수평적인 조사만으로 그 영향을 평가하기보다는 집중 강우에 의한 영향과 기상이나 해형특성, 침강특성이나 용출특성의 조사를 포함한 SS의 확산시뮬레이션 등으로부터 평가되어야 하겠다.

Abstract – The purpose of this study is investigate to water quality, pH, turbidity, salinity, nutrients, SS, DO, COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-+\text{NO}_3^-\text{-N}$, TN, TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in ditches and seawater of the Hwawon, southwestern coastal area of Korea. Two stations of the ditch, one station at outfall from reservoir of the coastal development and 15 stations of seawater were measured in August just after a 96.5 mm rainfall and in dry season of November 2006. The sampling time were divided into a rainy and dry season based on turbidity, SS, salinity and nutrients difference of distributions that was evidence as a inflow of pollutants from the developing coastal land area. The pH, turbidity, salinity and SS were high and showed different from between surface and bottom in near the developing of coastal land than the other stations after a strong rainfall over 90 mm while it were not varied in vertical and horizontal concentration profile in dry season. The other nutrients were showed the same concentrations gradient patterns. In opposition to expectations, the SS in dry season was higher than in the rainy season due to upwelling by the wind and strong current. It appears that the researched coastal seawater qualities were mainly effected by the inflow of freshwater from the ditches and drain from the reservoir of the developing land area during strong rainfall while the seawater qualities were mainly effected by the wind and strong current in dry season.

Keywords: Coastal development(연안개발), Dry season(건기), Rainy season(우기), Water quality(수질)

1. 서 론

연안 해역은 외양역보다 생산성이 높은 곳으로 생물의 산란지와 서식지로 중요한 기능을 하면서 인위적인 활동도 활발히 이루어지

고 있다. 삼면이 바다인 우리나라는 전체 인구의 40% 이상이 연안에서 생활하고 있으며, 국내 총생산의 50% 이상이 연안에서 생산되고 있다. 특히, 항만, 임해공단 등의 경제활동이 이루어지고 있으며, 최근에는 관광 레저 활동의 장소로도 부각되고 있다.

국내외적으로 1994년 신해양법의 발효와 WTO의 수입자유화로 인해 연안국 책임의 해양환경의 보호관리는 국가의 주요한 과제로

Corresponding author: dokimg@mmu.ac.kr

다루어지고 있다(박[1998b]). 그러나, 1995년 이후 시행된 지방자치제에 의해 연안해역의 이용 및 보전에 대한 자율적 참여와 관리는 기대되고 있으나 연안의 개발 및 보전을 둘러싼 지역주민의 경제적 이해 충돌의 해결을 위한 바람직한 연안환경 관리가 요구되고 있다. 특히, 서남해역은 지속가능한 수산물의 생산과 청정해역으로의 해양관광 자원으로 연안해역을 보전하면서 지역발전을 도모해 가야하므로 연안해역의 수질평가는 연안환경 관리에 있어 중요한 부분의 하나이다.

연안 해역의 수질 변화는 외해와는 달리 강물의 유입이나 폐수의 유입, 인근 연안육역의 개발공사, 양식장의 자가오염과 같은 점원 유입에 의해 영향을 받고, 농경지, 주택지, 산림, 강우, 지하수 등의 비점원의 유입의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 하지만 생활하수나 공장폐수 등의 인위적인 유입이 거의 미치지 않는 연안해수의 수질변화는 평상시와는 달리 일시적으로 내리는 집중 강우에 의한 영향과 연안해역 자체의 물리적인 특성이나 해황특성으로 인한 영향이 수질변화에 크게 미치고 있음에도 불구하고 이에 대한 조사가 간과되는 경우가 있다(김[2001]; 박 등[1998a]).

전남 해남군 화원면 주변 지역은 산업체가 없고 상주인구가 아주 적은 곳으로 공장폐수의 유입이나 생활하수의 영향이 거의 없는 해역이다. 그러나 1991년에 플라워 파크, 호텔, 콘도, 인공해수욕장, 마리나, 골프장 건설 등이 포함된 대규모의 관광단지 개발사업이 수립된 이후, 현재까지 약 80% 이상의 공사 진도율을 보이고 있어 개발사업에 따른 지역경제의 활성화가 기대되는 반면에 공사로 인한 주변 해양환경의 변화가 예상되고 있다. 특히, 하계의 집중 강우 시에 공사로 인한 인근 연안해역으로의 부유물질의 유입과 영양염의 유입으로 인해 주변 연안의 수질변화가 예상된다.

이에 골프장, 마리나, 플라워파크, 인공해수욕장 등의 대규모의 연안개발 공사가 이루어지고 있는 주변 연안해역의 수질 변화를 평가하기 위해 건기와 우기로 구분하여 공사장의 배출구와 하천수 및 연안 해수의 염분과 부유물질의 농도 변화를 중심으로 탁도, DO, COD, 각 형태별 질소와 인의 농도 변화를 조사하여 비교 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2006년 8월 우기와 11월 건기로 나누어 창조(flood tide) 시에 각각 현장조사를 실시하였다. 특히, 연안개발 공사장의 집중 강우에 의한 연안의 수질변화를 비교 평가하기 위해 강우강도가 큰 시점을 기준으로 해서 집중 강우가 발생된 직후에 하천수와 해수를 채수하여 실험실로 옮겨 각 수질 항목을 분석하였다. 조사지점은 공사장 배출구 1개 지점과 인근해역으로 유입되는 하천 2개 지점 그리고 주변 해역 15개 지점을 정하였으며 해수는 표, 저층수의 수질을 조사하였다(Fig. 1).

현장에서 수온과 pH(Orion model 720A)를 측정하고 직경 30 cm의 Secchi Disk를 이용하여 투명도를 측정하였다. 반돈 채수기를 이용하여 0.5 m 수심의 표층수와 저층 바닥 위 1 m의 저층 해수를

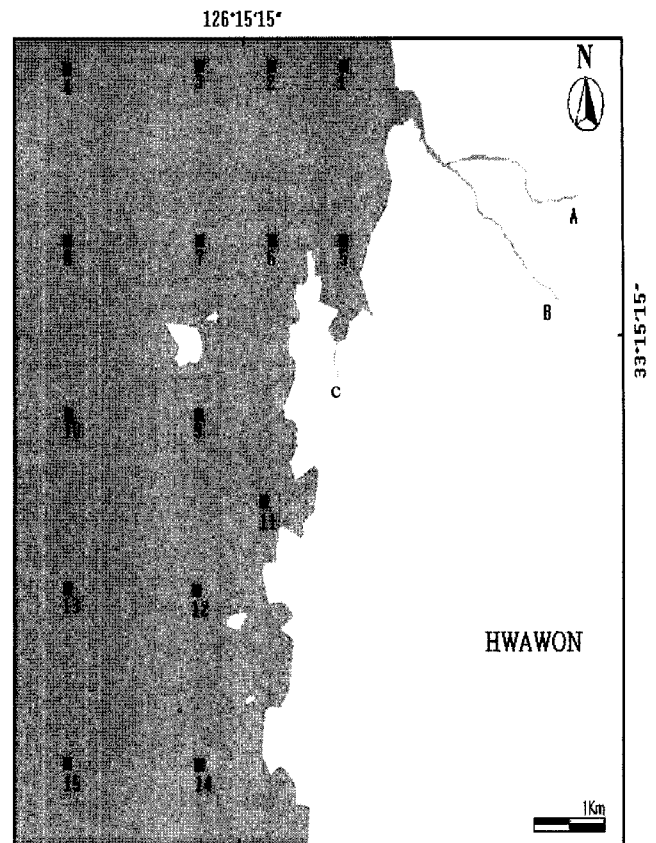


Fig. 1. Sampling stations in Hwawon, southwestern coastal Sea of Korea.

채수하여 아이스박스에 담아 곧바로 실험실로 옮겨 하천수는 수질 오염 공정시험법(환경부[2001])에 따라 해수는 해양환경공정시험법(해양수산부[2006])에 따라 분석하였다.

염분(Salinity)은 염분측정기(ORION Model 162)로 측정하였고, 부유물질(SS)은 채수된 일정량의 해수를 여과(Whatman GF/C)한 다음 105~110 °C에서 2시간 건조 후 데시케이터에서 방냉 후 그 무게 차이로 측정하였다. COD는 알칼리성 과망간산 법으로 분석하였다. DO는 현장에서 용존산소를 고정된 후 실험실로 옮겨 Winkler-Azide변법으로 분석하였다. 암모니아질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$)은 인도 페놀법, 질산과 아질산질소($\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$)은 Cu-Cd 환원컬럼을 통과한 후 NED법, 총질소(TN)와 총인(TP)은 과황산칼륨으로 분해법으로 인산인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)은 아스코빈산 법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 강우량과 일반 수질

8월 27일에 96.5 mm의 집중 강우가 내린 직후에 조사된 수질을 Table 1에 나타내었고, 공사장의 배출구와 하천수의 수질은 Table 2에 나타내었으며, 맑은 날씨의 건기인 11월 11일에 조사된 수질은 Table 3에 나타내었다.

해남군의 지난 30년간 연 평균 강수량은 우리나라의 연 평균 강수량(1,274 mm)과 거의 비슷한 1,259 mm이고, 월 평균 강수량은

Table 1. Results of seawater qualities after rainfall over 96 mm (August 27, 2006)

St.	Location	pH	Tran. (m)	Sal. (psu)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
1	S	8.2	0.85	26.3	10.3	7.6	1.7	0.302	0.176	0.487	0.100	0.061
	B	8.2		30.0	13.4	7.2	0.8	0.175	0.026	0.238	0.061	0.039
2	S	8.2	0.75	30.1	7.4	7.0	2.2	0.111	0.080	0.197	0.039	0.010
	B	8.2		30.1	9.5	6.9	1.0	0.157	0.029	0.200	0.079	0.018
3	S	8.4	1.75	29.5	2.7	7.0	1.9	0.132	0.061	0.217	0.038	0.000
	B	8.3		30.3	6.9	7.0	1.0	0.137	0.029	0.197	0.045	0.021
4	S	8.4	2.00	29.7	9.6	6.7	2.0	0.140	0.064	0.213	0.036	0.018
	B	8.3		30.2	9.8	7.2	0.4	0.150	0.026	0.204	0.055	0.014
5	S	7.9	0.87	9.6	56.2	7.2	4.6	0.275	0.500	0.804	0.100	0.100
	B	8.3		30.1	10.0	6.7	1.0	0.168	0.027	0.223	0.048	0.019
6	S	8.2	1.00	24.7	12.0	6.9	2.1	0.217	0.230	0.473	0.100	0.087
	B	8.3		30.2	7.3	6.9	1.3	0.158	0.027	0.240	0.051	0.019
7	S	8.3	0.75	27.6	9.7	7.0	1.0	0.163	0.124	0.292	0.087	0.036
	B	8.3		30.0	8.2	6.8	1.4	0.159	0.028	0.208	0.073	0.013
8	S	8.3	1.75	29.9	5.2	6.7	1.3	0.136	0.068	0.224	0.043	0.012
	B	8.3		30.2	8.9	6.7	1.8	0.138	0.028	0.250	0.039	0.016
9	S	8.3	1.50	30.3	6.1	6.6	1.4	0.121	0.050	0.176	0.065	0.005
	B	8.2		30.3	6.9	6.8	1.0	0.111	0.024	0.222	0.030	0.013
10	S	8.2	1.00	30.2	7.0	6.8	1.0	0.187	0.038	0.231	0.049	0.010
	B	8.2		30.3	7.1	6.8	1.5	0.219	0.027	0.273	0.054	0.004
11	S	8.2	1.50	30.2	6.4	6.5	1.7	0.159	0.036	0.259	0.055	0.010
	B	8.2		30.3	7.5	6.7	1.8	0.189	0.030	0.281	0.030	0.010
12	S	8.2	1.75	30.1	5.9	7.0	2.6	0.147	0.036	0.188	0.037	0.010
	B	8.2		30.3	11.8	6.7	1.2	0.144	0.030	0.237	0.032	0.000
13	S	8.2	1.50	30.4	6.3	7.0	2.1	0.113	0.037	0.157	0.055	0.010
	B	8.2		30.3	8.0	6.7	2.3	0.125	0.029	0.196	0.082	0.011
14	S	8.2	1.75	30.3	4.3	6.6	2.8	0.166	0.035	0.210	0.051	0.017
	B	8.2		30.3	6.6	6.6	3.4	0.145	0.029	0.198	0.039	0.016
15	S	8.2	1.25	30.3	4.6	6.6	1.8	0.165	0.036	0.210	0.041	0.008
	B	8.2		30.3	9.9	6.8	2.6	0.180	0.032	0.257	0.057	0.017

S: Surface water. B: Bottom water

Table 2. Results of water qualities in ditches and draining water from land development area(August 27, 2007)

St. No.	SS (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ (mg/L)	TN (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	TP (mg/L)
A	54.7	0.018	0.187	1.158	0.034	0.081
B	53.3	0.029	0.185	0.600	0.062	0.098
C	126.3	0.034	0.103	0.580	0.017	0.075

*A: Hyusan ditch, B: Jangsu ditch, C: discharge duct from the reservoir of coastal development.

105 mm로 전체 연 강수량의 53% 이상이 6~8월에 내리는 것으로 파악되었다(완도 기상대[2007]). 조사가 이루어진 2006년의 연 강수량은 1,387 mm를 기록하여 우리나라의 연 평균 강수량 보다 많은 비가 내렸다. 조사가 이루어진 8월 27일 조사지역의 일일 강수량이 96.5 mm, 기온은 24.9 °C, 평균 풍속이 1.6 m/sec, 최대풍속이 8.6 m/sec이었으며, 건기인 11월 11일의 기상 조건은 평균기온이 14.8 °C, 평균 풍속이 하계보다 강한 2.5 m/sec이었다.

8월 집중 강우 직후에 해역으로 유입되는 하천수와 공사장의 배출구의 수질을 조사한 결과, 두 하천에서보다 공사장의 배출구에서 SS와 NH₄⁺-N가 아주 높게 나타나고 있는 것으로부터 평소 공사로

인해 포집된 부유물질이 집중강우로 의해 많은 양의 SS가 주변 해역으로 유입되고 있음을 알 수 있었다(Table 2). 반면에 인산인의 농도는 높게 나타나지 않고 있어 조사지역은 산업체와 인위적인 영향이 거의 없는 지역임을 알 수 있었다.

8월 조사에서 pH는 7.9~8.3으로 담수의 유입이 많았던 골프장 공사장의 배출구 인근의 표층수에서 낮았으나 그 외 지점에서는 8.2~8.3으로 거의 유사한 값을 보였다. 11월에 조사된 pH는 정점 간 아주 비슷한 값으로 하계보다는 다소 높은 8.5~8.6이었다. 하계와는 달리 정점 간 차이가 없는 것으로 보아 공사장의 배출구나 하천수의 유입 등의 육상으로부터의 영향이 거의 없는 것으로 판단

Table 3. Results of seawater qualities in dry season (November 11, 2006)

St.	Layer	pH	Tran. (m)	Sal. (psu)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
1	S	8.5	0.6	30.9	40.6	7.8	0.6	0.053	0.010	0.179	0.065	0.018
	B	8.5		31.2	56.0	7.6	0.6	0.027	0.149	0.462	0.079	0.013
2	S	8.5	0.5	30.8	37.0	7.0	0.8	0.042	0.013	0.227	0.042	0.016
	B	8.5		30.7	58.7	7.7	1.4	0.024	0.122	0.363	0.071	0.010
3	S	8.5	0.6	30.8	38.3	7.8	1.6	0.045	0.023	0.208	0.056	0.022
	B	8.5		30.9	18.3	7.8	1.4	0.033	0.118	0.324	0.067	0.020
4	S	8.5	0.5	30.7	55.0	7.6	1.3	0.052	0.025	0.280	0.044	0.018
	B	8.5		30.7	29.8	7.6	2.0	0.026	0.109	0.329	0.054	0.021
5	S	8.5	0.6	30.9	33.6	7.8	1.4	0.047	0.038	0.259	0.045	0.020
	B	8.3		30.7	65.0	7.8	2.0	0.032	0.114	0.238	0.058	0.014
6	S	8.6	0.5	30.7	52.3	7.7	1.4	0.044	0.038	0.203	0.044	0.022
	B	8.5		30.7	37.0	8.4	3.0	0.047	0.176	0.293	0.047	0.022
7	S	8.6	0.5	30.9	39.3	7.7	1.2	0.032	0.048	0.152	0.055	0.017
	B	8.5		31.2	36.0	8.1	1.4	0.037	0.164	-	0.053	0.009
8	S	8.5	0.4	31.2	54.7	7.9	0.8	0.046	0.055	0.233	0.070	0.011
	B	8.5		31.0	64.7	7.8	1.8	0.034	0.156	0.241	0.054	0.016
9	S	8.5	0.4	31.0	11.0	7.8	0.6	0.035	0.067	0.206	0.053	0.010
	B	8.5		30.9	93.7	7.9	2.1	0.035	0.162	-	0.056	0.011
10	S	8.5	0.3	31.0	7.9	7.7	1.5	0.036	0.080	0.210	0.056	0.038
	B	8.5		30.9	62.7	7.6	1.4	0.036	0.170	0.229	0.054	0.014
11	S	8.5	0.7	30.8	6.7	7.6	1.7	0.038	0.090	0.262	0.051	0.013
	B	8.5		30.8	96.0	8.0	1.7	0.033	0.167	0.233	0.066	0.009
12	S	8.5	0.9	30.9	19.0	7.7	0.8	0.039	0.101	0.171	0.046	0.020
	B	8.5		30.9	65.7	7.6	1.9	0.042	0.061	0.183	0.064	0.018
13	S	8.5	0.3	30.9	37.7	8.0	1.6	0.033	0.105	0.186	0.068	0.016
	B	8.5		31.0	76.3	7.7	1.7	0.033	0.110	0.197	0.069	0.009
14	S	8.5	0.4	30.7	39.7	7.7	0.7	0.038	0.109	0.157	0.106	0.011
	B	8.5		30.9	18.3	8.0	1.3	0.035	0.162	0.237	0.060	0.019
15	S	8.5	0.4	31.0	23.3	7.8	0.9	0.051	0.118	0.226	0.058	0.014
	B	8.5		31.0	43.6	7.7	1.4	0.034	0.121	0.298	0.064	0.022

S: Surface water, B: Bottom water

되었다. 하계 DO농도는 6.5~7.6 mg/L, 추계에는 7.6~8.4 mg/L로 하계, 추계 모두 층별 정점별 농도 차이는 크지 않았다.

8월에 조사된 염분은 9.6~30.4 psu의 범위였으며, 수층별 평균은 표층에서 28.0 psu, 저층에서 30.2 psu로 담수의 유입으로 인해 저층수보다는 표층수에서 낮은 농도를 보였고, 공간적으로도 육지 쪽에서 외해로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 지점별로는 공사장의 배출구인 5, 6, 7번 정점과 하천수 유입 지점인 1번 정점의 표층수에서 저층수에 비해 아주 낮게 관측되었다. 이는 여름철의 집중강우에 따른 담수의 영향이 크게 미치고 있음을 알 수 있었다. 추계의 염분은 하계보다 전체적으로 높게 30.7~31.2 psu로 평균은 표, 저층 모두 30.9 psu로 하계와는 달리 정점별 표, 저층 간 농도 차이가 거의 나타나지 않았다. 이는 하계와는 달리 담수의 유입도 거의 없었고 지형적인 특성과 강한 바람으로 인해 표, 저층 간 해수의 혼합이 잘 이루어지고 있기 때문인 것으로 판단되었다(Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4). 전체적으로 하계보다 추계에 염분이 높게 분포하였다.

이와 같이 담수의 유입에 의한 연안해역의 수질변화에 대한 연

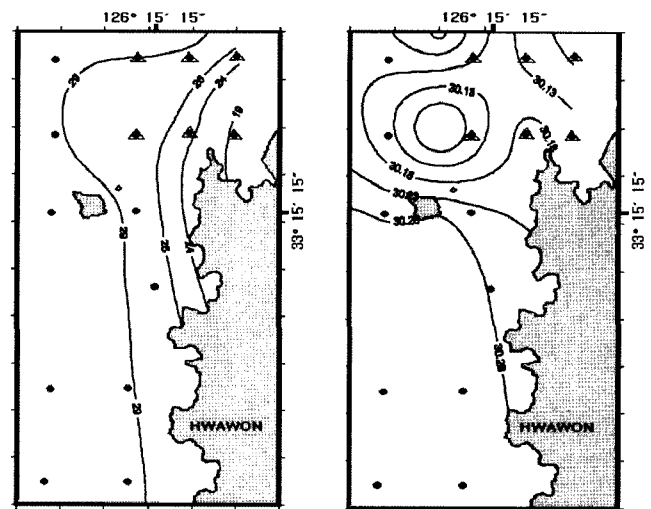


Fig. 2. Distributions of salinity in August, 2006 (Surface: left, Bottom: right).

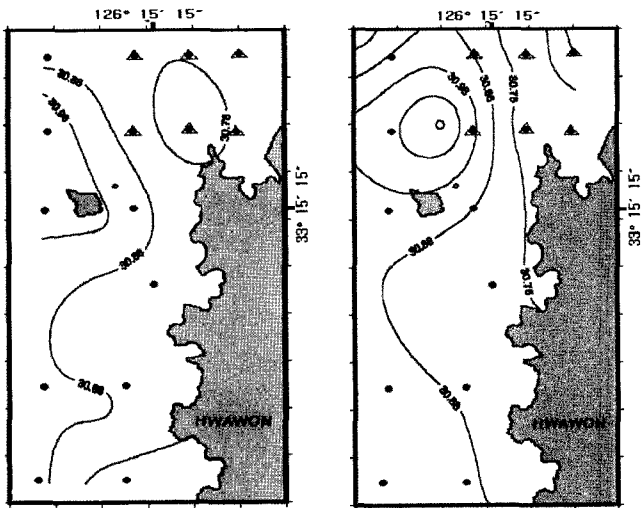


Fig. 3. Distributions of salinity in November, 2006 (Surface: left, Bottom: right).

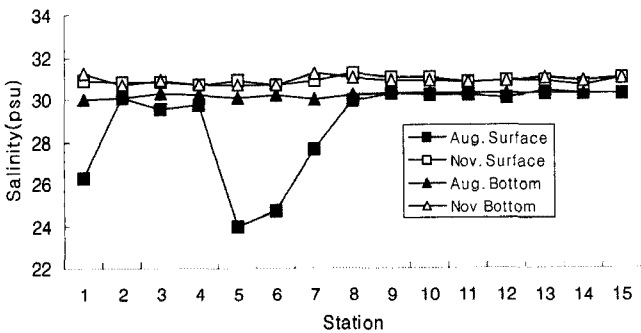


Fig. 4. Distributions of Salinity at stations in August and November.

구로는 2002년 7월과 8월 집중 강우기에 목포 주변해역에서도 유사한 결과를 보였다(김과 유[2003]). 또한, 권 등[2000]은 하계 6~9월에 금강하구 주변 해역에서 수질의 공간적인 특성과 조성분의 분석 결과, 금강하구 주변의 염분 및 수질 변동은 담수유입이 영향이 가장 크게 작용한다고 보고하였고, 신 등[1998]은 낙동강 하구해역의 수질 변화 요인은 하천수의 유입과 저층의 재 부유 및 물질대사의 순으로 평가하였다.

투명도는 8월의 집중강우 직후 조사에서 0.8~2.0 m으로 육지로 부터의 부유물질 등의 유입으로 인해 하천수의 유입구 인근의 지점과 공사장의 배출구 인근 지점인 1, 2, 7번 정점에서 낮았고, 육지 쪽에서 외해 쪽으로 갈수록 양호한 수질을 보였다. 11월에 측정된 투명도는 예상과는 달리 0.3~0.9 m으로 전체적으로 하계의 강우기보다도 더 나빴다. 이와 같은 결과는 추계에 외부로부터 부유물질의 유입이 없었어도 강한 바람과 빠른 유속으로 인해 저층의 침전물질이 수층으로 부유되어 공급되었기 때문으로 판단되었다. 이와 같은 결과는 동시에 물리조사팀에서 조사된 유향 유속의 관측 결과에서 알 수 있었고 앞서의 기상자료에서 하계보다 추계에 바람이 강했던 것에 기인한 것으로 판단된다.

8월 집중 강우 직후에 관측된 SS의 농도는 2.7~56.2 mg/L으로

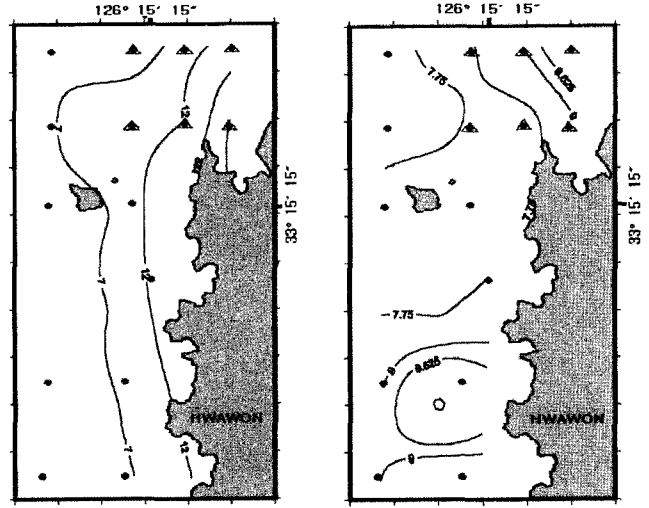


Fig. 5. Distributions of SS in August, 2006 (Surface: left, Bottom: right).

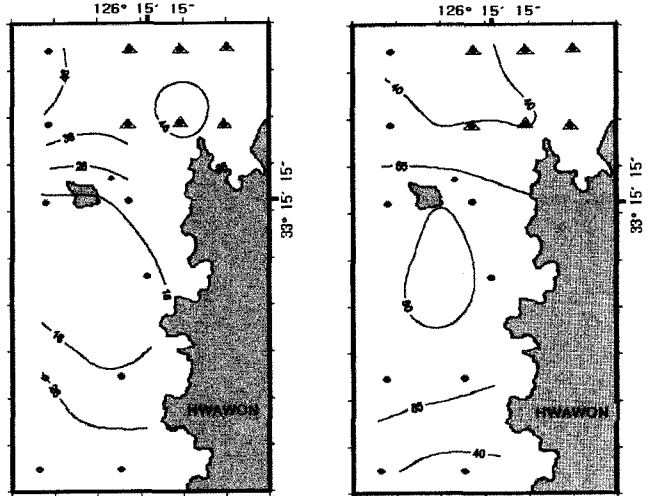


Fig. 6. Distributions of SS in November, 2006 (Surface: left, Bottom: right).

두 하천과 공사장의 배수구에서 높은 농도의 SS가 유입되어 희석, 확산되고 있음을 알 수 있었다. 수층별 SS의 평균농도는 표층에서 10.3 mg/L, 저층에서 9.0 mg/L으로 앞서의 염분의 분포에서와 같이 저층에 비해 표층에서 약간 높았다. 수평적인 분포는 육지 쪽에서 외해 쪽으로 갈수록 SS의 농도가 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 5). 지점별 공사장의 배출구와 장수천 유입지점 근처인 5번 정점의 표층에서 다른 지점보다 월등히 높게 나타나는 것으로 보아 공사장의 배출구로부터의 유입에 의한 영향이 미치고 있음을 알 수 있었다(Fig. 7). 이와 같은 결과는 8월 같은 시기에 조사된 하천수층의 SS농도가 보통의 하천수보다 아주 높게 측정되었고 특히, 공사장의 배수구에서 두 배 이상 높은 SS 농도가 측정된 것이 이를 잘 반영해주고 있는 것으로 생각된다(Table 2). 그 외 지점에서도 표 저층수 모두 육지 쪽에서 높고 외해 쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 보여 육지로부터의 담수의 유입이 크게 미치고 있음을 알 수 있었다.

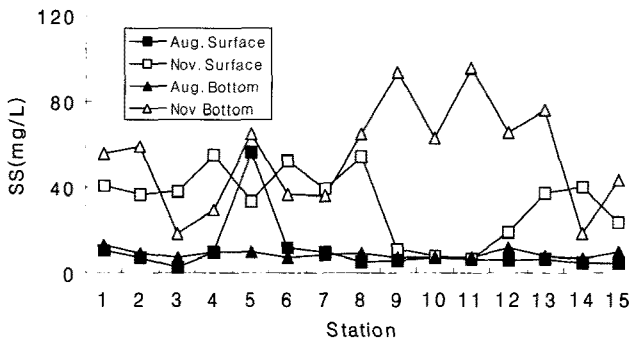


Fig. 7. Concentrations of SS at stations in August and November, 2006.

11월에 관측된 SS는 6.7~96.0 mg/L로 평균은 표층에서 33.1 mg/L, 저층에서 54.8 mg/L로 하계와 달리 저층에서 높았고 층별, 정점별 농도 차이가 크게 분포하였다(Fig. 6). 이는 앞서의 염분, 투명도에서와 같이 강한 바람에 의한 저층에서의 재부유로 인한 결과 때문인 것으로 판단되었다. 지점별 공간적인 분포는 하천수의 유입구 보다는 11번 지점의 저층에서 그리고 외해 지점인 13과 10번 지점의 저층에서 높게 나타나고 있는 결과에서도 육상으로부터의 영향이라기보다는 저층 바닥에서의 재부유로 인한 영향이 더 크게 작용하고 있는 것으로 판단되었다.

이상의 결과, 하계 강우기와 추계 비강우기의 SS는 예상과는 달리 전체적으로 하계보다 추계에 더 높았다. 이는 해역의 특성상 강우에 의한 육상으로부터 SS의 유입은 공사장의 배출구나 하천수 유입구의 인근 해역의 일부에서만 높게 분포할 뿐 광범위한 해역에까지 미치고 있지 않았다. 그 외 조사 지점에서는 오히려 11월에 높게 분포하여 공사로 인한 영향보다는 바람이나 해류에 의한 저층으로부터의 재 부유에 의한 영향이 더 크게 미치고 있음을 알 수 있었다. 즉, 하계 집중 강우 시 공사장의 배출구와 하천수 유입구인 5번 지점을 제외하고는 하계보다 오히려 추계에 연직적인 농도 차이가 크게 나타나고 있는 것으로부터 이를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 특히, 추계에 공사장의 배수구나 하천의 유입구가 아닌 9, 10, 11번 지점에서 표층수보다 저층수에서 오히려 높은 농도를 보이는 것이 이를 잘 반영하는 것으로 판단되었다.

8월 COD는 0.3~4.6 mg/L로 정점별로 큰 농도 차이를 보였으며, 수층별 평균 농도는 표층에서 2.0 mg/L, 저층에서 1.5 mg/L로 표층에서 다소 높게 나타났다. 정점별로는 공사장의 배출구인 5번 정점의 표층에서 월등히 높았고 그 외 하천수의 유입구 해역인 1, 2, 6번과 육지 인근의 14번 정점의 표층에서 높게 나타났다(Fig. 8). 이는 부유물질의 결과에서와 같이 육상으로부터의 영향으로 판단된다. 특히, 표층에서는 육지 쪽에서 높고 외해 쪽으로 갈수록 낮아지는 경향이 뚜렷하였으나 저층에서는 표층수에서와 같이 공간적인 농도 분포가 뚜렷하지 않았고 육상과 공사장의 배출구와 떨어진 그 외 지점에서는 표, 저층간 농도 차이가 불규칙하게 분포하고 있었다. 11월에 조사된 COD는 0.6~3.6 mg/L로 평균적으로 표층에서 1.1 mg/L, 저층에서 1.7 mg/L로 나타났다. 8월 결과와 반

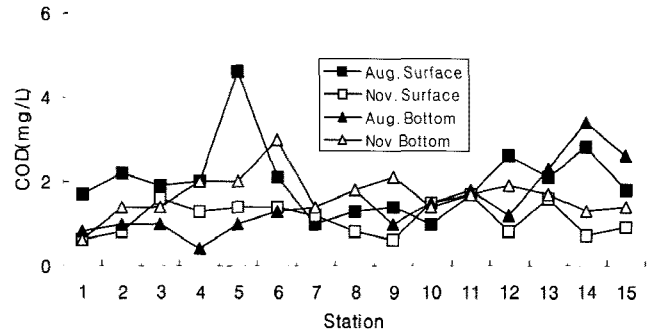


Fig. 8. Concentrations of COD at stations in August and November, 2006.

대로 저층에서 높았고 정점별로는 표층수에서는 일반적인 연안에서와 같이 미소하나마 육지 쪽에서 외해 쪽으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 하계와는 달리 표, 저층 간 농도 차이가 크지 않고 불규칙한 경향을 보였다.

3.2 영양염

8월의 NH_4^+-N 의 농도는 0.111~0.302 mg/L로 수층별 평균은 표층에서 0.169 mg/L, 저층에서 0.157 mg/L이었다. 추계의 경우 0.024~0.053 mg/L로 평균적으로 표층에서 0.042 mg/L, 저층에서 0.034 mg/L로 추계보다 하계에 전체적으로 높은 농도를 보이면서 층별, 정점별 농도 변화가 크게 나타나고 있었다(Fig. 9). 이와 같은 결과는 동시에 조사된 유입 하천수와 공사장의 배출수중의 NH_4^+-N 의 농도가 높게 조사된 결과로부터 여름철 강우에 의해 육상으로부터 많은 양의 NH_4^+-N 가 연안 해역으로 유입되었기 때문으로 생각된다. 정점별 수평적인 분포는 하계의 경우, 앞서의 다른 수질에서와 같이 정점 1과 정점 5에서 높았으며, 저층수보다는 표층수에서 뚜렷하게 높게 분포하고 있어 담수 유입에 의한 영향이 크게 미치고 있음을 알 수 있었다. 하계 추계 모두 양식장 부근의 정점 1의 표층에서 뚜렷하게 높게 나타났다. 이는 양식장 부근에서 NH_4^+-N 의 물질이 하계와 추계 모두 다른 정점들에 비해 가장 많이 발생되고 있음을 시사하고 있었다. 또한, 앞서의 SS 및 염분의 분포와 같이 하계에는 표층과 저층간의 농도 차이가 나타나는 반면, 추계에는 수층의 상하 혼합으로 인해 표층과 저층의 연직적인 농

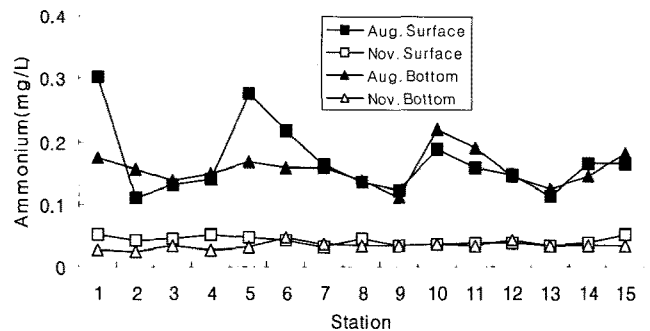


Fig. 9. Concentrations of NH_4^+-N at stations in August and November, 2006.

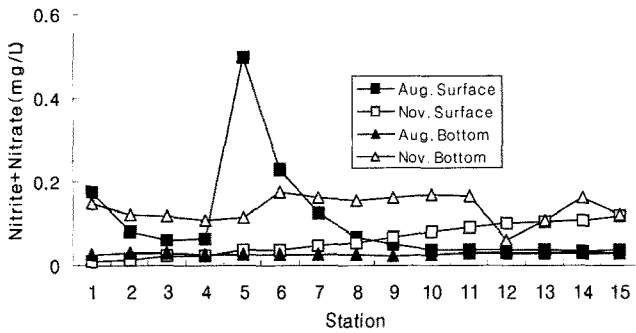


Fig. 10. Concentrations of $\text{NO}_2 + \text{NO}_3\text{-N}$ at stations in August and November, 2006.

도 차이는 나타나지 않았다.

8월 집중 강우 직후에 조사된 $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ 의 농도는 0.157~0.804 mg/L으로 수층별 평균은 표층에서 0.289 mg/L, 저층에서 0.228 mg/L이었다. 특히, 공사장 배출구 인근의 5, 6번 정점과 하천수 유입구 지점인 1, 2번 정점의 표층에서 높게 분포하였다. 이는 앞서의 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 같이 집중 강우로 인해 담수의 유입으로 인해 타 지점보다 높게 분포하였다. 11월에 조사된 $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ 의 농도는 0.033~0.462 mg/L으로 하계와는 달리 표층보다 저층에서 대체적으로 높게 분포하여 앞서 SS와 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 분포에서와 같이 저층에서의 부유로 인한 결과인 것으로 판단되었다(Fig. 10).

8월 집중 강우 직후에 조사된 TN의 농도는 0.157~0.804 mg/L으로 평균은 표층에서 0.289 mg/L, 저층에서 0.228 mg/L으로 앞서의 DIN이 분포와 같이 저층보다는 표층에서 약간 높게 분포하였다. 특히, 양식장 부근의 1번 지점과 공사장의 배출구 부근의 5, 6번 지점의 표층수에서 높게 분포하였다(Fig. 11). 11월에 조사된 TN의 농도는 0.033~0.462 mg/L으로 전체적으로 집중 강우가 내렸던 하계보다 낮았다. 수층별 분포는 앞서의 SS와 다른 영양염의 결과에서와 같이 연직적인 농도 차이를 보였던 하계와는 달리 표층간의 농도 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 본 조사에서 하계 추계 모두 전 조사지점에 걸쳐 DIN에 비해 TN의 농도가 낮게 관측된 것은 이용된 과황산칼륨 분해법의 분석 방법상 과소평가된 것으로 사료된다.

8월 집중 강우 직후에 조사된 TP의 농도는 0.030~0.100 mg/L으로 수층별 평균은 표층에서 0.060 mg/L, 저층에서 0.052 mg/L로

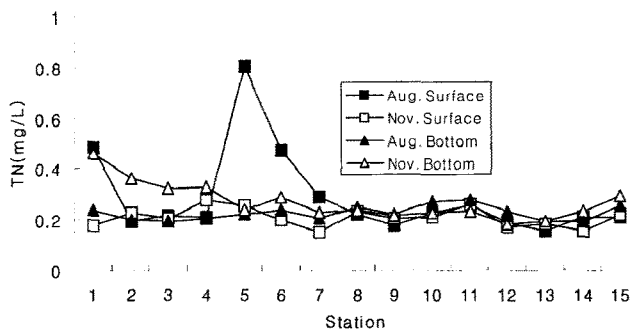


Fig. 11. Concentrations of TN at stations in August and November, 2006.

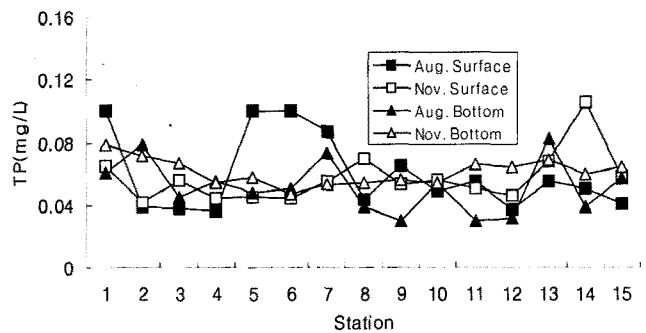


Fig. 12. Concentrations of TP at stations in August and November, 2006.

저층보다는 표층에서 높게 나타났다. 수층별 농도 분포는 앞서의 TN과 유사한 경향을 보였다(Fig. 12). TP의 유입원은 자연적인 유입뿐만 아니라 강우 시 생활하수나 농경지로부터 유입되는데 하계 표층수에서 TP의 농도가 높은 것은 여름철 강우에 의한 영향인 것으로 짐작할 수 있었다. 11월에는 0.042~0.106 mg/L으로 평균은 표층에서 0.057 mg/L, 저층에서 0.067 mg/L으로 8월과는 달리 표층보다는 저층에서 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 저질로부터의 용출 때문이라기보다는 가을철의 해류 특성 조사의 결과로부터 저층으로부터의 재 부유 때문인 것으로 짐작된다. 정점별로는 하계에 양식장이 위치하고 있는 정점 1에서 0.100 mg/L로 가장 높게 분포하는 반면에 추계에는 정점 14에서 0.106 mg/L로 가장 높게 분포하였다.

8월 집중 강우 직후에 조사된 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 농도는 0.010~0.100 mg/L으로 평균적으로 표층에서 0.025 mg/L, 저층에서 0.015 mg/L으로 TP와 같이 저층보다는 표층에서 다소 높게 나타났다. 11월에는 0.009~0.038 mg/L으로 평균적으로 표층에서 0.018 mg/L, 저층에서 0.015 mg/L으로 나타났다. 하계와 추계의 저층의 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 평균적인 농도는 유사하게 나타났다. 표층에서는 추계보다는 하계에 더 높게 분포하였다(Fig. 13). 이와 같은 결과는 SS와 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 결과에서와 같이 동시에 조사된 유입 하천수와 공사장의 배출수에서 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 농도가 높게 조사되어 여름철 강우에 의해 육상으로부터 많은 양의 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 가 연안 해역으로 유입되었기 때문으로 생각된다. 정점별로는 앞서의 하계의 표층수에서 TN과 TP가 공사장의 배출

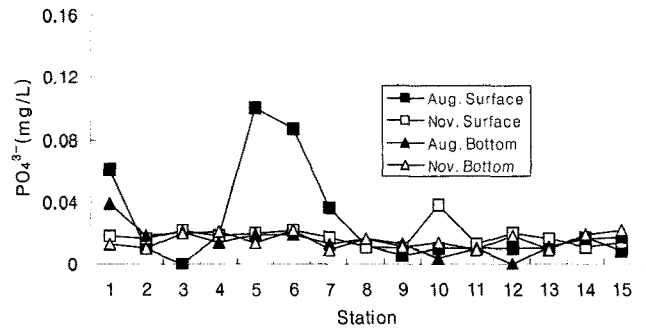


Fig. 13. Concentrations of $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ at stations in August and November, 2006.

구 인근의 정점 5, 6번 지점에서 높게 나타나고 있는 것과 같이 육상의 담수가 유입되고 있는 인근 지점에서 높게 분포하였다. 그러나 추계에는 표저층간 농도차이가 크지 않고 불규칙하게 분포하여 어떠한 일정한 영향을 예측하기가 어려웠다.

이상의 결과로부터 공사로 인한 연안해역의 수질 변화에 대한 영향을 평가하기 위해서는 단순히 표층수에서 수평적인 SS나 염분의 조사만으로 그 영향을 평가하기보다는 수질의 연직적인 조사와 바람의 세기와 해류 특성과 같은 기상과 해양특성을 파악하고, 지점별 침강특성과 용출특성 등의 조사가 이루어져야 하겠다. 또한, SS의 확산시뮬레이션에 있어서도 입력조건에 따라서 그 결과 값이 크게 달라지기 때문에(Lee *et al.* [1998]; 이 등[2001D] 평상시에 공사로 인해 SS가 포집된 저류조로부터의 집중 강우에 의해서 일시적으로 유입되는 양을 고려하여 평가되어야 할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

2006년 8월 27일 90 mm 이상의 집중 강우 직후와 11월 11일 맑은 날씨에 대규모의 연안 개발공사가 진행되고 있는 주변 해역의 15개 정점과 주변 하천수 2개 지점 그리고 공사장 배수구 1개 지점에서 pH, 투명도, 염분, DO, SS, COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$, TN, TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 를 분석한 결과를 비교한 내용은 다음과 같다. 8월 집중 강우 직후에 조사된 하천수와 공사장의 배출수에서 특히, SS와 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 가 높은 농도로 유입되고 있었다. 해역에서 pH의 경우, 집중 강우가 있었던 8월에 공사장의 배출수와 하천수가 유입되는 인근 해역의 표층수에서 담수의 유입으로 인해 다소 낮은 것 외에는 다른 조사 정점 간 차이는 크게 나타나지 않았다. 염분의 경우, 공사장의 배출구와 하천 유입구 인근 해역에서 강우에 의한 영향이 크게 미치고 있음을 알 수 있었다. SS의 경우도 공사장의 배출구와 하천 유입구 인근 해역에서만 농도 차이가 나타날 뿐 계절 간 지점 간 농도 차이가 나타나지 않았다. 오히려 추계에 강한 바람에 의한 저층 침전물의 부유에 의해 SS의 농도가 더 높았다. 이는 연안 육지부의 공사장에서 집중 강우로 인해 SS의 농도가 높은 해역에 분포하리라는 일반적인 예상과는 달리 하천수가

유입되는 주변 지점과 공사장 배출구의 인근 해역에서만 공사로 인한 영향과 강우에 의한 영향이 미치고 있음을 알 수 있었다. 그 외 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$, TN, TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 계절별, 층별, 정점별 수질 변화는 서로 비슷한 변화를 보였다.

참고문헌

- [1] 권정노, 김중구, 유선재, 2000, “하계 금강하구 주변 해역의 수질 특성과 수질변동 요인 분석”, 한국해양환경공학회지, Vol. 3(4), 3-22.
- [2] 김광수, 2001, “목포항의 수질 및 부영양화도의 계절변화”, 한국해양환경공학회지, Vol. 4(3), 3-15.
- [3] 김도희, 유한홍, 2003, 집중 강우기의 목포주변 해역의 수질 특성, 한국해양환경공학회지, Vol. 5(2), 74-88.
- [4] 박국태, 김창호, 홍현복, 류오현, 양일호, 임광수, 민덕식, 1998a, “비무장 지대에 인접한 경기도 농촌지역 강수의 화학적 성분에 관한 기초 연구”, 한국환경과학회지, Vol. 7(2), 157-164.
- [5] 박병권, 1998b, “신해양질서의 형성에 따른 해양개발의 방향”, 1998년도 세계 해양의 해 기념 해양, 수산관련학회 공동심포지엄 및 학술대회 발표요지집, 31-32.
- [6] 신성교, 박청길, 송교욱, 1998, “주성분 분석법을 이용한 낙동강 하구 해역의 수질평가”, 한국환경과학회지, Vol. 7(2), 171-176.
- [7] 완도기상대, 2007.
- [8] 이대인, 박청길, 조현서, 2001, “점원 오염부하 제어에 의한 광양만의 수질관리”, 한국해양환경공학회지, Vol. 4(3), 28-39.
- [9] 해양수산부, 2006, 해양환경공정시험법, pp. 1-132.
- [10] 환경부, 2001, 수질오염공정시험법, pp. 1-155.
- [11] Lee, I. C., S. Chang, J. K. Kim and M. Ukita, 1998, “Application to the water and sediment model for the management of water quality in eutrophicated Seto Inland Sea, Japan”, J. of the Korea Soc.. For Mar. Engi., Vol. 1(2), 96-108.

2007년 7월 25일 원고접수

2007년 11월 5일 수정본 채택