

무안반도 연안수질의 시·공간적 변동과 소규모 방조제의 영향

이대인⁽¹⁾, 조현서⁽²⁾, 이규형⁽²⁾, 이문옥⁽²⁾

Temporal and Spatial Fluctuations of Coastal Water Quality and Effect of Small Tide Embankment in the Muan Peninsula of Korea

by

Dae-In Lee⁽¹⁾, Hyeon-Seo Cho⁽²⁾, Gyu-Hyung Lee⁽²⁾ and Moon-Ok Lee⁽²⁾

요 약

본 연구는 무안반도 주변 연안수질의 계절별, 조석별 변동과 방조제의 수문개방시 시간에 따른 수질에 미치는 영향을 평가하였다. 주요 수질인자 중 용존산소는 하계의 대부분 정점과 추계 썰물시 저층에서 불포화상태를 나타내었지만, 다른 조사시기에서는 대부분 포화상태를 나타내었는데, 광합성에 의한 영향보다는 기후변동에 크게 영향을 받는 것으로 사료되었으나 생물성장에는 악 영향을 미치지 않는 범위였다. 화학적 산소요구량은 춘계 밀물시와 추계의 밀물과 썰물시에 표층과 저층 모두 평균 2mg/L 이상의 고농도를 나타내고 있어 해양수질환경 기준 II 등급을 초과하였는데, 이것은 이 지역이 매우 낮은 Chl. *a* 농도로 보아서 식물플랑크톤에 의한 유기물보다는 이 시기에 증가된 저층교란에 의한 부유물질과 담수유입의 영향이라 판단되었다. 용존무기질소는 전 조사기간에 걸쳐 0.11~8.63 $\mu\text{g-at/L}$ 의 변동범위로 하계와 추계에서 다소 높고, 조석별 차는 뚜렷하지 않았으며 저층에서 높게 나타났다. 용존무기인은 ND~2.08 $\mu\text{g-at/L}$ 의 변동범위를 보였으며 춘계를 제외하고는 평균 0.30 $\mu\text{g-at/L}$ 이상의 다소 높은 값을 보였다. N/P비는 대부분 16이하로 조사해역은 질소가 식물플랑크톤 등의 기초생산자에 대한 성장을 제한하고 있는 것으로 판단되었다. 부영양화 지수는 대부분 1이하였으나, 추계에는 밀물시 방조제 지선 주변해역에서 1이상의 부영양화 현상을 나타내었고 썰물시에는 남부해역에서 부영양화 현상을 나타내었다. 추계 강우시 방조제 수문을 약 12분 동안 개방으로 인해 담수가 방류된 후 조석류에 따라서 방조제와 지선 주변해역에서 COD, DIN, DIP 등의 농도가 1시간 내지 2시간 안에 일시적으로 급증하였으나 그 후 다시 감소하여 방류전의 농도로 회복하는 특성을 보여 주었다. 따라서 본 해역의 지속적 건강성을 위해서는 간석지 매립에 의해 조성된 방조제를 통한 방류량 및 오염부하량을 효과적으로 관리해야 하는 것으로 평가되었다.

Abstract

In this study, we estimated the seasonal fluctuations of water quality and effect of small tide embankment in coastal water around the Muan Peninsula, which is located in the northern part of Mokpo city, and laver farming ground is spread around there. Some

(1) 정희원, 부경대학교 환경시스템공학부

(2) 정희원, 여수대학교 해양시스템학부

physical and chemical factors were analyzed to characterize water quality from Jan. to Oct. in 1994. The results were as follows: Dissolved oxygen was slightly under saturation in the almost areas of July, and in some bottom layer at ebb tide of October. Distribution of COD showed high values that over 2mg/L in October and flood tide of April by the discharge of freshwater and resuspension of benthic sediment, which exceeded water quality criteria II. Maximum values of dissolved inorganic nitrogen were appeared in surface layer during the flood tide of October, while minimum of that showed in surface layer in April. Concentration of dissolved inorganic phosphorus was higher at July than the others, which ranged from 0.24 to 2.08 μ g-at/L. Mostly mean values of N/P ratio were lower than 16, it mean that nitrogen is more limiting nutrient than phosphorus for the growth of phytoplankton. The values of eutrophication index were in the range of 0.07~0.81. However, very high values due to increase of COD were estimated near the tide embankment and southern part in relation to tidal current in October. Water quality around tide embankment was suddenly changed worse within a short period after opening the water gate during the rainfall.

Keywords: Water Quality, Seasonal Fluctuation, Tide Embankment.

1. 서 론

해양의 수질환경은 그 해역 생태계의 생물활동을 제한하고 또한 그 활동의 결과를 반영하므로 수질특성을 규명하는 것은 수환경의 건전성 및 생산성 파악, 부영양화, 적조 등의 유해환경의 판정 및 예찰, 인위적인 환경오염의 규명 및 관리 등 해역을 종합적으로 평가하고 효과적으로 관리하는데 있어서 매우 중요하다. 최근 연안해역의 수질은 육상으로부터 하·폐수의 유입과 인위적 구조물공사, 해양 그 자체에서의 다양한 수산·양식 활동과 오염된 퇴적물, 그리고 대기의 강우 등에 의해 오염되어가고, 이러한 원인에 의해 해역마다 수질 변동특성과 환경이 상당히 차이가 난다. 또한, 동일한 해역에서도 지형적인 영향과 오염원 분포의 차이에 의해 공간적으로도 수질이 달라지고, 계절적으로도 시간변동이 존재하는 것이 사실이다. 더욱이 해역으로 유입하는 담수의 영향이 크다면, 유입량에 의해 해역의 물리적, 생지화학적 환경이 지배받는다(藤原建紀[1997]). 이러한 방류가 강우시기에 불규칙하게 인위적인 수문조작을 통해 이루어진다면, 담수가 방류되는 인근 해역의 수질도 급변해서 수산생물에게 악 영향을 미칠 수 있고, 수질예측도 어려워 질 수 있다. 따라서 이러한 하구역이나

방조제가 건설된 연안역에서 담수방류가 수질에 미치는 영향을 계산하고 그 영향권을 평가하는 것은 매우 중요한 수질관리측면이라 하겠다(이 등[2000]; 이와 박[2002]).

본 연구의 대상해역인 무안반도 연안해역은 대부분이 압해도와의 사이의 협수로로 이루어져 조류가 빠르고 지형적 요인에 의한 와류가 발생되는 해역이며, 남쪽에 영산강 하구둑의 영향을 받는 목포 항 해역이 위치하고 있다. 또한, 중심수로의 수심이 20m내외의 천해역으로 김 양식을 비롯하여 낚지 연승어업 등이 활발한 해역이다. 환경적으로는 해역수질 II등급에 설정되어 있고, 인근 주위에는 해역의 환경에 큰 영향을 미치는 하·폐수의 유입원 및 대단위 입해공단 등은 위치하고 있지 않지만, 대상해역의 중심에 위치한 북길리에는 소규모 방조제가 위치하고 있고 목포항 등 주변에는 몇 개의 방조제가 건설되어서 강우시 수문의 개폐로 인한 담수의 영향을 많이 받는 해역이기도 하다. 이러한 배경하에서 지금까지 본 대상해역 주위에서는 주로 오염된 목포항 연안(김[1997])이나 영산강 하구연 방조제(최[1984]; 강 등[1998])에 관계된 연구가 있었고, 무안반도에서는 류 등[2001]에 의해 지질학적인 연구가 있었지만, 수질오염실태 및 변동 등에 관한 체계적인 환경연구는 미미한 실정일 뿐만 아니

라 방조제를 통한 담수의 방류량 및 오염부하량의 영향에 관한 평가도 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 대상해역의 계절별 그리고 조석별로 수질특성을 조사하여 시·공간적인 변동특성을 파악하고, 소규모 방조제의 수문 개방시 담수와 오염물질이 인근 연안역에 미치는 영향을 규명하여 해역의 효율적인 이용 및 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사방법

무안반도 연안해역 수질의 시·공간적 변동특성을 조사하기 위해서 Fig. 1의 총 26개 지점(1~26)에서 1994년 1월 26일(동계), 4월 9일(춘계), 7월 26일(하계) 및 10월 8일(추계)에 걸쳐 밀물시기와 썰물시기에 각각 현장조사를 실시하였다.

특히, 4월 9일의 조사에서는 방조제의 수문이 일부 개방되어 담수가 일부 방류되었다. 또한, 10월 18일에는 강우로 인한 방조제 수문 개방시의 북길리 연안해역의 수질에 미치는 영향을 검토하기 위하여 당일 08시 55분부터 09시 07분까지 약 12분간 수문 4개 중 2개를 개방하여 방조제 내의 담수를 방류하였는데, 이날 간조시간은 07시 06분으로 방류당시에는 간조 후 약 1시간 50분이 경과한 시간이었으며, 수문 개방전과 개방 후에 Fig. 1에 표시된 7개의 정점(A~G, 단 A는 수문내 담수)에서 개방 후 약 30분 간격으로 채수를 행하여 만조시간인 14시 07분을 약 2시간 경과한 16시 24분까지 수질변동을 평가하였다.

2.2 분석방법

계절별 및 조석별로 모든 정점에서 표층수와 저층수를 채수하였으며, 수온과 염분은 현장측정했

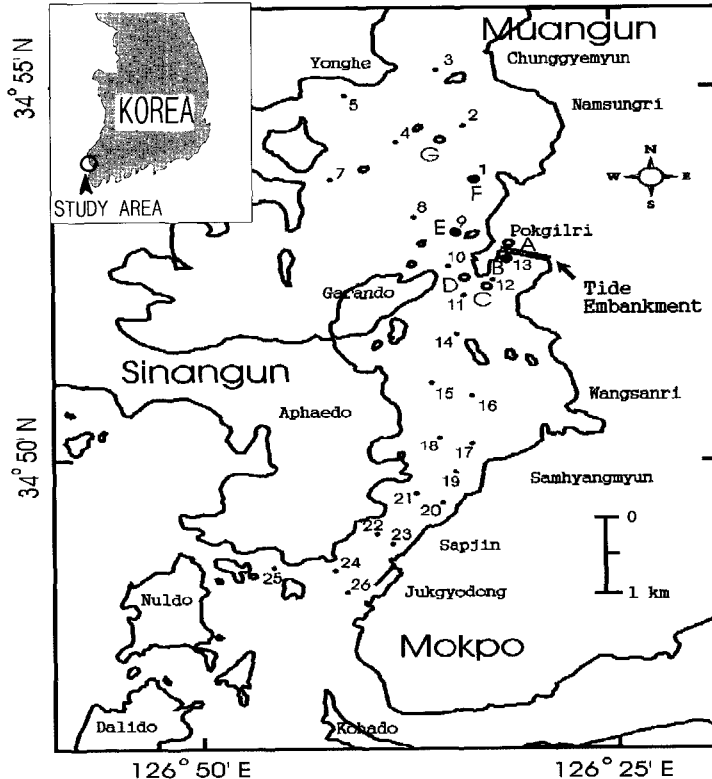


Fig. 1 Sampling stations of the study area.

으며, 나머지 항목은 실험실로 운반 후 즉시 분석하였다. 분석항목은 pH, 총부유물질(TSS), 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD) 등과 영양염류인 암모니아 질소(NH₄⁺-N), 아질산 질소(NO₂⁻-N), 질산 질소(NO₃⁻-N), 인산 인(PO₄³⁻-P) 및 규소(Si(OH)₄-Si) 등을 海洋觀測指針(日本氣象協會[1985]), 新編水質汚濁調査指針(日本水産資源保護協會編[1980]) 및 Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF[1992])에 의거하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수질의 시·공간적 변동특성

계절에 따른 조석별 그리고 층별 수질의 변동범

위 및 평균값을 Table 1과 2에 제시하였다. 수온은 전 조사시기를 통하여 3.50~29.74℃의 변동범위로 동계에 최저를 하계에 최고를 나타내었다. 염분은 31.61~33.89의 변동범위로 하계에서 가장 높고 추계에서 가장 낮은 평균값을 보였다. 수온, 염분 및 밀도의 분포로부터 본 연구해역은 협수로와 복잡한 지형의 영향으로 인하여 해수교환이 크게 억제되어 주변과는 해수특성이 크게 달랐다. 즉, 동계에는 북쪽 내만역에서 비교적 수온이 낮고 남쪽지역(목포)에서는 고수온이 뚜렷한 반면, 춘·하계에는 반대로 북쪽 내만역에서 고온·저염상이며 남쪽지역에서 저온·고염상이었다. 이것은 기온의 하강 또는 상승의 영향으로 해수용량이 적은 북쪽지역이 용량이 큰 남쪽지역보다 쉽게 차가워지거나 따뜻해지기 때 문인데, 이러한 현상으로 미루어 보아 복길리 주

Table 1 Range and mean values of analytical parameters in seawater in coastal area around the Muan Peninsula (Flood tide).

Parameters		January		April		July		October	
		Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Temp. (°C)	S	3.57~5.52	4.55	10.54~12.55	11.51	26.07~29.74	27.23	20.13~20.69	20.47
	B	3.50~5.44	4.54	10.37~15.56	11.54	25.77~27.87	26.61	20.34~20.56	20.46
Sal.	S	32.02~32.47	32.18	32.71~33.80	33.07	33.00~33.83	33.22	31.94~32.23	32.13
	B	32.10~32.49	32.23	32.79~33.18	33.01	33.03~33.28	33.11	32.12~32.22	32.16
pH	S	8.16~8.48	8.27	8.18~8.27	8.22	8.06~8.16	8.13	8.04~0.20	8.12
	B	8.14~8.28	8.25	8.14~8.27	8.21	8.11~8.16	8.13	8.06~8.20	8.11
SS (mg/L)	S	10.36~43.60	21.82	9.4~47.6	17.89	2.54~32.41	22.19	13.60~68.93	31.83
	B	11.36~43.66	22.76	9.5~41.9	21.99	13.62~40.34	29.94	17.87~114.67	48.32
DO (mg/L)	S	11.25~13.41	12.42	9.88~11.50	10.39	5.85~6.49	6.12	7.08~9.51	7.73
	B	11.44~13.00	12.33	9.89~11.60	10.56	5.91~6.80	6.30	-	-
AOU (mg/L)	S	2.92~0.87	2.00	2.43~0.91	1.55	0.02~0.81	0.45	2.08~0.36	0.30
	B	2.46~1.12	1.89	2.54~1.02	-1.70	-0.09~0.69	0.36	-	-
COD (mg/L)	S	0.50~3.83	1.94	1.92~6.31	3.39	0.76~2.56	1.52	0.24~9.69	2.12
	B	0.71~4.81	2.09	0.62~5.62	2.55	0.78~2.43	1.61	0.16~7.49	2.15
NH ₄ N (μg at/L)	S	ND~1.79	0.51	0.08~0.61	0.35	0.27~1.26	0.68	0.02~0.70	0.30
	B	ND~2.03	0.56	0.11~1.14	0.36	0.23~1.98	0.70	0.02~0.61	0.30
NO ₂ N (μg at/L)	S	0.03~0.52	0.32	0.08~0.21	0.16	0.28~0.79	0.58	0.15~0.35	0.25
	B	0.13~2.49	0.43	0.06~0.21	0.13	0.49~0.71	0.62	0.09~0.35	0.27
NO ₃ N (μg at/L)	S	ND~0.89	0.33	0.17~2.05	0.68	0.55~2.17	1.24	0.28~7.32	2.58
	B	ND~0.80	0.33	ND~7.36	1.34	0.61~2.09	1.19	1.46~2.89	1.85
DIN (μg at/L)	S	0.11~2.98	1.16	0.63~2.73	1.11	1.28~3.42	2.50	0.84~7.71	3.22
	B	0.13~3.09	1.62	0.35~8.63	1.83	0.68~3.89	2.45	1.03~3.77	2.46
DIP (μg at/L)	S	ND~0.84	0.36	0.04~0.27	0.16	0.24~2.08	0.45	0.16~0.49	0.33
	B	ND~0.84	0.32	0.04~0.27	0.19	0.34~1.88	0.49	0.16~0.46	0.34
N/P Ratio	S	0.68~11.56	4.14	3.88~14.38	7.48	1.26~11.33	6.56	3.65~20.75	9.83
	B	0.72~43.00	7.89	1.84~37.52	10.02	1.33~11.12	5.92	3.79~12.35	7.44
Si(OH) ₄ Si (μg at/L)	S	7.25~45.77	25.37	ND~14.99	5.10	7.89~27.71	14.48	0.25~29.69	11.90
	B	ND~58.59	27.33	2.77~20.90	5.66	8.48~22.59	13.84	5.15~45.40	12.97
Eutrophication Index	S	NA~1.23	0.31	0.06~0.61	0.20	0.10~1.27	0.49	0.04~2.21	0.71
	B	NA~1.52	0.31	0.03~0.94	0.23	0.27~2.27	0.60	0.02~1.92	0.57

변해역이 기상의 영향을 크게 받는 해황변동이 큰 곳임을 시사하였다.

pH는 8.04~8.48의 변동범위를 보였으며, 평균 값을 보면 동계 밀물시 표층에서 8.16~8.48(평균 8.27)로 가장 높은 값을, 추계 밀물시 저층에서 8.06~8.20(평균 8.11)로 가장 낮은 값을 보였고, 표층과 저층의 차는 거의 없었다.

총부유물질 분포는 전 조사기간을 통하여 2.54~127.00mg/L의 범위로 하계 썰물시 저층에서 평균 51.54mg/L로 가장 높은 값을 보였으며, 춘계 밀물시 표층에서 평균 17.89mg/L로 가장 낮은 값을 보여 주었다. 전 계절에서 표층보다 저층에서 높은 값을 보였으며 특히, 하계의 썰물시와 추계의 밀물시 저층에서 약 50mg/L 전후의 높은 값을 나타내어 저층 유속에 의한 해저 표층퇴적물

의 재부유가 일어났음을 알 수 있었다. 복길리 김 양식장 부근 해역에서의 표층의 SS농도는 하계 썰물시 일부지역을 제외하고는 대부분 10~40mg/L의 농도범위를 보였다. 尾形英一[1967]는 김과 활파래에서 부니농도가 10ppm이상이면 연약화현상이 나타나고, 30ppm에서는 전반적인 생리장해가 나타난다고 하였다. 따라서 김양식의 생산시기가 가을에서 다음 해 봄까지 이루어지는 것과 비교해 보면 본 해역에서는 담수방류 등 환경조건에 따라 공간적으로 김의 광합성저하, 생리장해 등의 영향을 예측할 수 있겠다.

용존산소 분포는 5.78~13.41mg/L의 범위로 동계 밀물시 표층에서 11.25~13.41(평균 12.42)mg/L로 가장 높은 평균값을, 하계 썰물시 표층에서 5.78~6.64(평균 6.07)mg/L로 가장 낮은 평균값을

Table 2 Range and mean values of analytical parameters in seawater in coastal area around the Muan Peninsula (Ebb tide).

Parameters		January		April		July		October	
		Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Temp. (°C)	S	4.11~5.30	4.84	10.98~13.56	12.55	27.18~28.71	28.00	19.84~20.53	20.19
	B	3.93~5.31	4.84	10.08~13.26	12.26	26.80~28.69	28.69	19.54~20.53	20.09
Sal.	S	32.11~32.40	32.23	32.65~33.89	32.97	33.03~33.52	33.18	31.61~32.06	31.95
	B	32.13~32.41	32.25	31.98~33.20	32.90	33.05~33.30	33.13	32.05~32.29	32.12
pH	S	8.12~8.33	8.22	8.13~8.21	8.18	8.11~8.21	8.16	8.14~8.23	8.17
	B	8.14~8.32	8.22	8.14~8.21	8.17	8.08~8.21	8.16	8.12~8.23	8.16
SS (mg/L)	S	9.49~37.35	22.55	5.1~45.8	18.19	13.09~80.22	38.39	9.22~45.11	24.39
	B	11.37~40.99	29.13	6.5~60.6	21.55	15.25~100.99	51.54	8.56~127.00	32.10
DO (mg/L)	S	11.05~12.76	11.77	9.47~11.68	10.74	5.78~6.64	6.07	7.18~10.86	7.97
	B	11.09~12.54	11.67	9.50~11.95	10.99	6.10~9.36	6.85	7.14~7.79	7.47
AOU (mg/L)	S	-2.30~-0.76	-1.35	-3.07~-0.95	-2.04	-0.14~0.73	0.45	-3.42~0.34	-0.49
	B	-1.98~-0.79	-1.28	-3.22~-0.76	-2.18	-2.79~0.44	-0.29	-0.31~0.37	0.02
COD (mg/L)	S	0.52~2.93	1.82	0.69~2.93	1.63	0.82~2.21	1.40	1.12~7.14	3.03
	B	0.58~2.78	1.77	0.42~3.57	1.89	0.82~2.27	1.62	0.76~6.86	3.22
NH ₄ -N (μg-at/L)	S	ND~2.87	0.43	ND~0.39	0.22	0.32~2.51	0.93	0.07~3.57	0.59
	B	ND~0.97	0.33	ND~0.33	0.17	0.32~1.80	0.95	0.05~2.12	0.53
NO ₂ -N (μg-at/L)	S	0.13~0.45	0.32	0.13~0.29	0.18	0.19~0.58	0.40	0.09~0.31	0.18
	B	0.19~0.81	0.37	0.06~0.23	0.16	0.35~0.59	0.49	0.11~0.28	0.18
NO ₃ -N (μg-at/L)	S	ND~0.97	0.44	0.19~1.43	0.70	0.64~1.46	0.98	0.34~1.62	0.76
	B	ND~1.03	0.46	0.48~6.46	1.28	0.62~3.85	1.23	0.30~1.42	0.85
DIN (μg-at/L)	S	0.23~4.02	1.18	0.52~1.81	1.11	1.45~4.35	2.31	0.58~4.80	1.55
	B	0.37~2.61	1.17	0.83~6.98	1.62	1.56~5.62	2.68	0.68~3.23	1.58
DIP (μg-at/L)	S	ND~0.75	0.36	0.04~0.31	0.13	0.20~1.30	0.38	0.19~0.63	0.42
	B	0.12~0.75	0.35	0.04~0.27	0.14	0.31~0.55	0.44	0.29~0.77	0.47
N/P Ratio	S	0.91~20.00	4.47	2.23~25.25	10.73	1.85~11.45	6.80	1.27~12.31	4.00
	B	0.93~21.75	4.50	4.96~87.25	15.87	3.53~16.53	6.24	1.25~7.69	3.68
Si(OH) ₄ -Si (μg-at/L)	S	8.37~41.18	19.83	2.86~17.28	6.20	3.28~34.53	11.17	4.17~23.56	12.09
	B	8.96~51.15	24.50	2.13~18.42	4.78	5.16~17.05	10.76	3.68~21.10	7.87
Eutrophication Index	S	NA~1.63	0.35	0.01~0.18	0.07	0.10~1.16	0.37	0.08~3.80	0.78
	B	0.02~0.47	0.19	0.01~0.27	0.09	0.28~1.18	0.57	0.09~3.06	0.81

* ND : Non Detected, NA : Not Available, S : Surface, B : Bottom

나타내었는데, 본 대상해역에서 7월과 10월에 측정된 식물플랑크톤 현존량의 지표인 Chl. *a*의 양은 대부분 1mg/m³ 정도로 매우 낮은 값을 나타내어서 용존산소는 식물플랑크톤에 의한 광합성보다는 기온 등 대기의 영향을 많이 받는 것으로 판단되었다. 용존산소의 포화값과 실제 측정값의 차이인 결보기 산소요구량(AOU)은 하계의 대부분의 정점과 추계의 썰물시 저층에서 불포화상태를 나타내었으며, 다른 조사시기에서는 대부분의 포화상태 이상을 나타내고 있었다. 가장 높은 불포화 값을 나타낸 하계 밀물과 썰물시의 층별 수평분포를 보면, 밀물시 표층의 가란도 북부해역과 저층의 대부분 해역에서 6mg/L 이상의 값을 보였으며, 밀물시의 가란도 남부해역의 표층의 대부분과 정점 2번 및 방조제 앞 해역의 저층에서 낮은 분포를 보였다. 썰물시에는 가란도 주변해역의 표층을 제외한 대부분의 해역에서 6mg/L

이상의 값을 보였으며, 저층에서는 방조제 지선 11번 정점에서 높고, 1번 정점에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 이러한 값은 Joh[1986]가 제안한 저서생물에 대한 용존산소 기준인 4.3mg/L보다는 전 조사기간에서 높게 나타나 용존산소로 인한 생물의 성장에 미치는 악 영향은 없는 것으로 판단되었다.

수질의 유기오탁의 정도를 나타내는 COD는 Fig. 2와 같이 전 조사기간을 통하여 0.16~9.69 mg/L의 변동범위로 춘계 밀물시 표층에서 1.92~6.31(평균 3.39)mg/L로 가장 높은 평균값을 나타내었는데, 춘계 방조제 개방에 의한 담수유입 영향으로 북길리 연안해역에서 비교적 높은 분포를, 표층의 정점 5와 가란도를 잇는 해역에서 다소 낮은 분포를 보여 주었다. 또한, 하계 썰물시 표층에서 0.82~2.21(평균 1.40)mg/L로 가장 낮은 평균값을 보였으며 가란도와 북길리 남부해역에

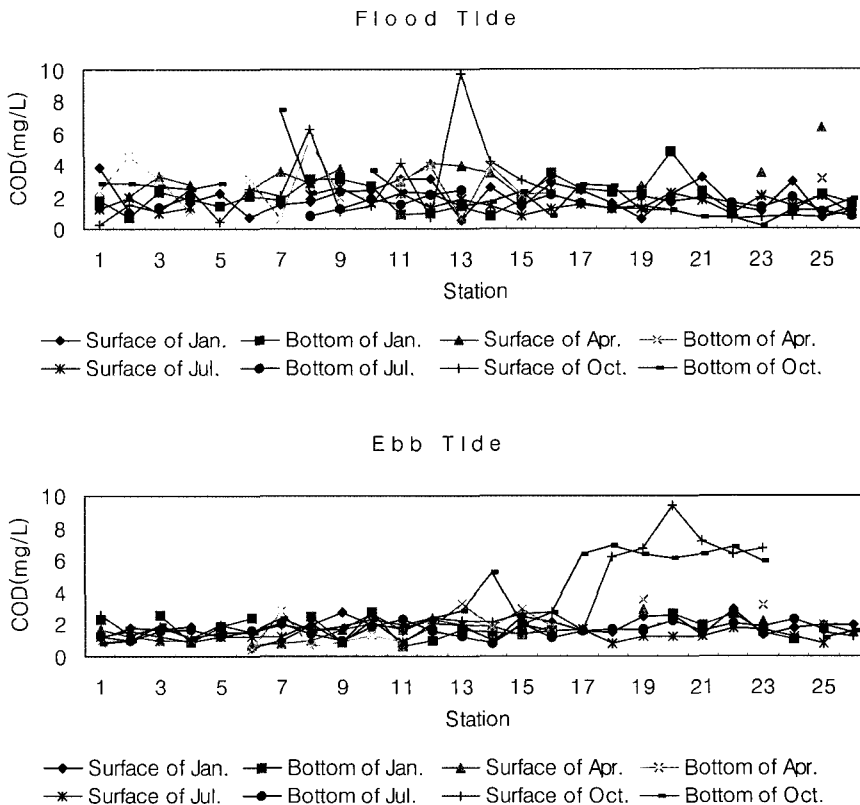


Fig. 2 The variation of COD distribution.

서 높은 분포를, 북길리 연안해역에서 1mg/L이하의 낮은 분포를 보여 주었다. 이러한 값은 일부 해역을 제외하고 일본의 수산환경 수질기준의 부영양화기준인 1mg/L를 초과하였다. 특히, 춘계 밀물시와 그리고 추계의 밀물과 썰물시 표층과 저층 모두 평균 2~3mg/L이상을 나타내어서 해역수질환경기준 II등급을 초과하였고, 추계 방조제 남부해역 정점인 13~23에서는 저층에서 4mg/L이상의 매우 높은 값을 나타내었다. 이러한 원인은 본 해역이 위에서 언급한 바와 같이 식물플랑크톤에 의한 유기물 증가보다는 계절에 따라서 물리적인 영향에 의해 저층의 부유물의 재부유현상과 강우시 방조제 담수방류의 영향과 관련이 있었다. 춘계 수문 일부 방류시의 북길리 김 양식장 표층에서의 COD 농도분포는 북길리 방조제 지선에서 2~4mg/L의 농도분포로 주변해

역보다 다소 높게 나타났다. COD에 의한 김의 영향은 대체로 COD가 3mg/L를 초과하면 김 생리에 천천히 장애가 오고, 4mg/L이상이 되면 암종병과 쪼그랑병이 발생한다고 보고되었다(고[1994]). 이들 결과를 종합하면 북길리 김 양식장에서의 COD농도가 김생산이 행해지는 추계에서 춘계에 걸쳐 1~4mg/L의 범위를 보여 특히, 방조제 지선에서의 농도가 비교적 높게 나타나 공간적으로 그리고 환경변화에 따라서는 김의 생리장애를 유발하고 있는 것으로 사료되며, 방조제 수문 개방시에는 방조제 지선 김 양식장에 대한 피해가 우려되므로 수문 개방시기, 시간 및 방류량 등의 조절 등 철저한 관리가 필요하다고 사료되었다.

용존무기질소(암모니아 질소+질산 질소+아질산 질소)는 Fig. 3과 같이 전 조사기간에 걸쳐

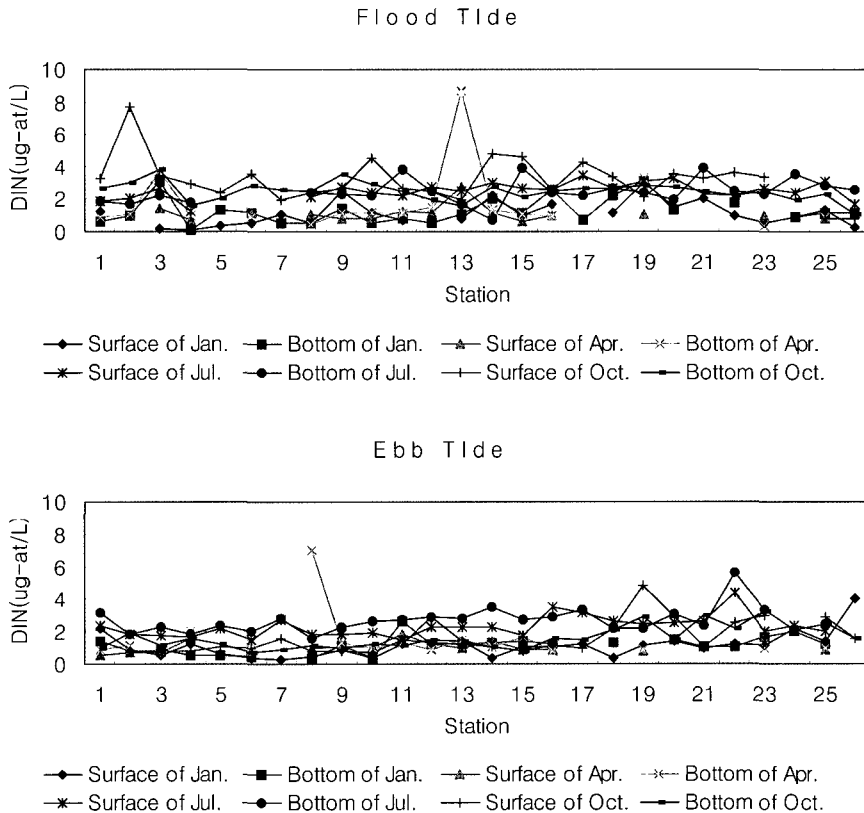


Fig. 3 The variation of DIN distribution.

무안반도 연안수질의 시·공간적 변동과 소규모 방조제의 영향

0.11~8.63 $\mu\text{g-at/L}$ 의 변동범위로 추계 밀물시 표층에서 0.84~7.71(평균 3.22) $\mu\text{g-at/L}$ 로 가장 높은 평균값을, 춘계 밀물시와 썰물시 표층에서 각각 0.63~2.73(평균 1.11)과 0.52~1.81(평균 1.11) $\mu\text{g-at/L}$ 로 가장 낮은 평균값을 보였다. 계절별로는 하계와 추계에서 다소 높고 조석별 차는 뚜렷하지 않았으며 저층에서 높게 나타나는 경우가 많았다. 가장 높은 분포를 나타내고 있는 추계의 밀물시의 수평분포를 보면, 표층의 정점 2번에서 17번을 잇는 해역에서 4.0 $\mu\text{g-at/L}$ 의 높은 농도를, 표층의 정점 7번, 13번, 26번과 저층의 4번과 방조제 앞 해역, 목포 북항해역에서 2.0 $\mu\text{g-at/L}$ 이하의 낮은 분포를 보여 주었다. 춘계의 수문 일시 방류시에는 밀물시 방조제 앞 해역에서 다소 높은 농도를 보였으나, 썰물시에는 가관도 북쪽해역에서 높은 농도분포를 보였다. 松本

文夫[1959]은 극단적인 경우를 제외하고 천연 해수에서는 질소농도가 아주 낮은 해역에서도 해수교환이 좋으면 김 생육에 큰 영향은 없다고 하였다. 북길리 김 양식장에서의 질소농도는 김 양식이 행해지고 있는 낙동강 하구해역이나 패류양식이 성행하는 진해만에 비해서 풍부하다고는 볼 수 없으며, 방조제 수문개방시 영양염의 공급원으로 작용할 수도 있지만, 이때에는 밀도의 저하 SS, COD 농도의 증가 등이 복합적으로 일어날 수도 있으므로 적절한 조절이 필요하다고 생각되었다.

용존무기인은 Fig. 4와 같이 ND~2.08(평균 0.36) $\mu\text{g-at/L}$ 의 변동범위를 보였으며, 하계 밀물시 저층에서 0.34~1.88(평균 0.49) $\mu\text{g-at/L}$ 로 가장 높은 평균값을 나타냈으며, 춘계 썰물시 저층에서 0.04~0.31(평균 0.13) $\mu\text{g-at/L}$ 로 가장 낮은

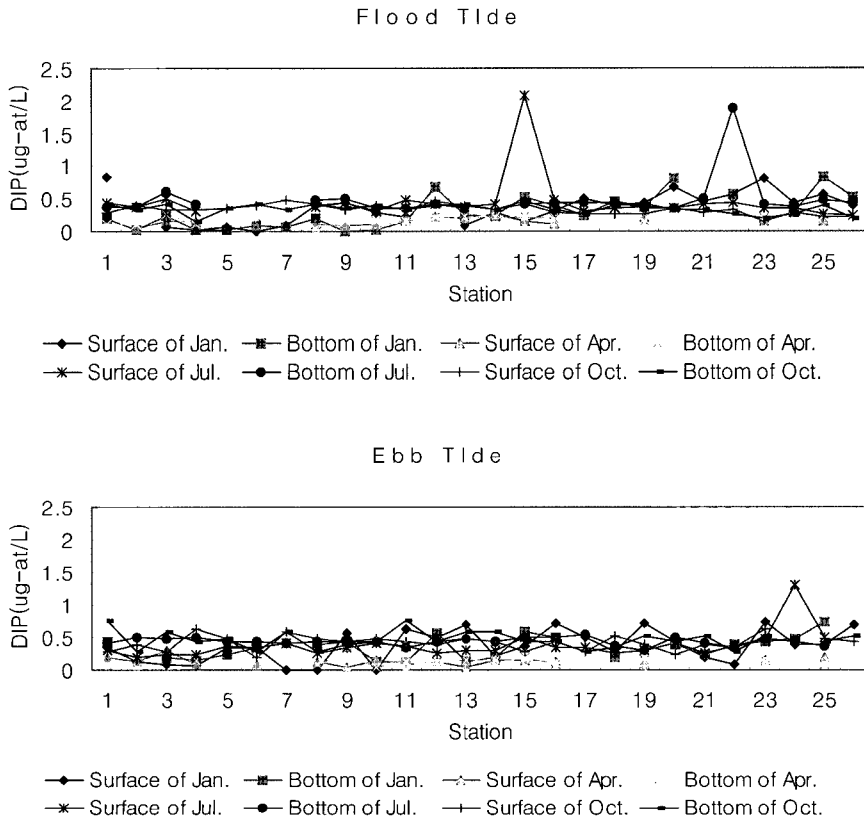


Fig. 4 The variation of DIP distribution.

평균값을 보였다. 계절별로는 춘계를 제외하고는 다른 세 계절에서 $0.30\mu\text{g-at/L}$ 이상의 다소 높은 값을 보였고, 조석별 뚜렷한 특징은 없었으며 전반적으로 저층에서 표층보다 다소 높게 나타났다. 가장 높은 분포를 나타내고 있는 하계 밀물시의 표층과 저층에서의 수평분포는 표층의 정점 15에서 $2.0\mu\text{g-at/L}$ 이상의 높은 농도를, 정점 3과 저층의 3번, 9번, 21~22번 지점에서 $0.5\mu\text{g-at/L}$ 이상의 비교적 높은 농도를 나타내었다. 춘계 수문 일부 개방시에는 방조제 지선 해역에서 주변해역보다 다소 높게 나타나 수문 개방 후 다소 증가한 것으로 판단되었다.

N/P비는 대부분 Redfield[1963]의 비인 16이하의 값을 나타내었다. 동계와 춘계의 북길리 주변해역과 조사해역의 북부해역 등의 일부 해역에서 16이상의 분포를 나타내고 있으나, 대부분은

조사해역에서 16이하의 분포를 하고 있어서 질소가 식물플랑크톤 등의 기초생산자의 성장을 제한하고 있다고 사료되었다.

용존 무기규소는 전 조사기간에서 $\text{ND}\sim 58.59\mu\text{g-at/L}$ 의 변동범위를 보였는데, 계절별로는 동계 밀물시 저층에서 $\text{ND}\sim 58.59$ (평균 27.33) $\mu\text{g-at/L}$ 로 가장 높은 평균값을 보였고, 춘계 썰물시 저층에서 $2.13\sim 18.42$ (평균 4.78) $\mu\text{g-at/L}$ 의 값으로 가장 낮은 평균값을 보였다. 조석별로는 대체적으로 밀물시에 높게 나타났으며 층별로는 뚜렷한 특징은 없었다. 가장 낮은 분포를 나타내고 있는 춘계 밀물시와 썰물시의 표층과 저층에서의 수평분포는 밀물시 고농도 분포해역은 표층의 방조제 지선해역과 저층의 왕산리 앞 해역이었으며, 저농도 분포해역은 표층의 북용리 앞 해역, 왕산리 앞 해역, 저층의 방조제 앞 해역이

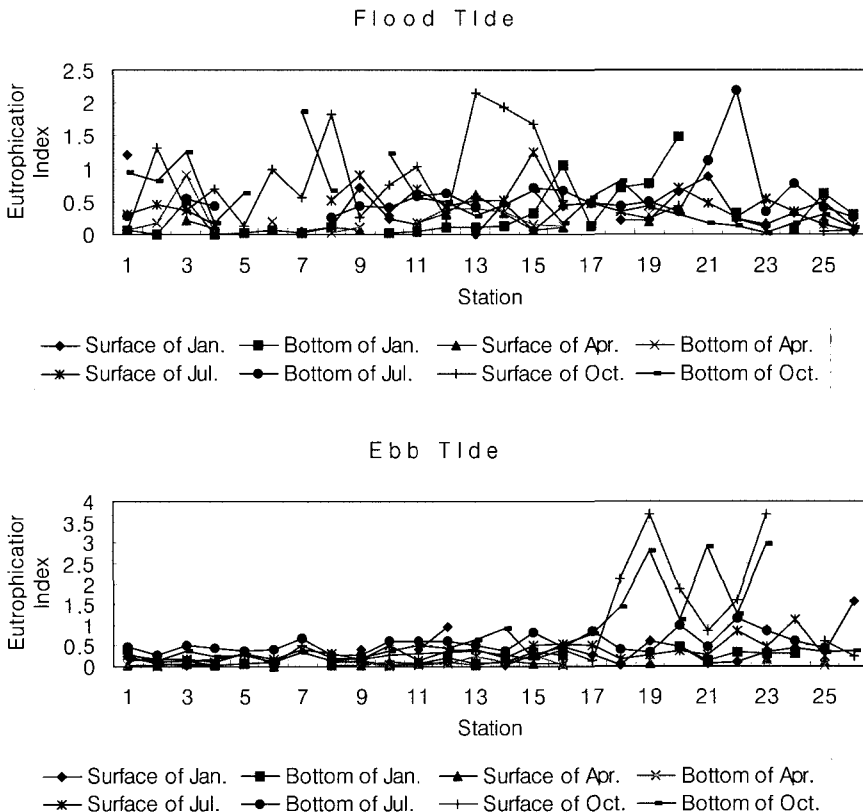


Fig. 5 The variation of eutrophication index in the study area.

었다. 썰물시에는 가란도 동쪽 수로 주변해역에서 높은 분포를 보여 주었으며, 표층의 북부 중앙해역, 왕산리 남쪽해역, 저층의 영해 남쪽해역 및 가란도 남쪽해역에서 낮은 농도분포를 보여 주었다.

COD, DIN과 DIP의 값을 이용하여 해역의 부영양화 정도를 나타내는 Okaichi[1985]의 부영양화 지수는 $[COD(mg/L) \times DIN(\mu g-at/L) \times DIP(\mu g-at/L)]/3.43$ 로 구하는데, 계산결과가 1이상이면 부영양화가 진행되었음을 의미한다. 본 해역에서 이 지수의 계절별 변동특성은 Fig. 5와 같이 추계 밀물시와 썰물시에 평균 0.57~0.81의 변동범위로 상대적으로 높은 평균값을 보여 주었으며, 가장 낮은 값은 춘계에서 나타났다. 특히, 추계에는 밀물시에 방조제 지선 주변해역에서 1이상의 부영양화 현상을 나타내었고, 썰물시에는 조사해역의 남부해역에서 매우 높은 부영양화 지수를 보여 주었는데, 이것은 이 시기에 대폭적으로 증가한 COD에 기인한다. 이렇게 같은 시기에 부영양화된 해역의 변동은 이 해역의 유동장 과도 관련이 있는데, 즉, 밀물시기에는 해수가 외해쪽에서 북길리 방조제앞으로 진입하여 천천히 북상하고 반면, 썰물시기에는 빠르게 남류하는 양상에 의해 물질분포가 많은 영향을 받는다고 사료되었다.

3.2 수문개방시 수질에 미치는 영향

1994년 10월 18일 강우시 수문 일부 개방에 따른 북길리 연안 6개 정점의 표층에서 수질의 시간별 변동을 추적한 결과, 화학적 산소요구량은 Fig. 6과 같이 방류전 수문내에서의 농도는 0.52 mg/L이었고, D, E, G 정점에서는 약 0.7~1.3mg/L 정도로 수문내 농도보다 더 높은 상태를 보였다. 방조제 수문앞 지점인 B지점에서는 방류전에 0.30mg/L에서 방류 1시간 후(오전 10시) 1.78 mg/L로 대폭 증가하였으며 이후 다시 감소하였다. C지점 또한 방류 1시간 후에 약 0.5에서 1.4 mg/L로 B지점 보다는 작게 증가하였으나 약 1시간 30분후부터는 감소하여 원래의 농도를 회복하였으며 썰물시기에 소폭 증가하는 양상을 보였다. D지점에서는 담수방류후 1시간 후에 소폭 증가했다가 약 1시간 30분후에 감소하여 일정시간동안 증·감을 반복하는 특성을 보였고, F지점은 C지점과 유사하였고, E 및 G지점에서는 약 1시간 30분후에 Peak를 보여 방조제 가까운 지점보다 담수방류에 반응하는 시간이 다소 지체된 것 같았다.

용존무기질소는 Fig. 7과 같이 방류전 수문안에서 약 70 $\mu g-at/L$ 에 가까운 매우 높은 농도를 나타내었다. 방조제 지선 앞 B지점에서는 수문 개방후 1시간 후에 소폭 증가했고, C지점에서는 약 1시간 30분후에 급격히 증가하다 이후 감소하여 약 3시간 후에는 원래의 농도로 회복하여 안정하는 특징을 보였다. D지점에서는 수문개방 후 약 1시간 후에 Peak가 발생하여 그 후 감소

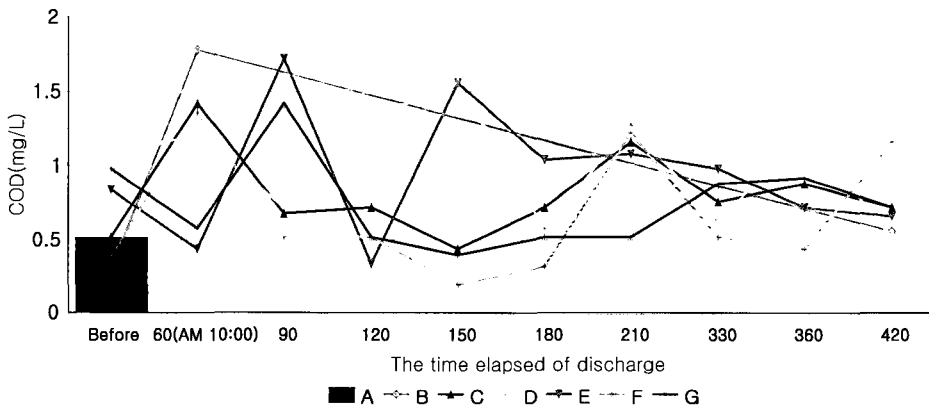


Fig. 6 Temporal changes of COD during open the tide embankment by rainfall in autumn.

하여 안정하다가 약 3시간 30분후에 또 한번의 Peak를 보였다. E지점에서는 담수방류에 상관없이 안정하는 특징을 보였으며, F지점에서는 약 1시간 30분후에 Peak를 보였고, G지점에서는 밀물시에는 안정한 농도를 보이다가 썰물시에 농도가 증가하는 특징을 보였다.

용존무기인의 변동은 Fig. 8과 같이 방류전 수문내에서의 농도는 약 $6.5\mu\text{g-at/L}$ 로 매우 높은 농도를, B지점 또한 약 $1.0\mu\text{g-at/L}$ 에 가까운 농도와 나머지 지점에서도 약 $0.5\sim 0.7\mu\text{g-at/L}$ 사이의 농도를 보였다. B지점은 수문 개방후 1시간 후에 소폭 증가하여 그 후 감소하였고, C지점에

서는 DIN과 달리 수문 개방 후 뚜렷한 변동특성은 없었으며, D지점에서는 개방후 약 1시간 후부터 다소 증가하여 약 2시간 후부터 감소하였으며 이후 증가 또는 감소하는 추세를 보였다. E지점에서는 시간별로 소폭의 증·감을 반복하였으며, F지점에서는 DIN과 같은 시간대에 Peak를 보였으며 방류전보다 다소 높은 농도로 증·감을 반복하다가 썰물시에 다시 감소하는 특징을 보였다. G지점에서는 방류후 약간 증가하였으나, 이후 방류전 보다 감소하는 특징을 보였다.

이들 결과로부터 추계 강우시 수문 개방전후

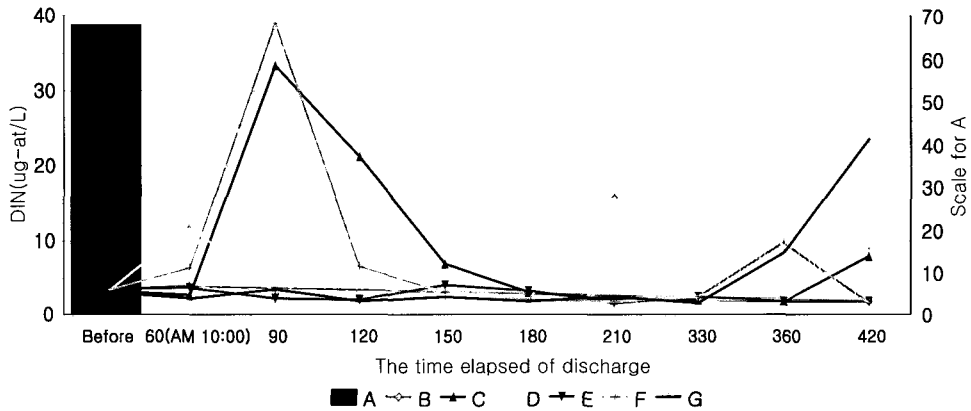


Fig. 7 Temporal changes of DIN during open the tide embankment by rainfall in autumn.

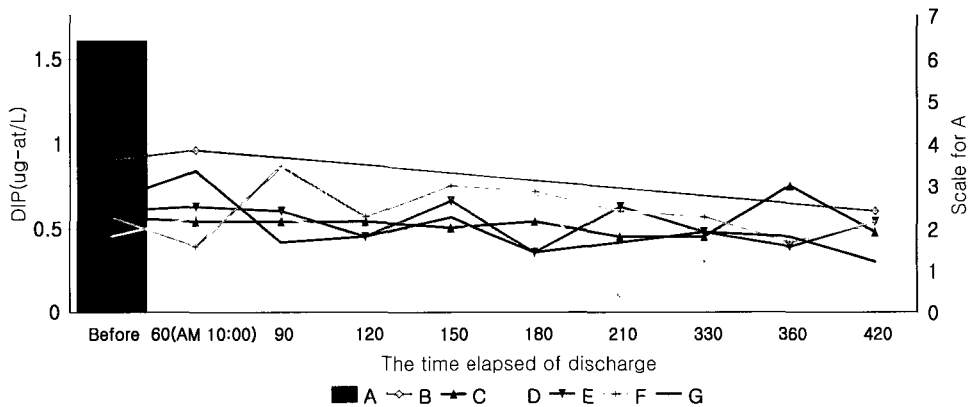


Fig. 8 Temporal changes of DIP during open the tide embankment by rainfall in autumn.

의 복길리 연안해역에서의 수질 변동특성은 수문을 약 12분 개방후 방조제와 가까운 B, C, D 지점에서 담수 방류후 COD, DIN, DIP 등의 농도가 1시간 후 또는 2시간 내에 급증하였으나, 그 후 다시 감소하여 방류전의 농도로 돌아오는 특성을 보였고, 밀물과 썰물시기에 따라 소폭의 증·감을 반복하는 특성을 보였다. 그리고 방조제에서 멀리 떠 떨어진 정점들은 방조제 앞 정점에 비해 담수부하에 반응하는 시간이 다소 지체된 상황을 일부 보여 주었다. 전체적으로 인위적인 수문개방으로 방조제 가까운 지점에서 수질이 단시간내에 급변하는 영향을 받아 수산생물에게 악 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단되었다. 이러한 영향의 크기는 담수방류량의 세기와 담수에서 공급되는 오염부하량에 좌우될 수 있을 것이다. 따라서 이 지역의 생물생산 및 해양생태계의 지속적인 이용목적을 위해서는 방조제로부터의 방류량 및 오염부하량의 효율적인 관리가 필요하다 하겠다.

4. 결 론

- 1) 용존산소는 하계의 대부분의 정점과 추계의 썰물시 저층에서 불포화상태를 나타내었지만, 다른 조사시기에서는 대부분의 해역에서 포화상태 이상을 나타내었다.
- 2) 화학적 산소요구량은 일부 해역을 제외하고는 일본의 부영양화의 기준인 1mg/L를 넘어섰고, 특히, 춘계 밀물시와 그리고 추계의 밀물과 썰물시 표층과 저층 모두 평균 2~3mg/L 이상을 나타내어 해역수질환경기준 II등급을 초과하였다.
- 3) 용존무기질소는 0.11~8.63 $\mu\text{g-at/L}$ 의 변동범위로 하계와 추계에서 다소 높고, 조석별 차는 뚜렷하지 않았으며 저층에서 높게 나타나는 경우가 많았다.
- 4) 용존무기인은 ND~2.08 $\mu\text{g-at/L}$ 의 변동범위를 보였으며 춘계를 제외하고는 평균 0.30 $\mu\text{g-at/L}$ 이상의 다소 높은 값을 보였고, 조석별로는 뚜렷한 특징은 없었으며 전반적으로 저층에서 표층보다 다소 높게 나타났다.
- 5) N/P비는 대부분 16이하로 조사해역의 대부분은 질소가 식물플랑크톤 등의 기초생산자의 성장을 제한하고 있는 것으로 나타났다.

- 6) 용존무기규소는 전 조사기간에서 ND~58.59 $\mu\text{g-at/L}$ 의 변동범위를 보였으며 동계에서 가장 높은 분포를 보였고 춘계에서 전반적으로 낮았으며 밀물시에 높게 나타났다.
- 7) 부영양화 지수는 추계 밀물시와 썰물시에 평균 0.57~0.81의 변동범위로 상대적으로 높은 평균값을 보였으며, 밀물시에는 방조제 지선 주변해역에서 1이상의 부영양화 현상을 나타내었고 썰물시에는 조사해역의 남부해역에서 부영양화 현상을 나타내었는데, 이것은 이 지역의 조석류와 관련이 있었다.
- 8) 추계 강우시 방조제 수문을 약 12분 개방해서 담수가 해역으로 유입된 후 방조제와 지선 주변해역에서는 COD, DIN, DIP 등의 농도가 1시간 후 또는 2시간 안에 일시적으로 증가하였으나, 그 후 다시 감소하여 방류전의 농도로 회복하는 특성을 보여 주었고, 방조제와의 거리와 유동상황에 따라 담수부하의 반응에 다소의 지체가 보이기도 하였다.

참고문헌

- [1] 강주환·임병선·이점숙·김종욱·임현식·김하송, 1998, “방조제 건설 전후에 목포해역의 오염물질 확산 메카니즘”, 한국환경생물학회지, 16(4), 375~381.
- [2] 고남표, 1994, “복길 간척지 담수 방류에 따른 김 양식어장 피해조사 중간보고서”.
- [3] 김광수, 1997, “목포항의 수질특성(II) -하계의 부영양화를 중심으로-”, 해양안전학회, 3(2), 51~61.
- [4] 류상욱·김주용·장진호, 2001, “서부 남부 무안만의 표층퇴적물의 분포와 조간대 퇴적물”, 한국지구과학회지, 22(1), 30~39.
- [5] 이대인·김동명·김형철·이석모·박정길, 2000, “洛東江 河口海域의 식물플랑크톤 極大域 變動에 관한 數値시뮬레이션 -II. 식물플랑크톤 극대역 변동의 수치시뮬레이션-”, 한국환경과학회지, 9(5), 375~384.
- [6] 이대인·박정길, 2002, “낙동강 하구해역의 동계 수질모델링”, 한국물환경학회지, 18(5), 449~460.
- [7] 최병호, 1984, “영산강 하구의 방조제 건설에 따른 조위변화”, 대한토목학회논문집, 4(2), 113

~124.

- [8] APHA. AWWA. WPCF., 1992, Standard methods for the examination of water and waste water, 18th edition.
- [9] Joh, H., 1986, "Studies on the mechanism of eutrophication and the effect of it on fisheries production in Osaka Bay", Bulletin of the Osaka prefectural fisheries experimental station, 7, p. 174.
- [10] Okaichi, T., 1985, "The cause of red-tide in neritic water", Japan fisheries resources conservation association, 58~75.
- [11] Redfield, A. C., B. Ketchum and F. A. Richards, 1963, "The influence of organisms on the composition of seawater", In: The Sea, 2, M.H. Hill, ed. Wiley, New York, 26~77.
- [12] 尾形英一, 1967, "汚水による ノリ被害の生理學", 水處理技術, 8(1), 29~42.
- [13] 藤原建紀, 1997, "淡水影響域における エスチュアリー循環流と 生物・物質輸送", 海と空, 第73卷, 第 1号, 23~30.
- [14] 松本文夫, 1959, "ノリ生育に對する 特に水流影響に關する研究", 廣島大水畜産紀要, 2(2), 249~333.
- [15] 日本水産資源保護協會編, 1980, 新編水質汚濁調査指針.
- [16] 日本氣象協會, 1985, 海洋觀測指針.