

새만금 하구역의 이화학적 환경요인에 따른 수질 평가

The Evaluation of Water Quality in Coastal Sea of Saemangeum by Chemical Environmental factors

김재옥* · 김원장** · 조국현**

Kim, Jae-Ok · Kim, Won Jang · Jo, Kuk Hyun

Abstract

The objective of this study was to evaluate chemical water quality by hourly monitoring(25hr) of Saemangeum estuary. For this study, we selected 2 sites like a Mangyoung Bridge(St. 6) and Dongjin Bridge(St. 7). Inflow of salt water was not detected during low tide(maximum 553, 508cm) of all stations, while the salinity rises were detected in spring tide(750cm). When 602m of maximum tide was reached, salinity concentration was increased at St. 7, while there was no change in St. 6. Therefore, We know that salinity variation is greatly influenced by tide height at survey site. Also, significant variance of salinity($p<0.05$) was found between St. 6 and St. 7 because dike construction made the flood tide move into the Dongjin river. Total suspended solids(TSS) concentration was increased because of the river runoff at St. 6, and also the turbulence and resuspension according to salt intrusion at St. 7. During the high tide, the water discharge from the sea seemed to dilute the nutrient but to elevate TSS concentration in St. 7. Silicate and nitrate concentrations in the studied site were decreased by the mixing of sea water, whereas the evident trend of phosphate concentration was not found. This result can be explained by the phosphorus condition. Phosphorus exists inactive when it is affected by hydrated iron and adsorbed onto suspended matters. Compared to the environmental conditions of the St. 6 and St. 7, physical factors such as temperature, dissolved oxygen and TSS have statistically no significant difference($p<0.001$), but nutrient concentrations were higher at St. 6 than St. 7. It could be suggested from these results that it is important to control the discharge of fresh water by sewage treatment plants located in St. 6 for water quality management.

Keywords : Hourly monitoring, Water quality, Saemangeum, Tide, Discharge, Sewage treatment

1. 서 론

새만금 사업은 전라북도 군산에서 부안의 변산반도를 잇는 33km의 방조제를 건설하고 방조제 안쪽에

농지와 담수호를 조성하는 대규모 국책사업이다. 새만금으로 유입되는 주요 유입 하천은 만경강과 동진강이다. 만경강은 상류유역에 위치한 고산천, 전주천, 소양천등의 수질은 양호하나 삼례, 김제, 익산 그리고 전주시를 거치면서 생활하수, 공장폐수 및 축산폐수 등으로 인하여 수질오염이 심화된 실정이다(Lee et al, 2005). 이에 따라 새만금 간척지의 내부 개발도 수질이 보다 양호한 동진수역을 우선 개발하고

* 한국농촌공사 농어촌연구원

** 한국농촌공사 새만금사업단

† Corresponding author. Tel.: +82-31-400-1837

Fax: +82-31-400-1680

E-mail address: kjokim@ekr.or.kr

만경수역은 방수제로 분리하여 만경수역 수질이 목표수질을 달성할 때까지 해수를 유통시키는 순차개발방안이 채택되었다(RRI, 2004). 따라서 만경강과 동진강의 수질은 새만금 간척지의 개발에 직접적인 영향을 미치는 매우 중요한 환경인자이다.

일반적으로 하구역의 수질변화는 조석변화에 따른 영향과 상류의 담수 유입특성과 밀접한 관련이 있다(Montani, S. P., et al 1998). 하구역에서 대조와 소조기의 염분, 탁도 및 영양염류의 수질변화는 조수 상태 또는 조위의 진폭에 따라 크게 변화한다(Kim et al., 2002).

또한 하구의 특성에 따라 담수의 간헐적 유입이나 소하천을 통한 생활하수의 유입, 저질환경 악화로 인한 영양염 용출 등 다른 환경변수가 존재하는 하구해역에서는 이들 변수의 거동이 더욱더 복잡하다(Kim et al., 2002). 따라서 하구수질의 단기적 변동을 정략적으로 접근하기 위하여 연속조사가 이루어져야 한다(Yin et al., 1995). 연속관측은 하구역의 단기 가변성에 대한 일일변화를 다른 상황의 대등한 실시간 정보를 짧은 거리 하에 조석주기의 효과와 담수 유입특성에 관한 영향을 이해할 수 있다(Kim et al, 2002).

따라서 본 연구에서는 완전혼합형 하구로 분류되는 새만금 하구역의 수질특성 평가를 위해 유입수의 최말단 지점인 만경대교와 동진대교를 대상으로 계절별로 25시간 연속조사를 하였다. 종합적인 수질평가를 위해 다변량 해석기법 중 요인분석을 실시하여 수질변화의 가장 큰 영향인자를 도출하였고 계절별 수질특성을 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구는 만경강 본류와 동진강 본류의 최하단부에 위치한 만경대교와 동진대교 지점으로 간조와 만조의 영향을 받는 감조하천의 특성을 가지고 있다(Fig. 1).

만경강 수계는 전북 완주군 동상면에서 발원하여 소양천, 전주천 등의 지류와 합류한 후 만경대교를 거쳐 서해로 유입하는 국가 및 지방하천으로 구성되

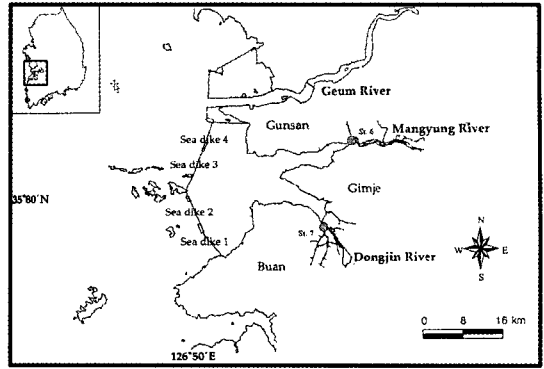


Fig. 1 Map of sampling station in Saemangeum estuary(St. 6 : Mangyung Bridge, St. 7 : Dongjin Bridge)

어 있으며 국가하천 구간은 전북 완주군 고산면 고산천 합류점에서 전북 김제군 진봉면 국사봉 산정에서 북 15° 서로 그은 선까지 총 연장 77.4km이며 유역면적은 157,090ha이다(RRI, 2004). 동진강 수계는 정읍시 산외면 상두리 국사봉에서 발원하여 정읍천, 고부천, 원평천 등의 지류와 합류하여 동진대교를 거쳐 서해로 유입하는 하천으로 유역면적은 100,040ha 유로연장 46.0km의 국가하천으로 법정 하천의 종점은 전북 부안군 동진면 안성리 삼각점에서 북50°동으로 그은 선까지이다.

2. 조사 및 분석방법

본 연구의 조사지점은 발원지인 전북 완주군 동상면에서 총 연장 69.6km에 위치한 만경대교 지점(St. 6)과 동진강 발원지인 정읍시 산외면 산두리에서 총 연장 41.3km 지점에 위치한 동진대교 지점(St. 7) 두 정점을 대상으로 실시하였다(Fig. 1). 현장조사는 2004년 2월, 5월, 8월, 10월 4회에 걸쳐 25시간 조사를 실시하였다(Table 1).

Table 1 The sampling time in 2004

Month	Time
Feb.	12:55 ~ 12:52
May	13:59 ~ 13:58
Aug.	10:56 ~ 10:52
Oct.	15:37 ~ 14:50

수환경 변화를 모니터링하기 위한 시료채취는 3시간 간격으로 실시하였다. 채취시료 중 현장측정 항목인 수온, DO, pH, 염분등은 현장에서 바로 측정(YSI-600)하였고, 실내분석 시료는 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였다. 실내분석은 해양환경공정시험법에 준하여 분석하였다(APHA, 1998.). 총질소(TN)은 Spectrophotometric법, 암모니아질소(NH₄-N)는 Indophenol법, 질산성질소(NO₃-N)는 Cd-Cu 환원법으로 측정하였다. 총인(TP)과 인산염(PO₄-P)은 Ascorbic acid 방법, COD는 KMnO₄ 법으로 분석하였다.

수질 분석자료를 바탕으로 수질인자들을 간결하고 명료하게 관계를 규명하기 위하여 주성분분석(Principal component analysis, PCA)을 실시하였다. 이 분석은 SYSTAT 10을 이용하여 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수질변동 특성

새만금 하구 2개 지점에서 2004년 2월, 5월, 8월, 10월 4회에 걸쳐 25시간 연속 관측한 결과는 Table 1과 같다. 또한 조사기간 동안 조석변동을 2, 8월은 저고의 차이가 각각 526cm와 695cm로 대조기로 분류할 수 있으며 5, 10월은 각각 325cm와 254cm로 소조기로 분류하였다(Fig. 2).

각 조사시점에서 강수의 영향을 파악하기 위하여 조사시점 전 15일간의 강수변동현황은 Fig. 3에 나

타내었다. 2월과 10월에는 10mm 이하의 강우가 내렸으며 5, 8월에는 약 25mm의 강우를 기록했으나 그 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

조사기간 동안 수온은 계절변화를 잘 반영하여 여름철에 높고(33℃), 겨울철에는 낮음(3.1℃) 수온분포를 보였다(Table 2, Fig. 4). 일일 변화를 살펴보면 조차가 크지 않았던 5, 10월에는 거의 일정한 수준을 유지하였으나, 대조기에 해당하는 8월 조사에서는 저조시(0시, 32℃)와 고조시(6시, 29℃)의 수온가 약 3℃가량 차이가 있었다. 이는 외해로부터 유입된 해수와 수온차에 의해 발생한 것으로 판단된다.

시기별로 염분농도는 대조기로 분류되는 2, 8월 해수의 영향을 받아 St. 6에서는 4.7~25.5(평균 16.3)‰, St.7에서는 17.0~27.7(평균 22.6)‰로 나타났다. 조석이 최대 553cm, 508cm를 보인 5, 10월에는 St. 6, St.7까지 해수가 유입되지 않는 특성을 보였다(Fig.

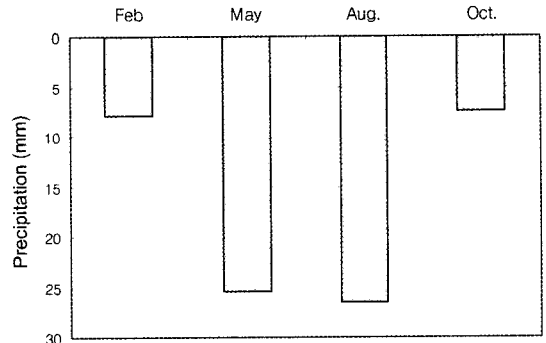


Fig. 3 The precipitation before 15day of survey

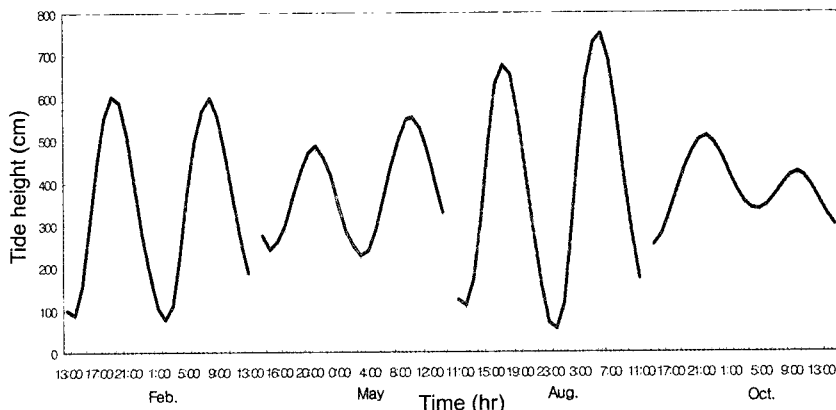


Fig. 2 The hourly variation of tide cycle during the survey from February to October, 2004

4). 또한 최대 조위가 602cm인 2월의 경우에는 St. 7 에는 염분농도가 증가하였으나 St. 6에는 증가가 미미 하여 해수의 주 흐름이 St. 7 방향으로 더 원활하게 진행되는 것을 알 수 있었는데 이는 방조제 미체절 구간을 통한 흐름이 동진강 쪽으로 향하고 있기 때문 으로 보인다. 그러나 조차가 7m에 육박하는 8월 조 사에서는 두 지점 모두 해수의 영향을 받고 있었다. 염분농도의 증감 이유는 창조류에 의해 만조시까지 외 해의 해수가 유입되어 높은 농도를 보이며 낙조류에 의해 하구 상류부근의 담수가 유입됨에 따라 간조시 까지 염분이 감소하는 것으로 판단된다(Lee et al., 1997, Yang et al., 1999). St. 7 지점의 염분농도는 St. 6 지점보다 더 높게 나타났는데($p < 0.05$) 이는 해 수유통이 더 원활했기 때문이다(Table 2).

용존산소는 수괴의 혼합특성을 나타내는 중요한 인 자로써(Kim et al., 2002) 지점별 변동을 살펴보면 St. 6에서는 5.3~12.7(평균 9.2 ± 1.6)mg/L, St. 7 에서는 4.1~12.2(평균 9.5 ± 1.7)mg/L로 나타났다. 용존산소 농도가 5.3mg/L와 4.1mg/L으로 최저점을 보인 시기는 조위가 가장 높아 해수의 유입이 최고에 이를 때이다(Fig. 2). 이는 해수가 밀도 차이에 의해 저층으로 유입(Huzzey et al., 1994)하면서 발생하는 유동에너지에 의해 침전되어 있던 잠재오염원들이 일시적으로 재부유하면서 용존산소가 급격히 감소

Table 2 Mean values of environmental factors in Saemangeum Estuary. Plus-minus and parenthesis values indicate standard deviation, maximum and minimum, respectively

Factors	Station		Sig.
	St. 6	St. 7	
Temp (°C)	19.2±9.4 (33.0/3.5)	18.8±9.4 (31.6/3.1)	-
pH	8.1±0.8 (9.7/7.2)	7.6±0.3 (8.0/7.1)	$p < 0.001$
Sal. (‰)	6.4±8.2 (25.5/0.2)	11.7±11.4 (27.7/0.1)	$p < 0.05$
DO (mg/L)	9.2±1.6 (12.7/5.3)	9.5±1.7 (12.2/4.1)	-
TSS (mg/L)	123.4±54.2 (225/30)	129±69.7 (270/20)	-
COD (mg/L)	9.8±2.8 (18.4/3.1)	8.4±3.0 (14.4/3.9)	$p < 0.05$
SiO ₂ -Si (mg/L)	1.3±0.56 (2.4/0.4)	1.1±0.38 (1.8/0.5)	$p < 0.05$
NO ₃ -N (mg/L)	1.1±0.56 (2.1/0.1)	1.2±0.68 (2.1/0.1)	-
NH ₄ -N (mg/L)	2.7±1.8 (7.0/0.4)	0.8±0.58 (1.71/0.03)	$p < 0.001$
T-N (mg/L)	7.6±2.9 (13.8/2.9)	4.9±1.7 (8.6/2.0)	$p < 0.001$
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.121±0.082 (0.302/0.017)	0.036±0.017 (0.071/0.014)	$p < 0.001$
T-P (mg/L)	0.379±0.169 (0.866/0.136)	0.273±0.170 (0.724/0.084)	$p < 0.05$

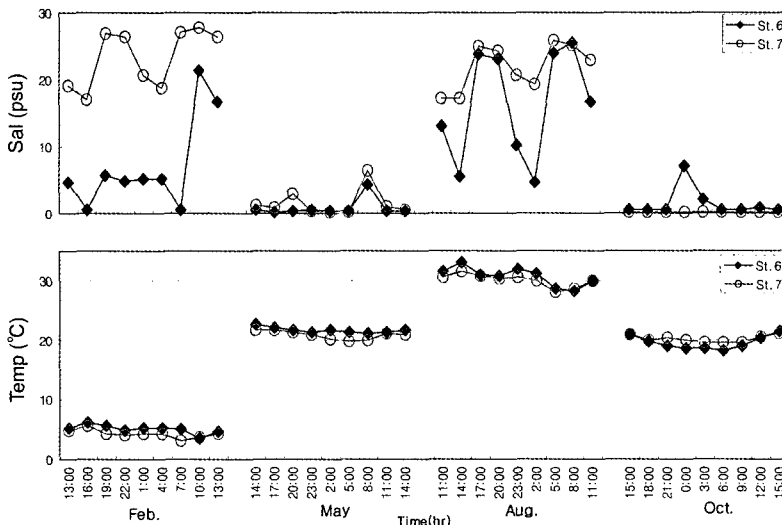


Fig. 4 Time series variation of water temperature and salinity concentration in Saemangeum estuary

한 것으로 보인다(Kim et al., 2002). 그러나 지속시간이 길지 않고 곧바로 회복되는 경향을 보여 큰 문제는 없을 것으로 사료된다.

부유물질(TSS) 농도는 St. 6에서는 30~225(평균 123 ± 54)mg/L, St. 7에서는 20~270(129 ± 70)mg/L로 동진대교 쪽에서 다소 높게 나타났다(Table 2). St. 7 지점에서 부유물질의 농도가 가장 높은 시기는 2월(22:00)과 8월(05:00)이었는데 이 시기는 대조기이며 또한 조위가 가장 높을 때였다(Fig. 2). 따라서 이 시기의 탁도물질은 담수유출과 해수유입이 경계를 이루는 지점에서 저층에서의 재부유에 의한 영향으로 부유물질의 농도가 높게 증가한다는 연구결과(Lee et al., 1987, Yang et al., 1990)와 일치하는 것으로 나타났다. 반면 St. 6 지점에서는 2월(01:00), 5월(05:00), 10월(0:00)에 해수의 유입이 미미하였는데도 불구하고 부유물질 농도가 각각 190mg/L, 220mg/L,

160mg/L까지 증가하였는데 이는 외부에서 유입된 담수에 포함된 탁도물질에 의한 것으로 판단된다.

해역의 유기오염 지표로 사용되는 COD 농도는 St. 6에서 3.1~18.4(평균 9.8 ± 2.8) mg/L, St.7에서는 3.9~14.4mg/L(8.4 ± 3.0)mg/L로 변동폭이 크게 나타났고 조위변화와 큰 상관성을 찾을 수 없었다. 그러나 COD 농도의 변동폭을 살펴보면 소조기로 조사지점까지 해수가 유입되지 않았던 5월과 10월이 대조기인 2월과 8월보다 더 크게 나타났는데(Fig. 5), 이는 조사지점이 외부에서 유입되는 오염원에 의해 영향을 받고 있음을 시사해준다. 또한 두 지점의 COD 농도비교에서 염분 농도가 더 낮은 St. 6의 농도가 St. 7 지점보다 높은 것이 이 사실을 뒷받침 해 주고 있다.

육상기원 물질로서 규조류의 필수영양원인 규산규소(Kim et al., 2002)는 St. 6에서 0.4~2.4(평균 1.3 ± 0.56)mg/L, St. 7에서는 0.5~1.8(평균 $1.1 \text{mg/L} \pm 0.38$)

Fig. 5 Time series variation of Dissolved oxygen, total suspended solids and COD concentration in Saemangeum estuary

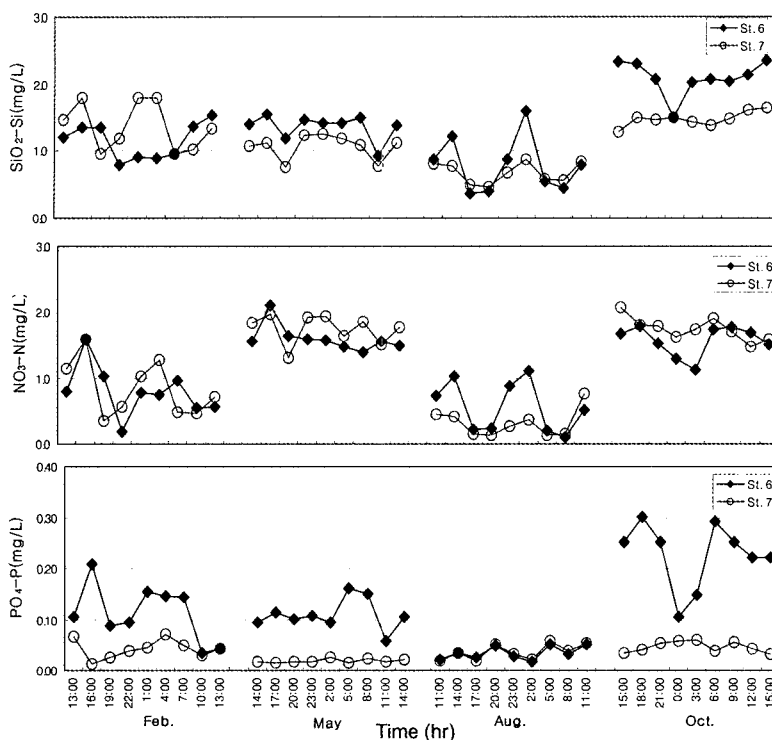


Fig. 6 Time series variation of silicate, nitrate and phosphate concentration in Saemangeum estuary

mg/L로 담수의 영향을 더 많이 받고 있는 만경대교 지점에서 더 높게 나타났다($p < 0.05$). 시계열 변화를 살펴보면 조석이 높을 때 농도가 감소하는 경향이 뚜렷이 나타나(Fig. 2, Fig. 6) 해수가 유입되면서 희석되는 것으로 판단된다(Yang et al., 1990). 이러한 결과는 금강하구역이나 곰소만 등에서도 유사한 결과가 보고되었다.

질산염은 식물플랑크톤이 성장하기 위하여 필요한 영양염 중 하나이며 흔히 필요한 양보다 모자랄 경우 제한요소로 작용하고 과잉으로 존재하여 식물플랑크톤의 생체량이 크게 증가하는 경우 부영양화를 일으키는 요인이 되는 성분이다(Yang et al., 2003). 조사지점에서 질산염은 변화는 St. 6에서는 0.1 ~ 2.1 (평균 1.1 ± 0.56)mg/L, St. 7에서는 0.5 ~ 1.8 (평균 1.2 ± 0.68)mg/L였으며 대조기에 해당하는 2월과 8월에 낮은 농도분포를 보이고 저조기 즉 만경대교와 동진대교 지점까지 해수유입이 거의 없는 5월과 10월에 높게 나타났다(Fig. 6). 따라서 규산염과 마찬가지로 육상으로부터 오염물질의 유입에 의하여 크게

영향을 받으며 해수에 의해서는 역상관 관계(St. 6 $R^2 = 0.72$, St. 7 $R^2 = 0.81$)를 보여 해수유입에 따라 희석되는 효과를 관찰 할 수 있었다(Fig. 7).

인산염도 질산염과 마찬가지로 부영양화의 가장 큰 제한요인으로 작용하고 있는 요인으로서 St. 6에서는 0.017 ~ 0.302 (평균 0.121 ± 0.082)mg/L, St. 7에서는 0.014 ~ 0.071 (평균 0.036 ± 0.017)mg/L로 만경대교 쪽에서 더 높은($p < 0.001$) 농도분포를 보였다. 인산염은 조석변화와 큰 관련성이 없는 것으로 나타났으며 만경대교 쪽에서 더 높은 농도분포를 보인 것은 전주하수처리장 방류수를 비롯하여 상류 유역에 오염원이 더 넓게 산재하고 있기 때문으로 사료된다.

이와 같이 감소하천에서 영양염류의 거동을 분석해보면 규산염과 질산염은 해수에 의해 희석되는 경향을 파악할 수 있으나 인산염은 그 관계를 명확히 분석하기가 쉽지 않다. 그 원인으로는 인산염은 수산화철에 의한 불용성인의 형태로 변화하거나, 현탁물질에 의한 흡착 및 탈착 등 환경변화에 빠르게 반응하기 때문으로 보인다.

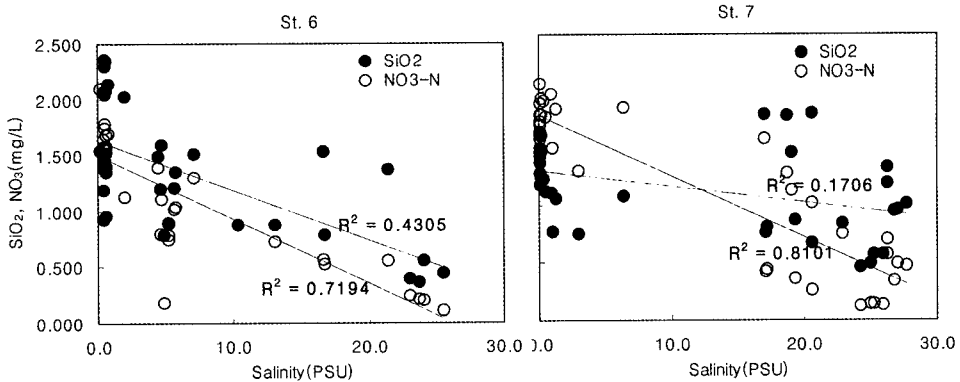


Fig. 7 Correlations of nutrients(SiO₂, NO₃-N) vs. salinity at St. 6 and St. 7

2. 주성분분석

고유치(Eigen value)는 요인이 설명할 수 있는 변수들의 분산 크기를 나타내는 것으로 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명해 준다는 것을 의미한다(Kim 2006). 따라서 고유치 값이 1이상인 경우를 기준으로 해서 요인수를 결정하게 된다. 고유치가 1보다 작다는 것은 1개의 요인이 변수 1개의 분산도를 설명해 줄 수 없다는 것을 의미하므로 요인으로서 의미가 없다고 보아 제외시키고 1이상의 값들만을 대상으로 분석을 실시하였다(Fig. 8).

주성분 분석에서는 감소하천의 특성을 대변하는 인자들의 상관성을 분석하고자 만경대교와 동진대교로 해수가 유입되었던 대조기만을 대상으로 분석하였다

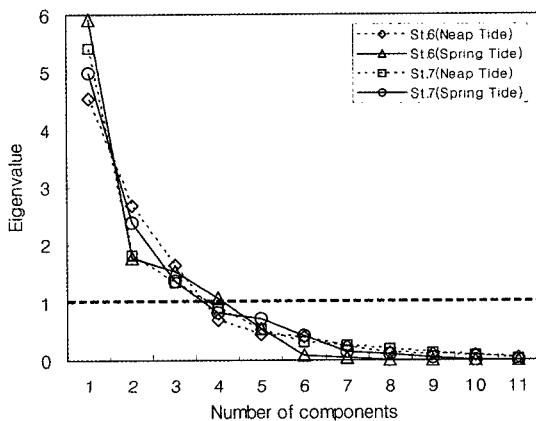


Fig. 8 Plotting of Eigenvalue extracted by PCA

Table 3 Eigen value and cumulative percentage of factor at study site

Factors	St. 6			St. 7		
	E.V	Variance (%)	Cumulation (%)	E.V	Variance (%)	Cumulation (%)
1	5.918	53.8	53.8	4.980	45.3	45.3
2	1.776	14.1	67.9	2.387	21.7	67.0
3	1.542	14.0	81.9	1.380	12.5	77.5

(Table 3). St. 6은 요인 1, 2, 3이 각각 53.8%, 14.1%, 14.0%로 총 누적기여율이 81.9%로써 이 세 가지 요인에 의해 수질변화의 82%가 설명될 수 있는 것으로 나타났으며, St. 7은 요인 1, 2, 3이 각각 45.3%, 21.7%, 12.5%로써 수질변화의 77.5%가 세 가지 요인에 의해 설명될 수 있는 것으로 나타났다 (Table 3). St. 6에서 요인 1은 염분과 음의 상관성을 SiO₂, NO₃-N, NH₄-N와는 양의 상관성을 갖고 있다 (Table 3). 즉 염분의 농도가 증가할수록 영양염류의 농도가 감소한다는 것으로서 감소구역에서 해수의 유입에 따라 담수로부터 유입된 영양염류가 희석되는 경향을 설명하고 있다.

St. 7에서 요인 1은 수온과는 음의 상관성을 SiO₂, NH₄-N, TP, TSS와는 양의 상관성을 나타내고 있으며 요인 2는 염분과 TSS와는 음의 상관성을 NO₃-N와는 양의 상관성을 갖고 있다. 요인 1은 계절적인 변화를 설명하고 있는데, 수온이 낮은 겨울에 영양염류의 농도가 높아지는 경향을 파악할 수 있는데 이는 서해안의 부유물질 변동이 여름철보다 겨울철에 북서 계절풍의 영향으로 상하층의 교란과 재부유에 의해

Table 4 Rotated factor matrix extracted from principal component analysis

Factors	St. 6			St. 7		
	factor 1	factor 2	factor 3	factor 1	factor 2	factor 3
Temp	0.799	0.463	-0.223	-0.959	0.080	0.157
Sal.	-0.990	0.064	-0.079	0.079	-0.855	-0.421
DO	0.129	0.957	-0.153	-0.251	0.320	-0.629
TSS	-0.180	0.675	0.856	0.690	-0.635	-0.009
COD	-0.347	0.206	0.219	0.231	-0.426	0.513
SiO ₂	0.920	-0.283	0.182	0.862	0.468	0.099
NO ₃ -N	0.992	-0.079	0.068	0.734	0.624	0.151
NH ₄ -N	0.978	-0.070	0.087	0.919	0.372	-0.061
PO ₄ -N	-0.620	-0.208	0.182	0.237	0.175	-0.581
TP	-0.095	-0.093	0.978	0.788	-0.314	0.214

증가한 것으로 보인다(Kim 2006). 특히, 동진강 유역은 만경강에 비하여 유역환경이 더 양호한 것으로 보아 겨울철에 영양염이 증가하는 것은 기상학적인 영향에 의한 것으로 판단된다. 요인 2는 염분과 질산성질소와 음의 상관성을 파악 할 수 있는데 이는 St. 6에서와 마찬가지로 해수가 유입되면서 희석효과를 보인 것으로 판단된다. 요인 3의 변화는 St. 6에서는 TSS와 TP가 높은 양의 상관성을 보여 상류 유입 및 저층교란을 통한 탁도가 영양염류 증가의 원인이 되는 것으로 나타났다. St. 7에서 요인 3은 큰 상관성을 찾을 수 없었다.

IV. 결 론

본 연구는 완전혼합형 하구로 분류되는 새만금 하구역의 수질특성 평가를 위해 유입수의 최말단 지점인 만경대교(St. 6)와 동진대교(st. 7)를 대상으로 계절별로 25시간 연속조사하고 그 결과를 분석하였다.

1. 조사지점의 염분농도는 조석의 크기에 영향을 많이 받는데 조석이 최대 553cm, 508cm일 때는 해수가 유입되지 않는 특성을 보였으며, 최대 조위가 602cm인 경우에는 St. 7에는 염분농도가 증가하였으나 St. 6에는 증가가 미미하였다. 조차가 7m에 육박하는 시기에는 두 지점 모두 해수의 영향을 받고 있었다. 염분 농도를 보면 St. 6보다 St. 7에서 더 높게 ($p < 0.05$) 나타났는데 이는 방조제 미체절 구간을 통한

흐름이 동진강 쪽으로 향하고 있기 때문으로 보인다.

2. 부유물질의 증가는 St. 6과 St. 7에서 차이점을 보였는데, St. 6는 외부 유입에 의한 영향이 크게 나타났으며 St. 7에서는 해수유입에 따른 교란과 재부유에 의한 영향이 크게 나타났다. 해수유입이 많아 부유물질이 증가한 시기의 영양염류 농도는 오히려 감소하여 해수유입으로 탁도는 증가했으나 영양염 농도는 희석된 것으로 판단된다.

3. 규산염과 질산염은 해수에 의해 희석되는 경향을 파악할 수 있으나 인산염은 그 관계를 명확히 분석하기가 쉽지 않다. 그 원인으로는 인산염은 수산화철에 의한 불용성인의 형태로 변화하거나, 현탁물질에 의한 흡착 및 탈착 등 환경변화에 빠르게 반응하기 때문으로 보인다.

4. St. 6과 St. 7의 지점별 수질변화는 물리적 요인(수온, 용존산소, 총부유물질)에는 통계적으로 유의한 차이가 없으나, 영양염류 중 특히 용존성인 암모니아성 질소(NH₄-N)와 인산염(PO₄-P) 농도가 St. 6 지점에서 더 높게 나타났다($p < 0.001$). 이는 St. 6의 상류에 위치하고 있는 전주하수처리장을 비롯한 유역의 오염원에서 비롯된 것으로 사료되어 만경수역의 수질 개선을 위해서는 만경강 유역의 환경기초시설의 조속한 건립이 촉구되는 바이다.

References

1. APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater(19th edition). American Public Health Association, Washington, D.C. USA
2. Huzzey., L. M., M.A. Noble and G. F. M. Ryan. 1994. Temporal changes in stratification in Mobile Bay. Eos 75(3), 81
3. Lee, C. B., Kim, T. I., 1987, Formation and evolution of turbidity maximum in the Keum estuary, West Coast of Korea, Journal Oceanograph Society Korea, 22(2): pp. 105-118.
4. Lee, K. B., Kim, J. C., Kim, J. G., Lee, D. B., Park, C. W., Kim, J. D., 2005, Assess-

- ment of pollutant loads for water enhancement in the Mankyong River, Korean Journal of Environment Agriculture, 24(2): pp. 83-90
5. Lee, Y. H., Yang, J. S., 1997, 500-days continuous observation of nutrients, chlorophyll, suspended solid and salinity in the Keum estuary, Korea, The Journal of the Korean Society of Oceanography, 2(1): pp. 1-7.
 6. Kim, J. G., Kang, H., 2002, The effect of tidal cycle and river runoff on the dynamic of nutrients in Keum river estuary, Journal of the Environmental Science, 11(6): pp 519-528.
 7. Kim, J. G., 2006, The evaluation of water quality in coastal sea of Incheon using \square multivariate analysis, Journal of the Environmental Science, 15(11): pp 1017-1025.
 8. Korea Agriculture & Rural Infrastructure Research Institute(RRI), 2004, Water Quality Study for the Saemangeum Reclaiming Area(II)
 9. Montani, S. P., Shimamoto, M. M., Abe, N., Okutani, K., 1998, The effect of a tidal cycle on the dynamics of nutrients in a tidal estuary in the Seto Inland Sea, Japan, journal of Oceanography, 54: pp 66-76
 10. Yang, H. S., Kim, S. S., 1990, Characteristics of spatio-temporal variation of the water quality in the lower Keum river, Bull. Korean Fish. Soc. 23(3): pp. 225-237.
 11. Yang, J. S., Jeong, J. Y., Heo, J. Y., Lee, S. H., Choi, J. Y., 1999, Chemical mass balance of materials in the Keum river estuary 1. Seasonal distribution of nutrients, The Journal of the Korean Society of Oceanography, 4(1): pp. 71-79.
 12. Yang, J. S., Kim, K. H., Kim, Y. T., 2003, Distribution of nitrogen components in seawater overlying the Gomso Tidal Flat, Journal of the Korean Society of Oceanography, 8(3): pp. 251-261.
 13. Yin, K. P., Harrison, J., Pond, S., Beamish, R. J., 1995, Entrainment of nitrate the Fraser river estuary and its biological implications. II. Effects of spring vs. neap tide and river discharge, Estuar. Coast. Shelf Sci. 40: pp 529-544.