

하계 금강하구 주변해역의 수질특성과 수질변동 요인분석

권정노⁽¹⁾, 김종구⁽²⁾, 유선재⁽³⁾

Characteristics of Water Quality and Factor Analysis on the Variations of Water Quality in Coastal Sea around the Keum River Estuary in Summer

by

Jung-No Kwon⁽¹⁾, Jong-Gu Kim⁽²⁾ and Sun-Jae You⁽³⁾

요 약

1998년 하계(6~9월)에 금강하구 주변 해역 11개 정점을 조사하여 공간적인 수질변동 특성을 파악하고, 통계분석 기법의 하나인 요인분석을 통하여 하계 금강하구 주변해역에서의 수질변동 지배요인을 분석하였다. 조사기간 동안 금강하구 주변해역의 화학적산소요구량의 평균농도는 1.36mg/L, 용존무기질소의 평균농도는 28.60 μ g-at/L, 용존무기인의 평균농도는 0.48 μ g-at/L로 나타났으며, 주성분분석 결과 전체 수질변동의 약 43%를 차지하는 제 1주성분 요인이 담수 유입과 밀접한 관련이 있는 영양염류와 염분의 변화로 나타나, 담수변동 요인이 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다.

Abstract

To know characteristics of water quality in coastal sea around the Keum river estuary in summer, we studied the water quality of surface, middle and bottom level during June~September, 1998. The mean concentrations of COD, DIN, DIP & chlorophyll-a were 1.36mg/L, 28.60 μ g-at/L, 0.48 μ g-at/L and 4.14 μ g/L, respectively, which were over eutrophication criteria in sea water. After the Keum river dyke was constructed, seasonal freshwater discharge was largely changed. About 80% of total annual freshwater discharge was concentrated in summer as rainy season from July to September. The correlation coefficient of DIN *versus* salinity was shown to be high, and thus the concentration of DIN was closely related to freshwater discharge. Maximum Chlorophyll-a concentration was occurred in September, due to increased DIP concentration, high water temperature and low salinity after heavy rainfall in August. The results of Principal Component Analysis showed that the first factor represented a series of eutrophication factors, the second factor was a variance of seasonal fluctuation, and the

-
- 1) 국립수산진흥원 남해수산연구소 통영분소
 - 2) 정희원, 군산대학교 토목환경공학부, kjg466@kunsan.ac.kr
 - 3) 정희원, 군산대학교 토목환경공학부, ysj469@kunsan.ac.kr

third was a variance of progress of mass change.

Keywords: Keum river estuary, water quality characteristic, Principal component analysis, correlation coefficient.

1. 서 론

금강하구 주변해역은 담수와 해수의 특성이 혼합된 완충지대로서, 외해에서 유입되는 해수와 담수와의 혼합이 지속적으로 이루어짐에 따라 수질 인자의 변화가 심하게 나타나는 해역이다. 이러한 금강하구는 1994년 9월 금강하구둑의 반영구적 폐쇄 이전에는 담수 방류에 비해 조석의 영향이 우세한 완전혼합형 하구에 속하였으나(Chung and Bhang, [1984]), 갑문 폐쇄 후에는 하구 주변해역과 금강 상류가 완전히 차단되어 부분혼합형 또는 염분쇄기형으로 물리 특성이 변화하였다(최 등[1995]).

금강하구 주변해역은 갑문 폐쇄 이전에는 금강으로부터 유입되는 담수 유입에 의한 다량의 영양염에도 불구하고 적조 발생과 같은 생태계의 교란은 일어나지 않았으나, 하구둑의 반영구적인 폐쇄 후 군산 내·외항을 중심으로 매년 조류의 대량증식이 발생하기 시작하였는데 이는 하구둑의 반영구적인 폐쇄 후 금강상류로부터 토사유입 차단 및 유동에너지의 감소에 따른 부유물질의 감소와 이로 인한 투명도의 증가 같은 물리적 변화와 물질 순환형태의 변화가 나타났기 때문이다(김 등[1998]). 또한 갑문 폐쇄 후 이전에 비해 금강으로부터 담수의 방출이 우기에 더욱 집중되고, 영양염류와 염록소는 증가하였다(이와 양[1997]).

본 연구는 갑문 폐쇄 후 금강하구 주변해역에서 다량의 담수 유입으로 수질 변동이 가장 클 것으로 보여지는 하계(6~9월)에 있어 수질변동 특성을 파악하고, 통계분석 기법의 하나인 요인 분석을 통하여 하계 수질변동 지배요인을 조사하여 수질관리의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 금강하구 주변해역의 물리적 특성

금강하구는 한반도의 남서부 해안에 위치하고 있

으며, 유로 연장 400km, 유역면적이 약 10,000km²에 달한다. 금강하구의 수로는 남수로 및 북수로(개야수로)로 나뉘며 주로 항로로 사용되는 남수로의 단면은 12,580m²이고, 북수로는 비교적 작은 4,740m²이다. 남수로와 북수로 사이에는 유부도를 포함하는 대죽사주의 넓은 간사지가 발달되어 있으며 북수로의 북측에는 동서방향의 간사지가 육지에서부터 개야도까지 발달되어 해수의 유통을 제한하고 있다(이 등[1995]).

금강하구역의 조류는 창조시 유속이 일반적으로 낙조시 유속보다 빠르며 창조 시간 보다 낙조 시간이 긴 특성을 가졌다. 금강하구의 외해 쪽에는 창조류와 낙조류의 수직구조는 거의 대칭형을 나타내고 있고, 남쪽 수로에서는 창조류가 전수로에서 우세하나, 북측 수로에서는 상층과 저층에서 낙조류가 우세하고 중층에서는 창조류가 우세하다(Im *et al.*[1995]).

금강하구둑의 갑문 조작 후 3년간[1995~1997]의 방류량은 연평균 6.25×10⁹톤으로 Schubel *et al.*[1984]이 조사한 연평균 방류량 6.4×10⁹톤과 비슷하였으며, 이 중 80%가 하계인 6~9월 사이에 집중되었다(농어촌진흥공사[1997]).

금강 하구해역의 부유토사 변동은 담수 방류량의 계절적 변동과 조류에 의한 재부유에 의해 크게 영향을 받는다. Lee and Kim [1987]은 하구 내 최대 탁도의 형성과 부유토사의 이동은 조위와 금강 담수유입의 뚜렷한 계절적 변동과 관련 있다고 보고하였고, 최 등[1995]은 금강하구의 부유물 함량이 하구둑 갑문 폐쇄 이후 약 1/4~1/3의 수준으로 감소하는데, 이는 육상기원 부유물의 공급이 차단되었기 때문이 아니라 조류유속의 감소에 의한 저층 재부유(bottom resuspension)가 크게 감소하여 나타난 현상이며, 일부의 퇴적물이 조류에 의해 재부유 되더라도 수층이 수직적으로 성층화되어 저층 혼탁수의 상부 확산(upward diffision)이 제한되기 때문이라 하였다.

2.2 현장조사

조사해역의 수질조사를 위하여 금강하구해역 10

개 정점(Fig.1)을 대상으로 1998년 6월 15일, 7월 9일, 8월 17일, 9월 17일에 표·중·저층수를 채수하여 수질 분석하였다. 시료채취는 선상에서 반돈채수기를 이용하여 채수하였으며, 각 수질인자 중 수온, 염분, pH 및 광투과도는 현장에서 측정하였고, 그 외의 항목은 실험실에서 측정하였다.

수질분석은 해양환경오염공정시험법[1998] 및 그에 준하는 방법으로 실험하였다.

온도, 염분, 광투과도는 CTD(SBE 19), pH는 pH meter로 현장에서 측정하였고, DO는 Winkler변법, COD는 알칼리성 과망간산칼륨법으로 측정하였다. 암모니아질소는 Indo-phenol법, 아질산질소는 NED법, 질산질소는 Cd-Cu 환원법, 인산인은 Ascorbic acid법으로 비색정량하였다. Chlorophyll a는 Strick & Parson법으로 측정하였다.

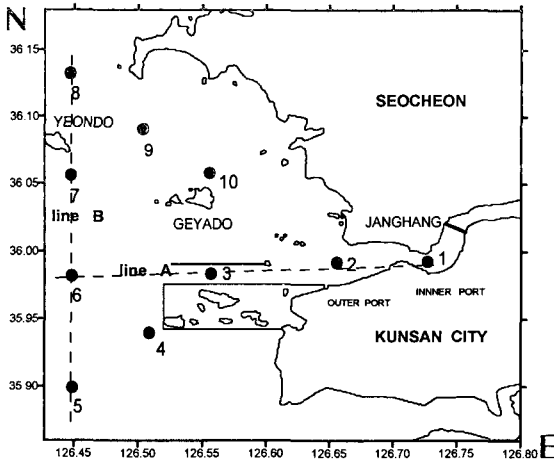


Fig. 1 Map showing sampling station.

2.3 주성분 분석

주성분분석(Principal Component Analysis)이란 원래 다변량해석(Multivariate Analysis)의 방법인 요인분석(Factor Analysis)의 한 기법이다. 요인분석이란 여러 변수사이의 상관관계를 기초로 하여 자료의 손실을 최소화하면서 변수의 개수보다 적은 수의 요인으로 자료 변동을 설명하는 기법이다.

요인분석을 사용하는 경우는 자료의 양을 줄여 정보를 요약, 변수들 사이에 존재하는 구조의 발

견, 요인이 되지 않는 중요도가 낮은 변수의 제거, 동일 개념의 변수들이 동일한 요인으로 묶여지는지를 확인하여 측정도구의 타당성 검토 등에 이용된다.

이와 같은 통계적 기법은 石川[1978]이 해양환경 조사결과에 대한 다변량 해석의 응용에 있어서 주성분 분석법으로 해양특성을 평가하였고, 中島 등[1987]은 주성분 분석을 이용하여 하천의 오염상태를 평가하였다. 국내에서는 홍 등[1986]이 요인분석을 통하여 진해만 생태계의 변화를 조래하는 요인이 식물성 플랑크톤의 이상 증식과 영양염류가 중요한 요인이라는 것을 통계적으로 확인하였고, 이 등[1996]이 다변량 해석에 의한 마산만 저층수의 수질평가를 통하여 마산만 저층수의 오염물질 부하양상과 각 요인별 기여도를 평가하였으며, 김[1998]은 금강하구역의 수질평가를 위해 다변량해석기법을 이용하는 등 수질관리에 통계적 해석법을 이용하였다.

주성분분석을 적용하기 위하여, 최초 분석된 자료를 이용하여 주성분 분석을 행하기 전에 각 항목의 측정치를 평균값과 비교하여 평균과 같은 분산은 0, 평균과의 최대 차이일 경우 분산을 1로 하여 표준화를 행하였다. 이들 전체변수 중 보다 간결하고 명료한 관계를 가지는 요인을 추출하기 위하여 각 변수간의 상관행렬을 이용해서 주대각선상의 값을 변형시키지 않는 그대로 공통 분산치 1.0의 값을 추정치로 하여 요인행렬을 추출하는 주대각성분 요인추출법을 이용하였다.

요인수 추출은 고유치를 기준으로 하였는데, 여기서 고유치의 의미는 요인이 설명할 수 있는 변수들의 분산의 크기를 나타낸다. 고유치가 1보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 한 개 이상의 분산을 설명할 수 있음을 의미하고, 1보다 작다는 것은 한 개의 요인이 변수 한 개의 분산도 설명할 수 없음을 나타내는 것으로 요인으로서의 의미가 없다고 볼 수 있다. 따라서 고유치가 1 이상을 기준으로 해서 추출하였다.

그리고 요인이 해당되는 변수를 설명해 주는 의미를 가진 요인부하량을 산출한다. 여러 요인이 비슷한 요인부하량을 나타낼 경우 변수들이 어떤 요인에 높게 작용하는 지를 알아보기 위하여 요인 축을 회전시킨다. 요인의 회전을 통하여 변수와 요인사이의 관계를 더욱 명확히 하여 변수와 요인과의 해석을 보다 쉽게 판단할 수 있다. 요인회전 방법은 여러 종류가 있으나 직각회

전 방식 중에서 각 요인은 다른 요인과 상호 독립적이면서 하나의 요인에 높게 적재되는 변수의 수를 줄여서 요인을 해석하는데 중점을 주는 Varimax 방식을 적용하였다. 추출된 요인은 각 조사지점별로 변수별 요인들의 선형결합으로 표현된 요인특점을 아래 식으로 계산한다.

$$F_{jk} = \sum_{j=1}^P W_{jk} Z_{jk} \quad (1)$$

여기서, F_{jk} 는 k지점별 수질변수 j에 의한 요인 특점, P는 수질변수의 수, Z_{jk} 는 표준화된 변수의 인자부하량, W_{jk} 는 각 변수에 주어지는 가중치를 의미한다. 가중치는 회귀법을 통하여 변수별로

Table 1 Range and mean of water quality of the coastal sea around the Keum river estuary in summer, 1998

Constituent		June	July	August	September	Total
Temp.(°C)	Range	17.70~21.26	21.67~25.54	23.16~26.79	24.02~25.83	17.70~26.80
	Mean	18.99	23.10	25.80	25.06	23.24
pH	Range	7.74~8.26	7.85~8.48	6.85~8.12	8.01~8.40	6.85~8.48
	Mean	8.14	8.32	7.75	8.25	8.12
Salinity(‰)	Range	13.47~31.59	9.83~31.41	0.05~31.27	12.98~31.34	0.05~31.59
	Mean	28.56	27.28	22.04	27.14	26.26
DO (ml/L)	Range	4.75~8.81	4.55~9.04	2.11~5.32	3.04~4.80	2.11~9.04
	Mean	6.31	6.64	4.13	3.67	5.18
COD (mg/L)	Range	0.98~2.74	0.80~2.48	0.21~2.99	0.08~2.27	0.08~2.99
	Mean	1.56	1.42	1.18	1.28	1.36
TSS (mg/L)	Range	8.55~33.11	8.10~37.17	11.83~100.57	2.75~13.25	2.75~100.57
	Mean	12.08	20.43	33.46	6.75	18.17
L.T.(%)	Range	9.27~76.81	6.52~68.15	0.00~81.71	19.85~81.12	0.00~81.71
	Mean	57.19	48.96	44.38	63.36	53.15
NH ₄ ⁺ -N (µg-at/L)	Range	0.00~44.15	1.62~11.29	1.04~17.90	0.00~26.50	0.00~44.15
	Mean	6.23	4.00	7.96	3.85	5.55
NO ₂ ⁻ -N (µg-at/L)	Range	0.02~6.12	0.29~3.64	0.36~4.56	0.02~0.13	0.02~6.12
	Mean	0.96	1.17	1.49	0.06	0.92
NO ₃ ⁻ -N (µg-at/L)	Range	4.87~157.49	0.00~88.74	1.98~88.44	1.55~87.40	0.00~157.49
	Mean	25.19	11.82	36.23	14.41	22.13
DIN (µg-at/L)	Range	5.37~203.44	2.02~103.67	3.63~105.52	1.62~110.71	1.62~203.44
	Mean	32.38	17.00	45.67	18.31	28.60
DIP (µg-at/L)	Range	0.00~1.53	0.00~2.26	0.03~1.22	0.05~1.33	0.00~2.26
	Mean	0.41	0.51	0.41	0.56	0.48
Chl.a (µg/L)	Range	0.30~2.73	1.66~9.75	0.21~2.43	1.78~19.88	0.21~19.88
	Mean	1.45	4.61	1.05	9.47	4.14
N/P	Range	0.0~265.0	0.0~928.6	15.1~372.1	3.0~130.0	0.0~928.6
	Mean	79.0	33.3	111.4	32.7	59.6

서로 다른 가중치를 산출하여 적용하는 방법을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수질의 변동 특성

군산 하구해역 수질의 분석자료에 대한 월별 범위 및 평균값을 Table 1에 나타내었다. 월별 수평분포 특성 및 연직분포 특성을 평가하였는데, 연직분포의 평가는 금강하구둑에서 외해역으로 이어지는 동서방향의 지점 1, 2, 3, 6을 연결한 선(line A)과 외해역의 남북방향의 분포특성을 알 수 있는 지점 5, 6, 7, 8을 연결한 선(line B)으로 평가하였다.

1.1 일반항목의 변동 특성

담수의 영향을 직접적으로 나타내는 염분(salinity)의 범위는 0.05~31.59‰, 평균 26.26‰로 나타났으며 월별 평균은 6월 28.56‰, 7월 27.28‰, 8월 22.04‰, 9월 27.14‰로 나타나 염분 농도가 가장 낮은 8월이 담수 유입량이 가장 많았음을 알 수 있었다. 염분은 금강의 담수 유입에 따라 군산 내항의 표층은 낮고, 외해로 갈수록 염분 농도가 증가하였다. 특히 8월에는 집중강우에 따른 20% 이하의 저염수가 군산 내·외항에서 명암을 거쳐 개야도 인근까지 표층에 넓게 분포하였고, 9월까지 이러한 표층 plume이 북서쪽으로 편향되어 8월 집중 강우의 영향이 계속되고 있음을 보여 주었다(Fig.2).

염분의 연직분포는 수온의 변동 특성과 유사하여, 동서 연직분포(line A)에서 전체적으로 금강하구둑 아래인 지점 1의 표층이 낮고, 외해역 저층수로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 남북 연직분포에서는 6, 7월에 거의 균일한 연직분포였지만, 집중 강우의 영향으로 8월에 표·저층간에 염분 차가 두드러지게 나타났다. 특히 금강하구에서의 연직 혼합 특성은 최 등[1995]이 조사한 것처럼 부분혼합형 및 염분쇄기형 하구의 특성을 나타내었다(Fig.3).

해역의 유기오염 지표로 이용되는 화학적산소 요구량(COD)의 농도 범위는 0.08~2.99 mg/L 평균 1.36mg/L로 나타났고, 월별 평균 농도는 6월 1.56mg/L, 7월 1.42mg/L, 8월 1.18mg/L, 9월 1.72mg/L로 COD의 월별 변동은 크지 않았다. 이는 해

역환경기준과 비교하면 2등급에 해당되는 농도였다. COD는 주로 군산내항과 외항을 중심으로 높게 나타나 군산 내항의 생활하수와 외항 주변 공단의 공장폐수 유입에 영향을 받았음을 알 수 있었다. 또한 개야도 서쪽의 인근해역에서 상대적으로 높게 나타났는데 개야 수로를 통해 흘러나온 군산 내항의 오염원의 영향을 받았기 때문인 것으로 생각된다(Fig.4).

COD의 연직분포는 뚜렷한 변동 특성을 나타내지는 않았고, 강우의 영향을 받은 8, 9월에 표·저층에서 약간의 농도 차이를 보였다.

총부유물질(TSS)은 육상기원의 유기·무기물의 유입이나 저층 퇴적물의 재부유에 의해 영향을 받는 인자로서, 태양광의 투과를 방해하여 식물플랑크톤의 광합성을 저해하고, 해조류 및 패류의 표면에 부착하여 성장에 영향을 주거나 폐사의 원인이 되기도 한다. 본 조사 해역에서 총부유물질의 농도 범위는 2.75~100.57mg/L로 평균 18.17mg/L로 나타났고, TSS 농도는 군산 내항이 높고 외해로 갈수록 낮아지고, 담수 유입량이 많은 8월에 평균값이 33.46mg/L로 가장 높게 나타났다(Fig.5).

TSS의 연직분포는 line A인 동서방향에서 표층이 높고, 저층이 낮은 경향을 보였으며, 9월에는 표·저층간에 균일한 분포를 나타내었다. 남북 연직분포(line B)에서는 전체적으로는 연직적으로 균일한 농도분포를 보였다.

1.2 영양염류의 변동 특성

용존무기질소(DIN)는 생·화학적 작용에 의하여 변하며 과다하게 존재하면 부영양해역이 되어 적조 발생의 원인으로 작용하게 된다. 조사 기간 중 DIN의 농도 범위는 1.62~203.44 μ g-at/L로 평균 28.60 μ g-at/L이었다. 월별 평균 농도는 6월 32.38 μ g-at/L, 7월 17.00 μ g-at/L, 8월 45.67 μ g-at/L, 9월 18.31 μ g-at/L로 나타나 전체적으로 부영양해역을 알 수 있었다. 용존무기질소(DIN)의 농도는 군산 내항 및 군산 외항에서 높게 나타났고 외측으로 갈수록 낮아지는 경향을 보이며, 염분(salinity)과는 높은 상관성($r=0.753$)을 가지고 있어 담수의 영향을 많이 받고 있는 것을 알 수 있다. 이는 이와 양[1997] 및 김 등[1998]이 보고한 금강 하구에서 염분과 용존무기질소와의 상관관계를 설명한 내용과 일치하고 있다. (Fig.6).

연직분포는 수온 및 염분의 연직분포와 비슷하

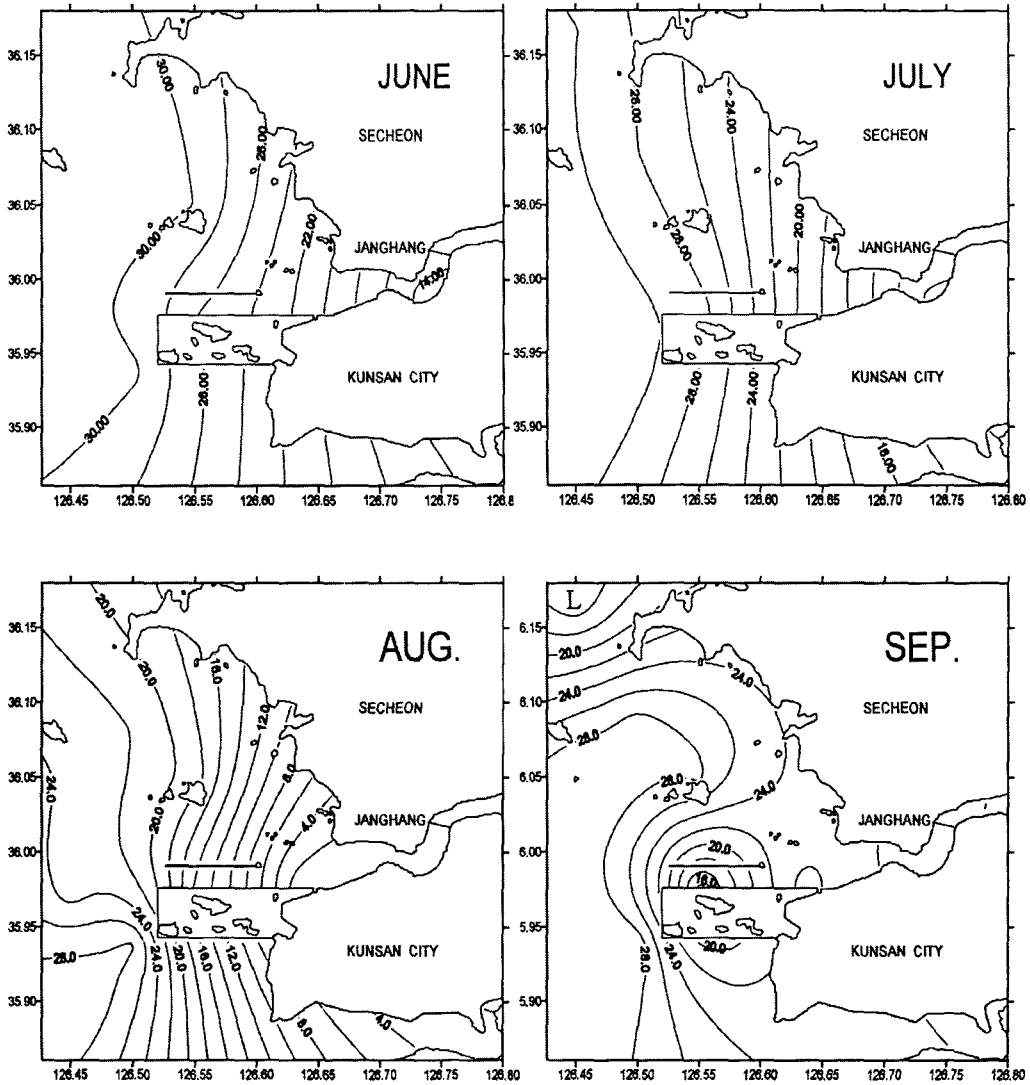
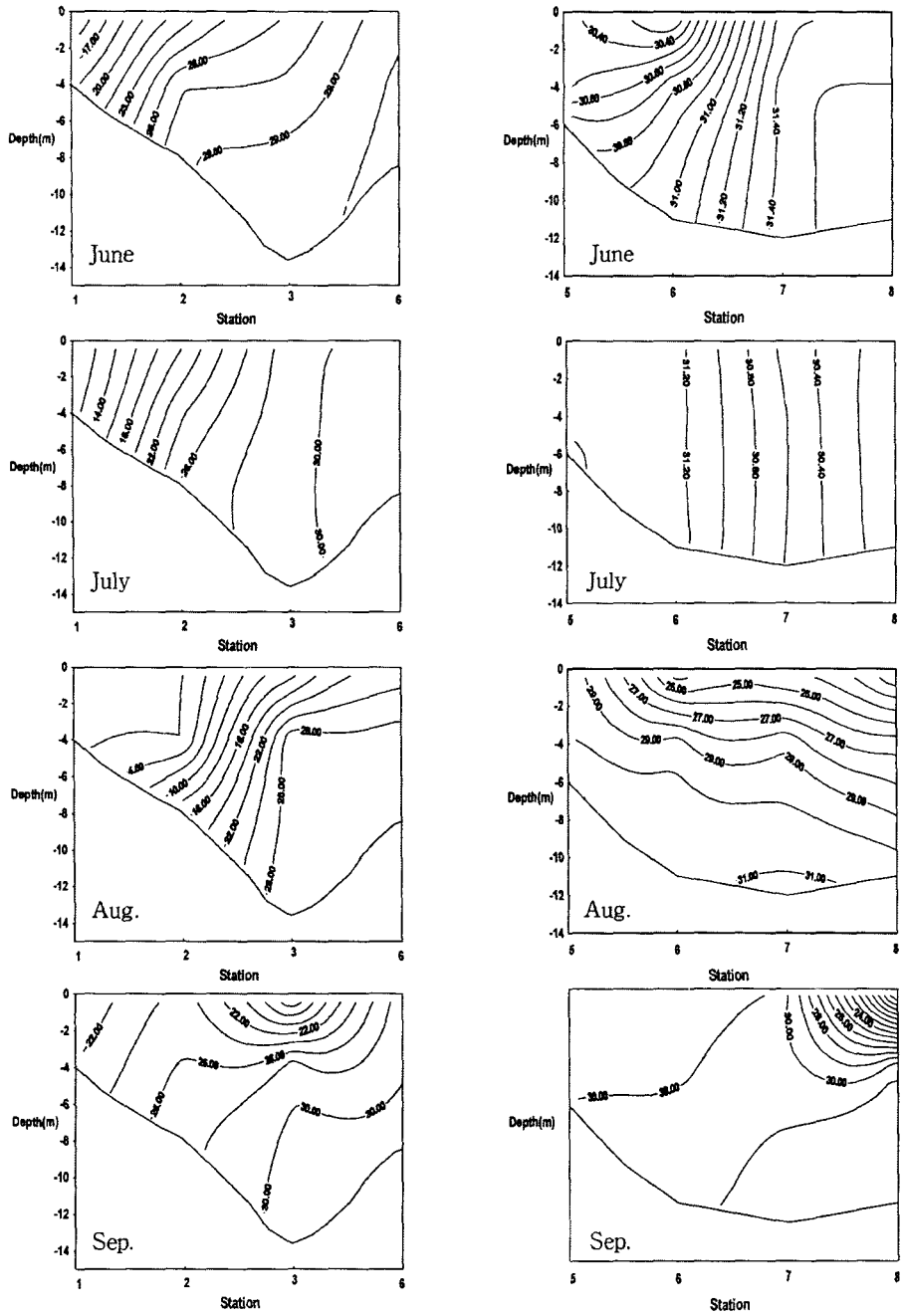


Fig. 2 Horizontal distributions of salinity(‰) on the surface water at the studied area in 1998.

하계 금강하구 주변해역의 수질특성과 수질변동 요인분석



Line A

Line B

Fig. 3 Vertical distribution of salinity(‰) at the studied area in 1998

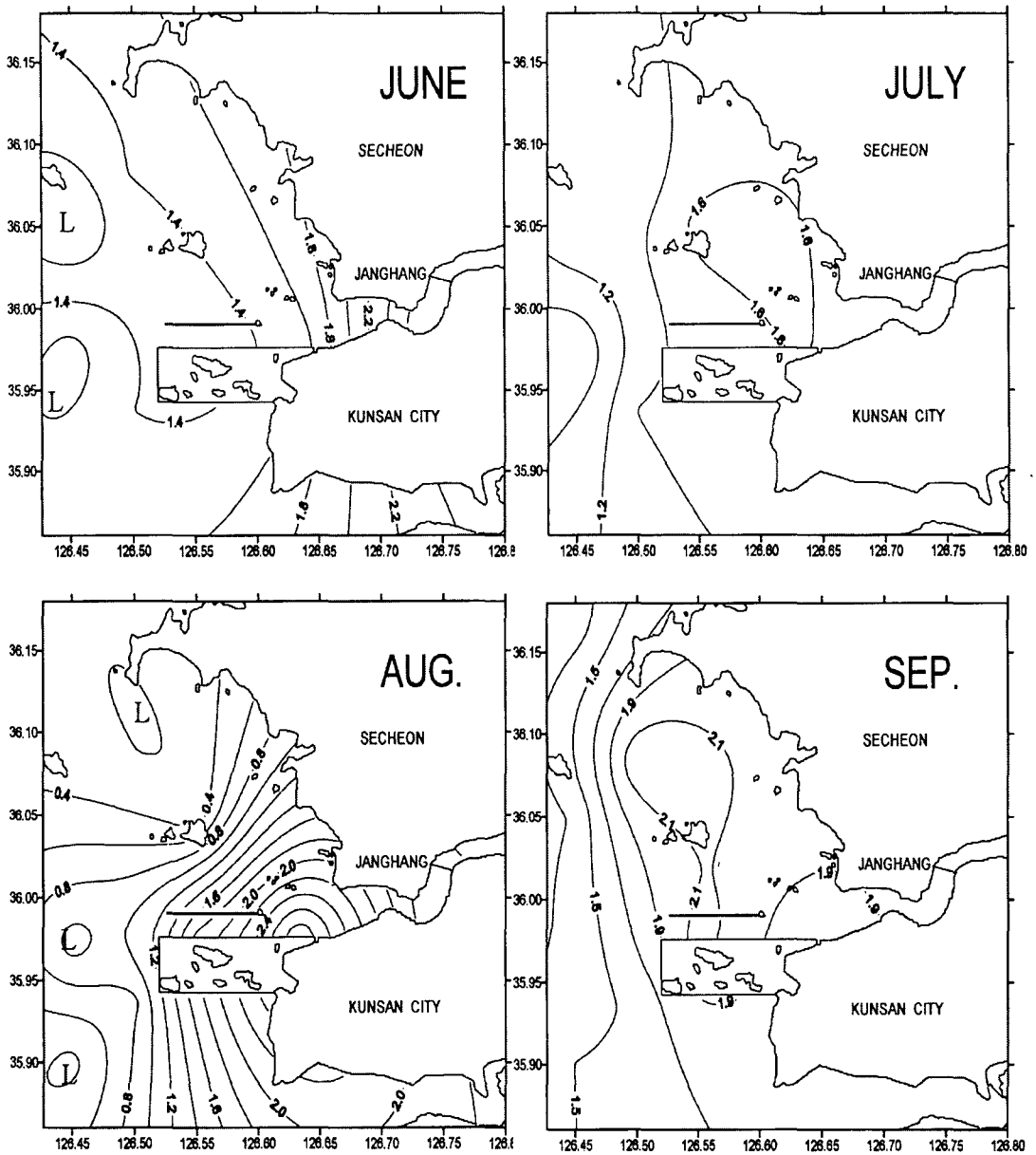


Fig. 4 Horizontal distributions of COD(mg/L) on the surface water at the studied area in 1998.

하계 금강하구 주변해역의 수질특성과 수질변동 요인분석

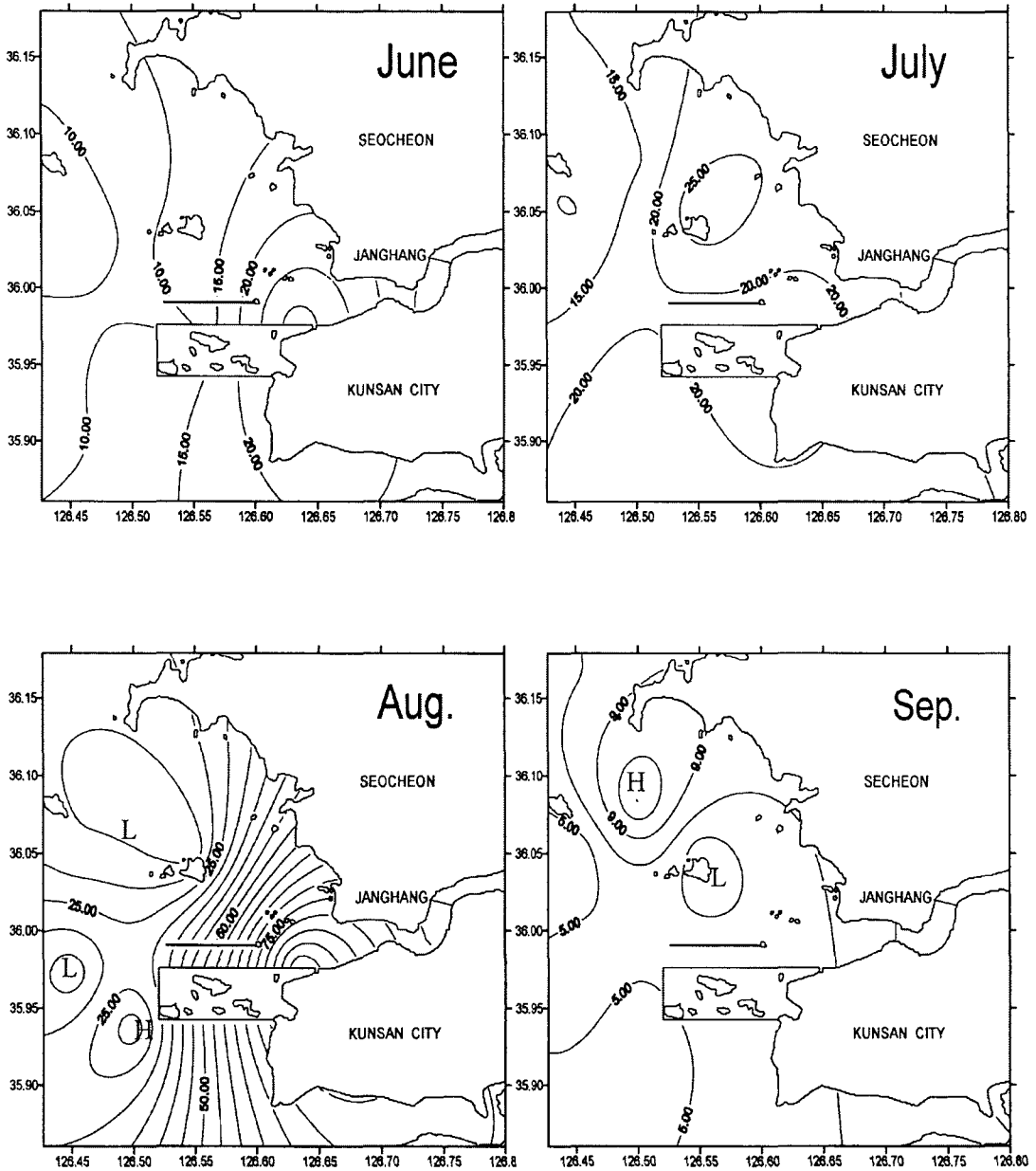


Fig. 5 Horizontal distributions of TSS(mg/L) on the surface water at the studied area in 1998.

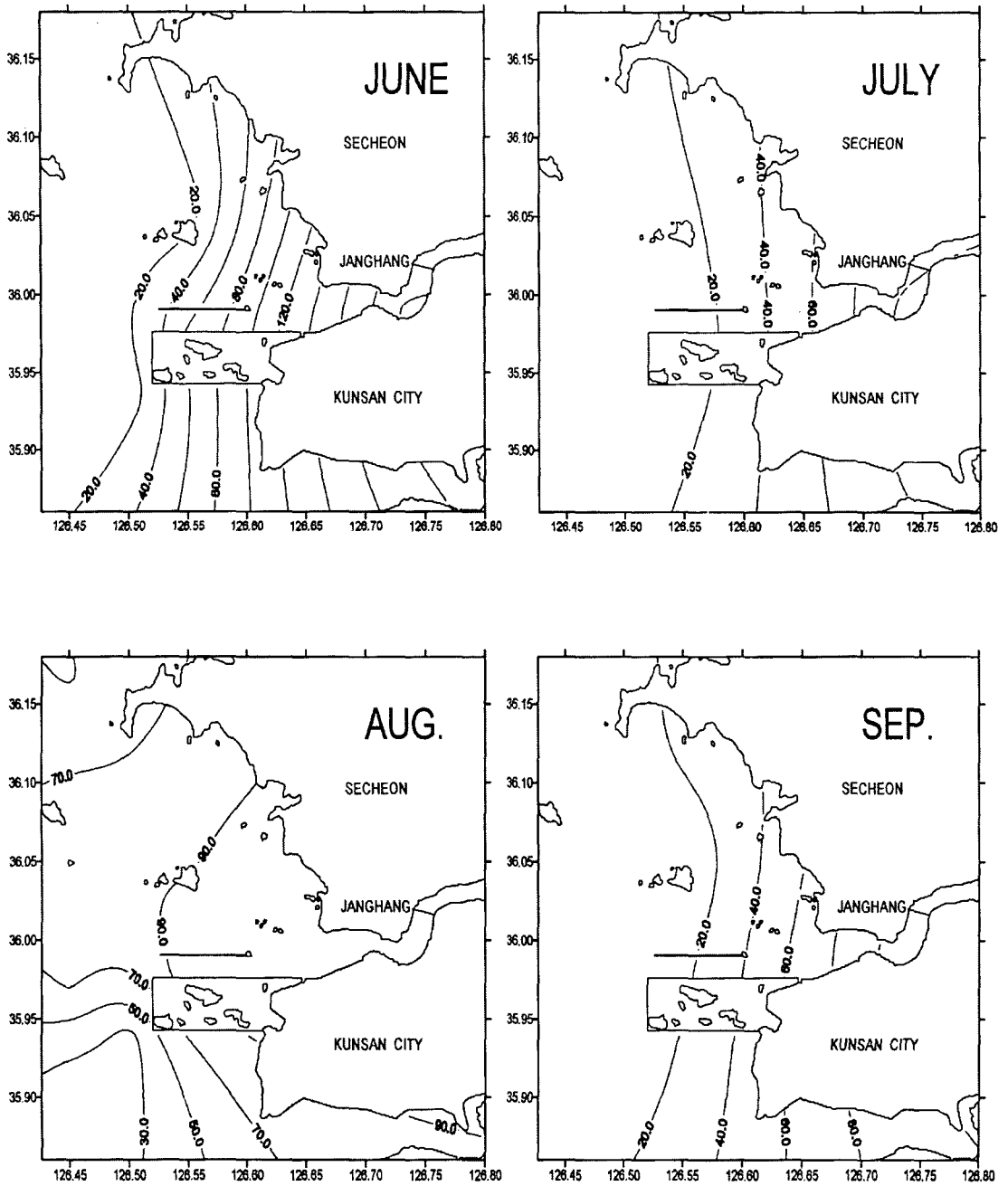


Fig. 6 Horizontal distributions of DIN ($\mu\text{g-at/L}$) on the surface water at the studied area in 1998.

하계 금강하구 주변해역의 수질특성과 수질변동 요인분석

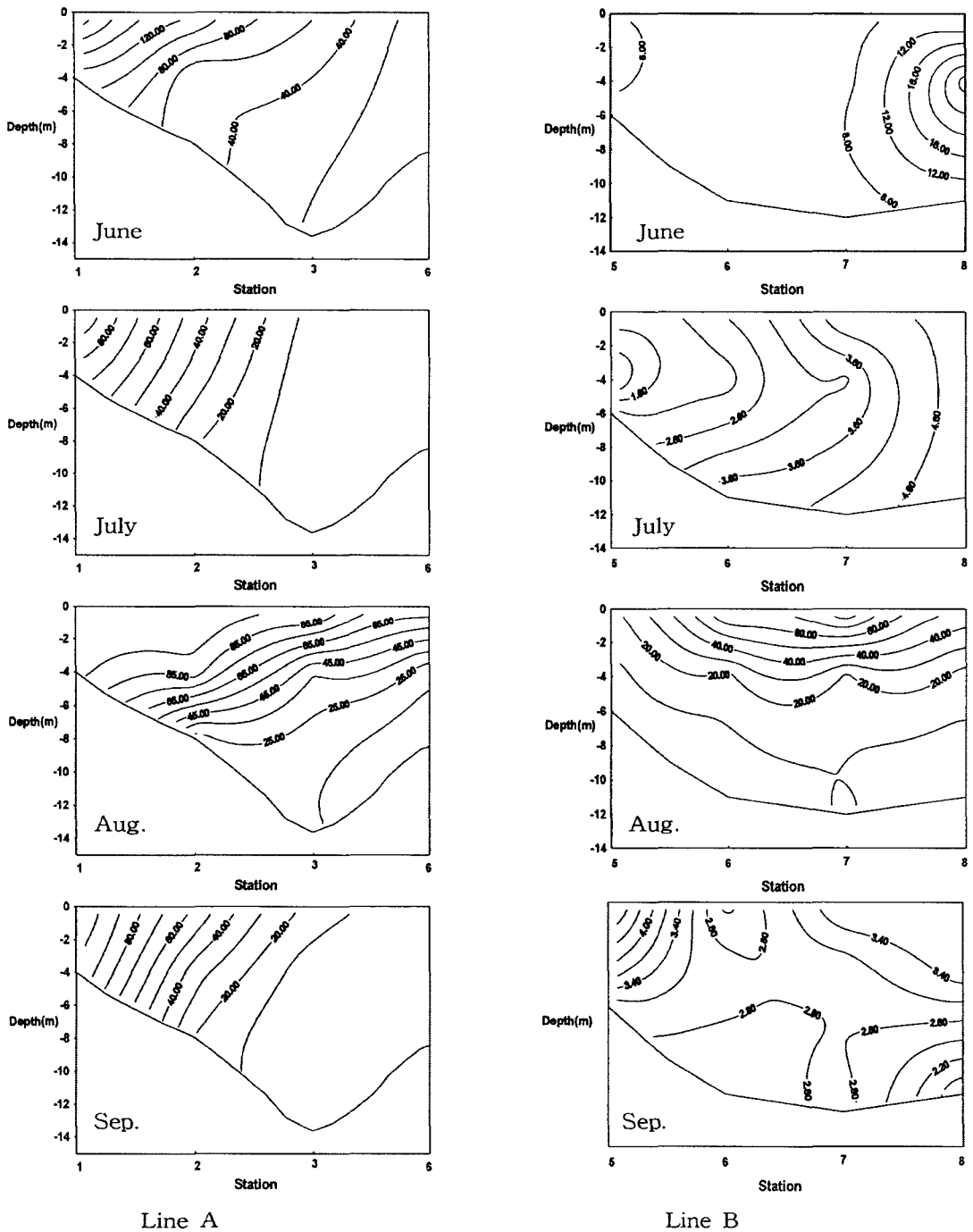


Fig. 7 Vertical distribution of $\text{DIN}(\mu\text{g-at/L})$ at the studied area in 1998.

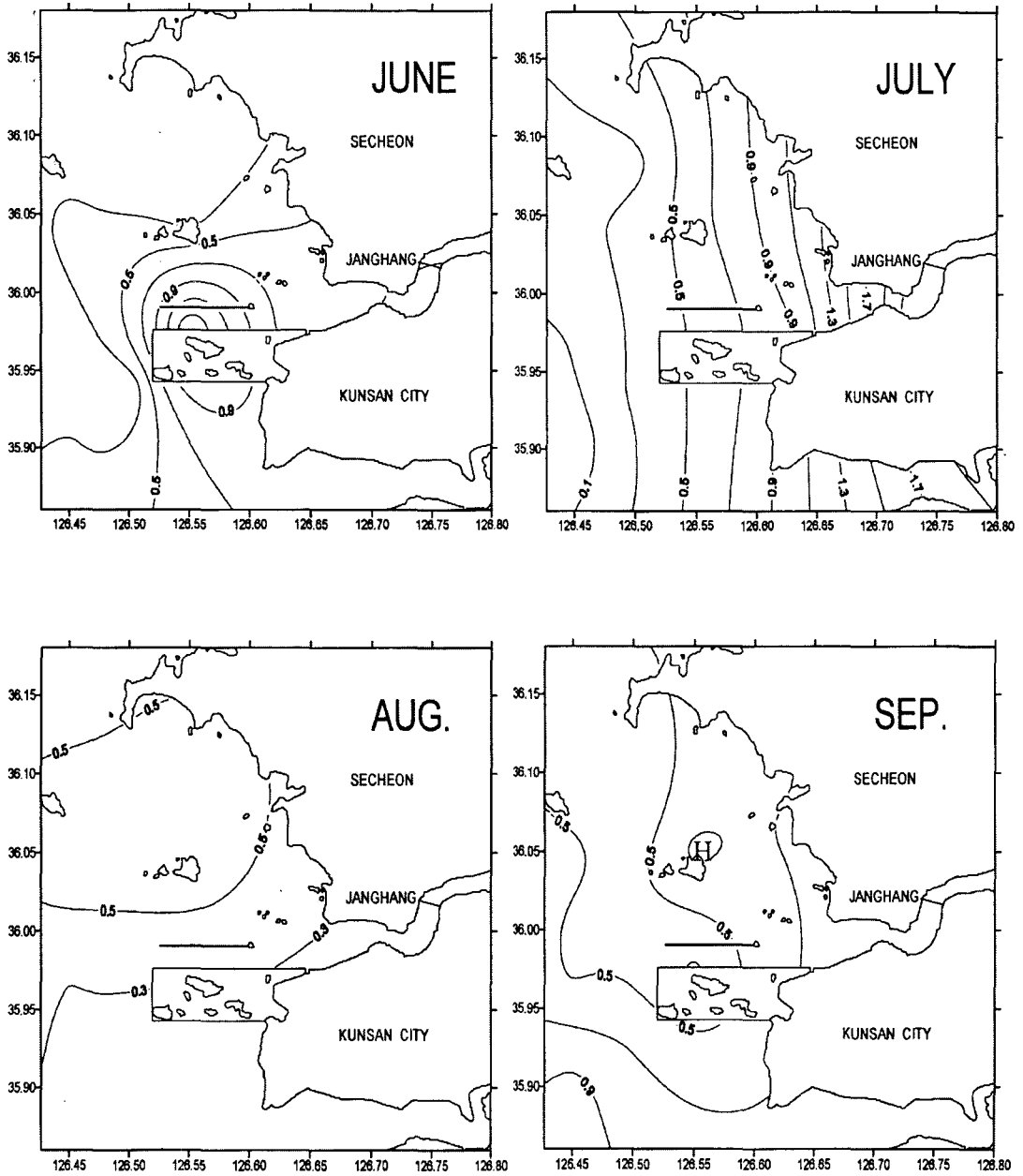


Fig. 8 Horizontal distributions of DIP($\mu\text{g-at/L}$) on the surface water at the studied area in 1998.

하계 금강하구 주변해역의 수질특성과 수질변동 요인분석

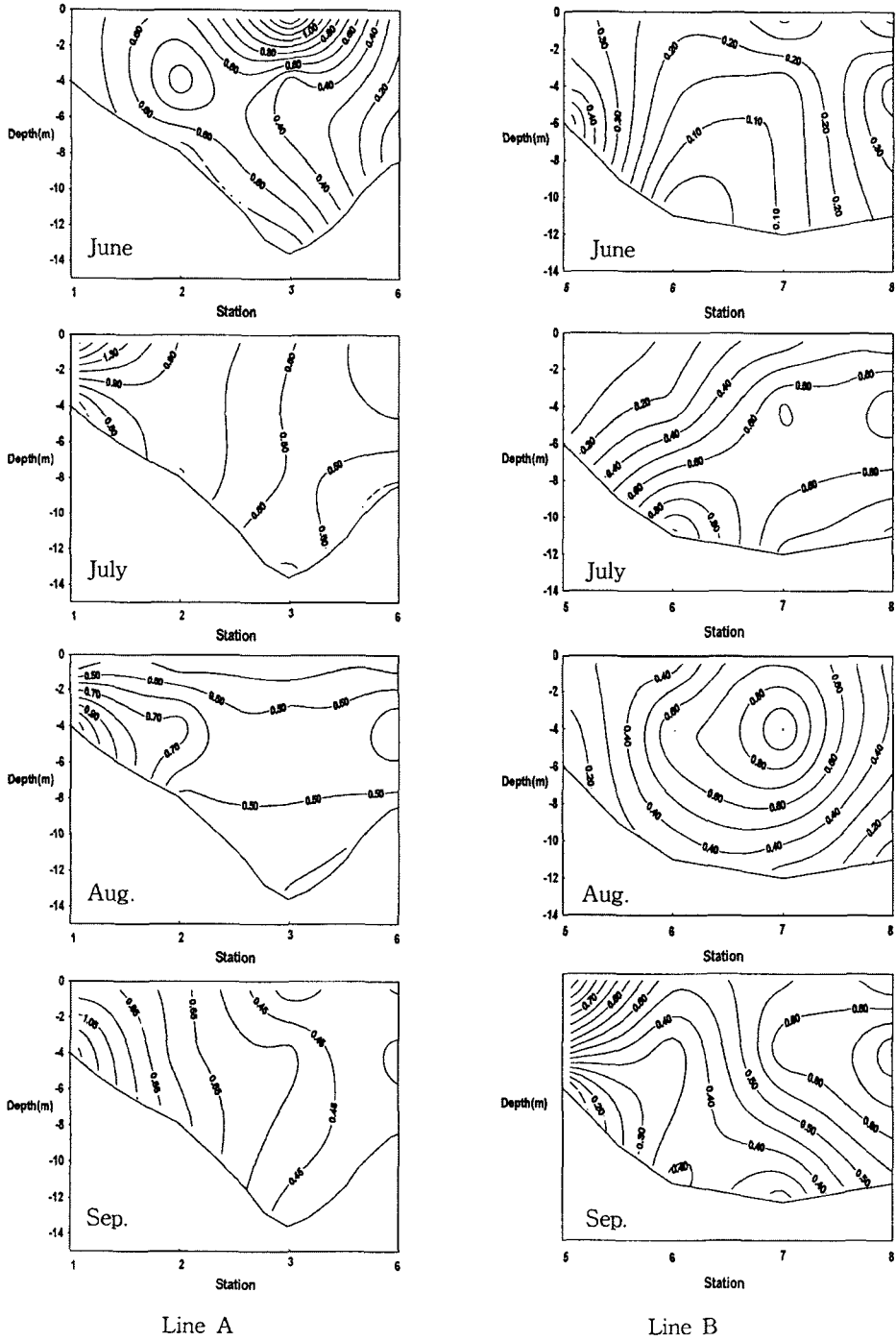


Fig. 9 Vertical distributions of DIP($\mu\text{g-at/L}$) at the studied area in 1998.

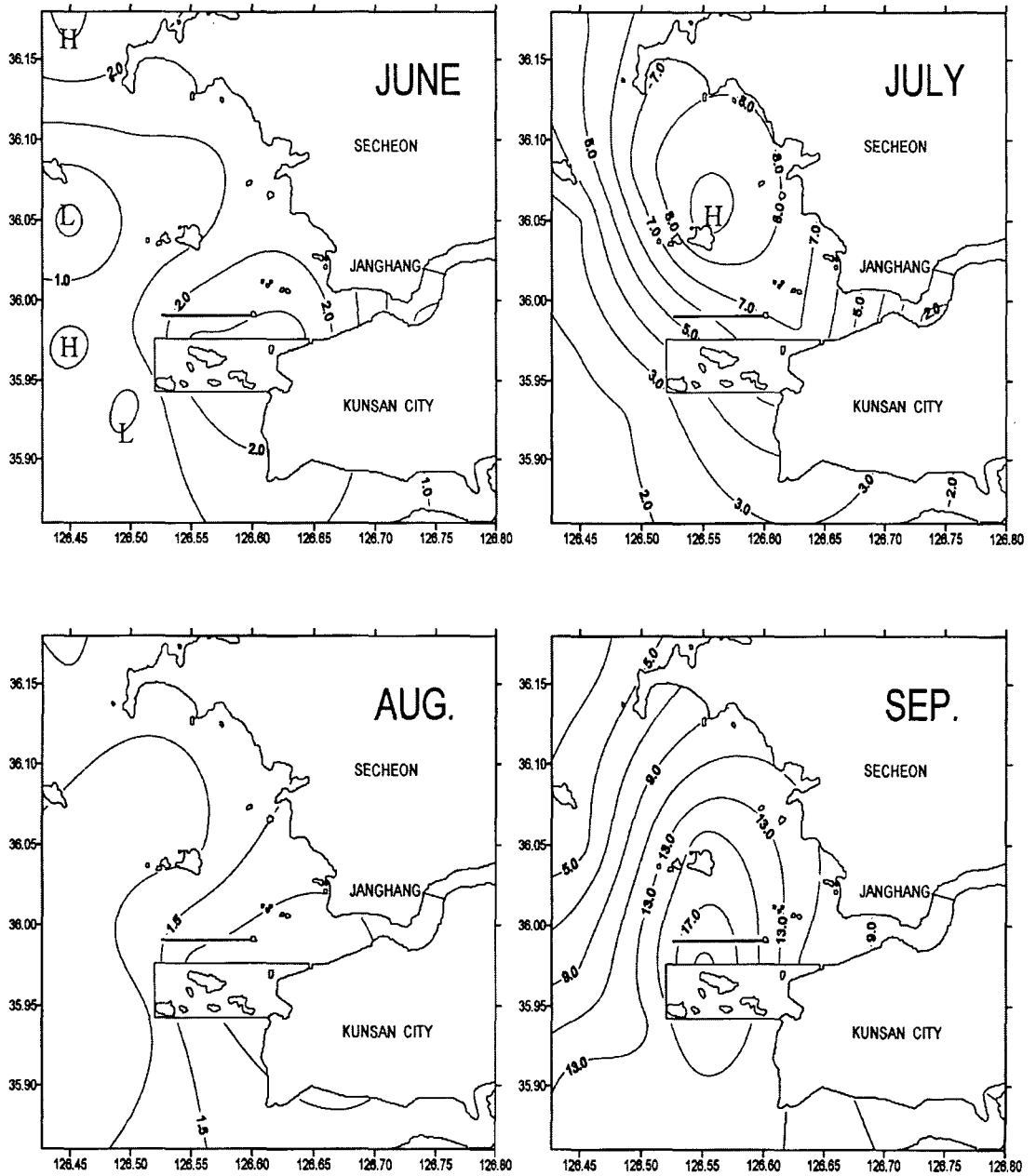


Fig. 10 Horizontal distributions of chlorophyll-a ($\mu\text{g/L}$) on the surface water at the studied area in 1998.

하계 금강하구 주변해역의 수질특성과 수질변동 요인분석

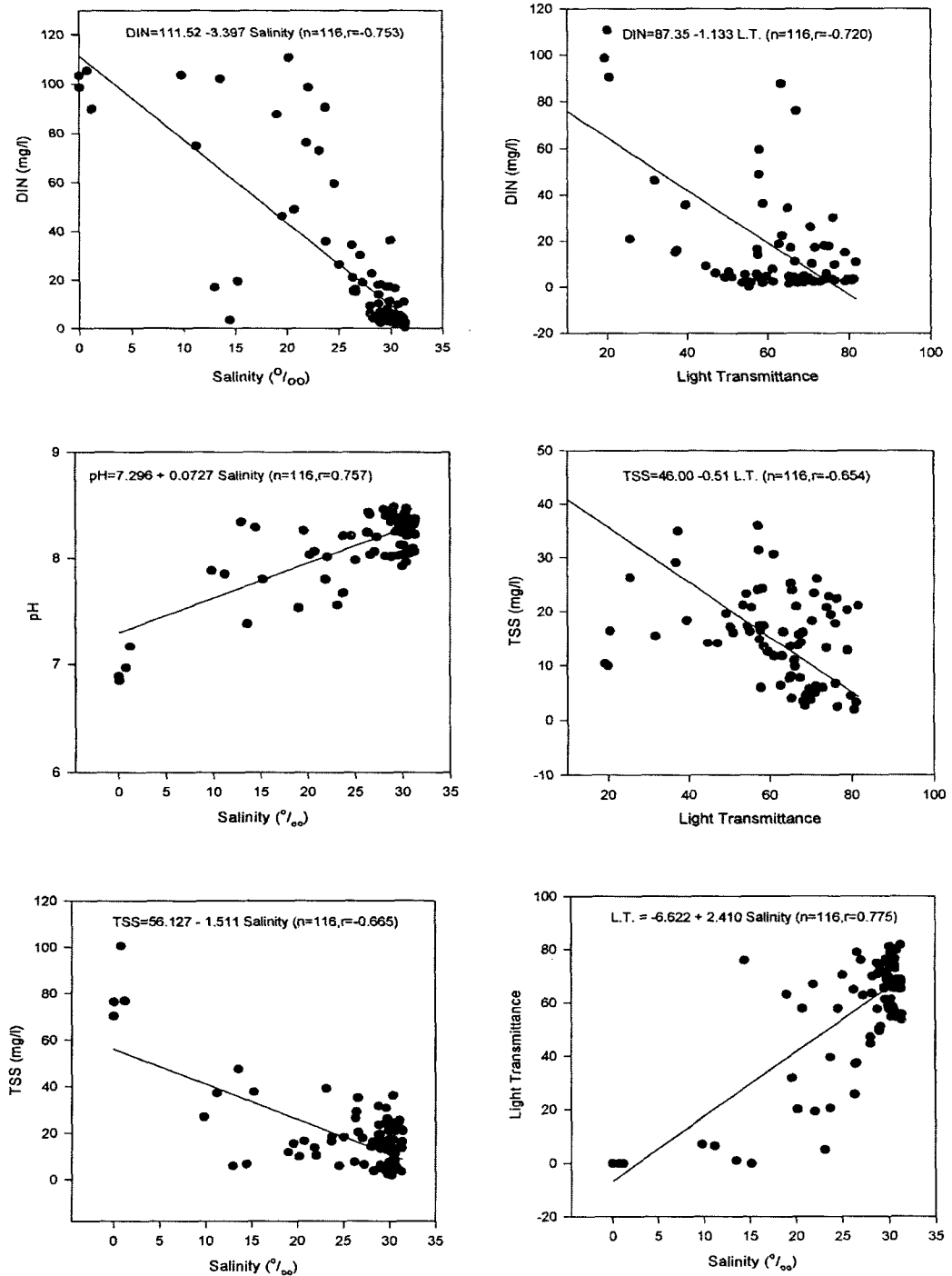


Fig. 11 Correlation between various constituents at the studied area in Summer, 1998.

여, 동서 연직분포(line A)에서 금강하구 아래 지점 1의 표층에서 높고, 외해역 저층수로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 남북 연직분포(line B)에서는 강우의 영향을 받는 8월에 상·하층간의 농도 차가 크게 나타나는 것을 제외하고는 연직적으로 큰 변화는 보이지 않았다(Fig.7).

조사기간 중 DIP의 농도 범위는 ND~2.26 $\mu\text{g-at/L}$ 로 평균 0.48 $\mu\text{g-at/L}$ 로 나타났고, 월별 평균 농도는 6월 0.41 $\mu\text{g-at/L}$, 7월 0.51 $\mu\text{g-at/L}$, 8월 0.41 $\mu\text{g-at/L}$, 9월 0.56 $\mu\text{g-at/L}$ 으로 나타나 월별로 큰 변동은 보이지 않았다. 용존무기인(DIP) 농도는 DIN에 비해 달리 금강의 담수 유입량으로부터 크게 영향을 받지 않은 것으로 나타났으며, 6월의 지점 3과 7월의 지점 7에서 주변해역보다 약간 높게 나타났고, 8월 표층의 경우 군산 내·외항보다 오히려 외해역이 높게 나타났다(Fig.8).

연직분포의 특성은 6월 및 7월은 금강하구둑 아래 지점 1의 저층에서 표층에 비해 낮았으나 8월 및 9월은 오히려 높은 농도를 보였으며, 남북 연직분포(line B)에서 지점 6의 농도가 수온이 높아짐에 따라 중·저층의 농도가 표층보다 상대적으로 높게 나타났다(Fig.9). (김 등[1997])의 금강 퇴적물의 인 용출 실험에서 수온이 높을수록 혐기성 상태로 갈수록 인의 용출을 높아 진다는 결과와 같이 고수온기 낮은 용존산소 하에서 저층 퇴적물의 DIP 용출율이 높았기 때문인 것으로 생각된다.

식물플랑크톤의 성장의 제한인자를 나타내는 DIP에 대한 DIN의 원자비인 N/P비는 평균 59.6로 나타났다. 월별 평균 변동은 6월 79.0, 7월 33.3, 8월 111.4, 9월 32.7로 나타나 최 등이 1991년 북만에서 조사한 16.2~73.3 보다는 조금 높았고, 양 등(1994)이 동해 울릉도 부근해역에서 조사한 16.26~29.99에 비해 약 2배 높게 나타났다. 이는 금강 수계에유입되는 오염 부하중 DIN의 부하가 DIP의 부하보다 큼을 나타낸다. 또한 해수층의 동·식물의 N/P 비가 거의 16임을 고려하면(이광우[1987]), 조사기간중 전기간에 걸쳐 식물성플랑크톤의 제한인자는 DIP임을 알 수 있었다.

1.3 Chlorophyll-a의 변동 특성

해역에서 자생유기물질의 하나인 식물성플랑크톤은 대체적으로 부영양화된 해역에서 환경조건(일사량, 수온, 영양물질의 농도 등)이 적합할 때 대

량으로 번식하는데 그 양은 엽록소(Chlorophyll-a)의 양으로 나타낸다. 본 조사해역에서 Chlorophyll-a 농도 범위는 0.21~19.88 $\mu\text{g/L}$ 로 평균 4.14 $\mu\text{g/L}$ 로 나타났으며, 월별 평균 농도는 6월 1.45 $\mu\text{g/L}$, 7월 4.61 $\mu\text{g/L}$, 8월 1.05 $\mu\text{g/L}$, 9월 9.47 $\mu\text{g/L}$ 로 나타나 적조발생 가능 농도인 10 $\mu\text{g/L}$ (일본 수산환경 수질기준,1973) 보다는 낮았다. 하지만 9월 조사시 군산외항인 지점 3과 개야도 부근 해역인 지점 10에서 이를 훨씬 상회하는 농도를 나타내었는데, 이는 8월 강우와 고수온기를 지난 9월 이후 군산 하구역에서 적조가 발생할 가능성이 있음을 나타내었다(Fig.10). 또한 조사해역에서 전기간 동안 높은 영양염과 고수온에도 불구하고 9월의 클로로필이 높은 것은 용존무기인(DIP)이 9월에 높게 나타난 것과 관련 있는 것으로 생각된다. 이는 이와 양[1997]이 조사한 금강 하구역에서의 500일 연속 관측에서 추계에 단기간의 엽록소 대증식이 발생되었다고 보고한 것과 일치하였다.

3.2 수질인자간의 상관 특성

본 조사해역에서 하계 수질인자간의 상관 관계를 알기 위해 각 인자간의 상관분석 결과를 Table 2에 나타내었고, 상관성이 높은 인자간의 상관도를 Fig.11에 나타내었다.

상관계수가 비교적 높은(0.7) 인자로는 염분과 pH가 정의 상관 관계, 염분과 DIN은 부의 상관 관계를 나타내어 pH와 DIN은 담수의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 또한 수중에서 기준광(480, 532, 660nm)의 투과율을 0%~100%로 표시한 광투과도(L.T.;Light Transparency)와 TSS는 염분과 각각 정의 상관관계 및 부의 상관관계를 나타내었는데, 담수유입이 적을수록 광투과도가 높고 TSS는 낮은 것을 알 수 있었고, TSS와 염분에 대한 상관관계가 광투과도 보다 상대적으로 낮은 것으로 나타나 TSS는 담수 유입이외의 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 염분과 인의 상관성은 낮게 나타나 DIP는 DIN과는 달리 담수의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났는데, 이는 이와 양[1997]이 금강하구역에서 영양염 연속관측 결과 중 7월의 결과와 유사하였다.

Table 2 Matrix of correlation coefficient among water quality constituents in the studied area

	Temp.	pH	Salinity	DO	COD	TSS	L.T.	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	DIP	Chl.a	N/P
Temp	1.000													
pH	-0.188	1.000												
Salinity	-0.230	0.757	1.000											
DO	-0.562	0.315	0.164	1.000										
COD	-0.251	0.000	-0.236	0.201	1.000									
TSS	0.158	-0.719	-0.665	0.037	0.143	1.000								
L.T.	-0.059	0.610	0.775	-0.026	-0.286	-0.654	1.000							
NH ₄ ⁺ -N	0.131	-0.544	-0.587	-0.104	0.237	0.320	-0.609	1.000						
NO ₂ ⁻ -N	0.058	-0.545	-0.606	0.070	0.147	0.463	-0.664	0.727	1.000					
NO ₃ ⁻ -N	0.065	-0.734	-0.764	-0.122	0.196	0.438	-0.714	0.802	0.691	1.000				
DIN	0.082	-0.719	-0.753	0.118	0.212	0.432	-0.720	0.875	0.737	0.991	1.000			
DIP	0.224	-0.111	-0.271	-0.172	0.048	-0.034	-0.258	0.331	0.334	0.379	0.383	1.000		
Chl.a	0.287	0.355	0.006	-0.189	0.127	-0.276	0.054	-0.144	-0.248	-0.170	-0.174	0.193	1.000	
N/P	0.049	-0.636	-0.653	-0.076	0.129	0.538	-0.589	0.430	0.438	0.629	0.608	-0.148	-0.179	1.000

3.3 주성분분석에 의한 수질 지배 요인

금강하구해역에서 1998년 하계 4개월간 월 1회 조사된 자료를 이용하여 주성분분석을 한 결과

나타난 요인의 고유치와 수질에 미치는 기여율을 Table 3에 나타내었다. 추출된 12개의 최초 요인 중 보다 나은 해석을 위하여 주대각성분 추출방법으로 요인수를 결정하였고, 이때 요인수를 결

Table 3 Eigen value and cumulative percentage of factors

Factor	Eigen value	% of variance	Cumulative %
1	5.145	42.87	42.87
2	1.976	16.47	59.34
3	1.392	11.60	70.94
4	0.983	8.19	79.13
5	0.709	5.91	85.04
6	0.520	4.33	89.37
7	0.470	3.92	93.29
8	0.249	2.08	95.37
9	0.203	1.69	97.06
10	0.174	1.45	98.51
11	0.112	0.94	99.45
12	.007	0.55	100.00

정하는데는 여러 방법이 있으나 본 연구에서는 고유치(eigen value) 기준으로 판단하였다. 고유치는 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타낸 것으로서 고유치가 1 보다 크다는 것은 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명한다. 따라서 고유치가 1 이하인 경우 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 요인으로서의 의미가 없어 제외하고 1.0 이상이 되는 3개 요인을 추출하였다.

요인 1의 기여율이 42.87%, 요인 2는 16.47%, 요인 3은 11.60%의 기여율을 나타내었고, 이들 요인 1부터 3까지의 누적기여율은 70.9%로 전체 수질변동의 70.9%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다.

그리고 최초 인자부하량을 분석한 결과로부터 요인적재량이 어떤 요인에 높게 적재되어 있는지의 여부를 판단하기 위하여 Varimax법으로 회전시켜 요인과 수질변수와의 관계를 보다 정확하게 설명할 수 있는 결과를 Table 4에 나타내었다.

요인 1은 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 및 TSS와는 정의 인자부하량을 갖고 있으며, pH와 염분과는 음의 상관성을 갖고 있었다. 이들은 부영양

화 및 담수유입에 의한 물리적 변화와 관련성이 있었다. 요인 2는 온도와는 음의 인자부하량을 가지며, DO 및 COD와는 정의 인자부하량을 나타내었다. 이들은 계절적 변동을 하는 변수와 유기물의 관련 변수로 나타났다. 요인 3은 Chlorophyll-a, DIP와 높은 정의 인자부하량을 가지고 있어 물질변환 과정을 설명하는 변수로 구성되었다. 특히 DIP의 경우 요인 1에서의 인자 부하량(0.333) 보다 요인 3에서 인자부하량(0.689)이 높게 나타났다.

요인 1(factor 1)은 외부적 요인에 주로 기인되는 인자로서 하천의 오염부하에 의한 부영양화 관련인자인 질소성분의 증가와 담수유입에 따른 해수와의 물리적 혼합 및 회석과정으로 나타나는 pH 및 염분의 변화로 설명되는 요인으로 금강 하구역이 금강의 담수유입에 크게 영향을 받고 있음을 나타내었다. 또한 조사기간중 조사해역에서의 부유물질은 담수 유입에 영향을 받고 있었다.

요인 2(factor 2)는 자연적 요인에 기인되는 인자로서 월별 변동을 하는 온도와 밀접한 관련이 있는 수온 및 용존산소의 변화와 관련성이 높았

Table 4 Rotated factor matrix extracted from principal component analysis

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Chlorophyll-a	-0.237	-0.179	0.738
COD	0.279	0.597	0.292
DO	-0.109	0.795	-0.243
L.T.	-0.862	-0.111	-0.006
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.801	0.006	0.230
$\text{NO}_2^-\text{-N}$	0.816	0.132	0.007
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	0.895	-0.002	0.121
pH	-0.828	0.318	0.317
DIP	0.333	-0.124	0.689
Salinity	-0.899	0.159	-0.001
TSS	0.707	-0.102	-0.399
Temp.	0.137	-0.790	0.254

고, 화학적산소요구량(COD)과도 어느 정도 관계를 나타내고 있었다. 이는 하구역의 수질변화 특성 중 계절적 요인에 의해 전체의 약 16% 정도의 수질변동을 설명할 수 있음을 의미한다.

요인 3(factor 3)은 하구역에서의 내부 생산과 관련된 요인으로 하구역의 기초생산을 의미하는 Chlorophyll-a가 용존무기인(DIP)과 관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 조류의 성장에 있어 필수적인 인자인 용존무기인의 변화가 같이 일어남을 나타내었다.

이상의 결과로 금강하구 주변해역의 수질변동에 대한 제 1요인은 금강하구를 통한 담수유입과 관련된 외부 부하인자, 제 2요인은 계절적 변화 요인, 제 3요인은 하구해역의 생산과 관련되었다 볼 수 있다. 금강하구 주변해역의 수질변동에 대한 제 1요인의 기여율이 42.87%로 하구주변 해역에서 용존무기질소(DIN)의 주요 공급원은 담수 유입이었으나 용존유기인(DIP)은 담수이외에 내부 생산 요인이 있었음을 알 수 있었고 용존무기인(DIP)이 일정 농도 이상이 될 경우 금강 하구해역에서는 높은 식물성플랑크톤의 성장을 예견할 수 있었다.

4. 결 론

금강하구둑 수문 조작으로 환경의 특성이 크게 변한 금강하구와 그 주변해역을 대상으로 하계 수질의 공간적인 특성 조사 및 주성분 분석을 통한 수질변동의 지배요인을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

하계 금강하구 주변해역의 화학적 산소요구량의 평균농도는 1.36mg/L, 용존무기질소의 평균농도는 28.60 μ g-at/L, 용존무기인의 평균농도는 0.48 μ g-at/L로 부영양해역에 속하였다.

하계 금강하구 해역의 용존무기질소는 담수유입에 따른 상관성이 높았으나 용존무기인의 경우 상관성이 낮은 것으로 나타났다.

Chlorophyll-a의 하계 평균 농도는 4.14 μ g/L였으나 9월의 평균 농도가 9.47 μ g/L로 8월의 집중강우와 고수온기를 지나 농도가 높아지는 경향을 보였으며, 용존무기인이 식물성 플랑크톤의 제한 인자였다.

주성분분석 결과 수질변동에 대한 3개의 요인이 추출되었고, 이들은 전체 수질변동의 70.9%를

설명할 수 있었다. 요인 1은 부영양화 관련인자 및 담수유입에 의한 물리적 변화와 관련성이 있었고, 요인 2는 계절적으로 변동하는 변수와 유기물의 관련 변수로 나타났으며, 인자 3은 물질변환과정을 설명하는 변수로 구성되어 있었다. 전체적으로 금강하구 및 그 주변해역은 담수의 영향이 큰 해역의 특성을 가진 것으로 나타났다. 이들 요인 중 부영양화 및 담수 유입 관련인자가 제 1 주요요인으로 추출되었고, 금강하구 주변해역의 수질변동은 담수의 유입과 밀접한 관련이 있는 무기질소와 염분변동의 영향이 크게 작용한 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 국립수산진흥원의 적조감시조사 사업의 일부로 수행된 것임을 밝히며, 시료채취에 도움을 주신 전북 868호 선장님 및 선박직원 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김종구, 권정노, 유선재, 1998, “금강하구둑 수문폐쇄 후의 수질변화”. 한국수산학회지, 제31권 제5호, 685~694.
- [2] 김종구, 1998, “다변량해석기법에 의한 금강하구역의 수질평가”. 한국환경과학회지, 제7권 제5호, 591-598.
- [3] 김태웅, 임봉수, 1997, “금강하구호 Sediments로 부터 수질오염물질 용출특성에 관한 연구”. 한국수질보전학회지, 제13권 제 3호, 245~253.
- [4] 농림수산부, 1994, “새만금 종합개발사업 어업피해보상조사연구(Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ편)”. 51~55.
- [5] 농어촌진흥공사, 1997, “하구둑 유지관리 보고서”. 359~376.
- [6] 문창호, 양합섭, 이광우, 1996, “동해 극전선역의 영양염류 순환과정, I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계”. 한국수산학회, 제 29권 제 4호, 503~526.
- [7] 유병철, 유선재, 조주환, 1994, “금강 하구에 나타나는 황색 수색대의 환경특성”. 한국수산학회, 제 27권 제 1호, 97~105.
- [8] 이무강, 황정숙, 최영광, 1996, “다변량 해석을 의한 마산만 저층수의 수질평가”. 한국환경과학회

- 지, 제 5권 제 1호, 15~23.
- [9] 이용혁, 양재삼, 1997, "금강하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분 변화에 대한 500 일간의 연속관측". 「The Sea」 J. of the Korean Society of Oceano., 제 2권 제 1호, 1~7.
- [10] 이상호, 최현용, 오임상, 1995, "하계 금강 Plume의 구조와 변동". 한국해양학회지, 제30권 제 2호, 125~137.
- [11] 최진용, 1993, "금강하구 및 인근해역에서 부유퇴적물의 계절적 변동에 관한 연구". 한국해양학회지, 제 28권 제 4호, 272~280.
- [12] 최진용, 최현용, 서만석, 1995, "하구언 갑문 폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성변화". 한국해양학회지, 제 30권 제 4호, 262~270.
- [13] 최우정, 나기환, 전영열, 박청길, 1991, "부영양화된 북만의 용존산소 수지에 의한 자정능력". 한국수산학회지, 24(1), 21~30.
- [14] 해양수산부, 1998, 해양환경공정시험법, 1~132.
- [15] 홍순우, 하영철, 안태섭, 1986, "진해만의 수질과 생태계에 관한 요인분석에 대하여". 강원대학교 생명과학연구보, 4, 15~23.
- [16] 이광우, 1987, *해양화학*. 대한교과서주식회사, 2판, 134~138.
- [17] Briford. I. H., 1967, "A Factor Analysis Model of large Scale Pollution". Atmospheric Environment, 1, 147.
- [18] Chung J. Y. and I. K. Bhang, 1984, "Circulation dynamics of the Keum river estuary-Fluid dynamic characteristics". J. Oceanol. Soc. Korea, 19, 141~152.
- [19] Im S. O., Na T. K., and Lee C. B., 1995, "Tidal Current and Suspended Transport in the Keum Estuary". The J. of the Korean Society of Oceano., 30(3), 147~162.
- [20] Lee C. B., 1985, "Sedimentary processes of fine sediments and behavior of associated metals in the Keum estuary, Korea". In ; Sigleo, A. C. and A. Hattori. eds., *Marine and Estuarine Geochemistry*. Lewis, Michigan, 209~225.
- [21] Lee C. B., and T. I. Kim, 1987, "Formation and evolution of turbidity maximum in the Keum estuary, West coast of Korea". J. Oceanol. Soc. Korea, 22, 105~118.
- [22] 石川公敏, 1978, "環境調査結果への多變量解析の應用-主成分分析法による海洋特性の見方". 公害. 13, 223~239.
- [23] 中島重旗, 松竝裕子, 小田泰史, 1987, "多變量解析法による阿蘇火山流域河川の汚濁平價". 水質汚濁研究, 10(2), 31~40.
- [24] 日本水産資源保護協會編, 1973, *水産環境水質基準*, 11~13.