

아산연안 수질환경의 특성과 장기변동

박 승 윤 · 김 형 철 · 김 평 중 · 박 경 수* · 박 정 숙**
국립수산과학원 서해수산연구소, *안양대학교, **국립수산과학원
(2007년 6월 26일 접수; 2007년 12월 7일 채택)

Long-term Variation and Characteristics of Water Quality in the Asan Coastal Areas of Yellow Sea, Korea

Soung-Yun Park, Hyung-Chul Kim, Pyoung-Joong Kim,
Gyung-Soo Park and Jeung-Sook Park

West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon 400-420, Korea

**Anyang University, Anyang 430-714, Korea*

***National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea*

(Manuscript received 26 June, 2007; accepted 7 December, 2007)

Long-term trends and distribution patterns of water quality were investigated in the Asan coastal areas of Yellow Sea, Korea from 1975 to 2005. Water samples were collected at 3 stations and physicochemical parameters were analyzed including water temperature, salinity, suspended solids (SS), chemical oxygen demand (COD), dissolved oxygen (DO) and nutrients. Spatial distribution patterns were not clear among stations but the seasonal variations were distinct except COD, SS and nitrate. The trend analysis by principal component analysis (PCA) during twenty years revealed the significant variations in water quality in the study area. Annual water qualities were clearly discriminated into 4 clusters by PCA; year cluster 1988-1991, 1994-1997, and 1992-1993/1998-2005. By this multi-variate analysis we can summarize the annual trends as the followings; salinity, suspended solids and dissolved oxygen tended to increase from late 1980's, increased pH and COD from 1992, and decreased salinity and increased nitrogen and COD from 1990 due to the runoff from agricultural lands causing eutrophication.

Key Words : Water quality, Asan coastal areas, Long-term trends

1. 서 론

아산만 연안은 내륙 깊숙이 들어와 있는 만 전체를 의미하는 것으로 오산, 평택, 안성, 화성 및 당진 군에 인접한 해역으로 우리나라에서 조석간만의 차 (8 m 이상)가 크고, 해안선의 출입이 복잡하며, 간석지가 넓게 발달하였었다. 이러한 간석지에 대한 개간의 노력은 조선시대까지는 적은 규모로 진행되었으나 일제시대 들어 농경지 확보를 위해 간석지에 관심을 갖게 되면서 획기적으로 간척되기 시작하였으며¹⁾, 해방 후 1974년 아산호 준공이후 1979년

삼교호 및 1995년 대규모 석문방조제가 건설되었고 2002년에는 화옹호 등 대규모 방조제가 계속적으로 건설되었다. 아산연안은 이 곳에서 유입되는 담수와 인근 도시 및 공업시설로부터 오폐수가 유입되어 조석에 의해 혼합되는 복잡한 수괴 특성을 나타내며, 본 해역의 어류 출현상황은 서해의 다른 해역에서 출현하는 어류의 종수와 밀도에 비하여 낮은 상태²⁾이다. 그러나 황해의 주요 연안역으로 많은 수산 자원의 산란 및 보육장으로 인식되어왔으나 근래에는 각종 간척 매립사업과 많은 공단이 가동되고 있어 해양환경의 변화가 예상되는 해역이다. 이와 같은 아산연안을 대상으로 그동안 저서지형과 해수유동³⁾, 해저의 저서유공충⁴⁾, 동물플랑크톤 분포와 수

Corresponding Author : Soung-Yun Park, West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-201, Korea
Phone: +82-32-745-0670
E-mail: soungyun@nfrdi.re.kr

직이동⁵⁾, 저어류⁶⁾, 동물플랑크톤 군집과 계절변화⁷⁾, 부유성 란과 자치어의 분포⁸⁾, 영양염과 입자성 유기물⁹⁾, 동물플랑크톤 분포¹⁰⁾, 요각류 *Calanus sinicus*의 알 생산¹¹⁾, 유기인계 잔류농약 분포¹²⁾가 보고되었다. 부영양화는 생태계에 유기물질의 유입 비율이 증가하는 것이며, 세계 여러 지역에서 연안역의 부영양화는 악영향을 미치는 주요한 문제로 대두되고 있다¹³⁾ 그러나 그 시기와 규모에 대한 조사는 빈약한 실정이다^{14,15)}. 마찬가지로 본 해역의 수질환경에 대한 연구는 아직 미흡한 실정으로 본 연구는 아산연안에 대한 국가해양환경정책방향의 일환으로 1975년과 1976년 그리고 1988년 2월부터 2005년 11월까지 20년간 총 80회에 걸쳐 계절별(2, 5, 8, 11월)로 실시한 일반 해양환경성분에 대하여 조사한 결과로서 아산연안에 대한 시공간적인 환경변동 특성을 파악함으로써 아산연안을 효율적으로 이용할 수 있는 해양환경관리 및 보전정책수립의 환경기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

연구대상 해역인 아산연안에서 1975년부터 1976년까지, 1988년부터 2005년까지 20년 동안 Fig. 1에서와 같이 3개 정점에 대해 계절별로 년 4회(2, 5, 8, 11월) 조사하였다. 그 중에서 정점 2는 1995년부터 1996년까지와 2000년부터 2005년까지 8년 동안, 정점 3은 1995년부터 1996년까지의 2년 동안 조사가 진행되지 못하였다. 시료는 현장에서 표층과 저층의 시료를 채취하여 냉장 또는 냉동상태에서 실험실로 운반하여 분석을 실시하였다. 수온은 봉상은 도계 및 CTD(SBE 19, Seabird Electronics Co.)로 현장에서 측정하였고, 염분은 Inductively Coupled Salinometer 및 CTD로, 수소이온농도(pH)는 pH meter로, 용존산소량(DO)은 150 ml용 용존산소병에 시료를 채수하여 Winkler개량법인 윙클러아지드화변법에 의하였고¹⁶⁾, 화학적산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 실험실에서 측정하였다. 인산인($PO_4^{3-}-P$), 암모니아질소(NH_4^+-N), 아질산질소($NO_2^- -N$)·질산질소($NO_3^- -N$)는 Strickland and Parsons(1972)¹⁷⁾ 방법 및 해양환경공정시험법(1998)¹⁸⁾으로 측정하였으며, 용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소를 합한 값으로 나타내었다. 수질 항목에 대해 표층수와 저층수를 조사하여 표·저층 간의 차이에 대한 유의성 검정을 위해서 조사정점별 및 계절별로 표층 측정값에서 저층 측정값을 뺀 차이를 이용하여 대응비교에 의한 T검정(Paired comparison T test)을 실시하였다. 그 결과 수온은 표·저층간의 차이가 컸으며($p < 0.0001$),

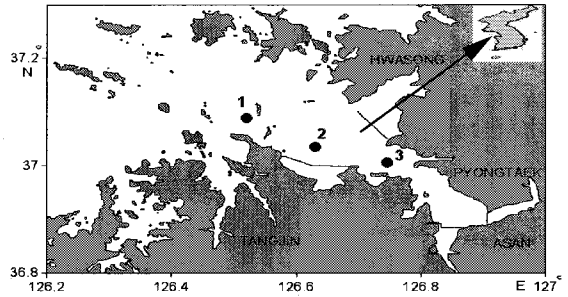


Fig. 1. A map showing the sampling sites in the study area.

용존산소, 아질산질소 및 질산질소 역시 차이가 있었다($p < 0.05$). 그러나 나머지 수질항목은 표·저층간의 차이가 없었는데, 이에 본 자료 분석에는 표·저층간의 평균값을 이용하였다.

수질환경의 장기 변동을 알아보기 위해 주성분분석(principal component analysis, PCA)의 통계 처리를 하였으며 PCA은 다변량 분석법(multivariate analysis)의 일종으로서 여러 개의 변수 중에 유사한 특성을 갖는 변수끼리 주성분으로 묶어 자료의 해석을 용이하게 하는 분석법이다. 본 논문에서는 조사 시기에 따른 다량의 수질변수를 연도별 수질 분포 특성과 변화 상태를 추정하는데 사용하였다. 각 측정 항목의 시공간적인 변동을 구명하기 위해서는 제1모형 이항분산분석(Two factor model I ANOVA)을 이용하였으며 처리효과는 조사정점(3등급)과 조사월(4그룹)이다.

수질변동의 요인을 구명하기 위하여 계절별 연도별 수질항목간 상관분석(Spearman's correlation analysis)을 통하여 $\alpha = 0.05$ 유의 수준에서 유의성을 검증하였으며, 상기의 분석은 PC SAS를 이용하였다^{19,20)}.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시공간적 분포 특성

수질 항목의 시공간적 유의성 검정을 위해 정점별, 계절별 수질자료를 이용한 분산 분석 결과는 Table 1과 같다. 수질 항목의 공간적 차이를 살펴보면 염분은 유의수준 0.0001이하에서 정점 간 큰 차이가 있었고, 질소계 영양염류에서도 정점 간 차이가 있었으며 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소는 $p < 0.05$ 수준에서, 용존무기질소는 $p < 0.001$ 수준에서 차이가 있었다. 그러나 그 외 조사항목에서는 유의적인 차이가 없었다. 즉 아산연안의 내측 정점인 정점 3과 그 외 조사 정점으로 구분하였을 때 육수의

아산연안 수질환경의 특성과 장기변동

Table 1. ANOVA tables for spatial and temporal differences in water quality in the Asan coastal zone of Yellow Sea from 1975 to 2005

| Variable | Source | F | Pr>F | Variable | Source | F | Pr>F | Variable | Source | F | Pr>F |
|----------------------------------|---------|--------|--------|---------------------------------|---------|-------|--------|---------------------------------|---------|-------|--------|
| Water Temperature | Station | 0.06 | 0.9429 | Salinity | Station | 10.09 | <.0001 | pH | Station | 0.37 | 0.6918 |
| | Season | 861.96 | <.0001 | | Season | 18.82 | <.0001 | | Season | 16.74 | <.0001 |
| DO | Station | 0.09 | 0.9096 | COD | Station | 2.58 | 0.0782 | SS | Station | 1.04 | 0.3552 |
| | Season | 94.88 | <.0001 | | Season | 0.97 | 0.4100 | | Season | 5.25 | 0.0017 |
| PO ₄ ³⁻ -P | Station | 2.47 | 0.0872 | NH ₄ ⁺ -N | Station | 8.47 | 0.0003 | NO ₂ ⁻ -N | Station | 6.15 | 0.0026 |
| | Season | 4.44 | 0.0049 | | Season | 17.56 | <.0001 | | Season | 21.73 | <.0001 |
| NO ₃ ⁻ -N | Station | 5.47 | 0.0050 | DIN | Station | 9.62 | 0.0001 | DIN/DIP | Station | 0.15 | 0.8580 |
| | Season | 0.08 | 0.9683 | | Season | 1.82 | 0.1461 | | Season | 2.2 | 0.0900 |

영향으로 염분은 낮았고 질소계 영양염류는 높은 상태이었다. 계절별로 살펴보면 화학적산소요구량과 질산질소 및 용존무기질소는 유의성이 없었으며 그 외 조사 항목에서는 유의성이 입증되었다(p<0.05). 계절적 변화를 인근 연안과 비교해 보면 경기만^(21,22)에 비해서는 변화가 적었고 천수만⁽²³⁾과는 유사한 경향을 나타내었다. 본 연안을 항목별로 살펴보면 수온은 우리나라의 4계절 특성상 4그룹으로 구분되었고, 염분은 겨울(2월)과 봄(5월), 가을(11월) 및 여름(8월)의 3그룹으로 나누어지며, 수소이온농도는 여름(8월)과 그 외 계절로 구분되었다. 용존산소는 4그룹으로 구분되어진 반면, 화학적산소요구량은 계절에 따른 변화가 없었으며, 부유물질은 겨울과 그 외 계절로 구분되었다. 영양염류의 계절적 순환은 생산, 분해 등의 생물학적 과정과 성층, 혼합 등의

수문학과 인입-출입의 바란스, 담수 유입 등 영양염류의 공급원에 의존 한다^(24~26). 본 연안의 영양염류 중 인산인은 여름~가을과 겨울~봄으로, 암모니아 질소는 여름과 그 외 계절, 아질산질소는 가을, 여름 및 겨울과 봄의 3그룹으로 구분되어지며, 질산질소와 용존무기질소 및 DIN/DIP비는 계절별로 변화가 없었다.

3.2. 수질 항목별 변동 특성

3.2.1. 수온

수온은 전형적인 온대 수역의 변화 양상을 보였고, 각 정점 간에는 20년 동안 평균 12.86±0.91℃(정점 1)~13.32±1.00℃(정점 3)로 정점 간 유의적인 차이가 없었으며 정점 내에서의 변동계수는 62.53~63.70%로 비슷한 수준이었다. 월별로는 평균 2.48±0.15℃(2월)~24.39±0.26℃(8월)로 유의수준 0.0001

Table 2. Descriptive statistics of water quality parameters at the sampling stations collected in February, May, August, and November from 1975 to 2005 in the Asan coastal zone of Yellow Sea

| Variable | St. | N | Mean±SE | Range | CV(%) | Variable | St. | N | Mean±SE | Range | CV(%) |
|-----------|-----|----|------------|-------------|-------|--|-----|----|-------------|--------------|--------|
| W.T.(°C) | 1 | 78 | 12.86±0.91 | 0.60~27.90 | 62.53 | PO ₄ ³⁻ -P(mg/L) | 1 | 72 | 0.018±0.001 | 0.001~0.051 | 52.32 |
| | 2 | 46 | 13.06±1.23 | 0.80~27.75 | 63.70 | | 2 | 40 | 0.017±0.002 | 0.002~0.053 | 59.81 |
| | 3 | 70 | 13.32±1.00 | 0.70~28.10 | 62.90 | | 3 | 64 | 0.021±0.002 | 0.002~0.054 | 64.46 |
| Salinity | 1 | 80 | 30.91±0.14 | 27.79~33.45 | 4.06 | NH ₄ ⁺ -N(mg/L) | 1 | 72 | 0.045±0.005 | 0.001~0.321 | 99.72 |
| | 2 | 48 | 30.92±0.24 | 26.63~33.55 | 5.32 | | 2 | 40 | 0.065±0.009 | 0.003~0.278 | 87.40 |
| | 3 | 72 | 29.62±0.31 | 16.46~33.11 | 8.99 | | 3 | 64 | 0.089±0.010 | 0.002~0.424 | 90.67 |
| pH | 1 | 80 | 7.97±0.02 | 7.63~8.31 | 1.90 | NO ₂ ⁻ -N(mg/L) | 1 | 72 | 0.010±0.001 | 0.000~0.043 | 91.21 |
| | 2 | 48 | 7.97±0.03 | 7.63~8.46 | 2.17 | | 2 | 40 | 0.009±0.002 | 0.000~0.047 | 106.51 |
| | 3 | 72 | 7.95±0.02 | 7.59~8.48 | 2.27 | | 3 | 64 | 0.017±0.002 | 0.000~0.091 | 102.56 |
| DO(mg/L) | 1 | 80 | 8.48±0.21 | 2.28~12.20 | 22.35 | NO ₃ ⁻ -N(mg/L) | 1 | 72 | 0.157±0.015 | 0.003~0.675 | 78.934 |
| | 2 | 48 | 8.63±0.27 | 1.75~11.79 | 21.90 | | 2 | 40 | 0.135±0.024 | 0.003~0.702 | 114.40 |
| | 3 | 72 | 8.56±0.24 | 1.53~13.69 | 24.17 | | 3 | 64 | 0.234±0.026 | 0.003~0.879 | 90.17 |
| COD(mg/L) | 1 | 80 | 1.21±0.08 | 0.22~4.01 | 57.60 | DIN(mg/L) | 1 | 72 | 0.212±0.015 | 0.059~0.749 | 60.94 |
| | 2 | 48 | 1.11±0.08 | 0.23~2.65 | 50.99 | | 2 | 40 | 0.209±0.027 | 0.042~0.766 | 81.92 |
| | 3 | 72 | 1.38±0.08 | 0.17~3.42 | 50.37 | | 3 | 64 | 0.340±0.031 | 0.052~1.205 | 71.88 |
| SS (mg/L) | 1 | 80 | 27.22±2.55 | 3.20~140.00 | 83.61 | DIN/DIP | 1 | 72 | 51.32±16.44 | 8.25~1057.52 | 271.82 |
| | 2 | 48 | 32.40±3.28 | 4.60~125.00 | 70.15 | | 2 | 40 | 49.46±22.50 | 9.06~919.24 | 287.67 |
| | 3 | 72 | 31.90±2.92 | 5.00~146.00 | 77.68 | | 3 | 64 | 62.58±16.87 | 8.31~960.22 | 215.69 |

이하에서 큰 차이를 보였다. 변동계수는 2월에는 40.57%로 높았으나 점차 낮아져 8월에 7.60%로 가장 낮았다. 2월에는 정점 간의 수온차가 컸으며 이와 같은 결과는 천수만 및 경기만²¹⁻²³과 같은 경향을 보였다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상을 보면 1988년에는 연평균 9.63±2.56℃로 가장 낮았고, 1998년에는 14.49±2.44℃로 가장 높았으며 20년 동안 대체로 연 0.083℃정도 높아지는 경향을 보였다. 1988년과 1996년의 변동계수는 91.95~90.79%로 높은 편이었으나, 그 외는 대체로 비슷한 분산량을 나타냈다(Table 4, Fig. 3).

3.2.2. 염분

염분은 Table 2, 3 및 Fig. 2와 같이 정점 간에는 평균 29.62±0.31(정점 3)~30.92±0.24(정점 2)로 내만 역인 정점 1에서 정점 2와 정점 3에 비해 1.3 정도 낮은 값을 보여 큰 차이를 나타내었으며(p<0.0001), 전반적으로 천수만²³에 비해 0.9 정도 낮은 반면, 경기만^{21,22}에 비해서는 0.6 정도 높았다(Table 5). 정점 내에서의 변동계수는 4.06~8.99%로 천수만 4.40~5.58%, 인천연안의 6.35~8.65%보다 약간 높은 분산량을 보였다. 월별로는 평균 28.99±0.29(8월)~

31.33±0.19(2월)로 큰 차이를 보였으며(p<0.0001), 변동계수는 여름철(8월)과 가을철(11월)에 7.04~7.88%로 겨울(2월)과 봄철(5월)의 4.10~4.21%에 비해 높았다. 연도별 변동 양상은 Table 4 및 Fig. 3과 같이 전반적으로 연 0.098 정도 낮아지고 변곡선 형태를 보이고 있다. 1976년에는 28.87±0.18로 가장 낮았고 1988년에는 31.81±0.12이었다가 1992년에는 30.00±1.25로 낮아졌다. 그러나 1997년에는 31.55±0.48로 높아졌으며 그 후 점차 낮아져 2005년에는 29.27±0.71이었다.

3.2.3. 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 정점 간 평균이 7.95±0.02(정점 3)~7.97±0.02, 0.03(정점 1, 2)로 정점 간 차이가 거의 없었으며 변동계수 역시 1.90~2.27%로 천수만, 인천연안²¹⁻²³과 마찬가지로 전 수질항목 중 가장 낮았다. 계절별로는 7.83±0.02(8월)~8.02±0.02(11월)로 큰 유의적인 차이를 보였다(p<0.0001). 하절기인 8월에는 담수유입으로 낮아졌으며, 그 외 조사월에서는 비슷한 상태를 유지하였고 변동계수는 1.78(2월)~2.02%(8월)로 낮았다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상을 보면 1993년에는 8.15±0.02로 가장

Table 3. Descriptive statistics of water quality parameters in February, May, August, and November at three sampling stations from 1975 to 2005 in the Asan coastal zone of Yellow Sea

| Variable | Mon | N | Mean±SE | Range | CV (%) | Grouping | Variable | Mon | N | Mean±SE | Range | CV (%) | Grouping |
|------------|-----|----|------------|-------------|--------|----------|---|-----|----|-------------|---------------|--------|----------|
| W.T.(°C) | 2 | 47 | 2.48±0.15 | 0.60~4.40 | 40.57 | D | PO ₄ ³⁻ -P (mg/L) | 2 | 44 | 0.018±0.002 | 0.002~0.054 | 59.18 | BA |
| | 5 | 47 | 10.45±0.46 | 5.85~16.19 | 29.92 | C | | 5 | 44 | 0.015±0.001 | 0.001~0.041 | 57.27 | B |
| | 8 | 50 | 24.39±0.26 | 20.57~28.10 | 7.60 | A | | 8 | 44 | 0.020±0.002 | 0.002~0.053 | 66.63 | A |
| | 11 | 50 | 14.18±0.30 | 7.35~17.17 | 15.00 | B | | 11 | 44 | 0.023±0.002 | 0.008~0.054 | 49.00 | A |
| Salinity | 2 | 50 | 31.33±0.19 | 27.79~33.55 | 4.21 | A | NH ₄ ⁺ -N (mg/L) | 2 | 44 | 0.048±0.004 | 0.007~0.119 | 60.47 | B |
| | 5 | 50 | 31.30±0.18 | 27.19~33.03 | 4.10 | A | | 5 | 44 | 0.059±0.009 | 0.001~0.294 | 99.70 | B |
| | 8 | 50 | 28.99±0.29 | 23.02~31.63 | 7.04 | C | | 8 | 44 | 0.118±0.013 | 0.019~0.424 | 75.21 | A |
| | 11 | 50 | 30.16±0.34 | 16.46~32.81 | 7.88 | B | | 11 | 44 | 0.036±0.005 | 0.003~0.117 | 88.57 | B |
| pH | 2 | 50 | 8.00±0.02 | 7.63~8.36 | 1.78 | A | NO ₂ ⁻ -N (mg/L) | 2 | 44 | 0.005±0.001 | 0.000~0.015 | 69.45 | C |
| | 5 | 50 | 8.00±0.02 | 7.72~8.48 | 1.85 | A | | 5 | 44 | 0.006±0.001 | 0.002~0.033 | 74.77 | C |
| | 8 | 50 | 7.83±0.02 | 7.59~8.12 | 2.02 | B | | 8 | 44 | 0.015±0.002 | 0.002~0.048 | 75.68 | B |
| | 11 | 50 | 8.02±0.02 | 7.73~8.31 | 1.90 | A | | 11 | 44 | 0.022±0.003 | 0.001~0.091 | 83.37 | A |
| DO (mg/L) | 2 | 50 | 10.43±0.15 | 8.29~13.69 | 10.01 | A | NO ₃ ⁻ -N (mg/L) | 2 | 44 | 0.177±0.023 | 0.003~0.553 | 86.21 | A |
| | 5 | 50 | 9.44±0.16 | 6.61~11.79 | 12.22 | B | | 5 | 44 | 0.171±0.025 | 0.003~0.879 | 97.78 | A |
| | 8 | 50 | 6.54±0.25 | 1.53~12.01 | 27.04 | D | | 8 | 44 | 0.183±0.026 | 0.003~0.744 | 94.00 | A |
| | 11 | 50 | 7.77±0.12 | 5.20~9.31 | 11.12 | C | | 11 | 44 | 0.189±0.030 | 0.004~0.702 | 103.54 | A |
| COD (mg/L) | 2 | 50 | 1.36±0.10 | 0.41~3.42 | 50.53 | A | DIN (mg/L) | 2 | 44 | 0.231±0.022 | 0.059~0.606 | 64.65 | A |
| | 5 | 50 | 1.17±0.08 | 0.17~2.59 | 48.21 | A | | 5 | 44 | 0.237±0.030 | 0.042~1.205 | 83.75 | A |
| | 8 | 50 | 1.28±0.09 | 0.39~3.12 | 51.37 | A | | 8 | 44 | 0.317±0.033 | 0.068~0.890 | 69.25 | A |
| | 11 | 50 | 1.16±0.11 | 0.42~4.01 | 65.29 | A | | 11 | 44 | 0.247±0.031 | 0.052~0.766 | 83.73 | A |
| SS (mg/L) | 2 | 50 | 40.52±4.49 | 5.00~146.00 | 78.35 | A | DIN/DIP | 2 | 44 | 44.72±12.20 | 8.25~528.85 | 180.87 | A |
| | 5 | 50 | 28.35±2.56 | 4.60~80.50 | 63.94 | B | | 5 | 44 | 56.49±14.19 | 11.60~579.22 | 166.62 | A |
| | 8 | 50 | 23.01±2.58 | 3.20~91.00 | 79.21 | B | | 8 | 44 | 95.73±36.57 | 12.93~1057.52 | 253.41 | A |
| | 11 | 50 | 28.73±2.86 | 4.60~104.00 | 70.35 | B | | 11 | 44 | 23.01±2.17 | 8.31~69.44 | 62.62 | A |

아산연안 수질환경의 특성과 장기변동

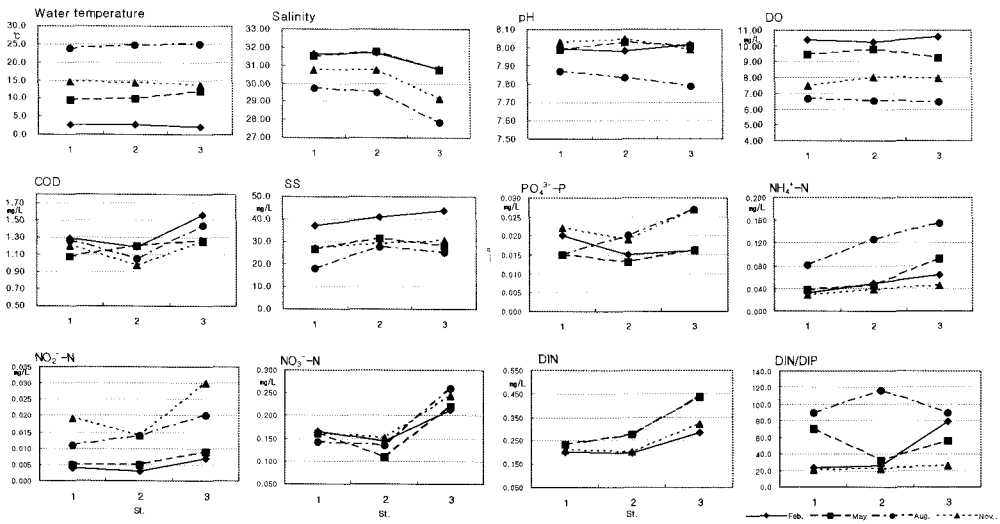


Fig. 2. Seasonal tendency of water quality in three stations from 1975 to 2005 in the Asan coastal zone of Yellow Sea.

높았고 그 후 $7.94 \pm 0.01 \sim 8.05 \pm 0.09$ 정도로 비슷한 상태를 유지하다가 2001년에는 7.81 ± 0.05 로 가장 낮았다. 그 후 불안정한 상태를 나타내어 2005년에는 8.08 ± 0.04 이었으며 변동계수는 $0.57 \sim 3.67\%$ 이하로 천수만 및 경기연안에 비해 매우 적은 분산량을 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

3.2.4. 용존산소(DO)

용존산소는 정점별 평균이 8.48 ± 0.21 mg/L(정점 1)~ 8.63 ± 0.27 mg/L(정점 2)로 정점 간의 차이는 거의 없었으며 변동계수는 21.90 (정점 2)~ 24.17% (정점 3)로 천수만 $19.50 \sim 20.04\%$, 인천연안 $19.79 \sim 23.77\%$ (²¹⁻²³)에 비해 약간 높은 분산량을 나타내었다. 계절별로는 6.54 ± 0.25 mg/L(8월)~ 10.43 ± 0.15 mg/L(2월)로 큰 차이를 보였으며($p < 0.0001$) 천수만과 비슷한 상태로서 수온이 낮은 겨울철에 높은 값을 보이고 하절기에는 낮은 값을 나타내었다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 1988년에는 9.63 ± 0.26 mg/L로 높았다가 점차 낮아져 1995년에는 7.55 ± 1.53 mg/L이었다. 그 이후에는 천수만과 마찬가지로 불규칙적인 변동을 나타내었으며 2005년에는 8.42 ± 0.78 mg/L를 유지하고 있었다. 변동계수는 90년대까지는 20% 미만이었으나 그 후 증가하여 90년대 중반에는 $31.83 \sim 48.31\%$ 로 변동 폭이 크게 나타났다. 그러나 이후에는 감소하여 $16.80 \sim 28.27\%$ 로 2000년대에는 약 23%정도를 나타내어 천수만과 비슷한 결과를 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

3.2.5. 화학적 산소요구량(COD)

화학적 산소요구량은 정점별 평균이 1.11 ± 0.08

mg/L(정점 2)~ 1.38 ± 0.08 mg/L(정점 3)로 정점 간 유의적인 차이가 없었으며($p = 0.0782$), 변동계수는 50.37 (정점 3)~ 57.60% (정점 1)로 천수만(²³)과 인천연안(²²)의 중간 정도의 변동 폭을 나타내었다. 계절별 역시 1.16 ± 0.11 mg/L(11월)~ 1.36 ± 0.10 mg/L(2월)로 차이가 없었으며($p = 0.4100$), 변동계수는 48.21 (4월)~ 65.29% (11월)로 천수만의 $51.49 \sim 67.37\%$ 보다 약간 적은 상태였다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 변곡선 형태를 보여 주었는데, 1992~1993, 1995~1996년에는 1.65 ± 0.19 mg/L~ 2.26 ± 0.63 mg/L로 높았으나 그 이후 2002년까지 낮아지는 경향이었다. 근년에는 다시 높아져, 2005년에는 1.63 ± 0.24 mg/L을 나타내었다. 변동계수는 1975년에 69.74% 로 가장 컸고 1990년에 13.32% 로 가장 낮았으며 전반적으로 1990년대 중반 이후에서 그 이전에 비해 높은 변동 폭을 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

3.2.6. 부유물질

부유물질은 정점별 평균이 27.22 ± 2.55 mg/L(정점 1)~ 32.40 ± 3.28 mg/L(정점 2)로 정점 간 유의적인 차이가 없었으며, 변동계수는 70.15 (정점 2)~ 83.61% (정점 1)로 천수만(²³)과 마찬가지로 외측이 내측에 비해 변동 폭이 컸다. 계절별로는 여름철인 8월이 23.01 ± 2.58 mg/L로 낮았고 겨울철인 2월이 40.52 ± 4.49 mg/L로 높아 계절별로 유의적인 차이가 있었는데($p = 0.0017$), 이러한 현상은 겨울에 북서계절풍의 영향으로 높고 여름에 낮은 서해안의 일반적인 경향과 일치하였다. 변동계수는 63.94 (5월)~ 79.21% (8월)로 봄과 가을에 비해 겨울과 여름에 약

Table 4. Annual descriptive statistics of water quality parameters from 1975 to 2005 in the Asan costal zone of Yellow Sea

| Year | N | WT(°C) | | | Salinity | | | pH | | |
|------|-----|------------|------------|-------|------------|-------------|-------|-----------|-----------|-------|
| | | Mean±SE | Range | CV(%) | Mean±SE | Range | CV(%) | Mean±SE | Range | CV(%) |
| 1975 | 12 | . | . | . | 31.46±0.49 | 29.30~33.55 | 5.35 | 7.89±0.04 | 7.67~8.08 | 1.65 |
| 1976 | 12 | 14.05±2.50 | 2.80~26.29 | 61.75 | 28.87±0.18 | 27.79~29.64 | 2.16 | 7.83±0.06 | 7.63~8.22 | 2.56 |
| 1988 | 12 | 9.63±2.56 | 0.70~24.10 | 91.95 | 31.81±0.12 | 30.89~32.29 | 1.34 | 7.89±0.04 | 7.72~8.11 | 1.87 |
| 1989 | 12 | 12.75±2.31 | 4.05~25.35 | 62.86 | 31.91±0.15 | 30.98~32.51 | 1.67 | 8.00±0.05 | 7.72~8.13 | 1.96 |
| 1990 | 12 | 12.10±2.56 | 2.00~25.70 | 73.21 | 31.71±0.28 | 30.12~32.68 | 3.04 | 7.98±0.04 | 7.74~8.12 | 1.80 |
| 1991 | 12 | 12.27±2.38 | 3.30~24.85 | 67.08 | 31.12±0.40 | 28.13~32.61 | 4.46 | 7.92±0.02 | 7.81~8.06 | 1.03 |
| 1992 | 12 | 12.70±2.34 | 2.75~25.60 | 63.77 | 30.00±1.25 | 16.46~32.25 | 14.45 | 7.94±0.05 | 7.70~8.20 | 2.20 |
| 1993 | 12 | 11.57±2.21 | 1.85~21.60 | 66.12 | 30.36±0.72 | 24.39~32.51 | 8.26 | 8.15±0.02 | 8.03~8.31 | 1.04 |
| 1994 | 12 | 13.13±2.94 | 1.60~28.10 | 77.42 | 30.28±0.46 | 28.27~32.72 | 5.23 | 7.94±0.01 | 7.88~8.01 | 0.57 |
| 1995 | 4 | 11.49±4.68 | 2.40~23.65 | 81.45 | 31.35±0.26 | 30.73~31.85 | 1.65 | 8.03±0.04 | 7.98~8.14 | 0.92 |
| 1996 | 4 | 11.70±5.31 | 0.60~24.50 | 90.79 | 31.23±0.23 | 30.54~31.50 | 1.47 | 8.02±0.02 | 7.96~8.07 | 0.60 |
| 1997 | 12 | 14.30±2.44 | 2.85~26.50 | 59.16 | 31.55±0.48 | 27.78~32.85 | 5.22 | 7.92±0.03 | 7.78~8.10 | 1.15 |
| 1998 | 12 | 14.49±2.44 | 2.25~25.57 | 58.27 | 30.05±0.58 | 25.82~32.16 | 6.71 | 8.04±0.03 | 7.88~8.24 | 1.34 |
| 1999 | 12 | 13.45±2.12 | 1.99~22.81 | 54.58 | 29.53±0.47 | 26.84~31.83 | 5.49 | 8.05±0.09 | 7.60~8.48 | 3.67 |
| 2000 | 8 | 13.10±3.04 | 0.92~24.47 | 65.58 | 30.09±0.32 | 28.85~31.14 | 2.99 | 7.97±0.05 | 7.75~8.12 | 1.73 |
| 2001 | 8 | 13.77±3.10 | 1.37~25.39 | 63.57 | 29.52±0.86 | 23.76~31.24 | 8.27 | 7.81±0.06 | 7.59~7.99 | 2.01 |
| 2002 | 8 | 12.43±2.66 | 2.34~22.86 | 60.58 | 29.27±1.01 | 23.02~31.65 | 9.75 | 8.01±0.07 | 7.72~8.26 | 2.34 |
| 2003 | 8 | 12.39±2.64 | 1.40~21.75 | 60.28 | 29.27±0.54 | 27.19~31.29 | 5.23 | 7.88±0.05 | 7.71~8.12 | 1.82 |
| 2004 | 8 | 13.40±2.84 | 2.62~24.55 | 59.97 | 29.43±0.28 | 28.29~30.40 | 2.67 | 8.01±0.07 | 7.66~8.28 | 2.62 |
| 2005 | 8 | 14.09±3.04 | 0.97~24.80 | 61.12 | 29.27±0.71 | 24.87~31.14 | 6.85 | 8.08±0.04 | 8.00~8.36 | 1.42 |
| Mean | 194 | 13.07±0.59 | 0.60~28.10 | 62.65 | 30.45±0.15 | 16.46~33.55 | 6.72 | 7.96±0.01 | 7.59~8.48 | 2.10 |

| Year | N | DO(mg/L) | | | COD(mg/L) | | | SS(mg/L) | | |
|------|-----|-----------|------------|-------|-----------|-----------|-------|-------------|--------------|-------|
| | | Mean±SE | Range | CV(%) | Mean±SE | Range | CV(%) | Mean±SE | Range | CV(%) |
| 1975 | 12 | 7.85±0.24 | 6.75~9.21 | 10.42 | 0.60±0.12 | 0.17~1.73 | 69.74 | 28.15±7.82 | 7.80~103.50 | 96.22 |
| 1976 | 12 | 8.32±0.33 | 6.83~9.91 | 13.69 | 1.01±0.06 | 0.62~1.44 | 20.36 | 57.18±7.68 | 10.40~91.00 | 46.51 |
| 1988 | 12 | 9.63±0.26 | 8.39~10.75 | 9.32 | 0.72±0.05 | 0.44~1.09 | 24.55 | 32.58±0.93 | 27.30~37.10 | 9.92 |
| 1989 | 12 | 9.21±0.46 | 6.47~10.90 | 17.43 | 0.71±0.04 | 0.55~1.00 | 17.26 | 34.72±2.32 | 20.00~45.30 | 23.10 |
| 1990 | 12 | 9.49±0.35 | 7.18~10.70 | 12.86 | 0.68±0.03 | 0.55~0.83 | 13.32 | 33.26±0.77 | 29.50~37.00 | 8.04 |
| 1991 | 12 | 9.23±0.35 | 7.78~10.63 | 13.13 | 0.73±0.07 | 0.42~1.09 | 32.10 | 33.25±2.13 | 19.50~41.50 | 22.17 |
| 1992 | 12 | 8.68±0.63 | 5.59~11.67 | 25.02 | 1.65±0.19 | 0.72~2.65 | 39.16 | 21.00±3.09 | 7.50~36.50 | 51.03 |
| 1993 | 12 | 8.64±0.53 | 6.29~10.94 | 21.18 | 1.88±0.12 | 1.39~2.88 | 21.57 | 19.08±3.68 | 5.00~48.50 | 66.76 |
| 1994 | 12 | 8.04±0.50 | 5.17~10.54 | 21.65 | 1.29±0.18 | 0.64~2.57 | 47.49 | 44.87±12.80 | 6.20~140.00 | 98.82 |
| 1995 | 4 | 7.55±1.53 | 4.63~10.41 | 40.47 | 2.21±0.59 | 1.03~3.58 | 53.70 | 35.51±7.59 | 14.50~49.50 | 42.74 |
| 1996 | 4 | 8.54±1.36 | 5.76~11.83 | 31.83 | 2.26±0.63 | 1.13~4.01 | 55.48 | 52.25±17.95 | 21.20~104.00 | 68.70 |
| 1997 | 12 | 6.85±0.96 | 1.53~10.42 | 48.31 | 1.31±0.12 | 0.73~1.99 | 32.79 | 53.98±10.28 | 21.20~146.00 | 65.95 |
| 1998 | 12 | 8.24±0.40 | 5.91~9.96 | 16.80 | 1.09±0.11 | 0.57~1.74 | 34.37 | 31.84±6.48 | 9.33~70.60 | 70.47 |
| 1999 | 12 | 9.37±0.65 | 6.20~11.95 | 24.09 | 1.61±0.19 | 0.53~2.59 | 41.28 | 15.77±3.81 | 4.60~48.80 | 83.72 |
| 2000 | 8 | 7.18±0.49 | 4.99~8.92 | 19.10 | 1.29±0.11 | 0.87~1.83 | 24.65 | 18.98±4.29 | 6.60~38.00 | 63.94 |
| 2001 | 8 | 7.56±0.76 | 5.40~11.02 | 28.27 | 1.26±0.21 | 0.65~2.36 | 46.16 | 16.30±3.02 | 3.20~29.20 | 52.40 |
| 2002 | 8 | 8.02±0.64 | 4.32~9.81 | 22.50 | 1.06±0.16 | 0.67~1.86 | 42.86 | 22.70±6.31 | 10.60~62.80 | 78.64 |
| 2003 | 8 | 9.16±0.58 | 7.48~11.71 | 18.02 | 2.04±0.30 | 1.14~3.42 | 40.80 | 18.98±6.50 | 4.00~56.40 | 96.95 |
| 2004 | 8 | 9.95±0.82 | 7.85~13.69 | 23.28 | 1.69±0.16 | 1.02~2.17 | 26.76 | 11.73±1.86 | 3.60~20.00 | 44.85 |
| 2005 | 8 | 8.42±0.78 | 5.73~11.71 | 26.15 | 1.63±0.24 | 0.71~2.55 | 41.55 | 12.70±3.48 | 4.60~35.40 | 77.45 |
| Mean | 200 | 8.55±0.14 | 1.53~13.69 | 22.81 | 1.24±0.05 | 0.17~4.01 | 53.93 | 30.15±1.66 | 3.20~146.00 | 77.96 |

아산연안 수질환경의 특성과 장기변동

Table 4. continued

| Year | N | PO ₄ ³⁻ -P (mg/L) | | | NH ₄ ⁺ -N (mg/L) | | | NO ₂ ⁻ -N (mg/L) | | |
|------|-----|--|-------------|-------|---|-------------|--------|---|-------------|--------|
| | | Mean±SE | Range | CV(%) | Mean±SE | Range | CV(%) | Mean±SE | Range | CV(%) |
| 1988 | 12 | 0.010±0.001 | 0.007~0.014 | 25.76 | 0.07±0.003 | 0.051~0.094 | 15.47 | 0.004±0 | 0.004~0.004 | 7.42 |
| 1989 | 12 | 0.011±0.001 | 0.007~0.013 | 20.01 | 0.071±0.004 | 0.045~0.089 | 18.77 | 0.005±0 | 0.003~0.008 | 30.09 |
| 1990 | 12 | 0.010±0 | 0.008~0.012 | 13.71 | 0.063±0.004 | 0.046~0.093 | 23.40 | 0.006±0 | 0.004~0.009 | 20.63 |
| 1991 | 12 | 0.014±0.002 | 0.009~0.023 | 37.79 | 0.047±0.008 | 0.003~0.070 | 58.60 | 0.016±0.005 | 0.005~0.052 | 110.49 |
| 1992 | 12 | 0.024±0.003 | 0.008~0.048 | 46.38 | 0.060±0.020 | 0.007~0.225 | 116.52 | 0.010±0.002 | 0.002~0.026 | 74.01 |
| 1993 | 12 | 0.020±0.001 | 0.013~0.029 | 23.19 | 0.063±0.024 | 0.011~0.266 | 130.83 | 0.016±0.005 | 0.000~0.056 | 116.13 |
| 1994 | 12 | 0.024±0.002 | 0.016~0.041 | 29.00 | 0.064±0.005 | 0.027~0.090 | 28.15 | 0.007±0.002 | 0.000~0.020 | 91.26 |
| 1995 | 4 | 0.024±0.002 | 0.019~0.027 | 17.51 | 0.010±0.003 | 0.004~0.019 | 59.24 | 0.009±0.002 | 0.004~0.014 | 50.45 |
| 1996 | 4 | 0.022±0.007 | 0.008~0.036 | 62.20 | 0.036±0.014 | 0.004~0.070 | 77.94 | 0.009±0.005 | 0.002~0.025 | 118.54 |
| 1997 | 12 | 0.010±0.002 | 0.002~0.023 | 68.88 | 0.103±0.043 | 0.003~0.424 | 143.23 | 0.010±0.002 | 0.001~0.028 | 69.07 |
| 1998 | 12 | 0.029±0.004 | 0.012~0.054 | 44.52 | 0.086±0.014 | 0.020~0.159 | 55.33 | 0.012±0.002 | 0.004~0.025 | 69.91 |
| 1999 | 12 | 0.020±0.004 | 0.001~0.053 | 73.84 | 0.084±0.027 | 0.010~0.318 | 113.53 | 0.014±0.003 | 0.002~0.034 | 83.91 |
| 2000 | 8 | 0.022±0.003 | 0.009~0.033 | 41.00 | 0.039±0.014 | 0.003~0.106 | 104.65 | 0.013±0.005 | 0.002~0.045 | 113.58 |
| 2001 | 8 | 0.023±0.006 | 0.004~0.051 | 70.63 | 0.080±0.019 | 0.022~0.191 | 68.17 | 0.029±0.010 | 0.008~0.091 | 98.68 |
| 2002 | 8 | 0.034±0.005 | 0.016~0.054 | 43.40 | 0.088±0.028 | 0.006~0.215 | 88.76 | 0.016±0.003 | 0.006~0.028 | 48.10 |
| 2003 | 8 | 0.025±0.002 | 0.02~0.036 | 23.89 | 0.089±0.032 | 0.015~0.294 | 102.81 | 0.019±0.005 | 0.003~0.043 | 76.84 |
| 2004 | 8 | 0.014±0.002 | 0.006~0.022 | 40.73 | 0.024±0.012 | 0.001~0.106 | 138.88 | 0.011±0.004 | 0.002~0.033 | 99.29 |
| 2005 | 8 | 0.021±0.006 | 0.002~0.047 | 79.77 | 0.032±0.011 | 0.013~0.102 | 92.84 | 0.019±0.006 | 0.003~0.047 | 93.59 |
| Mean | 176 | 0.019±0.001 | 0.001~0.054 | 60.24 | 0.066±0.005 | 0.001~0.424 | 99.65 | 0.012±0.001 | 0.000~0.091 | 107.06 |

| Year | N | NO ₃ ⁻ -N (mg/L) | | | DIN(mg/L) | | | DIN/DIP | | |
|------|-----|---|-------------|--------|-------------|-------------|-------|---------------|--------------|--------|
| | | Mean±SE | Range | CV(%) | Mean±SE | Range | CV(%) | Mean±SE | Range | CV(%) |
| 1988 | 12 | 0.003±0 | 0.003~0.004 | 12.92 | 0.078±0.003 | 0.059~0.102 | 14.04 | 18.97±1.41 | 10.13~24.72 | 25.68 |
| 1989 | 12 | 0.006±0.001 | 0.003~0.008 | 33.96 | 0.082±0.004 | 0.058~0.103 | 15.69 | 18.26±1.78 | 12.91~32.43 | 33.85 |
| 1990 | 12 | 0.008±0 | 0.006~0.009 | 15.51 | 0.077±0.004 | 0.058~0.108 | 20.20 | 17.66±1.15 | 10.58~24.59 | 22.55 |
| 1991 | 12 | 0.044±0.018 | 0.007~0.158 | 141.52 | 0.107±0.016 | 0.059~0.214 | 51.14 | 16.56±0.88 | 11.60~20.90 | 18.48 |
| 1992 | 12 | 0.158±0.01 | 0.107~0.218 | 22.93 | 0.228±0.027 | 0.140~0.411 | 41.45 | 25.37±3.82 | 13.57~59.74 | 52.21 |
| 1993 | 12 | 0.196±0.024 | 0.051~0.283 | 42.50 | 0.275±0.041 | 0.082~0.597 | 51.86 | 30.88±3.92 | 9.06~48.95 | 44.01 |
| 1994 | 12 | 0.471±0.044 | 0.289~0.702 | 32.40 | 0.542±0.043 | 0.382~0.766 | 27.27 | 57.10±4.71 | 26.95~82.54 | 28.60 |
| 1995 | 4 | 0.138±0.017 | 0.095~0.177 | 25.18 | 0.158±0.02 | 0.112~0.206 | 24.92 | 15.87±3.30 | 9.08~23.91 | 41.60 |
| 1996 | 4 | 0.197±0.062 | 0.069~0.367 | 63.47 | 0.241±0.06 | 0.113~0.396 | 49.70 | 36.07±13.13 | 8.25~71.09 | 72.80 |
| 1997 | 12 | 0.118±0.017 | 0.032~0.211 | 50.34 | 0.232±0.053 | 0.052~0.638 | 78.94 | 290.95±121.62 | 8.31~1057.52 | 144.80 |
| 1998 | 12 | 0.189±0.018 | 0.109~0.323 | 33.14 | 0.287±0.032 | 0.136~0.506 | 38.94 | 23.03±1.13 | 16.94~29.21 | 16.98 |
| 1999 | 12 | 0.226±0.034 | 0.018~0.413 | 52.74 | 0.323±0.05 | 0.042~0.654 | 53.43 | 82.55±45.36 | 14.57~579.22 | 190.34 |
| 2000 | 8 | 0.182±0.026 | 0.079~0.304 | 41.02 | 0.234±0.033 | 0.139~0.415 | 40.03 | 25.69±3.17 | 15.54~40.28 | 34.92 |
| 2001 | 8 | 0.197±0.049 | 0.076~0.488 | 70.70 | 0.306±0.069 | 0.135~0.721 | 64.11 | 41.32±11.77 | 17.53~120.64 | 80.58 |
| 2002 | 8 | 0.228±0.034 | 0.088~0.404 | 42.24 | 0.332±0.057 | 0.116~0.646 | 48.73 | 24.45±4.09 | 9.96~38.95 | 47.33 |
| 2003 | 8 | 0.421±0.08 | 0.218~0.879 | 53.50 | 0.529±0.11 | 0.276~1.205 | 58.72 | 44.15±6.25 | 29.36~85.85 | 40.01 |
| 2004 | 8 | 0.218±0.056 | 0.032~0.431 | 72.60 | 0.253±0.05 | 0.074~0.449 | 56.08 | 48.68±19.76 | 18.73~185.12 | 114.80 |
| 2005 | 8 | 0.425±0.072 | 0.205~0.744 | 48.13 | 0.476±0.084 | 0.220~0.890 | 50.18 | 127.48±62.25 | 23.04~528.85 | 138.10 |
| Mean | 176 | 0.180±0.013 | 0.003~0.879 | 95.11 | 0.258±0.015 | 0.042~1.205 | 76.26 | 54.99±10.39 | 8.25~1057.52 | 250.65 |

간 높은 분산량을 나타내었다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동양상은 전반적으로 연 1.23 mg/L정도 낮아지는 경향이었으며, 1976년에 평균 57.18±7.68 mg/L로 가장 높았는데, 특히 겨울철(2월)에서 상대적으로 낮았고, 다른 계절(5,8,11월)에서는 상대적으로 높은 현상을 나타내었다. 그러나 1993년에는 19.08±3.68 mg/L로 낮아졌다가 점차 증가하여 1997년에는 53.98±10.28 mg/L이었는데, 이것은 2월과 5월이 월등히 높는데 기인하는 것으로 판단되었다. 그 후 점차 낮아져 2005년에는 12.70±3.48 mg/L을 유지하고 있었다. 변동계수는 1988년부터 1991년을 제외하고는 대체로 비슷한 변동 폭을 나타내고 있었다(Table 4, Fig. 3).

3.2.7. 인산인($PO_4^{3-}-P$)

인산인은 정점별 평균이 0.017±0.002 mg/L(정점 2)~0.021±0.002 mg/L(정점 3)로 정점 간 유의적 차이가 없었다. 인천연안의 0.024±0.002 mg/L~0.034±0.004 mg/L²²⁾에 비해 70% 수준이었으나 천수만과 곰소만^{23,27)}에 비해 다소 높았고, 새만금 연안²⁸⁾과는 유사한 상태였다(Table 5). 변동계수는 52.32(정점 1)~64.46%(정점 3)로 내만측인 정점 1이 외측에 비해 다소 변동 폭이 큰 상태였다. 계절별로는 0.015±0.001 mg/L(5월)~0.023±0.002 mg/L(11월)로 대체로 겨울철과 봄철에 낮았고 여름철과 가을철에 높아 유의적인 차이($p=0.0049$)가 있었는데, 이것은 천수만²³⁾과 같은 경향이였다. 변동계수는 11월에 49.00%이었고 8월에 66.63%로 변동폭이 약간 큰 수준이었다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 1988년부터 1991년까지 0.014 mg/L이하로 비교적 낮은 수준이었으나 그 후 증가하여 1997년과 2004년을 제외하고는 0.020 mg/L~0.034 mg/L 수준으로 전반적으로 연 0.0007 mg/L씩 증가하는 추세를 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

3.2.8. 암모니아질소(NH_4^+-N)

암모니아질소는 정점별 평균이 0.045±0.005 mg/L(정점 1)~0.089±0.010 mg/L(정점 3)로 내측이 외측에 비해 2배 정도 높은 상태로 유의적 차이가 있었고($p=0.0003$), 인천연안 측정치인 0.202±0.025 mg/L~0.480±0.068 mg/L^{21,22)}에 비해 26% 수준으로 낮았으며 새만금연안²⁸⁾의 57% 수준이었다. 또한 곰소만²⁷⁾의 120% 수준으로 높았으며 천수만과 유사한 결과를 나타내었다(Table 5). 변동계수는 87.40(정점 2)~99.72%(정점 1)로 정점별 변동폭의 차이가 비교적 적었다. 계절별로는 여름철이 0.118±0.013 mg/L로 가장 높았고 가을철이 0.036±0.005 mg/L로 적었으며 그 외 계절은 중간정도의 농도로서 유의적인 차이($p<0.0001$)가 있었다. 변동계수는 60.47(2월)~

99.70%(5월)로 봄과 가을철이 겨울과 여름에 비해 변동 폭이 다소 높았다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 변곡선 형태를 보이고 있어 1988년에 0.070±0.003 mg/L이었던 증감을 반복하여 1995년에 0.010±0.003 mg/L으로 가장 낮은 상태이었고 1997년에 0.103±0.043 mg/L로 가장 높았으며 그 후 감소와 증가를 반복한 후 2004년과 2005년에는 0.024±0.002 mg/L 및 0.032±0.011 mg/L로 비교적 낮은 수준을 유지하고 있다. 이것은 1995년에 연중 낮은 상태였으며 외해측에 위치한 정점 1의 조사결과 내측 정점에 비해 1995년과 1996년에 낮았던 결과에 기인한 것으로 사료된다. 한편 1997년에는 8월에 월등히 높은 상태로서 이는 집중호우에 인하여²⁹⁾ 조사기간 동안 최고치를 보여 주었다. 그러나 근년인 2004년과 2005년에는 전반적으로 낮은 상태였다(Table 4, Fig. 3).

3.2.9. 질산질소($NO_3^- -N$)

질산질소는 정점별 평균이 0.135±0.024 mg/L(정점 2)~0.234±0.026 mg/L(정점 3)로 정점 간 차이가 있었는데($p=0.0050$), 인천연안의 0.271±0.031 mg/L~0.441±0.053 mg/L^{21,22)}에 비해 50%수준으로 훨씬 낮았으나, 천수만²³⁾의 0.035±0.003 mg/L에 비해서는 높았으며 새만금 연안²⁸⁾과 비슷한 농도를 나타내었다(Table 5). 변동계수는 78.93%(정점 1)~114.40%(정점 2)로 중간정점에서 분산량이 컸었다. 계절별로는 일반적으로 연안역에서 봄철과 여름철에는 낮고 늦은 가을과 겨울철에는 높은 상태인 것으로 알려져 있으며^{25,26)} 본 연안 역시 봄철인 5월에 0.171±0.025 mg/L로 낮았고 가을철인 11월에는 0.189±0.030 mg/L로 약간 높았으나 계절에 따른 유의적인 차이는 없었다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 1988년에 0.003±0.00 mg/L로 가장 낮은 상태이었던 1990년에 접어들어 증가하기 시작하여 1994년에 0.471±0.044 mg/L로 가장 높은 농도를 나타내었다. 그러나 그 후 0.118±0.017 mg/L(1997년)~0.228±0.034 mg/L(2002년) 수준이었으나 근년에 불규칙 변화를 보였다. 2005년에는 0.425±0.072 mg/L로 높은 상태를 나타내었고 전체적으로 연 0.017 mg/L 정도씩 증가하는 경향을 보였다(Table 4, Fig. 3).

3.2.10. 용존무기질소(DIN)

용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 산출하였으며, 그 기여도는 질산질소 69.77%, 암모니아질소 25.58%, 아질산질소 4.65%이었다. 정점별 평균은 0.209±0.027 mg/L(정점 2)~0.340±0.031 mg/L(정점 3)로 정점 간 높은 유의적인 차이($p<0.0001$)가 있었다. 타 연안역과 같은 시기의

아산연안 수질환경의 특성과 장기변동

결과를 살펴보면, 인천연안의 0.504 ± 0.043 mg/L ~ 0.956 ± 0.095 mg/L^{21,22)}보다 훨씬 낮은 상태를, 새만금연안 0.298 mg/L²⁸⁾과는 비슷한 농도를, 천수만의 0.098 mg/L²³⁾과 곰소만²⁷⁾의 0.114 mg/L보다 높은 농도를 나타내었다(Table 5), 변동계수는 60.94(정점 1)~81.92%(정점 2)로 중간 정점에서 분산량이 컸었다. 계절별로는 여름철인 8월에 0.317 ± 0.033 mg/L로 높았었고 그 외 계절은 0.231 ± 0.022 mg/L(2월)~ 0.247 ± 0.031 mg/L(11월)로서 유의적인 차이($p=0.146$)가 없었다. 변동계수는 65.64(2월)~83.75%(5월)로 겨울철과 여름철에 비해 봄철과 가을철에 변동폭이 다소 큰 상태였다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 질산질소와 유사하게 변곡선 형태를 나타내었으며 전반적으로 년 0.018 mg/L 정도씩 증가하는 경향을 보여 주었다. 1988년에는 0.078 ± 0.003 mg/L 이었다가 점차 높아져 1994년에 0.542 ± 0.043 mg/L로 가장 높았다가 그 후 증감을

반복하면서 증가추세를 보였다. 2003년에는 0.529 ± 0.11 mg/L로 높았는데, 이것은 특히 내측 정점인 정점 3의 표층수에서 5월과 8월에 질산질소가 1.026 mg/L~ 0.805 mg/L로 타 월에 비해 월등히 높았는데 기인한 것으로 판단된다. 변동계수는 1988년에는 14.04%이었다가 증감을 반복하여 1997년에는 78.94%로 변동폭이 가장 컸으며 그 후 불규칙한 변화를 보이다가 2005년에는 50.18%를 나타내었다 (Table 4, Fig. 3).

3.2.11. DIN/DIP 비

DIN/DIP 비의 정점별 평균은 49.46 ± 22.50 (정점 2)~ 62.58 ± 16.87 (정점 3)로 정점 별 유의적인 차이가 없었으며, 인천연안의 89.47 ± 18.39 ~ 179.69 ± 56.93 ^{21,22)}에 비해 훨씬 낮았고, 천수만²³⁾ 27.31 ± 2.56 , 곰소만²⁷⁾ 17.25 , 새만금연안²⁸⁾ 32.23 에 비해 높은 상태였다. 변동계수는 215.69 (정점 3)~ 287.67 (정점 2)로 인천

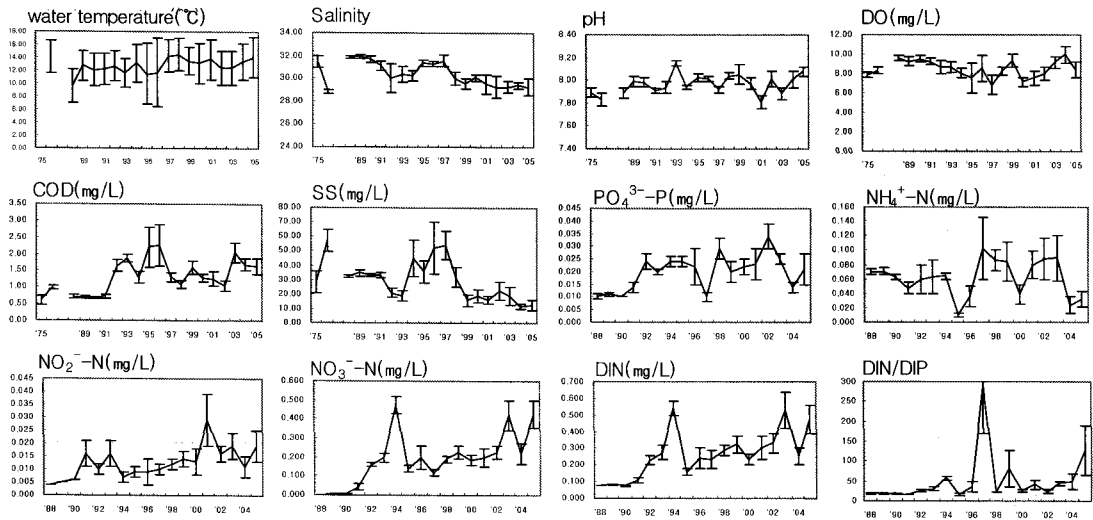


Fig. 3. Annual trends of water quality from 1975 to 2005 in the Asan coastal zone.

Values are means by year and vertical bars indicate one standard error of the mean data.

Table 5. Comparison of salinity and nutrient concentration in the different regions of Korean coastal waters

| Study area | Sal. | Nutrient(mg/L) | | | | | DIN/DIP ratio | Reference | Period(year) |
|--------------------------------|-------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|----------------------------------|---------------|---------------------------|----------------|
| | | NH ₄ ⁺ -N | NO ₂ ⁻ -N | NO ₃ ⁻ -N | DIN | PO ₄ ³⁻ -P | | | |
| Asan Bay | 31.55 | 0.040 | 0.008 | 0.170 | 0.218 | 0.029 | 17.89 | Moon <i>et al.</i> , 1993 | 1991.11~1992.8 |
| Cheonsu Bay | 31.30 | 0.059 | 0.005 | 0.035 | 0.098 | 0.013 | 27.31 | Park <i>et al.</i> , 2006 | 1983~2004 |
| Gomso Bay | 29.64 | 0.030 | 0.004 | 0.080 | 0.114 | 0.014 | 17.25 | Yang <i>et al.</i> , 2003 | 1999.4~2000.11 |
| Saemankeum area | 27.49 | 0.115 | 0.026 | 0.193 | 0.298 | 0.020 | 32.23 | Kim and Kim, 2002 | 1999.7~2000.6 |
| Inchon coastal area | 27.68 | 0.250 | 0.046 | 0.765 | 1.061 | 0.030 | 78.11 | Yeo and Kang, 1998 | 1995.5~1996.1 |
| Gyeonggi Bay | 29.88 | 0.298 | 0.026 | 0.338 | 0.662 | 0.028 | 52.50 | Park and Park, 2000 | 1981~1998 |
| Jinhae Bay(South Western part) | 30.87 | 0.045 | 0.011 | 0.009 | 0.065 | 0.015 | 9.89 | Choi and Kim, 2002 | 2000.1~2000.12 |
| Jinhae Bay | 32.49 | 0.030 | 0.015 | 0.099 | 0.143 | 0.045 | 7.00 | Hong <i>et al.</i> , 1985 | 1976~1982 |

연안의 170.76~261.26%에 비해 높았다. 계절별로는 가을철에 23.01±2.17로 낮았고 여름철에 95.73±36.57로 높았으며, 겨울철과 봄철에 중간 수준의 비슷한 변동폭을 나타내었다. 대체로 연중 DIN/DIP 비가 Redfield ratio³²⁾인 16이상으로 인산인이 식물플랑크톤의 제한요인으로 작용하고 있어 인산인의 외부유입이 있을시 적조의 대량 발생이 우려된다. 변동계수는 62.62(11월)~253.41%(8월)로 여름철의 변동폭이 매우 컸다(Fig. 2). 연도별 변동양상은 1988년에 18.97±1.41이었고 1991년에는 16.56±0.88을 유지하고 있었으나 그 후 증감을 반복하였다. 1997년에는 특히 8월에 인산인은 낮았고, 암모니아질소는 매우 높아 연평균 290.95±121.62로 월등히 높았고 그 후 비교적 안정되었으나 이전에 비해서는 높은 값을 보여 주었다(Table 4).

3.3. 수질항목간의 상관성

20년간의 수질자료(n=176 또는 200)를 통하여 항목간의 상관분석 결과 수온은 염분, pH, 용존산소와 음의 상관성이 있는 반면, 암모니아질소, 아질산질소와는 양의 상관성이 있었다. 염분은 용존산소와 양의 상관성이 있는 반면, 대부분의 조사항목인 화학적산소요구량, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 인산인과는 음의 상관성이 있어 육수의 영향에 따라 변화하는 것으로 사료된다. 용존산소는 암모니아질소, 아질산질소, 용존무기질

소 및 인산인과 음의 상관성, 화학적산소요구량은 질산질소 및 용존무기질소와 양의 상관성이 있었고, 인산인은 아질산질소, 질산질소 및 용존무기질소와 양의 상관성이 입증되었다(Table 6). 그 중에서 염분은 수온과 음의 상관성을 보이고 계절별로 구분되어지는 특성을 나타내었으며, 용존산소와는 양의 상관성을, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소 및 질산질소와는 음의 상관성을 나타내었다. 이러한 결과는 천수만과 같은 경향으로 육수의 영향에 따라 변화되고 있음을 시사하고 있다. 부유물질의 경우 천수만과 마찬가지로 타 항목과 유의적인 상관성이 없었는데, 이는 육상의 부하량보다는 조석간만의 차 등 자연현상에 의해 영향을 많이 받는데 기인되는 것으로 사료된다(Fig. 4).

3.4. 수질의 장기 변동

1988년부터 2005년까지 18년간 조사한 수질환경요인들의 경년 변동 관계를 통계적 분석을 통해 자세히 살펴보고자 항목별 연평균 자료를 이용하여 주성분분석(PCA)을 실시하였다. 분석에 이용된 수질 항목은 수온, 염분, pH, 용존산소, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 부유물질 등이었다. 주성분 I에서는 연 변화를 39.71% 설명할 수 있었으며 이 중 용존무기질소>질산질소>염분>아질산질소>인산인>부유물질>수온 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II

Table 6. Pearson's correlation analysis among water quality parameters in the Asan costal zone of Korea from 1975 to 2005

| | Salinity | pH | DO | COD | NH ₄ ⁺ -N | NO ₂ ⁻ -N | NO ₃ ⁻ -N | DIN | PO ₄ ³⁻ -P | SS |
|----------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|
| WT | -0.4458 | -0.3211 | -0.7824 | -0.0432 | 0.3607 | 0.3530 | 0.0655 | 0.2002 | 0.1373 | -0.2509 |
| | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 0.5497 | <.0001 | <.0001 | 0.3876 | 0.0077 | 0.0691 | 0.0004 |
| Salinity | | 0.1383 | 0.3900 | -0.3070 | -0.3875 | -0.4636 | -0.4589 | -0.5592 | -0.4236 | 0.2339 |
| | | 0.0509 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 0.0009 |
| pH | | | 0.2487 | 0.2461 | -0.2373 | -0.1187 | -0.0570 | -0.1362 | -0.0904 | -0.0592 |
| | | | 0.0004 | 0.0004 | 0.0015 | 0.1168 | 0.4523 | 0.0714 | 0.2328 | 0.4051 |
| DO | | | | 0.0373 | -0.4153 | -0.4362 | -0.1531 | -0.3001 | -0.2923 | 0.1764 |
| | | | | 0.5997 | <.0001 | <.0001 | 0.0426 | <.0001 | <.0001 | 0.0125 |
| COD | | | | | -0.0331 | 0.0441 | 0.3501 | 0.2970 | 0.1285 | -0.0741 |
| | | | | | 0.6626 | 0.5608 | <.0001 | <.0001 | 0.0893 | 0.2971 |
| NH ₄ ⁺ -N | | | | | | 0.2093 | 0.1339 | 0.4625 | 0.2087 | -0.0220 |
| | | | | | | 0.0053 | 0.0764 | <.0001 | 0.0055 | 0.7724 |
| NO ₂ ⁻ -N | | | | | | | 0.3393 | 0.4312 | 0.5091 | -0.1633 |
| | | | | | | | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 0.0304 |
| NO ₃ ⁻ -N | | | | | | | | 0.9385 | 0.5179 | -0.0751 |
| | | | | | | | | <.0001 | <.0001 | 0.3218 |
| DIN | | | | | | | | | 0.5544 | -0.0835 |
| | | | | | | | | | <.0001 | 0.2706 |
| PO ₄ ³⁻ -P | | | | | | | | | | 0.0091 |
| | | | | | | | | | | 0.9049 |

아산연안 수질환경의 특성과 장기변동

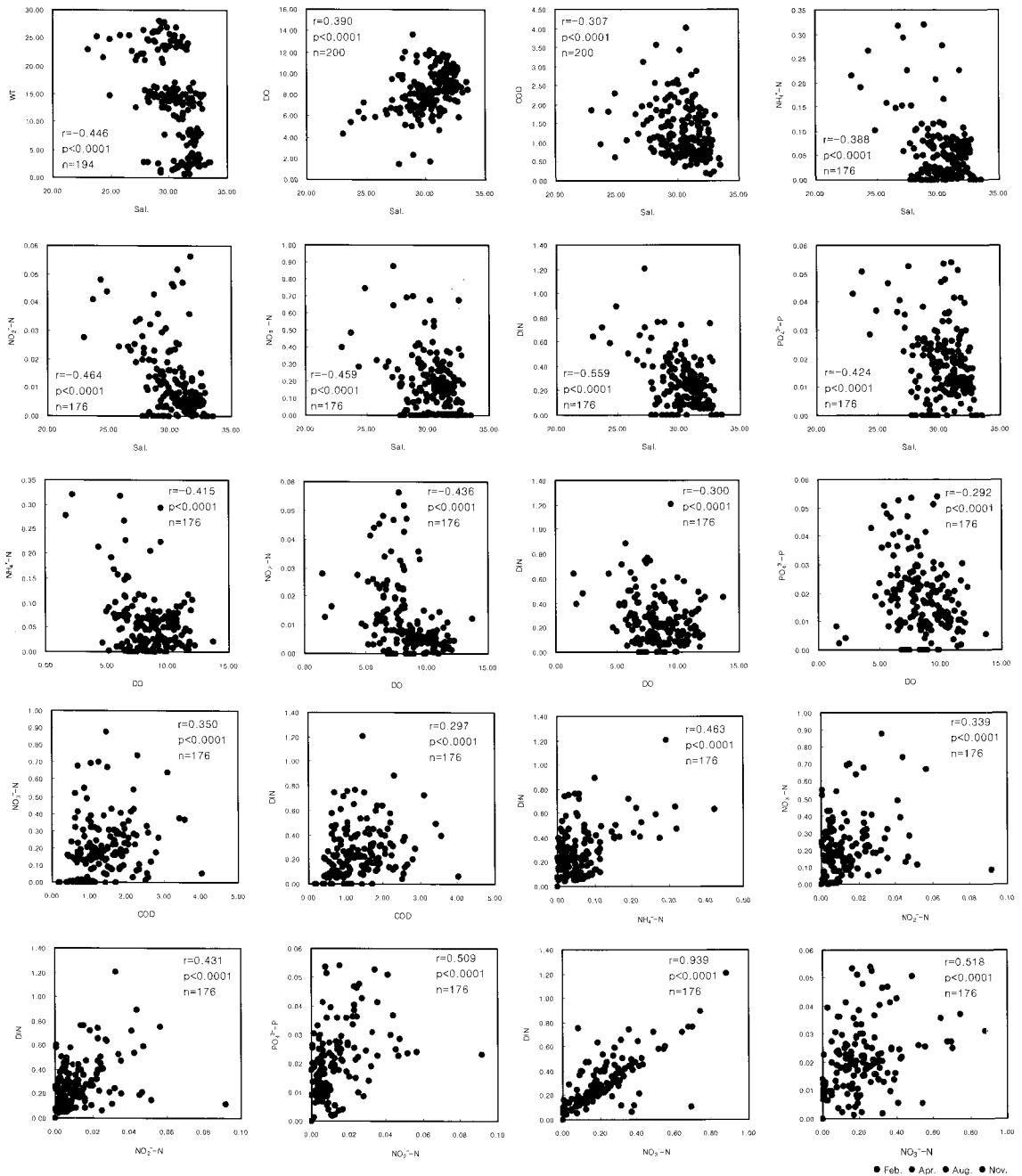


Fig. 4. Relationship among water quality parameters.

All the values were double transformed with square roots for the data normality.

에서는 16.29%를 설명할 수 있었으며, 이 중 암모니아질소>화학적산소요구량>수소이온농도 순으로 기여하고 있었다. 주성분 III에서는 13.79%를 설명할 수 있었으며, 이 중 용존산소>부유물질 순으로 기

여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II, III에 5% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 7). 주성분 I은 용존 무기질소, 질산질소, 아질산질소, 인산인 및 수온과

Table 7. Spearman's correlation coefficient among water quality parameters and principal component scores using the annual means of seasonal data from 1988 to 2005 in the Asan coastal zone of Yellow Sea. The principal component scores for axes I and II in Fig. 5

| Parameter \ PCA | PCA I | PCA II | PCA III |
|----------------------------------|---------|---------|---------|
| W.T. | 0.5212 | -0.2962 | 0.1517 |
| | 0.0266 | 0.2327 | 0.5479 |
| Salinity | -0.8720 | -0.0093 | 0.2405 |
| | <.0001 | 0.9708 | 0.3365 |
| pH | 0.1620 | 0.5955 | 0.2095 |
| | 0.5207 | 0.0091 | 0.4041 |
| DO | -0.3499 | 0.1889 | -0.7709 |
| | 0.1547 | 0.4529 | 0.0002 |
| COD | 0.3337 | 0.6271 | 0.1932 |
| | 0.1760 | 0.0053 | 0.4425 |
| PO ₄ ³⁻ -P | 0.6321 | 0.0249 | 0.3218 |
| | 0.0049 | 0.9218 | 0.1929 |
| NH ₄ ⁺ -N | 0.1662 | -0.7585 | 0.0753 |
| | 0.5100 | 0.0003 | 0.7664 |
| NO ₂ -N | 0.7582 | -0.2838 | -0.2299 |
| | 0.0003 | 0.2538 | 0.3587 |
| NO ₃ -N | 0.9035 | 0.1518 | 0.1074 |
| | <.0001 | 0.5477 | 0.6715 |
| DIN | 0.9251 | -0.0227 | 0.1425 |
| | <.0001 | 0.9287 | 0.5727 |
| SS | -0.5999 | -0.1404 | 0.6453 |
| | 0.0085 | 0.5784 | 0.0038 |
| % of variance explained | 39.71 | 16.29 | 13.79 |

Top numbers are correlations coefficients(r^2) and bottom numbers probabilities(p). Significant correlations are in bold.

양의 상관성을 나타내었고, 염분 및 부유물질과는 음의 상관성을 보였다($p \leq 0.0266$). 주성분 II에서는

화학적산소요구량 및 수소이온농도와 양의 상관성($p \leq 0.0091$), 암모니아질소와는 음의 상관성($p=0.0003$)을 보였으며, 주성분 III에서는 부유물질과 양의 상관성($p \leq 0.0038$), 용존산소와는 음의 상관성($p=0.0002$)을 나타내었다(Fig. 5).

18년 동안 수질의 장기변동은 대체로 세 그룹으로 구분되어지는데 즉 1988년부터 1991년까지, 1994년부터 1997년까지, 1992년과 1993년 및 1998년부터 2005년까지이다. 1988년부터 1991년까지는 염분, 부유물질 및 용존산소가 다른 해에 비해 상대적으로 높았고, 용존무기질소, 질산질소, 아질산질소 및 인산인 등의 영양염류는 낮은 특징을 나타내었다. 반면에 1994년부터 1997년까지는 용존산소가 상대적으로 낮았으며 부유물질은 높았는데 영양염류가 점차 증가하는 경향을 보여주었다. 1997년에는 예년과 다르게 암모니아질소가 다른 해에 비해 상대적으로 높았었는데, 이것은 천수만의 결과²³⁾와 유사한 경향이였다. 또한 1992년, 1993년 및 1998년부터 2005년까지는 용존무기질소, 질산질소, 아질산질소 및 인산인 등 영양염류가 대체로 높은 경향을 보였다. 1980년 후반에는 염분과 부유물질 및 용존산소가 높았다가 1992년부터는 수소이온농도와 화학적산소요구량이 높았으며, 1990년 후반부터는 용존무기질소, 질산질소, 아질산질소 및 인산인이 높은 특징을 보였다(Fig. 5). 즉 해를 거듭할수록 화학적산소요구량과 영양염류가 증가하고 있는 추세로서 각종 산업폐수 등 육상기인 오염원의 차단이 요구된다.

4. 결 론

1975년과 1976년 및 1988년부터 2005년까지 20년 동안 아산연안의 3개 조사정점의 표층·저층별, 계절별(2, 5, 8, 11월)로 년 4회 조사한 결과, 표층수와 저층수 간에는 수온, 용존산소, 질산질소, 아질산질

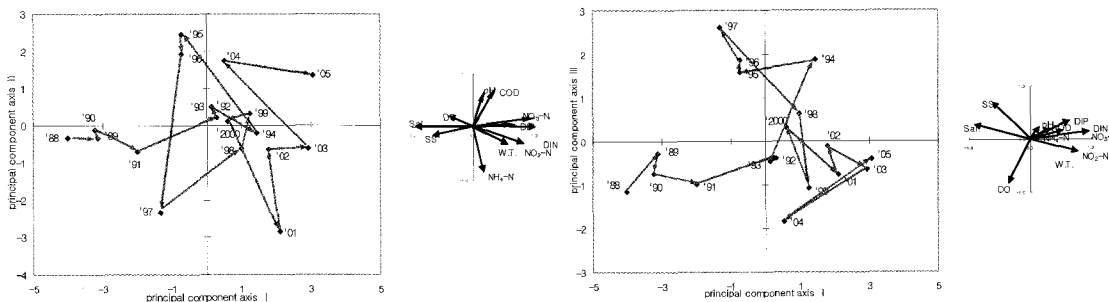


Fig. 5. Principal component ordination of 18 year water quality using the annual mean of stations from 1988 to 2005 in the Asan coastal zone of Yellow Sea. The correlations between the PCA scores and the analysed variables are expressed with vectors.

소, 용존무기질소는 유의적인 차이가 있었으나($p < 0.05$) 그 외 5개 조사항목에서는 차이가 없었다. 정점 간의 공간적 분포 특성을 보면 염분에 있어 입파도 서남방에 위치한 비교적 외측인 정점 1과 석문방조제 앞 연안인 정점 2에서는 평택항 입구인 정점 3에 비해 약간 높아 유의적인 차이가 있었고, 질소계 영양염류 역시 내만인 정점 3에서 높았고 그 외 정점 1과 정점 2는 비슷하여 두 그룹으로 구분되는 공간적 차이가 있었다($p < 0.005$). 계절별 분포특성을 살펴보면, 화학적산소요구량과 질산질소 및 용존무기질소 항목은 유의적인 차이를 발견할 수 없었고, 그 외 조사항목인 수온, 염분, 수소이온농도, 용존산소, 부유물질, 인산인, 암모니아질소 및 아질산질소에서는 차이가 있었으나 경기만의 내해보다는 변화가 적었고 천수만과는 유사한 경향이였다. 항목별 변동 특성에 있어 수온은 대체로 연 0.083°C 정도 높아지는 경향이였고, 염분은 평균 30.45±0.15로 곰소만과 유사하였다. pH는 7.96±0.01로 여름철이 다소 낮았으며 전 수질항목 중 변동폭이 가장 적었다. 용존산소는 8.55±0.14 mg/L로 계절별로 서로 다른 양상의 차이를 보였고($p < 0.0001$), 화학적산소요구량은 1.24±0.05 mg/L로 시·공간적으로 유의적 차이가 없었다. 부유물질은 평균 30.15±1.66 mg/L로 겨울철이 타월에 비해 15 mg/L정도 높았다. 영양염류 중 인산인은 0.019±0.001 mg/L이었고 겨울과 봄철이 낮았고 여름과 가을철이 높게 나타났고 년 변화는 0.0007 mg/L 증가하는 경향이였다. 암모니아질소는 0.066±0.005 mg/L로 내측 정점에서 상대적으로 높았으며, 여름철이 높았고 그 외 계절은 비슷하였다. 질산질소는 0.180±0.013 mg/L로 년 0.017 mg/L정도씩 증가하는 경향이였다. 용존무기질소는 0.258±0.015 mg/L로, 질산질소 69.77%, 암모니아질소 25.58%, 아질산질소 4.65% 순이었고 공간적으로 내측 정점에서 상대적으로 높았으며, 연도별 변동양상은 변곡선 형태로 연 0.018 mg/L정도 높아지는 경향을 나타내었다. DIN/DIP 비는 54.99±10.39로 시·공간적으로 유의적인 차이가 없었으며 연도별 변동특성은 1988년부터 1991년까지 그리고 1995년에는 대체로 20 이하이었으나 그 외는 Redfield ratio인 16 이상으로, 특히 1997년에는 암모니아질소가 상대적으로 높았고 인산인이 낮아 월등히 높았으며 전반적으로 점차 약간씩 증가하는 경향이였다. 수질항목간의 상관성에 있어서 염분은 수온과는 음의 상관성으로 계절별로 구분되어지며, 용존산소와는 양의 상관성을, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소와는 음의 상관성을 나타내었다. 장기 변동을 조사한 결과 근래에 들어 염분은 낮아

진 반면, 용존무기질소, 질산질소 및 화학적산소요구량 등이 증가하고 있는데 이는 육수 유입의 원인에 기인한 것으로 사료되므로 육상의 오폐수 유입이 차단 될 수 있는 정책과 주의가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 R&D과제인 “국가해양환경측정망운영” 과제(RP-2007-ME -018)의 일환으로 수행된 것으로 현장조사에 적극 협조 해 주신 시험조사선 탐구 2호 직원께 감사드리며, 또한 본 논문을 세심하게 검토 해 주신 두 분의 심사위원님께 진심으로 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) 이정숙, 2000, 아산만 연안 포구위락의 변화에 관한 연구, 석사학위논문, 지리교육과, 한국교원대학교, 청원.
- 2) 황학빈, 이태원, 1999, 아산만 천해역 수심에 따른 어류 종조성의 계절변동, 한국어류학회지, 11(1), 52-61.
- 3) 장선덕, 1977, 아산만의 저서지형과 해수유동, 어업기술학회지, 13(1), 1-5.
- 4) 장순근, 1983, 아산만해저의 저서유공충, 한국해양학회지, 18(2), 125-141.
- 5) 박철, 최근형, 문창호, 1991, 아산만 동물플랑크톤 분포와 수직이동, 한국수산학회지, 24(6), 472-482.
- 6) 이태원, 황선완, 1995, 아산만 저어류 IV. 종조성의 최근 3년간(1990-1993)변화, 한국수산학회지, 28(1), 67-79.
- 7) Choi K. H., Park C., 1990, Seasonal fluctuation of zooplankton community in Asan Bay, Korea, Bull. Korean Fish. Soc., 26(5), 424-437.
- 8) 김용익, 한경호, 강충배, 1994, 아산만 해역의 부유성 란과 자치어의 분포, 한국수산학회지, 27(5), 620-632.
- 9) 문창호, 박철, 이승용, 1993, 아산만의 영양염 및 입자성 유기물, 한국수산학회지, 26(2), 173-181.
- 10) 명철수, 유재명, 김웅서, 1994, 아산만 해역의 동물플랑크톤 분포, 한국해양학회지, 29(4), 366-375.
- 11) 박철, 이평강, 1995, 아산만 요각류 *Calanus sinicus*의 알 생산, 한국수산학회지, 28(1), 105-113.
- 12) 유준, 양동범, 김경태, 이광우, 2002, 아산만과 경기만의 유기인계 잔류농약 분포, 한국해양환경기술학회지, 5(1), 38-50.

- 13) Nixon S. W., 1995, Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41, 199-219.
- 14) Billen G., Garnier J., 1997, The Phison River plume: coastal eutrophication in response to changes in land use and water management in the watershed. *Aquat. Microb. Ecol.* 13, 3-17.
- 15) Clarke A., Juggins S., Conley D., 2003, A 150-year reconstruction of the history of coastal eutrophication in Roskilde Fjord, Denmark, *Marine Pollution Bulletin* 46, 1615-1629.
- 16) 국립수산진흥원, 1985, 해양오염 및 적조조사 지침, 57-67.
- 17) Strickland J. D., Parsons T. R., 1972, A Practical Handbook of Seawater Analysis, *Bulletin of Fisheries Research Board of Canada*, No. 167, 310pp.
- 18) 해양수산부, 1998, 해양환경공정시험법, 330pp.
- 19) 이성희, 황현식, 이석훈, 김정란, 2003, WIN SAS V8, 교우사, 414pp.
- 20) 통계교육원, 2005, SAS를 이용한 자료분석, 328pp.
- 21) 박승윤, 박경수, 석규진, 오현주, 이영식, 김전풍, 1999, 경기만 수질의 시공간적 변동과 부영양화, *국립수산과학원연구보고*, 56, 189-204.
- 22) Park G. S., Park S. Y., 2000, Long-term trends and temporal heterogeneity of water quality in tidally mixed estuarine waters. *Marine Pollution Bulletin*, 40(17), 1201-1209.
- 23) 박승윤, 박경수, 김형철, 김평중, 김전풍, 박중현, 김숙양, 2006, 천수만의 수질환경특성과 장기변동, *한국환경과학회지*, 15(5), 447-459.
- 24) Wafar M. V. M., Le Corre P., Birrien J. L., 1983, Nutrients and primary production in permanently well-mixed temperate coastal waters. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 17, 431-446.
- 25) Gentilhomme V., Lizon F., 1998, Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal ecosystem (Eastern English Channel), *Hydrobiologia* 361, 191-199.
- 26) Fock H. O., 2003, Changes in the seasonal cycles of inorganic nutrients in the coastal zone of the southeastern North Sea from 1960 to 1997: effects of eutrophication and sensitivity to meteorological factors, *Marine Pollution Bulletin* 46, 1434-1449.
- 27) 양재삼, 김기현, 김영태, 2003, 곰소만 조간대 해수 내 질소 성분의 시공간적 분포, *한국해양학회지*, 8(3), 251-261.
- 28) 김종구, 김양수, 2002, 세만급 사업지구의 연안 해역에서 부영양화관리를 위한 모델의 적용, *한국수산학회지*, 35(4), 348-355.
- 29) <http://www.kma.go.kr>
- 30) 여환구, 강현, 1998, 인천연안의 수질 및 식물플랑크톤 군집의 변화, *한국환경학회지*, 7(3), 321-326.
- 31) 최종덕, 김정균, 2002, 진해만 남서부 해역의 해수와 저질의 세균학적 및 이화학적 특징, *한국수산학회지*, 35(6), 621-626.
- 32) Redfield A. C., Ketchum B. H., Richards F. A., 1963, The influence of organisms on the composition of seawater, pp. 26-77. *In: The sea Vol. 2* (ed. Hill, M. N.). Interscience, New York.