

서해 군산 연안의 2001년부터 2010년까지의 용존성무기영양염류의 변동

허승* · 권정노**† · 박종수**

*, ** 국립수산물과학원

The Variation of the Dissolved Inorganic Nutrients in the Costal Area of Gunsan, Yellow Sea from 2001 to 2010

Seung Heo* · Jung-Ro Kweon**† · Jong-Soo Park**

*, ** National Fisheries Research and Development Institute, Busan, 619-705, Korea

요 약 : 본 연구는 국립수산물과학원의 국가해양환경측정망 자료를 이용하여 2001년부터 2010년까지 년 4회 군산연안의 10개 정점에서의 용존성무기영양염류의 조사시기별 및 정점별 변동을 분석하였다. 용존성무기질소(DIN)의 연도별 평균값은 표층과 저층 모두 비슷한 농도 분포를 보였는데, 10년간 표층 평균은 0.421 mg/L(0.198~0.846 mg/L)였고, 저층 평균은 0.344 mg/L(0.148~0.717 mg/L)였다. 연도별 평균값은 표층에서 2002년 0.846 mg/L로 가장 높았고 그 이후 차차 낮아지는 경향을 보여 2010년 0.198 mg/L로 가장 낮은 값을 보였으며, 저층도 유사한 경향을 보였다. 군산연안의 10개 정점에서의 DIN의 10년간 평균의 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소의 비율은 각각 27%, 3% 및 70% 정도로서 대부분 질산질소였으며, 표·저층간의 차이도 거의 없었다. 용존성무기인(DIP)의 연 평균값은 2002년 저층에서 0.085 mg/L로 높은 값을 보인 것을 제외하고는 표·저층간의 농도 차이는 거의 없었으며, 표층에서 10년 평균이 0.024 mg/L 였으나, 2008년 0.021 mg/L, 2009년 0.007 mg/L, 2010년 0.008 mg/L로 농도가 급격히 낮아졌다. 2002년부터 2010년까지 DIN/DIP 농도비를 비교한 결과 표층에서 평균 6.0(3.2~10.1), 저층에서 평균 4.6(2.6~7.0)으로서 2002년을 제외하고는 연도별 및 표·저층 간에 큰 차이는 없었다. 2004년부터 조사된 용존성무기규소는 7년 평균이 표층에서 0.372 mg/L, 저층에서 0.352 mg/L로 표·저층간에 차이가 거의 없었으며, 표층에서 2005년 평균 0.552 mg/L, 2006년 평균 0.575 mg/L의 값을 보인 후, 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2009년에는 0.130 mg/L로 최소값을 보였다. 전체적으로 염분과 용존성무기영양염류와의 10년간 상관관계는 표층에서 용존성무기질소는 -0.72, 용존성무기인은 -0.46, 용존성무기규소는 -0.63 이었으며, 저층은 용존성무기질소는 -0.70, 용존성무기인은 -0.44, 용존성무기규소는 -0.57로서, 군산 연안의 용존성무기영양염류는 금강으로 부터의 담수유입에 의한 영향이 크게 나타났으며, 특히 금강을 통해 용존성무기질소가 많이 유입되는 것으로 나타났다. 용존성무기영양염류는 군산시에 가까운 정점 1, 2, 3에서 높은 값을 보였는데, 이는 금강과 군산시의 영향으로 생각된다. 조사 시기에 따른 농도 변화는 크지 않았으나, 연도별 평균값을 보면 2001년부터 용존성무기영양염류의 농도가 점차 감소하는 경향을 보여, 이에 대한 지속적인 모니터링과 그 원인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 국가해양환경측정망, 군산, 금강, 서해, 용존성무기영양염류

Abstract : The variation of the dissolved inorganic nutrients were investigated four times per year in the costal area of Gunsan, Yellow Sea from 2001 to 2010. Water samples were collected at 10 stations and physico-chemical parameters were analyzed including water temperature, salinity, suspended solids, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, chlorophyll a and dissolved inorganic nutrients. The average of dissolved inorganic nitrogen(DIN) for ten years at Gunsan area showed similar concentration between surface and bottom. The average of DIN at surface was 0.421 mg/L (0.198~0.846 mg/L) and bottom was 0.344 mg/L(0.148~0.717 mg/L). The highest value of annual average of DIN at surface was 0.846 mg/L in 2002 and the lowest value was 0.198 mg/L in 2010. The percentage of ammonia, nitrite and nitrate for the average DIN of 10 years showed 27%, 3% and 70% which showed most of DIN was nitrate. Dissolved inorganic phosphate(DIP) for ten years at Gunsan area showed similar concentration between surface and bottom and DIP was decreasing from 2003 to 2010. The average of DIP of 10 years was 0.024 mg/L and annual average 0.021 mg/L in 2008, 0.007 mg/L in 2009 and 0.008 mg/L in 2010 which showed decreasing pattern from 2007 to 2010. The average of DIN/DIP ratio from 2002 to 2010 was 6.0(3.2~10.1) at surface and 4.6(2.6~7.0) at bottom. The average value of dissolved inorganic silicate from 2004 to 2010 showed 0.372 mg/L at surface layer and 0.352 mg/L at bottom layer and was on decreased from 2006 to 2010. The Spearman's correlation analysis was carried out to know relation among the salinity and dissolved inorganic nutrients at the surface and bottom layer. The correlation factor of DIN was -0.72, DIP was -0.46 and dissolved inorganic silicate was -0.63 at surface layer and DIN was -0.70, DIP was -0.44 and dissolved inorganic silicate was -0.57 at bottom layer. The dissolved inorganic nutrients at the nearshore of Gunsan was affected from the freshwater discharge of Geum river. Especially, a lot of DIN flowed into the nearshore of Gunsan from Guem river. The concentration of dissolved inorganic nutrients at Gunsan showed high at station 1, 2 and 3 and there was a little concentration differences according to the cruise time. The concentration of dissolved inorganic nutrients showed high value at the station 1, 2, 3 which exist nearshore of Gunsan city and it means these stations mainly affected by Geum river and Gunsan city. The annual average of dissolved inorganic nutrients showed gradually decreased from 2003 to 2010 and we need more research on this conditions.

Key Words : National marine environmental monitoring system, Gunsan city, Geum River, Yellow Sea, Dissolved inorganic nutrients

* 대표저자 : 정희원, sheo2001@nfrdi.go.kr, 032-745-0641

† 교신저자 : 정희원, jugnok@nfrdi.go.kr, 032-745-0640

1. 서론

군산연안은 금강과 만경강이 유입되며, 최근 군산항은 서해안시대를 맞아 공업생산활동을 갖춘 항구로 지속적으로 성장하고 있다. 현재 군산항은 5천~5만톤급 선박 23척을 동시 접안할 수 있는 4,806m의 접안시설과 연간 1,734만3천톤의 화물을 처리할 수 있는 하역시설을 갖추고 있다. 군산항 주변에는 28.37 km²의 국가·지방산업단지 및 군산자유무역지역이 있고, 군산항을 포함한 주변 지역과 새만금지역을 새만금·군산경제자유구역으로 지정하여 산업 및 관광단지 조성사업이 활발히 추진되고 있다.

군산 연안해역은 금강으로 부터의 담수 유입 영향과 조석, 조류에 의해서 수평 및 수직적으로 수괴의 물리·화학적 특성이 수시로 변하는 해역이다(양 등, 2000). 특히, 담수 유입의 영향으로 염분약층이 형성되어 용존성무기영양염류를 많이 포함한 저염수가 표층수를 형성하며, 풍수기와 갈수기에 따라서 수직적인 염분 차이에 의해서 성층의 강도가 변하는 부분 혼합형 하구의 특성을 보인다(최 등, 2000). 새만금 지역은 전라북도의 주요하천인 만경강과 동진강이 흐르고 있으며, 이를 통해 생활하수가 이들 지역으로 유입되고 있다. 또한 주변에 산재하고 있는 공단과 축산단지로부터 많은 오염물질들이 운반되고 있고, 만경평야와 김제평야를 통해 농업배수가 하구로 유입되고 있다(김과 김, 2002).

최근 완공된 새만금 방조제는 군산~부안을 연결하는 33 km의 세계 최장의 방조제로서, 간척토지 28,300 ha와 호소 11,800 ha를 조성하고, 여기에 경제, 산업 및 관광을 아우르면서 동북아 경제중심지로 비상할 녹색성장과 청정생태환경을 건설하기 위해, 1991년 11월 16일에 시작하여 2010년 4월 27일 방조제 공사를 완료하였다. 새만금방조제 공사 완료 이후 군산연안의 해양환경은 그 이전과 비교할 때 큰 변화가 있을 것으로 예상하고 있다.

본 연구는 서해 군산 연안해역에서 2001년부터 2010년까지 10년간 국립수산과학원에서 조사한 국가해양환경측정망 자료를 이용하여 용존성무기영양염류의 조사시기별 및 정점별 변동을 분석하였다. 본 연구결과는 금강이 인근 해역에 미치는 영향 및 새만금방조제 완공 전의 군산 연안의 해양환경에 대한 분석으로서, 최근 군산 인근해역에서 발생한 김황백화 현상에 대한 원인 규명 및 새만금 방조제 축조에 따른 군산 인근 해역의 해양환경변동 연구에 크게 유용할 것이다.

2. 재료 및 방법

2001년부터 2010년까지 국립수산과학원에서 년 4회 2, 5, 8, 11월에 조사한 군산연안의 10개 정점의 국가해양환경측정망 자료를 이용하였다(Table 1, Fig. 1). 수온 및 염분은 CTD(SBE 19, Seabird Electronics Co. USA)로 용존산소는 YSI(US/6600 V2, YSI incorporated. USA)를 이용하여 현장에서 측정하였

으며, 입자성부유물질, 화학적산소요구량, 클로로필 *a* 및 용존성무기영양염류는 표층과 저층의 해수를 니스킨 채수기를 이용하여 현장에서 채취한 후, 냉장보관하여 실험실로 운반한 후, 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 따라서 각각 분석하였다. 용존성무기질소는 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소를 합한 값으로 나타내었다. 조사항목 중 입자성부유물질과 클로로필 *a*는 표층에서만 측정하였으며, 용존성무기영양염류 중 용존무기인은 2002년부터, 용존무기규소는 2004년부터 측정하였다. 각 조사항목간의 변동 요인을 구명하기 위해 SPSS 통계 프로그램을 이용하여, 조사시기 및 연도별로 상관분석(Spearman's correlation analysis)을 통해 $\alpha=0.05$ 유의수준에서 유의성을 검증하였다.

Table 1. The position and depth of the stations in this study

St.	Latitude	Longitude	Depth(m)
1	35° 59' 52"	126° 43' 09"	12.0
2	36° 00' 00"	126° 39' 52"	6.5
3	35° 58' 45"	126° 36' 00"	10.0
4	35° 58' 45"	126° 33' 00"	12.0
5	36° 01' 00"	126° 33' 40"	8.0
6	36° 03' 30"	126° 30' 32"	10.2
7	36° 07' 00"	126° 29' 20"	9.8
8	35° 58' 45"	126° 30' 00"	12.0
9	35° 58' 45"	126° 27' 00"	14.2
10	35° 58' 45"	126° 24' 00"	18.0

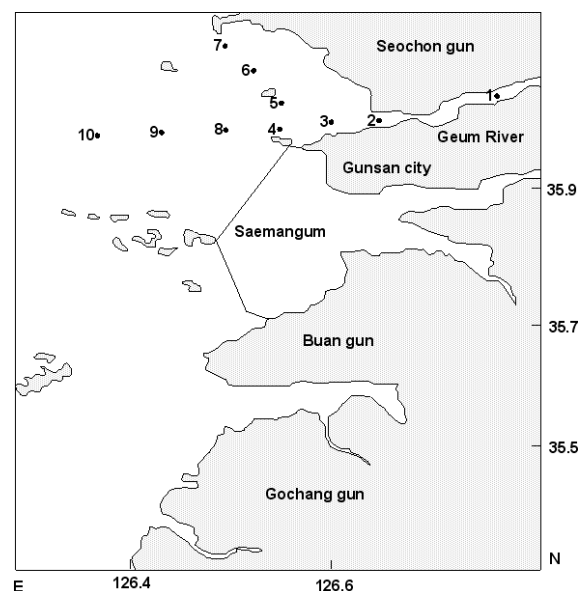


Fig. 1. The map showing the sampling stations.

3. 결과 및 고찰

군산지역은 전형적인 온대성기후를 나타내는 지역으로서 조사기간 동안 평균 수온은 표층에서 14.6 °C, 저층에서 14.1 °C였으며, 표·저층간 유의한 차이는 없었다. 연도별 표층 평균값은 2006년에 13.8 °C로 가장 낮았고, 2009년에 15.7 °C로 가장 높았으며, 저층 평균값도 비슷한 분포를 보였다. 10년간 월별 평균값은 2월에 표·저층이 2.9 °C, 5월에 표층 14.5 °C, 저층 14.3 °C였으며, 8월에 표층 28.2 °C, 저층 27.3 °C, 11월에 표층 14.5 °C, 저층 14.2 °C였다. 정점별로는 5월과 8월 정점 1의 표·저층에서 다른 정점에 비해 1 °C 정도 높은 값을 보였을 뿐 그 외는 정점별로 큰 차이가 없었다.

염분은 10년 평균이 표층에서 26.02, 저층에서 29.64로 저층에서 더 높았으며, 정점별로는 다른 정점에 비해 금강으로부터 유입되는 담수의 영향을 받는 정점 1, 2 및 3에서 낮았다. 시기별로는 여름철 많은 강우에 따른 영향으로 8월에 낮았으며, 특히 정점 1의 표층에서 8월 평균이 11.90으로 다른 정점보다 크게 낮았다(Fig. 2). 전체적으로 염분은 30을 넘지 않아 조사해역 모두가 금강 담수에 의해 영향을 받고 있었으며, 이와 같은 결과는 최 등(1999)이 금강하구에서 1997~1998년 연구한 결과와 유사한 분포를 보였다.

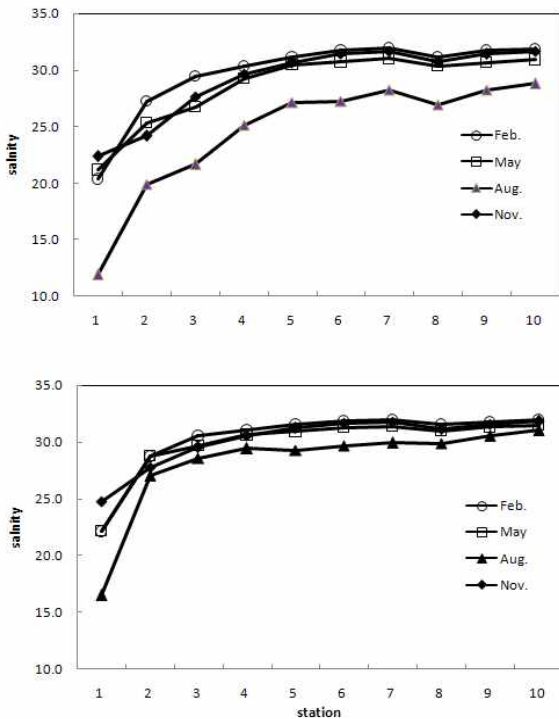


Fig. 2. The seasonal variation of the mean salinity at each stations from 2001 to 2010(Upper : Surface layer, Below : Bottom layer).

pH는 10년 평균값이 표층에서 7.9~8.2, 저층에서 7.9~8.1로서 표·저층 간에 차이가 거의 없었으며, 연도별 평균도 차이가 거의 없었다. 용존산소는 10년 평균이 표층에서 8.79 mg/L, 저

층에서 8.61 mg/L로서 표·저층 간에 큰 차이가 없었으며, 연도별 평균도 차이가 거의 없었다. 조사시기별로는 2월>5월>11월>8월 순으로 높았다.

화학적산소요구량(COD)은 10년 평균이 표층에서 1.76 mg/L, 저층에서 1.80 mg/L로서 표·저층간에 비슷하였으며, 해역수질 기준 II등급에 해당하는 농도 분포를 보였다(Fig. 3 A). 연도별 평균값은 표층의 경우 2007년에 2.03 mg/L로 10년 평균값보다 0.3 mg/L 정도 높았으나, 그 외는 1.50~1.70 mg/L 정도로 비슷하였으며, 저층의 경우는 2002년과 2003년에 2.07 mg/L와 2.17 mg/L로 높았다. 조사시기별로는 10년 평균값은 경우가 많은 8월 표층에서 2.05 mg/L, 저층에서 1.72 mg/L로 높았으며, 정점별로는 금강하류에 위치한 정점 1, 2, 3 및 5에서 상대적으로 높은 값을 보였다(Fig. 3 B, 3 C).

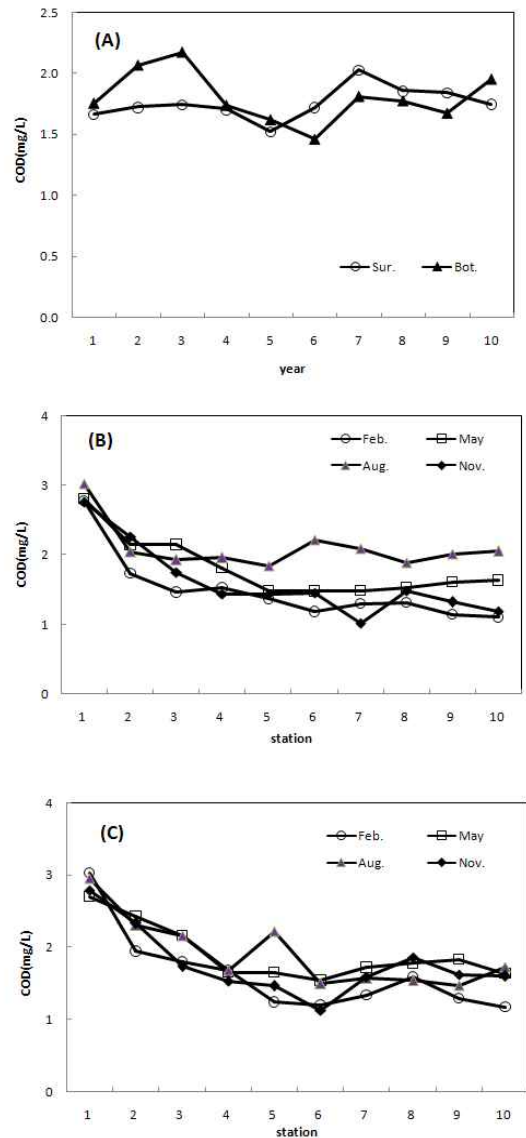


Fig. 3. The annual average of COD(A) and seasonal variation of the mean COD at the each stations (B : Surface, C : Bottom) from 2001 to 2010.

입자성부유물질(SPM)은 10년 평균이 27.12 mg/L(11.35~47.93 mg/L) 였으며 연도별 평균값에서 차이가 많았다(Fig. 4). 특히 2002년과 2005년에 연평균 47.47 mg/L와 47.93 mg/L로 다른 연도에 비해 상당히 높은 값을 보였다.

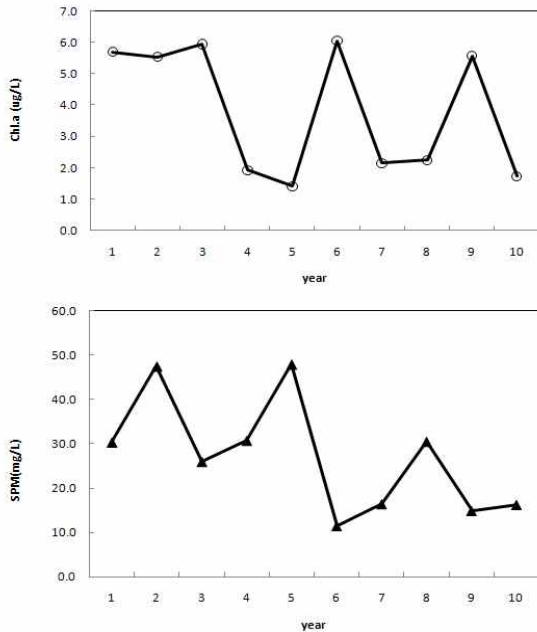


Fig. 4. The annual average of Chl. *a* and SPM in this study from 2001 to 2010.

입자성부유물질의 연도별 평균값을 연강우량과 비교 하였을 때 유의한 상관관계는 없었다(Table 2). 그러나 조사기간 동안 금강과 가까운 정점 1과 2에서 높았고, 특히 정점 1에서 8월의 10년 전체 평균이 73.90 mg/L로서 높은 농도를 보여, 전체적으로 군산연안의 입자성부유물질은 여름철 강우와 금강에 의한 영향이 크게 나타났다(Fig. 5). 이러한 결과는 갈수기인 동계를 제외하고는 여름과 가을동안에 영양염의 주요 공급원이 금강을 통한 담수 유입임을 나타내고 있다(양 등, 2000).

Table 2. The amounts of rainfall(mm) from 2001 to 2010 at Gunsan province

yr.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	yearly sum
01	94.3	71.4	14.2	25.8	8.4	122.2	160.0	138.0	9.1	78.2	16.9	32.7	771.2
02	50.0	7.3	30.8	166.0	137.6	68.8	193.4	316.2	49.5	73.5	29.4	70.7	1193.2
03	30.8	36.1	44.0	244.5	118.0	135.3	513.1	186.7	130.1	27.0	31.6	12.0	1509.2
04	22.2	24.8	36.0	62.4	103.5	233.0	390.2	254.1	179.7	3.5	80.2	42.1	1431.7
05	6.5	40.5	39.6	51.7	80.6	132.0	550.2	321.4	176.0	29.6	25.3	55.1	1508.5
06	27.0	42.6	10.2	110.3	94.1	124.8	546.9	69.5	35.5	31.0	50.9	30.9	1173.7
07	11.5	43.8	111.5	31.5	103.0	119.6	310.9	241.0	575.6	42.8	15.5	48.8	1655.5
08	31.5	8.1	47.0	45.5	74.1	281.4	119.1	198.7	22.5	27.1	17.5	28.5	901.0
09	20.7	25.0	49.6	43.0	126.4	156.6	335.7	116.0	49.7	21.0	34.3	44.7	1022.7
10	37.0	92.5	63.8	68.4	132.8	18.9	375.6	362.3	144.9	8.8	10.4	32.1	1347.5
mon. sum	33.2	39.2	44.7	84.9	97.9	139.3	349.5	220.4	137.3	34.3	31.2	39.8	

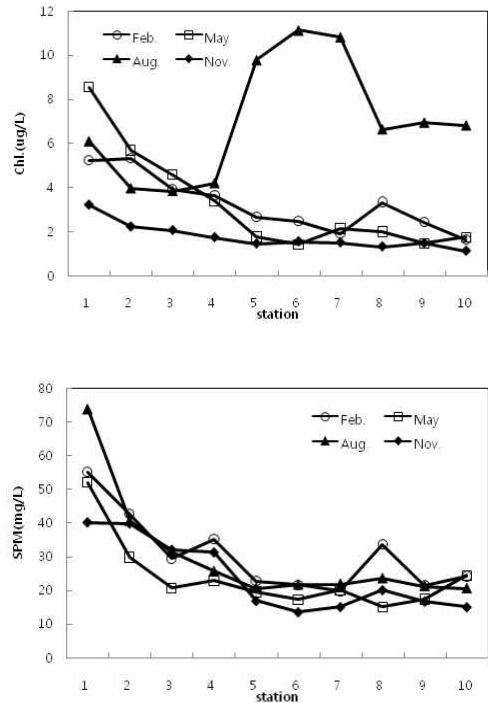


Fig. 5. The seasonal variation of the mean Chl. *a*(Upper) and mean SPM(Below) at the surface layer of each stations from 2001 to 2010.

또한, 유 등(1994)이 금강 하구에서 연구한 결과에 따르면, 금강을 통해 부유물질을 다량 함유한 담수가 군산 해역으로 공급되고 있으며, 하구 해역은 동계에 강한 북서 계절풍으로 인해 표층 퇴적물이 재부유되는 특성을 보이고 있다는 연구결과와 일치한다.

클로로필 *a*(Chl. *a*)의 10년 평균은 3.83 μ g/L(1.43~6.04 μ g/L)로서 연도별로 평균값의 차이가 컸다. 특이하게도 2001, 2002, 2003, 2006, 2009년은 연평균이 5.0 μ g/L이상의 높은 값을 보인 반면, 2004, 2005, 2007, 2008 및 2010년은 1.0~2.5 μ g/L 정도의 상대적으로 낮은 값을 보였다. 월별 변동양상은 11월에 평균 1.76 μ g/L으로 가장 낮았으며, 2월과 5월에 평균 3.25 및 3.27 μ g/L로 비슷한 값을 보였으며, 8월에 평균 7.02 μ g/L로 높은 값을 보였다. 정점별로는 10년 평균값이 8월을 제외하고는 정점 1, 2, 3이 다른 정점보다 약 2~4 μ g/L 정도 높은 값을 보였으나, 8월의 경우에는 정점 5, 6, 7에서 10 μ g/L 정도의 상대적으로 높은 농도를 보였다(Fig. 5). 클로로필 *a*와 입자성부유물질의 연평균 변화양상은 서로 역의 상관성을 보이고 있어, 군산해역의 대부분의 입자성부유물질은 금강과 저층퇴적물 근원임을 보여준다.

군산 해역의 용존성무기영양염류는 금강 유입에 따라 많은 영향을 받고 있으며(박 등, 2007), 금강을 통한 군산해역으로의 담수 유입량의 변동은 강우량에 의존 하는데, 군산지역은 하절기인 7, 8월에 내린 강우량이 전체 년 강우량의 약 40%를 차지하고 있다(Table 2). 이 등(1999)의 연구에서도 금강을

서해 군산 연안의 2001년부터 2010년까지의 용존성무기영양염류의 변동

통해 연간 $5.0\sim 6.4 \times 10^6$ m³의 담수가 금강유역으로 유입되며, 이중 80% 이상이 하계 풍수기에 집중한다고 보고한 바 있다. 조사기간 10년간 연도별 총강수량 평균은 1,251.4 mm였으며, 연도별로 강수량에 차이를 보여 2001년에 771.2 mm로 가장 적었고, 2007년에 1,655.5 mm로 가장 많았다(Fig. 6).

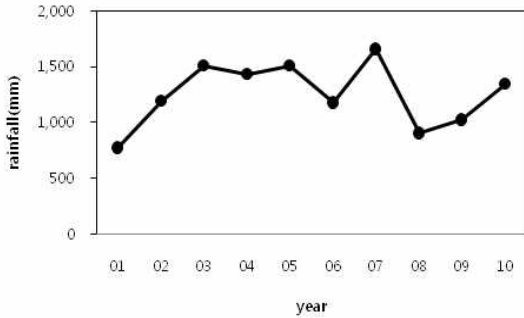


Fig. 6. The annual average of the rainfalls from 2001 to 2010 at Gunsan province.

용존성무기질소(DIN)는 수중생물, 특히 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양원으로 해역에서 가장 부족하기 쉬운 원소로 알려져 있다(김 등, 2002). DIN의 연도별 평균값은 표층과 저층 모두 비슷한 농도 범위를 보였는데, 10년간 표층 평균은 0.421mg/L(0.198~0.846 mg/L) 였고, 저층 평균은 0.344 mg/L(0.148~0.717mg/L)였다. 연도별 평균값은 표층에서 2002년 0.846 mg/L로 가장 높았고 그 이후 차차 낮아지는 경향을 보여 2010년 0.198 mg/L로 가장 낮은 값을 보였으며, 저층도 유사한 경향을 보였다(Fig. 7).

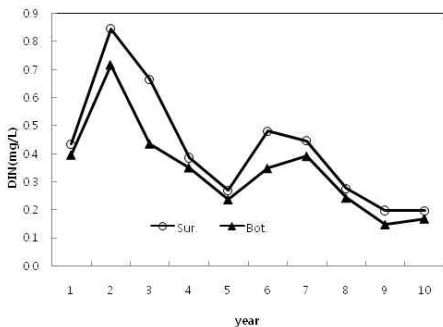


Fig. 7. The annual average of DIN from 2001 to 2010.

정점별로는 표·저층 모두 금강 및 군산시의 영향을 많이 받고 있는 정점 1, 2, 3에서 높았으며, 그 외의 정점은 비슷한 농도를 보였다(Fig. 8). 이외에도 정점 8에서 COD, SPM 및 DIN이 정점 4~10과 비교할 때 상대적으로 높은 것은 금강으로부터 담수유출에 의한 영향이 큰 것으로 나타났으며, 이는 권 등(2001)의 연구와 유사한 결과를 보였다.

군산연안의 DIN의 평균값에서의 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소의 비율은 각각 27%, 3% 및 70% 정도로서 대부분 질산질소였으며, 표·저층간의 차이도 거의 없었다(Fig. 9).

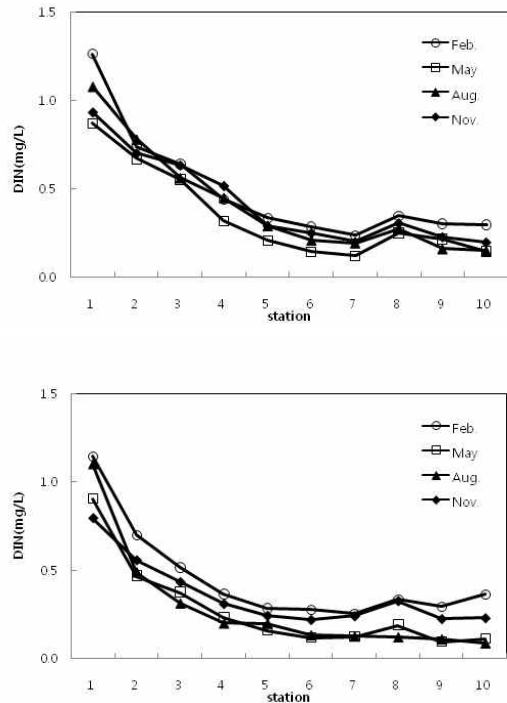


Fig. 8. The seasonal variation of the mean DIN at each stations from 2001 to 2010(Upper : Surface, Lower : Bottom).

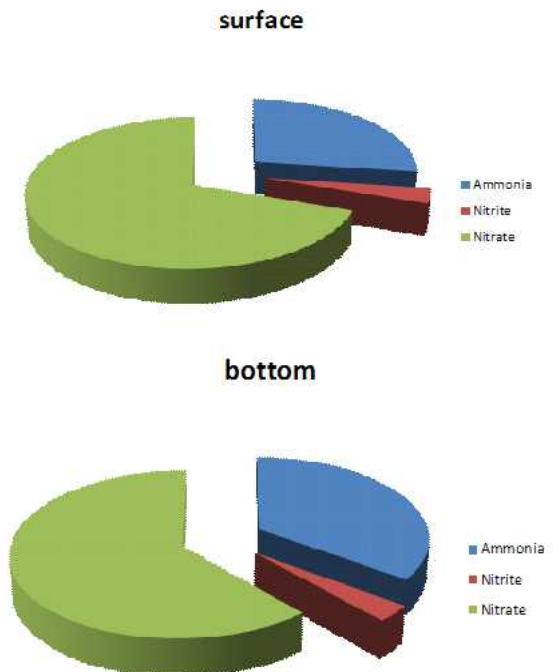


Fig. 9. The comparison of mean concentration of dissolved inorganic nitrogen at the surface and bottom layer of the 10 stations in this study area from 2001 to 2010.

다른 해역과 비교할 때 암모니아질소의 함량이 상대적으로 높는데, 이는 금강을 통해 유입된 담수 중에 포함된 도시하수 등에 포함된 유기물들이 박테리아에 분해되어 암모니아가 수층으로 공급되었기 때문으로 사료된다. 이와 같은 결과는 양 등(2003)이 1999년 곰소만에서 실시한 질소성분에 대한 연구에서도 유사한 결과를 보였다.

용존성무기인(DIP)은 DIN과 함께 해양생물의 제한 인자로 작용하는 중요한 영양염류의 하나로써, 도시 하수에 포함되어 있는 합성세제와 저층 퇴적물로 부터의 용출이 주요 근원이다. DIP의 연 평균값도 2002년을 제외하고는 표·저층간의 농도 차이는 거의 없었으며, 표층에서 10년 평균이 0.024 mg/L 였으나, 2008년 0.021 mg/L, 2009년 0.007 mg/L, 2010년 0.008 mg/L로 농도가 급격히 낮아졌다(Fig. 10). 정점별로는 DIN과 유사하게 표·저층 모두 금강 및 군산시의 영향을 많이 받고 있는 정점 1, 2, 3 및 8에서 높았으며, 그 외의 정점은 비슷한 농도를 보였다(Fig. 11). 특히 8월에 저층에서 0.12 mg/L 이상의 높은 값을 보였는데, 이는 군산해역의 DIP의 대부분이 군산시를 통한 오수와 저층 퇴적물로부터 기인한다는 김과 김(2002)의 연구결과와 일치한다.

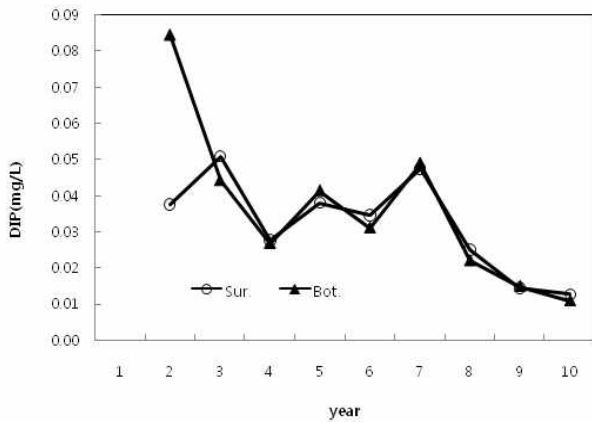


Fig. 10. The annual average of DIP from 2002 to 2010.

2002년부터 2010년까지 DIN/DIP 몰농도(μM)비(N/P 비)를 비교한 결과 표층에서 평균 6.0(3.2~10.1), 저층에서 평균 4.6(2.6~7.0)로서 2002년을 제외하고는 연도별 및 표·저층 간에 큰 차이는 없었다(Fig. 12). 해양에서 식물 플랑크톤의 성장에 가장 이상적인 N/P 비는 16:1 인데(Antia *et al.*, 1963), 본 연구에서는 10년간 전체 N/P비는 P에 비해 N이 상대적으로 낮은 값을 보여, 군산연안의 식물플랑크톤 성장의 제한인자는 질소인 것으로 나타났으며, 이는 양 등(2003)에 의한 곰소만에서 질소의 변동에 관한 연구 결과와 유사한 경향을 보였다.

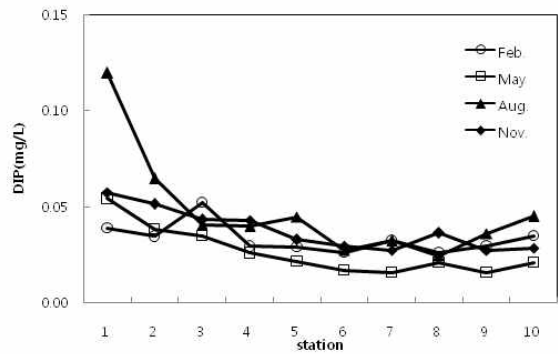
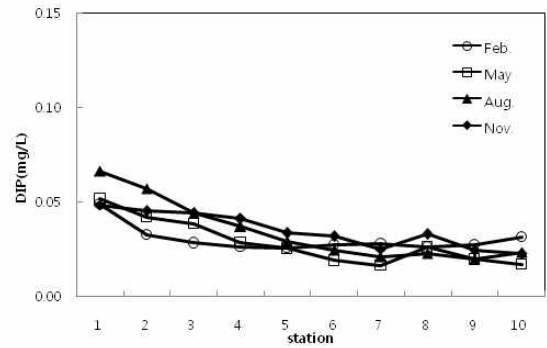


Fig. 11. The seasonal variation of the mean DIP at each stations from 2002 to 2010 (upper: surface, lower: bottom).

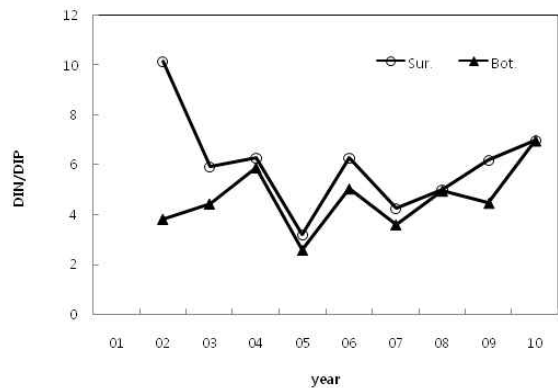


Fig. 12. The annual average of DIN/DIP from 2002 to 2010.

2004년부터 조사된 용존성무기규소는 7년 평균이 표층에서 0.372 mg/L, 저층에서 0.352 mg/L로 표·저층간에 차이가 거의 없었으며, 표층에서 2005년 평균 0.552 mg/L, 2006년 평균 0.575 mg/L의 값을 보인 후, 지속적으로 감소하여, 2009년에는 0.130 mg/L로 최소값을 보였다(Fig. 13). 용존성무기규소도 DIN과 DIP와 유사하게 정점 1, 2, 3에서 높은 값을 보였으며,

그 외의 정점은 비슷한 농도를 보였다. 조사시기별로는 강우량이 가장 많은 8월에 높은 값을 보였는데, 이 또한 군산연안의 용존성무기규소의 가장 주요한 근원이 금강 담수유입을 시사한다(Fig. 14).

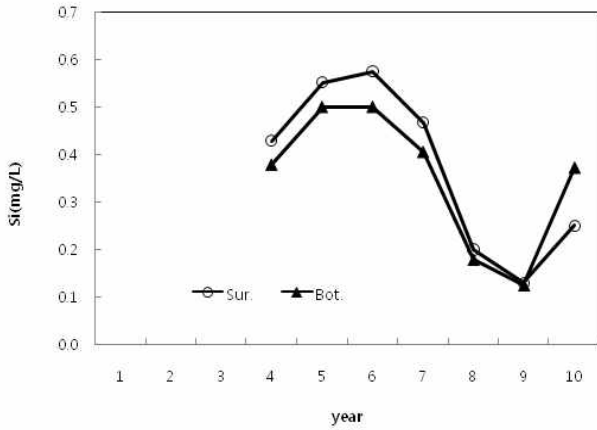


Fig. 13. The annual average of dissolved inorganic silicate from 2004 to 2010.

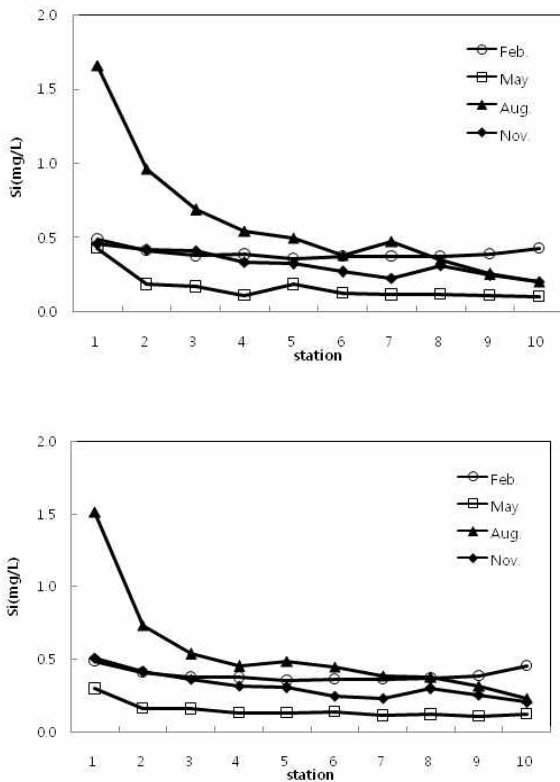


Fig. 14. The seasonal variation of the mean silicate at each stations from 2004 to 2010(Upper : Surface, Lower: Bottom).

각 조사항목간의 변동 요인을 구명하기 위해 조사시기 및 연도별로 상관분석(Spearman's correlation analysis)을 통해 $\alpha = 0.05$ 유의수준에서 유의성을 검증하였다. 조사시기별로는 10년간 조사항목들간의 상관관계는 2월에 염분과 용존성무기질소는 표층에서 -0.80, 용존성무기인은 -0.57, 용존성무기규소는 -0.06 이었으며, 저층에서는 염분과 용존성무기질소는 -0.77 이었다. 용존성무기질소는 표층과 저층에서 모두 금강으로부터 유입된 담수의 영향을 크게 받고 있었다. COD와 용존성무기질소와는 표층에서 0.66, 저층에서 0.70으로 비교적 높은 상관성을 보였다 (Table 3 a). 5월에는 염분과 용존성무기질소는 표층에서 -0.84, 저층에서 -0.71로 높은 상관성을 보이고 있었으나, 그 외 다른 조사항목간에는 뚜렷한 상관성을 보이지 않았다. COD와 용존성무기질소는 표층에서 0.45, 저층에서 0.59였으며, COD와 용존성무기인은 저층에서 0.44였다(Table 3 b). 8월에는 염분과 용존성무기질소는 표층에서 -0.83, 저층에서 -0.89였으며, 염분과 용존성무기인은 표층에서 -0.60, 저층에서 -0.55였으며, 염분과 용존성무기규소는 표층에서 -0.89, 저층에서 -0.82로서 높은 상관성을 보여, 여름철에는 금강의 담수 유입이 군산연안해역의 용존성무기영양염류의 주요 근원이었다(Table 3 c). 11월에는 염분과 용존성무기질소는 표층에서 -0.67, 저층에서 -0.58였으며, 염분과 용존성무기인은 표층에서 -0.32, 저층에서 -0.39였다. COD와 용존성무기질소는 표층에서 0.51였다(Table 3 d).

전체적으로 염분과 용존성 무기영양염류와의 10년간 상관관계는 표층에서 용존성무기질소는 -0.72, 용존성무기인은 -0.46, 용존성무기규소는 -0.63였으며, 저층은 용존성무기질소는 -0.70, 용존성무기인은 -0.44, 용존성무기규소는 -0.57로서, 군산 연안의 용존성무기영양염류는 금강으로 부터의 담수 유입에 의한 영향이 크게 나타났으며, 특히 금강을 통해 용존성무기질소가 많이 유입되는 것으로 나타났다. 또한 염분과 입자성부유물질과의 10년간 상관관계는 표층에서 -0.41로서, 금강을 통해 입자성부유물질이 상당량 유입 되는 것으로 나타났다. 하지만 클로로필 *a*와 용존성무기 영양염류와의 10년간 상관관계는 0.12~0.34로 낮게 나타나, 군산연안의 용존성무기영양염류는 식물플랑크톤에 의한 영향보다는 금강을 통해 유입되는 담수의 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

용존성무기영양염류는 군산시에 가까운 정점 1, 2, 3에서 높은 값을 보였는데, 이는 금강과 군산시의 영향으로 생각된다. 조사시기에 따른 농도 변화는 크지 않았으나, 연도별 평균값을 보면 2001년부터 용존성무기영양염류의 농도가 점차 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이에 대한 지속적인 모니터링과 그 원인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Table 3. Spearman's correlation analysis among estimated parameters at surface layer in this study from 2001 to 2010.

a) February

	Sal. (sur.)	COD (sur.)	DIN (sur.)	DIP (sur.)	Si (sur.)	SPM (sur.)	Chl.a (sur.)
Sal. (sur.)		-0.61 <0.05	-0.80 <0.05	-0.57 <0.05	-0.06	-0.20	-0.25
COD (sur.)			0.66 <0.05	0.34	0.47 <0.05	0.14	0.20
DIN (sur.)				0.52 <0.05	0.49 <0.05	0.18	0.15
DIP (sur.)					0.15	0.11	-0.33
Si (sur.)						0.07	-0.40
SPM (sur.)							0.09

b) May

	Sal. (sur.)	COD (sur.)	DIN (sur.)	DIP (sur.)	Si (sur.)	SPM (sur.)	Chl.a (sur.)
Sal. (sur.)		-0.44 <0.05	-0.84 <0.05	-0.36 <0.05	-0.41 <0.05	-0.57 <0.05	-0.49 <0.05
COD (sur.)			0.45 <0.05	0.33	-0.05	0.55 <0.05	0.32
DIN (sur.)				0.62 <0.05	0.38	0.33	0.37 <0.05
DIP (sur.)					0.02	0.04	-0.09
Si (sur.)						0.37	0.23
SPM (sur.)							0.27

c) August

	Sal. (sur.)	COD (sur.)	DIN (sur.)	DIP (sur.)	Si (sur.)	SPM (sur.)	Chl.a (sur.)
Sal. (sur.)		-0.14	-0.83 <0.05	-0.60 <0.05	-0.89 <0.05	-0.54 <0.05	-0.08
COD (sur.)			-0.04	-0.08	-0.01	0.34	-0.13
DIN (sur.)				0.66 <0.05	0.09 <0.05	0.32	0.07
DIP (sur.)					0.65 <0.05	0.22	-0.002
Si (sur.)						0.30	0.17
SPM (sur.)							-0.07

d) November

	Sal. (sur.)	COD (sur.)	DIN (sur.)	DIP (sur.)	Si (sur.)	SPM (sur.)	Chl.a (sur.)
Sal. (sur.)		-0.74 <0.05	-0.67 <0.05	-0.32	-0.17	-0.27	-0.07
COD (sur.)			0.51 <0.05	0.25	0.09	0.30	0.09
DIN (sur.)				0.27	0.48 <0.05	0.35 <0.05	0.32
DIP (sur.)					0.37	0.08	0.11
Si (sur.)						0.02	0.16
SPM (sur.)							0.36 <0.05

4. 결론

국립수산과학원의 국가해양환경측정망 자료를 이용하여 2001년부터 2010년까지 년 4회 군산연안의 10개 정점에서 용존성 무기영양염류의 조사시기별 및 정점별 변동을 분석하였다.

군산 연안의 용존성무기영양염류는 금강의 담수유입에 의한 영향이 크게 나타났으며, 특히 용존성무기질소가 많이 유입되는 것으로 나타났다. 용존성무기영양염류는 군산시에 가까운 정점 1, 2, 3에서 높은 값을 보였으며, 월별 조사 시기에 따른 농도 변화는 크지 않았으나, 연도별 평균값을 보면 2001년부터 용존성무기영양염류의 농도가 점차 감소하는 경향을 보였다. 따라서, 향후 이에 대한 지속적인 모니터링과 그 원인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] 권정노, 김종구, 고태승(2001), 장기관측자료에 의한 금강 하구둑 수문조작에 따른 수질 변화 평가, 한국수산학회지, 제34권, 제4호, pp. 348~354.
- [2] 김종구, 김양수(2002), 새만금 사업지구의 연안해역에서 부영양화관리를 위한 생태계모델의 적용, I. 해역의 수질 특성 및 저질의 용출 부하량 산정, 한국수산학회지, 제35권, pp. 348-355.
- [3] 박승윤, 김형철, 김평중, 박경수, 박정숙(2007), 아산연안 수질환경의 특성과 장기변동, 한국환경과학회지, 제16권, 제12호, pp. 1411-1424.
- [4] 양원석, 최용규, 조성환(2000), 군산연안의 적조발생과 동태 연구, 서해수산연구소보고서, pp. 264-278.
- [5] 양재삼, 김기현, 김영태(2003), 곰소만 조간대 해수 내 질소 성분의 시공간적인 분포, 한국해양학회지 「바다」, 제8권, 제3호, pp. 251-261.
- [6] 유병철, 유선재, 조주환(1994), 금강 하구에 나타나는 황색 수색대의 환경특성, 한국수산학회지, 제27권, 제1호, pp. 97-105.
- [7] 이상호, 권효근, 최현용, 양재삼, 최진용(1999), 하구연 수문작동으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화 II. 염분구조와 하구유형, 한국해양학회지, 제4권, 제4호, pp. 255-265.
- [8] 최용규, 이삼근, 박경구, 이영식(2000), 전북 연안의 담수 유입과 관련된 DIN, DIP의 계절 변화, 국립수산진흥원 연구보고, 58, pp. 114-124.
- [9] 최현용, 이상호, 유광우(1999), 금강하구연 대량 방류시 황해 중동부 해역의 염분 분포, 한국해양학회지 「바다」, 제4권, 제1호, pp. 1-9.
- [10] 해양수산부(2002), 해양환경공정시험방법, p. 330.
- [11] Antia, N. J., C. D. McAllister, T. R. Parsons, K. Stephens and J. D. H. Strickland(1963), Future

서해 군산 연안의 2001년부터 2010년까지의 용존성무기영양염류의 변동

measurements of primary production using a large volume plastic sphere. *Limnology and Oceanography*, Vol. 8, pp. 166-183.

원고접수일 : 2011년 10월 25일

원고수정일 : 2011년 11월 16일 (1차)

2011년 11월 21일 (2차)

게재확정일 : 2011년 12월 26일