

광양만으로 유입되는 질소, 인의 점원 오염부하 특성

김도희^{1*} · 조현서² · 이영식³

¹목포해양대학교, ²여수대학교, ³남해수산연구소

The Characteristic of Point Source Loads for Nitrogen and Phosphorus to Gwangyang Bay, Korea

Do-Hee Kim^{1*}, Hyeon-Seo Cho² and Young Sik Lee³

¹Department of Marine Environmental Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

²Division of Ocean system, Yeosu National University, Dundeok-dong, Yeosu, Jeollanam-do 550-749, Korea

³South Sea Fisheries Research Institute, 347 Anpo Hayang, Yeosu, Jeonnam, 556-820, Korea

요 약

2003년 4월부터 12월까지 광양만으로 유입되는 33개 하천과 공장에서 유입되는 질소와 인의 유입 부하량을 조사하였다. 전체 담수 유입량 중 섬진강, 동천, 주교천, 서천 및 십금교천에서 96% 이상을 차지하며, 섬진강이 51-76%나 차지하고 있었다. DIN 유입부하는 7월에 311,173 kg/월로 최대였고, 4월에 61,131 kg/월로 최소로 유입되고 있었다. 하천별로는 DIN의 전체 유입량 중 섬진강이 46-66%를 차지하고 있었다. 다음으로 동천이 1-20%, 덕양천이 12%, 길호천이 4%, 주교천이 5-6%를 차지하고 있었다. 그 외 하천에서는 1% 미만으로 유입되고 있었다. TN의 유입도 7월에 417,733 kg/월로 최대였고, 12월에 119,710 kg/월로 가장 낮게 유입되고 있었으며, 하천별로는 섬진강에서 36-64%로 동천과 함께 7, 8월에 높은 유입 율을 보였으며, 길호천과 덕양천에서는 4, 5월에 높은 유입 비율을 보였다. DIP의 유입은 7월에 50,533 kg/월로 최대였고, 10월에 1,539 kg/월로 최소를 보였다. 하천별 DIP의 유입비율은 섬진강이 2-55%로 강우기에 높은 비율을 보인 대신 비강우기에는 생활하수인 남수천에서 8-23 %, 덕양천에서 1-23%, 길호천에서 5-33%로 높은 비율을 보였다. TP의 유입부하는 166,279 kg/월로 7월에 최대였고, 12월에 4,837 kg/월로 최소를 보였으며, 하천별로는 섬진강에서 12-67%로 강우기에 높은 비율을 보였고, 비강우기에는 덕양천과 남수천, 길호천에서 높은 비율을 보였다. 이상의 결과로부터 광양만의 질소와 인의 유입부하를 제어하기 위해서는 먼저 남수천, 덕양천, 길호천의 유입을 그리고 동천과 주교천 및 공장폐수를 제어하는 것이 효과적일 것으로 판단되었다. 유입 하천수 중의 DIN/DIP 원소비는 강우기인 7, 8월에 약 18정도로 낮았고, 비강우기에는 16보다 훨씬 높은 DIN/DIP비를 보였다. 한편, TN/TP 원소비도 7, 8월에 일시적으로 7정도로 낮았고, 비강우기에는 16를 훨씬 상회하는 값을 대부분 보여 질소 보다는 유입수중의 인이 광양만 해역의 식물플랑크톤의 성장을 제한할 것으로 추정되었다.

Abstract – We estimated the loadings of nitrogen and phosphorus flowing into Gwangyang Bay from river for monthly interval from April to December of 2003. We analyzed the concentrations of nitrogen and phosphorus in water and estimated the flowing rates of fresh water in 34 rivers. The amounts of water flowing into the Gwangyang Bay from Sum-Jin River was 51-76% in the total inflow of the river. The river water over 96% of discharge was from SumJin River, Dong River, Ju-Kyo River, Seo River and ShinKyum River. The flowing patterns of nitrogen and phosphorus into Gwangyang Bay were similar to the flowing of river. The nitrogen and phosphorus loadings into the Bay were higher in July and August than in dry seasons. In particular, the concentrations of phosphorus were high in Namshu River, Deukyang River and Kilho River sewage during in dry seasons. The range of DIN and TN loadings from SumJim River were 46-66% and 36-64%, respectively. The loading of DIP and TP from SumJim River were 2-55% and 12-67%, respectively. These results show that the most efficient control of N, P flow into Gwangyang Bay is to restrain the inflows of N, P from Namshu River, Deukyang River and Kilho River and to restrain the flows of N, P from Dong River, Ju-Kyo River and industrial

*Corresponding author: dokimg@mmu.ac.kr

plant. The DIN/DIP atom ratio in river water was about 18 in July and August, while the ratio was more higher in dry seasons than July and August of rainy seasons. The TN/TP atom ratio in river water was about 7 in rainy seasons, while the ratios were higher than 100 in the other months of dry seasons.

Keywords: Loading(부하량), Gwangyang Bay(광양만), nitrogen(질소), phosphorus(인)

1. 서 론

연안 해역은 해역의 이용 측면이나 해양생물의 산란, 성육의 장으로 중요할 뿐만 아니라 생활공간과 산업적인 측면에서 매우 중요한 곳이다. 광양만 해역은 오래기간 동안 수산생물의 산란과 성육의 장으로 이용되는 천해의 어장이기도 하였으며 김 양식업의 발상지이기도 하다.

그러나 1970년대 이후 연안개발과 대규모 공업단지의 조성으로 해안선이 변화되고, 공장폐수와 생활하수 등 육상으로부터 오염물질 유입이 증가하여 극심한 수질오염을 보이고 있다. 특히, 최근 개발 위주의 정책으로 매립이나 간척에 의한 육상으로부터의 영향은 물론 산업폐수를 비롯한 생활하수의 유입으로 연안해역이 극도로 오염되고 있다. 광양만으로의 담수의 유입은 주로 섬진강, 주고천, 동천, 수어천, 백운천 등을 통해 유입되고 있다. 특히, 광양만 해역은 산업 활동과 인간 활동의 영향을 많이 받고 있는 해역으로 육지와 하천 및 공단으로부터 영양염을 포함한 오염물질이 다량 유입되고 있어 현재 해양수산부에서는 광양만을 특별해역으로 지정하여 수질 오염도의 지속적인 감시와 오염저감을 위한 조치가 이루어지고 있다(해양수산부 [2002]).

연안 해역의 오염의 지표 중 질소와 인은 해역의 오염 정도를 나타내는 지표로 이용될 뿐만 아니라 생물생산 제한인자로서 알려져 있다(Matsukawa [1990]). 특히, NH_4^+ -N, NO_2^- -N, NO_3^- -N, PO_4^{3-} -P와 같은 원소들은 해양 생물의 성장에 필수적인 원소로서 해수 중에서 이들 원소가 부족할 때에는 식물플랑크톤의 성장을 제한할 뿐만 아니라 과잉으로 존재할 경우에는 부영양화 및 적조를 유발할 수 있다(龍本 등 [1991]).

따라서, 연안 해역의 바람직한 해역관리를 위해서는 가장 문제 시되고 있는 대상 오염물질의 유입원의 파악과 함께 그 오염물질의 관리 대책이 요구되고 있다. 즉, 연안해역의 수질 오염을 예방하고 해역의 수질을 개선하기 위해서는 대상 해역에서의 주요 오염물질의 발생원 및 발생량을 정확히 파악해야만 효율적인 연안해역의 수질관리 대책을 세울 수 있다(이와 김 [1998]).

해역으로의 오염부하의 조사에는 점원 조사와 비점원 조사로 구분된다. 점원조사에는 주로 하천과 공장의 오염부하를 조사하고, 비점원 오염 조사는 환경부에서 고시된 오염원단위를 기준으로 한 생활계, 산업계, 축산계, 수산계, 농지, 산림, 지하수 등의 오염원별로 발생 부하량과 배출 부하량으로 조사된다.

광양만을 포함한 연안 해역으로의 영양염의 유입부하 분포에 관한 연구로는 이와 김 [2002]에 의한 가막만 유역의 오염부하 특성에 관한 연구 있고, 이 등 [2001]에 의한 점원 오염부하 제어에

의한 광양만의 수질관리에 관한 연구가 보고되었다. 특히, 이 등 [2001]은 오염부하 삭감을 통한 광양만의 수질회복 시뮬레이션을 수행한 결과, Chl.-a 10 ug/l와 COD 2 ug/l 이하로 유지하기 위해서는 점원 오염부하를 35% 삭감해야 한다고 보고하였다. 그러나 기존의 연구 조사는 외부부하인 유달 부하량의 조사와 함께 10개 하천에 대해 10월과 1월 2회에 조사되었고(이와 김, [2002]), 부하 삭감을 가정한 수질회복 시뮬레이션을 통한 연구였다(이 등, [2001]).

따라서 본 연구에서는 광양만 해역의 질소와 인의 점오염원의 평가와 함께 수질개선을 위한 자료를 제공하기 위해 우선 광양만으로 유입되고 있는 33개 하천과 광양제철소의 방류수의 오염부하를 조사하여 질소와 인의 각 점원의 오염 부하량과 그 유입부하율을 조사하여 효율적인 질소, 인의 제어방안을 제시하였으며, 아울러 N/P의 원소비를 조사하여 광양만 해역에서의 조류 성장의 제한인자를 추정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사대상 유역 및 조사지점

조사 대상인 광양만 유역은 여수 해안 북측과 하동 화력 발전소의 최서측 지점과 남해도 최서측 지점을 있는 직선의 서측으로, 광양시(1개 읍, 4개동, 6개면), 여수시(4개동, 2개면), 순천시(2개면), 하동군(1개읍, 4개면) 및 남해군(2개면)을 포함한 지역을 대상 유역으로 하였다. 하천 조사는 2003년 4월부터 12월까지 Fig. 1에 표시된 34개 하천에서 월별, 각 하천의 수심과 유량의 폭을 조사하여 유량의 단면적을 조사하는 동시에 유속을 조사하여 유량의 단면적과 유속을 곱해서 월별 각 하천의 담수 유입량을 구하였다.

단, 웨어가 설치되어 있는 하천에서는 웨어의 형태와 폭, 수심 등을 조사해서 각 하천의 담수 유입량을 구하였다. 공장폐수의 유입은 POSCO(광양제철소)에서 광양만으로 유입되는 최종 방류구의 유량 조사와 함께 방류수를 채수한 후 각 형태의 질소와 인을 분석하였으며, 타 공장에서의 유입 부하량의 조사는 현지 사정상 조사를 실시하지 못하였다.

2.2 조사항목 및 방법

조사 대상 해역으로 유입되는 34개 하천(Fig.1)에 대하여 2003년 4월부터 12월에 걸쳐 월별로 유입 하천수를 채수하여 실험실로 옮긴 후 NH_4^+ -N, NO_2^- -N, NO_3^- -N, PO_4^{3-} -P와 TN, TP의 농도를 분석하였다. 암모니아질소는 Indophenol법으로, 아질산질소는 Sulfanilamide-NED법으로, 질산질소는 Cadmium-reduction법으로 비색 정량하였으며, DIN은 NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^- -N의 합으로 구하였

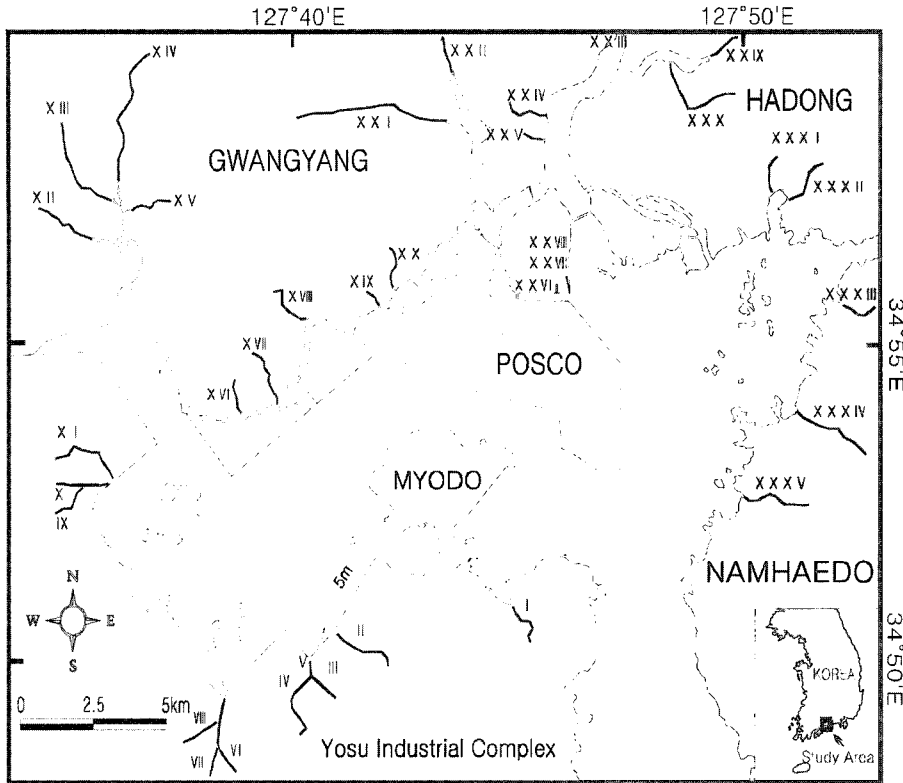


Fig. 1. Sampling stations in rivers flowing into Kangwang Bay (I:삼양천, II:중흥천, III:남수천 1, IV:남수천 2, V:남수천 합류지점, VI:덕양천 1, VII:덕양천 2, VIII:소라천, IX:울촌천 1, X:울촌천 2, XI:호두천, XII:신촌천, XIII:서천, XIV:동천, XV:억만천, XVI:금곡천, XVII:하포천, XVIII:도리천, XIX:길호하수 유입구, XX:길호천, XXI:신금교천, XXII:수어천, XXIII:섬진강, XXIV:망덕천, XXV:선소천, XXVI, XXVII, XXVIII: POCO, XXIX: 주교천, XXX:진정천, XXXI:사등천, XXXII:소송천, XXXIII:덕신천, XXXIV:대사천, XXXV:정포천).

다. 인산인(PO_4^{3-} -P, DIP)은 Ascorbic acid법으로 분석하였고, 총질소(TN)와 총인(TP)은 과황산칼륨 분해법으로 분석하였다(APHA·AWWA WPCF [1980]; 해양수산부 [1998]). 하천별 질소와 인의 유입 부하량의 계산은 각 하천에서 조사된 월별 담수 유입량에 분석된 각 형태의 질소와 인의 농도를 곱해서 각 하천별 월별 질소와 인의 유입 부하량을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 월별 강우량 및 담수 유입량

순천시방 기상대 [2003] 자료에서 구한 강우량은 7월의 경우

31일 중 6일간을 제외하고는 25일간이나 비가 내려 494 mm의 강우량을 기록하였다. 8월에도 15일간 비가 내려 총 365 mm를 기록하였고, 9월에 274 mm, 5월에 206 mm, 6월에 160 mm, 10월에 30 mm로 평년과 달리 2003년에 아주 많은 비가 내렸으며, 특히 7, 8월에 많은 비가 내렸다(Fig. 2).

하천의 유량 분포도 강우량의 월별 분포와 유사하였으며, 34개 하천의 전체 담수 유입량 중에서 2% 이상을 차지하는 주요 하천은 섬진강, 동천, 주교천, 서천, 신금교천으로, 전체 담수 유입량의 96% 이상을 이들 하천이 차지하고 있으며, 특히 섬진강의 경우 약 51-76%를 차지하고 있었다(Fig. 3).

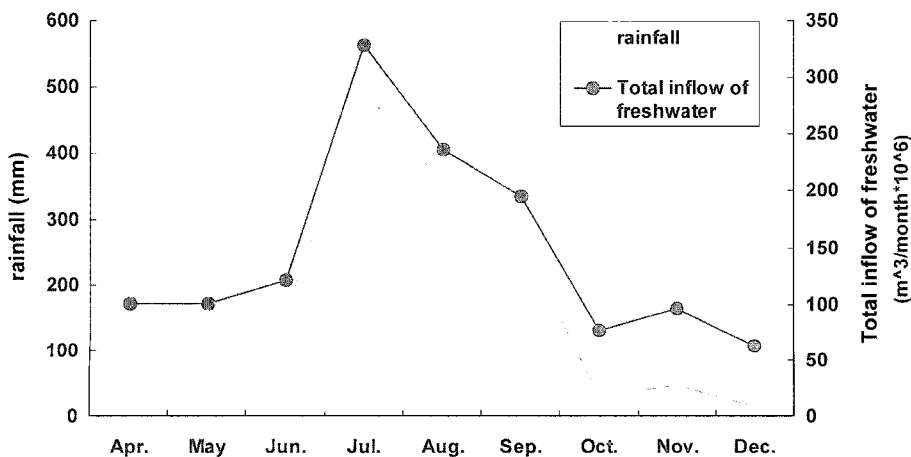


Fig. 2. Rainfall and freshwater flowing into Gwangyang Bay from April to December 2003.

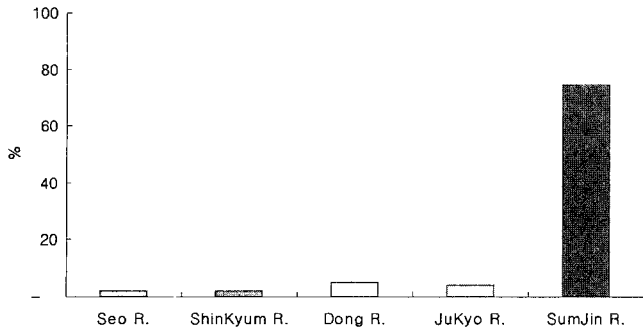


Fig. 3. Ratios of mean flows of freshwater flowing into Gwangyang Bay from a major rivers.

3.2 월별 각 하천별 질소와 인의 농도와 유입부하

각 하천별, 월별 각 형태의 질소, 인의 농도를 분석한 결과, 지점별로는 질소, 인 모두 광양제철소와 하포천에서 그리고 광양시 인근의 길호천과 구여천시 인근의 덕양천에서 높은 농도를 보였다. 반면에 유량이 가장 큰 섬진강과 실개천인 망덕천에서는 질소, 인의 농도가 모두 낮은 분포를 보였다. 시간별로는 역시 질소와 인 모두 비강우기에 높은 농도를 보였고, 강우기에 낮은 농도를 보였다. 특히, 비 강우기인 4, 5, 10, 11월에 생활하수가 유입되고 있는 광양시 부근의 길호천과 여천시 부근의 덕양천에서 높은 농도를 보였다.

DIN의 유입 부하량은 61,131-311,173 kg/월의 범위로 7, 8월 강우기에 담수 유입량의 증가로 인해 많은 양의 DIN이 유입되고 있었고, 4, 5월 비강우기에 적은 양이 유입되고 있었다. 이는 비강우기에는 그 농도가 높았으나 담수 유입량이 적은 까닭에 결과적으로 강우기에 비해 비강우기에 적은 양의 DIN이 유입되고 있음을 알 수 있었다. 하천별 DIN의 유입 비율은 섬진강이 36-66%, 광양제철소가 1-10%, 주교천이 1-12%, 덕양천-2가 2-12%, 길호 하수 유입 지점이 1-4%, 동천에서 1-20% 순으로 유입되고 있었다(Fig. 4).

TN의 총 유입량은 119,710-417,733 kg/월의 범위로 7월과 6월의 순으로 많은 양이 유입되고 있는 반면에 12, 10, 11월에 적게 유입되고 있었다(Fig. 5). 특히, 동천에서는 7월에 가장 많이 유입되고 있었고, 덕양천-2에서는 4월과 5월에 많은 양의 TN이 유입되고 있었다. 7월에 동천에서 총질소의 유입량이 특히 많은 것은 다른 시기에 비해 유량은 적으나 그 농도가 5배 이상으로 높았기 때문에 많은 양의 TN이 유입되고 있었다. 하천별 TN의 유입비율은 DIN의 유입 비율과 유사하게 섬진강에서 34-64%, 동천에서 2-36%, 덕양천에서 2-9%, 길호천 하수유입 지점에서 1-5%, 주교천에서 1-13%, 광양 제철소에서 1-6%로 유입되고 있었다(Fig. 6).

한편, DIP의 유입은 평균 1,539-50,553 kg/월의 범위로 7, 8월에 많은 양의 DIP가 유입되고 10월과 12월에 적은 양이 유입되고 있었다(Fig. 7). 특히, 강우기인 7, 8월에 섬진강으로부터 많은 담수 유입량으로 인해 많은 양의 DIP가 유입되고 있었고 비강우기

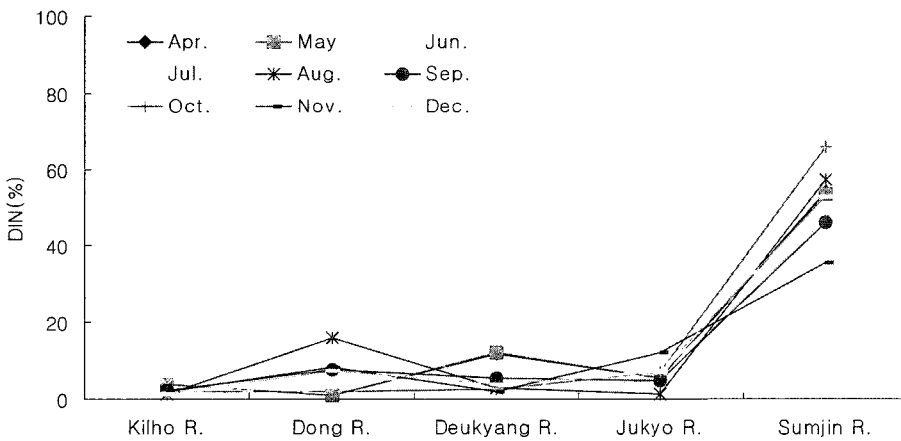


Fig. 4. The ratios of DIN loading into Gwangyang Bay from a major rivers.

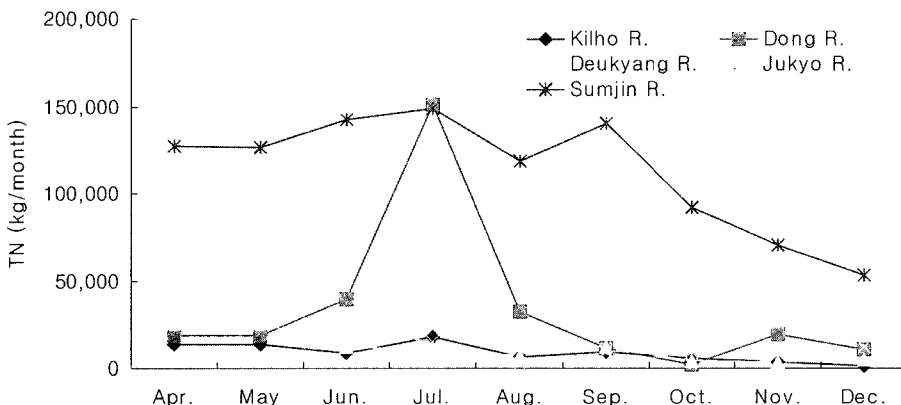


Fig. 5. The amounts of TN flowing into Gwangyang Bay from a major rivers.

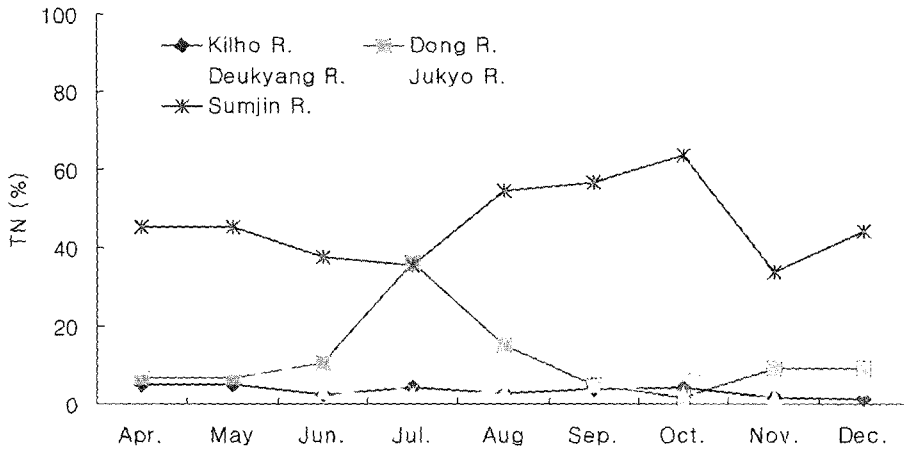


Fig. 6. The ratios of TN loading into Gwangyang Bay from a major rivers.

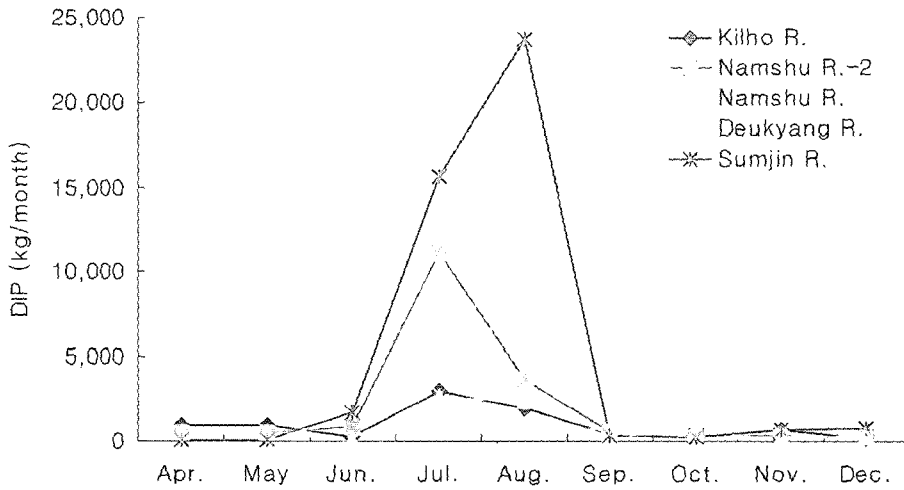


Fig. 7. The amounts of DIP from a major rivers flowing into Gwangyang Bay.

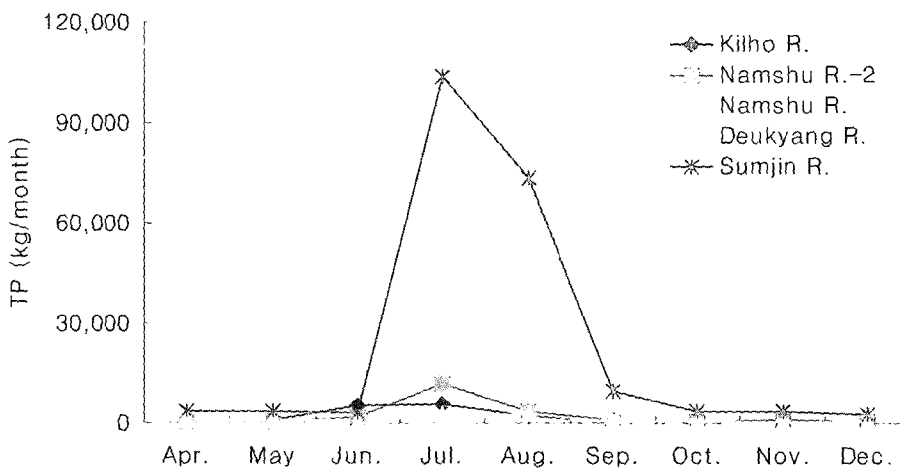


Fig. 8. The amounts of TP from a major rivers flowing into Gwangyang Bay.

인 4, 5월에는 길호천과 남수천 및 덕양천에서 높은 농도로 인해 많은 양의 DIP가 유입되고 있었다. 여천시 인근의 남수천의 경우에도 7월에 높은 농도로 인해 많은 양의 DIP가 유입되고 있었다.

하천별 DIP의 유입 비율은 섬진강에서 2-55%, 남수천-2에서 8-23%, 길호천 하수유입 지점에서 5-33%, 덕양천-2에서 1-23%, 남수천 하류에서 3-18%, 주교천에서 1-4%, 동천에서 1-7% 순으로 유입되고 있으며, 특히 남수천-2와 길호천 하수 유입 지점에서 많

은 양의 DIP가 유입되고 있는 것으로 보아 생활하수로 인해 많은 양의 DIP가 광양만으로 유입되고 있음을 알 수 있었다. 반면에 질소의 유입량이 많았던 광양 제철소에서는 DIP의 유입 비율은 1% 미만으로 미미하였다.

한편, TP의 월 유입량은 1,539-25,729 kg/월로 질소와 DIP와 같이 7, 8월에 가장 많이 유입되고 있었고, 10월과 12월에 적은 양으로 유입되고 있었다(Fig. 8). 하천별 TP의 유입 비율은 섬진

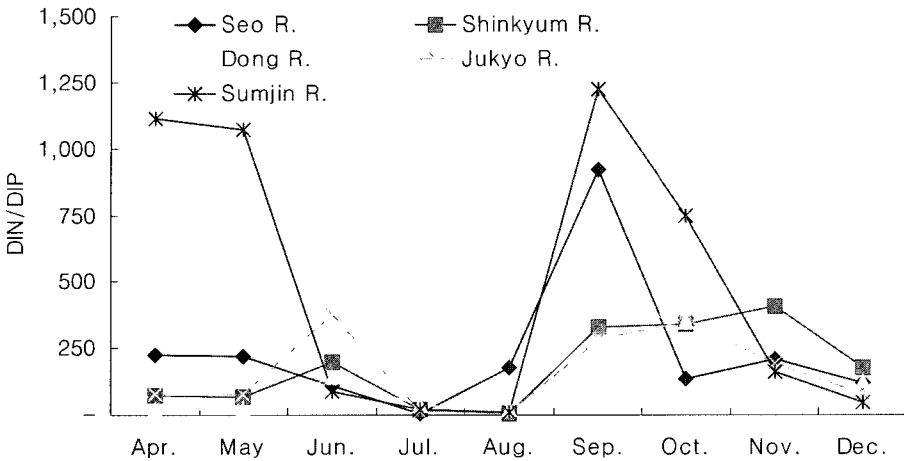


Fig. 9. DIN/DIP atom ratio in a major river waters flowing into Gwangyang Bay.

강에서 12-67%, 길호 하수 유입 지점에서 2-21%, 덕양천-2에서 1-11%, 남수천-2에서 3-8%, 남수천 하류에서 1-9%, 주교천에서 1-10%, 동천에서 1-8%였으며, 다음으로 신금교천 순으로 유입되고 있었다. 광양 제철소에서는 DIP와 마찬가지로 4, 5월에 그 유입 비율이 5%를 차지하였으나 다른 시기에는 아주 낮은 비율로 유입되고 있었다.

따라서 광양만으로의 질소와 인의 유입저감을 위해서는 우선적으로 광양시 인근의 길호천과 구 여천시 인근의 덕양천 및 남수천에서 유입되고 있는 질소와 인을 차단하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단되었다. 다음으로 동천, 주교천 및 공장폐수에서 유입되는 질소를 제어하는 것이 효과적일 것으로 사료되었다. 물론 지점별로 섬진강에서 유입되고 있는 질소와 인의 양과 그 비율이 가장 높으나 이는 각 지천 및 비점원에서 발생된 것이 섬진강으로 모여 유입되고 있는 것으로 생각되기 때문에 섬진강의 유입수 중의 질소와 인을 제어하기 보다는 각 발생원에서 유입되고 있는 질소와 인을 사전에 차단, 제어하는 것이 더욱 효과적일 것으로 판단된다.

권 등 [2001]은 섬진강 하구역에서 염분 농도에 따른 영양염 거동을 조사한 결과, 질산질소와 규산염의 주 공급원은 섬진강이며, 아질산질소와 인산인은 광양만으로 유입되는 도시하수와 공장폐

수의 영향을 받고 있다고 보고하였다. 한편, 이와 조 [2002] 가막만의 수질관리를 위해서 하천을 통한 유입오염물질의 제어와 함께 해역 자체의 내부부하의 삭감을 강조하였고, 조와 강 [2003] 도시물레이션을 통한 하천의 유입부하 감소와 저질용출 부하 삭감에 따른 제주항의 수질 개선 효과를 검토한 결과, II등급의 수질을 유지하기 위해서는 하천의 유입뿐만 아니라 저질개선을 지적하였다. 따라서 해역의 수질개선을 위해서는 하천의 유입부하의 제어뿐만 아니라 해역자체의 오염부하의 제어도 중요하리라 생각된다.

3.4 유입 하천의 N/P 원소비

유입 하천수 중의 월평균 DIN/DIP 원소 비는 18-813으로 그 변화 폭이 아주 크고, 담수 유입량이 적었던 9, 10, 11, 12월에 높았다. 반면에 담수 유입량이 많았던 7, 8월에 18-24로 다른 기간에 비해서 다소 낮았다(Fig. 10). 즉 비강우기에는 DIP의 유입량에 비해 DIN의 유입량이 많이 유입되고 있었고, 반대로 7, 8월의 집중 강우기에는 DIN에 비해 DIP의 유입량이 많이 유입되고 있음을 알 수 있었다. 이는 비강우기에 발생되었던 DIP가 농경지나 육상에 흡착되었다가 강우기에 부유입자와 함께 하천으로 유입된 결과 때문으로 사료된다.

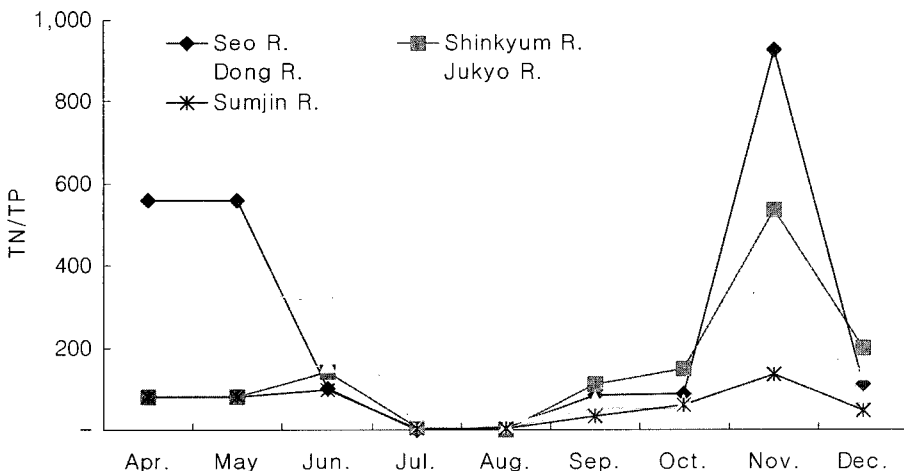


Fig. 10. TN/TP atom ratio in a major rivers water flowing into Gwangyang Bay.

특히, 섬진강에서 이와 같은 현상이 뚜렷하여 7, 8월에 DIN/DIP 원소비가 10-21인데 비하여 비강우기에는 90 이상을 넘었고, 광양제철소나 울촌 공단 인근에서도 높았다. 반면에 생활하수인 길호천에서는 3-24, 2-21로 특히 비강우기에는 평균적으로 Redfield [1963]의 원소비인 16보다 낮은 값을 보였다. 생활하수인 남수천에서도 3-39로 낮았고 길호천에서와 같이 비강우기에는 16이하였으며 덕양천에서도 5-63를 보여 생활하수가 유입되고 있는 하천에서는 비강우기에는 질소가 제한인자로 강우기에는 인산염이 제한인자로 작용하는 반면에 일반적인 하천에서는 그 반대 현상을 보였다.

이와 같은 결과는 장과 최 [2002]의 제주도의 중문 관광단지 연안 해역에서의 DIN/DIP 원소비가 10-15로 질소가 제한인자로, 하계 6월에는 DIN/DIP 원소비가 높게 나타나 인산염이 제한인자로 보고된 결과와 비슷한 결과를 보였다. 한편, 권 등 [2002]은 섬진강 하구역에서 1999년 3월부터 2001년 10월까지 12회의 조사한 결과, DIN/DIP 원소비가 15-68로 계절에 관계없이 큰 변동을 보였으며 대개 16이상으로 식물플랑크톤의 성장 제한 영양염이 인산염에 반하여 고 염분 지역인 난초도 주변에서는 광양만으로부터의 인산염의 공급으로 인해 16이하로 나타나 질소가 제한인자로 작용한다고 보고하였다. 따라서 DIN/DIP의 원소비의 변화는 조사 당시의 질소와 인의 공급과 식물플랑크톤의 성장에 따라서 크게 변동되는 것으로 생각된다.

한편, TN/TP 원소비도 DIN/DIP의 원소비와 마찬가지로 월평균 7-380으로 그 변동 폭이 크고 담수 유입량이 적었던 10월과 4, 5, 10, 11월에 높았고, 담수 유입량이 많았던 7, 8월에 낮았다(Fig. 10). 즉, 비강우기에는 총질소가 많이 유입되고 있었고, 강우기에는 총인이 많이 유입되고 있음을 알 수 있었다. TN/TP의 원소비도 DIN/DIP의 원소비와 마찬가지로 생활하수인 길호천에서는 4-48, 남수천에서는 2-30, 덕양천에서는 8-68로 갈수기를 제외하고는 대부분 16이하를 보였다.

4. 결 론

수질오염의 지속적인 감시와 수질개선 방안이 요구되고 있는 광양만 해역을 대상으로 33개 하천과 포항제철부터 유입되는 질소와 인의 점원 오염 부하량을 2003년 4월부터 12월까지 월별 조사를 실시한 결과는 아래와 같다.

가) 광양만으로 유입되고 있는 전체 33개 하천수의 전체 유입량 중 섬진강, 동천, 주교천, 서천 및 섬교천이 96% 이상을 차지하며, 특히 섬진강이 51-76%나 큰 비율로 유입되고 있었다.

나) DIN과 TN의 유입부하는 7월에 최대였고 4월과 12월에 최소로, 하천별로는 섬진강, 동천, 덕양천, 길호천, 주교천 순이었다. 그 외 하천에서는 1% 미만으로 유입하고 있었다.

다) 한편, DIP과 TP의 유입 부하도 7월에 최대였고 10월에 최소를 보였다. 하천별로는 강우기에는 섬진강이 높은 비율을 보인 대신 비강우기에는 생활하수인 남수천, 덕양천, 길호천에서 높은

비율을 보였다.

라) 이상의 결과로부터 광양만의 질소와 인의 유입부하를 제어하기 위해서는 먼저 생활하수인 여천시 부근의 남수천, 덕양천과 광양시 부근의 길호천에서 유입되고 있는 질소와 인을 차단하고, 다음으로 동천과 주교천 및 공장폐수를 제어하는 것이 효과적일 것으로 판단되었다. 물론 섬진강에서 유입되고 있는 질소와 인의 양과 그 비율이 절대적으로 높으나 이는 각 지천 및 비점원에서 발생된 것이 섬진강으로 모여 유입되고 있는 것으로 생각되기 때문에 섬진강의 유입수 중의 질소와 인을 제어하기 보다는 차후에 지천과 생활계, 농축산 등의 비점원을 조사하여 각 발생원에서 유입되고 있는 질소와 인을 사전에 차단, 제어하는 것이 더 효과적일 것으로 생각된다.

라) 유입 하천수 중의 DIN/DIP 원소비는 강우기인 7, 8월에 약 18정도로 낮았고, 비강우기인 4, 5, 6, 9, 10월에 16보다 높은 DIN/DIP 비를 보였다. 한편, TN/TP 원소비도 7, 8월에 약 7정도로 낮았고, 비강우기에는 100 이상으로 높은 비율을 보였다.

이는 질소보다 육지에 축적, 흡착성이 높은 인산염이 강우기에 질소에 비해 많이 유입되고 있기 때문으로 판단되며, 유입 하천수 중에서의 N/P의 원소비가 대부분이 식물플랑크톤의 성장을 제한하는 Redfield's 원소비인 16 보다 높아 해역에서의 조류 성장의 제한 인자는 질소보다는 인산염이 크게 작용될 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 권기영, 문창호, 양한섭, 2001, 섬진강 하구역에서 염분경사에 따른 영양염의 거동, 한국수산학 회지, Vol. 34, No. 3, 199-206.
- [2] 권기영, 김창훈, 문창호, 박미옥, 양성렬, 2002, 생물검정 실험에 의한 섬진강 하구역 식물플랑크톤 성장의 제한영양염 평가, 한국수산학회지 Vol. 35, No. 5, 455-462.
- [3] 기상청 기후자료, 2003. //www.kma.go.kr.
- [4] 이대인, 조현서, 2002, 가막만 유역의 오염부하 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, Vol. 11, No. 9, 945-954.
- [5] 이대인, 박청길, 조현서, 2001, 점원 오염부하 제어에 의한 광양만의 수질관리, 한국해양환경공 학회지, Vol. 4, No. 3, 28-39.
- [6] 이남일, 김광수, 1998, 목포항에 유입하는 오염부하량 산정(비강우시 육상오염 부하를 중심으로), 한국해양환경공학회 1998년도 추계학술대회 논문집, 53-60.
- [7] 장승민, 최영찬, 2002, 제주도 중문관광단지 연안해역 수질의 계절변동, 한국해양환경공학회 지, Vol. 5, No. 2, 3-18.
- [8] 조원일, 강기봉, 2003, 물질순환 모델을 이용한 제주항의 수질관리, -오염부하의 정량적 관리-. 한국환경과학회지, Vol. 12, No. 3, 307-317.
- [9] 해양수산부, 2002, 환경관리해역 환경개선연구, 223-226.
- [10] 해양수산부, 1998, 해양환경공정시험법, 142-155.
- [11] APHA · AWWA WPCF, 1980, Standard Method for the Exam-

- ination of Water and Waste Water, 15th ed., American Public Health Ass., Washington D. C., 370-373.
- [12] Matsukawa Y., 1990, "Behaviour of nitrogen and phosphorus in estuaries, J. of Oceanography Japan (沿岸研究)", Vol. 28, No. 1, 43-48.
- [13] Redfield, A.C., B.H. Ketchum and F.A. Richards, 1963, The influence of organisms on the composition of sea-water. pp. 26-77, In *The Sea*, Vol. 2 (M. N. Hill, ed), Wiley Interscience, New York.
- [14] 瀧本 和人, 向井 徹雄, 紫田 輝一, 小林 馨, 1991, 廣島灣 北部海域における藻類 増殖に對する制限因子の検討, 用水と廢水, Vol. 33, No. 7, 12-18.

2004년 2월 23일 원고접수

2005년 1월 17일 수정본 채택