

도림천 상류의 pH, NO₃⁻, PO₄³⁻와 식물성 플랑크톤 분포와의 관계

김 재 근* / 김 태 현** / 유 지 민*** / 이 주 연****

Relationships between pH, NO₃⁻ and PO₄³⁻ and phytoplankton distribution in the upper stream of Dorim-cheon

Jae Geun Kim* / Taehyeon Kim** / Jimin Yoo*** / Juyeon Lee****

요약 : 하천은 다양한 환경을 가지며 수생생물의 주 서식처로서의 역할을 한다. 식물성 플랑크톤의 분포는 pH, 질소, 인과 같은 수환경에 의해 영향을 받는다. 식물성 플랑크톤의 분포와 수환경간의 관계를 밝히기 위하여, 서울의 도림천 상류 10곳에서 pH, NO₃⁻와 PO₄³⁻의 농도 그리고 식물성 플랑크톤을 조사하였다. pH는 5.05 ~ 7.56의 범위에 있었으며, NO₃⁻와 PO₄³⁻의 농도는 0.4 ~ 4.9ppm와 0.02 ~ 0.99ppm의 범위에 있었다. 서울대학교 교로부터 PO₄³⁻이 유입되는 것으로 확인되었지만 그 농도는 그리 높지 않았으며, 400m 정도 지나면 거의 모두 정화되었다. NO₃⁻/PO₄³⁻ 비율은 유입되는 PO₄³⁻의 영향을 받는 곳을 제외하면 28 ~ 152의 범위로 나타났다. pH, NO₃⁻, PO₄³⁻의 농도는 하류로 갈수록 증가하였으며, 이는 한강 본류에서 끌어온 물의 유입뿐만 아니라 비점 오염원으로부터의 유입과 관련되었다. 일반적으로 NO₃⁻의 농도가 3.5ppm 보다 높아지면 식물성 플랑크톤의 밀도가 급격히 증가하였으며, PO₄³⁻의 경우는 농도가 0.07ppm 이상이 되어야 증가하는 것으로 나타났다. NO₃⁻/PO₄³⁻ 비율이 50 이상일 때 식물성 플랑크톤의 밀도는 낮게 나타났다.

주요어 : pH, NO₃⁻, PO₄³⁻, NO₃⁻/PO₄³⁻ 비율, 식물성 플랑크톤, 도림천

Abstract : The stream has various environments and they are serving as main habitats of aquatic organisms. The distribution of phytoplankton is affected by water environment, especially pH, nitrogen and phosphorus. To reveal the relationship between phytoplankton distribution and water environment, we measured pH, NO₃⁻ and PO₄³⁻ concentration, and abundance of phytoplankton at 10 sites in the upper stream of Dorim-cheon. pH value ranged 5.05 to 7.56. NO₃⁻ and PO₄³⁻ concentrations ranged 0.4 ~ 4.9ppm and 0.02 ~ 0.99ppm, respectively. A point source of NO₃⁻ was Seoul National University but concentration was not high and dropped to normal range at 400m downstream. NO₃⁻/PO₄³⁻ ratio ranged 28 to 152 except site 4 (0.4) where was affected by PO₄³⁻ point source. Water pH, NO₃⁻ and PO₄³⁻ concentrations increased with downstream and were related to the input of irrigation water from Han-river between site 5 and 6. Bacillariophyceae algae dominated this stream. Phytoplankton density increased abruptly at downstream of site 5. In general, phytoplankton density did not increase until the NO₃⁻ concentration of 3.5ppm and PO₄³⁻ concentration of 0.07ppm. Phytoplankton density was low at sites where NO₃⁻/PO₄³⁻ ratio was larger than 50.

Keywords : pH, NO₃⁻, PO₄³⁻, NO₃⁻/PO₄³⁻ ratio, phytoplankton density, Dorim-cheon

+ Corresponding author : jaegkim@snu.ac.kr

* 정희원 · 서울대학교 생물교육과 교수 · E-mail : jaegkim@snu.ac.kr

** 비희원 · 서울대학교 생물교육과 · E-mail : gimpo321@snu.ac.kr

*** 비희원 · 서울대학교 생물교육과 · E-mail : yoojimin11@snu.ac.kr

**** 비희원 · 서울대학교 생물교육과 · E-mail : vostqueen@snu.ac.kr

1. 서 론

하천은 인간을 포함한 모든 생물의 서식 공간이며 자연생태계 순환의 중요한 구성요소이다(강수학 2007). 하천생태계는 미생물을 통해 인과 질소 등 무기 영양염류를 정화시켜 하천의 부영양화를 감소시키는 등 환경적으로 중요한 역할을 한다(환경부 2002). 수자원으로서 하천 지표수의 중요성이 인식되면서 지표수의 수질을 개선하고 보존하려는 많은 연구가 수행되어 왔으며, 외국에서는 이미 오래 전부터 지속적인 지표수의 화학적 특성에 관한 연구와 지표수의 수질 모니터링시스템이 구축되었다(Livingstone 1963, Cobb and Biesecker 1971, Meybeck 1979, Stallard and Edmond 1983, Green and Canfield 1984, Cosby et al. 1985, Berner and Berner 1987, Stallard and Edmond 1987, Driscoll et al. 1989, Sarin et al. 1989, Zhang et al. 1995). 수질 특성 또는 모니터링은 주로 수온, pH, 영양염류의 농도, DO 등을 대상으로 이루어졌다(전용원 1997).

수질 모니터링의 대상 요인 중 pH, 질산, 인산, 질산과 인산의 비율(이하 N/P Ratio)은 식물성 플랑크톤의 서식을 결정하는 중요한 요인들이다(김은경 2007). 식물성 플랑크톤은 저서성 조류, 대형 습지식물들과 함께 하천의 1차 생산자 역할을 하며(김종원 등 2009), 1차 생산자는 한 생태계에서 먹이사슬의 시작이라 할 수 있을 정도로 생태계에서 중요한 역할을 한다(최철만 등 2007). 실제로 식물성 플랑크톤이 대량으로 발생하면, pH와 유기물 함량이 증가하고 상위 소비자인 동물성 플랑크톤 및 영양물질과 용존산소의 분포도 영향을 받는다(Kemp and Boynton 1981, Boynton et al. 1982, Coffin et al. 1987, Sunbaeck et al. 1990). 식물성 플랑크톤은 이렇게 수중 생태계에 많은 영향을 끼칠 뿐 아니라 전기전도도, pH, 온도, 무기물 등 다양한 환경 요인에 의한 영향을 받기도 한다.

다양한 수환경의 물리화학적 특징들은 담수

수계의 식물, 저서조류 및 식물성 플랑크톤에 많은 영향을 끼친다. 예를 들어, 담수 수계에서 질소와 인이 과다 유입되면 일차 조류가 증가하고 저질 퇴적층이 축적되어 영양염 재순환이 활발해지는 등 수질이 악화된다. 또한 과다한 영양염류는 조류의 생물량을 증가시키며 특정 조류의 번식으로 인한 종 다양성 감소 등 군집 구조의 변화를 일으킨다(조경제와 신재기 1998). 또한 N/P Ratio는 담수 조류의 종 구성에 영향을 끼친다. 예를 들면, 질소 성분의 변동에 따라 *Microcystis*와 같은 비질소 고정 남조류에서 *Anabaena*와 같은 질소 고정 남조류로 천이가 일어난다(Leonardson and Ripl 1980, 이어진 2011). 이러한 연구 결과들을 통해 하천 주변의 환경이 하천의 수환경에 영향을 미치고, 담수 조류의 성장 및 개체수와 수환경 간의 상관관계가 존재할 것이라 예상할 수 있다.

본 연구에서는 서울특별시 관악구에 위치한 도림천 조사 자료를 토대로 도림천의 수환경(pH, 질산, 인산, $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ ratio)에 따른 식물성 플랑크톤의 분포를 연구하였다. 식물성 플랑크톤 중 조사지소에 대다수 분포하는 규조강, 녹조강, 남조강을 연구 대상으로 선정하였다. 본 연구의 결과는 상류에서 하류로 내려가며 나타나는 식물성 플랑크톤의 분포와 수환경사이의 상관관계를 통해 질산과 인산의 유입이 수중 생태계에 어떠한 영향을 미치는지 이해하는데 도움이 될 것이다. 또한 본 논문은 현재 도림천 상류의 영양 상태를 파악할 수 있는 자료가 될 것이다.

2. 연구방법

2.1. 조사지소

본 연구가 이루어진 도림천은 관악산의 북사면인 관악구 신림동에서 발원하여 북서쪽으로 유로가 형성되어 도심지를 통과하는 하천이다. 지류로는 봉천천과 대방천이 있으며, 영등포구에서 안양천과 합류한다. 서울시 구로구, 금천구, 영등포구,

동작구, 관악구 등 5개의 행정구역으로 구성되는 유역면적 40.96km², 유로연장 14.20km, 유역 평균폭 2.95km의 배수구역이다(이승중 등 2005). 2011년 9월 도림천에서 조사가 이루어졌다. 도림천의 상류인 관악산 계곡에서 물이 지표로 흐르기 시작하는 부분부터 신림역 부근까지 총 10개의 조사지소를 선정하였다(Figure 1). 조사지소 1은 수중보로 인하여 물이 고인 수중동산이었다. 조사지소 4의 바로 상류에서는 서울대에서 하수가 유입되고 있으며, 조사지소 6과 7사이에 복개구간이 존재한다. 조사지소 7의 상류에서는 한강 본류에서 끌어온 물이 방류되고 있다.

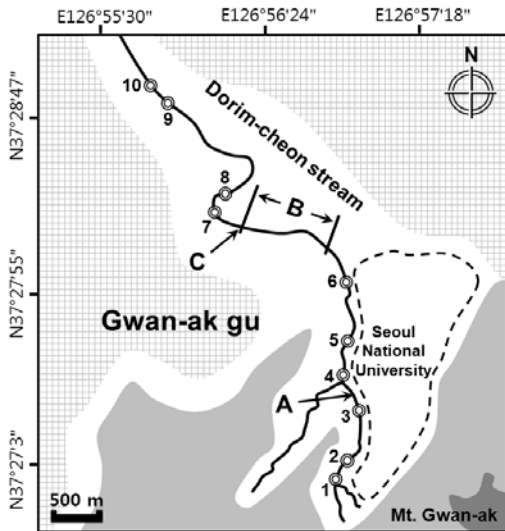


Figure 1. Sampling points (◎) in Dorim-cheon stream. A: Discharge point of sewage from the university. B: Covered section with cement road. C: Discharge point of irrigation water from Han river.

2.2. 수질조사방법

2.2.1. 물의 이화학적 특성

각 조사지소에서 4곳을 임의로 선정하여 표층수를 채수하였다. 수소이온 농도(pH)는 pH meter를 이용하여 현장에서 측정하였다. 질산(NO₃⁻)은 Hydrazine 환원법을 사용하여 측정하였고, 인산

(PO₄³⁻)의 농도는 아스코르빈산 환원법을 사용하였다(김재근 등 2006).

2.2.2. 식물성 플랑크톤

식물성 플랑크톤으로 부착성 플랑크톤과 부유성 플랑크톤을 조사하였다. 부착성 플랑크톤은 물속에 있는 돌 중 약 400cm² 면적을 가진 돌에 25cm²의 방형구를 설정하여 칫솔로 긁어냈다. 50mL의 falcon tube에 칫솔을 씻고 최종 농도가 3~5%가 되도록 Lugol 용액으로 고정하였다. 부유성 플랑크톤은 1L의 물을 채수하여 진공여과장치를 이용하여 Whatman cellulose nitrate membrane filters(0.45µm)로 거른 후 필터를 원심관(falcon tube)에 담고 최종 농도가 3~5%가 되도록 Lugol 용액으로 고정하였다(김재근 등 2006). 고정된 플랑크톤들은 광학현미경으로 관찰하며 한국동식물도감(정영호 1968, 심재형 1994, 유광일 1995)을 기준으로 동정하였다. 데이터의 제시는 부착성 플랑크톤의 경우 25cm²의 면적당 개체수로, 부유성 플랑크톤의 경우 지표수 1L당 개체수로 나타내었다.

2.3. 통계 분석 방법

통계 분석은 엑셀통계 프로그램인 KESS(Korean Educational Statistics Software)를 이용하였다. pH, 질산의 농도, 인산의 농도, NO₃⁻/PO₄³⁻ ratio가 플랑크톤의 분포에 영향을 끼치는지 검정하기 위해 선형회귀분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

10개 조사지소의 pH는 상류(조사지소 1과 2)에서 가장 낮았으며, 조사지소 3부터는 7.2~7.6 사이에서 유지되었다(Table 1). 질산의 농도는 0.4~4.9ppm 사이로 일반적인 도심하천의 범위로 나타났다(김요용과 이시진 2011). 인산의 경우 대부분 0.01~0.1ppm 사이로 조사되어 일반적인 하천의 범위에 들었으나, 조사지소 4에서는

0.99ppm으로 매우 높은 값을 나타내었다. 이는 서울대에서 내려오는 하수에 많은 양의 인산이 포함되어있음을 의미한다. 그러나 유속이 느려 조사지소 4와 5 사이에서 자연적으로 정화됨을 알 수 있다. 질산과 인산의 비율은 조사지소 1~3, 5의 경우 80 이상으로 나타났으며, 6~9의 경우 35~47 사이의 값으로 나타났다. 식물성 플랑크

톤의 경우 상류보다는 하류에서 더 많은 개체가 조사되었다. 특히 한강물이 방류되는 조사지소 7에 가장 많은 개체수가 조사되었다. 규조강에 속하는 식물성 플랑크톤은 조사지소 7에 가장 많이 서식하고 있었으며, 녹조강과 남조강에 속하는 플랑크톤은 조사지소 7~10사이에 많은 수가 조사되었다.

Table 1. The physico-chemical factors in Dorim-cheon and the number of phytoplankton in class level.

Site	pH	NO ₃ ⁻ (ppm)	PO ₄ ³⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ /PO ₄ ³⁻	No. of Bacillariophyceae	No. of Chlorophyceae	No. of Cyanophyceae	No. of Total Phytoplankton
1	5.05	2.023	0.017	119.00	2	7	0	9
2	5.86	3.333	0.022	151.50	1,707	105	1	1,813
3	7.41	2.152	0.022	97.82	415	24	4	443
4	7.16	0.416	0.992	0.42	974	146	0	1,120
5	7.20	2.787	0.034	81.97	1,101	52	54	1,207
6	7.56	1.502	0.032	46.94	2,001	21	45	2,067
7	7.23	4.797	0.134	35.80	14,947	1,682	2,363	18,992
8	7.31	3.899	0.102	38.23	5,250	1,698	2,826	9,774
9	7.29	4.901	0.131	37.41	4,623	1,383	1,480	7,486
10	7.54	4.092	0.144	28.42	8,274	1,936	1,106	11,316

3.1 조사지소 1로부터 거리에 따른 pH, 질산과 인산 농도, NO₃⁻/PO₄³⁻ 비의 변화

pH는 조사지소 1과 2에서만 5정도이며, 나머지 조사지소에서는 7정도로 나타났다. pH는 일반적으로 수중에 녹아있는 탄산염과 이산화탄소의 양에 의해 결정되며, 탄산염의 농도가 높을수록 알칼리성으로 되고, 이산화탄소의 농도가 높을수록 산성화되는 경향을 띤다(김동욱 등, 2006). 도립천은 상류부터 하천 호안을 콘크리트로 정비하였으며, 콘크리트에 사용되는 시멘트에는 CaO가 높은 비율로 포함된다(김정기 2006). 활성이 높은 CaO(김운회 2004)가 흐르는 물에 용출될 경우 물과 반응하여 OH⁻ 농도를 증가시키게 되며, 이에 따라 pH가 증가한다. 비록 하천에 존재하는

탈질 세균들에 의해 하천에 녹아있는 질산염으로부터 질소가 분리되는 탈질 반응에 의해 pH가 증가할 수도 있지만(김상태 등 2002, 류재근 등 2002), pH가 증가된 조사지소 2~6에서의 질산 농도가 조사지소 1과 2에 비해 높지 않으므로 탈질보다는 수변의 콘크리트로부터의 CaO 용출에 의해 pH가 증가한 것으로 판단된다.

인산의 농도는 유역에서 내려온 물만으로 지표수가 구성된 조사지소 4를 제외하면 1~6에서는 낮지만, 한강 본류의 물이 방출되는 조사지소 7~10에서는 높게 나타났다(Table 1). 또한 조사지소 1으로부터 거리에 따라 점차 증가하고 있음으로 보아 집수역에서 지속적으로 인산이 유입됨을 알 수 있다(Figure 2). 조사지소 4에서 인산의 농도가 매우 높게 나타났는데 이는 앞에서 언급한

것처럼 서울대학교에서 방출되는 폐수에 인산이 많이 포함되었기 때문에 사료된다. 질산의 경우 조사지소 1에서부터 거리에 따라 농도가 증가하는 경향을 보이는데 이 또한 집수역에서 지속적으로 질산이 유입되고 있음을 의미한다(Figure 2). 질산의 경우 인산과 다르게 조사지소 4에서도 낮은 수준으로 조사되었는데 이는 서울대학교에서 방출되는 하수에는 단지 인산이 많이 포함되었을 뿐 질산은 많이 포함되지 않았음을 의미한다.

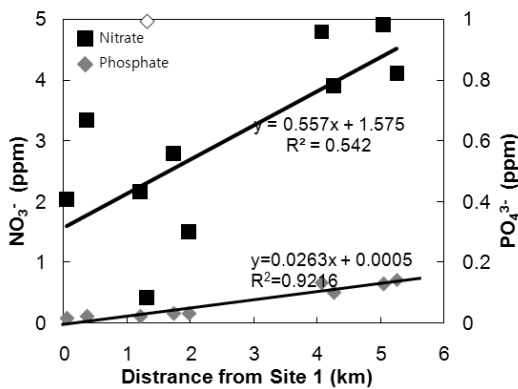


Figure 2. The variation of NO₃⁻ and PO₄³⁻ concentration by distance from site 1. ◇ means a outlier in regression for phosphate (NO₃⁻: p=0.0152, PO₄³⁻: p<0.0001).

우리나라 대부분의 도심 하천에서 총 질소 함량은 상·하류에서 큰 변화가 나타나지 않는다. 이는 지표수가 흘러갈 때 자정작용으로 질산이 사라지면서 비점오염원으로부터 계속적으로 질소가 유입되기 때문이다(송창수와 김민환 2000). 비점오염원은 주로 빗물에 의해 하천으로 흘러들어오게 되는데, 이 유입이 큰 경우 하류로 갈수록 총질소의 농도가 증가하는 경향을 보이기도 한다(이혁진 2009). 총 인의 경우에도 도심하천에서는 하류로 갈수록 증가하는 경향이 나타나는 데 이 또한 비점오염원으로부터의 유입 때문이다(손동운 2008). 이와 같은 현상이 도립천의 상류에서부터 나타나고 있다.

3.2 수환경(pH, 질산과 인산의 농도, NO₃⁻/PO₄³⁻ 비)에 따른 식물성 플랑크톤 분포 분석

pH와 무기 영양염류는 다른 형태로 식물성 플랑크톤의 분포를 결정짓는다. pH는 플랑크톤의 우점 여부를 결정하고, 질산과 인산은 플랑크톤의 개체 수를 결정한다고 알려졌다(Kong 1999, 김은경 2007). 본 연구에서는 이와 같은 현상이 도립천의 상류구간에서도 나타나는지 확인하기 위하여 수환경 구배와 식물성 플랑크톤의 개체 사이의 관계를 확인하였다. 이때 조사지소 4는 서울대학교에서 방출되는 폐수의 영향을 너무 크게 받기 때문에 분석에서 제외하고, 폐수의 영향을 받지 않은 조사지소 3의 수준정도로 떨어지는 조사지소 5~9와 조사지소 1~3의 결과만을 분석에 포함하였다.

기존 연구에 따르면 6<pH<9인 구간에서 규조강과 녹조강의 플랑크톤이 우점하는 경향이 높고, pH>9인 구간에서 남조강이 우점하는 경향이 높다(김은경 2007). 본 연구의 대상인 도립천 상류에서도 pH가 5에서 8 사이로 나타났으며, 이와 같이 규조강에 속하는 플랑크톤의 개체가 월등히 높게 나타났다. 남조강의 경우 조사지소 5에 비해 조사지소 6~9에서 많은 수의 개체가 채집되었으므로 이는 pH에 의한 것이라기보다는 다른 요인에 의해 나타난 현상이라고 할 수 있다. 즉, 한강 본류의 물이 유입됨으로 인해 밀도가 증가한 것이라 할 수 있다.

질산의 농도는 플랑크톤의 밀도에 큰 영향을 나타내었다. 연구 대상지에서의 질산농도의 분포는 점진적으로 변화하였으나, 식물성 플랑크톤의 밀도는 급격히 다르게 나타났다. 즉, 질산의 농도 3ppm을 기준으로 이보다 낮은 농도에서는 규조강의 밀도가 2,000개체 이하, 녹조강과 남조강은 1,000개체 이하 유지되는 데 반해, 3ppm 이상에서는 급격히 증가함을 알 수 있다(Figure 3). 이 현상은 세 무리의 식물성 플랑크톤 모두에서 동일하게 나타났다.

NH_4^+ 와 NO_3^- 농도의 증가는 전체 식물성 플랑크톤의 생체량을 감소시키는 역할을 하지만 NH_4^+ 는 소형 식물성 플랑크톤의 생체량은 증가시키는 것으로 보고되었다(이어진 2011). 본 연구에서 측정된 질산의 경우 NH_4^+ 와 같이 일정 농도 이상에서 소형 식물성 플랑크톤의 높은 밀도와 관련이 있는 것으로 나타났다. 그러나 이는 물의 공급원이 다르기 때문에 다른 요인을 보다 더 정밀하게 조사하여야 더욱 명확하게 알 수 있을 것이다.

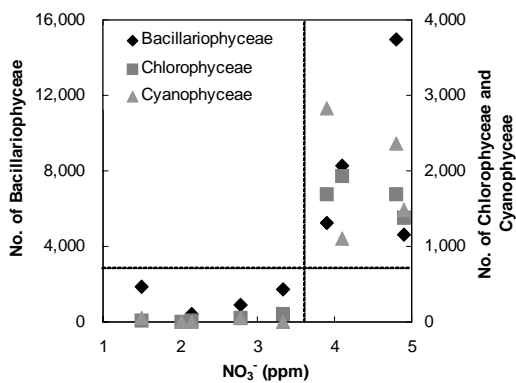


Figure 3. Variation of the number of phytoplankton classes by the concentration of PO_4^{3-} . Dotted lines divide low and high concentration and number.

PO_4^{3-} 농도에 따라 조사지소는 크게 0.05ppm 이하와 0.1ppm 이상의 두 무리로 나누어졌다(Figure 4). 비록 인산의 농도가 0.05ppm과 0.1ppm 사이에 존재하는 지소가 없을지라도 인산의 농도에 따른 규조강, 녹조강, 남조강의 개체수 변화는 정비례 관계로 나타났다: 규조강($R^2=0.6489$, $p=0.0158$), 녹조강($R^2=0.9345$, $p<0.0001$), 남조강($R^2=0.6255$, $p=0.0194$), 조사한 모든 식물성 플랑크톤($R^2=0.7595$, $p=0.0048$).

인산은 질산과 함께 식물성 플랑크톤의 성장에 중요한 제한요인으로 작용한다(Dayley 1982, Harper 1992). 도립천 상류에서도 인산은 식물성 플랑크톤의 밀도를 제한하는 중요한 요인이며, 이는 다른 연구에서와 일치하는 결과이다(이어진

2011). 일반적으로 PO_4^{3-} 는 대형 식물성 플랑크톤(크기 $>20\mu\text{m}$) 생체량에 큰 영향을 주지만 소형 식물성 플랑크톤(크기 $<20\mu\text{m}$) 생체량에 대한 영향력은 작다(이어진 2011). 도립천에서는 소형 식물성 플랑크톤이 많았는데도 PO_4^{3-} 의 농도의 영향이 매우 유의하게 나왔다. 이는 소형 식물성 플랑크톤이 이용하기에도 인산의 농도가 낮기 때문으로 사료된다(Sin et al. 1999, Sin and Kim 2003).

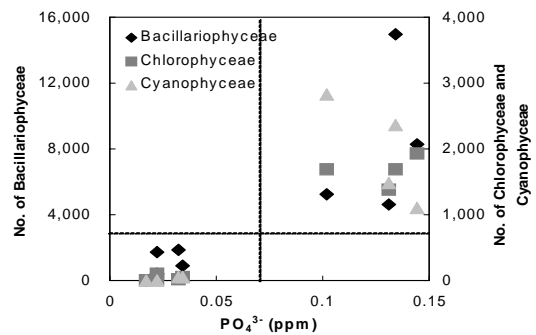


Figure 4. Variation of the number of phytoplankton classes by the concentration of PO_4^{3-} . Dotted lines divide low and high concentration and number.

$\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ 비에 따라 서식하는 규조강, 녹조강, 남조강의 개체수 변화가 나타났는데 이는 음의 상관관계(규조강($R^2=0.4052$, $p=0.0653$), 녹조강($R^2=0.5760$, $p=0.0177$), 남조강($R^2=0.4716$, $p=0.0410$))를 나타내었다(Figure 5). Figure 5와 같이 이 비율이 50 이하로 낮아지면서 식물성 플랑크톤의 밀도가 급격히 높아졌다. 이것은 $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ 비가 50보다 높을 때는 인산에 의해 식물성 플랑크톤의 성장이 제한되며, 이하에서는 질산에 의해 성장이 제한됨을 의미한다. 이는 식물성 플랑크톤은 빈영양상태 또는 중영양상태에서 인산에 의해 성장이 제한되며, 부영양상태에서는 질소에 의해 제한된다는 결과와 일치한다(Welch and Lindell 1992).

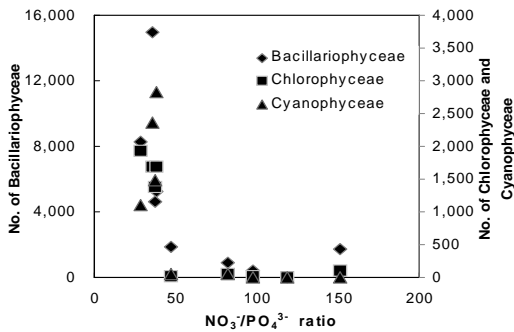


Figure 5. The variation of the number of Chlorophyceae by N/P Ratio

감사의 글

이 연구는 서울대학교 생물교육과 생물과학실험 I의 프로젝트로 수행되었다. 프로젝트에 참여한 생물교육과 학부생들과 실험 및 결과 해석과정에 도움을 주신 홍문기 선생님께 감사의 마음을 전한다.

참고문헌(References)

강수학. 2007. 도시하천의 생태적 관리를 위한 생태계 평가: 청계천을 사례로. 박사학위논문, 상명대학교.

김동욱, 박재철, 류재근. 2006. 구두발표: 상수원 수질관리(2); 한강 팔당댐-잠실 구간 상수원수의 주요 수질오염물질의 특성에 관한 연구. 2006 한국물환경학회, 대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회논문집. pp 48-60.

김상태, 김승현, 정종배, 정병룡, 이영득. 2002. 탈질반응시 하천수의 생분해 특성상수 및 질소산화물에 대한 전자의 친화도상수 결정. 대한환경공학회지 24(3): 379-388.

김요용, 이시진. 2011. 다변량 통계 분석기법을 이용한 한강수계 지천의 수질 평가. 대한환경공학회지 33(7): 501-510.

김운희. 2004. 갈습 이온 및 굴껍질에 의한 인산

이온의 제거 모델에 관한 연구. 석사학위논문, 연세대학교.

김은경. 2007. 가창댐 수질 변화와 조류발생 분포 분석. 석사학위논문, 경북대학교.

김재근, 박정호, 최병진, 심재한, 권기진, 이보아, 이양우, 주은정. 2006. 생태조사방법론. 보문당.

김정기. 2006. 건설현장에서 발생하는 콘크리트 폐수의 처리 방안. 석사학위논문, 강원대학교.

김종원, 류승원, 이진국, 박정원, 이울경, 심재원, 강영훈, 김수경, 주기재, 김구연, 도윤호, 이찬우, 윤주덕. 2009. 하천생태학 그리고 낙동강. 계명대학교 출판부.

류재근, 이재성, 이강평, 김영준. 2002. 미생물을 활용한 수질관리. 신광출판사.

손동운. 2008. 산동면 인근지역 소하천의 수질특성에 관한 연구. 석사학위논문, 경운대학교.

송창수, 김민환. 2000. 황룡강의 수질 분석. 호남대학교 산업기술연구논문집 8: 35-41.

이승중, 김영오, 이상호, 이길성. 2005. 도립천 유역을 위한 침투증진시설의 효과분석. 한국수자원학회 2005년도 학술발표회 논문집. p 101.

이어진. 2011. 통계분석을 통한 담수 식물플랑크톤의 생태조사. 석사학위논문, 목포해양대학교.

심재형. 1994. 한국동식물도감 제 34권 해양식물플랑크톤. 교육부.

유광일. 1995. 한국동식물도감 제35권 해양동물플랑크톤. 교육부.

이혁진. 2009. 부산지역 자연형 복원하천에서의 수환경 분석을 통한 환경체험활동 적용. 석사학위논문, 한국교원대학교 교육대학원.

정영호. 1968. 한국동식물도감 제9권 식물편(담수조류). 문교부.

전용원. 1997. 지구자원과 환경. 서울대학교 출판부.

조경제, 신재기. 1998. 낙동강 하류에서 동-하계 무기 N, P 영양염류와 식물플랑크톤의 동태. 한국하천호수학회지 31(1): 67-68.

최철만, 김진호, 김원일, 이종식, 정구복, 이정택,

- 문성기. 2007. 낙동강 하류의 식물플랑크톤상과 군집구조. *한국환경농학회지* 26(2): 159.
- 환경부. 2002. 하천복원 가이드라인.
- Berner EK, Berner RA. 1987. *Global water cycle: Geochemistry and Environment*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs New Jersey.
- Boynton WR, Kemp WM, Keefe CW. 1982. A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production. In: Kennedy V (ed.) *Estuarine Comparisons*. Academic Press, New York. pp 67-90.
- Cobb ED, Biesecker JE. 1971. The National Hydrologic Bench-Mark Network. Conservation Networks Geological Survey Circular 460-D.
- Coffin RB, Sharp JH. 1987. Microbial trophodynamics in the Delaware Estuary. *Marine Ecology Progress Series*, Oldendorf 41(3): 253-266.
- Cosby BJ, Wright RF, Hornberger GM, Galloway JN. 1985. Modeling the effects of acid deposition: estimation of long-term water quality responses in a small forested catchment. *Water Resources Research* 21(11): 1591-1601.
- Dayley WM. 1982. *Algal biology: a Physiological Approach*. Blackwell Scientific Publications.
- Driscoll CT, Likens GE, Hedin KO, Eaton JS, Bormann FH. 1989. Changes in the chemistry of surface waters: 25-year results at the Hubbard Brook Experimental Forest. *New Hampshire Environmental Science and Technology* 23(2): 137-142.
- Green WJ, Canfield DE. 1984. Geochemistry of the Onyx River (Wright Valley, Antarctica) and its role in the chemical evolution of Lake Vanda. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48(12): 2437-2467.
- Harper D. 1992. *Eutrophication of Freshwaters: Principles, Problems and Restoration*. Chapman and Hall, New York, NY(USA).
- Kemp WM, Boynton WR. 1981. External and internal factors regulating metabolic rates of an estuarine benthic community. *Oecologia* 51(1): 19-27.
- Kong DS. 1999. Growth rate and nutrient removal potential of filamentous periphyton in artificial water channels. *Korean Journal of Limnology* 32(3): 207-215.
- Leonardson L, Ripl W. 1980. Control of undesirable algae and induction of algal successions in hypertrophic lake ecosystems. *Developments in Hydrobiology* 2: 57-65.
- Livingstone DA. 1963. *Chemical Composition of Rivers and Lakes*. Data of Geochemistry Geological Survey Professional Paper 440-G.
- Meybeck M. 1979. Major elements contents of river waters and dissolved inputs to the oceans. *Review in Geological Dynamics and Geographical Physics* 21(3): 215-246.
- Sarin MM, Krishnaswami S, Dilli K, Somayajulu BLK, Moore WS. 1989. Major ion chemistry of the Ganga-Brahmaputra river system: Weathering processes and fluxes to the Bay of Bengal. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53(5): 997-1009.
- Sin YS, Kim JM. 2003. Relative importance of bottom-up vs. top-down controls on size-structured phytoplankton dynamics in a freshwater ecosystem: 1. temporal and spatial variations of size structure. *Korean Journal of Limnology* 36(4): 403-412.
- Sin YS, Wetzel RL, Anderson IC. 1999. Spatial and temporal characteristics of nutrient and phytoplankton dynamics in

- the York River Estuary, Virginia: analyses of long-term data. *Estuaries and Coasts* 22(2A): 260-275.
- Stallard RF, Edmond JM. 1983. Geochemistry of the Amazon: 2. The influence of geology and weathering environment of the dissolved load. *Journal of Geophysical Research* 88(C14): 9671-9688.
- Stallard RF, Edmond JM. 1987. Geochemistry of the Amazon: 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs. *Journal of Geophysical Research* 92(C8): 8293-8302.
- Sundbaeck K, Joensseon B, Nilsson P, Lindstroem I. 1990. Impact of accumulating drifting macroalgae on a shallow-water sediment system. *An Experimental Study* 58(3): 261-274.
- Welch EB, Lindell T. 1992. Ecological effects of wastewater: applied limnology and pollutant effects. Chapman and Hall Press, London.
- Zhang J, Huang WW, Letolle R, Jusserand C. 1995. Major element chemistry of the Huanghe (Yellow River), China-weathering processes and chemical fluxes. *Journal of Hydrology* 168(1): 173-203.
- 논문접수일 : 2012년 03월 26일
○ 심사의뢰일 : 2012년 03월 26일
○ 심사완료일 : 2012년 05월 25일