

강·저수지 복합형 생태계 (낙동강 중·하류)에서 식물 플랑크톤 군집의 이동과 분포

하 경, 김중원, 주 기재

부산대학교 자연과학대학 생물학과

1. 서론

식물플랑크톤 군집은 수생 생태계 먹이사슬의 1차 생산자로서 중요한 위치를 차지하고 있으며, 이들의 풍부도, 종조성은 수문학적 (유량, 체류시간), 화학적 (영양염류의 농도, 전기전도도), 물리적 (빛, 수온, 강수량, 탁도), 생물학적 (포식, 경쟁) 환경요소에 의해 큰 영향을 받는다^{1)~2)}.

호수 생태계에서는 서식처의 영양상태에 따른 식물플랑크톤 군집과 종조성에 관하여 많은 연구가 이루어져 왔으며, 그 결과 빈영양~부영양 단계에 따른 주요군집 및 종조성의 변화의 전체적인 도식화가 이루어진 상태이다³⁾. 반면, 강 생태계에서는 영양염류 농도, 유량, 지류들로부터의 유입효과 (advective effect) 등 여러 환경요소에 의해 식물플랑크톤 군집이 영향을 받을 것으로 사료되나, 실제 큰 강이 시작되는 중·하류를 하나의 통합적인 시각으로 식물플랑크톤 군집의 발생기작을 연구한 논문은 부족한 실정이다.

낙동강은 남한에서 2번째로 큰 강으로 (유역면적, 23,817km²; 연장, 526km), 유역주민의 식수, 농·공업용수로 사용되고 있으며, 특히 하류역은 취수장이 밀집되어 있다. 효율적인 수요를 위해 이강의 지류와 본류에 5개의 댐과 하구둑이 건설되어, 강의 흐름이 심하게 조절 받고 있는 상태이다⁴⁾. 이러한 강·저수지 복합적인 생태계의 중·하류에서 식물플랑크톤 군집은 자연성을 유지한 강 생태계에 비해 특이한 발생기작을 나타낼 수 있다. 따라서, 본 연구는 강·저수지 복합형 생태계인 낙동강 중·하류에서 식물플랑크톤 군집의 이동과 분포를 파악하고자 한다.

2. 재료 및 실험 방법

1996년 1월부터 1997년 12월까지 낙동강 본류 6지점 (rk 27, rk 54, rk 83, rk 109, rk 150, rk 182)에서 2주 간격으로 식물플랑크톤 군집과 생체량, 종조성을 조사하였다. 식물플랑크톤 종조성은 Utermohl method를 이용하여 분석하였으며, 생체량은 Monochromatic methods에 따라 분석하였다. 식물플랑크톤과 연관된 이화학적 특성들은 Wetzel과 Likens에서 서술된 방법에 따라 분석하였다⁶⁾. 일일 유량자료는 낙동강 유역권에 위치한 삼랑진 (rk 40), 적포 (rk 109), 고령 (rk 150), 왜관 (rk 182)의 유량자료를 이용하였다. 기타 물리·화학적 요인들의 측정방법은 Ha *et al.* (1998)에 제시되어있다⁷⁾.

3. 결과 및 고찰

3-1. 영양염류 농도와 생체량

낙동강 중·하류 지점은 모두 중~과영양상태에 있다. 영양염류 농도 (TN, TP)는 대도시를 통과하는 중류의 오염된 지류 (rk 169)의 합류이후 2~3배 이상 증가하는 것으로 나타났으며, 식물플랑크톤 생체량 (chl. a)는 하류로 갈수록 점점 증가하는 패턴을 보였다. 낙동강 중·하류의 지점별·계절별 생체량은 큰 차이가 있는 것으로 나타났다 (지

점별, $p < 0.01$, $F = 3.229$; 월별, $p < 0.01$, $F = 7.3$). 여름과 봄철 chl.a peak 현상은 모든 조사지점에서 나타났으며, 이 현상은 하류로 갈수록 더 길어지고 강한 peak 현상을 나타내었다. 조사지점 중 최하류에 위치한 rk 27에서는 최대의 풍부도를 나타내었으며, 1년 중 6개월 이상 관찰되었다.

3-2. 식물플랑크톤의 기원과 발생기작

식물플랑크톤의 풍부도와 계절적 변화는 하류로 갈수록 뚜렷하게 나타났다. 그러나, 본류 지점에서 식물플랑크톤 발생의 몇가지 공통된 특성이 관찰되었다. 첫째, 전 조사지점에서 연중 규조군집이 우점 (전체 군집 중 60-80% 차지, cell biovolume 기준)하는 것으로 나타났으며, 특히 겨울~봄, 늦가을 peak를 차지하였다. 규조군집 중 *Stephanodiscus hantzschii*가 전 조사지점에서 우점하는 것으로 나타났다. 둘째, 전 지점에서 여름철 (6~8월) *Microcystis* 군집의 우점이 관찰되었다.

이상과 같이, 식물플랑크톤의 계절성은 호수에서처럼 중·하류의 전 조사지점에서 거의 유사하게 나타났으나, 강 생태계에서 공통적으로 관찰되는 longitudinal heterogeneity도 나타났다. 첫째, 강의 중류 (rk 182, rk 149, rk 107) 조사지점에서는 침상형 규조 (pennate diatom, *Navicula*, *Nitzschia*)가 아주 높은 비율을 차지했다. 그러나, 이 군집은 rk 83지점부터는 급격히 수가 감소하였으며, 원형 규조 (centric diatom, *Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Melosira*)가 2배 이상 증가하였다. 둘째, 원형규조의 발생기작에 있어서 중·하류지점에서 차이가 있었다. *Cyclotella meneghiniana*는 rk 83지점에서 봄과 가을에 번성현상이 관찰되었다. 그러나, rk 54로 이중에서 *Stephanodiscus hantzschii*로 전환되었으며, 번성 (peak)시기도 2~3달 정도 길어져, 겨울 (11월)부터 이듬해 봄 (4월중순)까지 5개월 정도 우점을 차지하는 것으로 나타났다. 하지만, 전 조사지점에서 이 두종이 교대로 우점을 하면서 겨울~초봄 사이의 원형 규조우점을 유지하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 여름철 남조군집에서도 관찰되었다. 여름철 중·하류 전 조사지점에서 *Microcystis* bloom 현상이 관찰되었다⁸⁾. 이 군집은 전 조사지점에서 연중 5~10% 정도를 차지하는데, 모두 여름철에 집중되어 bloom 현상을 일으키는 것으로 나타났다. 이 시기에는 *Microcystis* 외에도 사상형 남조인 *Anabaena*, *Oscillatoria*도 높은 비율로 관찰되며, 항상 *Anabaena* (6월초~6월말)→*Microcystis* (7월중~8월, 9월말)의 주기성 (periodicity)을 나타내었다.

3-3. 낙동강 중·하류에서 식물플랑크톤의 연간 동태

3개의 지류 유입효과 (advective effect)가 각 유입이후 지점에서 관찰되었지만, 낙동강 중·하류 지점에서 식물플랑크톤의 연간 천이 (annual succession)는 다음과 같이 요약될 수 있다.

I. 겨울~초봄 (11월~4월) : 소형 원형규조 (*Stephanodiscus hantzschii* 또는 *Cyclotella meneghiniana*)→ 침상형 규조 (*Synedra*, *Fragilaria*, *Nitzschia*)→ 다양한 원형규조 (*Melosira*; 직경 10-50 μ m, 길이 30-500 μ m, *Cyclotella*; 직경 10-15 μ m)로의 우점

II. 5월~6월: "spring mixed community" filamentous algae (*Cryptomonads*), 침상형 규조 (*Navicula*, *Nitzschia*, *Fragilaria*, *Synedra*), 원형 규조 (*Melosira*)의 공우점 (채-dominance) 이중 *Melosira* 군집이 가장 높은 경쟁성 차지

III. 여름~초가을 (7월~9월) : 군체성 녹조 (*Pediastrum*, *Scenedesmus*)와 남조군집

(*Anabaena*, *Oscillatoria*, *Microcystis*)의 공우점, 여름 초기강우 이후 8월말까지 *Microcystis* bloom 유지되다가 9월 중순 *Synedra*, *Fragilaria* 같은 대형 규조군집들에 의해 치환됨

4. 요약

낙동강 중·하류지점에서 다른 강 생태계에서 관찰되는 유입효과 (advective effect), 침상형 규조→원형규조로의 치환 등의 특징을 보여주었고, 전체적으로 식물플랑크톤 발생의 연속성을 보여주었지만, 하류로 갈수록 식물플랑크톤 중요종의 분포는 동일한 것으로 나타났고, 하류로 갈수록 그 양은 점점 더 증가하는 것으로 나타났다. 특히, rk 83지점부터는 낙동강 하류에서 나타나는 식물플랑크톤 군집의 동태와 거의 유사한 특징을 보여주었다. 이는 강의 물리적 특성 (낮은 경사, 하상의 90% 이상이 모래인 점)과 하구둑의 건설과 댐 건설의 증가, 중·하류로 갈수록 취수량의 증가로 인한 강의 수피정체, 호수화로 인한 것으로 사료된다.

참고문헌

- Basu, B. K. and F. R. Pick, 1995, Longitudinal and seasonal development of planktonic chlorophyll a in the Rideau River, Ontario, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52, 804-815.
- Reynolds, C. S., 1988, Potamoplankton : paradigms, paradoxes and prognoses, In Round, F. E. (ed), Algae and the aquatic environment, Biopress, Bristol, pp. 285-311.
- Reynolds, C. S., 1998, What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status?, Hydrobiol., 369/370: 11-26.
- Kim, H. W., K. Ha and G. J. Joo, 1998, Eutrophication of the lower Nakdong River after the construction of an Estuary dam in 1987. - *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 83, 65-72.
- Wetzel, R. G. and G. E. Likens, 1991, Limnological Analyses(second edition), Springer - Verlag, New York, 391pp.
- Ha, K., E. A. Cho, H. W. Kim and G. J. Joo, 1999, *Microcystis* bloom formation in the lower Nakdong River in South Korea: Importance of nutrient loading. - *Mar. Freshwat Res.*, 50, 89-94.
- Ha, K., H. W. Kim and G. J. Joo, 1998, The phytoplankton succession in the lower part of hypertrophic Nakdong River (Mulgum), South Korea.- *Hydrobiol.* 369/370, 217-227.