

PH5 성층 호수의 식물플랑크톤 군집에 미치는 태풍의 영향

조혜경*, 김형미, 이학영
전남대학교 생명과학부

1. 서 론

수서생태계는 물이라는 매질에 싸여있어 물의 상태변화에 크게 영향을 받는다(Barnes and Mann, 1991). 물의 상태변화 중 수온에 따른 층의 형성(stratification)은 층간의 불연속 공간을 조성하여 생물종의 분포와 영양물질공급 등에 많은 변화를 유발한다(Wetzel, 1999). 온대지역의 호수에서는 여름이 되면 성층화에 의해 층간의 혼합이 제한되는데 식물플랑크톤은 광 조건이 유리한 표수층(epilimnion)에만 분포하게 되고 결국 상층의 영양염을 모두 소모하고 하층부로부터의 영양염공급이 제한되면서 개체수의 감소가 일어난다. 심수층(hypolimnion)에서는 표수층에서 침전된 유기물이 분해되면서 산소고갈(hypoxia)이 일어나 summer kill 현상이 발생하기도 하므로 부영양 호수의 큰 문제가 된다(Harper, 1992). 결국 가을이 되어 표층수온의 감소와 바람에 의해 성층이 파괴되면서 표수층과 심수층의 순환이 일어나게 되며 표수층의 영양부족과 심수층의 산소부족 상태가 해소된다. 이와 같이 온대지역에서의 수체 변화는 수질의 안정성 유지나 수서생태계의 건전성에 심각한 문제를 유발하므로 호소수의 안정적 관리를 도모하기 위하여 다양한 방법으로 표수층과 심수층의 연결을 유지하고자 한다(Lampert and Sommer, 1997).

그런데 몬순지역에 위치한 우리나라는 성층이 일어나는 여름에 몇 차례의 태풍이 내습하므로 태풍의 물리력에 의한 성층의 파괴가 일어날 수 있다. 필리핀의 Lake Lano에서 Lewis(1987)는 태풍에 의해 성층이 파괴되면서 여러 차례의 혼합이 일어나는 것을 발견했다. 즉, 태풍이 동반한 강한 바람은 바람이 불어 가는 방향의 호수 끝 부위에 바람의 힘에 의한 물의 축적이 이루어지고, 그 결과 표층수가 상승하면서 바람이 불어 가는 끝 방향의 수온약층의 깊이는 깊어지고 반대편의 수온약층의 깊이는 얕아지게 되는데 이때 심수층의 물이 용승의 원리에 의해 표수층으로 공급될 수 있다. 또, 강한 바람은 수온약층에서 내재적 파동(internal wave)을 유발하는데 이들 파동이 성층을 파괴하면서 물의 수직혼합을 일으킬 수 있다(Wetzel, 1999). 여름의 성층파괴는 영양염이 풍부한 물을 표수층에 공급하여 지역적으로, 일시적으로 일차 생산성을 높여주고, 심수층의 저산소 또는 무산소 상태를 해소해 준다. 이와 같이 여름의 태풍은 수괴의 혼합에 큰 변화를 유발할 수 있는데 이것이 수괴의 정체를 자연적으로 치유하는 메커니즘이 될 수 있어 그 영향에 대한 분석이 요구된다(Harper, 1992).

본 보고에서는 2000년에 발생한 태풍 프라피룬(Prapiroon)에 의해 주암호 식물플랑

크톤 군집이 나타낸 변화를 중심으로 보고하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구는 동북천과 외남천이 합류하는 지점에서 하류로 약 10km 떨어진 주암호 유입부 동경 127°10'13", 북위 34°58'22"의 복교지점에서 수행되었다.

기온과 수온은 수온온도계와 point probe thermometer(Mannix)를 이용하여 현장에 측정하였고, 수체의 투명도를 조사하기 위한 Secchi depth는 Secchi disk를 이용하여 측정하였다. 조사기간동안 강우량은 광주와 순천지역 기상자료를 참고하여 조사하였다.

식물플랑크톤은 Van Dorn 채수기를 사용하여 채수한 재료수 1L에 Lugol's solution을 넣어 고정한 후 실험실에서 1000 ml Settling Cone에서 농축하여 현미경으로 200 ~ 400배로 관찰하여 동정 및 계수하였다. 식물플랑크톤의 생물량(phytoplankton biomass)은 각 개체의 기하학적 형태에서 측정된 부피에서 각 분류군의 생체량 지수를 적산한 후 총 개체수와 적산하여 계산하였다(Wetzel and Likens, 2000).

Chl-a의 농도 측정은 채수된 재료수 1L에서 250~500ml를 0.45µm membrane filter (Advantec MFS)로 여과하여 90% Alkaline Acetone 용액에서 24시간 동안 햇빛이 차단된 냉장상태에서 chlorophyll을 추출한 후 Visible Spectrophotometer로 750nm와 665nm에서 흡광도를 측정하여 Monochromatic Method로 계산하였다(APHA, 1992; Wetzel and Likens, 2000).

3. 결과 및 고찰

조사기간동안 기온은 전체적으로 낮아지는 경향을 보여주었다. 그러나 9월 3일에는 2일 동안의 지속된 강우로 인하여 최고기온이 전일이나 후일에 비해 낮게 나타났다.

Secchi 투명도는 태풍이 오기 전후로 많은 변화가 나타났다. 태풍이 오기 전인 8월 30일에 190 cm 가 넘는 투명도가 태풍이 지나간 9월 2일의 조사에서는 85 cm로 나타나 전체 조사기간 중 최저 수준을 나타내었다. 그러나 시간이 지나면서 태풍의 영향이 해소되는 양상을 나타냈다. 9월 9일 이후에는 강우의 영향과 추계순환(fall overturn)의 영향으로 투명도가 다시 낮아졌다.

강우는 9월 2일과 3일에 각각 43 mm와 30 mm가 있었고 9월 22일에 192 mm의 집중강우가 있었다. 9월 2일과 3일의 강우는 기온과 수온, 그리고 투명도에 영향을 주었고 9월 22일의 강우는 이후의 투명도 감소에 큰 영향을 미쳤다.

수온의 변화는 태풍에 의해 가장 크게 나타났다. 태풍이 있기 전인 8월 30일에는 표층수온이 27°C였고 수심 4 m에서 6 m 사이에 수온약층이 형성되어 성층을 이루고 있었다. 그런데 태풍 직후인 9월 2일의 조사에서 표층 수온은 22°C로 낮아졌고 수온약층이 소실되었으며 수심 6 m 이하의 수온은 15°C 이상으로 증가하여 성층이 파괴된 것으로 나타났다. 그러나 9월 6일의 조사에서 다시 성층이 형성된 것으로 나타났으며 9월 29일의 조사에서 성층이 다시 소실된 것으로 나타났다. 이것은 주암호의 성층에 대한 다른 조사결과와는 약간의 차이가 있는데, 태풍의 영향과 조사지점의 수리적 특성에 의

한 것으로 보인다(김 등, 2001a; 2001b). 9월 29일 이후의 성층 소실은 강우와 기온 하강, 그리고 바람의 영향에 의한 것으로 추측된다.

조사기간동안 식물플랑크톤의 분류군별 분포는 태풍이 있기 전에는 규조류가 상대우점도에서 80%를 차지하였고 녹조류 15%, 남조류 5%였으나 태풍 후에는 규조류의 상대우점도가 낮아지기 시작하여 9월 3일에는 18%로 나타났다. 녹조류는 태풍 이후 우점하기 시작하여 9월 3일부터 9월 9일까지 70% 이상의 높은 우점도를 나타냈다. 그러나 9월 22일 이후에는 남조류가 우점하기 시작했는데 9월 29일에는 95%의 상대우점도를 나타내었다. 따라서 조사기간동안 식물플랑크톤의 천이는 규조류 - 녹조류 - 남조류의 패턴을 나타냈는데, 규조류에서 녹조류로 이행해 가는 과정에 태풍의 영향이 있었던 것으로 추측된다.

식물플랑크톤의 개체수는 전반적으로 낮게 나타났다. 태풍이 있기 전에는 20,000 cells/l였으며 태풍이후에도 15,000 ~ 20,000 cell/l의 범위를 유지하였다. 그러나 9월 22일 이후에는 남조류와 녹조류 개체수의 급격한 증가에 의해 100,000 cells/l 이상의 높은 밀도를 나타내었다.

생물량(carbon biomass)의 변화는 개체수의 변동 패턴과 잘 일치하였으나 남조류의 개체수가 급격히 증가한 시기에는 낮은 생물량을 나타냈다. 이것은 개체수 증가를 유발하였던 남조류의 종이 낮은 생물량을 가지는 미소플랑크톤(nanoplankton)이었기 때문이다. 전체적으로 생물량은 태풍이 오기 전에는 규조류에 의해 결정되었으나 태풍 이후에는 녹조류가 생물량의 가장 중요한 부분이 되었다.

조사지역에 분포하는 주요 식물플랑크톤 종의 출현양상은 태풍에 의해 서로 다른 경향을 나타냈다. 태풍 전에 가장 우점했던 종인 *Melosira granulata*는 태풍이후 큰 폭으로 출현개체수가 감소하여 태풍에 의한 영향을 가장 크게 받은 것으로 나타났다. *Scenedesmus* spp.는 태풍 전에는 극소수 개체가 조사되었으나 태풍 후 개체수가 증가하기 시작하여 9월 4일에 최대의 밀도를 나타냈으며 이후 개체수가 감소하는 추세를 보여주었다. *Staurastrum* sp.도 태풍 이후 완만한 증가 추세를 나타내어 9월 9일에 최대의 밀도를 나타낸 후 다시 감소하였다. *Eudorina elegans*는 9월 4일 이후에 소수의 개체가 출현하였으나 태풍의 직접적인 영향을 받은 것으로는 보기 힘들었고, 9월 9일 이후 급격히 증가하여 9월 29일 최대의 밀도를 나타낸 *Microcystis aeruginosa*도 태풍의 직접 영향을 받지 않는 것으로 추측된다.

Chl. a 농도의 수직분포는 태풍이 오기 전인 8월 30일에는 수심 1 m에서 가장 높게 나타나 subsurface maximum을 보여주었고 수온약층이 분포하는 4 - 6 m 이하의 수심에서는 매우 낮은 농도를 나타냈다. 그러나 태풍 직후인 9월 2일에는 표수층의 농도는 낮아지고 심수층에 농도는 높아졌다. Chl a 농도의 수직분포는 9월 3일 이후 다시 태풍 전의 패턴으로 환원되었다.

이상의 결과를 종합하면 태풍은 성층으로 정체된 수괴를 혼합시킬 수 있는 물리력을 가지며 이 과정에 수서 생태계 내 생물의 동태에도 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. 그러나 혼합에 효과적인 태풍의 물리력과 호수의 크기와의 상관성에 대해서는 더 많은

조사가 이루어져야 할 것으로 생각한다.

4. 요약

2000년에 발생한 12호 태풍(Prapiroon)에 의한 성층 호수의 식물플랑크톤 군집 변화양상을 주암호의 복교지점에서 2000년 8월 30일부터 9월 29일 까지 조사하였다. 프라피룬은 복교지점에서 초속 40m의 강풍을 동반하였는데, 이 물리력은 성층으로 인해 불연속적 층을 형성하고 있던 수괴 전체를 혼합시켰다. 수체의 혼합은 격리로 인해 이질적 환경과 생물조성을 이루고 있던 층간의 혼합을 유도하여 식물플랑크톤의 우점 분류군, 종조성, 우점종을 교체시키는 요인으로 작용한 것으로 추측되었다. 식물플랑크톤의 우점 분류군은 태풍 이전의 규조류에서 녹조류로 교체되었고, 후에 남조류로 교체되었다. 우점종은 태풍 이전에는 *Melosira granulata*였으나 태풍 이후에는 *Scenedesmus* spp.와 *Staurastrum* sp.가 우점하는 것으로 나타났다. 개체수의 밀도는 태풍에 의한 변화가 크지 않았다. 태풍에 의해 파괴되었던 성층은 태풍 이후 재성층화 되기 시작하여 6일째엔 안정된 성층이 관찰되었다. Secchi depth는 태풍에 의해 많이 감소하였으나 수체가 안정화되면서 다시 증가하는 양상을 나타냈다. 결론적으로 태풍은 여름의 성층으로 분리된 수괴를 혼합시킬 수 있는 물리력을 가져 수서 생태계 내 생물의 동태에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- APHA, AWWA, AEF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. APHA. Washington.
- Barnes, R.S.K. and K.H. Mann. 1991. Fundamentals of Aquatic Ecology. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Harper, D. 1992. Eutrophication of Freshwaters -Principles, Problems and Restoration-Chapman and Hall. London.
- Lampert, W. and U. Sommer. 1997. Limnology-The Ecology of Lakes and Streams. Oxford University Press. Oxford.
- Lewis, W.M.Jr. 1987. Tropical Limnology. Ann. Rev. Ecol. Syst. 18: 159-184.
- Utermohl, H. 1957. Zur Vervollkommung der quantitativen Pytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Limnol. 9: 38.
- Wetzel, R.G. 1999. Limnology: Lake and River Ecosystems. 3rd Ed. Academic Press, San Diego.
- Wetzel, R.G. and G.E. Likens. 2000. Limnological Analyses. Springer. New York.
- 김범철, 박주현, 허우명, 임병진, 황길순, 최광순, 채기숙. 2001a. 국내 주요 호수의 수학적 조사(4): 주암호. 한국 육수학회지 34: 30-44.
- 김종민, 김성수, 장남익, 김설희. 2001b. 영산강대권역 주요호수의 조류 발생현황 조사(II). 국립환경연구원. 서울.