

주암호유역 산림기원 비점오염원물질과 주암호에 서식하는 조류번식간의 상관성 규명

김남중·신대윤*
조선대학교 환경공학부*

A study on the correlation between non-point source pollutants from the forest of Juam basin and algae bloom in the Juam lake.

Kim, Nam-Jong·Shin, Dae-yewn*

**Graduate school of Environmental Engineering, Chosun University, Gwang ju*

Abstract

In Juam basin, the ratio of non-point pollution source among pollutant loading of basin was significantly high, since the utilization level of land was high. In addition, the most pollutants were not treated and flowed out. In this study, the correlation between non-point source pollutants from the forest area and increasing algae was investigated.

1. Chl-a concentration flowed out to runoff from forest area and stream water was low as 0.1~20.3 $\mu\text{g}/\ell$ and 0.1~9.3 $\mu\text{g}/\ell$, respectively, and chl-a concentration (0.1~28.5 $\mu\text{g}/\ell$) of branch stream was higher 5~7 times than that of runoff from forest area.

2. In correlation between runoff from forest area and Juam lake water, annual chl-a concentration of area front Juam dam was higher twice than forest area.

3. In runoff from forest area within Juam basin, flagellate, green, diatom and blue algae occupied 33.0~41.7%, 22.2~30.8%, 17.3~22.5% and 13.7~17.6%, respectively.

4. In runoff from forest area, both green and diatom algae were maintained constantly irrespectively of season, and flagellate algae dominated since August.

5. In characteristics by forest tree types, four types algae were inhabited in mixed forest, and flagellate algae were higher in conifer and broadleaf forest than in other area. And green algae in herbaceous forest were higher than other area.

Key words : runoff, Juam lake, Algae, nonpoint source

*Corresponding author E-mail :knj0805@me.go.kr

I. 서론

주암호는 담수원 이후 지금까지 점오염원 배출량을 삭감하기 위해 유역에 보성·문덕·복내·송광 하수처리장 등을 설치하고, 한동농원(축산단지)을 이주시켰으나, 유입하천의 수질개선효과는 미미하였다. 매년 5~11 월중에 조류가 대량 번식되는 등 수질이 악화되고 있으며, 매년 여름철 집중호우 이후 담수율이 높아졌을 때 주암호의 조류가 증식과 COD가 높아져서 상수 원수 3급수 수질로 전락하고 있으나 원인을 규명하지 못하고 있어 이에 대한 연구가 필요하다고 판단된다. 주암호 유역은 토지이용도가 높아 유역 오염부하량중 비점오염원 비율이 매우 높고, 발생량의 대부분이 처리되지 않고 유출되고 있는 실정으로, 산림지역기원 비점오염물질과 조류발생의 상관성 규명이 필요하다. 부영양화 호소에서 조류의 과잉번식에 의해 호소수의 pH가 높아지면 응집작용에 장애가 발생하고, 킬레이트 작용을 하는 조류의 대사산물 혹은 분해산물이 많은 경우에는 응집작용 자체가 저해를 받는다^{1,2)}.

산림에서의 오염물질 발생량이 대부분 처리되지 않고 강우시 유출되어 탁도, 색도를 유발하고 난분해성물질의 유입은 수질악화의 요인으로 작용하여 COD를 상승시키고, 조류의 대증식에 영향을 미친다.

산림의 식재임목의 종류에 따라 유출수의 성상이 다를 것으로 예상되어 산림지역을 혼재지역, 활엽수지역, 침엽수지역 및 초본지역 등으로 구분하여 주암호 유역 산림지역기원 비점오염물질과 주암호에 서식하

는 조류 번식과의 관련성을 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 조사지역

본 연구의 범위는 주암호 유역 산림지역 중 상류에 댐이 설치된 보성강댐 및 동복천 유역을 제외한 전지역을 대상으로 보성강 01 유역과 주암호유역이 본 연구의 조사대상지역이다.

본 연구는 총 10개 조사 지점을 선정하여 수행하였다. 산림지역은 순천시 송광면 대흥리 지역중 혼재지역, 활엽수지역, 침엽수지역 및 초본지역으로 구분하여 각각 1개소씩 4가지점, 계류수는 대흥리, 송광사 및 까치골 지점 3개소를 정하였고, 하천수는 송광천, 동복천 및 보성강지류에서 각각 1개소 3가지점을 선정하였다. 조사 지점의 경·위도상의 위치를 Table 1에 나타내었다.

2. 조사기간

비점오염원물질의 특성상 강우시 일시에 대량의 오염물질을 발생하므로 채수는 청천시와 강우시로 나누어 실시하였다.

조사기간은 2005년 5월 30일~2005년 11월 23일까지 이루어졌으며, 청천시는 매월 1~2회 정기적으로 산림지역 4가지점과 계곡수 1곳의 유량과 수질을 분석하였다. 강우시는 산림유역 4가지점 유출수의 유량 및 수질을 분석하였고, 산림지역 유출수가 유입되는 송광천 지류의 수질을 분석하였다.

Table 1. Location of investigation points at longitude and latitude

Classification		Name of place	Location
F1	Forest (Daeheung Ri)	Mixed forest	E:127° 14' 38.67" N:34° 56' 00.83"
F2		Broadleaf forest	E: 127° 14' 53.46" N: 34° 56' 06.97"
F3		Conifer forest	E: 127° 15' 26.36" N: 34° 56' 22.99"
F4		Herbaceous forest	E: 127° 15' 12.32" N: 34° 56' 12.47"
V1	Valley	Daeheung Ri	E: 127° 14' 53.46" N: 34° 56' 12.47"
V2		Songgwangsa	E: 127° 16' 33.15" N: 34° 00' 03.87"
V3		Kkachi	E:127° 08' 53.69" N: 34° 58' 14.38"
S1	river	Songgwang	E: 127° 15' 50.67" N:34° 58' 19.26"
S2		Dongbok	E: 127° 06' 18.71" N:35° 00' 55.50"
S3		Boseng	E: 127° 09' 56.65" N:34° 51' 42.91"

3. 실험방법

3.1 현장수질조사

현장조사시 유량, 유속, 수온 및 pH를 현장에서 측정하였다. 수온과 pH는 TOA pH METER HM-14P으로 측정하였다. 시료는 채수시 무균질의 채수병 채취된 채 취하고자 하는 물로 3번 이상 세척하여 이 물질의 혼입을 방지하였으며, 성분변화를 막기 위하여 저온상자(Ice box)에 보관하여, 실험실로 운반하여 분석하였으며, 항목에 따라 GF/F 여지로 여과한 후 여지와 여액을 냉동 보관하였다.

III. 결과 및 고찰

1. Chlorophyll-a의 유출특성

산림지역 유출수의 Chlorophyll-a 농도는 혼재지역 0.4~20.3µg/l, 활엽수지역 0.1~17.6µg/l, 초본지역 0.4~1.2µg/l, 침엽수지역 0.2~6.8µg/l로 혼재지역이 높게 나타났다. 초본지역이 낮았다.

계류수의 Chlorophyll-a농도는 대흥계곡 0.4~1.2µg/l, 송광사계곡 0.1~2.5µg/l, 까치골 0.4~9.3µg/l으로 평균농도는 까치골 > 대흥계곡 > 송광사계곡 순으로 높게 나타났다.

유입지천의 농도변화는 송광천지류 0.1~20.1µg/l, 동북천지류 0.4~28.5µg/l, 보성강 0.5~26.4µg/l로 조사되었으며, 평

균농도가 동북천 > 보성강 > 송광천의 순서로 농도가 높게 나타났다. 유입지천의 농도변화는 7월 이후 농도가 증가하여 9월 이후부터 감소하는 경향을 보여 온도상승의 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나, 갈수기인 1월~3월 증가하는 경향은 수량이 적어 Chlorophyll-a의 양이 상대적으로 높게 측정되기 때문이다. 강우기에 Chlorophyll-a의 농도가 낮은 것도 같은 이유에서이며 강우기가 지난 후 하천의 농도는 낮아지지만 호소의 농도는 오히려 상승하게 된다.

산림유출수와 계류수는 낮은 농도를 보였으나, 유입지천은 산림유출수보다 5~7배가 높았다. 이는 식물성플랑크톤의 성장인자 즉 빛, 온도 및 인등의 영양염이 유출수와 계류수는 충분히 함유하지 못하였기 때문으로 사료된다.

이는 호수의 영양염 조건에 의한 식물플랑크톤의 양 및 생산력의 차이가 수중의 질소와 인의 농도와 밀접한 것으로 보인다.

산림유출수와 계류수의 Chlorophyll-a의 농도변화는 일정하게 변화하지 않아 일정한 연관성을 찾기는 어려웠다. 이는 온대지방의 호수에서는 식물플랑크톤이 주로 표면층에 집중 분포하기 때문³⁾에 표층의 생산량이 가장 높지만, 물리화학적 조건에 따라 종의 출현이나 현존량의 변화폭이 매우 심하기⁴⁾ 때문으로 판단되며, 식물플랑크톤의 변화양상은 다양한 것으로 판단된다.

Table 2. Variation of Chl-a concentration at each investigation point (Unit : $\mu\text{g}/\ell$)

구분	Mixed forest	Broadleaf forest	Herbaceous forest	Conifer forest	Daeheung valley	Songgwang valley	Kkachi valley	Songgwang stream	Dongbok stream	Boseng stream
Ave.	0.9	1.0	0.7	0.6	0.8	0.4	1.0	5.3	7.9	7.7
Max	20.3	17.6	1.2	6.8	1.2	2.5	9.3	20.1	28.5	26.4
Min	0.4	0.1	0.4	0.2	0.4	0.1	0.4	0.1	0.4	0.5

수중의 용존유기물량이 오염물질의 가장 정확한 지표로 판단되어 식물플랑크톤과의 상관관계를 분석하였다. Fig.1에서 산림유출수중의 DOC와 Chlorophyll-a에 대한 상관관계를 나타내었다. DOC와 Chlorophyll-a 상관관계수는 $R^2 = 0.714$ 로 높게 나타났다.

DOC농도만으로도 Chlorophyll-a의 농도를 예측할 수 있으며, DOC와 식물성플랑크톤의 높은 상관성은 유기물이 높은 농도에서 식물성플랑크톤의 번식도 왕성하다는 것으로 받아들여진다. 이러한 관련성으로부터 식물성플랑크톤의 제거가 DOC로 가능하다고 판단된다.

Chlorophyll-a는 호수의 물리화학적 조건에 따라 매우 변화폭이 심하며 0.9~9.7%까지 변화한다⁴⁾. 총생물량 역시 중 수준의 많은 분류학적 자료를 요구하지만 단순히 서로 다른 호수의 비교나 호수내에 경향정도를 가능할 뿐이다.

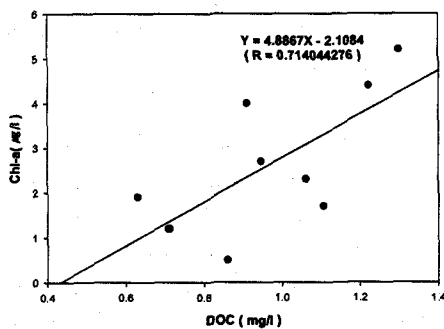


Fig. 1. Correlation between DOC and Chl-a.

2. 산림지역유출수와 주암호소수의 Chlorophyll-a의 상관성

산림지역 유출수중의 Chlorophyll-a와 주

암호소수 Chlorophyll-a의 상관성을 알아보기 위하여 Fig. 2에 산림지역과 주암호소의 담양 Chlorophyll-a의 농도변화를 비교하였다.

산림지역중 혼재지역에서는 0.5~20.3 $\mu\text{g}/\ell$, 활엽수지역에서는 0.1~17.6 $\mu\text{g}/\ell$, 초본지역에서는 0.4~1.2 $\mu\text{g}/\ell$, 활엽수지역에서는 0.2~6.8 $\mu\text{g}/\ell$ 로 조사되었고, 주암호에서는 1.0~12.5 $\mu\text{g}/\ell$ 로 산림지역보다 주암호 담양 지역에서 Chlorophyll-a의 농도가 2배 이상 높은 것으로 조사되었다. 산림지역과 주암호 담양의 Chlorophyll-a 농도 변화 추세는 유사한 경향을 보였으며, 강우시와 온도가 상승하는 봄철에 농도가 높게 나타났다.

특히 9월중의 주암호 Chlorophyll-a의 농도가 산림유출수의 경향과는 달리 높은 농도를 보이는 것은 산림유출수와 하천으로부터 유입된 Chlorophyll-a가 호소에 유입되어 내부인자의 영향으로 증식한 것으로 판단되며, 이때에 주암호의 조류증식이 일어나는 영향도 Chlorophyll-a농도가 높게 유지된 원인으로 생각된다.

산림유출수와 주암호수의 연평균Chlorophyll-a의 농도차는 2배정도로 나타났다. 주암호의 Chlorophyll-a의 농도가 예년의 농도보다 낮게 나타난 이유는 와편모조류가 남조류인 *Microcystis* 보다 약 1,000배 이상의 크기를 가지고 있기 때문이다. 즉 4월 및 11월에 Chlorophyll-a가 높은 이유는 와편모조류 증식 때문이고, 반면에 5~6월에 남조류 및 규조류가 대량증식하고 있음에도 불구하고 Chlorophyll-a 농도가 낮은 것을 알 수 있다. 2005년에는 주암호의 녹조현상에 따른 조류경보제 발령이 없었으며, 남조류의 우점이 특징인 해였다.

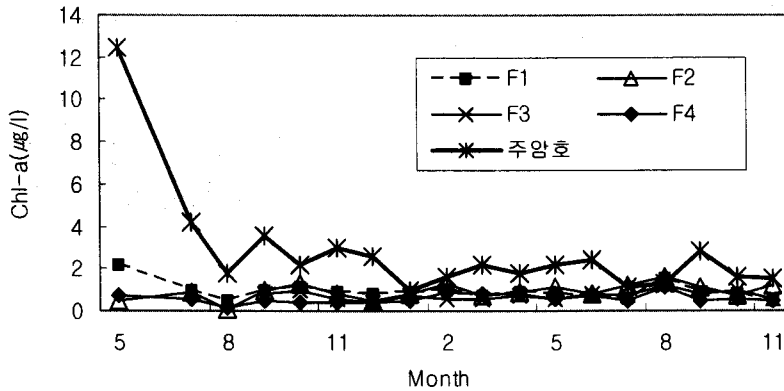


Fig. 2. Variation of Chl-a at forest area and the front Juam-dam.

3. 산림지역 유출수와 주요유입하천의 조류 특성

주암호에서는 조류가 이르면 5월~9월까지 번식하여 식수원으로서의 가치를 떨어뜨리고 있으며, 경제적 손실을 주고 있다. 이러한 조류와 산림에서 유출되는 비점오염원물질과의 상관성을 알아보기 위하여 산림 유출수의 조류 종류 및 농도를 분석하였다.

Fig. 3은 주암호 유역의 산림지역의 임목별 유출수중 조류분포를 나타내었다. 주암호 유역 산림지역중 혼재지역에서는 편모조류(35.3%) > 녹조류(27.3%) > 규조류(22.1%) > 남조류(15.3%) 활엽수지역, 초본지역, 침엽수지역에서 편모조류 각각 41.5%, 33.0%, 41.7%로 높게 조사되었다. 이러한 결과는 최근(2002년 이후)에는 와편모조류가 저온기 동안 저수지 전역에 걸쳐 대발생하는 이른바 담수적조를 일으키고 있는 현상⁶⁾에 기여하는 것으로 추정되어 이 부분의 연구가 진행되어야 할 것이다.

서식하는 조류의 농도는 편모조류 > 녹조류 > 규조류 > 남조류 순으로 높게 나타났다. 산림지역의 유출수중의 조류서식 특성은 계절에 상관없이 녹조류와 규조류가 일정하게 유지되고, 편모조류가 8월 이후 증식되어 우점하는 것을 볼 수 있다. 임목

형태별 특성은 혼재지역은 4가지 조류가 골고루 서식하였으며, 활엽수지역과 침엽수지역에서는 편모조류의 농도가 다른 지역보다 높았으며, 초본지역은 녹조류가 다른 지역의 농도보다 높게 나타났다.

일반적으로 수체의 pH 6~9이면 CO₂종이 HCO₃⁻의 형태로 변동되고 규조류, 녹조류가 우점하고, pH 9 초과시 CO₂종은 CO₃²⁻로 변동되고 남조류가 우점한다.

산림지역 유출수는 pH는 연평균 7.8정도를 유지하고, 수체의 정체가 없기 때문에 규조류와 녹조류의 농도가 남조류 보다 높은 것으로 사료된다.

혼재지역은 온도가 상승하면서 조류의 농도가 증가하는 경향을 보이다 10월 이후 다시 감소하여, 조류의 증식은 온도의 영향이 큰 것을 뒷받침하였다. 활엽수지역은 조류의 농도가 다른 지역보다 낮게 유지되었으며, 8~10월까지 편모조류의 증가만이 눈에 띄었다. 초본지역은 녹조류의 농도가 높은 특징을 가지고 있었으며 10월 이후 조류농도가 다른 지역보다 높게 유지되는 특징을 보였다. 또한 10월 이후 다른 지역에서는 녹조류가 감소하고 남조류가 증가하는 경향을 보인 반면 녹조류가 증가하여 초본지역에서의 녹조류 번식의 조건이 적정한 것으

로 판단되며, 이러한 부분의 연구가 계속 이루어져야 할 것으로 판단된다.

산림유출수중의 조류서식특성은 편모조류가 높다는 것이 가장 큰 특징으로 보이며, 주암호의 편모조류의 우점이 이러한 유출특성과 관계가 있는 것으로 판단되며, 2003년 *peridinium*의 대량증식이 동북호의 유입으로 보고 있지만, 산림으로부터 유출되는 농도를 무시 할 수는 없는 것으로 판단된다. 더욱이 편모조류는 휴면포자를 형성하고 있기 때문에 증식조건이 적절해지면 일시적인 증식이 가능한 조류라는 점에서 산림으로부터 유출되어진 편모조류의 이동과 증식에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

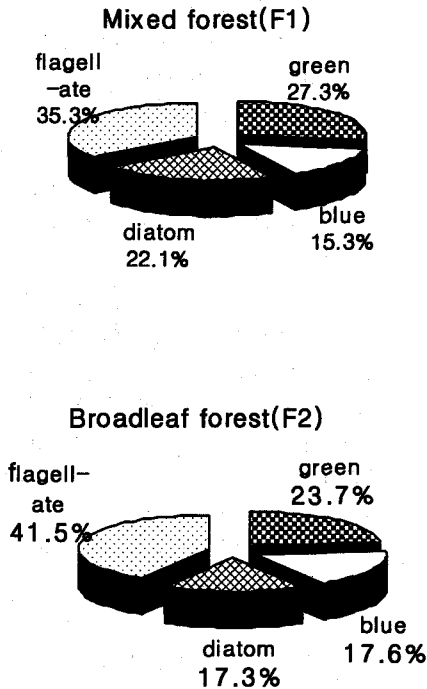


Fig. 3. Algae distribution of runoff in forest area near Juam lake.

Fig. 4는 주암호소의 댐앞의 2005년도 조류의 발생빈도를 근거로 분포 비율을 나타낸 것이다.

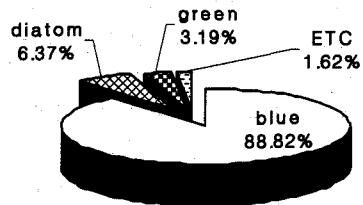


Fig. 4. Algae distribution in Juam lake.

주암호의 조류분포는 남조류 88.82%, 규조류 6.37%, 녹조류가 3.19% 기타조류 1.62%로 나타났다. 이는 산림지역의 유출수중의 조류분포 양상과 달랐으며, 예년의 주암호의 조류 분포양상과도 차이가 있는 것으로 나타났다. 주암호는 규조류가 전체 절에 걸쳐 분포하고 남조류가 여름에서 가을까지 우점하는 것으로 보고⁶⁾되었으나

2005년에는 남조류가 가장 우세한 빈도분포를 보였다. 하천이나 강의 하류를 막는 인공호의 건설은 우수(running water)의 물리, 화학적 변화는 물론 식물플랑크톤의 분포 현존량 및 군집의 천이를 요구함으로써 인위적으로 새로운 수중생태계를 형성하게 된다(Sommer 등⁶⁾, 1986 : Reynolds⁷⁾, 1984). 우리나라처럼 온대성 호수는 추운 겨울에는 규조류가 높게 출현하는 반면, 늦은 여름에 남조 또는 녹조류가 우점하는 특징을 나타낸다⁴⁾. 또한 호수의 영양조건이 호전될수록 남조류의 출현시기가 매년 빨라지며, 우점기간도 장기화된다(Reynolds, 1984⁸⁾). 특히 대부분의 남조류는 수온이 20℃ 이하에서 인(P)이 충분히 공급되고, N/P ratio가 낮은 조건을 갖는 호수에서는 여름철에도 algal bloom을 발생한다(McQueen과 Lean⁹⁾, 1986).

2005년의 남조류의 우점은 주암호수의 질소 유입보다, 인의 유입이 높아졌음을 의미하기도 한다. pH가 6미만이면 CO₂동 변동이 없고, pH 6~9이면 CO₂중이 HCO₃⁻의 형태로 변동되고 규조류, 녹조류가 우점하고, pH 9 초과시 CO₂중은 CO₃²⁻로 변동되고 남조류가 우점한다. 영양원의 구성비율에 따라 N/P가 100미만인 경우 남조류 우점 가능성이 높다. 수체의 영양상태에 따라 빈영양상태일 경우 세포크기가 작고 단세포성, 출현종이 다양하고 주로 규조류가 우점, 부영양상태일 경우 세포크기가 크거나 군체형성, 출현종이 단순하고 주로 남조류가 우점한다.

Fig. 5는 산림지역 유출수중의 조류 농도변화를 나타내었다. 흔재지역에서는 녹조류 0.198~0.694µg/l, 남조류 0.101~0.383µg/l, 규조류 0.221~0.369µg/l, 편모조류 0.093~0.881µg/l로 조사되었고, 총 농도는 9월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 활엽수지역에서는 녹조류 0.237~0.940µg/l, 남조류 0.193~0.860µg/l, 규조류 0.160~0.830µg/l,

0.199~2.535µg/l로 조사되었고, 총농도는 10월에 가장 높은 것으로 조사되었다.

초본지역에서는 녹조류 0.210~1.150µg/l, 남조류 0.070~0.307µg/l, 규조류 0.043~0.482µg/l, 편모조류 0.122~1.086µg/l로 조사되었고, 총 농도는 10월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 침엽수지역에서는 녹조류 0.244~0.808µg/l, 남조류 0.081~0.979µg/l, 규조류 0.376~0.797µg/l, 편모조류 0.103~2.165µg/l로 조사되었고, 총 농도는 9월에 가장 높은 것으로 조사되었다.

조류의 농도가 주암호보다 낮은 이유는 수체가 적고 지속적으로 이동되어 정체성이 짧고 물질의 농도는 낮고, 순환은 빠르기 때문에 조류의 증식시간이 짧아지기 때문으로 판단된다.

산림지역 유출수에서는 9, 10월에 조류 농도가 높아지는 것으로 조사되었다.

이는 주암호의 조류증식시기와 일치하는 경향을 보여 산림지역의 유출수와 주암호수 내의 조류 증식에 연관성이 있음을 의미한다.

수체내 우점조류 변동원인은 온도 및 광량의 변화에 따라 10℃ 미만에서는 주로 규조류가 우점하고, 10~20℃에서는 규조류와 녹조류가 우점, 20℃ 초과에서는 주로 남조류가 우점한다. 또 수체내의 혼합특성 및 기상변동원인으로 수체 혼합이 좋고 불안정할때는 운동성부유성이 없는 규조류나 녹조류가 우점, 수체 혼합이 차단되면 운동성 편모조류나 부유성 남조류가 우점한다. 4월에는 규조류가 잘 증식하여 높은 밀도를 보이거나 남조류 밀도가 낮은 이유는 4월에 수온이 남조류에 불리하기 때문이다⁴⁾. 그렇지만 수온이 20℃ 이상이 되면 남조류가 갑자기 발생하여 8~9월에 최대가 되었다가, 온도가 15℃ 이후로 내려가는 지점부터는 발생이 없었다.

외편모조류와 규조류의 경우는 4~11월 까지 수온범위에서 연중 활발한 증식을 나

타내었다. 와편모조류는 남조류인 *Microcystis* 보다 약 1,000배 이상의 크기를 가지고 있다. 4월 및 11월에 Chlorophyll-a가 높은 이유는 와편모조류 증식 때문이고, 반면에 5~6월에 남조류 및 규조류가 대량증식하고 있음에도 불구하고 Chlorophyll-a 농도가 낮은 것을 알 수 있다.

조류의 생육환경은 호소, 저수지등의 정체수역 중 빛이 투과되는 유광층부에 서식하며, 계절에 따라 우점종이 바뀐다¹⁾. 겨울-초봄-늦가을에는 주로 규조류, 일부 녹조류 우점, 늦봄-여름-초가을에는 주로 남조류, 일부 녹조류, 호소특징에 따라 와편모조류가 우점하는 경우도 있다.

와편모조류에는 수중 영양세포 (vegetative cell)가 유성생식을 통해 휴면접합자 (planozygote)를 만들며, 이는 편모가 없어 운동성을 상실하는 휴면포자 (resting cyst or hypnozygote)로 되어 해저로 침강한 후, 다시 환경조건이 적합해지면 발아하여 영양세포로 수중으로 되돌아오는 생존전략을 지니는 종류가 많이 보고되어 있다. 그러므로 수중 영양세포의 근간이 되는 휴면포자의 발아를 근원적으로 차단하기 위해서는 수중의 질소와 인의 농도를 낮추는 것이 시급할 것으로 사료된다. 그러므로 주암호에서의 *P. bipes* 휴면포자는 계절의 변화에 의한 수온과 빛의 증감에 따라 발아의 고저가 결정되며, 발아한 영양세포는 빛과 온도 조건이 적정하면 이 시기에 이들 영양세포는 급속하게 증식하여 수중번성을 이루게 된다고 사료된다.

주암호는 하천을 막아 만든 호소이기 때문에 하천의 모양처럼 굴곡이 심하고, 계곡으로의 반입이 심한 편이다. 따라서 주요 유입하천이 없는 계곡부는 정체 수역이 될 수밖에 없다. 이러한 정체 수역에서 수온 및 영양염류 등의 조건이 맞으면 조류가 급격히 증식할 가능성이 크고, 이것이 인접한 수역으로 확산될 가능성이 크다.

남조류는 8~10월 기간 중 우점종으로 출현하였으나 Chlorophyll-a 농도에 별로 영향을 미치지 못했다. 이와 같은 상황을 확인하기 위해서는 조류 발생이 빈번한 지점을 중심으로 정밀조사가 이루어져야만 한다.

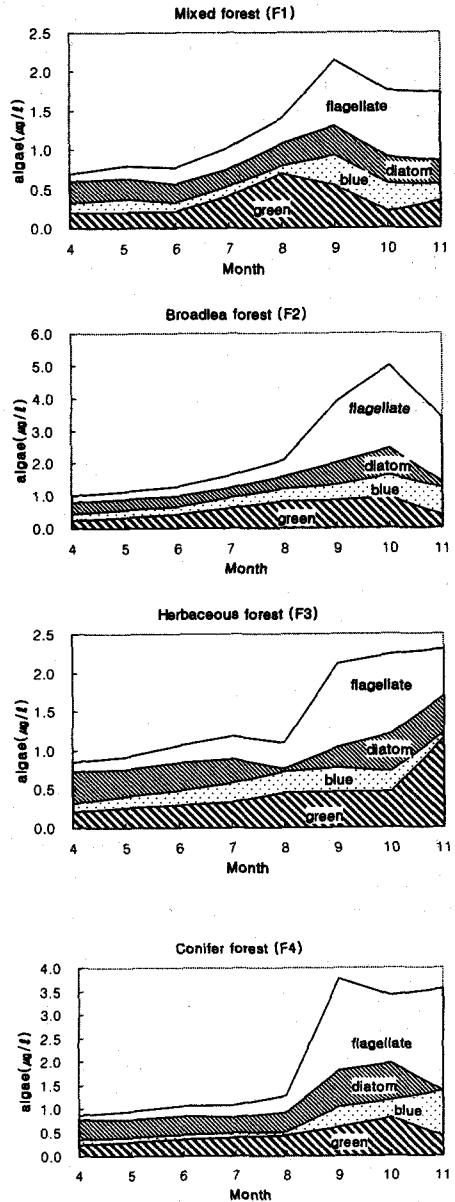


Fig. 5. Algae distribution and change of dominant species in forest area.

Fig. 6은 2005년 주암호의 월별 조류 우점종 발생추이를 보여 주고 있다. 주암호에 서는 N/P 비가 Redfield ratio인 16보다 크므로 질소가 조류 증식에 제한요소가 될 가능성은 낮다. 그렇지만 조류번성 시기에 무기질소의 농도가 낮아지는 것을 알 수 있는데 이월 경우에는 질소가 제한영양소가 될 가능성이 있으며, 이는 질소고정 능력이 있는 남조류가 증식하기에도 좋은 환경이 될 수 있다. 일반적으로 호수에서 식물플랑크톤의 총생물량과 총인(TP)간의 상관관계¹⁰⁾는 매우 높다. 또한 호수가 부영양단계로 진행되면 월수록 TN/TP ratio는 작아지며, 이들 비율이 무게비가 5이하일 때, 질소부족으로 인한 질소고정 남조류의 우점현상이 일어난다. 수은 역시 식물플랑크톤의 현존량에 대해 높은 상관성¹¹⁾을 보인다. McQueen⁹⁾은 실제적으로 TN/TP에 비해 온도에 더욱 의존적임을 확인하였고, Cho¹²⁾ 등(1989)은 높은 질소수준에도 불구하고 질소고정 남조류의 높은 출현을 보고하였다.

Table 3은 주요하천의 조류 농도변화를 나타내었다.

조사기간 동안의 평균 조류농도가 동복천이 2.021 $\mu\text{g}/\text{l}$ 으로 가장 높고, 보성강지류가 1.85 $\mu\text{g}/\text{l}$ 송광천지류가 1.51 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이었다.

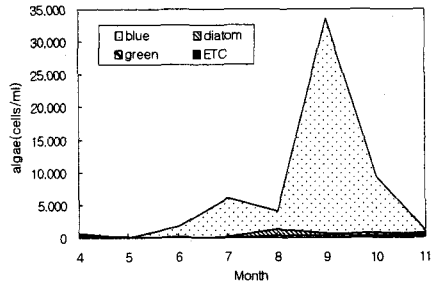


Fig. 6. Algae distribution and change of dominant species in Juam lake (2005).

이러한 결과는 Chlorophyll-a의 발생농도와 일치하는 경향은 보이지 않았다. 송광천지류에서는 녹조류 0.195~0.440 $\mu\text{g}/\text{l}$, 남조류 0.151~0.445 $\mu\text{g}/\text{l}$, 규조류 0.186~0.393 $\mu\text{g}/\text{l}$, 편모조류 0.194~1.665 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 조사되었고, 총 농도는 9월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 동복천지류에서는 녹조류 0.240~1.673 $\mu\text{g}/\text{l}$, 남조류 0.258~0.588 $\mu\text{g}/\text{l}$, 규조류 0.214~0.544 $\mu\text{g}/\text{l}$, 편모조류 0.286~1.563 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 조사되었고, 총 농도는 8월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 보성강지류에서는 녹조류 0.265~0.469 $\mu\text{g}/\text{l}$, 남조류 0.010~0.673 $\mu\text{g}/\text{l}$, 규조류 0.364~0.499 $\mu\text{g}/\text{l}$, 편모조류 0.323~1.490 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 조사되었고, 총 농도는 9월에 가장 높은 것으로 조사되었다.

Table 3. Algae concentration of the major rivers

(Unit : $\mu\text{g}/\text{l}$)

구 분	Songgwang stream (S1)					Dongbok stream (S2)					Boseng stream (S3)				
	green	blue	diatom	flagellate	Total	green	blue	diatom	flagellate	Total	green	blue	diatom	flagellate	Total
4/27	0.198	0.168	0.314	0.194	0.874	0.256	0.287	0.433	0.286	1.262	0.265	0.258	0.386	0.323	1.232
5/20	0.201	0.165	0.301	0.201	0.868	0.323	0.308	0.423	0.323	1.377	0.267	0.304	0.377	0.343	1.291
6/06	0.195	0.167	0.311	0.261	0.934	0.453	0.379	0.397	0.389	1.618	0.274	0.374	0.364	0.365	1.377
7/27	0.201	0.197	0.314	0.294	1.006	0.943	0.588	0.365	0.541	2.437	0.347	0.440	0.398	0.569	1.754
8/10	0.208	0.151	0.315	0.304	0.978	1.673	0.615	0.544	1.554	4.386	0.389	0.645	0.435	1.454	2.923
9/09	0.384	0.286	0.393	1.665	2.728	0.755	0.477	0.521	1.563	3.316	0.469	0.673	0.499	1.490	3.131
10/14	0.440	0.215	0.335	1.661	2.651	0.258	0.258	0.214	1.088	1.817	0.288	0.010	0.455	0.658	1.410
11/23	0.230	0.445	0.186	1.213	2.074	0.240	-	0.274	0.939	1.453	0.308	0.163	0.370	0.806	1.648
Ave.	0.26	0.22	0.31	0.72	1.51	0.61	0.36	0.40	0.84	2.21	0.33	0.36	0.41	0.75	1.85

주암호유입지천들의 조류분포는 외편모조류가 높은 것으로 볼 수 있다. 주요 하천수에서도 8, 9월에 조류 농도가 높아지는 것으로 조사되었다. 이는 주암호 상류로부터 발생하는 조류현상의 단면을 나타내고 있으며, 동북천지류와 보성강지류의 발생농도 녹조류가 남조류보다 높은 특징을 볼 수 있었다. 이러한 경향은 수온, 빛 영양염, 수체의 물리적 교란등과 같은 요인들에 군집구조 및 우점종천이가 달라지는 것으로 보인다⁷⁾.

IV. 결론

1. Chlorophyll-a의 유출특성은 산림유출수(0.1~20.3 $\mu\text{g/l}$)와 계류수(0.1~9.3 $\mu\text{g/l}$)는 낮은 농도를 보였으나, 유입지천(0.1~28.5 $\mu\text{g/l}$)은 산림유출수보다 5~7배가 높았다.
2. 산림지역유출수와 주암호소수의 Chlorophyll-a의 상관성은 산림지역보다 주암호 댐앞 지역에서 Chlorophyll-a의 연평균 농도가 2배이상 높은 것으로 조사되었다. 또한 Chlorophyll-a 농도 변화 추세는 산림지역과 주암호 댐앞에서 유사한 경향을 보였으며, 강우시와 온도가 상승하는 봄철에 농도가 높게 나타났다.
3. 주암호 유역 산림지역 유출수 중에는 편모조류가 33.0%~41.7%, 녹조류가 22.2%~30.8%, 규조류 17.3%~22.5%, 남조류 13.7%~17.6% 조사되었다. 서식하는 조류의 농도는 편모조류 > 녹조류 > 규조류 > 남조류 순으로 높게 나타났다.
4. 산림지역의 유출수중의 조류서식 특성은 계절에 상관없이 녹조류와 규조류가 일정하게 유지되고, 편모조류가 8월 이후 증식되어 우점하였다.
5. 임목형태별 특성은 혼재지역은 4가지 조류가 골고루 서식하였으며, 활엽수지역과 침엽수지역에서는 편모조류의 농도가 다른 지역보다 높았으며, 초본지역은 녹조류가 다른 지역의 농도보다 높게 나타났다.
6. 주암호의 조류분포는 남조류 88.82%, 규조류 6.37%, 녹조류가 3.19% 기타조류 1.62%로 나타났다.

감사의 글

본 연구과제는 환경부지정 전남지역환경기술개발센터의 연구비지원에 의해 2005년도에 수행한 연구과제입니다.

참고문헌

1. 이용운, 정선용, 배상옥, 문양수 : 조류 출현종 및 거동, 환경영향평가, 제 8권 제 4호, 37~45, 1999.
2. Lee, H.D., Lee, E.S. and Sue, K.T : Planktons in the Water, Jinlitangu Publishing Co, 1996.
3. 고장석, 홍현미, 김광진, 노현용, 임봉수 : 호 소수 질에 따른 조류분포 특성연구, 한국물환경학회, 대한상하수도학회 공동총회학 술발표회 논문집, 2003.
4. 김백호, 1996. 주암호 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 전남대 박사논문.
5. 최지영, 주암호와 상사호 식물플랑크톤의 군집특성 : 외편모조 *Peridinium sp.* 개체군의 동태 및 성장특성. 한양대 박사논문2005.
6. Sommer, U., ZM Gliwicz, W. Lampert, and A. Duncan : The of seasonal succession of planktonic events in fresh waters, Arch. Hydrobiol., 106, 433~471, 1986.
7. Reynolds, C.S, SW Wiseman, BM Godfrey and C. Butterwick 1983. Some Effects of artificial mixing on the dynamics of phytoplankton populations in large limnetic enclosures. J. Plankton Res. 5:203~234
8. Reynolds, C.S : The ecology of fresh-water phytoplankton, Cambridge Univ. Press. 36~39, 1984.
9. Mqueen, D.J., DRS Lean and MNCharlton : Influence of water-temperature and nitrogen to phosphorus ratio on the dominant bluegreen algae in Lake St.
10. 배상옥, 이용운, 이성우, 정선용 : 주암호 영향상태 및 인부하 분석, 환경영향평가, 제9권 제4호, 29~300, 2000
11. 김범철, 김동섭, 황길순, 최광순, 허우명, 박원규 : 부영양화 낙동강수계에서 유기오염 물에 대한 조류 1차 생산의 기영도, Algae(The Korean Journal of Phycology), 11(2)231~237, 1996.
12. Cho KS, Kim BC, Heo WM and Cho SJ : The succession of phytoplankton in Lake Soyang Kr J Limnol. 22, 179-1, 1989