

주암호에서 미세조류의 계절적 군집 변화 Seasonal Variation of Picoplankton Community in Lake Juam

정 정 조
Cheong-Jo Cheong

순천대학교 환경공학과
Department of Environmental Engineering, Sunchon National University

(2010년 1월 20일 접수, 2010년 3월 17일 채택)

ABSTRACT : The purpose of this study is to investigate the seasonal variation of picoplankton community in Lake Juam depending on the change of physico-chemical factors such as rainfall, water depth, DO and pH. The concentration of chlorophyll-a was most high as 18.03 mg/m³ in July when the rainfall and water temperature were highest. The concentration was gradually decreased in October, April and that of January was decreased most low as 1.86 mg/m³. The highest concentration of the Chl-a was shown at 2 and 5 m of water depth than surface, and the concentration was gradually decreased when the water depth becomes deep. Overall, microplankton was the highest rate as 33.9~54.2%, nanoplankton was 24.3~30.5% and picoplankton was 21.6~41.2%.

Picoplankton was included as considerable concentration in the water of Juam lake. Therefore it is necessary to remove thoroughly the picoplankton in the water treatment processes such coagulation-sedimentation and sand filtration. The protoplasm released from destruction of picoplankton by chlorine has high possibility to cause regrowth of bacteria and pathogenic microorganism in the distribution system by playing the role of the assimilable organic carbon.

Key words : Juam lake, Physico-chemical factors, Phytoplankton, Picoplankton

요약 : 본 연구에서는 다목적댐인 주암호에서 물리화학적 인자의 변화에 따른 미세조류의 계절적 변동특성을 파악하는 것을 목적으로 하여, 4회에 걸쳐 주암호 3개 지점에서 기초환경 변화와 Micro-, Nano-, Picoplankton의 계절적 군집변화 양상을 조사하였다.

강수량이 많고 수온이 가장 높았던 7월에 평균 Chl-a의 농도가 18.03 mg/m³으로 가장 높은 결과를 나타내었으며, 그 다음이 10월, 4월 그리고 1월이 가장 낮은 1.86 mg/m³으로 조사되었다. 모든 계절에서 표층 보다는 수심 2m와 5m의 수층에서 가장 높은 Chl-a의 농도를 나타내었으며, 그 이상의 수심에서는 Chl-a의 농도가 점차 감소하는 경향을 보였다. 전체적으로 20~200 μm의 Microplankton이 33.9~54.2%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었으며, 2~20 μm의 Nanoplankton이 24.3~30.5%를 점유하고 있었으며, 나머지 2 μm 미만의 Picoplankton이 21.6~41.2%의 비율을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 주암호에서 취수된 원수의 경우는 picoplankton과 같은 미세플랑크톤이 상당비율로 포함되어 있기 때문에 응집침전 및 사여과 공정 등의 같은 정수처리 공정에서 제거되지 못한다면 후속공정인 염소소독에 의해 미세플랑크톤의 세포내의 물질이 생물학적으로 분해 가능한 유기물(AOC; Assimilable organic carbon)로 전환되어 후속 공정인 급수배수관망에서 세균 및 병원미생물의 재증식(Regrowth)을 유발시킬 가능성이 있을 것을 판단해 볼 수 있다.

주제어 : 주암호, 물리화학적 인자, 식물성플랑크톤, 미세조류

1. 서론

강우시에 산림이나 농경지와 같은 비점오염원(Non-point pollutant sources)으로부터 질소와 인 등의 같은 영양염류가 유출되어 하천을 통해 호소나 댐에 과도하게 유입되면 수중의 조류가 다량 증식하는 녹조현상(Algal bloom)이 빈번하게 발생하고 있다. 녹조현상이 발생하면 이취미가 유발되어 심미적 불쾌감과 음용수원으로 가치가 저하되는

문제가 야기된다.

전 세계적으로 약 4,000여종의 조류가 알려져 있고 이중 식물성플랑크톤은 크게 남조류, 녹조류, 규조류, 유색편모조류로 분류되며, 크기에 따라서는 picoplankton (<2 μm), nanoplankton(2~20 μm), microplankton(20~200 μm)의 3가지로 구분할 수 있다.¹⁾

특히 남조류(Blue-green algae)는 부영양화 수역에서 녹조현상을 일으키는 주요 식물성플랑크톤으로서 Geosmin과

¹Corresponding author : E-mail : ccj@scnu.ac.kr Tel : 061-750-3815 Fax : 061-750-3910

2-MIB 성분에 의해 맛과 냄새를 유발시키고,^{2,3)} Microcystin과 같은 독성물질을 생성하여 양질의 상수원 확보에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라, 공중위생을 위협하는 경우도 있다.⁴⁾ 그리고 정수장으로 유입되는 조류는 응집·침전을 방해하며 플럭의 침전성을 악화시켜 응집제의 소모를 증가시킬 뿐만 아니라, 후속공정인 여과지 폐색을 유발하는 등 다양한 정수 장애를 발생시키는 것으로 알려져 있다.^{5,6)} 또한 정수처리공정에서 적용되는 응집·침전 또는 사여과 공정만으로는 크기가 작은 미세조류(Picoplankton)를 제거가 어렵다고 볼 수 있는데, 미세조류가 응집·침전 및 사여과 공정에서 제거되지 않을 경우 염소소독에 의해 세포내의 물질이 생물학적으로 분해 가능한 유기물(AOC; Assimilable organic carbon)로 전환되고 이는 미생물의 증식을 돕는 유기원이 되어 후속 공정인 급수배수관망에서 세균 및 병원미생물의 재증식(Regrowth)을 유발시켜 음용수의 안전성에 문제가 야기될 수도 있다.⁷⁾

따라서 본 연구는 전라남도의 주요 상수원인 주암호에서 물리화학적 인자의 변화에 따른 미세조류의 계절적 변동특성을 파악하는 것을 목적으로 하여 연구를 수행하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 조사지점 및 시료채취

1991년에 축조된 주암댐은 평균수심이 15m, 최대저수용량이 4.57억톤으로 순천시 주암면에 위치해 있으며, 광주, 나주, 순천시, 여수시, 고흥군 등지에 생활 및 농·공업용수를 공급하는 다목적댐으로서, 조사지점은 주암호 3개 지점이며, 지도(Fig. 1)에서와 같이 월산리(JA-1), 신평교(JA-2) 그리고 댐 앞 취수시설 부근(JA-3)이다. 그리고 각 지점의 경·위도 좌표는 Table 1에 제시한 바와 같다.

한편 주암호에서 기초환경 변화와 Micro-, Nano-Picoplankton의 계절적 군집변화 양상을 파악하기 위해서 2006년 7월 25일(하계)과 10월 27일(추계), 2007년 1월 25일(동계)과 4월 26일(춘계)에 현장측정 및 시료채취를 수행하였다. 또한 동일 지점에서 기초환경 및 플랑크톤의 수직적 분포 특성을 파악하기 위해 수심(0, 2, 5, 10, 20 m)별 현장측정 및 시료채취를 실시하였다. 그러나 갈수기에 수심이 낮아 20 m 지점은 측정 및 채수가 불가능한 경우도 있었다.

시료채취는 소형 선박으로 조사지점에 도착한 다음, van Dorn water sampler를 이용하여 수심별로 채수하였다.

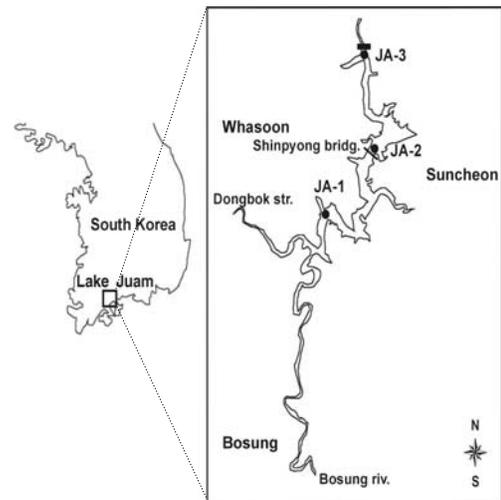


Fig. 1. Map of sampling sites in Lake Juam.

Table 1. Latitude and longitude of sampling sites in Lake Juam.

Sampling sites	Latitude	Longitude	Geomorphological features
JA-1	34° 59' 04.5"	127° 11' 45.9"	Around Walsanri
JA-2	35° 00' 36.8"	127° 14' 10.3"	Around the Shinpyong bridge
JA-3	35° 03' 28.1"	127° 14' 24.6"	Near the Dam

2.2. 현장측정 및 실험방법

조사지점의 수온, pH, DO, 투명도는 현장에서 측정하였으며, 수온과 DO는 DO meter(YSI 85)로, pH의 경우는 pH meter(YSI 60)로 각각 측정하였다. 그리고 투명도는 투명도 판(Secchi disk)을 이용하여 현장에서 측정하였으며, 강수량 자료는 순천기상대로 부터 제공받았다.

식물성플랑크톤을 크기에 따라 micro-, nano-, picoplankton으로 구분하기 위해서 현장에서 시료채취 당시 200 μm의 여과기로 여과한 시료 4 L를 ice box에 담아 실험실로 운반하였다. 운반한 시료는 순차적으로 20 μm (Microplankton), 2 μm (Nanoplankton), 0.2 μm (Picoplankton)의 여과지로 여과하여 Chl-a의 농도를 분석하였다. Chl-a의 농도분석은 수질오염공정시험법에 준하여 실시하였으며, 시료를 여과한 여과지를 미세조류를 아세톤으로 추출하여 664, 647, 630, 750 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 계산식에 의거하여 Chl-a를 산정하였다.⁸⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 강수량 및 기초환경

Fig. 2는 순천기상대로부터 제공받은 주암호주변의 강수

량자료를 나타낸 결과이다. 강수량자료는 계절별 총강수량과 현장측정 및 시료채취 10일전의 강수량을 합산한 결과를 제시하였다. 현장측정 및 시료채취 10일전의 강수량자료를 제시한 것은 강우로 인해 하천으로부터 주암호로 유입되는 영양염류가 증가하여 식물성플랑크톤의 증식에 직접적인 영향을 미치기 때문이다.

결과에 제시된 바와 같이 총강수량은 하계(7월)에 544.8 mm로 가장 많았으며, 그 다음이 춘계(4월)로 38.8 mm이며, 동계(1월)에는 가장 적은 14.8 mm로 파악되었다. 한편 조사 10일 전까지의 강수량을 합산한 결과는 7월이 가장 많은 108.5 mm이었으며, 그 다음으로 10월 28.8 mm이었고, 1월이 가장 적은 0.2 mm로 조사되었다.

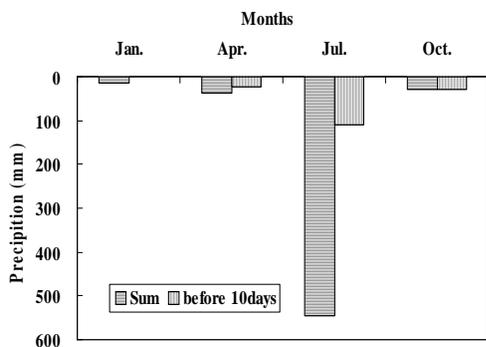


Fig. 2. Seasonal variation of precipitation around Lake Juam basin.

Fig. 3은 주암호의 3개 지점에서 계절별 수심변화에 따른 수온분포를 측정된 결과이다. 수온의 계절적 분포를 살펴보면, 표층의 동계(1월) 3개 지점이 5.2~6.4℃(평균 6.0℃)로 가장 낮았으며, 춘계(4월)의 경우는 16.8~17.0℃(평균 16.9℃)이었다. 그리고 하계(7월)의 경우는 25.4~25.7℃(평균 25.5℃)로써 가장 높은 분포를 나타내었으며, 추계(10월)의 경우에는 21.2~21.4℃(평균 21.3℃)의 분포로써 계절성이 뚜렷한 전형적인 온대지역의 수온 분포를 나타내고 있었다.

한편 주암호에서 수온의 공간적 분포는 동계(1월)의 JA-1 지점이 JA-2와 JA-3에 비해서 약 1℃가량 낮은 경향을 나타내었으나 이는 수심이 타 지점에 비해 낮아 기온의 영향을 많이 받기 때문으로 생각되며, 그 이외의 지점에서는 지점에 따른 수온의 차이는 거의 없는 것으로 조사되었다. 수심에 따른 수온의 변화로는 1월의 경우에 수심이 깊어짐에 따라서 미소한 감소경향을 보였으며 그 이외의 계절에도 수심이 깊어짐에 따라서 수온이 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 본 연구기간(2006년 5월~2007년 4월) 동안은 주암호에서는 표층과 저층의 수온 역전에 따른 전도현상(turn over)은 발생하지 않은 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 주암호의 3개 지점에서 계절별 수심변화에 따른 pH를 측정된 결과를 도시한 자료로서, 1월 표층의 3개 지점이 7.15~7.39(평균 7.31)의 범위를 보였으며, 4월의 경우는

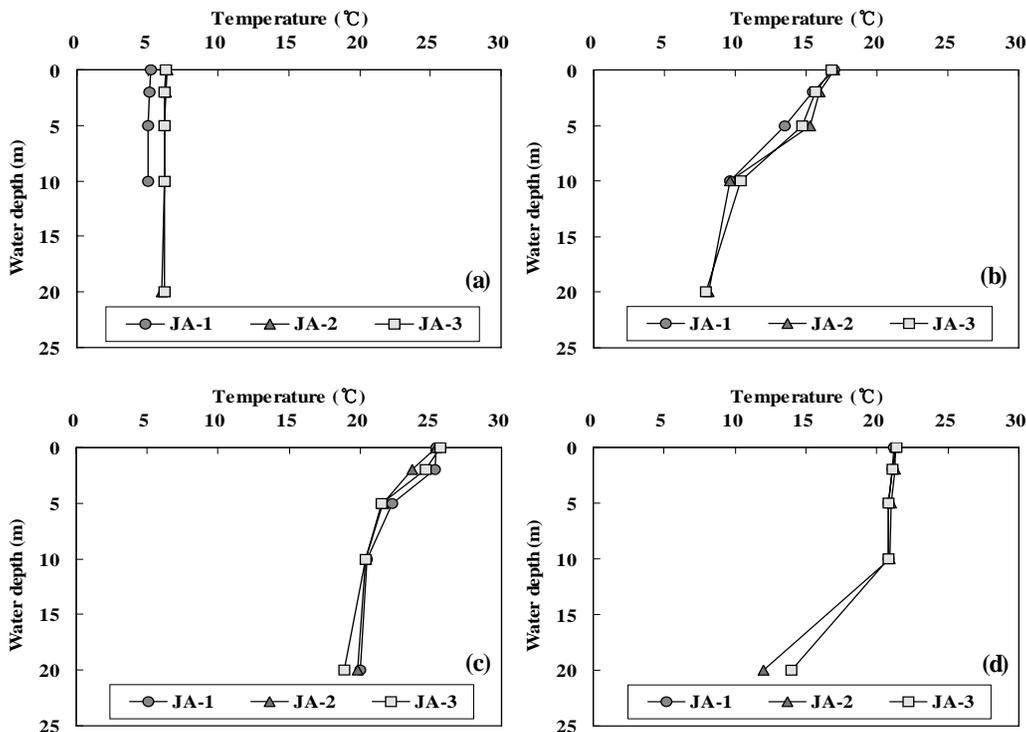


Fig. 3. Vertical profile of water temperature with seasonal variation(January(a), April(b), July(c), October(d)) in Lake Juam.

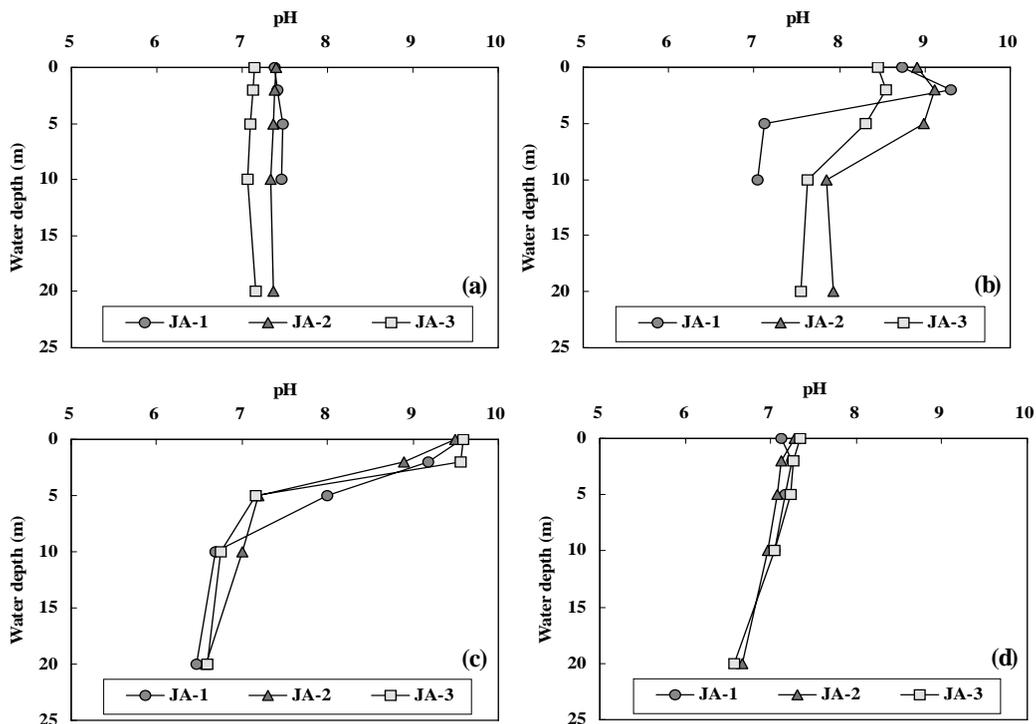


Fig. 4. Vertical profile of pH with seasonal variation(January(a), April(b), July(c), October(d)) in Lake Juam.

8.45~8.91(평균 8.70)이었다. 그리고 7월의 경우는 9.50~9.57(평균 9.55)로 가장 높은 분포를 나타내었으며, 10월의 경우에는 7.13~7.34(평균 7.25)의 범위로 다시 낮아지는 경향을 나타내었다. 결과에서 7월(하계)에 pH가 높은 값을 나타낸 것은 Fig. 2와 3에 제시된 바와 같이 수온(25.5℃) 및 강수량(108.5 mm)과 같은 환경조건이 식물성플랑크톤의 증식에 적합했기 때문이며, 이는 하계에 증식한 식물성플랑크톤의 광합성으로 인해 수중의 CO₂ 농도가 감소했기 때문으로 판단해 볼 수 있다. 4월과 7월의 경우에 표층이나 2 m 수심에서 pH가 높고 수심이 깊어짐에 따라서 pH 값이 낮아지는 것은 식물성플랑크톤이 광합성을 위해 표층에 집적(集積)되어있었기 때문으로 판단된다.

한편 주암호에서 pH의 공간적 분포는 3개지점에서 거의 유사한 경향을 나타내고 있었다. 1월의 경우 수심에 따른 pH 변화는 거의 없었으나, 4월과 7월의 경우는 수심이 깊어짐에 따라 급격히 감소하다가 10 m 이하에서는 거의 일정하였다. 그리고 10월의 경우는 수심의 증가에 따라 다소 완만한 감소경향을 나타내었다.

Fig. 5는 주암호에서 계절별 변화에 따른 지점별 DO분포를 제시한 자료로서, 1월 표층의 3개 지점에서는 9.52~12.69 mg/L(평균 11.18 mg/L)의 범위를 보였으며, 4월의

경우는 10.68~11.37 mg/L(평균 11.00 mg/L)이었다. 그리고 7월 표층의 경우는 11.35~13.05 mg/L(평균 12.03 mg/L)로 가장 높은 분포를 나타내었으며, 10월의 경우에는 7.30~7.68 mg/L(평균 7.55 mg/L)의 범위로 다시 낮아지는 경향을 나타내었다.

대기중의 산소 용해도는 압력에 비례하고 수온에 반비례하며, 수중에 산소가 공급되는 요인은 대기로 부터의 재포기(recreation), 식물성플랑크톤 및 수생식물의 광합성이며, 감소되는 요인으로는 미생물에 의한 유기물의 분해작용(탈산소), 수중동식물의 호흡작용, 무기화합물의 산화작용이 있다. 따라서 Fig. 5의 결과에서 표층의 용존산소 농도가 수온이 낮은 1월(6.0℃)보다 수온이 높은 7월(25.5℃)에 높은 이유는 식물성플랑크톤의 광합성에 의해 생성된 산소에 의해 기인된 것으로 판단해 볼 수 있다.

또한 압력이 높은 심층보다 압력이 낮은 표층에서 용존산소의 농도가 높은 것은 대기로 부터의 재포기에 의해 표층수에 산소공급이 용이했기 때문이라고 말할 수 있다.

한편 DO의 공간적 분포는 3개 지점에서 거의 유사한 경향을 나타내고 있었으며 전체적으로 JA-1의 지점에서 용존산소가 다소 높은 경향이 있음을 알 수 있었다.

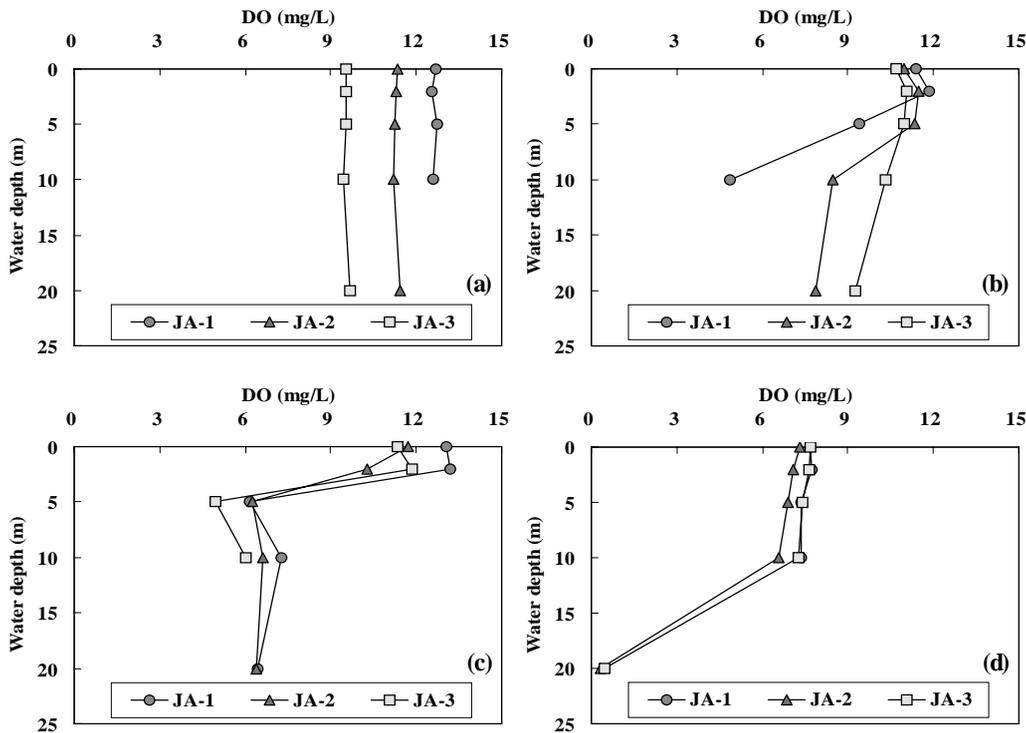


Fig. 5. Vertical profile of DO with seasonal variation(January(a), April(b), July(c), October(d)) in Lake Juam.

3.2. 식물성플랑크톤의 농도(Chl-a) 및 투명도

Fig. 6은 조사지점의 표층에서 채취한 시료의 Micro-, Nano-, Picoplankton 농도의 합을 나타낸 것이다. 계절적으로 보았을 때 수온이 가장 높았던 7월에 평균 18.03 mg/m³으로 Chl-a의 농도가 가장 높은 결과를 나타내었으며, 그 다음이 10월, 4월 그리고 1월이 가장 낮은 1.86 mg/m³으로 조사되었다. 그리고 수심이 가장 낮은 월산리에 해당하는 JA-1지점이 타 지점보다 다소 높은 결과를 나타내었다.

Fig. 7은 주암호 3개 지점에서 계절별 투명도 측정 결과를 나타낸 것이다. 투명도는 일반적으로 수중에 존재하는 플랑크톤의 농도가 낮을수록 높으며 Chl-a의 농도가 가장 낮은 1월의 투명도가 가장 높았다.

농도가 가장 높았던 7월에 투명도가 평균 1.4 m로 가장 작았으며, 10월과 4월이 가장 큰 결과를 나타내었다.

식물성플랑크톤의 증식은 영양염류와 수온이 중요한 역할을 하게 된다. 강수는 육상의 영양염류를 주암호로 유입시키기 때문에 강수량이 가장 많고(Fig. 2), 수온이 가장 높았던 7월에 식물성플랑크톤의 농도가 가장 높았음을 알 수 있다. 증가된 식물성플랑크톤은 이산화탄소를 소모하고 산소를 생성하는 광합성을 하기 때문에 식물성플랑크톤이 밀집된 표층 부근에서 pH(Fig. 4)와 용존산소(Fig. 5)의 농도가 높은 결과가 발생했으며 투명도 또한 저하되는 원인이 되었으리라 판단된다.

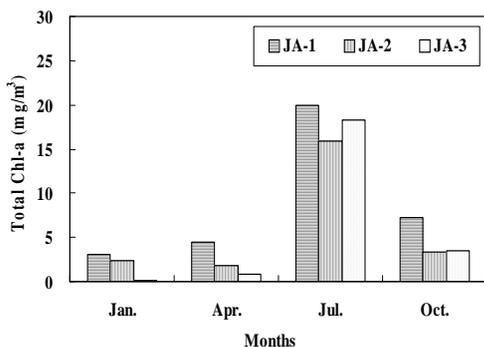


Fig. 6. Seasonal variation of total Chl-a in Lake Juam.

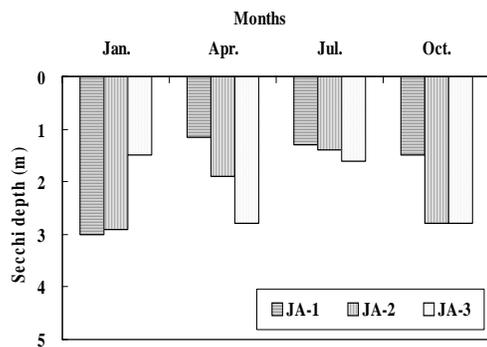


Fig. 7. Seasonal variation of Secchi depth in Lake Juam.

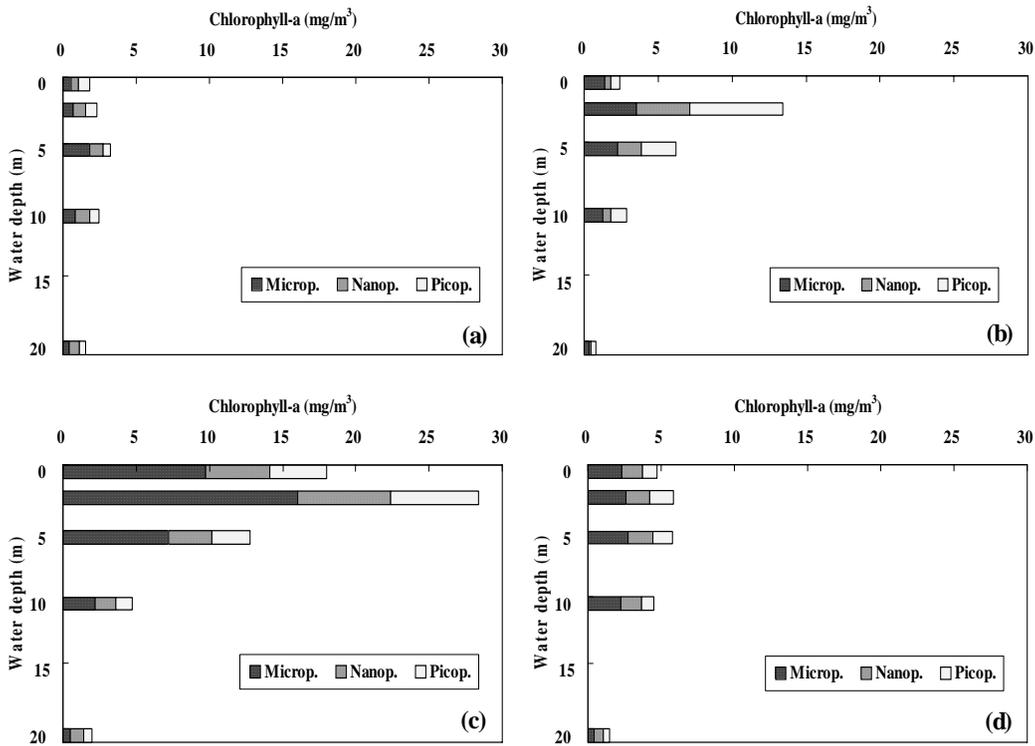


Fig. 8. Vertical profile of macro-, nano-, picoplankton shown as Chl-a with seasonal variation (January(a), April(b), July(c), October(d)) in Lake Juam.

Fig. 8은 계절에 따른 수심별 Micro-, Nano-, Picoplankton의 농도분포를 제시한 결과로서 조사지점 3개 조사지점의 Chl-a 농도를 평균한 결과이다. 모든 계절에서 표층 보다는 수심 2 m와 5 m의 수층에서 가장 높은 Chl-a의 농도를 나타내었으며, 그 이상의 수심에서는 Chl-a의 농도가 점차 감소하는 경향을 보였다. 그리고 고수온기인 7월의 Chl-a 농도가 가장 높았으며 1월이 가장 낮았다. 전체적인 경향으로는 20~200 μm 에 해당하는 Microplankton이 33.9~54.2%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었으며, 2~20 μm 에 해당하는 Nanoplankton이 24.3~30.5%를 점유하고 있었으며, 나머지 2 μm 미만인 Picoplankton이 21.6~41.2%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

따라서 저자의 사전연구⁹⁾인 정수 처리공정의 응집침전공정에서 응집제(Alum, PAC)를 이용하여 미세조류의 제거 가능성을 파악한 연구에서 picoplankton의 제거율은 약 30% 미만으로 조사되었기 때문에, 본 연구에서 조사된 농도로 원수가 취수되어 정수장에 유입될 경우 약 2.1~9.9 mg/m³의 Chl-a는 응집침전공정에서 제거되지 못하고 후속 공정인 사여과공정으로 이동될 것으로 판단된다. 만일 사여과공정에서 잔여 미세플랑크톤이 제거되지 못할 경우 식물성플랑

크톤은 염소소독에 의해 세포내의 물질이 생물학적으로 분해 가능한 유기물(AOC; Assimilable organic carbon)로 전환되고 이는 미생물의 증식을 돕는 유기원이 되어 후속 공정인 급수배수관망에서 세균 및 병원미생물의 재증식(Regrowth)을 유발시킬 가능성이 있을 것을 판단해 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 광주, 나주, 순천시, 여주시, 고흥군 등지에 생활 및 농·공업용수를 공급하는 다목적댐인 주암호에서 물리화학적 인자의 변화에 따른 미세조류의 계절적 변동특성을 파악하는 것을 목적으로 하여, 4회에 걸쳐 주암호 3개 지점에서 기초환경 변화와 Micro-, Nano- Picoplankton의 계절적 군집변화 양상을 파악하였다. 조사결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 강수량이 많고 수온이 가장 높았던 7월에 평균 Chl-a의 농도가 18.03 mg/m³으로 가장 높은 결과를 나타내었으며, 그 다음이 10월, 4월 그리고 1월이 가장 낮은 1.86 mg/m³으로 조사되었다.

- 2) Chl-a의 농도가 가장 높았던 7월에 투명도가 평균 1.4 m로 가장 작았으며 Chl-a의 농도가 가장 낮은 1월의 투명도 값은 평균 2.5 m로 가장 큰 결과를 나타내었다.
- 3) 모든 계절에서 표층 보다는 수심 2 m와 5 m의 수층에서 가장 높은 Chl-a의 농도를 나타내었으며, 그 이상의 수심에서는 Chl-a의 농도가 점차 감소하는 경향을 보였다.
- 4) 전체적으로 20~200 μm 의 Microplankton이 33.9~54.2%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었으며, 2~20 μm 의 Nanoplankton이 24.3~30.5%, 나머지 2 μm 미만인 Picoplankton이 21.6~41.2%로 조사되었다.

따라서 주암호에서 취수된 원수의 경우는 picoplankton과 같은 미세플랑크톤이 상당비율로 포함되어 있기 때문에 응집침전 및 사여과 공정 등의 정수처리 공정에서 제거되지 못한다면 후속공정인 염소소독에 의해 미세플랑크톤의 세포 내의 물질이 생물학적으로 분해 가능한 유기물(AOC; Assimilable organic carbon)로 전환되어 후속 공정인 급수·배수관망에서 세균 및 병원미생물의 재증식(Regrowth)을 유발시킬 가능성이 있을 것을 판단해 볼 수 있다.

KSEE

참고문헌

1. 박혜경, “수자원 관리를 위한 조류 분석법”, 대한환경공학회지, **29**(6), 593~609(2007).
2. 임재림, 김성수, 이경혁, 이성열, 전화조, 정선영, “한강수계에서 조류발생과 맛냄새발생과의 상관관계”, 대한환경공학회지, 춘계학술 연구발표회, pp. 248~251(2006).
3. 류재근, 박혜경, “Cyanobacteria가 생산하는 Microcystin의 제거 특성 및 그 제거기술 현황”, 첨단환경기술, **5**(12), 40~50(1997).
4. 박세진, 차일권, 윤태일, “정수처리공정에서 조류유래 유기물질의 제거”, 대한환경공학회지, **27**(1), 377~384(2005).
5. 임영성, 송원섭, 조수식, 이홍재, 허종수, “정수처리과정중 응집 및 여과에 미치는 조류의 영향”, 한국환경농학회지, **19**(1), 13~19(2000).
6. 안규홍, 임병란, 전대영, 유현선, 박유정, “정수장 침전지 배수로의 부착조류 제어방안에 관한 연구”, 한국물환경학회대한상하수도학회, 공동 춘계 학술 발표회 논문집, pp. 583~589(2006).
7. 이지형, 김미화, 김동윤, “배·급수관망에서 HPC와 Coliform을 중심으로 한 미생물 재성장 고찰”, 대한환경공학회지, **23**(2), 261~267(2001).
8. 최규철, 권오익, 김동욱, 김용환, 박광하, 이우식, 이정연, 전세진, 정수경, 수질오염공정시험방법주해, 동화기술(2004).
9. 정정조, “응집·침전공정에서 무기고분자응집제를 이용한 미세조류의 제거”, 대한환경공학회지, **30**(1), 85~89 (2008).