

옥정호 수환경인자에 의한 식물성 플랑크톤의 시공간적 분포특성 연구*

문예은**

목 차

- | | |
|------------|------------|
| 1. 머리말 | 5. 맺음말 |
| 2. 이론적 배경 | 참고문헌 |
| 3. 연구방법 | <Abstract> |
| 4. 결과 및 고찰 | |

국문초록

본 연구에서는 전라북도에 존재하는 인공호인 옥정호의 기상 및 수문 현황을 파악함과 더불어 측정망 결과를 바탕으로 수질과 환경인자들 간의 상호관련성 영향을 파악하고자 하였다. 또한 수질 및 조류 분석과 더불어 통계 분석을 수행하여 종합적으로 식물성 플랑크톤의 성장에 영향을 미치는 인자를 파악하고자 하였다.

수질측정망 결과로는 하천이 강우로 인한 영향을 직접적으로 받기 때문에 수질 농도의 변동성이 호소에서보다 크게 나타났다. 또한 총인과 유기물질의 농도가 유사하게 나온 것으로 보아 강우로 인해 비점오염원으로부터 오염물질과 함께 인 화합물이 입자성 인의 형태로 유입되어 나타난 결과로 판단된다.

현장조사는 2017년과 2018년에 각각 하천 3지점, 호수내 5지점, 총 8지점을 선정하여 조사를 수행하였으며, N/P ratio는 측정망 결과와 수질분석 결과 모두 대부

* 본 논문은 필자의 전북대학교 석사학위논문 『옥정호 수환경인자에 의한 식물성 플랑크톤의 시공간적 분포특성 연구』 일부를 발췌하여 정리한 것이다

** 전북대학교 지구환경과학과 박사과정, E-mail: bear9149@naver.com

분이 인 제한환경으로 나타났다. 부영양화지수 분석 결과 대부분 중영양 환경으로 나타났다. 조류 분석 결과로는 조사 기간 전반적으로 규조류가 우점하는 경향을 보였다.

다변량 통계 분석인 주성분 분석을 통하여 나타난 결과에서는 2017년, 2018년 모두 4개의 요인이 추출되었으며, 각각 74.6%, 78.3%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다. 2017년과 2018년의 분석결과는 각각의 순서는 다르지만 수체의 기상 및 수환경인자의 변화, 유기물과 입자성 인의 유입으로 인한 조류의 성장, 기상인자의 변화, 남조류 고유의 특성으로 유사하게 나타났다.

본 연구 결과를 종합한 결과 옥정호에서는 수질인자 중 제한영양염으로 작용하는 T-P에 대한 관리가 필요하다고 판단되었다. 또한 상류 유입하천은 유량 변화에 따라 유입되는 영양염류 및 유기물 영향이 크게 작용하였기에 옥녀동천의 수질을 관리함으로써 옥정호내 조류의 성장을 제어할 필요가 있다고 판단된다.

주제어 : 식물성 플랑크톤, 옥정호, 영양염류, 인 제한환경, 다변량 통계분석

1. 머리말

전 세계적으로 산업화 및 도시화의 진행에 따라 생활용수를 비롯하여 다양한 분야에서의 물의 수요가 증가하고 있다¹⁾ <그림 1>. 우리나라 또한 1980년대 이후로 지난 수십년간 동일한 양상을 보여왔으며, 특히 우리나라의 경우 산지를 제외한 토지 대부분이 농지로 구성되어있기 때문에 농업용수의 비율이 높게 측정되어왔다. 전라북도 또한 농지의 비율이 높아 농업용수의 사용량이 가장 높으며, 그 외 생활용수를 비롯한 물의 수요가 점차 증가하는 추세를 보여왔다. 우리나라의 경우 자연적인 호수가 거의 존재하지 않기 때문에 수자원의 공급은 주로 하천이나 지하수에 의존했으나, 지표의 담수에 영향을 미치는 공급원으로 강우를 포함한 강수작용이 가장 큰 영향을 미치기 때문에 강수량에 따라 공급량의 빈부차이가 큰 특징이 나타났다. 하지만 강수량이 여름철에 한정되어 있는 기후적 특성으로 인해 보다 안정적으로 수자원을 공급하기 위한 방법을 마련하고자 하였으며, 물을 보관하여 사용하는 대책을 마련하고자 하였다. 하지만 지형분포 특성상 대부분 산지로 구성되어 있어 자연적으로 물을 보관하기가 용이하지 않으며, 수자원을 효율적으로 보관하는 관리방법을

1) 배헌균, 김학운, 2012, 『세계물포럼에 즈음한 대구경북 물산업의 현황과 전망』, 『환경과 학논집』, 16권 1호, 249-255쪽.

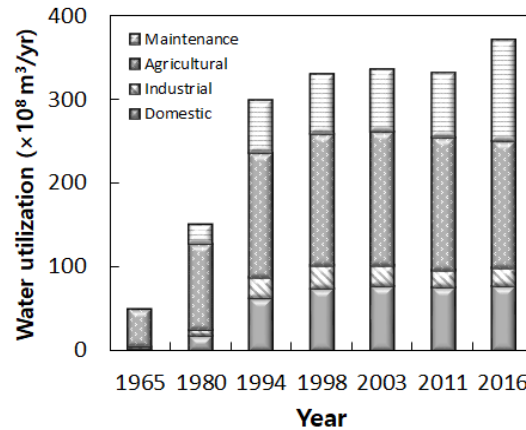


그림 1. Changes in water resource use

마련하기 위해 하천을 가로막는 인공댐을 건설하여 인공호를 조성하는 방식을 사용해왔다.

인공호는 하천의 흐름을 차단하여 형성되기 때문에 유속이 감소하여 정체수역이 형성되며, 자연호에 비해 넓은 유역면적을 갖게 되어 유역의 점, 비점오염원으로부터 유입되는 영양염류 및 오염물질의 영향을 크게 받는다.²⁾ 또한 정체수역의 특성상 유입된 물질의 배출이 원활하지 않아 영양염류가 과도하게 유입되거나 유입된 물질이 오랜 기간동안 축적될 경우 부영양화(Eutrophication)가 진행될 가능성이 높다.

이와 더불어 기상 및 수리, 수문 환경 조건이 적절하게 조성될 경우 조류의 과다 성장으로 이어질 수 있다. 일부 조류의 경우 과다 성장할 경우 독소 물질 및 악취를 생성시킬 수 있으며, 어류 및 가축 폐사로 이어져 보건 및 환경적 면에서 다양한 수질문제를 일으킬 수 있다. 각 조류의 색에 따라 물의 색깔을 변화시키고, 탁도를 증가시키는 등의 심미적 불쾌감을 유발하기도 하며, 과다 성장한 조류들이 수체 표면에서 차광층을 형성하며 호흡 및 성장하면서 수체 내의 산소를 고갈시켜 층 하부의 조류가 사멸함으로 수체 내에서 악영향을 일으킬 수 있다. 조류 사체는 유기물로 작용하여 상수처리 과정 중 여과처리의 막 폐쇄를 일으키며, 염소처리 중 소독제인 염소와 반응하여 트리할로메탄(THMs, TriHaloMethanes)과 같은 발암물질을 생성시키는 등의 다양한 문제를 일으킨다³⁾. 인공호의 대부분은 상수원으로 사용되기 때문에 공공보건과 환경

2) 김좌관, 홍옥희, 1992, 『국내 인공댐호의 물리적 환경인자에 의한 호수특성 고찰에 관한 연구』, 『한국환경과학회지』 1권 2호, 49-57쪽.

적 면에서 수질관리의 필요성이 대두되고 있다.

조류(Algae)는 수중에 존재하며, 생활하는 매우 작은 미생물이며, 식물성 플랑크톤(Phytoplankton)이라고도 한다. 조류는 햇빛과 이산화탄소를 이용하여 자체적으로 에너지원으로 전환시키며 영양분을 얻을 수 있는 광합성을 수행하며 성장하는 독립영양생물이다. 따라서 주요 성장조건으로 여겨지는 인자는 햇빛과 그로 인해 나타나는 수온의 변화이며, 그 외 강수량과 같은 기상조건과 영양염류와 같은 수질 환경조건, 체류시간과 같은 수리, 수문학적 환경조건 등의 복합적인 상호작용을 통해 조류의 성장 속도가 결정된다. 수온이 조류의 성장에 큰 영향을 미치는 인자이기 때문에 계절의 변화와 수온의 변화로 인해 조류의 성장이 다양하게 나타난다.⁴⁾ 특히 시기에 따라 나타나는 우점종이 다르기 때문에 조류의 과다 성장으로 인한 수질오염 및 악영향을 예방하기 위해 다양한 조건에서의 성장을 파악하는 것이 중요하다.

전라북도에 존재하는 주요 인공호는 용담호와 옥정호가 있다. 그 중 옥정호는 섬진강댐의 건설을 통해 조성된 인공호수이며, 전라북도 시가지에 용수를 제공하는 상수원으로 작용한다. 옥정호는 인공호의 특성상 유역으로부터 유기물을 포함한 오염물질 및 영양염류가 유입될 가능성이 높으며, 또한 2015년 이후 상수원보호구역의 재조정으로 인해 보호구역이 축소됨에 따라 수질오염에 대한 우려가 증가하는 실정이다. 옥정호의 특성상 수질환경이 변화할 시 조류 발생의 가능성이 높아질 수 있다. 따라서 각 환경인자들과 조류의 상호관계 조사를 수행함으로써 옥정호 조류 발생의 관리대책을 마련할 필요가 있다.

옥정호에서 지금까지 진행된 연구는 호 내에서의 환경인자들 간의 상호작용보다는 옥정호의 상류 및 하류의 점오염원이나 비점오염원과 같은 주변 오염원 관리나 수문학적 연구에 집중되어 있으며, 생물학적 연구는 대부분 어류나 동물성 플랑크톤에 집중되어 있다. 또한, 식물성 플랑크톤과 관련된 연구는 비교적 오래전에 진행되었거나 직접적인 조사를 통한 연구가 아닌 측정망 결과를 종합한 한정적인 연구가 진행되어 보다 자세한 상호관계를 파악하기엔 연구결과가 부족한 실정이다.⁵⁾⁶⁾ 최근 다른 호수에서 진행된 조류 및 수질 인자

3) 박혜경, 서용찬, 조일형, 박병황, 2006, 「녹조현상 원인조류들의 염소처리에 의한 소독부산물 생성 및 microcystins 유출」, 『한국물환경학회지』 22권 3호, 513-520쪽.

4) 김미숙, 정영륜, 서의훈, 송원섭, 2002, 「낙동강 부영양화와 수질환경요인의 통계적 분석」, 『한국조류학회지』 17권 2호, 105-115쪽.

5) 나정은, 정명화, 조인숙, 박중환, 황경섭, 송효정, 임병진, 라궁환, 김현우, 이학영, 2012, 「영산강, 섬진강 수계 주요 호수의 식물플랑크톤 군집」, 『한국환경생물학회지』 30권 1호, 39-46쪽.

와 관련된 연구는 질소와 인과 같은 영양염류의 농도와 연관있는 부영양화에 대한 연구가 주로 이루어져있으며, 수질인자에 대한 분석을 수행하여 도출된 인자들의 농도를 종합한 후 다변량 통계 분석을 이용해 다양한 인자들 간의 상호관계를 파악하는 연구가 주로 수행되고 있다.⁷⁾⁸⁾

따라서 본 연구에서는 옥정호 유역의 기상청 자료 분석 및 수질 측정망 결과 분석을 통해 최근 경향성을 파악하고자 하였으며, 실제 호수 내부 지점에서 현장조사와 수문학적 문헌조사를 통해 수환경인자 및 조류의 시공간적 분포를 파악하고자 하였다. 이와 다변량 통계분석을 수행함으로 조류와 각 인자들 간의 상호 관계를 파악하여 조류의 성장에 영향을 미치는 인자를 파악하고자 하였으며, 옥정호를 지속가능한 수자원으로 이용하기 위한 관리 방안의 기초자료로서 제공하고자 한다.

2. 이론적 배경

1) 부영양화

부영양화는 유역으로부터 수체 내부로 인(Phosphorus, P)과 질소(Nitrogen, N)와 같은 영양염류의 화합물이 다량으로 유입되어 농도가 높게 나타나는 것을 의미한다. 수체 내부에서 질소와 인의 농도증가는 자연적 또는 인위적 기작으로 인해 초래될 수 있으며, 자연적인 기작에 의한 부영양화인 자연적 부영양화(Natural Eutrophication)와 인간 활동에 의한 영양염류의 농도 증가를 인위적 부영양화(Cultural Eutrophication)로 구분된다. 또한 인위적 부영양화는 자연적 부영양화에 비해 수체로 높은 농도의 영양염 등이 급작스럽게 유입되는 경우가 많아 다양한 수질오염 문제의 원인이 되고 있다.

수체 내에 영양염의 농도가 높은 상태로 유지되는 경우 수환경 조건에 따라 조류의 과다 성장으로 이어지는 경우가 많으며, 이는 조류의 개체수 및 종 분포에 영향을 미치기도 한다.⁹⁾ 특히 수온이 25℃ 이상으로 유지되며, 체류시간

6) 이호령, 2010, 「옥정호의 조류발생 영향인자 상관성 분석 연구」, 석사학위논문, 조선대학교.

7) 유순주, 이은정, 박민지, 김갑순, 임종권, 류인구, 최황정, 변명섭, 노혜란, 2018, 「통계로 보는 팔당호 물환경 변화」, 『한국물환경학회지』 34권 6호, 688-702쪽.

8) 박연정, 김한순, 반양진, 이희숙, 2017, 「금강과 용담댐 하류하천 부착규조 군집 동태 및 생물학적 수질 평가」, 『한국환경분석학회지』 20권 3호, 138-144쪽.

이 30일 이상인 정체수역이 부영양화 되는 경우 조류의 급격한 성장으로 인한 광범위한 녹조현상이 나타나기도 한다.¹⁰⁾ 따라서 유역으로부터 유입되는 영양염류의 농도를 관리하는 것이 조류의 성장을 제어하는 중요한 수질관리 방안이 될 수 있다.

조류의 성장은 수체 내 존재하는 영양성분의 총량 뿐 아니라, 각 영양성분의 상대적인 비율에 의해서도 영향을 받는다. Redfield¹¹⁾의 연구에 따르면 해양조류 세포를 구성하는 탄소, 질소, 인의 비율은 106:16:1로, 수체 내 각 원소의 농도비가 위의 비율을 유지하는 경우 조류의 성장이 특정 원소에 의해 제한받지 않음을 지시한다. Redfield가 제시한 원소비의 구성 원소 중 탄소는 공기 중의 이산화탄소가 수체로 직접 용해될 수 있기 때문에 수체에서 조류 성장의 제한요소로 작용하는 경우는 거의 없다. 따라서 인과 질소가 조류 성장의 주요 제한요소로 작용하는 영양염이라고 할 수 있다. 대부분의 인공호의 경우 유역에서 유입되는 비료나 축산폐수 등의 영향을 받아 인과 질소의 농도가 증가한다. 그 중 질소의 경우 수체 내에서 다양한 질산염의 형태로 존재하며, 용해도가 높기 때문에 인에 비해 비교적 높은 농도로 존재하는 경우가 많다. 따라서 인이 1차 제한영양염으로 존재할 수 있으며, 인의 농도가 높은 경우 질소가 2차 제한영양염으로 존재할 수 있다.¹²⁾

조류 성장에 제한요소로 작용하는 영양성분을 파악하고 이를 바탕으로 한 유역 오염원 및 수질관리를 수행하기 위해 수질 측정 시 N/P ratio를 측정하고 그 결과를 바탕으로 질소 또는 인을 집중적으로 관리하게 된다. 실제 현장에서 측정된 N/P ratio는 수계와 유역 오염원의 특성에 따라 매우 다양한 비율로 나타나는데, 국내 호소 생활환경기준에서는 N/P ratio가 7 미만인 경우 질소를 조류 성장의 제한요소로 작용한다고 판단하고, 16 이상인 경우 인을 조류 성장의 제한요소로 작용한다고 보고된 바 있다.¹³⁾ 이 외에도, 질소 또는 인 제한환경을 지시하는 N/P ratio에 대한 여러 연구결과가 존재하며, 이에 따라 다양

- 9) 문예은, 김현수, 2019, 「옥정호 조류의 시공간적 분포와 조류발생 특성 분석」, 『대한환경공학회지』 41권 10호, 554-571쪽.
- 10) 조완희, 엄경택, 김진수, 반양진, 정세웅, 2012, 「대청호의 조류발생 분석」, 『환경영향평가』 21권 3호, 367-380쪽.
- 11) Redfield, A. C., 1958, The biological control of chemical factors in the environment, Am. Sci., 46, pp. 205-221.
- 12) 정다빈, 안광국, 2013, 「N:P ratio 조절에 의한 단기 영양염 첨가 바이오에세이(NEBs) 및 1차 생산력(엽록소-a)의 반응성 테스트」, 『한국환경생물학회지』 31권 4호, 383-392쪽.
- 13) 김현수, 정일환, 2015, 「용담호 조류군집의 시공간적 분포와 조류발생 요인분석」, 『한국지하수토양환경학회지』 20권 7호, 121-134쪽.

한 값이 제한환경 지시의 척도로서 제시되었다. 공동수¹⁴⁾는 N/P ratio가 8~15 미만으로 나타날 경우 질소 제한 환경, 17~29이상으로 나타날 경우 인 제한 환경이라고 제시하였으며, Smith¹⁵⁾는 TN/TP ratio가 10~17의 범위에서는 인과 질소가 동시에 제한염이 될 수 있으며, 이 이하에서는 질소 제한환경, 이상에서는 인 제한환경으로 제안하였다. 본 연구에서의 영양염류 제한환경의 분류 및 분석은 국내 호소 생활환경기준에 근거하여 수행되었다.

2) 부영양화 지수

부영양화 지수는 호수 수질환경의 상태와 변화를 파악하기 위해 광범위하게 적용되는 정량 지표로서, 이를 바탕으로 호수의 부영양화 정도를 파악하고 수질개선 대책을 수립하는 등 수질관리에 있어서 다양하게 활용되고 있다. 기존에는 투명도(Secchi Depth, SD), 표층 총인(Total Phosphorus, T-P), 엽록소-a(Chlorophyll-a, Chl-a)를 이용하여 Carlson(1977)이 제안한 TSI(Trophic State Index)를 사용하였다.

$$TSI(SD) = 10(6 - \log \frac{SD}{2}), \quad (SD : m)$$

$$TSI(ChlL) = 10(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln ChlL}{\ln 2}), \quad (ChlL : \text{Lorenzen-Chl-a, } \mu\text{g L}^{-1})$$

$$TSI(T-P) = 10(6 - \frac{\ln(48/T-P)}{\ln 2}), \quad (T-P : \mu\text{g L}^{-1})$$

Carlson의 TSI는 자연적으로 생성된 호수에서 관측된 수질농도들을 이용하여 개발되었으며, 호 내의 영양상태에 따른 내부생산을 평가하는 지수이기 때문에 자연호에 적용가능하다.¹⁶⁾ TSI는 자연호의 SD에 영향을 미치는 수중 현탁물질의 대부분이 식물플랑크톤이라고 가정하였지만, 우리나라 인공호의 경우 하절기 집중강우로부터 유입되는 외부 유기 및 무기 현탁물의 급격한 증가로 인해 투명도가 감소하는 경향을 보이기 때문에 국내 호소에서의 SD와 조

14) 공동수, 2019, 「우리나라 주요 호소의 수질특성에 대한 통계적 분석」, 『한국물환경학회지』 35권 2호, 165-180쪽.

15) Smith, V. H., 1982, The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis. Limnol Oceaogr., 27, pp. 1101-1112.

16) 김응석, 심규범, 김상단, 최현일, 2012, 「한국형 부영양화 지수를 이용한 저수지 수질평가」, 『한국물환경학회지』 28권 1호, 78-83쪽.

류의 연관성을 파악하기에는 한계가 있다.¹⁷⁾ 따라서 TSI의 한계점을 보완하기 위해 2006년에 환경부와 국립환경과학원 주관으로 T-P, COD, Chl-a 농도를 조합하여 우리나라 인공호에서 적용 가능한 한국형부영양화지수(TSI_{KO})를 개발하였다. 기존의 TSI에서 SD가 제외되고 COD가 포함된 것은 강우시 탁수의 영향과 유기물의 외부 유입이 고려되었기 때문이다.¹⁸⁾ 종합 TSI_{KO}는 각 지표 항목에 비율 가중치를 곱하여 합산하는 방식으로 산정되며, COD 항목이 다른 항목들에 비해 2배의 가중치를 받음으로써 외부기원 또는 내부기원의 유기물 양을 반영한다고 판단할 수 있다.¹⁹⁾

$$TSI_{KO}(COD) = 5.8 + 64.4 \log(COD \text{ mg/L})$$

$$TSI_{KO}(Chl-a) = 12.2 + 38.6 \log(Chl-a \text{ mg/m}^3)$$

$$TSI_{KO}(T-P) = 114.6 + 43.3 \log(T-P \text{ mg/L})$$

$$\text{종합 } TSI_{KO} = 0.5 TSI_{KO}(COD) + 0.25 TSI_{KO}(Chl-a) + 0.25 TSI_{KO}(T-P)$$

3) 식물성 플랑크톤

식물성 플랑크톤(Phytoplankton) 또는 조류(Algae)는 담수나 해수와 같은 수체에서 생활하는 매우 작은 미생물이며, 엽록소(Chlorophyll)를 지니고 있어 햇빛과 이산화탄소를 이용해 광합성을 수행함으로 자체적으로 에너지 및 영양분을 얻는 독립영양생물이다. 빛 에너지를 사용하는 광합성의 특성 상 빛의 강도가 증가할수록 조류의 성장 속도도 증가하지만, 태양광의 강도가 일정 수준을 초과하는 경우, 자외선, 특히 UV-B에 의한 광합성 및 성장속도의 감소가 발생할 수 있으며, 이는 식물성 플랑크톤의 사멸을 초래할 수 있기 때문에 하절기에 우점하는 남조류의 일부 종은 세포의 부력을 조절하여 빛의 강도에 따라 성장에 적절한 강도에 해당하는 깊이로 수직적인 상승 및 하강을 하기도 한다. 일반적으로 일조시간이 길고 온도가 높은 여름철에 조류의 성장이 증가하며, 특히 장마 직후 조류의 성장이 급증하는 경우가 많다. 장마 후 조류의 증가는 방류량에 비해 크게 증가한 유입량으로 인한 정체수역의 형성과, 장마

17) 공건화, 이재훈, 안광국, 2009, 「우리나라 주요 인공호의 투명도에 대한 수질 및 수중 부유물 영향 분석」, 『한국하천호수학회지』 42권 2호, 221-231쪽.

18) 공동수, 김범철, 2019, 「한국 호소 상층부의 영양상태지수 제안」, 『한국물환경학회지』 35권 4호, 340-351쪽.

19) 김범철, 공동수, 2019, 「한국형 부영양화지수(TSI_{KO})의 인자로서 TOC의 적용성 검토」, 『한국물환경학회지』 35권 3호, 271-277쪽.

시 유역으로부터 유입되어 축적된 영양염류의 증가에 의한 부영양화가 원인이 된다.

국내 담수에서 발견되는 조류의 종은 크게 남조류, 규조류, 녹조류 세 종류의 분류군과 그 외, 기타 조류 등이 있다. 이들 분류군은 클로로필(Chlorophyll)-a, b, c 등을 체내에 포함하고 있으며, 그 중 클로로필-a(Chl-a)를 공통으로 지니고 있기에 이를 측정함으로 수체내에 존재하는 조류의 현존량을 간접적으로 추정할 수 있다.²⁰⁾

남조류(Cyanobacteria)는 최적 성장수온이 20~30℃으로 주로 초여름과 가을 사이가 우점시기로 나타나는 경향이 있으며, 주로 남색에 가까운 진한 녹색을 띤다. Chl-a를 지니고 있으며, 일부 종은 부상능력을 지니고 있어 햇빛이 강한 낮 시간대에는 가라앉았다가 빛의 세기가 약해지는 시간대에는 상승하여 최적의 광도 및 수온을 가진 수심으로 이동할 수 있다. 각각의 개체는 매우 작은 크기로 존재하며, 군체를 형성하는 특징을 지닌다. 또한 대기 중의 질소가스를 생물이 이용 가능한 형태의 질소로 전환시키는 질소고정능력(Nitrogen fixation)이 있어서 질소가 부족한 상황에도 다른 조류군들에 비해 상대적으로 우점하는 특성이 있다. *Microcystis*나 *Anabaena* 속에 속하는 일부 종의 경우 각각 마이크로시스틴이나 아나톡신과 같은 독성물질을 생성하기 때문에, 남조류가 대량으로 발생할 경우 가축의 질병이나 폐사를 유발하여 수생태계의 균형을 파괴시킬 수 있다.²¹⁾

규조류(Diatoms)는 남조류와는 반대로 최적 성장수온이 10℃ 이하로 주로 늦가을에서 봄까지가 우점시기로 나타나는 경향이 있다. 규산질의 껍질을 지니 일정한 형태로 나타나면서 갈색을 띄는 단세포 생물이며, Chl-a, c를 지니고 있다. 주로 나타나는 출현 속으로는 *Synedra*, *Aulacoseira*, *Cyclotella* 등이 있다.

녹조류(Chlorophyta)는 남조류와 규조류가 선호하는 온도의 중간 온도인 10~20℃를 선호하며, 주로 봄에서 가을 사이에 우점하는 경향을 보인다. Chl-a, b를 지니고 있으며 다량의 엽록소를 지니고 있어 옅은 녹색을 띤다. 주로 나타나는 출현 속으로는 *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Chlorella* 등이 있다.

20) 박주현, 이경진, 조재원, 전숙례, 강선홍, 2015, 「낙동강에서 클로로필(Chlorophyll) 측정을 위한 클로로필 센서와 아세톤 추출법의 비교분석에 관한 연구」, 『상하수도학회지』 29권 3호, 325-335쪽.

21) 손희중, 정종문, 염훈식, 최진택, 장성호, 2012, 「남조류의 엽소처리에 따른 미량의 엽소 소독부산물 생성에 관한 연구」, 『한국환경과학회지』 21권 8호, 1015-1021쪽.

4) 조류 대발생

정체된 호수나 유속이 느린 하천에 부영양화가 나타나면 이로 인해 조류가 급속하게 성장하여 각 조류가 지닌 엽록소 및 고유의 색으로 인해 물의 색을 변하게 만든다. 우리나라의 경우 주로 수온이 20℃ 이상으로 유지되는 여름철부터 초가을까지 발생하며, 우점종인 남조류와 그 외 조류의 과다 성장으로 인해 나타나 물의 색이 짙은 녹색을 띤다. 이러한 현상을 조류 대발생(Algal bloom)이라 한다. 조류 대발생이 발생하면 수표면에서 조류의 광합성이 활발해져 용존산소가 증가하는 반면, 많은 조류가 밀집되어 나타남으로써 차광층을 형성하여 하부의 조류 및 수생식물은 광합성을 수행하지 못해 사멸한다. 성장 중 호흡작용을 통해 산소가 사용되며, 사멸 후 미생물에 의한 분해작용으로 수체 내의 용존산소가 급격히 고갈된다. 이로 인해 수생물이 사용가능한 산소의 양이 부족하여 어류 및 수생물의 폐사가 유발될 수 있다. 또한 사멸한 조류는 미생물의 생분해 과정을 거쳐 난분해성 유기물로 작용하여 상수처리과정 중 여과처리과정에서 멤브레인의 폐색을 일으킬 수 있으며, 소독 및 살균과정인 염소처리과정의 부산물로서 THMs과 같은 발암물질을 생성시켜 공공보건과 수생태계 전반에 심각한 악영향을 미칠 수 있다.²²⁾ 이와 더불어 악취가 발생할 수 있으며, 탁도가 증가하는 등의 심미적인 불쾌감을 유발할 수 있다. 또한 조류 분류군 중 남조류의 경우 일부 조류종이 독성을 지니고 있기에 보건 및 환경적인 면에서도 악영향을 미칠 수 있다.

5) 조류 경보제

조류 발생에 따른 피해를 최소화하며, 상수원의 안전성을 확보하기 위하여 전국의 하천 및 호소에서 주 1회 이상 상시 모니터링을 하며 조류 경보제를 실시하고 있다²³⁾ <표 1>. 조류 경보제는 1998년 팔당호, 대청호, 충주호, 주암호 주요 4개 호소에 대하여 최초 시행되었으며, 2006년 이후 지자체로 확대되었다. 2016년 『수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행령』 개정 이전까지 Chl-*a*와 유해 남조류 농도를 측정하여 기준 값과 비교하였으나, 개정 이후 Chl-*a*를 삭제하고 유해 남조류 농도만을 사용하여 운영되고 있다. 유해 남조류 세포수

22) 손희중, 정종문, 염훈식, 최진택, 장성호, 2012, 「남조류의 염소처리에 따른 미량의 염소 소독부산물 생성에 관한 연구」, 『한국환경과학회지』 21권 8호, 1015-1021쪽.

23) 국립환경과학원, 2017, 『조류경보제 운영 매뉴얼』.

가 2회 연속 발령기준을 초과할 시 관리기관에서 조류 경보를 발령한다.

표 1. Algae alert system level(Ministry of environment)

Classification	Warning	Alert	Bloom
Water supply source	More than 1,000 cells/mL	More than 10,000 cells/mL	More than 1,000,000 cells/mL
Hydrophilic district	More than 20,000 cells/mL	More than 100,000 cells/mL	-

전라북도에 존재하는 인공호인 용담호와 옥정호 또한 각각 2003년, 2006년부터 조류경보제가 운영되고 있으며, 용담호의 경우 2005, 2006, 2010년에 관심 단계의 조류 경보가 발령된 적이 있다. 옥정호는 조류경보가 발령된 적은 없지만, 유역 주변에 농가를 포함한 비점오염원이 존재하므로 부영양화가 일어나 조류의 과다 성장이 일어날 가능성이 있기에 사전에 관심을 가지고 조류의 성장에 대한 관리가 이루어질 필요가 있다. 하지만 옥정호에서 조류경보제가 이루어지고 있는 지점의 위치가 호 내부가 아닌 취수구를 통해 배출되고 난 동진강 유역에 위치하여있기 때문에 조류경보제 측정지점에서의 측정결과를 이용해서는 호내의 조류 상태를 대표하기엔 부족함이 있다고 판단되었다. 따라서 옥정호 내부의 조류 상태를 파악하기 위해서는 옥정호 내부의 지점들에서 농도 분포를 파악한 후에 종합하여 확인할 필요가 있다고 판단되어 본 연구에서 옥정호 내부의 지점들을 지정하여 각각의 농도들을 확인함으로 호내의 영양상태 및 조류 농도를 파악하고자 하였다.

3. 연구방법

1) 연구지역

연구지역인 옥정호는 섬진강의 최상류에 위치한 섬진강댐의 건설로 조성된 인공호이다. 전라북도에 존재하는 호수 중 2번째로 큰 호수로서 정읍시, 전주시, 김제시 등의 전라북도 시가지에 생활용수를 포함한 각종 용수를 공급하는 상수원의 역할을 수행하고 있다. 동진강 유역의 곡창지대에 부족한 물의 수요를 충족시키기 위하여 1928년 구 운암댐을 건설함으로써 조성되었다. 이후 섬진강댐의 건설로 운암댐이 수몰될 때까지 운암저수지로 불리었다. 운암저수지

조성 이후, 산업의 발달로 인해 증가한 물의 수요를 충족하기 위하여 1965년 운암댐의 약 2 km 하류지점인 전북 임실군 강진면 용수리와 정읍시 산내면 종성리 사이에 섬진강 댐이 건설되면서 현재의 옥정호가 조성되었으며, 섬진강댐으로 인한 옥정호 수위의 증가로 운암댐은 수몰되었다.

섬진강 댐은 우리나라 최초의 다목적 댐으로써 높이 64 m, 길이 344.2 m 규모의 콘크리트 중력식 댐으로 1965년 12월 완공되었다. 섬진강 댐의 건설로 저수면적 26.5 km², 총 저수용량 4.66×10^8 m³(저수량 기준 국내 10위), 총 유역면적 763 km²(섬진강유역의 약 15.6%)의 옥정호가 조성되었으며, 섬진강 유역의 홍수피해를 경감시키면서 칠보취수구를 통하여 호 내의 물을 유역 변경하여 관개용수를 공급함으로 동진강 유역의 부족한 물 수요를 충족시키고 있다. 또한 이때 발생한 낙차를 이용하여 칠보발전소에서 수력발전이 수행되고 있다. 옥정호 유역 내 행정구역은 전라북도 정읍시, 진안군, 임실군 및 순창군의 4개 시, 군과 16개 면에 걸쳐 위치하고 있으며, 대부분 산지와 농업지역으로 구성되어있다. 옥정호의 주요 유입하천은 진안군 백운면 화암리에 위치한 팔공산에서 발원된 섬진강 본류와 상류의 유입하천인 옥녀동천을 포함하여 본류에 합류되는 여러 지류, 지천들이 있으며, 섬진강 댐 부근에서 추령천이 합류된다<그림 2>.

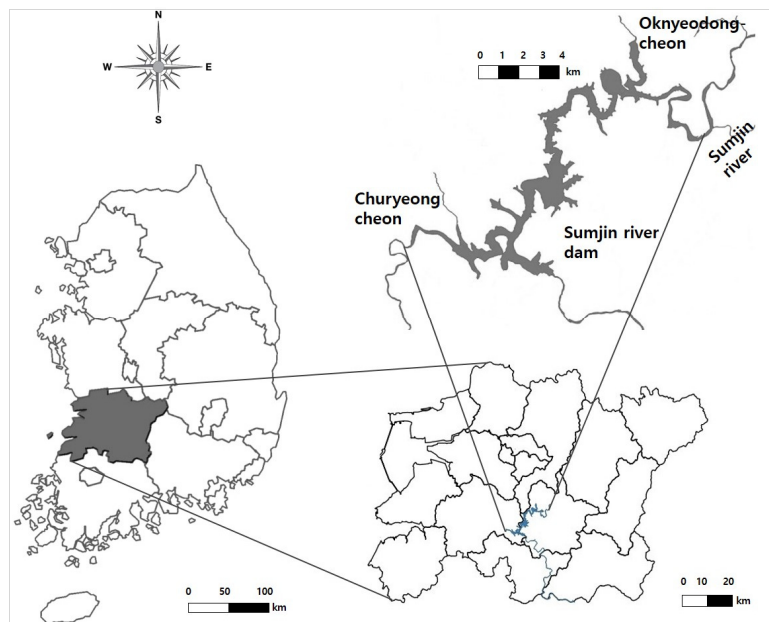


그림 2. Areal map of Okjong reservoir

2) 문헌 조사

문헌조사를 통해 기상인자와 수문현황을 파악하였으며, 옥정호 유역에 존재하는 수질측정망의 관측값을 통합하여 비교함으로써 최근 5년간의 경향성을 파악하고자 하였다<그림 3>. 기상 자료는 옥정호 유역 내에 위치하고 있는 임실 기상관측소의 기상청 관측자료 중 기온, 강수량, 일조량 자료를 사용하였으며, 수문 자료는 국가 수자원관리 종합 정보시스템(WAMIS)의 실시간 수문자료를 참고하여 유입 및 방류량, 댐 수위 등을 사용하였다. 수질측정망 자료는 옥정호 유역에 존재하는 3개소의 하천측정망(관촌, 운암, 추령천), 3개소의 호소측정망(섬진강댐 1, 2, 3)과 조류경보제를 통해 Chl-*a*와 유해남조류 개체수가 측정되고 있는 칠보취수구의 관측값을 사용하였다. 분석에 사용된 항목으로는 T-N, T-P, TOC, COD와 Chl-*a*, 남조류 개체수를 사용하였다.

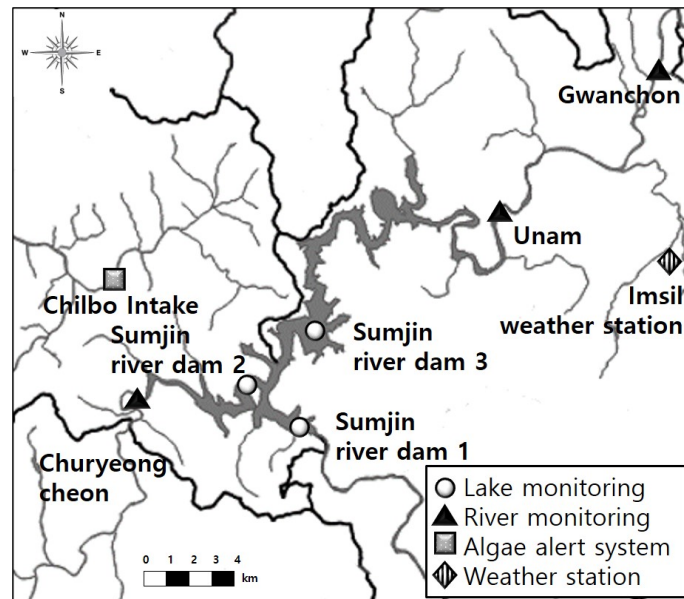


그림 3. Okjong reservoir Water Quality Monitoring Networks and Algae alert system measurement sites

3) 현장 조사

옥정호의 수질 인자 및 조류 분류군에 대한 시공간적 분포를 파악하기 위하여 호수 내부의 지점을 선정한 후, 2017년에는 5, 7, 8, 9, 10, 11월 총 6회 조사,

2018년에는 6, 9, 10, 11월 총 4회 조사를 실시하였다. 2017년에는 3개의 주 유입하천(섬진강 본류(지점 S), 옥녀동천(지점 O), 추령천(지점 C)) 인근의 3지점과 수체의 흐름을 따라서 호수 내부 5지점을 선정하였으며, 2018년에는 상류 유입하천(섬진강 본류(지점 S'), 옥녀동천(지점 O')) 2지점과 추령천 1지점, 수체의 흐름에 따른 5지점을 선정하여 현장 조사를 실시하였다<그림 4>. 현장 측정 및 실험실 분석 항목을 위한 수질 시료 채취는 2.2리터 반돈 채수기(Van Dorn sampler, Wildlife Supply Co., U.S.A.)를 사용하여 수행되었으며, 시료채취 즉시 현장에서 Portable Multimeter(HQ40D, Hach Co., USA)를 사용하여 수온(Temperature, Temp), 수소이온농도(pH), 용존 산소(Dissolved Oxygen, DO), 전기전도도(Electric Conductivity, EC), 산화환원전위(Oxidation and Reduction Potential, ORP) 등의 현장 조사 측정항목을 측정하였다. 그 외 수심(Depth)과 Secchi disk를 사용하여 투명도(Secchi Depth, SD)를 측정하였다.

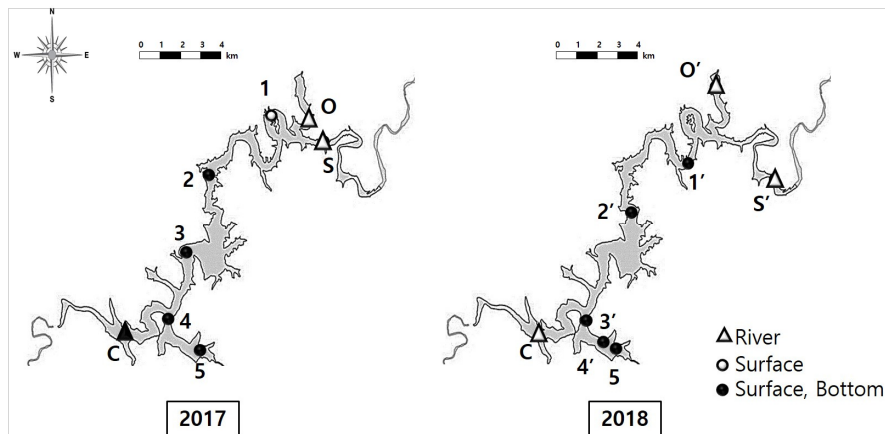


그림 4. Locations of sampling site(2017, 2018)

4) 실험 방법 및 분석

수질 분석 항목은 총 유기탄소(Total Organic Carbon, TOC), 생화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD₅), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 부유물질(Suspended Solids, SS), 총 인(Total Phosphorus, T-P), 총 질소(Total Nitrogen, T-N), 암모니아성 질소(NH₃-N), 질산성 질소(NO₃-N), 그리고 엽록소-*a*(Chl-*a*)를 측정하였다. 실험실 분석을 위해 채취된 시료는 햇빛을 차단한 냉장상태로 운반한 후 분석항목에 따른 전처리를 수행하였으며, 각 시료는

실험을 실시하기 전까지 4℃ 이하로 냉장 보관하였다. TOC는 전라북도 보건환경 연구원에 분석을 의뢰하였으며, 모든 수질 항목은 수질오염공정시험방법에 따라 분석하였다. COD 농도는 과망간산칼륨 적정법을 이용해 분석하였으며, T-P, T-N, NH₃-N, Chl-*a* 농도는 UV/Vis Spectrophotometer(Optizen 2120UV plus)를 사용하여 각 항목에 따른 파장을 변화시켜 흡광광도법으로 측정하였다.

측정된 수질분석 결과를 이용하여 옥정호의 부영양화 정도를 파악하기 위해 환경부와 국립환경과학원에서 COD, Chl-*a*, T-P를 조합하여 개발한 한국형 부영양화지수(TSI_{KO})를 계산하였다. 계산된 결과는 30 이하는 빈영양 환경, 30 초과 50 이하일 경우 중영양 환경, 50 초과 70 이하일 경우 부영양 환경, 70 초과일 경우 과영양 환경에 해당된다고 나타내었다.

5) 조류 분석

조류 분류군에 대한 분석은 채취된 시료를 루골 용액으로 고정하고 침강 농축시킨 후, Sedgwick-Rafter chamber를 이용하여 광학현미경(Nikon TS-100)하에서 동정 및 계수함으로써 정성 및 정량적 분석을 수행하였다. 분석 수행 후 기간 동안 나타난 조류 중 우점종과 아우점종을 파악하였다. 특정 조류종의 우점 정도를 파악하기 위하여 Naughton's dominance Index를 이용하여 우점도지수(Dominance Index, DI)를 계산하였으며, 출현하는 조류 종의 풍부성, 다양성을 평가하기 위해 다양성지수(Diversity Index, H')를 계산하였다.²⁴⁾²⁵⁾ 계산된 값은 기준에 따라서 분류하였으며, 우점도지수와 다양성지수를 산정함으로써 수체의 생태학적 안정성을 파악하고자 하였다.²⁶⁾

$$DI = \frac{N_1 + N_2}{N}$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S (N_i/N) \times \ln(N_i/N)$$

(N₁ = 우점종의 개체수, N₂ = 아우점종의 개체수, N = 총 개체수,

N_i = i 종의 개체수, S = 총 종수)

24) Mcnaughton, S. J., 1967, Relationships among functional properties of Californian grassland, Nature, 216, pp. 168-169.

25) Shannon, C. E. and Weaver, W., 1949, The Mathematical Theory of Communication. Urbana, IL: The University of Illinois Press, pp. 1-117.

26) 허준욱, 강형식, 장민호, 2011, 『한강수계달천의 어류상과 물리적 서식지 조건에 관한 연구』, 『대한환경공학회지』 33권 8호, 564-571쪽.

6) 통계 분석 방법

수질 및 조류인자에 영향을 미치는 각 환경인자들 간의 상호관련성을 객관적이고 과학적인 방법으로 분석하고자 통계 분석을 수행하였다. 단일 변수들 간의 인과관계를 파악하고자 상관성 분석을 수행하였다. 통계 분석은 통계 분석 프로그램인 SPSS Statistics Version 12.0 (SPSS Inc., U.S.A.)을 사용하여 수행하였다. 통계분석에 사용한 수질항목은 모든 분석 항목이며, 분석 항목 중 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 경우 검출한계 이하로 측정되어 분석에서 제외하였다. 이 외 기상인자인 일조량과 강수량을 사용하였으며, 채취한 시료와 기상과의 연관성을 나타내기 위하여 시료 채취일로부터 14일 이전까지의 관측값을 사용하였다.

먼저 상관분석(Correlation Analysis, CA)은 두 변수 사이의 선형관계를 상관계수(r)를 이용하여 수치적으로 분석하는 방법이며, 일대일 관계를 나타내는 일변량 통계분석이다. 주로 -1과 1 사이의 상관계수를 사용하여 나타내는 Pearson 상관분석을 사용한다. 이는 상관계수의 절대값이 1에 가까울수록 상관성이 높아짐을 의미하며, 통계적 유의 수준이 $P < 0.05$ 인 값을 기준으로 절대값이 0.7 이상일 경우 매우 강한 양(음)의 상관성, 0.4 이상일 경우 상당한 양(음)의 상관성을 지닌다고 해석이 가능하다.²⁷⁾ 그 외 0.2 이하의 상관계수는 상관성이 없다고 판단할 수 있으며, 상관계수가 0이면 두 변수간의 선형관계 없이 독립적으로 존재한다고 판단할 수 있다.

하지만 수질과 조류 인자간의 관계는 선형적으로 존재하지 않으며, 상호작용을 통해 비선형적인 관계를 나타내기 때문에 상관분석만으로 충분한 해석이 되지 않는다. 따라서 다변량 통계분석을 통해 상호관계 및 반응을 파악할 필요가 있다고 판단해 분석을 수행하였으며, 주성분분석을 사용해 인자간의 관계를 파악하고자 하였다.

주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)은 변수들 간의 상관성을 바탕으로 관련있는 변수들을 공통된 새로운 요인으로 재조성해 데이터를 축소시키는 요인분석(Factor analysis) 방법 중 가장 많이 사용되는 방법이다. 분석을 통해 도출된 요인 적재값(Factor loading)은 상관분석과 동일하게 -1과 1사이의 값으로 나타나며, 최소 0.5 이상의 값이 도출된 경우에만 설명이 가능하다고 판단되어 설명에 적용하였다.²⁸⁾ 분석에 사용될 요인의 수는 최소 고유값

27) 박찬진, 2014, 「다변량 통계분석을 이용한 영산강 유역의 수질 특성 평가」, 석사학위논문, 전남대학교.

28) 박찬진, 2014, 앞의 논문.

(Minimum eigenvalue) 방법을 사용하여 1이상의 고유값(Eigenvalue)을 갖는 요인으로 정할 수 있으며, 요인 회전방법을 사용하여 해석이 더 용이하게 할 수 있다. 주로 베리맥스(varimax) 방식이 사용된다.

본 연구에 적용된 인자는 상관분석을 통해 얻어진 상관성을 바탕으로 Chl-*a* 인자나 조류 분류군과 상관성이 적은 인자들은 제외하고 분석하였다. 분석의 타당성을 검증하기 위해 KMO test와 Bartlett's test를 수행하였다. KMO test는 결과값이 1에 근접할수록 분석의 타당성이 높고, 0.5 이하일 경우 분석이 적당하지 않다고 판단되며, Bartlett's test에서는 유의확률이 0에 가까울수록 유의성이 높다고 판단된다.²⁹⁾

4. 결과 및 고찰

1) 수리 및 수문 현황

기상 현황 중 강수량과 일조시간의 경우, 조사기간 전체에 걸쳐 6~7월의 급격한 강수량 증가가 나타나기 전에는 강수량의 점진적 증가와 함께 일조시간

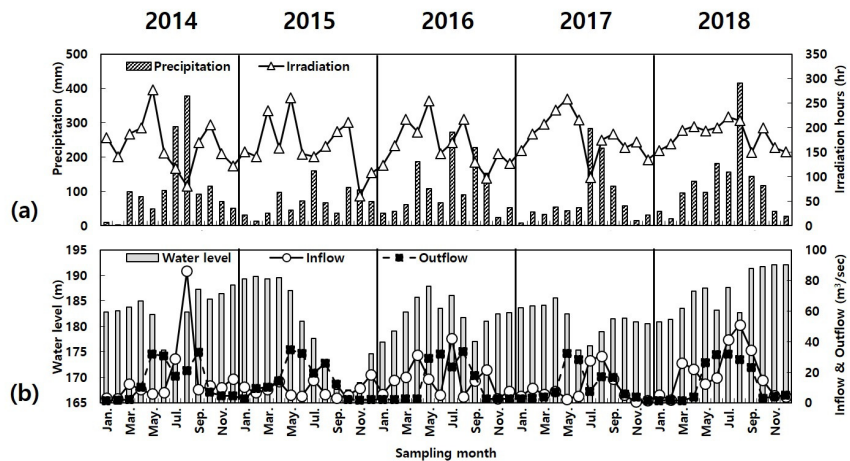


그림 5. Temporal variations of meteorological and hydrological status(2014~2018)
(a) Precipitation and irradiance hour, (b) Inflow, outflow and water level

29) 김미아, 이재관, 조경덕, 2007, 『다변량분석법을 이용한 금강 유역의 수질오염특성 연구』, 『한국물환경학회지』 23권 1호, 161-168쪽.

도 증가하는 양상을 보였다<그림 5>. 하절기 집중강우로 인해 강수량이 크게 증가하는 시기에는 일조시간 또한 큰 변화폭을 보이며 감소하는 것으로 나타났다. 섬진강댐 방류량의 경우 5, 6월 농번기에 농업용수 공급을 위해 급격히 증가하는 양상을 보였으며, 강수량의 변화로 인해 유입량의 증감패턴이 함께 나타나면서 댐 수위의 변화가 나타났다. 인공호에서 물의 체류시간은 강우에 의한 유입량과 댐 운영방식에 따른 방류량 변화의 영향을 받아 방류량이 유입량보다 적거나 유사할 경우 호소 내의 체류시간이 증가한다고 볼 수 있다. 이러한 인공호에서의 일반적인 양상에 근거하여 판단할 경우, 옥정호 유역 측정망에서의 분석결과 방류량이 적게 나타나며 댐수위가 높아지는 시기에는 상대적으로 체류시간이 증가한다고 판단할 수 있다. 이와 같이 정체수역이 형성된 호수에서의 체류시간이 증가할 경우 조류의 과다성장이 발생할 가능성이 있다.³⁰⁾ 이러한 일조시간 및 강우 패턴은 상반기의 적은 강수량과 많은 일조시간이 체류시간의 증가와 더불어 조류의 성장을 뒷받침할 배경이 될 수 있다고 판단된다. 조사기간 중 유입량과 방류량을 비교해본 결과 유입량의 경우 2017년은 강수량이 적은 경향을 보여 이에 따라 비교적 짧은 기간동안 유입되었으며, 2018년에는 보다 더 많은 양으로 더 긴 기간동안 유입됨을 보였다. 방류량은 2017년과 2018년의 결과가 큰 차이가 없는 것으로 파악되었으며, 상대적으로 2018년의 방류량이 더 긴 기간동안 진행됨으로 파악되었다.

수질측정망 모니터링 결과 보고된 T-P, T-N, TOC, COD의 관측치를 비교하였다<그림 6, 7, 8, 9>. T-P와 T-N의 경우, 하천 측정망에서의 수질 항목의 농도변화가 호소 측정망에 비해 큰 농도 분포 특성을 보였다. 이는 하천의 경우 강우로 인해 비점오염원으로부터 유입되는 유기물 및 오염물질에 의해 직접적으로 영향을 받으며, 호수 내부의 경우 흐름에 의해 희석효과가 나타나기 때문으로 판단되었다.³¹⁾

T-P의 경우 호소 측정망의 결과는 비교적 낮은 농도로 완만하게 변화하는 양상을 보였다. 농도 분포는 주로 하절기에 높은 농도로 나타났으며, 조사기간 전반적으로 5~7월경에 하천에서 높은 농도로 나타나는 것으로 보아 다음의 시기에 농업활동으로 비료를 투입함과 더불어 강우현상이 진행됨에 따라 유역 내 퇴적물의 입자성 인 성분이 수체 내로 유입되어 농도가 증가한 것으로 판단되었다.

30) 김진근, 이송희, 방호희, 황수옥, 2009, 「팔당호의 조류 발생 특성」, 『대한환경공학회지』 31권 5호, 325-331쪽.

31) 김범철, 정성민, 2007, 「우리나라 하천과 호수에서 탁수발생 현황과 대책」, 『자연보존』 139권, 1-7쪽.

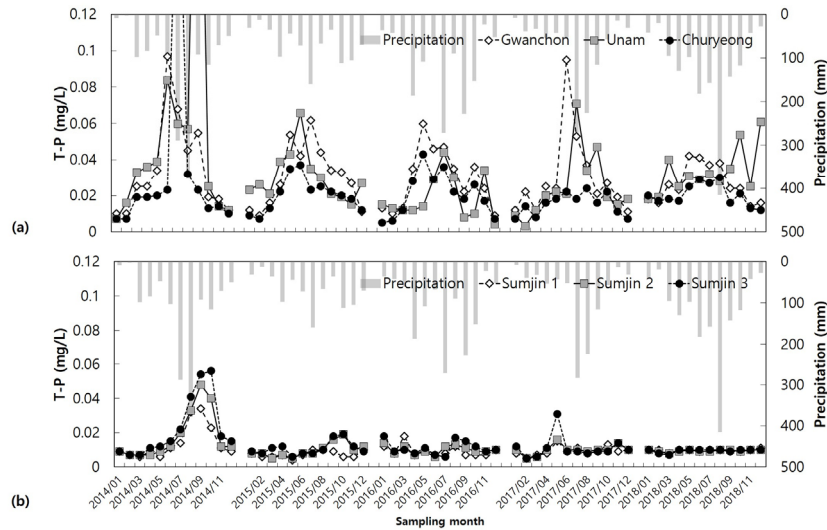


그림 6. Temporal variations of Water Quality Monitoring Networks T-P concentration(2014~2018) (a)River, (b)Lake

이는 콧보라와 김일규³²⁾의 연구와 유사한 결과가 나타난 것으로 판단되었다. 호소 측정망의 경우 조사 기간 전반적으로 위치상 상류에 위치한 섬진강댐 3에서 같은 시기의 타 측정망들에 비해 비교적 높은 농도로 나타났으며, 이후 하류인 섬진강댐 1로 갈수록 낮은 농도로 나타났다. 이는 호수 내에서의 흐름에 따라 하류로 갈수록 희석 및 침강효과가 나타나 이와 같은 농도 분포를 보인 것으로 판단된다.

T-N의 경우 겨울철에 상대적으로 높은 농도를 나타내다가 여름으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 특히 하천측정망에서 강우의 증가와 더불어 농도가 일시적으로 증가함을 보였다<그림 7>. 이는 김호섭과 황순진³³⁾의 연구에서 총 질소가 춘계에 무기질소의 증가로 인해 높은 농도를 나타낸다는 결과와 동일한 경향을 나타내는 것으로 판단된다. 또한 강우의 증가와 더불어 농도가 일시적으로 증가하였다가 감소하는 경향으로 보아 강우현상과 함께 증가하였던 유량이 점차 감소하면서 총질소의 농도 또한 유사하게 변화한 것으로 판단된다.³⁴⁾

32) 콧보라, 김일규, 2016, 「통계분석을 이용한 낙동강 창녕함안보 구간의 수질특성 연구」, 『대한환경공학회지』 38권 2호, 71-78쪽.

33) 김호섭, 황순진, 2004, 「얕은 부영양 저수지의 육수학적 특성-계절에 따른 수질변화」, 『한국육수학회지』 37권 2호, 180-192쪽.

34) 심무준, 윤재용, 이수형, 2015, 「대청호 유입지천의 수질 특성」, 『한국하천호수학회지』 48권 1호, 12-25쪽.

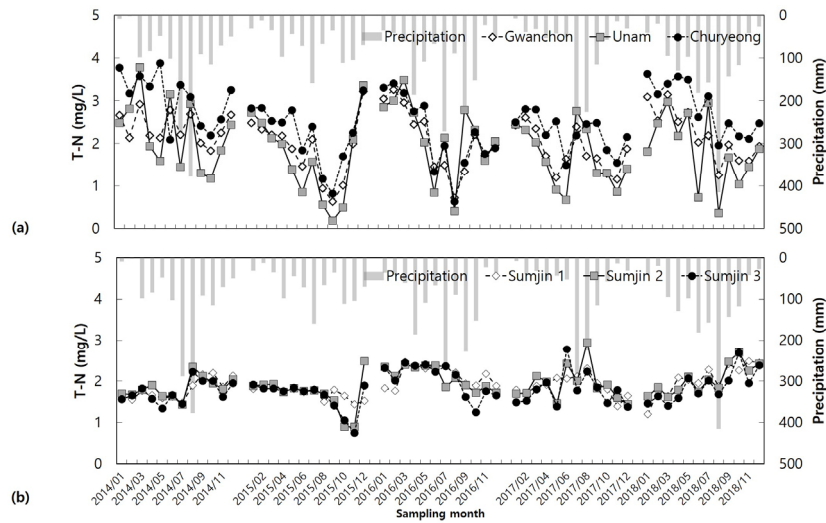


그림 7. Temporal variations of Water Quality Monitoring Networks T-N concentration(2014~2018) (a)River, (b)Lake

TOC와 COD의 경우 각 측정망의 시간적 농도 변화가 유사하게 나타났으며, 강우량의 분포와 유사한 패턴으로 나타나 T-P와도 유사한 분포를 보였다<그림 8, 9>. 이는 앞서 나온 결과와 마찬가지로 주변 비점오염원으로부터 오염물질의 유입과 함께 입자성 인의 형태로 수체 내로 유입될 가능성이 높기 때문에 유사한 경향을 보이는 것으로 판단된다.

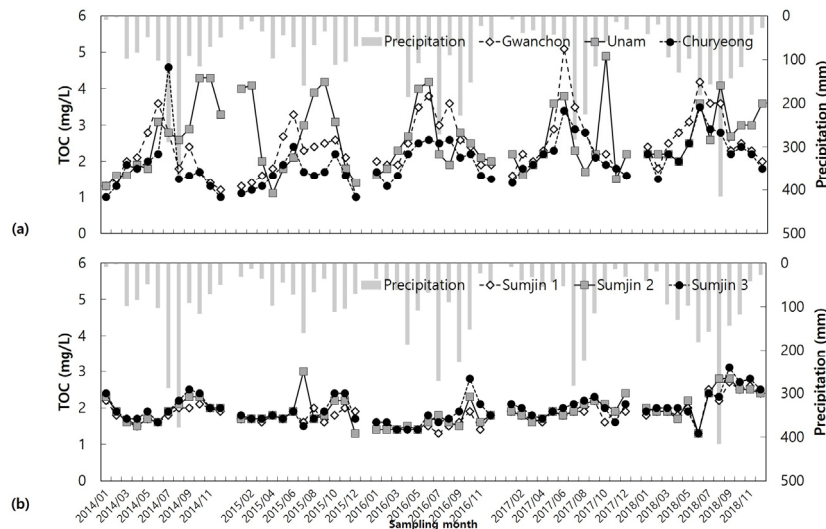


그림 8. Temporal variations of Water Quality Monitoring Networks TOC concentration(2014~2018) (a)River, (b)Lake

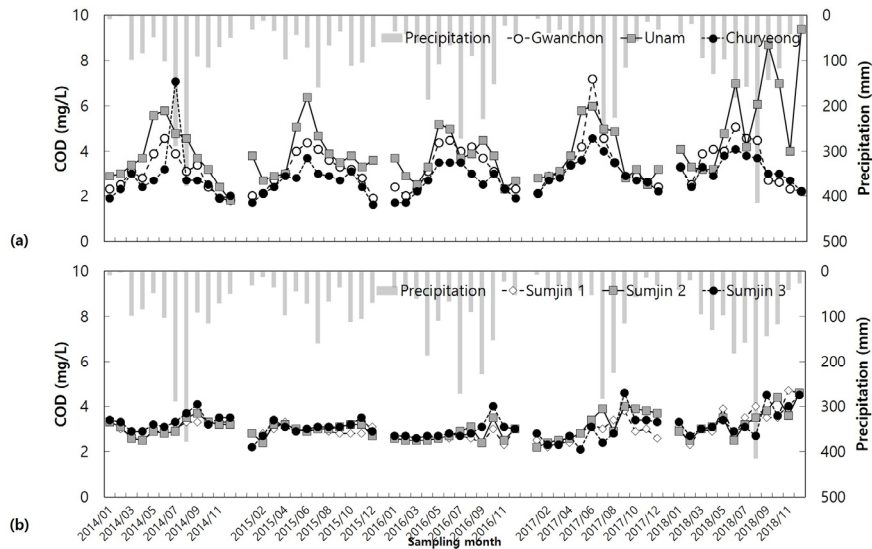


그림 9. Temporal variations of Water Quality Monitoring Networks COD concentration(2014~2018) (a)River, (b)Lake

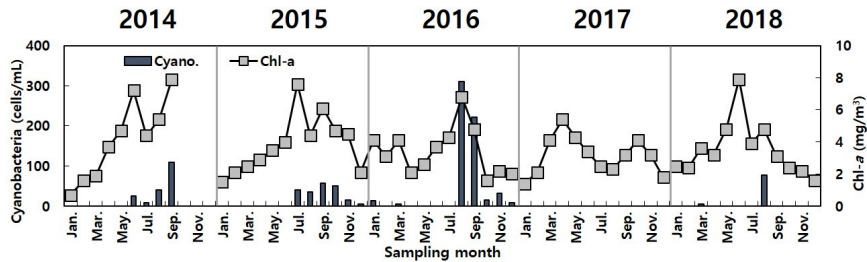


그림 10. Temporal variations of Algae alert system measurement Cyanobacteria, Chl-a concentration(2014~2018)

칠보취수구에서 측정되고있는 Chl-*a*와 남조류 개체수와도 경향성을 비교해 보았다<그림 10>. 5년간의 경향으로 Chl-*a*는 일조시간이 길고, 강우량이 적은 시기에 증가함을 보였으며, 남조류 개체수는 주로 온도가 높은 시기에 T-P, TOC, COD와 함께 증가하는 패턴을 보였다. T-N과는 상관성이 낮게 나타났는데, 이는 질소가 과잉 공급된 상태로 존재하고 있기 때문에 나타난 높은 N/P ratio로 인해 옥정호의 영양상태가 인 제한환경을 지시한다고 판단된다. 이러한 분석결과는 수온이 높은 환경을 선호하는 남조류의 생물학적 특성을 반영하고 있는 것으로 보이며, 조류의 성장에 필요한 영양염류 중 질소보다 인의 영향이 더 크게 나타난다고 판단된다.

2) 수질 분석

(1) pH, 용존 산소(DO)

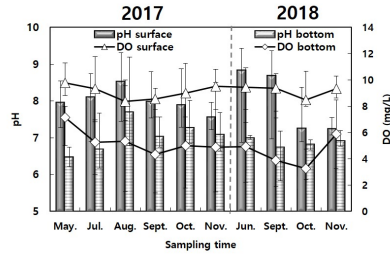
pH의 경우 전반적으로 양호한 상태로 나타났으며, 2017년 8월과 2018년 6, 9월의 경우 표층에서 상대적으로 높은 값을 나타내었는데, 이는 일반적으로 수온의 증가로 인해 조류의 성장이 증가하여 나타난 결과로 생각된다<그림 11>. 하지만 본 연구에서는 전반적으로 높지 않은 조류 농도로 인해 조류 인자와의 상관성이 높지 않다고 판단되며, 다양한 환경요인의 복합적인 영향에 의해 발생하였다고 판단된다. DO 분포는 시간이 지남에 따라 표층과 심층의 차이가 약간 증가하는 경향을 보였다. 지점별 분포에서는 pH의 경우 2017, 2018년 모두 지점 O, O'에서 비교적 낮은 값을 보였으며, pH와 DO값 모두 수심에 따라 표층과 심층의 농도 차이가 증가하는 양상으로 나타났다.

(2) 부유물질(SS)

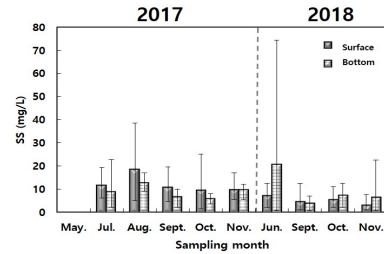
SS는 2017년 8월을 포함해 강우량과 유입량의 증가가 일어나는 시기에 호수 전체의 평균값과 지점별 편차가 큰 양상을 나타내었다<그림 12>. 지점별 분포에서는 강우량으로 인한 SS 증가가 관찰된 시기 뿐 아니라 다른 조사시점에서도 유입 하천 지점들에서 상대적으로 높은 값을 보였으며, 호수 내부 지점에서는 하류로 전이하면서 점차 감소하는 경향을 보였다. 호수 생활환경기준에 따라서 전반적으로 III~IV등급으로 나타났으나, 2017년 8월의 경우 나뭇수준의 V등급으로 나타났다. 이는 강우량의 급증으로 인해 유입량이 증가하여 유역 주변, 특히 유입하천 인근의 비점오염원으로부터 입자성 물질이 유입됨으로 인한 결과로 판단된다.

(3) 유기물 인자

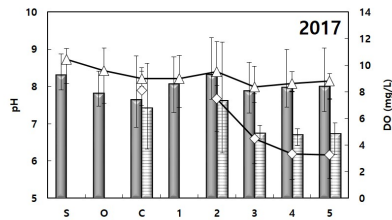
수체 내의 유기물질을 나타내는 인자인 BOD₅, COD, TOC를 분석하였다<그림 13, 14>. BOD₅와 COD 그리고 TOC는 호수 생활환경기준에 따라서 2017년 전반적으로 좋음 수준의 Ib 등급으로 유지된 반면, 2018년은 II~V등급으로 다양한 분포를 보였다. COD와 TOC의 월별 분포에서 2017년에 비해 2018년에 증가한 경향이 나타났으며, 특히 TOC와 댐수위와 유사한 분포로 나타났다. 이는 강우에 의한 외부 유기물질의 유입보다 유입량과 방류량의 차이



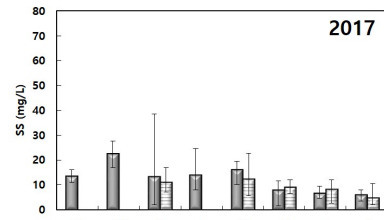
(a)



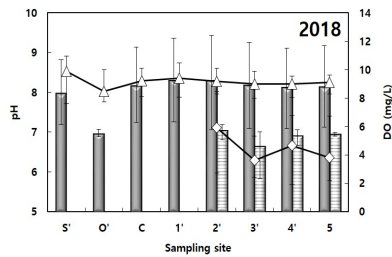
(a)



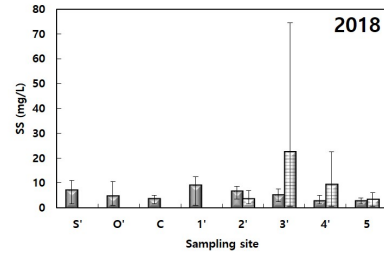
(b)



(b)



(c)



(c)

그림 11. Concentration of pH and DO

(a) Temporal average distribution,
(b) Spatial average distribution(2017),
(c) Spatial average distribution(2018)

그림 12. Concentration of SS

(a) Temporal average distribution, (b)
Spatial average distribution(2017),
(c) Spatial average distribution(2018)

로 인해 체류시간의 증가로 인한 내부생성 유기물의 영향이 더 크게 작용할 것으로 사료된다³⁵⁾. 하지만 외부 유입 유기물과 내부생성 유기물에 대한 자세한 분석을 이루어지지 않았기 때문에 보다 정확한 파악을 위해서는 유기물 인자에 대한 연구가 이루어질 필요가 있다고 판단된다.

지점별 분포의 경우 BOD₅에서는 상류 유입하천인 S와 O 지점에서는 유량의 변화에 의해 차이가 크게 나타났으며, 호수 내부 지점만 보았을 때 하류 지점으로 갈수록 농도가 감소하는 양상으로 TOC와 COD 농도변화가 유사하게

35) 김기용, 정성민, 최영순, Stefan, P., Klaus, H. K., 김범철, 2018, 『아시아 몬순 기후지역에 위치한 대형 인공호에서 기포형태로의 메탄(CH₄)가스 배출량』, 『한국하천호수학회지』 51권 2호, 160-167쪽.

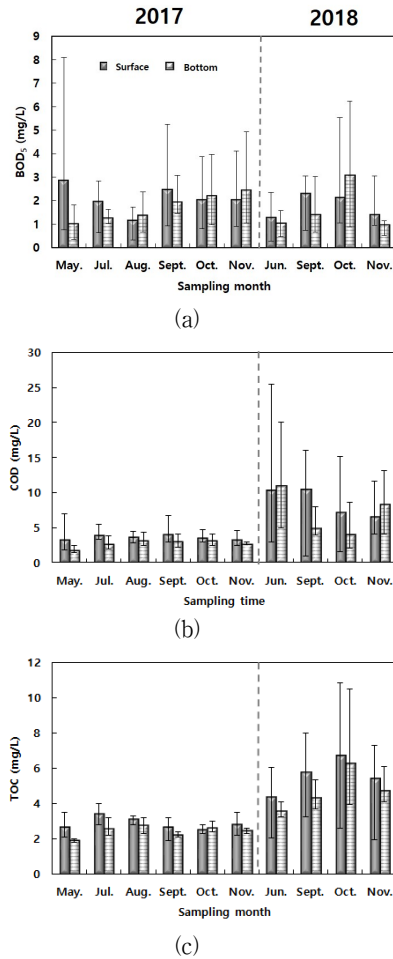


그림 13. Temporal variations of Organic factor concentration
(a) BOD₅, (b) COD, (c) TOC

측정되었다. 이는 유기물질의 관리를 위해서는 상류 유입하천으로부터 비점오염원의 유입되는 물질에 대한 관리와, 유량의 변화에 크게 영향을 받는 지점 O에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

(4) 영양염류

충인의 월별 평균 분포는 일부 심층에서 측정된 이상값을 제외하고 조사기간 내 전반적으로 호소 생활환경기준 II등급 이내의 분포를 보였다<그림 15>. 2017년 5월과 9월, 2018년 6월에 표층의 평균값이 다른 조사시기의 결과에 비해 상대적으로 높은 농도로 측정된 것으로 보아 봄철의 영농활동 중 발생하는

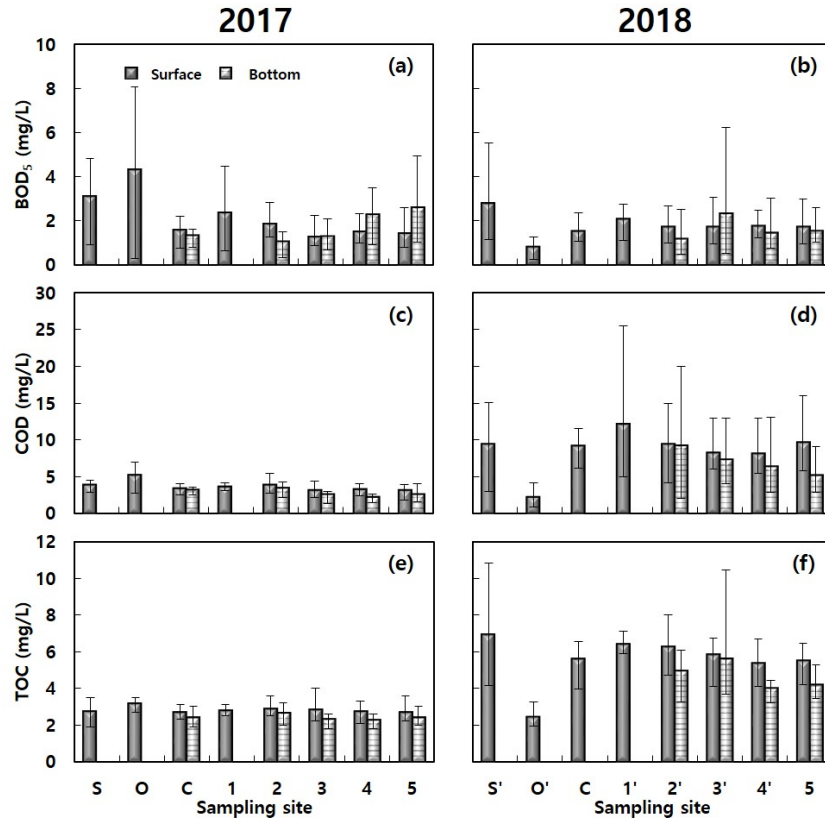
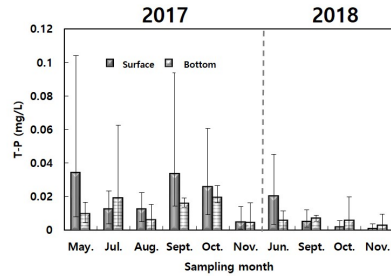


그림 14. Spatial variations of Organic factor concentration
(a) BOD₅(2017), (b) BOD₅(2018), (c) COD(2017), (d) COD(2018), (e) TOC(2017), (f) TOC(2018)

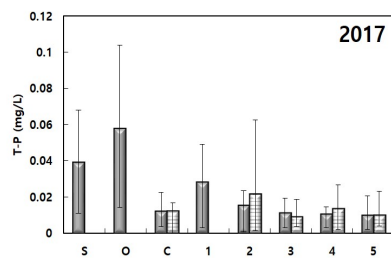
비료 살포와 가을철의 추가적 비료 살포 시기의 영향으로 호내에 인 성분의 유입이 증가한 것으로 판단된다.³⁶⁾ 지점별 평균 분포는 유기물과 유사한 경향으로 나타났다.

총질소의 월별 평균 분포는 호소생활환경기준 IV~VI등급에 해당하여 총인의 경우와 달리 질소를 바탕으로 한 수질은 양호하지 않은 것으로 파악되었다 <그림 16>. 또한 지점별 분포에서 호수 내부 지점에서 하류로 갈수록 증가하는 양상을 보여, 총인과 반대되는 경향을 나타냈다. 이는 총질소의 경우 입자성 형태로 유입된 총인과는 반대로 용해도가 높기 때문에 주로 용존성 질소의 형태로 유입되어 상대적으로 멀리까지 이동 후 축적되어 유입하천보다는 댐 인근으로 갈수록 높은 농도로 나타났다고 판단된다.

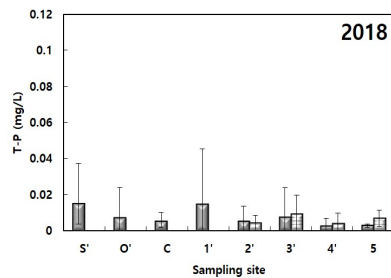
36) 문예은, 김현수, 2019, 『옥정호 조류의 시공간적 분포와 조류발생 특성 분석』, 『대한환경공학회지』 41권 10호, 554-571쪽.



(a)



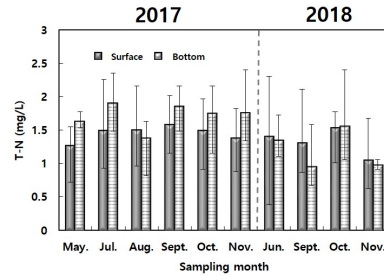
(b)



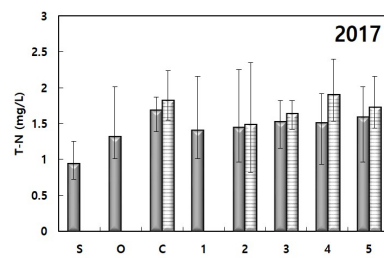
(c)

그림 15. Concentration of T-P

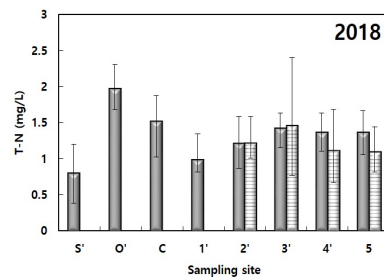
- (a) Temporal average distribution,
(b) Spatial average distribution(2017),
(c) Spatial average distribution(2018)



(a)



(b)



(c)

그림 16. Concentration of T-N

- (a) Temporal average distribution,
(b) Spatial average distribution(2017),
(c) Spatial average distribution(2018)

수체내의 제한인자로 작용하는 영양염류를 파악하기 위하여 N/P ratio를 계산하였다. 이를 본 연구에 적용한 결과 2017년 총 81개의 시료 중 4개의 시료(지점 S의 5월 표층 시료, 지점 O의 5, 9월 표층 시료, 지점 5의 10월 심층 시료)와 2018년 총 59개의 시료 중 2개의 시료(6월의 지점 S 표층과 지점 3의 심층시료), 조사기간 중 분석된 총 140개의 시료 중 6개의 시료만이 인과 질소 동시제한 환경을 지시하고, 나머지 134개의 시료는 모두 16이상의 값을 나타내어 육정호는 전반적으로 인 제한환경인 것으로 나타났다<그림 17>.

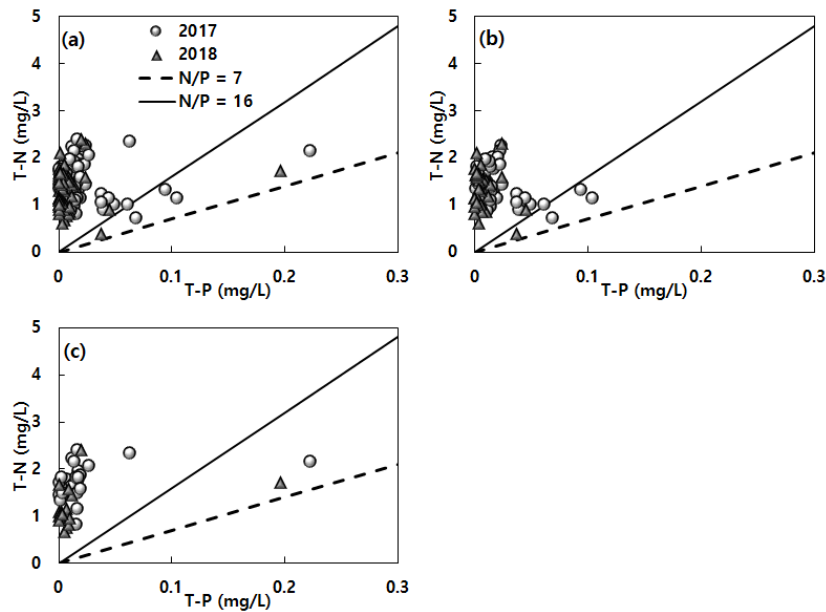


그림 17. Distribution of N/P ratio (a) All, (b) Surface, (c) Lower

(5) 엽록소-*a*(Chl-*a*)

Chl-*a*의 월별 분포는 2017년 8월에서 9월로 전이하는 시기와 2018년 9월 표층에서의 농도가 급격히 증가하였다<그림 18>. 이는 장마 이후 줄어든 강수량과 유입량의 감소로 인한 체류시간 증가와 일조량 증가 등이 복합적으로 작용하여 조류의 성장이 증가한 것으로 판단되며, 유사한 증가양상이 국내 여러 저수지에 대한 연구결과에서 보고된 바 있다.³⁷⁾ 지점별 평균 분포는 앞서 나왔던 유기물 인자들과 총인과 유사한 분포를 나타냈다. 이는 주로 강우에 의한 영향으로 비점오염원에서 유기물질과 더불어 입자성 형태의 인이 수체로 유입됨에 따라서 인이 조류의 성장에 영향을 미치는 요인으로 작용하여 조류의 증가로 인해 Chl-*a*이 증가함을 나타낸다고 판단된다.³⁸⁾³⁹⁾ 입자성 인과 더불어 용존성 형태의 인 또한 수체로 유입되어 조류의 성장에 영향을 미치는 인자로 작용할 것으로 사료되었지만, 입자성 인과 용존성 인의 분류에 따른

37) 문예은, 김현수, 2019, 「옥정호 조류의 시공간적 분포와 조류발생 특성 분석」, 『대한환경공학회지』 41권 10호, 554-571쪽.

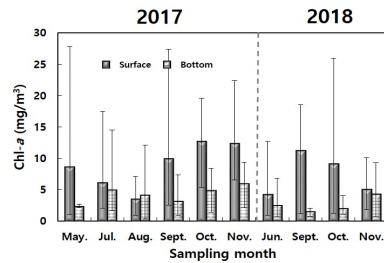
38) 정선영, 김일규, 2017, 「낙동강 중,하류 보 구간의 수질특성 및 Chl-*a*와 수질인자의 상관관계 분석」, 『대한환경공학회지』 39권 2호, 89-96쪽.

39) 박보라, 김일규, 2016, 「통계분석을 이용한 낙동강 창녕함안보 구간의 수질특성 연구」, 『대한환경공학회지』 38권 2호, 71-78쪽.

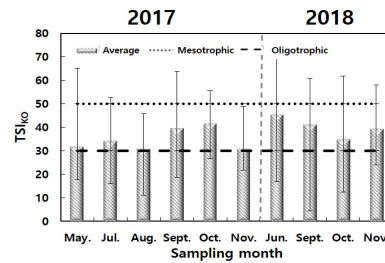
결과는 보다 더 정확한 분류 및 분석이 필요할 것으로 판단되어 추가 연구의 필요성을 제시하고자 한다.

(6) 한국형 부영양화지수(TSI_{KO})

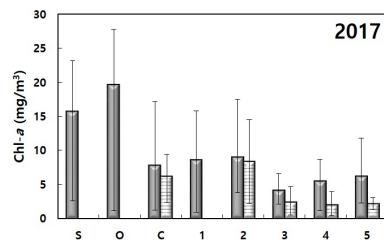
옥정호의 월별 한국형 부영양화지수(TSI_{KO})의 평균값은 중영양호의 기준에 포함되는 값으로 나타났다<그림 19>. 2017년 지점별 평균값에서는 상류 유입 하천인 지점 O에서 부영양호기준에 해당되는 가장 높은 값으로 나타났으며, 호소 내 지점으로 갈수록 값이 감소하는 경향을 보여서 가장 하류 지점인 지



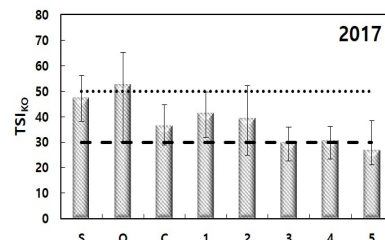
(a)



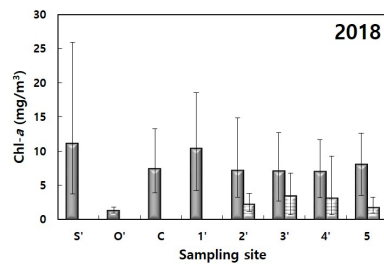
(a)



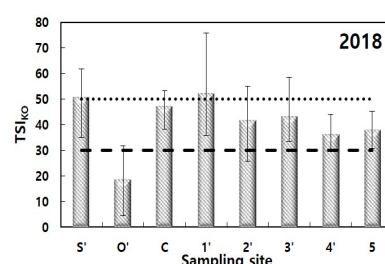
(b)



(b)



(c)



(c)

그림 18. Concentration of Chl-a
(a) Temporal average distribution,
(b) Spatial average distribution(2017),
(c) Spatial average distribution(2018)

그림 19. Distribution of TSI_{KO}
(a) Temporal average distribution,
(b) Spatial average distribution(2017),
(c) Spatial average distribution(2018)

점 5에서 빈영양호의 특성을 보였다. 2018년의 지점별 평균값에서는 지점 O에서 가장 낮은 값으로 나타나 빈영양호의 특성을 보였으며, 상류 유입하천 인근의 지점에서는 부영양호의 특성을, 그 외 지점에서는 중영양호의 특성을 나타내었다. 또한 지점 1에서는 과영양호의 특성을 나타내기도 하였는데, 이는 TSI_{KO} 값을 산정할 때 사용되는 모든 수질 인자들이 높은 농도로 나타나 위와 같은 결과를 나타낸 것으로 판단되며, 이에 기여하는 요인 중 하나로 상대적으로 체류시간이 증가한 2018년 호 내 수리환경 또한 영향을 미쳤을 것으로 판단할 수 있다.

3) 조류 분석

(1) 조류 분포 조사

조사기간 중 2017년에 옥정호에서 관찰된 조류는 남조류(Cyanobacteria) 5종(9.6%), 규조류(Diatoms) 13종(25%), 녹조류(Chlorophyta) 26종(50%), 그 외의 조류 분류군이 8종으로 총 52종이 관찰되었으며, 조류 분류군별 평균 현존량은 남조류 20.8%, 규조류 44.8%, 녹조류 22.5% 등으로 3가지 분류군이 약 88%를 차지하는 것으로 나타났다<그림 20>. 2018년은 남조류(Cyanobacteria) 7종(13.0%), 규조류(Diatoms) 15종(27.8%), 녹조류(Chlorophyta) 23종(42.6%), 그 외의 조류 분류군이 9종으로 총 54종이 관찰되었으며, 조류 분류군별 평균 현존량은 남조류 12.9%, 규조류 58.3%, 녹조류 15.6% 등으로 3가지 분류군이 약 87%를 차지하는 것으로 나타났다. 이들 분류군이 조사기간 전체에 걸쳐서 우점하는 것으로 나타났으며, 이 중 가장 많은 현존량으로 우점하는 것은 규조류로 관찰되었다. 우점 분류군별로 가장 많이 출현하는 종은 규조류는 *Synedra acus*, *Cyclotella comta*, 남조류는 *Microcystis aeruginosa*, 녹조류는 *Chlorella vulgaris*인 것으로 관찰되었다. 호수 전체 지점에서의 월별 전체 조류 분류군 분포 결과 8월까지의 빈영양에 가까운 중영양 환경이었으며, 강우량의 증가로 유입량이 급격히 증가하여 흐름이 빨라져 조류의 성장시간이 충분히 주어지지 못해 도출된 결과로 판단된다<그림 21>. 이후 7, 8월의 강우량 증가로 인해 유입된 높은 농도의 영양염류 및 유기물에 의하여 9월의 영양상태가 증가하여 조류 성장에 좀 더 적합한 수체 환경이 조성되었기 때문일 것이라 생각할 수 있다.

2018년의 경우 9월 이후 급격히 낮은 현존량을 보였으며 이후 증가함을 보

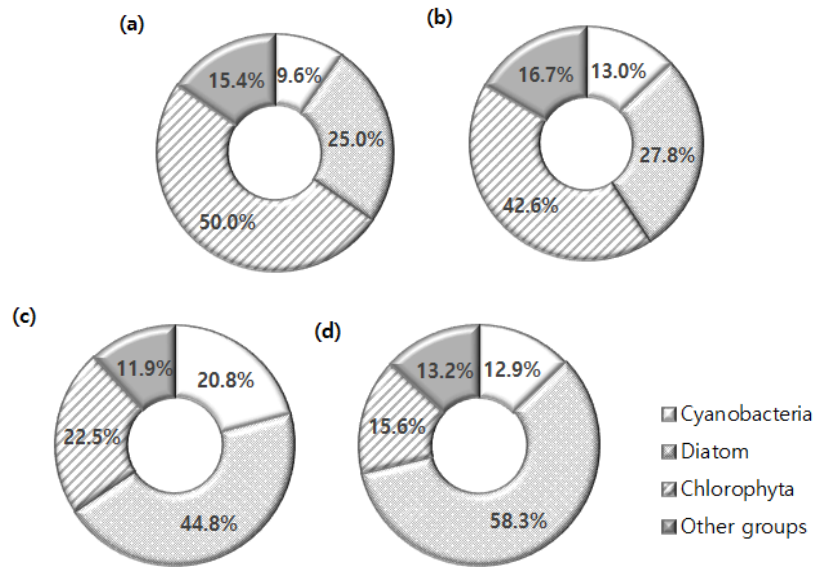
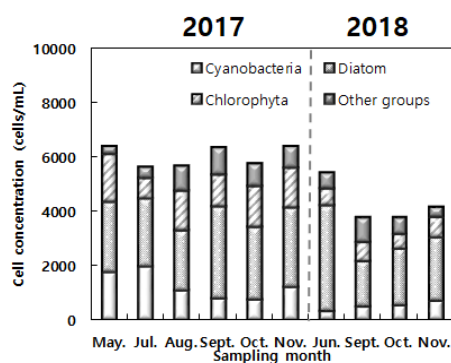


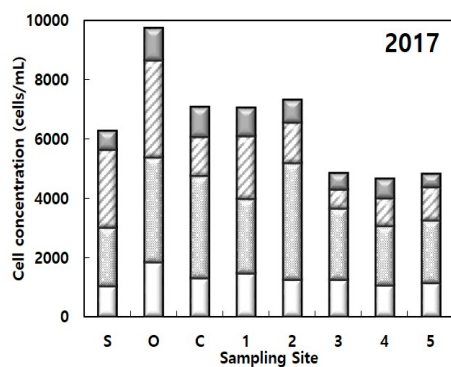
그림 20. Distribution of Algae measurement
 (a) Species composition(2017), (b) Species composition(2018),
 (c) Cell count composition(2017), (d) Cell count composition(2018)

였다. 6월과 비교하여 남조류와 녹조류의 차이는 크지 않았으나 규조류의 급격한 감소로 인해 나타난 결과로 보이며, 총인의 농도가 급감함에 따라 나타난 결과로 판단된다. 남조류의 현존량은 조사기간 동안 점차 감소하는 경향을 보이며 2017년 10월과 2018년 6월에 가장 적은 현존량을 보였다. 규조류는 2017년 평균 수온이 점차 낮아지는 9월과 2018년 6월에 가장 많은 현존량을 보이며 우점하였으며, 녹조류는 2017년 7월에 급감하였다가 이후 증가하여 거의 일정한 분포를 보였다. 2018년은 조사기간 동안 상대적으로 적은 현존량을 보였다.

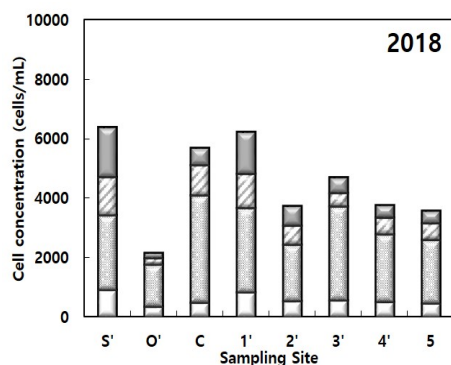
지점별 분포에서는 2017년 상류 유입하천인 지점 O에서 다른 지점들에 비해 현격히 높은 현존량을 보였으며, 이 후 하류인 댐 앞 지점으로 갈수록 적어지는 분포양상을 보였다<그림 21>. 2018년은 지점 O에서 현존량이 급감하였으며, 하류의 지점에서도 감소하는 경향을 보였다. 이는 지점 O에서의 영양염류, 특히 총인의 측정 농도의 분포와 규조류 농도의 분포가 유사한 경향을 보이는 것과 호내에서 하류로 진행하면서 감소하는 인 농도분포, 그리고 옥정호가 전체적으로 인 제한환경으로 파악된 결과와 부합하는 양상으로 판단되며, 특히 주요 유입하천 중 가장 유량이 적은 지점 O가 영양염류 농도변화에 민감하기 때문으로 생각할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 21. Distribution of Algae cell concentration

(a) Temporal average distribution, (b) Spatial average distribution(2017),
(c) Spatial average distribution(2018)

(2) 우점도지수

조사기간 내 옥정호에서 발견된 조류의 우점종은 2017년 5, 7월에는 남조류

인 *Microcystis aeruginosa*로 나타났으며, 이후 8월부터 11월까지 규조류인 *Synedra acus*가 우점하였다<표 2>. 5월부터 10월까지의 두 종이 우점종과 아우점종으로 번갈아가면서 나타났으며, 11월에는 녹조류인 *Chlorella vulgaris*가 아우점종으로 나타났다. 2018년의 조사기간 동안은 *Synedra acus*가 우점종과 아우점종 모두에 나타났으며, 6, 9, 11월에는 *Cyclotella comta*와 함께 우점종, 아우점종으로 번갈아가면서 나타났다. 10월에는 *Synedra acus*가 우점종으로, *Aulacoseira*가 아우점종으로 나타났다.

표 2. Dominance Index & Diversity Index

Sampling time	Dominant and subdominant species			DI	H'
2017	May.	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Synedra acus</i>	0.43	2.4
	Jul.	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Synedra acus</i>	0.50	2.3
	Aug.	<i>Synedra acus</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	0.36	2.7
	Sept.	<i>Synedra acus</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	0.47	2.3
	Oct.	<i>Synedra acus</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	0.33	2.7
	Nov.	<i>Synedra acus</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	0.34	2.6
2018	Jun.	<i>Synedra acus</i>	<i>Cyclotella comta</i>	0.61	2.1
	Sept.	<i>Cyclotella comta</i>	<i>Synedra acus</i>	0.31	2.7
	Oct.	<i>Synedra acus</i>	<i>Aulacoseira</i>	0.43	2.5
	Nov.	<i>Synedra acus</i>	<i>Cyclotella comta</i>	0.32	2.6

우점도지수(Dominance index)는 2017년에 안정적인 범위로 양호한 상태로 나타났으며, 남조류가 우점하는 7월에 가장 높은 값이 나타났다⁴⁰⁾, <그림 22>, <표 2, 3>. 10월에 우점도지수가 가장 낮게 나타났는데, 이는 기온의 감소와 일조량의 감소로 인해 남조류와 규조류의 성장이 억제되어서 개체수가 감소함으로 나타난 결과로 판단된다. 2018년에는 양호한 상태로 나타난 다른 조사시기와 달리 6월에 다소 양호한 상태로 가장 높은 값을 보였다. 이는 우점종으로 나타난 규조류의 비중에 비해 남조류와 녹조류의 성장이 억제된 경향이 있었으며, 개체수가 적게 나타나서 도출된 결과로 판단된다.

40) 허준욱, 강형식, 장민호, 2011, 『한강수계달천의 어류상과 물리적 서식지 조건에 관한 연구』, 『대한환경공학회지』 33권 8호, 564-571쪽.

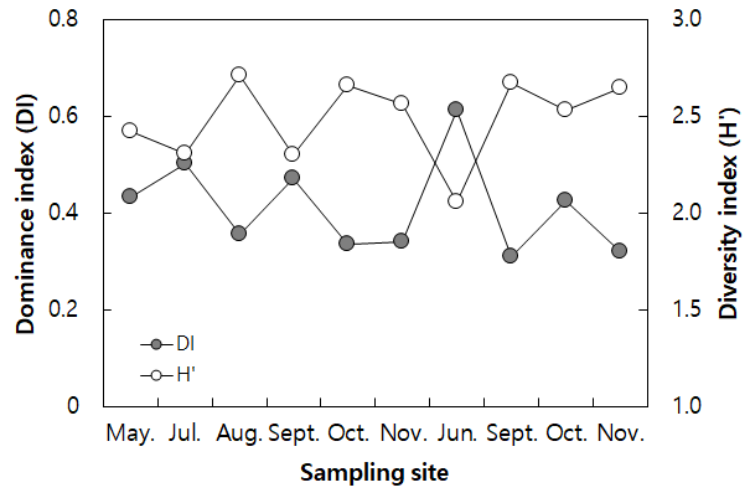


그림 22. Dominance Index & Diversity Index

표 3. Dominance Index & Diversity Index standard

Index	Very defectiveness	Defectiveness	Some satisfactory	Satisfactory	Very satisfactory
DI	0.9~1.0	0.7~0.9	0.5~0.7	0.25~0.5	<0.25
H'	<1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	>4.0

(3) 다양성지수

월별 조류 분류군의 다양성지수(Diversity index)는 2017년에는 다소 양호한 상태로 나타났다³⁹⁾, <그림 22>, <표 2, 3>. 분석분포는 우점도지수와 반대의 경향으로 나타났다. 봄철인 5월에 남조류와 규조류의 성장이 억제된 환경에서 녹조류가 성장하며 다양한 종이 출현한 것에 기인한 것으로 보이며, 최소값을 보인 7월에는 녹조류의 감소로 인해 종수가 감소함으로 나타난 결과로 보인다. 2018년에는 모든 조사시기에서 다소 양호한 상태로 나타났으며, 6월에 가장 낮은 값을 보였다. 이는 규조류가 우점종으로 나타나면서 남조류와 녹조류의 성장이 억제되어 다양성이 감소하여 나타난 결과로 판단되었다.

4) 통계 분석

(1) 상관분석

수질 환경 인자들과 조류 관련 인자들 간의 변동 특성을 파악하기 위해 상

관분석을 실시하였다. 조류와 그 외 환경인자들 간의 상관성을 파악하기 위하여 Chl-*a*와 각 조류 분류군들에 해당하는 상관성만 정리하였다.

2017년의 경우 Chl-*a*는 광합성을 수행하는 모든 조류에 존재하기 때문에 조류의 현존량을 간접적으로 나타내는 인자로 작용하고 있으며, 각 조류 분류군과의 관계에서 양의 상관성을 나타내었다<표 4>. 규조류의 경우 전체조류와 강한 양의 상관성을 보였으며, 수질, DO, COD와 상당한 양의 상관성을 나타내었다. 녹조류의 경우 투명도와 총 질소, NO₃⁻와는 음의 상관성을 나타내었다. 측정망의 자료에서도 Chl-*a*이 증가하던 시기에 총 질소가 감소하고 있었기에 이로 인한 연관성 또한 존재한다고 판단된다. 또한 총 인의 경우에는 조류의 현존량을 지시하는 인자들 중 Chl-*a*와 0.380($p < 0.01$)의 값으로 나타나 유의한 상관성을 보이기는 하지만, 각 조류분류군 및 총 조류 현존량과는 유의미한 상관성을 나타내지 못하였다. 이렇듯 전체적으로 영양염류가 조류 분포와 통계적으로 유의성이 없이 나타난 이유는 전체적으로 옥정호의 영양상태가 빈영양 또는 빈영양에 가까운 중영양 환경을 유지하였기 때문에 호내 영양염류 농도의 변화보다는 기상인자와 같은 환경인자의 영향이 조류분포에 더 중요한 영향을 미쳤을 가능성이 있음을 지시하는 것으로 판단된다. 총 인 농도변화는 강수량과의 통계적으로 유의성이 없는 것으로 나타나, 호수 내부의 인 농도 변화를 초래한 기작이 집중 강우에 의한 유입보다는 유역, 특히 섬진강 및 옥녀동천 상류 유역의 농업활동에 의한 것이었을 가능성을 지시하고 있다⁴¹⁾.

2018년의 경우 앞서 2017의 결과와 유사하게 수온, pH, DO와 같은 수체의 물리화학적 환경인자와 연관성을 보였으며, 이는 조류의 성장이 이루어졌을 때 광합성의 증가와 함께 나타난 결과로 판단된다<표 5>. 남조류는 TOC, BOD, Chl-*a*, 녹조류, 전체조류와 상당한 양의 상관성을 보였다. 규조류는 SS, 총인, 전체조류와 강한 양의 상관성을 보였다. Chl-*a*와는 상관성이 나타나지 않았는데 이는 9월 Chl-*a*은 증가하였지만 규조류는 감소함을 보인 결과로 판단되며, 총 인의 감소로 인해 규조류가 급감하였음을 나타내었다고 판단된다. 녹조류는 수온, pH, DO, TOC, COD, Chl-*a*, 전체조류와 상당한 양의 상관성을 보였다.

2017년과 2018년의 상관분석의 종합적인 결과로는 두 해 모두 조류와 pH, DO와 유기물 항목들 간의 양의 상관성을 나타내었다. 이는 조류의 성장으로 인해 광합성이 증가함에 따라 변화하는 수체 내에서의 생지구화학적 변화로

41) 송철민, 김진수, 장훈, 2010, 「하천변 양배추 밭에서의 영양물질의 거동」, 『한국농공학회지』 52권 3호, 65-71.

표 4. Correlation analysis(2017)

	Temp	pH	DO	SS	TOC	BOD	COD	T-P	T-N	NO ₃ ⁻	Chl-a	Irradiation	Precipitation	Cyano.	Diatom	Chloro.	Total
Temp	1																
pH	0.801**	1															
DO	0.641**	0.634**	1														
SS	-0.071	0.016	-0.082	1													
TOC	0.241	0.287	0.255	0.056	1												
BOD	0.144	0.345**	0.084	0.134	0.775**	1											
COD	0.363**	0.592**	0.363**	0.281*	0.389**	0.382**	1										
T-P	-0.008	0.059	-0.071	0.928**	-0.057	0.057	0.271*	1									
T-N	0.156	-0.083	-0.084	0.151	-0.074	0.007	-0.197	0.137	1								
NO ₃ ⁻	0.153	-0.125	0.159	-0.121	-0.595**	-0.654**	-0.248	-0.083	0.516**	1							
Chl-a	0.456**	0.561**	0.536**	0.189	0.716**	0.627**	0.650**	0.380**	-0.16	-0.289*	1						
Irradiation	-0.096	-0.105	-0.046	0.154	0.058	0.028	-0.035	0.14	0.353**	-0.086	-0.147	1					
Precipitation	0.25	0.197	-0.083	-0.11	-0.056	0.097	0.049	-0.067	-0.139	0.05	0.16	-0.841**	1				
Cyano.	0.142	0.217	0.318*	0.235	0.595**	0.462**	0.363**	0.205	-0.214	-0.384**	0.620**	-0.124	-0.025	1			
Diatom	0.093	0.218	0.118	0.775**	0.064	0.083	0.271*	0.775**	0.101	-0.018	0.242	0.189	-0.189	0.360**	1		
Chloro.	0.612**	0.657**	0.604**	-0.042	0.424**	0.350**	0.531**	-0.063	-0.316*	-0.223	0.625**	-0.137	0.096	0.414**	0.112	1	
Total	0.310*	0.425**	0.334**	0.703**	0.295	0.271*	0.458**	0.688**	-0.044	-0.158	0.521**	0.091	-0.083	0.574**	0.923**	0.424**	1

표 5. Correlation analysis(2018)

	Temp	pH	DO	SS	TOC	BOD	COD	T-P	T-N	NO ₃ ⁻	Chl-a	Irradiation	Precipitation	Cyano.	Diatom	Chloro.	Total
Temp	1																
pH	0.801**	1															
DO	0.641**	0.634**	1														
SS	-0.071	0.016	-0.082	1													
TOC	0.241	0.287	0.255	0.056	1												
BOD	0.144	0.345**	0.084	0.134	0.775**	1											
COD	0.363**	0.592**	0.363**	0.281*	0.389**	0.382**	1										
T-P	-0.008	0.059	-0.071	0.928**	-0.057	0.057	0.271*	1									
T-N	0.156	-0.083	-0.084	0.151	-0.074	0.007	-0.197	0.137	1								
NO ₃ ⁻	0.153	-0.125	0.159	-0.121	-0.595**	-0.654**	-0.248	-0.083	0.516**	1							
Chl-a	0.456**	0.561**	0.536**	0.189	0.716**	0.627**	0.650**	0.068	-0.16	-0.289*	1						
Irradiation	-0.096	-0.105	-0.046	0.154	0.058	0.028	-0.035	0.14	0.353**	-0.086	-0.147	1					
Precipitation	0.25	0.197	-0.083	-0.11	-0.056	0.097	0.049	-0.067	-0.139	0.05	0.16	-0.841**	1				
Cyano.	0.142	0.217	0.318*	0.235	0.595**	0.462**	0.363**	0.205	-0.214	-0.384**	0.620**	-0.124	-0.025	1			
Diatom	0.093	0.218	0.118	0.775**	0.064	0.083	0.271*	0.775**	0.101	-0.018	0.242	0.189	-0.189	0.360**	1		
Chloro.	0.612**	0.657**	0.604**	-0.042	0.424**	0.350**	0.531**	-0.063	-0.316*	-0.223	0.625**	-0.137	0.096	0.414**	0.112	1	
Total	0.310*	0.425**	0.334**	0.703**	0.295	0.271*	0.458**	0.688**	-0.044	-0.158	0.521**	0.091	-0.083	0.574**	0.923**	0.424**	1

판단되며, 조류의 성장과 이어서 사멸이 증가함에 따라 생성된 유기물질로 판단된다. 2017년의 경우 남조류는 다른 인자들 간의 상관성이 나타나지 않는

것으로 보아, 영양염류와 직접적인 상관성이 없으며, 외부의 요인에 의해 변화함을 나타낸다고 판단된다⁴²⁾. 또한 질소화합물과 음의 상관성을 나타내었으며, 측정망의 결과와 비교하여 유사한 분포를 보였다. 이는 남조류의 일부 종의 경우 질소고정을 통해 대기중의 질소가스를 사용가능한 형태로 변형시켜 사용할 수 있기 때문에 질소가 적은 상황에서도 성장할 수 있는 가능성이 있음을 보인다. 2018년의 경우 규조류와 총 인이 양의 상관성이 나타났으며, 특히 9월의 분포에서 총 인이 급감하였으며, 이와 함께 규조류의 감소가 함께 나타난 것을 의미한다고 판단된다.

(2) 주성분 분석

상관분석을 바탕으로 조류관련 인자와 통계적 유의성이 없는 인자를 제외하고 상관성이 나타난 인자들을 이용하여 주성분 분석을 수행하였다. KMO test 실행 결과 2017년 0.709, 2018년 0.582로 분석되었으며, Bartlett's test 결과 유의확률이 0.000(유의수준<0.05)로 두 조건 모두 만족하여 분석이 가능하다고 설명된다. 주성분분석 결과 2017년과 2018년 모두 4개의 요인이 추출되었으며, 전체 자료 분산에 대한 기여율은 각각 요인 1이 40.4%, 34.7%, 요인 2가 17.0%, 21.6%, 요인 3이 11.2%, 12.0%, 요인 4가 8.0%, 9.9%로 총 74.6%, 78.3%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

먼저 2017년의 주성분분석 결과로 요인 1은 수온이 높은 시기에 조류, 특히 규조류의 성장이 증가하여 조류의 광합성이 활발해지며, 수체의 pH가 증가하고, DO가 증가하는 현상을 의미한다고 판단된다<표 6>. 따라서 요인 1은 기상 및 환경조건의 변화로 인해 전체 조류와 규조류의 현존량이 변하면서 수체의 조건이 변화하는 생지구화학적 변화로 판단되며, 옥정호에서 조류 성장을 유발하는 주요 요소는 영양염류의 농도변화보다는 수온과 같은 기상 및 환경 인자라는 사실을 나타내는 것으로 판단된다. 요인 2는 상기한 상관성 분석 결과에서와 마찬가지로 유역의 농업활동, 특히 시비활동과 연계된 인이 입자성 인의 형태로 수체로 유입되어 농도가 증가함에 따라 조류의 성장이 유발(Chl-*a* 증가)되는 기작을 의미하는 것으로 판단된다. 더불어 요인 2가 총 질소와는 상관성이 미미한 것으로 보아 호수환경이 전반적으로 인 제한조건에 해당되기 때문에 조류의 성장이 총 질소보다 총 인의 영향을 많이 받는다고 판

42) 김수미, 2018, 「용담호 내 퇴적물의 오염도 및 오염기여도 조사 연구」, 석사학위논문, 전북대학교.

표 6. Principal component analysis(2017)

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Temp	0.797	0.001	0.437	-0.025
pH	0.790	0.207	0.059	0.267
Diatom	0.755	0.093	-0.110	-0.070
DO	0.720	0.024	-0.060	0.454
Total	0.687	0.315	-0.026	0.479
BOD	0.018	0.874	-0.063	0.258
TP	0.008	0.815	-0.022	-0.174
COD	0.579	0.730	0.193	0.118
Chl-a	0.410	0.686	-0.130	0.327
TOC	0.485	0.503	0.473	0.237
Irradiation	0.021	0.054	-0.945	0.065
Precipitation	0.018	-0.128	0.926	-0.043
SD	-0.180	-0.412	-0.593	-0.409
TN	-0.267	-0.063	0.109	-0.783
Chloro	0.433	0.484	-0.158	0.650
Cyano	-0.090	0.019	0.386	0.597
Eigenvalue	6.463	2.721	1.792	1.277
percentage variance explained	40.393	17.007	11.203	7.979
Cumulative percentage variance explained	40.393	57.400	68.603	76.582

단된다. 요인 3은 강수량과 강한 양의 상관성을 보였으며, 일조시간과 강한 음의 상관성, 투명도와 음의 상관성을 나타내었다. 이는 기상인자들과 연관된 항목들이며, 여름철 집중강우 현상으로 인해 주변 유역으로부터 유기물을 포함한 물질들이 유입되면서 발생하는 투명도의 감소와 같은 물리적 변화를 의미하는 것으로 판단된다. 모든 조류 분류군들과 통계적인 유의성이 보이지 않은 것은 강우현상과 동반되어 유입량이 증가하면서 호수 내의 체류시간이 감소되어 조류의 성장에 필요한 시간이 충분히 주어지지 않았기 때문으로 판단된다. 요인 4는 총 질소와 강한 음의 상관성을 보였으며, 녹조류, 남조류와 양의 상관성을 나타내었다. 주성분분석 결과에서 남조류와의 강한 통계적 상관성이 요인 4에서만 발견된 것으로 보아 남조류가 고유의 특성인 질소고정 능력을 지니고 있기에 총질소가 감소한 상황에서도 다른 조류분류군에 비해 우점하는 경향을 보이는 것을 의미한다고 판단된다. 이는 2017년의 측정망의 결과에서도 총질소와 Chl-a의 분포가 반대의 경향을 보인 것과 유사한 양상이 반영되었다고 판단된다.

2018년의 주성분분석 결과로 요인 1은 이는 2017년의 결과와 유사하게 나왔으며, 영양염류와의 상관성도 보이지 않아 조류와 기상 및 환경조건의 변화로 인한 수체의 생지구화학적 변화로 판단된다<표 7>. 요인 2는 유기물과 관련있던 2017년과는 달리 유기물과의 상관성이 나타나지 않았으며, SS와의 상관성만 나타난 것으로 보아 총 인의 증가로 인한 규조류의 성장 및 사멸로 인해 부유물질이 생성된 것으로 판단된다. 더불어 2017년과 동일하게 요인 2가 총 질소와는 상관성이 미미한 것으로 보아 조류의 성장이 총 질소보다 총 인의 영향을 많이 받는다고 판단된다. 요인 3은 2017년의 요인 4에서 나왔듯이 남조류가 질소고정능력을 지니고 있기에 질소가 감소한 상황에서도 다른 조류 분류군에 비해 우점하는 경향을 나타낸다고 판단된다. 요인 4는 일조시간과 강한 양의 상관성을 보이고, 강수량과는 강한 음의 상관성을 보이면서 다른 인자들과는 상관성이 나타나지 않는 것으로 보아 기상조건을 나타내는 요인으로 판단된다.

표 7. Principal component analysis(2018)

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Temp	0.932	0.019	-0.066	-0.086
pH	0.896	0.117	0.117	-0.118
DO	0.779	-0.04	0.225	0.11
Chlorophyta	0.705	-0.01	0.471	-0.091
COD	0.501	0.297	0.444	-0.062
TP	-0.045	0.948	-0.069	0.013
SS	-0.091	0.941	0.063	0.058
Diatom	0.119	0.911	0.088	0.138
Total	0.342	0.825	0.335	0.062
Cyanobacteria	0.132	0.308	0.784	-0.019
TOC	0.247	-0.018	0.77	0.169
Chl-a	0.543	0.172	0.692	-0.084
TN	0.12	0.152	-0.535	0.39
Irradiation	-0.039	0.106	-0.103	0.94
Precitation	0.141	-0.05	-0.085	-0.926
Eigenvalue	5.211	3.247	1.799	1.488
percentage variance explained	34.741	21.648	11.991	9.921
Cumulative percentage variance explained	34.741	56.389	68.38	78.301

5. 맺음말

본 연구 결과를 바탕으로 결론을 도출해본 결과 옥정호 측정망에서는 하천 측정망의 농도 분포가 호소 측정망의 농도 분포보다 넓은 범위로 나타났으며, 더 높은 농도로 나타남으로 보아 유역으로부터 유입되는 오염원, 특히 비점오염원으로 부터의 영향을 크게 받는 것으로 판단된다. 조류 분류군 특성을 살펴본 결과 국내 담수에서 주로 출현하는 남조류, 녹조류, 규조류 분류군이 옥정호에서도 우점하는 경향을 보였으며, 이들 개체수가 전체 개체수의 87%를 차지함을 보였다. 종 조성을 기준으로 2017, 2018년 모두 대부분 주로 규조류인 *Synedra acus*가 우점종, 아우점종으로 나타났으며, 개체수 기준으로 또한 규조류의 우점이 나타났다.

본 연구 결과를 종합한 결과 옥정호 전반적으로 조류의 성장에 영향을 미치는 요인으로 기상 및 수리환경인자가 주요인으로 파악되었지만, 이를 제어하기는 어렵기 때문에 수질인자 및 환경인자를 제어할 필요가 있다고 판단된다. 옥정호의 조사지점 대부분이 인 제한환경으로 지시되었으며, 이로 인해 수체로 인이 다량으로 유입될 경우 식물성 플랑크톤의 과다 성장이 나타날 가능성이 있다고 파악되었기 때문에 제한영양염으로 작용하는 T-P에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 또한 상류 유입하천으로부터 유입되는 영양염류 및 유기물의 영향이 크게 작용하기 때문에 섬진강 본류와 옥녀동천, 특히 유량에 크게 영향받는 옥녀동천의 수질을 관리함으로 조류의 성장을 제어할 필요가 있다고 판단된다.

따라서 연구 결과 획득된 자료를 바탕으로 옥정호 수질 및 조류관리를 위한 수행체계를 효율적으로 재조성할 수 있을 것으로 판단된다. 기존의 옥정호 관련 조사 및 연구는 일부 상류 하천이나 측정망 위주의 관리가 수행되고 있었으며, 조류 경보제 또한 호 내부가 아닌 취수된 이후 동진강 유역에서 수행되고 있었으므로, 호 내에서의 적절한 조사지점 선정을 통해 호수 유역이나 취수구 인근 등의 집중적 관리가 필요할 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 호수 전반적, 특히 취수구 인근의 발생 가능한 수질문제를 대비하기 위해 지점별 분포를 파악하고 이를 통해 안정적인 상수원으로써의 역할에 대한 근거를 제공하고자 하였다. 옥정호 수질은 양호한 것으로 평가되었으나, 2015년 이후로 옥정호의 상수원보호구역이 축소되었기 때문에 향후 옥정호에서 진행될 사업들로 인해 발생할 수 있는 수질오염 및 조류 대발생 등의 문제가 생기지 않도록 효율적으로 관리할 수 있는 근거를 제공하고자 하였다.

본 연구 결과를 바탕으로 옥정호 조류 발생을 야기할 수 있는 수질 및 환경 인자에 대한 새로운 정보를 제공함으로써, 유역 및 호수 관리에 책임이 있는 유관기관들로 하여금 중점 관리의 대상이 되는 항목을 설정하여 효율적으로 옥정호 수질을 관리할 수 있도록 하는 기초정보로 활용할 수 있다고 판단된다. 옥정호 내 조류를 포함한 수환경인자의 변화양상을 파악한 후 환경변화에 따른 조류 대발생의 가능성을 예측하고 대비할 수 있는 자료로 사용하여 예보체제를 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 현재 옥정호 내에서 진행되고 있는 조류 경보제 측정 지점이 없는 상황이기에 본 연구를 통해 옥정호 전반적으로 조류 대발생 양상을 반영할 수 있는 지점을 선정할 수 있도록 기초 자료로 사용 가능할 것으로 판단된다.

조류의 발생뿐만 아니라 옥정호 유역에서의 비점오염원을 포함한 오염의 발생원인과 더불어 강우시 비점오염원으로부터 유입되는 오염물질이나 상류 유입하천으로부터 유입되는 등의 호소수로의 전달 방법에 대한 정보를 제공함으로써 양호한 호수 수질을 유지하기 위한 집중 관리 대상의 선정이 용이할 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 옥정호 유역으로부터 유입되는 오염물질을 저감시킬 필요가 있을 때, 앞서 말한 지점으로 사업추진의 대상을 정확히 파악함으로써 관리를 집중적으로 하여 수질 오염 문제가 확산되기 전에 사전에 대비함으로써 불필요한 예산과 시간 낭비를 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

담수 초기 수질 및 조류자료와 비교하여 옥정호 수질의 개선 여부를 확인하는 자료로 활용 가능할 것으로 판단되며, 용담호와 같은 도내 타 호수 수질관리 체제 개선의 참고자료로 활용 가능할 것으로 판단된다. 이와 더불어 기존에 운영되던 옥정호 수질관리 계획을 개선하는데 도움이 될 것으로 판단되며, 호소 수질 및 녹조 관련 점검 시 적용 가능할 것으로 판단된다. 또한 옥정호 유역 및 호 내의 최적의 수질관리를 위한 각 유관단체 활동방향을 제시하는데 도움이 될 것으로 판단되며, 전라북도뿐만 아니라 타 시군 환경과 또는 환경관리과에서 유역 내 호수 수질관리를 위한 참고 사례로 활용될 가능성이 있다고 판단된다.

종합하여 조류 경보제와 같은 정책 및 관리방안을 마련하고자 할 시 필요한 기초자료로 제공 가능할 것으로 판단되며, 특히 오염우심지역과 같은 추가 조사 지점 선정에 도움이 될 것으로 판단된다. 이후 옥정호 유역에서 추가적인 수질개선 사업을 진행할 시 참고할만한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 기존의 측정망을 포함하여 집중 관리가 필요한 지점에서 추가적으로 지속적인 모니터링을 수행함으로써 보다 더 안전한 상수원 관리를 이룰

수 있을 것으로 판단된다.

논문접수일: 2021. 04. 15. / 심사개시일: 2021. 05. 18. / 게재확정일: 2021. 06. 08.
--

참고문헌

- 공건화, 이재훈, 안광국, 2009, 「우리나라 주요 인공호의 투명도에 대한 수질 및 수중 부유물 영향 분석」, 『한국하천호수학회지』 42권 2호, 221-231쪽.
- 공동수, 2019, 「우리나라 주요 호소의 수질특성에 대한 통계적 분석」, 『한국물환경학회지』 35권 2호, 165-180쪽.
- 공동수, 김범철, 2019, 「한국 호소 상층부의 영양상태지수 제안」, 『한국물환경학회지』 35권 4호, 340-351쪽.
- 곽보라, 김일규, 2016, 「통계분석을 이용한 낙동강 창녕함안보 구간의 수질특성 연구」, 『대한환경공학학회지』 38권 2호, 71-78쪽.
- 국립환경과학원, 2017, 『조류경보제 운영 매뉴얼』.
- 김기용, 정성민, 최영순, Stefan, P., Klaus, H. K., 김범철, 2018, 「아시아 몬순 기후지역에 위치한 대형 인공호에서 기포형태로의 메탄(CH₄)가스 배출량」, 『한국하천호수학회지』 51권 2호, 160-167쪽.
- 김미숙, 정영륜, 서의훈, 송원섭, 2002, 「낙동강 부영양화와 수질환경요인의 통계적 분석」, 『한국조류학회지』 17권 2호, 105-115쪽.
- 김미아, 이재관, 조경덕, 2007, 「다변량분석법을 이용한 금강 유역의 수질오염특성 연구」, 『한국물환경학회지』 23권 1호, 161-168쪽.
- 김범철, 공동수, 2019, 「한국형 부영양화지수(TSIKO)의 인자로서 TOC의 적용성 검토」, 『한국물환경학회지』 35권 3호, 271-277쪽.
- 김범철, 정성민, 2007, 「우리나라 하천과 호수에서 탁수발생 현황과 대책」, 『자연보존』 139권, 1-7쪽.
- 김수미, 2018, 「용담호 내 퇴적물의 오염도 및 오염기여도 조사 연구」, 석사학위논문, 전북대학교.
- 김응석, 심규범, 김상단, 최현일, 2012, 「한국형 부영양화 지수를 이용한 저수지 수질평가」, 『한국물환경학회지』 28권 1호, 78-83쪽.
- 김좌관, 홍옥희, 1992, 「국내 인공댐호의 물리적 환경인자에 의한 호수특성 고찰에 관한 연구」, 『한국환경과학회지』 1권 2호, 49-57쪽.
- 김진근, 이송희, 방호희, 황수옥, 2009, 「팔당호의 조류 발생 특성」, 『대한환경공학학회지』 31권 5호, 325-331쪽.
- 김현수, 정일환, 2015, 「용담호 조류군집의 시공간적 분포와 조류발생 요인분석」, 『한국지하수토양환경학회지』 20권 7호, 121-134쪽.
- 김호섭, 황순진, 2004, 「얕은 부영양 저수지의 육수학적 특성-계절에 따른 수질 변화」, 『한국육수학회지』 37권 2호, 180-192쪽.

- 나정은, 정명화, 조인숙, 박중환, 황경섭, 송효정, 임병진, 라궁환, 김현우, 이학영, 2012, 「영산강, 섬진강 수계 주요 호수의 식물플랑크톤 군집」, 『한국환경생물학회지』 30권 1호, 39-46쪽.
- 문예은, 김현수, 2019, 「옥정호 조류의 시공간적 분포와 조류발생 특성 분석」, 『대한환경공학회지』 41권 10호, 554-571쪽.
- 박연정, 김한순, 반양진, 이희숙, 2017, 「금강과 용담댐 하류하천 부착규조 군집 동태 및 생물학적 수질 평가」, 『한국환경분석학회지』 20권 3호, 138-144쪽.
- 박주현, 이정진, 조재원, 전숙례, 강선홍, 2015, 「낙동강에서 클로로필(Chlorophyll) 측정을 위한 클로로필 센서와 아세톤 추출법의 비교분석에 관한 연구」, 『상하수도학회지』 29권 3호, 325-335쪽.
- 박찬진, 2014, 「다변량 통계분석을 이용한 영산강 유역의 수질 특성 평가」, 석사학위논문, 전남대학교.
- 박혜경, 서용찬, 조일형, 박병황, 2006, 「녹조현상 원인조류들의 염소처리에 의한 소독부산물 생성 및 microcystins 유출」, 『한국물환경학회지』 22권 3호, 513-520쪽.
- 배현균, 김학윤, 2012, 「세계물포럼에 즈음한 대구경북 물산업의 현황과 전망」, 『환경과학논집』 16권 1호, 249-255쪽.
- 손희중, 정중문, 엄훈식, 최진택, 장성호, 2012, 「남조류의 염소처리에 따른 미량의 염소 소독부산물 생성에 관한 연구」, 『한국환경과학회지』 21권 8호, 1015-1021쪽.
- 송철민, 김진수, 장훈, 2010, 「하천변 양배추 밭에서의 영양물질의 거동」, 『한국농공학회지』 52권 3호, 65-71.
- 심무준, 윤재용, 이수형, 2015, 「대청호 유입지천의 수질 특성」, 『한국하천호수학회지』 48권 1호, 12-25쪽.
- 유순주, 이은정, 박민지, 김갑순, 임종권, 류인구, 최황정, 변명섭, 노혜란, 2018, 「통계로 보는 팔당호 물환경 변화」, 『한국물환경학회지』 34권 6호, 688-702쪽.
- 이호령, 2010, 「옥정호의 조류발생 영향인자 상관성 분석 연구」, 석사학위논문, 조선대학교.
- 정다빈, 안광국, 2013, 「N:P ratio 조절에 의한 단기 영양염 첨가 바이오에세이(NEBs) 및 1차 생산력(엽록소-a)의 반응성 테스트」, 『한국환경생물학회지』 31권 4호, 383-392쪽.
- 정선영, 김일규, 2017, 「낙동강 중,하류 보 구간의 수질특성 및 Chl-a와 수질인자의 상관관계 분석」, 『대한환경공학회지』 39권 2호, 89-96쪽.
- 조완희, 염경택, 김진수, 반양진, 정세웅, 2012, 「대청호의 조류발생 분석」, 『환경

영향평가』 21권 3호, 367-380쪽.

허준욱, 강형식, 장민호, 2011, 「한강수계달천의 어류상과 물리적 서식지 조건에 관한 연구」, 『대한환경공학회지』 33권 8호, 564-571쪽.

Carlson, R. E., 1977, A trophic status index for lakes, *Limnology and Oceanography*, 22, pp. 361-369.

Mcnaughton, S. J., 1967, Relationships among functional properties of Californian grassland, *Nature*, 216, pp. 168-169.

Redfield, A. C., 1958, The biological control of chemical factors in the environment, *Am. Sci.*, 46, pp. 205-221.

Shannon, C. E. and Weaver, W., 1949, *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, IL: The University of Illinois Press, pp. 1-117.

Smith, V. H., 1982, The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis. *Limnol Oceaogr.*, 27, pp. 1101-1112.

<Abstract>

A Study on the Spatio-temporal Distribution Characteristics of Phytoplankton by Water Environment Factors in Okjung Reservoir

Moon, Ye-eun^{*}

The purpose of this study was to find out the meteorological and hydrological status and the trend through the results of the water quality monitoring network of Okjung reservoir at Jeollabuk-do. By analyzing the water quality, algae and statistical analysis, we tried to find out factors influencing the phytoplankton growth.

As a result of the water quality monitoring network, The concentration change in the river monitoring network was greater than that in the lake because it was affected by rainfall directly. T-P and Organic matter concentration showed similar tendencies because particulate phosphorus flow into water body with pollutants due to rainfall.

The water samples were collected from three points in the river and five points in the lake in 2017 and 2018. N/P ratio was observed to be P-limited condition in both the monitoring network and the water quality analysis. The phytoplankton community was found to be mainly dominated of diatoms during the study period.

Principal component analysis of 2017 and 2018 identified 4 component that explained 74.6% and 78.3% respectively. During the study period, these components were attributed to change of meteorological and environment factor, growth of phytoplankton by inflow of organic matter and particulate phosphorus, concentrated precipitation in the summer, environmental changes causing growth of cyanobacteria.

As a result of this study, T-P management is necessary because it acts as a limiting nutrient among water quality factors. And the upstream inflow river has a large change in the concentration of nutrients and organic matters entered as the flow rate changes. Therefore, it is necessary to control the growth of algae

^{*} Doctor's course, Dept. of Earth & Environmental Sciences, Jeonbuk National University

by managing the water quality of upstream inflow river.

Key Words : Phytoplankton, Okjung reservoir, Nutrients, P-limited condition,
Multivariate statistical analysis