

대청호 추동취수탑 부근의 수질변화 특성

마심초 · 임봉수[†] · 허순욱* · 곽미애*

대전대학교 환경공학과
*대전광역시 상수도사업본부 수질연구소

Variation of Water Quality around the Chudong Intake Tower in Daechung Reservoir

Xin-Chao Ma · Bong-Su Lim[†] · Soon-Uk Heo* · Mi-Ae Kwak*

Department of Environmental Engineering, Daejeon University,
*The Institute of Water Quality, Daejeon Metropolitan City Waterworks Authority
(Received 17 August 2015, Revised 15 October 2015, Accepted 16 November 2015)

Abstract

This study has been carried out to provide the basic data obtained from the evaluation of the variation of water quality around the Chudong intake tower in Daechung reservoir, which may be able to help the establishment of a pure water supply policy. Five sites around the Chudong intake tower were selected, and the average data for recent ten years(from year 2004 to year 2013) were analysed. The average water quality around Chudong intake tower are as followed; pH 7.5, DO 8.7 mg/L, BOD 1.0 mg/L, COD 3.0 mg/L, SS 3.0 mg/L, TN 1.495 mg/L, TP 0.017 mg/L, and Chlorophyll-a 6.5 mg/m³ were matched the good class by comparing with the living environment standard of reservoir. COD values of higher than 3.0 mg/L after July were likely due to non-point pollutants and algae outbreak during rainy summer season. Total phosphorus rose sharply in the summer season, and then algae watch was issued consistently for average 40 days. Total nitrogen to total phosphorus ratio was average 90, and it is important to control the inflow phosphorus from small stream for proper management to block an algae growth according to eutrophication. It was recommended to operate the algae removing boats around intake tower from July to October, and was required advanced water treatment processes to remove NBD COD and bad odor and taste due to algae growth.

Key words : Algae watch, Chudong intake tower, Management to block algae growth, Total nitrogen to total phosphorus ratio

1. Introduction

대청호는 금강 중상류에 건설된 인공호로서 대전뿐만 아니라 청주, 천안 등 충청권지역에 생활 및 공업용수 등을 공급하고 있는 중요한 수자원이다. 중부권 주요 상수원이며 금강 하류 하천수질에 영향을 미치고 있는 대청댐 상류는 대부분 임야 등 비점오염원의 비중이 매우 크기 때문에 비점오염물질이 강우 시 유출되어 댐에 일시적으로 유입되는 특징을 가지고 있다. 특히 대청호 유역내 오염원이 집중되어 있는 소하천 유역으로부터 과도한 영양염의 공급은 정체수역에서 조류의 대량 증식 현상을 일으키며 호소 내 수리·수문조건에 따라 소하천 유입 정체수역에서 증식된 조류가 대청호 본류로 이동·확산되면서 수질문제를 일으키고

있다. 대청호 부영양화 관련 연구는 유입되는 유기물의 조건, 즉 유기물 부하량, 시기, 영양염 등과 수온, 일조량과 같은 환경적 조건에 따른 조류발생 요인에 관한 연구(Joung et al., 2005; Kim et al., 2006; Park, 2005; Yu et al., 2006), 강우에 의한 탁류 유입으로 성층현상과 수질 변화의 영향에 관한 연구(Hwang, 2004)가 대부분이었으며 최근에는 상류 유역으로부터 유입되는 밀도류 특성과 관련한 수질 영향 등을 포함한 수질 모의연구(Kim et al., 2012)가 수행되었다. 특히 상수원 취수탑이나 역조정지에서의 수질 특성 연구(Lee et al., 1995; Lim et al., 2007; Lim et al., 1997; Ryu, 1996)는 비교적 오래된 자료이고 한해 동안만 조사한 단기간의 연구이다.

인공호는 인위적인 과정을 거쳐 형성되었기 때문에 유량, 수체류시간, 수온과 같은 수리·수문학적 요인이 자연호와 아주 다르며, 또한 이런 특성들은 질소(N), 인(P)과 같은 화학적 인자의 거동과 부착조류, 어류 등 인공호 내 서식하는 다양한 생물의 생물학적 특성에 직간접적으로 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 최근 연구에 의하면 대청호의 수질관리 및 평가를 위한 종합수질지수를 위해 BOD보다는

[†] To whom correspondence should be addressed.
bslim@dju.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

질소와 인의 수질항목 관리가 중요하다고 보고하고 있다 (Chung and Park, 2005). 대전시의 경우 2011년부터 2단계 수질오염 총량제 시행으로 대청호의 총인 농도가 0.018 mg/L로 설정됨에 따라 오염원에 대한 관리가 더 중요하게 되었다(The Institute of Water Quality, Daejeon Metropolitan City Waterworks Authority, 2014).

본 연구는 대청호의 추동취수탑 주변 5개 지점에 대해 장기간 수질 조사하여 분석한 자료를 토대로 취수탑부근의 수질 특성을 평가하여 정수처리를 위한 맑은 물 공급대책에 기여하기 위한 기초자료를 제공하기 위한 것이다.

2. Materials and Methods

2.1. 대상지역

대청댐은 높이 72 m, 길이 495 m, 체적 1,234 천 톤의 중력식 콘크리트댐과 사력댐으로 구성된 복합형 댐으로 1981년에 완공되었다. 유역면적은 4,134 km², 연 평균 유입량은 3,220 백만 톤, 본 댐의 총 저수용량은 1,490 백만 톤, 유효저수용량은 790 백만 톤, 저수면적은 72.8 km², 호수 길이는 86 km, 저수지 안의 물이 다른 지역으로 넘치지 않도록 해주는 3개의 보조댐으로 구성되어 있으며 우리나라에서 3번째 규모가 큰 인공 호소이다. 대전광역시 상수도 공급을 위한 추동취수탑은 하루 105만톤의 정수장 시설용량의 상수원을 공급하는 중요한 지점이다.

조사대상지점은 Fig. 1에 나타나 있으며 대전시 대청호의 주변 추동취수탑 지점(A), 만 형성 중앙지점(B), 은골 앞 지점(C), 본류 오동 앞 지점(D), 세천동 토기봉 앞(E), 총 5

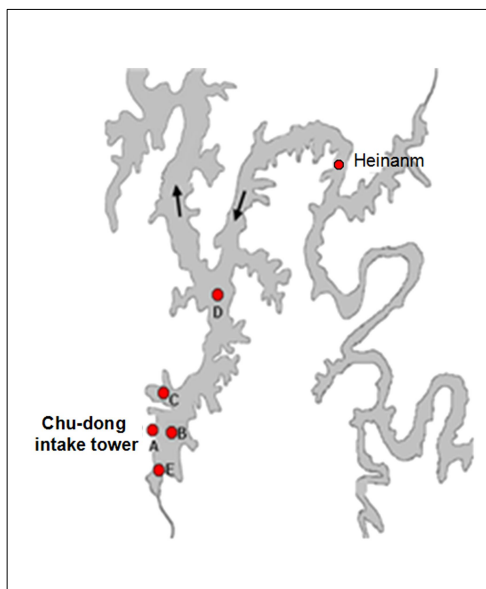


Fig. 1. Main sampling location of Chudong intake tower in Daecheong Reservoir.

Table 1. Annual rainfall in Daecheong reservoir

Year	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Avg.
Rainfall(mm)	1496.5	1656.1	1195.2	1750.9	1037.6	1090.4	1419.7	1943.4	1409.5	1120.9	1412.0

개 지점을 대상지역으로 선정하였다. 각 지점의 특성을 설명하면 모든 지점은 5 m 수심별로 측정하였고, 추동취수탑은 수심 10 m로 정수장으로 유입되는 지점으로 정수의 수질과 직접적으로 연관이 있는 지점, 만 형성 중앙지점은 수심 15 m로 만 중앙의 지점으로 물이 대체로 정체성을 띠는 지점, 은골 앞 지점은 수심 15 m로 본류에서 만으로 유입되는 지점으로 폭이 좁고 유속이 빠른 지점, 본류오동 앞 지점은 수심 15 m로 본 댐과 대전취수탑의 중간지점으로 호수 본류 상류에서 유하한 물이 대전취수탑 방향 및 본 댐의 정체된 물과 합류되는 지점, 세천동 토기봉 앞은 수심 10 m로 만의 끝부분이며 인근 세천동에서 오염물이 유입될 가능성이 있는 지점이다. 수질자료는 대전광역시 상수도사업본부 수질연구소의 수질측정 자료를 활용하였다. 조사기간은 2004년부터 2013년까지 10년간 월 1회 주기로 조사하였고 조사일시는 가능한 채수간격을 유지하기 위해 매월 두 번째 주에 채수하였다.

2.2. 조사방법

[환경정책기본법 시행령] 제2조 관련 별표의 수질 및 수생태계 환경기준에 규정되어 있는 하천 및 호소 수질기준 항목을 참고하여 주요 분석항목인 COD, BOD, SS, T-N, T-P, 클로로필-a로 6 항목을 대상으로 수질오염공정시험기준(MOE, 2014)에 의해 실시하였다.

3. Results and Discussion

3.1. 강수량의 변화

조사기간 중 대전지역의 강수량을 관측한 결과, 연평균 1,412.0 mm의 강수량을 나타내었으며 연도, 계절별로 강수량의 변동이 심하였다. 연도별로 보면 2008년에는 1,037.6 mm에 불과하였으나 2011년에는 1,943.4 mm로 900 mm 이상 차이가 났으며, 계절별로는 우기인 6월부터 9월까지의 강수량이 매월 170 mm 이상의 집중적인 강우로 전체 강수량의 72.7%를 차지하고 있어 하절기에 많고 동절기에 적은 전형적인 우리나라의 강수현상을 보여주고 있었다(Table 1 참조).

강수량이 집중한 6~9월 시기에 수질과의 관계를 살펴보면 COD와 SS, TP가 상승하는 경향을 띠고 TN과 BOD는 크게 영향을 받지 않고 있으며 클로로필-a의 경우는 9~11월 시기에 상승하는 경향을 띠고 있다. 이와 같은 경향은 강우시 비점오염물질이 호소 외부에서 유입되므로 COD, SS, TP는 증가하고 반면에 TN은 호소내에 과잉으로 존재되어 있고, BOD는 호소내 조류 세포로 발생하는 유기물질 측정시 COD에 비해 BOD가 적게 받기 때문으로 판단된다.

3.2. 대청호의 수질변화

대청호 최근 10년간 수질 결과를 살펴보면 연평균 수질은

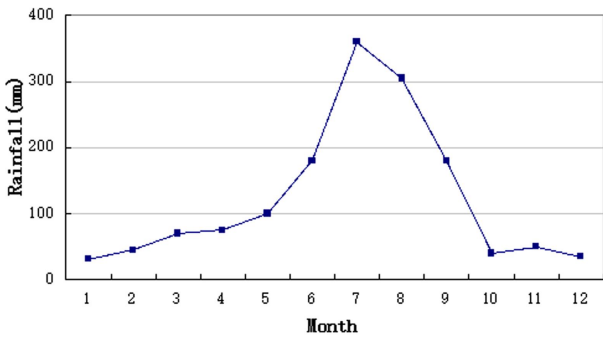


Fig. 2. Variation of the average monthly rainfall.

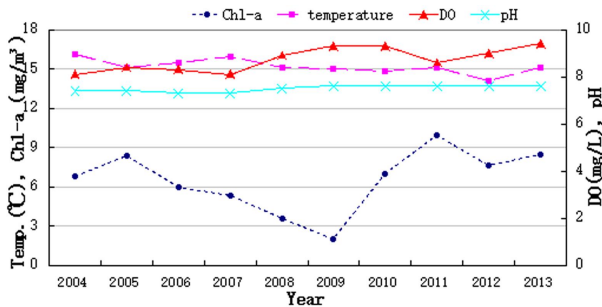
pH 7.5, DO 8.7 mg/L, BOD 1.0 mg/L, COD 3.0 mg/L, TN 1.495 mg/L, TP 0.017 mg/L로 호소의 생활환경기준과 비교 시 [좋음] 수준에 가까웠다. 한편, 1997년부터 2002년까지 대청호 전체 5개 지점의 수질조사 결과(Park, 2005)를 보면 평균 COD 3.6 mg/L, 평균 클로로필-a 9.3 mg/m³, TN 0.14~5.09 mg/L, TP 0.001~0.247 mg/L, TN/TP비가 99로

나타나 본 연구기간내의 수질이 약간 개선되는 경향을 갖고 있다. 연도별, 월별 수질항목과 조류발생일에 대한 상세한 내용을 다음과 같이 분석하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 각각 연도별, 월별 수질 변화를 나타내고 있다.

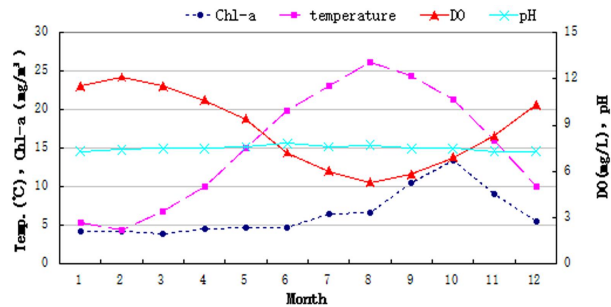
3.2.1. 수온과 용존산소

대청호와 같은 호수에서의 수온은 조류의 번식, 물의 순환에 영향을 주게 된다. Fig. 3(a)는 수온과 용존산소(DO)의 연도별 변화이고 Fig. 4(a)는 월별 변화이다. 대청호의 연평균 수온은 15.2°C (14.1°C~16.1°C)로 조사기간 동안 큰 변동 없이 일정한 온도 분포를 보였다. 대청호의 월별 수온은 4.4°C~26.2°C의 범위로 계절적인 요인에 의해 8월에 가장 높고 2월에 가장 낮은 온도 분포를 보였으며, 6월부터 10월까지 기온 및 태양광의 영향으로 약 20°C 이상의 수온이 지속되어 조류의 성장에 알맞은 온도를 나타내었다.

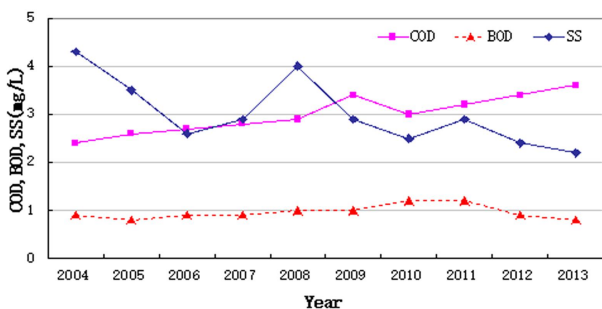
DO는 수생생태계에 있어서 매우 중요한 인자로서 수중 DO 농도는 공기로부터 물속으로 녹아 들어가는 속도와 물



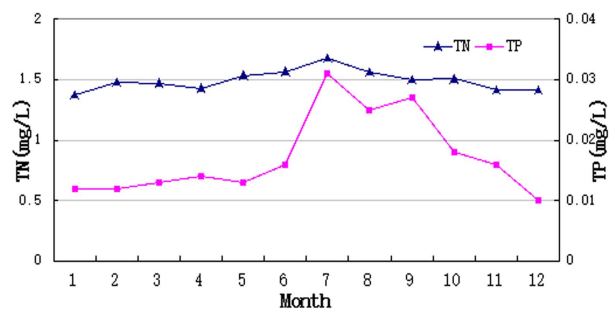
(a) Temp., Chl-a, DO, pH



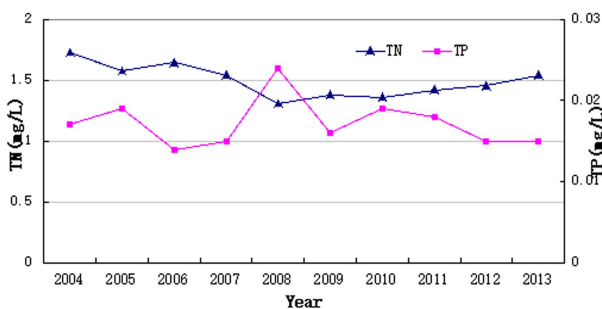
(a) Temp., Chl-a, DO, pH



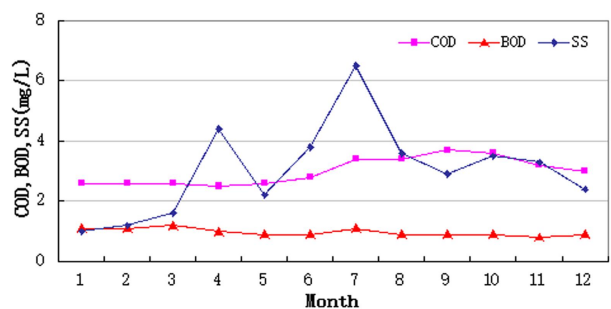
(b) COD, BOD, SS



(b) COD, BOD, SS



(c) TN, TP



(c) TN, TP

Fig. 3. Variation of annual water quality.

Fig. 4. Variation of monthly water quality.

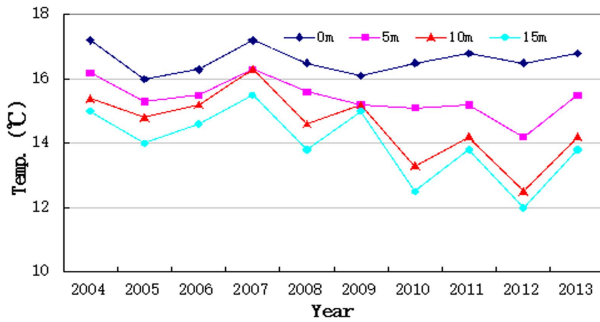


Fig. 5. Variation of annual water temperature by depth.

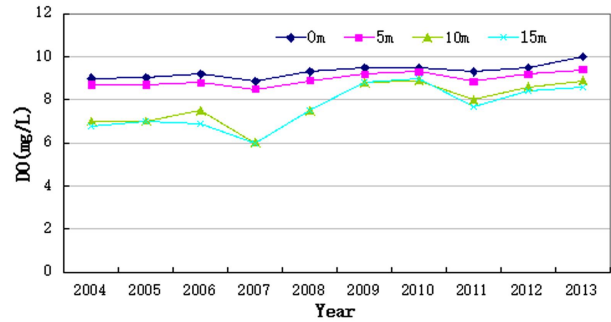


Fig. 6. Variation of annual DO by depth.

속에서 유기물 등의 분해에 의해 소비되는 속도에 의하여 좌우되기 때문에 일반적으로 오염수에서는 대체로 DO 농도가 낮아지는 경향이 있다. 하지만 부영양화된 호수나 하천에서는 조류의 광합성에 의해 DO가 크게 증가하여 과포화되기도 한다. DO의 연평균은 8.7 mg/L (8.1 mg/L~9.4 mg/L)이었으며 2008년부터 최근까지 다소 증가하는 경향을 보였다. DO의 월별 분포를 보면 5.3 mg/L~12.1 mg/L로 비교적 변동 폭이 컸으며 여름철에 낮아지고 12월에서 4월까지 10 mg/L 이상으로 겨울부터 봄까지는 과포화되었다. DO 농도는 수온과 밀접한 상관성이 있으며 대개 수온이 낮아지면 용존산소 농도는 높아지는 반비례 관계를 보인다.

Fig. 5는 수심에 따른 수온변화를 보여주고 있다. 수온은 수심이 깊을수록 낮아지는 경향을 보였으며 표수층보다는 수심이 깊을수록 연도별 온도변화가 큰 것으로 나타났다. 조사기간 동안 채수지점에 따른 수온은 수심이 얇은 A, E 지점의 연평균 수온이 약간 높았으며 계절적으로는 겨울철보다는 여름철에 더 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 수심에 따른 DO 변화를 나타내었다. DO 농도는 수심이 깊을수록 낮아지는 경향을 보였으며 그 차이는 조사 초기에 비해 점차 감소하였다. 계절별 수심에 따른 DO 농도 차이는 타 계절에 비해 여름철에 더 큰 차이를 보였으며 이는 여름철 조류가 주로 상층부에 집중적으로 번성하여 DO 농도를 증가시켜 과포화 상태로 만들기 때문이다. 채수 지점에 따른 DO 농도는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 2005년에 추동취수탑의 수심별 수질조사한 자료(NIER, 2006)에 의하면 여름철에는 하층이 DO 농도가 표수층에 비해 낮아지는 경향이고 다른시기에는 수심별 큰 차이가 나지 않고 있었다. 또한, 총인농도와 클로로필-a 농도가 7, 8월에는 상층과 하층이 차이가 있는 반면에 다른시기에는 큰 차이가 없는 특징을 나타내고 있어 취수탑 앞에 수중 포기시설에 의해 어느 정도 영향을 주는 것으로 판단된다.

Ryu(1996)이 조사한 문헌에 의하면 상하층의 밀도차가 큰 지점에서는 DO가 급격히 변화되므로 여름철에 수심이 깊을수록 수온에 의한 밀도차가 큰 것으로 관측되었고 가을철에 밀도차가 표수층부터 하층으로 사라지는 경향을 띠는 것으로 나타나고 있다.

3.2.2. 수소이온농도

수소이온농도(pH)는 용액의 산성 또는 알칼리성의 정도로

자연수의 pH는 물에 포함되어 있는 각종 염류, 유리탄산, 유기산 등으로 좌우되며 정수처리 공정에서 매우 중요한 항목으로 만약 응집과정에서 pH가 적정범위에 들지 않으면 정수처리에 어려움이 따른다. 또한 주변 환경, 지역특성, 계절변화 등 여러 가지 환경변화에 따라 달리 나타나게 된다.

Fig. 3(a)와 Fig. 4(a)는 pH의 연도별과 월별 변화를 각각 나타내고 있다. pH는 연평균 pH 7.5 (7.3~7.6)의 약 알칼리성으로 거의 변동이 없었으며, 월평균 pH도 7.3~7.8의 범위로 역시 변동 폭이 크지는 않았으나 조류개체수가 증가하는 봄부터 가을까지 소폭 상승하였으며 겨울철에는 다시 감소하는 것으로 나타났다.

3.2.3. 유기물질 농도

하천의 가장 대표적인 수질지표인 BOD는 규모가 작고 오염도가 높은 하천에서는 하·폐수의 유입 등 유역 오염물질의 유입 상황만을 주로 반영하지만, 대청호와 같은 큰 호수에서는 유역의 오염물질뿐만 아니라 호수수내의 내부 생산(조류증식)과 생물들의 활동 등 다양한 인자들이 매우 복잡한 작용을 하여 나타난다.

Fig. 3(b)는 COD와 BOD의 연도별 평균 수질의 변화이고 Fig. 4(b)는 COD와 BOD의 월별 변화를 나타내고 있다. 대청호의 조사기간 평균 BOD는 1.0 mg/L (0.8 mg/L~1.2 mg/L)로 매년 증가하는 경향을 보이다가 2012년부터 감소하기 시작하였으며 월별 농도 변화는 겨울철과 봄철 같수기가 타 계절에 비해 비교적 높은 농도를 보였다. COD는 연평균 3.0 mg/L (2.4 mg/L~3.6 mg/L)로 2004년에 최저 농도를 나타낸 후 계속 증가하는 경향을 보였으며 이는 BOD의 변화에 비교적 적은 반면 COD는 계속 증가하여 원수 중에 난분해성 유기물질이 매년 증가하고 있기 때문이다. 이와 같은 추세로 증가할 경우 매년 0.12 mg/L 증가하여 10년 후에는 4.7 mg/L 까지 증가할 것으로 예상된다. COD/BOD 비율은 평균 3.0으로 COD가 증가함에 따라 COD/BOD 비율도 증가하는 경향이다. COD/BOD 비율이 증가하는 원인은 호수에 유입되는 지천을 통해 외부에서 유입되는 난분해성 유기물질로 규명하고 있다(Guggenberger et al., 1994; Qualls, 1991; Thurman, 1985). 또는 비점오염원에 의한 외부 난분해성 물질의 유입 증가와 수계 내부에서 생성된 유기물질의 증가가 주요 원인으로 보기도 한다(GERC, 2014).

월평균 COD의 경우 2.5 mg/L ~ 3.7 mg/L의 범위로 변동 폭이 다소 큰 편이었으며 7월부터 11월까지 3.0 mg/L 이상의 높은 농도 분포를 보였다. 이는 여름철 강수기에 비점오염원 등의 오염물질 유입과 조류발생으로 인한 유기물질량의 증가로 수질에 악영향을 주는 것으로 판단된다.

부유물질(SS)이 많을 경우 빛의 수중 투과율을 감소시켜 식물성 플랑크톤의 광합성 작용을 방해하기도 하며 또는 물고기의 아가미에 부착되어 물고기를 폐사시키기도 한다. 주 발생원인은 수체교란이나 강수에 따른 토사물질의 유입에 의하여 발생한다. Fig. 3(b)와 Fig. 4(b)는 SS의 농도의 연도별 및 월별 변화를 각각 나타내고 있다. SS는 2004년에 높은 농도를 보인 후 계속 감소하는 경향을 보이다가 2008년에 급격히 상승한 후 다시 감소하여 2013년에 가장 낮은 농도를 보이는 것으로 나타났다. SS의 연평균 값은 3.0 mg/L (2.2 mg/L ~ 4.3 mg/L)이었다. SS의 월평균 범위는 1.0 mg/L ~ 6.5 mg/L로 다소 큰 변동 폭을 보였다. 7월의 경우 많은 강수량으로 인해 SS의 농도가 급격히 상승하였으며, 이후 계속된 조류발생으로 11월까지 높은 농도를 보였다.

3.2.4. 영양염류

질소와 인은 부영양화를 유발하는 주요 영양염류 물질이다. 수중 질소와 인은 유역오염원뿐만 아니라 강우가 집중되는 시기에 비점오염원에 의해서도 다량 유입되는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 3(c)과 Fig. 4(c)는 T-N와 T-P의 연도별, 월별 농도 변화를 각각 나타내고 있다. T-N와 T-P의 연평균 농도는 각각 1.495 mg/L (1.309 mg/L ~ 1.725 mg/L), 0.017 mg/L (0.014 mg/L ~ 0.024 mg/L)를 보였으며 월 평균 범위는 각각 1.375 mg/L ~ 1.679 mg/L, 0.010 mg/L ~ 0.031 mg/L로 총질소에 비해 총인의 월별 변동폭이 비교적 큰 편이었고 하절기에 높은 농도를 보였다. 총인의 월평균 농도는 7월과 8월, 9월에 각각 0.031 mg/L, 0.025 mg/L, 0.027 mg/L로 높은 농도를 보이는 것으로 나타났으며, 이 시기에 조류가 대량 번식하여 조류주의보도 빈번히 발령되었다.

호소수와 같이 정체된 수역에서는 부영양화를 일으키는 영양염류인 총질소/총인 비율이 7 미만일 경우는 총질소를 적용하고, 비율이 16 이상일 경우는 총인 농도를 적용하도록 수질환경기준(환경정책기본법시행령)에서 규정하고 있다. 조사기간 내내 총인에 대한 총질소의 비가 10년 동안 평균 90 (최저 55 ~ 최고 114)으로 나타났는데 Park and An(2007)의 연구는 2001년부터 2010년 까지 조사한 결과 88이상으로 본 연구와 유사한 경향이다. 총인 농도에 비해 총질소의 농도가 매우 높아 호소내 질소가 과잉 공급 상태인 것으로 나타났는데 부영양화에 따른 조류의 번식을 차단하기 위해서는 호소로 유입되는 지천의 총인 관리가 중요하고 강화되어야 할 것이다.

강수량이 집중된 6~9월 시기에 수질과의 관계를 살펴보면 COD와 SS, TP가 상승하는 경향을 띠고 TN과 BOD는 크게 영향을 받지 않고 있으며 클로로필-a의 경우는 9~11월 시기에 상승하는 경향을 띠고 있다. 이와같은 경향은

강우시 비점오염물질이 호소 외부에서 유입되므로 COD, SS, TP는 증가하고 반면에 TN은 호소내에 과잉으로 존재되어 있고, BOD는 호소내 조류 세포로 발생하는 유기물질 측정시 COD에 비해 BOD가 적게 받기 때문으로 판단된다.

3.3. 조류발생 현황

3.3.1. 클로로필-a

클로로필-a (Chlorophyll-a)는 세균을 제외한 모든 광합성 생물에 존재하며, 특히 수계 환경 내의 식물 plankton (algae, phytoplankton) 세포에서 가장 보편적으로 많이 분포한다. 따라서 클로로필-a의 양을 측정하면 수계 환경 내의 식물 plankton의 분포를 알 수 있기 때문에 총인 등의 화학적 성분들과 더불어 수계환경의 부영양화 지표가 되는 항목이다. Fig. 3(a)는 클로로필-a의 연도별 변화이고 Fig. 4(b)는 클로로필-a의 월별 변화이다. 클로로필-a의 연평균 농도는 6.5 mg/m³ (2.0 mg/m³ ~ 9.9 mg/m³)로 다소 변동 폭이 큰 편이었다. 2009년까지 계속 감소하는 추세를 보이다가 2010년부터 최근까지는 다시 증가하는 농도추이를 보였다. 클로로필-a의 월평균 농도의 경우 7월부터 높은 기온과 강수량의 영향으로 급격하게 증가하다가 10월에 13.4 mg/m³로 최고치를 나타낸 후 서서히 감소하는 농도 분포를 보였다.

3.3.2. 조류경보 발령현황

조류의 발생 조건은 영양염류가 풍부하고 수온이 높고 (21°C ~ 26°C) 일조량이 풍부한 때라고 알려져 있다. 대청호는 유역면적이 넓어(4,134 km², 물 체류기간이 평균 107일) 댐 상류 지역으로부터 유입되는 오염물질이 많아 매년 하절기가 되면 대청호에는 조류가 번성하여 상수원의 수질이 악화되고 있다. 특히 매년 여름철장마 후 영양염류가 호소 내로 유입되어 정체수역에 체류하는 동안 수온 상승, 일조량 증가 등 조류번식 여건이 형성되어 조류가 대량 발생하게 된다. 조류가 대량 발생되면 정수처리 시 여과장치의 기능이 저하되는 등 용수 이용 장애와 호소 내 산소고갈에 의한 어패류의 질식사 등의 피해가 우려된다. 또한 일부 독소를 생성하는 남조류에 의한 건강상 피해유발 가능성이 있는 것으로 알려져 있으며 우리나라에서는 아직까지 정수처리과정에서 모두 제거되므로 그 피해사례는 없으나 발생 초기 단계에서부터 이에 대한 적절한 대응책을 마련하여 추진하는 것이 필요하다.

환경부에서는 녹조발생의 원인물질을 사전에 제거하는 것과 더불어 녹조발생에 좀 더 신속히 대응하여 안전한 수돗물을 생산하기 위해 조류경보제를 실시하고 있다. 조류경보제는 조류발생을 쉽게 판별할 수 있는 클로로필-a 농도와 독성을 함유하고 있는 것으로 알려진 남조류 세포수를 기준으로 발생정도에 따라 주의보-경보-대발생의 단계로 구분하여 발령하게 되며, 취·정수장 등 관계기관에 신속하게 전파하여 단계적인 대응조치에 따라 정수처리 강화와 조류 제거 등 필요한 조치를 수행하게 된다. 대청호의 수질 조사지점은 3개소(문의, 추동, 회남)로 주간 단위로 조류 모니터링을 실시한다.

Table 2. Presents of the algae warning per year

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Watch (days)	Munui:14	Hoenam:67 Chudong:30 Munui:30	Hoenam:62 Chudong:64 Munui:44	Hoenam:14 Chudong:14	Hoenam:15	Hoenam:28	Hoenam:59 Chudong:43 Munui:29	Hoenam:57 Chudong:29 Munui:48	Hoenam:41 Chudong:63 Munui:49	Hoenam:33 Chudong:47
Warning (days)	-	-	Munui:15	-	-	Hoenam:18	-	-	Hoenam:43	-
Chl-a (mg/m ³)	6.8	8.4	6.0	5.3	3.6	2.0	7.0	9.9	7.6	8.5

7월부터 10월까지 수온의 월평균이 20°C를 넘었으며 영양염류의 제한 인자인 총인의 월평균농도는 7월 0.031 mg/L, 8월 0.025 mg/L, 9월 0.027 mg/L 및 10월 0.018 mg/L로 높은 농도를 나타내었다. 따라서 이 기간 동안 조류가 다량 증식되어 해마다 대청호의 부영양화가 지속되었다. 대청호의 조류생장에 직접적인 영향을 주는 것은 지천의 총인 유입으로 보고 있으며 높은 인이 유입되는 도심형 하천(옥천천)의 수질 개선이 필요함을 언급하고 있다(Kim, et al., 2012).

Table 2는 조류경보 발령 연도별 현황을 나타내고 있는데 추동취수탑의 경우 10년 동안 7회 정도가 조류주의보가 발령되었으며 평균 40일 이상 지속되었다. 회남지점은 상류지역이고 본류이지만 조류경보가 발생한 것으로 보면 상류지역에서 지천에 의한 오염물질의 유입에 기인하여 조류가 다량 발생한 것으로 예측된다.

추동취수탑인 상수원의 10년간 수질 특성을 통해 종합적으로 볼 때 취수탑 부근에서는 조류발생을 억제와 사멸한 조류가 침전하지 않고 일정기간 부유되어 COD, SS을 유발할 수 있으므로 조류가 많이 발생하는 7월부터 10월까지 조류제거선을 운영하는 것을 추천하며, 호소로 유입되는 상류 지천의 총인관리를 강화하고, 정수장에서는 조류발생에 의한 이취미제거와 생물학적으로 분해되지 않는 COD(NBD COD) 제거를 위한 고도처리공정을 고려하여야 할 것이다.

4. Conclusion

- 1) 대청호 추동취수탑에서 최근 10년간 수질 결과를 살펴보면 평균 수질은 pH 7.5, DO 8.7 mg/L, BOD 1.0 mg/L, COD 3.0 mg/L, SS 3.0 mg/L, TN 1.495 mg/L, TP 0.017 mg/L, 클로로필-a 6.5 mg/m³으로 호소의 생활환경기준과 비교 시 [좋음] 수준에 가까웠다.
- 2) 유기물질의 경우 연평균 BOD는 0.8~1.2 mg/L으로 비교적 변동이 적은 편이고 연평균 COD는 2.5~3.7 mg/L으로 계속 증가하여 10년 후에는 4.7 mg/L로 예상되며, 여름철 강수기에 비점원오염물질의 유입과 조류발생으로 7월부터 3.0 mg/L 이상 높은 농도를 나타냈다.
- 3) 총인은 여름철에 급격히 증가하였으며 이 시기에 조류의 대량 번식으로 조류주의보가 평균 40일 정도로 지속 발령되었다. 총질소/총인의 비율이 평균 90으로 나타났으며 부영양화에 따른 조류의 성장을 차단하기 위해서는 호소로 유입되는 지천의 총인 관리를 강화해야 한다.
- 4) 맑은 물 공급을 위해 취수탑에서는 조류가 많이 발생하

는 7월부터 10월까지 조류제거선을 운영하는 것을 추천하며, 정수장에서는 조류발생에 의한 이취미제거와 생물학적으로 분해되지 않는 COD제거를 위한 고도처리공정을 고려하는 것이 필요하다.

References

- Chung, S. W. and Park, J. H. (2005). Application of Korean Water Quality Index for the Assessment of River Water Quality in the Basin of Daecheong Lake, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 21(5), pp. 470-476. [Korean Literature]
- Geumriver Environment Research Center (GERC). (2014). *The Origin, Transformation Characteristics, and Reduction of COD-causing Materials*, No. 11-1480355-000048-10, Geumriver Environment Research Center, pp. 123-124. [Korean Literature]
- Guggenberger, G., Zech, W., and Schulten, H. R. (1994). Formation and Mobilization Pathways of Dissolved Organic Matter : Evidence from Chemical Structural Studies of Organic Matter Fractions in Acid Forest Floor Solutions, *Organic Geochemistry*, 21, pp. 51-66.
- Hwang, H. S. (2004). *Water Quality Characteristics and Stratification in the Daecheong Lake by the Amount Rainfall*, Chungbuk National University, Master Thesis, pp. 24-26. [Korean Literature]
- Joung, S. H., Ahn, C. Y., Choi, A. R., Jang, K. Y., and Oh, H. M. (2005). Relation between Rainfall and Phytoplankton Community in Daechung Reservoir, *Korean of Environmental Biology*, 23(1), pp. 57-63. [Korean Literature]
- Kim, Y. K., Chung, S. W., Park, J. H., Yoon, S. W., and Jung, Y. R. (2006). Assessing the Effectiveness of Different Algal Control Measures in Daechong Reservoir by Numerical Simulations, *Autumn Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 877-886. [Korean Literature]
- Kim, G. H., Lee, J. H., and An, K. G. (2012). Spation-temporal Fluctuations with Influences of Inflowing Tributary Streams on Water Quality in Daecheong Reservoir, *Korean Society of Limnology*, 45(2), pp. 158-173. [Korean Literature]
- Lee, G. Y., Huh, J. Y., and Roh, J. S. (1995). A Study on Water Quality in the Water Body around Taejon Intake Tower of Taechong Reservoir, *Journal of the Institute of Industrial Technology (Daejeon University)*, 9, pp. 47-54. [Korean Literature]

- Lim, B. S., Kim, H. Y., and Kwon, C. J. (2007). Comparison on the Characteristics of Water Quality at the Daechung-Dam and Its Regulating Reservoir, *Journal of the Institute of Environment Studies (Daejeon University)*, 11, pp. 27-37. [Korean Literature]
- Lim, B. S., Kim, T. E., Bang, M. R., and Jung, D. W. (1997). A Survey on the Variation of Water Quality around Daechung-Dam Regulating Reservoir, *Journal of the Institute of Environment Studies (Daejeon University)*, 1, pp. 3-16. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2014). *Korean Standard Methods of Water Pollution*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2006). *Water Quality and Phytoplankton Development in the Daechong Reservoir*, No. 11-1480523-000059-01, National Institute of Environmental Research, pp. 30-31. [Korean Literature]
- Park, J. G. (2005). Water Environmental Factors and Trophic States in Lake Daechong, *Korean Journal of Limnology*, 38(3), pp. 382-392. [Korean Literature]
- Park, H. J. and An, K. G. (2007). Trophic State Index (TSI) and Empirical Models, based on Water Quality Parameters, in Korean Reservoirs, *Korean Journal of Limnology*, 40(1), pp. 14-30. [Korean Literature]
- Qualls, R. and Haines, B. L. (1991). Geochemistry of Dissolved Organic Nutrients in Water Percolating through a Forest Ecosystem, *Soil Science*, 55, pp. 1112-1123.
- Ryu, G. H. (1996). *Water Quality Characteristics and Stratification of the Daechung Lake*, Master Thesis, Chungnam National University, pp. 82-83. [Korean Literature]
- The Institute of Water Quality, Daejeon Metropolitan City Waterworks Authority. (2014). *Overall Report of Water Quality*, No. 56-6300739-000001-01, Daejeon Metropolitan City Waterworks Authority, The Report of the Water Quality Investigation in Daechong Reservoir, pp. 21-55. [Korean Literature]
- Thurman, E. M. (1985). *Organic Geochemistry of Natural Waters*, Kluwer Academic, Boston, MA, pp. 497-498.
- Yu, S. J., Hwang, J. Y., Chae, M. H., and Kim, S. Y. (2006). The Relation between Algae Movement and Velocity in Daechong Reservoir Linked with Tributary, *Spring Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 115-121. [Korean Literature]