

경기북부지역 주요 호소수의 수질오염특성 평가

최정인 · 임흥빈 · 정은희 · 김태열 · 손영금 · 고순미 · 이호정 · 오조교[†]
경기도 보건환경연구원 북부지원

Evaluation of Water Pollution Characteristics of Major Lakes in Northern Gyeonggi-do Province

Jeong-in Choi, Heung-bin Im, Eun-hee Jung, Tae-yuel Kim, Yeong-geum Son,
Sun-mi Ko, Ho-jung Lee, and Jo-gyo Oh[†]
Gyeonggi-do Institute of Health and Environment Northern Branch

ABSTRACT

Objectives: A lake is a place used by many people, and compared to rivers it is easy for them to become polluted. The water quality in lakes and reservoirs has been worsening recently. The purpose of this study is to evaluate the water pollution characteristics of major lakes in northern Gyeonggi-do Province.

Methods: Six lakes were selected as major lakes and were evaluated in terms of water pollution characteristics and eutrophication (as defined by results for COD_{Mn}, TOC, SS, Chl-a, T-N and T-P) over one year (from December 2016 through November 2017) in northern Gyeonggi-do Province.

Results: The annual average COD_{Mn} was found to be 3.1 mg/L in Onam, 3.6 mg/L in Sanjeong, 4.7 mg/L in Gisan, 4.8 mg/L in Ilsan, and 6.1 mg/L in Jangja. The results of the Korean trophic state index (TSI_{KO}) value indicated a eutrophic state (TSI_{KO} 59.0) in Jangja lake. The other lakes were classified as being in a mesotrophic state (TSI_{KO} of 38.1 in Sanjeong, 40.2 in Ilsan, 41.9 in Onam, 46.1 in Gisan, and 47.8 in Gomo).

Conclusions: Ilsan Lake's water quality is being well maintained. Sanjeong, Onam, and Gisan are appropriate for use as agricultural water. Jangja lake requires efforts for water quality improvement and to prevent the inflow of non-point pollutant sources.

Keywords: Eutrophication, lake park, reservoir, water pollution

I. 서론

과거에 우리나라의 인공호수 및 저수지는 생활용수, 공업용수 및 농업용수 등 수자원확보를 위해 축조되었다. 한편 최근 호수공원은 대기오염방지, 도시의 열섬효과 감소 및 경관을 개선시키는 역할로써 설치하기도 한다. 이러한 호수공원의 설치로 인해 최근에는 시민들의 여가활동 공간으로써 중요한 역할을 차지하게 되었다. 이에 따라 호수공원은 조경로,

운동기구 등을 설치하여 시민들을 위한 휴식공간으로 조성하고 있다.

하지만 호수는 하천과 비교하여 폐쇄성 수역이라는 구조적인 특성 때문에 하천에 비하여 자체 정화능력이 약하며, 영양염류의 축적이 용이하다. 영양염류가 축적되면 부영양화 상태를 나타내고 조류의 증식과 세균오염 등으로 수질악화 현상이 나타난다.¹⁾ 조류가 증식하면 다른 생물의 종 조성을 변화시키며, 호소 심층의 산소고갈을 일으키고, 냄새와 독소

[†]Corresponding author: Gyeonggi-do Research Institute of Health and Environment, 1, Cheongsa-ro, Uijeongbu-si, Gyeonggi-do, 11780, Republic of Korea, Tel: +82-31-8030-5976, Fax: +82-31-8030-5979, E-mail: jichoi@gg.go.kr
Received: 22 June 2018, Revised: 28 June 2018, Accepted: 12 July 2018

의 발생, 미관상의 불쾌감을 발생하기도 한다.²⁾

호수 수질악화의 원인으로는 외부오염과 내부오염이 있다. 외부오염에는 여러 가지가 있지만 크게 유기물, 영양염류, 독성물질 그리고 중금속의 유입 등이 있다. 이 중에 영양염류의 유입원으로는 농경지에 사용되는 비료가 비점오염원으로 유입되기도 하고 가정하수, 축산폐수가 유입되어 질소와 인의 농도가 증가하여 부영양화가 일어난다. 유기물 농도가 증가하면 심층의 산소부족에 따른 수생 동식물의 변화, 수돗물의 정수비용 증가, 독성환원물질의 발생, 관광자원으로써의 심미적 가치 하락 등의 피해를 초래한다.³⁾ 이러한 오염원을 제거하기 위해서는 하수처리장의 고도처리 시설화 및 수역 주변의 축사, 위탁시설 등의 오염물질 배출업소의 철저한 관리가 필요하다. 내부 오염은 여름철 저수지 심층에서 산소가 고갈되어 혐기 환경이 조성되고 이로 인한 퇴적층에서의 영양염류, 중금속이 용출되는 현상이 있다.⁴⁾ 저수지 심층을 폭기하거나 물 순환장치를 이용하여 퇴적층에 산소를 공급, 용출량을 감소시키고 성층을 파괴함으로써 수체 내에서의 물질이동을 원활하게 만들어주는 것이 대표적인 해결 방법이다.⁵⁾

호수나 저수지는 보통 하천에 댐을 만들어 물을 저수하여 축조한다. 이렇게 저수해 놓은 물을 생활용수나 농업용수로 사용하기 때문에 호수와 저수지의 수질이 수자원의 수질에 영향을 미치게 된다. 따라서 수자원의 수질 악화를 방지하기 위해서 호수의 부영양화를 미리 예측하고 방지하는 체계적인 대책이 필요하다.

또한 최근 언론보도에 따르면 경기도내 56개의 저수지 중에서 농업용수 수질 4등급 이하의 저수지 비율이 20.0% ('13)→30.9% ('14)→44.5% ('15)로 점점 증가하는 추세로 농업용수의 수질이 악화되고 있어 수질개선을 위한 대책마련이 요구된다.

이에 본 연구에서는 경기 북부지역에 소재하고 있는 호수공원 및 저수지 중 비교적 시민들의 이용이 많은 일산호수공원, 산정호수, 고모저수지, 오남저수지, 기산저수지, 장자호수공원 등 6개소를 선정하여 호소별 연중 수질 오염특성과 호소별 부영양화 평가를 하였고, 또한 수질오염관리방안 정책수립의 기초 자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상 호소는 도심에 위치하거나 보행자의 이동이 가능한 시설이 설치되어 운동 및 여가활동으로 많은 시민들이 찾는 호수공원과 낚시가 가능한 저수지로 6개소를 선정하였다.

1.1. 연구대상 호소별 특성

일산호수공원은 고양시에서 일산신도시 택지개발 사업과 연계하여 조성한 근린공원으로 한강에서 물을 끌어와 부들과 부레옥잠으로 자연정화 후 유입수를 응집침전법으로 처리하여 호수공원에 물을 유입하고, 호수공원의 물은 자연호수로 월류되고 그리고 자연호수의 물이 한강하류로 방류된다. 공원으로 관리되고 있기에 외부에서 유입되는 특별한 오염원은 없다.

산정호수는 농업용수를 공급하기 위하여 축조되었으며 호수의 물은 부소천으로 유출된다. 호수 주변에 식당이 위치해 있고 데크 설치로 인해 유동인구, 강우 시 주변 토사물들이 오염원으로 작용할 수 있는 곳이다. 고모저수지는 홍수 예방과 농업용수의 공급을 목적으로 축조되었으며, 고모저수지에서 고모천으로 물이 방류된다. 원래는 낚시가 가능한 곳이었으나 17년 2월부터 낚시가 금지되었다. 오남저수

Table 1. Major lake and reservoir located in northern Gyeonggi area

Region	Name	Mark	Sampling Site	The number of Sampling
Goyang	Ilsan	IS	Janghang-dong, Ilsandong-gu, Goyang-si	8
Pocheon	Sanjeong	SJ	Sanjeong-ri, Yeongbuk-myeon, Pocheon-si	3
	Gomo	GM	Gomo-ri, Soheul-eup, Pocheon-si	2
Namyangju	Onam	ON	Onam-ri, Onam-eup, Namyangju-si	2
Yangju	Gisan	GS	Gisan-ri, Baekseok-eup, Yangju-si	2
Guri	Jangja	JJ	Topyeong-dong, Guri-si	3

지는 진건천을 농업용수로 사용하기 위해 저수지를 설치하였고, 다시 진건천으로 방류된다. 진건천 상류에 음식찌꺼기 위치해 있고, 하절기에 사람들이 이용할 수 있는 공간을 조성해놓았다. 기산저수지는 문산천을 저수하여 만들어졌고, 다시 문산천으로 방류된다. 농업용수로도 사용되고, 현재는 주로 낚시터로 사용되고 있다. 장자호수공원은 한강에서 물을 끌어와 물을 유입하고 다시 한강으로 방류한다. 연구대상의 지점에 대한 정보를 Table 1에 나타내었다.

산정, 고모, 오남, 기산저수지는 농어촌공사가 관리하는 1종 저수지이다. 저수지 50만 톤 이상을 1종 저수지로 구분한다⁶⁾. 농어촌공사에서 제공하는 농업용수의 수질기준은 COD_{Mn}, 5.0 mg/L 이하, T-N 1.0 mg/L 이하, T-P 0.1 mg/L 이하, SS 15.0 mg/L 이하이다.

2. 시험방법

2.1. 시료채취 및 분석방법

2016년 12월부터 2017년 11월까지 각 호소의 동일지점을 선정 후, 표층에서 월 1회 채수하여 분석을 실시하였다. 2017년 1월과 2월은 호소의 특성상 결빙이 되어 채수가 불가하였다.

분석항목으로는 수질오염도와 부영양화 상태를 평가할 수 있는 항목으로 화학적산소요구량(COD_{Mn}), 총유기탄소(TOC), 부유물질(SS), 총질소, 총인 그리고 Chl-a로 총 6항목을 분석하였으며, 모든 항목은 수질오염공정시험법에 준하여 실행하였다.⁷⁾

산업발달과 더불어 화학물질 사용량이 증가하여 난분해성 오염물질이 유입되면서 산소요구량으로 측정하는 지표는 유기화합물질의 구조에 따라 미생물 분해가 어렵거나 산화제의 산화력차이로 산화율이 매우 낮게 나타나 유기물을 판정하는데 저평가 될 우려가 있다. 이로 인해 2016년부터 수질 및 수생태계 목표기준 규정에 호수 수질 관리 지표를 COD_{Mn}가 아닌 TOC로 적용하고 있으나,⁸⁾ 본 연구에서는 농업용수로써의 기준을 판단하기 위해 COD_{Mn}를 기준으로 하였다.

2.2. 부영양화 상태 평가

호소의 부영양화 상태 정도를 평가하기 위하여 종합 TSI_{KO} (Trophic State Index of Korea)를 사용하였다. 부영양화 지수는 호소에서 부영양화의 발생 여

Table 2. Classification of the Korean trophic state index (TSI_{KO})

TSI _{KO} value	Classification of TSI _{KO}
TSI _{KO} ≥ 30	Oligotrophic
30 < TSI _{KO} ≤ 50	Mesotrophic
50 < TSI _{KO} ≤ 70	Eutrophic
TSI _{KO} > 70	Hypertrophic

부 및 진행 정도를 0~100 사이의 수치로 표시하는 부영양화 평가 방법으로, 수질환경을 간단하게 파악할 수 있고 미국이나 일본에서도 호소의 수질 평가나 예측에 이용되고 있다.⁹⁾

본 연구에서는 한국형 부영양화 지수(TSI_{KO})를 이용하였다. COD_{Mn}, Chl-a, T-P의 결과를 이용하여 계산하였고, 지수 산정에 사용되는 개별 항목의 오염도는 연간산술평균값으로 하였다.

한국형 부영양화 지수는 COD_{Mn}, T-P, Chl-a를 이용하여 아래의 식으로 산정한다.

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

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

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

위의 세 가지 TSI_{KO} 식을 종합할 때 외부기원 유기물의 지표인 COD_{Mn}에 50%의 가중치를 주고, 내부생성 유기물에 50% (조류의 밀도지표 Chl-a와 조류의 밀도를 좌우하는 지표 T-P, 이 두 가지에 각각 25%)의 가중치를 주어 종합 TSI_{KO}를 계산한다.

$$\text{종합TSI}_{KO}=0.5\text{TSI}_{KO}(COD_{Mn})+0.25\text{TSI}_{KO}(T-P)+0.25\text{TSI}_{KO}(Chl-a)$$

위 식을 바탕으로 산정한 TSI_{KO} 수치를 이용하여 4단계의 부영양화를 구분하면 Table 2와 같이 호소의 영양 상태를 판단할 수 있다.¹⁰⁾

III. 결과 및 고찰

1. 호소별 수질 오염도 평가

1.1. 일산호수공원

일산호수공원은 두 개의 구역으로 나누어 분석을 진행하였다. 악플치리를 하여 물을 방류하는 호수구역과 호수에서 월류된 물이 정체하는 수변구역으로 구분하였고, 호수구역에서는 6개 지점, 수변구역에서

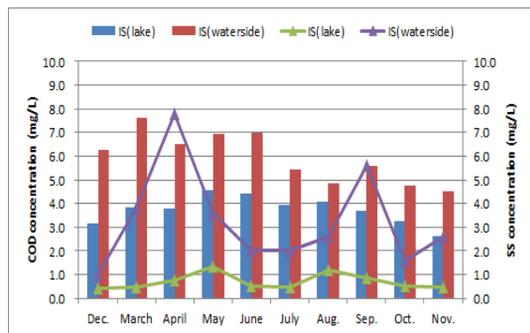


Fig. 1. COD_{Mn} and SS concentration of Ilsan lake park for one year (bar graph: COD_{Mn}, line graph: SS).

는 2개 지점에서 시료를 채수하였다.

호수구역의 수질오염도는 COD_{Mn} 최고농도 4.6 mg/L, 평균 3.7 mg/L로 조사되었고, 최고 3 m 정도의 낮은 수심으로 바닥이 보일 정도로 비교적 맑은 수질로 잘 유지되고 있었다. 하지만 수변구역은 COD_{Mn}의 최고농도가 7.6 mg/L로 호수구역에 비하여 유기물의 농도가 비교적 높게 나타났다. 이는 유기물이 정체되어 있는 시간이 호수구역보다 길고 자연호수를 만들겠다는 일산호수공원의 설치목적에 따라 주변에서 유입되는 비점오염원으로 인해 유기물의 농도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 비점오염원의 유입은 SS결과 값에서도 확인할 수 있었는데, 호수구역은 연평균 0.7 mg/L, 수변구역은 3.3 mg/L로 나타났다.

COD_{Mn}와 같이 유기물의 오염도를 확인할 수 있는 항목인 TOC의 연평균 결과도 호수구역이 2.5 mg/L, 수변구역 3.9 mg/L로 비슷한 경향을 나타내었다. 호수구역은 1년 동안 큰 변화 없이 수질이 유지되었으나, 수변구역은 갈수기와 장마철의 영향으로 유기물의 농도가 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 일산호수공원의 월별 COD_{Mn}변화추이를 Fig. 1에 나타내었다. COD_{Mn}의 결과로 환경정책기본법 호소 생활환경 기준에 근거하여 분류하면 III등급인 “보통”에 해당됨을 확인할 수 있었다.

1.2. 산정호수

산정호수에서는 세 지점에서 채수하였는데, SJ-1지점은 하천이 유입되는 지점, SJ-2지점은 호수의 중간지점, SJ-3지점은 하천으로 방류되는 지점이다. 지점에 따른 COD_{Mn} 농도 결과는 큰 차이가 없었다.

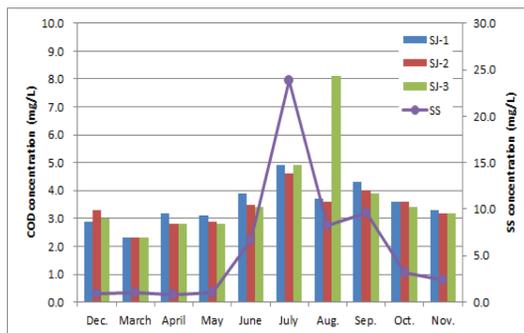


Fig. 2. COD_{Mn} and SS concentration of Sanjeong lake for one year (bar graph: COD_{Mn}, line graph: SS).

Fig. 2에 산정호수의 연중 COD_{Mn}와 SS의 변화추이 그래프를 나타내었다.

COD_{Mn} 농도는 갈수기의 영향으로 유기물의 농도가 점차 증가하였으며, 초기 장마철에는 비점오염원의 유입으로 유기물의 농도가 약간 증가하였으나 지속적인 강우의 영향으로 저수지 수량의 증가 및 월류 현상으로 농도가 감소된 것으로 판단된다. 비점오염원의 유입은 SS결과를 보면 장마철에 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 8월의 SJ-3지점이 다른 두 지점에 비해 유기물의 농도가 증가하였는데, 이는 SJ-3지점 근처에 배관이 있는 걸로 보아 일시적인 오수 유입으로 인한 증가로 판단된다. 세 지점의 평균 연중 COD_{Mn} 최고농도는 5.1 mg/L였고, 평균농도는 3.6 mg/L로 나타났다. COD_{Mn} 농도로 호소 생활환경기준에서 분류하면 산정호수는 II으로 ‘약간 좋음’에 해당되었고, 농어촌공사의 농업용수 수질 기준에 적합한 것을 확인할 수 있었다. TOC는 최저농도 1.3 mg/L부터 최고농도 3.3 mg/L로 조사되었다.

1.3. 고모저수지

고모저수지의 형태는 t자 모양으로 되어있어서 형태 특성상 물이 더 잘 체류하고 부유물질이 한 곳에 몰려있는 것을 확인할 수 있었다. 채수지점은 저수지 내에 물이 잘 체류할 수 있는 곳(GM-1)과 그렇지 않은 곳(GM-2)으로 두 지점에서 채수하였다.

고모저수지의 연중 COD_{Mn}와 SS의 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 두 지점의 평균농도로 보았을 때, 유기물 농도는 최고 7.9 mg/L, 연평균 5.2 mg/L로 호소 생활환경기준에서 보면 IV등급으로 ‘약간 나쁨’에

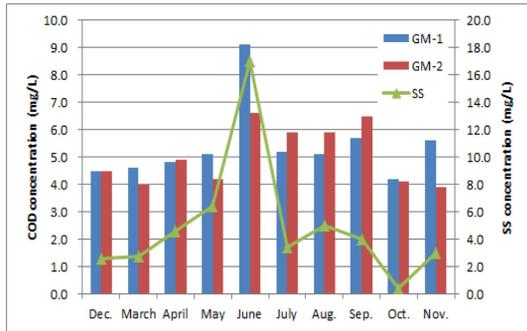


Fig. 3. COD_{Mn} and SS concentration of Gomo reservoir for one year (bar graph: COD_{Mn} line graph: SS).

해당된다. 본 연구의 대상하천 중에서는 비교적 높은 편이었다. 농어촌공사에서 제시하는 수질기준과 비교하면 유기물 항목이 여름철에 초과(기준 COD_{Mn} 5 mg/L 이하)되는 것을 확인할 수 있었다. 하천의 경우는 장마철에 강우의 영향으로 모두 씻겨 내려가 유기물의 농도가 낮아지게 되지만, 호소의 경우는 저수되는 특성상 강우의 영향으로 주변 비점오염원이 유입되어 유기물의 농도가 증가한다. 고모저수지 역시 여름철 강우의 영향으로 유기물의 농도가 증가한 것으로 판단된다. TOC는 최고농도 5.4 mg/L, 연 평균 3.4 mg/L로 조사되었다.

1.4. 오남저수지

오남저수지에서는 진건천이 유입되는 지점(ON-1)과 유출되는 지점(ON-2)으로 두 지점에서 채수하였다. COD_{Mn}의 최고농도는 4.0 mg/L, 연평균 농도는 3.1 mg/L로 큰 변화 없이 수질이 유지되는 것을 알 수 있었고, 농업용수 수질기준에 적합하였다. 호소생활환경기준 II등급으로 ‘약간좋음’에 해당됨을 확인할 수 있었다.

1년 동안의 월별 두 지점간의 유기물농도 결과를 보면 물이 방류되는 ON-2지점이 1지점보다 높은 것으로 조사되었다. 하반기는 두 지점간의 결과 차이가 크게 나타났는데, 이는 강우의 영향으로 1지점은 하천의 영향을 받아 유기물이 씻겨 나가고, 2지점에서 체류되어 2지점의 농도가 높아진 것으로 판단된다. 오남저수지의 월별 COD_{Mn}와 SS의 농도 변화추이를 Fig. 4에 나타내었다. 오남저수지의 TOC 결과는 최고농도 3.4 mg/L, 연 평균 1.9 mg/L로 조사되었다.

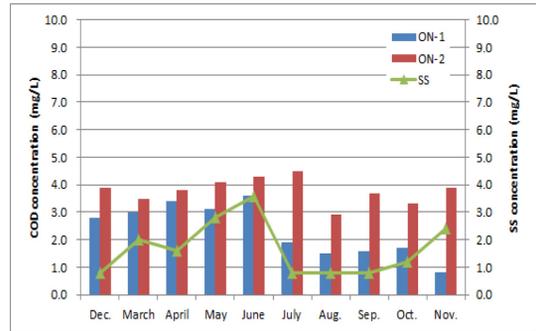


Fig. 4. COD_{Mn} and SS concentration of Onam reservoir for one year (bar graph: COD_{Mn}, line graph: SS).

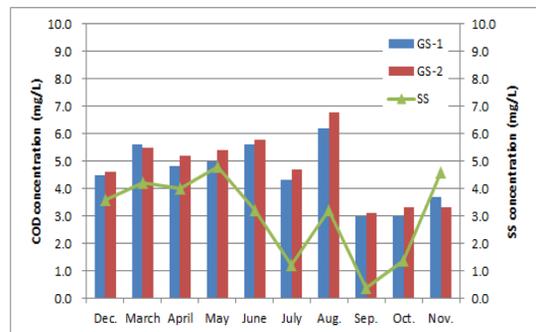


Fig. 5. COD_{Mn} and SS concentration of Gisan reservoir for one year (bar graph: COD_{Mn}, line graph: SS).

1.5. 기산저수지

기산저수지에서는 문산천이 유입되는 지점(GS-1)과 물이 방류되는 지점(GS-2) 두 곳에서 채수하였다. 분석 결과 COD_{Mn} 최고 농도는 6.5 mg/L, 연평균 농도는 4.7 mg/L로 나타났다. 농업용수 수질기준에 적합하였고, 호소생활환경기준 III등급으로 ‘보통’에 해당됨을 알 수 있었다. 기산저수지의 COD_{Mn}와 SS의 월별 농도분포를 Fig. 5에 나타내었다. TOC 결과는 최고농도 4.3 mg/L, 연평균 2.8 mg/L로 조사되었다.

1.6. 장자호수공원

장자호수공원에서는 한강의 물을 유입하는 지점(JJ-1), 중간 지점(JJ-2) 그리고 한강으로 방류하는 지점(JJ-3)으로 총 3지점에서 채수하였다. 호수공원 주변으로는 주로 농경지가 위치해 있어 강우 시 비점오염원의 영향을 많이 받는 것으로 판단된다. 다른

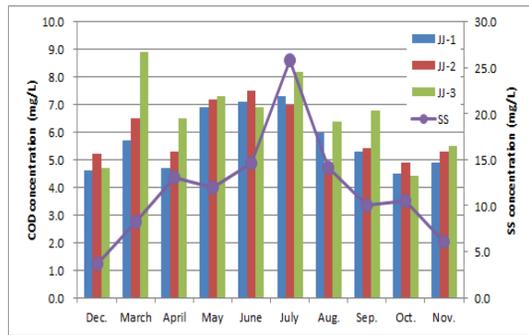


Fig. 6. COD_{Mn} and SS concentration of Jangja lake for one year (bar graph: COD_{Mn}, line graph: SS).

호소에 비교하여 SS의 농도가 비교적 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

또한 대부분의 기간에서 JJ-1지점과 2, 3지점 간에서 한강으로 방류는 지점(JJ-3)으로 갈수록 유기물의 농도가 점차 증가하는 오염특성을 보였고, 또한 육안 상으로도 한강으로 방류되기 전에 보가 위치해있어 물이 정체되는 현상을 확인할 수 있었다. 연 평균값으로 보면 COD_{Mn} 농도가 1지점 5.7 mg/L, 2지점 5.9 mg/L, 3지점 6.6 mg/L로 조사되었다. 이는 장자호수공원으로 유입되는 작은 실개천과 주변에서 유입되는 오수관이 존재하고, 농경지의 영향으로 점차 유기물이 농도가 증가하는 것으로 판단된다.

세 지점의 평균 COD_{Mn} 최고농도는 7.5 mg/L이며 연평균 농도는 6.1 mg/L이고, SS의 최고농도는 25.9 mg/L로 나타났다. 호소생활환경기준 IV등급으로 ‘약간나쁨’에 해당되었다. TOC는 최고 농도 4.0 mg/L, 연평균 3.4 mg/L로 조사되었다. 장자호수의 COD_{Mn}와 SS의 연중 농도 분포를 Fig. 6에 나타내었다.

1.7. 유기물질의 상관관계

16년도부터 TOC를 도입함으로써 TOC는 호소 생활환경 기준의 목표수질 평가 항목이며, COD_{Mn}와 상관관계에 대한 연구가 많이 진행되었는데, 표준용액을 이용한 이론적인 COD_{Mn}과 TOC의 비율이 약 1대 1로 유사한 농도 값을 나타내어 COD_{Mn}의 대체 항목으로 TOC가 적합하다고 조사되었다.¹¹⁾ 본 연구 대상 6개호소의 TOC와 COD_{Mn}의 결과로 상관관계 분석결과, TOC에 대한 COD_{Mn}의 상관성은 R=0.83으로 나타났고, 상관관계를 Fig. 7에 나타내었다.

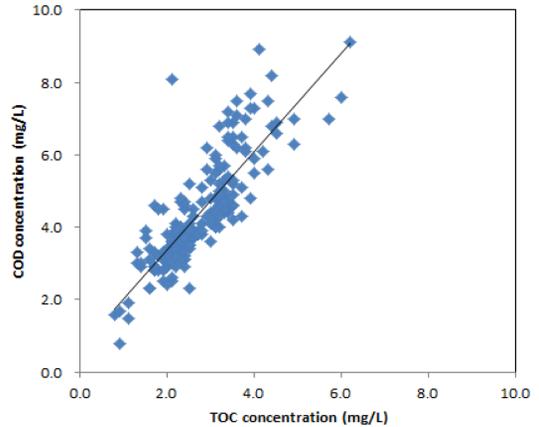


Fig. 7. Results of correlation analysis between COD_{Mn} and TOC.

Table 3. Monthly TOC concentration of lakes (Unit: mg/L)

	IS	SJ	GM	ON	GS	JJ
Dec.	2.8	1.3	2.5	1.6	1.8	2.4
March	3.3	1.9	3.2	1.9	3.2	3.6
April	3.4	1.8	3.2	2.0	3.2	3.5
May	4.4	2.0	3.6	2.6	3.3	3.6
June	4.3	2.2	5.4	3.4	4.3	3.5
July	3.2	3.3	3.8	1.5	2.7	4.0
Aug.	2.5	2.1	3.0	1.4	3.1	3.2
Sep.	2.8	2.5	3.3	1.2	2.0	3.6
Oct.	3.0	2.2	3.1	1.4	2.1	3.2
Nov.	2.7	2.1	2.9	1.7	2.2	3.6
Average	3.2	2.2	3.4	1.9	2.8	3.4

연구대상 6개 호소에 대한 월별 TOC농도와 연 평균 결과를 Table 3에 나타내었다. 연평균 TOC 농도를 호소생활환경기준에 적용하면 오남은 1.9 mg/L로 ‘매우 좋음’, 산정과 기산은 각각 2.2, 2.8 mg/L로 ‘ 좋음’, 일산, 고모, 장자는 각각 3.2, 3.4, 3.4 mg/L로 ‘약간 좋음’ 등급에 해당되었다.

2. 호소별 부영양화 상태 평가

호수나 하천에는 적정량의 영양염류가 존재한다. 하지만 물이 스스로 정화할 수 있는 한계를 넘게 되면 부영양화 현상이 나타나는데, 부영양화의 주원인이 되는 질소와 인의 월별 지점의 평균 농도를 Table 4와 5에 나타내었고, 부영양화 상태를 평가하는 지수 중 하나인 Chl-a의 월별 평균농도를 Table 6에

Table 4. Monthly T-N concentration of lakes (Unit: mg/L)

	IS	SJ	GM	ON	GS	JJ
Dec.	0.281	1.005	0.975	2.819	1.171	6.041
March	0.491	1.207	1.019	2.881	1.573	3.143
April	0.441	1.196	0.993	3.576	1.483	2.615
May	0.537	1.281	0.896	2.685	1.389	2.552
June	1.037	1.411	0.749	2.336	1.095	2.485
July	0.301	1.934	1.754	3.480	2.159	4.806
Aug.	0.505	1.723	1.668	3.245	2.185	4.974
Sep.	0.370	1.300	2.190	3.089	2.474	5.117
Oct.	0.566	0.951	1.872	2.994	2.025	4.781
Nov.	0.522	1.174	1.498	2.924	2.219	5.539

Table 5. Monthly T-P concentration of lakes (Unit: mg/L)

	IS	SJ	GM	ON	GS	JJ
Dec.	0.004	0.005	0.019	0.056	0.005	0.048
March	0.012	0.009	0.012	0.033	0.011	0.028
April	0.017	0.004	0.016	0.070	0.028	0.051
May	0.004	0.008	0.007	0.052	0.016	0.047
June	0.036	0.007	0.018	0.064	0.008	0.075
July	0.015	0.017	0.028	0.032	0.009	0.116
Aug.	0.005	0.028	0.008	0.023	0.018	0.091
Sep.	0.004	0.012	0.014	0.016	0.007	0.082
Oct.	0.024	0.011	0.012	0.011	0.015	0.104
Nov.	0.010	0.019	0.037	0.017	0.032	0.065

나타내었다.

일산호수의 한국형 부영양화 지수(TSI_{ko})는 40.2, 산정호수는 38.1, 고모저수지는 47.8, 오남저수지 41.9, 기산저수지는 46.1로 모두 중영양상태로 조사되었고, 장자호수는 59.0으로 부영양상태를 나타냈다.

특히, 장자호수공원은 Chl-a의 농도가 연평균 16.3 mg/m³로 다른 저수지에 비해 높게 나타났고, 최고 53.5 mg/m³로 조사되었다. 또한 T-N과 T-P의 농도가 연평균 4.205, 0.071 mg/L로 비교적 높게 조사되었다. 호소생활환경 기준에 적용하면 ‘매우 나쁨’에 해당한다. 호수 주변에는 농경지가 많이 분포되어 있는데 농경지에서 사용하는 비료가 비점오염원으로 작용하고, 한강으로 방류되는 지점에 물이 정체되어 있는 현상이 부영양상태를 나타내는 원인으로 판단된다.

Table 6. Monthly Chlorophyll-a concentration of lakes (Unit: mg/m³)

	IS	SJ	GM	ON	GS	JJ
Dec.	3.3	4.5	7.8	3.5	8.3	3.0
March	6.8	3.5	10.2	3.3	11.3	28.1
April	4.6	4.0	10.1	5.4	14.7	14.1
May	2.3	2.0	7.1	7.3	11.4	53.5
June	2.8	8.1	10.1	6.0	12.0	19.9
July	5.7	7.8	9.7	7.0	14.7	9.9
Aug.	3.2	0.9	6.8	0.4	17.0	3.0
Sep.	3.6	4.2	22.4	9.0	5.5	26.0
Oct.	2.3	5.8	2.9	3.7	4.5	3.2
Nov.	2.1	7.3	4.9	9.6	5.8	2.5

IV. 결 론

경기북부에 소재하고 있는 주요 호소수의 수질오염특성을 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 연구대상 6개 호소의 연 평균 화학적산소요구량(COD_{Mn})은 오남저수지 3.1 mg/L, 산정호수 3.6 mg/L, 기산저수지 4.7 mg/L, 일산호수공원 4.8 mg/L, 고모저수지 5.2 mg/L, 장자호수공원 6.1 mg/L 순으로 나타났으며, COD_{Mn}의 결과로 호소생활환경기준을 적용하면 오남, 산정은 II등급으로 ‘약간 좋음’, 기산, 일산은 III등급으로 ‘보통’ 그리고 고모와 장자는 IV등급으로 ‘약간나쁨’에 해당한다.

2. 농어촌공사에서 제시한 농업용수 기준 중 COD_{Mn}(기준 5 mg/L 이하)을 보면 저수지 중에서 산정호수, 오남저수지, 기산저수지의 물은 농업용수로 이용이 가능하다.

3. 총유기탄소(TOC)의 연평균 결과를 호소생활환경 기준으로 보면 오남저수지 1.9 mg/L로 ‘매우 좋음’, 산정호수 2.2 mg/L, 기산저수지 2.8 mg/L로 ‘좋음’, 일산호수 3.2 mg/L, 고모저수지 3.4 mg/L, 장자호수는 3.4 mg/L로 ‘약간 좋음’에 해당되었다.

4. 한국형 부영양화 지수(TSI_{ko})의 기준에 따르면 일산, 산정, 고모, 오남, 기산은 중영양 상태로 장자는 부영양 상태로 조사되었다.

호소의 부영양화를 방지하기 위한 비점오염원 관리 방안 등 적절한 수질오염방지 대책이 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 시도보건환경연구원 국고보조사업의 일환으로 진행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. Yoo JG, et al. The study on Lake Water Quality Characteristics near the cities, The Report of Chungcheongbuk-do Institute of Health and Environment, 2011.
2. National Institute of Environmental Research, 물환경종합평가방법 개발조사연구 (III), 2006.
3. Kim BC, Park JH, Heo WM, Lim BJ, Hwang GS, Choi KS, Choi JS. The Limnological Survey of Major Lakes in Korea (4): Lake Juam, 2001, Korean J. Limnol. 34(1): 30-44.
4. Cooke, G. D., Welch, E. B. and Nichols, S. A., Restoration and Management of Lakes and Reservoirs, CRC Press, 2016.
5. Kim DM, Jo HJ, Choi GY, Jo MJ, Chung SW, Improvement of Water Quality Management in Agricultural Reservoir, Journal of the Institute of Construction Technology, 2016, Vol. 35, No. 2, pp. 31-36.
6. Korea Rural Community Corporation Homepage, <https://www.alimi.or.kr>.
7. Ministry of Environment, Water Quality test method enacted by Korean Ministry of Environment, 2017.
8. JY Kim, TH Lee, MH Kim. Study of the Relationship between TOC what is Index of Lakes Water Quality Management and Organic Matter by Pollution Source, International Symposium and Annual Meeting of the KSEA, 2016, Poster session.
9. My Water, <http://www.water.or.kr>, (copyright K-Water).
10. ES Kim, KB Sim, SD Kim, HI Choi. Water Quality Assessment for Reservoirs using the Korean Trophic State Index, Journal of Korean Society in Water Environment, 2012, Vol. 28, No. 1, pp. 78-83.
11. Kim Min Hee, Characteristics of TOC/COD ratio in Korean Agricultural Reservoir, Seoul, HanYang University, 2015.