

ORIGINAL ARTICLE

동해안 4개 석호의 수질과 식물플랑크톤 계절별 변화에 관한 연구

문병렬 · 전현진 · 전숙례 · 이재선 · 신지은 · 안지혜 · 양용운¹⁾ · 현문식 · 김미아*

✉코비 KORBI 환경연구소, ¹⁾계명문화대학교 소방환경안전과

Seasonal Variations of Water Quality and Phytoplankton of 4 Lagoons in the East Coast of Korea

Byeong Ryeol Moon, Sook Lye Jeon, Jae Sun Lee, Ji Eun Shin, Ji Hye Ahn,
Yong Woon Yang¹⁾, Moon Sik Hyun, Mia Kim*

KORBI Research Institute, KORBI Co., Ltd., Anyang 431-755, Korea

¹⁾Department of Fire & Environmental Safety, Keimyung College University, Daegu 704-703, Korea

Abstract

The seasonal variation of phytoplankton communities and its standing crops in accordance with environmental factors were investigated at Yeongrang-ho, Cheongcho-ho, Mae-ho and Hyang-ho which are located in the East coast of Korea during April to October 2011. High concentrations of T-N and T-P were observed in four lagoons due to the inflowing nutrients from farmlands and residential areas near lagoons. Nutrient salts mainly composed of nitrogen and phosphate caused the eutrophication of the lakes, leading to the robust growth of phytoplankton. During the period of investigation, 64 to 107 taxa of phytoplankton were observed in four lagoons. Diatoms were the most dominant species with high density. Non-point pollution source was estimated as the main cause of water pollution of lagoons. Trophic states of lagoons evaluated using the value of TSI and TSI_{KO} indicated that all the investigated lagoons were in the eutrophication state.

Key words : Lagoon, Nutrient, Phytoplankton, Eutrophication, TSI, TSI_{KO}

1. 서론

현재 국내에 분포하는 호소의 수는 18,000여개이며 이중 대부분은 농업용수 및 공업·생활용수 공급 그리고 발전을 위해 만들어진 인공호소이다(허 등, 1999). 자연 호소 중 대표적이라 할 수 있는 석호는 후빙기 해수면의 상승과 사주 또는 사취의 발달에 의해 형성된 것으로 알려져 있으며(Bird, 2000; 황과 윤, 2008; 권, 2002), 전 세계 해안의 13%를 차지한다(Kjerfve, 1994). 한반도의

석호는 상대적으로 조석의 영향이 적은 동해안 일대에 주로 분포하고 있으며, 남한과 북한 지역을 포함하여 총 48개의 석호가 분포한다(이 등, 2006). 동해안에 분포하고 있는 대부분의 석호들은 1960년대 이후 매립, 도로 건설, 개간 그리고 건축물 신축 등으로 인해 급격히 축소 되었으며(문 등, 2007; 윤 등, 2010), 유역 내 토지 이용도가 높아짐에 따라 비점오염원이 증가하여 수질오염이 가속화되고 있다. 허 등(1999)의 연구에 따르면 동해안 석호들의 부영양화지수(Trophic State Index, TSI)가

Received 18 November, 2014; Revised 6 March, 2015;

Accepted 30 March, 2015

*Corresponding author : Mia Kim, KORBI Research Institute, KORBI Co., Ltd., Anyang 431-755, Korea

Phone: +82-31-478-3588

E-mail: miakim@korbi.com

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© 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.

56~79 범위로 나타나며, 이러한 수치는 부영양 또는 과부영양 상태를 나타내는 것으로 보고한 바 있다. 또한 김 등(2008b)은 석호는 유입 수량이 적어 수체의 교환이 늦게 이루어진 탓에 오염물질이 장기간 호수 내에 축적된다고 하였으며, 김 등(2008a)은 악화된 수질로 인해 영랑호의 어류 폐사가 발생한다고 보고하였다.

국내에 분포하는 석호에 대한 연구로는 해수의 유입을 통해 경포호의 수질 개선을 제안한 조(1997)의 연구와, 화진포와 영랑호의 수질에 대한 연구(Mitamura와 조, 1984), 영랑호와 송지호의 수질과 수문에 대한 연구(문 등, 2007), 매호의 수질과 퇴적물에 대한 연구(엄, 1998) 등과 같이 동해안 일대에 분포하는 석호의 수질에 대해 수행한 연구가 있으며, 영랑호의 수질과 식물플랑크톤과의 관계에 대한 연구(조와 박, 1969), 6개 석호의 수질과 식물플랑크톤에 관해 수행한 연구(조 등, 1975), 7개 석호와 5개 인공호의 자가영양 picoplankton의 식물성 플랑크톤에 대한 기여도를 조사한 연구(최 등, 2001), 청초호, 향호, 화진포호의 수질과 식물플랑크톤에 관한 연구(허 등, 2001, 2004a, 2004b), 화진포 내호와 외호의 수질과 식물플랑크톤에 관한 연구(홍 등, 1969), 송지호, 쌍호, 매호, 향호의 식물플랑크톤의 계절별 분포에 관한 연구(문과 이, 2002), 화진포와 영랑호의 수질과 식물플랑크톤에 관한 연구(Mizuno와 최, 1980), 그리고 화진포의 수환경 변화와 식물플랑크톤에 관한 연구(허 등, 2011) 등과 같이 석호의 수질과 식물플랑크톤에 대한 다양한 연구가 수행된 바 있으나 석호 주변 환경을 통한 수질과 식물플랑크톤에 대하여 조사는 부족하였다.

본 연구는 그 동안 다양하게 연구가 수행되어 온 동해안 석호 중에서 각 석호의 유역 내 토지피복도 등에 따라 연구대상을 선정하였다. 각 석호의 수환경을 지표하는 특성을 갖는 식물플랑크톤에 대한 분석과 수질분석을 함께 수행함으로써(Trainer, 1984) 석호의 수질과 식물플랑크톤과의 관계를 분석하고 이를 통해 석호의 환경을 보존할 수 있는 방안을 찾고자 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 지점 선택 및 현황

본 연구의 대상이 된 석호는 모두 4개로 강원도 속초시의 영랑호와 청초호, 양양군의 매호 그리고 강릉시 주

문진읍 소재의 향호이다(Fig. 1, 2). 연구 대상 호소의 선정 기준은 호소 유역의 토지피복도와 연관이 있으며 이를 위해 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 2005년도 토지피복도를 참고하여 유역의 시가화가 진행된 호소들(영랑호, 청초호)과 유역 내 토지이용도가 농업 및 축산의 비율이 높은 호소들(매호, 향호)로 구분하여 선정하였다.

영랑호와 청초호는 도심에 위치한 호소이며 매호와 향호는 농경지 인근에 위치한 호소로서 호소 주변의 토지 이용에 따라 호소의 수질 및 플랑크톤의 군집 구성 및 현존량이 다르게 나타날 것으로 예상된다. 영랑호와 매호 그리고 향호는 환경부에서 지정한 동해안의 대표성을 띠는 7개 석호에 포함되며, 청초호는 기타 11개호로 분류되는 석호이다. 윤 등(2008)은 영랑호와 향호는 지난 20세기 동안 석호의 규모가 크게 축소되지 않아 경관수준 A 등급으로 구분하였으며, 매호는 20세기 초 면적의 32%만이 남아있어 경관수준 B 등급으로 구분되었다.



Fig. 1. Location of 4 lagoons in East coast of Korea.

영랑호는 도심과 위치하고 있어 수변에 리조트와 공원 그리고 산책로가 수변을 따라 조성되어 있으며, 청초호는 내항으로 이용하기 위해 호안이 제방이나 축대 등으로 고정되어 있으며, 선박의 왕래를 위해 호소와 바다

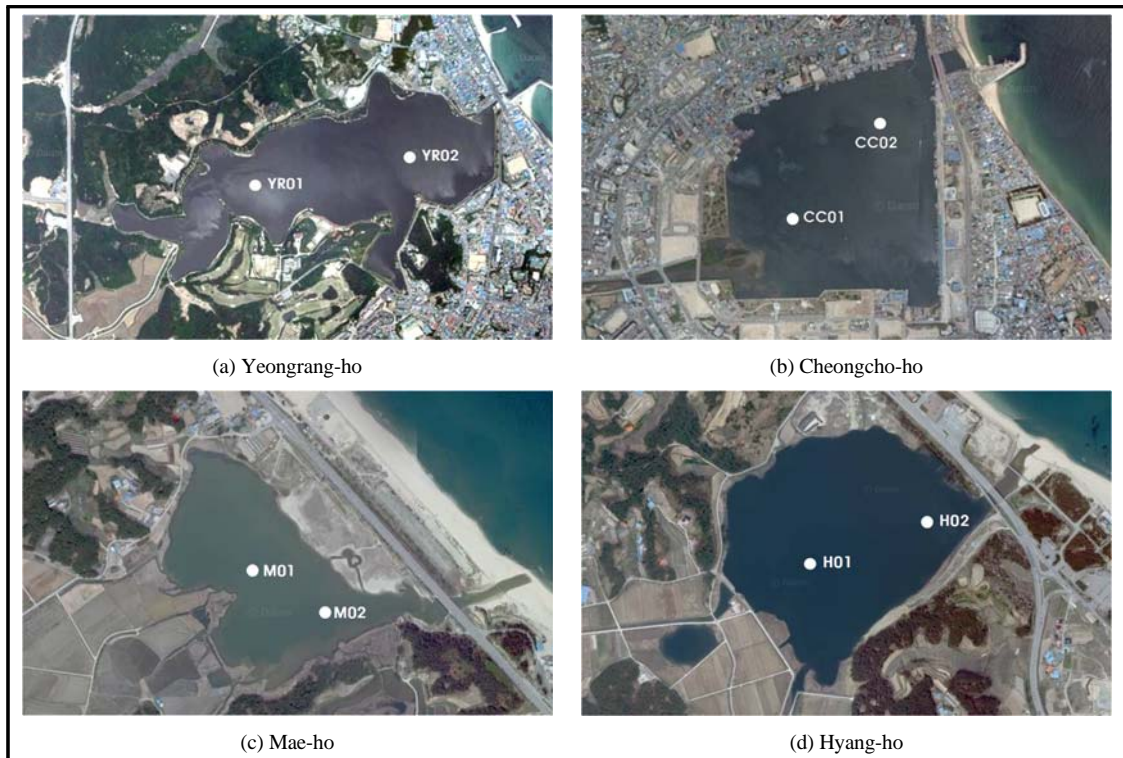


Fig. 2. Each investigation sites of 4 lagoons.

가 상시 연결되어 있어 석호 본연의 특성을 크게 상실한 호소이다. 매호와 향호는 해안과 반대방향인 서쪽은 전담과 접해있으며 동쪽은 해안과 수문을 경계로 분리되어 있다.

각 석호의 조사 정점은 해수와 담수가 섞이는 석호의 특성을 고려하여 유입하천의 영향이 클 것으로 예상되는 내륙 정점을 정점 1(영랑호: YR01, 청초호: CC01, 매호: M01, 향호: H01)로 선정하였으며, 해수의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 수문 인근을 정점 2(영랑호: YR02, 청초호: CC02, 매호: M02, 향호: H02)로 선정하여 조사를 실시하였다(Fig. 1, 2).

2.3. 조사 방법

동해안 4개 석호의 수질 특성과 식물플랑크톤 분포를 파악하기 위해 2011년 4월(춘계), 6월(하계), 8월(하계) 그리고 10월(추계) 각 1회씩 총 4회의 현장 조사를 실시하였다. 조사는 식물플랑크톤이 성장 저해를 받는 저수온기인 동계에는 실시하지 않았으며, 국내 강우 특성을

고려하여 하계에는 집중 강우 전후기(6월과 8월)를 조사 시기에 포함하였는데 이는 해당 호소들이 도심 또는 농경지에 접하여 있으므로 강우에 따라 성상이 다른 외부 비점오염원의 유입이 예상되므로 하계에는 강우 전후기에 각각 조사를 실시하였다.

현장 조사 시 식물플랑크톤 정성분석을 위한 시료는 플랑크톤 네트(망목 10 μm)를 이용하여 표층수 약 200 ml를 채수한 후 현장에서 4% 중성 포르말린으로 고정하였고, 정량분석을 위한 시료는 표층수 1 l를 채수하여 Lugol 용액으로 고정하였다. 엽록소 a 농도는 현장 시료 200 ml를 여과한 Whatman GF/C filter를 막자사발로 마쇄하고, 이를 아세톤으로 용해하여 색소를 추출한 후 파장 630 nm, 663 nm, 645 nm, 750 nm에서 흡광도를 측정하여 산출하였다(SCOR-Unesco, 1966). 세포수 계수에 의한 현존량 측정은 Lugol 용액으로 고정한 시료 1 l를 1주일 이상 정치한 후, 사이펀을 이용하여 상등액을 제거하고 남은 시료를 균질하게 섞어준 후 Sedgwick

-Rafter chamber에 1 ml을 넣고 계수하였다. 이 때 각 시료 당 5 회씩 반복하여 계수한 후 평균값을 산출하였다. 식물플랑크톤의 동정은 녹조식물과 남조식물 등은 John 등(2002), Prescott(1962), Prescott 등(1975, 1981, 1982)을 참고하였으며 규조식물은 정(1993), Kobayasi et. al(2006) 그리고 Patrick and Reimer(1966, 1975)를 참고하여 동정하였다.

조사 당일 현장의 수온과 기온은 봉상 온도계를 이용하여 측정하였으며, 수소이온농도(pH), 용존산소량(DO), 전기전도도(Conductivity), 염분도(Salinity), 탁도(Turbidity)는 휴대용 다항목 수질 측정기(HORIBA, U53G)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 생화학적산소 요구량(BOD: Biochemical Oxygen Demand), 화학적 산소 요구량(COD: Chemical Oxygen Demand), 부유고형물(SS: Suspended Solid), 총질소(T-N: Total Nitrogen), 총인(T-P: Total Phosphorus) 등을 분석하기 위한 시료는 4 l 용량 무균채수병을 이용하여 채수하고 채수한 시료를 냉장 보관하여 실험실로 운반한 후 환경부의 수질오염공정시험기준에 의거하여 분석하였다. 투명도(Secchi Depth, SD)는 현장에서 측정된 탁도값을 변환하여 산출하였다(Davies-Colley and Smith, 2001).

호수 수질의 부영양화도 평가는 각 조사 정점에서 채수된 시료의 투명도, 엽록소-a 그리고 총인 농도의 평균값을 기반으로 TSI 지수(Carlson, 1977; Kratzer and Brezonik, 1981)를 산출한 후 Kratzer and Brezonik (1981)에 따라 평가하였으며, 이와 동시에 한국형 부영양화지수(TSI_{KO})를 산출하여 부영양화도를 평가하였다.

3. 결 과

3.1. 석호의 환경 요인

3.1.1. 영랑호

조사 기간 중 영랑호 표층의 수온은 기온 변화에 따라 변화하였으며, 최소 9.9°C(10월 YR02)에서 최대 28.8°C(8월 YR01)의 변화 폭을 나타냈다. 영랑호의 pH는 해당 호소가 해수의 유입이 발생하는 특성으로 인해 비교적 높게 나타났다. pH는 최소 7.5에서 최대 9.0까지 변화하였으며, 평균 8.3으로 나타났다. 용존산소(DO)농도는 10.8 mg/l에서 16.9 mg/l의 범위로 측정되어 전 기간 동안 호소생활환경기준 Ia(매우 좋음) 등급을 나타냈다.

BOD 농도는 추계인 10월 정점 YR01(0.1 mg/l)에서 가장 낮게 분석되었으며 하계인 8월 정점 YR01(7.2 mg/l)에서 가장 높게 나타나 조사 시기별 차이를 보였다. COD 농도 역시 조사 시기별 차이를 보이고 있다. 춘계인 4월에는 정점 YR01과 YR02에서 측정된 COD 농도는 2.5 mg/l와 2.4 mg/l로 호소생활환경 Ib(좋음)에 해당하는 값을 보였으며, 6월 정점 YR01과 YR02, 8월 YR01 그리고 10월 YR02에서 채수된 시료는 호소생활환경기준 매우 나쁨에 해당하는 VI 등급을 나타냈다. 부유고형물(SS) 농도는 최소 4.5 mg/l(10월 YR01)에서 최대 22.0 mg/l로 나타났으며 2011년도 평균 10.0 mg/l로 나타났다. 영랑호의 부유고형물 농도는 춘계인 4월에서부터 추계인 10월로 갈수록 감소하는 양상을 보였다. 투명도 측정 결과는 최소 0.02 m에서 최대 0.54 m로 나타났으며, 평균 0.3 m의 측정 결과를 나타냈다. 조사 기간 중 영랑호의 평균 염분도(Salinity)는 7.8‰이었으며, 춘계인 4월에는 높고, 하계인 6월과 8월에는 낮게 측정되었다. 4회 측정된 영랑호의 총질소(T-N)의 농도는 평균 1.52 mg/l이었으며, 6월과 10월 채수한 시료의 총질소 농도는 호소환경생활기준 VI등급(매우 나쁨)에 해당하는 수치를 나타냈다. 영랑호의 연중 총인(T-P) 농도는 6월과 10월에는 높게 측정되었으며, 4월과 8월에는 비교적 양호한 것으로 나타났다(Table 1).

3.1.2. 청초호

청초호의 수온은 최소 9.3°C(10월 CC01)에서 최대 28.0°C(8월 CC01)의 범위로 변화하였으며, pH는 7.8(6월 CC01, CC02) ~ 8.2(8월 CC02, 10월 CC02)의 범위를 나타냈다. 용존산소농도는 4월(CC01: 10.0 mg/l, CC02: 10.5 mg/l), 8월(CC01: 11.1 mg/l, CC02: 13.6 mg/l) 그리고 10월 조사(CC01: 15.7 mg/l, CC02: 17.7 mg/l)에서 호소생활환경기준 Ia 등급(매우 좋음)에 해당하는 결과를 보였으며, 6월 조사(CC01: 7.3 mg/l, CC02: 6.9 mg/l)에서는 Ib 등급(좋음)에 해당하는 결과를 나타냈다. BOD 농도는 4월(CC01: 2.1 mg/l, CC02: 1.1 mg/l)과 6월(CC01: 2.3 mg/l, CC02: 2.2 mg/l)에는 비교적 낮게 나타났으며, 8월(CC01: 8.4 mg/l, CC02: 6.5 mg/l)에 가장 높게 측정되었다. COD 농도 역시 8월 채수한 시료(CC01: 51.0 mg/l, CC02: 25.5 mg/l)에서는 호소생활환경기준 VI(매우 나쁨)등급

에 해당하는 높은 농도를 나타냈으나 10월 채수한 시료(CC01: 2.0 mg/l, CC02: 4.0 mg/l)의 COD 농도는 I a(매우 좋음, CC01)와 I b(좋음, CC02)에 해당하는 결과를 보여 연중 BOD와 COD 변화가 큰 것으로 확인됐다.

부유고형물(SS) 농도는 연평균 7.5 mg/l로 나타났으며, 정점 CC01에서는 8월 농도가 급증한 후 하강하는 경향을 나타냈으며, 정점 CC02에서는 4월 이후 지속적으로 하강하는 경향을 나타냈다. 투명도는 최소 0.15 m(6월 CC01)에서 최대 1.12 m(10월 CC02)로 나타났다. 염분도는 최소 1.6‰(6월 CC01)에서 최대 27.0‰(4월 CC01)로 측정되었으며, 4월 측정값이 가장 높은 것으로 나타났다. 2011년도 청초호의 총질소 농도는 호소생활환경기준 IV등급(약간 나쁨) 이하 등급을 나타냈으며 특히 6월과 10월에는 VI등급(매우 나쁨)을 나타내어 연중 호소 외부로부터 유입되는 질소 부하량이 높은 것으로 예측되어진다. 반면 총인의 농도는 조사 기간 중 전 정점에서 IV등급(약간 나쁨) 이상을 나타내고 있으며 8월에는 2개 정점 모두 II등급(약간 좋음)을 나타냈다(Table 1).

3.1.3. 매호

2011년도 4월부터 10월까지 측정된 매호의 수온은 최소 9.8℃(10월 M01)이었으며 최대 28.1℃(8월 M02)로 확인되었다. pH는 최소 7.6(8월 M01)에서 최대 8.8(M02)로 변화하였으며 평균 8.0의 측정값을 나타냈다. 매호 수체의 용존산소 농도는 호소생활환경기준 I b(좋음) 등급에 해당하는 6월 조사 결과(M01: 6.8 mg/l, M02: 6.7 mg/l)를 제외한 모든 측정 결과에서 I a(매우 좋음) 등급을 나타냈다. BOD 농도는 평균 3.7 mg/l로 나타났으며, 10월 가장 낮게 측정되었고(M01: 1.8 mg/l, M02: 1.4 mg/l) 8월 가장 높은 측정값(M01: 7.9 mg/l, M02: 8.4 mg/l)을 나타냈다. COD 농도는 4월 조사(M01: 1.4 mg/l, M02: 1.6 mg/l)를 제외한 전 조사 기간 중 IV등급(약간 나쁨) 이하를 나타냈으며 4월 조사에서는 I a등급(매우 좋음)을 나타내어 변화 폭이 큰 것으로 나타났다. 부유고형물 농도는 최대 18.0 mg/l(6월 M01)에서 최소 1.3 mg/l(10월 M01, M02)로 나타났으며 4월에서 6월 사이 소폭 증가한 후 계속적으로 하강하는 경향을 나타냈다. 투명도는 SS 농도와 비례하여

6월에 가장 낮게 측정되었으며, 8월에서 10월로 갈수록 증가하는 경향을 나타냈다. 염분도는 2개 정점 모두 4월에 가장 높게 측정되었으며 6월 가장 낮게 측정되었고 8월과 10월에는 유사한 측정 결과를 나타냈다. 2011년도 매호 수계 2개 정점의 총질소 농도 분석 결과 6월에는 2개 정점 모두 호소생활환경기준 V등급(나쁨)에 해당하는 결과를 보였으며 8월과 10월 시료는 모두 I b등급(좋음)을 나타냈다. 4회 조사를 통해 분석된 매호 수계의 총질소 농도는 정점 M01의 분석결과가 정점 M02의 결과 값보다 대부분 우수한 것으로 나타났다. 총인 분석 결과 4월과 6월에는 2개 정점의 시료 모두 IV등급(약간 나쁨)에 해당하는 결과를 보였으며 8월과 10월 시료는 III등급(보통)~I b등급(좋음)에 해당하는 결과를 보였었다(Table 1).

3.1.4. 향호

조사 기간 중 향호의 수온은 9.0℃(10월 H01, H02)~28.6℃(8월 H02)의 범위로 측정되었으며 평균 19.0℃를 나타냈다. pH는 평균 8.4로 확인되었으며, 2개 정점 모두 9.0으로 측정된 4월과 10월 H02 정점(8.7)을 제외하면 7.9~8.4 범위로 변화 폭이 적은 것으로 나타났다. 용존산소 농도는 pH 측정 결과와 반대되는 경향을 보이는 것으로 확인되었다. 4월과 10월 용존산소 농도는 11.5~19.2 mg/l로 비교적 높게 나타났으며, 6월에는 6.5~8.8 mg/l로 다른 조사 시기에 비해 낮게 측정되었다. 호소생활환경기준에 의거할 때 영랑호의 용존산소 농도는 평균적으로 I a등급(매우 좋음)에 있는 것으로 확인되었다. BOD 농도는 연중 3.0~7.5 mg/l의 범위에서 변화하는 것으로 확인되었으며, 하계인 8월(H01: 7.0 mg/l, H02: 7.5 mg/l) 일시적으로 BOD가 상승했던 것으로 확인되었다. COD 농도는 호소생활환경기준 I a등급 또는 I b등급을 보인 4월(H01: 2.2 mg/l, H02: 2.0 mg/l)을 제외하면 연중 IV등급(약간 나쁨) 이하를 나타냈으며, 6월 H02 정점(10.5 mg/l)은 VI등급(매우 나쁨)을 나타냈다. 부유고형물의 농도는 춘계인 4월 가장 높게 측정되었다. 특히 내륙 정점인 정점 H01의 부유고형물 농도는 조사 기간 중 가장 높은 35.3 mg/l를 나타냄으로써 조사 기간 이전 호소 상류로부터 다량의 물질이 유입되었을 것으로 예상된다. 투명도는 연평균 0.3 m를 나타냈으며, 시간 경과에 따라 증가하는 경향을 보였다. 염분

Table 1. Measurement data of water qualities at each lagoon

Lake	Month	Site	W.T. (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	S.D. (m)	Sal. (‰)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	TN/TP ratio	
Yeongrang- ho	Apr.	YR01	11.3	78.6	111.4	3.0	22.5	22.0	0.22	14.4	61.08	50.07	15.0	
		YR02	11.0	8.2	111.4	2.8	22.4	12.3	0.35	15.3	50.86	50.07	11.6	
	Jun.	YR01	22.9	8.2	111.0	4.1	711.0	14.5	0.02	3.5	72.27	60.11	20.6	
		YR02	22.3	78.6	114.6	4.3	715.5	9.5	0.24	5.2	71.84	60.13	14.2	
	Aug.	YR01	28.8	79.0	116.9	7.2	715.6	6.5	0.46	2.5	50.73	30.03	24.3	
		YR02	28.0	78.7	112.2	6.8	45.0	5.5	0.54	2.7	50.74	40.04	18.5	
	Oct.	YR01	10.8	7.5	110.8	0.1	68.0	4.5	0.41	9.6	72.39	70.18	13.3	
		YR02	9.9	7.5	112.1	1.0	711.0	5.0	0.43	9.3	72.22	70.15	14.8	
		Mean		18.1	8.3	112.5	3.6	68.9	10.0	0.30	7.8	71.52	50.10	16.5
	Cheongcho- ho	Apr.	CC01	10.8	8.1	110.0	2.1	57.6	7.8	0.50	27.0	61.31	40.05	27.8
			CC02	9.8	8.0	110.5	1.1	56.1	11.3	0.37	24.9	61.41	50.07	21.0
		Jun.	CC01	22.1	7.8	27.3	2.3	54.5	6.0	0.15	1.6	71.91	50.09	21.2
			CC02	21.6	7.8	26.9	2.2	68.5	6.5	0.30	5.9	72.01	50.09	22.3
		Aug.	CC01	28.0	8.0	111.1	8.4	751.0	14.8	0.20	7.3	50.85	40.04	21.3
CC02			26.9	8.2	113.6	6.5	725.5	4.3	0.78	11.7	50.68	40.04	17.0	
Oct.		CC01	9.3	8.0	115.7	4.2	12.0	5.3	0.86	12.5	71.64	50.06	27.3	
		CC02	10.5	8.2	117.7	3.5	34.0	4.5	1.12	12.8	71.62	40.04	40.5	
		Mean		17.4	8.0	111.6	3.8	713.6	7.5	0.50	13.0	61.43	50.06	24.8
Mae-ho		Apr.	M01	14.4	78.7	111.6	2.5	11.4	13.3	0.33	7.8	40.47	50.07	6.6
	M02		14.8	78.8	111.7	2.7	11.6	14.0	0.31	10.5	50.69	50.07	10.5	
	Jun.	M01	23.4	7.8	26.8	2.5	56.6	18.0	0.02	0.6	61.13	50.06	18.8	
		M02	21.8	7.7	26.7	2.4	57.2	17.5	0.02	0.7	61.05	50.06	17.5	
	Aug.	M01	27.9	7.6	110.2	7.9	56.8	4.8	0.55	1.4	10.16	40.04	4.0	
		M02	28.1	7.9	112.4	8.4	68.6	11.5	0.49	1.8	20.23	30.03	7.7	
	Oct.	M01	11.4	8.0	116.9	1.8	57.2	1.3	0.71	1.4	10.09	0.02	4.5	
		M02	9.8	7.7	116.9	1.4	57.6	1.3	0.85	1.5	20.24	30.03	8.9	
		Mean		19.0	8.0	111.6	3.7	55.9	10.2	0.4	3.2	40.51	40.05	9.8
	Hyang-ho	Apr.	H01	15.3	79.0	111.9	4.4	22.2	35.3	0.15	6.7	50.88	60.11	7.9
H02			14.8	79.0	111.5	4.0	12.0	16.6	0.27	6.7	50.91	60.10	8.8	
Jun.		H01	23.3	7.9	26.5	3.0	56.5	11.0	0.22	0.7	71.71	50.09	19.0	
		H02	23.4	8.2	18.8	3.4	710.5	7.5	0.19	1.1	71.86	60.12	15.5	
Aug.		H01	28.4	8.1	19.9	7.0	57.0	10.0	0.29	3.8	50.69	50.09	7.7	
		H02	28.6	8.1	19.9	7.5	57.5	11.5	0.29	4.1	50.71	50.09	7.9	
Oct.		H01	9.0	8.4	119.2	4.2	610.0	14.0	0.45	2.9	40.60	50.06	10.0	
		H02	9.0	78.7	119.1	3.5	69.0	6.5	0.55	3.1	40.56	50.07	8.0	
		Mean		19.0	8.4	112.1	4.6	56.8	14.1	0.30	3.6	50.99	50.09	10.6

호소생활환경기준(Water Information System, 2013) ¹ I a level, ² I b level, ³ II level, ⁴ III level, ⁵ IV level, ⁶ V level, ⁷ VI level

도는 4월 가장 높게 나타났으며, 6월 가장 낮은 측정 결과를 기록했다. 향호의 2011년도 연평균 염분도는 3.6‰로 확인되었다. 총질소 농도는 평균 0.99 mg/ℓ이었으며 6월 조사에서 채수한 시료는 호소생활환경기준 VI등급(매우 나쁨)에 해당하는 농도를 나타냈으며 4월과 8월 시료는 IV등급(약간 나쁨) 그리고 10월 시료는 III등급(보통)을 나타내어 향호의 연중 총질소 농도는 보통 이상을 나타내는 것으로 확인되었다. 총인 농도는 VI등급(약간 나쁨) 또는 V등급(나쁨)을 나타냈으며, 평균 0.092 mg/ℓ로 나타났다(Table 1).

3.2. 식물플랑크톤 조사 결과

3.2.1. 영랑호

2011년도 4월에서 10월까지 영랑호 수역 2개 정점에 대한 조사 결과 본 수역에 분포하는 것으로 확인된 식물플랑크톤은 총 96종류(6문 18과 44속 82종 6변종 1품종 7미동정종)로 확인되었다(Appendix). 96종류의 식물플랑크톤 중 가장 높은 비율을 차지한 분류군은 황갈조식물문 규조강에 속하는 식물들로서 총 75종류가 출현하였다(Fig. 3, a). 조사 시기별 출현종수는 춘계에서 추계로 갈수록 감소하는 경향을 보였는데 이는 가장 많은 출현 종수를 나타낸 규조식물의 출현종수와 관계가 있는 것으로 확인되었다. 조사 시기별 우점종은 2종의 규조식물과 1종의 유글레나식물로 확인되었다. 규조식물인 *Cyclotella striata*는 4월과 8월 동안 호소 전역에서 우점하는 것으로 나타났으며, 같은 규조식물인 *Skeletonema costatum*은 6월 우점종으로 확인되었다. 그리고 유글레나식물인 *Euglena gigas*는 10월 우점하였다. 식물플랑크톤 현존량은 평균 1,497 cells/ml로 분석되었으며 조사 시기와 조사 정점에 따라 차이가 있는 것으로 확인되었다. 현존량이 가장 높게 분석된 정점은 6월 정점 YR02로 3,063 cells/ml의 밀도로 식물플랑크톤이 서식하고 있는 것으로 나타났으며, 가장 낮은 것으로 분석된 정점은 같은 시기의 정점 YR01로 953 cell/ml의 밀도로 식물플랑크톤 서식하고 있음을 확인하였다.

3.2.2. 청초호

청초호 수역에서 출현한 식물플랑크톤은 5문 9강 15과 33속의 59종 2변종 3미동정종의 총 64분류군이었으며(Appendix), 영랑호의 경우와 마찬가지로 규조식물의

출현이 가장 높은 것으로 확인되었다(Fig. 3, b). 청초호 수역의 식물플랑크톤 우점종은 3종의 규조식물과 각 1종씩의 남조식물 및 녹조식물로 확인되었다. 규조식물인 *Achnanthes alteragracillima*는 4월 CC01 정점과 8월 CC02 정점에서 우점하였으며, *Navicula subminuscula*는 6월 CC02 정점 그리고 *Cyclotella striata*는 8월과 10월 CC01 정점과 10월 CC02 정점에서 우점하였다. 남조식물인 *Lyngbya limnetica*는 6월 CC01 정점의 우점종으로 확인되었으며 녹조식물인 *Olothrix zonata*는 4월 CC02 정점의 우점으로 확인되었다. 영랑호의 식물플랑크톤 현존량은 2개 정점 모두 6월 가장 낮게 측정되었으며, 8월 가장 높게 측정되었다. 영랑호 수역의 2011년도 식물플랑크톤 평균 현존량은 598 cells/ml로 나타났다. 염록소-a 농도는 평균 2.5 mg/m³로 10월 CC02 정점(Ib)을 제외하면 호소생활환경기준 Ia등급(매우 좋음)에 해당하는 수치를 나타냈다.

3.2.3. 매호

2011년 4월부터 10월까지 실시한 조사를 통해 매호 2개 정점으로부터 분포가 확인된 식물플랑크톤은 5문 5강 9목 19과 44속에 속하는 101분류군으로 확인되었다(Appendix). 매호에서 가장 높은 종류가 출현한 식물플랑크톤은 규조식물이었으며, 전체 출현종수의 76%에 해당하는 77분류군이 출현하였다(Fig. 3, c). 규조식물 다음으로 많은 종류가 출현한 분류군은 13분류군이 출현한 남조식물이었다. 문 등(2002)에 의해 보고된 바와 같이 규조식물이 모든계절에서 우점함을 확인할 수 있다. 연평균 식물플랑크톤 현존량은 1,147 cells/ml로 본 연구의 대상이 된 호소 중 가장 높은 결과를 보였으며 가장 높은 측정 결과를 나타낸 정점은 4월 M02 정점(2,330 cells/ml)이었으며 가장 낮은 결과를 보인 정점은 10월 M01 정점(638 cells/ml)이었다. 염록소-a 농도는 2개 정점 모두 춘계(4월) 가장 높게 측정된 후 6월까지 감소하다가 8월 소폭 상승한 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 염록소-a 농도의 최고 측정값을 보인 정점은 4월 M02 정점(24.7 mg/m³)이었으며 가장 낮은 측정값을 보인 정점은 10월 M02 정점(1.8 mg/m³)이었다.

3.2.4. 향호

연구 기간 중 향호 수역에서 출현한 식물플랑크톤은 총 107분류군으로 5문 5강 8목 18과 43속의 92종 7변종

8미동정종으로 정리되어 4개 호소 중 가장 많은 종류의 식물플랑크톤이 출현한 것으로 확인되었다(Appendix). 향호에서도 모든 계절에서 규조식물이 우점함을 확인할 수 있었다. 이는 문 등(2002)의 이전 연구 보고와 일치한다. 2011년도 향호 수역의 식물플랑크톤 연평균 현존량은 1,064 cells/ml로 확인되었으며 엽록소-*a* 농도는 2월에서 8월까지 지속적으로 감소한 후 10월까지 증가하는 경향을 나타냈다.

3.3. 석호의 부영양화도 평가

3.3.1. 부영양화도지수(Trophic State Index: TSI)

산출에 의한 호소의 부영양화도 평가

부영양화도지수(TSI) 산출을 통해 각 호소의 부영양화 정도를 평가한 결과 TSI (SD)와 TSI (TP) 분석 결과에서는 연구대상 4개 호소 모두 부영양화 단계에 있는 것으로 확인되었다. 엽록소-*a* 농도에 기초한 TSI (Chl) 분석 결과에서는 중영양화 단계에 있는 것으로 확인된 청초호를 제외한 3개 호소가 부영양화 단계에 있는 것으로 확인되었으며 TSI (TN) 분석 결과에서는 매호를 제외한 3개 호소가 부영양화 단계에 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구의 조사 기간 중 영랑호, 청초호, 매호, 향호의 4개 석호는 부영양화 단계에 있는 것으로 나타났다. 과거

4개 호소의 부영양화도지수(TSI)를 보면 66~79으로 과거에도 모두 부영양화상태이었다(허 등, 1999).

3.3.2. 한국형 부영양화 지수(TSIKO) 산출에 의한 호소의 부영양화도 평가

부영양화도지수(TSI) 산출을 통한 영양단계 평가와 더불어 한국형 부영양화 지수(TSIKO)를 산출하여 4개 석호의 영양단계를 평가한 결과에서도 조사 대상 전 석호가 부영양화 단계에 있는 것으로 확인됐다(Table 2).

4. 고 찰

본 연구 결과 확인된 석호의 수질 오염 양상은 해당 석호의 유역 내 토지 이용 현황에 따라 차이를 보이고 있다. 금번 조사의 대상이 된 석호는 크게 도시(상업지역, 주거지역, 공원지역 포함)와 농경지(농경지, 축산농가 등)라는 두 분류로 토지 이용현황을 구분할 수 있다. 영랑호와 청초호는 속초시 내에 있어 호소 주변에 주거지와 상업지역, 공원 그리고 어항 및 수산물 가공시설이 들어서 있으며 매호와 향호는 전형적인 농촌지역에 위치하고 있다. 이는 국가수자원관리 종합정보시스템에서 제공하는 연구대상 4개 석호의 2005년도 토지피복도를 통해서도 확인이 가능하다. 토지피복도를 보면 영랑호의 경우 호소

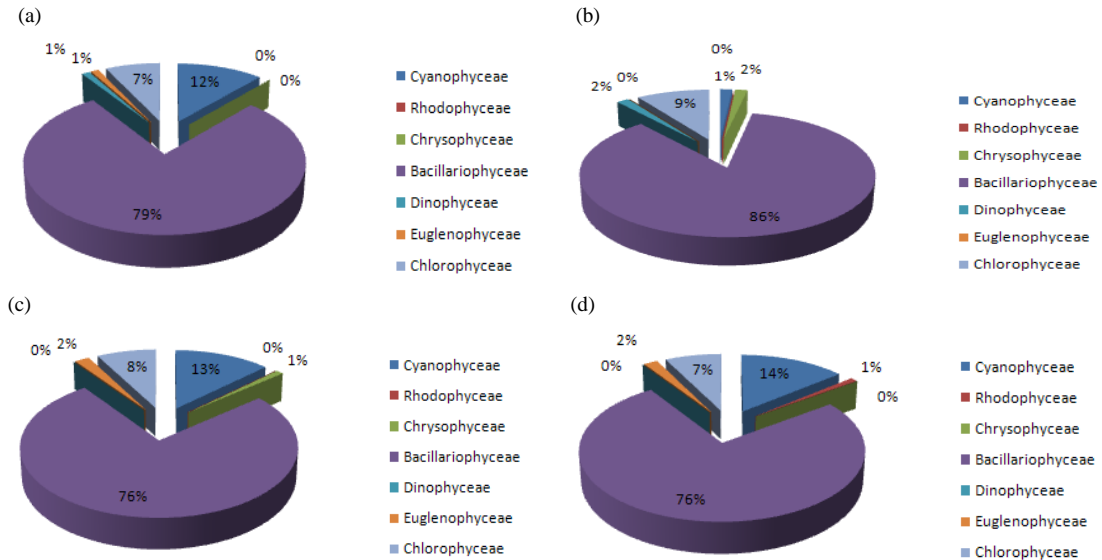


Fig. 3. Composition rates of each division of phytoplankton at four lagoons from April to October, 2011. (a) Yeongrang-ho, (b) Cheongcho-ho, (c) Mae-ho, (d) Hyang-ho.

Table 2. Statistical data and classification of TSI and TSIKO for four lagoons

Index	Yeongrang-ho	Cheongcho-ho	Mae-ho	Hyang-ho	Reference
TSI(SD)	*175.9	*69.0	*72.8	*77.2	Carlson, 1977
TSI(Chl)	*66.2	**48.5	*60.5	*63.5	Carlson, 1977
TSI(TP)	*70.3	*63.0	*59.6	*69.4	Carlson, 1977
TSI(TN)	*60.2	*59.8	**52.6	*57.3	Kratzer and Brezonik, 1981
TSI _{KO} (Chl- <i>a</i>)	57.7	27.4	48.0	53.0	Ministry of Environment • National Institute of Environmental Research, 2006
TSI _{KO} (COD)	66.8	78.9	55.3	59.5	Ministry of Environment • National Institute of Environmental Research, 2006
TSI _{KO} (TP)	71.0	61.5	57.0	69.7	Ministry of Environment • National Institute of Environmental Research, 2006
Total TSI _{KO}	*65.6	*61.7	*53.9	*60.4	Ministry of Environment • National Institute of Environmental Research, 2006

*Eutrophic, **Mesotrophic.

의 우측(해안방향)과 남측은 대부분 시가화되었으며, 호소 북측과 서측으로 산림 및 농경지가 분포하는 것으로 확인된다. 청초호의 경우는 호수의 주변 전체가 시가화되어 있으며, 청초호의 오염원은 생활하수, 축산폐수, 공장폐수 및 수산폐수 등이라고 보고 있다(WAMIS, 2013).

수질 분석 결과 영랑호와 청초호의 N/P비는 최소 11.6에서 최대 27.8로 나타나 질소계 오염원의 유입이 매우 큰 것으로 확인되고 있다. 특히 청초호의 경우에는 연평균 N/P비가 24.8로 나타나 연중 높은 농도로 질소계 오염원이 유입되고 있으며 상대적으로 낮은 인 계열 오염원이 유입되는 것으로 확인된다. 이러한 현상은 청초호 인근 수변 중 일부 공원으로 사용되는 구간을 제외한 대부분의 수변이 불투수층으로 구성되어 있어 주변 도시 생활 폐수의 유입으로 인한 것으로 생각된다.

청초호에 비해 영랑호의 경우 N/P비는 상대적으로 낮게 분석되었으나 매호와 향호에 비하면 연중 관찰되는 총인의 농도가 높은 것으로 확인되었다. 반면 매호와 양호의 토지피복도를 보면 호소의 북측 일부 구간이 시가화되어 있으며 호소 주변 대부분이 농경지인 것으로 확인되며, 두 호소의 주요오염원으로는 시가화 된 일부 구간에서 발생하는 생활하수와 축산폐수 그리고 농업배수로

보고된 바 있다(WAMIS, 2013). 매호와 향호의 경우 영랑호와 청초호에 비해 질소계 인자의 유입이 적어 N/P비가 상대적으로 낮은 것으로 확인되었으나 연중 총질소와 총인의 농도 분포를 분석한 결과를 보면 2개 호소 모두 하계 우기 이전에 비교적 높은 농도로 질소 계열 인자와 인 계열 인자가 유입되는 것으로 확인되고 있다. 이와 같은 이유를 확인하고자 기상청에서 제공하는 2011년도 일별 강우량을 확인한 결과, 2011년도 6월 23일부터 조사 실시된 2011년도 6월 28일 이전까지 일 최대 93.5 mm(2011년도 6월 26일)의 강우량을 나타냈으며 6월 23일부터 동월 27일까지 꾸준히 강우사상이 있었던 것으로 확인된다. 따라서 6월 조사 결과 양 호소의 총질소와 총인의 높은 유입 농도는 강우에 의한 비점오염원에 원인이 있는 것으로 판단된다.

여기서 추가로 주목할 만한 사항 중 하나는 미국환경청(U.S. EPA, 1976)에서는 영양단계에 따른 엽록소-*a* 농도 범위를 제안하고 있는데 이 기준에 따르면 해당 석호들 모두 특정 시기(YR01, YR02: 8월 / CC01: 4~10월 / CC02: 4~8월 / M01, M02: 6월, 10월 / H01, H02: 8월)에는 빈영양단계에 해당하는 엽록소-*a* 농도(4 mg/m³ 이하) 수치를 보인다는 점이다. 허 등(2001)은 청초호에 대한 연구에서 낮은 엽록소-*a* 농도를 부유물질에

의한 광저해 현상과 잦은 수체의 교란에 의한 것으로 제시하였다. 본 연구 결과에서도 각 석호에서 특정 시기에 낮은 엽록소-a 농도를 나타낸 것은 강우에 의한 탁류의 유입이나 저질의 부유에 따른 광저해 또는 수체의 교란에 의한 것으로 판단된다. 또한 석호는 하구역과 같은 하천의 기수역과는 달리 담수 환경과 해수 환경이 거리에 따라 점진적으로(완만하게) 변화하지 않고 갯트임 등에 의해 급격히 변화할 가능성을 상시 가지고 있다. 따라서 이미 확인한 바와 같이 유역의 토지 이용에 따라 수질이 수시로 변하기 때문에 서식 범위가 매우 넓은 생물만이 서식 가능하므로 종 다양성이 낮을 수밖에 없다. 이러한 석호 수생태계의 특성은 4개 석호 중 청초호의 경우에서 확연히 나타난다. 청초호는 내항으로 이용하기 위해 상시 수로를 개방하고 있어 해수의 교환이 활발하게 일어나고 있으며 호소 서안에 위치하고 있는 하천으로부터는 지속적으로 담수가 유입되는 환경을 보이고 있다. 따라서 청초호는 하천으로부터 유입되는 담수종과 해양으로부터 유입되는 해양종이 완충지대 없이 바로 연결되는 형태를 보이고 있다. 이처럼 급격한 수환경변화로 인해 청초호는 4개 석호 중 가장 적은 출현종수(64분류군)를 보이고 있으며 생물량 역시 가장 낮은 것(엽록소-a 2.5 mg/m³, 현존량 598 cells/ml)으로 나타났다. 그러므로 엽록소-a 농도를 통해 호소의 부영양화 단계를 평가하는 기준은 적어도 석호에서는 부적합한 것으로 확인되었다. 상시 해수의 교환이 일어나고 있는 청초호의 사례와 석호의 수질을 연관하여 추가로 제안할 만한 사항은 해수 교환이 일부 수질 항목의 개선에 영향을 준다는 점이다. 완충대가 없는 담수와 해수의 층들은 종 다양성과 생물량을 낮추는 원인이 될 가능성을 가지고 있으나 석호 수체의 해수 교환은 본 연구 결과 최소한 2개 수질 항목(투명도, COD)에서는 개선 효과를 가져 올 것으로 예상되며 이러한 예측은 청초호의 사례를 통해 어느 정도 확인할 수 있다. 해수의 교환이 상시 일어나고 있는 청초호의 수질 조사 항목 중 투명도(부유고형물농도)는 모래톱에 의해 해수 유입이 차단되어 있는 3개 석호들 중 가장 우수한 것으로 확인되고 있다. 이러한 결과는 앞서 기술한 낮은 생물량의 영향도 있을 것이나 수시로 부유물질을 호소 외로 배출할 수 있는 청초호 특유의 환경이 작용했을 것으로 판단된다. 또한 4개 석호의 염분도와 기타 수질 조사 항목과의 비교 분석을 실시한 결과 염분도가 가

장 높았던 시기에 COD 농도가 가장 낮았던 것으로 확인된다. 특히 청초호를 제외한 3개 석호의 COD 농도는 염분도가 가장 높았던 4월 조사에서 가장 낮게 측정되어 해수 유입이 COD 농도 감소와 관계가 있을 것으로 추측할 수 있다. 투명도와 COD 농도 개선을 위해서뿐만 아니라 권 등(2004)은 대부분의 석호에서 발생하는 화학성층을 파괴하고 수체의 DO 농도 증가를 통해 석호의 수질을 개선하는 방법으로 해수 교환을 제안하고 있다. 그러나 급격한 해수의 유입은 기존에 서식하던 생물들에 영향을 줄 가능성이 내재하고 있으므로 이를 위해서는 사전에 신중한 검토가 있어야 할 것이며, 석호의 수질 오염은 대부분 유역에서 유입되는 오염원에 원인이 있으므로 외부 오염원 차단에 대한 대책이 함께 요구되는 바이다.

5. 결 론

2011년 동해안 4개 석호에 대한 4회의 조사 결과 각 석호의 수질 조사 항목의 수치는 대부분 하계에 높게 나타나는 결과를 보였다. 특히 COD의 경우 항호를 제외한 3개 호소 모두 하계(6월 또는 8월)에 높게 측정되었으며 BOD 역시 다른 시기에 비해 하계에 높은 것으로 나타났다. 이는 강우에 따른 비점오염원의 유입과 높은 관계가 있는 것으로 판단된다. 또한 영양호와 청초호와 같은 비교적 큰 규모의 석호에서는 동일 시기의 조사 결과에서도 정점 간 차이가 큰 것으로 분석되어 향후 연구에서는 이들 대형 호소들에 대해서는 지점별 특성(토지이용도, 해수의 유입량, 비점오염원의 유입경로 및 성상 등)을 고려하여 호소의 수질 특성을 파악하는 것이 적당할 것으로 판단된다. 본 조사의 대상이 된 석호는 유역의 토지 이용도가 높으며 유입 하천의 유로가 짧고 호소의 면적이 비교적 협소한데다가 수심이 얕아 수질 오염원에 대한 노출 강도가 높으며 자정 능력이 약할 것으로 판단된다. 따라서 유역에서 발생한 오염원에 의해 석호의 수질은 쉽게 변할 수 있기 때문에 강우 현상에 의한 수질의 변화가 쉽게 일어날 것으로 예상된다. 그리고 각 수질 조사 항목 중 용존산소농도를 제외한 대부분의 항목들이 호소생물환경기준 III등급(보통) 이하 등급을 나타내고 있으며, 일부 항목들은 시기에 따라 VI등급(매우 나쁨)을 나타냄으로써 수질 악화가 상당히 진행되어 있는 것으로 판단할 수 있다. 또한 부영양화지수 산출을 통한 각 석호의 영

양단계를 평가한 결과 모든 석호가 부영양화 단계에 있는 것으로 나타나, 국내에 분포하는 얼마 되지 않는 자연 호인 석호의 수질관리에 대한 대책이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

REFERENCE

- WAMIS(Water Resources Management Information System), 2013. [http:// www.wamis.go.kr/](http://www.wamis.go.kr/)
- Water Information System, 2013, <http://water.nier.go.kr/front/water Easy/policy01.jsp#hoso>
- Bird, E., 2000, Coastal Geomorphology, 1st ed., John Wiley & Sons, Chichester.
- Carlson, R. E., 1977, A trophic status index for lakes, *Limnol Oceanography*, 22, 361-369.
- Cho, J., 1997, Water quality modeling of a lagoon considering seawater input, *J. Korean Soc. Water Qual.*, 13, 145-153.
- Cho, K. S., Hong, S. U., Ra, K. H., 1975, The Comparative study of limnological conditions and plankton fauna of brackish water in the east coast of Korea, *Korean J. Limnol.*, 8, 28-38.
- Cho, K. S., Park, Y. S., 1969, Limnological studies of the Young-nang lake, *Korean J. Limnol.*, 2, 51-66.
- Choi, Y., Kim, B., Jun, M., Heo, W., Kim, H., 2001, Abundance of autotrophic picoplankton and their contribution to biomass in Korean lakes, *Korean J. Limnol.*, 34, 141-152.
- Chung, J., 1993, Illustration of the freshwater algae of Korea, Academy publishing company, Seoul.
- Davies-Colley, R. J., Smith, D.G., 2001, Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A review. *JAWRA*, 37, 1085-1101.
- Heo, W. M., Choi, S. G., Kwak, S. J., Bal Dev, B., Lee, E. J., 2011, The study of water environment variations in lake Hwajinpo, *Korean J. Limnol.*, 44, 9-21.
- Heo, W. M., Lee, S., Kwon, S., Kim, D., Kim, B., 2001, The limnological survey of lagoons in the eastern coast of Korea (1): Lake Chungcho, *Korean J. Limnol.*, 34, 206-214.
- Heo, W., Kim, B., Jun, M., 1999, Evaluation of eutrophication of lagoons in the eastern coast of Korea, *Korean J. Limnol.*, 32, 141-151.
- Heo, W., Kwon, S., Lee, J., Kim, D., Kim, B., 2004a, The Limnological Survey of a Coastal Lagoon in Korea (2): Lake Hyangho, *Korean J. Limnol.*, 37, 1-11.
- Heo, W., Kwon, S., Lee, J., Kim, D., Kim, B., 2004b, The limnological survey of coastal lagoons in Korea (3): Lake Hwajinpo, *Korean J. Limnol.*, 34, 206-214.
- Hong, S. U., Cho, K. S., Ra, K. H., 1969, Studies on the chemical conditions and plankton in the Hwajin-po lake, *Korean J. Limnol.*, 2, 35-42.
- Hwang, I., Yoon, S., 2008, Geomorphic characteristics of coastal lagoons and river basins, and sedimentary environment river mouth along the middle east coast in the Korean peninsular, *J. Korea Geomorphological Assoc.*, 15, 17-33.
- John, D. M., Whitton, B. A., Brook, A. J., 2002, The Freshwater Algal Flora of the British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae, Cambridge University Press and The Natural History Museum, Cambridge, 287-612.
- Kim, B., Lee, J., Choi, J., Heo, W., Park, S., 2008b, Fish kill caused by eutrophication and stratification in a brackish coastal lagoon (Lake Youngrang), *Korean society of water & wastewater • Korean society on water quality, SEPTTEC*, Seoul, 23-24.
- Kim, D., Kim, M., Yoo, J., Kwon, S., Seo, Y., Yang, J. E., Oh, S., Ok, Y. S., 2008a, Metal speciation in the lagoon sediment interstitial water from the Northeast Coast, *JKSEE*, 30, 712-7203.
- Kjerfve, B., 1994, Coastal Lagoon Processes, Elsevier, New York.
- Kobayasi, H., Idei, M., Mayama, S., Nagumo, T., Osada, K., 2006, H. Kobayasi's Atlas of Japanese Diatoms based on electron microscopy, Uchida Rokakuho Publishing Co. Ltd., Tokyo.
- Kratzer, C. R., Brezonik, P. L., 1981, A Carlson-type Trophic State Index for Nitrogen in Florida lakes. *JAWRA*, 17, 713-715.
- Kwon, H., 2002, Geomorphology, bobmunsa, Paju-si.
- Kwon, S. Y., Heo, W. M., Lee, S. H., Kim, D. J., Kim, B. C., 2004, The Limnological Survey of a Coastal Lagoon in Korea(4): Lake Songji, *Korean J. Limnol.*, 38, 461-474.
- Lee, H. W., Lee, S. M., Lee, J. W., Park, S. S., Kang, H. M., 1994, A study on phytoplankton flora in Sannam reservoir and Daeam lake, *Environ. Problems Res.*

- Ins. Kyungnam Univ., 16, 53-61.
- Lee, M., Kim, N., Lee, G., 2006, The distribution and geomorphic changes of natural lakes in east coast of Korea, J. Korean Assoc. Region. Geographers, 12, 449-460.
- Mitamura, O., Cho, K., 1984, Urea, DOC, DON and DOP in two brackish lagoons on the eastern coast of Korea, Korean J. Limnol., 17, 73-80.
- Mizuno, T., Cho, K., 1980, Paleolimnological study from the present status of the lake Hwajin-po nad Yeong-rang, Korean J. Limnol., 13, 17-22.
- Moon, B. R., Lee, O. M., 2002, The distribution and standing crop of phytoplankton of lagoons in the east coast of Korea, Korean J. Environ. Biol., 20, 325-338.
- Moon, D. S., Kim, H. J., Choi, M. Y., Jung, D. H. Lee, S. W., 2007, Water quality characteristics of lagoons in the east coast of Korea, The joint conference of the Korean association of ocean science and technology societies 2008, ICC, Jeju, 2388-2393.
- Patrick, R., Reimer, C. W., 1966, The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. 1, The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, 99-644.
- Patrick, R., Reimer, C. W., 1975, The Diatoms of the United States Exclusive of Alaska and Hawaii, Vol. 1 part 2., The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, 21-207.
- Prescott, G. W., 1962, Algae of the western great lakes area. Otto Koeltz Science Publishers, Germany, 65-386.
- Prescott, G. W., Croasdale, H. T., Vinyard, W. C., 1975, A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermatae. Section 1, Univ. Nebraska Press, Lincoln and London, 16-99.
- Prescott, G. W., Croasdale, H. T., Vinyard, W. C., 1982, A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermatae. Section 4, Univ. Nebraska Press, Lincoln and London, 88-367.
- Prescott, G. W., Croasdale, H. T., Vinyard, W. C., Bicudo C. E. M., 1981, A synopsis of North American desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermatae. Section 3, Univ. Nebraska Press, Lincoln and London, 25-351.
- SCOR-Unesco, 1966, Determination of Photosynthetic pigments. In: Unesco (ed.), Determination of photosynthetic pigments in sea water. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology 1, Paris, France, 1-69.
- Trainer, F. R., 1984, Indicator algal assays: laboratory and field approach. pp. 3-14. In algae as ecological indicators (Shubert L. E.). Academic Press, USA.
- Um, J., 1998, A study on the water quality, characteristics of sediments and local changes of lagoon, Maiho in East Sea, J. Geogr. Environ. Educ., 6, 95-110.
- U.S. EPA, 1976, Water quality criteria research of the U.S. Environmental Protection Agency, Proceeding of an EPA Sponsored Symposium, EPA-600/3-76-079, 185.
- Yoon, S., Hwang, S., Park, C., Jin, M., 2010, Landscape changes during the 20th century of Ssangho, Gapy-eongri wetland, Gunggaeho and Yeongaeo, Yang yang-gun, Gangwon province, J. Korean Geomorphological Assoc., 17, 41-52.

Scientific Name	YR01		YR02		CC01		CC02		M01		M02		H01		H02																
	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.															
<i>Westlia boryoides</i>	+									+						+															
Family Characeae																															
<i>Characium limneticum</i>			+								+																				
<i>Schroederia setigera</i>		+			+									+		+															
Family Hydrodictyaceae																															
<i>Pediastrum boryanum</i>																															
<i>Pediastrum duplex</i>																															
<i>Pediastrum simplex</i>																															
Family Scenedesmaceae																															
<i>Scenedesmus acutus</i> f. <i>constitutus</i>								+								+															
<i>Scenedesmus armatus</i>														+																	
<i>Scenedesmus bicaudatus</i>																															
<i>Scenedesmus intermedius</i>																+															
<i>Scenedesmus dimorphus</i>																+															
<i>Scenedesmus opolensis</i>																+															
<i>Scenedesmus</i> sp.																															
Order Zygnematales																															
Family Desmidiaceae																															
<i>Closterium gracile</i>																															
<i>Closterium longissima</i>																															
<i>Cosmarium boeckii</i>																															
No. of taxa	43	21	20	19	33	29	20	20	16	24	20	25	11	19	13	14	15	44	18	21	36	39	13	21	21	36	20	29	23	34	19