

동해안 석호의 수질 및 생태계  
보전방안에 관한 연구

- 영랑호, 청초호 중심으로 -

연세대학교 보건환경대학원

환경공학전공

고 동 훈

동해안 석호의 수질 및 생태계  
보전방안에 관한 연구

- 영랑호, 청초호 중심으로 -

지도 이 무 춘 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2005년 7월 일

연세대학교 보건환경대학원

환경공학전공

고 동 훈

고동훈의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

연세대학교 보건환경대학원

2005년 7월 일

## 감사의 글

처음 대학원 등록을 하고 2년반이라는 시간이 언제갈까... 직장생활하면서 학교에 잘 다닐수 있을까... 걱정하던게 엇그제 같은데 벌써 졸업논문을 제출하게 되었습니다.

길다면 긴 시간인데 처음 시작할 때 계획했던 것만큼 열심히 노력하지 못했고, 추억거리도 많이 만들지 못한 점이 아쉬움으로 남습니다.

그동안 바쁜 업무속에서도 학업에 열중할 수 있도록 배려해주신 원주지방환경청장님과 혁신기획과장님, 자연환경과장님 그리고 논문의 빠른 통과를 위해 지원 사격을 아끼지 않으셨던 자연환경과 팀장님들, 논문 핑계대고 자주 어울리지 못해도 서운해하지 않고 기다려준 동료들, 그리고 동호회 활동에 자주 참석 못했지만 열심히 응원해주신 탁구회, 축구회 회원분들께도 감사드립니다.

그리고 대학원에 진학하기까지 여러모로 도와주신 김동진 박사님, 논문 작성에 많은 조언을 해주신 박주현 박사님, 항상 신경써준 남미란님께 감사드리며, 5학기 동안 학교 생활 같이했던 김민수, 오현진, 원치택, 정영택 등 동기들께도 고마움을 전합니다.

또한, 늦은 시간까지 열과 성을 다해 지도하여 주신 권영식 교수님, 노수홍 교수님, 박상규 교수님, 강준원 교수님, 나규환 교수님, 정재춘 교수님, 김성현 교수님 등 환경학과 교수님들께 감사드리며, 논문지도를 해주신 이무춘 교수님, 정형근 교수님, 서용칠 교수님께 다시 한번 감사의 말씀을 올립니다.

아울러, 항상 자식들을 위해 정성을 다하시는 부모님과 멀리서도 늘 힘이 되어주는 형과 형수, 누나들과 매형들 그리고 승우 돌봐주시느라 고생 많으신 장모님에게 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 논문 끝나기만을 간절히 기다리며 사랑과 격려를 아끼지 않은 아내 이순진, 그리고 아빠, 엄마가 일찍 테러러가지도 못하고, 많이 놀아주지 못해 늘 미안했지만 그래도 씩씩하고 건강하게 잘 자라주는 아들 승우와 함께 대학원 졸업의 영광과 기쁨을 나누고 싶습니다.

# 차 례

그림차례 .....	iv
표 차례 .....	vi
국문요약 .....	viii
<b>제 1 장 서 론</b> .....	1
1.1. 연구의 배경 .....	1
1.2. 연구의 방법과 범위 .....	2
<b>제 2 장 석호의 일반현황</b> .....	4
2.1. 석호 개황 .....	4
2.2. 영광호 .....	5
2.2.1. 자연현황 .....	5
2.2.2. 관리 및 개발현황 .....	7
2.2.3. 유역현황 .....	7
2.3. 청초호 .....	9
2.3.1. 자연현황 .....	9
2.3.2. 관리 및 개발현황 .....	11
2.3.3. 유역현황 .....	12
<b>제 3 장 수질 및 생태계 조사결과</b> .....	15
3.1. 오염부하량 .....	15
3.1.1. 오염 발생부하량 .....	15
3.1.2. 유입 오염부하량 .....	15
3.2. 수질 현황 .....	19

3.2.1. 수온(Temperature) .....	20
3.2.2. 수소이온농도(pH) .....	20
3.2.3. 용존산소량(DO) .....	21
3.2.4. 전기전도도 및 염분도 .....	21
3.2.5. 화학적산소요구량(COD) .....	26
3.2.6. 투명도 .....	27
3.2.7. 부유물질농도(SS) .....	27
3.2.8. 총질소 및 질산성질소, 암모니아성 질소의 농도 .....	29
3.2.9. 총인 및 용존무기인 .....	32
3.2.10. 엽록소 a(Chlorophyll a) .....	34
3.3. 석호의 부영양화도 .....	39
3.3.1. 빈영양호와 부영양호의 비교 .....	39
3.3.2. 부영양화 판정지수의 비교 .....	40
3.4. 생태계 현황 .....	45
3.4.1. 동·식물성 플랑크톤 .....	45
3.4.2. 조류(鳥類) .....	46
3.4.3. 어류(魚類) .....	50
<b>제 4 장 수질 및 생태계 특성 고찰 .....</b>	<b>52</b>
4.1. 수질 .....	52
4.2. 생태계 .....	56
4.2.1. 동·식물성 플랑크톤 .....	56
4.2.2. 조류(鳥類) .....	57
4.2.3. 어류(魚類) .....	59
<b>제 5 장 문제점 및 개선방안 .....</b>	<b>61</b>
5.1. 문제점 .....	61

5.2. 수질 개선방안 .....	62
5.2.1. 호소외적 오염요소 유입의 제어 .....	64
5.2.2. 호소내적 오염요소의 제어 .....	70
<b>제 6 장 결론 및 정책제안 .....</b>	<b>76</b>
6.1. 결론 .....	76
6.2. 정책제안 .....	78
6.2.1. 기본방향 .....	78
6.2.2. 제안내용 .....	78
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>84</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>87</b>

## 그림 차례

[그림 1-1] 연구의 흐름도 .....	3
[그림 2-1] 석호 위치도 .....	5
[그림 3-1] 영랑호 유입수 조사지점 .....	16
[그림 3-2] 청초호 유입수 조사지점 .....	17
[그림 3-3] 영랑호 시료채취 지점도 .....	19
[그림 3-4] 청초호 시료채취 지점도 .....	19
[그림 3-5] 영랑호의 연도별 염분변화 추이 .....	23
[그림 3-6] 영랑호의 수심별 농도 분포도(2002년) .....	24
[그림 3-7] 청초호의 수심별 농도 분포도(2002년) .....	25
[그림 3-8] 연도별 COD 조사결과 .....	26
[그림 3-9] 연도별 투명도 조사결과 .....	27
[그림 3-10] 연도별 SS 조사결과 .....	28
[그림 3-11] 연도별 T-N 조사결과 .....	31
[그림 3-12] 연도별 NO <sub>3</sub> -N 조사결과 .....	31
[그림 3-13] 연도별 NH <sub>3</sub> -N 조사결과 .....	32
[그림 3-14] 연도별 T-P 조사결과 .....	34



[그림 3-15] 연도별 DIP 조사결과 .....	34
[그림 3-16] 연도별 Chl-a 조사결과 .....	35
[그림 5-1] 물 흐름에 따른 습지 시스템의 형태 .....	69
[그림 5-2] 호소내 퇴적물 준설시 퇴적오니 처리계통도(안) .....	70
[그림 5-3] 심정을 이용한 물의 순환과 산소공급 장치 .....	72
[그림 5-4] 인공부도의 기능 .....	75

## 표 차 례

<표 2-1> 석호유역의 유역개황 .....	4
<표 2-2> 영랑호의 개요 .....	6
<표 2-3> 표고분석 .....	6
<표 2-4> 경사분석 .....	7
<표 2-5> 영랑호의 정책현황 .....	7
<표 2-6> 영랑호 유역내의 세대수와 인구수 .....	8
<표 2-7> 영랑호 유역내 가축현황 .....	8
<표 2-8> 영랑호 유역의 지목별 토지이용현황 .....	9
<표 2-9> 청초호의 개요 .....	10
<표 2-10> 표고분석 .....	11
<표 2-11> 경사분석 .....	11
<표 2-12> 청초호의 정책현황 .....	12
<표 2-13> 청초호 유역내의 세대수와 인구수 .....	12
<표 2-14> 청초호 유역내 가축현황 .....	13
<표 2-15> 청초호 유역의 지목별 토지이용현황 .....	14
<표 3-1> 영랑호, 청초호의 오염 발생부하량 .....	15
<표 3-2> 연도별 영랑호 유입수 조사에 따른 오염부하량 및 유입수량 .....	16
<표 3-3> 연도별 청초호 유입수 조사에 따른 오염부하량 및 유입수량 .....	17

<표 3-4> 연도별 단위면적당 유입부하량 분석결과 .....	18
<표 3-5> 영랑호, 청초호의 오염특성 .....	18
<표 3-6> 영랑호, 청초호의 오염물질에 대한 유달율 .....	19
<표 3-7> 영랑호의 연도별 염분조사 자료 .....	22
<표 3-8> 영랑호, 청초호 월별 수질자료(2001, 2002) .....	36
<표 3-9> 5~9월까지 성장기동안 표층에서의 연간 수질자료(1998~2002) .....	38
<표 3-10> 빈영양호와 부영양호의 비교 .....	39
<표 3-11> 부영양화지수(TSI)를 이용한 호소의 부영양화도 판정표 .....	40
<표 3-12> T-N, T-P, Chl-a량과 투명도에 의한 영양도 구별 .....	41
<표 3-13> OECD가 제시한 T-P와 Chl-a량 투명도에 의한 영양도 구별 .....	41
<표 3-14> OECD 기준에 따른 호소별 영양도 판정표(2002) .....	42
<표 3-15> 5~9월까지 성장기동안 호소 영양도 판정 계수 .....	43
<표 3-16> 영랑호, 청초호의 부영양화 지수(TSI) .....	44
<표 3-17> 영랑호, 청초호의 동물플랑크톤 우점종 .....	45
<표 3-18> 영랑호, 청초호의 식물플랑크톤 우점종 .....	46
<표 3-19> 영랑호에서 발견된 조류의 종 및 개체수 .....	47
<표 3-20> 영랑호 주요 출현종(오리류, 갈매기류)의 연도별 변화추이 .....	48
<표 3-21> 청초호에서 관찰된 조류의 종 및 개체수 .....	49
<표 3-22> 청초호 주요 출현종(오리류, 갈매기류)의 연도별 변화추이 .....	49
<표 3-23> 영랑호 출현 어류의 목록(1969, 1993) .....	51

## 국 문 요 약

### 동해안 석호의 수질 및 생태계 보전방안에 관한 연구

- 영랑호, 청초호 중심으로 -

본 논문에서는 동해안 석호중 여러 오염원이 밀집되어 있고 도심지 인근에 위치하여 오염이 심화된 영랑호와 청초호에 대한 수질 및 생태계 현황 등을 조사·분석하고, 석호관리의 문제점 및 수질 개선방안에 관하여 연구하였다.

영랑호는 동해안 다른 석호와 달리 레저중심의 관광지로 개발되어 있고, 청초호는 어항, 상업항 등 복합기능을 가진 호수로의 특징을 가지고 있다. 또한 속초시내에 위치하여 콘도, 아파트, 골프장 등에서 발생하는 오수와 선박수리, 냉동, 수산식품가공공장 등의 산업시설로부터 발생하는 각종 폐수 등의 오염원으로부터 노출되어 있다.

그리고 인근지역에서 유입되는 토사로 인하여 매립위기에 처해 있고, 호소 퇴적층의 부패, 물고기들의 폐사 및 심한 부영양화 현상들이 나타나고 있는 것으로 조사되었으며, 특히 영랑호의 경우 하구에 수문을 만들어 수위를 높임으로써 해수의 유입이 감소하여 담수화가 심화되어 기수호로서의 특성을 상실할 위기에 처해있는 실정이다.

청초호의 경우 관광엑스포 유원지 개발을 위해 총면적 411,015m<sup>2</sup>을 매립하였고, 영랑호는 주변에 축대설치 및 일주도로를 건설하여 수중 수초대가 많이 훼손되었다. 그리고 1998년부터 2002년도까지 영랑호, 청초호의 부영양화 지수(TSI)는 60~70의 범위로 호소의 영양상태가 부영양호, 과부영양호 상태였다.

또한 영랑호 심층의 연도별 염분도 조사결과 1960년대 24~28%, 1970년대 6~16%, 2000년대 4~7%로 조사되었고, 1969년과 1993년도의 어류상 조사결과를 비교해 보아도 담수 어류는 5종이 증가하였고, 해수 어류는 2종이 감소한 것으로 나타나 해수유입 감소에 따른 담수화가 진행된 것을 알 수 있었다.

이러한 현상들을 최소화하기 위해 그간 호소 준설, 하수관거 설치 등 다각적인 수질정화사업도 추진되었으나, 그 효과가 미미한 것으로 나타났다.

따라서 석호의 수질개선을 위해서는 점 및 비점오염원 등의 호소외적 오염요소 유입 제어와 준설, 해수유입 증가, 수중폭기 등의 호소내적 오염요소의 제어방법을 병행하여 실시하여야 하며, 동시에 석호실태 정밀조사 실시와 특성에 맞는 개선방안 강구, 관리의 일원화 및 법제도의 활용, 행정기관별 명확한 역할 분담, 석호의 가치극대화를 위한 홍보강화 등의 정책적인 관리방안도 추진되어야 할 것으로 판단된다.

---

핵심되는 말 : 석호, 부영양화, 염분도, 점 및 비점오염원, 매립, 준설

# 제1장 서론

## 1.1. 연구의 배경

우리나라 동해안에는 해안선을 따라 해류의 작용으로 사주(沙州)나 사취(砂嘴)가 만 입을 막아 생성된 여러개의 자연호인 석호(潟湖, Lagoon)가 있다. 이러한 석호는 주변지역과 어우러진 수려한 자연경관과 기수호로서의 독특한 생태학적 가치가 높을 뿐만 아니라, 철새도래지, 관광지 등의 경제적 가치가 수자원 이용보다 더 크다고 할 수 있다.

최근들어 동해안 석호는 발생기원이 내륙의 다른 호소와 달리 자연호(自然湖), 기수호(汽水湖), 육해전이수역(陸海轉移水域) 등으로 역사적, 지리학적, 생태학적 가치가 커 많은 관심의 대상이 되고 있으며, 산업화 및 도시화로 훼손된 자연환경을 보존하기 위한 환경보전의식의 고취로 커다란 관심과 이슈(issue)가 되고 있다. 그러나 일부 자연경관이 빼어난 호소 인근에 관광지 개발 및 개발계획을 수립하고 있어 수질악화와 생태계파괴, 호소의 수면적 감소, 주변습지의 감소, 오염부하량의 증가 등 호소환경의 악화가 우려되고 있다(원주지방환경청, 2002).

또한 유역에서 발생하는 생활오수와 각종 폐수가 호소로 유입되고, 유역내의 농경지 등 비점오염원에서 발생하는 무기영양염류가 유입되어 수질오염이 더욱 가속화되고 있다. 특히 영양염류의 과다 유입으로 녹조현상(부영양화 현상)과 물고기 폐사 사고가 빈번히 일어나고 있으며, 이로 인해 호소내 생물 다양성이 악화되고 있다.

따라서 현재까지 호소환경개선을 위해 하수종말처리장설치, 호소준설, 하구 통수작업, 소하천정비사업, 인공습지조성사업, 비위생매립지정비사업 등이 추진되어 왔으나, 이와 같이 개발사업에 따른 환경훼손을 사후대책 차원에서 줄여보려는 피동적인 환경관리정책이 지속된다면 석호가 수십년 내에 사라져 버릴 수도 있으며, 이러한 석호환경이 회복 불가능한 수준으로 훼손되는 것을 방지하기 위해서는 보다 적극적인 석호의 관리방안이 마련되어야 할 것이다.

더욱이 동해안 석호에 대한 변천이나 가치에 대한 연구가 미흡하여 석호의 중요성이 인식되지 못하고 있으며, 동해안 각 석호들이 가지고 있는 특성과 안고 있는

문제가 각각 다름에도 불구하고 이에 대한 체계적인 연구가 부족하여 적절한 관리 방안을 도출하지 못하고 있는 실정이다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 동해안 석호중 도심지에 위치하여 오염이 심화된 영랑호와 청초호를 중심으로 원주지방환경청의 조사·연구결과를 분석·정리하고, 영랑호의 경우에는 과거에 조사된 자료중 염분, 어류상 등의 수질 및 생태계 변화추이를 파악하였으며, 호소의 문제점과 수질 개선방안 등의 조사 및 연구자료를 종합적으로 분석하여 동해안 석호가 가지고 있는 고유기능 및 가치를 유지·보전하는 방안을 제시하고자 한다.

## 1.2. 연구의 방법과 범위

동해안지역에는 최북단인 강원도 고성군의 화진포호를 시작으로 강릉시 안인리의 풍호까지 약 13개의 석호가 존재하는 것으로 알려져 있다. 이중 풍호, 공개호, 쌍호는 거의 매립되어 원래 모습의 일부만 남아 제기능을 상실한 상태고, 봉포호, 광포호, 천진호도 인위적인 매립과 인공구조물에 의해 상당히 훼손된 상태이다.

본 연구에서는 현재 남아있는 석호중 도심지에 위치하여 인근 지역주민의 이용가치가 크면서, 오염원에 많이 노출되어 수질악화로 인한 악취 발생 등의 피해가 예상되는 등 인간에게 미치는 긍정적·부정적 영향이 다른 어떤 석호보다도 클 것으로 보이는 영랑호 및 청초호를 조사대상 호소로 선정하였다.

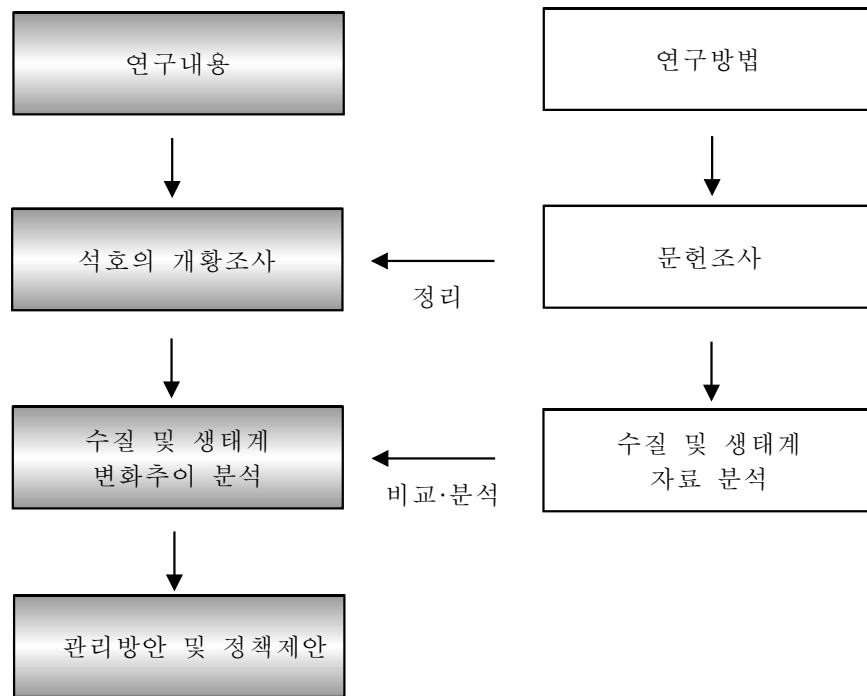
조사내용으로는 석호의 개황, 오염부하량, 수질 및 생태계 현황, 수질 개선방안을 조사하였으며, 영랑호의 경우에는 육수학적 관점에서 조사된 과거 연구자료와 비교·분석하고 최근 원주지방환경청에서 실시하고 있는 석호 조사사업 자료를 정리하여 수질 상태 및 생태계 변화추이를 파악하는 것이 연구의 근간을 이루고 있다.

과거 영랑호를 위시하여 동해안 석호에 관한 보고는 1941년 “조선동해안의 기수생물”(佐藤月二), 1945년 “속초 간성문의 육수”(임기흥), 1958년 “하계 동해안 기수호정비”(유성규) 등이 발표되었으나 이들 조사는 부분적인 문제에 국한한 것이었다.(조 등, 1969년)

따라서 석호의 유역개황은 각종 통계자료 및 국내 관련 문헌 등의 자료에

기초하였으며, 석호의 수질 및 생태계 현황은 환경학적으로 영랑호에 대한 연구가 이루어진 “이화학적 특징 및 플랑크톤상에 관한 조사”(조규송, 박양생, 1969년), “영랑호의 환경학적 연구”(이진환, 곽성규, 1987년) 및 “강원지역 자연생태계 보전방안에 관한 연구”(남미란, 2003년)와 원주지방환경청의 “석호수질 및 생태계 조사사업”(1998~2002)과 “생태계 변화관찰조사”(1999~2005)등의 자료에 조사된 수질 및 생태계 현황을 비교·분석해 보고자 한다.

그리고 조사결과에 대한 고찰 및 문제점을 살펴보고, 각 상황에 따른 개선방안을 도출하여 실제 적용이 가능하도록 정책적인 제안을 해보고자 한다.



[그림 1-1] 연구의 흐름도



## 제2장 석호의 일반현황

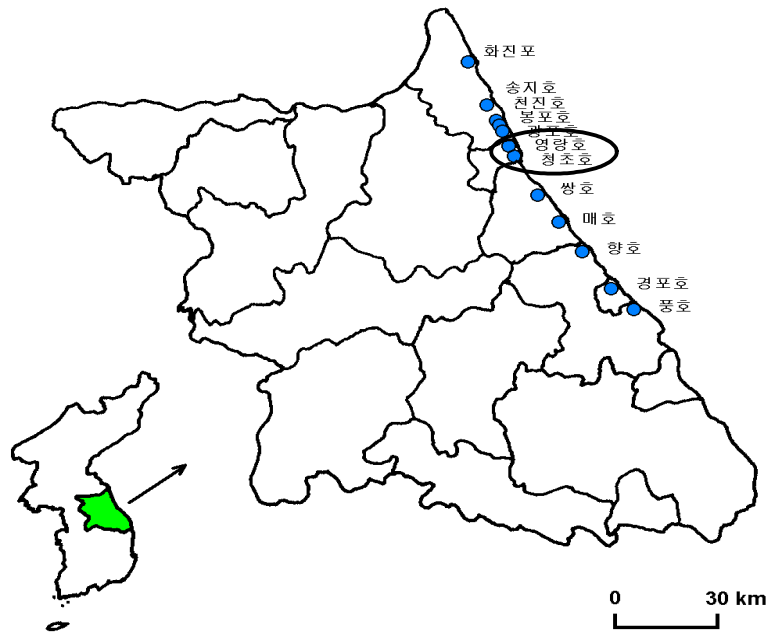
### 2.1. 석호 개황

동해안 지역에는 최북단인 강원도 고성군의 화진포호를 시작으로 강릉시 안인리의 풍호까지 약 13개의 석호가 있다(표 2-1, 그림 2-1). 이 중 공개호, 풍호, 쌍호 등은 이미 매립되었거나 늪지 혹은 육지화 되어가고 있으며, 광포호, 봉포호, 천진호 등의 경우 호소 하구에 국도 확·포장 및 매립 등으로 해안과의 이격거리가 길어져 해수순환이 거의 되지 않거나, 콘도와 같은 건축물, 농경지 개간, 폐기물 불법매립 등으로 인해 호소의 원형이 많이 훼손되어 석호로서의 기능을 거의 상실한 상태이다(남미란, 2003).

<표 2-1> 석호의 유역개황

구 분	위 치	유역면적 (km <sup>2</sup> )	호소면적 (km <sup>2</sup> )	최대수심 (m)	비 고
경 포 호	강릉시 저동	54.1	0.896	1.4	호소저질 준설
향 호	강릉시 주문진읍 향호리	8.1	0.345	12.5	규사 채취
매 호	양양군 현남면 포매리	9.6	0.118	1.3	-
영 랑 호	속초시 영랑동	<b>9.5</b>	<b>1.045</b>	<b>6.3</b>	호소저질 준설
청 초 호	속초시 청초동	<b>29.6</b>	<b>1.362</b>	<b>7.0</b>	호소저질 준설
광 포 호	고성군 토성면	3.6	0.040	8.2	-
봉 포 호	고성군 토성면	0.1	0.045	8.2	-
천 진 호	고성군 토성면	0.3	0.021	1.9	-
송 지 호	고성군 죽왕면 오봉리	5.4	0.495	3.9	-
화진포호	고성군 거진읍 화포리	19.9	2.305	3.6	-

자료 : 남미란(2003)



[그림 2-1] 석호 위치도

## 2.2. 영랑호

### 2.2.1. 자연현황

#### 가. 유역의 개요

영랑호는 북측으로 국사봉(해발 83.8m), 서쪽으로 학사평 일부가 그리고 남쪽으로는 산능선을 따라 개발된 486번 도로를 경계로 하고 있다. 영랑호로 유입되는 소하천은 상류의 한화프라자 부근에서 발원하여 중간의 농경지를 관류하면서 호수로 흘러 들어간다. 본 유역에 포함되는 행정구역으로는 금호동, 장사동 전체와 영랑동, 동명동 일부이다. 호수에 인접한 금호동과 영랑동에 많은 인구가 상주하고 있다. 영랑호는 면적 1,045,000㎡, 평균수심 2.0m인 자연호로 호수를 중심으로 대규모의 레저타운형 유원지가 개발되어 있어 연중 많은 관광객이 방문하고 있다(표 2-2). 호소의 하구에 수문을 만들고 수위를 높임으로써 해수의 유입이 감소하고 담수화가 되어 있었으나, 2001년 말 호소 하구를 개방하여 현재 해수가 유입되고

있다. 다른 호소에 비해 수변지역이 비교적 잘 정비되었다.

영랑호는 2002년까지 준설을 실시하여 수질이 차츰 개선되고 있으며, 퇴적오니에 의한 악취발생이나 녹조현상이 다소 줄어들었다. 또한 영랑호 주변 약 8km 정도는 하수차집관거가 설치되어 있어 오염물질 유입이나 오염부하량이 적은 편이다.

<표 2-2> 영랑호의 개요

행정구역	유역면적 (km <sup>2</sup> )	호수면적 (km <sup>2</sup> )	평균수심 (m)	평균체적 (m <sup>3</sup> )	평균유입 량(CMD)	체류시간 (DAY)	용도
속초시의 금호동, 장사동 전체 영랑동, 동명동 일부	9.48	1.045	2.0	1,911,600	12121.4	158	관광

나. 표고분석

영랑호의 유입권은 대부분 50m이하의 낮은 구릉에 형성되어 있으며 주변이 농경지와 산림으로 구성되어 있는 다른 석호와는 달리 대부분 도시지역과 레저중심의 관광지로 구성되어 있다(표 2-3).

<표 2-3> 표고분석

표 고	면 적(km <sup>2</sup> )	비 율(%)	비 고
0-10M	1.808	22.1	
10-20M	2.519	30.8	
20-30M	1.292	15.8	
30-40M	0.956	11.7	
40-50M	0.638	7.8	
50M 이상	0.967	11.9	
합계	8.18	100.0	

자료 : 박상현, 2003

다. 경사분석

급경사를 이루고 있는 지형이 많지 않고 대부분 이용가능한 경사분포를 형성하고 있다(표 2-4).

<표 2-4> 경사분석

경 사	면 적(km <sup>2</sup> )	비 율(%)	비 고
0-5%	2.585	31.6	
5-10%	0.933	11.4	
10-15%	0.793	9.7	
15-30%	2.323	28.4	
30-45%	1.202	14.7	
45-100%	0.344	4.2	
합계	8.18	100.0	

자료 : 박상헌, 2003

2.2.2. 관리 및 개발현황

영랑호는 도시계획법에 의해 자연녹지지역으로 토지이용이 규제되고 있다(표 2-5). 호소주변에는 골프장이 개발되어 있으며, 호소유역을 기업에 매각하기도 하는 등 개발지향적인 정책을 추진하고 있다. 현재 호소수변을 따라 리조트유원지가 조성되어 있으며 유입하천인 장천유원은 농업용지로 이용되고 있다.

<표 2-5> 영랑호의 정책현황

관련법규	토지이용규제	정책규제
도시계획법	자연녹지지역	개발지향

자료 : 한국정책평가연구원, 하구·석호 육해전이수역 통합환경관리방안연구, 2001

2.2.3. 유역 현황

가. 유역내 세대수와 인구

2003년 현재 영랑호 유역내에 상주하는 세대수와 인구는 각각 8,049세대, 20,286명이다. 인구밀도를 살펴보면 영랑동은 902인/km<sup>2</sup>이며, 동명동과 금호동은 각각 6,615인/km<sup>2</sup>, 5,756인/km<sup>2</sup>으로 아파트단지인 금호동과 호수에 인접한 영랑동에 밀집되어 있으며, <표 2-6>은 유역내의 상주인구 현황을 보여주고 있다.

<표 2-6> 영랑호 유역내의 세대수와 인구수

행정동	세대수	인구(명)	인구밀도(인/km <sup>2</sup> )
영랑동	2,662	6,844	902
동명동	2,082	5,160	6,615
금호동	3,305	8,282	5,756
계	8,049	20,286	2,072

자료 : 속초시, 속초시통계연보, 2004

나. 유역내 가축현황

영랑호 유역 중 영랑동에서 가축이 가장 많이 사육되고 있다. 그 다음으로는 금호동 순이며, 가축 사육수의 순위로 볼 때 개가 442마리로 가장 많이 사육되고 있다. 닭은 10마리, 한육우가 141마리가 사육되고 있고, 2001년도와 비교해 한육우를 제외한 나머지 가축들은 많이 감소하였으며, 영랑호 유역내 가축현황은 (표 2-7)와 같다.

<표 2-7> 영랑호 유역내 가축현황

행정동	한육우	돼지	닭	개	기타
영랑동	126(60)	-	10(90)	442(437)	69(75)
동명동	-	-	-	-(73)	-
금호동	15(4)	-	-	-(238)	-
계	141(64)	-	10(90)	442(748)	69(75)

자료 : 속초시, 속초시통계연보, 2001, 2004, ( )는 2001년도 현황임

다. 구역내 토지이용현황

영랑호에 인접한 3개의 행정동의 총면적은 2.398km<sup>2</sup>이다. 지목별 토지이용을 살펴보면 농경지와 임야 면적은 각각 0.158km<sup>2</sup>(7%), 0.459km<sup>2</sup>(19%)로 비중이 낮으며, 대지는 0.922km<sup>2</sup>(39%), 기타는 0.626km<sup>2</sup>(26%)로 비중이 높아 도시적 토지이용 형태를 나타내고 있고, 2001년과 비교해 개발로 인한 도로면적은 증가하였으나, 나머지는 감소하였다. <표 2-8>에 영랑호 구역의 지목별 토지이용현황을 나타내었다.

<표 2-8> 영랑호 구역의 지목별 토지이용현황(단위:km<sup>2</sup>)

행정동	농경지	임야	도로	하천	대지	기타	총면적
영랑동	0.045 (0.046)	0.023 (0.023)	0.082 (0.081)	-	0.279 (0.280)	0.064 (0.071)	0.493 (0.501)
동명동	0.030 (0.031)	0.128 (0.129)	0.105 (0.100)	-	0.357 (0.359)	0.159 (0.162)	0.779 (0.780)
금호동	0.083 (0.085)	0.308 (0.308)	0.046 (0.045)	-	0.286 (0.290)	0.403 (0.402)	1.126 (1.130)
계	0.158 (0.162)	0.459 (0.460)	0.233 (0.226)	-	0.922 (0.929)	0.626 (0.635)	2.398 (2.411)
	6.6% (6.7%)	19.1 (19.0%)	9.7% (9.3%)	-	38.5% (38.5%)	26.1% (26.5%)	

주 : 농경지는 전, 답을 포함, 자료 : 속초시, 속초시통계연보, 2001, 2004,  
( )는 2001년도 현황임

## 2.3. 청초호

### 2.3.1. 자연현황

#### 가. 구역의 개요

본 구역은 서측으로 달마봉(해발 620m), 북측으로는 학사평(해발 101.1m)를 끼고, 남측으로는 주봉산(해발 367.8m), 청대산(280.8m)들의 연봉으로 둘러싸여 있으

면서 동측으로는 속초시 청초호와 연결되어 있다. 청초호는 청초천과 10여개의 소규모 지천이 호소로 유입되고 있다. 이 중 유입량이 가장 큰 유입 하천은 유역면적이 21.355km<sup>2</sup>인 청초천이다. 청초천은 설악산 달마봉에서 기원하여 청초호로 동류하는 준용하천으로 청초천은 호수내 유입유량의 대부분을 차지하며 그 외 지천의 유량은 극히 적은 편이며, 청초호 좌우로 소야평야가 펼쳐져 있다. 학사평에서 중하류의 척산교에 이르는 구간은 1/50의 하상경사를 보이며 그 이하 하류는 1/100의 완만한 경사를 가진다.

청초호는 수면적 1,362,000m<sup>2</sup>, 호수둘레 4km, 유역면적은 30.53km<sup>2</sup> 이다(표 2-10). 속초시에 위치한 기수호로서 서측 및 남측의 수심은 0-3m, 북측은 4-5m, 중앙부는 5m 정도이며, 인접한 동해안의 조석은 최대조차 30cm 내외로 청초호의 수심변동은 매우 적은 편이다. 청초호는 어항, 상업항 등 복합기능을 가진 호수로 동해안의 중심 어항의 역할을 하며 양양 철광산에서 채굴된 철광석이 청초호를 통하여 포항 제철소로 반출 또는 수출되는 등 해상교통으로서 중요하다.

속초시의 하수종말처리장은 2001년에 완공되어 운영중에 있으며, 청초호 주변에서 발생하는 생활하수, 수산폐수 등이 대부분 처리장으로 유입처리되고 있다. 또한 청초호의 경우 퇴적오니준설을 완료하였다.

<표 2-9> 청초호의 개요

행정구역	유역면적 (km <sup>2</sup> )	호수면적 (km <sup>2</sup> )	평균수심 (m)	평균체적 (m <sup>3</sup> )	평균유입 량(CMD)	체류시간 (DAY)	용도
속초시의 교동, 금호동, 노학동, 조양동, 청호동	30.53	0.84	3.0	4,602,300	45,926.4	100	어업항, 상업항, 해상교 통,관광

#### 나. 표고분석

청초호의 유입권은 영랑호에 비해 매우 높은 지형에서 형성되어 있다(표 2-10).

<표 2-10> 표고분석

표 고	면 적(km <sup>2</sup> )	비 율(%)	비 고
0-50M	14.472	54.09	
50-100M	5.163	19.34	
100-150M	1.980	7.44	
150-200M	1.364	5.07	
200-250M	1.204	4.46	
250-300M	0.936	3.44	
300M 이상	1.631	3.26	
합계	26.750	100.00	

자료 : 박상현(2003)

다. 경사분석

유입권이 300m 이상에서 시작하여 급경사를 이루고 있는 지형이 많이 있다.

(표 2-11)

<표 2-11> 경사분석

경 사	면 적(km <sup>2</sup> )	비 율(%)	비 고
0-5%	9.684	36.2	
5-10%	2.595	9.7	
10-15%	1.578	5.9	
15-30%	4.120	15.4	
30-45%	3.932	14.7	
45-100%	4.841	18.1	
합계	26.750	100.0	

자료 : 박상현(2003)

2.3.2. 관리 및 개발현황

청초호는 도시계획법에 의해 자연녹지지역으로 토지이용이 규제되고 있다(표 2-12). 그러나 호소매립을 통해 위락단지를 조성하고 있으며, 상업항을 개항하는



등 개발지향적인 정책을 추진하고 있다. 현재 청초호 유원지개발계획(관광엑스포)에 의해 총면적 411,015㎡(육지 174,015㎡, 호소 237,000㎡)을 매립하였고, 남측과 서측의 수초대는 매립공사에 의해 거의 대부분 소멸되었다. 또한 호소주변에는 수산업과 관련된 조선, 수리, 기계제작소, 제빙, 냉동, 식품가공업 등의 공장이 위치해 있으며, 청초천 유역은 농업용지로 이용되고 있다.

<표 2-12> 청초호의 정책현황

관련법규	토지이용규제	정책규제
도시계획법	자연녹지지역	개발지향

자료 : 한국정책평가연구원, 하구·석호 육해전이수역 통합환경관리방안연구, 2001

### 2.3.3. 유역 현황

#### 가. 유역내 세대수와 인구

청초호 유역내에는 인구가 많이 밀집되어 있다. 교동의 인구밀도는 19,333인/km<sup>2</sup>로 청초호에 인접해 있는 행정동 중 인구밀도가 가장 높으며, 금호동, 청호동 순으로 인구밀도가 높다. 2003년 현재 유역내의 총 세대수와 인구는 각각 27,348세대, 72,909명으로 (표 2-13)과 같다.

<표 2-13> 청초호 유역내의 세대수와 인구수

행정동	세대수	인구(명)	인구밀도(인/km <sup>2</sup> )
노학동	8,545	23,228	1,041
조양동	7,856	21,593	3,849
교동	5,436	14,500	19,333
금호동	3,305	8,232	5,756
청호동	2,206	5,356	5,759
계	27,348	72,909	2,350

자료 : 속초시, 속초시통계연보, 2004

나. 유역내 가축현황

청초호 유역 중 노학동에서 가축이 가장 많이 사육되고 있다. 그 다음으로는 교동, 청호동 순이며, 가축 사육수의 순위로 볼 때 닭이 1,035마리로 가장 많이 사육되고 있다. 개가 656마리, 오리가 209마리가 사육되고 있고, 사슴을 제외한 모든 종류의 가축사육두수가 감소하였다. 청초호 유역내 가축현황은 (표 2-14)와 같다.

<표 2-14> 청초호 유역내 가축현황(단위 : 두, 마리)

행정동	한우	돼지	닭	오리	사슴	개	기타
노학동	90(125)	30(60)	1,011(3,623)	209(283)	117(87)	564(486)	-(57)
조양동	4(40)	-(8)	24(15)	-	11(10)	92(27)	-(2)
교동	-	-	-	-	-	-(166)	-(200)
금호동	15(4)	-	-	-	-	-(238)	-
청호동	-	-	-(205)	-	-	-(243)	-
계	109(169)	30(68)	1,035(3,843)	209(283)	128(97)	656(1,160)	-(259)

자료 : 속초시, 속초시통계연보, 2001, 2004, ( )는 2001년도 현황임

다. 유역내 토지이용현황

청초호 유역내 토지면적은 37.457km<sup>2</sup>이다. 지목별 토지이용을 살펴보면 도시적 토지이용 형태가 분명하게 나타나는 영랑호와 달리 대부분 임야와 농경지로 구성되어 있다. 임야와 농경지의 비율은 각각 58%(21.681km<sup>2</sup>), 15%(5.691km<sup>2</sup>)로 높으며, 이 외에 기타가 16%(4.531km<sup>2</sup>)를, 대지가 10%(3.609km<sup>2</sup>)를 차지하고 있고, 2001년과 비교해 개발로 인한 도로 및 대지면적은 증가하였으나, 나머지는 감소하였다. <표 2-15>에 청초호 유역의 지목별 토지이용현황을 나타내었다.

<표 2-15> 청초호 유역의 지목별 토지이용현황(단위 : km<sup>2</sup>)

행정동	농경지	임야	도로	하천	대지	기타	총면적
노학동	2.960 (2.978)	14.920 (14.944)	0.453 (0.449)	0.220 (0.220)	0.707 (0.681)	1.011 (3.027)	20.271 (22.299)
조양동	1.496 (1.512)	2.552 (2.565)	0.509 (0.508)	0.061 (0.061)	0.910 (0.891)	0.476 (0.481)	6.004 (6.018)
교동	0.190 (0.197)	0.474 (0.485)	0.385 (0.379)	0.015 (0.015)	1.084 (1.082)	0.323 (0.336)	2.471 (2.494)
금호동	0.083 (0.084)	0.308 (0.308)	0.046 (0.045)	-	0.286 (0.290)	0.403 (0.403)	1.126 (1.130)
청호동	-	0.025 (0.025)	0.053 (0.053)	-	0.216 (0.217)	0.226 (0.225)	0.520 (0.520)
장사동	0.962 (1.048)	3.402 (3.420)	0.143 (0.142)	-	0.466 (0.465)	2.092 (2.006)	7.065 (7.081)
계	5.691 (5.819)	21.681 (21.747)	1.580 (1.576)	0.296 (0.296)	3.669 (3.626)	4.531 (6.478)	37.457 (39.542)
	15.2% (14.7%)	57.9% (54.9%)	4.2% (3.9%)	0.8% (0.7%)	9.8% (9.1%)	12.1% (16.3%)	

주 : 농경지는 전, 답을 포함, 자료 : 속초시, 속초시통계연보, 2001, 2004,

( )는 2001년도 현황임

## 제3장 수질 및 생태계 조사결과

### 3.1. 오염부하량

#### 3.1.1. 오염 발생부하량

영랑호와 청초호 유역의 토지이용현황, 인구, 가축현황을 이용한 일일 총발생부하량을 (표 3-1)에 제시하였으며, 조사결과 오염 발생부하량은 청초호가 영랑호에 비해 모든 항목에서 높게 나타났다.

<표 3-1> 영랑호, 청초호의 오염 발생부하량(단위 : kg/day)

호소명	BOD	SS	T-N	T-P
영랑호	874.58	1,638.50	208.50	85.20
청초호	4720.60	5,366.50	610.80	148.30

#### 3.1.2. 유입 오염부하량

영랑호의 유입하천으로 서측 유역을 경유하는 장천천과 2개의 소하천이 있다. 서측 유역에서 발생한 오염물질의 거의 대부분은 유입하천을 경유하여 영랑호로 유입된다. 청초호에는 청초천이 주요 유입하천이며 서측 유역에서 발생한 오염물질은 청초천을 경유하여 청초호로 유입한다.

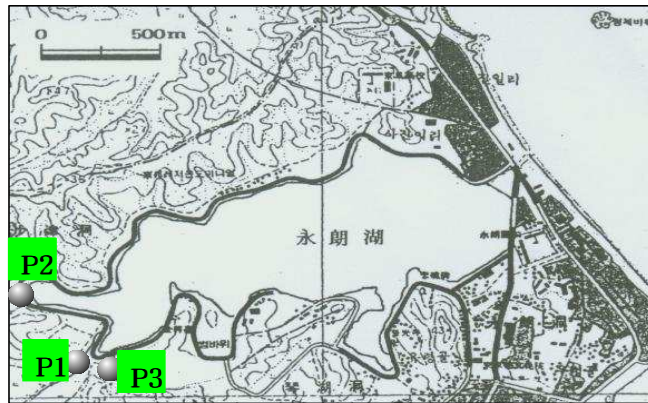
2001년부터 2002년까지의 기간동안 영랑호와 청초호의 유입수 조사지점에서 측정된 자료를 (표 3-2)와 (표 3-3)에 제시하였다.

##### 가. 영랑호

영랑호의 유입수 조사지점은 (그림 3-1)과 같다. 2001년과 2002년에 조사된 자료에 의하면 영랑호 주요 담수 유입원인 장천천(P1)의 수량은 각각 평균 0.210, 0.153cms로 나타났다. <표 3-2>은 측정된 유량과 유입수질 분석결과로부터 산정한 오염부하량 분석결과를 요약한 것이다.

결과에서 2002년도 P1에서 부유고형물 부하량은 645Kg/day를 초과하고 있다.

원인은 장천천 하천정비사업으로 인해 영랑호에 다량의 부유토사가 유입된 것으로 보인다. 총질소와 총인의 부하비율은 P3지점이 69.9(2002년)로 가장 높았으며, 2001년도 P1에서 TN/TP비는 약 14였다.



[그림 3-1] 영랑호 유입수 조사지점

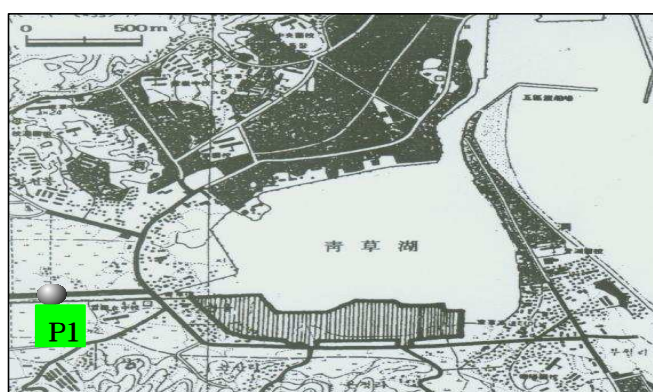
<표 3-2> 연도별 영랑호 유입수 조사에 따른 오염부하량 및 유입수량

년도	지점	Flow CMS	COD kg/day	SS kg/day	T-N kg/day	T-P kg/day	TN/TP Ratio
2001	P1	0.210	48.203	91.575	45.474	3.231	14.075
	P2	0.034	10.575	55.227	0.828	0.016	50.478
	P3	0.065	17.457	116.463	15.389	0.285	53.914
	Sum	0.308	76.235	263.265	61.691	3.533	17.464
2002	P1	0.153	57.296	645.187	27.709	1.548	17.094
	P2	0.001	0.432	0.223	0.141	0.008	16.843
	P3	0.005	1.569	1.747	1.016	0.015	69.918
	Sum	0.158	59.297	647.156	28.866	1.571	18.380

나. 청초호

청초호의 유입하천으로서 청초천(P1)에 대한 유입수 조사를 (그림 3-2)에 제

시한 지점에서 실시하였다. <표 3-3>는 청초호 유입수 조사결과로부터 산정한 오염부하량 분석결과이다. 조사시기에 청초천(P1) 유량은 2001년과 2002년에 각각 1.476, 0.429cms로 나타났다. 수질 분석결과와 함께, 청초호로 유입하는 COD부하량은 2001년과 2002년에 각각 약 336kg/day, 137kg/day로 분석되었다. 전반적으로 수질항목별 오염부하량은 2001년의 경우가 2002년에 비하여 매우 높은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 선행된 강우량과 비강우일수에 의한 영향이라 판단된다.



[그림 3-2] 청초호 유입수 조사지점

<표 3-3> 연도별 청초호 유입수 조사에 따른 오염부하량 및 유입수량

년도	지점	Flow CMS	COD kg/day	SS kg/day	T-N kg/day	T-P kg/day	TN/TP Ratio
2001	P1	1.476	336.072	410.821	1446.210	102.635	14.091
2002	P1	0.429	137.439	142.871	57.622	1.592	36.190

다. 유입오염부하량의 연간 변동 추이

2001년과 2002년의 조사기간에 분석한 오염부하량과 석호별 유역면적을 기초로 면적단위 유입 오염부하량을 산정하여 (표 3-4)에 제시하였다. 2001년 조사결과 청초호 유입하천으로부터의 유기물(COD)과 총질소의 비율이 상당히 높은 것으로

로 나타났으며, 경우가 다소 많았던 2002년도에는 영랑호의 부유고형물(SS) 유입 부하량이 높은 것으로 분석되었다.

<표 3-4> 연도별 단위면적당 유입부하량 분석결과

호명	년도	COD kg/km <sup>2</sup> /day	SS kg/km <sup>2</sup> /day	T-N kg/km <sup>2</sup> /day	T-P kg/km <sup>2</sup> /day	TN/TP Load Ratio
영랑호	2001	9.263	31.988	7.496	0.429	17.464
	2002	7.205	78.634	3.507	0.191	18.380
	Avg	8.234	55.311	5.502	0.310	17.922
청초호	2001	13.112	16.029	56.426	4.004	14.091
	2002	5.362	5.574	2.248	0.062	36.190
	Avg	9.237	10.802	29.337	2.033	25.140

호소별로 산정된 단위면적당 오염부하량과 평균 수질을 이용한 각 호소별 오염 특성을 분석하였다.(표 3-5),

<표 3-5> 영랑호, 청초호의 오염특성

호소명	체적부하량 (kg/m <sup>3</sup> )	평균 농도 (mg/L)	부하 대 농도비 (%)	내부부하율 (%)
영랑호	0.03	3.2	1.1	98.9
청초호	0.02	6.0	0.4	99.6

#### 라. 유달율

유역에서 발생하고 배출된 각종 오염물질이 호소로 유입하는 비율로서 유달율 분석을 실시한 결과를 (표 3-6)에 제시하였다. 항목별로는 총인의 유달율이 가장 낮았고, 총질소의 유달율이 가장 높은 것으로 나타났다.

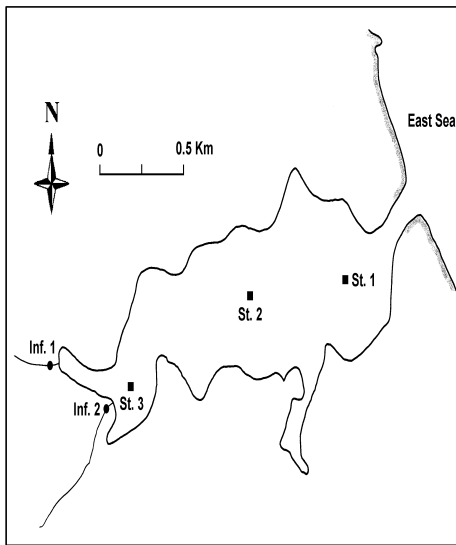
<표 3-6> 영랑호, 청초호의 오염물질에 대한 유달율(단위 : %)

호소명	BOD	SS	T-N	T-P
영랑호	5.2	9.2	17.4	1.5
청초호	3.3	6.3	16.4	2.9

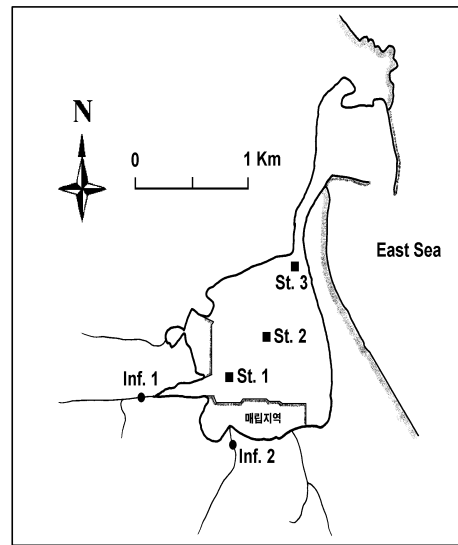
영랑호와 청초호의 내부부하율은 98.9~99.6%이고, 유달율은 1.5~17.4%로 조사됨에 따라 영랑호와 청초호는 외부 오염물질 유입에 따른 오염보다는 내부적인 요인에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

### 3.2. 수질 현황

2001년과 2002년 영랑호와 청초호를 대상으로 원주지방환경청에서 실시한 수질조사 지점은 (그림 3-3), (그림 3-4)에 나타내었으며, 결과는 항목별(수온, 수소이온농도, 용존산소량, 전기전도도 및 염분도, 화학적산소요구량, 투명도, 부유물질농도, 총질소 및 질산성질소, 암모니아성질소, 총인 및 용존무기인, 염록소.a)로 정리하였다.



[그림 3-3] 영랑호 시료채취 지점도



[그림 3-4] 청초호 시료채취 지점도



### 3.2.1. 수온(Temperature)

영랑호의 연평균 수온은 '98년에 21.5℃, '99년은 17.4℃, '00년은 17.2℃, '01년은 18.4℃, '02년은 16.4℃로 '02년에 수온이 다소 낮게 조사되었다(표 3-8). 수온 변화 범위는 '01년과 '02년에 각각 9.2~29.2, 6.7~24.0℃로 조사되었으며, 조사시기별 표층 수온은 '01년과 '02년 7월에 각각 28.7, 23.6℃로 가장 높았고, '02년 3월, 11월에 각각 8.9, 6.8℃로 가장 낮았다. 수심별 수온분포는 '02년 3월과 9월에 표층과 심층 수온이 유사하였으며, 5월과 7월에는 수온이 약 2~6℃정도 차이를 보였다(그림 3-6). 수온 수직 분포는 대부분 심층으로 내려갈수록 수온이 낮아지는 경향을 보였으나 11월에는 심층이 표층보다 수온이 높은 역전현상을 보였으며, 수온차이는 약 3~4℃로 조사되었다.

청초호의 연평균 수온은 '98년에 21.4℃ '99년은 16.6℃, '00년은 18.7℃, '01년은 16.9℃, '02년은 17.0℃로 조사되었다(표 3-8). 계절별 수온변화는 '01년과 '02년에 각각 8.4~25.4, 8.6~22.8℃로 '01년의 수온변화가 다른 해보다 다소 큰 것으로 조사되었다. 조사시기별 표층 수온은 '01년 7월과 '02년 9월이 각각 25.2, 22.6℃로 가장 높았고, '01년 3월과 '02년 11월이 각각 8.6, 9.6℃로 가장 낮았다. 청초호의 수온은 11월을 제외한 나머지 시기에 심층이 표층보다 낮았으며, 표층과 심층의 수온 차이는 약 1~6℃이었다(그림 3-7). 수심이 5m 내외인 정점 2, 3지점의 수온은 표층에 비해 심층이 약 6℃ 가량 낮았으며, 표층 수온이 낮은 11월에는 심층 수온이 1~3℃ 가량 더 높은 수온역전현상을 보였다.

### 3.2.2. 수소이온농도(pH)

영랑호의 연평균 표층 pH는 '99년에 8.87, '00년은 8.55, '01년은 8.35, '02년은 8.94로 조사되었다(표 3-8). 범위는 '01년, '02년에 각각 6.81~9.12, 5.63~10.17로 '02년에 pH 변화폭이 예년에 비해 비교적 컸다(그림 3-6). 조사지점별 pH 분포는 호소 중앙 부분인 정점 2지점이 다소 높은 경향을 보였다.

청초호의 연평균 표층 pH는 '99년에 8.10, '00년은 7.93, '01년은 7.91, '02년은 8.21로 조사되었다(표 3-8). 범위는 '01년, '02년에 각각 6.54~9.53, 5.96~9.89로 조사되었으며, '02년 5월에 정점 1지점이 9.89로 가장 높았고, 11월에 5.96으로 가장

낮게 조사되었다. 수심별 pH 분포는 표층 바로 아래 수심의 pH가 높은 현상을 보였다(그림 3-7).

### 3.2.3. 용존산소량(DO : Dissolved Oxygen)

영랑호의 연평균 표층 DO농도는 '98년에 12.1 mg/L, '99년은 10.3 mg/L, '00년은 11.1 mg/L, '01년은 12.4 mg/L, '02년은 8.5 mg/L로 예년에 비해 낮게 조사되었다(표 3-8). 농도범위는 '01년, '02년에 각각 7.4~24.9, 2.9~14.5 mg/L로 계절별로 큰 변화를 보였다.

조사시기별 표층 DO농도는 '01년, '02년 5월이 각각 20.1, 10.7 mg/L로 가장 높았고, '01년 9월, '02년 11월이 각각 7.9, 5.2 mg/L로 가장 낮았다.

수심별 DO농도는 심층으로 내려갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 특히 하절기인 7월과 9월에 정점 1, 2지점의 3m이하 수심에서 무산소 현상을 보였는데(그림 3-6), 이러한 현상은 매년 영랑호에서 발생하고 있다.

청초호의 연평균 표층 DO농도는 '98년에 13.9 mg/L, '99년은 10.1 mg/L, '00년은 10.3 mg/L, '01년은 10.4 mg/L, '02년은 11.5 mg/L로 조사되었다(표 3-8). 농도범위는 '01년, '02년에 각각 3.4~14.1, 1.4~15.3 mg/L로 계절별 농도변화가 매우 컸다.

조사시기별 표층 DO농도는 '01년과 '02년 5월이 각각 12.9, 15.3 mg/L로 가장 높았고, '01년 9월, '02년 7월에 각각 5.2, 1.4 mg/L로 가장 낮았다.

수심별 DO농도는 7월에 정점 1, 2지점의 심층 DO농도가 각각 2.9, 1.4 mg/L로 표층에 비해 7 mg/L이상 낮았으며, 9월에도 표층과 심층의 DO농도가 5 mg/L이상 차이를 보이는 화학성층이 형성되고 있었다(그림 3-7).

### 3.2.4. 전기전도도 및 염분도

영랑호의 연평균 전기전도도는 '02년에 10,440 $\mu$ S/cm로 '01년의 6,578 $\mu$ S/cm 보다 매우 높았고, 전기전도도의 범위는 '01년, '02년이 각각 3,613~13,853, 2,281~9,303  $\mu$ S/cm로 조사되었다(표 3-8). 조사기간 중 '01년 5월과 '02년 3월이 각각 13,843 $\mu$ S/cm, 9,238 $\mu$ S/cm로 가장 높았고, '01년 11월, '02년 7월이 각각 5,963, 5,579 $\mu$ S/cm로 가장 낮았다.

수심별 전기전도도와 염분도는 하절기인 7월과 9월에 3m이하 수심으로 내려가면서 높아지는 현상을 보였다(그림 3-6).

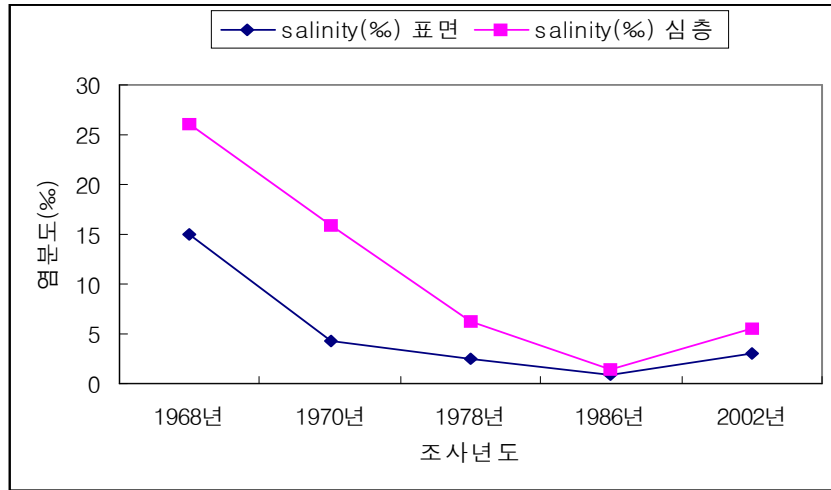
영랑호의 연평균 염분도는 '99년에 3.6%, '00년은 5.2%, '01년은 5.9%, '02년은 3.6%로 매년 유사한 분포를 보였다(표 3-8). 염분도 범위는 '01년, '02년에 각각 1.9~8.0, 1.2~5.2%로 조사되었으며, '01년 5월, '02년 3월이 각각 8.0, 5.2%로 가장 높았고, '01년 11월, '02년 9월이 각각 3.3, 1.2%로 가장 낮았다.

조 등(1969)에 의하면 영랑호의 연평균 염분이 표층에서 3m 까지는 수직적으로 별 차이가 없지만 3m 이하부터는 증가하여 6m 층에서는 25%의 수치가 나타난다고 하였다. 또한 여름철에는 해수의 유입이 많지만 겨울철에는 별로 없다고 하였다. 본 연구에서는 심층의 염분이 조 등(1969)의 연구에 비해 담수화가 상당히 진행되었음을 알 수 있으며, 계절적 변화는 유사한 것으로 보인다.

이 등(1987)에 의하면 표층에서 염분은 1960년대에 15%, 1970년대에 2.50~4.36%, 조사 당시에 0.78~1.12%로 급격히 염분이 낮아진다고 하였으며, 저층에서는 더욱 심하여 1960년대에 24~28%, 1970년대에 6.25~15.92, 조사 당시에 0.93~1.94%를 나타내어 영랑호는 기수호에서 담수호화 되었다고 하였다(표 3-7, 그림 3-5).

<표 3-7> 영랑호의 연도별 염분조사 자료

조사시기	salinity(‰)		조사자
	표면	심층	
1964.3-1968.8	15	24-28	Cho and Park(1969)
1970.8.22&23	4.36	15.92	Cho and Park(1975)
1978.8	2.50-2.52	6.25-6.41	Mitamura and Cho(1984)
1986.6-1986.8	0.78-1.12	0.93-1.94	Lee and Kwak(1987)
2002.7	2.9-3.2	3.7-7.6	원주지방환경청(2003)

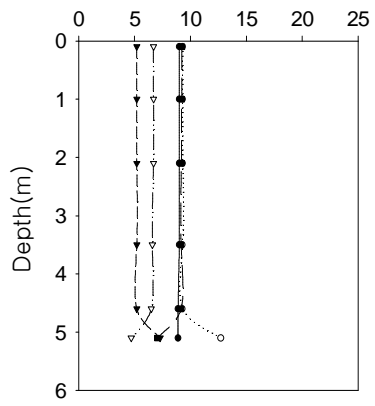


[그림 3-5] 영랑호의 연도별 염분변화 추이

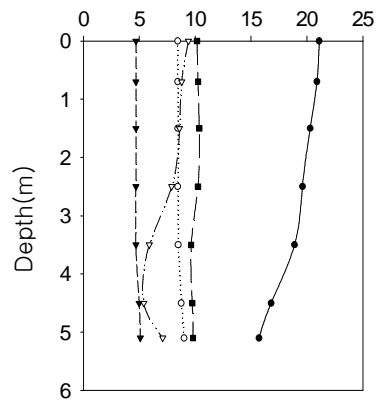
청초호의 연평균 전기전도도는 '01년 33,800 $\mu$ S/cm, '02년에 37,581 $\mu$ S/cm로 조사되었다(표 3-8). 전기전도도의 범위는 '01년, '02년에 각각 840~50,406, 8,439~48,150 $\mu$ S/cm로 조사되었으며, 조사기간 중 '01년 5월, '02년 11월이 각각 50,271, 47,503 $\mu$ S/cm로 가장 높았고, '01년 9월, '02년 7월이 각각 12,723, 24,087 $\mu$ S/cm로 가장 낮았다.

수심별 전기전도도와 염분도는 하절기인 7월과 9월에 표층에서 1m 사이에 급격히 감소하는 현상을 보였다(그림 3-7).

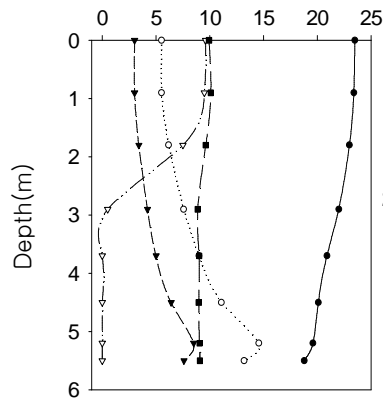
연평균 염분도는 '98년에 22.3%, '99년은 23.4%, '00년은 22.3%, '01년은 21.6%, '02년은 24.1‰로 다른 호소에 비해 비교적 높았고, 연도별 농도 변화가 적었다(표 3-8). 염분도 범위는 '01년, '02년에 각각 0.4~33.1, 6.8~31.2‰로 계절별 변화폭이 매우 큰 것으로 조사되었으며. '01년 5월, '02년 11월이 각각 33.0, 30.8‰로 가장 높았고, '01년 9월, '02년 7월이 각각 7.5‰, 14.9‰로 가장 낮았다. 허 등(1999)은 청초호의 경우 염분이 사계절 17.4~30.3‰로 높은 농도를 보여 해수와의 교환이 활발하다고 보고한 바 있다.



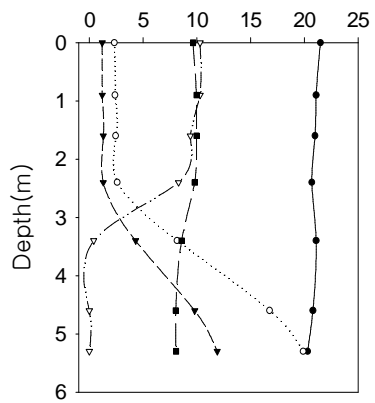
22. Mar.



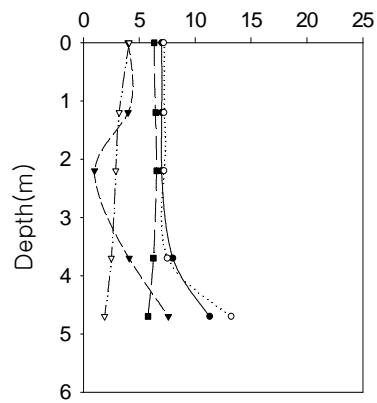
23. May



25. Jul.



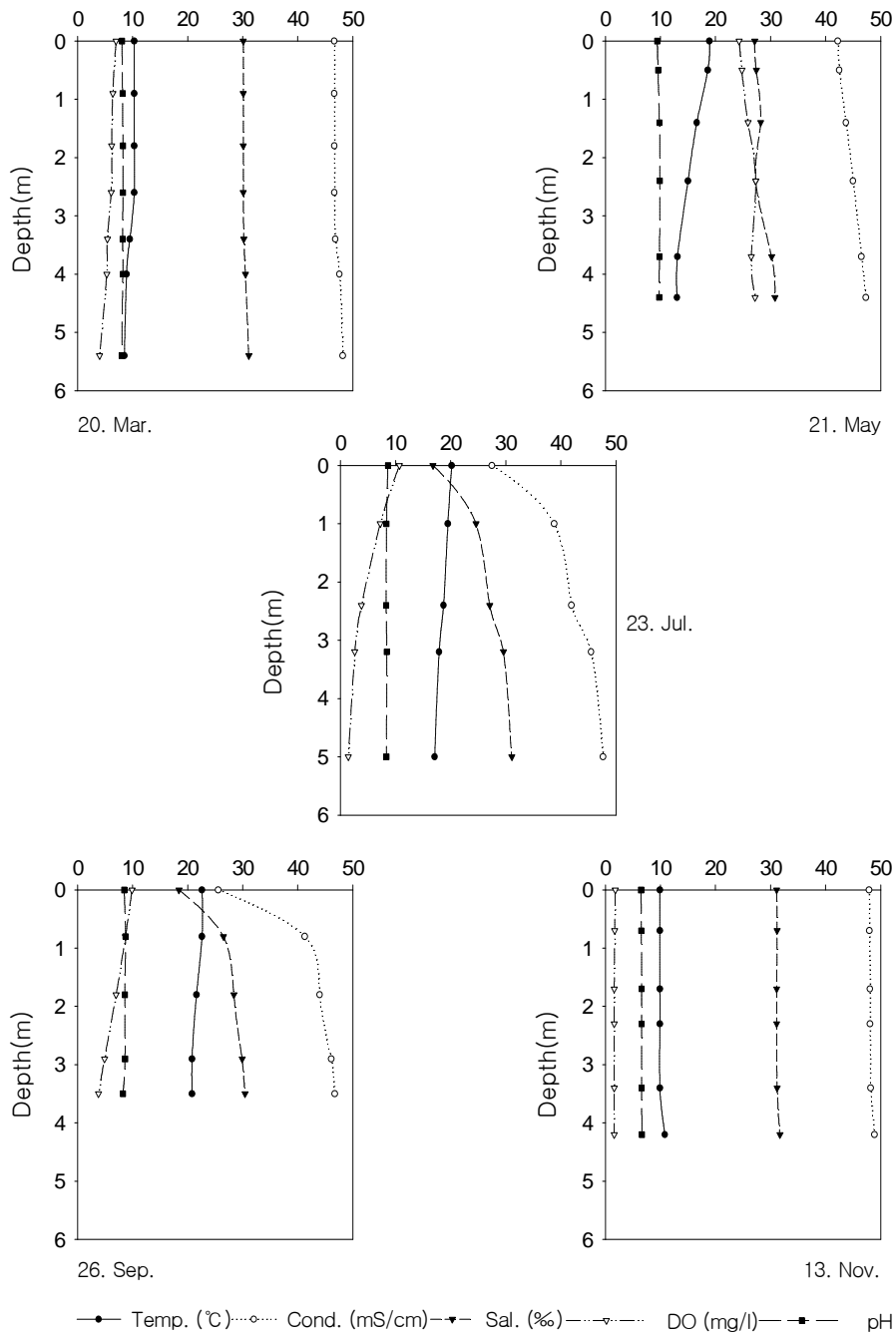
26. Sep.



13. Nov.

—●— Temp. (°C) —○— Cond. (mS/cm) —▽— Sal. (%) —◇— DO (mg/l) —■— pH

[그림 3-6] 영랑호의 수심별 농도 분포도(2002년, 정점2)



[그림 3-7] 청초호의 수심별 농도 분포도(2002년, 정점2)

### 3.2.5. 화학적산소요구량(COD)

영랑호의 연평균 COD농도는 '98년에 8.5mg/L, '99년은 3.8 mg/L, '00년은 5.6 mg/L, '01년은 3.8 mg/L, '02년은 5.1 mg/L로 호소수질기준 III등급으로 조사되었다(그림 3-8, 표 3-8). 농도범위는 '01년, '02년에 각각 2.0~6.3, 4.2~7.2 mg/L로 조사되었다.

조사시기별 COD농도는 '01년 3월, '02년 9월이 각각 5.2, 6.6 mg/L로 가장 높았고, '01년 7월, '02년 3월이 각각 2.7, 6.6 mg/L로 가장 낮았다.

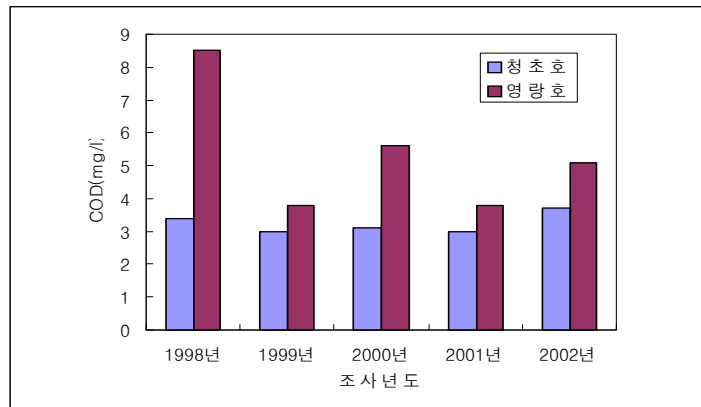
유입하천의 연평균 COD농도는 '01년에 3.4 mg/L, '02년은 3.8 mg/L이었으며, COD농도범위는 '01년, '02년에 각각 2.2~4.8, 1.6~4.9 mg/L로 조사되었다.

청초호의 연평균 COD농도는 '98년에 3.4 mg/L, '99년은 3.0 mg/L, '00년은 3.1 mg/L, '01년은 3.0 mg/L, '02년은 3.7 mg/L로 매년 유사한 농도분포를 보였으며(그림 3-8, 표 3-8), 호소수질기준 III등급으로 다른 호소에 비해 오염도가 낮은 것으로 조사되었다. 농도범위는 '01년, '02년에 각각 1.6~4.4, 2.0~7.2 mg/L로 조사되었다.

조사시기별 COD농도는 '01년 3월, '02년 7월이 각각 3.3, 4.7 mg/L로 가장 높았고, '01년 7월, '02년 11월이 각각 2.4, 2.6 mg/L로 가장 낮았다.

유입하천의 연평균 COD농도는 '01년에 2.1 mg/L, '02년은 3.5 mg/L였으며, 농도범위는 '01년, '02년에 각각 1.6~3.1, 2.7~4.6 mg/L로 조사되었다.

성장기 동안 평균 COD 농도는 청초호가 3.2 mg/L로 낮았으며, 영랑호는 5.6 mg/L로 청초호에 비해 다소 높았다(표 3-9).



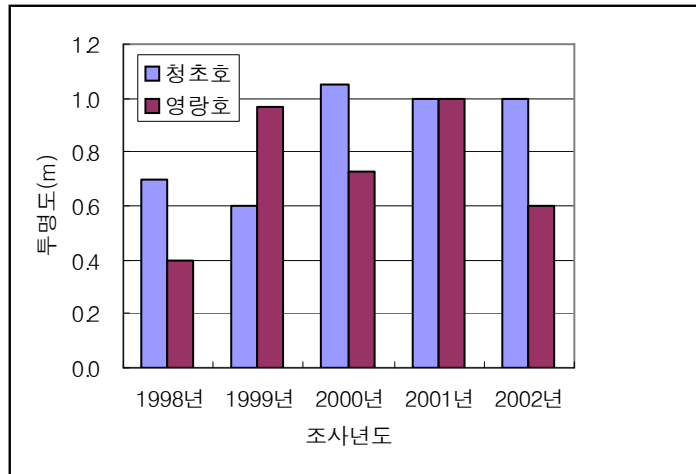
[그림 3-8] 연도별 COD 조사 결과

### 3.2.6. 투명도

영랑호의 연평균 투명도는 '02년에 0.6m로 조사되었다(그림 3-9, 표 3-8). 투명도 범위는 0.5~1.0m로 조사되었으며, 5월이 1.0m로 투명도가 가장 높았다.

청초호의 연평균 투명도는 '00년에 1.1m, '01년은 1.0m, '02년은 1.0m로 조사되었다(그림 3-9). '02년 투명도 범위는 0.5~1.4m로 비교적 높았고, 특히 7월에 정점 3지점의 투명도가 1.4m로 가장 높았고, 11월에는 0.5~0.6m로 가장 낮았다.

또한 성장기에는 투명도가 1.0m 내외의 낮은 값을 보이고 있어 매우 혼탁하였다(표 3-9).



[그림 3-9] 연도별 투명도 조사 결과

### 3.2.7. 부유물질농도(SS)

영랑호의 연평균 SS농도는 '98년에 7.5 mg/L, '99년은 9.4 mg/L, '00년은 26.2 mg/L, '01년은 9.7 mg/L, '02년 20.6 mg/L로 조사되었다(그림 3-10, 표 3-8). 농도범위는 '01년이 3.5~24.7 mg/L, '02년이 1.9~56.4 mg/L로 조사되었다. '01년 SS농도는 5월이 16.1 mg/L로 가장 높았고, 11월이 4.5 mg/L으로 가장 낮았다. '02년에는 3월이 44.7 mg/L로 가장 높았고, 5월이 4.6 mg/L로 가장 낮았다.



조사지점별 SS농도는 상류지역인 정점 3지점이 대체로 높았고(7.2~56.4 mg/L), 하류지점인 정점 1지점이 낮았다(3.4~47.0 mg/L). 또한 SS농도가 가장 높았던 3월은 전수역이 모두 높은 농도를 보였다(44.5~50.6 mg/L).

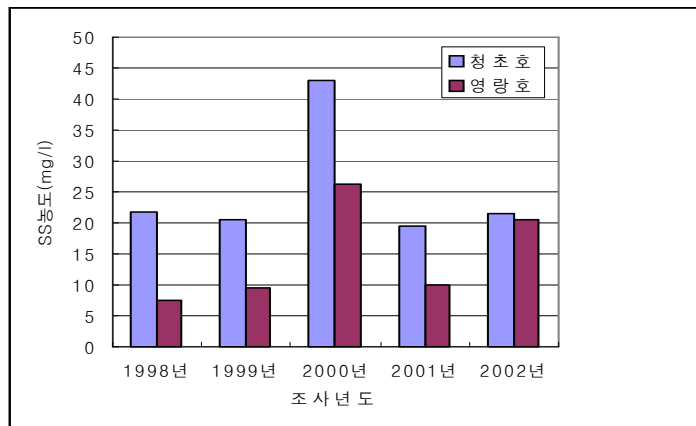
유입하천의 연평균 SS농도는 '01년에 16.3 mg/L, '02년은 19.9 mg/L로 다소 증가하였으며, SS농도범위는 '01년에 2.8~22.4 mg/L, '02년은 0.9~159.8 mg/L로 조사되었다.

청초호의 연평균 SS농도는 '98년에 21.8 mg/L, '99년은 20.4 mg/L, '00년은 43.1 mg/L, '01년은 19.4 mg/L, '02년은 21.8 mg/L로 예년과 비슷하였다(그림 3-10, 표 3-8). 농도범위는 '01년에 2.5~58.6 mg/L, '02년에 2.1~50.1 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도 분포는 '01년 5월이 37.0 mg/L로 가장 높았고, 11월이 3.4 mg/L로 가장 낮았으며, '02년에는 11월이 47.2 mg/L로 가장 높았고, 5월이 7.5 mg/L로 가장 낮았다.

수심별 SS농도분포는 9월에 정점 2지점의 표층 SS 농도가 16.3 mg/L였으나, 심층이 111.1 mg/L로 매우 높은 농도를 보였다.

유입하천의 연평균 SS농도는 '01년에 5.1 mg/L, '02년은 7.6 mg/L로 다소 증가하였으며, '02년 3월이 14.7 mg/L로 가장 높았고 7월이 0.6 mg/L로 가장 낮았다.

매년 여름 성장기의 부유물질(SS) 농도는 영랑호가 7.2~16.2 mg/L로 비교적 낮았으며, 청초호는 16.1~50.5 mg/L로 매우 높았다(표 3-9).



[그림 3-10] 연도별 SS 조사 결과

### 3.2.8. 총질소 및 질산성 질소, 암모니아성 질소의 농도(Total-Nitrogen, Nitrate Nitrogen, Ammonium Nitrogen)

영랑호의 연평균 T-N농도는 '99년에 1.730 mg/L, '00년은 1.420 mg/L, '01년은 1.806 mg/L, '02년은 1.492 mg/L로 예년에 비해 다소 감소하였으며(그림 3-11, 표 3-8), 농도범위는 '01년에 1.128~2.912 mg/L, '02년은 0.846~2.619 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도분포는 '02년 3월이 2.804 mg/L로 가장 높았고, 7월이 1.018 mg/L로 가장 낮았다.

수심별 농도분포는 표층과 심층이 비슷하였으며, 심층이 약간 높은 경향을 보였다. 특히 7월에는 표층이 1.014 mg/L를 보인 반면, 심층이 3.881 mg/L로 약 4배 가량 높은 농도를 보였다.

조사지점별 T-N농도 분포는 유입하천이 위치한 정점 3지점이 높은 경향을 보였으며(1.088~2.619 mg/L), 해안과 인접한 정점 1지점이 비교적 낮은 농도분포를 보였다(0.846~1.580 mg/L).

NO<sub>3</sub>-N의 연평균 농도는 '99년에 0.560 mg/L, '00년은 0.580 mg/L, '01년은 0.276 mg/L, '02년은 0.380 mg/L로 조사되었으며(그림 3-12, 표 3-8), 농도범위는 '01년에 0~0.896 mg/L, '02년은 0.069~0.610 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도분포는 '02년 3월이 0.588 mg/L로 가장 높았고, 7월이 0.129 mg/L로 가장 낮았다. 수심별 농도는 심층으로 내려갈수록 감소하는 경향을 보였다.

NH<sub>3</sub>-N의 연평균 농도는 '99년에 0.300 mg/L, '00년은 0.330 mg/L, '01년은 0.283 mg/L, '02년은 0.155 mg/L로 감소하는 경향을 보였다(그림 3-13, 표 3-8). 농도범위는 '01년에 0.025~0.865 mg/L, '02년은 0~0.681 mg/L로 조사되었으며, 조사시기별 농도분포는 '02년 11월이 0.561 mg/L로 가장 높았고, 7월이 0.011 mg/L로 가장 낮았다. 수심별 NH<sub>3</sub>-N농도는 심층으로 내려갈수록 증가하는 경향을 보였으며, 특히 T-N과 같이 7월에는 표층과 심층의 농도차가 크게 나타났다(표층: 0.029 , 심층: 2.073 mg/L).

유입하천의 연평균 T-N 농도는 '01년에 2.236 mg/L, '02년은 1.947 mg/L로 조사되었으며, 농도범위는 '01년에 0.282~4.025 mg/L, '02년은 0.284~3.320 mg/L로 조사되었다. 연평균 NO<sub>3</sub>-N농도는 01년에 1.699 mg/L, '02년은 1.395 mg/L였으며,

농도범위는 '01년에 0.180~3.007 mg/L, '02년은 0.124~2.221 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도분포는 '02년 3월이 1.865 mg/L로 가장 높았고, 5월이 0.802 mg/L로 가장 낮았다.

유입하천의 연평균 NH<sub>3</sub>-N농도는 '01년에 0.049 mg/L, '02년은 0.100 mg/L로 조사되었으며, 농도범위는 '01년에 0~0.100 mg/L, '02년은 0.021~0.525 mg/L로 조사되었다.

청초호의 연평균 T-N농도는 '99년에 2.100 mg/L, '00년은 1.370 mg/L, '01년은 1.845 mg/L, '02년은 1.401 mg/L로 감소하는 경향을 보였다(그림 3-11, 표 3-8). 농도범위는 '01년에 0.992~3.577 mg/L, '02년은 0.956~2.371 mg/L로 조사되었으며, 조사시기별 농도분포는 '02년 11월이 2.204 mg/L로 가장 높았고, 5월이 1.080 mg/L로 가장 낮았다. 조사지점별 농도분포는 정점 1지점이 다른지점에 비해 다소 높은 경향을 보였으며, 수심별 농도는 표층(0.956~2.371 mg/L)이 심층(0.511~1.126 mg/L)보다 높았다.

NO<sub>3</sub>-N의 연평균 농도는 '99년에 0.230 mg/L, '00년은 0.410 mg/L, '01년은 0.513 mg/L, '02년은 0.316 mg/L로 감소하는 경향을 보였으며(그림 3-12, 표 3-8), 농도범위는 '01년에 0.062~1.530 mg/L, '02년은 0.027~0.994 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도분포는 '02년 7월이 0.720 mg/L로 가장 높았고, 11월이 0.082 mg/L로 가장 낮았으며, 수심별 농도는 심층으로 내려갈수록 감소하는 경향을 보였다.

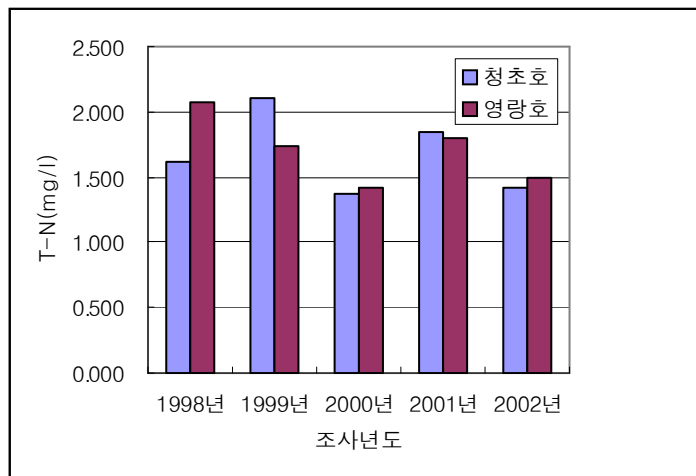
NH<sub>3</sub>-N의 연평균 농도는 '99년에 0.430 mg/L, '00년은 0.440 mg/L, '01년은 0.422 mg/L, '02년은 0.195 mg/L로 감소하는 경향을 보였다(그림 3-13, 표 3-8). 농도범위는 '01년에 0.112~1.682 mg/L, '02년은 0.069~0.461 mg/L로 조사되었으며, 조사시기별 농도분포는 '02년 9월이 0.359 mg/L로 가장 높았고, 11월이 0.131 mg/L로 가장 낮았다.

유입하천의 연평균 T-N 농도는 '01년에 2.045 mg/L, '02년은 1.930 mg/L로 예년과 유사하였으며, 농도범위는 '01년에 1.391~3.723 mg/L, '02년은 1.368~3.484 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도분포는 '02년 11월이 3.484 mg/L로 가장 높았고, 7월이 1.368 mg/L로 가장 낮았다.

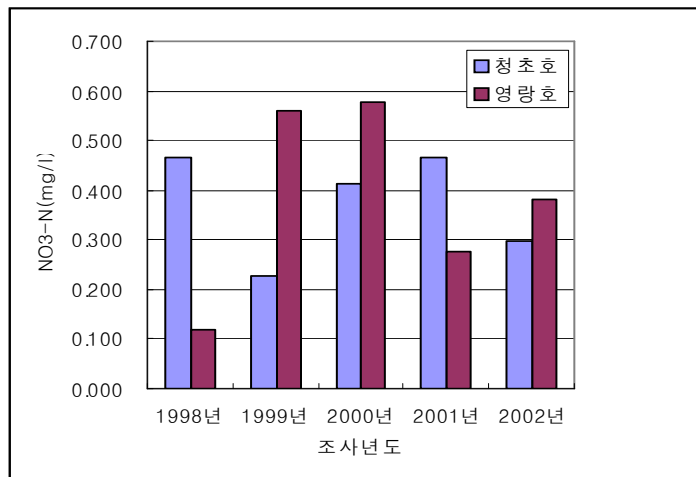
유입하천의 연평균 NO<sub>3</sub>-N농도는 01년에 1.086 mg/L, '02년은 1.022 mg/L로 다소 감소하는 경향을 보였으며, 농도범위는 '01년에 0.281~1.740 mg/L, '02년은 0.486~1.395 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도분포는 11월이 1.395 mg/L로 가장 높았고, 3월이 0.486 mg/L로 가장 낮았다.

유입하천의 연평균  $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도는 '01년에 0.635 mg/L, '02년은 0.436 mg/L로 조사되었으며, 농도범위는 '01년에 0.093~1.620 mg/L, '02년은 0.062~1.118 mg/L로 조사되었다.

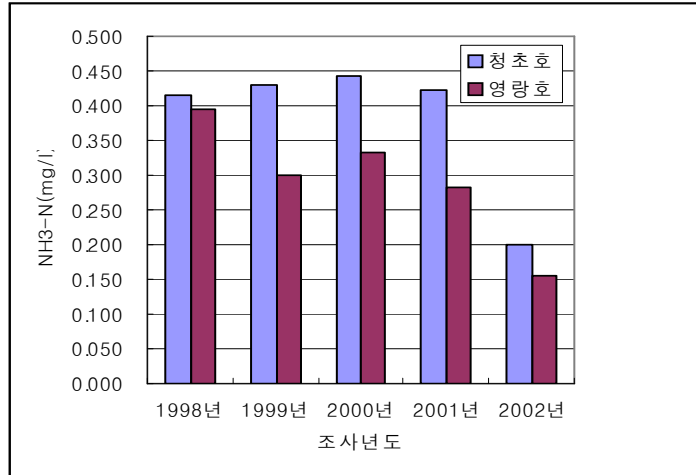
영랑호, 청초호의 총질소(T-N)는 성장기(5월~9월) 동안 표층 연평균 농도가 1.5 mg/L이상으로 높았다(표 3-9).



[그림 3-11] 연도별 T-N 조사 결과



[그림 3-12] 연도별 NO<sub>3</sub>-N 조사 결과



[그림 3-13] 연도별 NH<sub>3</sub>-N 조사 결과

### 3.2.9. 총인 및 용존무기인((Total-Phosphorous, Dissolved Inorganic Phosphorous)

영랑호의 연평균 T-P농도는 '99년에 0.084 mg/L, '00년은 0.046 mg/L, '01년은 0.111 mg/L, '02년은 0.058 mg/L로 예년과 비슷하였다(그림 3-14, 표 3-8). 농도범위는 '01년에 0.020~0.865 mg/L, '02년은 0.028~0.086 mg/L로 조사되었으며, 조사시기별 농도분포는 '02년 11월이 0.081 mg/L로 가장 높았고, 5월이 0.036 mg/L로 가장 낮았다.

수심별 농도분포는 심층이 표층에 비해 비교적 높은 농도를 보였으며, 특히 7월에는 표층과 심층이 각각 0.067 mg/L, 0.456 mg/L로 심층이 약 7배 높은 농도를 보였다. 조사지점별 농도분포는 유입하천에 영향을 많이 받는 정점 3지점의 T-P농도가 다소 높은 경향을 보였으며, 해수의 영향을 받는 정점 1지점이 비교적 낮았다.

DIP의 연평균 농도는 '99년에 0.006 mg/L, '00년은 0.012 mg/L, '01년은 0.015 mg/L, '02년은 0.009 mg/L로 조사되었다(그림 3-15, 표 3-8). 농도범위는 '01년에 0.001~0.062 mg/L, '02년은 0.003~0.066 mg/L로 조사되었으며, 조사시기별 농도분포는 '02년 7월이 0.027 mg/L로 가장 높았고, 9월이 0.003 mg/L로 가장 낮았다.

유입하천의 연평균 T-P 농도는 '01년에 0.136 mg/L, '02년은 0.073 mg/L로 조

사되었다. 농도범위는 '01년에 0.004~0.584 mg/L, '02년은 0.007~0.174 mg/L로 조사되었으며, 조사시기별 농도분포는 '02년 5월이 0.174 mg/L로 가장 높았고, 11월이 0.023 mg/L로 가장 낮았다.

유입하천수의 연평균 DIP농도는 '01년에 0.026 mg/L, '02년은 0.028 mg/L로 비슷하였으며, 농도범위는 '01년에 0.002~0.098 mg/L, '02년은 0.002 ~0.107 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도분포는 '02년 5월이 0.056 mg/L로 가장 높았고, 9월이 0.006 mg/L로 가장 낮았다.

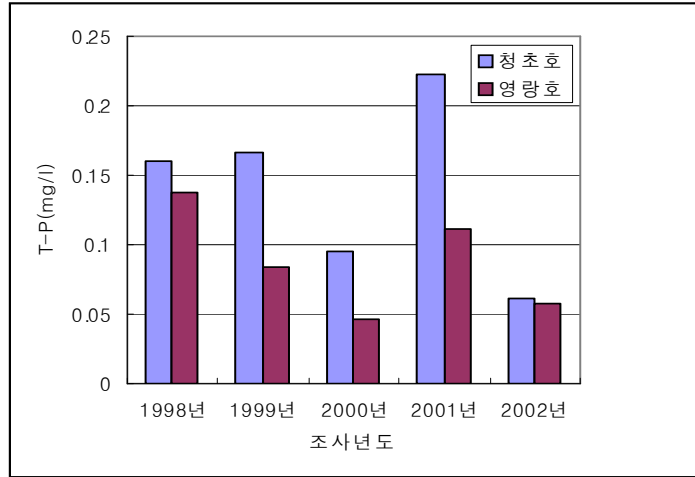
청초호의 연평균 T-P농도는 '99년에 0.166 mg/L, '00년은 0.095 mg/L, '01년은 0.222 mg/L, '02년은 0.061 mg/L로 예년에 비해 낮은 농도로 조사되었다(그림 3-14, 표 3-8). 농도범위는 '01년에 0.032~0.962 mg/L, '02년은 0.044~0.094 mg/L로 조사하였으며, 조사시기별 농도분포는 '02년 7월이 0.064 mg/L로 가장 높았고, 5월이 0.057 mg/L로 가장 낮았다.

DIP의 연평균 농도는 '99년에 0.065 mg/L, '00년은 0.054 mg/L, '01년은 0.047 mg/L, '02년은 0.011 mg/L로 해마다 감소하였다(그림 3-15, 표 3-8). 농도범위는 '01년에 0.005~0.208 mg/L, '02년은 0.003~0.029 mg/L로 조사되었으며, 조사시기별 농도분포는 '02년 3월이 0.023 mg/L로 가장 높았고, 7월이 0.005 mg/L로 가장 낮았다.

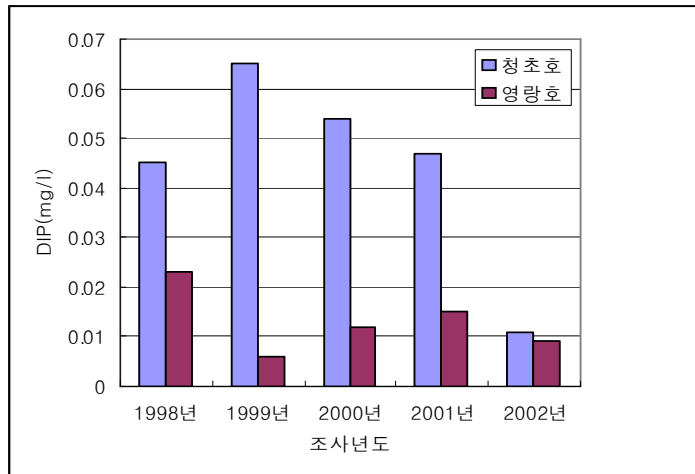
유입하천의 T-P 연평균 농도는 '01년에 0.152 mg/L, '02년은 0.130 mg/L조사되었으며, 농도범위는 '01년에 0.012~1.094 mg/L, '02년은 0.030 ~0.211 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도분포는 '02년 3월이 0.076 mg/L로 가장 높았고, 11월이 0.211 mg/L로 가장 낮았다.

유입하천의 DIP농도는 '01년에 0.035 mg/L, '02년은 0.053 mg/L로 조사되었으며, 농도범위는 '01년에 0.008~0.069 mg/L, '02년은 0.008~0.205 mg/L로 조사되었다. 조사시기별 농도분포는 '02년 3, 7월이 0.021 mg/L로 가장 높았고, 5월이 0.008 mg/L로 가장 낮았다.

영랑호와 청초호의 총인(T-P)과 용존무기인(DIP)은 강수량이 많은 우기가 비교적 높았다(표 3-8). '02년 조사기간 중 성장기 총인 농도의 분포는 0.050 mg/L내외로 유사하였다. '02년 성장기 평균 총인 농도는 예년에 비해 다소 낮게 조사되었다(표 3-9).



[그림 3-14] 연도별 T-P 조사 결과



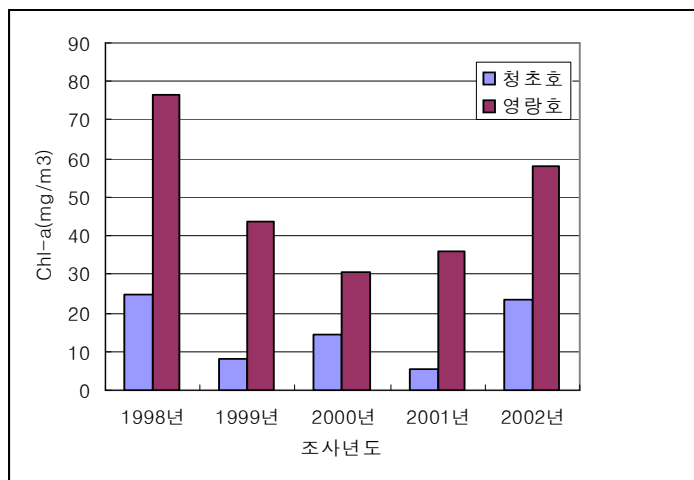
[그림 3-15] 연도별 DIP 조사 결과

### 3.2.10. 엽록소 a (Chlorophyll a)

영랑호의 Chl-a 연평균 농도는 '99년에 43.5 mg/m<sup>3</sup>, '00년은 30.5 mg/m<sup>3</sup>, '01년은 35.8 mg/m<sup>3</sup>, '02년은 58.1 mg/m<sup>3</sup>로 조사되었다(그림 3-16, 표 3-8). 조사시기별

농도분포는 '02년 3월이 101.1 mg/m<sup>3</sup>로 가장 높았고, 7월이 19.5 mg/m<sup>3</sup>로 가장 낮았다.

청초호의 Chl-a 연평균 농도는 '99년에 8.3 mg/m<sup>3</sup>, '00년은 14.4 mg/m<sup>3</sup>, '01년은 5.3 mg/m<sup>3</sup>, '02년은 23.1 mg/m<sup>3</sup>로 조사되었다(그림 3-16, 표 3-8). 조사시기별 농도 분포는 '02년 11월이 61.5 mg/m<sup>3</sup>로 가장 높았고, 3월이 7.9 mg/m<sup>3</sup>로 가장 낮았다.



[그림 3-16] 연도별 Chl-a 조사 결과



<표 3-8> 영랑호, 청초호 월별 수질자료(2001, 2002, 모든 지점의 평균치)

구분	Month	Temp (℃)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	Sal (‰)	Cond (mS/cm)	pH	SD (m)	SS (mg/l)
영랑호	Mar.	9.4	15.9	5.3	7.7	13.4	8.49	0.5	13.2
	May	19.9	20.1	4.2	8.0	13.8	8.71	0.4	16.1
	Jul.	28.7	8.6	2.5	6.1	10.9	8.96	0.6	9.1
	Sep.	23.1	7.9	3.8	4.5	8.2	8.45	0.7	7.5
	Nov.	11.1	9.5	3.0	3.3	6.0	7.13	0.5	4.5
	'01 avg.	18.4	12.4	3.8	5.9	10.4	8.35	0.5	9.6
	Mar.	8.9	6.7	4.5	5.2	9.2	9.37	0.5	44.7
	May	21.2	10.7	4.9	4.7	8.4	9.79	1.0	4.6
	Jul.	23.6	9.3	4.9	3.0	5.6	9.67	0.5	10.4
	Sep.	21.6	10.3	6.6	1.2	2.4	9.77	0.5	28.8
	Nov.	6.8	5.2	4.6	4.0	7.3	6.09	0.7	14.7
	'02 avg.	16.4	8.5	5.1	3.6	6.6	8.94	0.6	20.6
청초호	Mar.	8.6	12.1	3.3	31.5	48.7	7.61	1.3	36.9
	May	17.8	12.9	3.2	33.0	50.3	7.57	1.3	37.0
	Jul.	25.2	10.8	2.4	25.7	40.2	8.35	0.9	14.0
	Sep.	22.6	5.2	2.8	7.5	12.7	8.72	1.3	5.8
	Nov.	10.2	10.8	3.1	10.6	17.2	7.30	0.2	3.4
	'01 avg.	16.9	10.4	3.0	21.6	33.8	7.91	1.0	19.4
	Mar.	10.3	7.5	4.4	30.0	46.5	8.07	0.9	7.2
	May	19.6	24.3	3.6	26.6	41.4	9.29	1.2	7.5
	Jul.	20.0	10.0	4.7	14.9	24.1	8.48	1.1	26.8
	Sep.	22.5	9.7	2.9	21.5	33.1	8.43	1.0	19.3
	Nov.	9.6	2.4	2.6	30.8	47.5	6.42	0.6	47.2
	'02 avg.	17.0	11.5	3.7	24.1	37.6	8.21	1.0	21.8

<표 3-8> 계속

구분	Month	T-P mg/ℓ	DIP mg/ℓ	T-N mg/ℓ	NO <sub>3</sub> -N mg/ℓ	NH <sub>3</sub> -N mg/ℓ	Chl-a mg/m <sup>3</sup>
영랑호	Mar.	0.075	0.014	2.457	0.365	0.608	41.2
	May	0.070	0.001	1.793	0.040	0.310	105.9
	Jul.	0.037	0.012	1.809	0.073	0.032	8.1
	Sep.	0.082	0.015	1.409	0.225	0.171	20.7
	Nov.	0.293	0.035	1.563	0.676	0.293	3.0
	'01 avg.	0.111 (0.020~ 0.865)	0.015 (0.001~ 0.062)	1.806 (1.128~ 2.912)	0.276 (0.000~ 0.896)	0.283 (0.025~ 0.865)	35.8 (1.8~ 159.3)
	Mar.	0.058	0.006	2.084	0.588	0.094	101.1
	May	0.036	0.005	1.051	0.212	0.049	21.2
	Jul.	0.071	0.027	1.018	0.129	0.011	19.5
	Sep.	0.045	0.003	1.408	0.537	0.060	75.7
	Nov.	0.081	0.004	1.899	0.433	0.561	72.8
	'02 avg.	0.058 (0.028~ 0.086)	0.009 (0.003~ 0.066)	1.492 (0.846~ 2.619)	0.380 (0.069~ 0.610)	0.155 (0.000~ 0.681)	58.1 (15.0~ 102.6)
청초호	Mar.	0.051	0.037	1.498	0.096	0.300	7.2
	May	0.133	0.014	2.068	0.292	0.236	10.8
	Jul.	0.164	0.037	1.470	0.000	0.779	3.0
	Sep.	0.147	0.088	2.194	0.890	0.531	4.3
	Nov.	0.616	0.060	1.996	1.048	0.264	1.5
	'01 avg.	0.222 (0.032~ 0.962)	0.047 (0.005~ 0.208)	1.845 (0.922~ 3.577)	0.465 (0.000~ 1.530)	0.422 (0.112~ 1.682)	5.3 (0.6~ 18.9)
	Mar.	0.060	0.023	1.369	0.161	0.223	7.9
	May	0.057	0.010	1.080	0.122	0.132	10.6
	Jul.	0.064	0.005	1.473	0.720	0.160	16.9
	Sep.	0.062	0.011	2.024	0.403	0.359	19.3
	Nov.	0.063	0.007	1.113	0.082	0.131	61.5
	'02 avg.	0.061 (0.044~ 0.094)	0.011 (0.003~ 0.029)	1.401 (0.956~ 2.371)	0.316 (0.027~ 0.994)	0.195 (0.069~ 0.461)	23.1 (4.6~ 67.1)

<표 3-9> 5~9월까지 성장기동안 표층에서의 연간 수질자료(1998~2002)

구 분	Year	Temp. ℃	DO mg/ℓ	COD mg/ℓ	Sal. ‰	Cond. mS/cm	pH	SD m	SS mg/ℓ
영랑호	'98	24.7	12.3	9.8	1.1	1.7	10.1	0.3	8.3
	'99	23.1	10.8	3.3	3.4	6.3	8.8	1.2	7.2
	'00	23.0	11.6	5.6	5.0	8.8	9.2	0.7	16.2
	'01	23.9	12.2	3.6	6.2	11.0	8.7	0.6	10.9
	'02	22.1	10.1	5.5	3.0	5.5	9.7	0.7	14.6
	Mean	23.4	11.4	5.6	3.1	5.6	9.3	0.7	11.4
청초호	'98	23.5	14.5	3.2	22.5	34.1	8.6	0.6	19.4
	'99	21.1	12.4	2.8	23.4	36.7	8.3	0.9	16.1
	'00	21.3	10.6	3.2	23.1	35.9	8.1	1.1	50.5
	'01	21.9	9.6	2.8	22.1	34.4	8.2	1.2	19.0
	'02	20.6	15.0	3.8	21.0	32.8	8.8	1.1	17.7
	Mean	21.7	12.4	3.2	22.4	34.8	8.4	1.0	24.5

<표 3-9> 계속

구분	Year	T-P mg/ℓ	DIP mg/ℓ	T-N mg/ℓ	NO <sub>3</sub> -N mg/ℓ	NH <sub>3</sub> -N mg/ℓ	Chl-a mg/m <sup>3</sup>	TN/TP
영랑호	'98	0.149	0.029	1.999	0.032	0.171	96.6	13
	'99	0.062	0.004	1.526	0.507	0.159	14.9	25
	'00	0.041	0.013	1.166	0.435	0.131	36.4	28
	'01	0.063	0.009	1.670	0.113	0.171	44.9	27
	'02	0.051	0.012	1.159	0.293	0.040	38.8	23
	Mean	0.073	0.013	1.504	0.276	0.134	46.3	21
청초호	'98	0.166	0.050	1.601	0.339	0.358	27.5	10
	'99	0.165	0.045	2.051	0.191	0.343	11.6	12
	'00	0.094	0.052	1.356	0.371	0.409	13.7	14
	'01	0.148	0.046	1.911	0.474	0.515	6.0	13
	'02	0.061	0.009	1.490	0.416	0.207	15.3	24
	Mean	0.127	0.040	1.682	0.358	0.366	14.8	13

### 3.4. 석호의 부영양화도

#### 3.4.1. 빈영양호와 부영양호의 비교

식물플랑크톤의 양이 많고 혼탁한 호수를 영양이 풍부하다는 뜻에서 부영양호(富營養湖 eutrophic lake)라 하고 식물플랑크톤이 적고 맑은 호수를 빈영양호(貧營養湖 oligotrophic lake)라 부른다. 또 빈영양호가 수질오염에 의해 부영양호로 변하는 현상을 부영양화(富營養化 eutrophication)라 한다(허 등, 1999).

호수물의 맑기는 흙탕물이 유입된 홍수기를 제외하고는 식물플랑크톤의 양에 의해 좌우된다. 식물플랑크톤이 많은 물은 물이 혼탁하게 되며, BOD, 수중산소의 양을 비롯한 수질화학적 특성뿐만 아니라 어류의 양도 좌우하므로 부영양화도는 호수의 특성을 규정짓는 가장 중요한 인자이다.

부영양호와 빈영양호의 항목별 특성을 아래 (표 3-10)에 제시하였다.

<표 3-10> 빈영양호와 부영양호의 비교

특성	빈영양호	부영양호
물의 투명도	맑다	혼탁하다
Secchi disc 투명도	투명도 2m이상	투명도 2m이하
물의 색	검푸른색	연록색, 초록색, 갈색
수심	깊다	얕다
식물플랑크톤의 양	적다. 엽록소a농도 7 mg/m <sup>3</sup> 이하	많다 엽록소a농도 7 mg/m <sup>3</sup> 이상
식물플랑크톤 우점종의 종류	규조류, 와편모조류	남조류, 녹조류
수중 영양염류(P,N)의 농도	인(磷)농도 25 mg/m <sup>3</sup> 이하	인농도 25 mg/m <sup>3</sup> 이상
동물플랑크톤의 양	적다	많다
여름 성층기의 심층산소	충분하다	적거나 고갈되기도 한다
저서동물의 양과 종류	양은 적으나 다양하다	양은 많으나 종류수가 적다
어류의 양	적다	많다
어류의 종류	계류어, 냉수어종 (송어, 열목어 등 연어과)	온수어종 (잉어, 붕어 등 잉어과)

자료 : 김범철, 2000

### 3.4.2. 부영양화 판정지수의 비교

Carlson(1977)은 투명도와 엽록소 a 농도와의 관계, 엽록소 a 농도와 총인 농도와의 관계를 서로 관련지어 투명도를 기준으로 하는 연속적인 부영양화도지수(TSI)를 개발하였다. Carlson 지수는 수중懸탁물질의 대부분이 식물플랑크톤이라고 가정하였으나, 다른 여러 연구에서는 조류이외의 물질에 의한 흡광계수가 조류에 비하여 결코 무시될 수 없는 값이라는 것을 보여주었다. Aizaki 등(1981)은 투명도를 기준으로 한 지수 대신 엽록소 a 농도를 기준으로 한 수정 Carlson 지수(TSI<sub>m</sub>)를 만들었다.

부영양화도 지수에 따른 호소의 영양상태 판정을 살펴보면, 각 TSI중 조류량을 직접적으로 표현하는 부영양화도 지수로서는 TSI(엽록소 a)이다. 부영양화도 지수는 3가지 독립된 단계(엽록소 a 농도, 투명도, 총인 농도)에서 계산이 가능한 점에서 목적에 알맞은 적당한 지수선택이 가능하며 3가지 단계를 모두 이용할 수 있다. 부영양화도 판정을 위해 선택된 매개변수를 <표 3-11>와 비교하여 조사된 호소의 부영양화도를 결정한다.

<표 3-11> 부영양화지수(TSI)를 이용한 호소의 부영양화도 판정표 (Kratzer and Brezonik, 1981)

부영양화지수(TSI)	호소의 영양상태
< 20	극빈영양
30~40	빈영양
45~50	중영양
53~60	부영양
> 70	과영양

자료 : 한국육수학회, 2001

일반적으로 부영양화도를 판정하는 기준으로 겨울을 포함한 연평균치나 연간최대치를 사용하는 Vollenweider와 Kerekes(1981)방법이 있으며, 6월부터 9월까지 여름기간의 평균값을 사용하는 Forsberg와 Ryding(1980)이 제안한 방법이 있다(표 3-12).

OECD에서 제시한 영양도 구별에 따른 판정은 (표 3-13)과 같다. 이중 「투명도 연평균치」와 연간 투명도의 최소치의 판정은 호소가 과부영양호 상태로 조사되었다. 이는 대부분의 석호가 1m내외의 낮은 수심으로 투명도가 OECD기준에 적용되지 못하므로 큰 의미는 없을 것으로 사료된다.

그러나 T-P의 연평균치나 Chl-a의 연평균치는 어느 정도 판정을 내릴 수 있었으며, '02년의 연평균 T-P에 의한 영양도 판정결과는 부영양호로 판정되었다.

'02년 연평균 Chl-a와 년 최대 피크 Chl-a에 의한 영양도 판정은 청초호가 부영양호로 판정되며, 영양호는 과부영양호로 조사되었다(표 3-14).

<표 3-12> T-N, T-P, Chl-a량과 투명도에 의한 영양도 구별(6~9월 평균치)

Total state	T-N ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	T-P ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Chl-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Transparency (m)
Oligotrophic	400	15	3	4
Mezotrophic	400~600	15~25	3~7	25~40
Eutrophic	60~1500	25~100	7~40	1.0~2.5
Hypertrophic	1500	100	40	1.0

<표 3-13> OECD가 제시한 T-P와 Chl-a량 투명도에 의한 영양도의 구별

Trophic Category	[T-P] $\lambda$ ( $\mu\text{g}/\ell$ )	$\overline{[\text{Chl-a}]}$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	max [Chl-a] ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\overline{[\text{Sec}]}$ (m)	min [Sec] (m)
Ultra-oligotrophic	$\leq 4.0$	$\leq 1.0$	$\leq 22.5$	$\geq 12.0$	$\geq 6.0$
Oligotrophic	$\leq 10.0$	$\leq 2.5$	$\geq 8.0$	$\geq 6.0$	$\geq 3.0$
Mesotrophic	10-35	2.5-8	8-25	3-6	1.5-3
Eutrophic	35-100	8-25	25-75	1.5-3	0.7-1.5
Hypertrophic	$\geq 100$	$\geq 25$	$\geq 75$	$\leq 1.5$	$\leq 0.7$

주) [T-P] $\lambda$  : T-P의 연평균

[Sec] : 투명도의 연평균치

$\overline{[\text{Chl-a}]}$  : Chl의 연평균치

$\frac{\min}{[\text{Sec}]}$  : 연간 투명도의 최소치

$\frac{\max}{[\text{Chl-a}]}$  : Chl의 피크치

<표 3-14> OECD 기준에 따른 호소별 영양도 판정표(2002)

호 소 명	[T-P] $\lambda$ ( $\mu\text{g}/\ell$ )	$\overline{[\text{Chl-a}]}$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	max [Chl-a] ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\overline{[\text{Sec}]}$ (m)	min [Sec] (m)
영 랑 호	E	H	H	H	H
청 초 호	E	E	E	H	H

주)H : Hypertrophic(과부영양호)

E : Eutrophic(부영양호)

M : Mesotrophic(중영양호)

O : Oligotrophic(빈영양호)

Chl-a농도는 계절에 따라 많은 변화를 보였다. U.S. EPA(1976)에서는 Chl-a농도가 10mg/m<sup>3</sup>이상이면 부영양호로 분류하고 있으며, Forsberg와 Ryding(1980)은 40mg/m<sup>3</sup> 이상을 과부영양호로 분류하고 있다. 따라서 이들의 분류에 따르면 동해안 석호는 대부분 과부영양호이거나 그 이상의 수준인 것으로 판단된다.

동해안 석호의 유역면적 대 호소 면적비(drainage area/surface area; Da/Sa)를 보면 청초호가 19, 영랑호가 8이었다(표 3-15). 허 등(1999)은 호소의 유역면적이 넓으면 넓을 수록 인부하량이 질소부하량에 비해 상대적으로 증가한다고 하였으며, 호소의 Da/Sa 비와 호소내의 TN/TP비가 관련이 있다고 하였다. 본 연구에서 다연간의 자료를 토대로 검토해 볼 때, 호소내 TN/TP비는 Da/Sa비 외에도 다른 요인에 영향을 받는 것으로 추측된다. 특히 김 등(2003)은 동해안 석호는 호소 내부 오염부하 발생량이 93%이상이라고 밝힌 바 있어 오염특성이 다른 호소들과 다소 차이를 보이고 있다.

호소의 TSI 계산에 사용된 자료(SD, Chl-a, T-P)는 (표 3-16)에 제시하였으며, TSI는 하계 평균치를 사용하는 지수이므로 본 연구에서는 식물플랑크톤의 성장시기를 고려하여 5~9월까지 평균 자료를 사용하였다. 투명도의 경우 일반적으로 식물플랑크톤 이외의 무기현탁물에 의한 부분은 제외시키는 것이 바람직하나

본 연구의 대상 호소들은 수심이 얇고 수체가 적은 석호의 특성상 부유물질이 많은 반면에 식물플랑크톤의 밀도도 높아 무기부유물질이 많은 자료들만을 제외시키기 어려워(허 등, 1999) 모든 자료를 정상적으로 사용하였다.

<표 3-15>에 제시된 자료를 이용하여 계산한 TSI는 <표 3-16>과 같다. 각 호소들의 평균 TSI를 보면 약 60~70의 범위로 낮았다. 또한 TSI는 연도별 뚜렷한 변화 없이 매년 유사하였다. 한강수계 인공호의 TSI는 1987년에는 45~50정도로 보고되었으며(김 등, 1988), 낙동강 수계는 본류의 경우 60~80정도로 밝힌 바 있다(허 등, 1995). 따라서 동해안 석호의 경우 낙동강 본류와 유사한 영양상태를 보이는 것으로 판단된다.

<표 3-15> 5~9월까지 성장기동안 호소 영양도 판정 계수

구 분	D <sub>a</sub>	S <sub>a</sub>	D <sub>a</sub> /S <sub>a</sub>	Z <sub>m</sub>	Year	SD	SS	T-P	T-N	TN/TP	Chl	D <sub>phy</sub>
영랑호	8.23	1.045	8	8.0	1998	0.3	8.3	0.149	1.999	16	96.5	<i>Oscillatoria sp.</i>
					1999	1.2	7.2	0.062	1.526	28	14.9	<i>Cryptomonas sp.</i>
					2000	0.7	16.2	0.041	1.166	40	36.3	<i>Oscillatoria sp.</i>
					2001	0.6	10.9	0.063	1.670	31	44.9	<i>Oscillatoria sp.</i>
					2002	0.7	14.6	0.051	1.159	25	38.8	<i>Phormidium sp.</i>
청초호	25.63	1.362	19	5.0	1998	0.6	19.4	0.166	1.601	13	30.0	<i>Microspora sp.</i>
					1999	0.9	16.1	0.165	2.051	15	11.6	<i>Euglena sp.</i>
					2000	1.1	50.5	0.093	1.356	21	13.8	<i>Melosira sp.</i>
					2001	1.2	19.0	0.148	1.911	13	6.0	<i>Gymnodinium sp.</i>
					2002	1.1	17.8	0.061	1.526	25	15.6	<i>Chaetocerus sp.</i>

주) D<sub>a</sub> : 호소의 유역면적(km<sup>2</sup>)

S<sub>a</sub> : 호소의 수면적(km<sup>2</sup>)

Z<sub>m</sub> : 수심(m)

SD : 투명도(m)

SS : 부유성 부유물질( mg/L)

T-P : 총인 농도(mgP/ℓ)

T-N : 총질소 농도(mgN/ℓ)

Chl : 클로로필 농도(mg/3m<sup>3</sup>)



<표 3-16> 영랑호, 청초호의 부영양화 지수(TSI)

구 분	Year	TSI			Average
		T-P	SD	Chl-a	
영랑호	1998	76	77	75	76
	1999	64	58	57	60
	2000	58	66	66	63
	2001	64	68	77	70
	2002	61	66	75	67
청초호	1998	78	68	64	70
	1999	78	62	55	65
	2000	70	59	56	62
	2001	76	58	57	64
	2002	63	59	67	63

### 3.5. 생태계 현황

#### 3.5.1. 동·식물성 플랑크톤

##### 가. 동물성 플랑크톤

2000년의 경우 생물량이 최대였던 시기의 우점종은 영랑호가 윤충류인 *Keratella cochlearis*였으며, 청초호는 *Conochilus unicornis* 였다(표 3-17). 또한 이시기에 출현한 윤충류는 담·기수종이었으며, 높은 수온에 내성을 갖는 종으로 우점을 차지한 것으로 사료된다.

<표 3-17> 영랑호, 청초호의 동물플랑크톤 우점종

구분	3월	5월	7월	9월	11월
영랑호	<i>Conochilus unicornis</i>	<i>Diffugia</i> sp.	<i>Filinia longiseta</i>	<i>Monostyla closterocerca</i>	<i>Diffugia globulosa</i>
	<i>Keratella cochlearis</i>	<i>Keratella cochlearis</i>	<i>Keratella cochlearis</i>	<i>Keratella cochlearis</i>	<i>Monostyla closterocerca</i>
청초호	<i>Conochilus unicornis</i>	<i>Conochilus unicornis</i>	<i>Brachionus</i> sp.	<i>Monostyla opias</i>	Nauplius of copepoda
		<i>Diffugia</i> sp.		<i>Monostyla closterocerca</i>	<i>Monostyla closterocerca</i>

자료 : 허우명(2002)

##### 나. 식물성 플랑크톤

식물플랑크톤의 우점종을 보면 1998년의 경우 청초호에서 Chlorophyta속의 *Microspora* sp.가 우점종이었으며, 영랑호는 Cyanophyta속의 *Oscillatoria* sp.가 우점종으로 나타났다. 청초호의 경우 1995년 3월에는 *Peridinium* spp.(속초시, 1995), '96년 10월에는 *Chaetoceros* sp.(전 등, 1996), '97년 2월에는 *Euglena* sp.가 우점종으로 출현한 바 있다(속초시, 1997). '99년의 경우는 '98년과 달리 대부분의 호수에서 Euglenophyta 의 생물량이 많았으며, 계절별로 우점종이 변하고 있는 것으로 나타났다. 영랑호는 1993년에 남조류인 *Microcystis* sp.와 *Oscillatoria* sp.가 우점종이었다(속초시, 1993). 또한 김 등(1995)은 1993년 8월 영랑호 조사에서 *Microcystis ichthyoblabe*, *M. aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *M. wesenbergii*가 우점

종이었으며 이들이 독소를 함유하고 있다고 하였다. 2000년 조사에서도 남조류에 의한 우점현상이 나타났다(표 3-18).

<표 3-18> 영랑호, 청초호의 식물플랑크톤 우점종

구분	3월	5월	7월	9월	11월
영랑호	Cosmoecium sp.	Cryptomonas sp.	Oscillatoria sp.	Anabaena sp.	Oscillatoria sp.
	Melosira sp.	Chroococcus sp.	Microcystis sp.	Oscillatoria sp.	
청초호	Coelastrum sp.	Microspora sp.	Microspora sp.	Microspora sp.	Microspora sp.
		Melosira sp.	Euglena sp.	Cyclotella sp.	Peridinium sp.

자료 : 허우명(2002)

### 3.5.2. 조류(鳥類)

#### 가. 영랑호

2005년도 영랑호수 일대에서 관찰된 조류는 12과 23종 1,189개체가 관찰 되었다. 최우점종은 팽이갈매기, 흰죽지, 청둥오리, 흰뺨검둥오리가 월동하는것으로 조사되었다.

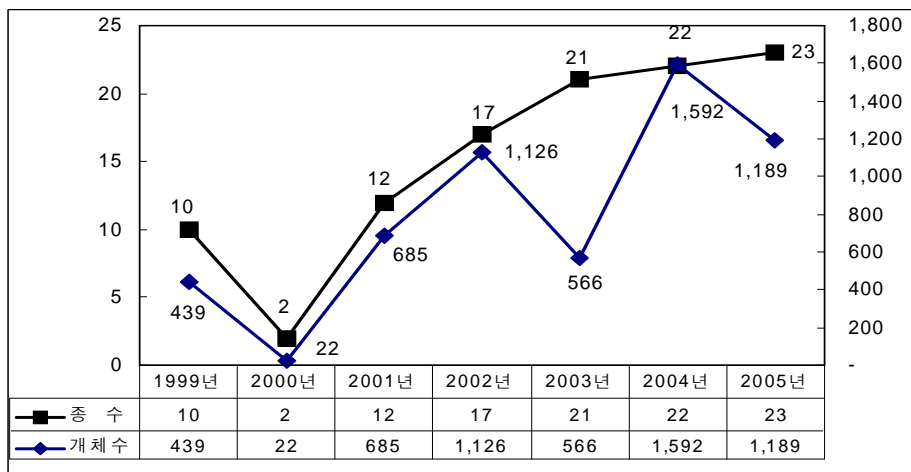
종(種)의 변화는 거의 없으나 2004년보다 개체수가 감소한 원인은 준설 공사후 호수주변에 철새들의 휴식 공간 및 갈대숲을 새로이 조성하여 철새들이 거부감을 느끼고 있고 새로이 조성된 휴식장소 등에 적응 하는 시간이 경과되어야 될 것으로 판단되고 또한 남부지방에서 월동하던 개체군이 계절적인 영향을 받아 일찍 번식지로 이동하여 감소 된 것으로 판단된다(표 3-19). 이 지역에서는 멸종위기종 II급인 말뚝가리 1개체와 특정종인 빨논병아리 4개체가 관찰되었다

연도별 변화추이를 보면, 1999년도 10종 439마리, 2000년도 2종 22마리, 2001년도 12종 685마리, 2002년도 17종 1,126마리, 2003년도 21종 566마리, 2004년도 22종 1,592마리, 2005년도 23종 1,189마리가 관찰되었다(표 3-20). 2000년도에 관찰종 및 개체수가 급격히 감소한 것은 조사 당시 호수내 결빙으로 겨울철새들이 먹이를 찾기 위하여 일시적으로 서식지를 옮겼기 때문으로 판단된다.

1999년도에 관찰되지 않았던 흰죽지가 2001년도에는 341마리가 관찰되어 최우점 하였으며 청둥오리가 79마리에서 252마리로 증가한 것으로 조사되었으나 1999년도 263마리로 최우점종 이던 붉은부리갈매기가 2001년도에는 18마리가 관찰되었다. 2002년도에는 456마리로 갯이갈매기가 최우점종으로 조사되었으며 청둥오리, 흰죽지 순으로 월동 서식하고 있었다. 특히 2002년도에는 지구온난화의 영향으로 여름철새인 알락할미새, 쇠백로, 꼬마물떼새가 처음 관찰되었고 1999년이후 처음으로 고방오리가 관찰되었다. 2003년도에는 총21종 566마리가 관찰되어 2002년도보다 개체수가 감소된 원인은 계절적인 요인 보다는 호수 준설사업을 실시하므로 서식여건의 악화로 타 지역으로 이동하여 감소된 것으로 판단된다. 최우점종은 청둥오리 566마리 비오리, 붉은부리갈매기 순으로 관찰되었다(표 3-20).

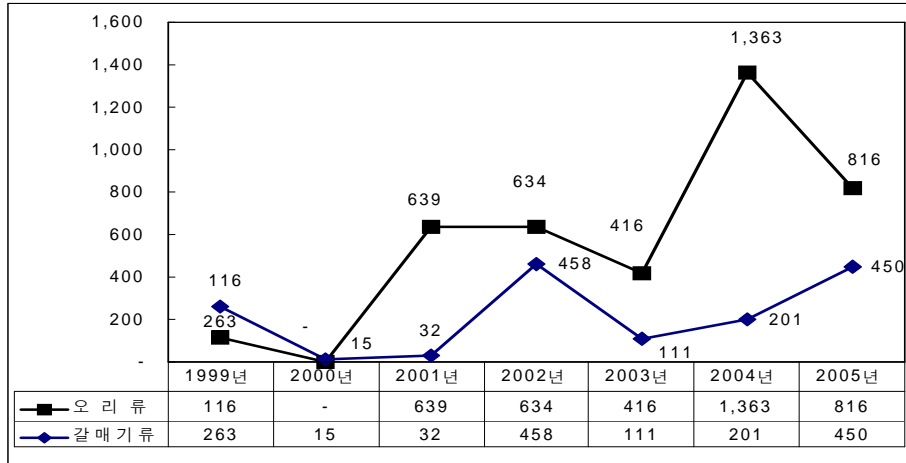
2004년도에는 총 10과 22종 1,592 마리가 관찰되어 2003년보다 관찰종의 변화는 거의 없으나 관찰 개체수의 증가는 호수 준설 사업이 대부분 완료되어 안정적인 서식 조건을 유지하고 있어 흰죽지, 맹기흰죽지 등이 계절적인 영향으로 다소 일찍 번식지로 이동 중에 관찰되어 증가된 것으로 판단된다.

<표 3-19> 영랑호에서 발견된 조류의 종 및 개체수



자료 : 원주지방환경청(1999~2005)

<표 3-20> 영랑호 주요 출현종(오리류, 갈매기류)의 연도별 변화추이



자료 : 원주지방환경청(1999~2005)

#### 라. 청초호

이번 조사시 청초호 일대에서 관찰된 조류는 청둥오리가 1,100마리로 최우점하였으며 다음으로는 꿩이갈매기 360마리, 흰죽지 350마리, 흰뺨검둥오리 332마리, 댕기흰죽지 250마리 순으로 총 15과 30종 3,290마리가 조사되었고 청초호에 철새 휴식공간과 갈대밭 조성 등으로 관찰 개체수가 다소 증가 하였고 물닭, 댕기물떼새, 알락할미새, 민물도요, 갯도요 등 관찰종이 증가 하였다(표 3-21).

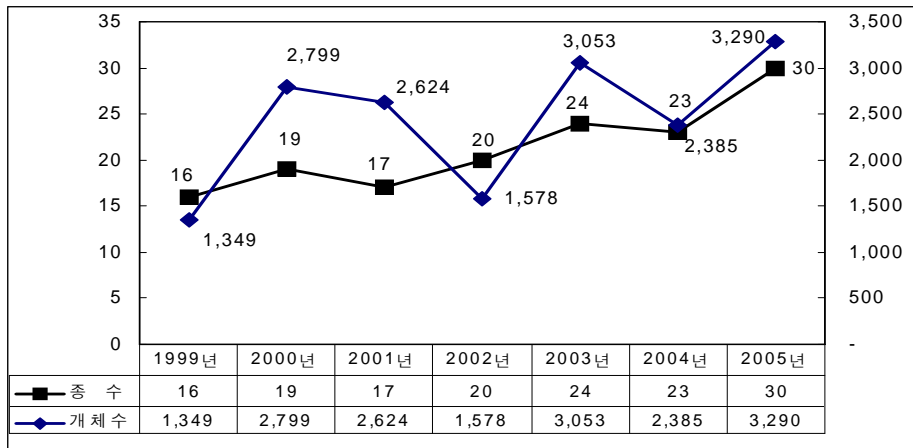
2005년도 이 지역에서 멸종위종Ⅱ급인 말뚝가리 1개체와 환경부 지정 특정종이며 천연기념물 제327호인 원앙 2개체, 빨논병아리 4개체가 관찰되었다. 그러나 멸종위종Ⅱ급이고 천연기념물 제201호인 고니류는 관찰되지 않았다.

연도별 변화추이를 보면, 1999년도 16종 1,349마리, 2000년도 19종 2,799마리, 2001년도에는 17종 2,624마리, 2002년도 20종 1,578마리, 2003년도 24종 3,053마리, 2004년도 23종 2,385마리, 2005년도 30종 3,290마리가 관찰되어 종 및 개체수가 증가하는 추세를 보였다.(표 3-22). 2000년도 개체수가 증가한 것은 갈매기류가 1999년도에 670마리에서 2000년도 2,000마리로 급격히 증가하였기 때문이다. 2001년도에는 전년도보다 약간 감소한 17종 2,624마리가 관찰되었는데 갈매기류의 도래수가 감소한 것에 기인한다. 2002년도에는 20종 1,578마리가 관찰되었는데 관찰종은

3종 증가되었으나 개체수는 감소하였다. 그 원인은 청둥오리의 월동 도래수가 감소한 것에 기인한다.

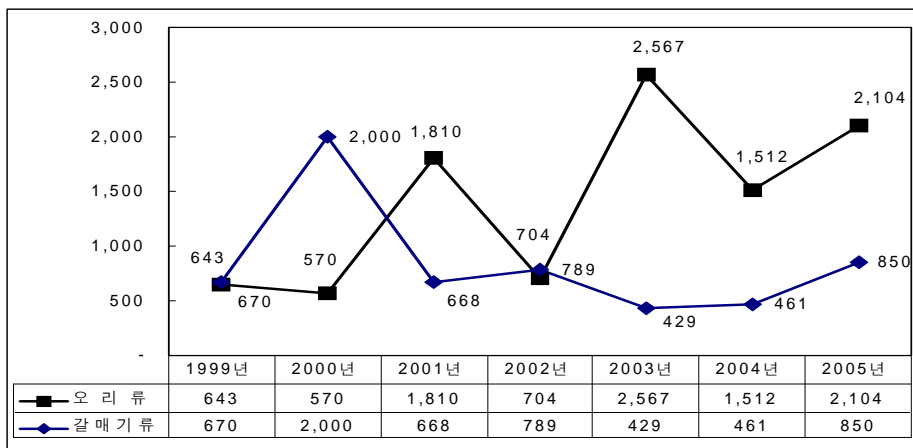
1999년과 2000년도에는 갈매기류가 우점하였으나 2001년 이후에는 청둥오리를 포함한 오리류가 우점한 것으로 조사되었다(표 3-22).

<표 3-21> 청초호에서 관찰된 조류의 종 및 개체수



자료 : 원주지방환경청(1999~2005)

<표 3-22> 청초호 주요 출현종(오리류, 갈매기류)의 연도별 변화추이



자료 : 원주지방환경청(1999~2005)

### 3.5.3. 어류(魚類)

동해한 석호에 대한 어류 조사는 거의 이루어진 바가 없으며 본 연구대상인 청초호에 대한 자료는 확보가 불가능하였으며, 본 연구에서는 “영랑호의 육수학적 연구”(조와 박) 1969년 및 “영랑호 오염방지 타당성조사 및 기본설계”(속초시) 1993년에서 영랑호의 어류상에 대해 조사한 자료만을 분석하였다.

영랑호에서 출현한 어종은 1969년도에 담수어류 8종과 해수어류 6종이 분포하고 있었고, 1993년도에는 담수어류 13종과 해수어류 4종이 분포하고 있는 것으로 조사되었다(표 3-23). 출현한 어종중 우점종은 붕어였다. 이 중 천연기념물과 1998년도 환경부 지정 멸종위기야생동·식물 및 보호야생동·식물에 속하는 종은 없었다. 또한 한국특산종(한반도 고유종)과 환경부 조사지침서에 명시된 희귀종에 속하는 종의 출현도 없었다. 이들 어종 중 잉어과(*Cyprinidae*)에 속하는 어종이 가장 많았다. 내륙의 댐호나 저수지 등지에서는 잉어과에 속하는 어종이 50% 이상을 차지하는 것이 일반적인 현상이나(최 등, 2003). 석호의 경우 잉어과에 속하는 어종의 구성비가 하천이나 내륙의 댐호나 저수지에 비해 낮았다. 이는 바다와 연결된 기수역으로 다양하게 분포하는 망둥어과, 큰가시고기과, 해산어 등이 분포하였기 때문인 것으로 생각된다. 국외에서 도입되어 방류된 도입종은 출현하지 않았다. 내륙에 위치한 대부분의 댐호와 저수지에서는 국외 도입종인 떡붕어(*Carassius cuvieri*), 파랑볼우럭(블루길; *Lepomis macrochirus*), 큰입우럭(배스; *Micropterus salmoides*) 등이 유입되어 토착어종에 악영향을 미치고 있는 것으로 알려져 있다(변 등, 1997; 변, 2002).

영랑호는 해수어종인 황어(*Tribolodon hakonensis*), 뱀어(*Salangichthys microdon*), 숭어(*Mugil cephalus*), 큰가시고기(*Gasterosteus aculeatus*), 복섬(*Takifugu niphobles*), 전어(*Konosirus punctatus*) 등이 출현하였다. 전어, 황어, 숭어, 복섬 등은 연안에 서식하던 개체의 일부가 먹이 섭취를 위해 석호로 유입된 것이며 뱀어, 큰가시고기 등은 산란을 위해 이동한 것으로 생각된다. 기수역을 중심으로 다량 분포하는 생태적 특징을 가진 어종인 가시고기(*Pungitius sinensis sinensis*), 꼭저구(*Chaenogobius urotaenia*), 날망둑(*Chaenogobius castaneus*) 등이 출현하여 본 호수는 바다와 연결된 기수역의 어류상 특징을 유지하고 있었다.

<표 3-23> 영광호 출현 어류의 목록(1969, 1993)

어 종	1969	1993	비 고
Clupeidae(청어과)			
<i>Konosirus punctatus</i> (전어)	○		해
Cyprinidae(잉어과)			
<i>Cyprinus carpio</i> (잉어)	○	○	담
<i>Carassius auratus</i> (붕어)	○	○	담
<i>Moroco lagowskii</i> (버들개)		○	담
<i>Tribolodon hakonensis</i> (황어)	○	○	담
<i>Zacco platypus</i> (피라미)		○	담
<i>Pseudorasbora parva</i> (참붕어)		○	담
Cobitidae(기름종개과)			
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> (미꾸리)	○	○	담
<i>Lefua costata</i> (쌀미꾸리)		○	담
Oplegnathidae(돌돔과)			
<i>Oplegnathus fasciatus</i> (돌돔)	○		해
Salangidae(뱅어과)			
<i>Salangichthys microdon</i> (뱅어)	○		해
Mugilidae(송어과)			
<i>Mugil cephalus</i> (송어)	○	○	해
Adrianchthyoidae(송사리과)			
<i>Oryzias latipes</i> (송사리)	○	○	담
Siluridae(메기과)			
<i>Silurus asotus</i> (메기)		○	담
Gasterosteidae(큰가시고기과)			
<i>Gasterosteus aculeatus</i> (큰가시고기)		○	해
<i>Pungitius sinensis sinensis</i> (가시고기)	○		해
Gobiidae(망둥어과)			
<i>Chaenogobius urotaenia</i> (꼭저구)		○	담
<i>Favonigobius gymnauchen</i> (날개망둑)		○	해
<i>Rhinogobius giurinus</i> (갈문망둑)		○	해
Cottidae(독중개과)			
<i>Cottus hangiongensis</i> (한독중개)	○	○	담
Channidae(가물치과)			
<i>Channa argus</i> (가물치)	○		담
Anguillidae(뱀장어과)			
<i>Anguilla japonica</i> (뱀장어)	○	○	담
Tetraodontidae(참복과)			
<i>Takifugu niphobles</i> (복섬)	○		해
과 수	12과	9과	
종 수	14종	17종	

\* 담 : 담수어종, 해 : 해수어종



## 제4장 수질 및 생태계 특성 고찰

### 4.1. 수질

동해안 석호는 수심이 낮아 바람이나 파도와 같은 외부요인에 의해 쉽게 표층과 심층이 혼합되며, 계절에 따른 기온변화로 호소의 수온변화도 쉽게 일어난다.

그러나 영랑호 수온(Temperature)은 11월에 4℃ 이상, 청초호는 11월에 약 2℃ 가량 심층 수온이 표층보다 높은 수온역전현상이 나타났다. 이는 허 등(1999)이 밝힌 바와 같이 수심이 얕음에도 불구하고 대기기온에 의해 낮아진 표층의 수온이 중층에 형성된 화학성층(chemocline)으로 인해 표층과 심층간의 수직혼합이 극히 제한되기 때문인 것으로 보인다.

호소내의 용존산소(DO)농도는 호소 생태계의 변화를 파악하는데 중요한 자료가 된다. 일반적으로 용존산소는 일주기 변화, 온도변화에 따라 농도가 변하게 되며 표층에 서식하는 식물성플랑크톤의 광합성작용과 산소호흡 등에 의해 호소내 DO농도가 많은 영향을 받으며, 수온변화에 따른 대기중 산소의 재폭기율 등이 호소내 용존산소의 농도변화에 중요한 요인이 되고 있다.

호소에서 표층 DO농도가 성장기에 과포화상태를 보인 것은 식물플랑크톤의 광합성에 의한 것이고, 호소별로 DO의 계절적 농도 변화는 뚜렷하지 않았으며, 조사시기별 식물플랑크톤의 생물량 및 기후 조건 등에 따라 약간의 차이를 보였다.

호소 심층의 용존산소(DO)농도는 염분에 의한 용해도 감소와 퇴적층에 서식하는 미생물의 산화·환원작용에 의해 변화하게 되며 이로 인해 표층과 심층의 DO 농도 차이가 매우 크게 나타나며 심층의 산소고갈현상이 일어나곤 한다. 조 등(1969)의 연구에서도 4m 이하 층에서는 유기물의 분해과정에 의해 용존산소가 급격히 감소한다고 하였으며, 이 등(1987)도 6월 조사에서 대부분 지점의 심층에서 무산소층이 관찰된다고 하였다. 특히 동해안 석호는 수심이 얕으나 화학성층이 형성되어 있어 표층과 심층의 수직혼합이 극히 제한되어 일부 호소의 심층에서 산소 고갈되는 현상이 빈번히 나타나고 있다.

전기전도도(Conductivity)와 염분도(Salinity) 조사결과 유입 하천이 있는 상류 지점이 전기전도도와 염분도가 비교적 낮았다. 반면에 해수의 영향을 많이 받는

하류지점은 높은 농도분포를 보였으며, 심층으로 내려갈수록 밀도 차이에 의해 전기전도도와 염분도가 증가하였다

또한 8~9월에 내린 집중호우(장마, 태풍 등)로 인하여 9월에 전기전도도 및 염분도가 낮아지는 현상을 보였으며, 특히 외부요인을 크게 받는 수체가 작은 호소들은 농도 변화가 매우 큰 것으로 조사되었다.

그리고 영랑호의 경우 예전에 비해 염분도가 많이 낮아지는 추세였는데, 이는 하구 수문설치 등의 해수유입 감소에 따른 영향으로 보인다.

호소의 유기오염을 판단하는 지표인 화학적산소요구량(COD)는 환경정책기본법에 따라 호소수질기준은 I~V등급으로 분류되고 있으며, I등급은 1 mg/L이하, II등급은 3 mg/L이하, III등급은 6 mg/L이하, IV등급은 8 mg/L이하, V등급은 10 mg/L이하로 정하고 있다.

'02년 석호 수질 조사결과 영랑호가 청초호보다 COD가 다소 높았고, 청초호, 영랑호는 III등급 수질의 호소로 조사되었으며, '01년에 비해 COD가 약 1~2 mg/L정도 높아졌고, 영랑호가 청초호에 비해 다소 높은 것으로 나타났다.

허 등(1999)은 청초호와 송지호를 제외한 동해안 호소의 COD농도는 계절에 따라 크게 변화하며, 호소수질 기준 IV~V등급 수준임을 지적한 바 있다.

호소의 투명도(Transparency)는 물 속 미생물(플랑크톤, 조류 등)의 양에 반비례한다. 그러나 동해안 석호의 경우 하천수 유입시 탁류의 유입과 저질층의 교란으로 인하여 조류번식과 상관없이 투명도가 낮아지는 현상이 종종 발생한다.

일반적으로 호수에서는 총인 농도와 Chl-a 농도가 높은 상관성이 있으며, 투명도는 Chl-a 농도와 역상관을 갖는 것이 일반적인 현상이다. 이 등(1987)에 의하면 영랑호의 투명도가 0.5~1.0m의 범위에서 변화한다고 하였으며, 허 등(1999)도 영랑호에서 투명도가 0.5m 이내로 매우 혼탁함을 밝힌 바 있다. 이처럼 투명도가 낮은 것은 식물플랑크톤 외에 무기현탁물의 농도가 높기 때문인 것으로 보인다. U.S EPA(1974) 및 Carlson(1977)에 의하면 투명도가 2m 미만이면 부영양이라 했는데 이 기준에 의하면 청초호, 영랑호의 경우 조사기간 동안 강우로 인한 토사유입 및 바람에 의한 저질의 교란을 감안하더라도 매우 부양양화된 호수임을 알 수 있다.

호소내 부유물질(SS)은 식물플랑크톤과 강수시 유입되는 무기현탁물 및 호소

내 퇴적물의 부상 등이 원인으로 알려져 있으며, 동해안 석호의 높은 부유물질 농도는 식물플랑크톤의 다량 번식과 더불어 얕은 수심으로 인해 강수나 기상변화로 저니층이 쉽게 영향 받는 것에 원인이 있다고 밝혀진 바 있다. 청초호의 경우 호소 주변의 수산물 및 식품가공장 등에서 발생하는 오·폐수 유입과 선박의 이동 등에 의한 수체의 교란이 호소내 무기현탁물의 증가에 크게 기여하는 것으로 판단된다(허 등, 2001).

영랑호는 준설로 인한 퇴적층 교란이 부유물질 증가의 중요한 원인으로 판단된다. 청초호는 주변 유원지 개발과 더불어 '95년 이후 호소 남·서쪽 약 237,000m<sup>2</sup>가 매립되었으며, 이로 인한 많은 양의 무기현탁물이 호소내에 영향을 주었을 것으로 보인다. 허 등(1999)은 청초호의 경우, Chl-a 농도가 다른 석호에 비해 낮은 수준임에도 불구하고 부유물질의 농도는 오히려 높았는데, 이는 매립에 따른 것으로 지적하였다. 또한 부유물질 증가는 조류의 광합성 저해현상을 유발하는 것으로 예상하였다. 조사기간 동안 성장기의 평균 부유물질 농도가 '00년이 가장 높았는데 이는 식물플랑크톤의 생체량 증가가 그 원인인 것으로 판단된다.

질산염은 플랑크톤 성장에 제한 영양염으로 작용하는 것으로 알려져 있으며, 용존무기형태의 질소는 수중의 산소, 미생물 등에 의해 산화 혹은 환원되어 질산염의 존재형태가 변하게 되며 표층과 심층 등 호소수계에 서식하는 미생물의 영양소 및 산소를 공급하기도 한다.

석호 표층의 총질소(T-P), 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N), 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N)의 농도는 봄철에 뚜렷이 증가하였다. 이는 경작에 따른 시비의 영향으로 일반적으로 질소 유실은 토지이용 정도와 시비량 증가에 따라 크게 늘어나는데 이는 용해성 질소복합물의 이동이 용이하기 때문이다. 표층의 암모니아성 질소 농도는 계절적으로는 여름철에 낮았으며, 이는 식물플랑크톤의 과다번성에 의해 소비된 것으로 보인다. 식물플랑크톤은 질소원으로서 주로 암모니아성 질소와 질산성 질소를 사용하는데, 대부분의 식물플랑크톤은 암모니아성 질소를 더 선호한다. 질소의 존재형태별 구성 비율은 표층의 경우 유기질소가 가장 많은 것으로 조사되었으며, 암모니아성 질소와 질산성 질소는 비슷한 비율로 존재했다. 그러나 심층의 경우는 유기질소가 가장 많은 비율로 존재했으며, 암모니아성 질소는 질산성질소에 비해

2배 이상의 비율로 존재하는 것으로 조사되었다. 이는 화진포호에서 권(2002)이 밝힌 바와 같이 심층에서의 무산소층 형성으로 인한 혐기성 분해로 표층에 비해 심층에서 암모니아성 질소의 농도가 2배 이상 높아진 것으로 보인다.

인산염은 수중에서 여러 가지 형태로 존재하며 입자성유기인(Particulate Organic Phosphorous, POP), 용존유기인(Dissolved Organic Phosphorous, DOP), 용존무기인(Dissolved Inorganic Phosphorous, DIP) 등으로 존재한다. 인산염들의 형태별 존재량은 유입원의 종류, 호소의 식물플랑크톤량, 수중의 생물화학적 특성에 의해 결정되며, 호소 생태계 변화와 수질 변화에 직접 관여하는 요인이 되기도 한다. '01년 T-P 분석결과 청초호는 호소수질 기준 V등급을 초과하였으며, 영랑호는 V등급으로 조사되었다.

일반적으로 호수에 유입되는 인 농도는 우기시에 증가하며, 하계의 집중폭우에 의해 용존무기인의 농도가 증가하는 것으로 보인다. 유입된 용존무기인은 조류가 바로 이용할 수 있는 형태로서 해로운 조류의 대발생은 무기인 농도 높을때 일어나는 것으로 판단된다.

따라서 영랑호의 무기인 농도는 '98~'02년 평균 0.013mg/L로 해로운 조류의 발생이 예상되며, 영랑호에서 높은 인 농도가 나타나는 원인은 첫째, 수체의 체류시간이 길고, 둘째, 유역으로부터 유입되는 토사의 대부분이 호수내에 침전되고, 셋째, 호수주변에 번성한 수초대가 자라고 죽고를 반복하면서 수체에 배출된 퇴적물들이 심층 무산소층 형성으로 인해 저질토로부터의 인용출이 활발하게 일어나기 때문인 것으로 보인다.

그리고 청초호의 무기인 농도는 '98~'02년 평균 0.040mg/L로 해로운 조류의 발생이 예상된다. 청초호에서 인농도가 높게 나타난 원인도 첫째, 수체의 체류시간이 길고 둘째, 유역으로부터 유입되는 토사의 대부분이 호수내에 침전되기 때문인 것으로 보이며, 아울러 잦은 선박의 이동으로 인한 저질층의 교란 및 상류에 위치한 상가 등으로부터 들어오는 생활오수의 영향도 클 것으로 보인다(권, 2002).

성장기(5~9월)의 총질소(T-N)와 총인(T-P)의 무게 비는 청초호가 13, 영랑호가 21로 낮은 값을 보였다. 국내 주요 인공호의 경우 TN/TP 비가 약 40~160, 하구호가 약 20~30 정도로 보고된 바 있다(김 등, 1997). 이들 자료와 비교해 볼 때

동해안 호소들은 하구호 값 보다 다소 낮은 수준으로 알려져 있다(허 등, 1999). 이렇게 석호의 TN/TP 비가 낮은 것은 인 농도에 비해 질소 농도가 상대적으로 적기 때문이다. 따라서 질소가 제한요소로 작용할 가능성이 있는 것으로 판단되나, 비교적 인과 질소 농도가 모두 높아 조류(藻類)의 성장 제한을 영양염류만으로 설명하기에는 부족하다고 생각한다.

엽록소 a(Chl-a)의 경우 영랑호가 청초호보다 전반적으로 높은 농도를 보였으며, 3월에 전 지점이 100 mg/m<sup>3</sup>내외의 높은 Chl-a 농도를 보였다. 수온이 높은 5월, 7월에 20 mg/m<sup>3</sup>내외로 감소하였고, 수온이 낮은 9월, 11월에는 70 mg/m<sup>3</sup>내외로 증가하는 경향을 보여 저온성 규조류가 대량 증식하였을 것으로 추측된다.

## 4.2. 생태계

### 4.2.1. 동·식물성 플랑크톤

동물플랑크톤의 계절적인 천이를 결정짓는 요인은 수온, 조류의 증식, 중간정쟁, 유기물질, 그리고 top-down 효과와 bottom-up 효과 등이다(Carpenter and Kitchell, 1993). 일반적으로, 온대호수에서 겨울에는 요각류 유생(copepod)과 몇몇의 성체만이 존재하며, 먹이 부족과 낮은 수온에 의하여 성장률은 매우 느리다(Agbeti and Smol, 1995). 원생동물의 신진대사율은 빠르게 진행되므로 상위계급까지의 물질순환에 중요한 역할을 한다(Fenchel, 1987; Laybourn-Parry, 1992). 또한, 박테리아와 미소식물플랑크톤을 섭식함으로써 인과 질소의 재순환에 중추적인 역할을 담당한다(Kirchman, 1994). 동해안 석호에 출현한 동물플랑크톤의 계절적 변화를 보면 중 수에 있어서는 7월, 9월에 많은 종들이 출현하였다. 석호에서는 내륙의 담수호와 달리 담수종, 해수종, 담·기수종 및 기·해수종의 특성을 지닌 동물플랑크톤이 출현하였다. 염분도는 청초호가 영랑호보다 높았다.

영랑호에서 조사된 *Keratella cochlearis*는 전형적으로 온대지방에서 늦가을에 대발생하는 종으로 알려져 있다. 또한 3월과 5월에 많은 생물량을 보인 것은 호수 생태계가 안정되어 생물량이 증가한 것으로 보인다. Vanni and Temte(1990)에 의하면 동물플랑크톤은 맑은 날씨가 일주일 정도 지속되면서 호수 자체가 안정되어

야 생물량이 증가한다고 하였다. 또한 조사기간 동안 윤충류 종이 우점한 것은 수온에 내성을 갖는 종들의 대량 번식과 어류의 선택적인 포식으로 인한 대형동물플랑크톤의 제거로 윤충류에 대한 대형동물플랑크톤의 포식압이 감소한데 그 원인이 있을 것으로 보인다.

식물플랑크톤 군집 변화와 영양염류는 밀접한 관련이 있다(Reynolds, 1987). 인과 질소는 호수의 부영양화를 야기시키고, 유해한 조류의 대량번식을 일으킨다(Schindler, 1977). 호수에서 식물플랑크톤의 계절적인 천이는 뚜렷하다(Sommer et al, 1986). 계절적인 천이요인으로는 빛, 영양염류, 성층현상, 종간의 경쟁, 동물플랑크톤의 섭식, 침전, 그리고 박테리아와 균류에 의한 기생 등이다(Hutchinson, 1975).

2001년의 경우 청초호에서 평년에 비해 생물량이 적었다. 이는 대체로 염분이 높은 곳으로 염분농도 변화에 의해 생물량의 변화가 있었을 것으로 보인다. 동해안 석호에서는 생물다양성은 낮지만 생물 현존량은 매우 크게 나타났다. 비록 종수는 제한되어 있지만 각 종의 번식 속도는 매우 커서, 종당 개체수가 막대하기 때문이다. 이는 천적이거나 경쟁자가 없고 영양이 풍부하기 때문인 것으로 보인다(김 등, 2001), 조 등(1975)의 조사에서는 netplankton상이 불안정한 기수호 상태로 인해 매우 단순하다고 밝힌 바 있다. 또한 편(1984)의 조사에서도 각 기수호는 비교적 넓은 면적이거나 호소내의 수심이 얇고, 해수와 담수가 수시로 교환 유입되고 있어서 서식생물도 일정하게 계속적으로 분포서식하기에는 매우 어렵다고 하였다. 연도별 또는 계절별로 우점종 및 생물량이 크게 변하는 것은 호수의 수체가 작아 바람, 온도 등 외부 환경요인에 쉽게 노출되고, 담수와 해수가 공존하는 기수호의 특이한 환경요인에 기인한 결과로 보인다.

#### 4.2.2. 조류(鳥類)

##### 가. 영랑호

영랑호는 호수 가장자리에 거품 현상이 매우 심각하고 호수 전체가 녹조현상으로 인해 오염이 심각하였는데 이는 주변 골프장 및 생활하수 유입, 농경지에서 유입되는 오염물질의 유입과 바다 물 교환이 원활하지 못한 것이 원인인 것으로 추정된다.

호수주변을 따라 약2.5m 폭의 순환도로에 차량의 통행이 빈번하지 않아 소음의 영향은 적을 것으로 판단된다.

2001년도 속초시 하수종말처리장의 완공과 해수와의 유통 및 정화사업 등을 통한 영랑호 정화방안이 추진 중에 있어 수질 개선에 기여 할 것으로 판단되나 향후 지속적인 관리가 요구된다.

2003년도 호수 준설사업을 실시하여 서식여건의 악화로 오리류가 감소한 반면 2004년도에 준설 사업은 대부분 완료 되었으나 호수 독 일부를 공사중에 있어 조속한 공사 완료가 필요하며 산책로 건설로 자동차 소음과 철새들의 휴식 장소가 부족 하므로 호수 주변에 갈대 등을 식재하여 은폐 장소를 제공해야 될 것으로 판단된다.

또한 영랑호는 외래 수입 동물인 붉은귀거북이 대량으로 서식하고 있어 조속한 제거 작업이 이루어져야 물고기 등 자연생태계와 철새들의 서식이 안정 될 것으로 판단된다.

2005년도에는 준설공사와 더불어 2004년도에 일부 호수독 공사와 갈대밭 및 철새들의 휴식공간을 새로이 조성 하였으므로 철새들이 안정적인 장소로 이용하기 위해서는 다소간에 시일이 필요한 것으로 판단되고 외래종인 붉은귀 거북에 대하여 조속한 시일내에 제거작업이 이루어져야 물고기 등 자연 생태계의 먹이사슬이 유지 될 것으로 판단되며 철새들의 서식도 안정이 될 것이다.

#### 나. 청초호

2005년도 현재 청초호 주변에서 진행중인 개발사업은 발견되지 않았다. 2000년도 속초시에서 청초호를 철새보호구역으로 지정하고 60억원의 예산을 투입하여 산책코스, 탐조시설, 호수 내 철새들의 휴식처 설치, 호수주변에 녹지공원 등을 조성하여 철새들의 월동에 도움을 주고 있는 실정이나 청초호는 도심지에 위치하고 있으며 호수주변에 향후 더 많은 개발사업이 이루어진다면 철새들의 휴식 공간 부족 현상이 발생 될 것으로 판단된다. 청초호의 서쪽에 갈대 숲, 모래밭 등의 면적이 협소하여 수면 오리류의 월동지역으로는 매우 열악한 형편이다. 따라서 청초호의 수질개선과 조류의 보호를 위해서는 넓은 면적의 갈대 숲 조성이 필요하고 더 이상의 개발이 이루어져서는 안 될 것이다.

청초호는 현재 영랑호와 더불어 시내 중심가에 위치하고 있어 시민들의 휴식처 및 학생들의 철새탐조 장소로 그 몫을 잘 담당하고 있으나 향후 철새들의 서식지로서 지속적인 기능 수행을 위해서는 환경단체, 주민들의 지속적인 관심과 보전을 위한 노력이 요구된다. 특히 추후 호수매립, 주택지 등의 건설이 증가 할 것으로 예상됨에 따라 개발사업 최소화 및 공사시 소음·진동 저감방안 수립·시행이 요구되며 호수와 주택지 사이에 완충대 확보를 위하여 나무를 식재하는 등의 대책수립이 필요한 것으로 보이며, 2002년 태풍(루사)으로 인해 유입된 토사제거가 완료되면 안락한 철새 도래지로서 명성을 되찾을 것으로 판단된다.

#### 4.2.3. 어류(魚類)

동해안 석호는 바다와 인접하여 해수가 유입되고 있어 기수역의 특징을 유지하고 있다. 석호는 주변으로부터 토사가 끊임없이 유입되어 호수의 수심이 낮아지고 있으며 바다와 연결되는 수로가 모래언덕에 의해 단절되기도 한다. 일부 석호는 준설이 이루어진 상태이며 또한 주변의 지역으로부터 비료 및 농약, 생활하수 등이 유입되어 수질이 악화되어 있다.

석호는 수환경 특징에 의해 민물어류와 해산어가 함께 서식하는 어류군집 특징을 나타내고 있으나, 영랑호에서 출현한 어종은 1969년도에 담수어류 8종과 해수어류 6종이 분포하고 있었고, 1993년도에는 담수어류 13종과 해수어류 4종이 분포하고 있는 것으로 조사된 바, 해수어종에 비해 담수어종이 증가한 원인은 영랑호 하구의 수문설치 등으로 해수유입 저하로 염분도가 낮아져 담수화 된 것이 원인으로 보인다.

따라서 동해안 석호내 다양한 어종의 안정적인 군집을 유지하고 어족자원 보존을 위해서는 다음과 같은 석호 관리방안이 필요한 것으로 생각된다.

가. 연구결과 예년에 비해 어종자체가 담수어류가 증가하고, 해수어류가 감소하는 것으로 조사되었으므로, 각종 연안 해산어의 먹이 섭취 및 산란장소로 이용되는 석호의 바다와 연결된 부분이 단절되지 않도록 하여야 한다. 즉, 소하성(황어, 빙어, 뱀어, 큰가시고기) 어류의 출입이 용이하도록 바닷물이 원활히 유입되어 물질순환이 잘 이루어지도록 하여야 한다.



나. 주변지역으로부터 유입되는 오염물질의 차단(오염물질 유입지역에 수질 정화용 늪지를 조성)을 위한 호수 수변부 식생대를 잘 보전하여 하상에 유기물이 퇴적되지 않도록 하여야 한다.

다. 외래어종(배스, 블루길, 떡붕어) 유입을 차단해야 하며, 수질 오염을 줄이고 어족 자원을 보호하기 위해서는 무분별한 낚시 행위를 금지해야한다.

라. 동해안 석호내 서식하는 어류상에 대한 정기적인 조사를 실시하여 어류군집 동태를 파악하고 이에 따른 대책을 강구해야 한다.

## 제 5 장 문제점 및 개선방안

### 5.1. 문제점

동해안 석호의 체계적인 관리방안 수립을 위하여는 호소별 문제점을 정확히 파악한 후 특성에 따른 대책을 수립하는 것이 필요하므로 지금까지 연구결과를 토대로 영랑호, 청초호의 문제점에 대해 다음과 같이 정리하였다.

(1) 도시가 인접한 호수인 영랑호와 청초호의 토지이용, 인구, 축사 등의 기초자료로 산정한 오염 발생부하량이 매우 높은 것으로 조사된 바, 하수종말처리시설 등의 차집을 증가 및 비점오염원의 오염물질 유입저감대책 등의 유역관리방안 마련이 필요할 것으로 보인다.

(2) 부영양화도 지수(TSI)에 따른 영랑호, 청초호의 영양상태 판정결과(영랑호 57~77, 청초호 55~78) 부영양(Eutrophic) 이상의 상태를 보이는 것으로 조사되어, 석호의 수질이 전반적으로 악화된 상황임을 알 수 있다. 따라서 각 석호별로 과학적인 조사와 검토에 기초한 수질개선 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

(3) 청초호의 경우 유원지개발계획(관광엑스포)에 의해 총면적 411,015m<sup>2</sup>(육지 174,015m<sup>2</sup>, 호소 237,000m<sup>2</sup>)을 매립하여, 매립공사시 토사유출 등으로 인한 호소내 퇴적오니 증가와 호소주변의 수초대 파괴 등으로 인한 철새 등의 서식공간 축소 등 호수생태계의 파괴가 심화되어, 이에 대한 관리대책이 수립되지 않으면 석호의 소멸이 가속화 될 것으로 예측된다.

(4) 영랑호의 경우 과거 자료와 염분도를 비교·분석해본 결과 1960년대 24~28%, 1970년대 6.3~15.9%, 최근에 3.7~7.6%로 농도가 저하되어 담수어류의 증가등 기수호로서의 특성을 상실해가는 것으로 조사되었으며, 특히 하구막힘 현상에 의한 호소수와 해수의 순환불량, 자정능력 저하 및 오염물질 퇴적으로 인해 지속적으로 수질이 악화되고 있다.

(5) 영랑호는 주변개발(매립, 일주도로개설, 건축물 건축 등)로 인해 습지 식생대가 파괴되었다. 저서생물군(조개류, 곤충류 등) 및 수중수초의 대부분이 사멸되었고 호소주변 갈대 등 수초류의 감소로 자정능력 감소 및 자연호소로서의 모습이 훼손되었다.

(6) 청초호와 영랑호의 경우 오니준설 사업을 실시하였으나, 단기간의 준설에 따른 수생태계 파괴 및 준설시 퇴적오니중 미세입자의 용출로 인한 오염가중 등의 문제점이 발생해 현재 수질이 크게 개선되지 않고 있는 것으로 조사되었다.

(7) 청초호의 경우 어업항, 상업항, 해상교통, 관광 등의 용도로 사용되는 제1종 무역항의 기능수행으로 선박에 의한 유류 유출 등 오염사고가 발생할 우려가 높기 때문에 방제계획의 수립 등의 철저한 대비가 요구된다.

위와 같이 영랑호와 청초호의 문제점을 정리해보면, 크게 수질오염 문제와 생태계파괴 문제로 구분할 수 있다. 따라서 각종 훼손을 유발할 수 있는 인위적 행위에 대한 제한 및 법제도상 개선 등에 관한 사항은 결론의 정책제안 부분에서 논하기로 하고, 아래에서는 석호의 수질 개선방안 및 사례에 대하여 조사·정리하였다.

## 5.2. 수질 개선방안

부영양화 호소의 수질개선은 크게 두 가지로 호소외적(湖沼外的)인 외부 환경오염 요소를 제어하는 방법과 호소내부의 물질순환에 의한 호소 내적(湖沼內的)오염을 저감하는 자연정화나 인공정화, 개선 등을 들 수 있다.

일반적으로 호소외적 처리로는 비점오염원(non-point source, 非點汚染原) 관리와 점오염원(point source, 點汚染原) 관리를 들 수 있으며, 점오염원관리는 석호주변에 있는 축산분뇨나, 농가에서 발생하는 생활오수, 수산물가공 공장에서 발생하는 산업폐수 등 오염원을 처리하여 호소로 유입되는 오염부하량을 최소화하는 것

을 말하며, 비점오염원관리는 석호유역내 농경지나, 임야와 같은 토지로부터 비료나 농약성분의 무기영양염류, 토사 등 유입을 저감하는 것이다.

이러한 유입 오염물질의 저감방법은 각 호소별 오염원의 특성을 파악하고 호소수질을 개선하는 방법이 선정되어야 한다. 특히 동해안 석호는 수질과 호소생태계가 내륙의 일반호소와 달라 그 처리 방법에 대한 충분한 검토와 연구가 이루어져야 한다. 이는 과거 일부 호소에서 수질개선을 위해 준설 등 여러 가지 방법을 실시하였으나, 괄목할만한 수질개선효과를 얻지 못했다.

따라서 호소의 수질개선을 위해서는 무엇보다도 호소에 맞는 개선방법에 대한 연구·검토가 충분히 이루어져야 할 것이다.

#### 가. 호소외적 오염요소 유입의 제어

##### (1) 점오염원(Point Source)의 관리

- 호소 유역내 주거지역에서 발생하는 생활하수의 처리를 위한 오수처리시설 설치
- 축산 농가에서 발생하는 축산 분뇨처리시설 설치(저장시설 및 수거처리)
- 인공습지를 이용한 유역 유입 오염원의 영양염류 제거

##### (2) 비점오염원(Non-point Source)의 관리

- 호소변에 인공습지를 조성하고 유역에서 유입되는 오염물질을 정화하고
- 상류지역의 농경지에 환경친화적 농업기술을 유도하여 호소로 유입되는 유기물 유입을 최소화(시비방법 개선, 비료질의 개선 등)

#### 나. 호소내적 오염요소의 제어

##### (1) 퇴적층까지 준설을 실시하여 호소내 내부 부하량물질 제거

- 준설시 퇴적층 교란으로 발생하는 탁도물질이 수체에 영향을 주지 않는 공법 선정 (예: 진공펌프방식)

##### (2) 호소 교환율을 높이기 위한 청정의 유입수 확보(해수+하천수)

- 일정 농도의 염분도 유지를 위한 해수 유입방법 검토
- 농번기 이후의 잉여 용수를 호소내 유입

- (3) 호소 주변에 심정폭기시설 및 심층수 배제, 호소수의 강제순환 시설 등을 설치하여 호소수질 개선을 위한 호소수 처리
- (4) 호소주변과 습지의 수초를 주기적으로 제거하여 호소에 유기물 축적을 최소화
- (5) 조류(藻類)의 성장을 먹이 연쇄와 기생관계를 이용하여 생물학적으로 제어하는 방법
- (6) 응집 침전을 이용한 영양염류의 제어 방법 등

호소의 수질개선을 위해서는 외부로부터 유입되는 오염물질 유입을 차단한다고 수질이 개선이 쉽게되지 않는다. 이는 석호와 같이 그 생성기간이 길고 유입된 오염물질이 호소 퇴적층에 다량 축적되어 있을 경우 호소내에서 오염물질의 순환이 이루어지기 때문에 호소내적 처리방법 중 준설이나, 심정폭기 등과 같이 퇴적층에 함유되어 있는 오염물을 처리하는 방법과 유입 오염물질을 차단하는 호소의 적 처리방법을 병행함으로써 효과적인 수질개선을 기대할 수 있을 것이다.

따라서 다음은 문헌과 수집된 자료를 인용해 호소의 내적·외적 오염요소 제어 방법에 대해 알아보하고자 한다.

### 5.2.1. 호소외적 오염요소 유입의 제어

#### 가. 점오염원 처리시설

##### (1) 하수도처리시설

석호와 같이 호소가 작은 경우는 배수로를 설치하고 호소변 인접지역에서 발생하는 생활하수를 차집하여 호소하류로 방류하거나, 하수처리장으로 유입처리 하여 호소내 유입오염부하를 최소화 할 수 있다.

속초시하수종말처리장은 '01년 8월 31일에 46,000m<sup>3</sup>/day규모로 완공되어 영랑호와 청초호로 유입되는 생활하수를 하수종말처리장으로 이송처리하고 있다. 그러나 지형적인 여건에 따라 호소와 인접한 일부지역의 생활하수가 청초호로 소량 유입되고 있어 이들에 대한 처리대책이 필요한 실정이다.

(2) 마을하수도처리시설 설치

마을하수도는 농어촌마을의 생활환경을 개선하고, 수질오염을 초기단계부터 방지하여 하천 또는 호소 등의 공공수역에 유기성하수가 유입되지 않게 하기 위한 농·어촌 마을단위의 소규모 하수도처리시설이다.

◆ 마을하수도 설치의 기본 고려요건

- 운전조작 및 유지관리가 용이한 것
- 건설 및 유지관리비용이 저렴한 것
- 유입수량 및 수지로의 급격한 변화에 대응성이 크며,
- 영양염류인 인·질소 제거 효율이 크고,
- 방류수질을 충족하며,
- 폐슬러지의 처분 등이 간편하여야 한다.

(3) 축산분뇨처리시설

소규모 축산농가는 영세하여 처리시설설치가 어려우므로 축산폐수공동처리시설을 설치하고 축산농가에 축산폐수 수집·운반을 위한 축산폐수저장조 또는 축분분리배출장치 설치 등 다각적인 방안이 검토되어야 한다.

또한 외부 강우유출수가 축사내로 유입되지 않도록 우회수로, 방지턱 등을 설치하고, 방목시기를 조정하여 초지가 과다 손상되지 않도록 순환방목을 실시하거나 방목시기 조절, 방목지내에서의 방목가축수를 적절히 유지하고 발생한 축산분뇨 제거, 토양침식 방지차원에서 경사지, 하천 인접지역 등에서의 방목 금지, 축분이나 퇴비가 강우시 유출되지 않도록 가축 운동장 덮개시설, 퇴비사 시설, 방지턱, 도랑 등 설치, 축산분뇨를 초지나 경작지에 살포하는 경우에는 작물의 흡수가 최대가 되는 시기에 우기를 피하여 살포하여 최대한 고농도 유기성오염물질이 호소내로 유입되지 않도록 하여야 할 것이다.

(4) 폐수처리시설 설치

내륙의 호소와 달리 석호는 유역내에 대규모 공단이나 공장이 없어 많은 양의 폐수가 호소로 유입되고 있지 않지만 일부 축·수산물 가공공장 등이 산재되어 있

어 폐수관로들을 호소변을 우회하여 해양에 방류하도록 하거나 또는 상류지역에 폐수처리장을 설치하여 고도처리 후 방류하는 방법 등 다각적인 폐수처리방안이 마련되어야 한다.

#### (5) 인 제거시설 설치(P elimination plant)

부영양화상태의 호소를 빈영양 또는 중영양상태로 유지하기 위해서는 인의 유입총량의 약 90%를 제거해야 하며, 이 때문에 유입하천의 인농도를 감소시키기 위해 3가의 철염으로 응집침전을 한 후 황성탄, 안트라사이트, 석영모래로 구성된 다중여재에 의한 여과를 실시하는 방법이다.. 이 방법으로 인(隣) 뿐만 아니라 COD 77%, 용존 유기탄소 50%, 세균 99% 정도를 제거할 수 있다.

#### 나. 비점오염원의 저감(Reducing non-point sources)

##### (1) 시비방법 개선

시비방법 개선에 의한 영양염류 유출저감 방법으로 벼를 심기 위한 논갈이 방법, 시비방법을 개선하여 영양염류인 인·질소 성분 유출을 저감할 수 있다.

논갈이 후 영양염류 성분이 침전된 1주일 뒤에 물을 빼고 벼를 심도록 하여 하천으로의 유출량을 저감시키고, 물이 없는 논에 시비하고 논을 갈아 엮어 비료가 토양 속에 들어가도록 하면 질소성분(영양염류)은 암모늄으로 존재하여 토양입자 중에 흡착되어 있으므로 유출량을 저감시키는 방법이다.

##### (2) 비료질 개선

농가에서 사용하고있는 일반 복합비료 성분은 수용성으로 물과 접촉하면 100% 용해되어 작물로 흡수하고 남은 양은 수중에 남아 강우시 하천으로 유출되어 유역의 부영화를 유발시킨다. 따라서 작물이 요구하는 질소·인의 이용률을 높이면 질소·인의 유출량을 저감하기 위해 완효성비료를 사용하여 농경지로부터 유출되는 영양염류의 유출을 최소화한다. 그러나 가격이 비싸 국가나 지방자치단체에서 구입비용을 일부 지원하는 방안이 검토되어야 한다.

### (3) 자연형 하천공법을 이용한 유입하천 처리시설

상류지역 하천의 점 및 비점오염원으로부터 발생하는 무기영양염류와 토사를 저감하여 호소의 부영양화를 유발시키는 요소를 최소화하기 위한 전저수시설 또는 호소내 유입하천 처리시설을 설치하여야 한다.

전저수시설은 대개 침전성 오염물질을 제거하기 위해 이용되며 충분한 용적으로 유입 하천수에 대한 침전시간이 확보되어야 한다. 그리고 호소 상류지역에 전저수지 설치를 위한 부지확보가 어려울 경우 호소내 정체수역을 확보하여 유입되는 하천수를 정화할 수 있게 인공습지를 설치하고, 토사유입에 따른 침전지를 제공함으로써 호소내의 퇴적과 오염을 방지하는 방법이다.

#### 다. 인공습지를 이용한 농·축산 및 생활오수의 처리방안

최근 육상생태계와 수생태계의 전이지대에 형성되는 자연습지는 수질정화지로서의 역할이 크게 부각되고 있다. 이러한 자연습지의 역할은 담수의 부영양화를 억제하여 수자원의 효율적인 관리와 사용에 많은 도움을 줄 수 있다(농림부, 1999). 갈대 등의 정수식물은 부엽식물이 가지는 수질 정화효과 뿐만 아니라 질산, 탈질을 동시에 일으키는 환경을 창출하여 뿌리주위 토양에 존재하는 질소성분의 제거를 촉진하는 것으로 알려져 있다. 즉, 정수식물의 지상부가 줄기, 지하경을 통해 산소를 뿌리에 이동시키므로 뿌리주위는 호기성상태가 되어 암모니아성 질소는 질산성 질소가 되고, 그 외측은 혐기성 상태로 아질산성 질소가 탈질되어 제거된다. 따라서 이러한 기작을 응용하여 갈대등을 식재한 인공습지를 창출, 이용하는 시도가 행해지고 있다.

#### ◆ 습지의 일반적인 기능 및 가치

- 침전, 여과와 미생물 분해를 통한 수질향상 기능
- 조밀한 식생에 의한 유속저하로 홍수조절 및 주변지역의 범람방지 기능
- 영양염류 및 기타 물질의 순환 기능
- 어류 및 야생생물을 위한 서식처 제공
- 경관 향상과 조류관찰 등 관광레저자원(자연생태공원)으로서의 가치상승



인공습지 시스템을 이용한 수처리는 산소전달의 차이와 폐수흐름에 따라 세가지 형태로 구분할 수 있다(그림 5-1). 각 형태마다 서로 다른 특징을 갖고 있는데 그 특징을 아래와 같다(농림부 농촌진흥청의 연구(1998)).

#### ① 자유수면계

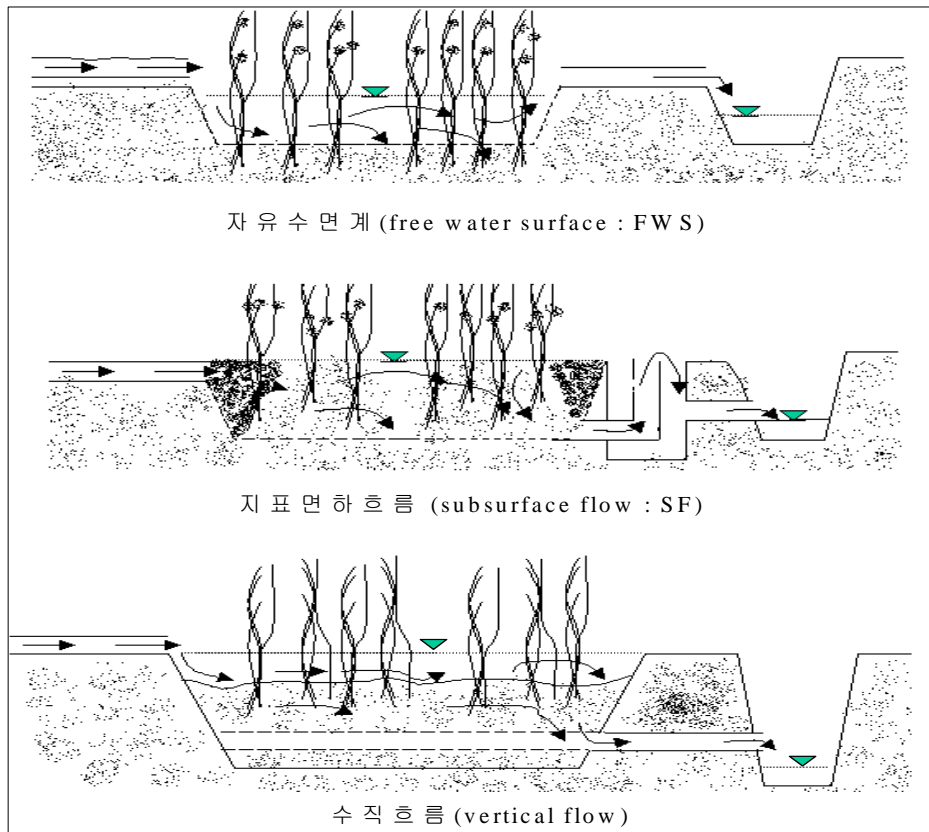
가장 일반적이며, 자연습지를 가장 가까이 모방하고 있다. 대부분의 분해공정은 물에 잠긴 줄기와 물 사이에 형성된 생물막에서 일어난다. 폐수는 토양위로 얇은 깊이를 가지고 흐르게 되며 산소전달은 수면에서 재포기 되어 생물막으로 이동한다.

#### ② 지표면하흐름

플라스틱으로 방수한 표면위에 사력이나 점토를 채우고 식물을 심은 시스템으로 산소는 식물줄기 및 뿌리를 통하여 전달되며 뿌리표면에서의 생물막에 의해 생분해(biodegradation)가 일어난다. 미생물은 매체와 식물뿌리에 부착되어 있는데 이들은 용존유기물을 직접 흡수하여 생물학적 분해작용도 한다. 오염물질 제거율은 BOD 64~96%, TSS 71~98%, TN 24~66%, NH<sub>3</sub>-N 57~94%, TP 13~68% 라는 보고가 있다.

#### ③ 수직흐름

위의 두 가지를 결합한 형태로 수직유수습지(vertical flow wetland) 또는 막스 프랑크 연구소 공정(Max Planck Institute Process)이라 불리워지기도 한다. 물기둥이 표면에 유지되어 기질을 통해 하부배수로로 수직적 흐름이 일어난다. 한편 이 형태는 토양과 폐수의 충분한 접촉시간을 제공한다는 장점도 있다.



[그림 5-1] 물 흐름에 따른 습지 시스템의 형태

라. 조류(藻類)제거

호소의 부영양화로 플랑크톤이 이상증식하여 호소가 오염이 되고 있으며, 이러한 조류들은 사멸하여 호소 바닥으로 침전되고 유기체로부터 유기물질이 용출되어 호소내 수질오염을 가속화시킨다. 따라서 조류제거는 플랑크톤이 대량 증식할 때 이를 걷어내어 호소 오염을 저감시키는 방법이다.

조류제거는 여름철에 대량 발생한 조류가 수체 표층에 부상한 후 물의 흐름이나, 풍향에 의하여 만입부(灣入部) 등 일부 수역에 과밀하게 집적되면 흡입, 여과장치를 장착한 배로 이동하면서 흡입하여 선상에서 진공 탈수 처리하여 조류를 제거하고 여액은 다시 호소로 순환시키는 방법을 이용한다.

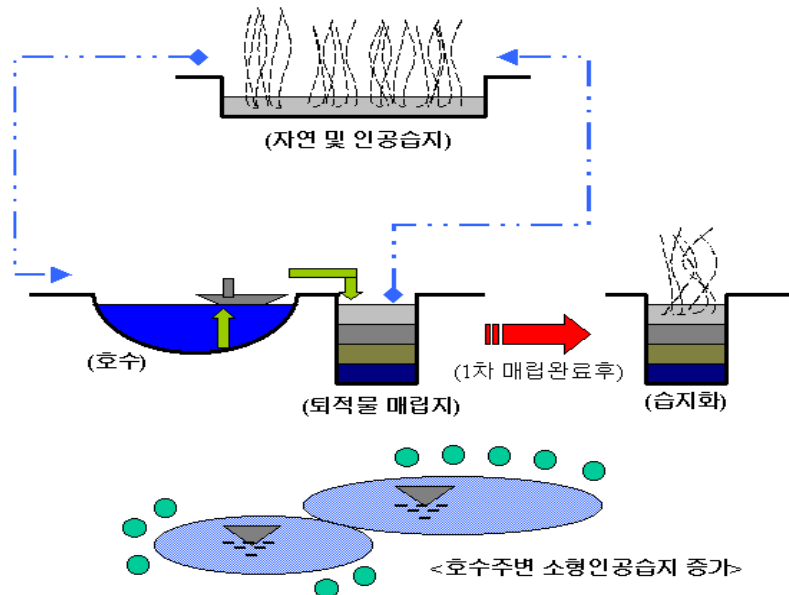
## 5.2.2. 호소내적 오염요소의 제어

### 가. 물리적 대책(Mechanical measures)

#### (1) 준설(Sediment removal)

동해안 석호는 과거 수천년 동안 호소내 주변부의 수초가 자라고 사멸을 반복하면서 많은 양의 유기물이 호소 바닥에 퇴적되어 왔다. 또한 호소의 체류시간이 길어 외부에서 유입된 오염물질 역시 대부분이 호소 바닥에 퇴적되었다. 동해안 석호는 그동안 수천년 동안 천이가 진행되어 왔으며, 현재의 상태는 부영양화를 지나 서서히 늪지생태계로 진행되는 단계에 있다고 판단된다. 내부 부하량을 줄이기 위해 호소의 퇴적물을 교란하지 하지 않고 호소에 영향이 없는 방법을 택하여 퇴적물을 준설해야 할 것으로 판단된다.

만약 준설이 실시된다면 호소 생태계에 교란이 생길 수 있으므로 장기간(약10년)에 걸쳐 서서히 준설해야 하며, 준설토의 처리는 호소 주변부에 일정한 크기의 pond를 만들어 호소내의 퇴적물을 빨아들이고 이를 침전시켜 인공습지를 만들 때 재활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 상층수는 주변의 수초대를 통과하게 하여 호소로 다시 유입시킬 경우 호소내의 인부하량을 많이 줄일 수 있다(그림 5-2).



[그림 5-2] 호소내 퇴적물 준설시 퇴적오니 처리계통도(안)

## (2) 심층수 폭기(Hypolimnetic aeration)

### (가) 심층수 폭기

산소는 심층수에서 유기물질의 분해를 통하여 고갈되어 진다. 호수의 산소 농도는 호수 전체 생물에 있어 직접적으로 중요한 요소로서 대부분의 물고기는 적어도 포화산소 농도의 60~70%를 요구한다. 암모니아는 물고기에게 독성을 끼치며 이의 질산화를 위하여 산소가 필요하다.

인은 호기성 상태의 퇴적물에 결합되어 있으며 혐기성 상태의 퇴적물로부터 용해된다. 인 농도의 증가는 광합성을 증가시킬 수 있고, 퇴적물 표면에서 인이 분해될 때 산소를 요구하는 유기물을 더 많이 생산한다. 그러나 이 사이클은 폭기를 함으로써 파괴할 수 있다.

폭기방법은 다음의 세가지로 구분될 수 있다.

#### ① 성층파괴(Destratification) ;

차가운 심층수를 수표면으로 펌핑하여 따뜻한 표면수와 혼합시키는 방법이다.

#### ② 심층수의 표면으로의 펌핑(Pumping of hypolimnetic water to the surface) ;

심층수가 표면으로 펌핑됨으로써 대기와의 접촉으로 reaeration되고 다시 심층수로 되돌아간다. 그러나 표면수와 혼합되지는 않는다.

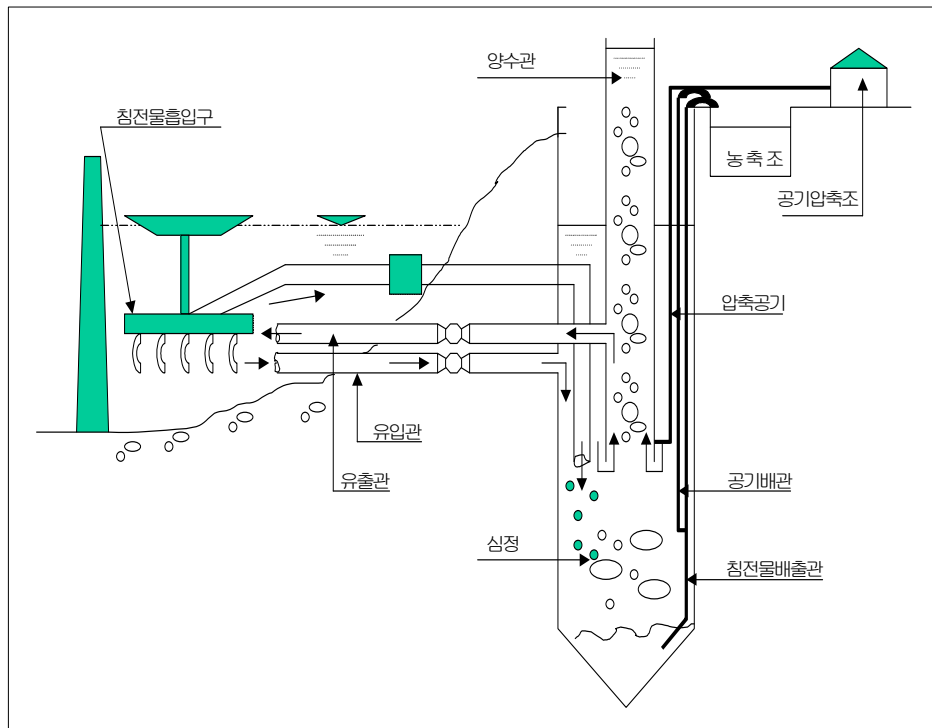
#### ③ 심층수 폭기(Aeration directly into the hypolimnion) ;

성층파괴(destratification)의 적용에 대한 연구는 Symons (1969)에 의해 미국 켄터키(Kentucky)주 볼츠(Boltz)호에서 시도되었다. 인위적인 성층파괴는 용존산소 농도가 증가하며 황화물 농도가 감소하고, 조류의 성장이 줄어들는데 특히 남조류 종의 성장 감소 등과 같은 수질 개선효과를 갖는 것으로 조사되었다.

### (나) 수질악화지점 용존산소 적정유지를 위한 수중폭기

심정을 이용한 물의 순환과 수질개선 방법은 산소의 원활한 공급과 이를 통한 생물·화학적 분해에 의한 자정작용을 원리로 이용한 것이다. 즉, 호수의 물을 계속해서 심정으로 끌어들이고 여기에 산소를 공급한 후 호수로 되돌려 보내는 것이다. 이와 같이 심정에서 충분한 용존산소를 공급받아 호수로 유입되는 물은 호

호소에서 흐르면서 확산·혼합하여 호소 전체에 용존산소를 공급하게 된다. 이러한 원리를 이용하여 호소 전체의 자정작용으로 수질을 개선하는 방법이며, 심정을 이용한 물의 순환과 산소공급 장치는 (그림 5-3)과 같다.



[그림 5-3] 심정을 이용한 물의 순환과 산소공급 장치

### (3) 플러싱(Flushing)

플러싱은 오염되지 않고 영양염류 농도가 낮은 물을 호소로 유입(admission of unpolluted water)하여 호소수를 희석하고 퇴적물을 씻겨내는 방법으로, 얕은 호소에 적용은 적합하지 않고 좋은 수질의 물을 충분히 준비해야 하는 단점이 있다.

특히 석호와 같은 기수호에서는 해수와 담수가 호소수질의 농도와 어울리게 충분히 섞여 있어야 하는 번거로움이 있지만, 체류시간이 150~500일 이상 되는 석호에 다량의 양질의 물을 공급함으로써 수질을 충분히 순환시킬 필요가 있으며, 이로 인한 퇴적물의 제거 효과도 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

(4) 산소주입(Injection of oxygen)

폭기에 의한 호소정화방법의 하나로 하절기의 산소공급과 동절기의 호소수 강제 순환이 있는데 산소공급방법은 하절기 열성층 동안에 심수층에 존재하는 오염물질을 산화하기 위한 목적으로 순수산소를 심수층에 공급하여 산소는 심수층에서 용해되며 넓은 지역에 분산되고, 따뜻한 표층수는 산소공급으로 혼합되지는 않는다.

(5) 퇴적물의 피복(Sediment covering)

퇴적물의 피복은 영양염류가 수중으로 용출하는 것을 억제할 수 있다. 따라서 퇴적물의 피복하는 방법도 호소 정화방안의 하나로 이용되기도 하는데 피복물질은 plastic sheet, fly ash, iron-rich sand, clay 등이 이용되고 있다.

이 방법은 준설보다 저렴하나 효과가 영구적이지 않으며, 저서생물권(benthic fauna)을 위한 자연적 환경이 변화된다는 단점 등이 있다.

(6) 호소수의 강제 순환(Forced circulation)

동절기 열성층을 형성하고 있는 호소수에 강한 압축공기를 주입함으로써 강제로 호소수를 순환시키는 방법으로, 압축공기는 수온이 일정하게 차가운 호소 전수심의 순환을 위해 작용하며, 심층수는 표층으로 부상하고 수표면에서 공기와 접촉(재폭기)으로 산소를 공급받게 된다.

이 방법은 겨울철과 같이 온도변화가 거의 없고 비중이 같은 물의 호소에 적용해야 하며, 표층수의 온도가 올라가는 봄에는 물의 순환효과가 감소되고, 여름철에는 무거운 심층수가 산소의 재폭기 없이 심층으로 가라앉기 때문에 강제순환방식을 사용할 수 없다.

나. 화학적 대책(Chemical measures)

(1) 인(磷)의 응집침전

영양염류의 불활성화는 황산알루미늄에 의한 응집과 퇴적물에 질산염을 주입하기 위한 유기물의 산화 등 두가지 방안이 있으며, 응집처리는 용해성 인산염의

고착으로서 1차 생산력을 감소시킨다.

화학약품의 주입에 의하여 호소수 중의 인을 응결, 침전시키는 방안은 많이 검토되었는데 지금까지의 적용사례 중 영양염류를 호소내 불활성화하는 방법이 가장 성공적이었다. 일반적으로 이용된 기술은 알루미늄화합물을 사용하여 인산염을 응결시키는 방법으로 인은 황산알루미늄, 염화철(3가) 및 수산화칼슘을 사용하여 침전시킬 수 있다.

이러한 화학적 처리는 호소수의 인산염 제거효율이 향상되며, 호소 퇴적물로부터의 인산염 재용출에 대한 alum 수산화층의 효과가 뛰어나고 식물플랑크톤 biomass의 감소효과가 높으며 동물플랑크톤, 세균성 플랑크톤 및 물고기에 대한 독성이 없어지는 장점이 있다.

호소 정화를 목적으로 이 방법을 단독적으로 사용하는 것은 부적절하며 다른 정화대책과 함께 사용한다면 검토될 만하다.

## (2) 퇴적물의 산화(Sediment oxidation)

퇴적물은 호소에서의 영양염류 순환에 큰 역할을 한다. 영양염류는 호소의 퇴적층에 축적되며 퇴적물은 호기성 상태에서 많은 양의 인과 결합하고, 혐기성 퇴적물은 인을 용출시킨다. 호기성 퇴적물은 인을 인산제3철로 고착시키며 수산화제3철로 침전시키는데 많은 양의 인이 흡착되어 있다. 혐기성 상태하에서는 3가철이 2가철로 되어 인이 용출된다.

## 다. 생물학적 대책(Biological measures)

### (1) 수생식물 제거(Grass carp & Biomanipulation)

늦가을 호소내에서 고사되기 직전의 수초를 수확함으로써 호소내에서 생성된 유기물을 제거하는 효과를 가져올 수 있다. 가을이 되면 어린생물은 이미 adult 형태로 성장을 하기 때문에 수초는 이들 생물성장에 큰 도움이 되지 못하다. 또한 겨울에 호소표면이 얼어 겨울철새들에게도 얼음 밑의 수초는 도움이 되지 않는다. 이러한 수생식물들은 겨울철이 지나면 다시 호소에 퇴적되고 호소바닥에서 혐기성 혹은 호기성 상태에서 부식하여 유기물을 용출하므로 호소수질을 저하시키며,

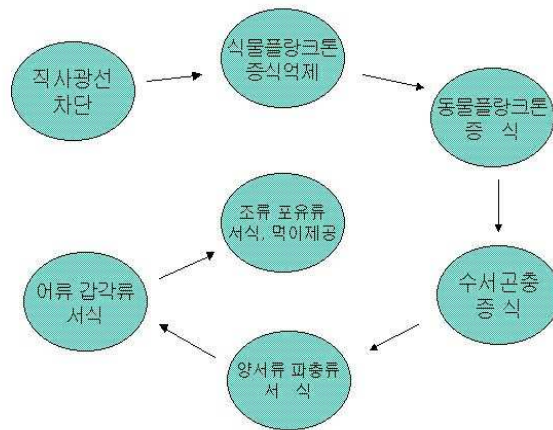
호소 퇴적층이 높아져 호소의 물 저장능력을 저하시키고 부영양화를 촉진시킨다.

따라서, 수변지역의 수생식물을 주기적으로 제거하여 호소수질을 관리할 수 있는 노력이 필요하다.

(2) 인공 수초섬(부도)에 의한 호소 수질 정화

부레옥잠을 이용한 수처리 공법은 널리 알려진 방법이다. 그러나 이를 호소수의 정화에 적용한 사례는 많지 않다. 팔당호에서는 入部에 부레옥잠을 심어 유역으로부터 유입되는 오염물질을 우선 처리하여 호소 중심으로 들어가도록 한 예가 있다. 이는 호소 수심이 얇고 체류시간이 긴 경우 상당히 효과적인 것으로 알려져 있다.

특히 최근에는 인공부도를 이용하여 부레옥잠 이외에 갈대, 부들, 창포, 미나리 등과 같은 수생식물을 이용하고 있으며, 이러한 인공부도는 뗏목형태의 인공부채 위에 수생식물을 식재하여 생물 생식공간의 확보, 수질 정화기능, 경관의 개선, 파고에 의한 호안 보전을 목적으로 설치하고 있다(그림 5-4).



[그림 5-4] 인공부도의 기능



## 제5장 결론 및 정책제안

### 5.1. 결론

지금까지 본 연구에서 영랑호와 청초호의 오염부하량, 수질, 생태계, 석호 보전 및 관리방안에 대해 조사 및 분석한 결과는 다음과 같다.

#### 가. 오염부하량

영랑호와 청초호의 오염 발생부하량이 매우 높았고, 청초호 유입하천으로부터의 유기물(COD)과 총질소의 부하율이 매우 높았으며, 영랑호의 경우 강우가 다소 많았던 2002년도에 부유고형물(SS) 유입부하량이 매우 높게 조사되었으므로, 하수종말처리시설 등의 차집을 증가 및 비점오염원의 오염물질 유입저감대책 등의 유역 관리방안 마련이 필요할 것으로 보인다.

#### 나. 수질

수온 및 용존산소, 염분도의 수직분포는 각 호소마다 수심에 따라 다소 차이가 있으나 대부분 중층에 강한 화학성층(chemocline)이 형성되어 있다. 화학성층 이하 수심에서 염분도가 증가하였으며, 용존산소는 급격히 감소하였다. 또한 11월경에는 표층보다 심층에서 수온이 높은 수온역전현상이 일어났으며, 심층의 용존산소는 고갈된 상태를 보였다.

염분도의 수평 분포는 각 호소마다 약간의 차이는 있으나 유입수가 유입되는 지점은 낮고 방류구 지역이 높아 석호가 해수에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 특히 과거자료와 비교해 볼때 청초호와 달리 영랑호의 경우 상당히 담수화 된 것을 알 수 있으므로 해수 순환을 증대방안 강구 등의 대책이 요구된다.

아울러 영랑호와 청초호의 부영양화도 지수(TSI) 판정결과 부영양화 수준을 초과하는 것으로 조사되어 수질개선 등이 시급한 과제로 대두되었다.

#### 다. 생태계

동물플랑크톤은 2000년의 경우 생물량이 최대였던 시기의 우점종은 윤충류였

다. 조사기간 동안 대부분의 지점에서 윤충류 종이 우점한 것은 수온에 내성을 갖는 종들의 대량번식과 어류의 선택적인 포식으로 인한 대형 플랑크톤의 제거로 윤충류에 대한 대형동물플랑크톤의 포식압이 감소한데 그 원인이 있는 것으로 보인다.

조류는 영랑호와 청초호 모두 과거에 비해 종 및 개체수가 증가하는 추세이며, 증가 원인으로는 호소 준설사업이 대부분 완료되었고, 철새 휴식공간과 갈대밭 조성 등으로 인한 것이라 판단된다.

어류는 최근 조사자료가 거의 없어 “영랑호의 육수학적 연구”(조와 박) 1969년 및 “영랑호 오염방지 타당성조사 및 기본설계”(속초시) 1993년에서 영랑호의 어류상에 대해 조사한 자료를 분석하였으며, 조사결과 1969년도에 담수산어류 8종과 해산종 6종이 분포하고 있었고, 1993년도에는 담수산 어류 13종과 해산종 4종이 분포하고 있는 것으로 보아 영랑호가 예전에 비해 담수화가 상당히 진행된 것으로 판단되며 보다 정밀한 어류상 조사가 이루어져야 할 것이다.

#### 라. 석호 보전 및 관리방안

석호 관리의 문제점은 관광개발과 무분별한 매립·이용으로 자연적인 천이가 아니라 인위적인 작용으로 인해 급격히 훼손되고 있다. 따라서 석호의 환경을 보전하기 위해서는 석호의 지속가능한 이용이 궁극적으로는 개발편익보다 더 큰 이익을 가져올 수 있다는 인식이 확산될 수 있도록 석호의 뛰어난 생태가치에 대한 교육·홍보를 강화하여야 하며, 이를 위한 종합적이고 체계적인 연구와 제도적 관리체제가 뒷받침되어야 하고, 아울러, 수질개선을 위해 점오염원의 처리와 비점오염원의 지속적인 저감, 호소내부의 오염원 저감 등이 시행되어야 할 것이다.

지금까지 본 바와 같이 동해안 석호는 풍부한 생태학적, 학술적, 경관적 자원을 제공해주는 기수호로, 향후에도 그 지역의 역사와 문화를 유지시켜주는 역할을 할 것이다. 석호에서 일어나고 있는 여러 가지 현상의 메카니즘, 역사, 가치 등 해명되지 않은 많은 부분이 있다. 이러한 부분을 하나하나 해명하여, 석호가 가진 풍부한 개성을 찾아내고 인간과 석호가 어떻게 하면 보다 좋은 관계에서 공생할 수

있는가를 제시할 필요가 있다. 그러기 위해서는 동해안 석호를 전문적으로 연구하는 연구기관은 물론 효율적으로 관리하기 위한 제도적 장치가 절실히 필요하다. 그래야만 훼손되어가는 석호를 올바르게 진단하고 처방할 수 있을 것이다. 각 지자체에서는 지금도 석호자원을 적극 활용하려는 사업이 이루어지고 있으며, 한편으로는 수질개선 및 생태계복원 사업도 실시하고 있다. 근본적으로는 자연환경을 인위적으로 변형한다는 것은 매우 위험한 일이므로, 충분한 검증이 있는 후에 석호 관련 사업이 이루어져야만 건강한 석호의 환경보존과 현명한 이용을 위한 방안을 찾을 수 있을 것이다.

## 6.2. 정책제안

### 6.2.1. 기본방향

석호의 환경관리는 석호가 가지는 경관가치, 지형가치 및 생태적가치를 어떻게 유지·보전하는가에 관리의 초점이 맞추어져야 할 것이다. 모든 석호를 개발과 보전의 조화라는 측면에서 접근하는 것보다 보호가치가 있는 석호는 보호정책을 중점적으로 추진하고, 이미 석호의 특성이 파괴되었거나 항만 등의 다른 용도로 사용되는 석호는 수질을 중심으로 한 환경개선을 추진하며, 현재 훼손이 진행되는 석호에 대해서는 보전과 복원노력을 병행하는 다원적인 관리가 필요할 것으로 보인다.

따라서 향후 석호의 보전을 위해서는 수질개선 및 생태계보전사업을 지속적으로 추진하고, 장기적 수질·생태계변화조사를 위한 모니터링을 실시하여야 하며, 친환경 토지이용방안 등을 포함한 지자체별 석호보전장기종합대책 수립하여 합리적 규제 및 합리적 보전을 위한 제도 및 시스템을 구축하여야 할 것이다.

### 6.2.2. 제안내용

#### 가. 석호실태조사 근거 마련 및 습지보전방안 수립

동해안 석호에 대한 전반적인 기초조사가 이루어지지 않았으며, 특히 소규모의 습지 및 석호에 대한 자료가 전무한 실정이다. 따라서 환경부와 강원도를 중심

으로 동해안 석호실태 파악과 정기적인 모니터링을 하도록 하는 규정을 제도화하고, 조사결과를 토대로 보존할 곳은 보존하고, 개발할 곳은 완벽하게 개발하여 생태자원공간으로 활용하도록 해야 할 것이다.

습지보전법에서는 습지 및 석호보전을 위한 종합보전대책을 수립하도록 규정되어 있으므로 정확한 실태조사를 기초로 석호보전종합계획이 마련되어야 한다.

#### 나. 관리의 일원화 및 법제도의 활용

1999년에는 「습지보전법」이 공포되면서 습지의 보호 및 보전에 대한 법적인 틀이 갖추어져 습지관리의 근간이 되었다.

동해안 석호와 밀접한 연관이 있는 관련법으로는 우선, 상기에 기술한 습지보전법과 수질환경보전법을 들 수 있으나 여타의 일반적인 자연호수 및 인공호수에 대한 기준적용과 석호는 구분되어야 할 것이다.

또한 연안의 효율적인 보전·이용 및 개발에 관하여 필요한 사항을 규정함으로써 연안환경을 보전하고 연안의 지속가능한 개발을 도모하여 연안을 쾌적하고 풍요로운 삶의 터전으로 조성하는 것을 목적으로 하는 연안관리법도 석호와 연관성이 밀접하다.

따라서 법체계를 충분히 활용한 보전대책이 강구된 위에 일부 석호에 대한 활용방안이 강구되어야 하며, 석호보전대책의 수립주체를 명확히하여 국가와 지방자치단체의 역할 분담을 분명하게 구분하여야 한다.

#### 다. 석호보전조례 제정

우리나라에서는 1997년 강원도 인제군 소재의 대암산 용늪의 습지 등록과 동시에 랍사협약에 가입하였으며, 이듬해 3월에는 우포를 추가 등록하면서 본격적인 습지보전에 대한 인식이 형성되었다.

“습지의 훼손”이라 함은 배수·매립 또는 준설 등의 방법으로 습지 원래의 형질을 변경하거나 습지에 시설 또는 구조물을 설치하는 등의 방법으로 습지를 보전외의 목적으로 사용하는 것을 말하는 것으로 기존의 동해안 자연석호가 원형을 그대로 유지하고 있거나 훼손이 전혀 없는 석호는 거의 없는 것으로 조사되었다.

각 지자체는 이러한 석호의 보전을 위하여 “석호보전조례” 또는 “자연석호 주변 경관 및 건축에 관한 조례”를 제정하여 석호 및 그 주변지역에서 석호에 영향을 미치는 훼손행위를 근절시킬 수 있어야 할 것이다.

#### 라. 자연석호보전위원회 구성

‘습지보호지역’은 환경부장관이 지정·관리하도록 하고 있고, 환경부장관이 지정·관리하는 지역은 보호 및 보존성격이 강하므로 지역자원의 적절한 활용을 위해, 시·군과 조화롭게 협력하는 관리방안을 채택하는 것이 중요하다고 판단된다.

또한 동해안 석호 및 유역권은 지역주민들이 많이 거주하고 있으며 각 지자체에서 많은 관광자원으로 활용할 가치가 있으므로 적절한 활용방안도 강구되어야 할 것이다.

따라서 가장 효율적이 관리를 위해서는 환경부 및 강원도를 중심으로 ‘주민’, ‘전문가’, ‘시민단체’ 등이 참여하는 가칭 「자연석호보전위원회」를 구성하여 자문단 및 현장관리시스템을 갖추는 것이 가장 바람직할 것으로 판단된다.

#### 마. 행정기관별 역할 분담

##### (1) 환경부(원주지방환경청)

지금까지 원주지방환경청의 연차적인 보고서 작성을 통하여 동해안 석호에 대한 많은 실상이 공개되었으나 자원의 체계적인 관리측면에서는 미흡하다고 생각되지만 보전대책의 새로운 장을 마련한다는 데 큰 의미를 두고 싶다.

원주지방환경청에서 실시해온 석호조사와 수생태계 등에 대한 조사는 약 8년간 기초자료 확보차원에서 지속적으로 수행되고 있으므로 장래수질예측과 호소관리방안을 마련하는데 기초자료로 활용될 것이다. 그러나 지금 시점에서는 동해안 석호에 대한 보다 전반적인 조사의 필요성을 더 이상 간과할 수 없는 시점에 이르렀다고 생각된다.

동해안 석호관리는 수질보전위주의 관리정책에서 생태보전중심의 관리전략으로 전환하여야 하나, 기존의 보고서를 분석한 결과 산발적, 개별적으로 연구가 진행되어 연속성과 연계성이 부족한 면이 있다.

현재 원주지방환경청을 중심으로 진행되고 있는 일부 석호에 대한 조사에서도 강원도 및 시군과 긴밀한 협조 없이 추진되어 효율적인 조사 및 대책이 강구되지 못하고 있는 실정이다.

## (2) 강원도

강원도의 자연석호에 영향을 미치는 것은 자연적인 요소뿐만 아니라 도시 및 농촌개발, 관광지 개발 등에 의한 인위적인 개발에 의하여 가장 큰 영향을 받는다. 따라서 강원도 및 시군이 공동으로 이에 대한 현황을 파악하는데 노력해야 한다. 무분별한 매립을 지양하고 석호와 해안수역을 단절하는 도로 및 교량건설, 도시의 확포장을 가급적 억제하도록 한다. 현재 동해안 습지 및 석호에 대한 강원도의 역할은 특별히 없으므로, 각 석호에 대하여 환경부와 공동으로 연구단 또는 조사단을 구성하여 운영하도록 한다.

북강원도를 비롯한 북측의 자연석호조사 및 보전에 관한 공동조사 또는 공동연구, 자연석호관련 국제심포지움 등을 공동개최하는 등 남·북공동프로젝트를 수행하여 “자연석호조사 및 보전을 위한 남북교류협력사업”으로 확대해 나가는 방안도 필요하다.

## (3) 관련 시·군

각 시군은 조례제정을 통한 석호보전노력뿐만 아니라 인근지역에 대한 종합적인 상황을 파악하여 그 보전대책을 수립하여야 한다. 특히 주변지역에 대한 토지이용현황 및 토지이용실태를 조사하여 대책을 강구하여야 할 것이다.

### 바. 석호보전기금의 조성

현재 석호에 투입되고 있는 예산은 하천정화사업에 의한 국고(양여금)지원사업으로 해마다 수십억의 예산이 지원되고 있으나 전체적인 마스터플랜의 부재와 정확한 현상파악이 부족한 상태여서 예산의 낭비와 투자효율성이 높지 않은 것으로 판단된다. 따라서 국고 및 지방비의 지원금에 대한 체계적인 투자와 함께 지역주민대책을 강구할 수 있는 기금조성이 병행되어야 석호보전에 대한 효율성이 높아

질 것으로 생각된다.

즉, 각종 개발에 대한 환경부담금 징수 및 습지보전기금(국가기금)을 조성하여 활용하고, 동해안 석호의 중요성을 홍보하여 일반인으로부터도 기금을 모금하도록 하며, 각종 생태교육프로그램에 참여하는 단체에게 일부를 징수하는 것을 검토하여야 할 것이다.

각종 기금은 석호보전 및 유역내 각종 생태교육시설의 투자, 석호주변지역에 대한 환경농업의 장려와 지속적인 재첩, 부새우, 산채 등을 생산하기 위하여 필요한 환경기초시설의 설비투자에 소요되는 경비를 지원하도록 하며, 이러한 부산물의 증시사업에 소요되는 재원으로 활용해야 할 것이다.

#### 사. 석호의 가치극대화를 위한 홍보강화

##### 1) 홍보의 목적

석호자원의 중요성을 널리 알려 석호의 귀중한 생태보전에 기여하고 석호만이 가지고 있는 부가가치를 극대화하여 생태계의 보고로 인식시켜 지역소득에 기여하도록 한다.

##### 2) 홍보전략의 개요

① 인터넷 석호사이트 운영 : 석호의 가치 및 활동사항, 철새의 근황 등 각종 정보를 제공하여 석호에 대한 관심과 보전노력을 제고시킨다.

② 신문 및 방송국을 통하여 석호의 신비 및 변화 등에 대한 정기적인 모니터링을 토대로 특집방영 등을 추진하여 일반인의 관심을 불러일으킨다.

③ ‘석호보존학회’ 창립 : 석호의 가치를 홍보하고 그 가치를 지속적으로 보존하기 위하여 유사지역의 사례를 발표할 수 있는 국제학술심포지움을 정기적으로 개최하여 외국에도 홍보할 수 있도록 한다.

④ ‘동해안 석호포럼’을 개최 : 환경단체, 초·중·고등학교 교사 및 대학교, 연구소를 포함하여 지역 연구조직의 구성 및 활성화를 도모한다.

⑤ 동해안 석호주변의 학교와 도시학교간 자매결연 및 학생교류를 실시한다.

⑥ 홍보책자, 비디오, CD 등 자료를 국문 및 외국어로 제작·배포한다.

⑦ 정기간행물로서의 '동해안 석호소식지'를 제작 발행하여 현장소식을 생생하게 전달하고, 특히 비수기인 시기에 철새를 활용한 관광테마를 개발하여 생태관광객을 적극 유치하도록 한다.



## [ 참고문헌 ]

- (주)아섬부설호소생태연구소. 2001. 국내 연구 사례
- 강릉경제정의실천시민연합. 1996. 동해안호수 보존 심포지엄 자료집
- 강릉대학교. 1997. 환동해권 호수환경에 관한 한·일 국제심포지엄 논문집
- 국립환경연구원. 한강수질검사소. 1998. 기수호의 환경현황과 보전에 관한 연구
- 국립환경연구원. 1997. 호소 이수목적에 따른 허용부하량 산정(I)
- 국립환경연구원. 1998. 호소 이수목적에 따른 허용부하량 산정(II)
- 국립환경연구원. 2000. 정책결정자를 위한 부영양화 관리방안
- 국립환경연구원. 2000. 하천·호소 오염관리기술
- 권문상외. 1997. 사례 연구를 통한 연안역 관리정책 및 정보시스템 구축연구
- 권상용. 2002. 화진포호의 육수생태학적 연구. 삼척대학교 공학석사 학위논문
- 김범철, 김은경, 표동진, 박호동, 허우명. 1995. 국내 호소에서의 남조류 독소발생. 한국 수질보전학회지 11(3): 231-237
- 김범철, 안태석, 조규송. 1988. 한강수계 인공호의 부영양화에 관한 연구. 한국육수학회지 21(3): 151-163
- 김범철. 2000. 부영양화와 호수생태계의 변화
- 김일희. 1996. 동해안 기수호 동물상의 특징. 동해안 호수 보존 심포지엄
- 나카무라케이고. 가즈미가우라에서 갈대의 인공부도 연구
- 남미란. 2003. 강원지역 자연생태계 보전방안에 관한 연구
- 대경기계기술(주). 하·폐수처리에서 바실러스균을 이용한 질소·인 제거기술
- 박상현. 2003. 강원도 자연석호의 보전 및 활용방안
- 박용길. 2001. 동해안 석호의 습성천이 구조와 원인, 그리고 복원정책. 동해안 석호 수질 보전대책 심포지움
- 속초시. 1993. 영랑호 오염방지 타당성조사 및 기본설계
- 속초시. 2000. 영랑호 하구 도류제 공사에 따른 환경영향검토 보고서
- 속초시. 2002. 청초호 유원지 개발을 위한 공유수면 매립사업 사후환경영향조사 결과 보고서
- 속초시. 2003. 영랑호 친자연형 수변조성 기본계획 및 기본설계 용역보고서
- 신강하이텍(주). 오염하천정화 자연형하천복원 부영양호 녹조방지대책
- 원주지방환경청. 1997. 동해안 석호 수질개선대책

- 원주지방환경청. 1999. '98 동해안 석호 조사보고서
- 원주지방환경청. 2000. '99 석호 연구보고서
- 원주지방환경청. 2000. 동해안수계 오염원조사보고서
- 원주지방환경청. 2001. '00 석호 연구보고서 II
- 원주지방환경청. 2001. 동해안 석호 수질보전대책 심포지엄
- 원주지방환경청. 2002. 석호 수질개선을 위한 심포지엄
- 원주지방환경청. 2003. UN제정 세계 물의 해 기념 심포지엄
- 원주지방환경청. 2004. 생태계변화관찰 보고서
- 유홍식. 1996. 동해안 호수와 그 유역의 경관변화, 동해안 호수보전 심포지엄
- 이진환, 광성규. 1987. 영랑호의 환경학적 연구
- 장순희, 박용길. 2000. 동해안 자연 호수의 지속 가능한 개발
- 전상호, 전방욱, 유성환. 1996. 동해안 자연 호수의 수질조사. 동해안 호수 보존 심포지움. 강릉경제정의실천시민연합. pp.83-118
- 정경태. 2002. 청초호의 생물·물리·화학적 환경연구
- 조규송, 박양생. 1969. 영랑호의 이화학적 특징 및 플랑크톤상에 관한 조사
- 최재석, 이광열, 장영수, 고명훈, 권오길, 김범철. 2003. 소양호의 어류군집 동태. 한국어류학회지 15(2): 95-104
- 편충규. 1984. 기수호(향호·매호·영랑호·송지호·화진포)의 환경 및 생물상 조사보고. 제주대학교논문집 18: 93-105
- 한국환경정책연구원. 2001. 하구·석호 육해전이수역의 통합환경관리방안 연구
- 허우명, 김범철, 안태석, 이기종. 1992. 소양호 유역과 가두리로부터의 인부하량 및 인수지. 한국육수학회지 25: 207-214
- 허우명, 김범철, 전만식. 1999. 동해안 석호의 부영양화 평가
- 허우명. 1999. 동해안 석호의 수질실태 및 보전방안
- 허우명. 2001. 동해안 석호의 수질실태 및 개선방안, 하구·석호 등 육해전이수역 통합환경관리를 위한 정책토론회 자료집
- 환경부. 1997. 전국 자연환경 조사보고서
- 환경부. 1998. 제2차 전국 자연환경 조사보고서
- 환경부. 2000. 비점오염원 관리요령
- 환경부. 2001. 한국의 호소환경 조사기법 개발에 관한 연구
- Agbeti, M.D. & Smol, J.P. 1995. Dynamics of Chyrsophyceae and Synurophyceae and their encystment in two Canadian lakes. J. Phycol. 31: 70-78.

- Aizaki, M., A. Otsuki, T. Fukushima, T. Kawai, M. Hosomi and K. Muraoka. 1981. Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 491-495
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22:361-369
- CARPENTER, S. R., AND J. E. KITCHELL. 1993. *The trophic cascade in lakes.* Cambridge Univ. Press
- Fenchel T. 1987. *Ecology of Protozoa.* Berlin; Heidelberg etc.: Springer-Verlag. 197 p.
- Forsberg, C. and S. O. Ryding. 1980. *Arch Fur Hydrobiol.* 89: 189-207
- Hutchinson, G.E. 1975. *A treatise on limnology. III. Limnological Botany.* John Wiley, New York: 660 pp.
- Kim, B., J.H. Park, G. hwang and K. Choi. 1997. Eutrophication of large freshwater ecosystem in Korea. *Kor.J.Limnol.* 30: 512-517
- Kirchman DL. 1994. The uptake of inorganic nutrients by heterotrophic bacteria. *Microb Ecol* 28:255-271
- Laybourn-Parry, J. 1997. The microbial loop in Antarctic lakes. In *Ecosystem Processes in Antarctic Ice-Free Landscapes.* (eds. C. Howard-Williams et al.), Balkema, Rotterdam, pp 231-240.
- Sawyer, C.N. 1947. Fertilisation of lakes by agricultural and industrial drainage. *New England Water Works Association.* 61: 109-127
- Schindler, D.W. 1977. The evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science* 195: 260-262.
- Sommer A, Tarwotjo I, Djunaedi E, et al. 1986. Impact of vitamin A supplementation on childhood mortality: a randomized controlled community trial. *Lancet* 1: 1169-1173
- U. S. EPA. 1976. *Water Quality Criteria Research of the U. S. Environmental Protection Agency, Proceeding of an EPA Sponsord Symposium,* EPA-600(3-76-079) : 185
- Vanni, M. J., and J. Temte. 1990. Seasonal patterns of grazing and nutrient limitation of phytoplankton in a eutrophic lake. *Limnology and Oceanography* 35: 697-709.

## **ABSTRACT**

### **Remediation of the water and the ecosystem for lagoons in the eastern coast of Korea**

- Focused on a conservation about Yongrang-ho and Choungcho-ho -

Ko, Dong Hoon  
Dept. of Environmental  
Engineering  
The Graduate School of  
Health & Environment  
Yonsei University

To suggest improvement for the water quality and the ecosystem management, the present condition of the water quality and ecosystem of Lagoon Youngrang and Choungcho, with eutrophic condition in east coast, was investigated and the problems of the lagoon water was discussed.

The surrounding of the Youngrang lagoon has been developed into a touristic attraction while the Choungcho lagoon has the function of a fishing port as well as a commercial fishing port. The Choungcho lagoon is located at the Sokcho river and it is polluted through the wastewater which occurs from various domestic sewages and industrial facilities.

Choungcho lagoon reclaimed a total of 411,015m<sup>2</sup> for the purpose of the tourism expos amusement park development. And in the surrounding of the Youngrang lagoon a road was constructed thus it cause a great damage to the

wetland zone.

From 1998 until 2002, the TSI(Trophic State index) of the Lagoon Youngrang and Choungcho were by 60~70. On the basis of the TSI, the nutrition condition of these lakes can be classified into a eutrophic or hypertrophic lake.

Moreover, as the result of Lagoon Youngrang yearly salinity hypolimnion investigation, it was found out that the salinity was in 1960 24~28‰, 1970 6~16‰ and 2000 4~7‰. In 1993 the number of the freshwater fish species increased 5 times compared to 1969, while the sea fish species number dropped 2 species. Therefore those changes shows that the replacement of salt water by fresh water progressed considerably.

Several improvements such as lagoon and marshes dredging and sewer installation for improving the water quality was carried out but there were still no signs of improvement.

Consequently, to recover the water quality and the ecosystem of the lagoon in the east coast, effective management of point and non-point pollution sources from a lagoon watershed and lagoon basin should be accomplished. Moreover, environmental policy development for an efficient lagoon management must be supported.

---

Key words : lagoon, eutrophic, salinity, point and non-point pollution source, dredging, reclaim