



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2010年 8月

碩士學位論文

옥정호의 조류발생 영향인자 상관성 분석 연구

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

李 鎬 鈴

옥정호의 조류발생 영향인자 상관성 분석 연구

A Study of the relationship between the critical
influential factors about bloom in Lake Okjeong

2010年 8月 日

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

李 鎬 鈴

옥정호의 조류발생 영향인자 상관성 분석 연구

指導教授 鄭京勳

이 論文을 工學碩士學位申請 論文으로 제출함.

2010 年 4 月 日

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

李鎬鈴

이호령의 碩士學位論文을 認准함

委員長	朝鮮大學校 教授	崔 炯 一
委 員	朝鮮大學校 教授	申 大 允
委 員	朝鮮大學校 教授	鄭 京 勳



2010 年 5 月

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Figures.....	II
List of Tables.....	III
Abstract.....	IV
제1장. 서론.....	1
제2장. 문헌연구.....	3
제1절. 부영양화.....	3
1. 부영양화 정의.....	3
2. 부영양화 특성.....	3
3. 부영양화의 영향인자 및 방지방안.....	7
제2절. 부영양화의 오염원별특징.....	9
1. 점오염원 과 비점오염원.....	9
2. 부영양화 유발 오염물질 종류.....	10
제3장. 재료 및 방법.....	14
제1절. 연구대상호소.....	14
제2절. 수질자료의 분석.....	16
제3절. 부영양화 지수를 통한 영양상태 평가.....	17
제4절. Pearson 의 상관관계와 회귀분석 평가.....	18
제4장. 결과 및 고찰.....	19
제1절. 수질자료의 분석.....	19
제2절. 부영양화 지수를 통한 영양상태 평가.....	31
제3절. Pearson의 상관관계와 회귀분석 평가.....	34
제5장. 결론.....	37
참고문헌.....	38

List of Figures

Fig1. 호수의 부영양화.....	5
Fig2. 섬진강댐과 옥정호 사진.....	14
Fig3. 옥정호위치.....	15
Fig4. 옥정호 주변의 연강수량과 월평균 강수량.....	21
Fig5. 옥정호 주변의 연평균 강수량과 연평균 수질과의 관계.....	22
Fig6. 옥정호 월평균수질 범위(a)온도, (b)PH, (c)전기전도도, (d)D0, (e)SS,(f)BOD....	25
Fig7. 옥정호 월평균수질 범위(g)COD, (h)TP, (i)NH ₃ -N, (j)NO ₃ -N, (k)TN, (l)chl-a...	26
Fig8. 옥정호 월평균수질 범위(m)분원성대장균수(n)총대장균수.....	29
Fig9. 옥정호 연평균 부영양화도 지수(TSI)(a)TN, (b)TP, (c)chl-a.....	32
Fig10. 옥정호 월평균 부영양화도 지수(TSI)(a)TN, (b)TP, (c)chl-a.....	33
Fig11. 옥정호의 회귀곡선 평가(a)온도, (b)SS, (c)BOD, (d)COD.....	35
Fig12. 옥정호의 회귀곡선 평가(e)TN, (f)TP, (g)TN:TP ratio와 TN, (h)TN:TP ratio와TP...	36

List of Tables

Table1. 오염에 따른 호수의 변화.....	6
Table2. 점오염원과 비점오염원의 특징.....	9
Table3. 각종지수에 의한 영양상태 구분기준.....	17
Table4. 호소의 생활환경기준.....	19
Table5. 옥정호 주변의 강수량(1995~2009년).....	20
Table6. 옥정호 연평균 수질(1995~2009년).....	23
Table7. 옥정호 월평균 수질(1995~2009년).....	24
Table8. 옥정호 수질의 각항목별 Pearson 상관관계 분석결과.....	30

Abstract

A Study of the relationship between the critical influential factors about bloom in Lake Okjeong

By Lee, Ho Ryeong

Advisor: Prof. Ph.D Jung, Kyung Hoon

Department of Environmental-Biological Engineering

Graduate School of Chosun University

By the time Water Qualities of the Ok-Jeong lake was analyzed, As TP's figure is 0.1141 ~ 0.0245mg / L, Revealed to Ib-II's grade. It is on the very bad grade(grade IV), Annual average concentration was produced similar results, and Chl-a's concentration revealed to 3.3~27.9 mg/m³.

When trying to analyze the total water-quality's concentration, Monthly mean concentration was more highly revealed than others. It is closely related to Precipitation Distribution, also the concentrations of TP, TN and SS are increased by Summer heavy rainfall.

As a result of estimating Ok-jeong lake nutriture through the eutroication index(TSI), TSI(TN) has revealed to eutrophic lake for 19 years(1995 ~ 2009), TP will become intensive management targets, resulting from the monthly mean date was able to see relation to seasonal characteristic and TP.

Through correlation analysis, It had found that TN, TP, Chl-a is highly correlated with each other, Relation with Chl-a was researched that TP's correlation is more higher than TN's correlation.

For describing Nutrients in the algae biomass of Ok-jeong lake, Main variables was derived from a linear regression, SS concentration and the amount of algae clear correlation which is produced result of $r = 0.510$, $p < 0.001$, $n = 180$, $R^2 = 0.260$ was found in the function equation, Ration of TN/TP and with TP's Relation have been analysized as $r = 0.646$, $p < 0.001$, $n = 180$, $R^2 = 0.417$, which is the highest correlation, The Function of correlation was analyzed to $TN/TP \text{ ratio} = -5.042 \times TP + 0.215$.

제1장 서론

수자원은 생물이나 인간의 생활에 이용되는 지구상의 모든 물로, 해양 97.2%, 만년설(빙하) 2.15%, 지하수 0.62%, 지표수 중의 담수호는 0.009%, 하천수 0.00009%로 구성되어 있다.

인간이 이용가능한 수자원은 하천수 및 호소수 등의 지표수와 지하수 등의 담수(만년설, 대기수분 제외)로서 총수자원의 0.6%에 지나지 않으며, 더구나 용이하게 이용할 수 있는 수자원은 지구상의 총 수자원 중 0.01% 이하로 담수 중 실제 생활에 바로 이용 가능한 비율은 11%정도로 추정되고 있다.

우리나라 수자원은 대부분 호소에서 취수하거나 호소에 가두어두었다가 방류하는 물을 취수화 하는 방법으로 수자원을 호소에 의존하며, 강수로부터 이용되는 용수 현황은 연 총강수량 1,267억 m^3 중 310억 m^3 인 26%에 불과하고 이렇게 저조한 용수이용률을 높이기 위해서 부족한 수자원을 확보하기 위해 댐이나 하구언, 저수지등과 같은 인공호를 만들어 사용하고 있다. 향후 생활수준의 향상과 경제 성장에 따라 물 소비는 계속 증가할 것으로 예상되고, 최근빈번하게 발생하는 이상 기후로 인한 강수량의 지역적 편중은 수량의 안정적인 확보를 어렵게 하고 있다. 또한 인공호소들의 수질이 날로 악화되어 수자원의 양적 질적 확보에 장애가 되기 때문에 수질오염방지에 관한 체계적이며 진보적인 수자원관리가 요구되고 있다.

인공적으로 건설된 저수지나 댐들은 자연적으로 만들어진 자연호와 다르게 시공간적인 수질의 역동이 크고, 수리·수문학적으로 더 큰 변위를 가진다. 따라서 1990년대 이후부터 이미 건설된 저수지들은 인위적으로 야기된 부영양화 현상의 빈도가 증가하고 있다. 여름에는 남조류의 출현빈도 또한 증가하고 있으며, 대부분의 저수지들은 하천의 흐름을 막거나 소하천이 유입되는 배수구의 하류부에 댐을 건설하는 방법으로 만들어져서 유역으로부터 유입되는 영양염류의 형태와 양은 오염원 및 토지이용도 그리고 강우량과 강우빈도에 영향을 받으며, 유역면적의 크기는 퇴적물과 영양염류의 부하에 대한 잠재력을 예측하는 지표로 활용 되고 대부분이 저수량이 100만 m^3 미만이며 수심이 10m 이하로 부영양화 가능성이 높은 구조적인 특징과 여름철의 집중강우가 내리는 기후적인 특징으로 인해 불안정한 수리수문학적인 특성을 가지고 있다.

현재 18,800개의 저수지가 분포하고 있으며, 이중 지속적으로 수질상태가 모

니터링 되는 농업용저수지는 1/6수준인 3300여 개만이 존재하고 모니터링 수질항목도 일반 다목적댐의 인공호에 비해 극히 적은 수만 이루어지고 있다. 또한 대부분의 저수지는 준설이 이루어지지 않고 있기 때문에 다량의 퇴적물들이 하부에 지속적으로 축적되어 있으며, 이러한 퇴적물들은 강우발생시 비점오염원으로부터 유기물 및 영양염류에 기인하는 것으로 보고되고 있다.

Vollenweider(1968)에 의하면 여러 유역에서 발생하는 질소와 인의 유입량을 산출하면서 인의 경우 50%이상이 점오염원과 관계가 있다고 보고하였으며, EPA(1992)는 농경활동에 의한 비점오염원이 하천 수질악화의 72%, 호수 수질악화의 56%, 강어귀에서의 43% 기여하므로 농업활동이 지류와 호수에서 오염물질의 가장 큰 원인이 되고 있음을 지적하였다.

본 연구의 대상인 옥정호는 노령산맥 줄기 사이 임실군 운암면 일대를 흘러가는 성진강 상류 물을 옥정리에서 댐을 막아 반대쪽인 서쪽 정읍시 칠보로 넘겨 계화도와 호남평야에 농업용수를 공급하는 역할을 하고 있으며, 현재의 수질은 양호한 수질등급을 보이지만, 우리나라의 국지적인 하절기 몬순강우의 영향 및 인공저수지, 댐의 수리수문학적 특성에 의해 수치예측의 오차를 보이기도 한다. 따라서 국내 인공호수의 계절적인 강우의 영향 및 수리수문학적 특성을 고려한 여러 가지의 경험적 모델의 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 첫째 정기적인 수질모니터링을 실시하여 계절적 몬순 및 연별 강우분포에 따른 수질특성을 분석하고, 둘째 옥정호의 영양상태 및 부영양화특성을 TSI(Trophic State Index)편차분석을 통해 파악하며, 셋째, Chl-a - 온도, Chl-a - SS, Chl-a - BOD, Chl-a - COD, Chl-a - TN, Chl-a - TP, TN/TP - TN, TN/TP - TP 간의 경험적 모델의 구축을 통해 부영양화의 주요변수간의 상호관계를 분석하여 옥정호를 비롯한 인공호수들의 수질관리를 위한 기초자료로 제공하는 것이다.

제2장 문헌연구

제1절 부영양화

수자원을 효율적으로 운영하기 위한 인공저수지는 수역내에 발생하는 오염물질의 상당부분이 처리과정 없이 유입되어 저수지 및 호수들이 부영양화로 인한 피해가 나타나고 있다.

1. 부영양화 정의

부영양화는 조류가 대량 발생한 상태인데 수서 환경에서 조류는 기초생산자이며 광합성을 하기에 충분한 빛의 강도가 있는 표층 가까이의 좁은 투광대에서 성장한다. 조류의 생산성은 주로 빛의 강도와 무기 영양원의 양에 의해 달라진다. 과다한 질소와 인이 조류의 과다한 생장의 가장 보편적인 원인이다. 부영양화라는 용어는 "영양분이 풍부하게 공급되었다"라고 하는 그리스어에서 유래한 것으로서 하천이나 호수에 있어 영양염류가 적은 빈영양상태에서 각종오염물질의 유입으로 영양염류가 많아지게 되어 조류(algae)가 많아지게 되고 투명도가 낮아지게 되는데 이와 같이 빈영양에서 부영양으로 변화하는 현상을 말한다.

2. 부영양화 특성

Fig. 1를 보면 부영양화는 호수, 연안 해역, 하천 등의 정체된 수역에 생활하수나 공장폐수 또는 비료나 유기물질 등에 의해서 물속에 영양염류(암모니아, 아질산염, 질산염, 유기질소화합물, 무기인산염, 유기 인산염, 규산염 등이 있다), 특히 인산염이 많을 경우 식물성 플랑크톤이 과잉 증식하여 물속에 있는 산소를 감소시키고, 그 경로가 수질이 나빠지며 결국에는 산소결핍으로 어패류가 죽기까지 하는 현상을 말한다.

수중식물은 광합성을 통해 영양분을 공급받는다. 주요한 원인으로는 질소(N)나 인(P)과 같은 영양분의 과잉을 들 수 있다. 최근 생활하수, 공장폐수, 농경지나 도시지표면의 우수유출로 인하여 이러한 문제가 매우 심각하게 나타나고 있다.

Table 1을 보면 호소의 영양에 따른 변화를 보여주는데, 호소에 있어서 영양염류가 적은 곳은 플랑크톤이 적고 투명도가 높는데 이와 같은 수역을 빈영양이라고 하는 반면 영양염류가 많은 곳에서는 조류가 많이 발생하여 투명도가 낮는데 이와 같은 수역을 부영양이라고 한다. 특히 호소, 해안 등지에서 각종 오염이나 기타의 원인으로 빈영양에서 부영양으로 변화하는 현상을 부영양화라 한다. 인위적인 영향을 거의 볼 수 없는 호소에서도 극히 오랜 시간에 걸쳐서 부영양화가 일어나지만 체류시간이 긴 호수나 해역(정체수역)에 유기성공장폐수, 농업배수(질소비료, 인산비료), 가정하수 중의 질산염, 인산염의 유입으로 조류의 영양분인 질소(N), 인(P), 탄소(C) 등의 증가로 일어난다.

장기간에 걸친 저수 결과 유기성 오염물이 분해제거 된다 하더라도 수중 미생물의 번식에 영양소가 될 무기물은 축적될 수도 있기 때문이다. 그 결과 인체에 질 병을 일으키거나 수중에 맛과 냄새를 초래하는 각종 조류가 번식하게 되며 이들 조 류가 죽게 되면 저수지의 바닥에 침전되어 다른 미생물에 의해서 분해되고 그 결과 생기는 물질은 다시 다른 조류의 번식을 초래할 수 있는 영양소가 된다. 이러한 순환 을 거듭하게 되며 저수지의 수질은 점점 악화되어 나중에는 쓸모없는 늪 모양으로 변하게 된다.

호소는 부영양화가 진행됨에 따라 호소의 수질이 물리적·화학적·생물학적 특성이 변하게 된다. 부영양화의 특성으로는 영양염류의 농도가 높아서 질산염이 0.2~0.3mg/ℓ 인산염이 0.01~0.02mg/ℓ 이상이다.

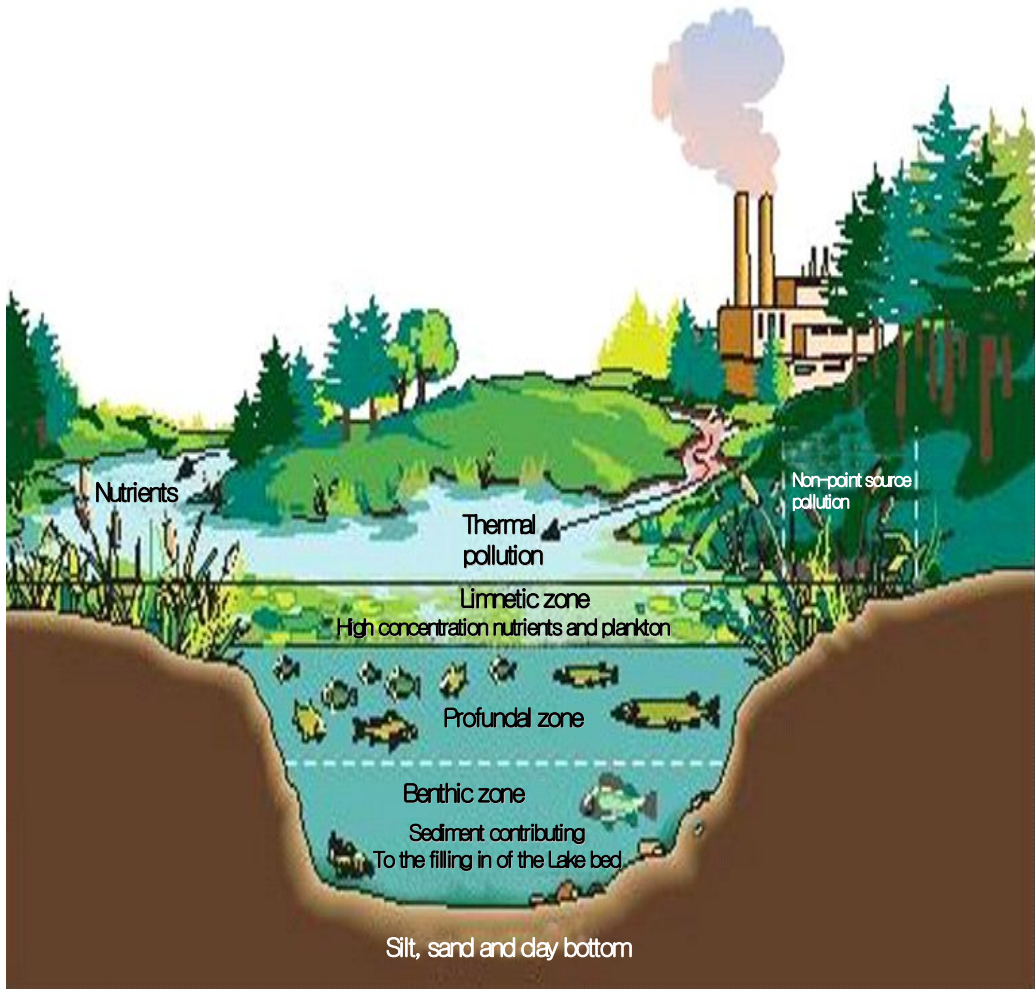


Fig. 1. 호수의 부영양화

1차 생산량이 많아 조류의 양이 $0.015\text{mg}/\ell$ 이상이 된다. 조류가 성장함에 따라 투명도가 감소하고 호소바닥에 생물의 사체나 현탁물이 침전하므로 수심이 낮아지고 유기물의 분해 작용으로 바닥에서는 산소 결핍현상이 일어나고 표면에서는 광 합성작용으로 산소 과포화 현상이 발생한다.

생물종의 다양성은 줄어들고 개체수는 증가하며 우점종도 바뀐다. 이와 같이 생물상이 변화하므로 먹이 연쇄과정도 변하게 된다. 호소에 부영양화가 발생하면 생활용수가 공업용수로 이용하기 곤란하거나 수처리비용이 많이 들어 경제적 손실을 가져 올 뿐만 아니라 수산용수, 농업용수로도 그 가치가 떨어지게 된다.

Table 1. 오염에 따른 호수의 변화

빈영양호		<ul style="list-style-type: none"> ① 낮은 영양염류 ② 생산과 소비균형 ③ 종의 다양성이 높다. ④ 고급어종
중영양호		<ul style="list-style-type: none"> ① 중간정도의 영양염류 ② 생산성이 증가되기 시작
부영양호		<ul style="list-style-type: none"> ① 높은 영양염류 ② 생산성 증가 ③ 종의 다양성이 낮다. ④ 어류 사멸
늪지대		<ul style="list-style-type: none"> ① 수심이 낮다. ② 생산량이 증가 ③ 제한된 생물만이 생존가능
육지		

조류의 영향을 살펴보면 조류가 번성하면 물에서 나쁜 냄새가 나고 물에 산소가 부족하게 되어 물고기가 죽게 된다. 많은 종류의 조류가 독소를 생산한다.

조류가 생산하는 독소는 맹독성인 Botulism 독소에 맞먹을 정도로 독성이 큰 것도 있다. 남조류(blue green algae)는 독소를 생성할 뿐 아니라 음용수의 곰팡이 맛과 냄새에도 관련이 있다. 이 조류를 포함하고 있는 저수지의 물은 소량이라도 불쾌한 냄새를 내며 남조류의 *Synploa muscorum*과 *Oscillatoria tenuis*는 제

오스민이라 하는 흙냄새가 나는 유기화합물을 만들어 낸다. 나쁜 맛과 냄새를 제공하는 다른 남조류로는 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Syura*가 있다. 규조류인 *Asterionella*는 음용수에 종종 존재하는데 이것도 불쾌한 맛을 제공한다. 냄새를 제공하는데 필요한 물질의 양은 ppm 또는 ppb 단위로 측정된다. 음료수의 맛과 냄새를 내는 가장 일반적인 화학물질이 있다. 몇 ppb의 화학물질도 음용수에 아주 나쁜 냄새를 제공한다. 아민류(amine), 인돌류(indole), 스카돌류, 유기산류는 맛과 냄새를 나게 한다. 맛과 냄새를 내는 화학물질은 물을 활성탄으로 처리하여 흡착시킴으로써 물로부터 어느 정도까지는 제거할 수 있으나 냄새나 맛을 완전히 제거시킨다는 것은 어려운 일이다.

3. 부영양화의 영향인자 및 방지방안

부영양화를 촉진시키는 주요 인자들은 광합성작용에 의해 생성된 식물성 구성 성분(C₁₀₆, H₂₆₃, N₁₀, P)으로부터 예견할 수 있듯이 식물성 플랑크톤의 영양원소는 탄소·질소·인과 미량원소들이다. 탄소원은 자연수계에서 HCO₃⁻의 형태로 공급되며, 미량원소는 수생산물이 요구하는 양보다 훨씬 많이 존재하므로, 식물성 플랑크톤의 생장에 제한요소가 되는 영양물질은 질소와 인이다. 그러나 자연수계에서는 청·녹조류 등의 질소고정에 의해 질소원이 공급되기 때문에 인이 더 중요한 제한물질이다. 또한 부영양화를 초래하는 요소가 이러한 화학적인자만에 의존되는 것이 아니라 호수의 수리·수문, 수질특성, 기상변화에 따른 성층화 등의 육수학적 특성과 토지이용, 식생 및 피복상태, 도시화와 산업화 등의 유역특성을 포함하는 물리, 생물학적 요소가 부영양화 과정에 크게 영향을 미치고 있다.

따라서 호소의 부영양화 방지방안은 제한요소인 질소, 인의 유입을 막아야 한다. 질소와 인은 도시하수를 2차 처리하여도 질소 50%, 인 30%정도를 제거하여 보통 처리 수중에 10~30ppm의 질소와 5~20ppm의 인을 함유한다. 특히 가정하수중 인의 60%가 세제의 사용에서 온다. 그러므로 호소에 유입되는 하수 및 폐수는 고도처리(3차 처리)를 하여야 하며, 인의 함량이 적은 세제의 사용도 고려되어야 한다. 또 적극 적인 방법으로 조류의 번식을 방지하기 위해 CuSO₄나 활성탄을 살포하거나 공기 주입법, 강제혼합법 등에 의해 자정능력을 촉진시키는 방법도 강구되고 있으나 많은 비용과 시간이 필요하다.

강이나 바다, 호수 등에 유기물이 들어오면 물속에 있는 미생물이 이를 분해하며, 분해산물은 자연 생태계의 물질순환의 사이클(생산 - 주로 녹색 식물에 의한 광합성, 소비 - 동물, 분해 - 박테리아)내에서 교환된다. 이 사이클이 순조로우면 자연은 균형이 잡혀, 소위 자연의 자정작용이 이루어지고 있는 셈이 된다. 그러나 예컨대 이 자정능력을 넘는 유기물이나 염류가 강과 바다로 흘러 들어가면 위에서 말한 사이클이 완료되지 않고, 수역은 분해산물 또는 2차 생성물 등의 영양염류가 풍부해지며 특정생물(적조 플랑크톤 등)이 비정상적으로 발생한다. 이에 대한 대책으로 영양염류가 들어오는 것을 막는 것이 중요하지만 그것과 아울러 계획적으로 영양염류를 제거하는 작업도 필요하다.

부영양화를 통제하는 가장 직접적인 수단은 영양분을 자연수로 유입을 제한하는 것이다. 이것은 적절한 생태학적 관리를 통하여 이루어질 수 있다. 이를 위해서는 농촌이나 도시에서의 폐기물 처분을 통제하기 위한 법규제정 및 적용이 필요하다. 경작지에 비료를 과도하게 주는 것이 금지되어야 한다. 또한 영양분 유입을 통제 할 수 있도록 처리 설비를 건설 유지하는데 필요한 자금의 투자도 필요하다. 도시에서는 N, P 등 영양염류 제거에 필요한 고도폐수처리를 하여야 하고 산업체에서도 영양원이 풍부한 폐수를 배출하지 않도록 해야 한다.

생태학적 관리는 영양원을 제거하기 위한 기술이 이용 가능하다는 가정을 기초로 하고 있다. 고도처리방법은 현재도 발전 단계에 있고 영양원을 제거하기 위한 현재의 기술이 없다면 영양원의 존재 하에서 과도한 조류의 번성을 통제하는 방법에 의존해야만 한다. 그러나 이러한 기술은 필연적으로 작은 연못과 저수지나 적용 가능하다.

작은 연못에서 조류의 과도한 성장을 막을 수 있는 가장 일반적인 수단은 황산구리($CuSO_4$)를 투여하는 것이다. 많은 양의 조류가 나타나기 전인 이른 봄철에 황산구리를 투여하는 것이 바람직하다. 어류의 사멸은 조류의 세포내 독소의 방출의 결과로 또는 조류의 유기물질을 분해하기 위하여 미생물이 증식하면서 이에 따라 산소가 결핍되는 결과로 일어난다.

황산구리는 조류를 죽일 정도의 농도로는 인간이나 어류에는 비교적 독성이 없다. 황산구리를 투광대의 물 1ℓ 당 0.1~0.5mg의 농도로 투여함이 보통이다. 송어는 황산구리 0.14mg/ℓ 에서 영향을 받으나 호수의 황산구리 처리로 인하여 송어가 죽는 일은 거의 없었다. 미국 공중보건당국에서는 음용수중의 1mg/ℓ 농도의 황산구리를 허용하고 있다.

제2절 부영양화의 오염원별 특징

1. 점오염원과 비점오염원

Table 2-1을 보면, 공공수역으로 유입되는 오염물질의 발생원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있는데 점오염원은 주로 가정하수와 공장폐수로 구성되어 있으며 배출특성은 일정한 지점에서 일정한 양이 지속적으로 발생되어 강우시나 비강우시 배출량에 큰 변동이 없는 것을 말한다. 이에 반하여 비점오염원의 오염물질은 주로 강우 시에 지표면 유출수와 함께 유출되는 오염물질로서 도시지역의 먼지와 쓰레기, 농지에 살포된 비료 및 농약, 토양 침식물, 축사유출물, 동·식물의 잔여물, 대기오염물질의 강하물 등을 말한다. 비점오염원 물질은 일반적으로 강우시 많이 유출되기 때문에 일간·계절간 배출량 변화가 크고 예측과 정량화가 어려우며, 인위적인 조절이 어려운 기상조건·지질·지형 등에 영향을 많이 받는 특성을 지니고 있다.

Table 2. Characteristic of Point source and Non-point source

구분	점오염원(point source)	비점오염원(non-point source)
배출원	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 산업폐수, 축산폐수 가정하수 (하수처리장), 분뇨처리장 등 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 논, 밭, 임야, 대지, 도로 등 ◦ 대기(강하 물질), 강우유출수, 지하수 등
특징	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 인위적 배출 ◦ 배출기능만 수행 (인위적으로 처리시설을 설치해야 함) ◦ 배출지점이 명확 ◦ 수역내 한 지점으로 집중 배출 ◦ 자연적인 영향을 적게 받아 계절적인 변화가 크지 않음 ◦ 차집이 용이하고 처리효율이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 인위적 및 자연적 ◦ 배출기능과 흡수정화기능을 모두 가질 수 있음 ◦ 배출지점이 불명확 ◦ 희석, 확산되면서 넓은 지역으로 배출 ◦ 자연적인 영향을 받아 계절에 따른 변화가 심함 ◦ 차집이 어렵고 강우의 영향을 받아 처리효율이 일정치 않음

2. 부영양화 유발 오염물질 종류

가. 생활하수

(1) 분해성 유기물질

유기물질은 탄소를 비롯한 여러 가지 원소로 구성된 물질을 말한다. 이런 물질이 물에 들어가면 미생물에 의해 분해되게 되고 물속의 산소를 소모시키며 나아가 산소가 없어지면 메탄, 황화수소 등의 냄새가 나는 가스가 나오기도 한다. 가정에서 버려지는 음식찌꺼기, 분뇨, 쓰레기와 축사에서 흘러나오는 폐수가 그 대표적인 예이다.

(2) 음식물찌꺼기

음식물찌꺼기가 물속에 들어가면, 이것을 분해하는 호기성미생물이 증가한다. 유기물은 호기성미생물에 의해 분해되면서 물속에 녹아있던 용존산소량(DO)을 감소시키므로, 산소를 필요로 하는 생물은 살기 어렵게 되고, 호기성미생물도 결과적으로 감소된다. 그러나 산소가 없는 환경에서도 번식할 수 있는 혐기성미생물은 증가하게 되고, 이들이 남은 유기물을 분해시킬 때 황화수소나 메탄가스 등이 방출되어 물에서 악취가 나게 된다.

(3) 폐식용유

물을 더럽힐 뿐만 아니라 물위에 기름막을 형성하여 물속으로 산소가 녹아드는 것을 방해함으로써, 수중 생태계에 산소가 부족하게 되고, 결국 수중생태계를 파괴시킨다.

오염물질인 폐식용유를 재활용하여 비누를 만들어 사용하면, 폐식용유에 의한 수질오염을 어느 정도 방지할 수 있다.

(4) 분뇨

분뇨에는 질소(N)나 인(P)과 같은 물질들이 들어 있는데, 이러한 물질이 물에 많이 존재하게 되면, 식물성 플랑크톤의 대량 증식이 일어난다. 이러한 현상을 부영양화(eutrophication)라고 한다.

부영양화가 일어나면, 물속에 녹아 있던 산소가 소모되어 물고기나 다른 수중

생물이 산소부족으로 죽게 되며, 조류의 증식으로 물이 탁해지고, 색깔이 변화된다.

바다에서의 부영양화현상을 적조라고 하며, 대량의 적조가 발생하면 어패류가 떼죽음을 당하게 된다.

나. 난분해성물질

(1)합성세제

합성세제를 구성하고 있는 계면 활성제와 인산염, 그리고 합성세제가 물에 풀어질 때 나오는 거품이 수질오염의 주원인이 된다.

계면활성제는 석유계 합성물질로서 생태계에 독성을 미치고 암을 유발하는 것으로 알려졌고, 인산염은 때를 제거하는 주성분인 계면활성제를 보조하여 세척력을 높이기 위해 첨가되는 물질인데, 이 물질은 하천이나 호수에 부영양화를 일으킨다. 또한, 거품은 수면을 공기로부터 차단하여 산소가 물속으로 녹아드는 것을 방해함으로써, 수중생물에게 해를 끼치며, 자정작용을 방해한다.

거의 모든 가정에서 사용되고 있는 합성세제가 수질오염의 주범이라는 사실은 널리 알려져 있다. 이 합성세제는 원래 독일에서 패전 후 비누의 원료인 유지를 공급받지 못하자 석유의 추출물로 합성하여 만들어 썼다는 것이다. 그 후 미국에서 상품화하여 지금은 거의 모든 나라에서 사용되고 있다. 합성세제는 다른 오염물질과는 달리 물에 녹은 상태에서 미생물에 의한 분해가 어렵고 물위에 거품이 생기게 되어 산소가 물속으로 녹아 들어갈 수 없게 될 뿐 아니라 햇빛을 차단시켜 플랑크톤의 정상적인 번식을 방해하는 등 물을 오염시키기도 한다. 또 여기에 세척력을 높이기 위하여 넣는 '인(P)'은 인산염(PO_4^{3-})이 되어 부영양화 현상을 일으켜 물을 썩게 한다. 이 때문에 각국에서 인의 사용을 규제하고 있어 “무린세제”가 나오게 되었다. 지금은 분해가 잘된다는 식물성세제가 널리 사용되고 있으나 물의 오염시비는 여전히 여전하다. 주택가나 아파트단지 인근의 하천에서 흔히 볼 수 있는 거품의 원인이 바로 이 합성세제이다. 합성세제의 지나친 사용은 물고기는 물론 미생물도 살지 못하는 죽음의 하천을 만드는 것이다.

(2) 산업폐수

전국의 수질오염물질 일일 배출량에서 산업폐수는 생활하수에 비해 양은 적지만, 산업폐수에 포함되어 있는 각종 유해성분의 농도가 생활하수보다 훨씬 높아서 심각한 피해를 줄 수 있다. 또한 산업폐수는 대부분이 난분해성물질로서 호기성 미생물에 의해 분해되지 않는 것들이 많다.

다. 중금속

중금속은 금속 중에서 그 비중이 4.0이상인 것을 말한다. 중금속 가운데 독성이 강한것으로는 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb), 니켈(Ni), 아연(Zn), 비소(As) 등을 들 수 있다. 이렇게 해로운 중금속은 공장폐수, 산업폐기물, 쓰레기매립장 등에서 하천이나, 호소등 수체로 흘러들어온다.

공장에서 배출되는 수은, 카드뮴, 납, 구리, 아연 등의 중금속은 생체 내로 들어오면 쉽게 배출되지 않고 농축되어, 심각한 질병을 초래하며 치명적인 피해를 줄 수도 있다. 이러한 과정을 생물농축 이라고 한다.

전국의 수질 오염 물질 일일 배출량에서 산업 폐수는 생활하수에 비해 양은 적지만, 산업 폐수에 포함되어 있는 각종 유해 성분의 농도가 생활하수보다 훨씬 높아서 심각한 피해를 줄 수 있다. 또한 산업 폐수는 대부분이 난분해성 물질로서 호기성 미생물에 의해 분해되지 않는 것들이 많다.

중금속은 동식물의 체내에 농축되어 있기 때문에 동식물을 섭취하는 인간의 건강에도 크게 영향을 미치게 된다. 일본에서 발생했던 그 유명한 `이타이이타이 병'은 카드뮴(Cd)에 오염된 어패류를 먹은 사람들에게서 발생되었고, 미나마타병은 수은(Hg)에 오염된 어패류를 먹은 어민들에게서 발생했다. 산업의 발전으로 유해 중금속은 증가되고 있다.

라. 유독 물질

사람이나 가축에 대해 독성이 심하여 아주 적은 양으로도 해를 끼치는 화학물질을 말한다. 우리나라에서 사용되고 있는 화학 물질은 대략 1만 여종으로 계속적인 증가를 보이고 있다. 이런 화학물질은 인간생활에 이로움을 주기위해 만들어

지고 있으나, 이것들이 유출되어 물을 오염시키고 오염된물을 사람이 마시게 되면 건강에 치명적인 피해를 줄 수도 있는 것이다. 불소(F)나 페놀류 등 다양한 화학 물질은 물속으로 녹아 들어가서 물을 오염시키며, 특히 생체내로 들어와서 각종 질병을 일으킨다.

옛날에는 콜레라, 장티푸스 등의 수인성 전염병의 병원균에 의한 오염이 문제가 되었으나 이제는 유독성화학물질에 의한 오염이 큰문제로 나타나고 있다.

마. 유류

석유등의 유류는 비중이 물보다 낮아 수면에 유막이 만들어지는데, 1cc의 기름은 약 1,000m²의 유막을 형성시킨다. 유막이 형성되면 빛의 투과율을 감소시켜 물속에 녹아 있는 산소의 양을 감소시켜 어패류의 호흡에 지장을 주며 기름 냄새가 어패류의 상품 가치를 떨어뜨린다. 하천 부근에서 세차를 하는 경우 수질 오염이 될 수 있기 때문에 이제는 법적으로 규제하고 있다. 때로는 저수지 부근에서 유조차가 뒤집히거나 송유관에서 기름이 흘러 나와 기름이 저수지에 흘러들어 물의 질을 일으키기도 한다.

이런 상황에 대비하기 위하여 각 댐 관리 사무소에서는 유막의 확산을 방지하고 기름을 제거하기 위하여 기름 확산 차단막과 기름 유착제를 준비하여 만약의 사태에 대비하고 있다.

바. 영양 염류

식물의 생장에 필요한 영양소를 제공해 주는 염류로 암모니아, 질산염, 아질산염, 인산염 등이 있다. 이러한 영양 염류가 적당히 있어야 하나 집에서 버리는 물이나 논밭에서 비료가 섞인 물이 하천이나 호수에 흘러 들어오면 플랑크톤이 아주 많이 번식하여 물을 오염시킨다. 이때는 물의 빛깔이 검붉게 변하고 썩은 냄새가 나기도 한다. 이런 물을 정수하기 위해서는 처리비용이 많이 들뿐만 아니라 기분 나쁜 냄새가 나는 경우도 생기게 된다. 물에 영양이 지나치게 많이 생기는 이와 같은 현상을 부영양화 현상이라고 한다.

제3장 재료 및 방법

제1절 연구대상 호소

본 연구의 대상인 옥정호는 섬진강댐을 가두어서 생성된 인공호수이다(Fig. 2).

Fig. 3에서 보듯이 섬진강댐은 전라북도 임실군 강진면 옥정리에 위치하는데 섬진강의 상류인 전라북도 임실군 강진면 용수리와 정읍시 산내면 종성리 사이에 놓인 댐으로 섬진강의 물을 동진강 하류지역의 평야지대로 보내는 관개사업의 일환으로 건설되었으며, 운암댐 하류 약 2km 지점에서 섬진강에 높이 64m, 제언(堤堰) 길이 335m의 섬진강댐을 구축하였으며, 댐의 만수위 표고 196.5m, 저수지 만수 면적 26.5km², 저수량 4억 6,000만 m³의 물을 저수한다. 정읍시 산내면에 있는 취수구에서 취수하여 약 5.2km의 수압터널을 지나 동진강으로 유로를 바꿈으로써 칠보발전소에서 최대출력 2만 8,800kW의 발전을 하며, 그 방류수는 운암측 방류수와 합하여 동진강 하류 계화도의 간척지(약 40km²)와 수리불안전담(약 60m²)의 관개용수로 사용됨으로써, 일석삼조의 이익을 얻는다. 이 밖에 총 유하량의 80%를 저수할 수 있어 홍수의 피해를 완전히 없애 주는 역할도 한다.



Fig. 2. The study site of Sumjin river Dam Picture and Okjeong Lake Picture

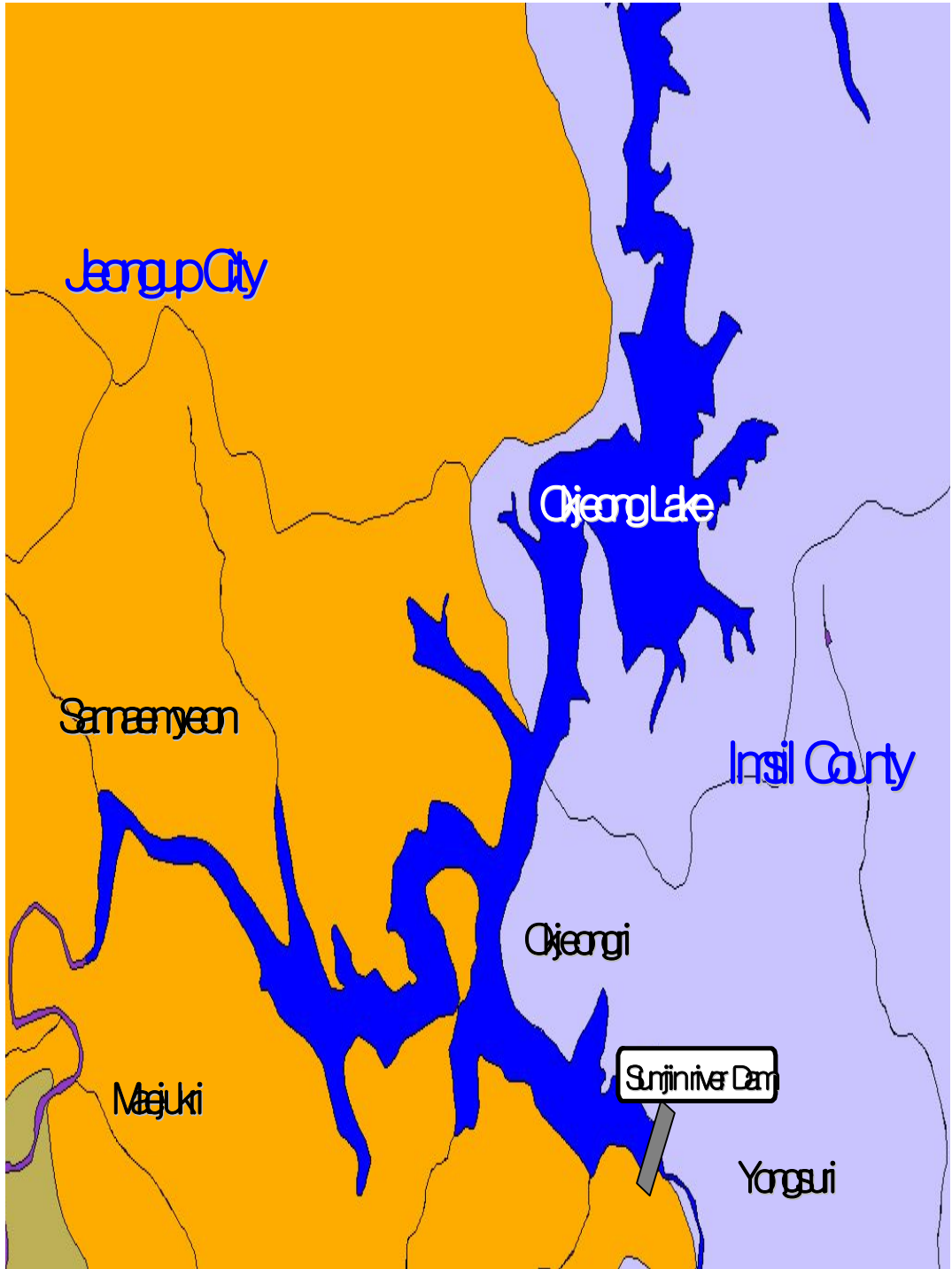


Fig. 3. The study site of Okjeong Lake

제2절 수질자료의 분석

본 연구에 사용된 수질자료는 1995년부터 2009년까지의 15년간 자료를 월별로 측정된 환경부 물환경 정보시스템의 자동측정 자료를 이용하였으며, 월별 강수량 자료는 기상청자료를 참고하여 분석 실시하였다. 옥정호의 영양 상태를 분석하기 위해 월별 평균농도를 사용하였으며, 분석항목은 수온(Temperature), 수소이온농도(pH), 용존산소량(Dissolved Oxygen, DO), 생물학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 총질소(Total Nitrogen, TN), NH₃-N, NO₃-N, 총인(Total Phosphorus, TP), 부유물질(Suspended Solid, SS), 엽록소-a(Chlorophyll-a, Chl-a), 전기전도도(Electric Conductivity, EC), 분원성 대장균수(Fecal Coliforms, FC), 총대장균수(Total Coliforms, TC)의 총14개의 수질항목을 가지고 분석 연구 하였다.

각각의 수질항목간의 상관관계를 분석하기위해 Pearson's Correlation Analysis를 이용하였다.상관도 분석의 항목은 14개의 수질항목과 월별 강수량을 넣어서 총 15개의 항목간의 상관관계를 알아보았다.

여기서 상관관계(Correlation)는 2개 이상의 통계적 변량 사이에 존재하는 상호 관계로서, 서로 다른 사상 사이에 존재하는 확률적인 함수 관계. 상관관계를 측정하는 개념으로는 상관 지수, 상관 계수, 상관비 등이 있다. 이러한 상관관계는 두 변량이 서로 비례하는 정상관, 반비례하는 역상관, 아무 관계가 없는 무상관, 그리고 완전히 일치하는 완전 상관 등의 관계를 가질 수 있어 항목간의 관계를 잘 파악할 수 있는 평가방법이라 하겠다.

제3절 부영양화 지수를 통한 영양상태 평가

본 연구 대상지인 옥정호에서의 영양상태는 Carson (1977)이 제시한 방법에 따라 수질항목중 엽록소 a(Chl-a)와 총 인(T-P)농도를 이용하여 영양상태 지수 (Trophic state index: TSI)를 계산하였고, Kratzer and Brezonnik(1981)가 제시한 방법에 따라 총 질소(T-N)농도를 이용하여 영양상태지수를 계산하였다.

$$TSI(Chl-a) = 9.81 \ln Chl-a(\mu g/L) + 30.6$$

$$TSI(TP) = 14.42 \ln TP(\mu g/L) + 4.5$$

$$TSI(TN) = 14.43 \ln TN(mg/L) + 54.45$$

각종 지수들에 의한 호수의 영양상태 구분기준은 아래 Table3-1과 같다.

Table 3. 각종 지수에 의한 영양상태 구분기준

영양호상태	지수			
	Shannon	Carlson	Porcelia	Walker
빈영양호	1.30이하	0	40~45이하	30이하
중영양호	1.3~3	50		50이하
부영양호	3이상	100	50이상	70이하

제4절 Pearson의 상관관계와 회귀분석 평가

본 연구대상 옥정호에서 질소와 인의 농도 및 조류의 생산이 양적으로 어떠한 관계가 있는지 해석하기 위해 Chl-a - 온도, Chl-a - SS, Chl-a - BOD, Chl-a - COD, Chl-a - TN, Chl-a - TP, TN/TP - TN, TN/TP - TP 간의 회귀분석을 통해 경험적 모델을 구축함으로써 영양 상태를 평가하고 예측하는데 이용하였다. 수질자료는 Pearson의 상관도 분석법(Correlation Analysis)과 회귀분석(Regression Analysis)을 실시하였다(SPSS 12.0).

상관도 분석은 앞에서 언급하였으며, 회귀분석(Regression analysis)은 통계학에서 관찰된 연속형 변수들에 대해 독립변수와 종속변수 사이의 인과관계에 따른 수학적 모델인 선형적 관계식을 구하여 어떤 독립변수가 주어졌을 때 이에 따른 종속변수를 예측한다. 또한 이 수학적 모델이 얼마나 잘 설명하고 있는지를 판별하기 위한 적합도를 측정하는 분석 방법이다. 1개의 종속변수와 1개의 독립변수 사이의 관계를 분석할 경우를 단순회귀분석(Simple Regression Analysis), 1개의 종속변수와 여러 개의 독립변수 사이의 관계를 규명하고자 할 경우를 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)이라고 한다.

회귀분석은 시간에 따라 변화하는 데이터나 어떤 영향, 가설적 실험, 인과관계의 모델링등의 통계적 예측에 이용될 수 있다. 그러나 많은 경우 가정이 맞는지 아닌지 적절하게 밝혀지지 않은 채로 이용되어 그 결과가 오용되는 경우도 있다. 특히 통계소프트웨어의 발달로 분석이 용이해져서 결과를 쉽게 얻을 수 있지만 적절한 분석방법의 선택이였는지 또한 정확한 정보분석인지 판단하는 것은 연구자에 달려 있다.

본 연구에 사용된 상관관계와 회귀분석은 월별 평균농도를 가지고 분석하였으며 통계학적인 유의기준(p-value)은 $p < 0.05$ 를 기준으로 하였으며, 이를 통한 옥정호의 부영양화 특성과 부영양화의 주요인자인 Chl-a에 영향을 주는 인자가 무엇인지를 연구 분석을 통하여 알아보았다.

제4장 결과 및 고찰

제1절 수질자료의 분석

옥정호의 수리수문학적 반응의 특성 및 국지적인 강우에 의한 수질변화를 알아보기 위해 수질변수의 특성을 시간적 변이와 공간적 변위로 분류하였다.

본 연구에 사용된 수질자료는 Table 4을 보면 1995년부터 2009년까지의 강수량은 옥정호 주변의 강수량을 활용하였으며, 강수량 중 연평균 강수량이 2003년도에 1974.7mm로 최대 강수량을 나타냈으며, 가장 적은 강수량을 나타낸 해는 1995년에 850.1mm를 보여 연평균 강수량이 최소 강수량을 나타냈다. 연구기간동안인 15년간의 평균 강수량은 1349.8mm를 나타냈으며, Fig. 4를 보면 계절적인 강수량분포는 1~3월은 118.0mm, 4~6월 345.8mm, 7~9월 770.3mm, 10~12월 115.7mm의 강수분포를 나타내고 있다. 이처럼 옥정호주변의 강수량은 여름철인 7~9월(J+J+A)에 대부분이 분포되어 있음을 알 수 있다.

Table 4. 호소의 생활환경기준

등급		기					준			
		수소 이온 농도 (pH)	화학적산소 요구량 (COD) (mg/L)	부유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총인 (TP) (mg/L)	총질소 (TN) (mg/L)	클로로필-a (Chl-a) (mg/m ³)	대장균군 (군수/100mL)	
									총대장균군	분원성 대장균군
매우 좋음	Ia	6.5~8.5	2이하	1이하	7.5이상	0.01 이하	0.2이하	5이하	50 이하	10 이하
좋음	Ib	6.5~8.5	3이하	5이하	5.0이상	0.02 이하	0.3이하	9이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II	6.5~8.5	4이하	5이하	5.0이상	0.03 이하	0.4이하	14이하	1,000 이하	200 이하
보통	III	6.5~8.5	5이하	15이하	5.0이상	0.05 이하	0.6이하	20이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV	6.0~8.5	8이하	15이하	2.0이상	0.10 이하	1.0이하	35이하	-	-
나쁨	V	6.0~8.5	10이하	쓰레기 등이 떠다니지 않을 것	2.0이상	0.15 이하	1.5이하	70이하	-	-
매우 나쁨	VI	-	10초과	-	2.0미만	0.15 초과	1.5초과	70초과		

Table 5. 옥정호 주변의 강수량(1995~2009년)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균 (mm)
1995	30.6	23.6	29.2	59.5	76.0	37.5	96.0	349.0	84.5	22.0	28.3	13.9	850.1
1996	27.5	11.5	120.5	42.0	66.0	323.5	172.0	143.5	29.0	74.0	121.8	40.6	1171.9
1997	25.7	59.3	51.5	62.0	150.5	240.0	377.0	235.5	58.5	10.5	146.8	58.9	1476.2
1998	29.7	31.5	44.2	162.5	75.5	281.5	167.5	625.0	246.6	79.5	21.5	6.5	1771.5
1999	22.8	34.7	75.0	88.5	98.5	158.0	213.5	212.0	282.5	112.0	21.6	11.2	1330.3
2000	33.5	12.1	33.6	30.0	34.5	176.5	298.0	350.5	277.0	44.5	53.5	9.1	1352.8
2001	63.2	78.7	27.2	31.0	46.0	283.0	435.0	60.5	108.0	97.5	13.5	54.5	1298.1
2002	103.6	9.4	60.0	163.0	98.5	80.0	160.0	731.0	63.0	28.0	36.2	47.6	1580.3
2003	40.3	35.7	30.5	249.0	137.5	113.0	690.0	383.0	217.0	28.0	34.5	16.2	1974.7
2004	21.2	39.1	21.8	55.5	88.0	181.5	202.0	367.5	183.0	2.5	86.0	26.0	1274.1
2005	15.8	29.4	61.7	52.0	60.5	173.0	452.5	415.5	63.0	18.5	35.0	41.5	1418.4
2006	16.0	56.5	13.0	83.0	162.5	158.5	516.0	157.0	18.5	21.0	39.5	19.2	1260.7
2007	19.5	51.4	104.0	32.5	74.0	69.0	202.0	393.0	417.5	39.0	7.0	29.2	1438.1
2008	27.7	9.1	41.9	41.7	124.5	170.7	320.6	112.6	25.0	13.8	19.0	8.7	915.3
2009	16.2	49.5	31.5	35.6	121.0	140.5	490.0	117.1	35.6	30.1	21.7	45.6	1134.4
평균	32.9	35.4	49.7	79.2	94.2	172.4	319.5	310.2	140.6	41.4	45.7	28.6	1349.8
합계	118.0			345.8			770.3			115.7			1,349.8

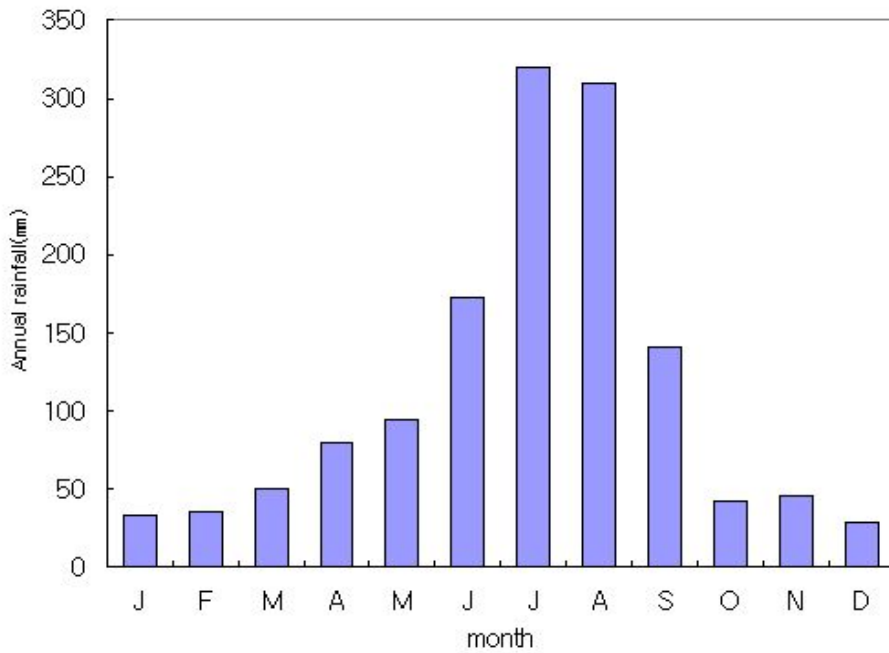
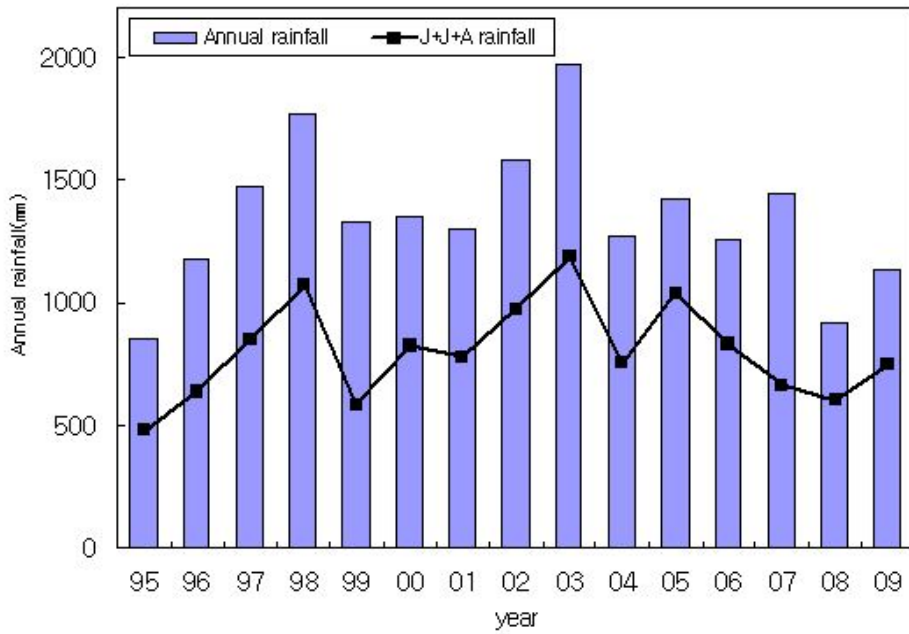


Fig. 4. 옥정호 주변의 연 강수량과 월평균 강수량

Fig. 5와 Table 6을 보면 1995년~2009년까지의 옥정호 수질을 분석한 결과 연평균 수질을 알 수 있으며, Fig. 5에서 연 강수량과 수질오염항목들과의 관계를 보면 연강수량과 COD, BOD는 강수량이 낮은해에는 비교적 높게 나타났지만, 이는 옥정호의 저수량이 줄어들어서 그 농도가 농축되어서 나타난 현상이라 판단된다. 이외 T-P, T-N의 농도는 서로 같은 양상의 그래프를 보이며 EC, SS, TN/TP, Chl-a와 연강수량과의 관계는 크게 연관이 없는 것으로 분석되었으며, 이는 비점오염원 외의 다른 오염물질인 점오염물질의 유입된 결과로 예상된다.

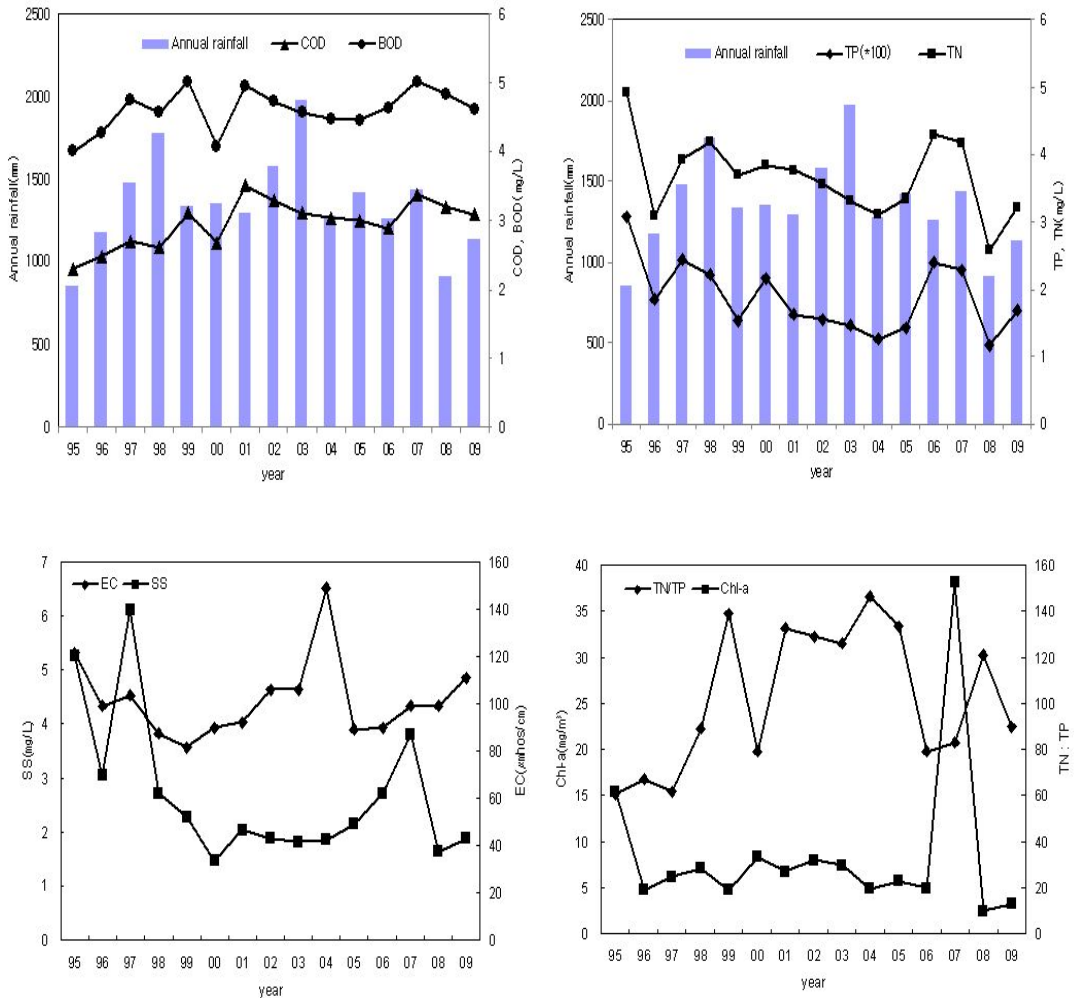


Fig. 5. 옥정호 주변의 연평균 강수량과 연평균수질과의 관계

옥정호의 호소의 생활환경기준으로 수질을 평가하면 연평균수질 pH는 6.6~7.8로 I a등급을 나타내며, COD 2.3~3.5mg/L로 I b~II 등급의 수질을 나타내며, SS농도는 1.5~5.3mg/L로 III등급이상의 수질을 나타냈다. TP는 0.0117~0.0307mg/L로 I b~III등급의 범위를 나타내고 있으며, TN은 1.237~2.152mg/L이며 이는 VI(매우나쁨)등급으로서 다른 어떠한 항목보다 매우 높은 수치를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Chl-a의 농도는 3.2~38.1mg/m³로 등급에 편차가 아주 큰 것으로 분석되었는데, 2007년에 38.1mg/m³로 수질등급이 IV로 나타났으며, 나머지 연평균농도는 I b등급을 나타내고 있다.

Table 6. 옥정호 연평균 수질(1995~2009년)

년	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
수온	12.2	9.8	10.9	10.0	9.5	10.1	8.6	9.5	8.8	9.3	9.8	9.5	10.8	9.0	11.1
전기전도도	121	99	103	88	81	90	92	106	106	149	89	90	99	99	111
pH	6.9	7.0	7.1	7.3	7.3	7.0	7.1	6.6	7.1	7.3	7.6	7.8	7.2	7.4	6.9
DO	7.2	8.7	10.4	8.4	8.1	8.7	8.8	9.1	9.9	10.1	10.1	9.8	8.3	8.6	6.9
BOD	1.7	1.8	2.1	2.0	1.9	1.4	1.5	1.5	1.4	1.4	1.5	1.7	1.6	1.6	1.5
COD	2.3	2.5	2.7	2.6	3.1	2.7	3.5	3.3	3.1	3.0	3.0	2.9	3.4	3.2	3.1
SS	5.3	3.1	6.1	2.7	2.3	1.5	2.0	1.9	1.8	1.9	2.1	2.7	3.8	1.6	1.9
TN	1.855	1.237	1.498	1.973	2.145	1.697	2.152	2.016	1.849	1.844	1.916	1.901	1.892	1.417	1.523
NH ₃ -N	0.082	0.031	0.079	0.037	0.040	0.022	0.034	0.033	0.030	0.029	0.028	0.032	0.034	0.077	0.024
NO ₃ -N	0.817	1.062	1.215	1.442	1.448	1.251	1.430	1.386	1.251	1.268	1.212	1.257	1.291	1.086	1.178
TP	0.0307	0.0185	0.0243	0.0222	0.0154	0.0215	0.0163	0.0156	0.0147	0.0126	0.0143	0.0240	0.0228	0.0117	0.0169
분원성대장균수	3	2	6	3	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
총대장균수	139	28	35	18	93	22	34	30	28	30	34	27	384	877	310
Chl-a	15.4	4.7	6.2	7.1	4.7	8.3	6.8	8.0	7.4	4.8	5.7	4.9	38.1	2.5	3.2

옥정호의 수질분석을 월평균농도로 분석했을 경우 pH는 6.9~7.85로 I a등급을 나타내며, COD 2.8~3.2mg/L로 I b~II등급의 수질을 나타내며, 연평균으로 수질농도를 분석할 때보다 농도는 전체적으로 낮아졌다. SS농도는 1.9~4.3mg/L로 III등급 이상의 수질을 나타냈으며 SS농도로 연평균으로 나타낸 농도보다도 낮은 농도를 보이는 것으로 나타났다. TP는 0.0141~0.0245mg/L로 I b~II등급의 범위를 나타내고 있으며, TN은 1.661~2.091mg/L이며 이는 VI(매우나쁨)등급으로서 연평균농도와 비슷한 수치를 보인다.

Chl-a의 농도는 3.3~27.9mg/m³로 6월에 농도가 상승하기 시작하여서 7월에 최고를 보이다 10월까지의 비교적 높은 농도를 보이고 있다.

전체적인 수질농도를 분석하여 볼 때 6~8월까지의 월평균 농도가 다른 월평균 농도보다 높은 농도를 보이는 것으로 나타났으며 이는 강수량의 분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 6~8월에 집중된 강수사상에 의해 오염물질이 호수의 유입되어 호수의 수질을 나쁘게 한 것으로 판단된다. 또한 수온의 상승도 미생물의 활발한 성장을 도움으로서 수질의 오염에 이바지 했다고 분석된다. 각각의 수질항목을 각각의 그래프로 보임으로서 월별변화범위를 확인할 수 있다(Fig. 6~fig. 8)

Table 7. 옥정호 월평균 수질(1995~2009년)

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
수온	5.7	4.6	5.5	7.2	9.9	11.8	12.9	14.9	14.3	13.0	10.7	8.7
전기전도도	95	96	101	98	103	103	106	111	104	105	102	97
pH	7.1	7.1	7.2	7.4	7.5	7.3	7.2	7.2	7.1	7.0	6.9	7.0
DO	9.3	11.1	11.5	11.5	10.2	9.2	8.2	7.9	6.7	6.7	6.7	7.6
BOD	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6	1.7	1.8	1.7	1.6	1.5	1.6
COD	2.8	2.8	2.9	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9
SS	2.0	1.9	1.9	2.3	2.1	2.8	4.3	3.4	3.5	3.0	2.7	2.4
TN	1.680	1.661	1.686	1.738	1.709	1.774	1.945	2.091	1.969	1.825	1.719	1.735
NH ₃ -N	0.037	0.039	0.022	0.025	0.023	0.029	0.051	0.047	0.047	0.030	0.070	0.050
NO ₃ -N	1.165	1.166	1.179	1.285	1.243	1.240	1.310	1.455	1.404	1.257	1.186	1.143
TP	0.0176	0.0188	0.0171	0.0141	0.0175	0.0165	0.0219	0.0245	0.0216	0.0215	0.0178	0.0162
분원성대장균수	0	0	1	1	1	2	1	2	2	1	0	0
총대장장균수	35	27	44	40	59	62	98	353	331	284	138	200
Chl-a	3.3	3.7	3.7	5.0	5.5	7.6	27.9	12.0	8.5	14.6	5.1	5.2

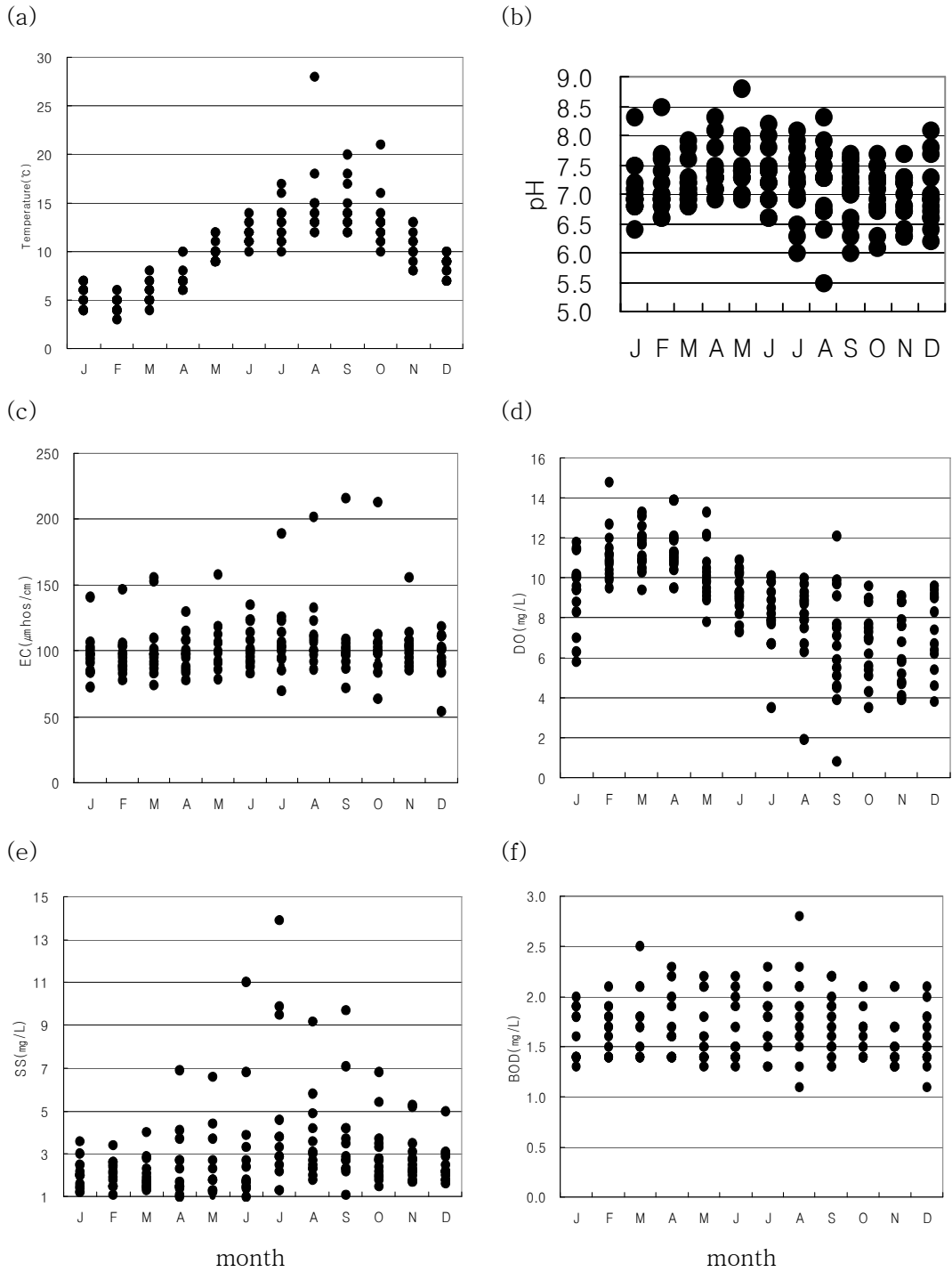
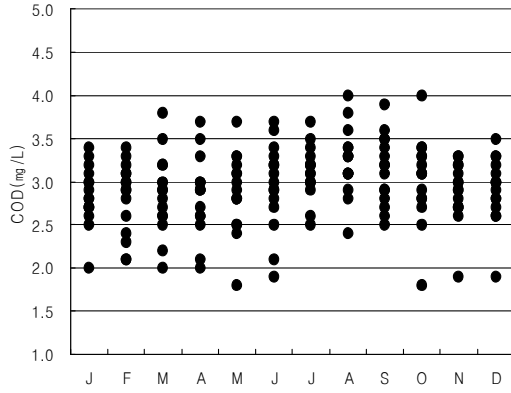
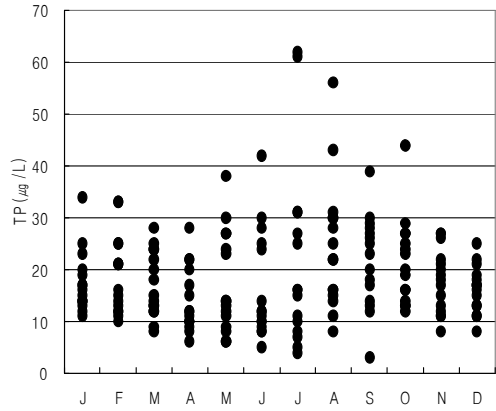


Fig. 6. 옥정호 월평균수질 범위: (a)온도, (b)pH, (c)전기전도도, (d)DO, (e)SS, (f)BOD

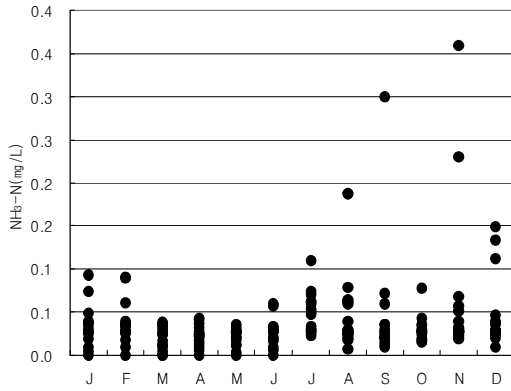
(g)



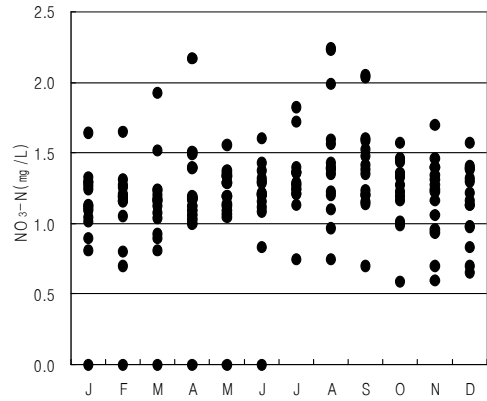
(h)



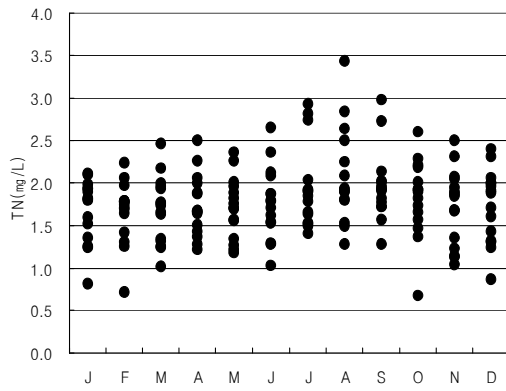
(i)



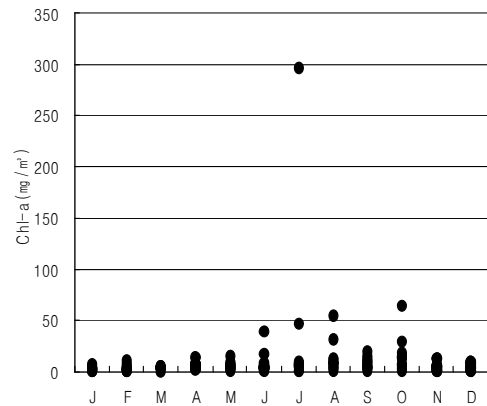
(j)



(k)



(l)



month

month

Fig. 7. 옥정호 월평균수질 범위: (g)COD, (h)TP, (i)NH₃-N, (j)NO₃-N, (k)TN, (l)Chl-a

Fig. 6에서 Fig. 8는 옥정호의 월평균 수질항목들을 범위를 분석한 결과이며 수온은 평균 9.9°C를 나타내고 낮게는 3°C에서 가장 높은 28°C까지 보이는 것을 알 수 있는데 이는 계절적인 요인과 계절적인 요인에 의해 월별 편차가 크게 발생하는 것으로 판단된다. 그리고 온도는 DO와 SS, TN, NO₃-N, TP, Chl-a, FC, TC와 상관관계가 높은 것으로 조사되었다.

pH는 전체적으로 평균 7.2로 중성을 나타내고 낮은 농도는 5.5이고 높은 농도는 8.8까지로 계절적인 특성 없이 월별로 그 범위가 크게 발생하고 있었다. DO농도는 수온이 상승하면 농도가 낮아지는 특성을 보이는데 옥정호는 여름철에는 수온이 높기 때문에 DO농도는 낮지만 10월부터 12월까지 수온이 낮지만 농도가 높지 않은 결과를 보였다. 이는 일반적으로 수온이 급격히 오르는 봄과 수온이 내려가는 가을철에 많이 일어나는 현상이지만, 이밖에도 긴장마로 인한 대량의 찬물 유입이나 열대야 같은 높은 기온에서 평균기온으로 돌아갈 때 생길 수 있는 자연 현상으로 수온약층의 발달로 턴오버(turn over)현상이 발생하여 공기가 적은 심수층과 공기가 많은 표수층의 물이 서로 섞여서 DO의 농도가 낮아지는 것으로 판단된다.

SS농도는 계절적으로 6월에서부터 9월까지 비교적 높은 수치를 나타내는데 이는 강수량과 관계가 있는 것으로 보이며, SS는 강우시에 발생하는 가장 대표적인 비점오염물질로서 강우가 발생하여 호수로의 유입에 의해 그 농도가 높아진 것으로 판단된다. BOD농도는 월별로 큰차이가 없으며, 8월에 최고의 농도를 보였고, COD의 월별농도 분포를 보면 BOD와 거의 비슷한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

TP경우는 호소가 부영양호의 판단 항목으로 TP의 농도가 TSI 계산 단위로 환산할 때 25 μ g/L을 기준으로 그이상이면 부영양호 이하이면 빈영양호로 구분할 수 있으며, TP는 연평균과 월평균으로는 그 기준을 넘지 않아 빈영양상태를 보이지만 하절기인 7월과 8월 그리고 9월에 비교적 월별 농도가 높고 변동폭이 컸으며 제일 높은 농도는 7월에 62 μ g/L의 농도를 보였다.

TN농도도 호소의 부영양호 여부를 판단하는데 중요한 수질항목중의 하나이다. TN의 평균농도는 1.794mg/L를 보이며, 2001년 8월에 최고로 3.438mg/L를 나타냈고 7월부터 9월까지 다른 월평균 농도보다 높은 농도를 보이는 것으로 조사되었다. NH₃-N이나 NO₃-N은 월별로 크게 편차를 보이는 것으로 나타났다.

분원성 대장균수(Fecal Coliforms)와 총 대장균수(Total Coliforms)는 Fig. 8에 보여진바와 같이 분원성 대장균수(균수/100mL)는 4월부터 10월까지 수온과 영

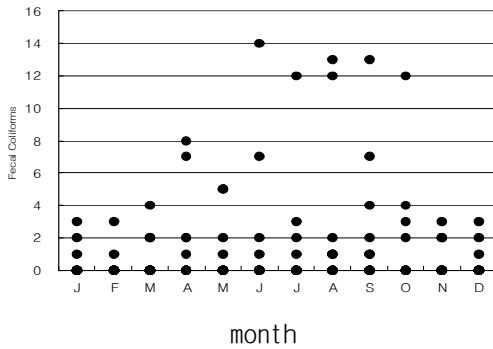
양물질의 상승에 의해 그 개체수가 증가하는 경향이 있음을 알 수 있으며, 전체적인 호소생활환경기준은 1b로 나타났다. 그리고 총 대장균수(균수/100mL)는 2006년 이전까지는 비교적 대장균수가 적은 수치를 보였지만, 2007년 이후에는 8월부터 12월까지 많은 양의 개체수를 확인한 것으로 조사되었다.

TN/TP는 수질의 영양 상태와 밀접한 관련성이 있으며, 호소의 TP, TN의 경우 TP에 대한 TN의 농도 비율이 7미만이면 TP의 기준을 적용하지 않으며, 16이상일 경우에는 TN의 기준을 적용하지 않으므로 TP에 비해 상대적으로 TN의 농도가 높을 때는 TP가 제한 영양염으로 작용 할 수 있다. 옥정호의 TN/TP의 비율은 평균 102.5를 나타내며 질소성분은 과잉으로 호소내에 존재하고 다른 호소들과 같이 TP의 영향을 받는 것으로 나타났다.

부영양호에서 인과 같은 제한영양소의 유입이 증가할수록 조류의 생물량이 증가하는데 Chl-a는 호소의 부영양화 정도를 판단하는 기준으로 아주 중요한 수질변수이다. Chl-a는 장마기전기보다 장마후 그 농도가 상승하는 것으로 나타났는데 이는 조류 생체량이 영양염류의 농도와 수층의 안정화 정도에 영향을 받기 때문이다. 또한 장마기의 Chl-a의 농도가 낮은 이유는 장마기에 호소로의 조류유입보다 유출량이 많기 때문으로 사료된다. OECD에서는 Chl-a농도가 25 μ g/L이상, U.S.EPA에서는 1025 μ g/L보다 높으면 부영양단계로 분류하고 있으며 Forsberg & Ryding 은 40 μ g/L이상일 때 과영양호로 분류하고 있다. 이들 기준에 의해 옥정호는 Chl-a의 평균농도는 8.5 μ g/L를 나타내고 월평균 농도를 보면 7월에서 10월까지의 비교적 높은 농도로 7월 27.9 μ g/L, 8월 12.0 μ g/L, 9월 8.5 μ g/L, 10월 14.6 μ g/L를 보였으며, 2007년 7월에 최고인 296.7 μ g/L을 나타내기도 하였다. 호소의 수화현상(Algae bloom)은 계절적으로 하절기에 그 농도가 높으며 집중호우 발생후에 그 농도가 증가 할 것으로 예상된다.

옥정호 수질농도를 기준으로 조사한 결과 여름철 집중호우에 의해 TP, TN, SS의 농도는 증가하며, 이들을 통해서 옥정호의 계절적인 수질요인에 영향을 주는 요소는 하절기의 집중호우에 의해 발생하는 것임을 알 수 있었다.

(m)



(n)

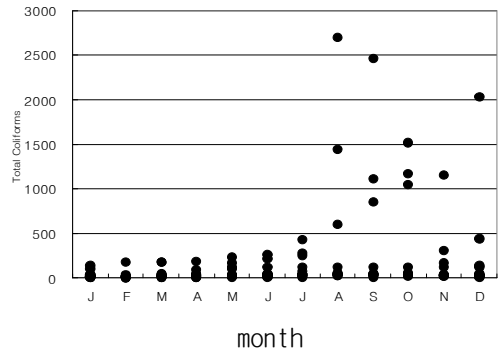


Fig. 8. 옥정호 월평균수질 범위: (m)Fecal Coliforms, (n)Total Coliforms

Table 8을 보면 옥정호 수질항목을 Pearson 상관도 분석에 의해 강수량과 밀접한 관계가 있는 항목은 SS($r = 0.157, p = 0.036, n = 180$), TN($r = 0.169, p = 0.024, n = 180$), FC($r = 0.176, p = 0.021, n = 172$)를 보였다.

부영양화의 판단 지표중 하나인 Chl-a와 높은 상관관계를 보이는 항목은 온도 ($r = 0.194, p = 0.009, n = 180$), SS($r = 0.510, p = 0.000, n = 180$), BOD($r = 0.200, p = 0.007, n = 180$) COD($r = 0.156, p = 0.037, n = 180$), TN($r = 0.255, p = 0.001, n = 180$), TP($r = 0.448, p = 0.000, n = 180$)를 보임을 알 수 있다.

TN은 강수량($r = 0.169, p = 0.024, n = 180$), 온도($r = 0.186, p = 0.013, n = 180$), COD($r = 0.369, p = 0.000, n = 180$)와 상관관계가 높음을 알 수 있으며, TP는 온도($r = 0.305, p = 0.000, n = 180$), DO($r = -0.235, p = 0.001, n = 180$), SS($r = 0.594, p = 0.000, n = 180$), BOD($r = 0.375, p = 0.000, n = 180$), TN($r = 0.324, p = 0.000, n = 180$)와 상관성이 높은 것으로 나타났다.

상관도분석을 통하여 수질항목간의 상관성을 알 수 있었다. 그리고 부영양화 판단 지표인 TN, TP, Chl-a와 상관도가 서로 높은 관계성을 가지고 있음을 알 수 있었으며 모든 항목에서 온도와 상관성이 높으므로 따뜻한 여름철에 부영양이 일어날 확률이 높다고 할 수 있다.

또한 Chl-a와의 상관도가 TN보다 TP가 더 높은 것으로 나타나 TP가 호소의 부영양화 관리에 주요관리 항목임을 알 수 있는 증거라 하겠다. 하지만, SS도 Chl-a와의 상관도가 높은 것으로 나타났는데, SS는 강수량과의 상관성이 높은 것으로 보아 강수량이 많을수록 호소로의 오염물질이 많아져서 부영양화를 일으킬 수 있음을 예상할 수 있다.

Table 8. 옥정호 수질의 각항목별 Pearson 상관관계 분석결과

contens		Rainfall	Temperature	pH	EC	DO	SS	BOD	COD	TN	NH ₃ -N	NO ₃ -N	TP	Chl-a	FC
Temperature	r	.403 **													
	p	.000													
	N	180													
pH	r	.053	-.017												
	p	.478	.818												
	N	180	180												
EC	r	.091	.127	-.084											
	p	.223	.088	.263											
	N	180	180	180											
DO	r	-.057	-.546 **	.320 **	.026										
	p	.451	.000	.000	.727										
	N	180	180	180	180										
SS	r	.157 *	.435 **	-.080	.048	-.177 *									
	p	.036	.000	.285	.520	.017									
	N	180	180	180	180	180									
BOD	r	.135	.142	.168 *	-.084	-.024	.418 **								
	p	.072	.058	.024	.263	.747	.000								
	N	180	180	180	180	180	180								
COD	r	.158 *	.119	.039	-.002	-.169 *	-.116	.006							
	p	.034	.110	.599	.979	.023	.120	.940							
	N	180	180	180	180	180	180	180							
TN	r	.169 *	.186 *	.019	.003	-.106	.065	.090	.396 **						
	p	.024	.013	.803	.966	.159	.387	.231	.000						
	N	180	180	180	180	180	180	180	180						
NH ₃ -N	r	.000	.121	-.048	-.009	-.266 **	.346 **	.128	-.007	-.138					
	p	1.000	.112	.531	.906	.000	.000	.092	.931	.070					
	N	174	174	174	174	174	174	174	174	174					
NO ₃ -N	r	.183 *	.217 **	.044	-.039	-.010	-.043	.130	.383 **	.765 **	-.232 **				
	p	.016	.004	.568	.610	.894	.571	.087	.000	.000	.002				
	N	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174				
TP	r	.053	.305 **	-.107	-.034	-.235 **	.594 **	.375 **	-.070	.324 **	.139	.223 **			
	p	.482	.000	.153	.655	.001	.000	.000	.353	.000	.067	.003			
	N	180	180	180	180	180	180	180	180	180	174	174			
Chl-a	r	.092	.194 **	-.004	.069	-.120	.510 **	.200 **	.156 *	.255 **	.010	.009	.448 **		
	p	.220	.009	.960	.358	.108	.000	.007	.037	.001	.897	.909	.000		
	N	180	180	180	180	180	180	180	180	180	174	174	180		
FC	r	.176 *	.282 **	.032	-.079	-.007	.547 **	.416 **	-.208 **	-.022	.095	.149	.291 **	.071	
	p	.021	.000	.678	.304	.929	.000	.000	.006	.773	.217	.052	.000	.355	
	N	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	172	
TC	r	-.031	.174 *	.062	.071	-.303 **	.023	.065	.202 **	-.037	.265 **	-.066	.064	.068	.034
	p	.683	.019	.410	.341	.000	.758	.385	.006	.624	.000	.390	.395	.364	.661
	N	180	180	180	180	180	180	180	180	180	174	174	180	180	172

** Correlation is significant at the 0.01 level p-value .

* Correlation is significant at the 0.05 level p-value .

제2절 부영양화 지수를 통한 영양상태 평가

부영양화도 지수는 Kratzer and Brezonnik(1981)가 제시한 방법에 따라 호소의 부영양화도 평가는 TSI < 20 : 극빈영양, 30 ~ 40 : 빈영양, 45 ~ 50 : 중영양, 53 ~ 60 : 부영양, > 70 : 과영양 상태로 호소의 영양 상태를 구분할 수 있다.

Fig. 9을 보면 연평균농도를 가지고 부영양화도 지수에 따른 수계의 부영양도를 평가하였고 Fig. 10은 15년 동안 월평균농도에 의한 계절적인 변화를 분석하였다.

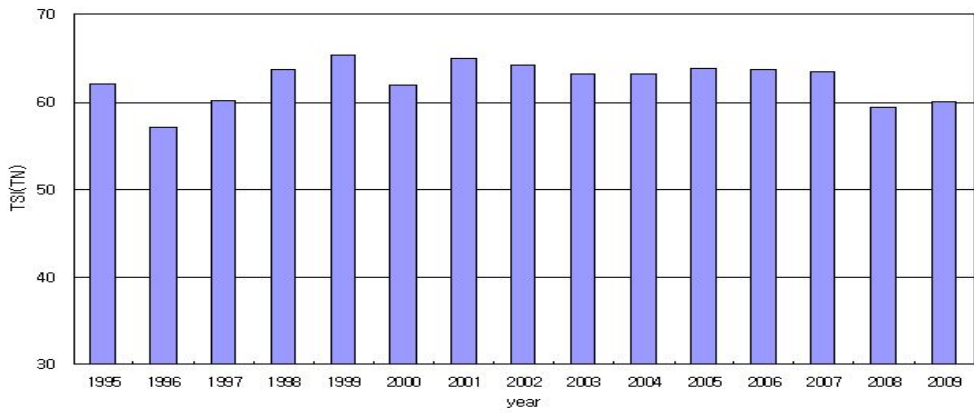
연평균 TN농도에 따른 TSI분석결과 57 ~ 65를 보였으며 이러한 수치는 부영양 상태를 나타내고 있다. 1996년도에 최저 57, 1999년도에 최고 65를 나타냈는데 TN의 부영양 상태는 연평균의 차이가 거의 없는 것으로 연구 분석되었으며, Fig. 10에 의하면 모든 계절에 걸쳐서 TSI(TN)이 60이상이 되는 것으로 나타났다.

TSI(TP)는 Fig. 9(b)와 Fig. 10(b)를 보면 최저 38, 최고 52의 범위로서 변화의 폭이 크게 나타났으나, 월평균데이터로 분석했을 경우는 모든 계절에서 40이상의 수치를 보이며 최고도 50을 넘지 않은 것으로 나타났으며 8월에 가장 높은 TSI(TP)를 보였으며 8월부터 10월까지 다른 달보다는 높은 수치를 보인 것으로 나타났다. 그 이유는 계절적으로 집중된 강우에 의해 호수내로의 오염물이 유입되고 시간이 흐름으로서 안정화가 진행되어 농도의 상승을 가져온 것으로 판단된다.

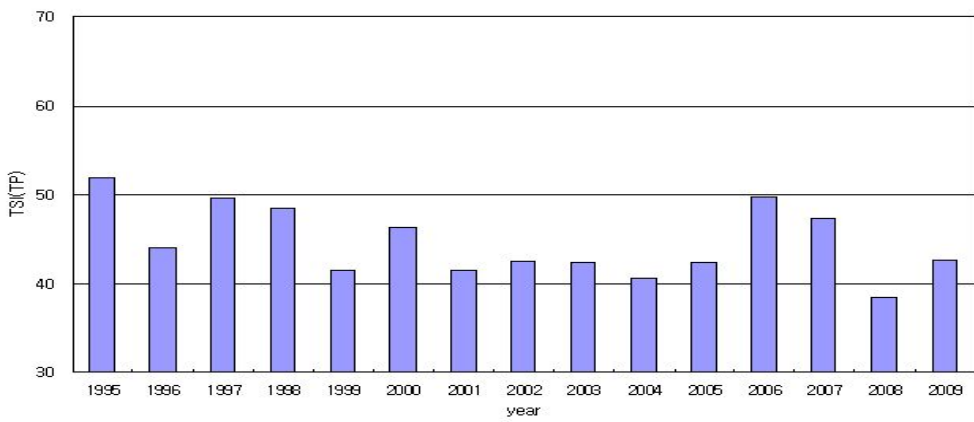
부영양화도 지수중 조류의 양을 직접적으로 표현하는 지수로 TSI(Chl-a)는 작게는 36을 보이며, 크게는 55까지의 범위를 나타냈다. 15년간의 평균은 46을 보임으로서 옥정호가 중영양상태의 호소임을 알 수 있다. 연강수량이 높은 해에는 TSI(Chl-a)가 낮게 나타났는데 이는 강우유출수에 의해 조류가 씻겨 내려가기 때문에 농도가 작게 나타나며, 연강수량이 작을 경우는 Chl-a의 농축으로 인해 TSI(Chl-a)가 높게 나타났다. Fig. 10(c)를 보면 7월~10월까지의 TSI(Chl-a)의 농도가 다른 달보다 높게 나타났으며, 10월평균 TSI(Chl-a)값이 53으로 부영양상태이며 TSI(Chl-a)는 TSI(TP)와 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

부영양화도 지수(TSI)를 통해 옥정호의 영양상태를 평가한 결과 TSI(TN)은 15년(1995 ~ 2009년)동안 부영양호를 나타냈으며, TP가 집중적인 관리 대상이 될 수 있고, 월평균 데이터를 분석한결과 호수의 영양상태는 계절적인 특성과 TP와의 연관이 있음을 알 수 있다.

(a)



(b)



(c)

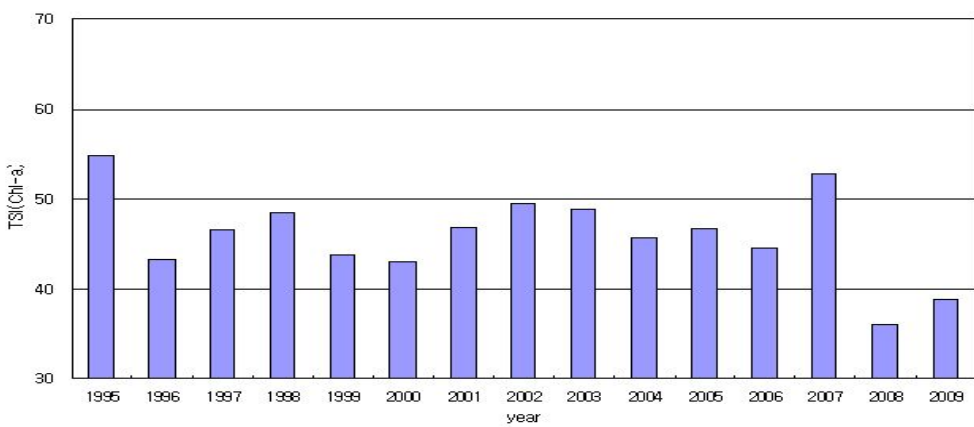
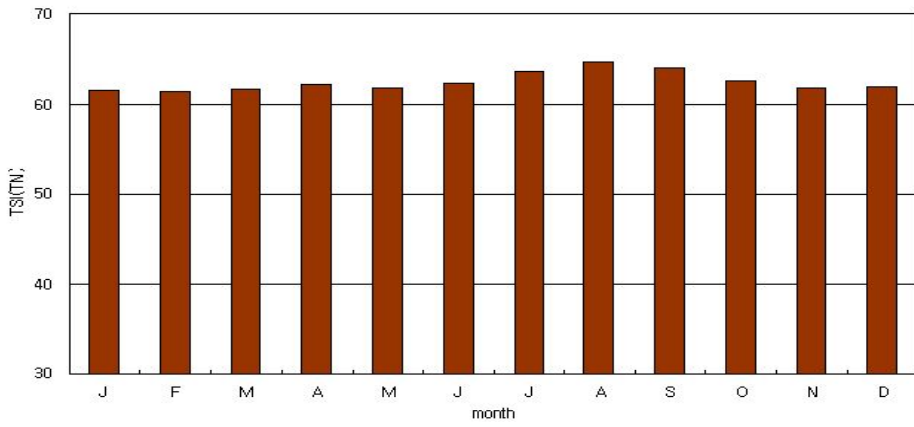
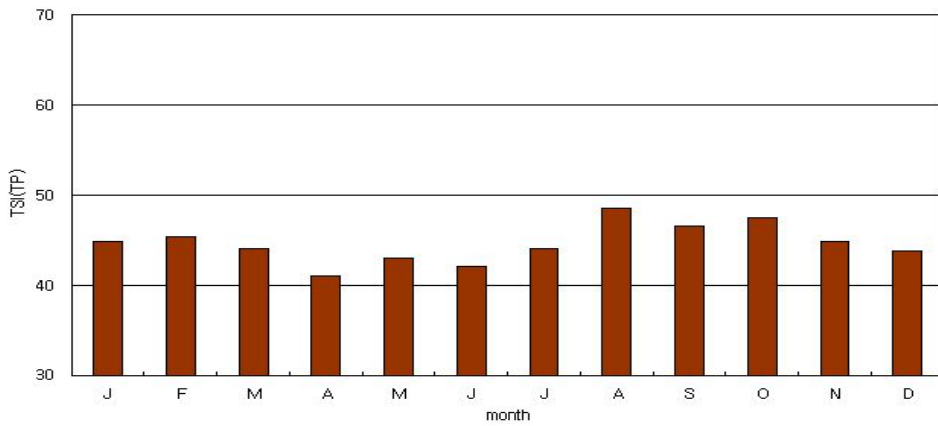


Fig. 9. 옥정호 연평균 부영양화도 지수(TSI): (a)TN, (b)TP, (c)Chl-a

(a)



(b)



(c)

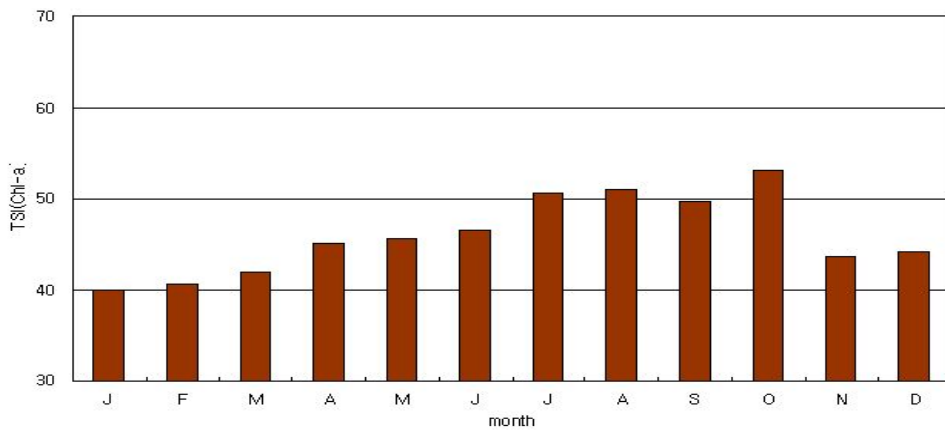


Fig. 10. 옥정호 월평균 부영양화도 지수(TSI): (a)TN, (b)TP, (c)Chl-a

제3절 Pearson의 상관관계와 회귀분석 평가

경험적 모델을 구축함으로써 영양 상태를 평가하고 예측하기 위해 Pearson'의 상관도 분석법(Correlation Analysis)과 회귀분석(Regression Analysis)을 SPSS 12.0으로 옥정호에 대한 Chl-a - 온도, Chl-a - SS, Chl-a - BOD, Chl-a - COD, Chl-a - TN, Chl-a - TP, TN/TP - TN, TN/TP - TP 간의 회귀분석을 통해 질소와 인의 농도 및 조류의 생산이 양적으로 어떠한 관계가 있는지 해석하였다. Chl-a는 일반적으로 부영양화의 정도에 관련되어 있고 Chl-a는 수질을 악화시키는 수화현상의 좋은 지표로서 온대, 아열대 호소의 연구에서 여름철 Chl-a의 TP의 영향을 보고하였다.

Fig. 11를 보면 Chl-a - 온도관계는 함수관계식 $Chl-a = 1.154 \times Temperature - 2.938$ 이었으며, Chl-a - SS의 함수식은 $Chl-a = 16.069 \times SS - 7.937$, Chl-a - BOD는 $Chl-a = 15.751 \times BOD - 17.321$, Chl-a - COD는 $Chl-a = 8.382 \times COD - 16.300$ 이었다.

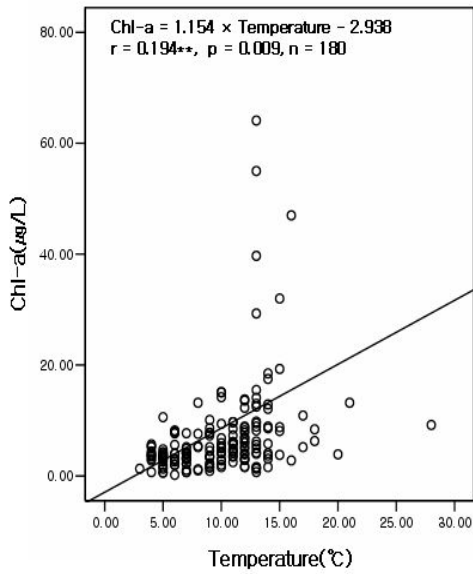
Chl-a와 가장 상관성이 높은 것은 SS이었으며 $r = 0.510$, $p < 0.001$, $n = 180$, $R^2 = 0.260$ 으로 나타났으며 다른 항목들은 SS에 비해 상대적으로 상관성이 낮은 것으로 나타났다.

Chl-a - TN의 상관관계와 회귀곡선을 분석한 결과(Fig. 11(e)) $r = 0.255$, $p = 0.001$, 함수관계식 $Chl-a = 13.543 \times TN - 15.790$ 이고, Chl-a - T(Fig. 11(f))P는 $r = 0.448$, $p < 0.001$ 이며 함수관계식 $Chl-a = 1070.525 \times TP - 11.574$ 를 나타냈다. TP는 Chl-a와의 상관관계가 TN보다 크며 $R^2 = 0.210$ 으로 상대적으로 크게 나타났다.

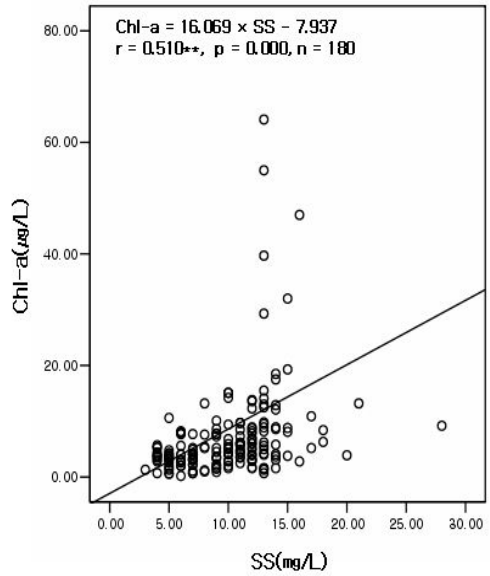
TN/TP비와 TN의 상관관계는 $r = 0.190$, $p > 0.05$, $n = 180$ 으로 상관관계가 작은 것으로 나타났으며 이는 TN농도가 호소 내에 이미 필요이상으로 존재하고 있음을 의미한다. TN/TP비와 TP의 상관관계는 $r = 0.646$, $p < 0.001$, $n = 180$ 으로 상관관계가 가장 높았으며 함수상관관계식은 $TN/TP \text{ ratio} = -5.042 \times TP + 0.215$ 로 나타났고 $R^2 = 0.417$ 이었다(Fig. 11(g, h)).

일반적으로 우리나라의 담수 호수와 저수지에서 부영양화는 수체내의 질소의 농도에 의해 부영양화가 일어나는 것보다는 인의 농도에 따라 부영양화가 야기되는 인 제한효과가 아주 큰 것으로 나타났다. 이와같이 옥정호의 인농도 상승은 Chl-a의 농도 상승과 직결되며 TN/TP의 비는 Chl-a의 생물량을 예측하거나 제한영양염이 무엇이 작용하는지를 나타내는 간접 예측이 가능할 것으로 판단된다.

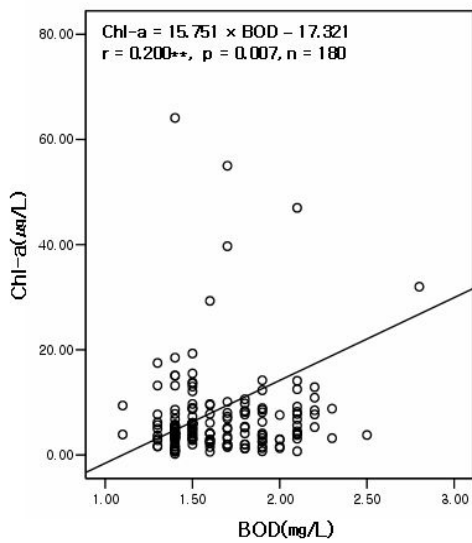
(a)



(b)



(c)



(d)

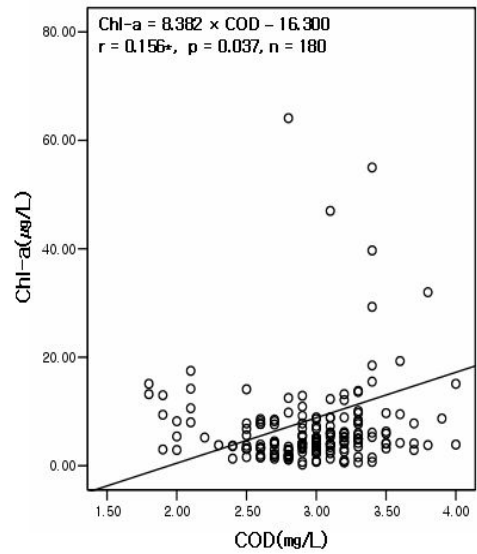
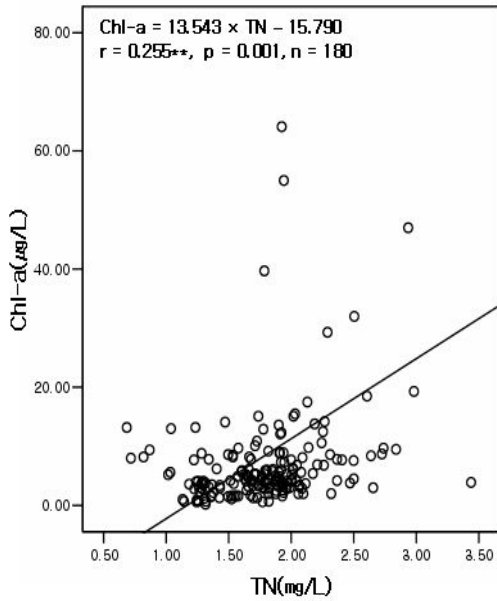
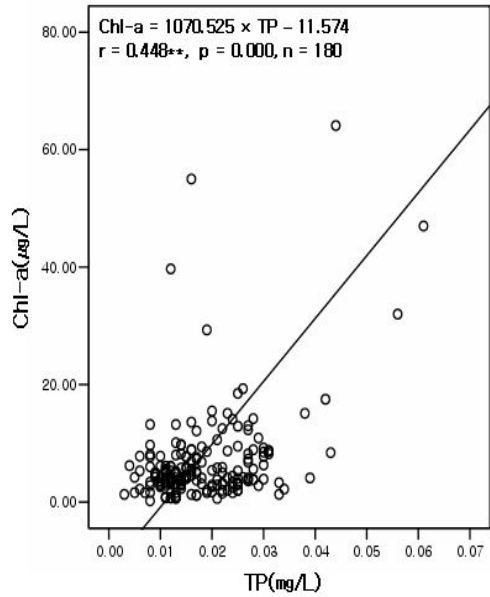


Fig. 11. 옥정호의 회귀곡선 평가: (a)온도, (b)SS, (c)BOD, (d)COD

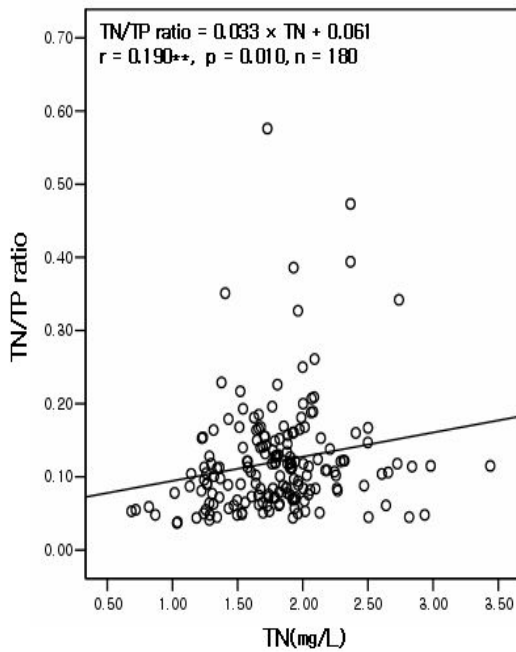
(e)



(f)



(g)



(h)

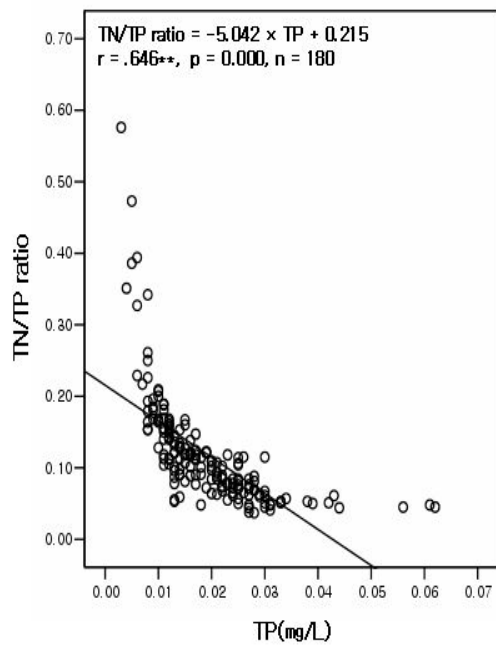


Fig. 12. 옥정호의 회귀곡선 평가: (e)TN, (f)TP, (g)TN:TP ratio 와 TN, (h)TN:TP ratio 와 TP

제5장 결론

1. 옥정호의 수질분석을 월평균농도로 분석했을 경우 TP는 0.0141~0.0245mg/L로 I b~II 등급의 범위를 나타내고 있으며, TN은 1.661~2.091mg/L이며 이는 VI(매우나쁨)등급으로서 연평균농도와 비슷한 수치를 보이고, Chl-a의 농도는 3.3~27.9mg/m³로 나타났다.

2. 전체적인 수질농도를 분석하여 볼 때 6~8월까지의 월평균 농도가 다른 월평균 농도보다 높은 농도를 보이는 것으로 나타났으며 이는 강수량의 분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되며, 여름철 집중호우에 의해 TP, TN, SS의 농도는 증가하는 것으로 나타났다.

3. 부영양화도 지수(TSI)를 통해 옥정호의 영양상태를 평가한 결과 TSI(TN)은 15년(1995 ~ 2009년)동안 부영양호를 나타냈으며, TP가 집중적인 관리 대상이 될 수 있고, 월평균 데이터를 분석한 결과 호수의 영양상태는 계절적인 특성과 TP와의 연관이 있음을 알 수 있다.

4. 상관도분석을 통한 수질항목간의 상관관계는 TN, TP, Chl-a가 서로 높은 상관도를 가지고 있음을 알 수 있었고 Chl-a와 상관관계는 TN($r = 0.255$, $p = 0.001$, $n = 180$), TP($r = 0.448$, $p = 0.000$, $n = 180$)로 Chl-a와의 상관도가 TN보다 TP가 더 높은 것으로 연구 조사 되었다.

5. 옥정호의 영양영류는 조류현존량을 설명하는데 핵심변수와의 1차 회귀식으로 도출되었으며, 조류의 양과 SS농도와 뚜렷한 상관관계 $r = 0.510$, $p < 0.001$, $n = 180$, $R^2 = 0.260$ 으로 함수관계식 $Chl-a = 16.069 \times SS - 7.937$ 가 성립하였으며, TN/TP비와 TP의 상관관계는 $r = 0.646$, $p < 0.001$, $n = 180$, $R^2 = 0.417$ 으로 상관관계가 가장 높았고 함수상관관계식은 $TN/TP \text{ ratio} = -5.042 \times TP + 0.215$ 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 환경부, 2001, 한국의 호소환경 조사기법 개발에 관한연구.
2. 박정규, 권영두, 서유덕, 신석봉, 유근우, 이용규, 이태진, 이태호, 2006, 최신 수질관리, 동화기술.
3. 국토해양부, 2001, 한수자원장기종합계획, p.64-65.
4. 물환경정보 시스템, 2009, <http://water.nier.go.kr>
5. 이윤경, 2004, 부영양화 지표들을 이용한 한국 호소의 유형분류, 강원대학교 석사학위 논문.
6. 환경부, 2003, 전국 호소의 환경향태 평가 및 관리방안에 관한 연구.
7. 김미숙, 정영륜, 서의훈, 송원섭, 2002, 낙동강 부영양화와 수질환경요인의 통계학적 분석, *Agae*. 17(2)
8. 박유미, 2009, 탐정저수지의 부영양화 특성 및 주요 변수 간의 상호관계, 충남대학교 석사학위논문.
9. 김재윤, 2003, 총인부하량을 이용한 인공호의 부영양화 평가, *한국 환경과학회지*. 12(7)
10. 기상청, 2009, 기상자료, <http://web.kma.go.kr/aboutkma/intro/gwangju/>
11. 정장면, 박남희, 진영훈, 김철, 2007, 영산호의 부영양화 및 수질예측에 관한 연구, 한국물환경학회 · 대한상하수도 공학회 공동춘계학술발표회 논문집.
12. 최은미, 2006, 국내 저수지 유역특성에 따른 부영양화 분석, 강원대학교 석사학위 논문.

13. 최광순, 김세원, 김동섭, 허우명, 이윤경, 황인서, 이한진, 2008, 물 교환이 제한적인 시화호 상류 기수역의 부영양화, 한국수자원학회. 41(2)
14. 김범철, 김윤희, 2004, 아시아 몬순지역의 대형댐(소양호)에서의 인 순환과 2차원모델의 적용, 한국육수학회지. 37(2).
15. 이흥수, 정세웅, 최정규, 신성일, 2008, 소규모 생태연못(원흥이 방죽)의 부영양화 평가, 한국물환경학회지
16. 임현연, 2002, 금오저수지의 부영양화도 평가에 관한 연구, 금오공과대학교 석사학위 논문.
17. 김기태, 2005, 반폐쇄성 해역을 위한 부영양화 지수 개발, 경남대학교 석사학위 논문.
18. 공동수, 1997, 국내 주요호소의 영양상태 판정기준에 관한 제고, 하천·호소의 수질보전과 유역관리에 관한 한 일 공동세미나.
19. 김순귀, 정동빈, 박영술, 2003, SPSS를 활용한 로지스틱 회귀모형의 이해와 응용, SPSS 아카데미.
20. 김호섭, 황순진, 2004b, 얕은 부영양저수지의 육수학적 특성 - 계절에 따른 수질변화. 한국육수학회지. 37: 180-192.
21. Carlson, R. E., A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361~369(1977).
22. Carpenter, S. R. and J. R. Kitchell. Cascading trophic interactions and lake productivity. *Bioscience* 35: 634-639(1993).
23. Downing, J. A. and E. McCauley. The nitrogen:phosphorus relationship in

- lakes. *Limnol. Oceanogr.* 37: 936-945(1992).
24. Vollenweider, R.A. 1968, The scientific basis of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors. Tech. Rep. OECD. Paris. DAS/CSI/68. 27: 1-182
 25. Vollenweider and Kerekes, 1980, The loading concept as bases for controlling philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. *Prog. Wat, Tech.* 12: 5-38.
 26. Forsberg, O. and S.-O. Ryding. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* 89: 189-207(1980).
 27. Frenette, J.-J., S. Demers, L. Legendre and M. Boule. Size-related photosynthetic characteristics of phytoplankton during periods of seasonal mixing and stratification in an oligotrophic multibasin lake system. *J. Plankton Res.* 18: 45-61(1996).
 28. 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.
 29. Havens, K. E., Using Trophic state index(TSI) values to draw inferences regarding phytoplankton limiting factors and seston composition from routine water quality monitoring data. *Korean journal of Limnology* 33:187-196(2000).
 30. Kratzer, C. R. and P. L. Brezonik. A carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Wat. Res. Bull.* 17: 713-717(1981).

31. Sakamoto, M, 1966, Primary production by phytoplankton community in some Japanese lake and its dependence. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 41: 1803-1813.
32. Sterner, R. W. and J. P. Grover. Algal growth in warm temperate reservoirs: Kinetic examination of nitrogen, temperature, light, and other nutrients. *Wat. Res.* 32: 3539-3548(1998).
33. Welch, E. B., and T. Lindell. Nutrient limitation. In: *Ecological Effects of Wastewater*(E.B. Welch, and T. Lindell, eds.), pp. 134-135. Chapman & Hall press, London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras(1992).
34. Perkins, B. and J. R. Jones, 1994, Temporal variability in midwestern stream during spring. *Verh. Internat. Verein. Limol.* 25: 1471-1476.

감사의 글

행복한 마음과 벅찬 기쁨으로 이 논문을 마치며, 지나온 시간을 새삼 돌이켜 보니 수많은 생각이 스쳐 갑니다. 오늘의 작은 결실이 이루어지기까지 학문적인 면이나 인간적인 면에서 많은 힘이 되어주시고 부족한 저를 이끌어 주신 정경훈 지도교수님께 머리 숙여 감사를 드립니다.

힘겨울 때 격려를 아끼지 않으시고 또한 애정 어린 관심으로 본 논문을 심사해 주신 최형일 교수님과 신대윤 교수님께 감사드리며, 학위 과정 중 제게 많은 가르침을 주신 환경공학과 교수님들께도 감사드립니다.

인생의 영원한 형님, 선배, 선생님인 박천일 처장님, 어려움과 고민이 있을때 물심양면으로 도와주시는 이종국 차장님, 바쁜 와중에도 본인의 시간을 쪼개어 도와준 영봉이, 영원한 친구이자 짝궁 경철,기욱이 정말 감사합니다.

회사 생활과 대학원 생활을 병행하면서 힘든 일도 있었지만, 돌아보니 삶의 순간순간마다 인연으로 맺어졌던 수많은 고마우신 지인들이 계셨습니다. 때로는 동기부여도 되었고 때로는 채찍도 되어 주셨던 그분들께도 심심한 감사를 드리며 영원한 만남이 유지되도록 성의를 다할 것을 다짐해 봅니다.

저를 여기까지 키워주시고 뒷바라지 하시며 묵묵히 지켜봐주신 아버지와 어머니, 지금도 전화 한통화에 기뻐하시는 우리 장모님, 늘 한결같은 사랑으로 내조해준 아내 금희, 늦은 밤까지 독서실에서 열심히 공부하는 착한 딸 승미 와 우리 가정에 보배 아들 시원이, 항상 걱정과 관심 주는 자랑스러운 우리 형제들, 언제나 사랑으로 보듬어 주는 처가식구들, 그리고 나의 친구들, 내가 아는 모든 분들께 이 작은 글로나마 진심으로 감사드리며 미약하지만 저의 소중한 결실인 이 논문을 마치며 감사의 마음을 전합니다.

2010년 5월 논문을 마치며

이 호 령 올림

저작물 이용 허락서

학 과	환경생명공학과	학 번	20087522	과 정	석 사
성 명	한글: 이 호 령 한문: 李 鎬 鈴 영문: ho-ryeong, Lee				
주 소	경기도 김포시 장기동 1624 고창마을 신영지웰아파트 104동903호				
연락처	E-MAIL : ryung1004@naver.com				
논문제목	한글 : 옥정호의 조류발생 영향인자 상관성 분석 연구 영어 : A Study of the relationship between the critical influential factors about bloom in Lake Okjeong				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억 장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(0) 반대()

2010 년 8 월

저작자: 이 호 령 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하