

CCA를 통한 한국 호소 연구 방법론 탐색¹

정상옥^{2*} · 전형주² · 홍관의² · 김종화² · 박영석³

Looking for an Adequate Methodology for the Korean Reservoir Using Canonical Correspondence Analysis¹

Sang-Ok Chung^{2*}, Hyoung-Joo Jeon², Kwan-Eui Hong²,
Jong-Hwa Kim², Young-Seuk Park³

요 약

인간 간섭에 영향을 크게 받는 인공호소가 대부분인 우리나라의 호소 특성과 보다 나은 생태계 관리 방안을 도출하고자 하는 목적에서 2005년 4개 호소의 이화학적 요인과 담수조류 정량분석에 의거한 기초자료를 바탕으로 통계학적 분석을 시도하였다. Canonical Correspondence Analysis(CCA)를 하구호인 남양호, 삼교호, 아산호 및 북한강 중하류 수계에 연쇄적으로 위치한 댐호 중 하나인 청평호에 적용하였다. 그 결과, 청평호는 3개 하구호와 구분되는 특징을 보였으며, 청평호를 제외한 CCA 결과, 아산호-삼교호-남양호 간에도 차이를 보여주었다. 담수조류 군집 구성은 제한된 자료량 때문인지 해석이 생태학적 해석에 어려움이 따랐다. 따라서, 보다 지속적이고 심화된 담수조류 연구 및 기타 요인의 채집 및 분석이 수행될 필요가 있음이 나타났다. 그러나, 제한된 자료량에도 불구하고, 청평호 및 3개 호소의 큰 두 그룹으로 호소 그룹이 특징지워진 것은 CCA 적용이 유효함을 나타낸 것으로 보인다.

주요어 : 호소 특성, 담수조류, 이화학적 요인, 2005

ABSTRACT

With a few exceptions, Korean lakes are artificially constructed for multi-purposes throughout the country. In the majority of cases, a lake is in a multiple series of reservoirs along a river or is an estuary. Moreover, nutrient supplying activities (including sand extraction) and bio-manipulation(*esp.*, overfishing and fish introduction) are omnipresent in most cases. Furthermore, there is an Asian monsoon every year. In brief, eutrophication and algal blooms break out as a result of complicated causes. However limnological monitoring and scientific working programs are in the course of beginning. The question is what kind of strategy is desirable to establish a solid limnological database for the efficiency of the restoration process in each Korean reservoir. We present light monitoring cases on the basis of algal and some physico-chemical data in 2005. Do they give some useful informations despite their simplicity. Based on physicochemical factors and phytoplankton data using Utermöhl method and Canonical Correspondence Analysis(CCA) were performed for Lake CheongPyeong, Lake ASan, Lake

1 접수 8월 25일 Received on Aug. 25, 2006

2 국립수산과학원 내수면생태연구소 Inland Fisheries Ecological Research Institute-NFRDI-MOMAF, CheongPyeong(477-815), Korea

3 경희대학교 이과대학 생물학과 Department of biology, College of Natural Sciences, Kyung Hee University, Korea (parkys@khu.ac.kr)

* 교신저자 Corresponding author (csok1217@yahoo.co.kr)

NamYang, and Lake SapGyo. The results of CCA showed that Lake CheongPyeong was different from the other three Lakes at estuary. Also each Lake at estuary was slightly different from one other. This result would encourage to initiate building an adequate Korean reservoir-ecosystem understanding and models for better ecological management despite the limited data. However, the results also indicate to sustain collecting ecological data and building database to interpret the Korean ecological reservoir model.

KEY WORDS : LAKE CHARACTERISTICS, FRESHWATER ALGAE, ABIOTIC FACTORS, 2005

서론

물을 단순히 이용할 수 있는 양적인 개념의 자원적 측면에서 접근하던 것이 그 속의 생태계 및 수질과 연관시킨 질적인 개념으로 인식하기 시작하여 수체를 이해하려는 노력이 결실을 맺기 시작한 것은 총인(TP) 유입량을 근거로 부영양화 판정 가능 모델을 시도한 Vollenweider(1976)를 이후로 현대적 연구방법론이 체계화되기 시작한 걸로 볼 수 있겠다. 물론 멀리는 Kolkwitz & Marsson(1902, Ravera(ed), 1975 인용) 이래의 여러 가지 생물군집을 이용한 과학적 시도는 계속되고 있다. Vollenweider(1976) 식의 접근법이 중요한 것은 도시 및 산업화를 통해 전 세계적으로 확산된, 주로 남세균에 의한 물꽃현상(algal bloom 또는 water bloom)을 제어하는 방법론으로 계량화한 모델을 제시했다는 데 있다. 이후 부영양화 제어를 생물학적 먹이망 조절(biomanipulation)을 통해서도 이를 수 있다는 Carpenter *et al.*(1985)의 모델은 현장에서 경험적으로 Shapiro *et al.*(1975)이 제시한 것과 통합되어 생태계 이해 및 관리 모델이 되었다. 한편, 자연호소가 아닌 인공호소는 인간간섭의 영향이 매우 심하여 부영양화 속도가 매우 빨리 진행되며, 수리수문학적 조절 등에 의해서도 큰 영향을 받을 수 있다는 Thornton *et al.*(1990)의 논점은 대부분이 인공호소인 우리나라 호소 특성 및 생태계를 체계적으로 연구하고 관리방안을 마련하고자 할 때 좋은 참고가 될 수 있다.

통계학적 도구를 써서 호소 특성을 모델링 하고자 할 경우, 분류(Classification), 배치(Ordination), 상관분석 등의 고전적인 선형적 통계학적 기법(Ludwig and Reynolds, 1988)부터 비선형적인 생태학적 특성에 초점을 두고 개발된 최초의 인공신경망 모델인 Rumelhart & McClelland(1986)의 PDP model(Parallel Distributed Processing)를 거쳐 진일보를 거듭하고 있다. 우리나라에서는 Chon *et al.*(1996)이 군집을 분류(classification)하기 위해 자료를 유형(pattern)화 하는 방법론을 개발한 바 있다. 그러나, 인공신경망 모델의 단점으로는 매우 방

대한 양의 학습 및 시험 자료(data)가 필요하다는 점이다. 자료의 정성성이나 정량성 등에 구애받지 않는 유연함에도 불구하고 자료량이 적을 때는 시도가 불가능하다(Chung, 1994). 고전적 통계학적 접근법과 비선형적 접근법 사이에 위치한 것으로 Canonical correspondence analysis(CCA)를 응용할 수 있다(ter Braak & Verdonschot, 1995; Chung, 2001). 한편, 자료 축적이 비교적 동일한 조건에서 이루어졌다면 모델링 결과는 고전적 방법, 인공신경망 모델, CCA 모델에 관계없이

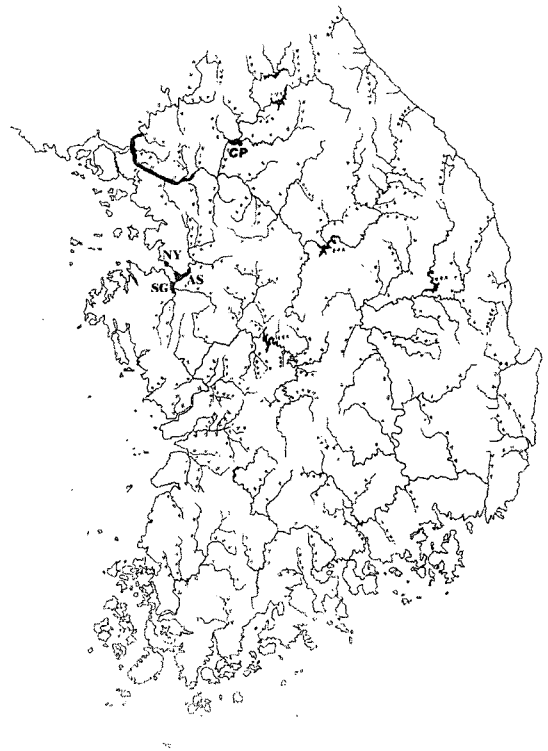


Figure 1. Map showing lakes studied
 CP: Lake CheongPyeong, AS: Lake ASan,
 NY: Lake NamYang, SG: Lake SapGyo

큰 차이가 없다(Chung, 2001; Chung and Park 2004).

본 연구는 제한된 자료량을 갖고 우리나라 호소 특성을 2005년의 4개 호소에서 이화학적 요인과 담수조류 자료를 이용하여 분류(classification) 할 수 있는지 보기 위해 CCA 방법을 시도해 보았다.

재료 및 방법

연구된 호소는 북한강 수계의 다단계 댐호 중 하나인 청평호와 서해안 하구호인 남양호, 삼교호, 아산호(Figure 1)의 수심이 깊은 댐 근처 정점 표수를 2005년 4, 6, 8월에 조사하고 분석한 이화학적 자료와 담수조류 자료(Table 1, Table 2, Table 3)를 이용하였다. 이화학적 요인은 환경부(2003)등을 따랐으며, 담수조류는 표층수를 채집 즉시 중성 Lugol용액으로 고정하여 냉장 운반 및 냉장 보관한 시료를 도립 현미경 상에서 600 배율로 Utermöhl법(1958)에 따라 분석하였다. 동정 및 분류는

한국담수조류도감(정준, 1993), Les Algues d'Eau Douce Tome I-III(Bourelly, 1990; 1981; 1985), Flore des Diatomées(Germain, 1981)을 참조하여 분류하였다.

CCA는 MVSP program(Kovach Computing Service, 2001)을 이용하여 분석하였으며 이화학적 요인(Table 1)과 담수조류 결과는 약자(acronym, Table 4)으로 표시하였다. 담수조류 분석 결과가 보다 명확해 질 수 있도록 총 세포밀도를 $\times 100$ 배하여(즉 $\times 10^4$ cells L^{-1} 를 100배 한 $\times 10^6$ cells L^{-1})으로 증폭하여 결과를 구했다.

결과 및 고찰

1. 호소 및 시기 별 담수조류 특성

2005년 청평호의 담수조류 연구 결과는 구조 한 종의 우점에 의한 구조 우점이 전 조사 시기 및 정점에 걸쳐 관

Table 1. Abiotic factors of each lake in 2005

Acronym (Lake & Month)	Month	BOD(mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)	SS(mg/L)	SD(m)
CP(CheongPyeong)	04(April)	1.44	1.924	0.022	1.18	3.8
CP	06(June)	0.70	1.328	0.035	1.12	3.2
CP	08(August)	1.36	2.034	0.055	14.2	3.7
NY(NamYang)	04	7.40	3.784	0.114	13.1	0.9
NY	06	7.04	4.082	0.09	25.31	1
NY	08	3.92	1.984	0.097	46.82	0.6
AS(ASan)	04	14.72	14.434	0.834	23.58	0.8
AS	06	11.60	13.526	0.886	29.84	0.8
AS	08	7.64	5.676	0.482	18.64	0.6
SG(SapGyo)	04	4.60	6.234	0.094	14.63	0.5
SG	06	3.44	7.422	0.277	11.04	0.2
SG	08	7.75	4.240	0.113	27.2	0.5

Table 2. Spatio-temporal distribution of phytoplankton group in 2005

Phytoplankton Group Relative abundanced(%)	CP04	CP06	CP08	NY04	NY06	NY08	SG04	SG06	SG08	AS04	AS06	AS08
Cyanobacteria	3.86	10.3	13.4	52.2	95.5	28.5	35.5	23.8	77.4	15.2	65	42.6
Bacillariophyceae	89	77.8	53	20.4	1.75	5.95	10.4	38.1	11	9.35	9.9	7.1
Chlorophyceae	5	10.8	12.6	11.9	2.58	52	51.4	33.3	10.6	70.2	24	43.6
Chrysophyceae		1.1		2.9		0						
Cryptophyceae	0.6		20.8	7.85	0	13.1	0.5		0.1	5.1	0.5	5.16
Dinophyceae	1.4		0.07		0	0.2	0.5	2.4	0		0	
Euglenophyceae				4.8	0	0.15	1.8	2.4	0.8	0.19	0.45	1.6

Table 3. Spatio-temporal contribution of dominant phytoplankton taxa in 2005

% of Dominant taxa	CP04	CP06	CP08	NY04	NY06	NY08	SG04	SG06	SG08	AS04	AS06	AS08
<i>Anabaena</i>				43.6		23				12.2		
<i>Merismopedia</i>											58.5	
<i>Oscillatoria</i> sp.1					84.9		20	23.8	51.3			31.6
<i>Oscillatoria</i> sp.2							15.4					
<i>Asterionella formosa</i>	67											
<i>Fragilaria crotonensis</i>		75.9										
<i>Fragilaria</i> sp.1				11.7								
<i>Aulacoseira</i>			51.5				5	22.6				
<i>Centrales undetermined</i>									9.8	6.9		
<i>Chlorococcales undetermined</i>						26.3	21			49.6	8.5	
<i>Coelastrum</i>											7.2	
<i>Crucigenia</i>												14.2
<i>Scenedesmus</i> sp.2								23.8				
<i>Rhodomonas</i>			19.5			9.3						
Total ($\times 10^4$ cells L ⁻¹)	134	74	262	696	7970	918	534	58	4346	732	768	214

Table 4. The acronym of phytoplankton

Acronym	Cyanobacteria	Acronym	Chlorophyceae
ANAB	<i>Anabaena</i>		Euglenophyceae
MERI	<i>Merismopedia</i>	EUGL	<i>Euglena</i>
Osc1	<i>Oscillatoria</i> sp.1	PHAC	<i>Phacus</i>
Osc2	<i>Oscillatoria</i> sp.2	TRA1	<i>Trachelomonas</i> sp.1
SYNE	<i>Synechocystis</i>	TRA2	<i>Trachelomonas</i> sp.2
	Bacillariophyceae	ACTI	<i>Actinastrum</i>
AUDI	<i>Aulacoseira distans</i>	ANKD	<i>Ankistodesmus</i>
AUSP	<i>Aulacoseira</i>	ANKY	<i>Ankyra</i>
RHIZ	<i>Rhizosolenia</i>	CHLA	<i>Chlamydomonas</i>
UNCE	<i>Centrales undetermined</i>	CHOD	<i>Chodatella</i>
ASFO	<i>Asterionella formosa</i>	UNCL	<i>Chlorococcales undetermined</i>
FRCR	<i>Fragilaria crotonensis</i>	CLOS	<i>Closterium</i>
FRS1	<i>Fragilaria</i> sp.1	COEL	<i>Coelastrum</i>
FRS2	<i>Fragilaria</i> sp.2	COSM	<i>Cosmarium</i>
FRS3	<i>Fragilaria</i> sp.3	CRUC	<i>Crucigenia</i>
CYMB	<i>Cymbella</i>	DICT	<i>Dictyosphaerium</i>
GYRO	<i>Gyrosigma</i>	ELAK	<i>Elakatothrix</i>
NITZ	<i>Nitzschia</i>	EUDO	<i>Eudorina</i>
SURI	<i>Surirella</i>	KIRC	<i>Kirchnella</i>
UNP1	<i>Pennales undetermined 1</i>	LOBO	<i>Lobomonas</i>
UNP2	<i>Pennales undetermined 2</i>	OOCY	<i>Oocystis</i>
	Chrysophyceae	PAND	<i>Pandorina</i>
AULO	<i>Aulomonas</i>	PEDI	<i>Pediastrum</i>
DINO	<i>Dinobryon</i>	SCE2	<i>Scenedesmus</i> sp.2
PKEP	<i>Pseudokephyrion</i>	SCE3	<i>Scenedesmus</i> sp.3
	Cryptophyceae	STAU	<i>Staurastrum</i>
CRYP	<i>Cryptomonas</i>	TETR	<i>Tetraedron</i>
RHOD	<i>Rhodomonas</i>	TETS	<i>Tetrastrum</i>
	Dinophyceae	ULOT	<i>Ulothricales</i>
GYMN	<i>Gymnodinium</i>		
PERI	<i>Peridinium</i>		

찰되었다는 점이다. 8월에 가장 높은 생산성(세포 또는 개체수 밀도)이 관찰되었으며, 물투명도가 높았던 6월에 가장 낮은 생산성이 관찰되었다. 4월의 구조 89%인 구조 우점물은 *Asterionella formosa* (67%)의 우점에 크게 영향을 받았으며, 6월엔 대부분이 *Fragilaria crotonensis*(76%)로 형성된 인 구조 우점물(78%)이 관찰되었으며, 8월엔 대부분이 *Aulacoseira* sp.(51%)의 기여에 의해 구조가 53%의 우점도를 유지하며, 10월에도 *Aulacoseira* sp.(68%)의 점유율에 의해 구조 우점물이 75%에 달한다.

아산호의 경우, 남세균(Cyanobacteria), 녹조(Chlorophyta), 및 구조(Bacillariophyceae)가 우점군을 형성하였다. 4월엔 총개체수의 51%를 동정이 어려운 작은 크기의 원형 군체를 형성한 분류단위(Chlorococcales undetermined)의 기여 때문에 녹조가 70%의 우점군이었으며, 6월엔 매우 작은 개체의 군체로 생체적

(biovolume)이 거의 없는 *Merismopedia*의 기여(58%)에 의해 남세균이 65%의 우점률을 보였고, 생체적이 작은 군체인 *Crucigenia*(14%) 및 동정이 어려운 작은 크기의 원형 군체를 형성한 분류단위(10%)때에 8월엔 녹조가 우점군(56%)이었으며 상대적으로 큰 *Oscillatoria* sp.2(32%)의 기여에 의해 남세균도 점유율(43%) 높았다.

남양호의 경우, 6월에 개체수(세포수) 급증이 관찰되었는데 이는 *Oscillatoria* sp.1의 우점의 결과로 관찰되었다. 4월엔 *Anabaena*(44%) 및 *Oscillatoria* sp.1(8%)의 우점에 의해 남세균(52%)이 우점군이였다. 6월에도 남세균이 96%의 압도적 우점도를 보였는데 이는 *Oscillatoria* sp.1가 총개체수의 85%를 점유한 결과였다. 8월엔 동정이 어려운 작은 크기의 원형 군체를 형성한 분류단위(26%) 및 생체적이 작은 군체인 *Dictyosphaerium*(10%)의 기여 때문에 녹조가 우점군

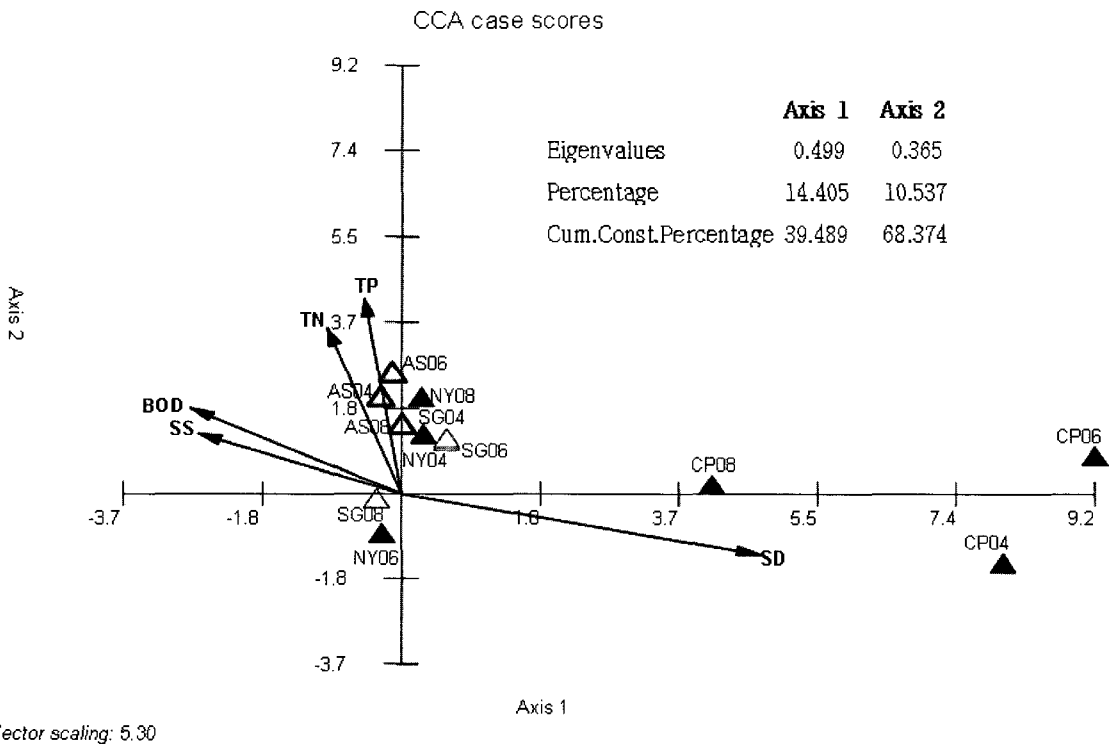


Figure 2. CCA plot of spatio-temporal variations in relation to environmental variables(arrow) in 2005.

- 1) Environmental variables; BOD(Biochemical oxygen demand), SD(Water transparency measured using Secchi disc), SS(Suspended solids), TN(Total nitrogen), TP(Total phosphorus)
- 2) Lake Acronym-Month indicated by triangle color differently shaded(e.g.: AS04: Lake ASan-April, CP04: Lake CheongPyeong-April, NY06: Lake NamYang-June, SG08: Lake SapGyo-August).

(52%)이었고 다음으로 총개체수의 23%를 점유한 *Anabaena*의 기여에 따라 남세균이 아우점군(28%)이었다.

삽교호의 경우 6월에 최소 개체수가 관찰되었다. 4월엔 동정이 어려운 작은 크기의 원형 군체를 형성한 분류 단위(21%) 및 *Coelastrum*(13%)이 점유한 결과로 녹조가 51%의 우점군이였다. 6월엔 *Aulacoseira* sp. 군체가 (23%)에 의한 규조가 38%의 우점군이였으며 *Scenedesmus* sp.2(24%)에 의한 녹조 및 오로지 *Oscillatoria* sp.1(24%)에 의해 남세균이 아우점했다. 8월엔 *Oscillatoria* sp.1(51%) 및 *Oscillatoria* sp.2(16%)의 기여에 의해 남세균이 우점군이였다.

2. 4개 호소의 CCA 분석 결과

CCA 분석 결과, 물투명도 대 BOD-부유물질(SS)이 영양염(TN, TP)보다 명확하게 좀 더 먼 거리에서 부의 관계로(-) 나타난다. 또한 물투명도가 다른 세 호소보다 높았던 청평호는 다른 호소 그룹과 차별되어 0점 주위에

서 몰려있지 않고 물투명도(SD) 주변에 조사시기별로 떨어져 위치한 결과를 보여준다(Figure 2). 담수조류를 비롯한 모든 변수가 분석된 Figure 3에서는 청평호의 우점종이었던 *Asterionella formosa*(ASFO) 및 *Fragilaria crotonensis*(FRCR)가 청평호의 특징종이었음을 잘 보여주고 있으며, 청평호의 8-10월 삽교호 6월에 점유율이 컸던 *Aulacoseira* sp.(AUSP)가 비교적 의미 있는 종으로서 자리잡고 있다. 의미가 크지 않은 주로 녹조에 속하는 종들이 0점 주변(남양호, 삽교호, 아산호)에 혼재되어 있는데 이는 6-8월에 걸쳐 남양호, 삽교호, 아산호에서 각각 나타나는 녹조 우점과 연관되어 보이며, 기여율이 미미했던 *Phacus*(PHAC)가 상대적으로 떨어진 위치에 자리잡고 있는데, 이는 자료량 부족에 의해 나타난 위치 설정의 왜곡인지 해석이 불가능하다.

3. 청평호를 제외한 3개 호소의 CCA 분석 결과

Fig. 2와 Fig. 3의 결과에서 제시하는 바와 같이, 청평호의 이화학적 특성 및 담수조류 특성에 의해 청평호가

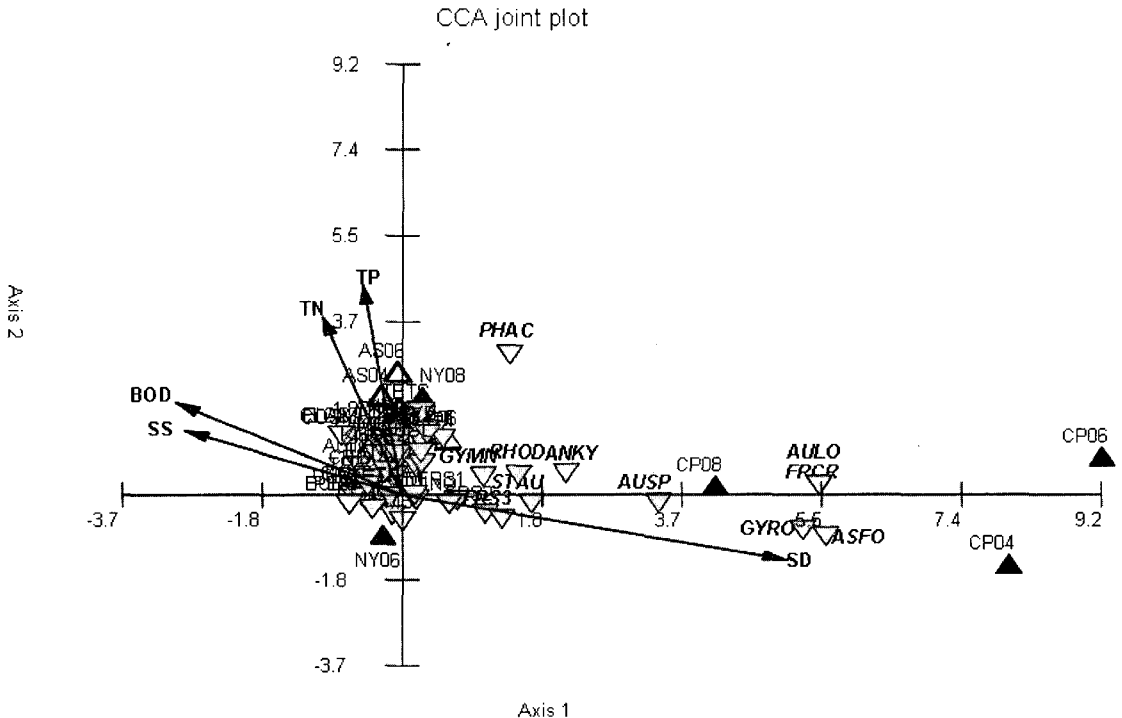
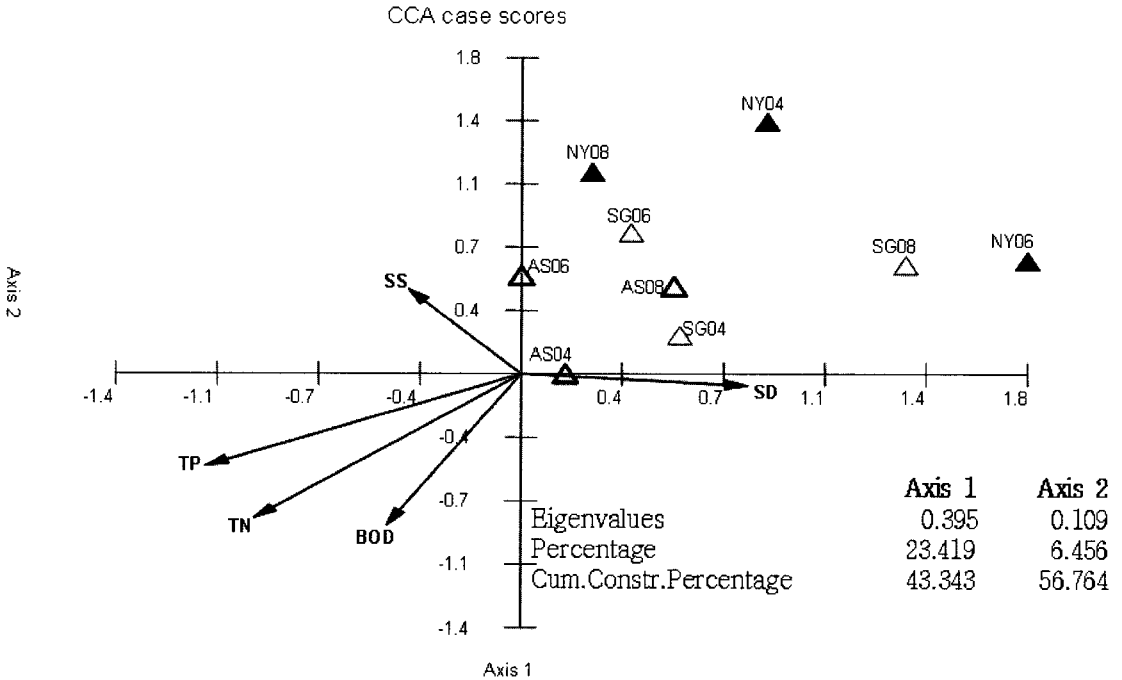


Figure 3. CCA biplot of phytoplankton species(inversed triangle and indicated by acronym in *Italic*) in relation to environmental variables(arrow) and spatio-temporal variations(indicated by triangle and Lake acronym-month, see Figure 2 for their explanation).



Vector scaling: 2.14

Figure 4. CCA plot (after Lake CheongPyeong excluded) of spatio-temporal variations in relation to environmental variables (arrow) in 2005.

- 1) Environmental variables; BOD(Biochemical oxygen demand), SD(Water transparency measured using Secchi disc), SS(Suspended solids), TN(Total nitrogen), TP(Total phosphorus)
- 2) Lake Acronym-Month indicated by triangle color differently shaded(e.g.: AS04: Lake ASan-April, NY06: Lake NamYang-June, SG08: Lake SapGyo-August).

다른 3개 호소와 구분되는 특징을 보이는데 반해, 3개 호소는 혼재된 양상을 나타내므로, 청평호를 뺀 3개 호소만을 대상으로 분석해 보았다. 3개 호소는 물투명도와 보다 높은 부의(-) 관계를 영양염(TN, TP)이 보여주어 (Figure 4), 질소 및 인 관리가 시급해 보인다. Figure 4는 3개 호소가 서로 다른 그룹으로 각기 위치함도 보여주고 있는데, 물투명도가 높아지는 아산호 < 삽교호 < 남양호 순으로 남양호가 가장 먼 거리에 그룹을 형성하고 있다. Figure 5는 담수조류를 비롯한 3개 호소의 모든 요인이 분석된 결과인데, *Anabaena*(ANAB), *Oscillatoria* sp. 1(Osci1) 및 *Oscillatoria* sp. 2(Osci2), *Rhodomonas*(RHOD) 등 각 호소의 어느 시기에 점유율이 높았던 종 외에도 여러 그룹에 속하는 종들이 0점에서 먼 거리에 위치하고 있어 위 2항에서와 마찬가지로 해석에 어려움이 있다. 그러나, 남양호는 시기별 우점종이었던 *Anabaena*(ANAB), 및 *Oscillatoria* sp. 2(Osci2)를 중심으로 위치하며, 삽교호는 전 시기에 걸쳐 점유율이 높았

던 *Oscillatoria* sp. 1(Osci1)를 중심으로 분포하고 있다. 아산호의 경우 0점 주위에 몰려있어 담수조류와 연관한 특징을 잡아내기 어렵다.

4. 호소 특성 도출 및 그룹화

본 연구 결과는 매우 단기적이고 불충분한 자료량에도 불구하고 우리나라 호소도 이화학적 특성-담수조류 자료를 이용하여 호소 특성 및 그룹화가 가능할 수 있음을 보여준다. 물투명도가 (1)청평호 및 다른 3개 호소, (2)3개 호소 간을 나누어 그룹화하는 중요한 요소로 작용하지만, 물투명도와 보다 큰 부의 관계를 갖는 요소는 (1)의 경우, BOD-SS (2)의 경우, TN-TP 같은 영양염으로 나누어짐을 볼 수 있다. 각각의 호소 관리 시 참고할 부분이 될 수 있을 것이다. 물투명도는 주로 담수조류에 의한 1차 생산력이 낮거나 부유물질이 적을 때 향상된다 (Elber and Shanz, 1990; Portielje and van der Molen,

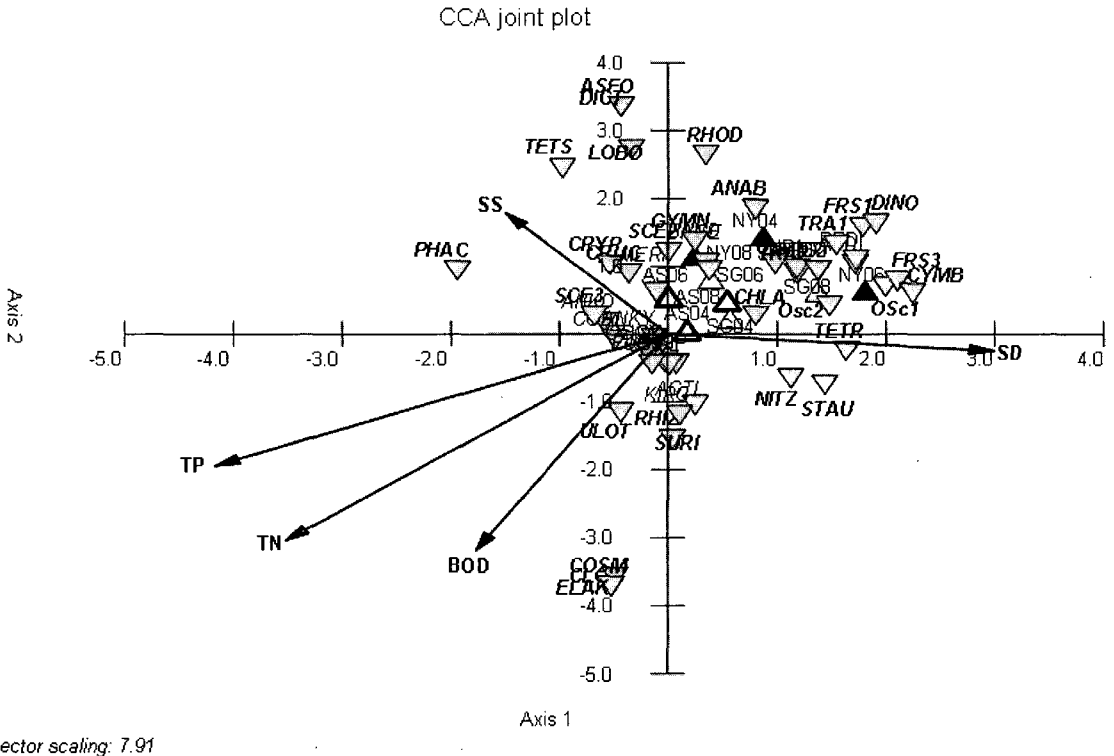


Figure 5. CCA biplot(after Lake CheongPyeong excluded) of phytoplankton species(inversed triangle and indicated by acronym in Italic) in relation to environmental variables(arrow) and spatio-temporal variations(indicated by triangle and Lake acronym-month, see Figure 2 for their explanation).

1999; Sanderson, 1998). 인공호소의 담수조류의 생산력에 영향을 미치는 요인은 유역의 영향(Vollenweider, 1976; Heaney *et al.*, 1986), 수리수문 요인(Thornton *et al.*, 1990), 영양염 공급(Vollenweider, 1976; Wetzel, 1983; Harris, 1986), 먹이망 구조 조절(Carpenter *et al.*, 1985) 등 다양하며, 위의 요인이 복합적으로(영양염-수리수문-먹이망 조절) 작용하는 경우도 있다(McQueen *et al.*, 1986; Chung, 2001).

결론적으로, 제한된 자료량으로 CCA를 이용해 호소 특성을 본 결과, 청평호, 남양호, 삽교호, 아산호(2005년)가 다음과 같이 그룹화 되었다는 점이다. (1)청평호 및 3개호소 그룹, (2) 청평호를 뺀 후에 아산호 < 삽교호 < 남양호의 특성이 나타났다는 점이다. 다만 어려운 점은 시기별로 변화를 보이는 담수조류의 특성을 나타내는 자료가 부족해서인지 모르나 기여율이 크지 않았던 담수조류가 중요 위치를 점하는 결과가 보여져서 이 부분에 대한 해결방법을 모색해야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 국립수산과학원 2005년도 수산시험연구사업인 “내수면 수산자원 보전지역 환경모니터링”의 수행 결과의 일부입니다. 현장 조사 및 분석을 도와주신 내수면생태연구소 직원 여러분께 감사드립니다. 끝으로 논문 심사 및 좋은 방향을 제시해주신 세분의 심사위원께 감사드립니다.

인용문헌

정준(1993) 한국담수조류도감. 아카데미서적
 환경부(2003) 수질측정망운영계획, 151pp.
 Bourelly P.(1990) Les Algues d'Eau Douce Tome I. N. Boubée, 569pp.
 Bourelly P.(1981) Les Algues d'Eau Douce Tome II. N. Boubée, 517pp.
 Bourelly P.(1985) Les Algues d'Eau Douce Tome III. N.

- Boubée, 606pp.
- Carpenter S. R., Kitchell J. F. and Hodgson J. R. (1985) Cascading trophic interactions and lake Productivity: Fish predation and herbivory can regulate lake ecosystems. *BioScience* 35 : 634-639.
- Chon T.-S., Park Y.S., Moon K.H., and Cha E.Y. (1996), Patterning communities by using an artificial neural networks. *Ecological modelling* 90: 69-78.
- Chung S. O. (2001) Phytoplankton dynamics and recolonization after a biomanipulation of the Pont-de-Salars reservoir. Ph.D. thesis, Univ. of Paul Sabatier(Toulouse III), Toulouse, France, 174pp.
- Chung S. O. (1994) Application des méthodes connexionnistes à la prediction de la composition de l'ichtyofaune en milieu fluvial, Univ. Paris XII-ENPC-ENGREF, France, 40pp.
- Chung S. O. and Park Y. S. (2004) Spatio-temporal phytoplanktonic dynamic patterns in relation to environmental factors in a biomanipulated reservoir. *Proceeding of ISEI4* p. 71.
- Edmonson, W. T.(1994) Sixty years of Lake Washington: A curriculum vitae. *Lake Reservoir Manage* 10: 75-84.
- Elber F. and Schanz F. (1990) The influence of a flood event on phytoplankton succession. *Aquat. Sci.* 52 : 330-344.
- Germain H.(1981) Flore des Diatomées, Boubée,444pp.
- Ludwig J. A. and Reynolds J. F. (1989) *Statistical ecology*, John Wiley & Sons, New York, 337pp.
- Harris, G. P. (1986) *Phytoplankton ecology*. Chapman and Hall. London : 384 pp.
- Heaney, S. I., Smyly, W. J. P., and Talling, J. F. (1986) Interactions of physical, chemical and biological processes in depth and time within a productive English Lake during summer stratification. *Int. Revue. ges. Hydrobiol.* 71 : 441-494.
- McQueen, D. J. Prost, J. R., and Mills, E. L. (1986) Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43 : 1571-1581.
- Portielje, R. and van der Molenv D. T. (1999), Relationships between eutrophication variables: from nutrient loading to transparency. *Hydrobiol.* 408/409 : 375-387.
- Ravera O.(ed) (1979) *Biological aspects of freshwater pollution*, Pergamon Press, p 51.
- Rumelhart D. E. and McClelland J. L.(1986) *Parallel distributed processing*, MIT Press, Cambridge, U.S.A.
- Sanderson, B. L. (1998) Factors regulating water clarity in northern Wisconsin lakes. Ph.D. Thesis. The University of Wisconsin. Madison. 182 pp.
- Shapiro, J. Mamara, V., and Lynch, M. (1975) Biomanipulation: an ecosystem approach to lake restoration, In(Brezonik and Fox eds.), *Proc. Sym. on Water quality management through biological control*, University of Florida, pp. 85-99.
- ter Braak, C. J. F., and Verdonschot, P. F. M. (1995) Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences.* 57 : 255-289.
- Thornton K. W., Kimmel B. L. and Payne F. P. (eds.). (1990) *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 246 pp.
- Utermöhl H. (1958) Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik, *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* 9 : 1-37.
- Vollenweider R. A. (1976) Advances in defining critical load levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33 : 53-83.
- Wetzel, R. G. (1983) *Limnology*. (2nd ed.) Saunders College Co. Philadelphia : 767 pp.