

경기도내 저수지의 오염도 및 부영양화 조사연구

김종찬, 김세진, 류형열, 정일현*

경기도 보건환경연구원 환경조사과, *단국대학교 화학공학과

A Study on the Pollution and Eutrophication Level of Reservoirs in Kyonggi-do

Jong-Chan Kim, Sae-Jin Kim, Hyuong-Rial Ryu and Ill-Hyeun Jeong*

*Institute of health and environment research of Kyonggi Do, Division of environment research
Jangan-gu Pajeong-dong 324-1, Suwon Kyunggi-do 440-290, Korea*

**Department of Chemical Engineering, Dankook University
Yongsan-gu Hannam-dong 8, Seoul 140-211, Korea*

On the point of water quality, because a reservoir is a closed system, only small portions of a greater amount of material flowing in from a river is in the outflow. And a reservoir has the characteristics to store material of its own, including sludge. In one aspect, it is a natural purification process, but in another aspect it will result in a swamp, and prompt eutrophication process. Although about two hundreds reservoirs lie scattered in Kyonggi province, there is no basic data for the water quality of them all to this time. In this study, thirty reservoirs which have pondage above a hundred million tons were selected to be investigated for water pollution and eutrophication status.

As a result, the average pH is about 7.7 which is not harmful to fish and there was a small amount of eruption of aluminum by acid rain; most reservoirs selected went into a eutrophication state. Nitrogen and phosphorus showed a high concentration, and phosphorus was found to be a restricted factor. It was predicted that the major discharge places of N and P were nonpoint sources such as livestock, farmland and man ; therefore education and public relationship for residents are necessary.

Because the eutrophication will get worse in the future, these results of the study are useful to devise a management plan and anti-eutrophication measure.

1. 서론

우리나라는 좁은 국토에 많은 인구를 수용하고 있으며, 수자원은 계절적으로 편중된 강수량으로 인하여 크게 부족한 실정에 있다¹. 경제개발에 필요한 공업용수 확보를 위해 산간이나 하천에 댐을 건설하고, 하구둑은 홍수방지, 용수량 조절 등 수량관리 측면에서 괄목할만한 성과를 가져왔지만 현재까지 저수지 유입오염물질 관리는 철저하지 못한 이유로 대부분의 저수지가 부영양화, 중영양화상태에 이르고, 계속악화 될 것으로 예상된다²⁻⁴.

저수지는 생활용수 및 농업용수를 비롯한 귀중한 수자원을 제공하고 있고 수산, 관광, 레크레이

션의 장소로도 사람들의 일상생활에 있어서 중요한 국민적 자산이나, 폐쇄수역이어서 하천을 통해 유입되는 많은 물질들이 유출되지 않고 저수지 저질과 호내에 유입물질이 함께 저장되는 특성이 있다. 이는 관점에 따라서는 자연정화이지만 천화(ponding)나 부영양화를 초래하는 원인이 되기도 한다⁵⁻⁷. 이러한 자연적인 조건에 더하여 저수지 주변과 그 유역에 있는 사람들의 여러 활동에 기인하는 오염이 근년에 와서 심화 되었고 그 대책의 수립이 각계에서 강하게 요망되고 있다⁸.

최근 사회경제적 활동의 증가에 따라 저수지에 유입되는 오염물질 부하가 증대되어 저수지 물 이용과 수역 이용상 다양한 장애가 발생되고 있고^{9,10},

또한 저수지는 해역이나 하천과 달리 환경기준 달 성율이 낮을 뿐아니라 십수년간 수질은 개선되지 않고 있다^{10,11}.

따라서 본 연구는 경기도내 저수지 중 환경부 측정망 7, 8개 저수지를 제외한 총저수량이 100만 톤 이상인 30 개소를 중심으로 수질 및 부영양화의 정도를 파악 하고 그 원인을 조사하여 저수지 관리 계획수립을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 조사대상 및 분석방법

2.1. 조사대상 및 기간

'96년 12월부터 '97년 11월 까지 저수용량 100만 톤 이상 30 개소를 대상으로 매월 1회 1~10일 사 이 저수지 중앙의 대표지점을 선정하여 채수하여 분석 하였다¹². 각 조사대상 현황은 Table 1과 같으 며, 대상 저수지의 제원 및 상류오염원 현황은

Table 1. The present states of reservoirs.

Nongjo	reservoir	location		Total pondage (1,000m ³)	Constructed year	Boat for sampling
Suhwa	Yucheon	Suwon	Ha	2,028	1929	○
	Sindae	Suwon	Ha	1,503	1928	○
	Naksang	Seongnam	Dongwon	1,490	1961	○
	Panwol	KunPho	Dundae	1,538	1957	○
	Potong	Hwaseong	Jeongnam	1,133	1955	○
	Dukwo	Hwaseong	Bongdam	4,003	1949	○
	Dongbang	Hwaseong	Paltan	1,080	1939	○
	Kicheon	Hwaseong	Paltan	2,287	1979	○
Yeoju	Changheung	Yeoju	Keumsa	2,980	1989	×
Kiho	Keumkwang	Anseong	Keumkwang	10,590	1961	○
	Madun	Anseong	Keumkwang	3,570	1970	○
	Misan	Anseong	Yongseong	1,901	1985	○
	Yongseol	Anseong	Juksan	3,146	1987	○
	Duksan	Anseong	Samjuk	1,902	1991	○
	Changyong	Anseong	Seowun	1,599	1974	○
	Yongduk	Yongin	Idong	1,066	1959	○
	Duchang	Yongin	Wonsam	1,304	1994	○
Heungan	Yongdam	Yongin	Wonsam	1,027	1978	○
	Pakwun	Yiwang	Pakwun	1,629	1953	○
	Cheonggye	Kwacheon	Makgye	1,192	1961	○
Paju	Heungbu	Siheung	Suam	1,994	1945	×
	Aiyong	Paju	Tanhyun	1,025	1960	○
	Maji	Paju	Bupwon	3,996	1980	○
	Wondang	Yangju	Nam	1,114	1979	○
Yuncheon	Hyochoon	Yangju	Kwangjuk	1,840	1980	○
	Pakhak	Yuncheon	Naesan	1,677	1969	○
Pocheon	Sancheong	Pocheon	Yongpuk	2,392	1925	○
	Kisan	Pocheon	Ildong	1,074	1979	×
	Komo	Pocheon	Soheul	1,379	1984	×
Yangpyung	Onam	Namyongju	Jinjub	3,550	1985	○

Table 2와 같다. 가장 큰 저수지는 금광저수지로 저수량이 약 1000만톤이며, 가장 작은 곳은 애룡, 용담지로 100만톤을 약간 상회한다.

대상 저수지는 주로 농경의 원활한 용수 확보와 홍수에 대비하여 축조된 것이며 축조년도는 가장 오래된 것은 산정지로 '74년에, 가장 젊은 저수지는 두창지로 4년이 경과됐다. 조사항목은 pH의 12개 항목으로 월 1회 6 항목(pH, COD, SS, T-N, T-P, Chl.a)과 분기 1회(3, 6, 9, 12월) 7 항목(Pb,

Cd, Cr⁶⁺, Hg, CN, As, ABS)을 추가로 실시하고 '97년 6월부터 농업용수의 토양투수성 등을 가름하는 SAR(Sodium Adsorption Ratio)값등을 고려하여 일부 항목을 추가(Mg, Al, Mn, Fe)하여 총 17개 항목으로 조정하였다.

'96년 12월 및 '97년 1월, 2월의 동절기는 일부 저수지가 결빙되어 채수치 못하여 자료를 산출하지 못했다.

Table 2. Several characteristics of reservoirs.

site	Catchment area(ha)	Average pondage (1,000ton)	Population	Number of livestock				Etc
				Coo	Pig	Chicken	Etc	
Yucheon	933	1,848	20	148	530	68550		dredged 79~82
Sindae	647	1,284	5	30	25	5400		
Naksang	1,950	1,146	48	26	300	49900		dredged 79~82
Panwol	1,220	1,306	2,560	110				dredged 95, 96
Potong	716	801	44	19	148	4800		dredged 91
Dukwo	2,270	2,164	10,000	897	610	200		dredged 86~88
Dongbang	628	454	1,200	390	670	137000		
Kicheon	755	1,798	240	354	1200			
Changheung	794	2,030	120	5		15	11	
Keumkwang	2,314	6,339	2,440	304		1600	20	dredged 95~96
Madun	1,240	2,121	483	172		450	30	dredged 95~96
Misan	442	1,633	220	40			40	
Yongseol	790	1,833	205	150				fish farm
Duksan	485	1,466	228	80				
Changyong	730	1,292	260	3		20		dredging
Yongduk	1,250	823	722	20				
Duchang	287	1,058	160	60				
Yongdam	770	847	540	80				dredged 95~96
Pakwun	1,020	1,238	480	2000	1000			
Cheonggye	790	966	-				zoo	
Heungbu	1,320	1,726	2,800	300				dredged 94~96
Aiyong	890	836	498	585		5000		
Maji	1,420	3,156	220	113	280			
Wondang	337	875	174	405				
Hyochoon	703	1,189	678	642	1050			dredged 97
Pakhak	995	1,640	230			40000		
Sancheong	1,537	2,278	10					
Kisan	872	1,023	33					
Komo	400	1,307	150					
Onam	1,552	3,029	382	50		200	30	dredged 94

2.2. 분석방법¹³

pH(수소이온농도)는 이온전극법으로 검사했으며, COD(Chemical Oxygen Demand : 화학적산소 요구량)은 산성과망간산 칼륨법으로, SS(Suspended Solid : 부유물질)는 유리섬유여지법과, T-N(Total Nitrogen : 총질소)은 알칼리성 과황산칼륨법, T-P(Total Phosphorous:총인)는 아스코르빈산 환원법, Chlorophyll-a는 아세톤으로 클로로필 색소를 추출하여 663, 645, 630, 750 nm에서 정량하는 흡광광도법(Spectrophotometer : Beckman Du-70)으로 측정하고, Pb 등 중금속은 원자흡광광도법(AAS : Perkin-Elmer 5100PC)으로, 음이온계면활성제(ABS)는 흡광광도법(메틸렌블루법)으로, Mn, Al, Na, Fe 등은 유도결합플라즈마발광광도법(ICP : Optima3000, Perkin-Elmer)으로 각각 측정하였으며 금속성분 분석을 위한 전처리는 질산 또는 염산산성 상태로 마이크로파(Questron-wave 1000)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. pH 및 Al

일반적으로 산성우에 의한 토양 무기물의 염류화는 특히 알루미늄의 경우 어류의 수정에도 영향이 있고 난(egg)이나 치어(fry)의 발육에도 장애를

주며 어류의 아가미 세포를 손상시키고, 손상세포의 염증을 일으킨 부분에서 분비된 점액을 배설할 수 없게 되기 때문에 아가미가 막히게 되어 아가미를 통해 호흡을 하는 어류는 결국 질식사하게 된다. 보통 pH5.4 정도에서 알루미늄 용출이 일어나 65 mg/l의 농도부터 어류에 피해를 주기 시작하는 것으로 알려져 있다⁵. Table 3과 Fig. 1에서와 같이 가장 낮은 pH는 여천, 신대저수지로 7.3을 나타내고 30 개 저수지 모두가 중성에 가까운 것으로 나타났다.

알루미늄 농도의 경우 제일 높은 곳은 금광으로 35 mg/l이며 pH는 중성이고, pH가 제일 낮은 곳인 여천, 신대저수지에서 알루미늄농도는 8~12 mg/l으로 조사대상 저수지의 pH는 알루미늄 용출에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. pH와 알루미늄 농도는 서로 일관성을 보이지 않아 산성우에 의한 용출은 아닌 것으로 보이며, 따라서 산성우에 의한 알루미늄 용출 피해는 없는 것으로 판단된다.

3.2. 부영양화 정도 조사(질소, 인, Chl.a)

부영양화의 원인물질인 질소, 인 등의 지역별 농도의 추이는 Fig. 2에 나타내었으며 월별 세부자료는 부록에 수록하였다. 년평균 질소 농도의 경우 금광, 신대저수지에서 3.437, 7.642 mg/l로 가장 높은 것으로 나타났고 장흥, 용설, 청계저수지가 1.792, 1.917, 1.793 mg/l로 다른 저수지에 비해

Table 3. Average concentrations of Al and pH in reservoirs(mg/l).

Reservoir	Monthly average pH	Monthly average Al	Reservoir	Monthly average pH	Monthly average Al	Reservoir	Monthly average pH	Monthly average Al
Yucheon	7.3	11.73	Madun	8.1	3.38	Heungbu	8.3	5.99
Sindae	7.3	8.14	Misan	7.5	5.04	Aiyong	7.8	5.56
Naksang	7.4	6.43	Yongseol	7.9	3.34	Maji	8.1	4.37
Panwol	7.6	4.10	Duksan	7.9	6.82	Wondang	8.3	3.82
Potong	8.0	8.18	Changyong	7.8	5.20	Hyochoon	8.4	8.72
Dukwo	7.5	10.25	Yongduk	7.7	3.74	Pakhak	7.9	5.54
Dongbang	7.5	6.94	Duchang	7.7	4.40	Sancheong	7.5	8.45
Kicheon	7.7	5.10	Yongdam	7.7	5.77	Kisan	7.5	6.15
Changheung	7.5	3.64	Pakwun	7.8	11.26	Komo	7.4	4.57
Keumkwang	7.5	34.96	Cheonggye	8.0	5.04	Onam	7.5	3.42

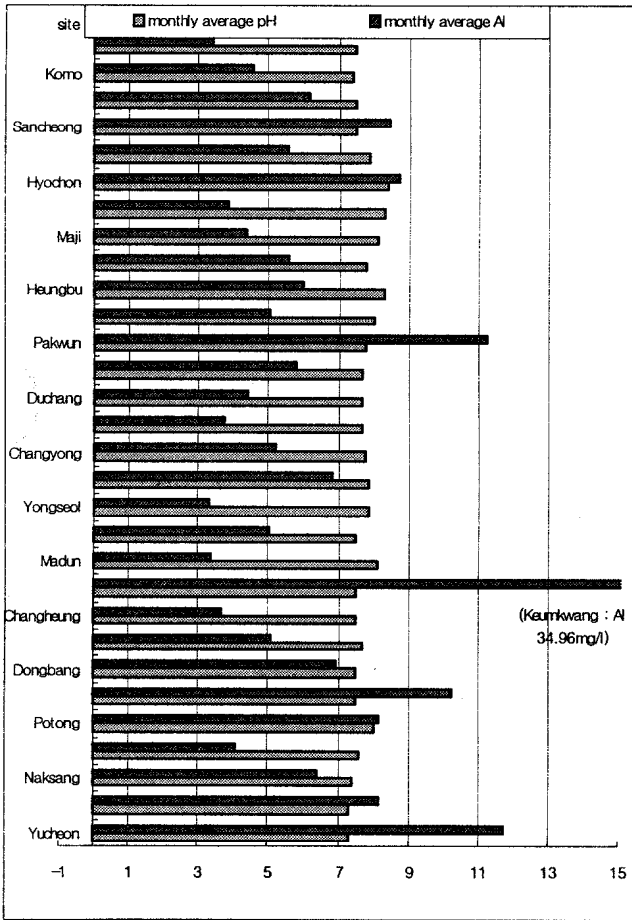


Fig. 1. The pH and Al concentration of reservoirs (Al mg/l).

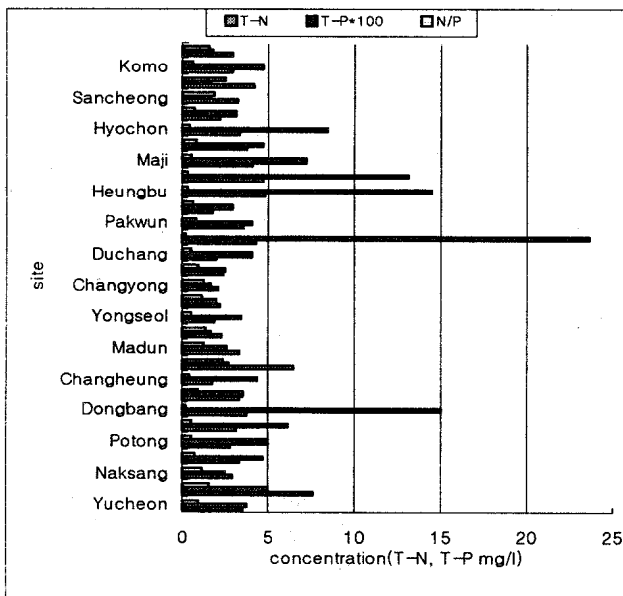
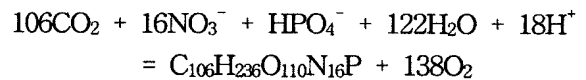


Fig. 2. The N/P ratio of reservoirs.

낮은 농도를 보였다. 년중 최저 농도는 산정저수지 9월의 0.218 mg/l, 최고농도는 금광저수지 10월의 16.410 mg/l이었다. 금광저수지 10월의 질소농도 값은 10월 이전의 값과 비교하여 크게 높은 수치여서 상류 축산농가의 축산폐수의 방류 등으로 추정된다. 일반적으로 여름철 홍수기와 봄철 전도(turn over) 시기에 높은 농도를 보였고 늦은 겨울에는 낮은 농도를 보였다¹⁴.

월별 및 지점별 평균 인 농도를 조사한 결과 월별 농도는 질소의 경우와 마찬가지로 4, 5월 turn over 시기와 8, 9월에 높은 농도를 보였고 지점별로는 동방, 용담, 흥부, 애룡지가 0.150, 0.236, 0.145, 0.131 mg/l으로 높은 농도를, 미산, 청용, 산정, 기산, 오남저수지에서 0.017 mg/l 정도로 다른 저수지에 비해서 비교적 낮은 농도를 보이고 있으나, 대부분의 저수지에서 0.020 mg/l을 초과하여 부영양화단계를 넘어서고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 조류의 생성은 다음과 같은 등식으로 설명할 수 있다¹⁵.



N/P비가 20 이상인 수계에서는 인이 제한인자가 되며, N/P비가 5이하인 수계에서는 질소가 제한인자가 된다. 인, 질소 및 클로로필-a의 농도 및 상관관계는 Fig. 2와 같으며, T-P가 상대적으로 낮아 각 인자를 용이하게 비교하기 위해 T-P농도를 일률적으로 100을 곱해서 표시했다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 N/P에 의한 제한영양인자의 경우 용담저수지를 제외하고는 모두 인이 제한인자가 되고 있음을 알 수 있다. Fig. 2에서 저수지별 제한영양인자의 경우 N/P비가 대부분 저수지에서 20을 훨씬 초과 했으며 금광, 기산저수지의 경우 200을 상회하여서 인에 대한 질소의 비가 상당한 수준임을 알 수 있었다¹⁶. 금광저수지의 경우 저수지 상류에 축사와 계사가 주 배출원으로 보이며, 용담지는 18로 가장 낮은 값을 보였다. 따라서 대부분 저수지의 제한영양인자인 인의 배출 오염원에 대한 제어대책이 요구된다.

부영양화의 정도를 판정하는 기준은 학자간에 이견이 있으나, 일반적으로 많이 이용되는 분류기준으로 부영양화 정도를 구분하면 Table 4와 같다. Table 4의 영양단계 분류기준에 의하여 조사대상 저수지의 영양정도를 분류한 결과를 Table 5에 실었다.

Table 5에서와 같이 제한영양인자로 작용하는 N, P의 경우 질소는 이미 모든 저수지에서 부영양 단계를 넘어 섰고, 인의 경우 미산, 덕산, 청용, 산정저수지를 제외하고 다른 모든 저수지는 이미 부영양 단계를 넘어 섰다.

클로로필-a 농도도 2/3 이상이 부영양 단계를 넘는 것으로 나타났으며, 산정저수지 한 곳만 빈영양 단계로 나타났다. 저수지 30 개소 중 2/3 이상이 세 가지 항목 모두 부영양화 단계에 이른 것으로 조사되었다. 일반적으로 대형 호소의 경우 4~5월, 8~9월의 저수지 turn over 시기에 저니에 침전된 무기영양분의 부상으로 클로로필의 농도가 상승하고, 소형 저수지는 홍수가 끝난 시기에 유입된 영양물질에 의해 번성한다. 본 연구결과로는 3, 4월부터 늦은 가을까지 지속적으로 높은 농도로 유지되는 양상을 보였다. 이는 조사 대상 저수지가 Table 8에서와 같이 영양물질의 유입에 관계없이 이미 영양물질이 충분한 농도로 존재하기 때문이라 판단된다¹⁸.

Table 6에서 지역별 클로로필-a 농도는 산정 및 오남저수지 만 빈영양 정도를 보였고, 중영양 정도의 4~10 mg/m³은 장흥저수지 등 7 개 호소, 부영양 정도인 10 mg/m³ 이상은 여천 등 12 개 호소이며 특히, 효촌 및 흥부저수지는 평균 78.4 및 82.2 mg/m³로 7월부터 100 mg/m³을 계속 상회하는 것으로 나타났다.

저수지의 총질소, 총인농도와 조류(클로로필-a)의 상관관계를 알아보기 위해 Fig. 3에서와 같이 도식화 한 결과, 조사대상 저수지의 영양제한인자로 조사된 인과 클로로필-a와의 상관성은 낮은 것으로 조사되었으며 이러한 결과는 질소·인의 농도가 조류번성에 필요한 것 이상의 농도로 높게 존재하기 때문인 것으로 판단된다^{6,19}.

Table 4. Trophic state index¹⁷.

Water quality index	Oligotrophic	Mesotrophic	Eutrotrophic
T-P($\mu\text{g}/\ell$)	< 10	10 ~ 20	> 20
T-N($\mu\text{g}/\ell$)	< 200	200 ~ 400	> 400
Chlorophyll-a($\mu\text{g}/\ell$)	< 4	4 ~ 10	> 10
Secchi depth(m)	> 4	2 ~ 4	< 2

Table 5. Eutrophication states of reservoirs.

Item Reservoir	Chl.a (mg/m ³)	T-N	T-P	COD
Yucheon	● 23.289	● 3.596	● 0.035	9.334
Sindae	● 10.478	● 7.160	● 0.050	9.089
Naksang	● 11.100	● 3.396	● 0.022	5.978
Panwol	● 22.100	● 2.889	● 0.050	7.589
Potong	● 32.844	● 3.342	● 0.056	12.111
Dukwo	● 15.422	● 3.514	● 0.066	10.511
Dongbang	● 23.211	● 4.455	● 0.187	12.033
Kicheon	● 13.178	● 3.965	● 0.041	6.592
Changheung	◎ 5.511	● 1.612	● 0.049	4.922
Keumkwang	◎ 9.100	● 4.198	● 0.033	5.067
Madun	● 10.234	● 3.866	● 0.025	6.245
Misan	◎ 5.155	● 2.208	◎ 0.018	3.867
Yongseol	● 17.667	● 2.047	● 0.033	7.289
Duksan	◎ 7.872	● 2.565	◎ 0.016	5.244
Changyong	◎ 8.989	● 2.212	◎ 0.018	5.967
Yongduk	◎ 5.644	● 2.966	● 0.057	9.211
Duchang	● 18.189	● 1.864	● 0.044	6.978
Yongdam	● 34.944	● 4.738	● 0.292	8.606
Pakwun	● 13.989	● 3.885	● 0.035	7.267
Cheonggye	● 12.111	● 2.223	● 0.021	5.755
Heungbu	● 46.467	● 5.407	● 0.183	8.967
Aiyong	● 20.567	● 5.706	● 0.174	8.617
Maji	● 17.417	● 4.735	● 0.093	7.050
Wondang	● 28.584	● 4.294	● 0.062	8.017
Hyochoon	● 52.650	● 4.222	● 0.070	11.050
Pakhak	● 15.511	● 2.603	● 0.030	5.233
Sancheong	○ 0.000	● 3.087	◎ 0.018	4.555
Kisan	◎ 4.111	● 3.916	● 0.021	3.833
Komo	◎ 8.378	● 3.268	● 0.065	4.544
Onam	◎ 4.422	● 3.347	● 0.021	4.233

※ ● : eutrophication, ◎ : mesotrophic, ○ : oligotrophic

Table 6. The Chlorophyll-a variations of reservoirs by months($\mu\text{g}/\text{l}$).

site	96.12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Average
Yucheon	46.0	16.7	39.6	6.2	22.6	14.8	10.2	13.4	40.1	73.1	39.2	43.5	30.5
Sindae	19.7	4.8	15.6	6.3	9.3	10.9	7.4	10.6	9.7	25.9	50.0	19.5	15.8
Naksang	8.7	11.1	12.5	1.9	14.8	10.6	16.8	5.3	18.2	23.9	75.0	31.5	19.2
Panwol	18.3	7.1	53.1	18.9	27.6	11.2	14.0	27.5	21.2	54.0	64.5	88.2	33.8
Potong	23.4	4.5	82.3	14.5	86.4	18.2	16.3	27.7	22.3	66.8	48.8	26.7	36.5
Dukwo	45.3	7.6	21.1	7.4	14.6	8.2	13.5	18.3	2.8	41.2	42.1	66.1	24.0
Dongbang	6.9	0.5	89.5	33.2	205.7	24.6	0.8	45.9	7.5	40.4	25.8	67.1	45.7
Kicheon	19.4	7.3	44.4	6.2	9.1	1.9	9.1	17.3	3.9	25.2	6.4	13.7	13.7
Changheung	5.4	2.2	8.4	3.7	13.8	1.6	2.4	5.6	6.5	4.2	7.4	8.4	5.8
Keumkwang	6.6	3.1	1.2	5.5	10.9	7.0	9.8	22.6	15.2	0.7	0.5	0.4	7.0
Madun	9.3	9.6	14.9	4.2	6.7	2.5	4.5	30.6	9.8	12.6	11.5	9.6	10.5
Misan	8.5	4.4	2.5	2.2	14.2	1.4	2.1	2.6	8.5	5.7	10.5	11.9	6.2
Yongseol	13.4	5.2	4.9	4.2	13.8	2.1	4.4	74.1	36.9	24.1	42.0	23.8	20.7
Duksan	4.2	12.6	4.1	2.3	7.7	2.3	1.1	9.8	14.2	8.3	21.0	19.0	8.9
Changyong	5.9	3.4	12.9	2.1	9.9	1.7	8.7	18.6	17.7	7.7	8.9	19.3	9.7
Yongduk	3.5	4.8	7.6	1.7	8.9	1.1	1.3	13.2	8.7	13.7	10.2	14.8	7.5
Duchang	10.9	13	17.2	4.2	26.6	3.5	4.1	24.3	59.8	17.5	12.6	20.3	17.8
Yongdam	24.9	0.9	5.3	1.7	56.3	58.8	58.9	56.1	51.6	54.5	54.6	54.1	39.8
Pakwun	10.4		8.6	9.2	2.3	10.8	33.7	30.1	15.9	12.0	25.6	15.9	15.9
Cheonggye	8.4		3.9	13.4	6.9	37.8	11.6	10.2	11.4	22.7	23.5	15.0	15.0
Heungbu	12.7		16.9	79.1	16.0	33.8	111.9	122.4	165.4	159.7	104.2	82.2	82.2
Aiyong			7.9	8.3	5.0	8.3	76.0	17.9	90.1	57.9	119.1	43.4	43.4
Maji			9.1	11.7	.9	13.1	49.1	17.6	29.3	13.2	20.1	18.2	18.2
Wondang			14.7	16.1	6.1	28.8	66.6	39.2	105.3	16.1	20.8	34.9	34.9
Hyocheon			43.5	24.4	11.1	45.0	100.6	91.3	69.4	171.1	149.4	78.4	78.4
Pakhak	4.2		4.6	22.1	3.4	8.1	48.9	39.9	48.0	32.1	12.1	22.3	22.3
Sancheong	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kisan	3.5		5.4	4.6	1.1	0.8	4.9	9.7	58.2	16.2	5.6	11.0	11.0
Komo	9.5		3.6	6.3	6.6	3.4	24.7	2.3	7.5	5.4	2.6	7.2	7.2
Onam	10.7	3.1	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3

* Blank : No sampling for frozen

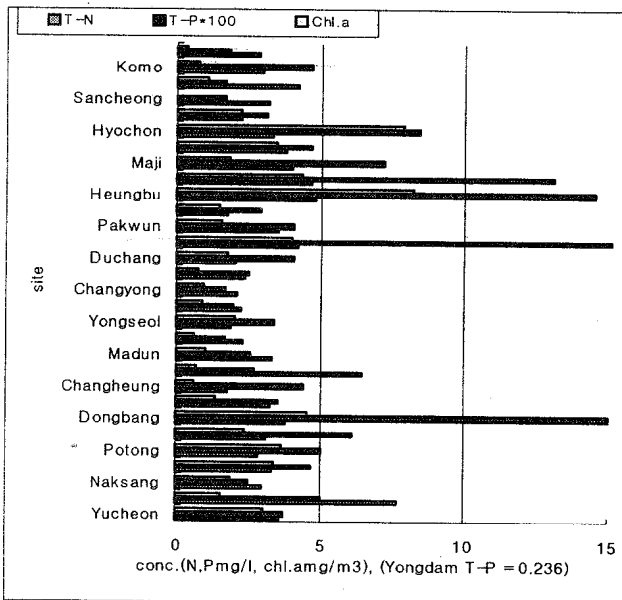


Fig. 3. Relationship between nutrients and chl.a

3.3. COD 및 SS

연평균 지역별 COD 농도는 산정저수지가 4.1 mg/l 로 가장 낮은 값을 나타내었고 용담저수지가 15.5 mg/l 로 가장 높은 농도를 나타내었다. 연평균 COD농도도 호소의 생활환경 5등급 기준인 10 mg/l 을 넘어선 곳이 네 곳이나 되며, 낙생저수지를 포함한 11 개 저수지를 제외하고 1회 이상 COD 10 mg/l 을 초과한 것으로 조사됐다. 5월과 11월에는 낮은 값을 보였다.

SS의 경우 동절기에 낮은 값을 나타내다가 봄철 turn over가 일어나는 봄철부터 높아지다가 강우가 집중되는 여름철에 가장 높은 값을 나타내었다. 연평균 SS농도는 장흥저수지가 2.9 mg/l 로 가장 낮은 값을 나타내었고 덕우저수지가 31.6 mg/l 로 가장 높은 값을 나타내었으며 월별 저수지의

Table 7. The COD variations of reservoirs by months(mg/ l).

Site	96.12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Average
Yucheon	8.3	10.2	7.2	7.6	8.3	8.9	7.5	9.3	16.7	13.5	7.5	7.7	9.4
Sindae	9.2	7.6	7.9	9.7	8.0	9.2	8.2	8.7	13.3	14.0	17.4	8.6	10.2
Naksang	6.4	6.2	6.1	5.6	5.2	5.5	6.3	5.1	7.4	5.9	7.5	7.2	6.2
Panwol	7.8	7.8	6.6	9.2	9.6	8.4	4.5	7.1	7.3	10.0	7.6	9.8	8.0
Potong	16.6	8.8	10.0	10.4	14.8	11.0	15.4	10.7	11.3	10.5	7.8	7.3	11.2
Dukwo	10.9	12.1	8.7	8.0	15.2	9.4	10.9	8.7	10.7	7.8	11.1	12.0	11.8
Dongbang	9.9	12.6	13.0	11.7	15.6	13.4	10.1	12.2	9.8	9.6	11.5	12.7	11.8
Kicheon	8.6	2.8	5.7	5.6	5.9	5.8	7.0	6.8	11.4	8.3	5.0	5.3	6.5
Changheung	5.4	5.2	4.6	4.2	5.3	3.8	4.0	7.9	3.9	4.3	4.3	4.7	4.8
Keumkwang	5.3	5.5	1.7	4.5	4.9	5.8	6.1	6.8	5.0	1.4	1.8	1.2	4.2
Madun	5.7	5.9	115.1	5.7	5.7	4.4	7.7	8.3	7.0	5.7	5.3	5.5	15.2
Misan	4.0	4.7	3.9	3.5	4.3	2.9	3.0	4.2	4.3	3.9	4.6	4.7	7.3
Yongseol	6.6	6.5	5.9	7.4	6.5	5.3	6.8	9.5	11.1	8.3	8.8	6.7	7.5
Duksan	5.1	5.7	4.6	5.5	4.9	4.5	4.7	6.1	6.1	5.6	5.1	6.1	5.3
Changyong	4.6	6.8	7.5	5.7	4.5	3.3	4.3	8.0	9.0	5.8	4.6	5.0	5.8
Yongduk	4.2	5.2	15.4	33.9	5.2	4.6	4.9	5.3	4.2	5.9	3.7	4.6	8.1
Duchang	5.1	7.6	6.0	6.6	5.7	3.1	7.1	7.9	13.7	6.4	5.9	6.4	6.8
Yongdam	7.1	92.7	8.8	12.2	8.4	7.2	7.3	9.1	9.4	6.9	8.3	8.7	15.5
Pakwun	7.4		7.3	6.8	5.4	6.1	10.0	7.6	6.1	6.4	7.4	7.1	7.1
Cheonggye	5.3		5.6	6.4	7.6	5.4	6.5	4.4	5.6	7.6	6.2	6.1	6.1
Heungbu	9.6		12.0	14.1	10.9	14.5	18.1	15.3	14.3	17.0	15.1	14.1	14.1
Aiyong	9.7	8.6	5.9	6.9	9.4	11.2	9.8	4.7	11.4	8.6			8.6
Maji	6.8	5.5	5.6	7.8	8.0	8.6	7.2	11.9	6.1	7.5			7.5
Wondang	6.5	9.4	6.7	9.6	8.0	7.9	9.7	9.7	7.4	4.5			7.7
Hyocheon	10.1	9.1	10.8	12.6	11.3	12.4	9.8	13.5	13.3	11.4			11.4
Pakhak	2.4		4.5	4.3	4.2	6.6	10.9	9.4	9.6	7.6	5.3	6.5	6.5
Sancheong	4.9		4.7	4.9	4.3	2.9	6.0	3.5	2.8	4.0	3.2	4.1	4.1
Kisan	4.0		4.3	4.1	2.4	2.8	5.3	3.6	8.4	4.6	5.2	4.5	4.5
Komo	3.1		4.8	4.2	5.4	6.3	8.1	2.8	5.7	2.6	2.2	4.5	4.5
Onam	3.5	3.6	6.5	2.9	4.5	4.6	4.0	4.8	3.7	4.1	3.9	4.3	4.2

* Blank : No sampling for frozen

COD, SS농도를 Table 7, 8에 나타내었다.

Table 8. The SS variations of reservoirs by months(mg/ℓ).

Site	96.12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Average
Yucheon	6.0	2.0	14.4	10.0	2.4	15.6	16.4	28.8	25.6	104.0	25.2	34.0	23.7
Sindae	0.4	8.0	4.0	7.6	5.6	9.6	12.4	38.0	29.6	90.0	90.0	9.2	25.4
Naksang	2.8	4.4	3.6	2.8	6.8	8.0	10.4	36.4	8.4	6.0	15.2	13.6	9.9
Panwol	5.2	1.6	12.8	6.8	7.6	10.4	5.6	10.8	11.2	8.8	10.4	12.4	8.6
Potong	8.8	1.2	15.2	8.8	13.6	15.2	16.0	23.6	11.2	10.0	39.6	9.2	14.4
Dukwo	11.6	1.6	6.0	7.2	57.6	34.8	56.0	30.4	92.8	6.4	21.2	54.0	31.6
Dongbang	4.8	3.2	26.4	21.6	37.6	26.4	20.5	27.2	38.8	8.0	17.2	50.8	23.5
Kicheon	4.0	8.8	13.3	8.0	6.4	10.8	12.8	6.0	44.8	17.2	2.4	64.4	16.6
Changheung	0.4	0.8	2.0	0.4	2.8	3.2	2.0	3.6	6.0	2.8	1.6	9.2	2.9
Keumkwang	3.6	37.6	1.6	2.4	8.8	6.8	8.0	10.8	6.8	1.6	0.8	3.2	7.7
Madun	2.0	31.6	8.0	5.2	8.8	10.0	6.4	9.6	8.4	3.6	2.0	5.2	8.4
Misan	1.2	59.2	0.8	6.0	11.6	9.6	8.4	33.2	4.8	2.8	2.4	9.6	12.5
Yongseol	4.0	3.6	4.8	5.6	8.0	9.2	7.6	28.8	14.4	7.2	7.2	9.2	9.1
Duksan	6.8	24.0	3.2	8.0	8.4	9.6	11.6	10.4	11.2	3.2	29.2	10.0	11.3
Changyong	2.0	6.4	3.6	7.6	5.6	7.6	4.4	10.8	14.0	4.4	2.4	6.4	6.3
Yongduk	1.2	15.6	4.4	8.0	7.6	8.0	6.0	4.4	14.4	14.0	7.6	12.8	8.7
Duchang	1.2	80.8	17.2	3.6	5.6	10.0	10.0	23.6	19.6	12.0	14.0	11.2	17.4
Yongdam	5.2	42.0	47.2	4.8	16.8	18.4	15.2	13.2	20.0	18.8	46.0	16.8	22.0
Pakwun	3.2			7.6	4.8	7.2	8.8	6.0	8.8	4.8	7.2	8.0	6.6
Cheonggye	0.4			6.4	6.4	8.0	9.2	5.2	11.6	4.8	6.8	9.6	6.8
Heungbu	22.4			49.6	29.2	34.4	22.4	13.6	11.6	30.8	17.6	16.8	24.8
Aiyong				5.6	7.2	9.6	3.2	12.0	8.4	27.6	26.4	23.2	13.7
Maji				14.0	6.8	10.8	6.0	17.2	9.6	11.6	4.8	4.8	9.5
Wondang				8.8	5.2	7.2	13.2	12.8	4.0	15.2	4.0	4.0	8.3
Hyochoon				14.0	20.0	23.6	24.8	48.0	13.2	10.4	18.8	24.8	22.0
Pakhak	0.8			4.4	12.8	14.4	8.8	5.2	17.2	29.2	20.8	6.8	12.0
Sancheong	2.4			16.0	30.4	19.2	11.2	31.2	20.0	17.6	18.0	7.6	17.4
Kisan	6.4			7.6	16.4	12.8	2.8	5.6	8.8	56.0	55.6	12.8	18.5
Komo	10.4			13.6	5.2	7.2	8.8	11.2	4.0	7.2	10.8	1.2	8.0
Onam	3.6	0.8	7.2	3.2	6.0	6.8	0.8	7.2	1.6	3.6	4.8	4.8	4.2

* Blank : No sampling for frozen

3.4. 음이온계면활성제, 중금속 및 SAR

수표면에 거품막을 형성하여 산소 전달을 저하시키는 합성세제를 조사하기 위해 자연분해가 어려운 음이온 계면활성제를 조사한 결과 농도가 가장 높은 저수지가 동방저수지로 0.135 mg/ℓ 정도로 조사되어으나 환경기준인 0.5 mg/ℓ에는 훨씬 못미치는 수준이었으며 여천 및 오남저수지가 가장 낮게 조사됐고 분기별 오염도 자료는 부록에 수록하였다. 동방저수지의 경우 조사 대상 저수지 중 가장 많은 닭을 사육하고 있으며, 유역 상주인구도 1,200명 정도로 다른 저수지에 비해 점오염원 및 축산폐수에 의한 오염이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 특정

유해물질인 Pb, Cd, Cr⁶⁺, Hg, As는 30 개 저수지, 모두 불검출로 조사 되었다. Fe의 경우 여천, 덕우, 신대저수지가 1.2~9.3 mg/ℓ 정도로 비교적 높은 값을 나타내었고, 오남저수지가 가장 낮은 0.162 mg/ℓ로 나타났다. 신대저수지의 경우 Fe, Mn 및 Mg도 상당히 높게 조사되었으며 Mn은 여천저수지 1.802 mg/ℓ 과 신대저수지 5.067 mg/ℓ로 상대적으로 높은 농도를 보였으며 고모저수지 0.060 mg/ℓ 과 오남저수지 0.079 mg/ℓ가 가장 낮은 농도를 나타냈다.

Fe²⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺은 경도를 높여 물때(scale)형성, 세제소모 등을 유발하여 생활용수 및 산업용수로서의 질을 떨어뜨리는 2가 이온들을 정도(CaCO₃로서)로 환산한 결과 대부분 100 mg/ℓ 이하로 비교적 낮게 조사되었고, 금광저수지와 신대저수지가 각각 110, 115 mg/ℓ 정도의 약한 경수(moderately hard)로 조사되어 먹는물로서는 지장이 없는 것으로 나타났다.

Ca은 신대, 금광, 흥부저수지가 23 mg/ℓ 이상의 높은 농도를 보였고, 청용, 두창, 산정, 기산지에서 5.5 mg/ℓ 정도의 낮은 농도를, Mg은 흥부, 금광, 신대저수지에서 5 mg/ℓ 이상의 높은 값을 나타냈고, 산정, 기산저수지에서 낮은 값을 나타냈고 그 측정값은 부록에 수록하였다.

농업용수 내에서 Na⁺의 양이 Ca⁺⁺ 과 Mg⁺⁺양과 비교하여 과다할 때에는 Na⁺가 Ca⁺⁺와 치환되어 투수성이 감소하고 따라서 배수되지 않고 공기도 통하지 않는 불량한 토양이 되어 경작이 어려운 토질로 변한다.

농업용수 수질척도를 SAR(Sodium Adsorption Ratio)값으로 대별하는데 그 계산식은 아래와 같으며 값에 따른 영향은 Table 9와 같다.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}}$$

Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺에 대한 저수지 수질의 SAR은 Fig. 4에 나타내었으며, 그림에서 보듯이 제일 높은 동방저수지가 평균 SAR값이 8.162로, 장흥, 미산, 원당, 산정, 기산저수지는 2.0 이하로 조사되어 농업용수로서의 수질로서는 극히 양호한 것으로 나타났다.

Table 9. Water quality standard of agricultural water(SAR).

SAR value	effect
0~10	slight
10~18	moderate
18~26	comparative high
26~30	very high

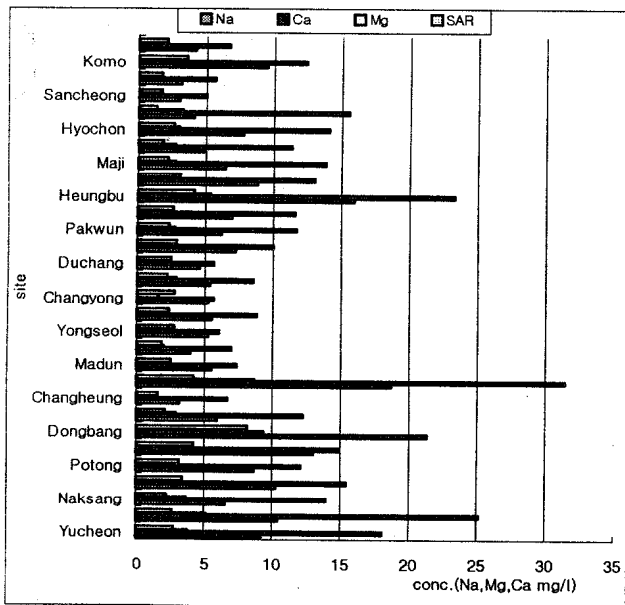


Fig. 4. The SAR of reservoirs.

4. 결론

총 저수량이 100만 톤 이상인 도내 대형저수지 30 개소를 대상으로 저수지의 오염도 및 부영양화 정도 파악 및 그 원인물질을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 저수지의 pH는 평균 7.7 정도로 산성우에 의한 알루미늄 용출로 인한 어류 등의 피해는 없는 것으로 나타났다.
2. 용담저수지를 제외한 모든 저수지 N/P의 비율이 20을 훨씬 상회하여 영양염류 제한인자가 인임을 확인하였고 N, P는 모든 저수지에서 높게 나타남을 알수 있었다.
3. T-N의 경우는 모든 저수지에서 부영양 단계

를 넘었고, T-P, Chl.a의 경우도 역시 모든 저수지가 과영양 단계임을 확인하였다.

4. SAR값이 극히 낮고 연경수의 물로서 농업용수나 공업용수로서의 수질로는 양호한 것으로 조사됐다.

5. 비점오염원의 경우 N, P의 배출에 대한 주민 제도 및 홍보관리가 요망된다.

일반적으로 댐을 제외한 저수지의 축조 목적은 농업용수 조달에 있으며 축조된 저수지는 또한 정서, 레크레이션(낚시 등)과 생태계 단계의 유지에도 기여한다. 과거 국민단백질 보충공급을 위해 내수면개발 차원의 수산용수로도 이용되어 왔으나 기 유입된 비점오염원(축산폐수, 비료, 낚시떡밥 등) 유입에 가중되어 심한 부영양화를 유발함으로써 정체수역관리를 위해 비점오염원 부하량 조사 및 행정규제 등 호소수질 개선을 위한 적극적 관리가 요망된다.

참고문헌

1. 용인군, 1989, "경안천 정수산업 기본계획 및 실시계획 보고서".
2. 국립환경연구원, 1989, 하천 및 호소수질의 최적화관리방안, "부영양화 방지를 위한 질소인 제거기술", 세계환경의날 기념 세미나.
3. 서윤수, 1985, "호소의 부영양화현상과 대책", 상수 및 폐수처리 선진기술 세미나 논설문집.
4. 김세진, 1990, "수도권역 4 개 호소의 Chlorophyll-a 농도 조사 연구 : 신갈, 송진, 아산, 팔당", 한양대학교석사학위논문.
5. 권동희, 1995, "환경생태학", pp 121-144, 도서출판 신라.
6. R. Mitcoll, 1974, *Introduction to Environmental Microbiology*. Ch. 11. Eutrophication.
7. F. Ruttner, 1953, *In Fundamentals of Limnology*, pp 198-210, University of Toronto Press.
8. 국립환경연구원, 1988, "호소의 수질보전(현황과 법제도)".
9. 和田安彦, 1981, "都市河川の水質負荷流出特性とその考察", 環境と對策, 17(2).
10. 국립환경연구원, 1986, "조류와 수질오염-수자원

공급 및 수질오염에 관련된 조류의 동정, 중요성 및 관리에 관한 지침서”.

11. 임경택, 김병환 공저, 1987, “생태학과 환경계획”, pp 111-142, 209, 동화기술.
12. 전상호, 조규송, 강인구, 권오길, 김범철, 나규환, 안태배, 이종범, 이찬기, 이해금, 최준길 공저, 1995, “호소환경조사법”, pp 15-34, 동화기술
13. 환경부, 1998, 수질오염공정시험방법.
14. 김환식, 1990, “팔당상수원에 유입하는 오염물질 부하량과 유출특성에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위논문.
15. J. W. C. Lund. Jour. 1954, *The importance of algae to waterworks engineers*, Water Engrs. pp 497-504.
16. 최영길, 한명수, 안태영, 광노태, 1995, “담수의 부영양화”, pp 91-162, 신광문화사.
17. U.S. Environmental Protection Agency., 1984, *Emerging Technology Assessment of Biological Removal of phosphorous*. U.S. EPA.
18. 김범철, 1997, “하천 호소의 수질관리와 유역관리에 관한 한.일공동세미나, 비점오염원으로 부터의 인의 홍수유출”, 국립환경연구원.
19. R. K. Dart and R. T. Stretton, 1980, “*Microbiological Aspects of Pollution Control*”, Ch. 7, Eutrophication. Elseier.

부 록

1. Relationship between nutrients reservoirs and Chloro phyll-a(mg/ℓ).

Site	T-N	T-P×100	Chl.a	Site	T-N	T-P×100	Chl.a
Yucheon	3.585	3.7	30.5	Yongduk	2.404	2.5	7.5
Sindae	7.642	5.0	15.8	Duchang	2.014	4.1	17.8
Naksang	2.961	2.5	19.2	Yongdam	4.241	23.6	39.8
Panwol	3.292	4.7	33.8	Pakwun	3.535	4.1	15.9
Potong	2.860	5.0	36.5	Cheonggye	1.793	2.9	15.0
Dukwo	3.134	6.1	24.0	Heungbu	4.798	14.5	82.2
Dongbang	3.791	15.0	45.7	Aiyong	4.717	13.1	43.4
Kicheon	3.283	3.5	13.7	Maji	4.014	7.2	18.2
Changheung	1.792	4.4	5.8	Wondang	3.797	4.7	34.9
Keumkwang	6.437	2.7	7.0	Hyocheon	3.318	8.4	78.4
Madun	3.323	2.6	10.5	Pakhak	2.230	3.1	22.3
Misan	2.236	1.7	6.2	Sancheong	3.205	1.7	0.0
Yongseol	1.917	3.4	20.7	Kisan	4.179	1.7	11.0
Duksan	2.206	2.0	8.9	Komo	2.958	4.7	7.2
Changyong	2.121	1.7	9.7	Onam	2.879	1.8	3.3

2. The T-N variations of reservoirs by months(mg/ℓ).

Site	96.12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	average	
Yucheon	4.368	3.444	3.148	2.234	3.015	2.398	4.704	6.456	2.594	5.170	4.037	1.454	3.585	
Sindae	5.521	6.025	3.963	3.849	4.922	2.414	6.720	14.634	16.392	10.698	13.788	2.772	7.642	
Naksang	4.195	4.384	2.469	3.858	3.481	2.624	4.049	2.668	2.839	0.678	1.135	3.149	2.961	
Panwol	3.571	2.223	1.960	1.866	2.702	1.237	4.708	5.767	1.966	3.763	7.416	2.325	3.292	
Potong	3.459	2.949	1.964	2.001	2.805	1.445	2.752	2.781	1.847	1.867	1.184	1.189	2.860	
Dukwo	3.888	4.694	2.230	2.094	2.394	2.163	8.364	2.521	3.274	0.523	3.739	1.718	3.134	
Dongbang	7.666	9.014	2.028	1.736	2.367	1.584	10.572	3.187	1.893	1.503	2.709	1.184	3.791	
Kicheon	5.222	8.839	4.554	1.162	2.041	2.521	6.588	2.986	1.775	1.633	0.890	1.182	3.283	
Changheung	2.942	1.425	1.525	1.138	1.205	0.907	1.607	1.913	1.847	1.938	3.990	1.072	1.792	
Keumkwang	2.962	2.474	10.470	7.978	1.905	1.655	2.629	6.054	1.653	8.334	16.410	14.719	6.437	
Madun	3.524	2.422	2.101	9.417	2.176	1.823	2.102	2.086	9.342	3.008	0.673	1.401	3.323	
Misan	3.372	4.328	1.400	0.823	2.126	1.067	2.276	3.156	1.327	0.191	6.908	0.581	2.236	
Yongseol	3.567	2.962	1.462	1.908	1.538	0.863	3.477	1.736	0.904	2.257	1.369	0.935	1.917	
Duksan	3.465	3.724	1.437	0.969	1.771	1.094	6.612	3.641	0.382	1.813	0.781	0.785	2.206	
Changyong	2.576	1.412	1.189	0.358	1.182	1.082	2.072	3.995	6.042	0.637	4.242	0.669	2.121	
Yongduk	3.681	3.548	2.629	1.274	2.955	1.726	2.969	2.183	5.733	0.566	0.778	0.804	2.404	
Duchang	2.856	2.568	1.281	0.264	1.084	0.294	5.606	0.744	2.084	0.554	6.070	0.766	2.014	
Yongdam	3.876	15.260	2.607	1.564	1.999	1.536	4.316	2.639	8.894	3.259	4.075	0.915	4.241	
Pakwun	3.535				1.714	2.600	1.609	7.056	2.555	7.824	5.016	2.215	1.222	3.535
Cheonggye	3.241				1.083	1.468	0.768	3.408	1.478	2.079	0.556	2.130	1.707	1.733
Heungbu	5.743				4.486	5.004	4.437	8.322	4.965	4.222	5.158	1.952	3.686	4.798
Aiyong					10.989	2.330	1.484	4.738	7.638	7.020	4.328	2.386	1.508	4.717
Maji					10.113	2.138	1.097	5.334	2.785	6.912	3.418	2.769	1.554	4.014
Wondang					8.356	2.864	2.241	6.510	2.918	2.876	0.545	6.366	1.494	3.797
Hyocheon					9.378	4.334	1.135	6.000	2.534	1.951	1.277	0.902	2.354	3.318
Pakhak	1.638				9.072	0.886	1.747	1.740	1.219	3.851	0.566	0.811	0.765	2.230
Sancheong	1.951				8.529	2.311	1.819	3.300	1.608	4.360	0.218	7.194	0.760	3.205
Kisan	2.552				8.097	3.180	1.435	7.650	1.759	5.471	0.728	8.736	2.123	4.179
Komo	2.311				1.984	3.136	2.256	5.587	7.638	1.883	1.594	0.887	2.301	2.958
Onam	3.754	4.328	2.931	0.834	3.114	2.404	6.936	3.525	3.109	0.647	0.952	2.018	2.879	

* Blank : No sampling for frozen

3. The T-P variations of reservoirs by months(mg/ℓ).

Site	96.12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Average	
Yucheon	0.037	0.028	0.023	0.043	0.054	0.022	0.012	0.042	0.057	0.044	0.035	0.052	0.037	
Sindae	0.040	0.029	0.026	0.048	0.028	0.081	0.046	0.125	0.026	0.035	0.071	0.046	0.050	
Naksang	0.033	0.018	0.013	0.020	0.011	0.018	0.010	0.036	0.039	0.028	0.024	0.047	0.025	
Panwol	0.030	0.034	0.018	0.055	0.101	0.060	0.069	0.041	0.040	0.031	0.024	0.035	0.047	
Potong	0.027	0.027	0.027	0.072	0.060	0.036	0.066	0.101	0.087	0.034	0.025	0.039	0.050	
Dukwo	0.076	0.035	0.019	0.035	0.021	0.031	0.073	0.064	0.243	0.043	0.037	0.050	0.061	
Dongbang	0.573	0.363	0.035	0.069	0.071	0.099	0.260	0.159	0.056	0.039	0.032	0.041	0.150	
Kicheon	0.065	0.012	0.006	0.016	0.007	0.018	0.088	0.053	0.102	0.029	0.005	0.021	0.035	
Changheung	0.038	0.007	0.009	0.016	0.004	0.008	0.284	0.034	0.044	0.045	0.001	0.036	0.044	
Keumkwang	0.008	0.025	0.033	0.091	0.009	0.029	0.029	0.038	0.036	0.005	0.006	0.016	0.027	
Madun	0.013	0.018	0.012	0.029	0.006	0.014	0.033	0.059	0.039	0.019	0.036	0.028	0.026	
Misan	0.012	0.042	0.005	0.008	0.034	0.009	0.002	0.028	0.021	0.016	0.003	0.019	0.017	
Yongseol	0.064	0.015	0.015	0.015	0.015	0.039	0.027	0.061	0.044	0.050	0.025	0.034	0.034	
Duksan	0.010	0.018	0.019	0.008	0.004	0.018	0.015	0.025	0.029	0.020	0.048	0.025	0.020	
Changyong	0.016	0.004	0.023	0.009	0.003	0.007	0.000	0.022	0.078	0.026	0.005	0.007	0.017	
Yongduk	0.012	0.006	0.037	0.033	0.017	0.010	0.000	0.014	0.032	0.015	0.039	0.022	0.025	
Duchang	0.011	0.018	0.022	0.010	0.009	0.019	0.013	0.022	0.267	0.059	0.019	0.026	0.041	
Yongdam	0.039	2.281	0.029	0.056	0.017	0.047	0.039	0.066	0.054	0.052	0.039	0.051	0.236	
Pakwun	0.030				0.086	0.006	0.020	0.000	0.030	0.021	0.046	0.079	0.030	0.041
Cheonggye	0.014				0.053	0.006	0.040	0.007	0.025	0.014	0.011	0.010	0.035	0.029
Heungbu	0.263				0.068	0.066	0.292	0.085	0.223	0.124	0.077	0.140	0.116	0.145
Aiyong					0.714	0.056	0.018	0.036	0.175	0.044	0.062	0.023	0.055	0.131
Maji					0.336	0.007	0.012	0.045	0.075	0.054	0.056	0.015	0.022	0.072
Wondang					0.027	0.016	0.030	0.161	0.093	0.042	0.020	0.014	0.047	0.047
Hyocheon					0.035	0.033	0.053	0.000	0.199	0.102	0.093	0.190	0.052	0.084
Pakhak	0.024				0.060	0.023	0.010	0.015	0.035	0.054	0.033	0.027	0.025	0.031
Sancheong	0.014				0.030	0.041	0.008	0.000	0.027	0.014	0.005	0.009	0.019	0.017
Kisan	0.024				0.020	0.045	0.007	0.000	0.014	0.023	0.014	0.009	0.013	0.017
Komo	0.022				0.026	0.000	0.017	0.000	0.335	0.011	0.014	0.019	0.023	0.047
Onam	0.010	0.015	0.075	0.002	0.007	0.014	0.000	0.045	0.017	0.008	0.003	0.025	0.018	

* Blank : No sampling for frozen

4. The restricted factor of reservoirs(T-N, T-Pmg/ℓ).

Site	T-N	T-P(×100)	N/P	Site	T-N	T-P(×100)	N/P
Yucheon	3.585	3.7	96.9	Yongduk	2.404	2.5	96.2
Sindae	7.642	5.0	152.8	Duchang	2.014	4.1	49.1
Naksang	2.961	2.5	118.4	Yongdam	4.241	23.6	18.0
Panwol	3.292	4.7	70.0	Pakwun	3.535	4.1	86.2
Potong	2.860	5.0	57.2	Cheonggye	1.793	2.9	61.8
Dukwo	3.134	6.1	51.4	Heungbu	4.798	14.5	33.1
Dongbang	3.791	15.0	25.3	Aiyong	4.717	13.1	36.0
Kicheon	3.283	3.5	93.8	Maji	4.014	7.2	55.8
Changheung	1.792	4.4	40.7	Wondang	3.797	4.7	80.8
Keumkwang	6.437	2.7	238.4	Hyochoon	3.318	8.4	39.5
Madun	3.323	2.6	127.8	Pakhak	2.230	3.1	71.9
Misan	2.296	1.7	135.1	Sancheong	3.205	1.7	188.5
Yongseol	1.917	3.4	56.4	Kisan	4.179	1.7	245.8
Duksan	2.206	2.0	110.3	Komo	2.958	4.7	62.9
Changyong	2.121	1.7	124.8	Onam	2.879	1.8	159.9

5. The ABS variations of reservoirs by months(mg/ℓ).

Site	'96.12	3	6	9	Average
Yucheon	0.003	0.014	0.007	0.074	0.025
Sindae	0.006	0.016	0.019	0.077	0.030
Naksang	0.006	0.023	0.016	0.087	0.033
Panwol	0.010	0.029	0.036	0.093	0.042
Potong	0.010	0.021	0.019	0.084	0.034
Dukwo	0.010	0.021	0.022	0.088	0.035
Dongbang	0.019	0.025	0.396	0.101	0.135
Kicheon	0.018	0.007	0.032	0.078	0.034
Changheung	0.017	0.012	0.018	0.166	0.053
Keumkwang	0.010	0.009	0.020	0.114	0.038
Madun	0.010	0.010	0.024	0.089	0.033
Misan	0.007	0.005	0.014	0.082	0.027
Yongseol	0.007	0.004	0.009	0.090	0.028
Duksan	0.008	0.009	0.017	0.098	0.033
Changyong	0.010	0.009	0.025	0.107	0.038
Yongduk	0.010	0.039	0.007	0.093	0.037
Duchang	0.008	0.001	0.017	0.100	0.032
Yongdam	0.008	0.028	0.026	0.092	0.039
Pakwun	0.007	0.020	0.030	0.078	0.034
Cheonggye	0.007	0.011	0.022	0.092	0.033
Heungbu	0.004	0.043	0.045	0.107	0.050
Aiyong		0.067	0.028	0.063	0.053
Maji		0.056	0.028	0.083	0.056
Wondang		0.037	0.035	0.099	0.057
Hyochoon		0.042	0.034	0.131	0.069
Pakhak	0.004	0.026	0.008	0.074	0.028
Sancheong	0.004	0.312	0.004	0.071	0.098
Kisan	0.007	0.025	0.007	0.064	0.026
Komo	0.007	0.036	0.019	0.090	0.038
Onam	0.007	0.020	0.008	0.064	0.025

6. The Fe variations of reservoirs by months(mg/ℓ).

Site	6	7	9	10	11	Average
Yucheon	1.383	1.661	3.800	1.002	1.113	1.792
Sindae	4.319	5.085	9.791	25.993	1.343	9.306
Naksang	0.295	1.339	0.241	0.651	2.235	0.964
Panwol	0.066	0.359	0.734	0.293	0.699	0.430
Potong	0.477	0.648	0.345	1.454	0.599	0.705
Dukwo	3.056	1.027	0.262	0.703	1.181	1.246
Dongbang	0.463	0.830	0.568	0.906	1.555	0.864
Kicheon	0.690	0.064	0.483	0.072	1.026	0.467
Changheung	0.432	0.114	0.055	0.079	0.537	0.243
Keumkwang	1.952	0.211	0.061	0.014	0.849	0.617
Madun	0.091	0.189	0.102	0.077	0.553	0.202
Misan	0.358	0.405	0.112	0.089	0.519	0.297
Yongseol	0.126	0.363	0.230	0.230	0.706	0.331
Duksan	0.492	0.278	0.118	0.766	0.787	0.488
Changyong	0.127	1.193	0.126	0.125	0.923	0.499
Yongduk	0.182	0.000	0.358	0.338	0.668	0.309
Duchang	0.308	0.244	0.374	0.468	0.883	0.455
Yongdam	0.217	0.253	0.349	0.556	0.863	0.448
Pakwun	0.533	0.001	0.220	0.282	0.745	0.356
Cheonggye	0.297	0.033	0.143	0.188	0.825	0.297
Heungbu	0.523	0.220	0.627	0.575	0.947	0.578
Aiyong	0.208	0.269	1.089	0.996	1.086	0.730
Maji	0.110	0.362	1.073	0.092	0.892	0.494
Wondang	0.366	0.212	0.133	0.118	0.347	0.235
Hyochoon	0.834	0.789	0.215	0.470	2.014	0.864
Pakhak	0.227	0.034	0.846	0.452	0.715	0.455
Sancheong	0.284	1.095	0.165	0.371	0.612	0.505
Kisan	0.008	0.084	0.772	0.845	1.495	0.641
Komo	0.279	0.060	0.131	0.039	0.682	0.238
Onam	0.020	0.318	0.033	0.092	0.347	0.162

* Blank : No sampling for frozen

7. The Mn variations of reservoirs by months(mg/ℓ).

Site	6	7	9	10	11	Average
Yucheon	2.326	3.298	1.799	1.440	0.145	1.802
Sindae	3.834	3.272	6.214	11.849	0.168	5.067
Naksang	0.035	0.089	0.058	2.143	0.090	0.483
Panwol	0.022	0.173	0.164	2.180	0.130	0.534
Potong	0.052	0.079	0.345	1.781	0.086	0.469
Dukwo	0.196	0.122	0.262	1.687	0.164	0.486
Dongbang	0.014	0.187	0.568	1.098	0.338	0.441
Kicheon	0.057	0.017	0.483	0.840	0.156	0.311
Changheung	0.015	0.008	0.055	0.350	0.104	0.106
Keumkwang	0.083	0.014	0.061	0.305	0.022	0.097
Madun	0.008	0.013	0.102	0.708	0.119	0.190
Misan	0.033	0.295	0.112	0.771	0.451	0.332
Yongseol	0.014	0.156	0.230	0.831	0.150	0.276
Duksan	0.054	0.021	0.118	0.721	0.542	0.291
Changyong	0.017	0.039	0.126	0.639	0.155	0.195
Yongduk	0.055	0.017	0.358	0.342	0.134	0.181
Duchang	0.033	0.028	0.374	0.268	0.201	0.181
Yongdam	0.096	0.069	0.349	0.566	0.099	0.236
Pakwun	0.042	0.007	0.220	0.414	0.163	0.169
Cheonggye	0.068	0.013	0.143	0.359	0.163	0.142
Heungbu	0.070	0.059	0.627	0.166	0.182	0.221
Aiyong	0.101	0.023	0.089	0.254	0.332	0.160
Maji	0.026	0.035	1.073	0.037	0.270	0.288
Wondang	0.051	0.025	0.133	0.106	0.241	0.111
Hyochoon	0.196	0.049	0.215	0.201	0.807	0.294
Pakhak	0.050	0.014	0.846	0.164	0.103	0.235
Sancheong	0.034	0.052	0.165	0.054	0.133	0.088
Kisan	0.004	0.020	0.772	0.149	0.187	0.226
Komo	0.045	0.013	0.131	0.080	0.029	0.060
Onam	0.002	0.018	0.033	0.258	0.083	0.079

8. The Mg variations of reservoirs by months(mg/ℓ).

Site	6	7	9	10	11	Average
Yucheon	4.383	4.268	3.200	3.509	4.039	3.880
Sindae	4.874	4.807	5.614	5.747	4.634	5.135
Naksang	8.275	1.633	2.510	3.189	3.120	3.745
Panwol	3.039	2.323	2.543	2.991	3.683	2.916
Potong	3.147	2.553	2.449	3.212	3.333	2.939
Dukwo	4.336	2.781	2.842	3.615	4.870	3.689
Dongbang	2.849	4.579	4.241	4.772	5.563	4.401
Kicheon	3.232	2.755	2.389	2.896	3.333	2.921
Changheung	1.388	0.945	0.905	1.194	1.400	1.166
Keumkwang	9.580	2.779	10.739	10.424	9.634	8.631
Madun	2.456	2.073	1.637	1.969	2.540	2.135
Misan	2.043	1.737	1.620	2.060	2.587	2.009
Yongseol	1.564	1.362	1.298	1.513	1.840	1.515
Duksan	1.734	1.611	1.284	1.801	2.106	1.707
Changyong	1.552	1.602	1.225	1.617	2.159	1.631
Yongduk	2.811	2.733	2.605	2.778	3.396	2.865
Duchang	1.330	1.094	1.010	1.299	1.571	1.261
Yongdam	2.655	2.487	2.032	2.582	2.752	2.502
Pakwun	4.260	2.940	1.928	2.237	2.492	2.771
Cheonggye	2.458	1.860	1.641	2.196	2.725	2.176
Heungbu	5.582	4.846	4.690	5.523	6.317	5.392
Aiyong	2.669	2.400	2.817	3.253	3.553	2.938
Maji	2.178	2.216	2.823	2.914	3.385	2.703
Wondang	2.594	2.291	2.410	3.272	3.119	2.737
Hyochoon	2.887	2.632	2.463	3.323	3.555	2.972
Pakhak	2.872	2.763	3.093	3.480	3.982	3.238
Sancheong	0.822	0.826	0.672	0.867	1.115	0.860
Kisan	1.101	0.726	0.764	1.286	1.106	0.997
Komo	1.366	1.366	1.946	2.667	2.639	1.997
Onam	1.298	1.300	1.144	1.433	1.695	1.374

9. The Cu variations of reservoirs by months(mg/ℓ).

Site	6	7	9	10	11	Average
Yucheon	18.768	20.234	13.968	17.009	20.202	18.036
Sindae	22.541	22.333	26.710	29.692	24.073	25.070
Naksang	11.586	7.164	15.171	17.570	18.470	13.992
Panwol	14.488	11.734	13.538	16.294	21.216	15.454
Potong	12.558	10.121	10.545	13.193	14.204	12.124
Dukwo	14.760	10.297	11.974	14.978	22.607	14.923
Dongbang	8.306	8.258	9.373	10.054	10.467	9.292
Kicheon	13.013	10.738	10.313	12.541	14.256	12.172
Changheung	17.024	3.041	3.442	4.506	5.476	6.698
Keumkwang	40.985	9.091	33.602	36.677	36.646	31.400
Madun	7.705	6.676	5.725	6.937	9.630	7.335
Misan	6.552	5.530	5.358	7.243	10.374	7.011
Yongseol	5.853	5.163	5.125	6.073	8.097	6.062
Duksan	7.665	7.837	7.798	9.718	10.968	8.797
Changyong	5.075	4.530	4.300	5.856	8.309	5.614
Yongduk	7.820	7.772	7.812	8.647	10.848	8.580
Duchang	5.717	4.776	4.550	5.864	7.313	5.644
Yongdam	10.430	9.581	8.347	10.346	11.520	10.045
Pakwun	18.293	8.462	9.159	10.901	11.775	11.718
Cheonggye	12.334	9.665	9.159	12.073	14.770	11.600
Heungbu	21.555	19.371	20.924	25.161	29.649	23.332
Aiyong	10.942	10.200	12.796	14.720	16.178	12.967
Maji	11.284	10.803	12.860	15.214	19.160	13.864
Wondang	9.850	9.034	10.391	14.106	13.467	11.370
Hyochoon	12.842	11.573	12.450	16.208	17.023	14.019
Pakhak	11.629	12.830	15.411	17.786	19.898	15.511
Sancheong	4.551	3.336	6.430	4.862	5.867	5.009
Kisan	5.538	3.541	4.074	8.210	6.749	5.622
Komo	6.556	6.706	13.016	18.516	17.090	12.377
Onam	5.791	5.649	5.937	7.555	8.919	6.770

10. The SAR of reservoirs(Na, Ca, Mgm/ℓ).

Site	Na	Ca	Mg	SAR
Yucheon	9.184	18.036	3.880	2.774
Sindae	10.449	25.070	5.135	2.689
Naksang	6.605	13.992	3.745	2.218
Panwol	10.217	15.454	2.916	3.371
Potong	8.725	12.124	2.939	3.179
Dukwo	13.007	14.923	3.689	4.264
Dongbang	21.357	9.292	4.401	8.162
Kicheon	5.948	12.172	2.921	2.165
Changheung	3.194	6.698	1.166	1.611
Keumkwang	18.691	31.400	8.631	4.178
Madun	5.555	7.335	2.135	2.553
Misan	3.966	7.011	2.009	1.868
Yongseol	5.283	6.062	1.515	2.305
Duksan	5.467	8.797	1.707	2.386
Changyong	5.258	5.614	1.631	2.763
Yongduk	5.349	8.580	2.865	2.236
Duchang	4.643	5.644	1.261	2.335
Yongdam	7.287	10.045	2.502	2.909
Pakwun	6.245	11.718	2.771	2.320
Cheonggye	6.993	11.600	2.176	2.665
Heungbu	15.872	23.332	5.392	4.188
Aiyong	8.837	12.967	2.938	3.134
Maji	6.421	13.864	2.703	2.231
Wondang	4.882	11.370	2.737	1.838
Hyochoon	7.720	14.019	2.972	2.649
Pakhak	4.015	15.511	3.238	2.311
Sancheong	3.036	5.009	0.860	1.780
Kisan	3.127	5.622	0.997	1.719
Komo	9.445	12.377	1.997	3.523
Onam	4.255	6.770	1.374	2.109