

동해안 석호의 수질특성에 관한 연구 - 향호 중심으로 -

박광하[†] · 권영두¹

강릉원주대학교 생명화학공학과, ¹한중대학교 보건환경학과

A Study on the Characteristics of Water Qualities for Lagoon in the Eastern Coast of Korea - Focused on Lake Hyangho -

Kwang-Ha Park[†] and Young-Du Kwon¹

Department of Biochemical Engineering, Gangneung-Wonju National University, Kangnung, 210-702, Korea

^{*}Department of Health Environment, Hanzhong University, Donghae 240-713, Korea

Received June 8, 2012/Accepted June 30, 2012

We analyzed the overall pollution states within the lake hyangho. From the point pollution source, pollution loadings of living wastewater were more strong than excretions and livestock wastewater followed with pig>korean beef>milk cow>dog>deer. Non point pollution source was 475.4 kg/km² · day, relatively small than point pollution source. Sediments in lake hyangho represented that rate of water content was 44.4~63.9%, pH was 6.73~8.06, COD was 19.7~73.3 mgO₂/g dw, Mn was 0.050~0.168 mg/g dw, Fe was 0.918~1.470 mg/g dw. Water qualities in lake hyangho showed that pH was 7.9~9.0, BOD was 3.1~6.8, COD was 6.4~15.7 mg/L, DO was over 7.5 mg/L, conductivity was 6,348~23,415 μS/cm. Specially T-N was 0.548~0.967 mg/L and T-P was 0.027~0.061 mg/L. These materials conformed to 3 level as water quality class and generated eutrophication. It is necessary to improve the water quality in lagoon. So we will continue to study the overall impacts around lagoons in the eastern coast.

Key words: Lagoon, Lake Hyangho, T-P, T-N, COD, DO, Salinity, Conductivity

1. 서 론

우리나라는 약 18,000여개의 인공호가 있는데 호수 형성의 목적은 대부분 농업용수 확보, 전력 및 식수공급, 홍수조절 등이며, 동해안 석호를 포함한 자연호는 그 수가 매우 적다. 석호는 주변지역과 어우러진 수려한 자연경관을 가지고 있으며 칠새도래지, 관광지 등 독특한 환경적 가치를 가지고 있으며 보존가치가 매우 높다¹⁻³). 또한 동해안 석호는 담수와 해수가 섞여 있는 수질특성을 가지고 있으며, 오염되지 않은 상태에서 담수어와 해수어가 함께 공존하는 생태학적 환경을 가지

고 있다⁴⁻⁹).

동해안 석호는 지각변동과 모래톱 등에 의해 약 4천 년 전에 형성된 자연호수로서 동해안 지역에는 향호를 비롯한 8개의 대표적인 석호가 있다. 석호는 담수호와 바다사이에 위치한 호수로서 해수의 역류로 인해 염분이 바닷물에 비해서 약간 낮은 염호이며, 염담호. 합수호, 기수호로 부르기도 한다. 기수호란 호수 1L 중에 무기염류가 0.5g 이상 함유된 호수로서, 바다와 수로로 연결되어있기 때문에 그 염류가 섞여 들어온 것이다¹⁰). 바닷물은 민물에 비해 비중이 크고 깊은 곳일수록 염류의 농도가 높아진다. 이와 같이 물이 깊은 곳일수록

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-33-640-2401, Fax: 82-33-640-2401, E-mail: khpark@gwnu.ac.kr

밀도가 크기 때문에 호소의 물은 안정되어 정체상태에 있는 호소가 많다.

동해안 석호는 다른 호소에서는 볼 수 없는 수질 특성을 가지고 있고, 그 환경 속에서 생물상이 보존되기 때문에, 석호 본연의 수질을 지속적으로 유지시키는 것이 매우 중요하다. 그러나 최근에 동해안 석호 주변의 생활하수 및 농경하수의 유입으로 수질이 급격히 악화되고 있으며 석호 수질의 변화로 석호내 생태학적 변화 및 환경학적 변화가 우려되고 있는 실정이다. 또한 퇴적물 준설에 의한 수질환경을 개선시키고자 많은 연구가 진행되고 있다¹¹⁻²²⁾. 그러나 석호수질의 지속적인 유지를 위해서는 오염원인 분석 및 오염물질의 유입을 차단하는 것이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 향호를 대상으로 유입되는 오염물질의 종류 및 오염부하량 등 외부오염원, 호소내 저질토에서 용출되는 내부오염원을 중점적으로 조사하여 호소 수질 특성에 영향을 미치는 물질에 대한 분석 연구를 수행 하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 재료

본 연구를 위해 점오염원과 비점오염원의 오염부하량을 산정하기 위해 생활하수 및 축산폐수의 원단위를 기준으로 산출 하였다. 향호로 유입되는 지천의 오염부

하량을 산정하기 위해 유입되는 2지점(A, B)에서 시료를 채취하였으며, 호소의 수질과 호소내 퇴적되어 있는 저질의 분석을 위해 호소내 5지점(1, 2, 3, 4, 5)에서 시료를 채취하였으며 Fig. 1에 나타내었다.

2.2. 기기 및 방법

본 연구를 위해 항목별 분석방법은 채수한 시료는 실험실로 즉시 운반하여 GF/C glass fiber로 여과하여 사용하였다. 여과지는 냉동으로 보존하여 4주 이내에 클로로필-a 측정에 사용하였다. 영양염류 분석을 위해서는 여과한 여액을 폴리에틸렌 시료병에 담아 냉동 보존하였다. 질산성질소, 아질산성질소 및 암모니아성 질소 분석을 위해 수질자동분석기(AutoAnalyzer3, BRAN+LUEBBE)를 사용하였으며, 용존무기인(DIP)은 Standard methods의 ascorbic acid법으로 분석하였다¹¹⁾. 총인과 총질소 분석용 시료는 여과하지 않은 시료를 사용하여 persulfate digestion을 행한 후, 총인은 ascorbic acid법, 총질소는 cadmium환원법을 이용하여 분석하였다. 화학적산소요구량(COD)은 과망간산칼륨법으로 분석하였으며, 부유물질(SS)은 여과후 중량법으로 측정하였다¹²⁾. 수온(Temperature), 용존산소(Dissolved Oxygen), 염분도(Salinity), 전기전도도(Conductivity) 및 pH는 Multiprobe(YSI 6000)을 이용하여 현장에서 즉시 측정하였다.

저질중 중금속분석을 위하여 Microwave Digestion

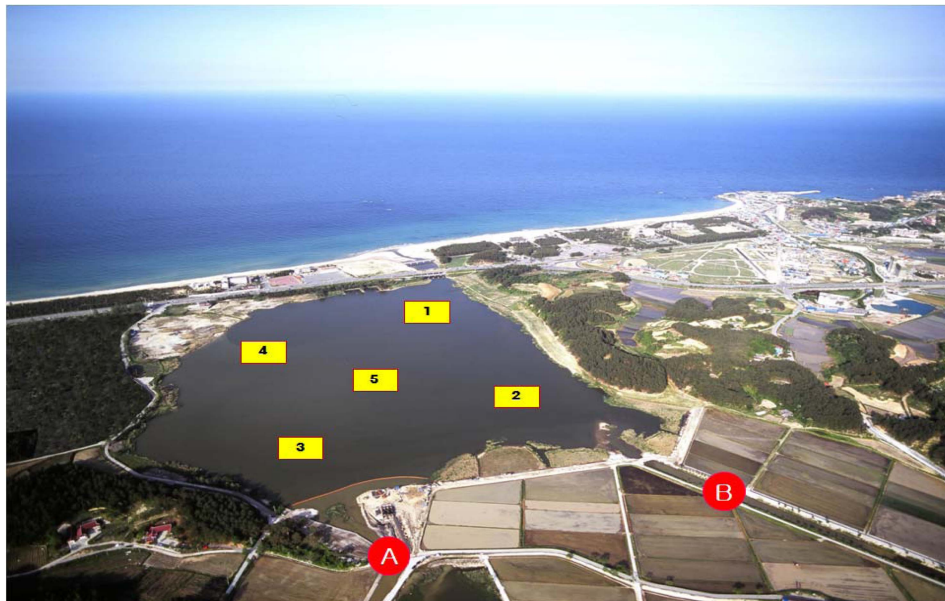


Fig. 1. The map showing survey sites for examination of water qualities and low soil in the lake hyangho

System(MDS 2000)을 이용하여 전처리를 하였다. 건조 양시료 적당량(0.2~0.5 g)을 취한 뒤 유해중금속 전처리용 진한질산 5 mL와 함께 80 mL 용량의 테프론병에 넣은 뒤 250 W(5 min) → 450 W(10 min) → 500 W(10 min)의 단계로 전처리 한후 냉각시켜 여과한 용액의 부피를 100 mL로 조절한 뒤 중금속농도를 측정하고 건조 시료에 대한 함량으로 계산 하였다. 중금속 표준용액 조제는 각 중금속이온의 표준용액 조제법¹²⁾에 따랐다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 향호의 일반현황

향호는 강원도 주문진읍에 위치하며 해안선이 5.46 km이며 오리나루, 소돌이 바다와 접해있는 전형적인 항구 도시이다. 남으로는 연곡면, 북으로는 양양군 현남면이 접하고 있고, 서쪽에는 두리봉, 철갑령으로 이어지는 산봉우리가 있고, 남쪽의 천마봉, 북쪽으로는 바리봉까지 이르며 물줄기는 남쪽으로는 신리천, 북쪽으로는 향호를 지나 흐르는 우암천이 있다.

면적은 강릉시 전체면적의 6%에 해당되는 60.5 km²

로서 농경지가 9.94 km²로 17%를 차지하고, 대지 1.47%, 산 44.30 km², 기타 4.84 km²으로 전체면적의 74%가 산으로 되어있다. 향호는 한때 철새 도래지 및 낚시 명소로 각광을 받아왔으며 유역면적은 8.06 km²로 향호1리와 향호2리를 포함한다. 호소의 면적은 345,000, 최대 수심은 2.69 m, 저수량은 14,450톤이다.

3.2. 향호의 오염부하량

3.2.1. 점오염원

향호 수질에 영향을 미치는 오염부하량을 산정하기 위해 생활오수 및 축산폐수의 원단위를 Table 1과 Table 2에 나타냈으며, 이를 적용한 점오염원의 각 오염부하량을 Table 3에 나타내었다.

향호 주변 점오염원은 주로 생활계 오염물로 생활오수와 분뇨로 구분하였다. 생물화학적산소요구량(BOD)에 대한 생활오수는 195,525.6 kg/km²·day이고 분뇨는 9,723.6 kg/km²·day로서 생활오수에 의한 부하량이 20.1배 많은 것으로 나타났다. 이것은 분뇨가 고농도 오염물이라는 하나 생활오수가 상대적으로 많이 발생했기 때문으로 판단된다. 총질소(T-N)의 경우, 생활오

Table 1. Estimating Units of Pollutant Loadings in Livings and Excretions

Estimating Units in Livings (g/capita/day)			Estimating Units in Excretions (g/capita/day)		
BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
50.7	10.6	1.24	0.45	0.8	0.8

Table 2. Estimating Units of Pollutant Loadings in Livestock Excretions (Unit: g/head/day)

Items	Milk cow	Korean beef	Horse	Pig	Goat · Deer	Dog	Poultry
BOD	556	528	259	109	10	18	5.2
T-N	161.8	116.8	77.6	27.7	5.8	8.4	1.1
T-P	56.7	36.1	24.0	12.2	0.9	1.6	0.4

Table 3. Pollutant Loadings of Point Pollution Source (Unit: kg/km²·day)

Items		Jumunjin town	BOD	T-N	T-P	Total
Livings	Household population	21,608	195,525.6	229,044.8	26,793.92	잘못된 계산식 495,660.72
	Excretions		9,723.6	17,286.4	17,286.4	
Livestocks	Milk cow	92	51,152	14,885.6	5,216.4	잘못된 계산식
	Korean beef	1,075	567,600	125,560	38,807.5	잘못된 계산식
	Horse	-	-	-	-	-
	Pig	19,824	2,160,816	549,124.8	241,852.8	잘못된 계산식 3,773,076.1
	Goat · Deer	390	3,900	2,262	351	잘못된 계산식
	Dog	566	10,188	4,544	905.6	잘못된 계산식
	Poultry	-	-	-	-	-
Total			2,998,905.2	938,618	331,213.62	0 4,268,736.82

수는 229,044.8 kg/km²·day이고 분뇨는 17,286.4 kg/km²·day로서 생활오수에 의한 부하량이 13.3배 많다. 이것은 분뇨에 비해 생활오수의 발생량이 상대적으로 훨씬 많기 때문이다. 총인(T-P)에 있어서 생활오수는 26,793.9 kg/km²·day이고 분뇨는 17,286.4 kg/km²·day로서 생활오수에 의한 부하량이 1.5배 많다.

한편 축산폐수의 경우, 돈사에서 배출되는 오염부하량이 2,951,792.6 kg/km²·day로서 가장 많다. 이것은 전체 생활오수에 의한 오염부하량 451,364.3 kg/km²·day의 6.5배로서, 향호에 미치는 영향이 생활오수보다는 돈사에서 유입되는 축산폐수에 의해 영향이 더 크다는 점을 나타낸다. 또한 각 농가에서의 축사관리가 제대로 관리되지 않는 현실을 감안하면 그 영향은 생활오수에 비해 더욱 크다고 볼 수 있다. 축산폐수 중 오염부하량의 크기는 돼지>한우>젓소>개>사슴의 순으로 조사되었다.

전체를 종합해 볼 때, 점오염원은 생활계에서 발생하는 오수가 495,660.3 kg/km²·day이고 축산계에서 발생하는 오수가 3,773,076.1 kg/km²·day인 점으로 비추어 축산계 오염부하량이 7.6배 많음을 알 수 있다. 따라서 축산계 오수의 효율적인 관리가 중요한 과제이다.

3.2.2. 비점오염원

비점오염원의 오염부하량을 산출하기 위한 원단위 및 오염부하량은 Table 4, 5에 나타내었다. Table 5에서 보는바와 같이 전체 475.4 kg/km²·day로서 점오염원과

Table 4. Estimating Units of Pollutant Loadings in Lands
(Unit: kg/km²·day)

Lands	BOD	T-N	T-P
Rice field	1.59	9.44	0.24
Patch	2.30	6.56	0.61
Forest land	0.93	2.20	0.14
Site	85.90	13.69	2.10
Others	0.960	0.759	0.027

Table 5. Pollutant Loadings of Non Point Pollution Source

(Unit: kg/km²·day)

Items	Jumunjin town	BOD	T-N	T-P	Total	
Lands	Rice field	3.51	5.58	33.13	0.84	39.55
	Patch	5.34	12.28	35.03	3.25	50.56
	Forest land	43.78	46.29	96.31	6.12	148.72
	Site	1.54	132.28	21.08	3.23	156.59
	Others	45.83	43.99	34.78	1.23	80
Total		240.42	220.33	14.67	475.42	

비교해 상대적으로 적은 양이며, 그 내용을 보면 생물 화학적산소요구량(BOD) 240.4 kg/km²·day(50.6%), 총 질소(T-N) 220.3 kg/km²·day(46.3%) 총인(T-P) 14.67 kg/km²·day(3.1%)로서 나타났다. 그 중 BOD유발 오염물질의 양이 가장 많으며 T-P의 양은 가장 적은 것으로 나타났다.

호소의 부영양화에 있어서 다른 오염물질에 비해 가장 영향을 미치는 물질은 T-P이며 소량으로도 수질을 악화 시킬 수 있는 요인이 된다. BOD를 살펴보면 임야에서 발생하는 오염부하량이 43.8 kg/km²·day로서 가장 많고, 그 다음이 전답, 대지 순이다. 호소 부영양화의 직접적 원인이 되고 있는 질소와 인의 경우도 비슷한 경향을 나타내고 있다. 전답은 면적은 작아도 사용되는 비료에 질소, 인 등이 다량 함유되어 있으므로 우기시 빗물에 씻겨 호소로 흘러들어가 부영양화를 일으키는 주요 원인이 된다.

3.3. 향호의 수질현황

3.3.1. 향호의 유입 수질

Fig. 1의 2지점에 대한 수질분석 결과를 Table 6에 나타내었다. A지점의 경우, pH는 6.5~7.2로서 하천수 질기준의 범위 내에 포함되었으며 평균 6.9를 나타내었다. BOD는 3.2~5.8의 범위로 측정되었으며, 평균 BOD는 4.6 으로 3급수 수질을 나타내었다. COD는 5.4~7.5의 범위로 측정되었으며 평균값은 6.6 이고, SS는 4.8~21.2의 범위로 특히 우기(6, 7, 8월)에 매우 높은 값을 보여주고 있는데 이것은 하절기 우기 동안에 토사유출량이 증가하였기 때문으로 판단된다. 전기 전도도는 348~858 μS/cm로서 일반적인 하천보다는 다소 높은 경향을 보이고 있으며, 대장균군수는 8~11월에 상대적으로 높게 나타났다.

B지점의 경우, pH는 6.5~7.3의 범위로 평균은 6.9로서 A지점과 거의 유사하다. BOD는 2.5~5.8의 범위로 평균 BOD는 3.5로서 A지점보다 다소 낮았다.

COD는 4.6~8.6의 범위이고 평균값은 6.1로서 A지점보다 낮았다.

한편, SS 3.5~12.5 mg/L, 전기전도도 385~2,315 μ S/cm, 대장균군수 60~870 MPN의 값으로서 계절에 따른 변화가 상당히 크게 나타났으며 특히 8~9월이 상대적으로 높았다. 전반적으로 A지점으로 유입되는 하천의 수질오염도가 B지점보다 높게 나타났으며 더욱이 수량도 많은 관계로 향후 수질에 더 큰 영향을 줄 것으로 예상된다.

A, B지점으로 유입되는 오염부하량을 법적으로 관리되는 호소수질기준 항목에 준해 분석한 결과를 Table 7에 나타내었다.

A지점의 평균 유입수량은 0.032 CMS이었으며 B지점

은 0.024 CMS이었다. 화학적산소요구량(COD)은 A지점이 12,326 kg/day로 B지점보다 949 kg/day 더 크게 나타났다. 특히 호소부영양화의 원인물질인 총질소(T-N)는 A지점이 10.325 kg/day 더 많이 유입되는 것으로 나타났다. 또한 A지점과 B지점의 오염량을 비교해보면 A지점에서 유입되는 오염물질량이 약 5.8배 더 많다.

반면에 T-P의 경우 A지점이 0.646 kg/day이고 B지점이 0.364 kg/day으로 A지점에서 유입되는 양이 약 1.7배 더 많다. 총질소와 총인 비율을 고려하여 살펴보면 A지점이 19.3, B지점이 5.9로 나타났으며, B지점의 비율이 낮은 것(16 이하)으로 보아 호소의 부영양화에 미치는 영향으로 질소량이 상대적으로 인에 비해 낮은 것으로 보인다. 따라서 호수의 부영양화를 막기 위해서

Table 6. Water Qualities in Stream Flowing into Lake Hyangho (2008)

Site	Month	Temp. (°C)	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DO (mg/L)	SS (mg/L)	Conductivity (umhos/cm)	Total coli. (MPN)
A	3	6	6.8	4.1	5.4	11.5	6.6	348	40
	4	13	7.1	5.8	7.5	11.4	12.2	586	70
	5	20	7.0	5.6	6.8	12.5	13.4	486	90
	6	17	7.2	5.5	7.4	13.7	21.2	858	180
	7	22	6.4	4.7	6.8	12.5	7.5	724	130
	8	27	6.8	4.3	6.3	10.4	11.7	683	350
	9	28	6.5	3.2	6.9	12.4	6.4	768	340
	10	14	6.6	3.7	7.4	12.7	7.6	568	180
	11	13	7.0	4.8	6.2	13.3	4.8	432	260
	12	4	7.2	4.3	5.7	12.5	11.4	734	160
	Avg.	17.8	6.86	4.60	6.64	12.29	10.28	618.70	180.00
	B	3	8	7.1	2.5	6.4	12.5	3.5	458
4		15	6.8	3.4	8.6	11.3	10.2	634	80
5		24	6.9	3.3	7.2	12.4	12.5	516	120
6		15	7.2	4.1	8.6	10.7	23.4	2315	240
7		24	7.3	3.3	6.2	9.8	6.4	1354	160
8		28	6.5	3.4	5.3	8.9	10.6	1035	870
9		25	6.7	2.1	6.7	11.7	5.8	768	460
10		17	6.8	3.3	5.8	12.5	6.2	635	210
11		12	7.1	2.4	4.6	11.6	5.7	385	320
12		3	6.7	2.7	5.5	10.5	10.1	876	260
Avg.		17.8	6.91	3.05	6.49	11.19	9.44	897.60	278.00

Table 7. Pollutant Loadings in Stream flowing into Lake Hyangho

Site	Flow velocity (CMS)	COD (kg/day)	SS (kg/day)	T-N (kg/day)	T-P (kg/day)	T-N/T-P (-)
A	0.032	12.326	46.478	12.476	0.646	19.3
B	0.024	11.377	23.475	2.156	0.364	5.9
Avg.	0.03	23.703	69.953	14.632	1.01	-

Table 8. Inflow Loadings in Unit Area of Lake Hyangho

Year	COD (kg/km ² ·day)	SS (kg/km ² ·day)	T-N (kg/km ² ·day)	T-P (kg/km ² ·day)	T-N/T-P (-)
2001	3.570	14.235	2.092	0.058	35.878
2002	7.711	71.003	1.433	0.177	8.102
Avg.	5.640	42.619	1.763	0.118	21.990

는 인의 양을 줄이기 위한 방안이 필요할 것으로 판단된다.

3.3.2. 향호의 저질 오염도

향호 유역면적내 단위 면적당 유입되는 오염부하량에 대해 원주지방환경청에서 조사한 자료(2001~2002)에 의하면 Table 8과 같다. COD의 경우 5.640 kg/km²·day로 나타났으며, SS 42.619 kg/km²·day, T-N 1.763 kg/km²·day, T-P 0.118 kg/km²·day으로 나타났다.

일반적으로 담수호의 경우 저질속에서 중금속등 유해물질이 용출되는 경우가 있는 사실을 감안하여 본 석호 저질의 경우, 수질특성에 변화를 줄수 있는 유해물질의 존재유무를 알아보기 위하여 Fig. 1의 5 지점에서 저질을 채취하였으며 저질의 영양염류와 중금속 용출유무를 실험하여 그 결과를 Table 9, 10에 나타내었다.

각 지점별 저질내 함수율은 44.4~63.9%로 조사되었으며 배수구역과 유입수 부근에 인접한 지역에서 비교

적 낮은 함수율을 나타냈다. 각 지점별 퇴적물은 배수구역 및 유입수 부근을 제외하고는 대체로 입자 크기가 0~125 μm인 silt 및 coarse silt로 이루어져 있었다. 배수구역 및 유입수 부근에서는 입자크기가 크게 나타났는데 이는 저질의 구성성분이 유기물이나 미생물 및 식물의 사체보다는 모래입자가 많이 분포되어 나타난 것으로 해석된다.

pH의 경우 6.73~8.06으로 변화의 폭이 크지 않았다. COD의 경우 19.7~73.3 mgO₂/g dw로 비교적 큰 값으로 조사되었는데 이것은 좁은 배수구역으로 인해 유기물이 호수 밖으로 유출되는 것이 제한되고 유역으로부터 유입되는 유기물이 호소바닥에 침전됨과 동시에 플랑크톤이 과도하게 증식되어 호소바닥에 퇴적되어 나타난 것으로 판단된다.

저질내 유기물 함량은 평균 6.4%이며, 총인은 평균 0.90 mgP/g dw이고, 총질소는 평균 0.73 mgN/g dw로 나타났다. 총인에 비해 총질소의 경우 각 지점별 변화폭이 크지 않았다. 일반적으로 저질과 수체간의 인의 이동을 추진하는 driving force로 저질의 간극수와 수층사이의 인 농도차에 따른다. 한편 인 농도가 상부층의 풍부할 경우에는 저질토로의 인 이동이 발생하며 역으로 수체에서 식물성 플랑크톤이 성장하면서 평형농도 이하 수준으로 인(P)농도를 감소시킨다면 저질로부터 인의 용출이 일어날 수 있다고 알려져 있다. 저질의 용출실험결과, Cr, As, Cd, Pb등은 거의 용출되지 아니하였으며, 망간은 0.050~0.168 mg/g dw, 철은 0.918~1.470 mg/g dw로 조사되어 중금속이 수질에 직접적으로 영향을 주지는 않는 것으로 조사 되었다.

Table 9. Rate of Water Content and Nutrient Concentrations of Sediment in Lake Hyangho

Site	Water Content (%)	Organic matter (%)	COD (mgO ₂ /g dw)	T-N (mg/g dw)	T-P (mg/g dw)
1	60.4	6.6	19.7	0.66	0.85
2	44.4	5.1	59.3	0.75	0.61
3	46.9	6.5	73.3	0.88	0.72
4	63.9	6.8	41.1	0.72	1.32
5	55.0	7.5	61.3	0.64	1.00

Table 10. Elution Experiments of Sediment in Lake Hyangho (Unit: mg/g)

Site	Cr	Mn	Fe	As	Cd	Pb
1	0.001	0.050	0.918	0.001	0.000	0.005
2	0.001	0.087	1.120	0.000	0.000	0.005
3	0.001	0.100	1.241	0.001	0.000	0.007
4	0.001	0.069	1.470	0.000	0.000	0.004
5	0.001	0.107	1.018	0.001	0.000	0.008

3.3.3. 향호의 수질 오염도

향호의 수질을 계절별로 일반항목과 영양염류 등으로 분류하여 분석한 결과를 Table 11과 12에 나타내었다. 향호 수질의 pH는 7.9~9.0으로 조사되었으며, 유입수의 pH 6.8과 비교해 보면 pH가 대체로 높아진 것을 알 수 있다. 이것은 향호와 같은 석호는 담수와 해수가 섞여 있어 해수로 인해 염분이 다량 유입되어 알

칼리성을 나타내는 것으로 판단된다.

BOD는 3.1~6.8로서 2~4등급을 나타내는데, 3월에는 3.4 mg/L이었는데 4월에는 6.8 mg/L를 상당히 높게 나타내었는데 이것은 계절적으로 수중 녹조물이 서서히 용해되면서 수질이 악화되어 BOD가 높게 나타난 것으로 보인다. COD는 6.4~15.7 mg/L으로서 4등급내지 등위로 나타났다. 모든 조사시기에서 수질등급은 4등급이하로 나타났으며, 3~6월은 10.0 mg/L 이상으로서 등의 수질을 나타내고 있다.

유입부하량이 5.640 kg/km²·day임을 볼 때, 겨울을 지나 봄이 되면서 해빙과정에서 오염물이 대량 용해되어 방출한 것으로 생각되지만, 유입수 A, B지점의 COD가 6.64 mg/L 및 6.49 mg/L로 볼 때 4등급 수질을 나타내는 것을 볼 수 있다. 즉 고농도의 COD물질이 유입되어 호소내에 축적되면서 내부오염의 농도가 증가하는 것을 볼 수 있다.

용존산소량(DO)은 대체로 전 기간중 7.5 mg/L 이상으로서 1급수 수질을 나타 내었다. 부유물질량(SS)은 4~6월, 8월에 비교적 높은 값을 나타내는데 이것은 4~6월은 해빙기로 인해 수중의 탁도가 증가하기 때문이며, 8월의 경우는 우기로 토사유출이 발생하여 나타난 일시적 증가요인으로 판단된다. 전기전도도는 6,348~23,415 μS/cm로서 일반 호소에 비해 높은 수치를 나타내고 있다. 향호는 석호로서 해수와 담수가 섞여 있는 기수호이기 때문에 해수내 염분이 많이 유입되어 있기 때문으로 판단된다. 대장균군수는 9월중 가장 높은 11030 MPN으로 나타냈는데, 이는 7~8월중 휴가철이 지나면서 나타나는 일반적인 현상으로 보인다 부영양화의 원인이 되는 물질인 총질소 농도는 0.548~0.967 mg/L로 나타냈으며 평균 0.730 mg/L의 농도를 보였는

데 이는 수질등급으로 4등급에 해당하는 수질이다.

향호 유역내 유입하천으로부터 질소 938,618 kg/km²·day가 향호로 유입되며 유입된 질소가 호소내에 1.763 kg/km²·day축적됨으로서 이들 물질이 용출되면서 수질이 악화된 것으로 판단된다. 유기성 질소가 산화되어 암모니아성질소를 생성하는데, 전 조사시기에서 0.087~0.153 mg/L로서 평균농도 0.12 mg/L를 나타내고 있는 것으로 질소 성분이 지속적으로 호소내로 유입되고 있음을 알 수 있다. 아질산성질소로부터 산화되어 생성되는 질산성질소의 농도는 0.248~0.537 mg/L로서 평균 0.39 mg/L를 나타냈다. 총질소농도는 0.548~0.967 mg/L로서 나타났으며, 암모니아성질소가 0.087~0.153 mg/L이고 질산성질소의 농도가 0.248~0.537 mg/L로 나타났다. 이것은 향호에서 질소의 존재 형태별 구성 비율을 보면 유기질소가 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 용존성질소의 농도는 0.315~0.634 mg/L로서 평균 0.47 mg/L를 나타내었다. 이것은 총질소 0.73 mg/L의 약 64.4%에 해당하는 값으로 수중 수초번식 등에 큰 영향을 미칠 수 있으며 부영양화현상을 일으킬 수 있는 요인이 된다.

한편 총인의 농도는 0.027~0.061 mg/L로서 평균 0.0410 mg/L의 농도로 조사되었는데 수질등급으로는 3등급에 해당하는 수질이며, 호소 수질악화에 직접적인 영향을 미치는 물질이다. 유입수의 T-P 오염부하량이 1.012 kg/day임을 감안할 때 유입하천으로부터 향호로 유입된 인성분이 호소내에 축적됨(P유입부하량이 0.118 kg/km²/day)으로서 이들 물질의 용출되는 과정에서 수질을 악화시키는 것으로 판단된다. 용존총인의 농도는 0.003~0.021 mg/L로서 평균 0.010 mg/L의 농도를 나타내었는데 이것은 총인의 25%에 해당하는 양이다. 용

Table 11. Results of Examination of Water Qualities in Lake Hyangho (2008)

Month	Temp. (°C)	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	DO (mg/L)	SS (mg/L)	Conductivity (μS/cm)	Total coli. (MPN)
3	7	8.2	3.4	10.5	11.5	5.6	6,348	80
4	12	9.0	6.8	11.6	10.5	14.5	7,958	60
5	21	8.4	5.2	9.4	10.6	16.8	8,624	150
6	18	8.8	6.4	15.7	11.2	43.5	19,562	3,150
7	28	8.6	5.4	8.5	8.7	7.4	20,123	250
8	30	8.3	4.2	7.9	9.8	17.8	23,415	1,640
9	26	8.2	3.1	8.3	10.4	7.2	8,432	11,030
10	18	8.6	4.4	7.8	11.6	8.8	8,246	500
11	13	7.9	3.5	6.4	10.5	8.2	8,067	2,600
12	5	8.7	3.8	8.4	12.7	15.6	11,037	310
Avg.	17.8	8.47	4.62	9.45	10.75	14.54	12,181	1,977

Table 12. Nutrient Concentrations in Lake Hyangho (2008)

Month	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Dissolved -N	T-P	Dissolved-P	Chlorophyll-a
3	0.758	0.135	0.335	0.435	0.038	0.004	21.3
4	0.645	0.137	0.338	0.525	0.058	0.007	78.6
5	0.678	0.098	0.427	0.516	0.046	0.006	17.4
6	0.784	0.113	0.434	0.627	0.038	0.005	46.8
7	0.834	0.087	0.537	0.438	0.054	0.021	27.6
8	0.625	0.135	0.367	0.315	0.046	0.013	16.3
9	0.548	0.096	0.248	0.346	0.038	0.004	14.5
10	0.816	0.104	0.367	0.527	0.027	0.007	17.4
11	0.967	0.153	0.448	0.634	0.061	0.005	23.4
12	0.675	0.137	0.364	0.384	0.035	0.003	49.5
Avg.	0.73	0.12	0.39	0.47	0.04	0.01	31.28

존총질소보다 용존총인의 비율이 낮은 것은 인성분이 질소성분과는 달리 불용성염을 잘 만들고 침전성을 나타내기 때문이다. 클로로필-a의 농도는 14.5~78.6 mg/L으로서 평균 31.28 mg/L의 농도를 나타냈으며, 특히 4월에 78.6 mg/L로서 높은 값을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이것은 해빙기에 수온이 높아지면서 나타나는 녹조현상으로 판단된다.

4. 결 론

향호의 수질특성을 알아보기 위하여 유역내 오염부하량, 유입수질, 내부수질, 저질의 오염도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 점오염원으로 생활계는 생활오수와 분뇨로 구분하여 살펴보았는데, 생활오수와 분뇨의 오염부하량을 비교해 보면 생활오수에 의한 부하량이 BOD는 20.1배, 총질소는 13.3배, 총인 1.5배 더 많았으며 이는 인구수에 의한 생활오수의 발생량이 상대적으로 많기 때문인 것으로 판단된다. 축산계는 돈사에서 배출되는 오염부하량이 2,951,792.6 kg/km²·day로서 가장 많다. 이것은 전체 생활오수에 의한 오염부하량 451,364.3 kg/km²·day보다도 6.5배 더 많은 양이다. 따라서 향호 수질에 축산폐수가 큰 영향을 미친다는 것을 의미하며, 오염부하량은 돼지>한우>젓소>개>사슴 등의 순으로 조사되었다.

2. 비점오염원의 오염부하량은 전체 475.4 kg/km²·day로서 점오염원의 오염부하량과 비교해 보면 상대적으로 적은 양이다. 구체적으로 살펴보면 BOD 240.4 kg/km²·day(50.6%), 총질소(T-N) 220.3 kg/km²·day(46.3%) 총인(T-P) 14.67 kg/km²·day(3.1%)로서 BOD오염물질

의 양이 제일 많다. 여기서 T-P의 양은 가장 적은 것으로 나타났지만 T-P는 부영양화성이 매우 강하여 소량으로도 수질을 악화 시킬 수 있는 요인이 되기 때문에 유입을 적극적으로 통제 하여야 한다.

3. 향호 저질의 함수율은 44.4~63.9%로 조사되었으며 pH의 경우 6.73~8.06으로 변화폭이 크지 않았다. COD의 경우 19.7~73.3 mgO₂/g dw로 분석되었다. 이처럼 COD가 높게 나타난 것은 좁은 배수구역으로 인해 유기물이 호수 밖으로 유출되는 것이 제한되고, 유역으로부터 유입되는 유기물이 호수바닥에 침전되고, 과도하게 증식하는 플랑크톤의 사체가 퇴적되기 때문인 것으로 보인다. 저질의 총인은 평균 0.90 mgP/g dw로 조사되었으며, 총질소의 경우 평균 0.73 mgN/g dw이었다. 이는 내부오염원으로서 작용할 수 있는 양이다. 저질의 용출실험결과, 중금속의 경우는 Cr, As, Cd, Pb 등은 검출되지 않았으나, 망간의 경우 0.050~0.168 mg/g dw, 철의 경우에는 0.918~1.470 mg/g dw 이 검출되었다. 이는 다른 호소에서 검출되는 범위 내의 수치이다.

4. 향호 수질의 pH는 7.9~9.0, BOD는 3.1~6.8, COD는 6.4~15.7 mg/L, DO는 7.5 mg/L이상, SS는 4~6월, 8월에 높은 값을 나타냈다. 전기전도도는 6348~23415 μS/cm로서 일반호소에 비해 높은 수치를 나타내고 있다. 향호는 석호중 하나로 해수와 담수가 섞여 있는 기수호이기 때문에 해수중 염분이 많이 유입되어 있기 때문으로 보인다. 그러나 향호의 수질을 분석해 보면, 총질소(T-N)는 부영양화의 원인이 되는 물질로 0.548~0.967 mg/L를 나타냈고 평균 농도가 0.730 mg/L이었으며, 총인(T-P)의 농도는 0.027~0.061 mg/L로서 평균 0.0410 mg/L의 농도를 나타내었다. 이

것은 수질등급으로는 3등급에 해당하는 수질이며, 수질 악화의 직접적인 영향을 미친 것으로 볼 수 있다.

유입수의 T-P 오염부하량이 1.012 kg/day임을 볼 때에 유입하천으로부터 향호로 유입된 P성분이 호소내에 축적됨(P유입부하량이 0.118 kg/km²·day)으로서 이들 물질이 용출과정에서 수질 악화에 기여한 것으로 판단된다. 클로로필-a는 14.5~78.6 mg/L로서 평균 31.28 mg/L의 농도를 나타냈다. 특히 4월에 78.6 mg/L로서 높은 값을 나타내는 것을 볼 수 있는데, 이것은 해빙기에 수온이 높아지면서 녹조현상이 나타났기 때문이다.

5. 따라서 향호의 수질은 석호 본래의 수질 기능을 잃고 호소로 유입되는 생활오수, 축산폐수 및 비점오염원 등 외부오염원과 저질토에서 용출되고 있는 내부 오염원에 의해 본래의 수질특성을 잃어가고 있는 상태이다. 향호 수질을 본래의 수질기능을 회복시키기 위한 근본적인 대책은 준설방법이 아니라 외부오염원과 내부오염원에 대한 호소내 유입 차단 방안이 모색되어야 한다.

감사의 글

본 논문은 2011년 강릉원주대학교의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 원주지방환경청, 1997, “동해안 석호 수질개선 대책”.
2. C.R. Goldman and A. J. Home, “Limnology”, McGraw-Hill, 1983, 319.
3. 원주지방환경청, 2002, “석호수질개선을 위한 심포지엄”.
4. 염종권, “동해안에 위치한 기수호 화진포의 특성 및 고환경 복원”, 대한지질학회 51차 학술발표회, 1996, 107.
5. 이진환, 정희상, “영랑호의 환경학적 연구”, 한국육수학회지, 1987, 20(1), 39-48.

6. 전상호, 김희중, “경포호의 준설에 의한 수질개선 가능성에 관하여”, J. of the Korean Earth Science Society, 1990, 11(2), 174-180.
7. 허우명, 김범석, 안태종, 이기중, “소양호 유역과 가두리로부터의 인부하량 및 인수지”, 한국육수학회지, 1992, 25, 207-214.
8. 편충규, “기수호(향호매호영랑호송지호화진포)의 환경 및 생물상 조사보고”, 제주대학교논문집, 1984, 18, 93-105.
9. Schindler, D. W., “The evolution of phosphorus limitation in lakes”, Science, 1977, 195, 260-262.
10. Agbeti, M. D. & Smol, J. P., “Dynamics of Chrysophyceae and Synurophyceae and their encystment in two Canadian lakes”, J. Phycol., 1995, 31, 70-78.
11. APHA, AWWA and WEF, “STANDARD METHODS for the examination of water and wastewater”, 19th. ED. 1996, 5-14.
12. 박광하 등, “수질공정시험방법주해”, 2006, 동화기술.
13. 원주지방환경청, 2008, “동해안 석호보전 및 복원을 위한 생태계 정밀 조사 및 관리방안 연구”.
14. 박상현, “강원도 자연석호의 보전 및 활용 방안”, 2003, 강원발전연구원.
15. 박상현, “강원도 석호인 경포호와 포매호에서 분리한 종속영양체균의 다양성 분석”, 2008, 강릉대학교.
16. 양성모, 2003, “강원도 석호 생태계의 특성과 이의 교육적 활용”.
17. 한강수계관리위원회, 2009, “수계별 호소환경 및 생태조사”.
18. 이재성, “부영양화 호소의 수질향상을 위한 컴팩트형 조류제거 공법 개발”, 2008, 환경부.
19. Veris, Olli, Springer, 2008, “Management of transboundary rivers and lakes”.
20. Mohanty, Springer, 2008, “Monitoring and modelling lakes and Coastal Environments”.
21. In rivers, lakes, and ponds, Facts on file, Inc., 2010
22. 금강수계관리위원회, 2008, “금강수계 호소환경 및 생태조사”.
23. 국립환경과학원, 2008, “낙동강수계 호소환경 및 생태조사”.