

우리나라 주요 호소의 특성과 수질개선 방안

유재근

1. 서론

우리나라의 자연호수들과 댐호들은 도시의 용수공급, 관개용수, 위락, 홍수조절, 전력생산, 관광자원 그리고 그밖의 목적들을 위한 자원으로서 중요한 역할을 수행해 왔다. 그러나 농촌지역의 경제성장, 특히 1960년대부터 1980년대 말까지 이들 수체를 둘러싸고 있는 사회적 및 경제적 환경 모두가 엄청나게 변화하였다. 이러한 상황에 대처하기 위하여 정부는 공공용수의 오염을 막기 위한 방지대책을 설정하기 위하여 1991년에 수질환경보전법을 제정하였다. 그리고 정부는 환경기준(Environmental Quality Standard, EQS)을 설정하였다(표 1). 환경기준을 수질의 목표수준을 공공용수 수역에 대한 수질규제를 바람직하게 달성하고 유지하는데 두었다. 이들 기준들은 크게 두가지 범주로 구성되어 있는데 하나는 사람의 건강을 보호하는 것이고 다른 하나는 생물환경의 보존이다. 이러한 노력들은 법적인 구제를 통하여 공공용수의 수질을 개선시키기 위한 것으로 탁월한 개선효과를 보았다. 그리고 일부 호소에 수화현상이 발생되어 수질의 저하를 가져왔고 우리나라에서 가장 규모가 크고 부영양화에 대하여 완충능력이 가장 큰 것으로 생각되는 소양호에서도 봄철에 담수적조현상이 발생하는 등 호소의 수질오염 문제점을 던져주고 있다. 이러한 상황에서 1991년에 환경처는 호소의 부영양화를 방지하기 위한 첫단계로서 질소와 인에 대한 환경기준을 설정하였다.

최근 우리주변의 댐호의 오염상태를 보면 그지 만족할 상태는 아닌것이 사실이다. 이렇게 오염이 심화되어가고 있는 것은 생활하수, 축산폐수, 공장폐수, 수산양식 때문이지만 우리가 가지고 있는 복합적인 요인 때문이라고도 하겠다. 그 원인의 첫째는 우리나라의 자연특성으로 인한 수자원의 양적인 제한이다. 즉 1년간 평균 강우량 1,159mm의 약 60%가 7-9월에 편중되어 장마철과 갈수기의 강우량 비율은 400:1 이나 된다. 계절별 오염부하량을 보면 7-9월에 약 65%의 오염부하를 보이고 1-6월, 10-12월은 35%의 오염부하를 보이고 있다. 또한 우리나라의 하천은 길이가 짧고 경사가 급하여 수량이 일정하지 않고 적어서 하천에 유입된 오염물질을 자정작용에 의하여 자정하기 어려운 상태이며, 20km-30km에 달하는 댐호가 설치되어 있으므로 우리나라 대부분의 인공호수는 하천

(표 1) 호소환경기준

구분	등급	이용목적별 적용대상	기 준						
			수소이온 농도 (pH)	화학적 산소 요구량(COD) (mg/l)	부유물질량 (SS) (mg/l)	용존산소량 (DO) (mg/l)	대장균군수 (MPN/ 100 ml)	총 인 (T-P) (mg/l)	총 질 소 (T-N) (mg/l)
	I	상수원수 1급 자연환경보전	6.5 - 8.5	1 이하	1 이하	7.5이상	50이하	0.010이하	0.200이하
	II	상수원수 1급 수산용수 1급 수 영 용 수	6.5 - 8.5	3 이하	5 이하	5이상	1,000이하	0.030이하	0.400이하
	III	상수원수 3급 수산용수 2급 공업용수 1급	6.5 - 8.5	6 이하	15 이하	5이상	5,000이하	0.050이하	0.600이하
	IV	공업용수 2급 농 업 용 수	6.0 - 8.5	8 이하	15 이하	2이상	-	0.100이하	1.0이하
	V	공업용수 3급 생활환경보전	6.0 - 8.5	10 이하	쓰레기등이 떠 있지 않을 것	2이상	-	0.150이하	1.5이하
사람 의 건강 보호	전 수역	카드뮴(Cd) : 0.01mg/l 이하, 비소(As) : 0.05mg/l 이하, 시안(CN) 검출되어서는 안됨, 수은(Hg) : 검출되어서는 안됨, 유기인 : 검출되어서는 안됨, 폴리크로리네이티드비페닐 (PCB) : 검출되어서는 안됨, 연(Pb) : 0.1mg/l 이하, 6가크롬(Cr ⁶⁺) : 0.05mg/l 이하, 음이온 계면활성제(ABS) : 0.5mg/l 이하							

- 비고 : 1. 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7미만일 경우에는 총인의 기준은 적용하지 아니하며, 그 비율이 16이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 아니한다.
2. 수산용수 1급 : 빈부수성수역의 수산생물용
 3. 수산용수 2급 : 중부수성수역의 수산생물용
 4. 자연환경보전 : 자연경관등의 환경보전
 5. 상수원수 1급 : 여과등에 의한 간이정수처리후 사용
 6. 상수원수 2급 : 침전여과등에 의한 일반적 정수처리 후 사용
 7. 상수원수 3급 : 전처리등을 거친 고도의 정수처리 후 사용
 8. 공업용수 1급 : 침전등에 의한 통상의 정수처리 후 사용
 9. 공업용수 2급 : 약품처리등 고도의 정수처리후 사용
 10. 공업용수 3급 : 특수한 정수처리 후 사용

11. 생활환경보전 : 국민의 일상생활에 불쾌감을 주지 아니할 정도

(표 2) 전국 주요 인공 호소 현황

o 7개 수계 17개 호소

수계명	지천명	호소명	위치	건설년도	댐 계 원			유역면적 (km ²)	저수면적 (km ²)	총저수량 (백만톤)	년 간 유 입 량 (백만톤)	저수지 채류기 간(일)	평균 수심 (m)	이수 목적	관리 기관
					길이(m)	높이(m)	형 식								
한 강 (7)	화천강	파로호 (화천댐)	강원화천	'39-'44	43.5	81.5	콘크리트	3,901	38.15	1,018	3,231	115	26.7	발전	한전
	소양강	소양호	강원춘성	'67-'73	530	123	사 력	2,703	70.0	2,900	1,999	530	41.4	다목적	수공
	북한강	춘천호	강원춘성	'61-'65	456	40	콘크리트	4,736 (835)	14.32	150	3,837	14	10.5	발전	한전
	북한강	청평호	경기가평	'39-'43	407	31	.	9,921 (2,212)	17.6	186	7,992	8.5	10.6	발전	한전
	달천강	칠성지 (괴산댐)	충북괴산	'52-'57	171	28	.	671	5.8	15.3	502	11	2.6	발전	한전
	남한강 본 류	충주호 팔당호	충북충주 경기양주	'78-'85 '66-'74	447 545	97.5 32.0	.	6,648 23,800 (6,560)	97.0 37.5	2,750 244	5,027 16,528	200 5.4	28.4 6.5	다목적 발전	수공 한전
낙동강 (3)	본 류	안동호	경북안동	'71-'76	612	83	사 력	1,584	51.5	1,248	974	468	24.2	다목적	수공
	남 강	진양호 (남강댐)	경남진주	'62-'70	974.8	21	.	2,285	30.1	136	1,853	27	6.3	다목적	수공
	금호강 (자양천)	조양호 (영천댐)	경북영천	'74-'80	300	42	토연제	235	5.0	96.4	126	279	20.6	수도	수공
금 강 (1)	본 류	대청호	충남대덕	'75-'80	495	72	콘크리트 및 석피	4,134	72.8	1,490	2,717	200	19.1	다목적	수공
영산강 (2)	본 류	영산호 (영산강 하구둑)	전남영암	'78-'80	4350	20	토연제	3,371	34.6	253.2	2,740	34	6.8	농업	농진 공
	지석천	나주호	전남나주	'73-'76	496	31	.	104.7	7.8	91.3	87	383	11.7	농업	농진 공
섬진강 (3)	본 류	옥정호 (섬진강 댐)	전남보성	'61-'65	344	64	콘크리트	763	26.5	466	537	317	17.6	다목적	수공
	보성천	주암댐 본 댐	전남송주	'83-'91	330	57	사 력	1,010		457	789	163		다목적	수공
		조절지댐 (상사호)			575	106	.	134.6		250	147	521		다목적	수공
태화강 (1)	대곡천	사연호	경남울주	'62-'65	300	46	토연제	124.5	1.62	25	84	109	15.0	수도	수공
삼교천 (1)	본 류	삼교호 (삼교 방조개)	충남아산	'76-'79	3360	18	토연제	1,639	20	84	1,281	24	4.2	농업	농진 공

형 호소하고 부를 수 있다.

둘째는 인구의 증가와 도시집중, 가축수의 증가, 공장수의 증가와 폐수배출량의 증가로 절대적인 환경오염량이 증가한 점이다. 폐수배출업소를 보면 1980년부터 매년 15%씩 증가하고 있다. 특히

전국에서 발생하는 일일생활하수는 10,217천톤이고 산업폐수는 7,280천톤이고, 농촌지역에서 나오는 축산폐수는 87천톤이나 배출하고 있는 셋째는 농경지에 사용되는 질소, 인 비료사용량 증가라고 볼 수 있다.

우리나라에서는 수질악화에 큰 몫을 하고 있는 농경지, 산림지, 광산지역, 시가지의 오염부하량 규모와 그 특성을 모르고 있어 수계관리계획에 가장 중요한 환경용량 파악이 불가능한 처지에 있다. '90년까지는 비점오염원에서 부터 유출된 쓰레기, 음식찌꺼기등이 홍수기에 유출되어 댐에 악영향주고 있었으나 '91년부터 입산금지, 취사금지, 쓰레기 되돌려가져오기 등으로 우리나라 주요 호소 17개에 과부하를 적게해주고 있다고 본다. 그러나 불행하게도 호소는 하천과 달리 정체수역이므로 오염되기 쉬운 취약점이 있다. 일반적으로 수계내 영양염류(N, P)의 농도가 증가하여 수계내의 생물생산력(즉 생물의 증식)이 증가해가는 현상을 부영양화라 하는데 호소에서의 대표적인 오염현상이 부영양화이다. 그리하여 생물생산력이 많은 호소는 부영양호(Eutrophic lake), 생물생산력이 적은 호소를 빈영양호라하며 이 두 영양단계의 중간을 중영양호(Mesotrophic lake)라 한다.

호소는 대체로 정체된 곳이고, 유기물이 적은 대사 영양염류(N, P)가 풍부하므로 호소내에는 광합성 미생물인 조류가 과잉번식하는 일이 많다. 이 조류의 과잉 번식을 우리는 수화현상(algal bloom)이라고 부르는데 부영양호에서 나타나는 대표적인 현상이다. 그러므로 호소의 수질을 양질로 유지관리해야 할 절대적 필요성이 있다. 따라서 본 논문에서는 우리나라 호소의 수질정화를 위해서는 외국의 호수와는 특성이 다르기 때문에 앞으로 우리나라 특성에 맞는 호소수질정화기술의 개발이 절실히 필요하며 그에 대하여 살펴보고 호소정화대책으로 호소외적대책, 호소내적대책, 정책적대책을 기술하도록 노력하였다.

2. 우리나라의 호소의 현황

앞서 서술한 바와 같이 호소의 역할이 커지게됨에 따라 우리나라에서는 하천에 댐을 건설하여 용수 이용율을 높이고 있으며 댐의 건설은 인공호수의 증가를 낳아 최근에는 매년 2-3개의 댐이 건설되고 있다.

우리나라의 주요호소현황을 열거해보면 표 2와 같다. 이에 따르면 우리나라의 많은 호소의 만수면적이 10km 이상인 호소가 21개소, 1 km 이상 10km 이하인 호소의 수는 25개소인데 이들 대부분의 호소가 댐건설에 의한 인공댐호이다(표 3). 그리고 그 호소중에는 유효저수량이 5억톤이상인 호소가 6개나 있어 이들 호소의 수질보전은 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한 우리나라 호소수질을 살펴보면 표 4과 같다.

3. 주요 호소의 특성

한국의 호소는 하천에 댐을 건설하게 됨에 따라 형성된 인공호가 대부분으로 호소의 유역면적이 대단히 넓은 것이 특징이다. 국내 주요 호소중(유역면적/호소만수면적)의 비를 보면 표 5와 같다. 금강하구연, 낙동강하구연 등 하구연과 한강수계의 의암호, 청평호, 춘천호, 팔당호가 모두 100 이상인 것이 특이한 점이고 일본의 자연 biwa호는 5이고, suwa호는 39로서 우리나라의 호소보다 유역관리가 쉽게 된다. 또한 미국의 자연호인 Michigan호는 2이고 Erie호도 3으로써 미국역시 유역관리가 쉬운것을 볼 수 있다.

일반적으로 (유역면적)/(만수면적)의 비가 크면 풀수록 호소에 부하되는 영양염류의 량이 증가한다. 따라서 높은 비의 호소는 그만큼 호소가 부영양화될 취약성이 있다고 볼 수 있다.

<표 3> 만수면적별 호소현황

만수면적	> 10 km ²	10 - > 1.0 km ²
계	21	25
호 소 명	파로호, 춘천호, 의암호, 소양호, 청평호, 충주호, 팔당호, 안동호, 진양호, 합천호, 대청호, 백곡지, 금강하구연, 영산호, 육정호, 아산호, 삼교호, 예당지, 대 호, 암하댐, 주암호	침성지, 답창지, 주남지, 조양호, 탑정지, 뇌호지, 장성호, 나주호, 담양호, 광주호, 보성강지, 경천지, 구이지, 이동지, 고삼지, 보문호, 덕동호, 육구지, 사연지, 수어지, 회동지, 남양호, 청천지

<표 4> 한국 주요 호수의 수질현황

수 계	호수명	수 질 (mg/l)				
		항 목	'87	'88	'89	'90
한 강	소 양	COD	2.7	2.5	1.8	2.2
	팔 당	COD	2.2	2.4	2.3	2.1
	충 주	COD	2.0	1.3	1.9	2.1
낙동강	안 동	COD	1.7	1.3	1.4	2.4
금 강	대 청	COD	1.9	1.8	1.7	1.8
영산강	영 산	COD	2.4	2.7	6.1	5.6
안성천	아 산	COD	10.1	8.9	14.6	9.2
삼교천	삼 교	COD	4.6	5.4	6.2	5.2

전술한 바와같이 우리나라의 호소는 인공호가 대부분인데 이들은 하천을 댐으로 막았기때문에 호소의 형태가 하천형인 것이 또하나의 특징이다. 국내 주요 호소의 종:횡 비를 보면 대부분의 대형 호소들이 50 이상이다. 특히 소양호의 경우는 100이고, 대청호도 95이다(표 6). 이에 비해 일본의 Biwa호와 가스미가우라호는 각각 4.6이고 미국의 오대호도 3-5에 불과하다.

국내 호수의 대부분은 방대한 유입천의 낙차가 큰 곳에 인위적인 댐을 축조하여 조성된 인공호로서, 호안경사가 급하고 방대한 유역에 내리는 강수량의 계절적 변동에 따라 유입량 및 수위변동이 심한 불안전 생태계(혹은 개방 생태계)를 유지하고 있다. 따라서 대부분의 호수에 있어 연안대

〈표 5〉 湖沼의 流域面積/滿水面積 比
(단위 : km²)

	호 소 명	유역면적(A)	만수면적(B)	A / B
한 국	금 강하구언	9,828	36.5	269
	낙동강하구언	23,656	35.24	671
	대 청 호	4,134	72.8	57
	소 양 호	2,675.5	44.44	60
	의 압 호	7,807.3	12.8	610
	청 평 호	10,060.5	15.3	658
	춘 천 호	4,852.6	13.0	373
	충 주 호	6,648	97.0	69
	팔 당 호	23,800	36.5	652
일 본	Eiwa	3,174	674	5
	Suwa	515.3	13.3	39
미 국	Michigan	117,845	58,061	2
	Huron	128,845	59,570	2
	Erie	78,769	25,821	3

(littoral zone, 호안으로 부터 유광층의 수평지역)의 발달이 미약하며, 대형생물 현존량 역시 적은 편이다. 그러나 낙동호와 팔당호, 영산호, 진양호 및 삼교호는 평균수심에 대한 만수면적의 비가 크고 연안대가 발달하여 대형생물의 생산량이 큰 호수로서, 이들에 대한 생태학적 평가가 수질 관리에 있어 중요한 것으로 인정된다.

이중 낙동호와 영산호는 하구언이 축조된 지 얼마되지 않은 호수로 저토가 충분히 제염되지 않은 상태로서, 저토에서 생활하는 저생동물은 아직 기수산 종류가 많고, 삼교호는 일부 기수산 종류가 출현하는 반면, 기타 호수는 거의 대부분 담수산 종류만 출현하고 있다.

이와같이 국내의 호소는 긴 하천형의 호소이므로 외국에서 개발되어 이용되고 있는 호소수질에측 모델이나 호소수질평가지표를 그대로 한국의 주요호소에 적용하는 것은 바람직하지 못하다. 그리

〈표 6〉 湖沼 縱/橫 比

	호 소 명	縱 / 橫
한국	소 양 호	100
	충 주 호	80
	팔 당 호	50
	안 동 호	65
	대 청 호	95
일본	비 와 호	4
	가스미가우라호	6
미국	오 대 호	80

〈표 7〉. 국내 호소의 연안대 발달특성과 수생생물 현존량

호소명	면적/수심	호안경사	연 안 대	수생식물량	저생동물량	종 구 성
낙동호	7.05	완만	발달	다 량	다 량	기수산
팔당호	5.77	완만	발달	다 량	다 량	담수산
영산호	5.09	완만	발달	다 량	다 량	기수산
진양호	4.78	완만	발달	다 량	다 량	기수산
삼교호	4.76	완만	발달	다 량	다 량	기수산
대청호	3.81	급함	미발달	소 량	소 량	담수산
충주호	3.42	급함	미발달	소 량	소 량	담수산
괴산호	2.23	급함	미발달	소 량	소 량	담수산
안동호	2.13	급함	미발달	소 량	소 량	담수산
소양호	1.69	급함	미발달	소 량	소 량	담수산
청평호	1.66	급함	미발달	소 량	소 량	담수산
옥정호	1.56	급함	미발달	소 량	소 량	담수산
파로호	1.43	급함	미발달	소 량	소 량	담수산
춘천호	1.36	급함	미발달	소 량	소 량	담수산
나주호	0.67	매우급함	미발달	소 량	소 량	담수산
조양호	0.25	매우급함	미발달	소 량	소 량	담수산
사연호	0.11	매우급함	미발달	소 량	소 량	담수산

고 하천형의 호소는 지역에 따라서는 만입부가 있어 지역적으로 오염될 가능성이 있는데 이렇게 지역적으로 오염된 것이 전체 호소수질에도 영향을 끼치는 경우가 있으므로 호소수질관리가 더욱 어려운 실정에 있다. 그리고 이러한 만입부 때문에 호소수질조사에 서도 조사지점에 따라 수질의 현저한 차이를 보일 경우가 종종 있으므로 호소수질평가에 주의를 필요로 한다.

우리나라 호소 중에는 호소의 평균수심이 10m 이하인 호소가 많다. 대형호소 중에서 평균수심이 10m 이하인 호소를 보면 팔당호, 의암호, 청평호 등 한강수계의 3개호소 아산호, 삼교호, 영산강하구연, 금강하구연, 낙동강하구연의 5개 하구연이 수심 10m 이하이다(표 8). 일반적으로 호소의 수심이 얕으면 호소가 더 쉽게 부영양화 된다는 보고가 있다. 일본에서의 조사결과를 보면 호소의 수심이 얕아짐에 따라 클로로필 a 농도는 지수적으로 증가하고 있다. 또한 일본의 경우 평균수심이 약 8m 이하면 호소가 부영양화될 소지가 있다고 본다. 이렇게 본다면 우리나라의 하구연 등 몇몇 호소는 수심면에서 오염에 취약하다고 볼 수 있다.

<표 8> 국내 주요호소의 평균수심 및 체류시간

호 소 명	평균수심(m)	체류시간(일)
소 양 호	34	530
파 로 호	27	115
춘 천 호	10	14
의 암 호	5	7.7
청 평 호	8	8.5
충 주 호	28	200
팔 당 호	7	5.4
대 청 호	20	200
합 천 댐	32	-
안 동 호	23	468
진 양 호	5	27
아 산 호	5	34
삼 교 호	4	15
영산강하구연	7	34
금 강하구연	4	-
낙동강하구연	5	10

4. 호수 부영양화의 관리

호수 오염의 관리는 크게 호수 외적인 대책과 내적 대책 및 정책적 대책으로 구분할 수 있다. 한국의 대부분의 호수는 짧은 체류시간으로 개방된 생태계로 볼 수 있으며 유역이 호수면에 비해

방대하여 무엇보다 먼저 외적 오염관리가 매우 중요하다. 그러나 어떤 호수는 오염물질의 내적부하량이 총부하량의 50% 이상을 차지하고 있어 내적 오염관리 역시 간과할 수 없다. 또 다른 관리로는 정책적인 권장과 규제 관리를 들 수 있다.

3-1 외적 오염관리

호수오염의 외적관리는 호수로의 오염물질 유입을 궁극적으로 방지하는 것이다. 그러나 외적 오염원을 완전히 관리한다는 것은 불가능한 것이며 특히 자연계와 농업 및 축산, 생활계와 하천 저질과 같은 면오염원의 관리는 더욱 어려운 것이다. 그러므로 우리는 이러한 오염원에서의 오염물질 발생과 배출 및 호수로의 유입을 감소시키는 점에서 노력을 기울여야 한다.

그림 2는 외적 오염원의 일반적인 관리대책을 도시한 것이다.

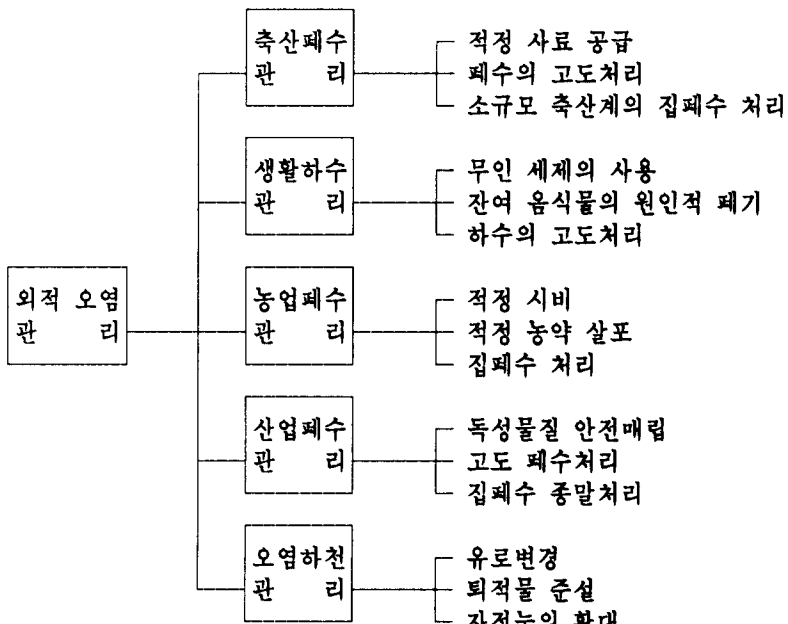


그림 2. 호수 외적 오염관리의 유형

점오염원에 대한 통상적인 관리에는 오염물질의 1, 2차 처리가 있다. 그러나 비록 비용이 더 많이 든다할 지라도 호수 부영양화의 원인물질인 영양염류에 대한 고도처리가 요구되고 있다.

축산폐수의 관리에서는 소규모 축산계에 대한 관리가 가장 어렵다. 이것은 일종의 면오염원으로 간주되어야 하며 그 수는 한국의 경우 매우 많다. 한국의 일부 호수에서 축산을 통한 인 부하량은 전체 부하량중 가장 크기 때문에, 호수 부영양화를 방지하기 위해서는 이러한 소규모 축산계의 집폐수 처리가 필수적이라할 수 있다. 또한 가축 사육과정에서는 적정한 사료공급을 통해 경제적으로는 물론 수질관리면에서 손실을 피하여야 한다.

생활하수의 관리에서는 무인세제의 사용이 필수적이라할 수 있다. 생활하수를 통한 호수내의 인 부하량이 매우 크고, 그중 20-30% 가 세제에 의한 것으로 알려져 있는바, 무인세제의 사용으로 호수의 인부하량은 크게 감소될 수 있다. 따라서 무인세제의 사용에 대한 대중적 홍보가 대규모로 이루어져야 하고, 이를 통해 호수 인부하량의 약 10% 내외가 감소될 수 있을 것이다. 또한 주방에서의 음식 잔여물은 주로 유기물질로서 호수의 오염을 가중시켜 이의 일차적 제거 역시 중요하다.

농업 및 자연계의 오염물질 부하를 관리하는 것은 경제적으로 기술적으로 거의 불가능하며, 호수로의 총 인부하량중 이들이 차지하는 비율은 매우 낮아 그 관리가 간과되고 있다. 그러나 농업계에서 비료와 농약의 적정 시비는 호수 부영양화를 다소 감소시킬 수 있을 것 같다.

산업폐수의 관리에서 독성물질은 매우 낮은 농도에서도 위험하기 때문에 안전하게 매립되어야 한다. 역시 공단지역에서는 종말 집폐수처리장이 설치되어야 한다.

위에 언급된 관리는 여러 오염원에서 오염물질의 발생이나 배출을 감소시키기 위한 것이다. 이에 더불어 배출된 오염물질이 축적된 호수 유입천을 관리하는 방법이 있다. 오염된 하천의 유로 변경은 매우 유효한 것으로 보인다. 그러나 비록 이러한 관리가 많은 호수에서 성공적이었다 할지라도 이것은 매우 큰 비용이 따르게 된다. 또한 이 관리는 호수 외적부하에 비해 내적부하가 큰 호수에서는 큰 효과가 없으므로, 그러므로 그것은 호수의 특성이 먼저 조사된 후에 적용되어야 한다. 또 하나의 대책은 오염된 하천 퇴적물의 준설이다. 이 역시 매우 큰 비용이 소요되며 제거된 준설물의 처리는 또 다른 어려운 문제로 남는다. 끝으로 부착조류를 이용하여 영양염류를 흡수시킴으로써 플랑크톤성 조류의 성장을 감소시키는 관리가 있을 수 있다.

3-2 내적 오염관리

한국의 대다수 인공호는 유역이 호수면에 비해 방대하므로 대부분의 방지대책이 최근까지 주로 외적 관리에 치중되어 왔다. 그러나 근래 호수내 어류양식이나 오염된 퇴적물, 과도번성한 수생식물이나 패류에 의한 내적부하는 계속하여 증가되어, 소양호와 같은 호수에서는 내적 인부하가 총 인부하의 50%를 넘는다. 비록 다른 호수에서는 내적부하가 외적부하에 비해 적다고 하지만 이러한 부하는 계절적 조류의 이상증식을 시발하는 요인으로 작용하는 것 같다. 한 예로서 팔당호에 과도번성한 수생 관속식물과 ●류는 9월 이후 갑자기 사멸하므로써 오염물질을 특정 계절에 집중시키는 결과를 가져 온다. 이러한 고사체의 분해는 퇴적물에서 연쇄반응을 통해 호수의 오염을 가속화시킨다. 그러므로 여러가지 방지대책이 호수수질의 개선이나 내적부하의 감소를 위해 요구되고 있다.

그림 3은 호수오염의 여러 내적관리를 보여주고 있다.

폭기 및 순환은 영양염류 용출과 조류생장을 억제하기 위한 것이다. 호수의 부영양화는 성충

형성에 의해 더욱 가속화 되는 것으로, 성층이 형성된 호수의 심층은 산소가 고갈되고 환원상태로 변화된다. 이러한 현상이 일어나면 수체와 퇴적물에서 영양염류 용출이 활성화 되고 조류의 생장이 가속화 된다. 인공적 폭기 및 순환은 이러한 성층을 파괴하고 심수층에 산소를 공급하는 것이다. 이외에 순환은 조류들 광보상점 이하로 밀어냄으로써 조류의 성장을 억제하는 효과를 보이는 것 같다. 이러한 관리는 공정이 간단한 장점을 가지고 있어 많은 바람직한 결과가 보고된 바 있다. 그러나 이는 단지 성층이 형성된 깊은 호수에서 효과적인 것으로, 산소결핍의 문제가 없는 얕은 호수

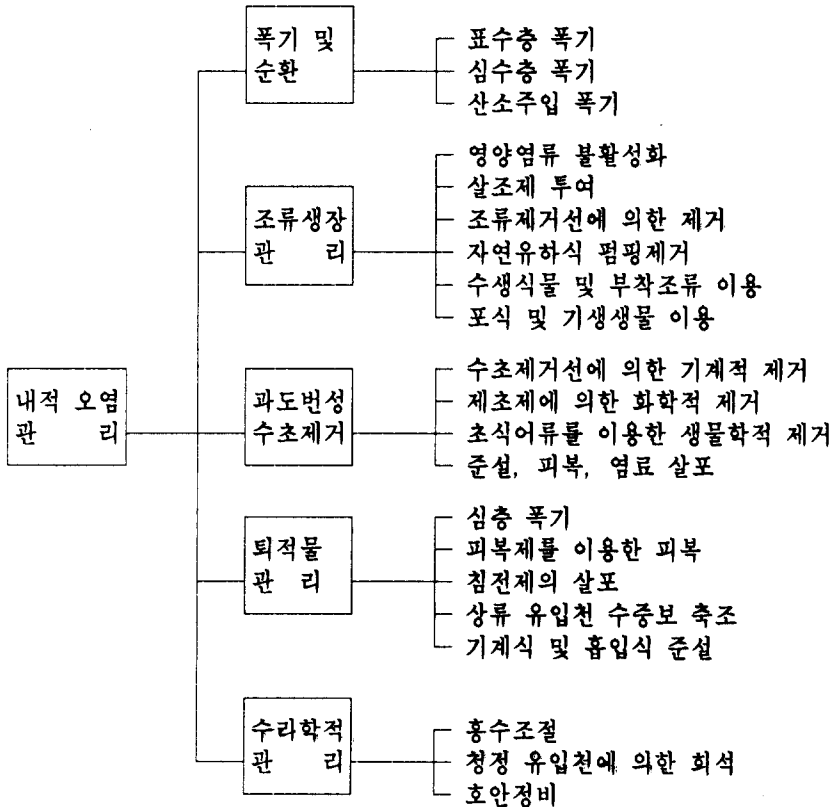


그림 3. 호수 내적 오염관리의 유형

에서는 그 효과가 낮은 것 같다. 오히려 어떤 경우에는 퇴적물이 교란되어 조류가 이상증식하는 역효과를 내기도 한다. 따라서 이 공정은 호수의 특성이 충분히 파악된 후에 적용되는 것이 바람직하다. 한국의 대부분의 호수는 얕아 여름철 성층이 형성되는 호수가 소양호나 대청호, 충주호 등 소수에 지나지 않는다. 실제로 이러한 호수는 매우 거대한 호수로 폭기관리는 한계점을 가지고 비용도 많이 든다. 따라서 이 방법은 성층이 심화되거나 오염된 호수내 일부 구역에서 국부적인 적용으로 만족하여야 할 것이다.

조류생장에 대한 관리에서는 알루미늄이나 철, 탄소기 등의 화학 침전제를 사용하여 영양염류

를 불활성화하는 방법이 잘 알려져 있다. 이 방법은 공정이 간단하고 효과가 신속한 장점을 가지고 있다. 그러나 침전된 영양물질은 수역이 환원상태로 변할 때 재용출되어 그 효과가 일시적인 것이며, 수체에 침전체가 축적되는 결과를 낳는다. 또한 이러한 침전체는 하천형 호수에서는 유속에 의해 소실되어 그 효과가 적다. 한국의 대다수의 호수는 짧은 체류시간을 가지는 하천형 호수가 많아, 이 역시 갈수기에 유속이 느리며 고도로 부영양화된 수역에서 일시적으로 적용될 수 있을 것이다. 황산동(CuSO_4), 이산화염소(ClO_2), 오존(O_3) 등의 살조제 역시 조류의 제거에 이용될 수 있으며, 이중 황산동은 값이 저렴하여 가장 빈번히 이용되어 왔다. 그러나 이들 화학물질은 수체에 축적되게 되어, 조류의 저항성이 커져 갈수록 그 처리효과는 감소된다. 또한 이들 물질은 호수내의 곤충이나 물고기에 영향을 줄 수도 있다. 따라서 살조제의 사용은 특별한 경우에 적절한 양만 투입되어야 한다. 조류는 선박에 의해 물리적으로 제거될 수도 있으며, 이는 수화상태의 조류 플록을 흡입과 여과 농축 및 탈수에 필요한 부속기기들이 구비된 선박으로 제거하는 것이다.

그러나 이는 단지 조류의 농도가 고농도일 경우에만 효과적이므로, 조류 플록 현상이 빈번하지 않는 국내 호수에 적용하기 위해서는 차후 저농도 조류의 여과장치가 개발되어야 할 것이다. 또 다른 방법에는 자연 유탄식으로 호수물을 끌어올려 처리한 후 호수로 되돌리는 방법도 있다. 조류 성장에 대한 생물학적 관리는 다른 수생생물에 의한 조류와의 경쟁이나 포식 작용을 이용하는 것이다. 수생 대형식물과 부착조류는 플랑크톤성 조류와 빛은 물론 영양염류에 대해 경쟁을 하며, 동물성플랑크톤이나 곤충류 및 어류는 조류를 포식하고, 바이러스는 기생을 통해 조류의 성장을 저해한다. 그러나 이러한 생물학적 관리는 아직 초보적인 단계에 있을 뿐이다.

비록 수생식물이 호수 생태계내에서 성장기에는 오염물질을 흡수하는 역할을 한다고 할지라도, 이들은 사멸후 부패시 미생물적 분해를 통해 오염물질을 다시 배출하게 된다. 수생식물의 부패는 수질에 여러가지 악영향을 미치게 된다. 직접적인 영향으로서는 고사체의 분해과정에서 배출된 영양염류가 호수를 부영양화하여 조류의 성장을 가속시키는 것을 들 수 있다. 간접적인 영향은 더욱 복잡한 기작을 수반하게 된다. 미생물적 분해과정을 통한 산소의 소모될 때 산화환원전위는 떨어지게 되며 수체는 환원상태로 전환되어 퇴적물에서 왕성한 영양염류의 용출이 일어나고 조류생장이 가속화 된다. 조류가 과잉성장하면 수체의 pH는 증가하고 투명도는 감소되며 심층에서 용존산소가 결핍되면 퇴적물에서의 영양염류 용출은 보다 보다 왕성해지는 것이다. 이러한 연쇄반응을 막기 위해서 수생식물은 적절한 시기에 절단, 제거되어야 하는 것이다.

과잉성장한 대형식물의 관리에서 가장 일반적인 것은 수초제거선을 이용한 기계적 제거방법이다. 수초제거의 주요한 호기능적 환경효과는 분해시 산소를 요구하는 물질의 원인제거나 수체에서의 영양염류 제거를 들 수 있으며, 공정시의 악영향은 탁도의 일시적 증가나 동물 서식처의 훼손을 들 수 있다. 수초제거에서 가장 중요한 것은 제거시기를 결정하는 것이다. 만일 수초의 자정능을 그대로 유지한 채 제거코자 한다면, 우리는 먼저 수초의 생활사를 조사 하여야 한다. 수초에 대한

최적의 관리시기는 사멸률이 생산력을 넘고 지하경에 영양분을 축적한 직후로 볼 수 있다. 한 예로서 팔당호 수생식물의 순생산력은 분포면적에서 $918\text{gDW}/\text{m}^2/\text{yr}$ (총 $2,450\text{ tonDW}/\text{yr}$)이며, 이중 정수식물은 약 80% 내외를 차지한다. 이들 우점 생활형의 보상시기(생산력=사멸률)는 대략 8월 중순이 되며, 적절한 제거시기는 9월말이 된다.

기타의 수초제거 방법은 2차적인 악영향을 주거나 수초의 자정능을 파괴시키거나 혹은 지나치게 이상적이란 점에서 실제로는 상수원이 되는 호수에서의 적용이 어렵다. 퇴적물 관리에는 이미 언급한 폭기방법이나 피복, 영양염류 불활성화, 상류천의 수중보 설치, 준설 등이 있다.

폭기에 관해서는 이미 언급된 바 있다. 피복법은 모래나 폴리에틸렌, 석회 등의 피복재를 가지고 퇴적물의 표면을 덮어 영양염류 용출을 방지하는 것이다. 이 방법은 공정이 간단한 잇점이 있으나 가스 발생에 의한 피복재가 훼손될 가능성이 있으며, 그 효과가 일시적인 단점이 있다. 영양염류를 불활성화하는 방안은 위에 언급된 바와 같다. 상류 유입천에 수중보를 축조하는 것은 일차적인 침전을 통해 호수로의 오염물질 유입을 저감시키는 것이다. 이 방법은 수중보의 월류가 빈번할 때는 효과가 없으며, 또한 수중보의 주기적 준설이 요구되며, 대규모 하천에 축조시는 매우 큰 비용이 드는 문제가 있다. 준설은 퇴적물의 오염물질을 궁극적으로 제거하는 것으로 퇴적물 관리시 일반적으로 적용되는 대책이다. 이 방법은 수질개선외에 저수용량의 증대와 같은 잇점을 가지게 된다. 그러나 오염된 퇴적물의 교란에 의한 여러가지 악영향이 나타날 수 있으며, 준설물의 처리는 매우 어려운 문제점으로 남는다. 준설은 크게 기계적 준설과 흡입식 준설로 구분되며, 기계식 준설은 디퍼식, 버켓식, 라더식 준설이 있고 버켓 준설은 다시 드래그라인, 크랩 쉘, 오렌지 필과 같은 방법으로 세분된다. 흡입식 준설에는 호퍼식, 사이드캐스팅식, 파이프라인식, 진공식, 하이드로사이클론 및 진공압축식 준설이 있으며, 파이프라인식은 다시 컷터헤드, 플레인션션, 더스트판식, 준설로 세분된다. 일반적으로 공정중의 수질을 보전하기 위해서는 흡입식 준설이 추천되고 있다. 한국에서는 호수에 유입되는 유입천의 합류지점 퇴적물에서 인의 내적부하가 국부적으로 매우 높다. 이러한 수역은 다소 유속이 빠르고 수심이 낮으며 매우 오염되어 있어, 국부적인 준설이 퇴적물의 관리에 가장 적합할 것 같다.

수리학적 관리에는 홍수기 배수와 청정천을 이용한 회석 및 호안의 정비가 있다. 한국의 대형 호수는 모두 대규모 강에 댐을 건설하므로써 만들어졌으므로, 호수의 형상이 길고 매우 완곡하여 있으며 호수의 축선은 불규칙하다. 만입부의 매립을 통한 호안의 정비는 국부적인 정체수역에서의 부영양화와 조류 확산을 저감시킬 수 있을 것이다.

3-3 정책적 대책

위에 언급된 현상관리외에 호수 회복을 위해서는 역시 정책적인 대책이 필요하다. 그림 4는 호수오염에 대한 여러가지 정책적 방지대책을 보여주는 것이다.

어떤 호수의 수질을 개선하기 위해서는 그들의 특성에 따른 목표수질이 설정되어야 하며, 이

기준은 호수의 이수목적에 부합되어야 한다. 유역에 대한 지리적 구역관리에는 특별대책 구역이 나, 영향권 및 보호구역의 선정이 있다. 점오염원에 대한 정책적 관리는 배출기준의 강화나 부과금의 조정과 같은 대책이 있다. 특히 부하량의 총량규제는 어떤 점오염원에 관리에 매우 효과적일 것으로 보인다. 단지 농도규제만으로는 점오염원에서의 회석배출을 막을 수 없는 것이다.

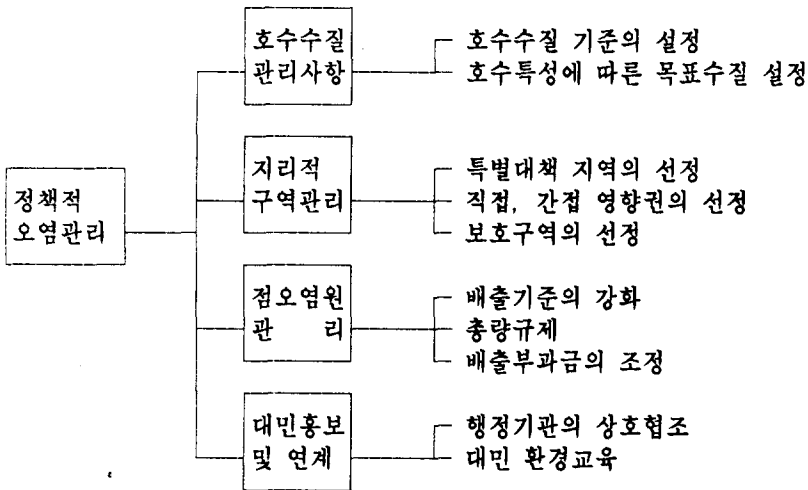


그림 4. 정책적 오염관리의 유형

대민홍보 및 관련부처의 협조는 선진 수질관리에 필수적인 것이다. 물의 흐름은 행정구역에 따르는 것이 아니므로 상호협조 없이는 호수는 회복될 수 없는 것이다.

5. 결 론

모든 오염관리기술은 수역의 특성이 충분히 조사된 이후에 적용되어야만 한다. 대부분의 한구호수들은 대형의 인공호로 그 특성은 외국의 장연호와는 상이하다. 자연호에 대한 많은 방법들중 어떤 것은 우리의 호수에 역시 적용될 수 있으나, 또 다른 것들은 검토가 요하는 것이다. 호수 생태계는 매우 복잡하여, 수질보전은 종합적인 조사와 기술에 의해서만 가능하며 파편적이고 단기간의 사업계획으로는 기대하기 어렵다.

수질개선을 목적으로 하는 여러 사업에 이 논고가 참고가 되길 바란다.

REFERENCES

1. Seo, Y.S. 1988. Eutrophication of Artificial Lakes in Korea and Proposed

Countermeasures, 1st. Kor.-Jap. Env. Sci. Tech. Sym., pp. 111-125

2. Seo, Y. S. et al, 1988. A comprehensive studies on the Eutrophication of Paldang Reservoir(I). NIER, 88-15-240
3. Ryu, J. K. and Seo, Y. S. et al, 1989. A comprehensive studies on the Eutrophication of Paldang Reservoir(II). NIER, 89-16-265
4. Ryu, J. K. and Seo, Y. S. et al, 1990. A comprehensive studies on the Eutrophication of Paldang Reservoir(III). NIER, 90-17-291
5. Ryu, J. K., 1990. The status and prospect of lake water management technologies in Korea. Kor. Soc. Wat. Qua. Res. Con., 201-219
6. 湖沼水質研究所. 湖沼分野研究論文抄録集(제1집)
7. 환경처, 수질오염공정시험법(1988)
8. JIS, 일본규격협회(소화 56)
9. US EPA, Design manual-Phosphorus Removal, 1987.
10. US EPA, Lake and Reservoir Restoration Guidance manual, 1988.
11. 環境處 한국환경연감(1989, 1990)
12. 韓國水資源公社 水資源研究所 富營養化 防止對策(1988)