

# 유역관리를 통한 하구담수호의 수질보전

윤 춘 경  
(건국대학교 교수)

## 1. 서 론

우리 나라에서는 1970년대 이후부터 주로 하구 또는 해면을 체절하여 간척지 조성과 더불어 필요한 수자원확보를 위하여 하구담수호를 조성해 오고 있다. 아산호를 비롯하여 삼포, 영산, 대호, 해남 등 각종 간척사업을 거쳐서, 현재 진행중인 새만금지구를 비롯하여 여러 간척개발지구에 대규모 하구담수호가 조성될 예정이다.

우리 나라는 연평균강수량이 세계평균치보다는 많으나, 1인당 기준으로 환산하면 세계 평균치의 약 11%에 불과한 물부족국가군에 속한다. 우리 나라에서 연간 수자원 총이용량은 약 300억 $m^3$  정도인데, 이중 1/3에 해당하는 약 100 $m^3$ 은 댐을 건설하여 저수한 댐 용수로 충당하고 있다. 하천의 상류부분에는 여러 가지 제약으로 저수지 조성이 어려운 실정이고, 유역에서 유출되는 물이 결국은 하구를 거쳐 바다로 흘러가는 점을 고려하면, 하구에 담수호 조성은 효과적으로 수자원을 확보할 수 있는 유리한 점이 있다. 현재 개발이 완료되어 이용되는 하구담수호의 저수량은 약 27억 $m^3$ 로서 전체 저수량의 약 21%이며, 개발 중에 있는 하구담수호가 모두 완공되면 담수자원확보량이 약 170억 $m^3$ 에 달하여 물부족국가인 우리 나라 현실에서 수자원확보에 크게 기여할 것으로 예상된다.

하구에 조성되는 하구담수호는 유역에서 유입되는 오염물질도 함께 부하되어 수질문제를 포함한 환경문제를 야기할 수 있는 불리한 점도 있으며, 최근에 시화호 사례는 그 가능성을 입증하였다. 하구 담수호의 조성은 조석의 유출입이 자유로운 하구지역을 방조제 체절에 의하여 수질보전상 불리한 폐쇄성 수역으로 변경시키며, 또한 하구담수호 주변에 도시화와 공업화의 급진전에 따라 유역으로부터의 오폐수의 유입량 및 부하량이 급증하고 수질관리에 불리한 상황을 맞게 된다. 다른 환경분야와 마찬가지로 하구담수호의 수질오염으로 생태계변화까지 초래한 경우에는 이를 원상복구하기에 많은 노력과 비용이 요구된다. 시화호 사례에서 우리는 하구담수호 환경문제의 중요성을 절실히 깨달았는데, 반면에 이미 조성되어 오랫동안 큰 문제없이 유용하게 사용되고 있는 우리나라와 외국 하구담수호의 사례들은 살펴보면, 수자원의 양적인면 뿐만 아니라 질적인 면에서도 노력여하에 따라 만족할 수 있는 수자원으로 활용할 수 있다.

여기에서는 간척사업으로 조성되는 하구담수호의 수질보전방안, 그 중에서도 주로 유역관리방안에 관하여 고찰하여 간척사업을 성공적으로 마무리하는데 도움을 주고자 한다.

## 2. 담수호 수질과 유역 사이의 관계

담수호 유역은 담수호 유지를 위한 물을 공급하는 동시에 오염물질을 배출한다. 그러므로 수질관리는 유역관리에서부터 시작해야 성공할 수 있다.

담수호에 오염물질의 부하는 유역으로부터 점원 또는 비점원 형태로 들어온다. 점원오염이 전통적으로 수계로 유입되는 주요 오염공급원으로 생각되어 왔다. 그러나, 지난 30여 년간 많은 노력과 비용을 투자하였음에도 수질개선이 미흡하고 오히려 악화된 외국의 사례에서 알 수 있듯이, 점원오염과 함께 비점원오염도 동시에 관리하지 않으면 수질개선효과가 나타나지 않는다는 점을 인식하게 되었다.

### 2.1 점원오염

산업폐수, 생활하수, 가정에서 발생하는 하수에는 유기물, 박테리아, 그리고 영양물질이 풍부할 수 있다. 하수처리의 목표는 대부분의 산소요구물질, 박테리아, 그리고 영양물질을 제거하는 것이다. 대부분 하수처리시설은 낮은 물의 방류량만으로 비교할 때에는 하천의 유량에 비하여 상대적으로 낮다. 그러나, 오염부하량은 하수의 양과 하수의 농도를 곱하여 계산하므로 적은 수량이라도 높은 농도로 배출되는 하수는 수계에 많은 영향을 미치게 된다.

우리 나라의 경우 전반적인 하수도보급현황은 표 1과 같이 약 56.5%의 보급률을 보이고 있으며 2005년까지 80%의 보급률을 목표로 노력하고 있다. 그런데, 이들의 대부분은 대도시에 집중되어 있으며 농어촌지역에는 아직 하수도보급이 극히 부진한 상태이다. 이를 위하여 농림부는 농어촌정비법에 의해 문화마을사업에서 마을하수도를, 행정자치부에서는 농어촌주거환경개선사업으로 마을하수도를, 그리고 환경부에서는 먼단위하수도사업을 각각 추진하고 있으나 농어촌지역은 도시지역에 비하여 아직 하수시설이 매우 부진한 상태이다.

한편 전국 폐수발생현황을 살펴보면 표 2에서와 같이 39,939개소에서 공공수역으로 배출하는 방류량은 약 2,618천 $m^3$ /일로서 BOD로 환산한 유기물부하량은 98,904kg에 수계별로 구분하여 살펴보면 일정지역에 배출업소가 편중되어 있으며, 해역권으로 살펴보면 동해와 특히 대부분의 간척사업이 이루어지고 있는 서해에 주요산업단지가 입지하여 있으므로 폐수에 의한 오염부하량이 큰 편이다(환경부, 1998). 산업폐수는 유기물 부하

표 1. 우리 나라 하수도보급 추이 (환경부, 1998)

구 분	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
총인구(천명)	43,268	44,569	45,077	45,512	45,974	46,426	46,878
처리인구(천명)	15,434	17,279	18,620	19,081	20,908	24,420	26,541
처리장 (개)	22	26	43	57	71	79	93
보급률 (%)	35.7	38.8	41.3	41.9	45.4	52.6	56.5
시설용량(천톤/일)	5,258	5,815	6,370	9,391	9,653	11,452	15,038

표 2. 수계별 폐수배출업소수 및 폐수방류량 (환경부, 1998)

(단위: 천m<sup>3</sup>/일)

수 계	계	한 강	낙동강	금 강	영산강	기 타	동 해	서 해	남 해
업소수	39,939	12,130	6,339	3,105	1,496	5,693	1,114	4,951	5,111
방류량	2,618	457	452	170	55	334	534	347	269

외에도 유독성분의 함유로 수계에 영향을 줄 수 있으므로 특별한 주의가 요구되는 오염원이다.

유역에서 고정적으로 유입되는 점원오염을 처리하지 않으면 그대로 담수호에 유입되어 수질오염문제를 반드시 일으키게 될 것이다. 따라서, 담수호 수질보호를 위해서는 점원오염의 처리가 우선적으로 이루어져야 한다. 일반적으로 도시지역의 하수처리시스템은 전통적인 하수관거를 통하여 하수들이 활성오니법과 같은 시설에서 처리되도록 하는 방법이다. 1차처리방법에서는 스크린과 침전지 등을 이용하여 크기가 큰 부유성, 침전성 유기고형물을 제거한다. 그러나, 하수내의 용해성 유기물은 아직 상당한 산소요구량을 필요로 하고, 따라서 2차처리에서는 하수를 호소나 하천으로 방류하기 전에 산소요구물질을 제거한다. 2차처리에서는 생물학적, 화학적방법들이 하수내 유기물의 80~95%까지 제거한다. 그러나, 1차처리와 2차처리에서 영양물질들 (질소와 인)의 농도는 뚜렷하게 감소하지 않는다. 하수내 총인의 농도는 1차처리에서 약 4%, 2차처리에서 약 12% 정도 감소하며, 총질소는 이보다 약간 높아서 1차처리에서 약 40%, 2차처리에서 약 58%가 제거된다. 그러나, 이 정도의 처리로는 대부분의 하수처리장이 제공하는 2차처리 후에도 총질소는 약 절반, 총인은 거의 대부분이 잔류한다는 것을 의미한다. 2차처리에 이어서 고도처리를 통하면 영양물질의 제거가 가능하며, 많은 비용이 소요되지만 장기적으로는

효과적인 수자원보호를 위해서 하수처리장마다 고도처리시설을 조속히 갖추는 것이 바람직하다고 판단된다.

일단 처리된 하수처리시설 방류수의 가장 좋은 처분방법은 호소밖, 유역밖으로 우회시키는 방법이다. Lake Washington (호소복원사례 참조)는 어떻게 점원오염을 우회시키면 호소수질이 개선될 수 있는가의 고전적인 사례이다. 우회시키는 것이 불가능할 때 사용되는 또 다른 대안으로는 희석과 세척인데, 이 방법은 상대적으로 많은 양의 깨끗한 물의 공급이 필요하다. 이 방법들은 주로 생활하수처리시설에서 사용되어 왔다.

일반적으로, 소규모마을이나 농촌의 개인주택에게는 전통적 하수처리방법이 최선의 대안이 아닐 수 있다. 전통적 하수처리시스템은 활성오니법을 비롯하여 다양한 방법들이 사용되고 있는데, 이들은 일반적으로 복잡한 기계적 시스템이다. 그들은 보통 많은 에너지를 사용하며 소규모마을에서는 설치하기에 비용이 비싸다. 또한, 이들은 전문인력이 운영하고 관리해야 한다. 소규모 마을에 적용이 적합하고 신뢰성 있는 방법으로는 정화조와 배수처리, 모관침윤트렌치, 산화지, 라군, 산화구, 그리고 인공습지 등이다. 이 방법들은 적절히 운영되면 2차처리 또는 그 이상의 처리수준을 나타낸다. 이 방법들은 대부분 저에너지형으로서 경제적이고 저기술형이라 유지관리가 적게 필요하나 상대적으로 넓은 면적이 필요하다.

담수호의 수질보호를 위해서는 점원오염의 처리가 절대적으로 선행되어야 하는데, 우리 나라에서는 현재 점원오염 처리를 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 다행히 점원오염처리기술이 상당한 수준에 도달하여 있으며, 앞으로 지속적인 노력과 투자를 병행하면 멀지 않은 시기에 수질보전에 가시적인 성과가 나타날 것으로 기대된다.

## 2.2 비점원오염

생활하수와 산업폐수 등의 점원오염의 처리율이 증가하면 비점원오염의 중요성이 점차 뚜렷해지게 된다. 외국의 경우에 많은 비용을 점원오염처리에 투자하였으나 예상했던 만큼 수질개선이 이루어지지 않았는데, 그 이유에 대하여 권 (1998)은 그림 1에서 경시적으로 설명하였다.

즉, 급격한 도시화와 산업화로 수질오염이 심각하게 느껴지면 수질오염에 관한 대책을 세우기 시작한다. 이 시점에는 당연히 점원오염인 생활하수와 산업폐수가 큰 비중을 차지하며, 이 후에 점점 점원오염에 대한 처리와 규제가 엄격해져서 점원오염부하량은 감소하게 된다. 반면에 이 기간에 도시화와 고도의 토지이용으로 비점원오염은 상대적으로 증가하여 어느 시점이 지나서, 점원오염의 감소가 더 이상 어려워지면 비점원오염이 차지하는 비중은 커져서 비점원오염 부하량을 제거하지 않으면 수질개선효과가 나타나지

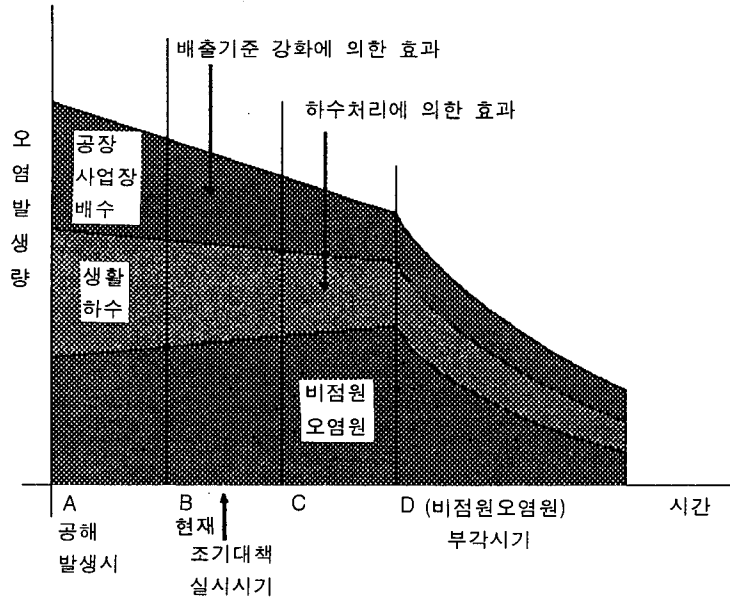


그림 1. 오염원과 발생부하량의 관계

않는다. 일단 점원오염이 어느 정도 해결되면, 비점원오염의 중요성이 뚜렷하게 나타나게 되는 것이다. 따라서, 담수호 수질은 점원오염 뿐만 아니라 비점원오염을 포함한 다양한 오염원으로부터 영향을 받는다는 것을 알 수 있을 것이다.

우리 나라에서 전체 발생되는 오염부하량 중에서 비점원오염이 차지하는 비율은 표 3에 요약되어 있는데, 약 50% 정도일 것으로 추정된다. 비점원오염의 관리대책에는 오염물질 발생 억제, 오염물질의 수계로의 이동 억제, 그리고 오염물질을 함유한 유출수를 수계에 유입되기 전에 처리하는 방법이다. 오염물질 발생과 이동의 억제에는 소위 최적관리기법 (BMP, best management practice)이라는 검증된 기법을 적용하여 효과를 거둘 수 있다. 유출수처리는 현실적으로 채택할 수 있는 기법이 제한적인데, 저류지나 인공습지 또는 산화지 같은 자연정화방법들이 적용가능한 방안들이다 (USEPA, 1993).

표 3. 우리 나라 비점원오염의 기여율 (권순국, 1998)

수 질 항 목	전체 발생부하량에 대한 비점원오염의 기여율 (%)		
	국립환경연구원 (전국개략조사)	환 경 부 (전국유역조사)	서 울 대 (소유역 정밀조사)
BOD	12.0	16.1	19.0
T-N	60.0	50.4	69.0
T-P	14.0	26.2	22.0

미국의 경우, 과거 20년간 수질개선은 지표수에 유입되는 점원오염의 감소에 대부분 주력해왔으며, 1990년 현재 생활하수처리 시설에 의해 관리되는 지역에 인구는 1억4천4백만 명으로서 1972년에 비교하여 2배에 이른다. 이 처리시설들은 2차처리 또는 그 이상의 하수처리를 하고 있으며, 무처리로 방류되는 생활하수는 1%에도 못 미친다. 하수처리시설을 1차처리에서 2차처리로 향상시킴으로써 1972년에 비교하여 1982년에는 하수처리시설에서 산소요구물질의 방류량이 46% 감소하였다 (USEPA, 1990a). 이러한 개선이 이루어지지 않았다면, 인구증가를 고려할 때 산소요구물질의 방류량이 191% 증가했을 것이다. 그런데, 이러한 점원오염분야의 개선이 이렇게 이루어졌음에도 불구하고, 아직도 비점원오염문제가 남아있으며 도시지역, 농경지, 축산단지, 도로배수, 폐광지역, 임업활동, 그리고 건설지역 등으로부터의 유출수는 주요 수질오염원으로 작용하고 있다. 비점원오염이 수질오염의 주요 원인으로 확인되었음에도 불구하고 미국의 경우에 전국적으로 수질개선에 소요되는 비용의 약4% 밖에 사용되지 않았다 (Farber and Rutledge, 1988). 미국에서 EPA가 조사한 지표수의 약 30%는 원하는 수자원 목표를 충분히 달성하기에 부족한 것으로 나타났다.<표 4> 이 오염된 지표수의 약 2/3 정도가 비점원오염에 의한 것으로 결론지었다.<표 5>

이러한 보고서들에 의하면 일반적인 오염물질, 특히 영양물질과 부유물질이 지표수오염의 주요 원인이라는 점이다. 그 동안 비점원오염 감소 노력에서 자발적인 참여를 유도하였으나 참여도가 낮은 점이 문제가 되었고, 이제는 자발적인 참여만의 비점원오염 억제에는 비효과적이라고 결론짓고 법적 규제를 강화하고 있는 추세이다. 따라서 토지사

표 4. 미국 지표수의 사용목적에 적합성 (EPA, 1990a)

	하 천	호 소	하 구
총지표수자원	1,800,000	39,400,000	35,198
평가를 실시한 州內 자원	1,150,482	22,347,961	not given
평가를 실시한 자원	519,413	16,314,012	26,676
평가결과 사용목적에 적합한 자원(%)			
완전만족	69.6	73.7	71.6
위협받는 상태*	(6.9)	(17.8)	(1.3)
부분적 만족	20.1	16.6	22.8
만족시키지 못함	10.3	9.8	5.6

\*위협받는 상태는 완전만족의 일부로서 포함됨.

표 5. 비점원오염에 의한 수질오염 (EPA, 1990a)

	하 천	호 소	하 구
보고된 비점원오염 영향	206,179	$5.3 \times 10^6$	5,800
영향의 정도, %			
사용용도 불만족	52	42	54
사용용도 부분만족	28	22	36
사용용도 위협받음	20	36	10
원인(%)			
농업	41	23	7
도시	4	6	11
오염물투기	3	4	8
건설	2	2	-
수리시설변경	6	6	-
광산	8	7	16
자연계	8	10	-
기타	5	21	38
현장자체	-	-	16
원인불명	23	21	4

용이나 축산분뇨관리에 관한 통제를 포함한 법적 규제의 주장이 제기되고 있다.

비점원오염에서는 농약에 의한 지하수오염에 관한 우려가 확산되고 있다. 미국의 경우에 1966년에 비하여 사용량이 4배나 증가한 제초제에 의한 오염가능성이 특별히 관심이 되고 있으며 (USEPA, 1990b), 우리 나라도 전체 농약사용량이 1980년의 16천톤에서 1995년의 26천톤으로 증가하였다 (농림부, 1996). 미국 NRC의 요약보고에 의하면 26개 주의 지하수에서 흔히 사용되는 46개 농약성분이 검출되었으며, 특히 미국 동부지역과 중서부의 지하수오염가능성이 높은 것으로 지적되었다 (NRC, 1989). EPA의 보고에서도 126개 농약과 농약 대사물질(metabolites) 가운데 12개가 검출 가능한 농도로 발견되었다. 이 중에 한 개 또는 다수는 마을상수원용 우물의 10.4%에서 발견되었으며, 4.2%는 농촌우물에서 검출되었다. 마을상수원의 모두 그리고 농촌우물에서는 0.6%만 제외하고는 농약에 의한 건강상 최고권고치를 초과하지는 않았다 (NRC, 1989). 미국 농촌우물에서 권장치를 초과한 농약성분은 atrazine, alachlor, DCPA acid metabolites, lindane 그리고 EDB이었다. <표 6>

미국 USGS의 조사에 의하면 중서부 제초제 사용량의 60%를 차지하는 면적에 해당

표 6. 마을우물과 농촌우물에서 농약과 질산성 질소 (EPA, 1990b)

항 목	사 용 처	검 출 (%)		HAL/MCL*	% Above HAL/MCL	
		마을우물	농촌우물		마을우물	농촌우물
Nitrate	비료	52.1	57.0	10	1.2	2.4
Pesticides	다양함	10.4	4.2	다양함	0	0.6
Atrazine	제초제	1.7	0.7	3	-	×
DBCP	선충구제	0.4	0.4	0.2	-	×
Alachlor	제초제	0	0.03	2	-	×
EDB	살충제	0	0.2	0.05	-	×
Lindane	살충제	0	0.1	0.2	-	×
DCPA	제초제	6.4	2.5	4,000	-	-
Prometon	?	0.5	2.6	100	-	-
Simazine	?	1.1	0.2	1.0	-	-
Hexachlorobenzene	살균제	0.5	0	1	-	-
Dinoseb	제초/살균제	0.03	0	7	-	-
Bentazon	제초제	0	0.1	20		-

\*HAL = Health Advisory Limit(건강권장한계), MCL = Maximum Contaminant Level(최대오염수준)

하는 유역의 150개의 강에서, 모든 측정치가 제초제를 살포하기 이전에는 낮았으나, 제초제를 살포하고 난 후에는 높았다. 조사기간에 거의 절반에 이르는 시료의 atrazine 농도가 기준치인  $3\mu\text{g/L}$ 를 상회하였으며, alachlor, cyanazine, 그리고 simazine도 기준치를 초과하였다. 농경지로부터의 유출이 의심할 여지없이 농약의 주요 이동경로이지만, 제초제의 현장살포시 약 10~30%에 해당하는 손실이 입자상의 낙진 또는 휘발을 통해서도 분산된다 (Grover, 1991).

또한, 도시지역과 광산지역에서의 유출에 의한 금속 오염은 중요한 문제이다. 미국에서 EPA가 22개 도시지역에서 종합적인 조사에 의하면 도시유역의 유출에 의한 구리, 납, 아연의 농도는 수생생물을 위협 할 정도이었으며, 이 중금속들의 중간(median)농도는 각각  $34\mu\text{g/l}$ ,  $144\mu\text{g/l}$ ,  $160\mu\text{g/l}$ 이었다고 한다 (USEPA, 1983). 또한 채취한 유출수 시료의 분석결과에 의하면 시료의 절반이상의 농도가 수생생물 보호 기준을 훨씬 넘는 값이었다. 오염된 강이나 하천의 총 길이가 많은 것은 아마 도처에 산재한 폐광의 영향이었을 것으로 추정된다. 확실한 것은 중금속 중에서 가장 중요한 비점원오염 문제는 대기로부터 납성분(가솔린에 존재하는 납이 연소되어 발생)의 유입이다. 아마 비점원오염



역제의 가장 성공적인 노력은 1970년대 초반에 가솔린에서 납을 제거한 노력일 것이다. 미국에서 이러한 납 사용의 감소는 미국내 지표수, 하상 퇴적물, 그리고 물고기의 생체 조직에서 농도를 감소시키는 고무적인 결과를 가져왔다 (Lettenmaier, 1991). 우리 나라 도 전국에 산재해 있는 폐광의 후속처리 미흡과 완전히 처리되지 않은 산업폐수, 그리고 불법 투기하는 지정폐기물에서 유출되는 중금속 성분에 의한 수질오염이 상당할 것으로 추정된다.

이와 같이 산소 요구 유기물질, 영양물질, 농약, 그리고 중금속 등과 같이 다양한 성분의 비점원오염 물질들이 담수호로 유입되면, 아무리 점원오염 처리에 노력을 기울여도 담수호 수질개선효과는 제대로 나타나지 않을 것이다. 또한, 비점원오염 문제를 해결하지 않고 담수호내에서 수질개선노력을 물리적, 화학적, 생물학적으로 아무리 기울여도 개선효과는 미약할 것이며, 효과가 일시적으로 나타나더라도 곧이어 유입되는 비점원오염에 의하여 다시 오염상태로 환원하는 악순환을 계속할 것이다. 그러므로, 모든 담수호 수질개선의 노력은 외부에서 유입되는 오염부하량을 삭감하는 조치를 전제로 해야 하는데, 외부에서 유입되는 점원오염처리와 함께 비점원오염의 관리 및 처리도 병행하면서 실시되어야 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 점원오염은 처리효과도 뚜렷하고, 처리기술도 상당히 개발되어 현재 하수처리시설이 확장되어 가는 추세로 볼 때 앞으로 길지 않은 기간 내에 그 효과가 가시적으로 나타날 것으로 기대된다. 그러나, 비점원오염분야는 이제 연구의 필요성을 제기하는 단계로서, 본격적인 방지대책을 세우고 전국적인 보급까지는 상당한 시간이 걸릴 것으로 예상된다. 따라서, 지금부터라도 비점원오염을 관리 및 처리할 수 있는 최적관리기법에 대한 적극적인 관심과 대책수립에 착수하는 것이 매우 시급하다.

### 3. 담수호수질보전을 위한 유역관리

담수호수질보전을 어떻게 할 것인가는 수질보전에 활용 가능한 기술의 배경에 관한 이해에서부터 시작해야 한다. 담수호 유역 주민들이 수질보전을 위하여 사용가능한 여러 가지 방법들이 있다. 담수호주변의 쓰레기를 줍는 것에서부터 유역에 최적관리기법의 적용까지 범위에 걸쳐있다. 최적관리기법은 농업, 삼림, 도시, 그리고 건설활동 등에 관하여 개발되어 왔다. 예를 들면 농업기법으로는 경작지, 목초지, 농가창고나 축산폐기물 관리, 그리고 농약사용 등에 관하여 개발되었다. 삼림기법에는 벌목지의 목재수확기술, 벌목지나 질병이나 화재에 의하여 죽은 삼림의 재생, 그리고 농약의 사용 등에 관한 기법들이 있다. 도시지역에 적용할 수 있는 기법에는 도로와 도로주변을 깨끗하게 관리하는 것, 그리고 건설활동에서는 토사유실과 유출을 방지하는 방법 등이 있다. 일반적으로, 최

적관리기법은 담수호의 수질보호를 목표로 개발된 방법이 아니며 토지생산성을 유지하고, 농약과 비료의 비용을 줄이며, 다른 사람의 영역으로 진흙이 흘러 들어가거나 범람하여 문제가 야기되는 것을 줄이기 위하여 개발되었다. 그러나, 원래의 의도에 관계없이 이들 가운데 많은 방법들이 담수호수질보호에 유용하다.

담수호관리자는 4가지 중요한 현상을 관리하기 위한 최적관리기법에 초점을 맞추어야 한다: ① 토사유실관리, ② 표면유출관리, ③ 영양물질유실관리, 그리고 ④ 농약이나 유독성물질 관리 등이다. 이 과정들은 상호 유기적인 관계가 강하다. 예를 들면, 표면유출관리가 담수호나 하천의 퇴적물, 영양물질, 그리고 농약오염 등을 감소시키는데 도움을 준다. 그러나, 다른 요인들의 추가 관리도 필요하다. 예를 들면, 표면유출관리는 물의 침식은 최소화시킬 수 있으나, 바람의 침식에 의해서도 미국의 Great Plain States의 경우 농경지에서 연간 약 10~14ton/acre의 토양침식이 이루어진다(USEPA, 1990c).

### 3.1 담수호수질보전은 유역관리에서 시작한다.

모든 담수호수질보호사업은 유역에서 유입되는 점원과 비점원오염 부하량 감소에서부터 시작해야 한다. 점원오염 처리에는 유역내 생활하수 및 산업폐수를 처리할 수 있는 환경기초시설을 확충하고, 특히 담수호 바로 주변에 위치한 음식점이나 축산농가와 같은 잠재적인 오염원의 집중관리가 필요하다.

유역내 농경지의 농업방법도 농업비점원오염 때문에 매우 중요하며, 최적관리기법을 통한 토사유실방지와 통합적인 농약과 비료관리 등이 적용되어야 할 것이다. 통합농약관리는 최대의 효율성과 오용이나 낭비를 최소화시킬 수 있도록 가장 좋은 농약 투여시점과 취급방법을 고려하는 기법이다. 다른 대안으로는 저항성 식물의 개발, 윤작, 그리고 생물학적 통제방법 등이 있다. 비료관리에서는 담수호에 미치는 영향을 최소화하면서 식물성장을 최적화 할 수 있는 적절한 비료 살포시기와 적정량을 생각한다. 이러한 비료와 농약의 관리방법들은 비용을 절감하게 하는데, 적정량이 적기에 투입되기 때문이다. 이것은 비료와 농약의 필요한 사용 회수와 분량을 감소시키게 되며, 지역의 농촌지도소에서 도움을 받을 수 있다.

일단 담수호 주변에서 개인 소유의 가정과 농경지 등에서 최적관리기법을 시작하고 나면, 다음에는 공동으로 추진할 수 있는 담수호보호작업에 착수하게 된다. 담수호주변 주민들은 공동으로 담수호에 영양물질이나 퇴적물의 유입을 감소시킬 수 있는 여러 가지 작은 사업들을 할 수 있다. 예를 들면, 도로 옆에 있는 갓돌 (curb)와 街渠 (gutter)를 없애서 도로의 표면 유출수가 잔디지역으로 흐르도록 하여 영양물질이나 퇴적물을 여과하게 한다. 다른 최적관리기법으로서는, 식물적 안정화, 수초수로, 하천변관리, 하천제방

안정화, 그리고 저류/침전지 등이다. 이러한 기법들은 모두 유기물, 실트, 그리고 영양물질의 담수호 유입을 감소하는데 쓰인다. 하천변에서는 자연적인 식물성장을 조장해야 한다. 만약에 식물이 없어지면 다시 심어야 한다. 침식에 강한 식물을 자연 또는 인공수로에 심어서 수초수로를 형성하는 것과는 다른 형태로 권장할 만한 기법이다. 개념적으로, 식물적 안정화는 수초수로나 하천변 관리와 유사하나, 침식에 강한 식물을 이용하여 급경사와 같이 침식에 예민한 지역을 안정화시킨다. 그러나, 담수호에 유입하는 하천의 제방이 식재만으로는 부족할 것이며, 다른 방법으로서 잘 골라진 돌들을 침식이 이루어지는 곳에 쌓는 것 (riprapping)이다. 경우에 따라서는, 돌을 쌓기 전에 모래나 섬유와 같은 것을 먼저 놓아야 할 때도 있을 것이다. 어떤 지역은 표면유출수의 유속을 임시 감소시키고 무거운 고형물들을 가두기 위하여 저류/침전지의 설치가 필요할 수도 있다. 어떤 지역에는 인공습지를 형성하여 홍수범람을 감소시키고 퇴적물과 영양물질을 가두어 놓기도 한다.

대규모 유역에서는 문제가 더욱 복잡해진다. 담수호관리부서에서는 담수호에 크게 관심이 없을 수도 있는 담수호 주변에 주거하지 않는 재산 소유주, 개인사업자, 관청담당자, 그리고 시군의 계획과 담당자 등과 일을 함께 해야 한다. 건설이나 다른 토지이용활동이 지역조례나 토지구역의 변경에 허가가 필요한 경우도 있다. 관리부서는 비식물성 토양 안정화, 교란된 구역의 경계관리, 그리고 거친 표면 형성 등의 최적관리기법을 적용하기 위한 건설사업도 적용해야 할 경우도 있다. 비식물성 토양 안정화는 교란된 구역을 멀칭, 그물, 깎 자갈, 화학적 접착제, 그리고 담요나 매트로 덮는 것이다. 이 최적관리기법은 장기적인 기법이 개발될 때까지 임시로 사용하는 기법이다. 교란된 구역의 경계 관리는 건설활동에 의하여 교란되는 구역을 최소화하기 위한 상식적인 접근방법 정도이다. 만약 식물이 제거되면, 노출된 토양에 표면을 거칠게 할 수 있다.

유역면적이 담수호 면적에 비하여 증가하면서, 유역의 관리에 소요되는 비용이 증가하며 더 복잡해진다. 그런데, 유역내 모든 지역이 똑같은 비중으로 부하량 감소에 중요한 것이 아니고, 가장 심하게 영향을 미치는 구역들을 찾아 효율적으로 자원을 사용하는 것이 중요하다. 여기에서 심하게 영향을 미치는 구역이란 가장 많은 토사와 영양물질을 담수호나 유입하천에 배출하는 곳으로서, 모델링을 통하여 찾아내는 경우도 있다. 유역관리에 관한 주민들의 교육프로그램도 중요하다. 어떤 사람들은 담수호에 비점원오염을 부하시키는 이유가 단지 그들의 행동이 담수호에 미치는 영향에 대하여 인식이 부족한 때문인 경우도 있다.

유역의 비점원오염을 감소시킬 수 있는 최적관리기법을 찾는 데에는 다음과 같은 몇 단계를 거치면서 결정한다.

1단계: 잠재적 오염원인을 파악하라. 담수호 주변 건물에서 시작하여 담수호 주위와

유역으로 이동하면서 오염원들을 파악하여야.

2단계 : 오염부하에 심하게 영향을 미치는 중요한 구역을 찾아라. 이 구역은 담수호에 영양물질과 퇴적물의 대부분을 공급하는 구역들이다. 모든 구역이 반드시 동일하게 담수호문제에 기여하는 것은 아니다. 중요한 구역을 찾아내는 방법으로는 우선 상식에 의한 판단이다. 만약에 농부가 하천변을 경운한다면, 축사가 하천이나 담수호변에 위치한다면, 하천변의 식물이 깨끗하게 잘려있다면, 이들은 중요한 구역이 될 가능성이 있다.

3단계 : 유역관리기법을 시작하라. 일반적인 최적관리기법들은 앞에서 언급하였으며, 이들은 원래 수질개선 목적으로 개발된 것이 아니다. 일반적으로, 어느 한가지 최적관리기법만으로도 적합하지 않고 여러 기법들이 통합적으로 사용되어야 한다.

4단계 : 자원의 분배를 효율적으로 결정하여야. 대부분의 수질보전대책에는 자원이 제한적이다. 어떤 유역관리계획에서도 먼저 시작하기 가장 좋은 곳은 담수호 주변이다. 담수호 주변의 지역적인 문제들을 효과적으로 해결하고 나면, 상류 유역에 점차적으로 확대하기에 용이할 것이다. 상식이 열쇠이다.

5단계 : 규제 조항과 구획 제한을 검토하여야. 담수호 문제를 해결하기 위하여 토지와 담수호 이용에 활용할 수 있는 시간과 공간적 규제조항과 구획제한을 고려하여야. 담수호 사용 중에서 어떤 용도의 사용이 가장 우선 순위가 높으며, 이들을 달성하기 위한 관리가 가능한지를 결정하는 것이 중요하다.

6단계 : 방법들을 조합하여 적용하여야. 유역과 담수호내 복원의 통합적인 계획을 고려하여야. 효율적인 담수호관리계획을 개발하기 위해서는, 모든 가능한 방법이 고려되어야 한다.

## 3.2 점원과 비점원오염 개선사업의 사례

### 3.2.1 Lake Washington - 점원오염 우회배수

Lake Washington은 하수처리방류수의 우회배수를 통하여 수질개선을 이룬 대표적인 성공 사례이다. 1958년, Lake Washington에서 하수를 우회시킬 것인가에 대하여 투표를 실시하였으나, 1963년까지 실시되지 않았다가 1968년에 시스템이 완성되었다. 첫 번째 우회배수를 통하여 방류수 28%의 유입이 중단되었으며, 호소수질은 더 이상의 악화가 정지하였고, 5년간의 우회기간 동안 담수호는 개선되기 시작하였으며, 1967년과 1968년 사이에 수질이 급격히 개선되었다. Edmondson (1972)에 의하면 지표수의 인 농도가 최대값의 약 1/4 수준으로 감소하였고, 미세식물의 농도도 감소하였으며, 투명도는 증가

하였다. 현재까지의 호소복원사례에서 가장 성공적인 사례중의 하나이다.

### 3.2.2 Annabessacook Lake, Cobbosse Lake, and Pleasant Pond :

#### 점원오염우회/비점원오염관리/호소내처리

Annabessacook Lake는 호소 복원의 요행성 (hit or miss) 접근의 사례로서, 오랫동안 Maine주에서 가장 오염된 담수호이었다. 1964년부터 1971년까지, 주민들은  $CuSO_4$  (copper sulfate)를 매년 투입하며 藻類문제를 해결하려고 노력하였다. 그러나 해마다 갈수록 효과의 지속기간이 짧아지고 저항성 藻類가 번성하게 되어서, 1969년에는 하수를 호소에서 우회하기 위한 단계에 들어갔다. 우회공사는 개선을 가져왔으나 조류성장은 계속 문제이었다. 복원을 가속시키기 위하여 심층수 폭기가 설치되었으나, 긍정적인 반응이 없었다. 세 개의 호소 (Annabessacook Lake, Cobbosse Lake, 그리고 Pleasant Pond)는 연결되어 있는데, 수질개선을 위한 30년간의 고투 끝에 담수호 주변 재산 소유주들, 지역 관리들, 관심있는 사람들이 모여서 Cobbossee Water District를 구성하였으며 이것은 준정부기관이었다. 그들은 세급기관, 연방정부 사업보조, 농업부문 예산 등의 도움을 받아서 종합적인 복원계획을 세우기 위하여 비점원오염에 관한 공식적인 연구를 수행할 수 있었다. Pleasant Pond에는 농업에 의한 인 부하가 비점원오염에 지배적이었고, Annabessacook Lake와 Cobbosse Lake에서는 두 번째로 중요한 요인이었다. Annabessacook Lake에서는 호소내 퇴적물이 주요 비점원오염이었다. 신중한 고려 끝에 두 가지 접근방법이 취해졌다. 하나는 농업폐기물관리계획이 유역에서 시작되었고, 다른 하나는 호소 수체(水体)에서 영양물질의 제거되었다. 유역의 주요 농업활동은 젓소와 가금류 농장이고, 대부분의 농민들이 분노를 얻은 대지나 눈 위에 살포하였다. 폐기물관리계획을 적용하기 위하여 6개월 동안 저장할 장소를 찾아야 했다. 축산폐기물관리 (겨울 동안 저장)와 인의 제거를 위한 alum (aluminum sulfate)과 sodium aluminate의 혼합 사용에 의해 인의 총부하량이 약 45% 감소하였다. 호소사용자의 관점에서 보면 물의 탁도 개선은 긍정적인 이득이 있었다 (USEPA, 1980).

### 3.2.3 East and West Lakes : 정화조 유출수의 우회배수

정화조 유출수의 우회배수와 alum처리의 결과는 EPA에서 지원하는 사업의 일부이다. 이 사업은 조건이 좋은 토양에 위치해도 정화조 유출수가 호소에 영향을 미칠 수 있다고 밝혀지면서 추가되었다. 정화조 유출수를 우회시키기 전에는, East and West Lake에 대장균의 수준이 260colonies/100mL까지의 높은 수준이다. 대장균의 수질기준은 200colonies/100mL이며 그 이상이면 접촉성 레크리에이션이 금지된다. 우회시킨 후에는 대장균 수준이 급격히 감소하여 지하수, 하천, 그리고 호소에 거의 없었다. 비록 정화조

가 이상적인 곳에 위치하였지만, Cooke 등 (1978)은 침출구역에 나무에 앉아 있는 듯 떠있는 지하수위 (perched water table)가 침출구역을 막히게 하고 투수성을 저하시키는 원인이라고 판단하였다. 이러한 상황은 많은 영양물질과 대장균들이 잔디에서 세척되어 고랑과 샅강을 거쳐 호소에 이르게 된다. 호소내에서 인의 동반 감소는 관측되지 않았는데, 이유는 호소가 계속하여 처리하지 않은 우수와 부영양담수호에 다른 일반적인 다양한 비점원오염을 받아들이고 있었기 때문이다. Cooke 등은 정화조 유출수의 우회가 점점 악화되어 모든 휴양활동이 금지될 뻔한 상황을 방지하였다고 결론지었다 (Cooke et al. 1978).

몇 가지 사례에서 알 수 있듯이 호소수질은 원인을 파악하고 그에 적절한 대책을 세워서 복원노력을 기울이면 해결이 가능한 문제이다. 관련부처, 호소관리자, 호소사용자, 그리고 유역내 주민들이 모두 합심하여 호소수질 악화방지를 위해 노력하면 달성가능한 작업이라고 할 수 있다. 호소수질의 개선효과가 가시적으로 나타나기까지는 일정기간 동안의 지속적인 노력이 요구된다. 복원방법을 적용하자마자 곧바로 효과가 나타나지 않을 수도 있으며, 지속적으로 끈기있게 수질보호 및 복원을 위해 노력할 때 우리가 원하는 수질의 풍부한 수자원을 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

#### 4. 결 론

간척사업은 국가적 사업으로 1970년대부터 진행되어 오고 있으며, 현재에도 새만금지구를 포함하여 여러 곳에서 간척사업이 진행되어 이에 따른 하구담수호들이 조성되고 있다. 이렇게 조성된 담수호는 수자원 확보차원에서 국가적인 유익을 준 것은 사실이나, 한편으로는 자연지형을 인공적으로 변형시킴으로서 수질문제를 비롯한 환경문제에 대한 우려하고 있다. 이 글에서는 담수호수질 보전방안을 찾고자 수질에 영향을 직접적으로 미치는 유역관리에 관하여 검토하였다.

유역에서 유입되는 오염부하에는 점원오염과 비점원오염 형태가 있는데, 점원오염은 처리가 비교적 용이하며 근래에 관련부처의 노력을 고려할 때 가시적인 성과가 나타날 수 있다. 반면에, 비점원오염은 광범위하게 발생하는 특성상 통제가 어렵고 효과도 불확실하기 때문에 더 많은 노력을 기울여야 하지만 현실은 그렇지 못하다. 따라서, 담수호 수질문제에 대한 정책이나 대책을 세울 때 점원오염과 마찬가지로, 구체적이고 실행가능한 비점원오염 억제에 관한 계획도 포함시켜야 한다.

하구담수호 문제를 대할 때 우리의 기본적인 시각이 중요하다. 기존에 조성된 담수호들의 현황과 우리보다 간척역사가 긴 외국의 사례들을 종합적으로 검토하여 균형잡힌 시각으로 객관적인 판단을 내릴 필요가 있다. 네덜란드의 간척은 부정적인 면이 없는 것

은 아니나, 현재 간척으로 생성된 토지는 국토의 중요한 일부분으로서 성공적으로 사용하고 있으며, 하구담수호도 수자원으로서 뿐만 아니라 생태적인 측면에서도 매우 유용하게 활용되고 있다. 지금 우리에게 필요한 것은 간척사업에 의하여 예상되는 환경영향이 두려우니까 간척사업을 중단하자는 주장보다는, 국가의 통합적 자원관리차원에서 필요한 사업이라면 부작용을 최소화시키면서 원하는 목적을 달성할 수 있는 방안을 찾기 위한 진지한 노력이라고 생각한다. 방조제 건설로서 훼손되는 갯벌이나 연안생태계에의 악영향, 조성되는 하구담수호 수질보전의 어려움, 그리고 전반적인 생태계의 교란 등 예상되는 부작용들이 과연 우리가 아무리 노력하여도 줄일 수 없는 정도인가 재검토해 볼 필요가 있다. 어떤 사업이나 정책의 잘못되고 부족한 부분을 지적하기는 쉬우나, 균형잡힌 건전한 판단으로 건설적인 대안을 제시하기는 쉽지 않다. 필자도 개인적으로 환경공학을 전공한 사람으로서 간척사업의 환경문제해결에 우리 환경분야에 종사하는 사람들의 노력이 부족하지 않았나 생각한다.

일부에서는 아무리 노력해도 담수호수질 보전이 불가능하다는 정도의 비관적인 견해도 있는 것 같다. 물론, 시화호의 사례에서처럼 수질보전이 손쉽게 해결되는 것은 아니다. 그러나 또한 불가능할 정도로 어려운 문제는 더욱 아니라고 생각한다. 어려움을 겪었던 시화호사례의 원인을 면밀히 분석하여, 다른 지역에서는 그러한 전철을 따르지 않도록 미리 대책을 세우면서 사전에 준비하는 것이 중요하다. 하구담수호수질은 간척사업이 진행되는 과정에서 사전에 충분히 준비하여 대처하면 우리가 사용하기에 불편하지 않을 정도의 수질은 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 국가차원의 필요에 의하여 간척사업을 추진해야 한다면 우리 모두 힘을 합하여 성공적으로 간척사업들을 마무리하고, 거기에서 조성되는 하구담수호들의 효율적인 수질보전을 위해서 관련부처, 학계, 사업주체, 그리고 주민들이 모두 협력하여 역량을 결집하고 노력하는 지혜가 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. 권순국, 1998, 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안, 대한환경공학회지, 20(11), 1497-1510.
2. 환경부, 1988, 환경백서
3. Cooke, G. D., R. T., Heath, R. H. Kennedy, and M. R. McComas, 1978, Effects of Diversion and alum applications on two eutrophic lakes, EPA-600/3-78-033, Env. Res. Lab. Off. Res Div. USEPA, Coravllis, OR.
4. Edmondson, W. T., 1972, Nutrient and Phytoplankton in Lake Washington,

- pp172-193. In G. E. Lokens, ed., Nutrient and Eutrophication, The Limiting Nutrient Controversy, Spec. Symp. Vol. 1, Am. Soc. of Limn. Oceanogr.
5. Farber, K. D., and G. L. Rutledge, 1988, Pollution abatement and control expenses, 1983-86, Survey of Current Business.
  6. Grover, R. C., 1991, Nature, transport, and fate of airborne residues, pp.90-117. In: R. Grover and A. J. Cessna (eds), Environmental Chemistry of Herbicides, Vol. 2, CRC Press, Boca Raton, FL.
  7. Lettenmaier, D. P., E. R. Hooper, C. Wagner, and K. B. Faris, 1991, Trends in stream water quality in continental United States, 1978-1987, Water Resources Research, 27:327-340.
  8. NRC, 1989, Alternative Agriculture, Committee on the Role of Alternative Farming Methods in Modern Production Agriculture, Board of Agriculture, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC, 448pp.
  9. USEPA, 1980, Capsule Report, Lake Restoration in Cobbossee Watershed, EPA-625/2-80-027, Center Env. Res. Inf. Off. Res Div., Cincinnati, OH.
  10. USEPA, 1983, Results of the Nationwide Urban Runoff Program, Vol. 1 Final report, WH-554, Water Planning Division, USEPA, Washington, DC.
  11. USEPA, 1990a, National Water Quality Inventory: 1988 Report to Congress, EPA/440/4-90/003.
  12. USEPA, 1990b, National Pesticide Survey, Project Summary, USEPA, Washington, DC.
  13. USEPA, 1990c, The Lake and Reservoir Restoration Guidance manual, 2nd edition, EPA-440/4-90-006, USEPA, Washing, DC.
  14. USEPA, 1993, Created and Natural Wetlands for Controlling Nonpoint Source Pollution, USEPA, C. K. Smoley.