

수계의 비점오염원 관리 - 대청호를 중심으로*

이 종 호

청주대학교 도시·지역계획학과

Management of Nonpoint Sources in Watershed - with reference to Daechong Reservoir in Korea *

Lee, Jong-Ho

Department of Urban and Regional Planning, Chongju University

Abstract

The purpose of this study is to analyze the pollutant loads and its distribution, and to suggest the management of nonpoint sources in Daechong Reservoir. The loads from point and nonpoint sources such as population, industry, livestock and land use were calculated per stream or river with topography(1:25,000) of the watershed of Daechong Reservoir.

The generating pollutant loads were obtained through multiplication of pollutant sources by generating pollutant quantity per unit pollutant source. The effluent point sources loads is defined as loads from wastewater treatment facilities such as domestic, industrial and livestock wastewater treatment facilities, which were calculated through multiplication of effluent flowrates by water quality constituents concentration. Untreated point sources loads were estimated to be 35 % of total point sources loads. The effluent nonpoint sources pollutant loads were obtained through the multiplication of generating nonpoint sources loads by effluent ratios based on previous studies. The effluent nonpoint sources loads have the ratio of 26.2% of total BOD effluent loadings, 20.1% of total T-N effluent loadings, and 10.5% of total T-P effluent loadings.

For the reduction of nonpoint sources loads in Daechong Reservoir, silviculture, artificial wet land, and grassed waterways could be applied. And untreated livestock waste scattered can result in nonpoint loadings, so required the livestock wastes treatment facilities and purifying facilities together with the management of shed, pasture, livestock waste storage site and

* 이 논문은 1999학년도 청주대학교 교비 학술연구조성비(일반과제)에 의해 연구되었음.

composting site. Finally, remote sensing and GIS should be applied to the identification of distribution of water quality, watershed, the location and scale of nonpoint sources, effluent process during rainfall, for more detailed analysis of nonpoint sources.

Keyword: nonpoint sources, water quality, point sources, watershed, Daechong Reservoir

I. 서 론

그 동안 수질개선을 위해 많은 하폐수종말처리장, 공단폐수처리장, 축산폐수처리장 등이 건설되어 점오염원관리에 많은 기여를 해 왔으나, 아직도 하수도 보급이 충분치 않아 오폐수가 인근 하천이나 강, 호수 등 수계에 그대로 유입되는 지역도 상당히 있다.

이와 같이 현재 점오염원 관리도 미흡하지만, 향후 철저하게 이뤄지더라도 점오염원 관리만으로는 수질환경기준의 달성이 어려운 실정이다. 그 이유는 비점오염원 부하가 점오염원 부하와 비슷하거나 더 클 수도 있기 때문이다. 미국의 호수 45%가 오염되었는데, 오염된 호수의 76%는 비점오염원에 의한 것이고 점오염원에 의한 것은 11%에 불과한 사실을 보아도 알 수 있다.¹⁹⁾

점오염원관리가 거의 해결된 미국도 공공수역의 수질기준과 목표가 제대로 달성되지 않자 1970년대 중반부터 비점오염원 연구에 들어가게 되었다. 우리나라의 경우 1994년에 비점오염원에 대한 토지이용별 원단위 조사와 전국적인 오염기여도 조사를 실시한 바 있으며, 1997년의 물관리종합대책에서 비점오염원 관리부분이 정부계획으로 도입되면서 중요성이 인식되고 있다.⁶⁾

비점오염원물질은 주로 퇴적 유기물질과 영양물질인데, 본 연구에서는 특히 대청호의 부영양화를 해결하기 위한 차원에서 비점오염원의 현황과 특성을 살펴보고 대청호에 적합한 비점오염원 관리방안을 모색하고자 한다.

II. 비점오염원의 의의와 관리 현황

1. 비점오염원의 의의

1) 비점오염원과 총량규제

우리나라에서는 생활하수나 산업폐수와 같은 점오염원도 하수관거의 미비, 하폐수처리시설의 부족, 처리수준의 미흡으로 제대로 관리되지 못해 수계의 수질이 개선되고 않는 데다가 농경지, 산림, 도로, 소규모 축산농가의 축산폐수 등과 같은 비점오염원의 관리를 제대로 하지 못해 수질 개선의 가능성을 더욱 어렵게 하고 있다.

이러한 상황에서 수계의 수질관리를 위해 총량규제 즉 오염총량관리제를 시행할 예정인 바,¹⁶⁾ 이를 위해서는 수용 수계의 환경용량을 구해야 하는 데 그 근거로 제시되는 것이 수계의 자정능력(self purification)이다. 수계의 자정능력은 여러 요인에 의해 변동될 수 있는 데 인위적인 하폐수 처리능력까지 합한 값으로 거론되기도 한다. 미국 환경청에서는 총량규제 실시 근거로 TMDL(total maximum daily load)을 사용하고 있는 바, 배출허용기준이나 엄격배출허용기준의 적용에도 불구하고 수질기준을 달성할 수 없을 때 적용된다. TMDL은 자연정화능력(WAC)과 자연부하량(BL)의 합 또는 점오염원에 대한 부하할당량(WLA)과 비점오염원 부하량(LA_{NP}) 그리고 자연부하량(BL)의 합으로서, 수질기준의 준수 조건 하에서 수체에 배출될 수 있는 양으로 볼 수 있다. 여기에다가 수질목표달성을 위한 안전한계선(MOS)을 포함하는 오염부하량 할당과 미래성장을 대비한 예비용량(reserve capacity for future

growth)을 포함하기도 한다. 부하할당량은 수학적 인 수질예측모형으로 계산할 수 있다.¹⁷⁾

$$\begin{aligned} \text{TMDL} &= \text{WAC} + \text{BL} \\ &= \text{WLA} + \text{LA}_{NP} + \text{BL} + \text{MOS} + (\text{reserve capacity for} \\ &\quad \text{future growth}) \leq \text{LC} \\ \text{TMDL}(\text{total maximum daily load}) &= \text{1일 최대 총부하량} \\ \text{LC}(\text{loading capacity}) &= \text{부하용량} \\ \text{WAC}(\text{waste assimilative capacity}) &= \text{자연정화능력} \\ \text{BL}(\text{natural background loads}) &= \text{자연부하량} \\ \text{WLA}(\text{allowable point source loads}) &= \text{점오염원에 대한} \\ &\quad \text{부하할당량} \\ \text{LA}_{NP}(\text{nonpoint source loads}) &= \text{비점오염원부하량} \\ \text{MOS}(\text{margin of safety}) &= \text{안전한계선} \end{aligned}$$

하천이나 호수의 부유물질의 반정도와 영양물질의 80%이상이 비점오염원에서 발생하고 있으며, 특히 도시지역 하천의 각종 유기독성물 및 중금속이 주로 비점오염원에서 발생되고 있는 것을 보면 비점오염원 관리의 중요성을 알 수 있다. 비점오염원 부하는 발생량, 발생장소, 이동경로 등이 불명확하고 강우에 따라 부하량의 변화가 커서 정량적으로 측정하거나 예측하기가 곤란하나, 그 비중이 워낙 크기 때문에 총량규제를 실시할 때 비점오염원 부하분석은 필수적이라 하겠다.

2) 비점오염원 부하와 누적영향평가

비점오염원 부하량을 산정한 후 수문학적 비점오염원 수질예측모형을 이용하여 지하수, 하천, 호수, 연안수의 유량이나 오염물질의 흐름을 추정하여야만, 개발사업이 수질 환경에 미치는 직접적인 영향은 물론이고 누적 영향을 제대로 예측·평가할 수 있을 것이다.

여기서 누적 영향(cumulative impacts)은 다음과 같은 환경영향들을 포함한다. 즉 부가적 영향(additive impacts)은 환경영향평가 대상사업이 되지 않는 개발사업이 초래하는 환경영향이고, 상승적 영향(synergistic impacts)은 여러 개별사업이 초래하는 각각의 환경영향의 합보다 크게 나타나는 환경영향이다. 그리고 임계영향(threshold/

saturation impacts)은 환경용량이나 자정능력을 초과하게 하는 환경영향을 뜻하고, 유도되거나 간접적인 환경영향(induced and indirect impacts)은 어느 개발사업이 유발시킨 다른 개발 사업에 의한 환경영향을 의미한다. 시간적 혼잡영향(time-crowded impacts)은 환경혼란이 일어난 후 환경시스템이 복구되기도 전에 다른 환경혼란이 일어나는 것을 의미하고, 공간적 혼잡영향(space-crowded impacts)은 환경혼란이 일어난 장소와 다른 환경혼란이 일어난 장소사이의 거리가 첫 번째 환경혼란이 제거되거나 확산되는 데 요구되는 거리보다 적을 때 발생하는 것을 의미한다.²⁰⁾

2. 비점오염원 관리의 배경과 현황

1) 우리나라

1994년에 토지이용별 원단위 조사 및 전국적 오염기여도 조사(환경부, 비점오염원 조사연구, 1995)가 이뤄졌다. 1997년에 비점오염원 관리가 정부계획에 처음으로 도입되어, 첫째 장마 전에 대청소를 실시하도록 하고, 둘째 비점오염원으로 작용하는 목재, 석탄 등을 취급하는 사업장, 폐기물 보관·처리장, 자동차 정비업소, 건설 공사장 등을 특별관리하기 위해 수질환경보전법 등에 우수배출제도의 도입방안을 검토하고, 셋째 농촌지역 비점오염원 관리를 시행하게 되었다(국무총리 수질개선 기획단, 물관리 종합대책, 1997).

1998년에 정부종합대책에 비점오염원 관리를 포함하여,¹⁰⁾ 첫째 수변구역을 지정하여 팔당호, 남한강, 북한강 및 경안천 수변 500m - 1km 이내 지역의 토지를 매수하여 초목지대를 조성함으로써 초기 강우에 의한 비점오염물질을 정화하도록 하고, 둘째 수원 함양림을 지정하며, 셋째 특별대책지역내 읍이상의 시가지지역에 도시 저류지를 건설하여 초기 강우에 의한 비점오염물질을 침전·처리후 방류하도록 하였다. 넷째 농업 비점오염원 관리방안으로 화학비료 대신 축산분뇨 자원화

를 통해 질소·인 등 영양물질을 공급하고, 오리 농법을 통해 무농약·무화학비료 벼농사를 확대하고, 천적 공급을 통한 농약 사용을 감축하며, 농경배수로와 하천이 접하는 지역에 토지를 확보하여 습지 정화시설을 설치하여 자연정화방법에 의한 질소·인을 제거하도록 하였다. 다섯째 사업장 비점오염물질 최소화를 위해 화학, 목재, 광산 등 강우에 의하여 오염물질이 공공수역으로 유입될 가능성이 있는 업종에 대해서는 비점오염물질 배출사업장으로 지정하여 제도적 관리방안을 추진하며, 여섯째 차수막과 침출수 처리장을 갖추지 아니한 비위생 쓰레기 매립지를 정비하여 강우 유출에 의한 비점오염부하를 최소화하도록 하였다.¹²⁾

2) 미국

1975년 비점오염원 연구가 시작되어 연방정부는 청정수법(Clean Water Act)을 근거로 주 정부를 지원하고, 주정부는 최적 관리(Best Management Practices : BMPs), 유역관리와 토지이용계획, 비점오염규제법 제정 등을 실시하고 있다. 1990년 Coastal Zone Act Reauthorization Amendments제정과 함께 해안지역의 州는 비점오염원 규제를 법제화하게 되었는데, 주요 내용은 강우 유출수 허가제도이다. 1990년 1단계 강우 유출수 규제기준을 제시하여 이전까지 비점오염원으로 규정되었던 공업활동 및 건설현장에서의 우수 유출수를 점오염원에 포함시켜 1992년 10월초까지 NPDES(National Pollutant Discharge Elimination System)허가를 받도록 규정하고 있다.¹²⁾

III. 대청호 비점오염원 현황 분석

1. 발생오염부하량

BOD의 경우 대청호 분류 I에서 대청호 전체 발생오염부하량의 20.8% 즉 10,370kg/day로서 유

입 지천 중에서 제일 많이 발생하고 있으며, 보청천에서 16.5% 즉 8,366kg/day로서 두 번째로 많이 발생하고 있다. 부문별 점유비율을 보면 인구 37.6%, 산업 1.4%, 토지이용 35.1%, 축산 25.9%인 바 비점오염원인 토지이용이 인구와 함께 큰 비중을 가지고 있다.

T-N의 경우 대청호 분류 I에서 대청호 전체 발생오염부하량의 22.8% 즉 1,988kg/day로서 유입 지천 중에서 제일 많이 발생하고 있으며, 보청천에서 16.7% 즉 1,458kg/day로서 두 번째로 많이 발생하고 있다. 부문별 점유비율을 보면 인구 28.7%, 토지이용 47.9%, 축산 23.5%인 바 비점오염원인 토지이용이 제일 큰 비중을 가지고 있다.

T-P의 경우 대청호 분류 I에서 대청호 전체 발생오염부하량의 22.8% 즉 285kg/day로서 유입 지천 중에서 제일 많이 발생하고 있으며, 보청천에서 17.5% 즉 219kg/day로서 두 번째로 많이 발생하고 있다. 부문별 점유비율을 보면 인구 42.1%, 토지이용 24.1%, 축산 33.8%인 바 인구가 제일 큰 비중을 가지고 있다.

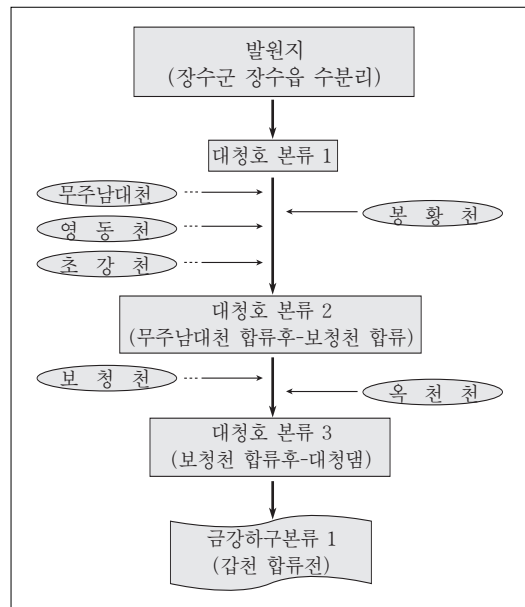


그림 1. 금강 분류 수계 모식도

표 1. 대청호 발생오염부하량

분류·지천명	BOD (kg/day)					T-N (kg/day)					T-P (kg/day)				
	인구	산업	축산	토지이용	계	인구	산업	축산	토지이용	계	인구	산업	축산	토지이용	계
대청호 분류 I	3,423	53	3,540	3,354	10,370	465	-	563	960	1,988	98	-	124	63	285
무주남대천	1,242	14	824	1,111	3,191	165	-	130	363	658	35	-	24	17	76
봉황천	2,413	15	764	905	4,097	317	-	118	247	682	67	-	25	13	105
영동천	1,455	10	372	245	2,082	175	-	64	64	303	37	-	20	3	60
초강천	2,055	34	1,718	2,349	6,156	281	-	275	616	1,172	59	-	56	34	149
대청호 분류 II	1,636	255	924	3,897	6,712	235	-	145	649	1,029	49	-	26	67	142
보청천	2,701	86	2,944	2,635	8,366	359	-	472	627	1,458	75	-	101	43	219
소 계	14,925	467	11,086	14,496	40,974	1,997	-	1,767	3,526	7,290	420	-	376	240	1,036
옥천천	2,610	240	842	796	4,489	336	-	131	196	663	71	-	23	13	107
대청호 분류 III	1,162	1	963	2,187	4,313	167	-	148	455	770	35	-	23	48	106
총 합 계	18,697	708	12,891	17,479	49,776	2,500	-	2,046	4,177	8,723	526	-	422	301	1,249

자료) 금강환경관리청, 1998, '97 금강중권역 수질오염원 현황.

2. 점오염원부하량

산업폐수처리시설(표 3), 축산폐수처리시설(표

점오염원부하량(표 6)은 하폐수처리시설(표 2), 4), 분뇨처리시설(표 5)의 부하량을 합하여 구하

표 2. 대청호 하폐수처리시설의 배출오염부하량

구 분	위 치	시설용량 (톤/일)	방류수역	BOD(kg/일)		T-N(kg/일)		T-P(kg/일)	
				유입수	방류수	유입수	방류수	유입수	방류수
하수종말 처리장	충북 보은	6,000	보청천	328.5	17.7	96.3	59.4	5.1	3.6
	충북 영동	8,000	영동천	395.2	19.6	121.2	105.2	7.2	5.2
	충북 옥천	18,000	옥천천	1,204.2	19.8	315.9	142.2	32.4	2.7
	충남 금산	10,000	봉황천	-	200.0	-	600.0	-	80.0
	충북 품곡	500	대청호 분류 III	8.95	1.95	11.55	5.6	0.3	0.05
	전북 무주	4,800	무주남대천	-	96.0	-	288.0	-	38.4
	소 계	47,300		-	355.06	-	1,200.4	-	129.95
간이오수 종말처리장	충북 동이	210	옥천천	1.87	0.54	6.78	2.81	0.17	0.07
	충북 삼승	400	보청천	20.02	2.44	9.22	2.60	0.48	0.09
	충북 회북	330	보청천	23.73	1.35	12.84	7.29	0.54	0.21
	충북 안내	180	대청호 분류 III	4.86	0.44	4.10	1.85	0.14	0.05
	충북 안남	160	대청호 분류 III	13.14	0.56	6.26	3.93	0.33	0.11
	충북 노현	150	대청호 분류 III	2.72	1.46	1.42	1.04	0.11	0.08
	충남 제원	300	봉황천	-	6.0	-	18.0	-	2.4
소 계	1,730		-	12.79	-	37.52	-	3.01	
합 계		49,030		-	367.85	-	1,237.92	-	132.96

자료) 1. 환경부, '99 4/4분기, 2000 1/4분기 하수종말처리시설 수질분석 결과(환경부 홈페이지)

2. 충남 금산, 충북 품곡, 전북 무주는 한국수자원공사, 1998, 다목적댐 수질환경연감, p. 89 참조.

주) 충남 제원의 경우 시설용량에다 방류수 수질기준 BOD=30(mg/l), T-N=60(mg/l), T-P=8(mg/l)을 적용.

표 3. 대청호 산업폐수처리시설의 배출오염부하량

구 분	위 치	시설용량 (톤/일)	방류수역	BOD (kg/일)	T-N (kg/일)	T-P (kg/일)	
공단폐수	충남 제원	1,500	대청호 본류 II	45.0	90.0	12.0	
농공단지 오폐수	충남 금성	300	봉황천	9.0	18.0	2.4	
	충북 동이	320	대청호 본류 II	9.6	19.2	2.56	
	충북 영동	150	영동천	4.5	9.0	1.2	
	소 계	770		68.1	136.2	18.16	
폐수 배출 업소	한국타이어	충남 제원	90/ 200	대청호 본류 II	2.7	5.4	0.72
	금강개발	충북 동이	650/1,200	대청호 본류 II	19.5	39.0	5.2
	중화시설	충북 옥천	650/1,950	옥천천	19.5	39.0	5.2
	해태산업	충북 옥천	400/ 500	옥천천	12.0	24.0	3.2
	국제종합기계	충북 옥천	120/ 200	옥천천	3.6	7.2	0.96
	동일페브릭	충북 옥천	2,000/2,500	옥천천	60.0	120.0	16.0
	진미식품	충북 보은	60/ 70	보청천	1.8	3.6	0.48
	에버그린	충북 외속리	60/ 80	보청천	1.8	3.6	0.48
	두산상사	충남 금산	50/ 200	봉황천	1.5	3.0	0.4
	쌍방울개발	전북 설천	800/6,000	무주 남대천	24.0	48.0	6.4
	소 계		4,880/12,900		146.4	292.8	39.04
합 계		15,170		214.5	429.0	57.20	

자료) 폐수배출업소는 한국수자원공사, 1998, 다목적 댐 수질환경연감, 68 참조.

주) 시설용량에다 방류수 수질기준 BOD=30(mg/l), T-N=60(mg/l), T-P=8(mg/l)을 적용.

였는데, 지천별 점오염부하량은 1 : 25,000 지형도를 이용하여 유입 지천별로 분류하여 구하였다. 하폐수처리시설의 배출부하량은 방류수 농도(환경부, '99 4/4분기 및 2000 1/4분기 하수종말처리시설 수질분석결과)와 시설용량을 곱해서 구하였다. 산업폐수처리시설, 축산폐수처리시설, 분뇨처리시설 등의 배출오염부하량은 방류수 농도를 측정하지 못해 각 시설용량에다 방류수 수질기준을 곱해서 구하였다.

BOD의 경우 봉황천의 부하량이 대청호 전체 점오염부하량의 34.8%(358.6kg/day)로서 제일 많이 발생하고 있으며, 두 번째로 보청천이 전체부하량의 18.3%(188.8kg/day)를 발생하고 있다. 부문별 점유비율을 보면 인구 35.6%, 분뇨 21.9%, 축산 21.6%, 산업 20.8%로 인구가 제일 큰 비중을 가지고 있다.

T-N의 경우 봉황천의 부하량이 대청호 전체 발생오염부하량의 36.0%(923.2kg/day)로서 제일 큰 비중을 차지하고 있고, 두 번째로 옥천천이 전체부하량의 16.9%(434.6kg/day)를 발생하고 있다. 부문별 점유비율을 보면 인구 48.2%, 분뇨 17.6%, 축산 17.4%, 산업 16.7%로 인구가 반정도 차지하고 있다.

T-P의 경우 봉황천의 부하량이 대청호 전체 발생오염부하량의 39.7%(123.2kg/day)로서 제일 큰 비중을 차지하고 있고 있다. 부문별 점유비율을 보면 인구 42.9%, 분뇨 19.5%, 축산 19.2%, 산업 18.5%로 인구가 제일 큰 비중을 가지고 있다.

3. 비점오염원 부하량

발생점오염부하량은 발생오염부하량중 인구, 산

표 4. 대청호 축산폐수처리시설의 배출오염부하량

구 분	위 치	시설용량 (톤/일)	방류수역	BOD (kg/일)	T-N (kg/일)	T-P (kg/일)
축산폐수 공공처리 시 설	전북 진안	100	대청호 본류 I	3.0	6.0	0.8
	전북 장수	100	대청호 본류 I	3.0	6.0	0.8
	충남 금성	70	봉황천	2.1	4.2	0.56
	전북 무주	50	무주남대천	1.5	3.0	0.4
	전북 적상	40	무주남대천	1.2	2.4	0.32
	전북 진안	100	대청호 본류 I	3.0	6.0	0.8
	전북 장수	100	대청호 본류 I	3.0	6.0	0.8
	소 계	560		16.8	33.6	4.48
축산농가 축산폐수 처리시설	충 북	3,630	보청천	108.9	217.8	29.0
	충 남	1,534	봉황천	46.0	92.0	12.3
	충 북	620	옥천천	18.6	37.2	5.0
		35	대청호 본류 II	1.1	2.1	0.3
		760	대청호 본류 III	22.8	45.6	6.1
	소 계	6,879		197.4	394.7	52.7
합	계	7,439		214.2	428.3	57.18

자료) 축산농가는 한국수자원공사, 1998, 다목적 댐 수질환경연감, 78-82를 토대로 작성하였고, 전북 무주, 전북 적상, 전북 진안, 전북 장수의 축산폐수공공시설은 상계서, 88-89 참조.

주) 시설용량에다 방류수 수질기준 BOD=30(mg/l), T-N=60(mg/l), T-P=8(mg/l)을 적용.

표 5. 대청호 분뇨처리시설의 배출오염부하량

위 치	시설용량 (톤/일)	방류수역	BOD (kg/일)	T-N (kg/일)	T-P (kg/일)
충북 군북	30	옥천천	0.90	1.8	0.24
충북 영동	1,294	영동천	38.82	77.64	10.35
충북 심천	15	대청호 본류 II	0.45	0.9	0.12
충북 탄부	25	보청천	0.75	1.5	0.20
충남 금산	3,134	봉황천	94.02	188.04	25.07
충북 옥천	1,006	옥천천	30.18	60.36	8.05
충북 심천	153	대청호 본류 II	4.59	9.18	1.22
충북 보은	1,800	보청천	54.00	108.00	14.40
전북 무주	15	무주남대천	0.45	0.90	0.12
전북 진안	45	무주남대천	1.35	2.70	0.36
장 수	30	무주남대천	0.90	1.80	0.24
합	계	7,547	226.41	452.82	60.37

자료) 한국수자원공사, 1998, 다목적 댐 수질환경연감, 88.

주) 시설용량에다 방류수 수질기준 BOD=30(mg/l), T-N=60(mg/l), T-P=8(mg/l)을 적용.

표 6. 대청호 배출점오염원부하량 (kg/day)

분류·지천명	BOD					T-N					T-P				
	인구	산업	축산	분뇨	계	인구	산업	축산	분뇨	계	인구	산업	축산	분뇨	계
대청호 분류 I	0.0	0.0	12.0	0.0	12.0	0.0	0.0	24.0	0.0	24.0	0.0	0.0	3.2	0.0	3.2
무주남대천	96.0	24.0	2.7	2.7	125.4	288.0	48.0	5.4	5.4	346.8	38.4	6.4	0.7	0.7	46.2
봉황천	206.0	10.5	48.1	94.0	358.6	618.0	21.0	96.2	188.0	923.2	82.4	2.8	12.9	25.1	123.2
영동천	19.6	4.5	0.0	38.8	62.9	105.2	9.0	0.0	77.6	191.8	5.2	1.2	0.0	10.4	16.8
초강천	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
대청호 분류 II	0.0	76.8	1.1	5.0	82.9	0.0	153.6	2.1	10.1	165.8	0.0	20.5	0.3	1.3	24.5
보청천	21.5	3.6	108.9	54.8	188.8	69.3	7.2	217.8	109.5	403.8	3.9	1.0	29.0	14.6	48.5
소 계	343.1	119.4	172.8	195.3	830.6	1,080.5	238.8	345.5	390.6	2,055.4	129.9	31.9	46.1	52.1	260.0
옥천천	20.3	95.1	18.6	31.1	165.1	145.0	190.2	37.2	62.2	434.6	2.8	25.4	5.0	8.3	41.5
대청호 분류 III	4.4	0.0	22.8	0.0	27.2	12.4	0.0	45.6	0.0	58.0	0.3	0.0	6.1	0.0	6.4
총 합 계	367.8	214.5	214.2	226.4	1,022.9	1,237.9	429.0	428.3	452.8	2,548.0	133.0	57.3	57.2	60.4	307.9

업, 축산에 의한 부하량이고 발생비점오염부하량은 토지이용에서 발생하는 부하량으로 정의한다.

처리대상 점오염부하량은 환경기초시설에 유입되는 오염부하량으로 정의하는데, 금강권역에서 현재 환경기초시설에 의해 발생오·폐수량의 65%가 처리되고 있으므로, 발생점오염부하량의 65%를 처리대상 점오염부하량으로 보고 계산하였고 따라서 미처리부하량은 발생점오염부하량의 35%로 보고 계산하였다.

배출점오염원부하량은 발생된 오염물질이 정화조, 또는 오폐수처리시설을 거쳐 일차적으로 처리된 후, 각 지천으로 배출되는 오염물질의 양인데, III. 2에서 서술한 바와 같이 하폐수처리시설의 경우 방류수의 수질항목농도와 시설용량을 곱하여 구하였고, 산업폐수, 축산폐수, 분뇨 등의 처리시설의 배출부하량은 방류수 수질기준과 시설용량을 곱하여 산정하였다. 처리장을 거치지 않은 부하량은 전량 하천으로 유출한다고 가정하였다.⁷⁾

유달(유입)부하량은 발생원으로부터 오폐수처리장을 거쳐 지천이나 소하천으로 배출된 배출부하량이 모여 큰 유입 하천으로 도달하는 부하량을 의미하며,¹⁾ 배출부하량에 비해 감소된 값을 보이는 데, 유달부하량과 배출부하량의 비가

유달률이다(그림 2).⁷⁾

비점오염원인 토지이용에서 발생하는 발생오염부하량은 토지종류별 오염발생원단위에다 토지면적을 곱하여 구해지지만, 토지이용으로부터 인근 지천에 유출되는 배출비점오염원부하량을 추정하는 것은 쉽지 않다. 이는 우리나라의 경우 강우현상이 불규칙적이어서 7, 8월에 연간강우량의 반 이상이 집중되며 강우강도가 불규칙하고 배출부하량은 강우강도, 토양, 경사도, 유출거리 등에 따라 크게 달라지기 때문이다. 비점오염원의 항목별 배출률을 10%로 추정하여 배출부하량을 구한

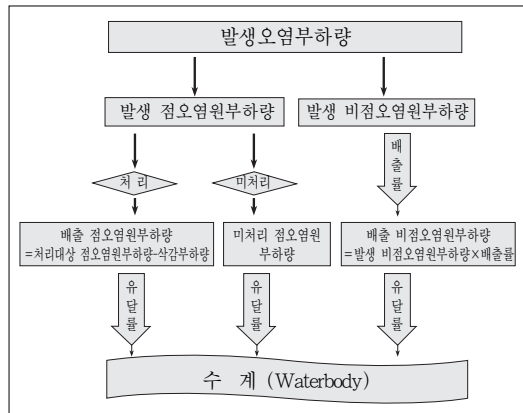


그림 2. 오염부하량 구성

표 7. 대청호 유입지천별 BOD 부하량 (kg/day)

	발생오염부하량			점오염원 부하				비점오염원부하	
	발생 점오염원 부하량 P	발생 비점오염원 부하량 NP	계 G=P+NP	처리대상 점오염원 부하량 P×0.65	삭감부하량 = P×0.65 - EP	배출오염부하량			
						배출 점오염원 부하량 EP	미처리 점오염원 부하량 P×0.35	배출 비점오염원 부하량 NP×0.25	계
대청호 분류 I	7,016	3,354	10,370	4,560.4	4,548.4	12.0	2,455.6	838.5	3,306.1
무주남대천	2,080	1,111	3,191	1,352.0	1,226.6	125.4	728.0	277.8	1,131.2
봉황천	3,192	905	4,097	2,074.8	1,716.2	358.6	1,117.2	226.3	1,702.1
영동천	1,837	245	2,082	1,194.1	1,131.2	62.9	643.0	61.3	767.2
초강천	3,807	2,349	6,156	2,474.6	0.0	0.0	1,332.5	587.3	1,919.8
대청호 분류 II	2,815	3,897	6,712	1,929.8	1,737.9	82.9	958.3	974.3	2,015.5
보청천	5,731	2,635	8,366	3,725.2	3,536.4	188.8	2,005.9	658.3	2,853.0
옥천천	3,692	796	4,488	2,399.8	2,234.7	165.1	1,292.2	199.0	1,656.3
대청호 분류 III	2,126	2,187	4,313	1,381.9	1,354.7	27.2	744.1	546.8	1,318.1
합 계	32,296 (64.9%)	17,479 (35.1%)	49,775 (100.0%)	20,992.6 (42.2%)	17,486.1 (35.1%)	1,022.9 (2.1%)	11,276.8 (22.7%)	4,369.6 (8.8%)	16,669.3 (33.5%)

표 8. 대청호 유입지천별 T-N 부하량 (kg/day)

	발생오염부하량			점오염원 부하				비점오염원부하	
	발생 점오염원 부하량 P	발생 비점오염원 부하량 NP	계 G=P+NP	처리대상 점오염원 부하량 P×0.65	삭감부하량 = P×0.65 - EP	배출오염부하량			
						배출 점오염원 부하량 EP	미처리 점오염원 부하량 P×0.35	배출 비점오염원 부하량 NP×0.25	계
대청호 분류 I	1,028.0	960	1,988	668.2	644.2	24.0	359.8	240.8	624.6
무주남대천	295	363	658	191.8	(191.8)	346.8	103.3	90.8	540.9
봉황천	435	247	682	282.8	(282.8)	923.2	152.3	61.8	1,137.3
영동천	239	64	303	155.4	(155.4)	191.8	83.7	16.0	291.5
초강천	556	616	1,172	361.4	0.0	0.0	194.6	154.0	348.6
대청호 분류 II	380	649	1,029	247.0	63.2	165.8	133.0	162.3	461.1
보청천	831	627	1,458	540.2	136.4	403.8	290.9	156.8	851.5
옥천천	467	196	663	303.6	(303.6)	434.6	163.5	49.0	647.1
대청호 분류 III	315	455	770	204.8	146.8	58.0	110.3	113.8	282.1
합 계	4,546 (52.1%)	4,177 (47.9%)	8,723 (100%)	2,955.0 (33.9%)	1,924.2 (22.1%)	2,548.0 (29.2%)	1,591.4 (18.2%)	1,045.3 (12.0%)	5,184.7 (59.4%)

연구가 수행된 바 있고,^{1),7)} 강우시 용출실험에서 토양내의 인과 질소의 용출능력이 각각 20-25%, 3.0-10.9% 라고 분석한 연구가 이뤄진 바 있다.¹⁴⁾ 비점오염원 발생원단위는 연간 10mm이상 강우

에 대해 토지이용에 따른 실제 배출량을 기준으로 설정되어 있으므로, 비점오염원에 의한 배출 부하량은 발생오염부하량에다 기준유량 저수기 동안 10mm이상 강우빈도를 고려하여 설정된 비

표 9. 대청호 지천별 T-P 부하량 (kg/day)

	발생오염부하량			점오염원 부하			비점오염원부하		계
	발생 점오염원 부하량 P	발생 비점오염원 부하량 NP	계 G=P+NP	처리대상 점오염원 부하량 P×0.65	삭감부하량 = P×0.65 - EP	배출오염부하량			
						배출 점오염원 부하량 EP	미처리 점오염원 부하량 P×0.35	배출 비점오염원 부하량 NP×0.25	
대청호 본류 I	222	63	285	144.3	141.1	3.2	77.7	15.8	96.7
무주남대천	59	17	76	38.4	(38.4)	46.2	20.7	4.3	71.2
봉황천	92	13	105	59.8	(59.8)	123.2	32.2	3.3	158.7
영동천	57	3	60	37.1	20.3	16.8	20.0	0.8	37.6
초강천	115	34	149	74.8	0.0	0.0	40.3	8.5	48.8
대청호 본류 II	75	67	142	48.8	24.3	22.1	26.3	16.8	65.2
보청천	176	43	219	114.4	65.9	48.5	61.6	10.8	120.9
옥천천	94	13	107	61.1	19.6	41.5	32.9	3.3	77.7
대청호 본류 III	58	48	106	37.7	31.3	6.4	20.3	12.0	38.7
합 계	948 (75.9%)	301 (24.1%)	1,249 (100%)	616.2 (49.3%)	400.7 (32.1%)	307.9 (24.7%)	332.0 (26.6%)	75.6 (6.1%)	715.5 (57.3%)

주) 처리대상 점오염원부하량에 비해 배출점오염원부하량이 큰 경우가 있다. 오폐수처리장에서의 오폐수 유입 유량이 처리용량에 비해 현저하게 적은 경우도 있으나 유입유량 자료가 없고 유입수의 수질항목농도자료가 없어서 부득이 처리용량에다 방류수 수질기준을 곱해서 배출점오염원부하량을 구하였기 때문이다.

점오염원 배출계수(0.25)를 곱하여 산정하는 경우도 있다.¹⁶⁾ 이들 사례들을 토대로 비점오염원으로 부터의 BOD, T-N, T-P의 배출률은 최대 25%로 보고 배출부하량을 구하였다(표 7, 표 8, 표 9).

점오염원중 축산폐수의 경우는 인구나 산업에 의한 오폐수와 성격이 다르다. 인구나 산업에 의한 폐수는 오폐수관을 통해 대개 지천에 유입되지만, 축산폐수는 축산농가에서 배출된 상태에서 또는 야적된 상태에서 강우에 의해 비점오염원 형태로 부하되는 비중이 높기 때문이다. 따라서 축산폐수 중 미처리부하량은 사실상 비점오염원 형태로 부하된다고 보아야 할 것이다.

지천을 통해 하천에 유입되는 배출부하량 즉 배출점오염원부하량, 미처리점오염원부하량, 배출 비점오염원부하량은, BOD의 경우 발생오염부하량의 2.1%, 22.7%, 8.8%를 각각 점하고, T-N의 경우 각각 발생오염부하량의 29.4%, 18.2%, 12.0%를 점하며, T-P의 경우 각각 발생오염부하량의

24.8%, 26.6%, 6.1%를 차지하고 있다. BOD, T-N, T-P 배출비점오염원부하량은 BOD, T-N, T-P 배출부하량의 26.2%, 20.1%, 10.5%를 차지하고 있는데, 이를 두고 볼 때 현재 배출비점오염원의 비중은 상당히 높고 향후 환경기초시설이 설치 운영됨에 따라 그 비중은 더욱 높아지게 될 것이다.

IV. 대청호 비점오염원 관리 방안

1. 비점오염원 관리방안

최적관리기법은 침식방지, 유출 제어, 영양물질 제어, 농약 및 독성물질 등을 위한 최적관리기법으로 여러 비점오염원 관리기법의 효과성, 비용, 부정적인 측면은 표 10과 같다. 이를 토대로 대청호 비점오염원 관리 방안을 모색하고자 한다.

표 10. 비점오염원 관리기법별 비교

	최적관리기법 (Best Management Practices)	효과성				비용	부정적 영향
		침전물	질소	인	유출		
농업	보존 경작 (Conservation Tillage)	G·E	P	F·E	G·E	F·G	F·G
	등고선 경작 (Contour Farming)	F·G	U	F	F·G	G	P
	등고선 대상작 (Contour Stripcropping)	G	U	F·G	G·E	G	P
	목장 관리 (Range and Pasture Management)	G	U	U	G	G	P
	윤작 (Crop Rotation)	G	F·G	F·G	G	F·G	P
	계단식 경작 (Terraces)	G·E	U	U	F	F·G	F
	축산 폐기물 관리 (Animal Waste Management)	N/A	G·E	G·E	N/A	P	F
도시	투수성 포장 (Porus Pavement)	F·G	F·G	F·G	G·E	P·G	F
	가로 청소 (Street Cleaning)	P	P	P	P	P	U
산림	표토 유지관리 (Ground Cover Maintenance)	G	G	G	G	G	P
	도로, 통나무길 관리 (Road and Skid Trail Management)	G	U	U	U	P	F
건설	비식생 토양 안정화 (Nonvegetative Soil Stabilization)	E	P	P	P·G	F·G	F
	거친 지표면 관리 (Surface Roughening)	G	U	U	G	F	P
기타	수변관리지대 (Streamside Management Zones)	G·E	G·E	G·E	G·E	G	F
	식생 수로 (Grassed Waterways)	G·E	U	P·G	F·G	F·G	P
	수로변경 또는 분기 (Interception or Diversion Practices)	F·G	F·G	F·G	P	P·F	P
	하천제방 안정화 (Streambank Stabilization)						
	지류지 (Detention Sedimentation Basins)	G	U	U	P	P·G	F

주) E = Excellent, G = Good, F = Fair, P = Poor, U = Unknown

출처) North American Lake Management Society, 1990, Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, Washington, D.C.
: U.S. EPA, 110.

2. 대청호 비점오염원 관리방안

1) 대청호 수질관리 현황

수질관리를 위해 대청호주변지역에 상수원보호구역(177km²) 및 특별대책지역(729km²)이 지정·관리되고 있으며, 환경기초시설 25개소(37,200m³/일)가 설치·운영되고 있다. 매년 5월-11월에는 대청호 조류예보제가 실시되고 있으며, 쓰레기 유입차단 시설이 옥천군 군북면 용호리 및 이평리에 설치되어 있어 상류에서 유입되는 쓰레기의 호소 유입을 방지하고 있다. 그리고 상수원 수질감시 자동측정망이 보은군 회남면 신곡리에 설치·운영되고 있다.

대청호는 매년 하절기 장마철에 집중 강우로 인하여 다량의 농촌 생활쓰레기와 고사목, 낚시

꾼과 행락객의 쓰레기 등이 상류유역에서 유입되고 있는데 적기에 수거·처리하지 못할 경우, 부영양화가 심화되는 문제점을 지니고 있다.

2) 점오염원관리

표 11에서 보는 바와 같이 대청호 분류 I, 초강천의 생활하수(인구)와 산업폐수, 그리고 대청호 분류 II의 생활하수(인구)가 처리되지 못하고 유입되고 있다. 그리고 축산폐수처리시설의 경우 초강천, 영동천 유역에 절대 부족하고, 대청호 분류 I과 무주남대천의 경우 미흡한 실정이다. 축산폐수는 산재된 축산농가에서 처리되지 못할 경우 비점오염원화되어 유입되므로 관리가 어려운 실정이다.

대청호의 주요 수질문제는 부영양화이므로 T-

표 11. 대청호 오폐수발생량 및 처리용량

(톤/일)

분류·지천 명	합 계	인 구			산 업			축 산		
	오폐수발생량 (A1+A2+A3)	오폐수 발생량 (A1)	처리 용량 (B1)	처리능력 (B1/A1) (%)	오폐수 발생량 (A2)	처리 용량 (B2)	처리능력 (B2/A2) (%)	오폐수 발생량 (A3)	처리 용량 (B3)	처리능력 (B3/A3) (%)
대청호 분류 I	19,288	17,513		0.0	533		0.0	1,242	400	32.2
무주남대천	6,946	6,514	4,800	73.7	140	6,000	428.6	292	90	30.8
봉황천	13,220	12,816	10,300	80.4	148	500	337.8	256	1,604	626.6
영동천	8,632	8,395	8,000	95.3	95	150	157.9	142		0.0
초강천	11,391	10,432		0.0	345		0.0	614		0.0
대청호 분류 II	10,722	7,846		0.0	2,553	3,220	126.1	323	335	103.7
보청천	16,083	14,172	6,730	47.5	865	150	17.3	1,046	3,630	347.0
옥천천	16,811	14,122	18,210	128.9	2,399	5,150	214.7	290	620	213.8
대청호 분류 III	5,914	5,571	990	17.8	13		0.0	330	760	230.3
총합계	109,007	97,381	49,030	50.3	7,091	15,170	213.9	4,535	7,439	164.0

자료) 금강환경관리청, 1998, '97 금강중권역 수질오염원 현황, 64.

주) 축산폐수 처리용량 중 대청호 분류 I과 무주남대천은 축산폐수공동처리시설의 용량이고 나머지는 축산폐수처리시설(축산농가)의 용량임.

N과 T-P부하량을 대폭 삭감해야 한다. 현재의 부하량은 환경용량의 2배보다 훨씬 크므로 최소한 50% 이상 삭감해야 할 것이다.⁸⁾ 이를 위해서는 대청호유역 하수종말처리장에 질소와 인을 제거하는 고도처리시설을 보강하고, 축산폐수공공처리시설을 확대하도록 한다. 특히 T-N, T-P오염부하량의 80% 이상이 옥천취수탑-옥천천 합류지점 구간에서 집중적으로 발생되고 있으므로 이 구간에서의 오염부하감소가 시급하다.

3) 비점오염원관리

표 7, 표 8, 표 9에서 보는 바와 같이 지천을 통해 하천에 유입되는 배출점오염원부하량, 미처리점오염원부하량, 배출비점오염원부하량, BOD의 경우 발생오염부하량에 대해 각각 2.1%, 22.7%, 8.8%의 비율을 점하고, T-N의 경우 각각 발생오염부하량의 29.2%, 18.2%, 12.0%를 점하며, T-P의 경우 각각 발생오염부하량의 24.7%, 26.6%, 6.1%를 차지하고 있다. BOD, T-N, T-P 배출비점오염

원부하량은 각각의 배출부하량의 26.2%, 20.1%, 10.5%를 차지하고 있는 데, 이를 두고 볼 때 현재 배출비점오염원의 비중은 상당히 높고 향후 환경기초시설이 설치 운영됨에 따라 그 비중은 더욱 높아질 것이다.

BOD의 배출비점오염원부하량이 큰 지역은 대청호 분류 II(974.3kg/day), 대청호 분류 I(838.5kg/day), 보청천(658.3kg/day), 초강천(582.3kg/day), 대청호 분류 III(546.8kg/day)이다. 그리고 T-N의 배출비점오염원부하량이 큰 지역은 대청호 분류 I(240.8kg/day), 대청호 분류 II(162.3kg/day), 보청천(156.8kg/day), 초강천(154.0kg/day), 대청호 분류 III(113.8kg/day)이며, T-P의 배출비점오염원부하량이 큰 지역은 대청호 분류 II(16.8kg/day), 대청호 분류 I(15.8kg/day), 대청호 분류 III(12.0kg/day), 보청천(10.8kg/day), 초강천(8.5kg/day)이다. 따라서 비점오염원관리는 대청호 분류, 보청천, 그리고 초강천을 중심으로 이뤄져야 할 것이다.

특히 축산폐수는 BOD, T-N, T-P 부하량의 25.9%, 23.5%, 33.9%를 차지하는 데, 충청북도의 예를 들면 제대로 처리하지 않는 규제대상규모 미만의 사육농가에서 사육하는 소의 비율은 약 91.3%, 돼지의 비율은 29.4%이고, 규제대상규모(허가대상규모 및 신고대상규모)이상의 농가의 축산폐수도 제대로 처리되지 않기는 마찬가지여서, 결국 소사육농가의 66%와 돼지사육농가의 34%가 처리시설을 제대로 가지고 있지 않은 실정이다.¹³⁾ 이러한 미처리 축산폐수는 결국 비점오염원화되어 부하되는 데, 축산폐수처리시설 및 정화시설을 설치하고 축사, 방목지, 야외 축분 저장 및 퇴비화 장소 등에 대해 유출방지턱 및 비가림시설 등을 설치하여 강우시 빗물에 유출되지 않도록 한다.

토지이용은 BOD, T-N, T-P 발생오염부하량의 35.1%, 47.9%, 24.1% 나 차지하고 있는 데, 오염부하 관리가 제대로 되지 않고 있다. 따라서 비료 살포량과 시기를 토양과 비료의 영양물질 농도와 작물의 요구시기와 요구량에 맞추도록 한다. 그리고 농약의 종류, 양, 사용시기 등에 유의하고, 오리농법, 천적이용, 미생물농약 등을 사용하도록 한다. 하천부지 내에서는 화학비료 및 농약을 사용하지 못하도록 하고 유기영양을 조건으로 하는 하천점용허가제를 준수토록 하는데, 특히 상수원 보호구역내에서는 하천부지 내에서 신규경작을 금하도록 한다. 차수막과 침출수처리장을 갖추지 않은 비위생 쓰레기매립지를 정비하여 강우유출에 의한 비점오염원 물질의 유입을 최소화한다.

비점오염원물질의 대청호 유입을 차단하기 위해서는 첫째 유입하천 인접지역에 녹지대를 조성하여 초기 강우에 의한 비점오염부하 물질을 사전정화하고 완충기능을 강화시키며, 둘째 유입하천에 하천자연정화시설을 설치하며, 셋째 농경지 배수로와 하천이 접하는 곳에 수초대를 조성하도록 한다.

V. 결론

최근에 와서 대청호는 부영양화가 심해짐에 따라 환경기초시설이 건설되어 수질개선이 부분적으로 이뤄지고 있으나 여전히 미흡한 점이 많다. 따라서 본 연구에서는 특히 대청호의 부영양화를 해결하기 위한 차원에서 점오염원과 비점오염원의 분포와 규모를 구분하여 산정하였고 아울러 비점오염원의 현황과 특성을 반영하는 비점오염원 관리방안을 제시하였다.

점오염원부하량은 먼저 1:25,000 지형도를 이용하여 유입 지천별로 하폐수처리시설, 산업폐수처리시설, 축산폐수처리시설, 분뇨처리시설의 부하량을 구해 산정하였다. 하폐수처리시설의 배출부하량은 방류수 농도와 시설용량을 곱해서 구하였고, 산업폐수처리시설 부하량, 축산폐수처리시설 부하량, 분뇨처리시설 부하량은 방류수 농도를 측정하지 못해 각 시설용량에다 방류수 수질기준을 곱해서 구하였다.

비점오염원인 토지이용에서 발생되는 발생오염부하량은 오염발생원에다 그 양을 곱하여 구해지지만, 토지이용으로부터 인근지천에 유출되는 배출비점오염원부하량을 추정하는 것은 쉽지 않아 기존의 연구 사례들을 토대로 비점오염원으로부터의 BOD, T-N, T-P의 배출률을 25%로 보고 배출부하량을 구하였다.

지천을 통해 하천에 유입되는 배출부하량 즉 배출점오염원부하량, 미처리점오염원부하량, 배출비점오염원부하량은, BOD의 경우 발생오염부하량에 대해 각각 2.1%, 22.7%, 8.8%의 비율을 점하고, T-N의 경우 각각 발생오염부하량의 29.2%, 18.2%, 12.0%를 점하며, T-P의 경우 각각 발생오염부하량의 24.7%, 26.6%, 6.1%를 차지하고 있다. BOD, T-N, T-P 배출비점오염원부하량은 BOD, T-N, T-P 배출부하량의 26.2%, 20.1%, 10.5%를 차지한다.

BOD의 배출비점오염원부하량은 대청호 분류

II, 대청호 분류 I, 보청천, 초강천, 대청호 분류 III 지역순으로 나타났고, T-N의 배출비점오염원부하량은 대청호 분류 I, 대청호 분류 II, 보청천, 초강천, 대청호 분류 III 순으로 나타났으며, T-P의 배출비점오염원부하량은 대청호 분류 II, 대청호 분류 I, 대청호 분류 III, 보청천, 초강천 순으로 나타났다. 따라서 비점오염원관리는 대청호 분류와 보청천과 초강천을 중심으로 이뤄져야 할 것이다.

효과적인 비점오염원관리방안의 제시를 위해 원격탐사(Remote Sensing)와 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 광역적인 수질 분포, 배수구역, 비점오염원의 위치와 규모 그리고 강우시 유출부하과정을 분석함으로써 비점오염원 전반에 대한 자료구축이 선행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 경기개발연구원, 1997, 팔당상수원 수질개선방안에 관한 연구, 30-31, 103, 129.
2. 국립환경연구원 금강수질검사소, 1996, 금강수계 수질오염 현황과 대책.
3. 국립환경연구원 금강수질검사소, 1996, 대청호 수질보전 종합대책에 관한 연구(II).
4. 금강환경관리청, 1999, 환경백서, 58.
5. 금강환경관리청, 1998, '97 금강중권역 수질오염원 현황.
6. 대한환경공학회, 1999, 호수의 수질관리, 풍납, 146.
7. 서울시정개발연구원, 1994, 한강수질관리 효율화 방안 연구, 116-118.
8. 이종호, 1998, GIS를 적용한 호수 수질예측 - 대청호를 사례로, 한국지역개발학회지, 10(3): 160-163.
9. 이종호, 1999, WASP5에 의한 대청호 수질모델링, 한국환경영향평가학회, 환경영향평가, 8(1): 93-105.
10. 정부합동, 1998, 팔당호 등 한강수계 상수원수질관리 특별종합대책 (안), 132-133.
11. 최지용, 신은성, 1998, 농업지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책·평가연구원.
12. 최지용, 비점오염원의 제도적 관리방안, 1998, 한국환경정책·평가연구원, 5-9, 11-16.
13. 충북경제연구소, 1994, 충청북도 분뇨 및 축산폐수처리계획, 충청북도, 97-105.
14. 한국수자원공사, 1997, 댐유역 오염물질 유입 특성 및 영향에 관한 연구 (2차년도), 43-45.
15. 한국수자원공사, 1998, 다목적 댐 수질환경연감.
16. 환경부, 2000, 한강수계 오염총량관리제 시행방안 연구 최종보고서, 부록 1-54.
17. Novotony, Vladimir and Olem, Harvey, 1994, *Water Quality - Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*, New York: Van Nostrand Reinhold, 991-993.
18. Ortolano, Leonard, 1997, *Environmental Regulation and Impact Assessment*, John Wiley & Sons, Inc.
19. North American Lake Management Society, 1990, *Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual*, Washington, D. C.: U.S. EPA, 105-106.
20. Therivel, Riki et al., 1992, *Strategic Environmental Assessment*, London, Earthscan, 19-22.