

## 농업용 호소의 수질개선을 위한 오염총량관리제의 적용에 관한 연구

오대민 · 이영신<sup>†</sup>

한서대학교 환경공학과

(2009. 9. 7. 접수/2009. 9. 27. 수정/2009. 10. 16. 채택)

### A Study on the Application of Total Pollution Load Management System for Water Quality Improvement in Agriculture Reservoir

Dae-Min Oh · Young-Shin Lee<sup>†</sup>

Department of Environmental Engineering Hanseo University

(Received September 7, 2009/Revised September 27, 2009/Accepted October 16, 2009)

#### ABSTRACT

Agriculture reservoirs need a systematic approach that can control water purity and water improvement. The area under study, Bunam Lake exceeds the agricultural water standard level due to contamination from the upper stream. When the Taean Enterprise City was planned, the water quality improvement plan was applied to minimize the environmental change. However, in order to continuously maintain the water quality in the Bunam Lake, it was essential to apply the Total Pollution Load Management System (TPLMs). In order to achieve the targeted water quality in the Bunam Lake, standard flow rates and targeted water quality levels were applied to obtain the loading capacity which is as follows : BOD 1,891.2 kg/d, T-N 1,945.7 kg/d, T-P 131.7 kg/d. Also, the regional development load was calculated as, BOD 1,083.6 kg/d, T-N 942.2 kg/d, T-P 61.8 kg/d, which is required to be decreased :- by BOD 378.4 kg/d, T-N 198.9 kg/d, T-P 31.6 kg/d in order to safely achieve the targeted water quality in the Bunam Lake.

**Keywords:** agriculture reservoir, TPLMs, loading capacity, reduction plan, Bunam Lake

#### I. 서 론

우리나라는 안정적인 수자원 확보를 위해 자연적으로 조성된 호수(lake) 외에 댐이나 제방을 이용하여 인공적인 저수지(reservoir)를 건설하였으며, 이용목적에 따라 상수원, 농업용, 공업용으로 분류하여 관리하고 있다.<sup>1)</sup>

특히, 근대 이후 쌀 생산증대를 목적으로 전국에 농업용 저수지(이하 '농업용 호소')가 조성되었다. 현재, 농업용 호소는 전국에 17,689개소가 조성되어 있으며, 수자원 이용량(337억톤)의 약 47%(160억톤)를 농업용수로써 이용하고 있다.<sup>2)</sup> 이러한 뚝이나 방조제의 건설을 통한 농업용 호소는 상류로부터 생활하수, 축산폐수

등이 충분한 처리가 되지 않은 상태로 유입되고 있어 2007년 전국 농업용 호소를 대상으로 수질현황을 조사한 결과, 285개소에서 농업용수 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다.<sup>2)</sup> 현재, 농업용 호소의 수질문제를 해결하기 위해 환경부와 농림수산식품부는 호소관리와 상류오염원관리간의 연계성을 확보하고자 농업용 호소 수질관리지침<sup>3)</sup>을 공동 훈령으로 제정하였으며, 수질관련 부처와 시설관리자간 중앙, 지역 수질관리협의회 설치 등의 공동대응체계를 구축하고 수질기준을 초과한 호소를 대상으로 지침 제5조 제1항에 따라 "중점관리 농업용 호소"로 지정할 계획이다.<sup>3)</sup>

향후 농업용 호소의 수계가 개발되어 오염부하가 가중될 경우 이에 대한 뚜렷한 대책을 마련하기 위해 기존 처리기술에 근거한 부하량 저감노력과 추가적인 오염부하의 증가를 적정수준에 의해 이루어질 수 있도록 하는 제도적 장치가 필요하다.<sup>4)</sup> 또한, 농업용 호소 수계는 4대강 유역보다 오염원이 집중되는 특성을 보이

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Hanseo University  
Tel: 82-41-688-5006, Fax: 82-41-688-5006  
E-mail: zecman3@nate.com

고 있어 향후 개발에 따른 오염발생량이 높아질 것으로 예측되므로<sup>5)</sup> 농업용 호소의 수질개선을 위해서는 환경기준을 달성하기 위해 허용부하량을 할당, 규제할 수 있는 오염총량관리제(TPLMs: Total Pollution Load Management system)의 시행이 절실한 상황이다. 그러나 오염총량관리제는 관리대상구역의 목표수질을 달성·유지하기 위해 허용부하량 이하로 규제하는 방식이며 실제 대상지역으로 적용하기 위해서 제도적, 기술적 측면으로 많은 연구가 필요하다.<sup>7,9)</sup> 특히, 농업용 호소의 수질개선을 위해서는 구역과 호소내부를 동시에 관리해야 하며 폐쇄성 구역이라는 구조적 특수성을 지니고 있기 때문에 일반적인 오염총량관리제의 직접적인 적용이 곤란한 실정이다.

따라서, 농업용 호소에 적용하고자 하는 오염총량관리제는 구역특성을 고려한 환경용량의 산정을 통해 결정된 호소수질을 관리목표로 설정하고 오염부하총량( $T_L$ : Total Pollution Load)과 호소가 받아들일 수 있는 오염물질의 총량인 허용총량( $L_C$ : Loading capacity), 목표수질을 달성하기 위한 삭감목표부하량( $T_R$ : Target reduction load)을 산정하여 관리되도록 해야 한다. 그러므로 본 연구는 농업용 호소인 부남호의 수질개선을 위해 구역특성에 적합한 오염총량관리제의 적용방안을 연구하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 대상호소

본 연구대상지인 부남호는 서산B지구(15,627천 $m^2$ ) 간척지내 농업용수로 이용하고자 조성된 농업용 호소로 현재, 농업용수 수질기준(COD기준 4등급)을 초과하고 있어 중점관리 호소로 지정될 계획이 있다. 이러한 부남호 구역내에 관광레저형 태안기업도시(이하 '기업도시')가 2020년을 목표로 조성중에 있으며, 개발로 인한 환경변화를 최소화하고자 퇴적물 준설과 점, 비점오염원 배출관리 등 수질개선계획을 시행하고 있다.<sup>6)</sup> 부남호의 수질개선계획<sup>6)</sup>에 따른 호소의 목표수질은 단기(2010년) 4등급, 중장기(2015년) 3등급으로 설정 부남있다. 한편, 태안기업도시는 총 14,644천 $m^2$ 의 면적에 체육시설 32.6%, 주거 및 상업시설 11.0%, 첨단복합단지 2.4%, 공공편익시설 38.2%, 기타 15.8%가 조성될 계획이다. 부남호로 유입 38주요 하천은 부남호 상류부로 유입 38태안천과 진장천, 장검천, 송암천 등이 있다. 주요하천의 수질은 건기시 4등급%, 인 송암천%, 제외하고 2등급의 수질%, 기다가 강우시 하천주변이 주로 경작지와 축산농가들이 산재해 있어 건기시보다 7배 높

은 농도를 보이는 특징을 가지고 있다.<sup>6)</sup>

### 2. 오염부하량 산정

본 연구는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 호소유역을 9개의 소유역(B1-B9)으로 구분하여 조사하였다. 본 연구 대상지의 오염원은 양식계와 매립계 오염원이 전무하여 생활계, 축산계, 산업계, 토지계 오염원으로 구분하였다.

또한, 부남호 유역의 구역특성을 정량적으로 평가하기 위해 수계오염총량관리기술지침<sup>10)</sup>에 제시된 원단위를 적용하여 각 오염원별 발생부하량과 배출부하량을 산정하였다.

부남호 유역의 장래 오염부하량 변화는 부남호 수질개선계획에 제시된 단기 목표연도인 2010년과 장기 목표연도인 2015년로 구분하여 예측하였다. 또한, 향후 오염원별 장래변화를 예측하기 위해 생활계의 경우, 관련시군의 하수도정비기본계획<sup>16,17)</sup>에 제시된 인구예측값과 기업도시 조성시 발생하는 유입인구를 고려하였다. 축산계는 관련시군의 통계연보<sup>18,19)</sup>에 제시된 변동추이를 고려하였으며, 산업계는 주변개발계획을 감안한 결과, 기업도시 조성지역(B9구역)의 산업시설 입주계획을 고려하였다. 토지계는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 목표연도인 2015년에 기업도시 조성지역(B6, B7, B9구역)의 토지이용이 논에서 대지, 기타지역으로 변화되는 것을 고려하였다.<sup>6)</sup>

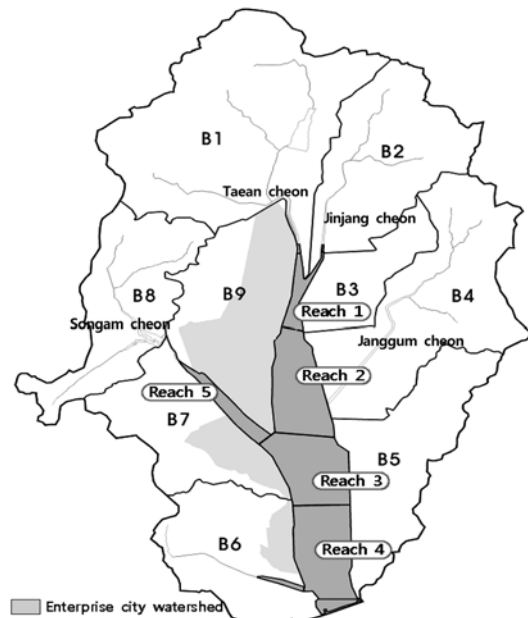


Fig. 1. Division of the Bunam Lake watershed.

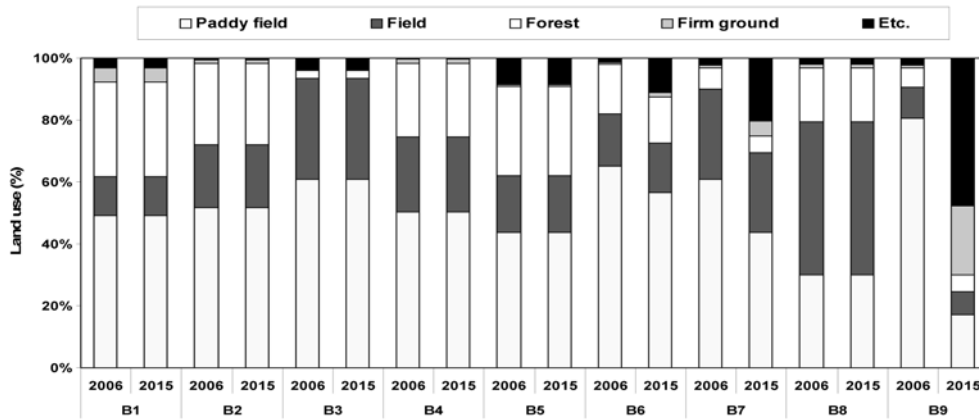


Fig. 2. The current and future status of land-use.

3. 수질변화예측

본 연구대상지와 같이 유역내 하천과 호소로 이루어진 호소유역의 수질예측은 3차원 동적모델인 WASP 모델이 이용되고 있다.<sup>11)</sup> 본 연구에서는 현재 부남호에 시행중인 수질개선계획<sup>6)</sup>에 제시된 EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code)와 WASP7 모델의 수질모의를 이용하여 장래수질변화를 예측하였다.

Fig. 1에 나타난 부남호를 유입부에서 배수갑문 지점

까지 총 5개의 호지로 구분하였으며, 부남호 배수갑문 지점에서 측정된 실측 수위값을 이용하여 유동모의를 하였다. 부남호의 수질변화는 자연증감만 고려했을 경우와 자연증감과 개발계획이 진행되었을 때의 수질을 예측하였다. 또한, Table 1과 Table 2에 제시된 수질개선계획 시나리오와 오염부하삭감계획을 이용하여 본 연구에서의 이용가능한 목표수질을 선정하였다. 한편, 호소수질과 수질예측결과는 COD로 나타나기 때문에 오

Table 1. Scenarios for improvement of water quality<sup>6)</sup>

Scenario	Watershed				Reservoir	
	Enterprise city plan		External plan (reservoir)		Internal plan	
	Point source	Nonpoint source	Point source	Nonpoint source	Dredging	Removal of Algae
Scenario 1	○	○			○	
Scenario 2	○	○	○		○	
Scenario 3	○	○	○	○	○	
Scenario 4	○	○	○	○	○	○

Table 2. Reduction plan of pollution load

(Unit: kg/d)

Items		BOD	T-N	T-P	Period	
Watershed	Enterprise city load					
	Point source	79.5	16.8	3.1	2015	
	Non point source	55.1	53.4	3.7	2015	
	Watershed load	20.6	92	10.9	2015	
Reservoir	Internal load	Point source	223.3	36.3	15	2015
		Non point source				
	Dredging		692	863	153	2007-2010
		Removal of Algae	-	-	-	2015

\*Enterprise city plan: Point source(HANT, Reuse), Nonpoint source(Apparatus, Storage)

External plan(reservoir): Point source(Taeon sewage pipeline 98,820 m, Chipyeong RCST 330 m<sup>3</sup>/d, 1,330 m)

Nonpoint source(Nonpoint treatment Taeon 4 site, Seosan 2 site, Wetland 1 site)

Internal plan(reservoir): Dredging, Removal of Algae(20,000 m<sup>3</sup>/d, Reach 4, 5)

\*RCST: Rural Community Sewage Treatment plant

염부하량 항목인 BOD와 비교하기 위해 2007년 조사된<sup>6)</sup> 각 호지별 부남호의 실측 BOD와 COD 비율인 분율(평균 2.51)을 이용하여 환산하였다.

4. 유역특성을 고려한 환경용량 산정

본 연구에서는 농업용 호소인 부남호에 오염총량관리제를 적용하고자 호소의 목표수질을 달성하기 위한 수질개선 시나리오를 선정하여 연구대상호소에 적합한 목표수질을 결정하였다. 또한, 오염총량관리기본방침<sup>12)</sup>에서 정한 기준유량, 안전율 등을 고려하여 오염부하총량과 허용총량, 지역개발부하량, 삭감목표부하량을 산정하였다. 한편, 목표수질 결정시 호내 내부부하를 포함하여 호소수질을 예측하였기 때문에 목표수질을 달성하기 위한 삭감계획을 유역내 오염원 삭감계획(Case 1)

만을 시행하였을 경우와 호내대책과 유역관리를 함께 시행하였을 때(Case 2)를 비교하였다. 또한, 호소의 수질악화의 주요 영양물질인 T-N과 T-P항목도 함께 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 오염부하량 현황 및 장래변화예측

1) 발생부하량

부남호 유역의 자연증감과 기업도시 조성에 따른 발생부하량은 Fig. 3에 나타난 것과 같이 기업도시가 조성되는 일부 유역(B6, B7, B9)의 부하량이 증가된 반면 전반적으로 발생부하량 변화가 크지 않을 것으로 예측되었다.

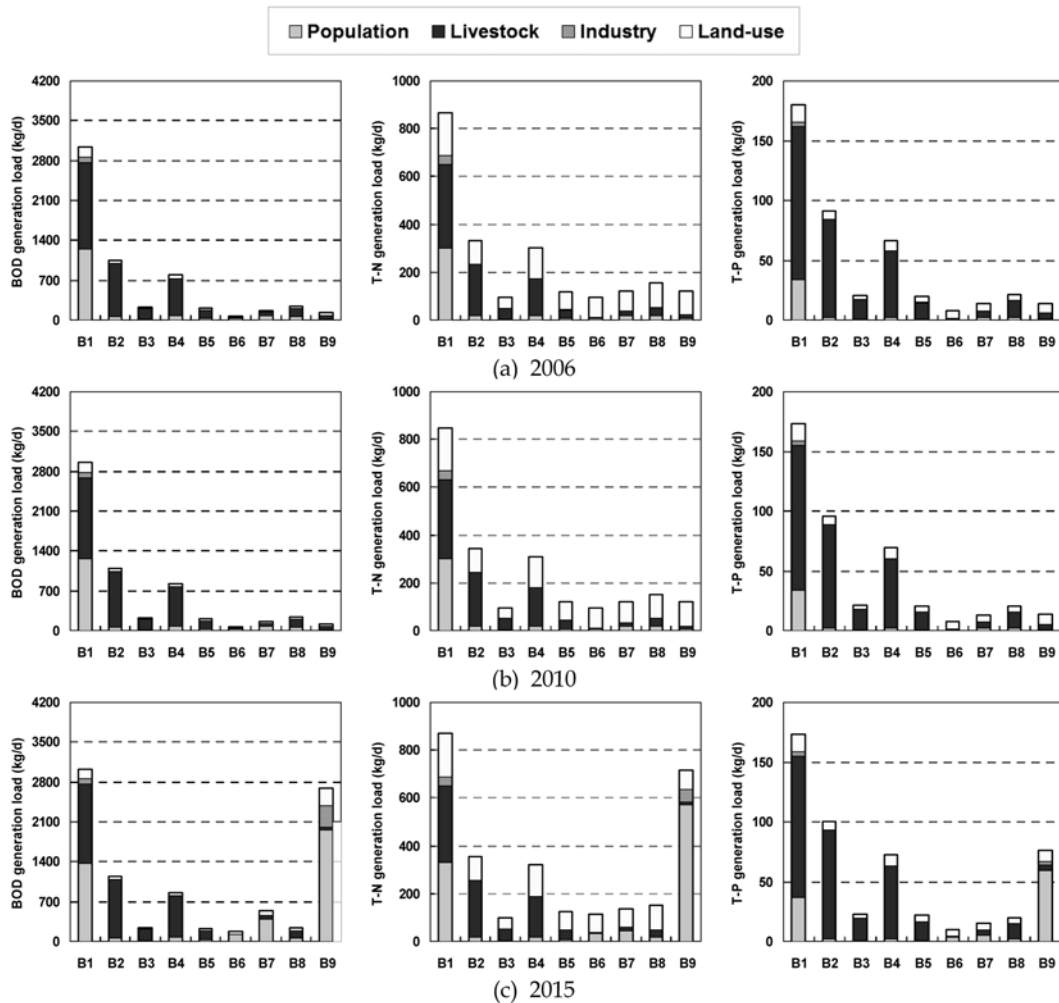


Fig. 3. Generation load in the Bunam Lake watershed.

생활계는 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 2006년 B1유역이 가장 높게 나타났으며, 기업도시가 조성되는 2015년에는 B6, B7 및 B9유역의 인구유입으로 인해 발생부하량 증가가 나타났다. 축산계는 관련시군의 변화추이를 분석한 결과, 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 산업계는 B1 및 B5 유역에만 산업시설이 분포되어 발생되고 있었으나, 2015년에 B9 유역에 산업시설 입주계획으로 인해 발생부하량이 증가되는 것으로 나타났다. 또한, 토지계의 경우 2015년에는 B6, B7, B8유역에서 기업도시 조성으로 인해 토지이용에 따른 발생원단위가 변경되어 각 유역에서 발생부하량의 증감이 나타났다.

2) 배출부하량

부남호 유역의 배출 부하량은 Fig. 4에 나타낸 것

과 같이 B1 유역의 경우 다소 증가되는 경향이 나타났으나, 이외 유역은 배출부하량의 증가율은 크지 않았다.

생활계는 인구가 가장 많은 지역인 B1 유역에서 장래 배출부하량이 높게 나타났으며, 기타 유역의 배출부하량 변화는 매우 적게 나타났다. 또한, 기업도시 조성 유역에서는 생활계, 산업계에서 배출되는 오염물질은 내부처리장에서 처리된 후 재이용되므로, 배출부하량의 증가가 거의 나타나지 않았다. 축산계는 소유역별로 증감되는 경향을 나타내고 있으며, 전반적으로 변화율은 크지 않은 것으로 산정되었다. 또한, 토지계 배출부하량은 기업도시 조성에 따른 토지이용의 변화로 인해 BOD의 경우 2015년에 증가되었으며, T-N과 T-P의 경우에는 소폭 감소되는 경향을 나타낼 것으로 예상된다

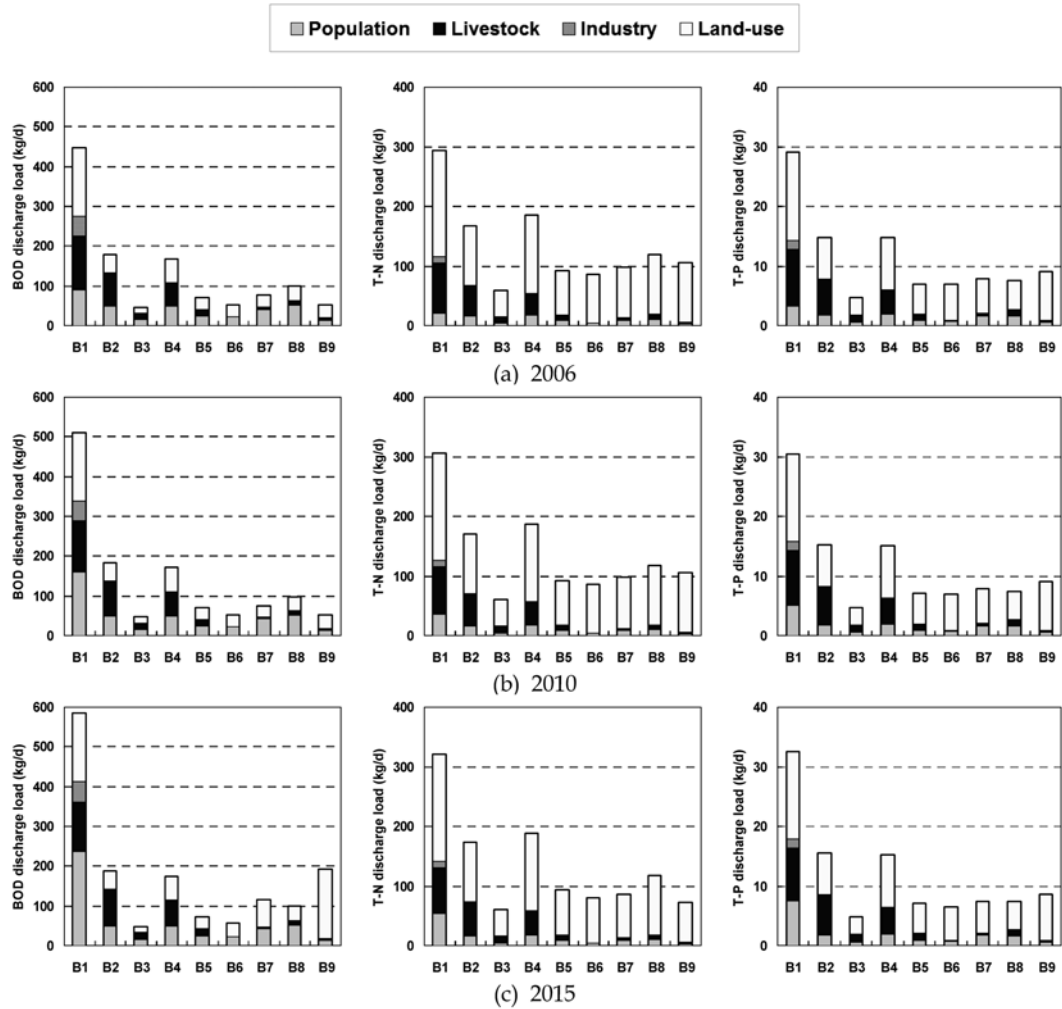


Fig. 4. Discharge load in the Bunam Lake watershed.

다. 이는 B6, B7, B9구역의 토지이용이 농경지에서 골프장 등 체육시설로 변경되어 오염원의 배출이 감소한 것으로 판단된다.

## 2. 장래수질예측

본 연구에 이용된 모델은 부남호 수질개선계획에 제시된 EFDC와 WASP을 연계한 모델로 부남호로 유입되는 주요 하천과 부남호 내부 수질실측치로 보정된 모델이다.<sup>6)</sup>

실측수질농도와 모의수질농도의 오차범위는 Table 3에 나타낸 바와 같이 20% 이내로 보정되었으나, T-N이 일부 구간에 대해 20%의 오차범위를 상회하는 것으로 나타났다.

### 1) 자연증감과 개발계획에 따른 수질예측<sup>6)</sup>

Table 4에 나타낸 것과 같이 개발계획이 진행되면 COD, T-P항목은 대부분 농도가 증가되는 것으로 예측되었으나, T-N항목은 3호지, 5호지로 유입되는 배출부하량의 감소로 인해 농도가 감소되는 것으로 예측되었다.

또한, 개발계획으로 인한 COD 항목의 변화율은 2.49%에서 17.52%의 범위를 나타내었으며, T-N 및 T-P 항목은 5% 이내의 변화율을 나타내어 개발계획이 부남호 수질에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 예측되었다.

### 2) 수질개선계획 시나리오별 장래수질예측<sup>6)</sup>

Table 5는 부남호의 수질개선계획<sup>6)</sup>에 제시된 시나리오에 대한 수질예측결과로, COD의 경우 2호지, 3호지, 4호지는 시나리오 3, 4에서 목표연도인 2015년에 목표수질을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만, 호내 수질개선을 위해 모든 시나리오에 포함된 퇴적물 준설이 1호지와 5호지 상류부를 제외한 호소에서 2010년까지 단계적으로 진행될 계획이므로 1호지와 5호지는 부남호에 설정된 호소목표수질을 달성하기 어려운 것으로 나타났다.

따라서, 1호지와 5호지는 2, 3, 4호지에 유입되는 외부 오염부하에 대한 완충기능이 있는 침강지 개념의 전처리호로 관리되도록 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

**Table 3.** Results of water model in the Bunam Lake<sup>6)</sup>

Items		BOD		T-N		T-P	
		mg/l	Calibration rate	mg/l	Calibration rate	mg/l	Calibration rate
Reach 1	Simulated	4.2		4.33		0.368	
	Measured	4.7	11.4%	4.19	-3.4%	0.315	-17.0%
Reach 2	Simulated	4.2		3.43		0.184	
	Measured	3.7	-13.7%	2.51	-36.4%	0.198	6.9%
Reach 3	Simulated	4.1		2.43		0.16	
	Measured	4.2	2.2%	2.58	5.9%	0.159	-0.9%
Reach 4	Simulated	3.7		1.55		0.094	
	Measured	3.1	-16.5%	2.18	29.2%	0.108	13.1%
Reach 5	Simulated	4.0		2.69		0.213	
	Measured	3.8	-5.7%	2.62	-2.8%	0.200	-6.5%

**Table 4.** The effect of the development plan on water quality<sup>6)</sup>

(Unit: mg/l)

Items	COD			T-N			T-P		
	①	②	Increasing rate (%)	①	②	Increasing rate (%)	①	②	Increasing rate (%)
Reach 1	11.34	11.86	4.65	4.49	4.72	5.19	0.380	0.386	1.67
Reach 2	9.09	9.97	9.67	3.39	3.43	0.92	0.168	0.168	0.13
Reach 3	9.36	10.00	6.83	2.89	2.84	-1.62	0.136	0.140	2.87
Reach 4	7.35	7.54	2.49	2.36	2.36	0.05	0.081	0.081	-0.24
Reach 5	10.97	12.89	17.52	3.00	2.91	-2.99	0.187	0.163	-12.51

\* ① Natural increase/decrease, ② Natural+Development plan

**Table 5.** Scenarios of the estimate water quality results<sup>6)</sup> (Unit: mg/l)

Scenario	Items	Reach 1	Reach 2	Reach 3	Reach 4	Reach 5
Scenario 1	COD	11.86	7.24	7.57	6.53	9.50
	T-N	4.72	2.35	2.44	2.28	2.74
	T-P	0.386	0.075	0.035	0.032	0.063
Scenario 2	COD	11.70	6.17	5.05	4.49	7.58
	T-N	4.73	2.31	2.48	2.71	2.74
	T-P	0.386	0.059	0.027	0.022	0.059
Scenario 3	COD	10.75	5.85	4.94	4.41	6.63
	T-N	4.40	2.24	2.49	2.71	2.76
	T-P	0.303	0.050	0.026	0.022	0.055
Scenario 4	COD	10.75	5.85	4.94	4.39	6.63
	T-N	4.40	2.24	2.49	2.70	2.76
	T-P	0.303	0.050	0.026	0.022	0.055

**3. 유역특성을 고려한 환경용량 산정**

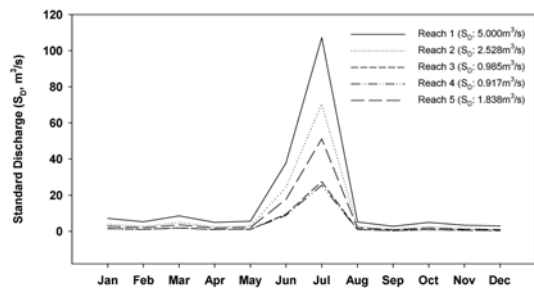
1) 목표수질 결정

부남호 수질개선계획<sup>6)</sup>은 용수이용목적에 적합한 수질 개선을 위해 시나리오 4와 같은 오염물질 삭감계획을 선정하였다. 또한, 오염총량관리제의 목표수질은 선정된 삭감계획에 따른 개선가능수질로 수질모델에 의해 모의된 장래수질 예측값으로 결정된다. 따라서, 본 연구에서는 Table 6에 나타난 시나리오 4의 삭감계획에 의해 모의된 장래 수질예측값(2015년)을 목표수질로 결정하였다.

2) 기준유량 및 안전율 결정

우리나라는 하천의 수질환경기준 달성을 위해 환경부 고시 제91-35호(1987, 1991)에 명시된 연간 275일 이상 유지되는 저수위 즉 저수량(Q275)을 기준유량(S<sub>p</sub>: Standard Discharge)으로 정하고 있다. 하지만, 하천과 농업용호소로 이루어진 본 연구대상유역은 호소의 목표수질을 달성하는 것이 목적이므로 호소의 수위를 기준으로 기준유량을 결정하여야 한다.

본 연구에서는 부남호의 기준유량 결정을 위해 부남호 수위관측 자료(2006년)와 감문 운영자료에 기초하여 부남호 전체 유입유량에 대해 각 호지별 유역면적



**Fig. 5.** Monthly average inlet quantity of reaches.

비로 유입유량을 산정하였다. Fig. 5는 각 호지로 유입되는 월평균 유입유량을 나타내고 있으며, 유역면적인 큰 1호지의 경우 전체 유입유량의 40%이상을 차지하고 있고 강우량이 여름철에 집중되는 경향을 나타내고 있다.

따라서, 기준유량은 저수위 이상 수위의 유량을 나타내야 하므로, 강우시기인 6-8월을 제외한 월평균 유입유량의 평균값을 적용하였다.

안전율(Safety factor)은 수질모델링 등 오염부하량 산정과정에서 발생할 수 있는 불확실성을 보정하기 위해 설정되는 비율로 수질오염총량관리지침과 기본방침에

**Table 6.** Target water quality in this study (Unit: mg/l)

Items	Reach 1	Reach 2	Reach 3	Reach 4	Reach 5
COD	10.75	5.85	4.94	4.39	6.63
T-N	4.40	2.24	2.49	2.70	2.76
T-P	0.303	0.050	0.026	0.022	0.055
Water quality standard	N.E	III	III	III	IV

\* : Available, N.E : Standard excess

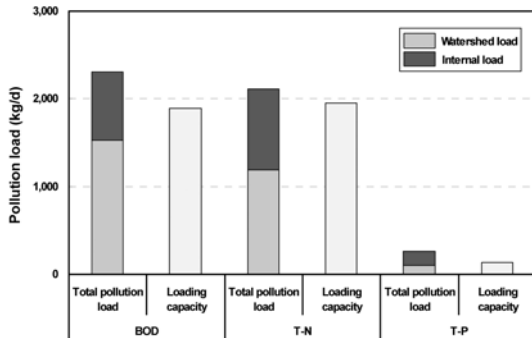


Fig. 6. Comparison of Total pollution load and Loading capacity.

서 특별한 이상이 없는 경우 총량관리 단위유역 기준 배출부하량의 10%를 적용하도록 하고 있다.<sup>12)</sup> 반면, 총량관리시행계획을 수립하지 않은 본 연구대상유역과 같은 지역은 적용하지 않도록 되어 있어 본 연구에서는 생략하였다.

3) 환경용량 산정

부남호내의 환경용량 산정을 위해, 오염총량관리의 적용에 필요한 기본인자들을 산정하였다. 먼저 부남호의 목표수질을 만족시키기 위해 배출할 수 있는 총량인 기준배출부하량(Standard pollution load)과 기준배출부하량에 안전율을 감안한 것으로 실제로 유역에서 배

Table 7. TPLMs in the Bunam Lake watershed (Unit: kg/d)

Items	Reach 1	Reach 2	Reach 3	Reach 4	Reach 5	Sum
<b>Total pollution load (T<sub>L</sub>)</b>						
BOD	819.4	365.5	71.7	57.1	214.4	1,528.1
T-N	552.8	259.7	92.7	79.4	204.0	1,188.6
T-P	52.8	23.9	7.1	6.5	14.9	105.1
<b>Loading capacity (L<sub>c</sub>)</b>						
BOD	1,850.2	16.9	5.6	4.6	13.9	1,891.2
T-N	1,900.8	16.3	7.0	7.1	14.6	1,945.7
T-P	130.9	0.4	0.1	0.1	0.3	131.7
<b>Natural increase/decrease load (N<sub>i</sub>/N<sub>d</sub>)</b>						
BOD	148.6	6.0	1.8	0.3	0.1	156.8
T-N	33.6	3.4	1.0	0.1	-0.7	37.4
T-P	4.4	0.4	0.1	0.0	-0.1	4.9
<b>Development plan load (D<sub>p</sub>)</b>						
BOD	0	138.9	0	5.9	40.5	185.3
T-N	0	26.2	-2	6.6	12.8	43.6
T-P	0	-0.4	-0.3	0.4	0.5	0.3
<b>Established pollutant load (E<sub>L</sub>)</b>						
BOD	670.8	220.6	69.9	50.9	173.8	1,186.0
T-N	519.2	289.3	91.7	86.1	216.1	1,202.4
T-P	48.4	23.9	7.0	6.9	15.3	101.4
<b>Final established pollutant load (FE<sub>L</sub>)</b>						
BOD	572.5	79.6	69.9	-6.2	91.9	807.6
T-N	433.8	201.8	91.7	73.2	203.1	1,003.5
T-P	30.4	16.8	7.0	4.9	10.8	69.8
<b>Regional development load (R<sub>L</sub>)</b>						
BOD	1,277.7	-62.7	-64.3	10.8	-77.9	1,083.6
T-N	1,467.0	-185.5	-84.7	-66.1	-188.5	942.2
T-P	100.5	-16.4	-6.9	-4.8	-10.5	61.8
<b>Target reduction load (T<sub>R</sub>)</b>						
BOD	98.3	141.0	0.0	57.1	81.9	378.4
T-N	85.4	87.5	0.0	12.9	13.0	198.9
T-P	18.0	7.1	0.0	2.0	4.5	31.6



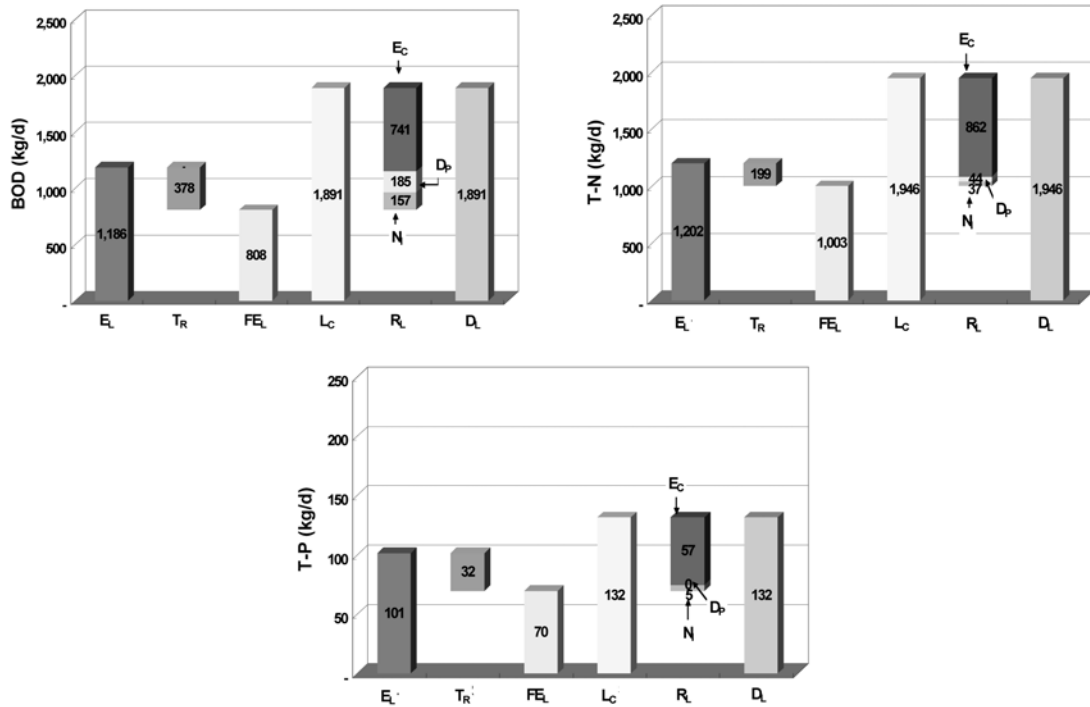


Fig. 7. TPLMs in the Bunam Lake watershed.

출할 수 있는 오염부하량인 허용총량( $L_C$ , Loading capacity)을 산정하였다. 다만, 본 연구에서 안전율을 고려하지 않으므로 허용총량과 기준배출부하량은 동일하다고 보았다. 기준배출부하량은 부남호의 각 호지별 목표수질과 기준유량의 곱으로 산정된다. 따라서, 부남호의 목표수질을 만족시킬 수 있는 허용총량은 BOD 1,891.2 kg/d, T-N 1,945.7 kg/d, T-P 131.7 kg/d로 산정되었다. 또한, 목표연도에서 유역내 배출원으로부터 배출되는 부하량의 총량으로 산정되는 오염부하총량( $T_L$ , Total pollution load)은 유역부하만을 고려했을 경우 BOD 1,528.1 kg/d, T-N 1,188.6 kg/d, T-P 105.1 kg/d로 산정되었다.

한편, 호소의 수질은 Fig. 6에 나타낸 것과 같이 유역부하와 내부부하가 고려되어야 하지만, 현재 적용되고 있는 오염총량관리제는 유역내 배출되는 오염부하를 조절하는 제도이다.

따라서, 본 연구대상 호소인 부남호의 목표수질 달성을 위해서는 유역부하(Watershed load)와 내부부하(Internal load)를 함께 고려하여 오염총량관리제를 적용하여야 할 것으로 판단된다.

Table 7과 Fig. 7에 나타난 바와 같이 지역개발부하량( $R_L$ , Regional development load)은 자연증가( $N_I$ ,

Natural increase)와 개발계획( $D_P$ , Development plan), 잔여용량( $E_C$ , Excess capacity)의 합을 의미하며, BOD 1,083.6 kg/d, T-N 942.2 kg/d, T-P 61.8 kg/d로 나타났다.

또한, 부남호 목표수질의 안정적인 확보를 위한 삭감 목표부하량( $T_R$ , Target reduction load)은 유역내 배출부하량 중 BOD 378.4 kg/d, T-N 198.9 kg/d, T-P 31.6 kg/d 삭감이 필요한 것으로 나타났다. 계획완료연도의 최종배출부하량( $D_L$ , Discharge load in final year)은 부남호의 환경용량인 허용총량 이내로 관리되도록 BOD 1,891.2 kg/d, T-N 1,945.7 kg/d, T-P 131.7 kg/d 이내가 되어야 한다.

#### 4) 내부부하량을 고려한 삭감량과 비교

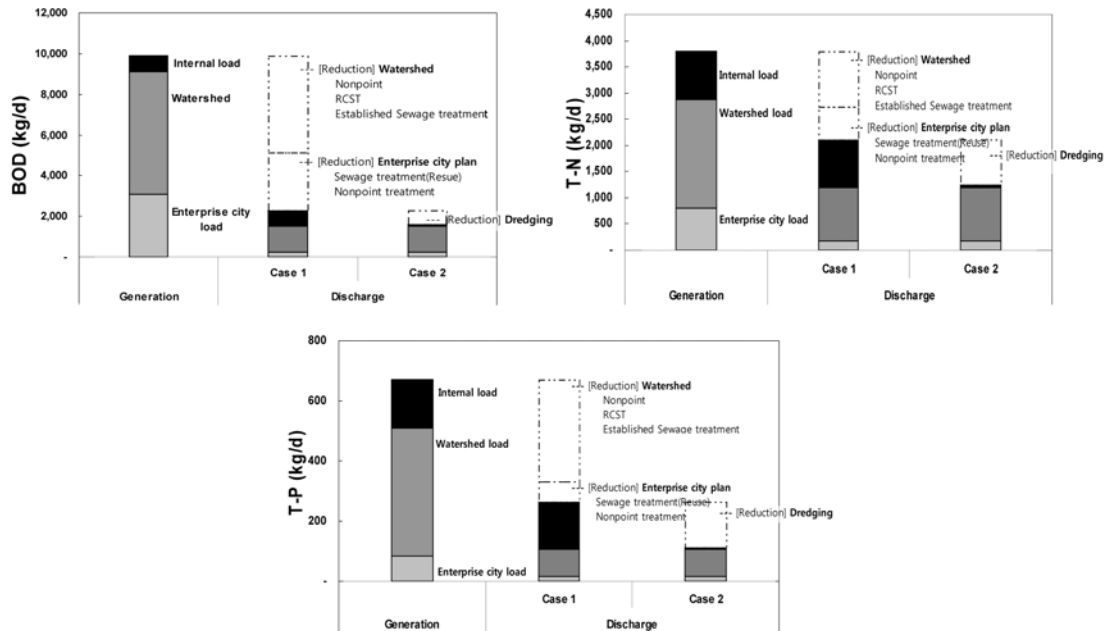
수질개선계획의 시행으로 인한 목표수질을 결정하여 허용총량을 산정할 때 퇴적물 준설에 의한 삭감계획을 포함하였다. 이는 부남호 유역의 효과적인 수질개선을 위해 유역으로부터 유입되는 유역부하외에 내부부하를 고려하여야 목표수질을 달성할 수 있기 때문이다.

따라서, 유역내 오염원 삭감계획(Case 1)만을 시행하였을 때와 호내대책과 유역관리를 함께 실시하였을 경우(Case 2)의 배출부하량 변화를 비교하였다. 배출부하

**Table 8.** The effect of secure environmental capacity on pollution reduction (Unit: kg/d)

Pollution source	Generation load			Discharge load (After reduction)					
	BOD	T-N	T-P	Case 1: ①+②+③			Case 2: ①+②+③+④		
				BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
<b>Watershed</b>									
Enterprise city load	3,083	801	83	230	167	16	230	167	16
Watershed load	6,015	2,071	426	910	816	52	910	816	52
<b>Reservoir</b>									
Internal load	773	920	161	773	920	161	81	57	8
<b>Total</b>	<b>9,871</b>	<b>3,792</b>	<b>670</b>	<b>1,913</b>	<b>1,903</b>	<b>229</b>	<b>1,221</b>	<b>1,040</b>	<b>76</b>

\* ① Established sewage treatment, ② Enterprise city plan, ③ External plan(RCST, Nonpoint), ④ Reservoir(Internal plan, Dredging)



**Fig. 8.** Effect of pollution load reduction for secure environmental capacity.

량은 목표수질과 직접적인 관련이 있으므로, Table 8와 Fig. 8에 나타난 바와 같이 최대한 오염부하량을 삭감시킬 수 있는 Case 2방법을 적용할 때 목표수질을 달성할 수 있을 것으로 나타났다.

**IV. 결 론**

본 연구는 농업용 호소인 부남호의 수질개선을 위한 오염총량관리제의 적용에 관한 연구로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 부남호 유역의 발생부하량은 기업도시가 조성되는 유역(B6, B7, B9)에서 부하량이 증가된 반면, 배출부하량은 B1 지역을 제외하고 기타 유역의 증가율은 크지

않았다.

2. 장래수질변화를 예측한 결과, COD는 2.49%~17.52%, T-N 및 T-P는 5%이내의 변화율을 나타내어 개발계획이 부남호 수질에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 예측되었다. 또한, 목표수질을 달성하기 위한 시나리오별 장래수질을 예측한 결과, 시나리오 3, 4에서 목표연도인 2015년에 2호지, 3호지, 4호지에서 목표수질을 만족하였다.

3. 부남호의 목표수질 달성을 위한 환경용량을 산정한 결과, 오염부하총량은 BOD 1,528.1 kg/d, T-N 1,188.6 kg/d, T-P 105.1 kg/d로 나타났으며, 허용총량은 BOD 1,891.2 kg/d, T-N 1,945.7 kg/d, T-P 131.7 kg/d로 나타났다. 또한, 지역개발부하량은 BOD 1,083.6

kg/d, T-N 942.2 kg/d, T-P 61.8 kg/d로 산정되었으며, 부남호 목표수질의 안정적인 확보를 위해서 BOD 378.4 kg/d, T-N 198.9 kg/d, T-P 31.6 kg/d의 삭감이 필요한 것으로 나타났다.

4. 호소의 목표수질 달성을 위해 본 연구에서는 유역 부하 삭감계획을 수행하였을 경우(Case 1)와 유역부하 외에 호소의 내부부하 삭감계획을 추가로 수행하였을 때(Case 2)를 비교한 결과, 내부부하를 함께 수행한 Case 2의 방법이 호소의 목표수질을 달성할 수 있는 것으로 나타났다.

이상에서 살펴본 바와 같이 호소의 수질개선을 위해서는 호소가 수용할 수 있는 오염부하량을 고려한 수질관리가 필요하며, 농업용 호소의 수질개선을 위해 유역부하와 호소의 내부부하를 고려한 오염총량관리제의 적용이 필요하다고 본다.

## 감사의 글

본 연구는 2007년 현대도시개발(주)의 산학협력연구에 의하여 수행된 연구로 이에 깊은 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Yoo, C. S., Park, H. K. : Analysis of morphological characteristics of Farm Dams in Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, **42**(6), 940-954, 2007.
2. Korea Rural Community Corporation : Survey result water quality improvement for agricultural water, 2009.
3. Ministry of Environment : Management Guidelines for water quality in Agriculture reservoir(Instructions No.820), 2009.
4. Lee, C. H. : Application of total maximum daily loads (TMDLs) concept for the water quality management in lake shihwa. *Korea Environment Institute*, 2000.
5. Yi, S. J., Oh, H. J., Lee, E. H., Jung, J. G. : A study on the implementation method of total water quality load management in Sapkyo lake watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality*, **22**(5), 807-814, 2006.
6. Hyundai city corporation : Report of water quality improvement in Bunam lake, 2008.
7. Kim, H. C., Choi, W. J., Lee, W. C., Koo, J. H., Lee, P. Y., Park, S. E., Hong, S. J., Jang, J. H. : Estimating carrying capacity of lake shihwa for water quality management. *Journal of Environmental Sciences*, **16**(5), 571-581, 2007.
8. A study on effective application of TMDL to protect paldang-lake, Gyeonggi Research Institute, 2000.
9. Park, S. S., Na, Y. M., Na, E. H. : Policy directions of total maximum daily loads for the scientific management of water quality. *Journal of Korean Society of Environmental Impact Assessment*, **10**(2), 157-165, 2001.
10. Ministry of Environment : Technical guidelines for TMDL, 2005.
11. Lim, Y. M. : Application of total waste load management system for water quality conservation of Gwangyang Bay, Ph.D Dissertation, Chonnam National University, 2004.
12. Ministry of Environment : The TMDL basic policy article for others watershed (Instructions No.805), 2008.
13. Kong, D. S. : The TMDL status and prospect in Korea. *Journal of Korea Water Resources Association*, **38**(3), 14-22, 2005.
14. Son, S. J. : The modeling of water quality at lake using a simulation for predicting the water quality, MS Thesis, Kyungil University, 2007.
15. Hwang, K. L., Hwang D. H., Paik, D. H., Lee, H. K. : Study on allocation of pollution discharges by watersheds and administrative regions with pollution sources for the TMDL in Tamjin River. *Korea Journal of Environmental Health*, **30**(5), 449-454, 2004.
16. Seosan City : Masterplan for sewage & Drainage, 2003.
17. Taean Gun : Masterplan for sewage & Drainage, 2005.
18. Seosan City : Statistical year book, 1999~2004.
19. Taean Gun : Statistical year book, 2000~2005.