

WASP5에 의한 대청호 수질모델링

이 종 호

청주대학교 도시·지역계획학과

Water Quality Modeling of Daechong Reservoir by WASP5/EUTRO5 Model

Lee, Jong Ho

Department of Urban and Regional Planning, Chongju University

Abstract

Lately water quality of Daechong Reservoir has become more eutrophicated than ever before and there has been much concern over especially the eutrophication of the embayment near Daejeon and Chongju Water Intake Tower every summer.

The purpose of this study is to predict the impact of change in the pollutant loading, flowrate, nitrogen and phosphorus release from sediment, SOD(sediment oxygen demand) upon the water quality of Daechong Reservoir by WASP5/EUTRO5 in order to suggest water quality management alternatives.

The data of Sep. 1995 were used for the calibration of the model and those of Sep. 1997 was for verification. The result of the modeling can be summarized as follows.

1. The 50% increase(decrease) of pollutant loading has caused that of T-N concentration by 0.10-0.14 mg / l , T-P concentration by 0.003-0.005 mg / l , and CBOD concentration by 0.16-0.18 mg / l . But the ratio of DO change by the change of pollutant loading was relatively small.

2. The sensitivity test of NH₄ flux to T-N and that of PO₄ flux to T-P shows that T-N and T-P concentration were changed more in the epilimnion segments (SEG4, SEG5, SEG6, SEG7) than the other segments. As SOD increases, DO was predicted to decrease more especially in the hypolimnion (SEG9-SEG14).

3. As flowrate increase, the concentration of T-N, T-P, and CBOD were predicted to decrease, but DO concentration increased especially in the hypolimnion segments(SEG11, SEG12, SEG13, and SEG14). As the flowrate changed from 119m³/sec to 50 m³/sec, the concentration of T-N and CBOD in the hypolimnion was predicted to decrease.

Key words : WASP5, EUTRO5, water quality modeling, Daechong Reservoir

I. 서론

1. 연구의 목적

대청호는 1981년에 담수된 이후 수질이 점점 악화되어 최근에는 부영양화가 심화되고 있어 상수원으로서의 기능을 위협받고 있다. 그 동안 수질예측모형을 대청호나 팔당호에 적용시켜 수질관리대책을 수립하는 연구가 수차례 이뤄져왔다.²⁾⁴⁾⁶⁾⁸⁾⁹⁾ 그런데 대청호는 다른 자연호수나 다목적댐호에 비해 폭이 좁고 긴 편이고 특히 나뭇가지 모양의 정체수역의 형성이 두드러진다. 이러한 정체수역은 물의 유출입량이 적어 본류수역에 비해 부영양화가 심각하다. 특히 대전취수탑과 청주취수탑은 정체수역에 소재하고 있어 부영양화에 따른 상수원 수질악화가 문제되고 있다. 기존의 연구는 다목적 댐호 정체수역의 수질에 대해 충분히 고려하지 않았고, 물의 흐름방향과 수심방향중 한 방향만 수질을 예측한 경우가 많았다.

따라서 본 연구는 대청호 특성 즉 기하학적인 조건, 수리학적 조건, 주변 토지이용 및 오염부하특성 등을 감안하여 수질모델링함으로써 수질관리대안의 모색을 위한 근거를 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위와 방법

본 연구에서는 WASP5 모형을 대청호에 적용하고자 하는데, 본류수역은 3구간으로 나누고 정체수역은 대전취수탑과 청주취수탑이 있는 정체수역 등 4구간으로 나눈다. 이용 가능한 수질실측 자료는 표층수, 중층수, 심층수 3개 수층에 대한 것이므로, 각 구간은 다시 표층수와 심층수 2개의 수층으로 나눔으로써 대청호는 모두 14개의 구획으로 이뤄진다.

1995년 9월 수질실측자료를 이용하여 8개 수질항목(NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, Chl-a, BOD, DO, Organic-N, Organic-P)에 관련되는 매개변수 값을 추정하고, 1997년 9월 실측자료로써 검증한 후, 오염부하량, 유량, 저질에서의 용출량 등의 변화에 따른 수질항목의 농도변화를 예측하였다.

II. WASP5 모형의 개요

WASP5모형은 DYNHYD5, EUTRO5, TOXI5 으로 구성되는데, DYNHYD5는 물의 흐름을, EUTRO5는 NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, Organic-P Chl-a, CBOD, DO, Organic-N, Organic-P 등 8개의 수질항목의 농도를, TOXI5는 독성물질의 농도를 계산할 수 있다.

EUTRO5의 수질항목 계산식은 물의 흐름(x)방향만 고려할 경우 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(AC) = \frac{\partial}{\partial X}(-U_X AC + E_X A \frac{\partial C}{\partial X}) + A(S_L + S_B) + A S_X \quad \text{---(1)}$$

단, A = 구획 단면적, C = 수질항목 농도, U = x방향 유속, E_X = x방향 확산계수

상기 식은 수질항목별 관계식으로 나타내면 다음과 같다. 단 S_{ai}는 i 수질항목의 변화율을 나타내며, C₁, C₂, C₃, C₄, C₅, C₆, C₇, C₈은 NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, Chl-a, CBOD, DO, Organic-N, Organic-P의 농도를 나타낸다.

$$NH_3-N: S_{N1} = +k_{11} \theta \frac{T-20}{12} C_1 - G_{P1} a_{PC} P_{NH_3} C_4 - k_{12} \theta \frac{T-20}{12} C_1 \quad \text{---(2)}$$

$$NO_3-N: S_{N2} = +k_{22} \theta \frac{T-20}{12} C_1 - G_{P1} a_{NC} (1 - P_{NH_3}) C_4 \quad \text{---(3)}$$

$$PO_4-P: S_{P1} = +k_{33} \theta \frac{T-20}{12} C_8 - G_{P1} a_{PC} C_4 - \frac{V_{S1}}{D} (1 - f_{D1}) C_1 \quad \text{---(4)}$$

$$Chl-a: S_{M1} = [G_{P1} - D_{P1} - \frac{V_{S1}}{D}] C_1 \quad \text{---(5)}$$

$$CBOD: S_{B1} = -k_{44} \theta \frac{T-20}{12} C_5 - \frac{V_{S1}}{D} (1 - f_{D1}) C_5 \quad \text{---(6)}$$

$$DO: S_{O1} = +k_{22} \theta \frac{T-20}{12} (C_5 - C_6) - k_{44} \theta \frac{T-20}{12} C_5 - \frac{SOD}{14} k_{12} \theta \frac{T-20}{12} C_1 - \frac{SOD}{D} \theta \frac{T-20}{12} + (k_{1C} \theta \frac{T-20}{12} - k_{1R} \theta \frac{T-20}{12}) \frac{32}{12} C_1 \quad \text{---(7)}$$

$$Organic-N: S_{N3} = +D_{P1} a_{NC} C_4 - k_{77} \theta \frac{T-20}{12} C_7 - \frac{V_{S1}}{D} (1 - f_{D1}) C_7 \quad \text{---(8)}$$

$$Organic-P: S_{P2} = +D_{P1} a_{PC} C_4 - k_{88} \theta \frac{T-20}{12} C_8 - \frac{V_{S1}}{D} (1 - f_{D1}) C_8 \quad \text{---(9)}$$

단, S_{ai} = source/sink term for variable "i" in a segment, mg/ℓ-day

$$G_{P1} = k_{12} \theta \frac{T-20}{12} C_1 k_{1C}$$

$$D_{P1} = k_{1R}(T) + k_{1D} + Z(t)$$

$$D_{1i} = \text{biomass reduction rate, day}^{-1}$$

$$k_{1C} = \text{grazing rate on phytoplankton per unit zooplankton population, ℓ/mg C-day}$$

$$Z(t) = \text{herbivorous zooplankton population grazing on phytoplankton, mg C/ℓ}$$

$$P_{NH_3} = \text{preference for ammonia uptake term}$$

$$\theta = \text{SOD temperature coefficient}$$

V_{so}, V_p, V_s = settling velocity of organic matter, phytoplankton, and inorganic sediment

D = segment depth

$f_{Di}, f_{Di}, f_{D}, f_{D}$ = fraction dissolved inorganic phosphorus, CBOD, organic nitrogen, and organic phosphorus

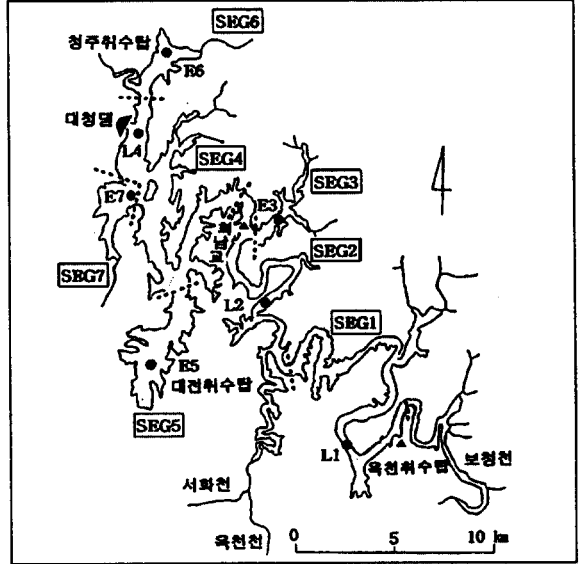
나머지 부호는 Table 7 참조.

III. 대청호 입력자료

1. 구획(segment)의 분할

대청호 본류수역을 3구간으로 즉 옥천취수탑 - 옥천천 합류전 지점, 옥천천 합류전 지점 - 회남교, 회남교 - 댐 축으로 나누어 상류단 경계는 옥천취수탑 부근으로 하고 하류단 경계는 대청댐으로 한다. 대청호의 경우 수심이 15-50m로 성층현상(stratification)에 의해 표층수와 심층수의 수질이 현저하게 차이가 있는 데, 이용 가능한 실측자료가 3개 수층별로 되어 있으므로, 각 구간을 표층수와 심층수 2개의 수층으로 나눈다. 이와 같이 나눠서 구획별 수표면적과 체적을 계산하면 Table 1.과 같다.

이때 1995년 9월과 1997년 9월의 대청호의 실제 수위를 반영하였다.



..... : Segment boundary
 L1 : Odaeri L2 : Daejongri L4 : Dam
 E3 : Shingokri E5 : Daejon Water Intake Tower
 E6 : Chongju Water Intake Tower E7 : Shindaeri

Fig1. Daechong Reservoir

Table 1. Depth, area and volume of segment

Segment No.	EL 70.0m (Sep. 1997)			EL 72.0m (Sep. 1995)		
	depth	area (m ²)	volume (m ³)	depth	area (m ²)	volume (m ³)
1	20	4,420,000	88,400,000	22	4,420,000	97,240,000
2	20	6,355,000	127,100,000	22	6,355,000	139,810,000
3	20	838,750	16,775,000	22	838,750	18,452,500
4	20	13,650,000	268,500,000	22	13,650,000	295,350,000
5	20	4,675,000	93,500,000	22	4,675,000	102,850,000
6	20	2,397,510	47,950,000	22	2,397,510	52,745,000
7	20	1,198,750	23,975,200	22	1,198,750	26,372,720
8	5	590,000	2,950,000	5	590,000	2,950,000
9	10	2,400,000	24,000,000	10	2,400,000	24,000,000
10	10	340,000	3,400,000	10	340,000	3,400,000
11	20	7,252,500	108,900,000	10	7,252,500	108,900,000
12	15	1,855,000	27,825,000	15	1,855,000	27,825,000
13	15	580,000	8,700,000	15	580,000	8,700,000
14	15	290,000	4,350,000	15	290,000	4,350,000

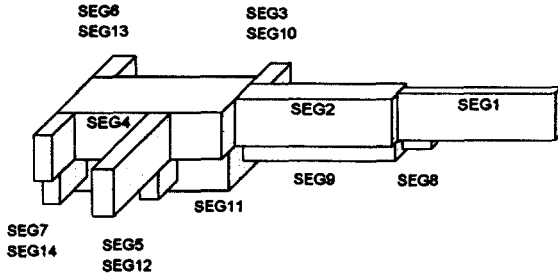


Fig2. Segment of Daechong Reservoir

2. 대청호 분류와 정체수역에서의 물의 거동

대청호 분류에서의 유입량은 1995년 9월의 경우 117.9m³/sec이고, 정체수역의 하나인 SEG5에서의 유출 유량은 대전취수탑(중리취수장, SEG5) 취수량 580,000m³/일(6.713m³/sec)이다. 또 다른 정체수역 SEG6에서의 유출유량은 청주취수탑(대청광역취수장) 취수량 333,000m³/일, 국전취수장의 취수량 83,000m³/일, 문의취수장의 1,000m³/일의 합으로 417,000m³/일(4.826m³/sec)이다.

3. 대청호 오염부하

대청호의 수질오염발생원은 산업, 가축, 양식장, 토지 이용 등으로 분류할 수 있는 데, 이들 유형별로 각 하천이나 지천별로 SEG1, SEG2, SEG4에 유입되는 발생 오염부하량은 Table 3 - 5와 같다.

유출률은 기존 연구를 참조하여 Table 3. -Table 5. 에 대해 다양하게 적용시켜 예측치가 실측치에 가장 근접하게 되도록 추정하였는데 그 때 BOD의 경우 10%, T-N의 경우 40%, PO₄-P의 경우 15%, O-P는 5%의 유출률을 적용하였고, 이와 같이 계산된 유출오염부하량은 Table 6.과 같다.

구할 수 있는 수질항목별 발생오염부하량은 BOD, T-N, T-P이므로 NH₃-N, NO₃-N, Organic-N, PO₄-P, Organic-P부하량은 이들 농도의 T-N, T-P농도에 대한 비율에다가 T-N, T-P부하량을 곱해서 계산하였다. DO와 Chl-a의 부하량은 해당 구획(segment)에서의 농도와 유량을 곱해 추정하였다.

Table 2. Pollutant sources in Daechong Reservoir

Pollutant sources		SEG 1, SEG 8							SEG 2, SEG 9	SEG 4, SEG 11	Total
		Daechong Reservoir and inflowing Stream							Steam	Daechong Reservoir II	
		Daechong Reservoir I	Mujunamdae	Bongwhang	Youngdong	Chogang	Daechong Reservoir I	Bochong			
Population (person)	Urban	16,657	8,431	18,782	21,355	8,698		18,413	24,214	116,420	
	Rural	43,499	12,844	22,070	1,247	27,583	30,292	27,847	19,187	206,079	
Industry(m ³ /day)		533.1	139.9	148.0	95.1	344.6	2,553.0	864.6	2,398.9	7,090.4	
Livestock (head)	Korean cattle	22,392	6,635	4,759	552	11,314	7,575	18,214	6,443	8,650	86,444
	Cow	1,358	121	748		1,093	216	1,885	764	474	6,659
	Pig	35,890	5,428	5,547	9,890	15,714	5,131	29,766	3,754	2,056	113,186
	Poultry	475,709	18,681	201,952	33,509	79,039	53,920	256,617	89,601	69,448	1,278,476
Nursery (m ²)	detention	1,600								4,335	5,935
	flowing	16,827	4,512			7,485	48,859	15,151	4,460	7,700	104,994
Landuse (km ²)	Field	65.59	23.70	25.60	4.73	48.49	37.16	58.82	19.01	36.79	319.89
	Paddy	368.56	81.03	21.00	36.47	4.49	64.77	44.14	72.31	18.58	25.77
	Forest	853.98	399.60	158.04	65.27	497.85	294.62	375.35	108.77	294.05	3,047.53
	Lot	9.37	2.98	4.21	1.35	9.91	13.74	9.90	2.99	8.82	63.27
	Pasture	2.13	0.66	0.09	0.06	2.17	0.25	0.44	0.11	0.43	6.34
	others	51.43	18.17	16.58	7.33	41.37	46.59	38.37	30.13	74.06	324.64

Source : Kum River Environmental Management Authority, 1998, '97 Pollutant Sources in the Middle Region of Kum River, p. 3.

Table 3. Generated BOD loading (kg / day)

Segment	Daechong Reservoir and inflowing Stream	Generated BOD loading	Sum
SEG 1, SEG 8	Daechong Reservoir I	10,971	40,971
	Mujunamdae	3,190	
	Bongwhang	4,096	
	Youngdong	2,081	
	Chogang	6,156	
	Daechong Reservoir II	6,712	
	Bochong	8,365	
SEG 2, SEG 9	Okchon	4,489	4,489
SEG 4, SEG 11	Daechong Reservoir III	4,313	4,313

Table 4. Generated T-N loading (kg / day)

Segment	Daechong Reservoir and inflowing Stream	Generated T-N loading	Sum	NH ₃ -N	NO ₃ -N	O-N
SEG 1, SEG 8	Daechong Reservoir I	1,990	7,292	526.5	4,749.6	1,886.4
	Mujunamdae	659				
	Bongwhang	682				
	Youngdong	303				
	Chogang	1,172				
	Daechong Reservoir II	1,029				
	Bochong	1,457				
SEG 2, SEG 9	Okchon	663	663	47.9	431.8	171.5
SEG 4, SEG 11	Daechong Reservoir III	771	771	55.7	502.2	199.5

Table 5. Generated T-P loading (kg / day)

Segment	Daechong Reservoir and inflowing Stream	Generated T-P loading	Sum	PO ₄ -P	O-P
SEG 1, SEG 8	Daechong Reservoir I	284	1,039	311.7	727.3
	Mujunamdae	77			
	Bongwhang	105			
	Youngdong	60			
	Chogang	150			
	Daechong Reservoir II	143			
	Bochong	220			
SEG 2, SEG 9	Okchon	107	107	32.1	74.9
SEG 4, SEG 11	Daechong Reservoir III	106	106	31.8	74.2

Table 6. Effluent loading (kg / day)

Segment / Effluent Ratio	BOD	NH ₃ -N	NO ₃ -N	O-N	PO ₄ -P	O-P
	10%	40%	40%	40%	15%	5%
SEG 1, SEG 8	4,097.1	210.6	1,899.8	754.4	46.8	36.4
SEG 2, SEG 9	448.9	19.2	172.8	68.6	4.8	3.8
SEG 4, SEG 11	431.4	22.4	200.8	80.0	4.8	3.7

IV. WASP5(EUTRO5) 모형의 보정

본 연구에서는 매년 9월에 대청호에서 조류가 번성하는 등 수질이 악화되는 점과 여러 지점에서 수층별로 측정되었다는 점을 감안하여 1995년 9월의 수질자료를 활용하였다.

경계조건은 유입지점인 오대리, 유출(방류)지점인 댐측, 취수가 이뤄지고 있는 대전취수탑, 청주취수탑 모두 4개 지점에서의 수질 측정치를 이용하였다. 초기 조건은 계산시간의 단축과 계산결과가 정상상태에 빨리 도달하도록 동 수질자료를 이용하였다. 유량과 수위는 역

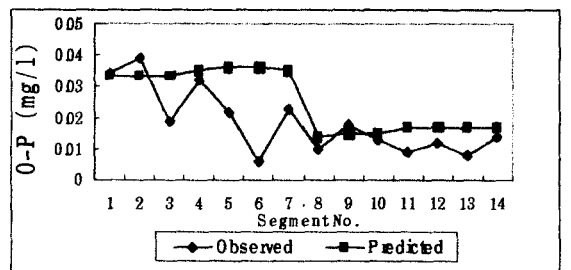
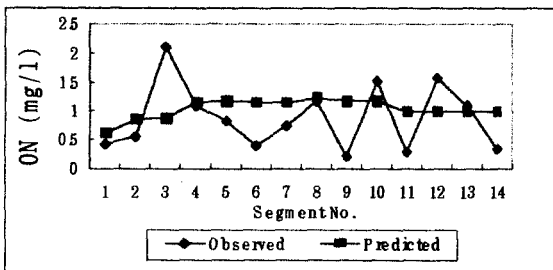
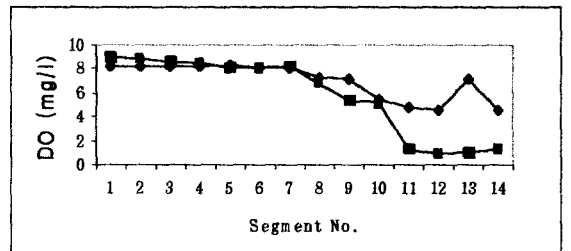
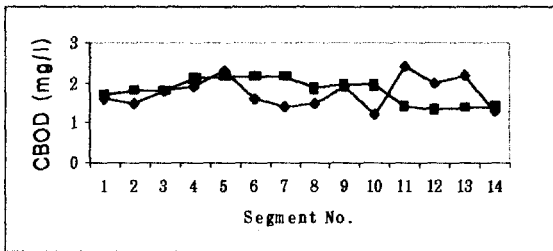
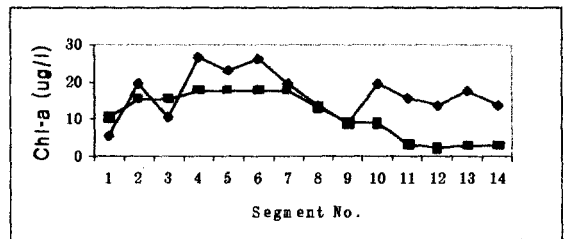
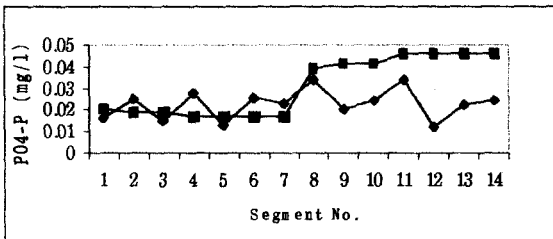
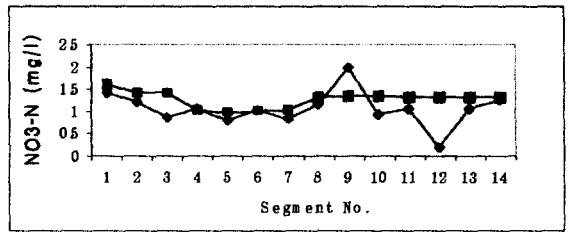
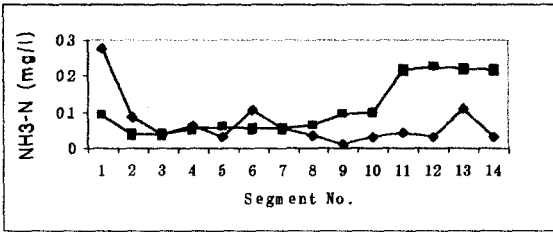


Fig. 3 Calibration Results

Table 7. EUTRO5 Water - Column Kinetic Coefficients

Constant	Code	ISC No.	Notation	13) WASP5 manual	8), 9) 조흥연 등	2) 경기개발연구원	7) 조재현	5) 국립환경연구원	13) Lung	24) Warwick	본 연구
Nitrification rate	K12C	11	k_{12}	0.09-0.13			0.09	0.15	0.07	1.00	0.10 day ⁻¹ at 20°C
Temperature coefficient	K12T	12	θ_{12}	1.08	0.1-0.5	0.01	1.08	1.08	1.04	1.08	1.080
Half-saturation constant	KNIT	13	K_{NIT}	2.0			2.0	2.0	0.00	2.00	2.0mg O ₂ /L
Denitrification rate	K20C	21	K_{2D}	0.09			0.09	0.09	0.00	0.40	0.10 day ⁻¹ at 20°C
Temperature coefficient	K20T	22	θ_{2D}	1.045		0.01	1.045	1.045	0.00	1.045	1.080
Half-saturation constant	KNO3	23	K_{NO3}	0.1			0.10	0.1	0.00		0.1mg O ₂ /L
Saturated growth rate of Phytoplankton	K1C	41	k_{1C}	2.0	1.5-2.5	1.00	2.0	2.0	1.90		2.0 day ⁻¹ at 20°C
Temperature coefficient	K1T	42	θ_{1C}	1.068			1.068	1.07	1.066		1.068
Endogenous respiration rate of Phytoplankton	K1RC	50	k_{1R}	0.125	0.05-0.25		0.125	0.1	0.075		0.05 day ⁻¹ at 20°C
Temperature coefficient	K1RT	51	θ_{1R}	1.045			1.045	1.045	1.08		1.045
Nonpredatory phytoplankton death rate	K1D	52	k_{1D}	0.02	0.0-0.1	0.10	0.02	0.02	0.11		0.07 day ⁻¹ at 20°C
Zooplankton grazing rate	K1G	53	k_{1G}	0.0					1.0		L/cell-day
Phytoplankton stoichiometry											
Oxygen-to-carbon ratio	OCRB	81	a_{OC}	2.67	2.60	5.33	2.67	2.667	2.67	2.67	2.67mg O ₂ /mg c
Carbon-to-chlorophyll ratio	CCHL	46	a_{PC}	30		50.0	30.0	30.0	33		30.0mg c/mg chlorophyll
Phosphorus-carbon ratio	PCRB	57		0.025	0.024-0.24		0.015	0.02	0.03	0.025	0.025mg P/mg c
Nitrogen-carbon ratio	NCRB	58	a_{NC}	0.25	0.05-0.43		0.25	0.30	0.21	0.18	0.40mg N/mg c
Half-saturation constants for phytoplankton growth											
Carbon	KMPHY	59	K_{mPC}						0.0	0.005	mg N/L
Nitrogen	KMNGI	48	K_{mN}	25.0		0.025	0.025	0.02	0.005		0.025mg N/L
Phosphorus	KMNPI	49	K_{mP}	1.0		0.002	0.001	0.003	0.001		0.002mg P/L
Nutrient limitation option	NUTLM	54		0.0					1		
Light formulation switch	LGHTS	43		1.0			1.0		1		1.0
Saturation light intensity for phytoplankton	Isl	47	I_s	200-500		400.0	350	460	350		350.0 langley/day
BOD deoxygenation	KDC	71	k_d	0.16-0.21		0.1	0.4	0.07	0.073		0.035 day ⁻¹ at 20°C
Temperature coefficient	KDT	72	θ_d	1.047	0.004-4.24		1.047	1.04	1.04		1.047
Half-saturation constant	KBOD	75	K_{BOD}	0.5			0.4		0.0		0.05 day ⁻¹
Reaeration rate constant for entire water body	K2	82	k_2			0.40					0.75 day ⁻¹ at 20°C
Mineralization rate of Dissolved organic N	K71C	91	k_{71}	0.075	0.001-0.25	0.01	0.075	0.02	0.03	0.075	0.019 day ⁻¹ at 20°C
Temperature coefficient	K71T	92	θ_{71}	1.08, 1.0			1.08	1.045	1.045	1.08	1.080
Mineralization rate of Dissolved organic P	K83C	100	k_{83}	0.22		0.01	0.22	0.005	0.03	0.75	0.015 day ⁻¹ at 20°C
Temperature coefficient	K83T	101	θ_{83}	1.08	0.00-0.22		1.08	1.05	1.045	1.08	1.080
Fraction of dead and respired phytoplankton phosphorus recycled to organic phosphorus	FOP	104	f_{OP}	0.5					0.3		0.45

시 같은 시기의 값을 입력하였고 대전취수탑과 청주취수탑 등에서의 취수량은 최근 값을 적용하였다.

주어진 오염부하 등의 입력자료를 읽어 수질이 계산되는 데, 계산결과가 정상상태에 도달한 이후의 예측치와 실측치, 특히 14개 구획(segment)중 체적이 제일 큰 SEG4에서의 실측치와 비교하면서 매개변수 값을 추정하였다. 저질로부터의 인과 질소의 용출량은 민감도분석의 결과에 따라 조정하였다.

매개변수 값 추정시 WASP5 사용설명서와 기존의 연구에 적용되었던 값을 참조하였다. 먼저 Chl-a 관계식에서 나오는 해당 매개변수 값을 추정하고, 둘째 PO_4-P , Organic-P 관계식에서 나오는 매개변수 값을 추정하고

셋째, NH_3-N , NO_3-N , Organic-N 관계식에 나오는 매개변수 값을 추정하였으며, 끝으로 CBOD, DO 관계식의 매개변수 값을 추정하였다^{8,9)}. 이 과정은 예측치가 실측치에 근접할 때까지 여러 번 반복되었다(Table 7.) 이때 민감도분석 결과 조정된 인과 질소의 용출량을 적용하였다.

Fig 3.에서 보는 바와 같이 NO_3-N , Chl-a, CBOD, DO, ON 등은 실측치와 예측치가 서로 대체로 근접하는 경향을 보여주고 있다. NH_3-N 은 댐측이 있는 구획(SEG4)과 SEG3 및 SEG7에서 예측치가 실측치와 근접하나 심층수에 해당되는 구획(SEG8-SEG14)에서 과다하게 추정되고 있는 것을 보여 주고 있다.

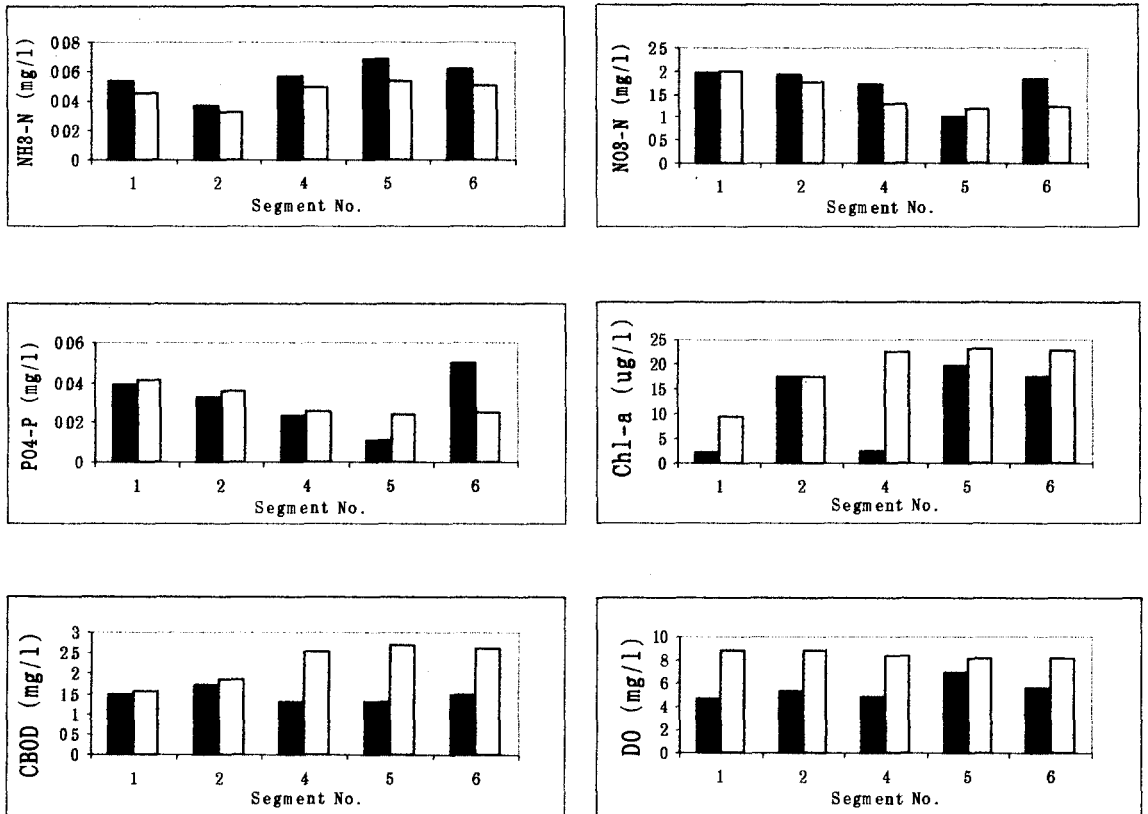


Fig 4. Verification of Model

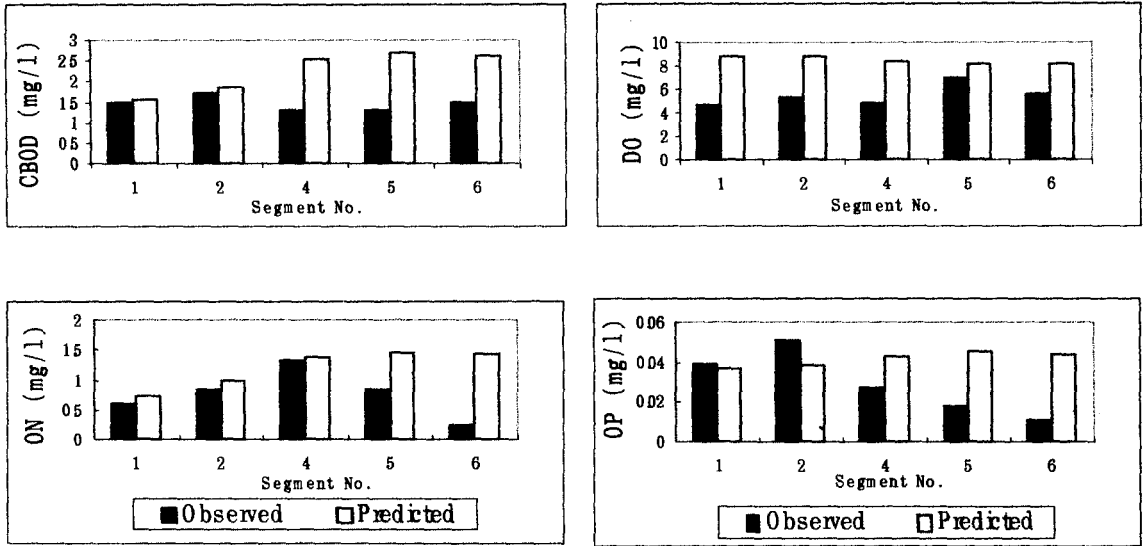


Fig 4. Verification of Model

V. WASP5(EUTRO5) 모형의 검증

모형의 검증을 위해 1997년 9월의 수위, 유량, 경계조건, 초기조건 등을 입력하였다. 그러나 표층수와 심층수의 수질이 구분되어 있지 않고 일부 지점은 빠져 있어 표층수 구획인 SEG1, SEG2, SEG4, SEG5, SEG6에 대해서만 실측치와 예측치를 비교하였다.

NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P는 예측치가 실측치를 제대로 반영하고 있음을 보여준다. 그러나 CBOD, DO, ON은 예측치가 다소 높게 계산되었다. 다른 수질항목 Chl-a와 OP의 예측치는 실측치의 경향이나 범위를 반영하고 있다.

VI. 수질예측

1. 수질오염부하량 증감에 따른 수질항목 농도 변화

오염부하량의 증감은 오염원, 유량, 강우시의 유출물, 오폐수처리장의 가동 등 때문에 일어날 수 있다. 이에 따른 수질 변화를 예측하고자 현재에 비해 부하량이 50% 감소, 50%증가, 100%증가되었을 때 수질항목 농도가 어느 정도 변화하는가를 모의하였다. T-N, T-P, CBOD

의 농도는 모든 구획에서 증가하는 것을 보여주고 있는데 비해, DO의 경우 낮아지는 것을 보여주고 있다.

T-N농도는 오염부하량이 50%증감함에 따라 모든 구획에서 0.10- 0.14mg/l 정도 증감하는 것을 보여주고 있다. T-P와 CBOD의 경우 오염부하량 50%증감에 따라 각각 0.003-0.005mg/l, 0.06-0.18mg/l 정도씩 변화하는 것으로 예측되었는데, 특히 CBOD의 경우 다른 구획에 비해 상대적으로 체적이 비교적 작은 SEG8, SEG9, SEG10에서 농도가 비교적 크게 증감하는 것으로 예측되었다. DO는 오염부하량 50% 증감에 따라 농도변화가 거의 없으나 심층수 구획 SEG11, SEG12, SEG13, SEG14에서 미세하게 감소하는 것으로 예측되었다.

2. 저질에서의 용출량 변화에 따른 T-N, T-P, DO 농도의 변화

금강수질검사소의 측정⁵⁾에 의하면 대청호의 경우 지점에 따라 질소의 용출률은 9.9 - 111.5 mgN/m²·day, 인의 용출률은 0.02-1.17 mgP/m²·day이며, SOD는 0.83-4.0g O₂/m²으로 나타나는 것으로 되어 있다. 대청호 수질이 저질로부터의 용출량 변화에 따라 어느 정도

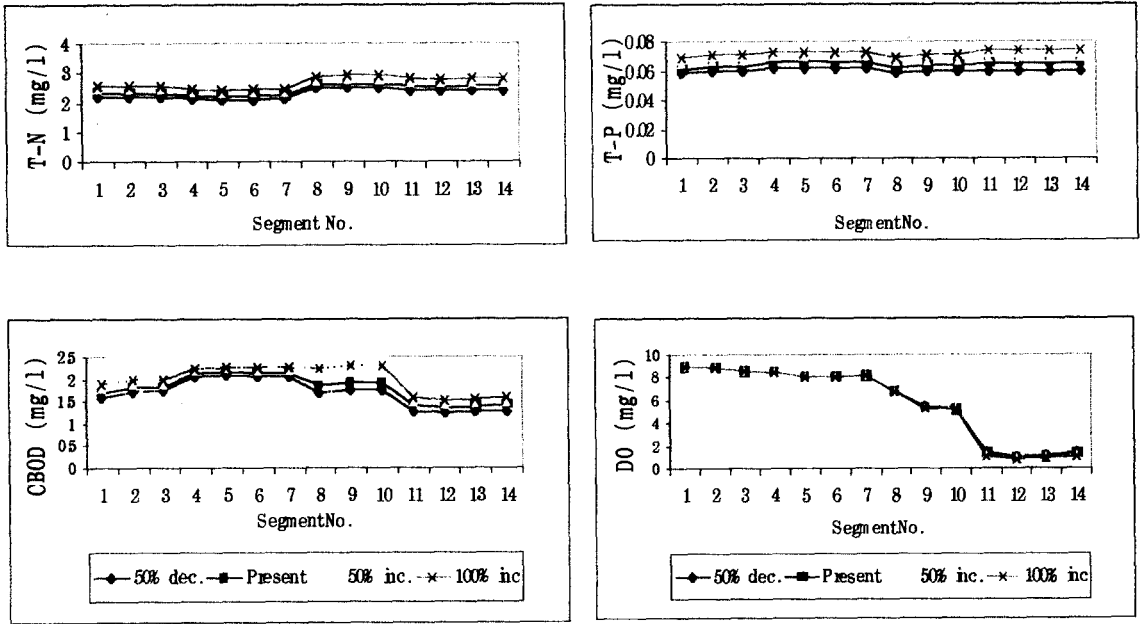


Fig 5. Pollutant Loading and Water Quality

달라지는 가를 예측하기 위하여 이러한 실측치의 범위를 고려하였다.

SEG4, SEG5, SEG6, SEG7에서는 NH₄ flux변화에 따른 T-N농도의 변화가 크게 나타났다. PO₄-P flux 농도변화에 따른 T-P농도변화는 NH₄ flux변화에 따른 T-N농도변화의 경우처럼 SEG4, SEG5, SEG6, SEG7에서 다른 구획보다 상대적으로 크게 나타났다. SOD가 증가할수록 DO는 감소하는 것으로 예측되었는데, 심층수 구획(SEG8-SEG14)에서 DO가 상대적으로 보다 큰 비율로 감소하였다.

3. 유량 변화에 따른 수질항목 농도 변화

유량이 갈수기의 유량(50m³/sec)에서 홍수기의 유량(400m³/sec)으로 변화될 때 이것이 수질에 어느 정도 영향을 미치는 가를 예측하였다. 유량이 증가(감소)하면 대개 DO를 제외한 수질항목의 농도가 대부분의 구획에서 감소(증가)하는 것을 보여주고 있다. 그러나 심층수에서는 반대되는 경향이 나타나기도 하였다. 즉 T-N과 CBOD의 경우 SEG11, SEG12, SEG13, SEG14에 현

재(119m³/sec)보다 유량이 감소할 때 농도가 낮아지는 것으로 예측되었다. 유량증가에 따른 DO변화를 보면 표층수(SEG1-SEG7)에서는 변화가 크지 않으나 심층수(SEG8-SEG14)에서 상대적으로 보다 큰 폭으로 달라지는 것으로 예측되었다.

VII. 결론

WASP5모형을 이용하여 대청호 특성을 반영하는 매개변수 값을 추정하고 검증한 후, 오염부하량, 유량, 저질에서의 용출량 등의 변화에 따른 수질항목의 변화를 예측하였는데 그 결과는 다음과 같다.

매개변수 값 변화가 주는 영향은 수질항목에 따라 다르게 나타났다. 여러 매개변수 값을 조정하여 8개 수질항목의 예측치가 모든 구획에서 실측치와 근접하도록 하는 것은 여러번 반복되는 시행착오를 하더라도 쉽지 않았다. 이는 같은 지점에서 비슷한 시기에 측정된 실측치일지라도 측정기관마다 다르다는 점과 관계가 있다. 또한 여름철에는 유량변화가 크므로 유출물이 변화되고 이에 따라 비점오염원 유출오염부하량이 변화되기 때문에 수질항목

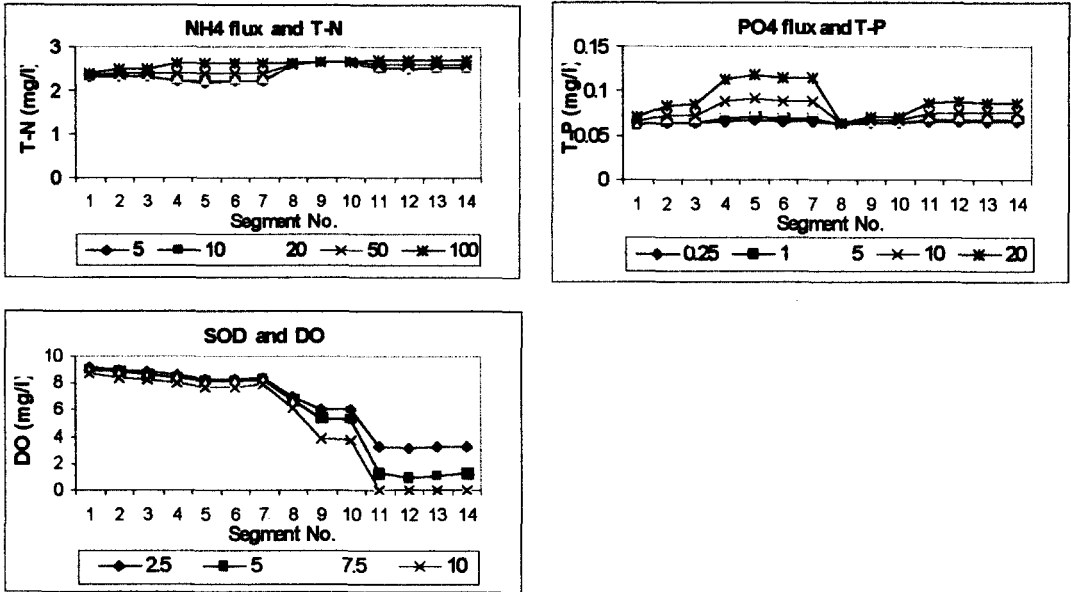


Fig 6. Nutrient Release and T-N & T-P; SOD and DO

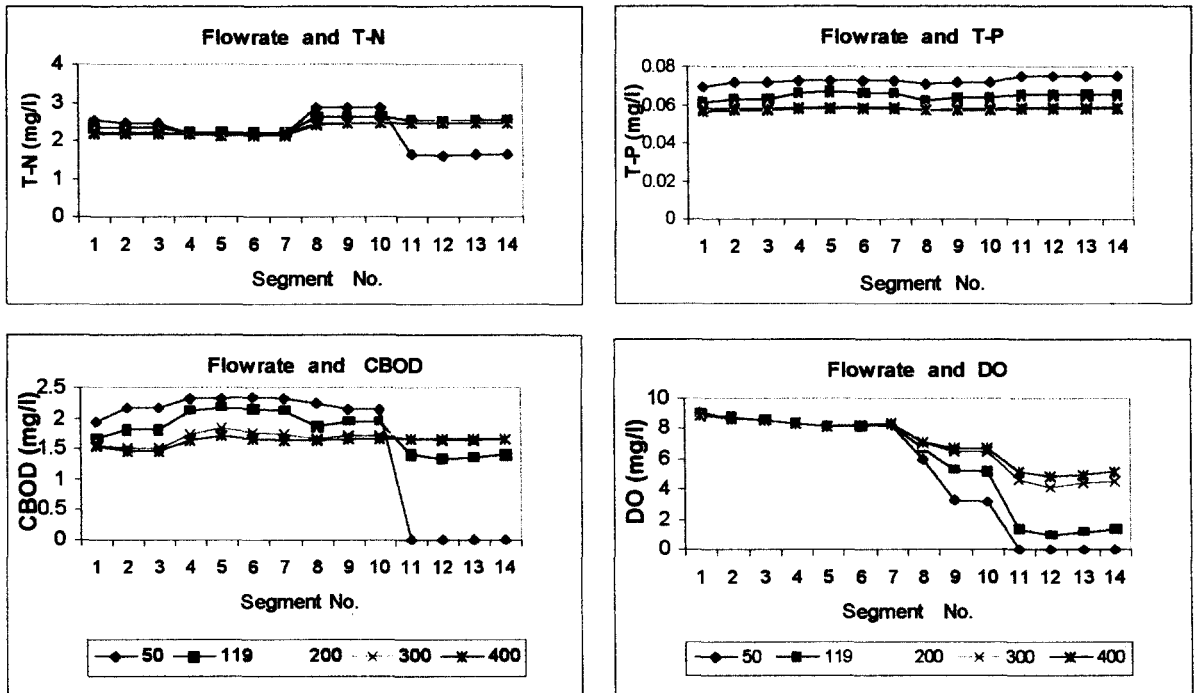


Fig 7. Flowrate and Water Quality

농도가 시시각각으로 달라지는데, 이를 모형에 제대로 반영하는 것이 쉽지 않았다.

오염부하량, 유량, 저질에서의 용출변화 등의 변화에 따라 호수 전역에서 일어나는 수질변화를 예측하는 것은 수질관리대책 수립을 위해 큰 의의가 있다. 오염부하량의 증감에 따른 수질항목의 농도변화; 저질에서의 NH_4 flux, PO_4 flux, SOD농도 등의 변화에 따른 T-N, T-P, DO농도변화; 그리고 유량 변화에 따른 수질항목농도의 변화는 다음과 같이 요약할 수 있다.

T-N농도는 오염부하량이 50%증감함에 따라 모든 구획에서 0.10-0.14mg/l 정도 증감하는 것을 보여주고 있다. T-P와 CBOD의 경우 오염부하량 50%증감에 따라 각각 0.003-0.005mg/l, 0.06-0.18mg/l 정도씩 변화하는 것으로 예측되었는데 특히 CBOD의 경우 심층수 구획중 상대적으로 체적이 비교적 작은 SEG8, SEG9, SEG10에서 농도가 비교적 크게 증감하는 것으로 예측되었다. DO는 오염부하량 50% 증감에 따라 농도변화가 거의 없으나 심층수 구획중 SEG11, SEG12, SEG13, SEG14에서 미세하게 감소하는 것으로 예측되었다. 수질모델링을 통해 오염부하량 증감에 따른 수질변화를 예측하는 것은 향후 해당 수계의 환경용량 분석에 적용될 수 있으며 이는 대청호 주변지역의 향후 개발행위의 종류, 규모, 위치 등에 대한 제한 근거가 될 수 있을 것이다.

표층수 구획중 SEG4, SEG5, SEG6, SEG7에서는 NH_4 flux변화에 따른 T-N농도의 변화가 크게 나타났다. PO_4 -P flux농도변화에 따른 T-P농도변화는 NH_4 flux변화에 따른 T-N농도변화와 같이 SEG4, SEG5, SEG6, SEG7에서 다른 구획보다 상대적으로 크게 나타났다. SOD가 증가할수록 DO는 감소하는 것으로 예측되었는데 심층수 구획(SEG8-SEG14)에서 DO가 큰 비율로 감소하였다.

유량이 증가(감소)하면 대개 DO를 제외한 수질항목의 농도가 대부분의 구획에서 감소(증가)하는 것을 보여주고 있다. 그러나 심층수에서는 이와 반대의 경향이 나타나기도 하였다. 즉 T-N과 CBOD의 경우 심층수 구획중 SEG11, SEG12, SEG13, SEG14에서 현재(119m³

/sec)보다 유량이 감소할 때 농도가 낮아지는 것으로 예측되었다. 유량증가에 따른 DO변화를 보면 표층수(SEG1-SEG7)에서는 변화가 크지 않으나 심층수(SEG8-SEG14)에서는 큰 폭으로 달라지는 것으로 예측되었다.

참고문헌

1. 금강환경관리청, 1998, 「97 금강중권역 수질오염원 현황」.
2. 경기개발연구원, 1997, 「팔당상수원 수질개선 방안에 관한 연구」.
3. 금강수질검사소, 1995, 「대청호 수질보전 종합대책에 관한 연구(Ⅰ)-대청호의 수질오염 및 조류생태조사」, 「국립환경연구원보」, 17 : 293-314.
4. 금강수질검사소, 1996, 「대청호 수질보전 종합대책에 관한 연구(Ⅱ)-금강상류역의 오염원현황 및 수질예측모델링」, 「국립환경연구원보」, 18 : 349-363.
5. 금강수질검사소, 1996, 「대청호 수질보전 종합대책에 관한 연구(Ⅱ)」, 국립환경연구원.
6. 이종호, 1992, 「수지형 댐호의 2차원 수질예측모형의 개발에 관한 연구」, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
7. 조재현, 박재용, 1997, 「청초호의 수질 Modeling과 저질로부터의 용출에 관한 민감도분석」, 「관동대학교 산업기술연구소 논문집」, 11.
8. 조홍연, 전경수, 이길성, 한광석, 1993, 「WASP4 모형의 매개변수 추정-팔당호를 중심으로」, 「대한토목학회논문집」, 13(4) : 177-188.
9. 조홍연, 전경수, 이길성, 1993, 「WASP4 모형에 의한 수질모델링」, 「한국해양해양공학회지」, 5(3) : 221-231.
10. 한국수자원공사, 1992, 「다목적댐호 수질예측에 의한 오염저감 최적화 방안에 관한 연구(2차)보고서」.
11. 황병기, 1997, 「수질모델 EUTRO5를 이용한 확산계수산정법에 관한 연구」, 「한국수질보전학회지」,

- 13(3) : 275-282.
12. 황병기, W. S. Lung, 1998, "WASP5/EUTRO5 모델링시스템을 이용한 연안역개발에 따른 향후 수질예측 및 관리사례," 「한국물환경학회지」, 14(2) : 177-186.
 13. Ambrose, Robert B. and James L. Martin, 1993, The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP 5 : Part A Model Documentation, Environmental Research Laboratory, U. S. EPA.
 14. Ambrose, Robert B. and James L. Martin, 1993, The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP 5 : Part B The WASP5 Input Dataset, Environmental Research Laboratory, U. S. EPA.
 15. Ambrose, Robert B. and James L. Martin, 1993, The Dynamic Estuary Model Hydrodynamics Program, DYNHYD5 Model Documentation and User Manual, Environmental Research Laboratory, U. S. EPA.
 16. Bobie, George L. et al., 1985, Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling, Environmental Research Laboratory, U. S. EPA.
 17. Chapra, Steven C., 1997, Surface Water-Quality Modeling, New York : McGraw-Hill.
 18. Jin, Kang-Ren, R. Thomas James, Wu-Seng Lung, Daniel P. Loucks, Richard A. Park, and Todd S. Tisdale, 1998, "Assessing Lake Okeechobee Eutrophication with Water Quality Models," Journal of Water Resources Planning and Management, 124(1) : 22-30.
 19. Lung, Wu-Seng and Catherine E. Larson, 1995, "Water Quality Modeling of Upper Mississippi River and Lake Pepin," Journal of Environmental Engineering, 121(10) : 691-699.
 20. Nemerow, Nelson Leonard, 1991, Stream, Lake, Estuary, and Ocean Pollution, New York : Van Nostrand Reinhold.
 21. Novotony, Vladimir and Harvey Olem, 1994, Water Quality, Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold.
 22. Schnoor, Jerald L., 1996, Environmental Modeling, New York : John Wiley & Sons, Inc.
 23. Thomann, Robert and John A. Mueller, 1987, Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, New York : Harper & Row, Pub.
 24. Warwick, J. J, D. Cockrum, and M. Horvath, 1997, "Estimating Non-Point-Source and Associated Water Quality Impacts," Journal of Water Resources Planning and Management, 123(5) : 302-310.