

WASP7 모형을 이용한 임하호 수질모의에 관한 연구

안승섭 · 서명준* · 정도준* · 박노삼**

경일대학교 건설정보공학과, *경일대학교 대학원, **경일대학교 토목공학과
(2008년 2월 2일 접수; 2008년 3월 10일 채택)

The Research about the Water Quality Prediction at Imha Reservoir Using a WASP7 Model

Seung-Seop Ahn, Myung-Joon Seo, Ro-Sam Park and Do-Joon Jung

Department of Construction and Geoinformatics Engi., Kyungil University, Daegu 721-701, Korea

**Department of Graduate School, Kyungil University, Daegu 721-701, Korea*

***Department of Civil Engi., Kyungil University, Daegu 721-701, Korea*

(Manuscript received 2 February, 2008; accepted 10 March, 2008)

Abstract

This study intends to provide the necessary basic data needed for predicting the water quality and examining changes in water quality on the basis of the hydrological changes: an outflow or the character of a flow by investigating the interaction of the parameters through the estimation of optimal parameters need for predicting the water quality of the dam basin and the sensitivity among those estimated parameters. Im-Ha Dam in the upstream area of the Nakdong River was selected for analysis, and the water quality survey data necessary for parameter estimation was based on the monthly water quality data (water temperature, BOD, T-N and T-P) between December 1, 2005~November 31, 2006. K1C(the saturated growth rate of plant plankton), K1RC (endogenous respiratory quotient of plankton), KDC(deoxidized ratio), K71C(mineralized ratio of dissolved organic phosphorus), K83C(mineralized ratio of dissolved organic nitrogen) have been considered as the factors of the water quality performed in this water quality simulation, that is, the most effective parameters on BOD, T-N and T-P. In the result of the analysis of the sensitivity, KDC(deoxidized ratio) was the most sensitively reacted parameter on BOD and it was K71C(mineralized ratio of dissolved organic phosphorus) and K83C(mineralized ratio of dissolved organic nitrogen) on T-N and T-P. It is considered that it will be possible to apply the most optimal parameter to an analysis of the water quality simulation at Im-Ha Ho basin in the goal year by examining the interaction of the parameters through the parameters sampling which are able to applicable to prediction of the water quality and the analysis of the its sensitivity, in the future, also the analysis on the basis of the hydrological conditions: an outflow or the character of a flow will be needed.

Key Words : Water quality modelling, WASP, Parameter, BOD, DO, T-N, T-P

1. 서 론

건설기술의 발전에 따른 댐 건설로 인하여 무분별한 저수지 상류지역의 개발과 토지이용의 변화에

의해 부영양화 등의 문제로 수자원으로서의 역할이 저하되고 있음에도 개발과 보전에 대한 충분한 대책을 수립하지 못함으로 인하여 개발과정에서 발생되고 있는 환경문제, 특히 수질오염으로 인한 환경악화는 새로운 환경문제로 대두되고 있다. 수질모형의 궁극적인 목적은 모형적용 대상지역에서의 수질을 평가 또는 관리하는 것이나, 이를 위해서는 수질항목들 간의 반응계수 등으로 구성되는 매개변수의 추정, 즉 모형의 보정 및 검증이 선행되어야 하며 같은 모형을 사용할 경우에도 이러한 매개변수들은 그 적용지역에 따라 일반적으로 다른 값들을 가지며 변수들 간의 상대적인 중요성도 달라진다. 모형의 구조가 복잡하고 그에 따라 추정할 매개변수가 많아질 경우에는 보통 시행착오법에 의존하여 모형을 보정하게 되어 많은 노력을 요하게 된다.

최근의 호소수의 수질모의에 관한 연구로는 정 등¹⁾은 WASP5 & WASP Builder을 이용한 농업용저수지 유역의 수질관리에 관한 연구를 진행한 바 있으며 한 등²⁾은 대청호에서 WASP5 모델 매개변수에 관한 연구를 진행한 바 있다. 안 등³⁾은 수질예측을 위한 WASP7 모형 매개변수의 추정에 대하여 연구를 진행하였다. 즉, 수질 항목 및 매개변수들을 몇 개의 군으로 나누어, 각 군의 매개변수들을 시행착오법에 의하여 순차적으로 추정하였으며, 모의 수질 항목으로서 Chl-a, 질소순환요소들, 인 순환 요소들, BOD 및 DO 등을 포함하였고, 옵션 4(complexity 4)에서 수질을 모의한 결과, 수질항목 및 관련 매개변수들을 계열별로 분류하여 추정하는 것이 많은 수의 매개변수 추정에 있어서 효율적인 방법임을 제시하였다. 또한 모형의 보정 및 검증결과, 유기물의 비점오염원 및 저면 용출량에 대한 정량적 평가가 필요함을 제시 하였으며 최⁴⁾는 GIS와 WASP5 수질모델의 유기적 통합에 관한 연구를 진행한 바 있다. 윤과 함⁵⁾은 SWMM 과 WASP5 모형을 사용한 하수담수호의 수질 예측에 대한 연구를 진행하였다.

이와 같이 많은 연구를 통해 저수지의 장래 수질을 예측하기 위해 수질예측모형이 적용되고 있으나, 저수지 수질 예측 모형의 대부분은 국외에서 개발된 것으로 국내의 저수지에 적용하기 위한 저수지의 특정 매개변수 값 선정에는 많은 문제점이 있다. 따라서 본 연구는 호소의 수질모델링에 적합한 것으로 알려진 WASP7 모델을 이용하여 각 매개변

수를 추정하고 추정된 각 매개변수의 민감도 분석 및 수문조건에 따른 수질을 예측함으로써 호소수의 오염물질의 시·공간적인 거동특성을 파악하고 장래 수질예측과 수질오염으로 인한 환경악화 문제해결에 이용할 수 있는 최적의 모델을 파악하여 오염원을 효과적으로 최소화 하는데 목적이 있으며 댐 유역의 수질예측에 필요한 최적 모형 매개변수를 추정함과 추정된 각 매개변수간의 민감도 분석을 통해 매개변수들의 상호작용을 규명함으로써 향후 댐 유역의 방류량 및 흐름특성 등 수문학적 변화에 따른 장래 수질예측 및 수질변동 상태를 검토하는데 필요한 기초 자료로 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. WASP7 기본이론 및 분석 방법

2.1.1. WASP7 모형의 개요

WASP7 모형은 1981년 USA.EPA에 의하여 개발된 WASP 모형이 수정·보완되어 발전된 모형이다⁶⁾. WASP7 모형은 호소수의 수질모의에 널리 이용되고 있는 것으로 국내외에서 이미 적용한 사례가 많을 뿐만 아니라 그 계산 능력의 우수성이 입증된 모델이다.

WASP7 모형은 분석하는 수질모의의 특성에 따라 부영양화와 독성물질에 대한 모형으로 구성되어 있으며 이를 EUTRO 모형과 TOXI 모형이라 한다. EUTRO 모형은 6종류의 옵션(Complexity Level)에 따라 수질 모의를 수행하는데, ‘옵션1’은 하상 침전물 산소 요구량과 유기물질의 침전이 고려된 Streeter-Phelps 모형이며, ‘옵션2’는 BOD를 CBOD와 NBOD로 구분한 수정된 Streeter-Phelps 모형이다. ‘옵션3’는 완전 선형 DO 수치식으로 NBOD 분해과정을 nitrification 과 mineralization 으로 구분하였고, 식물성 플랑크톤 농도에 따른 광합성과 호흡의 영향을 포함시켰다. ‘옵션 4,5,6’은 조류, 암모니아 질소(NH₃-N), 유기질소(Organic N), 인삼염 인(PO₄-P), 유기인(Organic P), 생화학적 산소요구량(CBOD), 용존산소량(DO) 등의 8개의 수질항목을 요구하는데, 이 중 ‘옵션4’는 선형 반응 모형을 사용하며, ‘옵션5’는 비선형 반응 및 탈질산화 과정을 포함하고, ‘옵션6’은 8개의 수질항목과 저층 생물군의 상호작용을 모의할 수 있다.

EUTRO 모형은 수질항목의 공간적, 시간적 변화

를 모의하는 동적모델로서 입력자료가 방대하게 요구되며, 또한 형식에 맞추어 직접 입력 파일을 만들어야 하며 총 10개의 입력자료(Model Identification and Simulation Control, Exchange Coefficients, Volumes, Flows, Boundary Concentrations, Waste Loads, Parameters, Chemical Constants, Time Functions, Initial Conditions)으로 구성되어 있다.

모형의 지배방정식은 연속성과 물질수지식을 이용한 질량 보존 방정식을 사용하고, 수질항목간의 상호반응은 식물성 플랑크톤을 중심으로 암모니아성 질소, 질산성 질소, 무기 인산염, 생화학적 산소 요구량, 용존산소, 유기질소, 유기인 등의 8개의 수질항목의 운송 및 반응을 계산한다.

2.1.2. 대상유역의 선정 및 입력자료의 구축

본 연구에서 대상지역으로 선정한 지역은 낙동강 상류에 위치해 있으며 반변천의 지류이며 임하댐을 포함하고 있는 임하호의 일부이다. 임하댐이

준공되면서 낙동강 유역의 수자원을 효율적으로 개발할 수 있어 하류지역의 홍수피해를 줄이고, 수질 개선은 물론 낙동강 중·하류 지역의 늘어나는 물 소비량을 충당할 수 있게 되었으나 임하호 부근의 넓게 분포되어 있는 점토질의 토양과 유입된 미세 토양 입자의 무게가 물의 부력보다 가벼워 제대로 가라앉지 않고 물위에 부유함으로써 발생하는 탁수문제는 해결해야할 중요한 환경문제이다. 본 연구의 적용수역은 정체수역 이므로 유속실측 자료가 없어 흐름특성에 따른 segment의 분할에 어려움이 따른다. 그러나 수질모의를 위한 사전작업으로 수리모형의 최적화는 필수적이므로 호수의 지형특성, 인근 오염원의 개체수, 호수내 댐의 위치 및 수질측정 지점등을 고려하여 Fig. 2와 같이 수평으로 6개의 표수층 segment 와 수직으로 심수층 6구획, 상위저질층 6구획, 하위저질층 6구획의 segment 로 구분하였다.

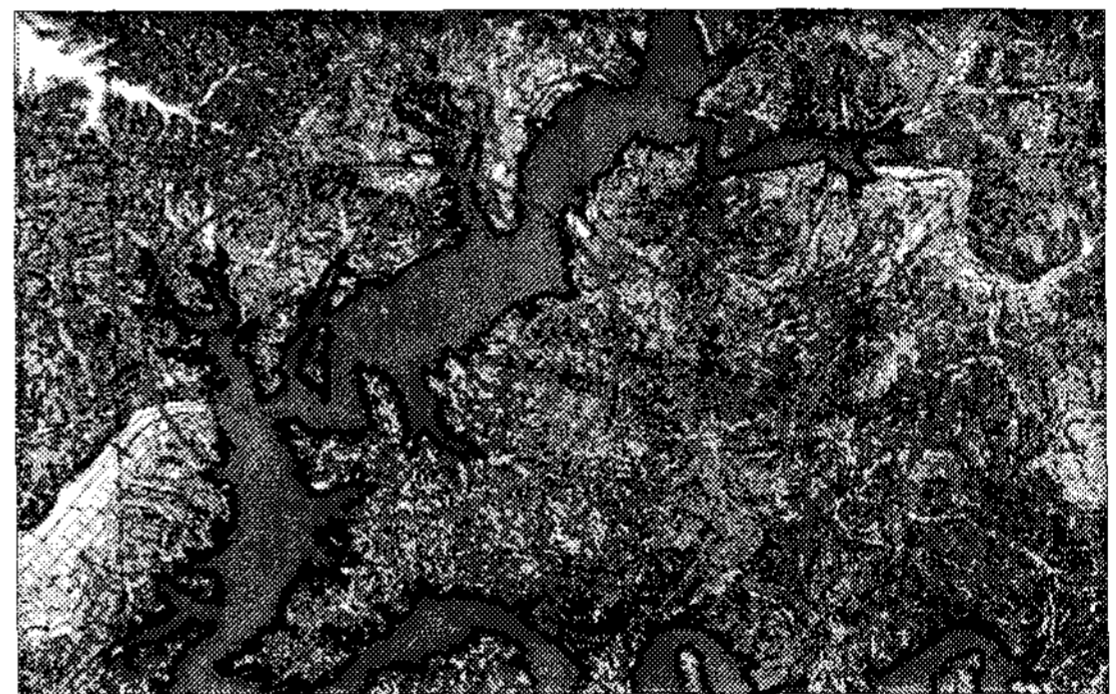


Fig. 1. Basin map of Imha reservoir.

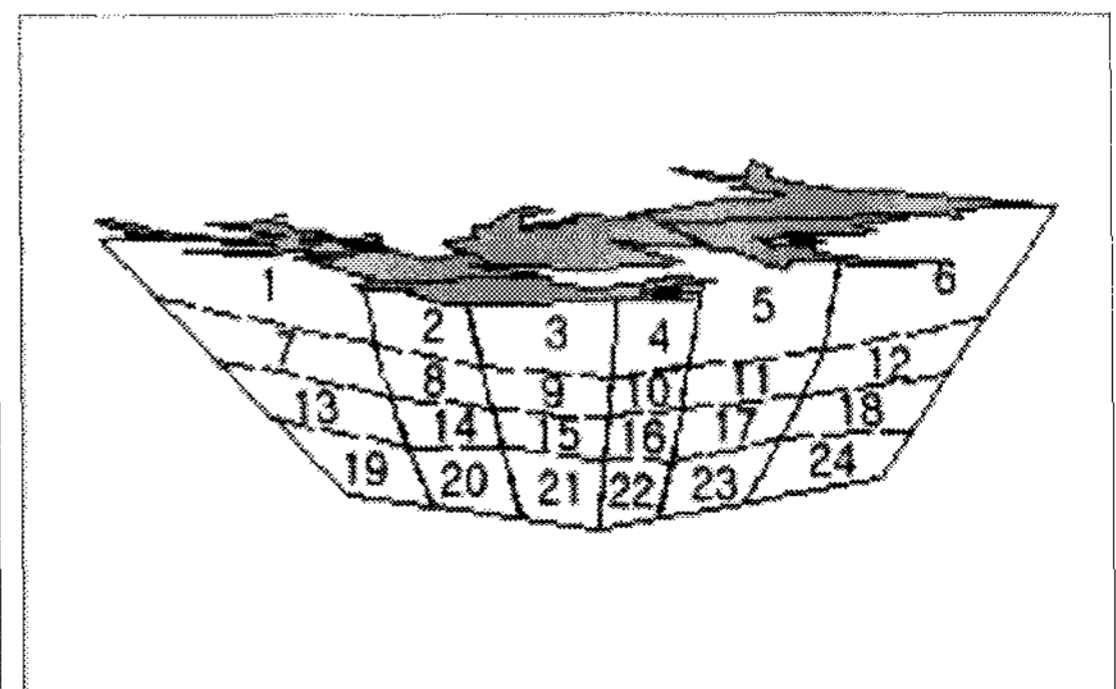


Fig. 2. Segmentation of reservoir.

Table 1. Segment information

Segment No.	Area(m ²)	Depth(m)	Volume(km ³)	Segment type
1	352937500.2	36.104	12742455507.221	Surface
2	370125000.1	36.104	13362993003.610	Surface
3	544437499.8	36.104	19656371492.779	Surface
4	845375000.7	36.104	30521419025.273	Surface
5	764500000.3	36.104	27601508010.831	Surface
6	556000000.2	36.104	20073824007.221	Surface
7	352937500.2	36.104	12742455507.221	Subsurface
8	370125000.1	36.104	13362993003.610	Subsurface
9	544437499.8	36.104	19656371492.779	Subsurface
10	845375000.7	36.104	30521419025.273	Subsurface
11	764500000.3	36.104	27601508010.831	Subsurface
12	556000000.2	36.104	20073824007.221	Subsurface
13	352937500.2	36.104	12742455507.221	Surface Benthic
14	370125000.1	36.104	13362993003.610	Surface Benthic
15	544437499.8	36.104	19656371492.779	Surface Benthic
16	845375000.7	36.104	30521419025.273	Surface Benthic
17	764500000.3	36.104	27601508010.831	Surface Benthic
18	556000000.2	36.104	20073824007.221	Surface Benthic
19	352937500.2	36.104	12742455507.221	Subsurface Benthic
20	370125000.1	36.104	13362993003.610	Subsurface Benthic
21	544437499.	36.104	19656371492.779	Subsurface Benthic
22	845375000.7	36.104	30521419025.273	Subsurface Benthic
23	764500000.3	36.104	27601508010.831	Subsurface Benthic
24	556000000.2	36.104	20073824007.221	Subsurface Benthic

Table 2. Water quality by segment

Month	Observed water quality								
	Segment No. 1,2,7,8,13,14,19,20			Segment No. 3,4,9,10,15,16,21,22			Segment No. 5,6,11,12,17,18,23,24		
	BOD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)
2005.12	1.7	1.533	0.030	2.0	1.522	0.022	1.5	1.503	0.024
2006.01	1.6	1.514	0.024	2.1	1.520	0.021	1.5	1.578	0.018
2006.02	1.4	1.485	0.025	1.7	1.504	0.022	1.5	1.670	0.018
2006.03	1.2	1.314	0.026	1.3	1.394	0.018	1.7	1.810	0.022
2006.04	1.3	1.483	0.024	1.2	1.361	0.019	1.9	1.839	0.035
2006.05	1.2	1.451	0.018	1.2	1.317	0.021	1.8	1.471	0.030
2006.06	1.3	1.405	0.024	1.2	1.386	0.021	1.6	1.392	0.024
2006.07	2.0	2.071	0.040	1.9	2.074	0.039	2.3	1.962	0.044
2006.08	1.9	1.847	0.038	1.8	1.908	0.035	1.9	1.800	0.042
2006.09	1.7	1.504	0.035	1.8	1.553	0.033	1.8	1.426	0.035
2006.10	1.7	1.409	0.031	1.8	1.427	0.028	1.7	1.435	0.030
2006.11	1.8	1.407	0.028	1.8	1.351	0.029	1.7	1.402	0.028

Table 3. Water quality materials

Month	Observed water quality				
	BOD(mg/ℓ)	T-N(mg/ℓ)	T-P(mg/ℓ)	EL.m	Water temperature (°C)
2005.12	1.7	1.533	0.030	143	9
2006.01	1.6	1.514	0.024	141	3
2006.02	1.4	1.485	0.025	140	3
2006.03	1.2	1.314	0.026	139	3
2006.04	1.3	1.483	0.024	141	7
2006.05	1.2	1.451	0.018	143	6
2006.06	1.3	1.405	0.024	143	13
2006.07	2.0	2.071	0.04	157	15
2006.08	1.9	1.847	0.038	149	18
2006.09	1.7	1.504	0.035	147	16
2006.10	1.7	1.409	0.031	146	14
2006.11	1.8	1.407	0.028	144	14

note) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs⁷⁾

Table 4. Pollutational load

Index	Production pollutational load(kg/day)			Discharge pollutational load(kg/day)		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
Total	798.3	92.2	16.4	301.8	72.3	10.9
Population	325.5	41.0	8.6	135.9	25.3	5.0
Industry	221.4	9.7	2.8	16.0	6.4	1.0
Stock raising	166.2	21.6	3.4	64.7	20.7	3.3
Fishing industry	22.1	2.9	0.8	22.1	2.9	0.8
Land use	63.1	16.9	0.8	63.1	16.9	0.8

note) Ministry of Environment⁸⁾

2.1.3. 대상유역 수질조건 및 자료의 구축

건설교통부와 한국 수자원 공사에서 제공하는 연구대상지역의 수질실측 지점의 BOD, T-N, T-P, 수온 등의 수질인자 실측값을 자료로 활용 하였으며, 연구대상 기간은 2005년 12월부터 2006년 11월까지로 하였다. 그리고 수질실측 지점의 실측된 수질인자의 최저값을 참고하여 초기농도를 선정하였다. 연구대상지역에서 모의하는 각 수질인자의 초기조건은 BOD 1 mg/ℓ, T-N 1 mg/ℓ, T-P 0.020 mg/ℓ로 설정 하였으며 대상유역의 수온은 봄(3,4,5월), 여름(6,7,8월), 가을(9,10,11월), 겨울(12,1,2월)로 나누어 기상청의 자료를 참고하여 각 계절별로 평균값을 적용하였다. 그리고 대상지역의 계절별 저수위 변동을 고려하여 계절별로 저수위를 나누어 적용하였으며 오염부하량의 입력은 환경부의 낙동강권역 수

Table 5. Monthly outflow

Month	Average (m ³ /s)	Lowest (m ³ /s)	Highest (m ³ /s)
2005-12	6.08	4.70	9.40
2006-01	6.02	4.60	9.00
2006-02	5.98	4.70	8.50
2006-03	6.34	4.70	17.00
2006-04	6.05	4.70	9.00
2006-05	12.92	9.80	16.80
2006-06	19.65	12.70	21.10
2006-07	186.71	12.80	643.80
2006-08	49.98	19.60	116.30
2006-09	13.35	11.50	14.70
2006-10	16.24	14.70	17.30
2006-11	8.83	4.70	10.00

note) Korea water resources corporation⁹⁾

질오염원 조사 보고서에서 낙동강 상류지역의 오염 부하량을 산정한 값을 기초로하여 연구대상지역인 임하댐 주변의 임동면, 망천리, 수곡리 인구수와 축

산농가 등의 자료와 비교·검토하여 연구대상지역의 면적별로 배분하여 시간단위로 환산하여 적용하였다. 또한 각 월별 방류량의 평균값을 적용하여 방

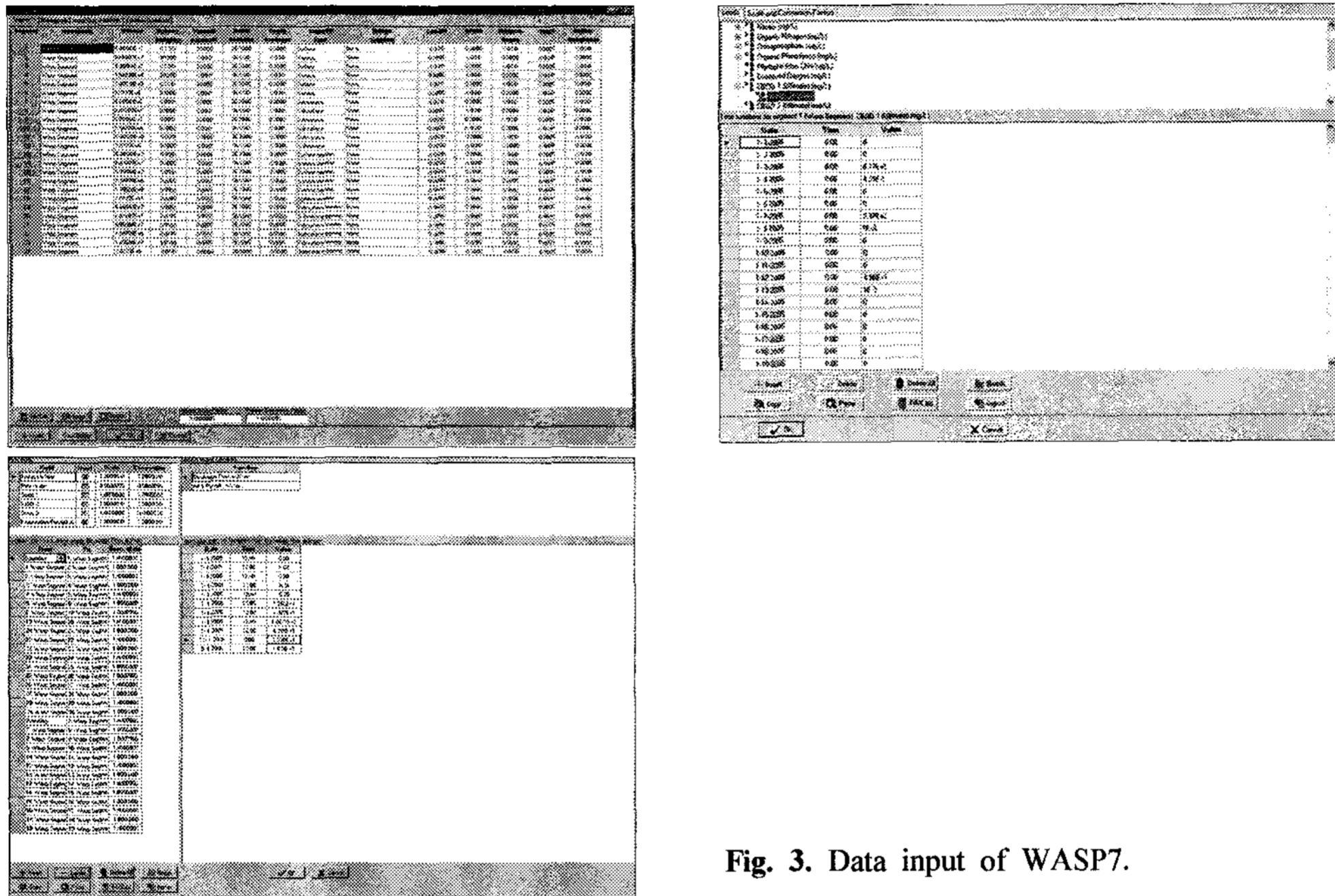


Fig. 3. Data input of WASP7.

Table 6. Calibrated values of reaction coefficients

Parameter	Value from WASP model (U.S.EPA)	Estimation value	Remark
K12C	0.09 - 0.13	0.09	Nitrification rate at 20°C, per day
K12T	1.08	1.05	K12C Temperature coefficient
KNIT	0.5	0.52	Half-saturation constant for nitrification-oxygen limitation, mg O ₂ /L
K20C	0	0	Denitrification rate at 20°C
K20T	1.08	1.01	K20C Temperature coefficient
KNO3	0.1	0.2	Half saturation constant for oxygen limitation
K1C	2.0	2.0	Saturated growth rate of phytoplankton
K1T	1.068	1.0	K1C Temperature coefficient
KMPG1	1.0	1.4	Phosphorous half-saturation constant for phytoplankton
K1RC	0.02 - 0.6	0.05	Endogenous respiration rate of phytoplankton
K1D	0.02	0.01	Non-predatory phytoplankton death rate
KPZDT	0	1.0	K1D Temperature coefficient
KDC	0.16 - 0.21	0.13	CBOD deoxygenation rate at 20°C, per day
KDT	1.047	1.0	KDC Temperature coefficient
KDSC	0.0004	0.0004	Organic carbon decomposition rate in sediment
K71C	0.075	0.070	Mineralization rate of dissolved organic nitrogen, per day
K71T	0	1.0	K71C Temperature coefficient
K83C	0.075	0.081	Mineralization rate of dissolved organic phosphorus, per day
K83T	0	1.0	K83C Temperature coefficient

류 유무에 따른 수질예측결과를 비교·검토 하였다.

다음은 각 계절에 적용된 수온의 군별 평균값과 수질실측 지점의 수질인자 초기농도 및 오염부하량, 방류량 등을 나타내었다.

2.1.4. 대상유역 매개변수 추정 및 민감도분석

매개변수 추정 및 민감도 분석을 위해 WASP7 수질모의 프로그램을 사용하였으며 수질 모의에 선정된 수질인자는 수질예측 매개변수의 민감도 분석을 실시하여 임하댐의 관측 수질을 가장 잘 모의할 수 있는 최적 매개변수를 추정하였으며 추정된 매개변수는 25% 씩 증감시키면서 민감도 분석을 실시하였다. WASP7 에서는 총 22개의 Parameter를 매개변수로 사용하여 수질을 모의할 수 있으나, 본 연구에서는 모의하는 수질항목, 즉 BOD, T-N, T-P에 영향이

있다고 판단되는 매개변수로서는 기존의 연구결과(정 등¹⁾, 안 등³⁾, 윤과 함⁵⁾)를 참고하여 실측된 값이

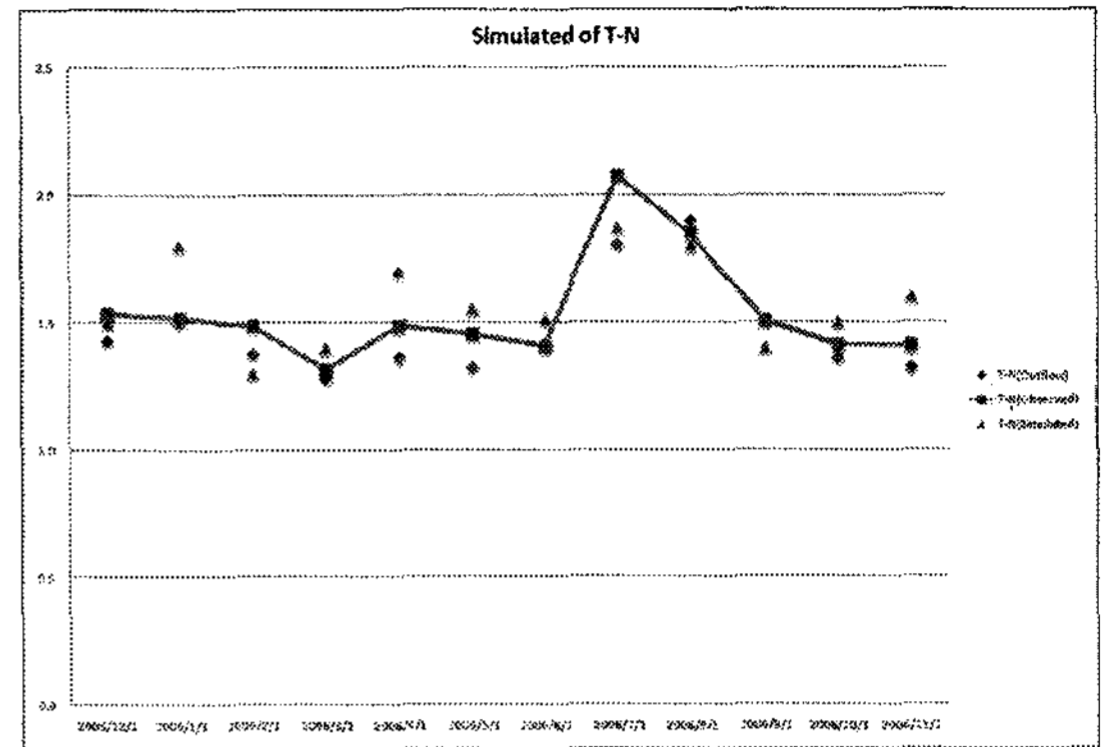


Fig. 5. Simulated of T-N.

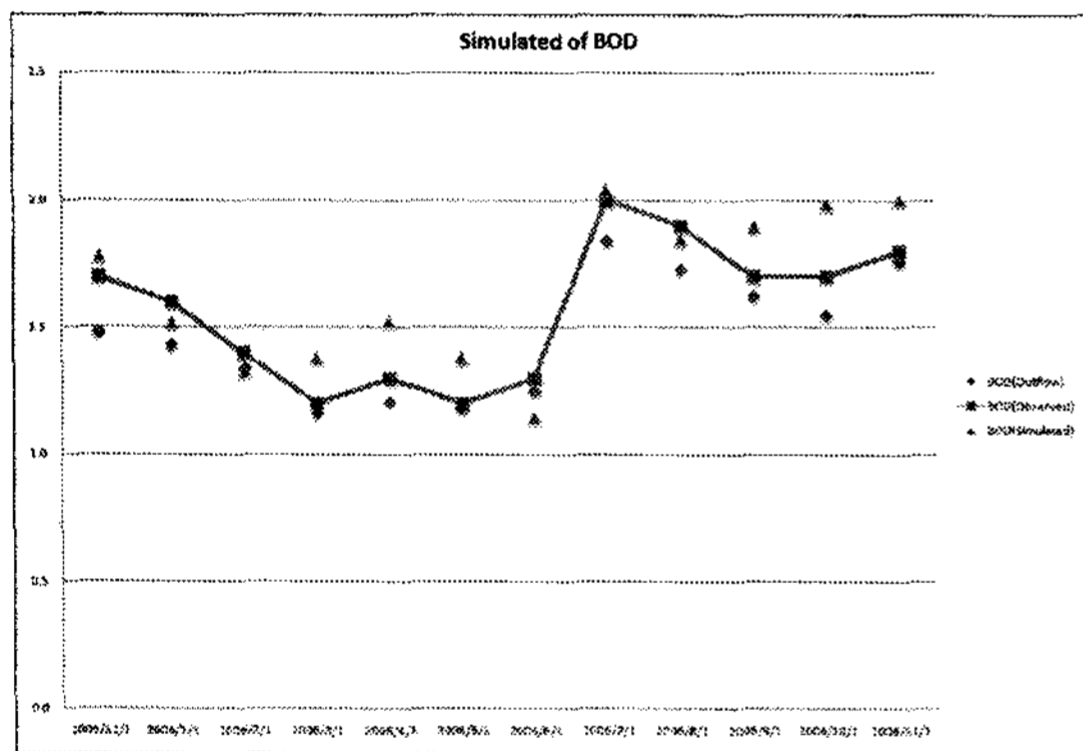


Fig. 4. Simulated of BOD.

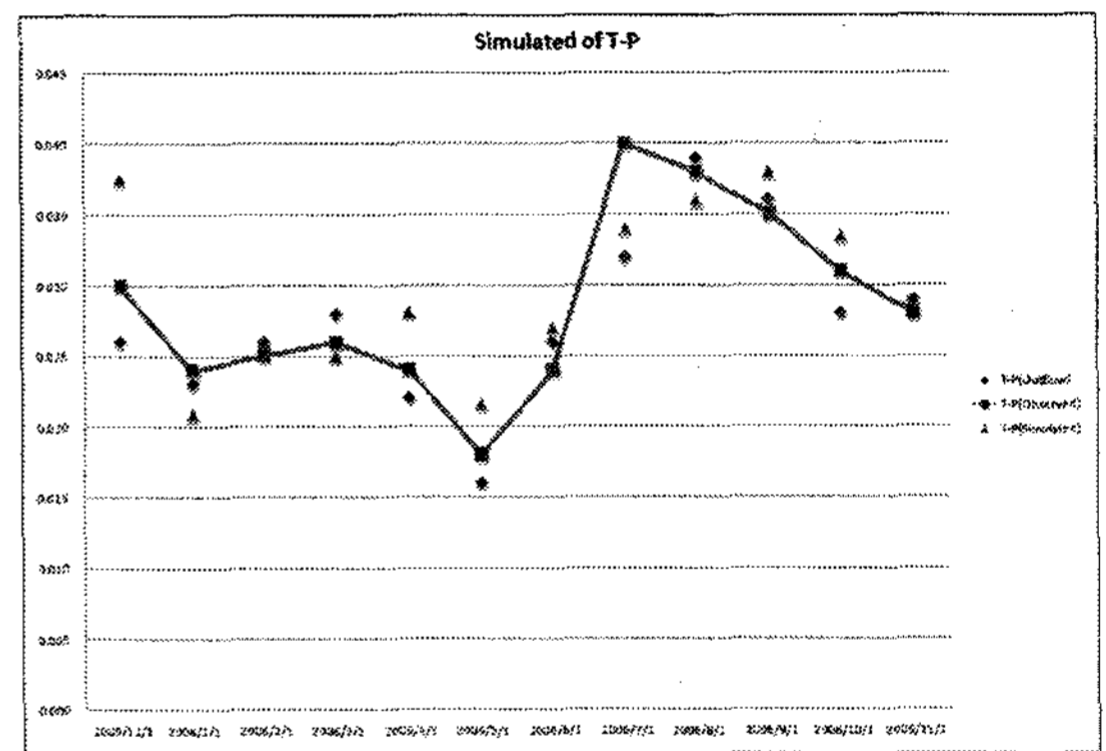


Fig. 6. Simulated of T-P.

Table 7. Parameter simulated of water quality

Monthly	BOD		T-N		T-P	
	Observed	Simulated	Observed	Simulated	Observed	Simulated
2005-12	1.7	1.5	1.5	1.4	0.030	0.026
2006-1	1.6	1.4	1.5	1.5	0.024	0.023
2006-2	1.4	1.3	1.5	1.4	0.025	0.026
2006-3	1.2	1.2	1.3	1.3	0.026	0.028
2006-4	1.3	1.2	1.5	1.4	0.024	0.022
2006-5	1.2	1.2	1.5	1.3	0.018	0.016
2006-6	1.3	1.3	1.4	1.4	0.024	0.026
2006-7	2.0	1.8	2.1	1.8	0.040	0.032
2006-8	1.9	1.7	1.8	1.9	0.038	0.039
2006-9	1.7	1.6	1.5	1.5	0.035	0.036
2006-10	1.7	1.6	1.4	1.4	0.031	0.028
2006-11	1.8	1.8	1.4	1.3	0.028	0.029

없이 비교·검토를 할 수 없는 풍속, 일조량 등의 3가지 매개변수를 제외한 19개 매개변수를 선정하였다. 댐유역의 수질모의를 위한 매개변수의 적용범위는 U.S. EPA에서 제시하고 있으며 제공한 각각의 매개변수 값의 최저값과 최고값의 범위를 시행착오법으로 조정하면서 임하댐의 수질실측값과 가장 유사하게 모의가 가능한 매개변수 값을 추정하였으며, 그 결과 Table 6 및 Fig. 4~Fig. 6과 같았다.

Fig. 4~Fig. 6에서 보는바와 같이 모의하는 수질항목의 실측값과의 비교에서 방류량을 입력하였을 때가 방류량을 입력하지 않았을 때 보다 좀 더 실측값에 근사한 결과를 보이는 것으로 나타났으며 전체적인 수질모의 결과는 실측치와의 비교에서 약 1% 내외의 오차율을 보임으로서 적절한 수질모의 분석이 행하여 졌다고 판단된다.

2.1.5. 민감도 분석

WASP7 프로그램을 이용하여 댐 유역의 수질모

의를 하기위해 U.S.EPA에서 제공하는 매개변수의 적용범위를 기초로 하여 시행착오법으로 본 연구의 대상지역인 안동댐유역에 적절한 매개변수를 추정하는 과정에서 매개변수의 적용 값을 변화시켰을 때 모의한 수질항목 BOD, T-N, T-P 의 수질모의 값의 변화폭이 가장 큰 5개의 매개변수, K1C, K1RC, KDC, K71C, K83C 를 각각 -50%, -25%, 0%, +25%, +50% 로 증감하여 수질모의를 실행함으로써, 각 매개변수 민감도를 분석하였다. 다음은 각 지점에 최적매개변수를 적용하여 모의한 수질예측의 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

민감도 분석결과 Fig. 7~Fig. 12에서 보는바와 같이 각각의 매개변수를 차감한 비율이 커짐에 따라 대체적으로 예측치의 결과가 실측치와 상이한 경향을 보였다. Fig. 7의 경우 BOD의 실측치와 본 연구에서 사용한 WASP 모형을 이용하여 같은 기간 동안에 실측치와 가장 근사한 값을 갖는 5개의 매개변수의 값을 임의로 -50% 로 조정하여 실측치와 예측

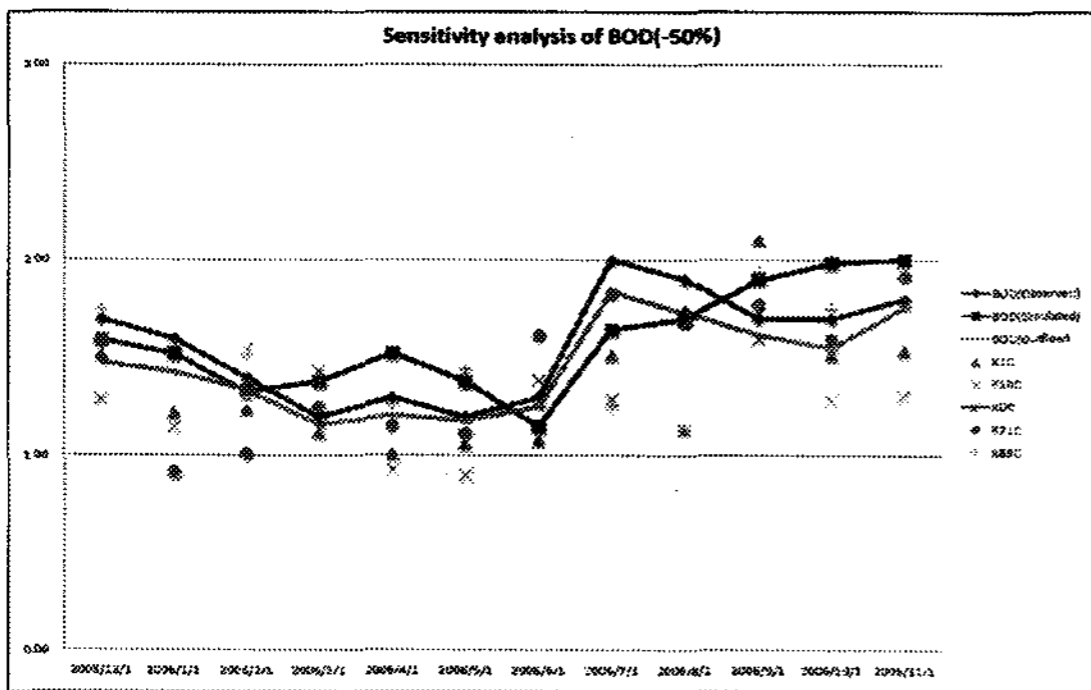


Fig. 7. Sensitivity analysis of BOD(-50%).

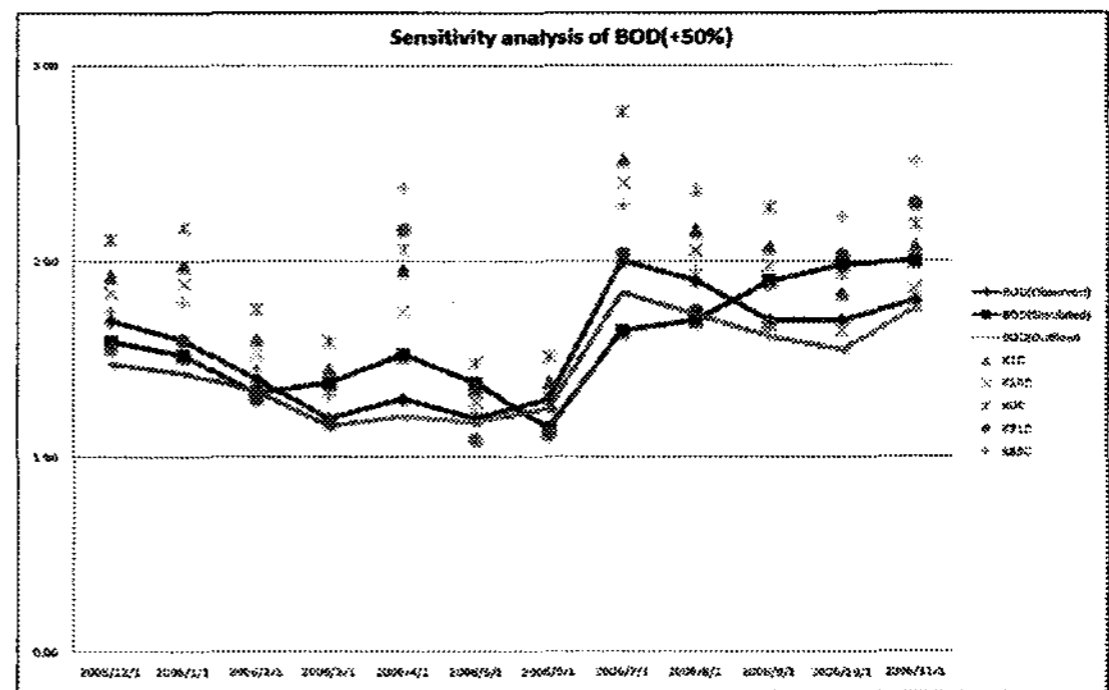


Fig. 8. Sensitivity analysis of BOD(+50%).

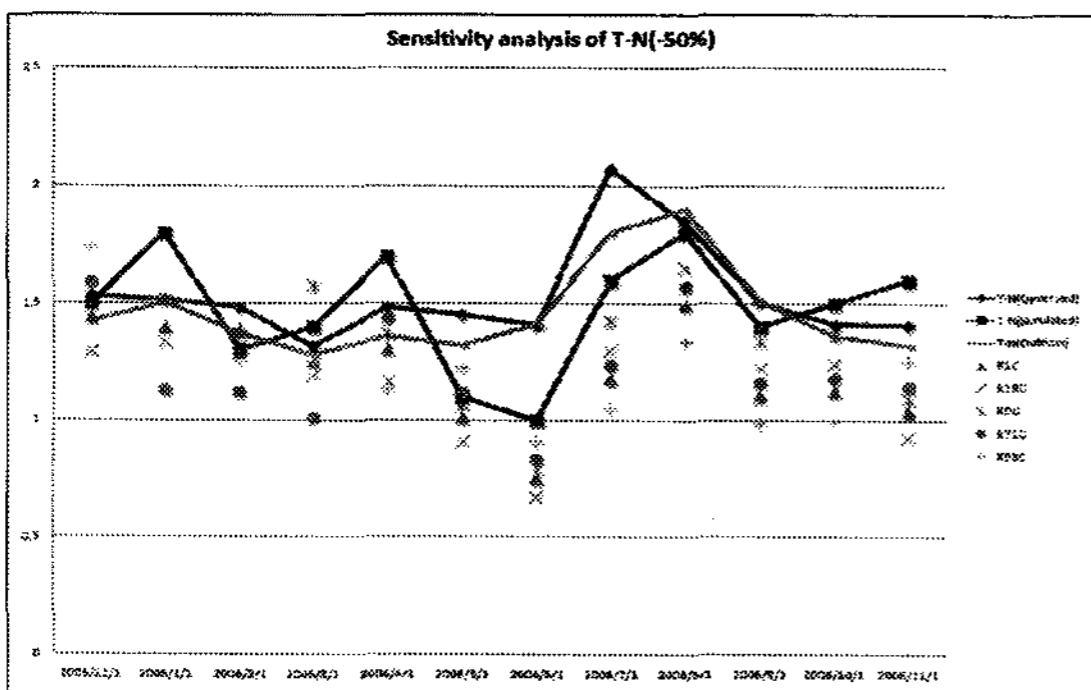


Fig. 9. Sensitivity analysis of T-N(-50%).

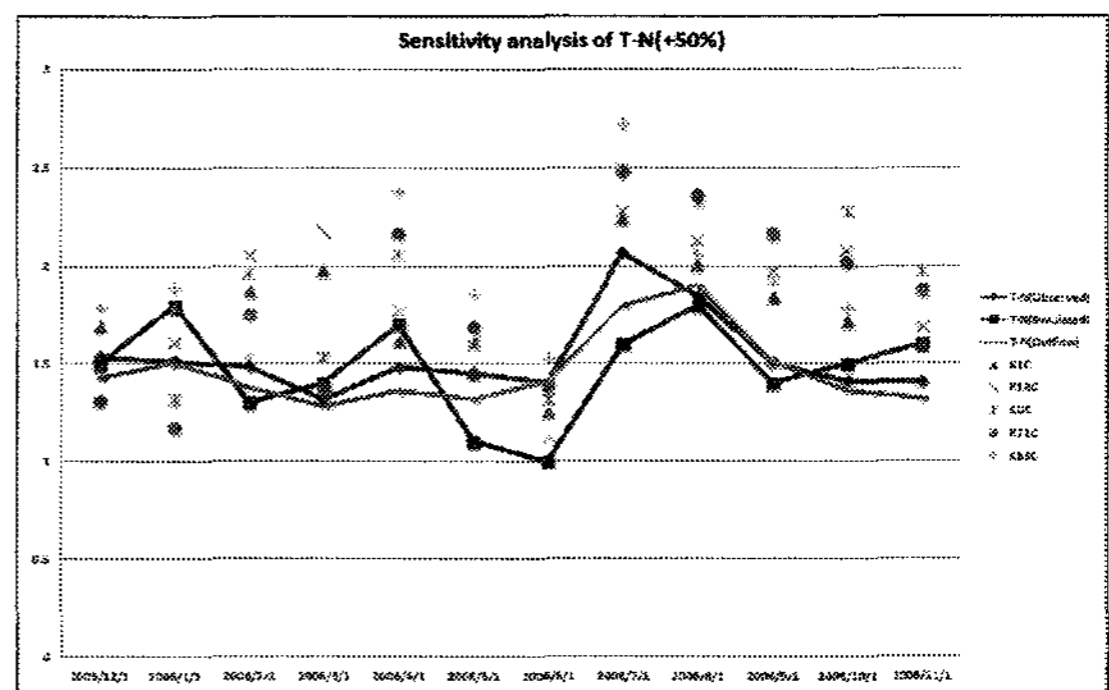


Fig. 10. Sensitivity analysis of T-N(+50%).

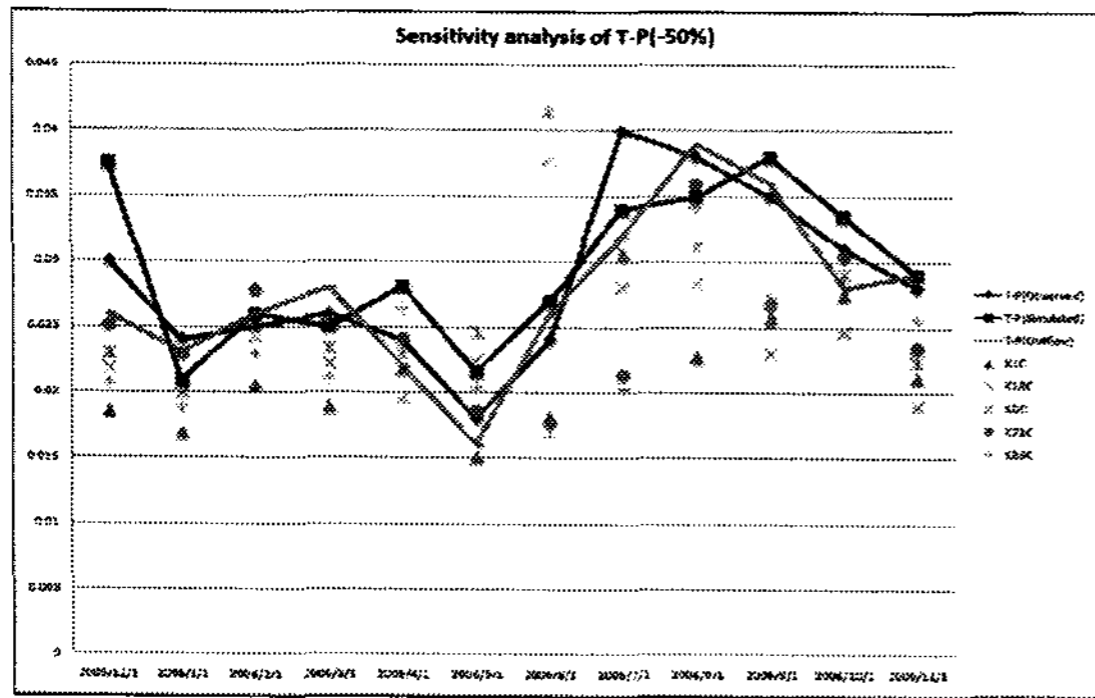


Fig. 11. Sensitivity analysis of T-P(-50%).

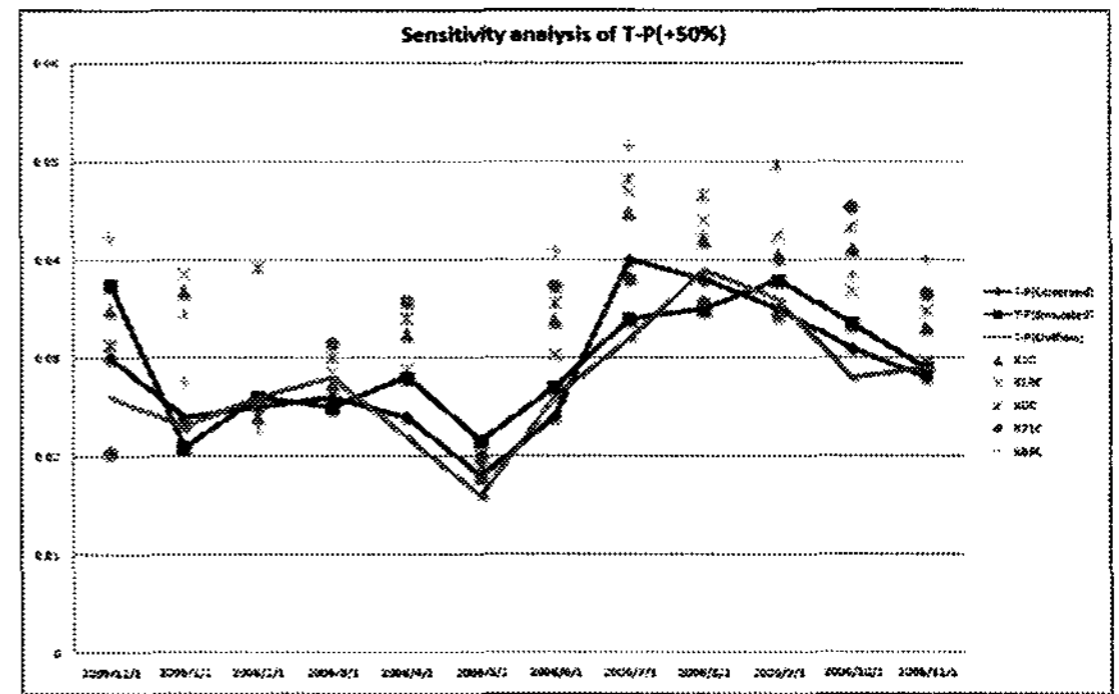


Fig. 12. Sensitivity analysis of T-P(+50%).

치와의 비교와 각각의 매개변수가 BOD의 모의에 얼마나 민감하게 반응하는지 분석한 그래프이다. Fig. 7의 경우 매개변수 K1RC가 다른 매개변수보다 BOD에 민감하게 반응하는 것으로 분석되었다. Fig. 8의 경우 실측치와 가장 근사한 값을 갖는 5개의 매개변수의 값을 임의로 +50%로 조정하여 적용한 결과이며 KDC 매개변수가 다른 4개의 매개변수보다 영향이 큰 것으로 분석되었다. 또한 -50%로 조정하였을 때와 비교하여 그 변화폭이 더욱 큰 것으로 분석되었다. T-N의 경우 가장 모의하는 기간 중 특정 기간에 변화폭이 가장 큰 매개변수는 K1RC와 K83C이나 전체 모의기간인 1년 동안의 변화폭을 평균하여본 결과 K71C 매개변수가 가장 영향이 큰 것으로 분석되었다. T-P의 경우 전체 모의 기간

을 평균하여 본 결과 K83C 매개변수가 가장 영향이 큰 것으로 분석되었다. 또한, 특히 여름인 6,7,8월경에 특정 매개변수로부터 실측치와의 차이가 더욱 커지는 경향을 보였으며 모의기간이 길어질수록 실측치와의 차가 커짐을 알 수 있었다. 또한 방류량을 입력하였을 때 모의 기간 전반적으로 모의한 각 수질인자가 방류량을 입력하지 않았을 때와 비교하여 실측치와 좀 더 근사한 경향을 보였으며 각각의 매개변수를 -50%, -25%, +25%, +50%로 조정하였을 때의 변화폭을 모두 비교하여 보았을 때 BOD에 가장 민감하게 반응한 매개변수는 KDC(탈산소율), T-N 및 T-P에 가장 민감하게 반응한 매개변수는 K71C(용존 유기성 질소의 광화율), K83C(용존 유기성 인의 광화율)로 검토되었다. 다음의 Table 8은 각

Table 8. Result of sensitivity analysis

Monthly	BOD					T-N					T-P				
	Observed	Simulated				Observed	Simulated				Observed	Simulated			
		-50%	-25%	+25%	+50%		-50%	-25%	+25%	+50%		-50%	-25%	+25%	+50%
2005-12	1.7	1.4	1.6	1.8	1.8	1.5	1.5	1.4	1.7	1.6	0.030	0.022	0.022	0.032	0.032
2006-1	1.6	1.3	1.4	1.8	1.9	1.5	1.4	1.3	1.8	1.6	0.024	0.020	0.024	0.025	0.032
2006-2	1.4	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	1.3	1.4	1.5	1.8	0.025	0.024	0.024	0.026	0.027
2006-3	1.2	1.3	1.3	1.2	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.7	0.026	0.022	0.028	0.028	0.029
2006-4	1.3	1.1	1.5	1.9	2.1	1.5	1.3	1.6	1.9	2.0	0.024	0.023	0.026	0.032	0.032
2006-5	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	1.5	1.1	1.3	1.5	1.6	0.018	0.020	0.019	0.024	0.019
2006-6	1.3	1.3	0.9	1.2	1.3	1.4	0.8	1.0	1.7	1.3	0.024	0.026	0.024	0.032	0.036
2006-7	2.0	1.5	1.4	2.2	2.4	2.1	1.2	1.4	1.8	2.4	0.040	0.026	0.043	0.041	0.046
2006-8	1.9	1.5	1.8	1.9	2.1	1.8	1.6	1.7	2.0	2.2	0.038	0.031	0.030	0.042	0.042
2006-9	1.7	1.8	1.5	1.8	2.0	1.5	1.2	1.5	2.0	2.0	0.035	0.026	0.031	0.036	0.041
2006-10	1.7	1.5	1.3	1.7	1.9	1.4	1.2	1.3	1.8	2.0	0.031	0.029	0.029	0.039	0.041
2006-11	1.8	1.6	1.4	2.0	2.2	1.4	1.1	1.4	1.9	1.8	0.028	0.022	0.026	0.031	0.035

Table 9. Result of sensitivity analysis of weight consider

Water quality	Parameter	K1C	K1RC	KDC	K71C	K83C
BOD	-50%	1.20	1.17	1.28	1.13	1.07
	-25%	1.03	1.07	1.07	1.14	1.11
	+25%	0.89	0.90	0.93	0.90	0.89
	+50%	0.80	0.74	0.85	0.92	0.83
BOD (Out flow)	-50%	1.10	1.07	1.17	1.04	1.00
	-25%	1.04	1.08	1.08	1.14	1.10
	+25%	0.89	0.90	0.92	0.88	0.88
	+50%	0.79	0.73	0.84	0.91	0.82
T-N	-50%	1.23	1.27	1.11	1.23	1.23
	-25%	1.00	1.10	1.15	1.14	1.08
	+25%	0.82	0.82	0.93	0.98	0.81
	+50%	0.84	0.82	0.81	0.85	0.79
T-N (Out flow)	-50%	1.25	1.28	1.12	1.23	1.23
	-25%	0.99	1.10	1.15	1.15	1.09
	+25%	0.81	0.81	0.94	0.99	0.81
	+50%	0.84	0.82	0.81	0.84	0.79
T-P	-50%	1.39	1.25	1.13	1.27	1.21
	-25%	1.12	1.14	1.09	1.10	1.17
	+25%	0.92	0.91	0.90	0.93	0.98
	+50%	0.89	0.93	0.82	0.87	0.97
T-P (Out flow)	-50%	1.18	1.16	1.05	1.11	1.29
	-25%	1.01	1.04	1.01	1.08	1.04
	+25%	0.87	0.85	0.83	0.91	0.85
	+50%	0.81	0.85	0.75	0.89	0.82

매개변수를 -50%~+50%로 조정하여 모의한 각 수질인자의 농도와 실측한 수질인자의 농도를 비교한 것이며 Table 9는 모의하는 수질항목, 즉 BOD, T-N, T-P의 실측치를 1로 보았을 때 각 매개변수를 -50%~+50%로 조정하여 예측한 각 수질항목 농도의 상대적 변화를 나타낸 것이다.

Table 9에서 보는바와 같이 본 연구에서 모의하는 기간의 BOD, T-N, T-P의 실측값을 1로 보았을 때 각 매개변수의 값을 -50%~+50%로 조정하여 모의한 결과 실측치와 가장 큰 차이를 갖는 값의 매개

변수는 BOD의 경우 KDC, T-N과 T-P의 경우 K71C, K83C로 분석되었다.

민감도 분석결과 BOD에 가장 민감하게 반응한 매개변수는 KDC(탈산소율), T-N 및 T-P에 가장 민감하게 반응한 매개변수는 K71C(용존 유기성 질소의 광화율), K83C(용존 유기성 인의 광화율)로 검토되었으며, 모의하는 수질항목에 영향이 큰 매개변수부터 높은 가중치를 부여하여 검토한 결과 BOD, T-N, T-P에 공통적으로 영향을 매개변수는 KDC(탈산소율), K71C(용존 유기성 질소의 광화율), K1C(식

Table 10. Result of sensitivity analysis of weight consider

	5point	4point	3point	2point	1point
BOD	KDC	K71C	K1C	K83C	K1RC
T-N	K71C	KDC	K1RC	K83C	K1C
T-P	K83C	K1C	K71C	K1RC	KDC

물성 플랑크톤의 포화 성장률) 로 검토되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 매개변수의 민감도 분석을 통해 각 매개변수의 상호작용을 검토함으로써 장래 목표 연도 수질모의 분석에 최적의 매개변수를 적용할 수 있으리라 판단되며 본 연구에서 수행한 매개변수 추정 및 민감도 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 본 연구에서 모의 하는 수질항목인 BOD, T-N, T-P 에 가장 영향이 있다고 판단되는 5개의 매개변수를 선정하여 모의한 결과 실측 수질과의 비교에서 약 1% 내외의 오차율을 보임으로서 적절한 수질모의 분석 및 매개변수 선정이 이루어 졌음을 알 수 있었다.

2) 5개의 매개변수의 값을 -50%~+50% 로 임의로 조정하여 시행착오법으로 민감도를 분석한 결과 특정 기간, 특히 여름철에 수질 농도가 크게 차이나는 경우가 발생하였으나 전체 기간을 비교하였을 때 BOD 에 가장 민감하게 반응한 매개변수는 KDC (탈산소율), T-N 및 T-P 에 가장 민감하게 반응한 매개변수는 K71C(용존 유기성 질소의 광화율), K83C(용존 유기성 인의 광화율)로 검토되었다.

3) 지금까지의 검토결과를 비교해 볼 때 본 연구에서 선정한 3개 수질항목 예측을 위한 WASP7 모형에서의 우선적으로 고려하여야 할 매개변수는 KDC(탈산소율), K71C(용존 유기성 질소의 광화율), K83C(용존 유기성 인의 광화율) 인 것으로 판단되며 차 후 저수지의 방류량과 흐름특성 등 수문조건에 따른 분석이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 정팔진, 고흥석, 현미희, 이은주, 2004, WASP5 & WASP Builder을 이용한 농업용저수지 유역의 수질 관리, 한국물환경학회지, 20(5), 422-431.
- 2) 한운구, 김규형, 안태봉, 2003, 대청호에서 WASP5 모델 매개변수에 관한 연구, 한국지반환경공학회 논문집, 4(3), 69-77.
- 3) 안승섭, 서명준, 박노삼, 정광욱, 2007, 수질예측을 위한 WASP7모형 매개변수의 추정, 한국환경과학회지, 16(5), 623-632.
- 4) 최성규, 2001, GIS와 WASP5 수질모델의 유기적 통합에 관한 연구, 한국 GIS 학회지, 9(2), 291-307.
- 5) 윤춘경, 함중화, 2000, SWMM 과 WASP5 모형을 사용한 하수담수호의 수질 예측, 한국환경농학회지, 19(3), 252-258.
- 6) <http://www.epa.gov>
- 7) <http://www.wamis.go.kr>
- 8) <http://www.nier.go.kr>
- 9) <http://www.kwater.or.kr>