

# 웹기반 수질예측모델과 전문가시스템을 이용한 저수지 수질관리 정보시스템 개발

Development of A Water Quality Management Information System in Reservoirs Using a Web based Water Quality Prediction Model and an Expert System

이주승\* · 고흥석 · 고남영

Lee, Ju Seung\* · Goh, Hong Seok · Goh, Nam Yuoung

## Abstract

Recently reservoir is polluted by concentrative development of urbanization. Accordingly, the prediction of water quality has import meaning for protecting of water quality pollution.

This study was carried out to predict water quality of Gyung Cheon reservoir by WASP5. We have established an integrated system on the basis of web, which predicts the future quality of water through water quality model, WASP5 based on information of water environment in a reservoir for agriculture, uniting expert system which supports the determination to set up measures for improving the quality of water to cope with the result.

## I. 서론

최근의 저수지는 유역의 도시화로 인하여 심하게 오염되고 있으며 이러한 수질오염을 방지하기 위해서 장래의 발생 가능한 수질을 예측하여 오염을 제거할 수 있는 계획을 수립하여야 한다.

이를 위해 지속적으로 저수지 유역내의 수질오염 현황을 모니터링 하여 오염원 및 오염물질, 오염정도에 대한 통계 데이터의 수집과 오염원 관리가 우선해야 할 것이며, 기술적으로 수질오염 예측모델을 사용하여 수질오염 상황을 정량적으로 분석하고, 분석의 결과를 바탕으로 현장의 여건에 적합한 최적의 오염저감방안 마련과 정책결정을 위한 기술력의 집중이 따라야 할 것이다.

최근에는 농업용 저수지의 수질관리도 협의의 수질모델링 영역에서 벗어나 보다 거시적인 수질 관련 정보의 흐름을 바탕으로 효율적인 수질관련 의사결정을 할 수 있는 정보시스템 적용 등의 다양한 형태의 저수지 수질개선 노력이 행해지고 있다. 이 과정에서 자연적·인문적 측면의 여러 현상을 지리공간적으로 반영할 수 있는 광역의 정보를 확보하고 이를 데이터베이스화 하여, 경제 적이며 효율적인 수질개선 효과를 나타낼 수 있는 수질예측 모델이나 처리대안 생성을 위한 전문가 시스템 등의 여타 정보시스템이 연계된 종합적인 수질관리 정보시스템이 필요하게 되었다.

이러한 시스템에서 수질모델은 장기적이고 정확한 수질 측정 자료와 더불어 오염발생원, 수질측 정망, 수질 환경 기초시설 등의 데이터를 통해 수질오염 상황을 정량적으로 분석하고 장래의 수질 을 예측하는데 사용되며, 전문가시스템은 수질모델로부터 예측된 수질정보에 기초하여 사용자가 입력한 목표수질을 기준으로 장래의 수질 개선을 위한 대안을 생성하고 이 대안들 중에서 다시 최적대안을 선정해주는 역할을 하게 된다.

본 연구에서는 웹기반 환경에서 WASP5를 이용하여 농업용 저수지의 수질모의를 실시하였으며, 전문가시스템과 연동하여 예측된 수질결과에 대한 최적의 수질개선 방안을 도출하여 농업용 저수지의 수질관리에 적용하는 정보시스템을 개발하였다.

## II. 수질예측모델

### 2.1 수질모델 도입

호소의 오염을 개선하기 위해서는 체계적인 수질관리와 더불어 지역에 적합한 수질오염 개선대책의 적용을 위한 정확한 오염원의 유형과악과 오염량의 예측이 이뤄져야 하는데 이때 적절한 수문·수질 모델의 적용과 정확한 데이터의 수집이 필요하다. 한편 수질오염 상황을 보다 세부적인 수계의 분포에 따라 정량적으로 분석하고, 그 결과를 효과적으로 처리할 수 있는 정보시스템을 기반으로 행하는 해석을 통해 대상유역의 세부적인 토지이용, 인구, 가축 및 산업 등의 오염원별 현황을 지형 및 공간과 관련하여 정량적인 자료를 산출하여 최적의 수질개선 방안 제시에 활용 할 수 있다.

본 연구에서는 수질모델에 적용할 오염원 자료의 특성을 조사하고, 그 종류를 구분하여 데이터베이스로 구축하였으며, 호소의 수질예측 모듈로 WASP5모델을 채택하고 WASP Builder를 이용하여 실제데이터를 적용하여 모의하였다. 또한 정보시스템과 수질예측 모델과의 일괄처리 흐름을 정의하였으며, 전문가시스템과 수질모델과의 연동을 위해 FOTRAN으로 만들어진 WASP5를 C언어로 포팅하였다. 이렇게 구현된 프로그램은 다시 CGI를 이용하여 정보시스템 서버에 연결하여 웹에서 수질모델링이 가능하도록 구현하였다.

대부분의 수자원 관리 모형은 자연현상에 근접하도록 해석하기 위해 많은 이론과 매개변수를 고려하고 있어 점차 복잡해지고 전문화되고 있는 추세이다. 따라서 상당한 수준의 이해를 가진 전문가 수준에서만 활용되는 한계가 있다. 본 연구에서는 웹상에서 구현하는 수질모델링을 통한 의사결정이 비전문가의 수준에서도 가능할 수 있도록 보다 쉽게 적용할 수 있도록 구성하려 하였다. 사용자는 WASP5 입력자료의 샘플로부터 간단한 수정을 거쳐 수질모의를 수행할 수 있다.

### 2.2 수질모델 적용

사용자가 정보시스템을 통해 단위구역별 오염물질 발생 부하량 및 발생물질의 종류에 관한 정보와 수질에 영향을 미치는 오염원들의 변화 추이 등을 제공받아 수질예측시스템에서 주요 오염원들의 증가율에 따른 수질 변화 예측 모델링을 실행할 수 있도록 설계하였다.

본 연구에서는 전북의 경천저수지를 선정하여 유역현황으로 지형 및 지세, 유입하천현황, 수자원현황, 수문 및 기상현황 등 각종 수질관련 데이터를 수집하고 분석하여 데이터베이스로 구축하는 한편 호소 또는 부속하천의 수환경에 영향을 미칠 수 있는 점오염원들과 비점오염원을 조사하였고 장래의 변동 추정치를 계산하여 수질모델링에 적용할 수 있도록 데이터베이스화 하였다.

이렇게 구축된 데이터베이스는 단위 구역의 점오염원, 비점오염원으로부터 저수지에 유입되는 오염물질량 산정에 활용되며, 그 결과는 다시 수질예측시스템 데이터베이스에 저장된다. 오염원조사 항목은 인구 현황과 전망, 가축 현황과 전망, 토지이용 현황과 전망 등이다.

조사된 항목들의 값을 토대로 오염부하량을 산출하기 위해 유역별로 원단위에 따른 발생부하량 및 배출부하량을 산출하였다. 유역에서 오염부하량을 산출하기 위해서는 오염원별 실측자료를 이용하는 것이 원칙이나 본 연구에서는 환경부 고시 제 1999-143호에 준하여 부하량을 산정하였다.

인구, 축산, 토지이용의 항목에 대하여 발생부하량을 산정하였고 BOD, TN, TP 등의 항목에 따라 총괄해 본 결과 축산에 의한 각 항목별 발생부하량이 가장 큰 것으로 조사되었다.

WASP5 모델을 이용을 위해 수체의 체적 및 유량, 초기조건, 경계조건, 매개변수, 반응상수와 시간함수 등을 산정하고 데이터베이스에 입력하였다.

수질모델링에서 Segment 수는 수질측정지점의 위치, 수체의 특성, 각 Segment에서의 체류시간, 각 Segment의 체적 등을 고려하여 5개로 나누었다. Segment 4는 임의 값을 준 더미(Dummy)이므

로 Table 2-1에 자료를 나타내지 않았다. 모델 구성의 기초 입력 자료인 각 Segment별 체적과 표면적 등은 2001년도 농업기반공사에서 측정한 자료를 참고하였으며, Table 4-4와 같다.

Table 2-1 Physical characteristics of segment

Segment number	Surface area (m <sup>2</sup> )	Average depth (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
Segment 1	551,250	5.0	2,756,250
Segment 2	840,000	7.0	5,880,000
Segment 3	720,000	9.0	6,480,000
Segment 5	920,000	13.0	11,960,000

경천저수지는 수심이 깊지 않기 때문에 수직적인 성층현상은 발생하지 않는 것으로 나타나 수직적인 구획분할은 큰 의미가 없는 것으로 판단되어 유속방향으로만 구획분할을 하여 2차원 모형을 구축하였다. 이 때 유입유량은 실측한 유량을 사용하였다. 모의 결과는 보정 및 검증을 거쳐 전문가시스템과 연동할 수 있도록 데이터베이스에 입력하였다.

모의하고자 하는 수체에 대해 유량의 유입과 유출이 일어나는 구간에 대해서는 이의 영향을 고려하기 위하여 시간 변화에 따른 모의 항목의 수질 농도가 입력되어야 한다. 수질모의는 1992년 측정된 실측농도를 이용하여 수질모의를 실시하였다. 이들은 각 소구역으로 유입되는 경계농도로 하여 시간 변화에 따라 입력하였다.

본 연구에서는 EUTRO5에서 모의할 수 있는 14개의 매개변수 중 12개를 이용하였으며, 총 42개의 반응상수 중 25개의 상수를 고려하여 경천저수지의 수질을 모의하였다.

저수지내의 수질모의를 위한 적합한 온도보정계수 등의 여러 매개변수 값은 여러 문헌의 값을 기초로 하였고 반응계수의 입력은 오랜 기간의 시행오차법에 의해 구해졌다.

Segment의 환경적 특성에 대한 시간에 따른 변화를 고려하는데 사용되는 시간함수에 대해서는 총 22개 중 10개의 시간함수를 고려하여 모의하였다. 시간에 따른 호소 내 수온의 변화는 실측 수온을 입력하였다. 또한 월 평균 기온, 태양에너지의 세기, 주간 광량의 세기 및 풍속의 변화 등도 실측자료 및 참고자료를 이용하여 입력하였다. 광소멸계수는 투명도를 이용하여 모의하였다.

기온, 일조시간, 풍속, 일사량 및 일조율 등은 전주기상청에서 최근 8년 동안 측정된 자료를 이용하여 월별 평균값을 입력하였다. WASP5 모델에서는 기상자료의 공간변화를 고려할 수 있으나, 저수지유역내의 관측소는 1개뿐이어서 공간적인 기상변화는 고려하지 않았다. 염도는 포화 용존산소농도의 계산에 관여하는 항목으로서 하구 및 해양 지역 또는 염분이 있는 지역에서는 염도를 무시할 수 없지만 경천저수지는 담수이므로 염도는 무시하였다.

모의하고자 하는 수질항목별 고형성분의 형태, 밀도, 용존성분의 백분율, 그리고 최대허용농도 등을 입력하였으며, 고형물은 유기물·조류·무기물 등 3가지 형태로 구분될 수 있다. 본 모의의 각 수질 항목의 초기 농도는 연평균 수질 농도를 입력하였다.

본 모의에서는 1992년 자료를 이용하여 보정한 결과 실측치와 잘 일치하고 있는 것으로 확인되었다. 장래의 수질을 예측한 결과, 경천저수지의 Seg.2의 예를 들면 BOD, T-N, T-P의 장래수질예측 모의결과는 인구와 가축의 증가율에 따라 BOD, T-N, T-P 수질모의 값은 2010년도에는 2002년에 비해 평균 33%, 36%, 20%로 각각 증가, 2015년도에는 평균 38%, 41%, 27%, 2020년도에는 평균 43%, 47%, 33%로 각각 증가하는 것으로 예측되었다.

### III. 전문가시스템

본 연구에서 개발한 전문가시스템은 수질환경지식을 바탕으로 수질개선 대안을 경험적 추론으

로 평가하며, 수질모델링 결과가 목표수질 도달에 만족할 경우 생성된 최적대안을 제시하게 된다.

수질환경지식은 수질평가, 수질개선 방법별 분류, 대안평가 등으로 구성되며, 전문가를 통해 획득하고 전문가시스템의 지식데이터베이스 테이블에 저장된다.

전문가시스템 개발도구로는 웹기반 인공지능 툴인 WebIS를 사용하였다. 프레임과 규칙을 사용하여 지식을 표현하고 경험적 추론에 기초하여 저수지 수질을 판단하는데 AHP기법을 사용하였다.

### 3.1 수질평가

호소의 수질 및 생산성에 영향을 미치는 유역특성인자로는 유역면적의 크기 및 인구, 경사도, 토지이용형태, 토양특성 등이 있다.

농업용 저수지의 수질개선사업 및 관리의 효율화를 도모하기 위하여 농업용수 수질측정망 조사 자료를 이용한 유형분류를 저수지와 담수호의 수질개선방안(최종), 농업기반공사, 농어촌연구원의 자료로부터 이용하였다. 유형 분류 방법에는 수질항목으로서는 전 등(2002)이 실시한 농업용 저수지의 수질항목간의 상관관계 조사 결과를 참고하여 부영양화 지표의 하나인 엽록소 a(Chl-a) 농도와 유기물 지표인 COD 농도를 이용하였다.

저수지의 형상을 나타내는 물리적인 인자로서 유효저수량/만수면적(ST/WS)비를 이용하였고, Chl-a와 ST/WS비를 이용하여 유형화를 실시한 윤 등(2003)의 자료를 참고하였다. ST/WS비는 유효수심의 개념이지만 저수지의 부영양화와 깊은 관계가 있는 수표면적, 저수량의 의미를 포함하고 있기 때문에 ST/WS비가 큰 것은 상대적으로 저수용량이 크고, 저수지가 깊은 형상으로서 내부생산을 억제할 수 있는 형태인 것으로 볼 수 있으며, ST/WS비가 작은 것은 수표면적이 크기 때문에 상대적으로 수광량이 많고, 저수지의 깊이가 얕으며, 저수용량이 적어 부영양화현상이 발생하기 쉬운 형태인 것으로 볼 수 있다. Table 3-1과 3-2는 저수지 관리유형 분류 기준이다.

Table 3-1 Classification criterion of reservoirs using Chl-a concentration

Division	Classification criterion	
	ST/WS ratio	Chl-a
I	≤5m	≥25mg/m <sup>3</sup>
II	≤5m	<25mg/m <sup>3</sup>
III	> 5m	≥25mg/m <sup>3</sup>
IV	> 5m	<25mg/m <sup>3</sup>

Table 3-2 Classification criterion of reservoirs using COD concentration

Division	Classification criterion	
	ST/WS ratio	COD
C - I	≤5m	> 8mg/l
C - II	≤5m	≤8mg/l
C -III	> 5m	> 8mg/l
C -IV	> 5m	≤8mg/l

### 3.2 수질개선방법

적용할 수질개선기술의 선정은 설정한 사업목표로부터 분류, 기술의 기본요건, 오염원별 부하비율을 감안하여 수질개선 사업으로부터 설정한 목표(대상 삭감부하량 등)의 유지달성이 가능하도록 수질개선기술을 조합한 대책의 체계를 작성함으로써 시작된다. 설정한 사업목표로부터 분류, 수질개선 기술의 기본요건, 수질개선기술의 분석사항과 중요도, 수질개선기술 선정 시 기본요건 등을 조사하여 반영하였다.

수질개선 대책의 규모는 대체 안으로서 제안된 수질개선기술에 대해서 장치, 시설의 원리, 특징을 검토해서 설정한 목표의 삭감부하량을 만족하는 내용의 대책규모를 선정할 필요가 있다.

농업용수원의 수질을 개선하기 위해서는 오염발생원 대책 유입수로 및 저수지내의 대책이 종합적으로 이루어져야 한다. 특히 오염원에서 직접 처리하는 것이 수질관리측면에서 유리하다. 윤 등(2003)은 ST/WS (유효저수량 / 만수면적비)와, 부영양화의 지표인 Chl-a 농도와 유기물 지표인 COD 농도를 이용한 분류에서 수질관리 기법을 저수지내 대책, 저수지의 대책, 저수지내외 대책

등으로 분류한 바 있다. 본 연구에서는 호소의 유형분류에 따르면서 사업규모의 결정등을 고려하여 다음의 수질개선기술을 채택하였다. 저수지내 대책으로는 저류지, 습지, 인공식물섬의 기술을 선정하였다. 저수지의 대책으로는 집원 중 인구에 의한 대책으로 마을하수도 설치에 따른 수질개선기술을 선정하였고, 축산에 의한 대책으로는 축산분뇨의 자원화방법을 선정하였다.

### 3.3 대안평가

대상저수지의 목표수질은 농업용 저수지로 수질의 환경정책기본법의 농업용수 수질환경기준(IV)을 유지하는 것이다. 따라서 장래 농촌지역 수질환경개선을 위한다면 농업용저수지의 수질기준을 만족하는 수준으로 설정해야 한다. 또한 설정된 목표수질이 현황수질과 비교하여 달성되지 못하였을 경우, 현재의 상태에서 삭감하는 방법을 고려할 수도 있고, 현재의 오염원현황으로 예측하는 년도에 수질이 목표수질에 달성되지 못하였을 경우 목표연도까지의 삭감방법을 계획할 수 있다.

목표연도 2010년의 경천저수지 장래 수질예측을 실시하였으며, 목표연도 2010년의 오염원 삭감을 위하여 저수지의 대책, 저수지내 대책, 저수지내의 대책을 수립하여 유역 별로 수행한 후 결과를 데이터베이스로 구축하였다.

## IV. 웹기반 수질모델링과 전문가시스템 적용

시뮬레이션을 수행할 WASP5 입력파일을 작성한다. 모델링에 사용될 input 파일은 클라이언트 측에서 수정할 수 있도록 되어 있으며, 수정이 완료된 파일은 서버로 업로드 하여 시뮬레이션을 수행한다. 단 input 파일 작성 시 파일 이름은 반드시 5~8자 이내의 영문이름을 사용해야 한다.

Figure 4-1과 4-2는 모델링프로그램 로그인과 입력파일 업로드 화면이다.



Figure 4-1 Log-in screen on WASP5



Figure 4-2 Select input file

Figure 4-3은 결과화면이다. 결과물로는 다시 한 개의 입력파일과 네 개의 결과파일을 출력해 준다. 결과화면은 다운로드 및 직접 확인(Figure 4-4)이 가능하다.



Figure 4-3 Simulation result screen

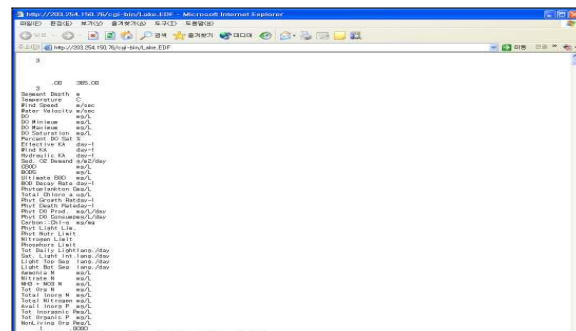


Figure 4-4 Simulation result (Lake.EDF)

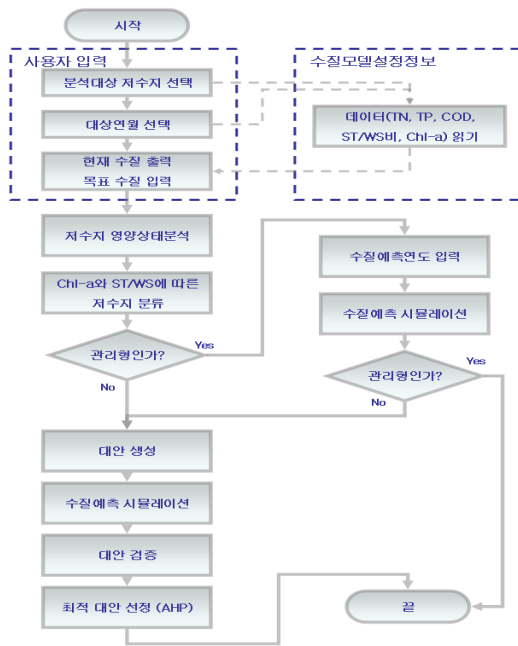


Figure 4-5 Executive procedure of an Expert System

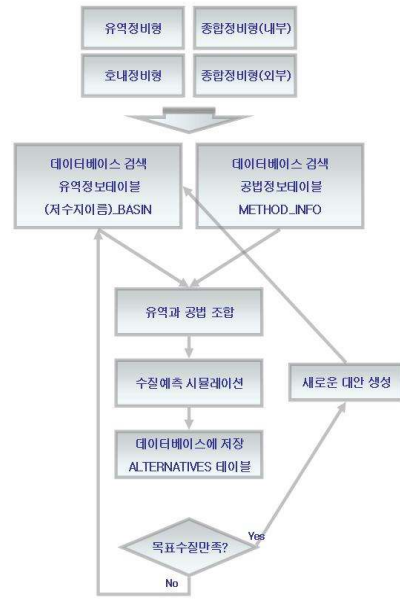


Figure 4-6 Flow diagram for counterproposal selection

Figure 4-5와 4-6은 전문가시스템 실행과정과 최종대안 선택과정을 나타낸 순서도이다.

전문가시스템 최종 실행 결과는 해당 날짜의 수질과 목표수질, 그리고 시뮬레이션 실행 결과 수질을 하나의 결과화면에 나타내며 중간분석 결과와 세부내용을 저장한 결과테이블 이름을 함께 나타낸다. Figure4-7

전문가시스템 최종결과와 다음과 같습니다.

대상 저수지	KyeongChun	수질예측년도	2003-12-01
현재 연월	2003-12-01	관리유형	C-유역정보형
영양상태	중부영양상태	현재수질	목표수질
TN	0.731		0.0420704
TP	0.09		0.00297213
COD	9	0.1	0.087882
BOD	7.2	0.08	0.0703056

선택된 최적대안에 대한 세부내용은 결과테이블에 있습니다. 다음 버튼을 누르면 결과테이블 내용을 보여줍니다.

실행시간 : 2004-08-09 오전 2:37:53  
 결과테이블 : CONCLUSION\_2

다음

Figure 4-7 Final result screen

## V. 결론

본 연구에서는 농업용 저수지의 수질환경 정보를 바탕으로 WASP5 수질모델을 통해 장래의 수질을 예측하고 그 결과에 대응하는 수질개선 대책 수립을 위한 의사결정을 지원하는 전문가시스템을 결합하여, 웹기반 정보시스템을 구현하였다.

연구대상 유역의 측정자료들에 대해 수질모형을 적용하고 보정 및 검증을 실시하여 모형의 적용성을 분석하였으며 특히, WASP5를 인터넷상에서 구현되도록 하여 의사결정 과정의 신뢰성을 확보할 수 있었다. 또한 수질환경관리계획의 정책입안자는 장래 농업용 저수지의 수질개선을 위한 최적대안 제안 도구로 전문가시스템을 이용한 수질관리 계획과정의 모형화를 수행함으로써 수질개선방안 선정에 객관성과 전문성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 국립환경연구원(2004), 물관련 국내외 동향 및 새소식, 물환경종합정보지, 5, pp. 14~15.
2. 김선주, 김성준, 이석호, 이준우(2002), SWMM과 WASP5 모형을 이용한 간척지 담수호의 수질거동 특성 조사, 한국농공학회지, 44(2), pp. 148~160.
3. 김성준(1997), 수문-수질모델링의 새로운 전환, 한국수자원학회지, 30(1), pp. 74~87.
4. 농림부, 농업기반공사(2002), 2002 농업용수 수질개선 시험연구사업보고서(VI).
5. 박석순, 이용석(1999), 대형 수계 관리를 위한 수질 모델의 개발과 적용, 대한환경공학회지, 21(10), pp. 1837~1848.
6. 송용욱(1998), WWW 기반 전문가시스템의 구조와 구현 기술의 비교 연구, 경상대학교 경영경제연구소, 산업경제, 9, pp. 97~110.
7. 송창수(1999), WASP를 이용한 주암호 수질 모델링에 관한 연구, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문집, pp. 355~358.
8. 신동석, 권순국(1999), Modified WASP5(EUTRO5)의 개발, 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 734~738.
9. 윤경섭 외 3인 (2003), 농업용 저수지의 유형분류 및 수질관리, 한국농공학회지, 45(4), pp. 66~77.
10. 전지홍 외 4인 (2002), 농업용 저수지의 수질항목간의 상관관계 조사, 한국농공학회지, 44(3), pp. 136~145.
11. 환경부(2003a), 2004년도 환경정보화촉진시행계획(안), pp. 5~10, 76~79.
12. 환경부(2003b), 수질측정망운영지침.
13. 환경부(2004), 수질측정망고시.
14. Auer. M. T., and Forrer. B. E.(1998), Development and Parameterization of a Kinetic Framework for Modeling Light-and Phosphorus-Limited Phytoplankton Growth in Cannonsville Reservoir, Lake and Reservoir Management. 14(2-3), pp. 290~300.
15. Eriksson, Henrik(1996), Expert Systems as Knowledge Servers, IEEE Expert, pp. 14~19.
16. Simachaya, W.(1999), Integrated Approaches to Water Quality management using GIS and the WASP5 simulation model - application to the Chin River Basin, Thailand-, Ph.D. Thesis, The University of Guelph, Canada.