

Avenue를 활용한 수질매개변수 추정 전문가 시스템 개발

Development of Expert System for Water Quality Parameter Estimation Using Avenue

배 덕 효* / 한 건 연** / 최 철 관***

Bae, Duk Hyo / Han, Gun Yeon / Choi, Chul Gwan

Abstract

It has been known that the accurate estimates of 2-dimensional water quality model parameters are difficult for non-experts due to the complexity of theoretical background and input requirement and complicated inter-relationship between model parameters. The main goal of this study is to provide expert system for the optimal estimation of water quality model parameters, which is based on the development of chaining mechanism according to the sensitivity analysis of model parameter interactions and GUI interface system on ArcView/Avenue. The selected study area is the 35.3-km main Han river starting from Paldang Dam site to the point of Indo bridge and the tributary inflows including pollutant data are used for the system application and validation. The estimated main model parameters are 0.367 for transverse dispersion coefficient, 0.074 for and 0.162 for . It also shows that the simulated water quality constituents such as DO and BOD based on the estimated model parameters are well agreed with the observed ones. It can be concluded that the developed GIS-based expert system for water quality model parameter estimation and graphical representation of water quality analysis is useful for the scientific water quality management.

keywords : expert system, chaining mechanism, sensitivity analysis, ArcView/Avenue, water quality model parameter

요 지

일반적으로 2차원 수질모형들은 배경이론이 복잡하고 그에 따라 입력자료나 매개변수가 복잡해지며 매개변수들 간의 상호영향을 인식하는 것이 매우 어렵게 되어 초보자의 경우 적절한 매개변수를 선택하기가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 2차원 수질모형내의 여러 매개변수들간의 관련성을 평가하는 민감도 분석을 기반으로한 추론기관의 개발과 ArcView/Avenue를 활용하여 전문가 시스템을 구축함으로써 모형의 수질매개변수를 추정하고 모의를 실

* 세종대학교 토목환경공학과, 부교수

Associate Prof., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Sejong Univ, Seoul 143 747, Korea
(E mail : dhbae@sejong.ac.kr)

** 경북대학교 토목공학과, 교수

Professor, Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

*** (주)삼호컨설팅 사원

Engineer, Sam ho Consultants Co., An yang, Kyonggi 431 060, Korea

시하여 정확한 해석결과를 얻을 수 있는 기법을 제시하였다. 모형의 적용 대상지역은 팔당댐 직하류부터 한강 인도 교지점에 이르는 한강구간(35.3km)을 선택하였으며, 모형수행을 위한 기본자료는 주요지류의 유입량과 오염자료를 이용하여 시스템의 적용성을 검토하였다. 그 결과 추정된 주요 매개변수는 횡확산계수 0.367, 0.074, 0.162 등으로 추정되었으며, 추정된 매개변수에 의해 계산된 수질변수는 관측치와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이와 같은 GIS에 근거한 매개변수 추정을 위한 전문가 시스템은 과학적인 수질관리에 많은 도움이 되는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 전문가 시스템, 민감도 분석, 추론기관, ArcView / Avenue, 수질매개변수

1. 서론

대부분의 하천관리모형은 자연현상에 근접하도록 해석하기 위하여 많은 이론과 매개변수를 고려하고 있어 점차 복잡해지고 전문화되고 있다. 그 중 2차원 수질모형은 하도내에서 계산된 동수역학적 수리특성자료와 함께 각종 수질매개변수 등의 입력자료의 구성이 매우 복잡하기 때문에 모형의 배경이론에 충분한 이해를 가지고 해석하고자 하는 하천의 환경적 특성에 맞는 자료를 입력하여야 한다. 그러나 대부분의 2차원 수질모형들은 사용자가 일정한 형식에 따라 입력자료를 구성하도록 되어있어 입력오류 및 부적당한 입력값으로 잘못된 해석결과를 제시하는 경우가 흔히 발생된다. 이러한 부적당한 입력값으로는 모형의 매개변수가 대부분을 이룬다. 왜냐하면 매개변수는 사용자가 모형에 대한 상당한 경험과 지식이 필요하기 때문에 비전문가의 경우 가장 어렵고도 중요한 문제로 여겨지고 있다. 따라서 매개변수의 추정과정은 심순보(1988), 전경수(1993), 조홍연(1993) 등에 의해 시행착오법, 최적화 알고리즘에 의한 자동산정법, 1차오차분석법 등과 같은 다양한 형태의 방법들이 제시되어 왔다. 이러한 연구와 더불어 인간의 지적인 능력을 모방하는 시스템의 개발에 많은 관심을 가져 왔으며 이를 다양한 분야로의 적용이 시도되었다. 이범희(1998)는 SWMM모형의 매개변수 추정을 위해 전문가 시스템을 적용하였고, 김주환(1993)은 신경망이론을 도입하여 하천유출량의 수문학적 예측을 위해 전문가시스템을 구축한 바 있다. 국외적으로는 Barnwell(1989) 등은 수질관리 모델인 QAUL2E의 각종 입력 자료 작성을 돕는 QUAL2E Advisor를 개발하였고, Bauffaut(1989) 등은 SWMM 모형의 해석을 돕기 위한 전문가 시스템을 개발한 바 있다. 또한 Wood(1990) 등은 하천에서 DO 및 BOD의 모의를 위한 반응계수 추정을 위한 전문가 시스템을 개발하였다. 하지만 국내에서는 전문가 시스템을 이용하여 2차원 수질모형의 매개변수 추정 및 보정에 관한 연구는 미미한 실

정이다.

따라서 본 연구에서는 2차원 수질모형내의 여러 매개변수들간의 관련성을 평가하는 민감도 분석을 기반으로 한 추론기관의 개발과 대표적인 GIS 도구인 ArcView의 Avenue를 활용하여 전문가 시스템을 구축함으로써 비전문가라 할지라도 기본적인 지식만 있다면 모의를 실시하여 정확한 출력결과를 얻을 수 있는 기법을 제시하고, 이를 그래픽으로 도시함으로써 수질현황을 객관적으로 판단할 수 있는 기능을 제공하고자 한다.

2. 전문가 시스템 및 수질모형

2.1 전문가 시스템

전문가 시스템은 인공지능(Artificial Intelligence)의 응용분야 중 하나로서 전문가가 가지고 있는 지식을 인위적으로 컴퓨터에 부여하여 특정분야에 비전문가라 할지라도 컴퓨터에 입력된 전문가의 지식을 이용하여 의사결정에 필요한 정보를 제공할 수 있도록 개발된 프로그램이다(김화수 등, 1998). 즉 전문가들의 전문지식을 수집·정리하여 주어진 특정 전문영역에 관한 문제를 컴퓨터의 추론능력을 이용하여 해결하고자 하는 대화형 컴퓨터 자문시스템이다. 전문가 시스템의 개념적인 구조는 그림 1과 같이 5가지의 기본요소들로 구성되어있다.

지식베이스 모듈은 어떤 문제를 이해하고 해결하는데 필요한 기본적인 지식들을 저장하는 역할을 수행하며, 지식을 나타내는 사실(Fact)과 그러한 사실들을 의사결정의 자료로 사용하는 규칙(Rule)으로 구성된다. 지식 획득 모듈은 지식공학자가 전문가의 데이터베이스 또는 관련자료로부터 지식을 만들거나 확장할 목적으로 문제를 해결할 수 있는 전문지식을 컴퓨터에 프로그램하는 장치이다. 추론엔진 모듈은 사용자의 입력자료를 지식베이스와 비교·탐색하여 의사결정이나 진단과 같은 문제해결안을 생성하는 부분으로서 추론형태에 따라 결정론적 추론(Deterministic Chaining)과 확률론적 추론

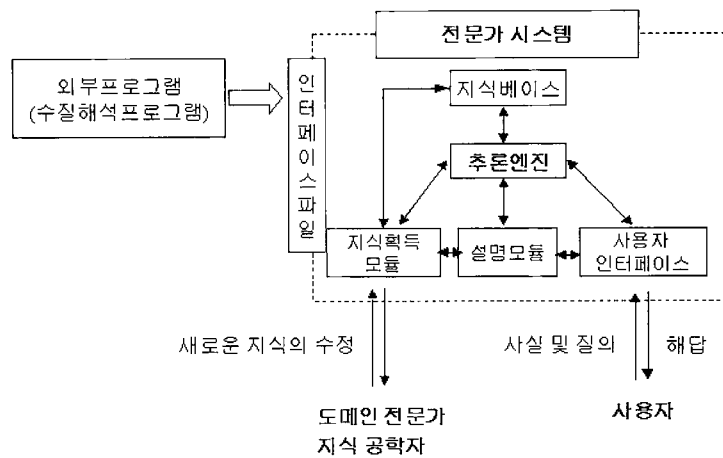


그림 1. 전문가 시스템의 개념적 구조

(Probabilistic Chaining)으로 구분한다(이병희, 1998). 또한 추론방향에 따라 순방향(Forward Chaining)과 역방향추론(Backward Chaining)으로 구분되어 사용된다. 설명모듈은 추론과정을 사용자에게 설명함으로써 사용자의 의문을 해소하고 신뢰를 얻을 수 있도록 하는 장치이며, 사용자 인터페이스 모듈은 전문가 시스템과 사용자가 실제로 접촉할 수 있는 부분으로 디스플레이의 제어나 대화기능을 수행하는 부분이다.

2.2 2차원 수질모형

하천에서 가장 큰 수질변화 양상은 흐름방향에 대하여 발생하며 1차원 모형이 일반적이지만, 폐수 방출부 및 두 하천의 합류부와 같이 경계조건이 복잡하고 흐름 및 오염물질 거동이 다양하게 변하는 국부적인 영역에서는 오염물질의 확산현상 해석 등에 어려움이 있었다. 이러한 경우 수질오염예측을 위해서는 2차원 수질모형의 적용이 필수적으로 여겨지고 있다. 2차원 수질해석을 위한 기본방정식은 이송 확산방정식이 적용되며 오염물질이 연직으로 잘 혼합된 것으로 가정하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(이윤래, 2000).

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(pC)}{\partial x} + \frac{\partial(qC)}{\partial y} \\
 & - \frac{\partial}{\partial x} \left[h \left(E_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + E_{xy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] \\
 & - \frac{\partial}{\partial y} \left[h \left(E_{yx} \frac{\partial C}{\partial x} + E_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right] \\
 & - \delta(x - \bar{x}_s) \delta(y - \bar{y}_s) Q = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, C 는 오염물질의 농도, Q 는 오염물질의 생성 및 소멸항을 나타내며, E_{xx} , E_{xy} , E_{yx} 및 E_{yy} 는 확산계수이고, $\delta = \text{dirac delta}$ 함수로서 영역내에서 생성항 벡터 (\bar{x}_s, \bar{y}_s) 에 위치하게 된다. x 와 y 는 흐름방향 및 흐름의 횡방향, p 와 q 는 x , y 방향의 단위폭당 유량, h 는 수심을 나타내고 있다.

3. 수질 매개변수 추정을 위한 전문가 시스템 구축

2차원 수질모형들은 배경이론이 복잡하고 그에 따라 입력자료나 매개변수가 복잡해지며 매개변수들간의 영향과 상호작용을 인식하는 것이 매우 어렵게 되어 초보자의 경우 타당한 매개변수를 선택하기가 쉽지 않다. 따라서 수질매개변수 추정에 있어 전문가의 기능을 어느 정도 대신할 수 있는 전문가 시스템과 수질모형이 상호 유기적으로 통합환경 내에서 구현된다면 서로 분리되어 존재하는 시스템보다 배가된 능력을 발휘할 수 있을 것이다.

3.1 전문가 시스템 개발 환경의 선정

본 연구의 전문가 시스템 개발에 사용된 언어는 Avenue로써 이는 ArcView에 포함되어 있는 객체지향 프로그램 언어이며, 비교적 단순한 문법구조를 가지고 있다. 또한 Request라 불리는 다양한 라이브러리 함수를 이용하여 프로그램 작성을 지원함으로써 ArcView의 모든 기능을 바로 이용할 수 있는 개발환경이며, 자료를 수정·보완하거나 새로운 분석기능을 추가하여 완전한 응용프로그램을 개발할 수 있는 장점

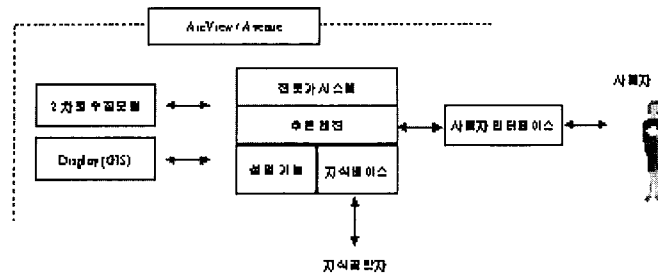


그림 2. 연계 개념도

이 있다(ESRI, 1998). 이러한 장점을 가지는 Avenue 는 도형정보와 속성정보에 접근하여 쉽게 연산할 수 있으므로 전문가 시스템에서 요구하는 Rule을 효과적으로 구축할 수 있고 수질모형과 연계가 용이하다. 또한 수질모형의 해석결과를 그래픽으로 도시함으로써 수질 현황을 효과적으로 판단할 수 있다. 이러한 연계개념은 그림 2와 같이 도식화될 수 있다.

3.2 전문가 시스템 추정규칙의 구성

전문가 시스템의 추론기법을 개발하기 위하여 그림 3과 같은 모형의 입·출력자료 가운데 수질매개변수가 DO, BOD, N, P 등의 계산결과에 미치는 영향이나 상

호작용을 파악해야 한다. 이를 위하여 QAUL2E 사용자 매뉴얼 등을 참고하여 각 매개변수들의 의미 및 적용범위 등을 조사하고 민감도 분석을 실시하였다. 특정 매개변수에 대한 민감도를 결정하기 위한 방법으로서 다른 매개변수들의 값은 표 1에 제시된 기준값으로 고정시키고, 해당 매개변수를 적용범위 내에서 변화시키면서 모형의 계산을 수행하였다. 계산된 민감도 값이 0.1보다 작은 경우에는 해당 매개변수의 민감도는 작은 것으로 고려하여 제외시켰으며 그 결과는 그림 4, 5와 같다. BOD의 경우 횡방향 확산계수와 K_1 , K_3 에 민감하게 나타났으며, DO는 횡방향 확산계수, K_1 , β_1 , β_2 , β_3 에 민감하게 반응하였다. 기타 질소와 인의 경우 횡

표 1. 매개변수의 정의 및 적용범위

반응 계수	정의	하한치	기준치	상한치
X-d	x방향의 확산계수	-	70.00	-
Y-d	y방향의 확산계수	-	0.50	-
K_1	탄소성 BOD의 탈산소계수	0.02	0.26	3.40
K_3	탄소성 BOD의 침전계수	-0.36	0.00	0.36
K_4	하상산소요구량	0.07	0.70	7.00
β_3	유기질소의 산화율	0.02	0.09	0.40
σ_4	유기질소의 침전율	0.001	0.01	0.10
β_1	암모니아성질소의 산화율	0.10	0.316	1.00
σ_3	암모니아성질소의 하상 증가율	0.0004	0.027	1.80
β_2	아질산성질소의 산화율	0.20	0.632	2.00
β_4	유기인의 감소계수	0.01	0.084	0.70

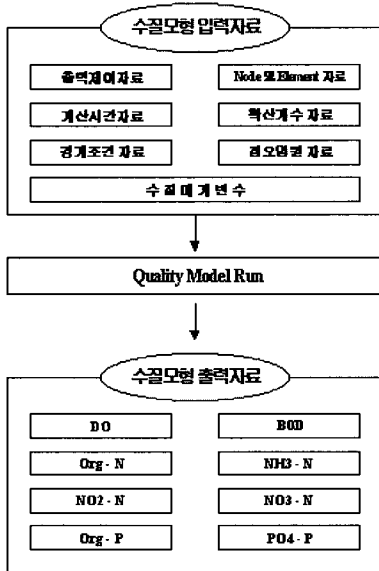


그림 3. 수질모형의 입출력자료

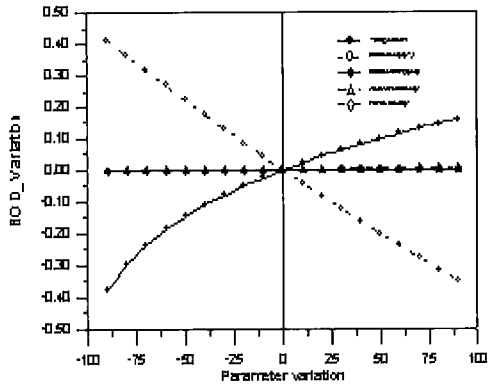


그림 4. 매개변수 민감도 분석(BOD)

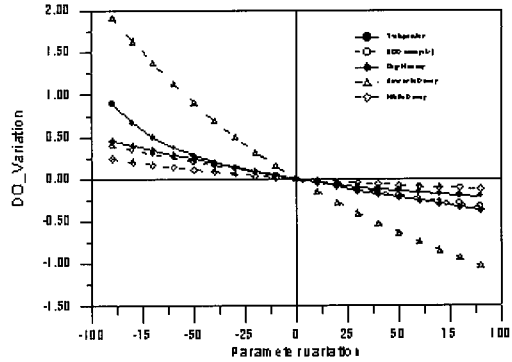


그림 5. 매개변수 민감도 분석(DO)

표 2. 매개변수 추정을 위한 추론전략

Parameter Appearance		X-d	Y-d	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	β ₃	σ ₄	β ₁	σ ₃	β ₂	β ₄
DO	high	-	↑	↑	↑	-	↑	-	↑	-	↑	-	-
	low	-	↓	↓	↓	-	↓	-	↓	-	↓	-	-
BOD	high	-	↓	↑	↑	-	-	-	-	-	-	-	-
	low	-	↑	↓	↓	-	-	-	-	-	-	-	-
Org.-N	high	-	↓	-	-	-	↑	↑	-	-	-	-	-
	low	-	↑	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-
NH ₃ -N	high	-	↓	-	-	-	↓	↑	↑	-	-	-	-
	low	-	↑	-	-	-	↑	↓	↓	-	-	-	-
NO ₂ -N	high	-	↓	-	-	-	↓	-	↓	-	-	↑	-
	low	-	↑	-	-	-	↑	-	↑	-	-	↓	-
NO ₃ -N	high	-	↓	-	-	-	↓	-	↓	-	-	↓	-
	low	-	↑	-	-	-	↑	-	↑	-	-	↑	-
Org.-P	high	-	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑
	low	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓
PO ₄ ³⁻ -P	high	-	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓
	low	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑

방향 확산계수, σ_4 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 에 민감하게 반응하였다.

매개변수의 추정은 모형에 의해 산정된 모의값 (L_{CAL})과 관측값 (L_{OBS})의 상대오차가 허용범위 내일 경우 종료하도록 하였으며, 식 (2)을 목적함수로 사용하여 새로운 매개변수 추정을 위한 추론전략을 표 2와 같이 구성하였다.

$$\begin{bmatrix} DO \\ BOD \\ ORG-N \\ NH_3 \\ NO_2 \\ NO_3 \\ ORG-P \\ PO_4 \end{bmatrix} = \frac{L_{OBS} - L_{CAL}}{L_{OBS}} \quad (2)$$

매개변수의 민감도 분석결과를 통하여 매개변수의 증가 및 감소에 따른 모의결과의 변화양상을 알 수 있

있으며 관측값과 모의값을 비교하여 그 결과에 영향을 미치는 매개변수를 선정하고, 그 차이를 감소시킬 수 있는 방향으로 매개변수를 변화시킴으로써 적절한 매개변수들을 추정하도록 하였다. 본 모형에서 매개변수 추정을 위한 추론규칙을 살펴보면, 횡방향 확산계수의 경우 모든 모의항목에 대하여 영향을 미치고 있으며 모의값의 BOD농도가 오차범위보다 높을 경우 횡방향 확산계수를 감소시키고 K_1 , K_3 , β_3 를 증가시킴으로써 모의 결과를 개선시킬 수 있었다. 이때 기본적으로 매개변수의 증가 및 감소범위를 10%하고 오차범위를 벗어나는 모의항목 갯수만큼 나누어 새로운 매개변수를 추정하도록 하였다. 예를 들면 횡방향 확산계수의 경우 BOD와 Org.-N이 관측값보다 너무 높으면 기존의 매개변수의 5%만큼 감소시켜 매개변수를 개선시키게 된다. 또한 매개변수의 적용범위를 고려하여 최대값과 최소값내에서 합리적인 매개변수 추정이 되도록 하였다.

3.3 전문가 시스템의 구성

본 연구에서는 매개변수 추정을 위한 전문가 시스템을 구축하기 위하여 ArcView에서 자체적으로 지원되

는 View Document와 Script Document 그리고 Dialog Document를 활용하였다. View Document는 여러 개의 주제도를 디스플레이할 수 있는 창에 해당되며, Script Document는 Avenue Script를 이용하여 시스템을 개발할 수 있는 프로그램 코드이다. Dialog Document는 Dialog Designer를 이용하여 사용자 인터페이스를 구성하며, 또한 ArcView 인터페이스를 Customizing하는 새로운 도구(tool)을 개발자에게 제공함으로써 자신만의 Dialog를 구성할 수 있다. 본 시스템에서는 Script Document를 활용하여 전문가 시스템의 추론규칙을 구성하는 script를 작성하였으며 Dialog Document를 이용하여 사용자 인터페이스를 구성하였다. 또한 View Document를 통해 모형의 출력결과를 효과적으로 도시하도록 하였다. 이렇게 구축된 시스템을 실행하기 위해서는 먼저 초기매개변수, 관측수질데이터, 오차수렴범위 등을 그림 6과 같은 Dialog Box를 통해 입력한 후 2차원 수질모형을 수행한다. 그 후 모의값과 관측값의 비교를 통하여 사용자에게 의한 오차수렴범위가 만족되면 최적 매개변수를 결정하고 오차수렴범위를 벗어나면 추론엔진은 지식베이

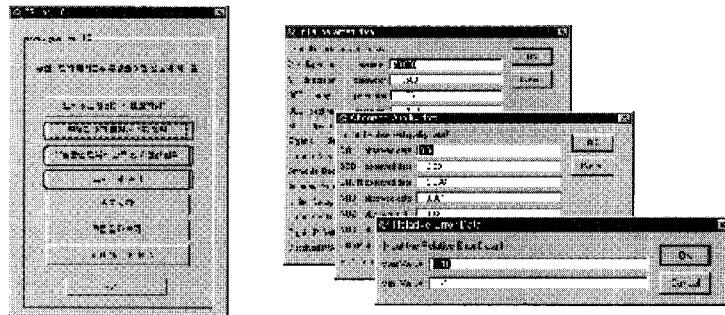


그림 6. 사용자 입력 Dialog Box

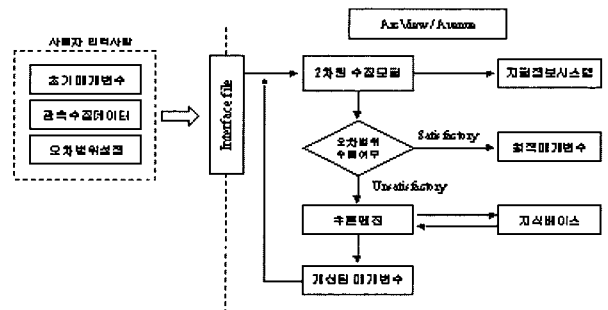


그림 7. 매개변수 추정과정

스로부터 개선된 매개변수를 추론하여 2차원 수질모형을 수행하게 된다. 이러한 수질모형의 매개변수 추정과정은 그림 7과 같이 도식화될 수 있다. 한편 매개변수 추정과정을 ArcView의 Avenue로 구축함으로써 사용자는 ArcView 환경 내에서 손쉽게 모형계산을 수행할 수 있으며, 또한 모형의 해석결과를 GIS의 기능을 활용하여 가시적인 제시가 가능하도록 하였다.

4. 전문가 시스템의 적용

4.1 대상유역 현황

연구 대상구간은 그림 8과 같이 경기도 팔당댐 직하류부터 한강 인도교까지의 구간이며, 종단거리는 약 35.3km이다. 유입되는 대소 지류들은 표 3과 같이 왕숙천을 비롯하여 6개의 하천이 포함되어 있다. 연구구간의 하도 단면자료는 횡단측량 성과가 모두 존재하며 크게 서울시 구간과 경기도 구간으로 나누어 하도 단면의 특징을 설명할 수 있다.

한강의 서울시 관내구간은 상류부 서울시와 경기도의 경계로부터 하류부 경기도 고양시의 경계까지 24.5km이다. 한강은 하폭 750~1,200m 사이로 비교적 안정된 폭원을 유지하고 있으며, 1982년에서 1986년까지 한강종합개발사업으로 하도가 정비되어 저수로 폭 650~900m에 최소수심 2.5m을 유지하면서 상시유량이 유하하고 있다(서울특별시, 1998). 반면에 한강의 경기도 구간은 팔당댐 직하류로부터 서울시와 경기도의 경계에 이르는 총 10.8km 구간이다. 본 구역은 1993년 9월 미사리 지역의 개발사업이 완료되어 팔당댐에서 미사리 지역에 이르는 구간을 제외한 본 연구의 모든 대상구간은 하도정비가 이루어진 상태이다.

4.2 전문가 시스템의 적용

본 연구에서 개발된 수질모형 매개변수 추정을 위한 전문가 시스템은 기본적으로 시스템의 질문에 대해 사용자가 대답을 함으로써 모형이 수행되도록 하여 마치 전문가와 사용자가 대화를 통해 문제해결을 하는 듯한

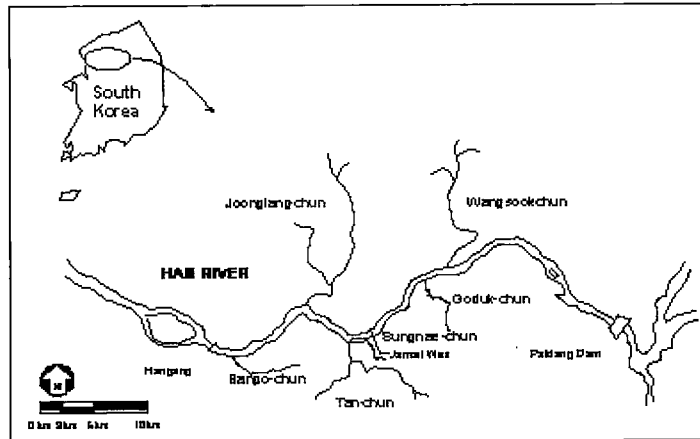


그림 8. 연구대상유역도

표 3. 한강유입 지천 현황

하천명	유입지점		하천현황		유역내 행정구역
	위치	안별(岸別)	유역면적(km ²)	유로연장(km)	
왕숙천	경기도 구리시 토평동	우	276.50	37.00	구리시, 미곡시, 남양주군
고덕천	서울시 강동구 고덕동	좌	18.52	6.83	강동구
성내천	서울시 송파구 신천동	좌	33.56	9.77	강동구, 송파구, 하남시
탄천	서울시 강남구 삼성동	좌	300.95	35.62	강동구, 송파구, 성남시
중랑천	서울시 성동구 성수동	우	299.60	34.80	성동구, 성북구, 노원구, 의정부시
반포천	서울시 동작구 동작동	좌	29.10	8.10	관악구, 서초구, 강남구

상호대화형 질의응답 방법으로 구성하였다. 개발된 전문가 시스템의 검증을 위해서 98년 11월의 유량자료를 활용하였으며, 서울시가 상류경계조건에 해당하는 팔당댐 방류량 200CMS 일 경우에 산정한 지류 유입량을 고려하였다. 또한, 왕숙천, 탄천, 중랑천의 합류 직하류 단면과 반포대교 상류지점에서 수질측정망 운영계획(환경부, 1998)에 의한 수질자료를 활용하였으며 유입오염원은 표 4와 같이 한강의 본류 및 주요 지류를 포함하였다. 관측값과 모의값의 오차수용범위는 10%로 지정하여 모의하였고 초기매개변수와 개선된 매개변수 추정 과정을 계산 진행과정에 따라 정리하면 표 5와 같으며

매개변수의 개선과 함께 수질 관측값에 근사함을 알 수 있다. 또한 반포대교 상류지점에서 횡단 관측값과 모의 관측값 비교를 위해 그림 9~12와 같이 도시하였으며 하도흐름의 좌·우안에서 비교적 오염도가 높은 것을 알 수 있다. 그림 13과 그림 14는 대상구역에서 지형도와 DO, BOD오염도를 합성하여 도시한 것으로서 오염농도가 높은 지류로부터 유입된 오염물질이 하도흐름의 좌·우안을 따라 농도분포가 이루어지며 하류부에 오염농도가 심해짐을 알 수 있어 사용자에게 좀 더 합리적이고 과학적인 판단이 가능하도록 하였다. 또한 ArcView의 Table Document를 활용하여 모형

표 4. 본류 및 지천의 오염농도(환경부, 1998. 11월)

	DO	BOD	Org-n	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Org-P	PO ₄ -P	T-N	T-P
팔당댐 팔당대교	11.2	1.2	0.592	0.115	0.000	1.202	0.011	0.007	1.909	0.018
왕숙천 한강합류전	8.9	3.6	4.498	0.912	0.000	3.448	0.093	0.055	8.858	0.148
중랑천 중랑천교	9.4	22.3	3.047	2.250	0.000	5.599	0.242	0.142	10.896	0.384
탄천 대곡교	8.5	22.9	0.705	13.381	0.000	5.435	0.801	0.471	19.521	0.1272

표 5. 매개변수 추정과정

반복횟수	1	2	3	4	5	6	· · ·	13	14	15	16	관측값
추정매개변수												
Y-d	0.300	0.282	0.282	0.276	0.270	0.265	· ·	0.276	0.304	0.334	0.367	-
K ₁	0.250	0.217	0.195	0.175	0.158	0.142	· ·	0.094	0.094	0.094	0.094	-
K ₃	0.120	0.099	0.091	0.091	0.091	0.091	· ·	0.091	0.091	0.091	0.091	-
β ₃	0.300	0.282	0.265	0.249	0.234	0.220	· ·	0.157	0.157	0.162	0.162	-
σ ₄	0.095	0.045	0.032	0.022	0.015	0.010	· ·	0.001	0.001	0.001	0.001	-
β ₁	0.950	0.918	0.826	0.743	0.669	0.602	· ·	0.259	0.233	0.233	0.210	-
β ₂	1.900	1.898	1.835	1.774	1.715	1.658	· ·	1.994	1.994	1.795	1.795	-
β ₄	0.722	0.650	0.585	0.526	0.473	0.426	· ·	0.204	0.204	0.184	0.184	-
오염물질농도												
DO	3.333	3.472	3.607	3.732	3.852	3.969	· ·	4.650	4.742	4.762	4.849	4.800
BOD	2.557	2.602	2.644	2.686	2.723	2.758	· ·	2.859	2.852	2.829	2.803	2.900
Org-N	0.141	0.146	0.150	0.153	0.156	0.159	· ·	0.201	0.207	0.217	0.230	0.320
NH ₃ -N	0.800	0.822	0.843	0.867	0.890	0.912	· ·	1.050	1.058	1.046	1.049	1.300
NO ₂ -N	0.295	0.281	0.266	0.253	0.240	0.228	· ·	0.115	0.104	0.110	0.111	0.121
NO ₃ -N	1.165	1.154	1.143	1.134	1.124	1.114	· ·	1.068	1.055	1.045	1.032	0.987
Org-P	0.056	0.061	0.065	0.069	0.073	0.076	· ·	0.096	0.095	0.096	0.095	0.106
PO ₄ ²⁻ -P	0.112	0.108	0.104	0.100	0.096	0.093	· ·	0.073	0.072	0.069	0.068	0.073

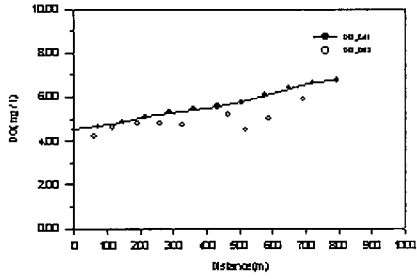


그림 9. DO 관측값과 모의값

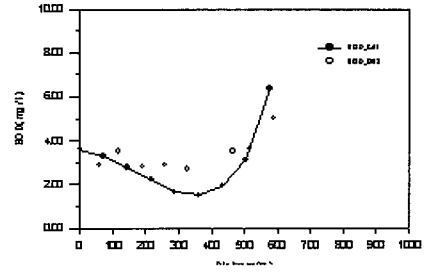


그림 10. BDO 관측값과 모의값

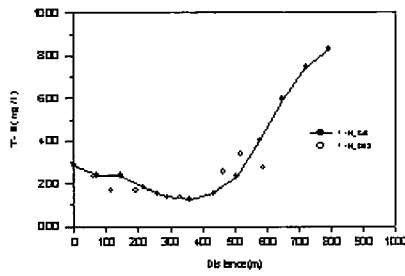


그림 11. T-N 관측값과 모의값

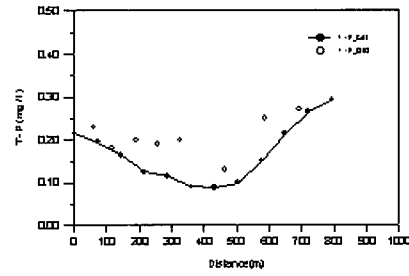


그림 12. T-P 관측값과 모의값

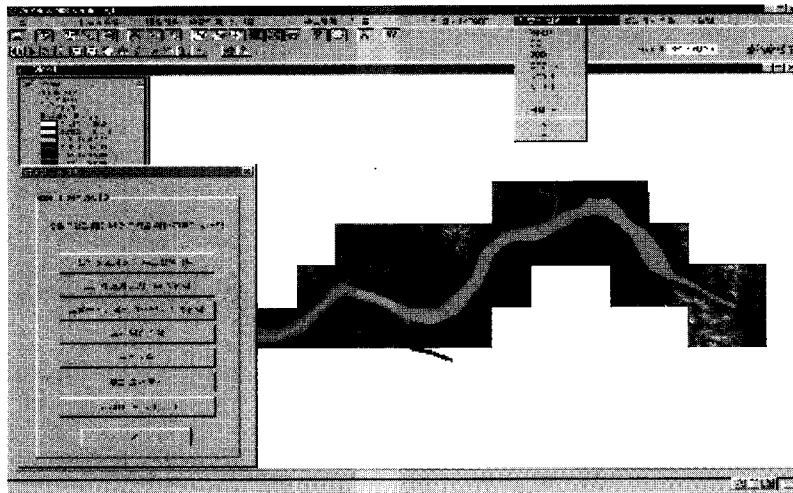


그림 13. 지형도와 DO 분포도

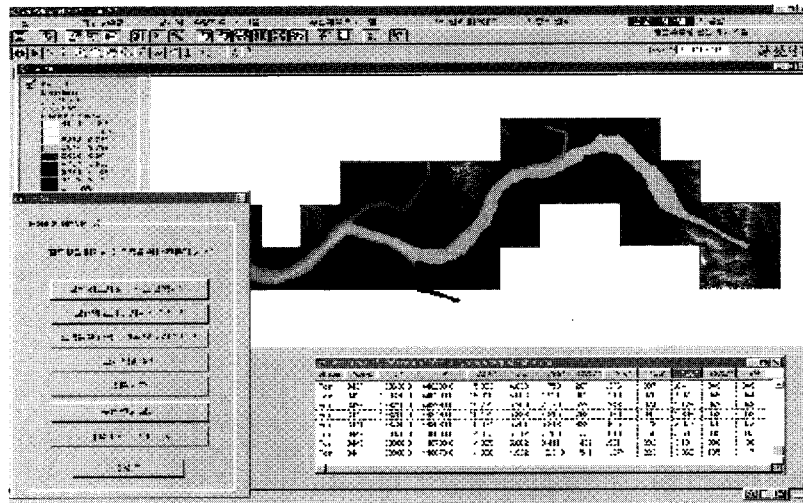


그림 14. 지형도와 BOD오염도

의 출력값을 Table로 작성함으로써 데이터의 편집 및 산술적인 계산이 가능하도록 하였다.

5. 결론

본 연구에서는 2차원 수질모형내의 여러 매개변수들간의 관련성을 평가하는 민감도 분석을 기반으로한 추론기관의 개발과 ArcView/Avenue를 활용하여 전문가 시스템을 구축함으로써 모형의 수질매개변수를 추정하고 모의를 실시하여 정확한 해석결과를 얻을 수 있는 기법을 제시하였다. 구축된 모형을 팔당댐 하류에서 인도교 구간에 적용한 결과, DO와 BOD는 황확산계수, K_1 , K_3 에 민감하게 반응하였다. 추정된 주요 매개변수는 황확산계수 0.367, 0.094, 0.162 등으로 추정되었으며, 수질모의값은 매개변수의 개선과 함께 수질관측값에 근사함을 알 수 있었다. 이와 같은 수질매개변수의 최적추정을 위한 전문가 시스템의 활용과 모의된 DO와 BOD의 가시적인 출력은 비전문가라 할지라도 기본적인 지식만 있다면 객관적인 수질현황 파악이 가능하여 하천수질관리에 많은 도움이 되리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 98-0601-0401-3)의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김주환(1993). 신경회로망을 이용한 하천유출량의 수문학적 예측에 관한 연구. 박사학위논문, 인하대학교.
- 김희수, 조용범, 최중욱(1998). 전문가시스템. 집문당.
- 서울특별시(1998). 한강수로 용역보고서. 한강관리사업소.
- 심순보, 한재석(1988). "하천 수질모형 시스템의 안정성 및 민감도 분석." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제21권, 제6호, pp. 407-414.
- 이범희(1998). 지리정보 체계 및 전문가 시스템을 이용한 도시유출 및 수질모형의 개발. 박사학위논문, 서울대학교.
- 이을래(2000). 수계오염의 최적관리를 위한 동수역학적 수치모형의 개발. 박사학위논문, 경북대학교.
- 전경수, 이길성(1993). "QUAL2E 모형에 의한 한강수계 수질모델링." 한국수자원학회 발표논문집, 한국수자원학회, pp. 125-132.
- 조홍연, 이길성, 한광석(1993). "WASP4 모형의 매개변수 추정 및 검증. -팔당호를 중심으로-" 한국수자원학회 발표논문집, 한국수자원학회, pp. 491-500.
- 환경부(1998). 수질측정망 운영계획.
- Barnwell, T.O., Linfield C. Brown and Wiktor Market (1989). "Application of Expert Systems Technology in Water Quality Modeling."

- Water Sci. & Techol.*, Vol. 21, Brighton, pp. 1845-1856.
- Bauffaut(1989). *Development of an expert system for the analysis of urban drainage using SWMM(Storm Water Management Model)*. Report No.180, Water Resources Research Center Technical, Purdue University.
- ESRI(1998). "Programming with Avenue". Environmental System Research Institute, INC.
- Ruland, P., and Rouv, G.(1994). "Advantage of object oriented GIS for the integration of hydraulic model." *proc. of the 1st Inter. Conference on Hydroinformatics*, Delft, Natherlands, pp. 253-259.
- Wood, D.M., Houck, M.H. and Bell, J.M.(1990) "Automated calibration and use of Stream-Quality Simulation model." *J. Envir. Engrg., ASCE*, Vol. 116, No. 2, pp.236-249.

(논문번호:01-042/접수:2001.05.31/심사완료:2002.02.25)