

# 의사결정지원기법을 이용한 농촌유역 수질관리모형의 개발

(Development of Water Quality Management Model  
for Rural Area Using Decision Support System)

양 영 민\* · 권 순 국(서울대)

Yang, Young Min · Kwun, Soon Kuk

## Abstract

In this study, a decision support system(DSS) was developed to calculate optimal wastetreatment cost, treatment level and treatment quantity of various pollutants for applying for in rural basin. The DSS includes a geographic information system(GIS), relational database system(RDBS), water quality models>Loading function, WASP5), watershed pollution load calculation module(WPLC), optimal water quality management plan calculation module(OWMP). The System can provide the optimal water quality management plan to satisfy the water quality regulations. The system can be modified by user to trace the optimal condition for decision. The effort was conducted to apply the developed DSS to select the for optimal water quality management plan small rural basin called Kwanri Stream.

## 1. 서론

최근들어, 농촌지역에서는 생활양식의 도시화로 인한 용수 수요의 증가 및 생활하수의 증가, 농업소득 증진을 위한 축산업의 병행 및 축산단지의 조성, 농공단지의 조성 등으로 인하여 유역의 수질이 날로 악화되고 있어서 농촌지역에 대한 수질 악화 문제가 심각하게 대두되고 있어 농촌지역의 수질을 효율적으로 유지·관리하기 위한 수질관리 대책이 절실히 요구되고 있다. 농촌유역은 특성상 오염원이 유역전체에 불규칙적으로 산재해 있고, 점원 및 비점원 오염이 복잡하게 존재하므로 농촌유역에서의 수질보전과 관리를 위해서는 첫째로, 단순히 하천자체의 수질만을 수질관리의 대상으로 하는 것이 아니라 방향이 아닌 수질과 하천의 수량 모두를 고려하여야 하고, 둘째로, 점원뿐만 비점원오염까지 수질관리의 대상으로 포함하여 이들로부터 유역내로 배출되는 오염부하량을 적정량으로 유지하도록 하며, 그 흐름을 합리적으로 제어하기 위한 유역일체의 오염부하관리방향으로 변모하여야 한다. 즉, 효과적인 수질관리를 위해서는 먼저 유역내의 토지이용, 인구와 산업의 입지, 오염물 처리 등의 오염원의 현황 및 분포에 대한 세밀한 계획과 검토가 필요하며, 이를 바탕으로 유역의 오염상태를 예측하고 유역의 장래 수질을 예측할 수 있어야 한다. 또한 수질개선 및 관리에 필요한 여러 가지 시책 중 최적의 계획을 수립하여 그 결과를 모의해보고 유역에 실제 적용하는 체계적이고 종합적인 수질관리방법이 요구된다.

본 연구는 유역에서의 체계적이고 종합적인 수질관리를 위하여 의사결정지원기법을 이용한 농촌유역에서의 수질관리모형을 개발하고, 본 모형을 시험유역에 적용하여 농촌유역에서의 수질관리에 있어서의 적용성을 검토하는데 그 목적이 있다.

## 2. 모형의 개발

### 2.1 농촌유역 수질관리 의사결정지원시스템의 개념 및 구성

본 연구에서 개발하고자 하는 농촌유역 수질관리 의사결정지원시스템(Decision Support System for Water Quality Management of Rural Area, 이하 “DSS-WQMRA”로 표기)은 다음과 같은 방향으로 개발하였다. 첫째, 유역내의 각종 인문·사회·자연 정보 및 오염원 정보의 공간분포현황과 특성을 나타내어주기 위해 지리정보시스템과 모형의 효율적인 운용과 유역 정보, 수질개선기술 등의 데이터의 관리를 위해 관계형 데이터베이스를 이용하였다. 둘째, 점원 및 비점원 오염이 복잡하게 산재한 농촌유역의 수질예측을 위해서 WASP5와 부하함수(Load Function)를 이용하였다. 셋째, 농촌유역의 특성을 고려하여 대상오염원으로 점원뿐만 아니라 비점원도 포함한 수질개선기술을 적용하고자 하며, 넷째, 수질관리계획을 달성하기 위한 여러 방법 중 가장 최적의 안을 선택하기 위해 최적수질관리기법선정 부모형을 개발하였다. 마지막으로 농촌유역의 수질관리계획에 필요한 정보를 공급하고, 과정을 유도해주는 통합시스템의 구축을 위하여 의사결정지원기법을 이용하였다. 각 부모형에서의 수행하는 작업과 모형의 전체적인 흐름을 간단한 Flow Chart로 나타내면 다음과 같다.

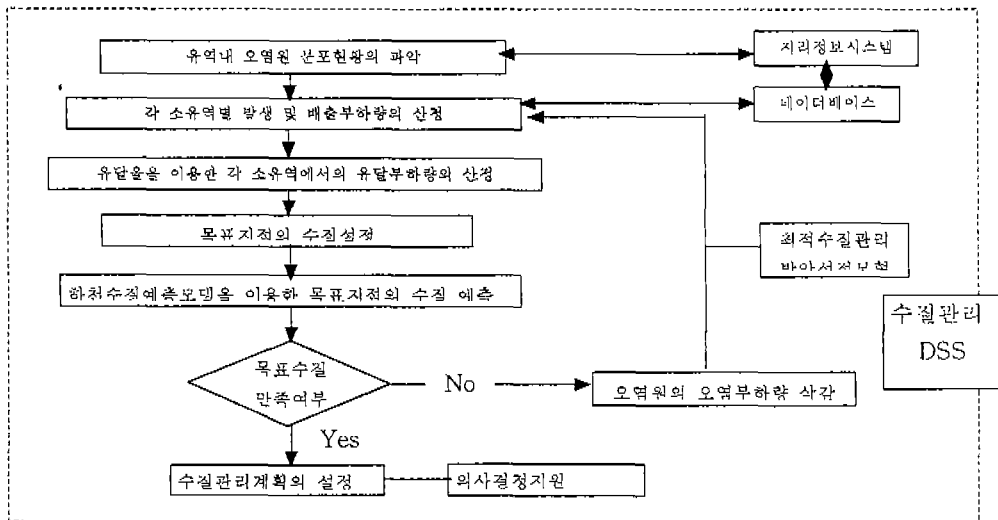


Fig. 1 수질관리모형의 흐름도

GIS, Database를 제외한 통합시스템의 구축은 객체지향언어인 JAVA로 구축하였다.

GIS는 ARC/INFO, ARC/VIEW를 이용하여 국립지리원에서 보급한 공식적인 수치지도를 구입하여 이를 기본으로 작업하였다. DSS-WQMRA에서는 GIS 파일을 보여줄 수 있도록 각종 인터페이스를 구축하였다. 본 모형에서는 'DXF File Viewer'라는 GIS파일을 보여줄 수 있는 Tool을 구축하였고, 각종 GIS를 응용한 기능을 보여주기 위하여 'PC/ARCVIEW'라는 GIS관련

Software를 모형내에 링크 시켜 사용자가 보다 효율적으로 GIS를 볼 수 있도록 환경을 구축하였다(Fig. 2).

Database 시스템은 MS사의 'Access'를 데이터 관리 프로그램을 이용하였고, Java 언어의 Utility(JDBC)를 이용하여 DSS-WQMRA 모형과 연결시키며, 이 작업을 사용자는 모형 내에 구축된 사용자 인터페이스를 통하여 Database를 이용하도록 하였다.

Database의 구성은 수질정보, 저질정보, 유량정보, 강우정보, 기상정보, 오염정보, 유역정보, 수질관리기법 정보, 사용자정의정보 등의 8개의 DataGroup으로 나누어 구성하였다.

수질예측모형은 비점원을 예측모형으로는 부하함수를 이용하였고, 하천(본류)을 유하하는 동안의 수질예측은 이미 그 사용성이 많이 검증된 WASP5을 통하여 예측하도록 하였다. 또한 수많은 경우의 시뮬레이션 경우를 프로그램을 통하여 돌리고자 할 때, 사용자가 그 과정을 점검하면서, 원하는 방향으로 손쉽게 모형을 풀릴 수 있도록

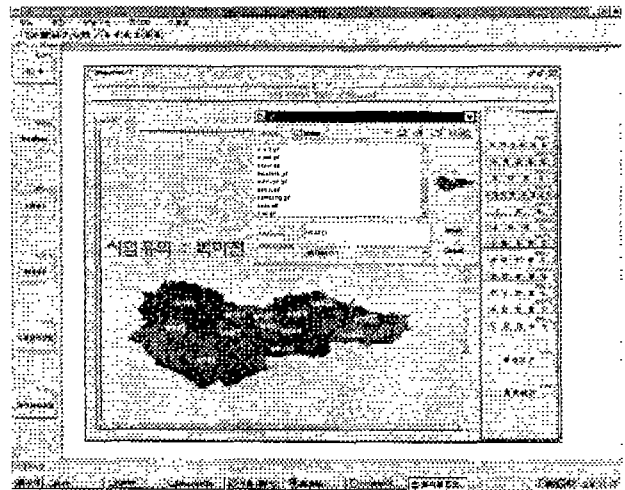


Fig 2. GIS 관련 Interface

하는 Case Management(per Cater, et al. [1992 ])라는 DSS기법을 응용하였다(Fig 3).

수질관리기법은 오염원에 따라 점원의 경우 생활계, 축산계(소와 돼지로 구분), 자연정화기법으로 구분하였다. 비점원의 수질관리기법으로 정화논과 인공습지의 방법을 적용하였으며, 처리방법별로 비용함수와 제거효율을 중심으로 내용을 정리하였다.

최적수질관리기법 선정 부모형은 최적화 계획법 중 혼합정수계획의 문제로 정식화하였고, 이를 위한 입출력자료에 대한 각종 인터페이스를 구축하였다. 혼합정수계획법은 초기투자비용을 고려하는 문제에 널리 쓰여 농촌유역과 같이 처리시설이 미비한 현실에서 보다 적합한 것

으로 생각되며, Database의 오염원의 자료에 따라 사능으로 처리대상의 오염원을 결정하고, 최적표이 근 요한 모든 계수는 모형내에서 자동적으로 산정하여 계산된다.

수질관리를 위한 계획을 수립할 때, 의사결정에 필요한 정보는 매우 많으므로 그 때의 상황에 따라 의사결정에 필요한 핵심적 내용(Decision Key)을 상황에 따라 직결히 제공할 수 있는 시스템이 필요하다. 이를 위해 부모형들을 하나의 통합시스템으로 구축하고, 각 모형의 입출력 및 운

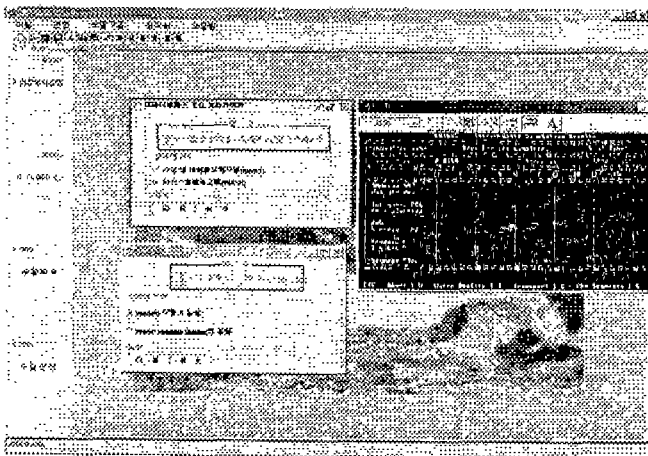


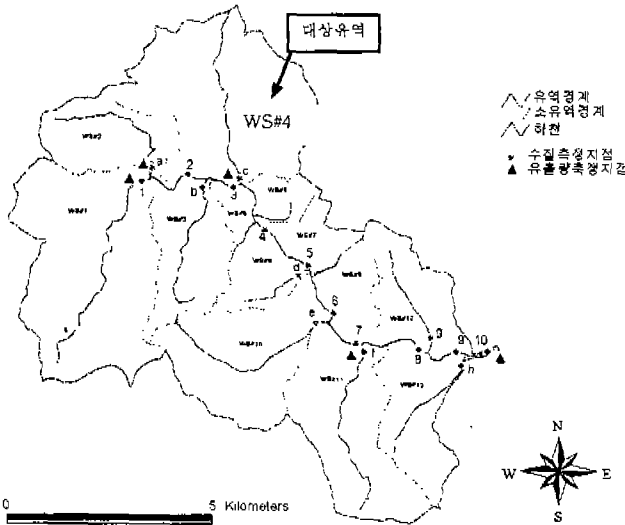
Fig 3. 수질예측모형 운용 인터페이스

용에 대한 인터페이스의 구축하여 수질관리를 위한 계획에서 필요한 정보들을 손쉽게 사용자가 모형을 운용하여 얻을 수 있도록 하였으며, 최적수질관리기법 선정모형의 입출력 결과분석을 위하여 모형자체 내에서 분석하여 사용자의 수질관리계획에 도움을 주고자 한다.

### 3. 모형의 적용

#### 3.1 대상유역의 선정과 조사

본 연구에서는 대상유역으로 경기도 이천의 북하천의 지류인 관리천 유역(Fig. 4)을 선정하였다. 행정구역상으로 경기도 이천시 마장면 6개리와 광주군 도척면 1개리를 포함하고 있고, 하천연장이 약 5.4 km이고, 총 유역면적은 13.26km<sup>2</sup>이다. 또한 유역전반에 걸쳐 소규모의 축산농가가 산재해 있고, 대규모공장 및 상업지역, 도시화 지역이 없는 전형적인 농촌지역의 특성을 나타내고 있다.



유역의 현황에 대한 조사 결과 유역의 총인구는 1,716명이며, 인구밀도는 1.29명/ha로 인구밀도가 다른 농촌지역에 비해 낮은 편이다(경기도 이천의 북하천 유역 : 1.37명/ha). 토지이용 면적은 면사무소의 통계자료를 이용하였다. 유역의 총면적 1,326ha 중 논은 17.1% (226.3ha), 밭 11.2%(148.0ha), 임야 64.7 % (148.0), 기타 7.0%(93.4ha)로 논·밭·기타의 비율이 다른 농촌지역에 비하여 비교적 낮고, 산림과 기타의 비율은 높은 편이다. 축산은 98년도 현재 소가 579마리, 돼지가 98마리로 증가하고 있는 추세이다. 또한 유역의 산업체는 대부분

소규모이며, 말단부분에 방류량이 80m<sup>3</sup>/day인 식품업체가 존재한다. 하수도 정비 및 환경기초시설현황의 경우, 현재 가동중인 하수도 정비 및 환경기초시설이 없으며, 장기계획에도 포함되지 있지 않다.

#### 3.2 수질관리시나리오에 따른 모형의 적용

시나리오 A와 B는 관리천의 현재 수질등급이 III~V등급인데, 생활환경을 기준으로 관리천

Table 1. 각 시나리오별 주요 내용

종류	목표수질	BOD(mg/ℓ)	T-N(㎍/ℓ)	T-P(㎍/ℓ)	특 지
	현재평균수질	3.75	2.9	0.06	-
	Scenario A	3.5	2.0	0.05	총비용·처리방법·유량·비용
	Scenario B	2.0	2.0	0.05	총비용·처리방법·유량·비용
	Scenario C	1.0, 3.0, 6.0, 8.0, 10.0	2.0	0.05	각 수질등급별 최적비용의 산정

을 목표수질이 II 등급(BOD 기준)달성하기 위한 처리비용 및 방법, 용량을 구하는 내용을, 시나리오 C는 BOD 기준의 각 수질등급을 달성하기 위한 최적의 비용을 구하는 내용을 담고 있으며, 목표지점은 WS#4지역의 말단으로, 기준수질은 평상시중 수질이 가장 나쁜 4월을 기준으로 하였다. 내용을 정리하면 Table 1 과 같다.

모형의 결과에 의하면, 현재 달성가능한 최적의 수질복표값은 BOD는 1.83 mg/l, T-N은 1.03mg/l, T-P는 0.05mg/l로 나타났다(하천수질등급기준 : I 등급과 II 등급, 호소수질등급기준 : T-N은 IV등급, T-P는 III등급). 이 결과로 대상유역은 본 모형의 경우처럼 오염발생원 중심의 수질관리를 시행했을 때, 유기물 대상의 수질관리는 양호한 보전이 가능하지만, N, P등의 영양염류는 이 방법으로는 양호한 수질보전이 불가능하며, 수질을 보다 낮추기 위해 가능한 방법으로 오염원 자체를 줄이는 방법, 하천 회석수를 도입하여 수질농도를 낮추거나 극단적으로 하천수를 처리장에서 처리하여 오염물질을 감소시켜 방류하는 방법 등을 적용하여야만 목표수질을 달성할 수 있을 것이다. Scenario A의 경우 총비용은 316.89 만원이고, 처리형태를 보면, 생활계의 경우 대부분 단독정화조 + 분뇨처리장으로 나타났으며, 소의 경우 농지환원을 통한 수질관리가 비용이 적으면서도 높은 효율을 가져 올 수 있었으며, 돼지의 경우도 만찬가지로 퇴비화형식이 가장 비용효율적으로 나타났다.

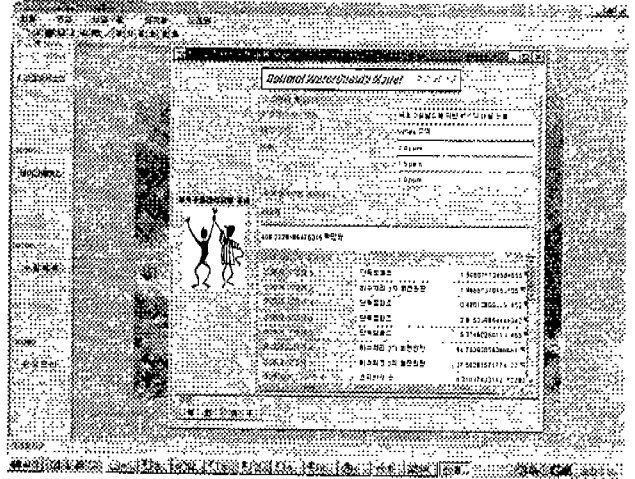


Fig 5. 최적수질관리기법의 결과 Interface-1

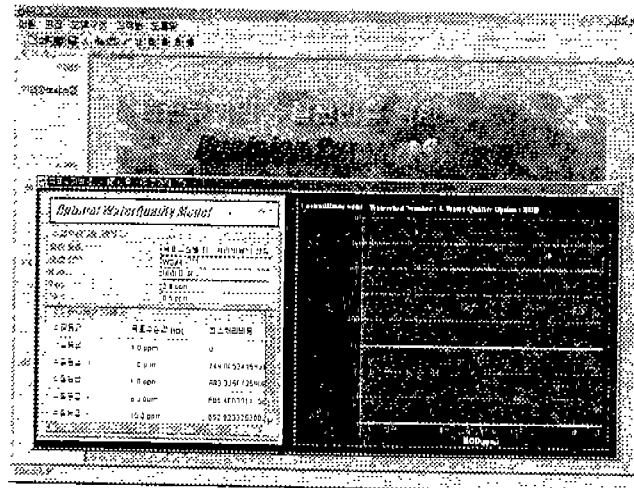


Fig 6. 최적수질관리기법의 결과 Interface-2

Scenario B의 경우 총비용은 577.38만원으로 나타났다. 처리형태를 보면, 생활계의 경우 일부가 "단독정화조 + 분뇨처리장" 방식에서 하수처리장으로 바뀌었으며, 소와 돼지의 경우는 처리방식이 변하지 않았다. 따라서, BOD의 경우, 오염배출량이 처리방식이 생활계에서 차지하는 비율이 높아, 처리비용이 높다하더라도 생활계의 오염부하량의 세어가 심해짐을 알 수 있다.

Scenario C의 경우 BOD의 복표수질이 I등급일 때는 최적화가 달성 불가능으로 나왔으며, 그 외의 경우 최적화가 가능하였다. 데이터 수가 적지만, 목표수질변화에 따른 최적처리비용의 변화를 회귀식으로 나타내면  $Y = 847.69 X^{-0.1158}$ 와 같고,

이 식에 의하면, 현재 BOD 수질농도가 3.75mg/ℓ에서, 하천수질등급기준 II등급인 3.0mg/ℓ을 달성하기 위한 비용은 683.34백만원이며, 달성가능한 최저 목표수질 1.83mg/ℓ을 달성하기 위한 비용은 790.39백만원으로 나타났다. 향후 GIS와 연결하여 하수처리장으로 처리되는 지역의 경우 배수구역의 범위 등을 표시하여 줄 예정이다. 수질관리기법이 선택된 후에는 그 관리기법을 유역에 모의 적용하여 수질을 예측하게 되며, 그 결과를 GIS를 통하여 사용자가 수질개선정도를 쉽게 짐작할 수 있도록 할 예정이다.

Table 2. 목표수질별 최적처리비용 산정결과

수질등급 (BOD)	I 등급(1.0mg/ℓ)	II 등급(3.0mg/ℓ)	III 등급(6.0mg/ℓ)	IV 등급(8.0mg/ℓ)	V 등급(10.0mg/ℓ)
최적처리비용	달성불가능	749.08	683.33	665.46	652.82

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 농촌지역에서의 수질관리를 위해 농촌유역수질관리 의사결정지원시스템(DSS-WQMRA)의 개발에 관하여 연구하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. DSS-WQMRA의 개발을 위한 부모형으로 지리정보시스템, 데이터베이스시스템, 오염부하량 산정 부모형, 수질예측부모형, 최적수질관리기법 선정 모형을 적용 및 개발하고, 이로부터 의사결정지원기법을 이용한 DSS-WQMRA 모형을 개발하였다.

2. 본 모형을 Scenario A, B, C 등으로 적용한 결과 Scenario A의 경우 총비용은 316.89만원, Scenario B의 경우 총비용은 577.38만원으로 나타났다. Scenario C의 경우 BOD의 목표수질이 I등급일 때는 최적화가 달성 불가능으로 나왔으며, 목표수질변화에 따른 최적처리비용의 변화는 I~III등급에서는 비용이 급격히 변하며, III등급 이하에서는 비용의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

3. 농촌유역의 수질관리계획 과정의 모형화를 통하여 수질관리계획을 위한 의사결정지원과정이 보다 효율적이고 정량적으로 될 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 5. 참고 문헌

1. 서울대학교 보건대학원, 1993, 『수역 수질관리를 위한 수질예측 모형과 의사결정 지원시스템의 개발에 관한 연구』, 환경처, pp.225-315
2. 김종택외 5인, 1995, 『수질관리를 위한 오염물질 처리대안 선정시스템』, 국립환경연구원, 제 17권, pp. 361~376
3. K. V. Ellis and S. L. Tang, 1992, 『Wastewater Treatment Optimization Model, For Developing World. I: Model Development』, *J. Envir. Engrg.*, ASCE, 117(4), pp.501~ 518
4. A. Bruce Bishop외 1인, 1975, 『Coupled Optimization-Simulation Water Quality Model』, *J. Envir. Engrg. Div*, ASCE, 102(EE5), pp.1071~1086
5. Efraim Turban. 4th ed. Englewood Cliffs, N.J., 1995, 『Decision support and expert systems : management support systems(fourth edition)』, Prentice Hall.

1) 여기서, Y : 최적처리비용(백만원), X : 목표수질농도(mg/ℓ)