

# 소유역에서의 수계환경관리 및 평가시스템의 개발(Ⅰ)

- 시스템의 개발 및 구성 -

강 문 성 \* · 박 승 우 \*\* · 임 상 준 \*

\*서울대학교 농공학과

## A Water Environment Management and Evaluation Systems for a Small Watershed ( I )

- System formulation and Development -

Kang, Moon-Seong · Park, Seung-Woo · Im, Sang-Jun

### ABSTRACT

In an effort to effectively manage and evaluate a water environment at a small watershed, a decision support system for a water environment management and evaluation has been developed. This paper described the overall features and functions of the water environment management and evaluation systems (WEMES) for environmental management, conservation, and evaluation at a small watershed. WEMES consisted of four subsystems: data, simulation model, evaluation model, and user interface. Each of the systems were briefly described. And special features like simulation and evaluation models were also introduced.

#### I. 서 론

환경보전형 지속적 농업에 대한 국내외적인 관심

이 고조되면서 소하천에서의 다양한 수환경 보전방안에 대한 국가적 지역적 수요가 증대되고 있다. 수계환경관리는 수량, 수질, 공간, 생태계 등 수계환경의

구성요소에 의하여 생성되는 수계환경 기능중 역기능을 최소화하고 순기능을 증진하기 위한 수계관리 행위를 말한다. 따라서, 수계환경관리는 수계환경과 체계적인 모니터링을 통한 수질 현황 등의 파악과 문제점의 진단, 수계환경보전방안의 개선효과와 경제성 비교 등 비구조적인 의사결정을 체계적이고 합리적으로 시행하여야 한다.

이러한 수질환경관리와 평가를 위하여, 대상 수계내의 모든 유역이나 하천에 대하여 수질환경관련 정보를 수집하는 것은 많은 비용과 노력을 필요로 한다. 따라서, 수계내의 관심수역이나 비교를 위한 일부 몇 개의 유역이나 하천에 대하여 지속적인 수계환경 모니터링을 실시하고, 모니터링 결과를 기초로 하여 적절한 수계환경예측모델을 구성하며, 구축된 모델을 통하여 수계내의 환경변화에 따른 수질예측을 수행하거나 수질환경을 평가할 수 있는 종합적인 수계환경관리 및 평가시스템(watershed environment management and evaluation systems, WEMES)을 구축하는 것이 더욱 효율적인 방법이다. 또한, 구축된 수계환경관리 및 평가 시스템을 통하여 수계환경관리대안에 대한 수질개선 효과를 개량화하거나 대안의 우선순위를 도출할 수도 있을 것이다.

우리나라의 수계환경관리시스템의 분야는 농지개발사업의 계획이나 관리분야에서 정보기술의 응용에 대한 연구가 활발히 이루어졌다. 농촌용수이용합리화 계획 데이터베이스와 농촌지리정보시스템의 구축으로 농지자원과 농업기반조성사업과 관련된 기초자료가 정보화되고, 각종 구조물설계의 표준화, 공사관리의 전산화가 실용화되고 있다. 최근에는 농촌유역의 수질평가, 가뭄정보관리체계, 그리고 집중물관리시스템 등과 같이 의사결정지원시스템 기술 응용분야의 실용화가 이루어지는 등 관련자료의 데이터베이스의 구축과 지리정보시스템의 기반구축 등에서 선진국 수준의 기술을 보유하고 있다. 그러나, 정보기술의 활용에서는 아직 실용화 단계에 이르지 못하고 있다 (오치주, 2000). 따라서 농업 관련 자료의 수집, 배분을 위한 시스템의 개발과 구축이 이루어져야 하며, 이를 바탕으로 수계환경을 평가할 수 있는 종합적인 환경관리

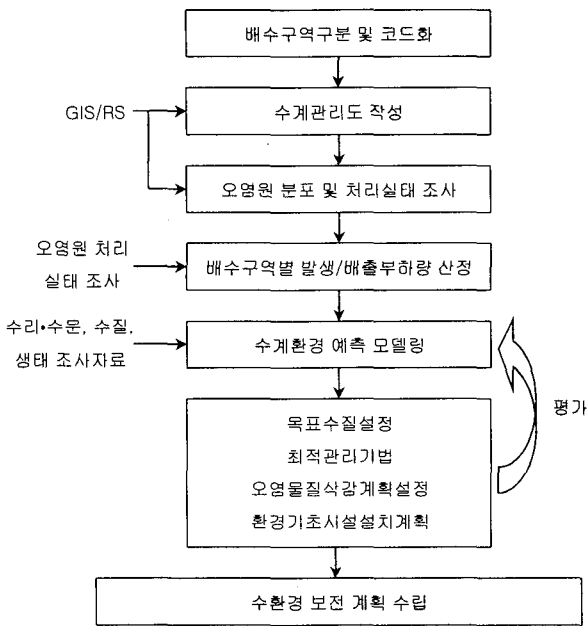
및 평가시스템의 구축이 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 소유역에서의 수계환경관리 및 평가 시스템을 개발하기 위하여, 대상유역으로부터의 수계환경자료의 생성, 갱신, 검색, 저장, 자료 현행화 등을 수행할 수 있는 자료관리, 구축된 자료를 토대로 수문 및 수계환경오염을 산정하고 예측할 수 있는 예측모델링, 예측된 결과를 바탕으로 수계환경의 오염도를 평가, 개선, 보전 및 관리가 가능하도록 구성된 수환경평가관리모형 등을 개발하고, 이를 통합한 수계환경관리 및 평가시스템을 구성함으로써 소유역에서의 건전한 수계환경관리방안을 제시하고 평가하고자 한다.

## II. WEMES의 구성

수계환경의 효과적인 관리와 평가를 위해서는 수계환경자료를 수집, 갱신, 검색, 저장할 수 있는 데이터베이스가 이루어져야 하고, 이들 자료를 이용하여 하천 유량과 부하량의 예측이 가능하도록 구성되어야 하며, 이를 바탕으로 종합적인 수계환경의 평가가 이루어져야 할 것이다.

〈그림 1〉은 수계환경관리 및 평가시스템의 전체적인 모식도를 보여주고 있다. 〈그림 1〉과 같이 대상유역을 선정하여 데이터베이스 코드를 부여하고, GIS (geographic information system)와 RS (remote sensing)자료로부터 기본적인 주제도와 수계관리도 및 오염원 분포를 작성하고, 각 오염원별 실태를 조사하여 이를 데이터베이스로 구축하도록 하였다. 구축된 데이터베이스를 바탕으로 배수구역별 발생부하량과 배출부하량을 산정하고, 기 구축된 대상유역의 수리·수문, 수질 및 생태 조사자료를 이용하여 수계환경모델링을 통해 수계환경의 예측이 가능하도록 하였다. 산정된 수계환경평가 결과는 종합적으로 수계환경을 평가하고, 목표수질을 설정하며, 최적관리기법을 통해 오염물질삭감부하량을 계산하고, 이를 만족시킬 수 있도록 환경기초시설 계획을 마련하도록 하였다. 이상의 결과를 바탕으로 수계환경예측 모델링 결과와 유기적인 평가가 이루어지며, 최종적으로 대상수계의 적절한 수환경 보전 계획을 수립할 수 있는 것이다.



<그림 1> WEMES의 구성

### 1. 자료관리 모듈

자료관리 시스템은 대상 시험유역의 현황과 지리 정보시스템의 자료구축 현황, 위성영상 이미지 자료, 수문/수질자료와 생태환경자료 등을 수집, 수정, 보완한 후, 각 자료에 대해 검색, 저장 기능이 가능한 일련의 데이터베이스 프로그램이다.

자료관리시스템에서 구축된 자료는 차후의 예측모델시스템에서의 수문예측과 수질예측의 입력자료로도 이용이 가능하도록 하였다.

### 2. 예측모델링

예측모델링은 수집된 수문/수질 자료와 생태자료 등으로 부터 수계환경 평가와 관리를 위한 장단기 수문예측모형과 수질예측모형으로 구성된다.

#### 가. 수문예측모형

수문예측모형의 기능은 시간별, 일별 강우자료 등의 장단기 강우발생자료를 모의발생시키며, 강우자료를 근간으로 폭우사상에 대한 단기 수문예측과 일별 유출량을 모의하는 것이다. 수문예측모형은 장단기

강우발생모형과 수문예측모형으로 구성하였다.

단기 강우발생모형은 SCS(soil conservation service)의 강우형태에 따라 시간별로 모의하도록 구성하였고, 장기 강우발생모형은 수문기상대의 과거 강우자료를 이용하여 일별기상인자의 추계학적 모의발생모형(강문성, 1995, 1998)을 구성함으로써 일별 강우량을 발생시키도록 하였다.

월별 일 강수량의 분포는 왜곡정규분포함수로부터 다음 식과 같다.

$$P = \frac{6}{C_s} \left[ \left\{ \frac{C_s}{2} \left( \frac{x - \bar{x}}{s} \right) + 1 \right\}^{1/3} - 1 \right] + \frac{C_s}{6} \quad (1)$$

여기서, P는 표준정규변수, x는 표본변량,  $\bar{x}$ 는 평균, s는 표준편차, Cs는 왜곡도계수이다.

단기수문예측은 강우시 담수심의 변화 및 물꼬 높이의 변화에 따른 저류효과와 물꼬를 통한 배수 등 논에서의 유출특성을 고려하여 구성된 모형으로서, 소유역, 저수지, 하도 홍수추적 모형과 결합하여 유역의 홍수를 추적하기 위한 모형인 WFRpaddy 모형(김철겸, 1999)을 이용하여 시간별 유량을 모의하도록 구성하였다. WFRpaddy 모형은 SCS법을 이용한 TR-20 모형을 근간으로 하고 있으며, 논 의 유출특성을 고려하기 위하여 물꼬를 통하여 배제되는 유출량은 위어의 자유낙하 유량곡식을 적용한 것으로 다음 식과 같다.

$$Q_p = c_p WH_p^{3/2} \quad (2)$$

여기서,  $Q_p$ 는 유출량 ( $m^3/s$ ),  $c_p$ 는 유출부의 조건에 따라 달라지는 상수이며, W는 물꼬의 폭 (m)을 나타내고,  $H_p$ 는 월류 수두 (m) ( $= FD - H_i$ )이다.

장기유출량 예측은 강민구 등(1999)이 제안한 SCE-UA (Shuffled Complex Evolution method from the University of Arizona)법을 이용한 수정 TANK 모형을 적용하여 일별 유량을 모의하도록 하였다.

수정 Tank 모형은 3단 tank와 4개의 유출공을 갖는 것으로 하며, 각 tank의 저류량(S)은 식 (3)과 같

이 나타낼 수 있다.

$$S_t = S_{t-1} + U_t - q_t - E_t - D_t \quad (3)$$

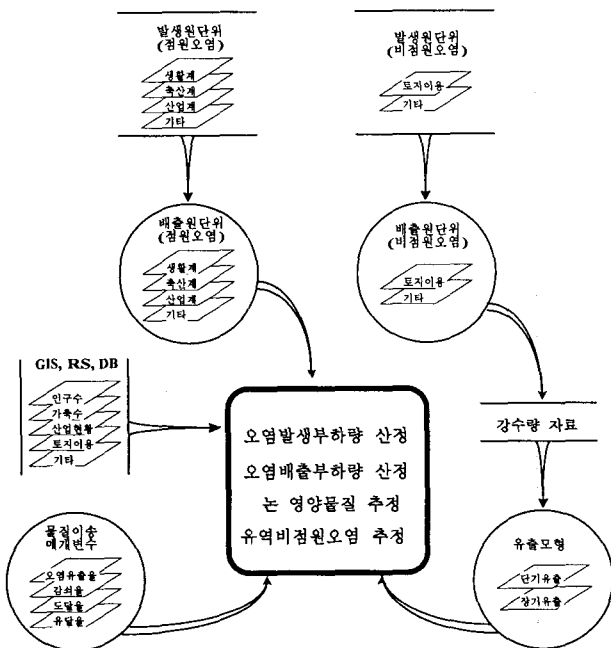
여기서, S는 tank의 저류량, U는 강우량, q는 유출량, E는 증발산량, D는 배수량을 나타내며, 하침자 t와 t-1은 계산일과 계산 전일을 나타낸다. 유역의 유출량은 식 (4)와 같다.

$$Q_t = q_{11} + q_{12} + q_2 + q_3 \quad (4)$$

여기서,  $Q_t$ 는 t일의 일 유출량,  $q_{11}$ 과  $q_{12}$ 는 상단 tank의 상부, 하부 유출공으로부터의 유출량 성분,  $q_2$ 는 중간 tank의 유출량 성분,  $q_3$ 는 하단 tank의 유출량 성분을 나타내며, 각 유출공의 유출량은 선형으로 가정한다.

#### 나. 수질예측모형

수질예측모형의 주요 기능은 배수구역으로부터 오염부하량을 추정하고, 하천 주요 측정점의 수질을 예측하는 것으로서 논영양물질, 유역비점원오염, 오염발생부하량, 오염배출부하량, 그리고 유달부하량 등의 추정이 가능하도록 하는 것이다. <그림 2>는 수질예측모형의 전체적인 개념도를 보여주고 있다.



<그림 2> 수질예측모형의 개념도

농업 소유역 토지이용의 큰 비율을 차지하고 있는 논에 대한 영양물질의 산정은 진영민(1997)이 제안한 CREAMS-PADDY 모형을 이용하여 산정하도록 하였다. CREAMS-PADDY모형은 포장단위에서의 농업비점원 오염인 인과 질소에 대해 관개기간에 걸쳐 일별로 추정하도록 구성된 모형이다.

유역단위의 비점원오염을 추정하기 위하여 전종안(2001)이 제안한 GIS-NPS 호환모형을 이용하였다. 본 연구에서는 지리정보시스템으로서 ARC/INFO를 사용하였고, 농업비점원오염모형으로서 수정AGNPS 모형을 사용하였다.

배수구역별 오염의 발생 및 배출량은 환경부(2000)에서 제시한 원단위 및 처리시설 등을 고려한 오염 발생/배출 부하량 산정모형을 구성하여 계산하였다. 이상의 결과를 바탕으로 유출부하량을 산정하고, 시험 유역의 부하량-유량 관계식을 이용하여 유달부하량을 산정하였다.

### 3. 수환경평가/관리시스템

수환경평가/관리시스템은 수환경평가모형, 최적수질 관리모형, 그리고 에너지흐름모형 등으로 구성된다. 수환경평가/관리시스템의 기능은 배수구역별 수질개선을 위한 관리방안의 제량화는 물론 수환경 평가를 위하여 자료관리시스템과 예측모형시스템에서의 결과를 바탕으로 현재 상태의 수계환경을 평가하고, 이를 개선, 보전 및 관리 등을 수행하는 것이다.

#### 가. 수환경평가모형

수환경평가모형은 하천오염도평가모형, 지표생물환경평가모형, 그리고 하천환경평가모형 등으로 구성된다.

##### 1) 하천오염도평가모형

하천오염도평가모형은 대상 수계의 수질조사 결과 및 예측모형에 의한 모의 결과를 토대로 하천의 오염도를 수질환경기준에 맞추어 평가하도록 구성하였다. 하천오염도를 생활환경기준에 제시되어 있는 pH, DO, BOD, SS, 대장균수의 어느 한 항목만으로 오염도를 평가하는 것은 무리이다. 따라서, 하천오염도평

가모형은 여러 가지 항목을 측정하여 종합적으로 수질을 지수화하여 평가할 수 있는 종합수질지표로 구성되어야 한다.

하천오염도평가모형의 기능은 환경부에서 제시하고 있는 DO 포화율(%), pH, 대장균군수, SS, BOD, 암모니아성질소와 질산성 질소의 합 등의 6개 항목에 대해 각각의 수질평점을 산정하여 종합적인 이화학적 수질평가지수를 제시하여 사용자가 하천오염도를 평가하기 위한 의사결정을 도와주는 것이다.

환경부의 환경오염(수질)실태 조사지침에 의하면 이화학적 수질지수로서 6가지의 기준항목을 측정하고, 이들을 점수화한 후 산술평균하여 등급을 매기는 방법을 제시하고 있으며, 각각의 기준항목별 수질평가지수의 산정은 다음과 같다 (한상옥외, 2000).

가) DO 포화율(%): DO는 수온에 따라 달라지므로 측정된 DO 값보다는 그 온도에서의 포화율이 중요하게 된다. 낮 동안에 광합성이 활발하면 DO가 과포화상태에 도달하는 경우도 있는데, 과포화는 오히려 감점을 한다. DO의 평점을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\text{비포화상태일 때 DO 평점} = \frac{\text{DO측정농도}}{\text{포화농도}} \times 100 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{과포화상태일 때 DO 평점} \\ = 100 - \frac{\% \text{포화율} - 100}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

단, 20% 이하의 포화율은 모두 10점으로 간주

나) pH: y축(평점)을 대수척도, x축(pH 측정값)을 보통척도로 한 그래프에서 두 개의 선분을 그려서 사용한다. pH 6과 9는 60점을 부여하고, pH 7은 100점을 부여한다. 산쪽의 구배가 알칼리쪽 구배의 2배가 되는데, 이는 산성 수질이 알칼리성 수질보다 더 불리하다는 일반적인 사실을 반영한 것이다.

다) 대장균군수: 수영할 수 있는 수질의 한계인 400MPN/100ml를 80점, 대장균이 검출되지 않으면 100점을 부여한다. 대수-보통 그래프에서 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\text{대장균군 평점} = 10^{2-0.0002423C} \quad (7)$$

여기서, C는 대장균군수(MPN/10ml)이다.

라) SS: 부유물질의 양이 20mg/l 이하이면 100점을 부여하고, 48mg/l 이면 80점을 부여한다. 대수-보통 그래프에서 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\text{부유물질 평점} = 10^{2.0692-0.00346C} \quad (8)$$

여기서, C는 SS(mg/l)이다.

마) BOD: BOD의 측정값이 1.5mg/l 이면 80점, 0이면 100점을 부여한다. 대수-보통 그래프에서 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\text{BOD 평점} = 10^{2-0.0646B} \quad (9)$$

여기서, B: BOD(mg/l)

바) NH<sub>3</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N: 하천수에서는 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N)와 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N)가 아질산성 질소에 비하여 많이 검출된다. 암모니아성 질소와 질산성 질소의 총량이 0.6mg/l 이면 80점, 0이면 100점을 부여한다. 대수-보통 그래프에서 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\text{질소성분 평점} = 10^{2-0.1615N} \quad (10)$$

여기서, N은 NH<sub>3</sub>-N과 NO<sub>3</sub>-N(mg/l)이다.

사) 판정기준: 6개 항목의 평점이 계산되면 산술평균을 내어 그 지점의 수질지수로 하며, 수질의 최종적인 판정기준은 90 이상은 우수, 70~89는 양호, 50~69는 보통, 30~49는 나쁨, 그리고 29 이하는 아주 나쁨으로 구분된다.

## 2) 지표생물환경평가모형

지표생물환경평가모형은 생물학적 지수를 이용하여 수계환경 오염도를 평가하는 것이다. 하천오염도 평가모형에서 제시하고 있는 이화학적 지수는 유량이나 기상의 영향을 크게 받으며, 상류에서의 일시적인 오염에도 영향을 받는다. 그러므로 수질오염의 축적된 효과를 감지하고 1회의 간단한 조사로 오염상태의 평균을 알아낼 수 있는 생물학적 지수를 이용하여 수계환경 오염도를 평가할 수 있도록 지표생물환경평가모형을 구성하였으며, 하천오염도평가모형에서의 단점을 보완하도록 하였다.

지표생물로는 물고기, 기저생물, 곤충류 등을 이용할 수 있는데, 물고기를 이용하는 방법이 보편적이다.

즉, 수계내에서 발견되는 지표생물의 종류에 따라 정성적으로 수질을 평가할 수 있는 것이다. 본 연구에서의 수질등급을 나타내는 지표생물의 등급별 기준은 <표1>에서와 같다.

<표1> 수질 등급을 나타내는 지표생물

등급	지표생물
1 급	열목어, 산천어, 버들치, 금강모치
2 급	은어, 피라미, 쏘가리, 다슬기
3 급	붕어, 잉어, 메기, 뱀장어, 미꾸라지
4 급	실지렁이, 나방이류

자료: 환경처, 1992. 중등학교 교사용 환경 교육연수 교재.

3) 하천환경평가모형

하천환경평가모형은 종합적 하천환경평가기준으로서 수계의 야생성, 수질기준, 친수성, 물의 흐름, 지역 사회와의 관계 등을 평가기준으로 하고 있다. 하천환경평가모형은 평가기준의 등급에 대한 가중치를 부여하여 수계의 환경평가를 정량화하고, 이를 토대로 수계를 자연보전, 자연이용, 정비자연, 시설이용, 인공정

비 등의 구역으로 구분함으로써 수환경관리의 계획을 수립하는데 있어서 효율성을 극대화할 수 있도록 하였다.

본 연구에서의 하천환경 평가 항목, 특징, 기준 및 해당 점수는 <표2>에서와 같다. 하천환경평가를 위한 항목으로는 자연상태를 나타내는 야생성, 수질등급을 나타내는 수질, 자연경관 등을 고려한 친수성, 물의 흐름 및 인공하천의 특징을 나타내는 수리특성, 문화재 등의 기타 지역사회성 등으로 구성되어 있다.

하천환경평가는 평가기준에서의 항목별 점수를 가중하여 산술적으로 합하여 이루어진다. 하천환경의 평가를 위한 하천의 구역 구분은 하천환경 가중시스템의 점수에 대하여 각각 인공정비구역, 시설이용구역, 정비·자연지역, 자연이용구역, 자연보전구역 등의 총 5구역으로 구분하였다. <표3>은 하천환경평가 결과인 환경평가 가중점수에 따른 구역 구분을 보여주고 있으며, <표4>는 하천 구역에 따른 각각의 특징을 나타내고 있다. 가중치 점수가 21~60점이고, 정비자연 구역과 시설이용구역을 특별히 구분할 필요가 없는 경우는 하나의 구역으로 취급한다.

<표2> 하천 환경 평가기준(안)

환경 항목	구 분	점수
야 생 성	자연지역	30
	반자연지역(농경지포함)	20
	개발지역(인공호안, 도로, 기타 인공화 지역)	10
	국립공원/상수원보호구역	
수 질 (수중생태계 포함)	1급수(1ppm 이하)	25
	2급수(1~3ppm)	20
	3급수(3~6ppm)	15
	4급수(6~10ppm)	10
	5급수(10~100ppm)	5
	하·폐수(100ppm이상)	1
친수성	높음/보통/낮음	20/10/3
물의 흐름	자연/보통/인공	10/6/1
기타(하천지역사회 관계 등 고려할 사항)	있음	12-15
	보통	1-11
	없음	1
계	자료: 한국건설기술연구원, 1997. 하천관리 워크샵.	16-100

자료: 한국건설기술연구원, 1997. 하천관리 워크샵.

<표3> 하천환경 구역구분에 따른 평가

구역	하천환경 가중시스템 점수	비고
자연보전지역	81점 이상	
자연이용구역	61 ~ 80	
정비자연구역	41 ~ 60	
시설이용구역	21 ~ 40	
인공정비구역	20점 이하	

자료: 한국건설기술연구원, 1997. 하천관리 워크샵.

<표4> 하천의 구역 구분

구역구분	내용
인공정비구역	운동시설, 위락시설, 수상시설, 편익시설 등 인공적 시설을 중심으로 시설을 중심으로 적극적으로 정비하는 구역이다.
시설이용구역	인공정비구역과 같이 인공적 시설이 중심이 되지만, 특히 하천의 자연환경이 뛰어난 부분에 대해서는 자연적 위락시설, 문화시설도 고려한다.
정비·자연구역	인공적 이용과 자연적 이용이 공존하는 구역이며, 산책로 휴식시설 등 정적 이용이 고려된다.
자연이용구역	초원, 자연학습장, 자연관광로 등의 자연적인 시설을 중심으로 정비한다. 편의시설 정도의 인공시설도 일부 고려한다.
자연보전구역	자연생태계 및 자연경관의 보전을 목적으로 한 구역이며, 사람의 적극적인 이용을 도모하기 위한 시설을 원칙적으로 도입하지 않는 것으로 한다.

자료: 한국건설기술연구원, 1997. 하천관리 워크샵.

나. 최적수질관리기법

최적수질관리기법은 오염총량관리 삭감목표량 산정을 위한 삭감부하량산정모형과 수환경정화공법에 따른 수계환경의 보전과 평가를 위한 수환경보전평가

모형으로 구성된다.

현재 우리나라 하천수질 정화를 위한 하수처리시설 등 대부분의 대규모 처리시설에는 BOD, SS의 제거율이 높고, 높은 처리장 부지를 요구하지 않는 표준활성슬러지법을 채택하여 왔다(국립환경연구원, 1992). 그러나, 배출되는 오염원의 양이나 주 처리 오염원에 따라 지역특성에 적합한 처리방법을 선택하여야 한다.

대상 수계로 유입되는 오염원의 효율적인 처리를 위해서는 여러 가지 처리공정에 대한 검토를 통하여 적절한 대안을 수립하여야 한다. 대상 하천의 목표수질을 달성하기 위해서는 환경기초시설의 개소수뿐만 아니라 각 시설별 처리공정도 매우 중요하다고 하겠다.

본 연구에서의 삭감부하량산정모형은 먼저 목표수질을 설정하고, 현재의 수질이 이를 만족하지 못할 경우 자료관리시스템과 예측모델시스템의 결과를 바탕으로 오염총량관리 삭감목표량(삭감부하량)을 산정하도록 구성하였다. 삭감부하량은 오염총량제 또는 유량 평균오염부하의 목표수질값을 정량화시켜 그 차이만큼을 삭감해야할 양으로 처리하였다. 또한 삭감부하량을 유량평균 삭감농도로 나타내어 제시함으로써 수계환경의 정성적 평가가 동시에 이루어지도록 하였다.

수환경보전평가모형은 목표수질을 달성하지 못할 경우에 적절한 수환경 정화공법을 선정하여 수계환경의 개선, 보전 및 평가를 수행하도록 구성하였다. <표5>는 본 연구에서 적용된 처리공정별 효율을 나타내고 있다.

대상 수계의 수질관리방안은 각 구역별 오염부하 삭감량을 추정하고, 이를 달성하기 위하여 환경기초시설의 설치여부와 환경기초시설에 대한 여러 가지 처리공정별 오염부하 삭감율을 계산하고, 이를 토대로 우선 순위를 도출해야 할 것이다.

수환경정화공법은 <표5>에서와 같이 활성슬러지법, 살수여상법, 회전원판법 등의 일반처리와 간이처리인 산화지법, 그리고 자연정화능 등으로 구성되어 있다. 수환경처리공법의 적용후 삭감량과 목표수질의 만족여부는 수환경정화공법의 수질항목별 처리효율을 근거로 하여 산정되어진다.

여러 처리 공정별 선정기준은 오염원의 종류나 지

역특성에 따라 다르지만, 대체적으로 <표6>의 가중치를 이용하여 결정한다.

<표5> 처리공정별 특성 및 적용가능성

구 분	처리공정	처리효율(%)		
		BOD	T-N	T-P
일반처리	표준활성슬러지법	90	20	20
	산화구법	90	40	30
	연속회분식법	90	45	35
	살수여상법	80	20	20
	회전원판법	90	10-15	5
간이처리	산화지법	80	60	60
자연정화능 처리	토양 정화법	60	50	50

자료: 정동일의, 1992. 국립환경연구원보.

<표6> 시스템의 선정기준 및 가중치

순위	선정 기준 항목	가중치
1	유지관리 조작성의 용이성	0.25
2	시설비 및 유지관리비 등의 경제성	0.20
3	잉여슬러지 처리, 처분의 용이성	0.15
4	부하변동의 대응성	0.15
5	처리기준 및 계획수질의 만족성	0.10
6	영양염류 제거 가능성	0.10
7	악취 등 위생학적인 측면	0.05
합계		1.00

자료: 정동일의, 1992. 국립환경연구원보.

<표7> 논에서의 에너지량 산정 환산계수 (임경수, 1998)

구 분	항 목	단 위	환산계수(kcal/단위)	비고
직접 에너지	태양에너지	day/ha	162,000.0	
	노동	hr	180.0	
	기계	kg	33,967.2	
	등유	kg	11,598.5	
간접 에너지	질소비료	kg	21,000.0	
	인비료	kg	6,300.0	
	칼륨비료	kg	2,500.0	
	농약	kg	10,000.0	
	종자	kg	3,433.4	
	퇴비	kg	1,734.7	
	벼짚	kg	3,245.2	
	쌀겨	kg	4,389.1	
자재	kg	20,712.0		

### 다. 논벼 에너지흐름량 산정 모형

논벼에서의 에너지흐름량 산정 모형은 소유역에서의 수계환경과 밀접한 관계를 지니고 있는 논에서의 에너지 흐름량을 산정하여 분석함으로서 수계환경의 분석지표를 제시하도록 하였다. 즉, 수계환경 오염과 직·간접적인 영향을 미치는 비료, 농약, 퇴비, 기계 등 논에서의 에너지 투입량을 조절, 관리, 개선함으로써 수계환경의 최적관리에 유익한 정보를 제공할 수 있다는 것이다.

논벼 에너지 흐름량 산정은 태양, 노동, 기계, 등유, 자재, 비료, 농약, 퇴비, 종자, 벼짚, 쌀겨 등 12개 항목을 대상으로 하였으며, 이를 통해 각각의 경작방법에 대한 쌀 에너지 투입량을 산출할 수 있도록 하였다.

에너지 흐름량 산정을 위한 쌀 경작과 관련한 에너지량 산정에 사용된 환산계수는 <표7>과 같다. <표7>에서와 같이, 논에서의 에너지는 직접에너지와 간접에너지로 구분되어진다. 직접에너지에는 태양에너지, 노동, 기계, 등유 등이 포함되며, 간접에너지에는 시비량, 농약, 종자, 기타 부산물 등으로 구성된다.

전국의 도별 에너지 흐름량을 산정하기 위해 도별 통계자료를 바탕으로 문헌조사를 수행하였다 (농촌진흥청, 1998; 통계청, 1999; 농림부·국립농산물검사소, 1999; 한국농기계농업협동조합·한국농업기계학회, 1998).

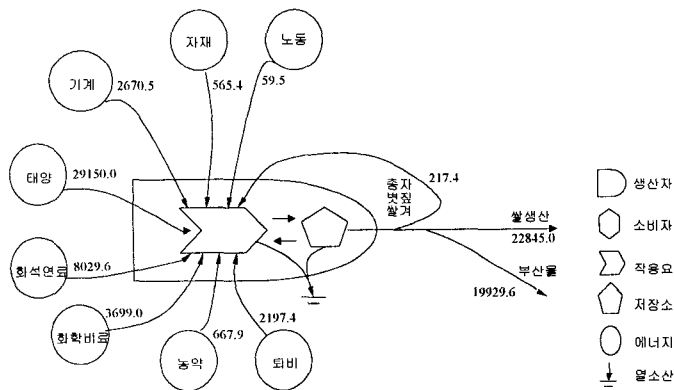
에너지량 산정에서 태양에너지는 벼가 태양에너지



를 이용하는 모든 기간을 포괄하여 평균값인 180일로 하였고, 논에 투입되는 기계는 작업 단계별 기계 투입 시간과 기계 종류를 고려하여 산정하였으며, 자재는 모내기에 사용되는 비닐하우스와 모판을 고려한 전국 평균값을 동일하게 적용하였다.

도별 쌀 투입 산출 에너지 흐름 산정 결과, 투입에너지는 경기도가 49276.9  $10^3$ kcal/년·ha로서 가장 큰 값을 보였고, 경상북도가 45076.3  $10^3$ kcal/년·ha로서 가장 작은 값을 보였다. 산출에너지는 충청남도가 46394.7  $10^3$ kcal/년·ha로서 가장 큰 것으로 나타났으며, 경상북도가 39649.3  $10^3$ kcal/년·ha로서 가장 작은 수치를 보였다.

각 도별로 산정된 투입 및 산출 에너지량을 바탕으로 전국 평균 에너지 흐름량을 산정하였으며, 그 결과는 <그림 3>에서와 같다. 투입에너지량은 태양에너지, 화석연료, 화학비료 등의 순으로 많이 투입되는 것으로 나타났으며, 산출에너지는 쌀생산과 부산물 등으로 이루어진다.



<그림 3> 논에서의 전국 평균 에너지 흐름 (1000 kcal/yr·ha)

인 평가를 수행하기 위해 자료관리시스템, 예측모형시스템, 수환경평가시스템 등으로 구성된 수계환경관리 및 평가시스템을 개발하였으며, 이를 통하여 수계환경을 평가하기 위한 정성적 정량적 평가, 관리, 개선, 보전 방법의 기법을 제시하였다.

자료관리시스템은 유역현황과 생태환경자료의 데이터베이스를 수행하도록 구성하였고, 구축된 수문, 수질, 그리고 생태자료의 데이터베이스와 연계된 기상발생모형, 장단기 수문예측모형과 수질예측모형을 구성하였다.

대상수계의 수질환경기준을 종합적으로 평가하기 위한 종합적인 수질지표를 제시할 수 있는 하천오염도평가모형을 구성하였고, 생물학적 지수를 이용하여 수계환경의 오염도를 평가할 수 있는 지표생물환경평가모형을 구성하였으며, 수계의 야생성, 수질기준, 친수성, 물의 흐름, 지역사회와의 관계 등을 평가기준으로 하는 종합적 하천환경평가모형을 구성하였다.

오염총량관리 삭감목표량 산정을 위한 삭감부하량 산정모형과 수환경정화공법에 따른 수계환경의 보전과 평가를 위한 수환경보전평가모형으로 구성된 최적수질관리기법을 제시하였으며, 수계환경의 분석지표의 일환으로 논벼에서의 에너지 흐름량 산정모형을 개발하였고, 각 도별로 투입 및 산출 에너지량을 계산하여 전국 평균 에너지 흐름량을 산정하였다. 그 결과, 투입에너지량은 태양에너지, 화석연료, 화학비료 등의 순으로 많이 투입되는 것으로 나타났다.

본 연구에서 개발된 수계환경관리 및 평가시스템은 향후 메뉴식 구동시스템으로 구성함으로써, 컴퓨터에 대한 최소한의 지식을 갖는 조작관리자가 수계환경관리 및 평가를 효율적으로 수행할 수 있도록 의사결정을 지원할 수 있을 것이다.

### III 요약 및 결론

본 연구에서는 수계환경의 건전한 관리와 효과적

본 연구는 농림기술관리센터의 농림특정연구과제 “농업생태환경모니터링 및 종합적 환경관리시스템 개발 사업”의 농업특별세 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

1. 강문성. 1995. 우리나라 일별 기상인자의 추계학적 모의발생에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
2. 강문성, 박승우, 박희성. 1996. 영산호 홍수에정보 시스템 (FFCUS) 1996년 한국농공학회 학술발표회 논문집, pp. 234-239.
3. 강문성, 박승우, 진영민. 1998. 기상자료 미세측 지역의 추계학적 기상발생모형, 한국농공학회지 40(1) : 57-67.
4. 강민구, 박승우, 임상준. 1999. SCE-UA법을 이용한 수문모형의 매개변수 추정, '99 한국수자원학회 학술발표 논문집.
5. 강상준, 최철수. 1991. 대청호 유역의 식생, 대청호 호서 생태계 조사 연구 보고서.
6. 국립환경연구원. 1987. 폐수배출시설 표준원단위 조사연구 (I), 국립환경연구원보, Vol (9).
7. 국립환경연구원. 1988. 폐수배출시설 표준원단위 조사연구 (II), 국립환경연구원보, Vol (10).
8. 국립환경연구원. 1989. 폐수배출시설 표준원단위 조사연구 (III), 국립환경연구원보, Vol (11).
9. 김범철. 1996. 우리나라 호소수질환경의 개선방향, 한국수자원학회지, PP. 51-61
10. 김우철 외. 1985. 현대통계학, 영지문화사.
11. 김철겸. 1999. 논에서의 유출 특성을 고려한 농업 소유역의 홍수유출 추정, 서울대학교 석사학위논문.
12. 농촌진흥청. 1998. '97 농축산물표준소득, 농업경영 연구보고.
13. 농촌진흥청. 1998. 연구사업보고서, 농업경영연구 보고 제60호.
14. 농촌진흥청. 1998. 작목별 작업단계별 노동력 투하 시간, 농업경영연구보고 제60호.
15. 농촌진흥청. 1999. 농작물 병해충 예찰.
16. 박충현, 박희경, 현인환. 1996. 21세기 물 수요를 대비한 종합수질 관리방안, '96 세계 물의 날 기념 심포지엄, pp. 71-119.
17. 심순보 등. 1994. 수질 종합 관리에 있어서 시스템 인터페이스를 위한 모듈 개발, G-7과제연구보고서.
18. 양영민. 2000. 의사결정지원기법을 이용한 농촌유역 수질관리모형의 개발, 서울대학교 석사학위논문.
19. 오치주. 2000. 농림기술개발사업 5년의 성과와 발전방향, 401-430.
20. 이호진, 정영상. 1993. 지속적 작물생산과 환경관리, 지속적 농업과 환경보전 국제심포지엄, 서울대 농업개발연구소, pp. 31-55.
21. 임경수. 1998. 쌀 경작체계의 환경친화성에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.
22. 전종안. 2001. GIS-AGNPS 호환모형을 이용한 소유역에서의 직접유출에 의한 오염부하량 추정, 서울대학교 석사학위논문.
23. 정동일의. 1992. 한강유역을 중심으로 한 환경관리 기술 개발 (II-3) - 오염부하 삭감 방안, 국립환경연구원보, 제14권, pp. 171-179.
24. 진영민. 1998. 논외 비점오염물질 배출량 추정을 위한 CREAMS-PADDY 모형의 개발, 서울대학교 석사학위논문.
25. 장정렬. 1994. 농촌유역 수질관리모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
26. 주경민의. 2000. Visual Basic Programming Bible Ver.6.x
27. 통계청. 1999. 1998년 농산물생산비통계.
28. 한국건설기술연구원. 1997. 하천관리 워크샵, pp. 81-96.
29. 한국농기계농업협동조합 · 한국농업기계학회, 1998. 농업기계연감.
30. 한상욱외. 2000. 신제 환경영향평가론, 향문사.
31. 환경부. 1995. 21세기 환경비전.

32. 환경부. 2000. 사전환경성검토 업무 편람.
33. 환경부. 2000. 오염총량관리계획수립지침(안).
34. 환경처. 1989. 현존식생도 (서울, 경기도). 72-75.
35. Heinrichs. E. A.. 1994. Biology and management of rice insects, Wiley Eastern Limited, New Delhi. 779.
36. M. S. Kang. C. E. Park, and S. W. Park. 1999. Real time forecasting and management of the youngsan estuary dam in Korea. 1999 ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting.
37. Preston. S. D., Bierman. V. J., and Silliman. S. E.. 1989. An evaluation of methods for the estimation of tributary mass loads. Water Resour. Res., in Canada, pp. 142-150.
38. Samson. F. B., and Fritz.. L.. 1996. Ecosystem management: selected reading. Springer-Verlag New York, Inc. 462.
39. Storm Cloud Co. 1997. WebDBC v3.0 - JAVA-ODBC interface and Web database developer.
40. Vladimir Novotny. Harvey Olem. 1994. Water Quality, Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold.