JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS SEP. 2002. pp. 96-105

한국농공학회지
제44권 제5호

농촌유역의 비점원 오염 수질관리를 위한 인공습지 설계모형

Design Model of Constructed Wetlands for Water Quality Management of Non-point Source Pollution in Rural Watersheds

최 인 욱* · 권 순 국**

Choi, In Uk · Kwun, Soon Kuk

Abstract

As an useful water purification system for non-point source pollution in rural watersheds, interests in constructed wetlands are growing at home and abroad. It is well known that constructed wetlands are easily installed, no special managemental needs, and more flexible at fluctuating influent loads. They have a capacity for purification against nutrient materials such as phosphorus and nitrogen causing eutrophication of lentic water bodies.

The Constructed Wetland Design Model (CWDM), developed through this study is consisted mainly of Database System, Runoff-discharge Prediction Submodel, Water Quality Prediction Submodel, and Area Assessment Submodel. The Database System includes data of watershed, discharge, water quality, pollution source, and design factors for the constructed wetland. It supplies data when predicting water quality and calculating the required areas of constructed wetlands. For the assessment of design flow, the GWLF (Generalized Watershed Loading Function) is used, and for water quality prediction in streams estimating influent pollutant load, Water Quality Prediction Submodel, that is a submodel of DSS-WQMRA model developed by previous works is amended. The calculation of the required areas of constructed wetlands is achieved using effluent target concentrations and area calculation equations that developed from the monitoring results in the United States. The CWDM is applied to Bokha watershed to appraise its application by assessing design flow and predicting water quality. Its application is performed through two calculations: one is to achieve each target effluent concentrations of BOD, SS, T-N and T-P, the other is to achieve overall target effluent concentrations. To prove the validity of the model, a comparison of unit removal rates betweeen the calculated one from this study and the monitoring result from existing wetlands in Korea, Japan and United States was made. As a result, the CWDM could be very useful design tool for the constructed wetland in rural watersheds and for the non-point source pollution management.

Keywords : Constructed wetlands, Non-point source pollution management, Constructed wetlands design model

* 서울대학교 대학원

** 서울대학교 농업생명과학대학

** Corresponding author. Tel.: +82-31-290-2362
fax: +82-31-294-1816
E-mail address: skkwun@snu.ac.kr

I. 서 론

최근 우리나라 농촌지역은 생활양식의 도시화, 농업생산방식의 기계화, 축산시설의 증가, 각종 위락시설 및 농공지구 등의 개발로 인해 용수량이 증가하고, 이에 따라 농촌유역에서의 수질문제가 심각하게 대두되고 있다. 그러나 현실적으로 오·폐수 처리시설은 대도시 및 인구 밀집지역을 중심으로 하여 우선 건설되고 있으므로 농촌지역의 수질오염에 대한 대책은 미흡한 상태이다.

인구 밀도가 낮고 오염 배출원이 불규칙적으로 산재해있는 농촌유역의 수질 대책에 있어서는 도시지역에서와 같이 대규모 하·폐수 처리장을 적용하기에는 관로 매설에 막대한 비용이 소요되고, 시설 완공시까지 오랜 시일이 소요되며, 유지관리에 전문인력 배치가 어렵고, 지역의 특성상 부하량 및 유량의 변동이 심하여 시스템의 처리효율에 문제가 발생하는 등의 경제적, 운전관리면에서 어려운 점이 많다 (Yoon et al., 2001). 이에 따라 최근에는 이러한 농촌지역의 특성을 잘 반영할 수 있는 자연정화기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데 이중 가장 최근에 관심을 모으고 있는 것이 정수식물에 의한 인공습지이다 (Kadlec, 1989).

인공습지란 수심 약 1m 내외의 인공으로 축조한 것으로서 그곳에 서식하고 있는 수생식물이나 미생물, 토양 등의 자연정화 능력을 이용하여 오염물질을 처리할 수 있는 생태계의 일부이다 (Hammer, 1989). 인공습지는 생물화학적산소요구량(BOD), 부유물질(SS) 뿐만 아니라 최근 하천이나 호소에서 문제시되고 있는 부영양화(Eutrophication)의 원인 물질인 질소(N)와 인(P)을 자연적이고 효율적으로 제거할 수 있으며, 수질정화 목적 이외에 야생동물의 서식처 제공, 생태공원으로서의 역할 등 다양한 장점을 지니고 있다 (Yang, 1999). 또한 인공습지는 설비비와 유지관리비가 저렴하고, 처리효율도 높으며, 조작이 간편하여 운영유지에 전문인력이 필요하지 않다는 장점도 지니고 있어 농촌유역의 비점원 관리에 매우 유용한 처리시설로 국내외에서 많은 관심이 집중되고 있다. 그러나 국내의 인공습지 연구는 주로 하수처리장 방류수나 생활하수처리 등과 같은 고농도 오염물질의 정화를 위한 것으로서 도시하수에 비하여 저농도 고유량의 특성을 지닌 농촌지역의 수질관리를 위한 연구 사례가 드물어 오염물질 제거에 적당한 인공습지의 설계규모와 처리효율을 결정하는데는 아직 많은 어려움이 따르고 있다. 인공습지의 설계를 위한 주요 조건으로는 수리학적 조건, 유입수의 오염물질 함유량 및 성분, 기후조건, 및 기질과 식재 식생의 처리효율 등을 들 수 있다 (R&TT, Ressarch & Technology Transfer, 1998).

본 연구에서는 농촌유역의 수질관리용 의사결정 지원시스템인 DSS-WQMRA (Decision Support System for Water Quality Management of Rural Area) 모형 (Yang et al., 2000)을 농촌유역의 비점오염원 수질관리를 위한 자연친화형 처리기법인 인공습지의 설계용량 결정, 유입 부하량 결정을 위한 수질예측, 적정 인공습지 소요면적 산출이 가능한 통합 모형으로 보완, 개선, 개발하고, 이를 시험유역에 적용하여 모형의 적용성을 평가하고자 한다.

II. 모형의 개발

1. 모형의 개념 및 구성

인공습지 설계모형은 대상지역의 수질관리를 위한 인공습지의 설계에 있어서 사용자가 수질예측, 수문분석, 기타 설계 인자들을 일일이 고려하지 않고도 간단한 전산조작만으로 목표로 하는 오염물질의 처리수준을 달성할 수 있는 최적의 인공습지 면적을 산출해 낼 수 있도록 도움을 주는 전산처리 시스템이다.

본 연구에서는 농촌유역에서의 수질관리를 위한 인공습지 설계모형을 DSS-WQMRA 모형과 연계

하여 모형내의 유출량 산정, 수질예측부분, 데이터 베이스 관리 부분을 공유하도록 하였으며, 여기에 인공습지의 설계인자를 고려하여 최적의 면적산정을 위한 부모형을 포함시킨 것이다. DSS-WQMRA 모형은 크게 데이터베이스 관리시스템(Data Base Management System), 모형관리시스템(Model Management System), 사용자 인터페이스시스템(User Interface System) 등의 세 부분으로 구성된다 (Yang et al., 2000)(Fig. 1).

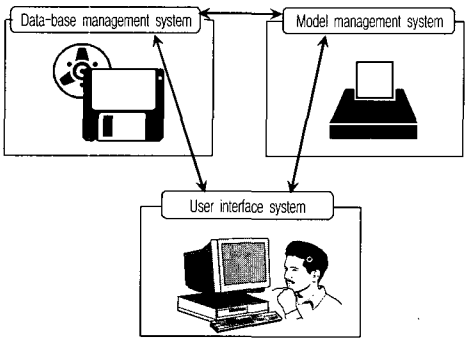

Fig. 1 Module of DSS-WQMRA

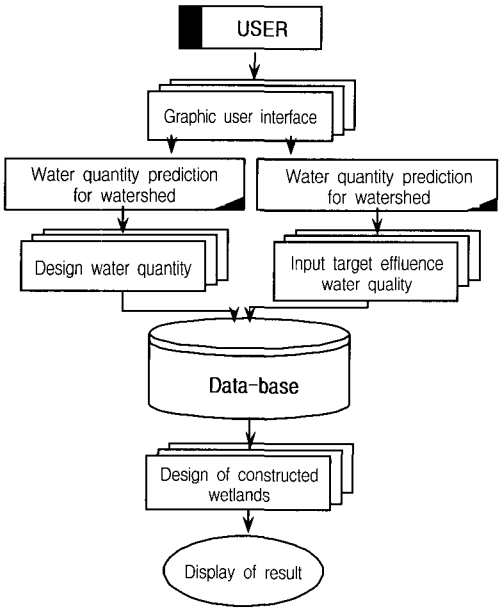

Fig. 2 Design flow of a constructed wetland

인공습지의 설계는 사용자가 DSS-WQMRA 모형의 GUI(Graphic User Interface)를 통해 인공습지 설계 메뉴를 선택한 후 유출량 추정을 통해 적정한 설계 유량을 결정하고, 수질예측 모델을 구동하여 대상유역의 수질을 예측한 후, 달성하고자 하는 목표수질을 입력하면 모형내의 데이터 베이스에 축적된 기초자료를 바탕으로 목표수질을 달성하기 위해 필요한 설계인자를 계산하여 인공습지를 설계하도록 하였다(Fig. 2).

데이터 베이스 관리시스템은 유역내의 각종 인문·사회·자연 정보 및 오염원 정보, 수질개선 정보 등의 관련 데이터를 수록하고 있으며, 모형 관리시스템은 유역의 수질을 예측하기 위한 수질예측 모형과 정책결정자의 수질관리계획을 달성하기 위한 여러 가지 수질관리 기법중 최적의 안을 선택하여 주는 의사결정모형으로 구성되어 있고, 사용자 인터페이스시스템은 수질관리모형의 필요한 정보를 공급하고, 각 부모형의 운용에 관한 일련의 과정을 유도 할 수 있도록 구성되어 있다.

2. 유출량 추정

유역으로 부터의 유출량은 인공습지 설계를 위해 반드시 필요한 자료이며, 유역의 토양조건, 토지이용 형태, 선행강우 조건 등의 영향을 받는다. 따라서 이러한 강우 및 유역의 물리적 조건을 충분히 반영 할 수 있는 유출량 추정방법이 필요하며 이러한 유출량 추정은 비점오염원이 주종를 이루는 농촌지역의 수질개선을 위한 인공습지 설계시에는 매우 중요한 인자가 된다.

본 연구에서는 유역의 유출량 추정을 위해 GWLF (Generalized Watershed Loading Function) 모형 (Haity et al., 1996)의 유출량 산정 모듈을 이용하였다 .

3. 수질예측

인공습지 설계를 목적으로 하는 유역의 수질예측

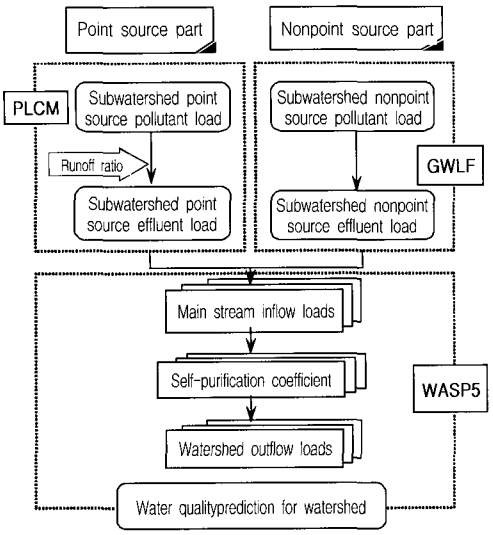

Fig. 3 Flow chart of water quality modeling

은 수질의 일변화를 예측하여 최적의 처리율을 결정하고, 결정된 처리율을 달성하기 위한 인공습지의 면적을 산정하기 위해 매우 중요한 부분이다.

본 연구에서 인공습지 설계를 목적으로 하는 유역의 수질예측은 DSS-WQMRA 모형의 수질예측 모형을 인공습지 설계 모형과 연계가 가능하도록 수정, 보완하여 사용하였으며, 그 과정은 Fig. 3과 같다.

4. 데이터베이스 관리시스템

인공습지 설계 모형에서 데이터 베이스 부분은 기존에 구축된 DSS-WQMRA 모형의 데이터베이스 인 수질정보, 저질정보, 유량정보, 강우정보, 기상정보, 유역정보, 오염정보, 수질관리기법정보, 사용자 정의 정보 외에 인공습지 설계인자인 시스템 공극률, 식생특성 데이터 Group을 추가하였다.

5. 인공습지 면적 산정

가. 설계유량의 결정

농촌지역의 오염물질 처리를 위한 인공습지의 적정 설계유량의 결정은 GWLF 모형을 이용하여 대상유역의 유출량을 모의한 후, 연간 총 유출량의 70 %의 처리가 가능하도록 결정하였다. 비점원 오염은 강우의 유출현상과 아주 밀접한 관계가 있으므로 강우자료 등을 분석하여 강우와 유출현상을 분석한 후 설계유량을 결정하는 것이 타당하나, 본 연구에서는 인공습지 설계를 목적으로 하는 각 대상지역마다의 장기간의 강우자료를 토대로 강우와 유출현상을 분석한다는 것은 어려움이 따르기 때문에 모형의 범용성을 위해 Jang et al.(2000)의 연구를 바탕으로 적정 처리 용량을 유역의 연간 총 유출량의 70%로 하여 (식 1)과 같이 설정하였다.

$$Design\ Flow = \frac{\Sigma Total\ Runoff \times 0.70}{365} \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

나. 설계식의 선택

현재 국내의 인공습지 연구는 주로 하수처리장 방류수나 생활하수처리 등과 같은 고농도 오염물질의 정화를 위한 것으로서 도시하수에 비하여 저농도 고유량의 특성을 지닌 농촌지역의 수질관리를 위한 연구 사례가 드물어, 외국의 자료를 주로 이용하였다. 인공습지 면적산정 모형으로는 Reed et al. (1988) 모형과 Kadlec and Knight(1996)의 모형 등이 주로 사용되고 있다. 후자의 모형은 북미 전역에 걸쳐 있는 습지처리시설에 대한 위치, 종류, 규모, 유입, 유출수의 농도, 수위 및 식물종까지 다양한 1,293개의 자료를 토대로 구한 회귀식이며 하천수와 같은 인공습지를 이용한 수처리시 배경농도까지 고려할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그러나 이 모형은 인공습지 내에서의 주된 오염물질 제거 기작인 생물학적인 제거 기작에 영향을 미치는 수온, 수심, 시스템의 공극률, 기질(Substrate)의 깊이 등을 고려하지 않아서 생물학적 기작에 의해 제거가 이루어 지는 BOD 와 질소의 경우에는 이러한 요인의 고려가 가능한 Reed et al.(1988)의 모형을 이용하였다 (Kadlec, 1989, 2001; Kadlec and Knight, 1995).

인공습지를 자유수면형 인공습지 (Free Water

Suface System, FWS)와 지하흐름형 인공습지 (Subsurface System, SF)로 구분하여 각 중요 수질항목별 채택된 면적산정식을 나타내면 식 2~6과 같다

BOD $$A_s = \frac{Q \times (\ln C_{ob} - \ln C_{eb})}{K_T \times d \times n} \quad \cdots\cdots (2)$$

SS FWS $$A_s = \frac{0.11Q}{\frac{C_{es}}{C_{os}} - 0.1058} \quad \cdots\cdots (3)$$

SF $$A_s = \frac{0.213Q}{\frac{C_{es}}{C_{os}} - 0.1139} \quad \cdots\cdots (4)$$

T-N $$A_s = \frac{Q \times (\ln C_{on} / \ln C_{en})}{K_T \times d \times n} \quad \cdots\cdots (5)$$

T-P $$A_s = \frac{C_{op} - C^*}{C_{ep} - C^*} = -\frac{k}{q} \quad \cdots\cdots (6)$$

여기서 A_s는 소요 인공습지 면적 (ha), Q는 유량 (m^3/day), C_o는 유입수 농도 (mg/L), C_e는 유출수 농도 (mg/L), 첨자 b, s, n, p는 각각 BOD, SS, T-N, T-P를 가리킨다. T는 수온(℃), K_T는 수온에 따른 감소계수 (K_T = 0.278×(1.06)(T-20)), d는 수심 (m), n은 FWS에서는 자유수면적 지역과 식재지역의 비이며, SF에서는 기질의 공극률이다. 그리고 C^*는 배경농도 (mg/L), k는 제1계 면적률 상수 (m/yr), q는 수리부하율 (m/yr)이다.

다. 오염물질 제거를 위한 최적면적 산정

1) 면적산정의 과정

오염물질 제거를 위한 최적의 인공습지 면적산정은 Fig. 4와 같이 인공습지를 설치하고자 하는 지점에서의 연간 유출량 모의를 통해 설계유량을 결정한 후, 사용자가 각 수질항목별로 목표로 하는 처리수 수준을 결정하여 입력하면, 결정된 처리수준에 따라 각 수질항목별 해당 설계인자를 변화시켜, 최적 조건의 설계인자와 설계면적을 산정하게 된다.

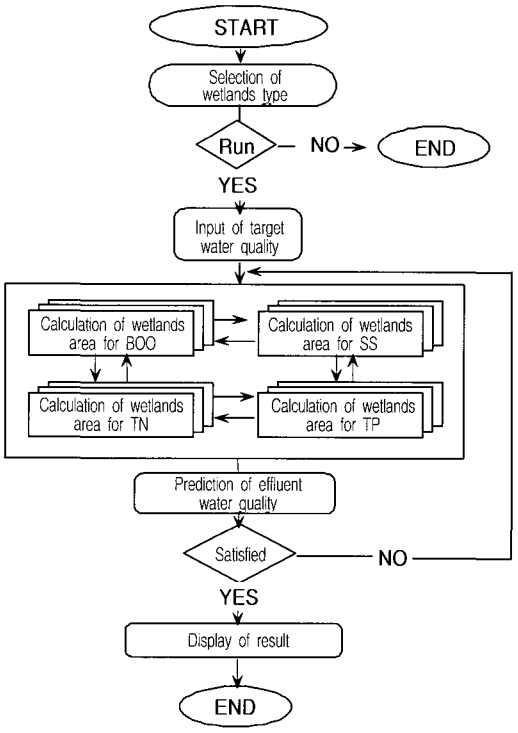

Fig. 4 Calculation flow of wetland area

Table 1 Initial condition of design parameters

System type	Depth (m)		Porosity (%)	
	Range	Typical	Range	Typical
FWS	0.1~2.0	0.6	70~98	75
SF	0.5~0.6	0.5	18~45	35

각 수질항목별 설계인자의 초기값은 Table 1과 같으며, 초기값을 통한 각 항목별 소요 면적을 산출한 후 일정항목의 영향에 의해 면적이 과대 산정되는 것을 방지하기 위해 설계인자의 권장 범위 내에서 항목간 소요면적의 차가 10% 이상을 초과하지 않도록 설계인자를 변화시켜가며 항목간의 소요면적차를 줄이도록 하였다.

2) 항목간 소요면적의 조정

일정항목의 영향으로 면적이 과대 산정되는 것을

방지하기 위한 각 수질항목별 설계인자의 조절과 항목간 비교 대상의 검색에는 Fibonacci 수열을 이용하였다. Fibonacci 수열을 이용한 비교 대상의 검색은 덧셈과 뺄셈으로 다음 검색할 위치를 정하므로 비교 검색횟수가 적어 빠른 비교 검색을 수행할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 각 항목별 설계인자의 값을 Fibonacci의 황금률을 고려하여 조정한 후 변화된 설계인자값에 따른 면적의 증감을 비교 검색하여 항목간 소요면적의 차가 10%를 초과하지 않도록 조정하였다.

Ⅲ. 인공습지 설계모형의 적용

1. 대상유역의 선정

대상유역으로 경기도 이천시의 복하천 유역을 선정하였다 (Fig. 5). 본 유역은 경기도 이천시, 용인시, 광주군의 4개면, 19개 리를 포함한다. 복하천이 대당 유역의 말단 지점인 이천군 호법면 주미리에 위치한 주미교 까지 17 km를 유하 하는 동안 7개의 지천이 복하천으로 유입되며, 또 본 대상유역의 면적은 78.7 km^2 이고, 하천연변에 농경지가

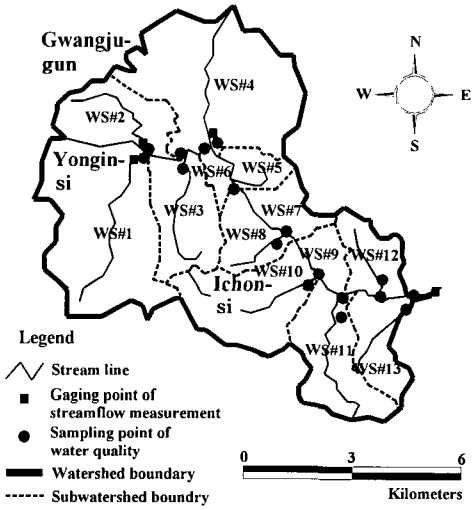

Fig. 5 Study area

집중되어 있으며, 유역전반에 소규모 축산농산가 산재하여 있고, 대규모 공장이나 상업지역, 도시화 지역이 거의 없는 전형적인 농촌유역이다 (Kwun et al., 2001).

2. 인공습지 면적산출

가. 설계유량의 결정

대상 유역의 유출량 추정을 위해 보정된 GWLF 모형을 이용하여 1996년부터 2000년까지 적용한 결과, 추정 유출량은 연평균 1,094.71 mm로 나타났으며 식 (1)에 의하여 총 유출량의 70%인 162,933 m^3/day를 설계유량으로 하였다.

나. BOD 제거 소요면적

대상유역의 BOD 수질은 평균 3.20 mg/L (0.4~20.1 mg/L)로서 현재 환경부 하천의 생활환경 수질기준 중 Ⅲ 등급 정도의 수준을 보이고 있다. 따라서 본 유역의 하천을 농업용수 공급 목적으로 이용한다면 BOD 제거를 위한 인공습지의 설치가 필요하지 않다. 그러나 본 연구에서는 사용자가 대상 유역의 수질목표를 Ⅰ등급, 또는 Ⅱ등급수질 수준인, BOD 1 mg/L 및 3 mg/L 이하로 설정하였을 때를 가정하여 인공습지 면적을 산정해 보았다. 목표수질을 하천의 생활환경수준 Ⅰ등급으로 설정했을 경우, 목표 수질 달성을 위한 소요면적은 FWS의 경우 383.8 ha, SF System 의 경우

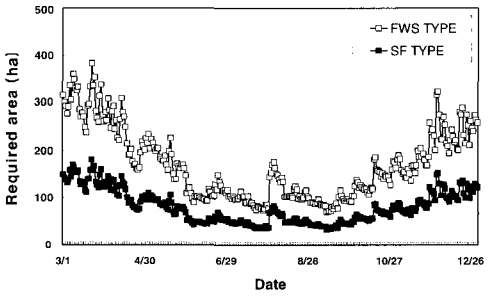

Fig. 6 Temporal variations of required area for BOD removal

180.4 ha로 산정 되었다. 이는 전체 유역면적의 4.8 %, 2.3 % 에 해당하는 면적이다 (Fig. 6).

목표수질을 하천의 생활환경수준 Ⅱ등급으로 설정했을 때에는 FWS 44.4 ha, SF 20.6 ha로 산정되었으며, 목표수질 Ⅰ등급에 비하여 약 1/10의 면적에 불과하다.

다. SS 제거 소요면적

SS 제거를 위한 인공습지 소요면적은 작성된 수질 데이터 베이스의 기존 SS 자료와, 유량자료를 연계하여 산정하였다. 유역의 수질조사결과 SS는 0.6~186 mg/L 의 범위를 나타냈다. 따라서 사용자가 SS의 유출수 목표수질을 25 mg/L 이하를 만족하는 인공습지를 설계 하고자 했을 때 소요면적은 FWS의 경우, 36.2 ha이고, SF, 83.4 ha로 산정되었다.

라. 질소 제거 소요면적

질소의 제거는 유입수의 농도가 배경농도 이상일때는 정상적인 설계식을, 배경농도 이하 일때는 배경농도를 고려한 식을 사용하였다. 대상유역에서 질소는 조사기간동안 평균 3.11 mg/L (0.04~19.05 mg/L)로 조사되어 대상 지역 하류 호소의 부영양화 방지를 위해 영양물질 저감대책이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 T-N의 유출수 목표 수질을 환경부 호소 생활환경 수질기준중 농업용수 수질등급인 Ⅳ등급 1.0 mg/L 이하로 했을 때 소요면적은 FWS의 경우 674.2 ha, SF의 경우에는 487.7 ha로 산정되었다 (Fig. 7).

마. 인 제거 소요면적

대상유역의 인 농도는 조사기간 동안 평균 0.12 mg/L를 나타냈으며, 사용자가 T-P의 유출수 목표수질을 환경부 호소 생활환경 수질기준 중 농업용수 수질등급인 Ⅳ등급 0.1 mg/L 이하로 했을 때 인 제거를 위한 인공습지 면적 산정결과 FWS, SF 모두 345.2 ha가 필요한 것으로 나타났다 (Fig. 7).

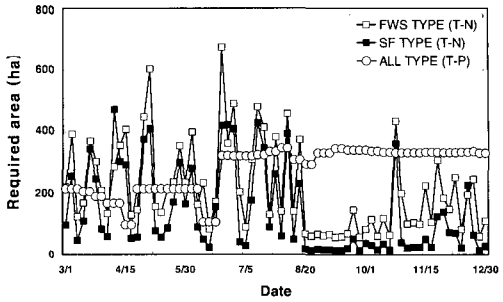

Fig. 7 Temporal variations of required area for T-N and T-P removal

Table 2 Design Parameters for The Optimum Area

Type	Area (ha)	Water depth (m)	Porosity
FWS	400.0	0.7	0.82
SF	354.8	0.6	0.45

바. 최적의 소요면적 산정

최적의 소요 면적산정은 사용자가 목표로 하는 모든 수질항목의 유출수 수준을 만족하는 수준의 소요면적으로서 설계 인자의 조정을 통해 산출된다. 최종 산출된 소요면적은 FWS 400.0 ha, SF의 경우에는 354.8 ha 로 산정 되었다. 최적의 소요면적 산출시 사용된 설계인자는 Table 2 와 같다.

Ⅳ. 모형의 적용성 검토

인공습지 설계모형의 적용성을 검토하기 위해 국내외의 하천이나 저수지에 실제 규모로 설치된 인공습지의 단위면적당 오염물질 제거량과 본 연구에서 개발된 모형에 의해 설계된 인공습지의 단위면적당 오염물질 제거량을 비교하여 CWDM의 응용성을 평가하고자 하였다. CWDM에 의하여 산정된 적정 소요면적에 의하여 제거된 오염물질은 식 (7)에 의하여 계산하였다.

$$R_e = \frac{Q(C_o - C_e)}{A_s} \quad \cdots\cdots (7)$$

여기서, R_e는 오염물질 제거량 (g/m^2/day)이다.

국내의 경우에는 Park(2000, 2001)에 의해 실시된 마산저수지 수질개선을 위한 수질정화 공법중 인공습지의 연구사례와 비교를 실시하였다. 마산저수지는 충남 아산시에 위치한 저수지로서 유역면적은 1,776 ha 저수용량이 3,037,000 m^3 인 중규모 관개용 저수지로 저수지의 수질은 1999년의 경우 T-N 1.401~5.920 mg/L, T-P 0.094~0.956 mg/L 로서 본 연구의 대상유역과 마찬가지로 환경정책기본법의 호소수질 환경기준 Ⅵ등급인 농업용수 수질기준을 초과하고 있었다. 마산저수지의 인공습지는 전체면적 8.3 ha, 총 6개의 셀로 구성되며, 형태는 FWS System 이다. 각 셀에는 미나리, 창포, 줄, 애기부들 갈대 등 수생식물을 식재하였다. 실험결과 단위 면적당 T-N 제거량은 평균 0.34 g/m^2/d, T-P 제거량은 평균 0.05 g/m^2/d 로 조사되었으나 본 연구의 FWS System 경우에서 T-N 0.28 g/m^2/d, T-P 0.05 g/m^2/d와 비교해 볼 때 질소제거량에서 조금 높은 값을 나타내었다 (Table 3).

국외의 경우 우리나라와 기후조건이 유사한 일본의 인공습지 연구사례와 미국의 인공습지 모니터링 결과를 비교하였다. 일본의 경우 자연정화기법을 이용한 많은 수질개선 연구 중 가스미가우라호 인공습지를 선택하였다. 이것은 전체면적 0.33 ha인 두 개의 인공습지에 갈대가 식재된 FWS System 이다. 유입수의 평균 수질은 T-N 3.2 mg/L, T-P 0.51 mg/L 로 본 연구와 유사하였다. 단위면적당 T-N 제거량은 평균 0.94 g/m^2/d, T-P 0.16 g/m^2/d로 마산저수지 인공습지나 본 연구의에 비해 매우 높은 값을 나타내었다. 그러나 이는 가스미가우라호 인공습지가 수경재배 형태로 일반 자유수면형 인공습지에 비해 식물의 뿌리를 활용한 여과기능이 확대되어 더욱 효과적인 영양염류를 제거할 수 있었던 것으로 판단된다.

마지막으로 미국 북부에 있는 습지에 대한 데이터베이스(NADB) 상의 인공습지중 FWS System

Table 3 Comparison of constructed wetland systems

	Source of Data	BOD Unit Removal (g/m^2/d)	T-N Unit Removal (g/m^2/d)	T-P Unit Removal (g/m^2/d)
This study (Korea)	Simulated value from CWDM	0.84	0.28	0.05
Masan reservoir (Korea)	Measure-ment (1998-1999)	-	0.34	0.05
Gasmi-gaura (Japan)	Measure-ment (1994-1997)	-	0.94	0.16
North America (USA)	Mean value	0.73	0.26	0.043

을 채택한 69개의 습지의 자료를 살펴보면 유입수의 평균 농도는 BOD 43 mg/L, T-N 14 mg/L, T-P 4 mg/L 로 본 연구에 비해 높은 유입수 수질을 나타내었다. 단위 면적당 제거량은 BOD 0.73 g/m^2/d, T-N 0.26 g/m^2/d, T-P 0.043 g/m^2/d 로 분석되었다. 이는 본 연구의 BOD 0.84 g/m^2/d, T-N 0.28 g/m^2/d, T-P 0.05 g/m^2/d 보다 약간 낮은 값을 나타내었으나 그 차이는 적었다. 따라서 Table 3에서 볼 수 있듯이 실제 설치되어 운영중인 국내외 인공습지와 본 연구에서 설계된 인공습지를 비교해본 결과 본 연구에서 설계된 인공습지는 국내 마산저수지 인공습지와 미국 북부 인공습지와 유사한 단위면적당 오염물질제거 수준을 나타냄으로서 본 연구에서 개발된 인공습지 설계모형은 적용성이 있는 것으로 판단되었다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 농촌유역 수질관리를 위한 의사결정 지원시스템인 DSS-WQMRA 모형을 개선, 보완하여 농촌지역의 인공습지 설계 모형을 개발하고 경기도 이천의 복하천 유역에 대하여 적용하여 모형의 적용성을 검토하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 농촌유역의 비점원오염 수질관리를 위한 인공습지 면적산정을 위해 데이터베이스, 유출량 추정, 수질예측, 인공습지 면적산정 등의 부모형으로 구성된 인공습지 설계모형을 개발하였다.

2. 최적 인공습지 면적산정 알고리즘은 사용자가 수질항목별 목표수질을 입력하고, 이에 따라 수질항목별 해당 설계인자값을 변화시켜가며 각 항목별 소요 면적을 산정한다. 어느 특정 수질항목으로 인한 과대면적이 산출되는 것을 방지하기 위하여 수질항목별 소요면적을 조정하여 최적 조건의 설계인자와 설계면적이 산정되도록 구성하였다.

3. 대상유역에 인공습지 설계모형을 적용하여 최적의 인공습지 소요면적을 산정하고, 이의 적정성을 평가하기 위한 수질항목별 유출수 농도 검증결과 수질항목별 모두 사용자가 목표로 하는 목표수질에 접근할 수 있었다.

4. 모형의 적용성 검토를 위해 국내외 인공습지 연구사례와 본 연구에서 설계된 인공습지를 비교해 본 결과 실제 설치되어 운영중인 국내외 인공습지와 유사한 처리효율을 나타냄으로써 본 연구에서 개발된 모형은 농촌유역의 비점원오염 수질관리를 위한 인공습지 설계모형으로서 적용성이 있는 것으로 판단되었다.

5. 본 연구에서는 국내자료가 부족하여 외국의 설계식을 사용하여 인공습지 설계 모형을 개발하였다. 그러나 인공습지의 수질정화기능은 지형과 기후에 큰 영향을 받으며, 또한 수질개선 효과가 장기간에 걸쳐 서서히 나타나므로 실제 현장규모 습지에 대한 장기적인 모니터링을 통해 국내 실정에 알맞는 설계식을 개발할 필요성이 제기되었다.

References

1. Choi, In Uk. 2002. Design Model of Constructed Wetlands for Water Quality Management of Non-Point Source Pollution in Rural Watersheds. M. S. Thesis. Seoul National University. (in Korean)
2. Haity, C. A., R. Mandal, and R. S. Wu. 1996. *GWLF Version 2.0 User's Mannual, Department of Agriculture and Biological Engineering*. Ithaca NY: Cornell University.
3. Hammer, D. A. 1989. *Construcdted Wetlands for Wastewater Treatment, Municipal, Industrial and Agricultural*. Lewis Publishers. Inc.: 265-447
4. Jang, Jung Reol, Jong Min Park, Soon Kuk Kwun, and Kyeong Sup Yoon. 2000. A Study of Design Conditions for Decision Area of Constructed Wetland to treat Nonpoint Source Pollution from Agricultural Area, *Proceedings of the 2000 Annual Conference, KSAE*: 490-499. (in Korean)
5. Kadlec, R. H., and R. L. Knight. 1996. *Treatment wetlands*. Lewis: 950.
6. Kadlec, R. H. 1989. *Hydrologic factors in Wetland Water Treatment, in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Lewis: 21-40
7. Kadlec, R. H. 2000. Physical Processes in Constructed Wetlands. http://ww.computan.on.ca. Accessed 15 May. 2001.
8. Kadlec, R. H., and, R. L. Knight. 1995. *Treatment Wetlands*. Lewis: 1-471
9. Kwun, Soon Kuk, Chung Gyeong Yoon, Yoong Ho Im, Jin Soo Kim, Seong Gu Hong, Hyoung Kun Jeong, Gi Cheol Cha, Byoung Hen Park, and Dong Seok Shin. 2001. Development of Integrated Water Quality Management System in Rural River Basins. Ministry of Agriculture and Forestry: 1-462. (in Korean)
10. Park, Byung Heun, Soon Kuk Kwun, and Jeong Ryul Jang. 2001. Development and Application of Water Quality Model to Assess Water Purification Techniques for Lakes and Reservoirs. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineering 43*(6): 174-186. (in Korean)

11. Park, Byung Heun. 2000. Analyses of Water Purification Techniques and Their Applicability in Lakes and Reservoirs Using a Water Quality Model. Ph.D. Dissersation, Seoul National University. (in Korean)
12. Reed, S. C., Middlebroods and R. W. Crites. 1998. *Wetland System : Design Procedures - In Natural System for Waste Management and Treatment*. New York: Mc Graw-Hill Co.: 174-196.
13. R&TT. 1998. South Nation River conservation Authority Dignard Artificial Wetland. Year-End Report: 1-48
14. Yang, Heung Mo. 1999. Consideration Factor for Design of Constructed Wetlands. *Agricultural Engineering Technology*: 83-95. (in Korean)
15. Yang, Young Min, Soon Kuk Kwun, and Jin Soo Kim. 2000. Development of Integrated Water Quality Management Model for Rural Basins using Decision Support System. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineering* 42(5): 103-113. (in Korean)
16. Yoon, Chun Gyeong, and Jong Hwa Ham, 2000. Prediction of Water Quality Improvement for EstuarineReservoir using Wetland-Detention Pond System. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineering 42*(5): 94-102. (in Korean)
17. Yoon, Chun Gyeong, Jong Hwa Ham, Sun Ho Woo, and Min Hee Kim. 2001. Paddy Rice Culture Experiment Using Threaten Sewage Effluent From Constructed Wetland. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineering 43*(2): 94-103. (in Korean)