

농촌유역의 수질관리를 위한 인공습지 설계모형 개발

Development of Constructed Wetlands Design Model for Water Quality Management in Rural Basins

최 인 옥* · 권 순 국(서울대)
Choi, In Uk · Kwun, Soon Kuk

Abstract

Constructed wetlands are among the recently proven efficient technologies for wastewater treatment. Compared to conventional treatment systems, constructed wetlands are low cost, are easily operated and maintained. Constructed wetlands are particularly sensitive to Nonpoint source pollution(NPSP) because they function as pollutant sinks. The objectives of this study were to review the necessary contents of survey and design factors for constructing constructed wetlands and develop a modified DSS-WQMRA model for design of constructed wetlands. From the results of the case studies, in order to attain BOD target water quality, 0.27%(SF), 0.66%(FWS) wetland area of the total basin is needed

I. 서론

농촌유역의 비점원 처리는 도시지역에서와 같이 대규모 하·폐수 처리장을 적용하기에는 경제적이, 효율적 측면에서 어려운 실정이므로 물질 순환의 원리를 이용한 지역특성에 알맞은 자연순환형 수질정화 시스템 개발에 연구가 활발히 이루어지고 있으며 그중 자연처리법(Natural Treatment System)으로서 정수식물(Emergent Plant)에 의한 인공습지는 수질정화 기능이 우수하고 설비비와 유지관리가 저렴하고, 처리효율도 높으며, 유기물 제거에 중점을 둔 종래의 처리방식에 비하여 유기물은 물론 호수 부영양화의 원인물질인 인, 질소와 중금속, 병원균에 대한 정화기능까지 갖고 있어 농촌유역의 비점원 관리에 매우 유용한 처리시설로 국내외에서 많은 관심이 집중되고 있다.

그러나 국내의 인공습지 연구는 초기단계로서 오염물질 제거에 적당한 인공습지의 설계규모와 처리효율을 결정하는데는 아직 많은 어려움이 따르고 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 인공습지 설계에 영향을 미치는 설계인자를 도출하고, 기존에 개발된 DSS-WQMRA(Decision Support System for Water Quality Management of Rural Area, 양, 2000) 모형을 인공습지 설계가 가능하도록 개선하여, 이를 시험유역에 적용 평가하는데 있다.

II. 연구의 방법

1. 인공습지 설계인자

2001년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2001년 10월 12일)

인공습지의 설계를 위한 주요 조건으로는 수문학적 조건, 수리학적 조건, 유입수의 오염물질 함유량 및 성분, 기후조건, 식재 식생의 처리효율 등을 들 수 있다. 그중 수문학적 조건은 인공 습지 내에서의 물수지(Water Balance)를 말하며, 수리학적 조건은 습지의 깊이, 체적, 식재지역과 자유수면지역의 비, 평균유량, 수리학적 체류시간, 수리부하율, 흐름의 방향성, 형상비 등이 이에 해당된다. 또한 인공습지로 유입되는 오염물질의 양과 조성은 습지를 설계하는데 중요한 인자이며, 오염물질의 제거 효율이 곧 습지의 면적과 수리학적 조건을 결정짓는 인자로 작용한다. 기후조건은 대기온과, 수온의 영향 또는 기온의 저하에 따른 습지 표면의 얼음층의 두께나, 적설에 의한 태양광의 차단등이 해당되고, 식재 식생의 처리율은 인공습지에 식재한 식물의 종류별 오염물질 처리효율을 말한다.

2. DSS-WQMRA 모형

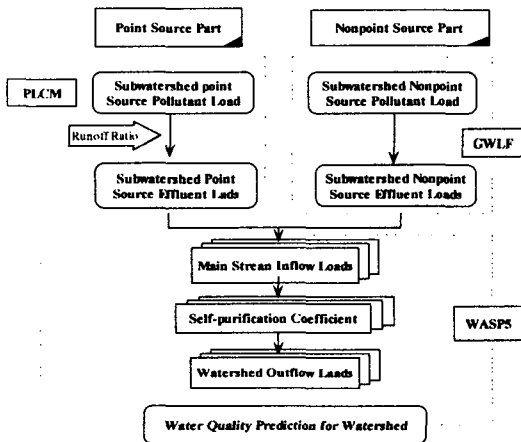


Fig. 1. Flowchart of Water Quality Modeling

DSS-WQMRA 은 2000년 양에 의해 개발되었으며, 농촌유역의 종합적 수질관리를 위한 모형으로서 데이터베이스 관리시스템, 모형관리 시스템, 및 사용자 인터페이스 시스템으로 이루어져 있으며, 모형내에서 수질예측은 점원과 비점원으로 구분하여 이루어지며, 점원의 경우에는 오염원단위법과 유달율을 이용한 부하함수로 유달부하량을 산정하며, 비점원의 경우에는 GWLF를 이용하여 유달부하량을 산정한다. 두 모형에 의해 계산된 오염부하량은 하천수질모형인 WASP5에 입력되어 하천의 수질예측이 가능하다. (Fig. 1)

3. 대상유역 선정

인공습지의 설계 대상유역은 경기도 이천시 북하천의 주미교를 말단으로 하는 유역으로서 하천의 총 연장이 17 km, 유역면적은 78.7 km²이며, 유역전반에 농경지가 집중되어 있고, 대규모 공장이나 상업지역, 도시화 지역이 거의 없는 전형적인 농촌특성을 지닌 유역이다(Fig. 2). 이 지역의 토지이용 비율은 논 16%(12.6 km²), 밭 10%(8.1 km²), 임야 64%(50.2 km²), 기타 10%(7.8 km²)로 구성되어 있다.

4. 기초자료 조사

하천의 수질예측과 인공습지 설계를 위해 대상유역의 자연환경, 인문사회환경, 오염원 특성 및 오염부하량, 환경 기초시설등의 조사와 하천의 유량 및 수질을 측정하였다. 대상유역의 인구는 '98

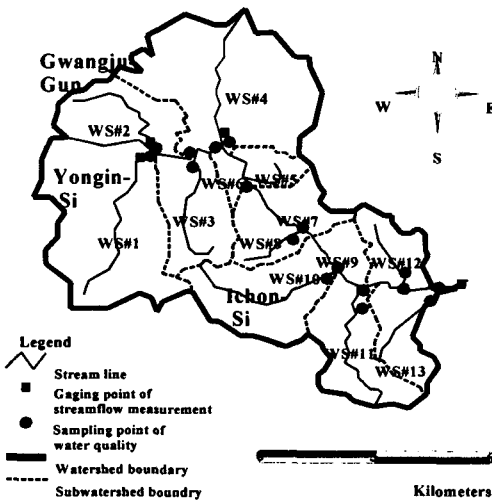


Fig. 2. Study Area

년 1월 1일을 기준으로 10,463명, 축산현황은 '98년기준 소 4,115두, 돼지 15,371두, 닭 127,700수를 사육하고있었다. 하천의 유량은 1996년 3월부터 2000년 8월까지 압력식 수위계를 이용해 연속 측정된 압력자료를 유량자료로 환산하여 사용하였으며, 단위 면적당 최대 유출량은 유역말단에서 1.58 m³/s/km² 이었다. 수질조사는 1996년 3월부터 2000년 8월까지 수행하였으며, 동절기를 제외하고 월 1회를 원칙으로 총 37회 조사를 실시하였다. 분석항목은 수질환경기준에 포함된 7개를 포함하여 총 16개 항목을 분석하였다.

5. 인공습지의 설계

가. 인공습지 면적의 산출

인공습지설계를 위한 관계식은 Kadlec and Knight모델, Reed, et al 모델, EPA 모델, Gearhear 모델등이 활용되고 있다. 본 연구에서는 NADB(North America Constructed Wetland Database) 를 기초로 작성된 USEPA(U. S. Environmental Protection Agency) 모델을 사용하여 자유수면형 인공습지 와 지하흐름형 인공습지의 면적을 산출하였다. 인공습지 설계에 사용된 식의 예는 Table. 1 과 같다.

Table. 1 Equation for Design of Constructed Wetlands

| Wetlands Type | B O D | S S |
|----------------------|---|---|
| Subsurface Flow Type | $A_s = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{K_i \times d \times n}$ <p>where, Q = flow, in (m³/day), C_o = influent BOD (mg/L), C_e = effluent BOD (mg/L) K_i = temperature-dependent rate constant K_i = 1.104 × (1.06)^(T - 20) d = depth of gravel bed, n = porosity of gravel</p> | $SS_{eff} = SS_{inf} \times (0.1058 + 0.0011 \times HLR)$ <p>where, HLR = hydraulic loading rate(cm/day) SS_{eff} = effluent SS (mg/L) SS_{inf} = influent SS (mg/L)</p> |
| Surface Flow Type | $A_s = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{K_i \times d \times n}$ <p>where, K_i = 0.278 × (1.06)^(T - 20) d = water depth, n = density of the plant stems(0.65 or 0.75)</p> | $SS_{eff} = SS_{inf} \times (0.1139 + 0.002 \times HLR)$ |

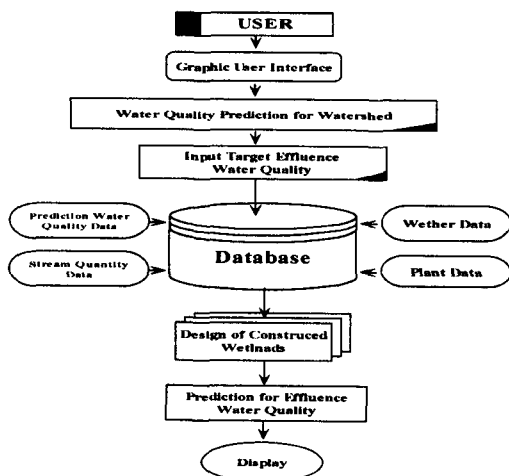


Fig. 3. Flow of Design of Constructed Wetlands

나. 인공습지 설계의 과정

인공습지의 설계는 사용자가 DSS-WQMRA 모형의 GUI(Graphic User Interface)를 통해 인공습지 설계 메뉴를 선택한 후 수질예측 모델을 구동하여 대상유역의 수질의 예측하고, 달성하고자 하는 목표수질을 입력하면 모형내의 데이터 베이스에 축적된 기초자료를 바탕으로 목표수질을 달성하기 위해 필요한 설계인자를 계산하여 인공습지를 설계하고, 인공습지 조성후의 수질변화를 다시 예측해 볼 수 있도록 구성하였다. 설계 과정에서 사용자가 현장의 여건을 고려하여 인공습지의 형태(자유수면형, 지하흐름형)와, 식재할 식물 종류의 선택이 가능하도록 하였다.

III. 결과 및 고찰

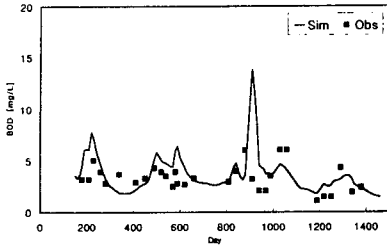


Fig. 4. Water Quality Prediction of Watershed(BOD)

DSS-WQMRA 모형내의 수질예측 메뉴를 이용하여 유역 말단에서의 수질을 예측해 보면 Fig. 4와 같다. 예측된 수질자료는 인공습지 설계를 위한 유입수 농도 자료로 활용된다. 대상유역의 BOD는 평균 3.30 mg/L를 나타내어 하천생활환경 수질기준 IV등급인 농업용수 8 mg/L 보다 낮은 수치를 나타내었으나 사용자가 하천의 수질을 상수원급인 II 등급으로 달성하기를 원할 때를 가정하여 인공습지의 면적을 산출해 본결과 목표 수질을 달성하기 위해서는 지하흐름형 인공습지의 경우에는 0.212 km², 자유수면형 인공습지의 경우에는 0.521 km²가 필요한 것으로 나타났다. 이는 전체 유역면적의 0.27 %, 0.66 %에 해당하는 면적이다. 현재 T-P, T-N, SS에 대한 면적산출을 위한 모형개발을 진행중에 있으며, 이 과정이 완성되면 BOD 만을 제거하기 위한 습지의 면적보다는 더 넓은 면적이 소요 될 것으로 판단된다.

Table. 2. Required wetland area in watershed

| | Subsurface Flow Type | | | | | Surface Flow Type | | | | |
|-----|----------------------|---------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| | in (mg/L) | out (mg/L) | Average flow (m ³ /d) | bed depth (m) | Wetland Area (m ²) | in (mg/L) | out (mg/L) | Average flow (m ³ /d) | Water depth (m) | Wetland Area (m ²) |
| BOD | 3.30 | 3.0 | 466,777 | 0.6 | 211,850 | 3.30 | 3.0 | 466,777 | 0.45 | 521,013 |

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 농촌유역의 수질개선을 위한 인공습지 설계를 위한 설계인자를 살펴보고, 농촌유역의 종합적 수질관리모형인 DSS-WQMRA 모형을 하천의 수질개선을 위한 인공습지의 설계가 가능하도록 개선하였다.

대상유역에 모형을 적용한 결과 BOD 목표 수질 달성을 위해서는 지하흐름형 인공습지의 경우에는 0.212 km², 자유수면형 인공습지의 경우에는 0.521 km²가 필요한 것으로 나타났다.

본 연구는 진행중이며, 연구가 완료되면 농촌유역의 수질개선을 위한 인공습지 설계를 일반화시킬 수 있을것으로 기대된다.

참고문헌

1. 권순국, 정형근, 김진수, 차기철, 홍성구, 박병훈, 신동석, 윤춘경, 2000, 서울대학교, 농촌하천유역의 종합적 수질관리시스템 개발
2. 김도선, 1997, 군부대 오수처리 효율성 향상을 위한 인공습지의 이용방안, 강원대 석사학위 논문
3. 양영민, 2000, 의사결정지원기법을 이용한 농촌유역 수질관리모형 개발, 서울대학교 석사학위논문
4. 함종화, 2000, SWMM-WASP5의 연계적용에 의한 담수호 수질개선용 인공습지 소요면적 산정 방법 연구, 건국대 석사학위 논문
5. USEPA, 1988, Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, USEPA: pp.15-46
6. USEPA, 1999, Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewater, USEPA: pp.66-96