

HyGIS와 Qual2E의 연계 시스템 개발

박인혁¹ · 김경탁² · 하성룡^{3*}

Development of Qual2E Interface System Coupled with HyGIS

In-Hyeok PARK¹ · Kyung-Tak KIM² · Seong-Ryong HA^{3*}

요 약

환경에 대한 관심이 고조되면서 환경용량을 정량적으로 평가할 수 있는 환경모델링에 대한 관심이 고조되고 있다. 환경 모델링, 특히 수질 모의에 있어 GIS는 정량적인 매개변수 추출과 산출 등을 가능케 하는 중요한 툴임에도 불구하고 표준화된 절차 등의 부재로 적용에 어려움을 겪고 있다. 이로 인해 동일한 모델을 사용하여 동일한 지역을 모의하더라도 연구자마다 다른 결론을 내고 있어 정책 입안시 혼란을 가중시키고 있다. 본 연구에서는 1차원 하천수질예측모델인 Qual2E와 수문형 GIS 툴인 HyGIS를 연계하여 시스템을 구축하고자 하였다. 이를 위해 Qual2E 모델의 구조화 분석을 실시하고 기존 모델링 절차를 표준화 하였으며, Qual2E 모형에 최적화된 데이터모델을 설계·구축하였다. 또한 입력파일과 출력파일을 통제할 수 있는 매개변수 산출 알고리즘을 개발하고 구축하였다. 시스템의 구축시 GIS 데이터의 제어는 GDK를 활용하고 GUI 및 기타 시스템 환경은 Visual Basic 6.0을 활용하였다. 개발된 시스템을 활용하여 시험평가를 수행한 결과, 모델 구동시간이 기존 모델링에 비해 최대 3배 이상 단축되는 것으로 나타났으며, 입력 파일 오류 등으로 인한 모델수행 장애는 발생하지 않았다.

주요어 : 연계시스템, HyGIS, Qual2E, HyGIS-Qual2E

ABSTRACT

Going abreast of high public concerns on the environment, the need of environmental modeling has been increased to assess the impact of space exploitation of environment. GIS offers potential solutions to the many problems encountered during water-quality

2011년 4월 5일 접수 Received on April 5, 2011 / 2011년 5월 2일 수정 Revised on May 2, 2011 / 2011년 6월 15일 심사완료 Accepted on June 15, 2011

1 한국수자원공사 물관리센터 Water Resources Operation Center, Korea Water Resources Corporation

2 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

3 충북대학교 도시공학과 Urban Engineering, Chungbuk National University

* 연락처 : simplet@chungbuk.ac.kr

modeling. But there are also many problems associated with the modeling. The preparation of necessary parameters for the modeling can be complicated. Also, the results from one model can be different from each other even the same area is analyzed. This paper aims to develop the data processing system to couple the Qual2E and HyGIS in which Qual2E input and output data files can be created, modified and processed using HyGIS and assess the performance of the system. A structural analysis and standardization of modeling are conducted to identify data flow and processing of Qual2E. Algorithms of the defined processors are designed and developed as component modules. The data model of HyGIS-Qual2E is designed, and GUI(Graphical User Interface) is developed using Visual Basic 6.0 and GDK.

KEYWORDS : Coupling System, HyGIS, Qual2E, HyGIS-Qual2E

서 론

삶의 질 향상이라는 사회적인 욕구가 커짐에 따라 개발과 보전이라는 명제가 첨예하게 대립하고 있다. 이 두 명제 사이에 효과적인 해결책을 제시할 수 있는 수단으로 환경모형이 대두되고 있다. 그러나 환경모형 구동을 통해 소기의 목적을 달성하기 위하여 모형 구동에 필요한 방대한 양의 입력정보와 각종 변수에 대응하는 값이 객관적이고 과학적인 방법으로 제공되어야하나, 기초자료 처리 기술의 한계, 자료처리 소요시간의 증가, 일관되지 않은 분석절차 등의 문제로 인해 모형 구동에 어려움을 겪고 있으며(Hassan and Benjamin, 1996), 이로 인해 환경모형의 이용이 기피되고 있는 실정이다. 특히 수리·지형자료 구축 및 결정은 많은 시간과 비용, 전문 인력의 참여가 요구되는 문제점이 있으며(배기중, 2002), 이러한 요구조건을 만족시키지 못할 경우, 모형 모의결과에 대한 신뢰도를 감소시키는 주요한 원인으로 작용한다(박인혁, 2007).

전술한 바와 같은 문제점의 해결책으로 GIS(Geographic Information System)의 활용이 대두되었으며, 표준화된 절차에 의한 환경모형과의 연계시스템(Coupling System)이

제안되었다(Goodchild *et al.*, 1993; Kemp, 1993; Burrough, 1996; Maidment, 2002). 연계 시스템에서 기본적인 자료처리는 컴퓨터를 활용하고, 지형자료의 구축 및 수리·수문학적 매개변수는 GIS을 활용하고자하는 것으로, 대부분의 연계 시스템에 관한 연구는 기초자료의 수집과 분석에 소요되는 시간을 최소화하여 모형 구동을 효과적으로 수행할 수 있도록 초점이 맞추어져 있다(Hassan and Benjamin, 1996).

GIS와 환경모형의 연계시스템 구축에 관한 연구로 김경탁과 최윤석(2006)은 HyGIS와 SWAT모형이 연계된 HyGIS-SWAT 모형을 개발하였으며, 한건연 등(2006)은 HyGIS 환경에서 HEC-HMS/RAS를 통합적으로 모의할 수 있는 시스템을 개발하였다. Fedra *et al.*(1996)은 하천유역의 설계를 위한 의사결정지원시스템(WaterWare) 구축 시 지리정보시스템과 수문분석모듈을 연계하였으며, Bian *et al.*(1996)은 Arc/Info와 SWAT의 인터페이스 시스템을 개발하였다.

이와 같이 환경모형과 GIS간 연계 시스템의 필요성이 대두되면서 이에 대한 개발이 활발하게 진행 중임에도 불구하고 Qual2E 모형과 연계시스템을 개발한 국내사례는 많지 않다. 최연웅 등(2002)은 Arcview 기반의 매크로 언어를 활용하여 Qual2E의 입력

파일 작성 시스템을 개발하였고, 박인혁(2007)은 HyGIS와 Qual2E의 연계시스템 구축을 위한 주요 알고리즘을 개발하고 적용성을 검토하였다.

본 연구에서는 1차원 하천수질예측모형인 Qual2E와 한국형 수자원지리정보시스템인 HyGIS(교육과학기술부, 2006)가 연계된 데이터처리 시스템의 개발을 목적으로 한다. 시스템 구축을 위한 주요 알고리즘은 선행 연구(박인혁, 2007)의 연구를 기초로 GIS 매크로 언어(GDK)를 이용하여 구현하였으며, GUI는 프로그래밍 언어(Visual Basic 6.0)를 이용하여 개발하고, 선행연구의 적용성 부분을 보완하였다.

연구의 방법

본 연구는 Qual2E 모형 구동절차의 구조화 분석을 통한 구동절차의 표준화, 표준화된 절차별 분석 알고리즘의 보완 및 설계, 매크로 언어와 프로그래밍 언어를 활용한 연계 시스템 구현, 마지막으로 일반적인 Qual2E 모형 구동 절차와 개발된 시스템의 구동 절차 비교 검토의 순서로 진행하였다.

HyGIS와 Qual2E의 연계 시스템의 구현은 크게 데이터 모델 개발, 전처리 과정(Pre-Processing) 개발, 후처리 과정(Post-Processing) 개발의 3부분으로 이루어진다. 데이터 모델 개발은 연계 시스템 수행에 필요한 전반적인 정보를 검토하고, 구조화 분석에 의한 모형 구동절차를 정의한 후, 절차별 입·출력 정보를 고려하여 데이터모델 및 분석 모듈을 설계하는 단계이며, 전처리 과정 개발은 Qual2E 모형의 입력 자료 생성을 위한 기초자료 처리 기능을 개발하는 단계로 사용자의 간단한 조작으로 모형 수행에 필요한 정보가 자동으로 추출되도록 개발하는데 목적이 있다. 후처리 과정 개발은 Qual2E 구동 결과의 도식화 모듈을 개발하는 단계로, 출력파일의 구조화 분석을 통해 도식화 요소를 구분하고 이를 프로

그래밍 언어를 이용하여 구현하였다. 그림 1은 본 연구의 절차를 나타낸 것이다.

1. 환경모형과 GIS의 연계기법

환경모형과 GIS의 연계에 관한 연구는 1990년도 초부터 꾸준히 진행되어 왔으며, 최근에는 GIS Vendor에서 제공하지 않는 특수한 분석기술 등이 컴포넌트형태의 모듈로 변환·개발되어 GIS에서 활용 가능하도록 개발되고 있는 추세이다. Stuart and Stock(1993)은 연계기법을 Loose & Tight의 두 가지로 구분하였으며, 최연웅(2001)은 Flexible coupling기법을, Bo and Bin(2002)은 Full coupling기법을 추가하여 분류하였다. Loose Coupling기법은 ASCII파일을 매개로 GIS와 환경모형을 연계시키는 방법이며, Tight Coupling기법은 고급 프로그래밍 언어를 이용하여 환경모형을 재구축한 후 이를 GIS와 연계하는 방법이다. Flexible Coupling기법은 환경모형의 전·후 처리에 GIS 소프트웨어를 사용하는 것으로 별도의 GUI를 개발하여 GIS와 환경모형을 연계시키는 방법이다. 본 방법은 환경모형에 관한 전문지식이 부족하더라도 간편하게 모형을 구동할 수 있고, Tight Coupling기법에 비해 개발에 소요되는 시간이 적은 장점이 있다(박인혁, 2007). Full Coupling 기법은 GIS 매크로 언어를 이용하여 환경모형을 재구축하고 이를 GIS와 연계시키는 방법으로, Tight Coupling기법에 비해 GIS와 호환성이 뛰어나며 통신상의 오류 발생 시 해결이 용이한 장점이 있으나 시스템 개발기간이 길고 다른 GIS 소프트웨어와 호환이 되지 않는 단점을 갖고 있다. 본 연구에서는 Flexible 연계기법을 활용하여 HyGIS와 Qual2E의 연계 시스템을 구축하였으며, GIS 매크로 언어인 GDK의 플랫폼이 GUI 개발언어인 Visual Basic과 같으므로 GUI에서 GIS 데이터베이스에 직접 접근할 수 있는 장점을 갖는다.

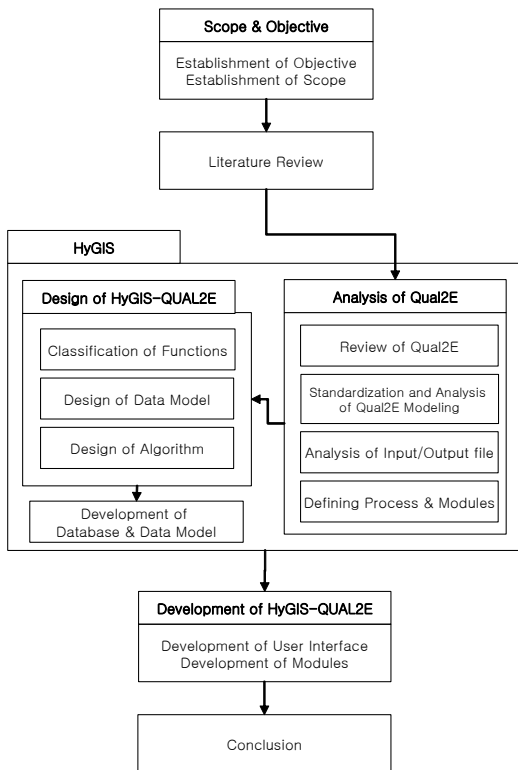


FIGURE 1. The process of HyGIS- Qual2E development

2. HyGIS와 Qual2E의 이론

HyGIS(Hydro Geographic Information System)는 한국건설기술연구원 등이 개발한 한국형 수자원 공간분석 시스템으로, 유역정보와 관련된 분석기능을 국내 실정에 맞도록 기법을 개량하여 보다 효과적인 분석이 가능하도록 개발된 GIS 패키지이다. 본 시스템은 컴포넌트 형태로 개발되어 다양한 응용프로그램에 손쉽게 적용할 수 있으며, 수리·수문·수질분석 및 유역관리 분야에서 편리하고 유용하게 활용될 수 있다. HyGIS는 범용적인 GIS 프로그램과 같이 수문학적 DEM(Digital Elevation Model) 분석 및 공간정보 생성 등의 기본적인 분석기능 외에 HyGIS 모델을 위한 특별한 공간분석 기능을 제공한다(교육과학기술부, 2006).

Qual2E는 1985년 미국 환경청(EPA)에 의해 기존의 Qual2/SEMCOG를 변형·보완시킨 모형으로 조류와 영양염류 및 용존산소와의 상호관계, 온도보정계수, 댐에 의한 하천수의 산소공급 및 비보전성 물질과 3가지의 보전성 물질, 입출력 방법 개량 등 8개의 영역을 개선시킨 1차원 수질예측모형이다.

Qual2E 모형의 일반적인 구동 절차는 모의하고자 하는 하천의 모식화, 입력 자료의 생성, 수리 및 수질계수의 결정, 모형의 보정 및 검증의 순서와 같다. 모식화 단계에서는 대상하천을 수리학적 특성이 유사한 대구간(Reach)으로 분할하고 분할된 구간을 적당한 길이로 나누어 실제적인 계산이 이루어지는 소구간(Element)으로 분할한다. 수리 및 수질계수의 결정단계에서는 대상하천의 유량, 유속 및 수심자료를 이용하여 수리계수를 산출하고 오염원의 유출특성에 따라 수질계수를 산출한다. 모형의 보정 및 검증단계에서는 실측된 하천의 유량, 수질자료를 이용하여 매개변수를 조정하여 모형의 검·보정을 실시한다.

3. 연계 시스템의 구조 설계

연계 시스템의 구조설계를 위하여 Qual2E 모형 수행절차에 대한 구조화 분석을 실시하였으며, 구조화 분석은 입력 자료 생성 부분, 결과 처리 부분, 모형 구동 부분으로 나누어 수행하였다.

전술한 바와 같이 Qual2E 모형의 일반적인 구동 절차에서 전처리과정과 입력 자료 생성 과정이 이원화되어 있어 입력 자료 생성 시 분석자의 상당한 주의를 요구한다. 따라서 본 연구에서는 입력 자료를 사용자의 판단과정의 유무를 기준으로 분리하여 구조화 분석을 실시하고 전처리과정과 입력 자료 생성을 하나의 GUI에서 처리하도록 설계하였다. 대부분의 반응계수 및 초기 입력 값 등은 사용자의 판단이 요구되는 항목이었으며, 그 외 지형정보에 기초한 자료는 사용자의 판단이 필요 없는 부분으로 자동 생성이 가능한 것으로 분석되

었다. 입력 자료에 대한 구조화 분석결과는 표 1과 같다.

Qual2E 모형의 결과는 하천 구간의 수리학적 정보, 반응계수 정보, 수질 모의 값, 모의 DO 값의 4개 부분으로 구성되며 출력 형태는 비교적 단순한 편이다. 출력 형태에 맞춰 4개 부분으로 구조화 하였으며, 분석결과는 표 2와 같다.

구조화 분석결과에 따라 모형 수행절차를 표준화하고, 이를 토대로 연계 시스템의 분석 절차를 모의 영역 설정, 수리조건을 고려한 구간의 정의, 유달계수 산출, 유량배분 및 할당, 모형구동의 5가지로 설계하였다. 그림 2

는 구조화 분석결과에 따른 표준화된 모형 수행 절차 및 필요한 데이터를 나타낸다. 각 그룹에 속해있는 14개의 분석 모듈은 HyGIS에서 독립적으로 이용 가능하도록 Component 형태로 설계하였으며 모듈별 요구 데이터 명세는 입·출력 자료의 구조화 분석결과를 토대로 정의하였다. 그림 3과 같이 모형의 입력 자료 생성 등을 담당하는 모듈(Pre-Processor)과 모의 결과의 출력 및 도식화, 검·보정 등을 수행하는 모듈(Post-Processor)로 구성되는 별도의 시스템을 개발하여 HyGIS와 Qual2E를 연계하도록 설계하였다. 연계 시스템을 이용하여 별도의 데이

TABLE 1. The result of structural analysis on input file

Type	Category	Explanation
Automatic	Control Data	Control data for modeling/Structural data of target-river
Manual	Coefficients	Coefficients of simulation for algae, T-P and etc.
Manual	Temperature Coefficient	Coefficients of calibration for temperature
Manual	Reach Data	Division of reach and properties of reach
Manual	Element Data	Division of element and properties of element
Automatic	Incremental Flow	Incremental flow
Automatic	Hydraulic Coefficients	Hydraulic coefficients
Manual	Interaction Coefficients	Water-quality coefficients of BOD, DO and etc.
Manual	Initial Conditions	Initial conditions of BOD, DO, and etc.
Automatic	Incremental Pollution Loads	Incremental pollution loads(non-point source)
Automatic	Junction Data	Junction of stream
Manual	Headwater Data	Head-water of stream
Automatic	Point-Source Coefficients	Point-source pollutants, withdrawal and etc.
Manual	Re-aeration Coefficients	Coefficient of re-aeration due to dams
Manual	Climate Data	Climate data

TABLE 2. The result of structural analysis on output file

Category	Explanation
Hydraulic Summary	13 hydraulic data on reaches and elements
Reaction Coefficient Summary	water-quality coefficients on reaches and elements
Water Quality Variables	Simulated water quality values on reaches and elements
Dissolved Oxygen Data	Simulated DO value on reaches and elements

터 천이과정 없이 모형 구동에 필요한 데이터를 추출·연산·저장하여 ASCII 형태의 입력 자료 생성 및 모의 결과의 도식화가 가능하도록 설계하였다.

각 분석 모듈은 HyGIS의 DB를 경유하여 데이터의 입·출력을 수행하기 때문에 일관적인 Data 관리가 가능하고 다른 모형으로 확장 등이 용이할 것으로 판단된다. 또한 외부 결과물(1차원 수리모형 모의 결과)과 기 작성된 입력 자료 등을 가져와(Import) HyGIS DB

에 저장할 수 있는 모듈을 추가하여 데이터 활용에 있어 유연한 시스템을 구축하고자 하였다.

연계 시스템의 메뉴 구성은 사용자의 사용 편의성과 직관적으로 분석절차를 이해할 수 있도록 크게 “Pre-Processor”, “Post-Processor”, “모형구동”의 세 가지로 구성하고 각 그룹의 성격에 따라 각 분석 모듈을 분류, 하위 항목으로 각각 할당하였다.

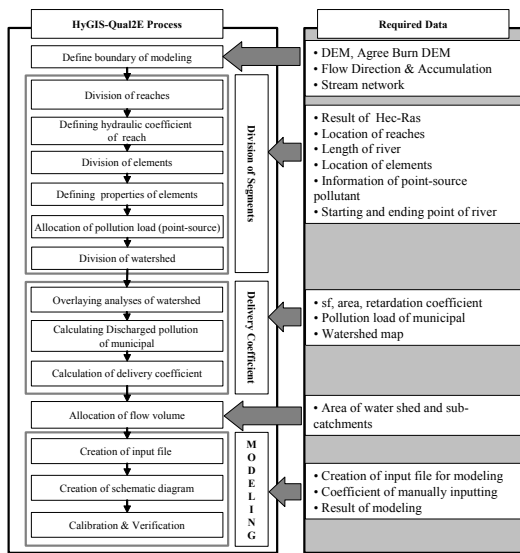


FIGURE 2. The defined processor and required data for HyGIS-Qual2E.

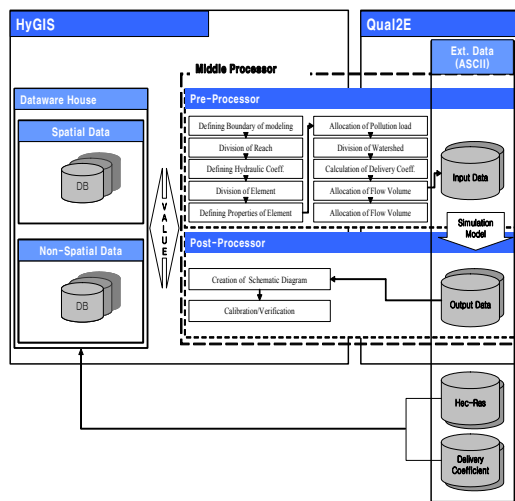


FIGURE 3. The concept sketch of HyGIS-Qual2E.

4. 연계 시스템의 데이터 모델 설계

연계 시스템의 데이터모델은 공간 데이터 모델과 비공간 데이터 모델로 구성하였으며, 공간 데이터 모델은 관계형으로 구축된 HyGIS의 데이터 모델에 기초하여 입력 자료 생성에 필요한 정보가 조회·저장되도록 설계하였다. 비공간 데이터 모델은 입력 자료 생성에 필요한 각종 계수 등의 저장과 도식화 및 검·보정 시 활용할 출력 결과를 저장·조회가 가능하도록 관계형으로 설계하였다.

연계 시스템의 구동에 필요한 공간 데이터는 유역의 DEM, 유역의 경계, 유역과 소유의 면적 및 경사도, 유역의 주 하천, 점 오염원의 유출구 등이 있다. 연계 시스템의 공간 데이터 모델에서는 HyGIS 데이터 모델의 Drainage Area, DrainagePoint, DrainageLine, HydroPoint, HydroEdge, Schematic_Link 객체를 이용하였으며, HyGIS 데이터 모델에서 제공하지 않는 경사도 항목을 시스템 내에서 자체적으로 계산할 수 있도록 관련 기능을 추가하였다. 그림 4는 연계 시스

템의 공간 데이터 모델을 나타낸 것으로 객체별 상호관계를 표시하였다. 객체의 형태에 따라 공간데이터를 유출점(점 속성), 하천망(선 속성), 유역정보(면 속성)로 구분하고 각 데이터는 하나의 DB에 격납되도록 하였다.

연계 시스템의 구동에 필요한 비공간 데이터는 각종 반응계수, 점 오염원의 속성정보, 유역의 오염배출 부하량, 수질 모의항목 등으로, 비공간 데이터 모델은 대구간 및 소구간, 유역의 속성 정보 관리를 위한 객체, 모의 결과를 저장하는 객체로 구성하였다. 그림 5는 비공간 데이터 모델을 나타낸다.

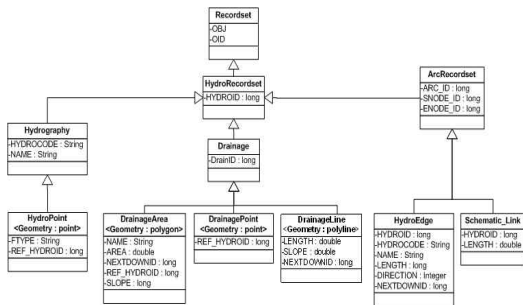


FIGURE 4. Spatial data model of HyGIS-Qual2E.

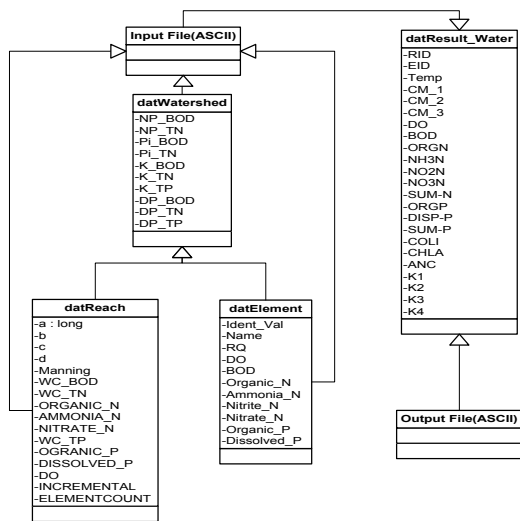


FIGURE 5. Non-spatial data model of HyGIS-QUAL2E.

결과 및 고찰

연계 시스템의 개발은 전술한 바와 같이 전처리 과정, 모형 구동을 포함한 후처리 과정으로 이루어지며, 후처리 과정은 일반적인 소프트웨어에서 사용되는 알고리즘과 GUI을 적용하여 사용자의 시스템 접근성을 높이고자 하였다. 전처리과정은 지형자료 처리를 위한 분석 모듈과 오염부하량 계산을 위한 모듈로 구분하여 개발을 진행하였다.

1. 지형자료 처리 관련 분석 모듈의 개발

Qual2E 모형 구동의 첫 번째 절차는 대상 하천을 대구간으로 나누는 것으로, 통상 1차원 수리모형의 결과를 이용하여 수리학적 유사구간을 구분한다. 본 연계 시스템에서도 대구간 분할을 위해 1차원 수리모형 결과를 시스템 내부로 병합(Import)하여 단면번호, 유량, 유속, 수위, 단면간 거리 등을 행렬형태로 메모리에 저장하고 GUI에 표시되도록 개발하여 사용자가 취합된 결과를 쉽게 확인할 수 있도록 하였으며, HyGIS 상에 수리모형 모의 결과의 도시를 위해 병합된 단면간 거리를 이용하여 누가거리를 계산하고 하천의 흐름방향을 따라 수리모형의 단면번호가 GIS 맵에 표시되도록 하였다. 단면번호 표시 후, 각 번호에 맞게 유량-유속, 유량-수위의 관계곡선이 표시되고, 사용자에게 의해 수리학적 유사구간이 결정되면 대구간이 분할되도록 개발하였다.

대구간 분할 이후의 절차는 계산단위인 소구간의 분할로, 분할에 필요한 정보는 소구간의 길이와 대구간의 번호이다. 이 중 모형 내 소구간의 길이는 모두 동일해야하는 모형의 제약사항이 있다. 일반적으로 사용자가 정의한 소구간의 길이가 하천 길이 혹은 대구간 길이의 약수가 아닌 경우가 있어, 하천을 등간격으로 분할하지 못할 수 있다. 이러한 경우, 하천길이를 임의로 증가시켜 사용자가 정의한 소구간 길이로 분할하는 방식을 취하기

도 하는데 이렇게 되면 하천의 중점에서 오차가 발생할 수 있는 가능성이 있다. 본 연구에서는 사용자로부터 입력받은 거리를 기초로 대상 하천을 등간격으로 분할하는 소구간 분할 모듈을 개발하였다. 소구간의 분할은 흐름 방향에 따른 하천의 길이(LenStream) 및 대구간의 길이(LenReach), 사용자로부터 입력받은 소구간의 길이(LElement)를 메모리에 상주시키고, 각 대구간의 길이를 소구간의 길이로 나누어 몫(CountElement)을 메모리에 저장한 뒤(식(1)), 각 대구간 별 몫을 합하여 최종 소구간의 개수를 산출하고, 하천의 길이를 이 몫으로 나누어 최종 소구간(LModified)의 길이를 산출하였다(식(2)). 그림 6은 소구간 분할 과정을 나타낸다.

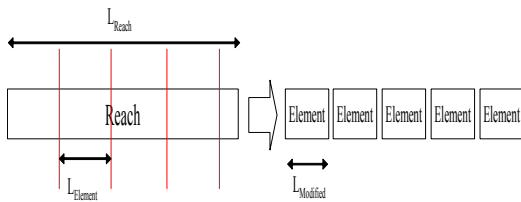


FIGURE 6. The concept sketch of dividing elements.

$$Count_{Element} = Len_{Reach} / Len_{Element} \quad (1)$$

$$Len_{Modified} = \sum Len_{Reach} (= Len_{Stream}) / \sum Count_{Element} \quad (2)$$

식 (1)에서 산출한 소구간의 수로 대상하천을 나누게 되면 사용자로부터 입력받은 소구간의 길이 거의 유사(\$Len_{Element} \approx Len_{Modified}\$)하게 대상하천을 등간격으로 분할할 수 있다. 이는 사용자로부터 입력받은 거리에 의해 소구간을 분할함으로 인해 발생하는 부족 혹은 과잉 길이를 전체 소구간수로 배분하기 때문이다. 그림 7은 대구간 및 소구간 분할 화면을 나타낸다.

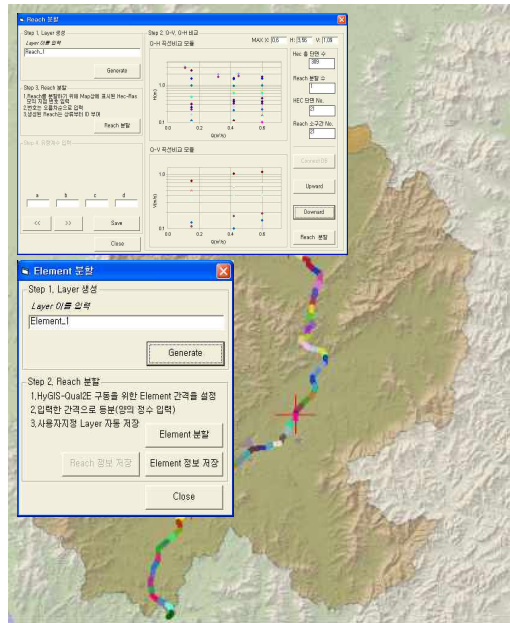


FIGURE 7. Examples of reach & element division using HyGIS-Qual2E.

Qual2E 모형 수행 중 유역 분할의 목적은 하천으로 유입되는 비점오염부하량을 산출하기 위한 것으로, 기 분할된 하천의 대구간이 완전하게 포함되는 소유역 생성과정을 의미한다. 연계 시스템에서 유역 분할을 수행하기 위해 요구되는 데이터는 DEM, 분할을 위한 기준점(분할점, 하천의 시점, 중점), 대상하천의 격자망으로, 각 유출구로부터 흐름방향 및 흐름누적을 계산하여 소유역을 분할하도록 하였다. 유역 분할이 완료되면 각 세부 유역의 기본적인 지형정보 등-면적, 평균경사, 유역형상계수-이 계산, 저장되는데, 특히 유역형상계수(\$S_f\$)는 유역의 유달계수를 산출하기 위해 필요한 변수로 산출은 식(3)과 같은 과정을 따른다.

$$S_f = (L_i)^2 / A_i \quad (3)$$

여기서, \$L_i\$은 각 세부 유역에서 하천의 길이이며, \$A_i\$는 각 유역의 면적

세부 유역별 하천의 길이는 유역의 DEM으로부터 산출된 하천의 거리에 해당 유역의 평균경사를 곱하여 산출되며 산출 식은 식 4와 같다.

$$L = L_{di} \cos \theta^{-1} \quad (4)$$

여기서 L_{di} 는 유역에 포함되는 하천의 길이이며, θ 는 유역의 평균 경사

2. 오염 부하량 계산 관련 모듈 개발

Qual2E 모형에 하천으로 유입되는 점오염 부하량을 반영하기 위해 유역 내 산재해 있는 오염배출시설에 대한 방류량, 방류수질, 하천의 방류구 등의 정보가 필요하다. 방류구의 위치가 명확하지 않은 경우, Flow Path 알고리즘을 적용하여 배출시설물의 방류선을 추적할 수 있도록 개발하였다. 배출시설의 방류선 및 방류구가 결정되면 해당 시설의 배출량 등을 사용자로부터 입력받아 방류구의 좌표 및 소구간의 번호 등과 함께 DB에 저장되도록 하였다.

한편, 저장된 점 배출 부하량의 정보를 이용하여 유역의 오염부하량 산출 및 할당 모듈을 개발하여 수질 모의 시 사용자 편의를 도모하고자 하였다. 점 배출 오염부하의 산출 및 할당은 소구간의 속성 정보로 배출량, 배출수질, 해당 시설 명칭 등을 입력하도록 하였고, 비점 배출 오염부하량은 유량과 수질의 실측값이 있는 경우와 실측값이 없는 경우로 나누었다. 하천의 실측 유량 및 수질값이 있는 경우는 일반적인 모형 수행절차와 같이 증분유입으로 오염부하를 반영하였으며 실측값이 없는 경우, 비점 배출 오염부하량의 산출 및 할당은 식(5)와 같이 유역의 형상계수(S_f)와 지체계수(ϕ)로 설명되는 유달함수(배명순, 2003)를 이용하여 산출하였다.

$$K = e^{-S_f \phi} \quad (5)$$

식 (6)과 같이 미계측 유역에서 유달되는 비점 오염부하(P_M)는 유달계수(K)와 유역의 배출 오염부하(P_O)를 곱하여 산출할 수 있다.

$$P_M = P_O \times K \quad (6)$$

유역의 배출 오염부하를 산출하는 과정에서 한 개 이상의 행정구역이 편입되어 있다면 유역의 오염부하량은 식(7)과 같이 행정구역별 비점 배출 오염부하량의 합계와 행정구역별 면적 비를 가중치로 설정하여 산출하도록 하였다. 그림 8은 연계 시스템을 활용하여 대상 유역의 대구간 및 소구간 분할과 배출부하량 및 유달부하량 산출과정을 나타낸 것이다.

$$NP_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{Area(j)}{Area_c} \times P_{GOV}(j) \right) \quad (7)$$

여기서 NP_i 는 소유역의 비점 배출 오염부하량이고 $Area_c$ 는 소유역의 전체 면적, $Area(j)$ 는 소유역의 행정구역별 면적, $PGOV(j)$ 는 행정구역별 배출 오염부하

오염부하량의 할당이 완료되면 소유역별 유량의 추정을 위해 본 연구에서는 하천 시점의 유량을 하천 구간내 변동요소를 고려하여 산출하며(식(8)), 변동요소는 계측지역과 미계측지역의 유량, 취수·방류유량 등을 모두 포함한다(식(9)).

$$Q_{Headwater} = Q_{Downstream} - Q_{Variation} \quad (8)$$

$$Q_{Variation} = Q_{Observed} + Q_{Nonobserved} - Q_{Facility} \quad (9)$$

식(9)에 의해 미계측 유역 유량의 합을 산출할 수 있으며, 산출된 미계측 유역의 유량 합은 식(10)과 같이 미계측 지역의 유역면적으로 나누어 유량 원단위를 산출하고 이를 미계측 유역의 면적과 곱하여 최종 미계측 지역의 유량을 산출하도록 개발하였다.

$$Q_{Unitflow} = Q_{Nonobserved} / \sum Area_{Nonobserved} \quad (10)$$

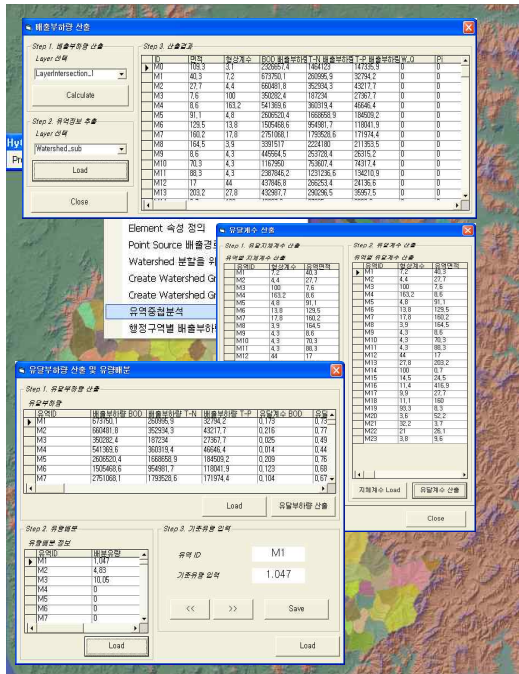


FIGURE 8. Examples of pollution load calculation.

3. 연계 시스템의 적용성 평가

본 연계 시스템의 적용성 평가는 정량적 평가부분인 모의결과 검토와 정성적 평가부분인

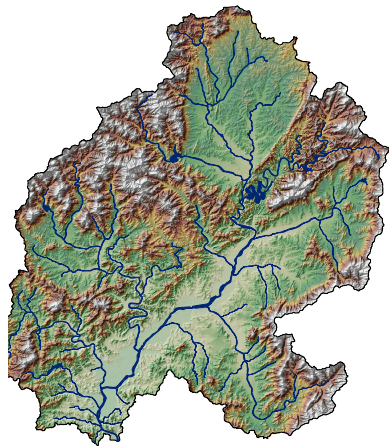


FIGURE 9. Study area

모형 수행 절차의 두 부분으로 나누어 수행하였다. 모의결과 검토는 일반적인 절차에 의한 모의결과와 연계시스템에 의한 모의결과, 실측값을 비교·검토하여 재현력 검증은 통해 수행하였고, 모형 수행절차의 평가는 모의결과 도출에 소요되는 응용프로그램의 수 및 중복작업 가능 여부 등을 지표로 설정하여 수행하였다.

적용성 평가를 선정된 유역은 금강 하류의 미호천 유역으로, 유역면적은 1,855.83km²이며, 15개의 표준유역과 87개의 소유역으로 구성되어 있다. 모의항목은 생물학적 산소요구량(BOD₅)로 설정하였다. 그림 9는 모의대상유역을 나타낸다.

객관적인 분석결과의 취득을 위해 금강수계 오염총량관리기본계획 수립 보고서(충청북도, 2005)에 사용된 시나리오와 분석결과를 활용하였다. 상기 보고서의 모형 구성은 표 3과 같이 21개의 소유역과 64개의 소구간, 6개의 점 배출시설을 고려하였으며, 재현성 검증을 위해 본 연구에서도 동일하게 모형을 구축하였다.

정성적 적용성 평가 결과는 표 3과 같다. 기존 모형에 의한 수행은 약 5개의 프로그램을 운영해야 하므로 동시에 다른 작업을 수행

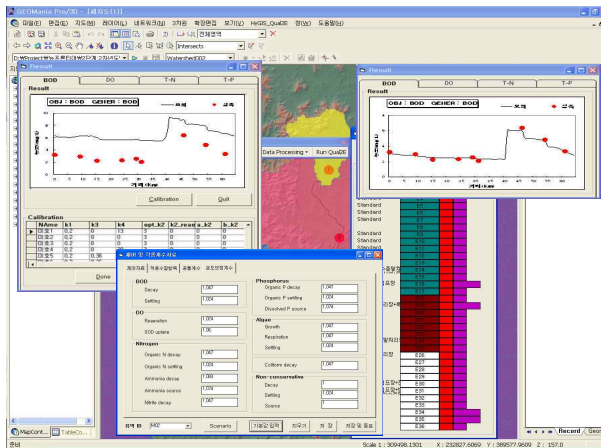


FIGURE 10. Example of simulation results using Hygis-Qual2E

하는 것이 불가능했으며, 별도의 GIS 프로그램의 운용이 필요했다. 또한 문자 편집기를 사용하여 입력파일을 생성하는 과정에서 오타로 인한 모델 구동오류가 약 3회 이상 발생하였다. 반면 연계 시스템을 활용한 모의는 모

형 수행 중 다중 작업이 가능했으며, 1개의 프로그램으로 모의결과를 도출할 수 있었고, 연계 시스템의 조작 외에 다른 프로그램은 필요하지 않았다. 또한 입력 오류로 인한 모형 구동 오류는 발생하지 않았다.

TABLE 3. Qualitative Assessment of HyGIS-Qual2E applicability

Items	Typical Modeling	HyGIS-QUAL2E
Stream Length(Km)	64	
No. of Catchments(EA)	21	
No. of Element(EA)	64	
No. of Point-Source Pollution(EA)	6	
Possibility of multi-tasking	Impossible	Possible
No. of Required programs	more than 5	1
Handling of GIS tools	Required	Not required
No. of error occurrence	more than 3 times	None

TABLE 4. Quantitative assessment of HyGIS-Qual2E

Distance(Km)	1	9	15	24	29	31	46	54	61	RMSE
Observed	3.20	2.92	2.20	2.30	2.52	2.05	6.34	4.79	3.30	-
Typical / HyGIS-Qual2E	3.16	2.88	2.5	2.41	2.5	2.33	5.99	4.8	3.31	0.196
RMSE	0.030	0.028	0.384	0.099	0.206	0.350	0.452	0.110	0.390	-

연계 시스템의 정량적 평가는 RMSE (Root Mean Square Error)를 통해 검토하였다. 산출 식 (11)과 같다.

$$\hat{\sigma} = RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (11)$$

평가결과, 기 수행된 모의결과와 본 연계 시스템을 활용한 모의결과가 소수점 둘째 자리까지 같은 것으로 분석되었다. RMSE는 평균 0.196으로 신뢰할 만한 결과를 나타냈다. 특히 기존에 수행된 Qual2E 모의결과와 본 연구를 통한 모의결과가 같은 것은 기존에 구축된 모형이 GIS 소프트웨어를 이용하여 수행되었고, 기존과 본 연구에서 사용한 지형자료가 동일하기 때문인 것으로 판단된다. 따라

서 본 연계 시스템의 재현력은 기존 모형과 동일한 것으로 판단할 수 있으며, 모형 구축 시간과 요구되는 응용 프로그램의 수가 현저히 적은 본 연계 시스템의 적용성은 우수한 것으로 판단된다.

결 론

본 연구에서는 HyGIS와 1차원 하천수질에 측모형인 Qual2E의 연계 시스템 개발을 목적으로 기존 모형 절차를 구조화하여 세부 기능을 도출하였으며, GIS관련 부분은 GDK를, GUI 등은 Visual basic을 이용하여 모듈기반의 시스템을 구축하였다. 본 연계 시스템은 다양한 응용 프로그램을 이용하여 여러 단계를 거쳐야 했던 각종 공간정보 및 오염부하량,

유량 정보 등의 산출을 하나의 프로그램에서 처리하고 이를 통합된 DB에서 관리함으로써 효율적인 데이터의 관리 및 빠른 모형 구동이 가능하도록 개발하였다. 또한 DB를 공간/비공간 DB로 나누어, 공간정보의 처리는 HyGIS DB를 이용하고, 비공간 정보는 MDB를 이용하여 DB의 활용의 효율성을 기하였다. 아울러 공간 DB와 비공간 DB를 관계형 구성하여 저장된 정보의 효과적인 관리가 가능하도록 개발하였다.

본 연계 시스템의 적용성 평가 결과, 기존 모의 결과와 동일한 재현력을 보이는 것으로 나타났으며, 실측값과의 RMSE는 0.196으로 모의된 결과는 신뢰할 수 있는 것으로 판단된다. 본 연계 시스템을 활용할 경우, GIS 기반의 정보 분석과 표준화된 분석절차로 전술한 모의 결과의 객관성 결여와 효율적인 시간적·금전적인 노력의 활용 문제가 근본적으로 해소될 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 심미적 기능이 강화되도록 UI를 재구성하고 모형의 자동 보정 기법 등을 추가함으로써 사용자 편의성을 극대화하고 모의 결과의 정확도를 높일 수 있는 방안을 검토하여 반영할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원(과제:1-2-2)에 의해 수행되었습니다.

KAGIS

참고문헌

교육과학기술부. 2006. HyGIS 개발-2단계 2차년도 연차평가 보고서. 21세기 프론티어연구개발사업 수자원의 지속적 확보기술개발사업:443-512.

김경탁, 최윤석. 2006. HyGIS와 SWAT의 연계시스템 개발, 한국지리정보학회지 9(3):

136-145.

박인혁. 2007. HyGIS-QUAL2E 시스템 개발 및 적용. 충북대학교 석사학위논문.

배기중. 2002. CE-QUAL-W2 데이터처리 향상을 위한 지리정보시스템 개발. 충북대학교 석사학위논문.

배명순. 2003. 지형정보학을 이용한 오염부하 유출계수 산정. 박사학위논문, 충북대학교.

최연웅. 2001. 하천수질관리를 위한 GIS와 수질모델의 통합에 관한 연구. 전북대학교 석사학위논문.

최연웅, 성동권, 전형섭, 조기성. 2002. GIS 기반의 하천수질관리시스템 구축 및 활용에 관한 연구. 한국GIS학회지 10(2):289-299.

한건연, 김동일, 김경록, 손아룡. 2006. HyGIS 환경 하에서 HEC-HMS/RAS의 통합모의, 대한토목학회 정기학술대회 논문집. 1979-1982쪽

Bian L., H. Sun, C. Blodgett, S. Egbert, W. Li, L. Ran and A. Koussis. 1996. An integrated interface system to couple the SWAT model and Arc/Info. Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. Santa Fe. New Mexico. Jan. 21-25:1-10.

Bo, H. and J. Bin. 2002. AVTOP : a full integration of TOPMODEL into GIS. Environmental Modeling & Software, 17:261-268.

Burrough, P.A. 1996. Opportunities and limitation of GIS-based modeling of solute transport at the regional Scale. In D.L. Corwin and K. Loague(eds.), Applications of GIS to the modeling of non-point source pollutants in the vadose zone. Madison, WI: Special

- SSSA Publications.
- Fedra, K. and D.G. Jamieson. 1996. The 'Waterware' decision-support system for river-basin planning. 2. Planning capability. *Journal of hydrology* 177: 177-198.
- Goodchild, M.F., B.O. Parks. and L.T. Steaert. 1993. *Environmental modeling with GIS*. New York: Oxford University Press.
- Hassan, A.K. and H.H. Benjamin. 1996. Evaluating Strategies for Integrating Environmental Models with GIS : Current Trends and Future Needs. *Comput. Environ. and Urban Systems*, 20(6):413-425.
- Kemp, K.K. 1993. *Environmental modeling with GIS : A strategy for dealing with spatial continuity*. Santa Barbara : National Center for Geographic Information and Analysis. Department of Geography, University of California.
- Maidment, D.R. 2002. Arc Hydro-GIS for Water Water Resource. ESRI:13-32.
- Stuart, N. and C. Stocks. 1993. Hydrological modeling within GIS; An integrated approach. Application of Geographic Information Systmes in hydrology and water resources. IAHS pub. no. 211. Velp, Netherlands: IAHS:. 319-329. KAGIS