

HyGIS와 SWAT의 연계 시스템 개발

김경탁^{1*} · 최윤석¹

Development of Interface System to Couple the SWAT Model and HyGIS *

Kyung-Tak KIM^{1*} · Yun-Seok CHOI¹

요 약

SWAT은 유역의 지형자료와 시계열 자료 및 토지경작과 오염물질의 거동에 관계하는 많은 매개 변수를 포함하고 있으며, 모형의 구동을 위해서는 다양한 공간, 비공간 자료 및 시계열 자료가 요구된다. 지리정보시스템과 SWAT을 연계 운영할 경우 SWAT 구동에 필요한 많은 자료를 데이터 베이스화 하여 이용할 수 있으며, 자료의 생성과 입력 및 구동 결과의 분석까지 일괄적으로 수행할 수 있다. 본 연구에서는 HyGIS와 SWAT 모형의 연계 시스템인 HyGIS-SWAT의 개발을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 HyGIS-SWAT 데이터 모델을 기반으로 하는 시스템의 운영 프로세스를 정립하였으며, 이에 따른 데이터베이스를 설계 및 구축 하였다. 연구결과 HyGIS-SWAT 시범 시스템을 개발하였으며, HyGIS 데이터 모델과 HyGIS-Model의 운영 환경이 HyGIS-SWAT 개발에 효과적으로 이용될 수 있는 것으로 나타났다. 또한 본 연구의 수행 과정에서 축적된 기술은 HyGIS와 다양한 수자원 모형의 연계 시스템을 개발할 때 기반기술로 이용될 수 있을 것이다.

주요어 : HyGIS, SWAT, HyGIS-SWAT, HyGIS-Model, 데이터 모델

ABSTRACT

SWAT includes a lot of parameters related with geography, hydrological time series, land management and water pollution, etc. So, it needs many spatial, non-spatial and time series data to run SWAT. If SWAT is operated in conjunction with GIS, we can use database which includes model input data and do all the processes which covers data creation, model input and analysis of simulation results in a system. The objective of this study is to develop HyGIS-SWAT which is the interface system to couple the SWAT model and HyGIS. To achieve this object, system operation process based on HyGIS-SWAT data model is evaluated and databases are designed and established. As a result, HyGIS-SWAT prototype system is

2006년 7월 10일 접수 Received on July 10, 2006 / 2006년 9월 4일 심사완료 Accepted on September 4, 2006

* 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제:1-2-2)에 의해 수행되었음.

1 한국건설기술연구원 수자원연구부 Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

※ 연락처 E-mail : ktkim1@kict.re.kr

developed. HyGIS data model and HyGIS-Model operation process can be applied effectively to the development of HyGIS-SWAT. The technologies from this study can be used as base technology to develop another HyGIS application which connect HyGIS with models.

KEYWORDS : HyGIS, SWAT, HyGIS-SWAT, HyGIS-Model, Data Model

서 론

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) (Neitsch 등, 2001a)은 미국 농무성 농업연구소 (USDA Agricultural Research Service, ARS)의 Jeff Arnold에 의해 1990년대 초에 개발된 유역모델로서 현재 SWAT2000이 널리 이용되고 있다. SWAT은 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동이 토지관리방법에 미치는 영향을 예측하기 위해 개발되었으며, 이를 위하여 유역의 지형자료와 시계열 자료뿐만 아니라 토지경작과 오염물질의 거동에 관계하는 많은 비공간 데이터를 이용하고 있다 (Neitsch 등, 2001a; 2001b).

본 연구에서는 SWAT을 한국의 실정에 적합하게 이용하기 위하여 한국형 수자원지리정보시스템인 HyGIS(과학기술부, 2004)와 SWAT의 연계 시스템(HyGIS-SWAT)의 개발을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 HyGIS-SWAT의 데이터 모델링을 수행하고, SWAT 모형의 구동을 위한 입력자료의 생성 및 모의 결과의 가시화에 이르는 운영 프로세스를 정립하였다. 또한 HyGIS-SWAT의 개발을 통하여 HyGIS와 HyGIS-Model의 운영 표준의 적용성을 검토하고자 한다.

연구동향

SWAT은 1990년대 초에 USDA ARS (Agricultural Research Service)의 SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins)와 ROTO(Routing Outputs to Outlet)

를 통합하여 개발되었다. SWAT 모형은 최초 개발 후 지속적인 기능 확장이 진행되고 있으며, 국내에서는 SWAT2000이 널리 알려져 있다. 최근에는 검보정 모듈과 박테리아 모의 모듈 등이 포함된 SWAT2005가 개발되었으며(Srinivasan, 2005), 매개변수 검보정 및 민감도 분석에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

최근 국내에서도 SWAT의 기능 확장을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 김남원과 원유승(2004)은 도시지역에서의 유출모의 기능의 개선을 위하여 SWMM 모형과 연계 운영이 가능한 SWAT-SWMM 결합모형을 개발한 바 있으며, 김남원 등(2004)은 3차원 지하수 유동모형인 MODFLOW와 SWAT을 연계 운영할 수 있는 SWAT-MODFLOW 결합모형을 개발하였다. 또한 김남원 등(2005)은 SWAT 모형의 관개용수 및 담수 지역의 수문 성분 해석과 관련된 모듈을 수정하여 논지역의 담수, 관개량 및 관개일정 제어와 담수 논의 수문성분이 유역의 수문성분에 미치는 영향을 평가할 수 있는 SWAT-AGRIMAN (AGRIculture MANagement) 모형을 개발하였다.

SWAT은 모형의 특성상 매우 많은 매개변수를 입력자료로 이용하고 있다. 이에 따라 GIS와 연계 운영할 수 있는 프로그램이 개발되어 실무에 이용되고 있으며, SWAT 구동에 필요한 공간 정보를 자동생성하고, 시계열 자료 및 다양한 비공간 정보는 데이터베이스를 통하여 입력파일을 생성하는 과정을 거치게 된다.

GIS와 SWAT의 연계 프로그램 개발은 1990년대 초 GRASS(Geographic Resources

Analysis and Support System)와의 연계로부터 시작되었으며(Engel 등, 1993; Byars 등, 2000), 1990년대 중반에 들어서는 Arc/Info와의 연계에 대한 연구가 진행되었다. Bian 등(1996)은 Arc/Info와 SWAT의 인터페이스 시스템을 개발하였으며, Zhou와 Fulcher(1997)는 Arc/Info 커버리지로부터 SWAT 구동에 필요한 정보를 추출하고, SWAT과 Arc/Info를 연계 운영할 수 있는 GUI형태의 프로그램을 개발하였다. Luzio 등(2001)은 SWAT과 ArcView를 연계 운영할 수 있는 시스템을 개발하였으며, EPA(U.S. Environmental Protection Agency)(2001)는 BASINS 3.0에서 SWAT과의 연계 시스템을 구축하였다(Luzio 등, 2002). Zapata(2003)는 ArcGIS를 기반으로 하는 수자원 분야에서의 시공간 DB의 통합 운영 모델인 ArcGIS Hydro 데이터 모델을 이용하여 ArcGIS와 SWAT의 연계 시스템을 개발한 바 있다.

쉽게 적용하기 위해서 컴포넌트 형태로 개발된 시스템이다. HyGIS에서는 DEM을 이용하여 유역 및 하천망의 추출과 지형분석이 가능하며, 하천 네트워크를 기반으로 유역의 다양한 정보를 운용할 수 있다(김경탁 등, 2003; 김경탁 등, 2004). 또한 HyGIS는 데이터베이스를 기반으로 운영되며, GIS를 이용한 수자원 분야의 응용프로그램 개발 시 기반 시스템으로 활용될 수 있다.

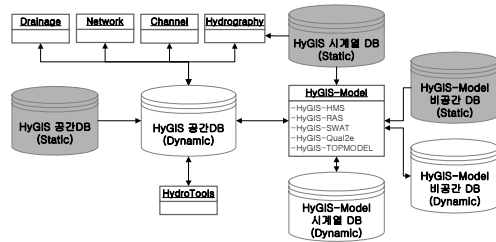


FIGURE 1. HyGIS-Model database operation schema

HyGIS의 개요

HyGIS(Hydro Geographic Information System)는 GIS를 수자원의 다양한 분야에 손

쉽게 적용하기 위해서 컴포넌트 형태로 개발된 시스템이다. HyGIS에서는 DEM을 이용하여 유역 및 하천망의 추출과 지형분석이 가능하며, 하천 네트워크를 기반으로 유역의 다양한 정보를 운용할 수 있다(김경탁 등, 2003; 김경탁 등, 2004). 또한 HyGIS는 데이터베이스를 기반으로 운영되며, GIS를 이용한 수자원 분야의 응용프로그램 개발 시 기반 시스템으로 활용될 수 있다.

TABLE 1. Definition of conceptual database in HyGIS-Model

구분	설명	DB
HyGIS Static 공간 DB	수자원 모형에서 공통적으로 사용할 수 있고, 사용자 임의로 변경될 수 없는 공간 자료	GSS
HyGIS Dynamic 공간 DB	HyGIS Static 공간 DB를 가공하여 생성되는 공간 자료	GSS
HyGIS Static 시계열 DB	수문 혹은 기상관측소에서 관측된 시계열 자료	MDB
HyGIS-Model Dynamic 시계열 DB	HyGIS Static 시계열 DB의 자료를 이용하여 사용자가 가공한 시계열 자료와 HyGIS-Model의 구동결과 중 시계열 형태로 표현 될 수 있는 자료	MDB
HyGIS-Model Static 비공간 DB	HyGIS-Model에서 사용되는 자료 중 공간 자료와 시계열 자료를 제외한 모든 비공간 자료로 사용자 임의로 변경될 수 없는 것	MDB
HyGIS-Model Dynamic 비공간 DB	HyGIS-Model Static 비공간 DB를 이용하여 가공한 비공간 자료와 모형 구동에 필요한 비공간 자료 중 사용자 임의로 가공할 수 있는 것	MDB

수리·수문·수질모형에 필요한 입력자료를 제공하며, 모형 수행결과를 다시 데이터베이스로 저장하여 DB를 기반으로 통합 운영이 가능하도록 설계하였다. HyGIS-Model로는 HyGIS-TOPMODEL이 개발된 바 있으며(김경탁 등, 2004), 다양한 수리, 수문 및 수질모형의 연계에 대한 연구가 진행 중이다(김경탁과 최윤석, 2006).

HyGIS-Model에서는 수자원 분야의 다양한 모형과 GIS 시스템을 데이터베이스를 중심으로 통합 운영할 수 있는 개념을 제공하고 있으며, 그 개략도는 그림 1과 같다. 그림 1에서의 공간 DB는 HyGIS에서 자체적으로 생성하거나 외부의 자료를 불러들여 구축할 수 있다. 시계열 DB와 비공간 DB는 mdb의 형태로써 기 구축된 DB를 이용할 수 있으며, 사용자에게 의해서 편집 혹은 추가될 수 있다. HyGIS-Model에서는 6개의 개념적 데이터베이스를 이용하고 있으며 각각의 설명은 표 1과 같다.

HyGIS 데이터 모델은 현재 미국에서 연구 진행 중인 ArcGIS Hydro 데이터 모델(Maidment, 2002)을 벤치마킹 하여 개발되었으며, 데이터 모델의 객체 및 클래스의 구조와 속성을 국내의 상황에 적합한 형태로 전환하였다(김경탁과 최윤석, 2006). HyGIS 데이터 모델은 공간 DB와 시계열 DB로 구성되어 있으며, 공간 DB는 HYDROID와 REF_HYDROID를 이용하여 하천 네트워크와 유기적인 관계를 유지한다.

그림 2는 표준화된 HyGIS 공간 데이터 모델의 개략도를 나타낸 것이다. HyGIS 공간 데이터 모델은 「Drainage」, 「Channel」, 「Network」, 「Hydrography」의 4개의 그룹으로 크게 분류될 수 있다. 「Drainage」 그룹에서는 배수구역과 배수경로를 나타내는 정보가 포함되며, 「Channel」 그룹에서는 하도의 지형을 나타내는 정보가 포함되어 있다. 또한

「Network」 그룹에서는 하천망을 이용한 네트워크 정보가 포함되며, 「Hydrography」 그룹에서는 유역내의 시설물과 지리적 구분을 위한 정보가 포함되어 있다(과학기술부, 2006).

HyGIS 시계열 DB는 HYDROCODE를 이용하여 공간 데이터 모델의 「Hydrography」와 연계성을 유지하고 있으며, 그림 3은 시계열 데이터베이스의 구성을 나타낸 것이다. HyGIS 시계열 데이터베이스는 「TSData」, 「TSMeta」, 「TSType」의 3개의 테이블로 구성된다. 「TSData」에는 시계열 자료의 값이 해당 시간에 대하여 저장된다. 「TSMeta」에는 「TSData」에서 특정 「TSID」를 가지는 자료에 대한 메타데이터가 포함되어 있으며, 각 필드마다 특정한 제약조건이 있다. 「TSType」에서는 강우량, 수위, 일사량 등과 같은 시계열 자료의 종류와 그에 따른 단위를 정의하고 있으며, 「TSMeta」의 「TSType」 필드와 연결되어 있다. 이와 같이 구성된 3개의 테이블을 이용하여 사용자는 다양한 질의문을 작성할 수 있으며, 그에 따라 필요한 정보를 추출할 수 있다(과학기술부, 2006).

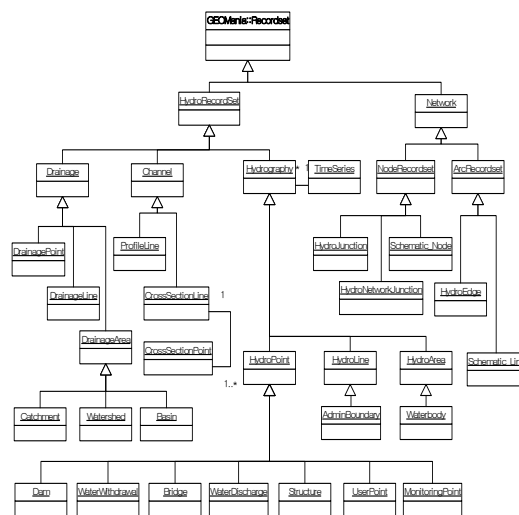


FIGURE 2. HyGIS spatial data model

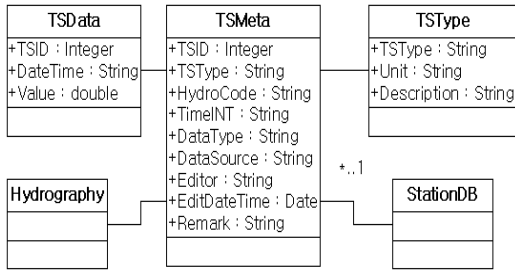


FIGURE 3. HyGIS time series data model

HyGIS-SWAT의 개발 절차

HyGIS-SWAT은 SWAT(Neitsch 등, 2001a)을 HyGIS와 인터페이스 수준에서 연계 운영할 수 있도록 개발된 시스템이다. 이에 따라서 HyGIS-SWAT은 도스용 응용프로그램인 SWAT의 입력자료의 구축과 모의 결과의 처리를 담당하고 있으며, 원시 모형인 SWAT의 실행파일을 호출하고 있다. HyGIS-SWAT의 개발을 위하여 SWAT 모형의 분석과 기존의 GIS와 연계된 SWAT 모형의 시스템을 분석하였으며, 이를 기반으로 HyGIS-SWAT에서 필요로 하는 데이터베이스를 설계하고 구축하였다. HyGIS-SWAT의 공간 데이터 모델, 비공간 데이터 모델, 시계열 데이터 모델은 HyGIS 데이터 모델과 HyGIS-Model의 데이

터베이스 운영 개념을 따르고 있으며, 이에 따라 HyGIS에서 사용되는 시공간 DB를 완전 연계된 형태로 이용할 수 있다.

HyGIS-SWAT의 개발은 GDK(GEOMania Development Kits) 3.0과 Visual Basic 6.0을 이용하였으며, DLL 형태로 GEOMania 3.0 Pro/3D 환경에 add-on 된다. 그림 4는 본 연구에서 적용한 HyGIS-SWAT의 개발 절차를 나타낸 것이다.

HyGIS-SWAT 데이터 모델

1. 공간 DB와 시계열 DB

SWAT에서 필요로 하는 공간 정보는 유역에서의 DEM, 유역 경계, 소유역 경계, 소유역에서의 주하천망, 유출구 및 이러한 정보를 유기적으로 연계하고 있는 네트워크 정보이다(Neitsch 등, 2001a; 2001b). 따라서 HyGIS-SWAT 공간 데이터 모델에서는 HyGIS 데이터 모델에서 제시하고 있는 「DrainageArea」, 「HydroPoint」, 「NetworkJunction」 객체와 주하천망 객체인 「MainStream」을 이용하여 설계하였다. 이때 「DrainageArea」는 HyGIS 데이터 모델에서 제시하고 있는 속성에 HyGIS-SWAT에서 필요로 하는 속성을

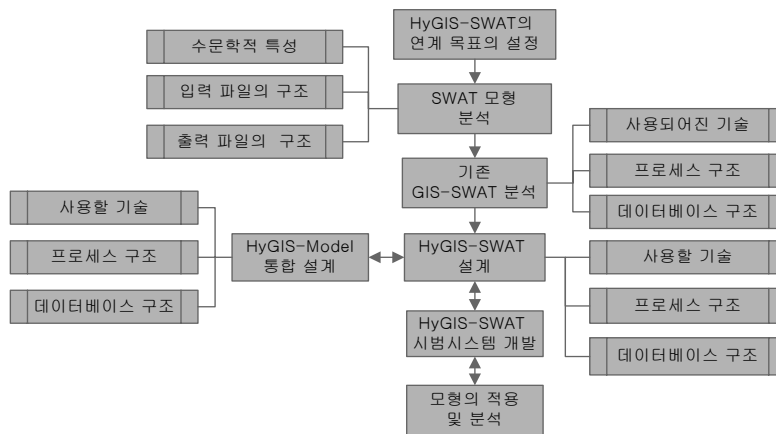


FIGURE 4. The development process of HyGIS-SWAT

추가하였으며, 「MainStream」은 HyGIS 데이터 모델의 항목에는 포함되지 않은 것으로서 HyGIS-SWAT의 개발을 위하여 새로이 추가된 객체이다. 표 2와 표 3은 HyGIS-SWAT에서 정의하고 있는 「DrainageArea」와 「MainStream」의 데이터 명세서를 나타낸 것이며, 표 2에서 아래로부터 7개의 속성은 HyGIS-SWAT을 위하여 추가된 속성을 나타낸 것이다.

TABLE 2. Attributes table of DrainageArea

필드명	설 명	단위
OBJ	Polygon	
OID	일련번호	
HYDROID	고유 식별자	
DRAINID	Watershed 그리드의 값	
HYDROCODE	표준 코드	
NAME	배수구역 이름	
AREA	면적	km ²
P	윤변길이	m
NEXTDOWNID	하류 배수구역의 HYDROID	
REF_HYDROID	유출구의 HYDROID	
SLOPE	평균경사	m/m
ELEV	평균고도	m
SLL	평균 경사 거리	m
MFL	최대유하거리	m
MFS	최대유하거리의 경사	m/m
MFW	최대유하거리의 폭	m
MFD	최대유하거리의 깊이	m

TABLE 3. Attributes table of MainStream

필드명	설 명	단위
OBJ	polyline	
OID	일련번호	
HYDROID	고유 식별자	
DRAINID	MainStream 그리드의 값	
LENGTH	길이	m
SLOPE	Main stream의 경사	m/m
WID	Main stream의 폭	m
DEP	Main stream의 깊이	m
AREAC	하천유입에 기여하는 면적	km ²
ELEV_MIN	Main stream 종점의 고도	m
ELEV_MAX	Main stream 시점의 고도	m
NEXTDOWNID	하류 구간의 HYDROID	

HyGIS-SWAT의 시계열 데이터 모델은 HyGIS 시계열 데이터 모델을 그대로 이용하고 있으며, 「HydroPoint」 객체의 “HYDROCODE” 속성을 이용해서 공간 객체와의 연계성을 유지한다. 그림 5는 HyGIS-SWAT 공간 데이터 모델을 나타낸 것이며, 그림 6은 HyGIS-SWAT 공간 데이터 모델과 HyGIS 시계열 데이터 모델의 관계도를 나타낸 것이다.

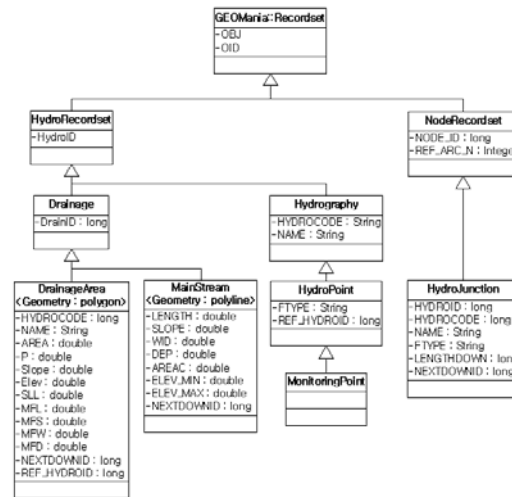


FIGURE 5. HyGIS-SWAT spatial data model

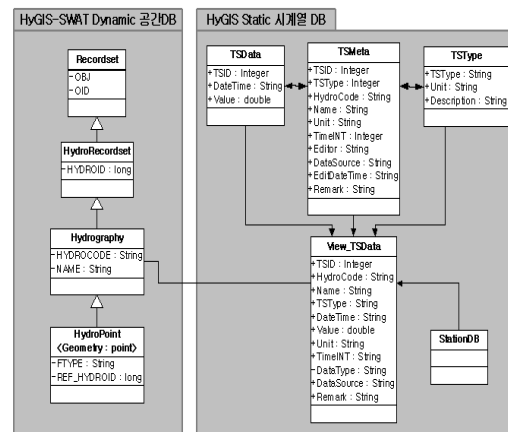


FIGURE 6. The relation between HyGIS-SWAT spatial data model and HyGIS time series data model

2. 비공간 DB

SWAT에서는 공간 자료와 시계열 자료 외에도 많은 비공간 정보를 필요로 한다. 토양, 토지피복, 비료, 농약, 토지경작, 기후특성 등의 비공간 정보는 소유역 혹은 HRU의 특성으로 입력되거나, 기후자료를 자동 생성하는데 중요한 입력자료로 이용되고 있다(Neitsch 등, 2001b). HyGIS-SWAT에서는 이와 같이 다양한 비공간 정보를 데이터베이스화 하여 이용하고 있으며, 각 데이터베이스의 운영은 HyGIS-Model의 데이터베이스 운영 개념을 따르고 있다. 현재 HyGIS-SWAT에서 구현되어 적용되고 있는 Static 비공간 DB와 Dynamic 비공간 DB는 그림 7 및 그림 8과 같다.

HyGIS-SWAT Static DB				
SoilDB	ContDB	UrbanDB	FertDB	PestDB
-SNAME : String -MapType : String -NLAYERS : Integer -HYDGRP : String -SOL_ZMX : Single -NONINDEXL : Single -SOL_CRS : Single -TEXTURE : String -SOL_Z100 : double -SOL_BD(10) : double -SOL_LAW(10) : double -SOL_K(10) : double -SOL_CBN(10) : double -CLAY(10) : double -SILT(10) : double -ROCK(10) : double -SOL_AL(10) : double -USLE_K(10) : double -SOL_EC(10) : double	-FCOM : Integer -CPM1 : Integer -DC : Integer -CROPNAME : String -BIO : Integer -HVTI : Integer -SLA : Integer -FRGRW1 : Integer -LAKES : Integer -FRGRW2 : Integer -LANWC : Integer -SLA : Integer -CHTMX : Integer -RDSC : Integer -T_OPT : Integer +T_BASE : Integer -CNLD : Integer -CPVLD : Integer -BNI : Integer -BNI : Integer -BNI : Integer -BPC : Integer -BPC : Integer -WSVF : Integer -USLE_C : Integer -SS : Integer -VDFR : Integer -FRMAC : Integer -WAVP : Integer -COBI : Integer -BROH : Integer -RSDCO_PL : Integer -CPH : Integer -CNZA : Integer -CNZB : Integer -CNZC : Integer -CNZD : Integer -FERTFIELD : Integer	-LUNDM : Integer -URNAME : String -URBFLNM : String -FCMP : Integer -BIO : Integer -CURBEN : Integer -URBCEFF : Integer -DIRTMC : Integer -TRAF : Integer -TNCONC : Integer -TPCONC : Integer -TNOCNC : Integer -OV_N : Integer -CNZA : Integer -CNZB : Integer -CNZC : Integer -CNZD : Integer	-FRUM : Integer -FRTM : String -FMN : Integer -FMNP : Integer -FORGN : Integer -FORSP : Integer -FMRB : Integer -BACTPB : Integer -BACTLPOB : Integer -BACTDOB : Integer -FERNAME : String -MANURE : String	-IPNUM : Integer -IPNAME : String -SKOC : Integer -WOF : Integer -HLIFE_F : Integer -HLIFE_S : Integer -HDEF : Integer -WSOL : Integer -HBNR : Integer -PESTNAME : String
MutType	NIKSCN	THDB	ManningN	WeatherStationDB
-OPTIOND : Integer -OPTON : String -FULLNAME : String	-CONDITION : Integer -CONDITION : String -CROP : String -COVER : String -HYDROGRPA : Integer -HYDROGRPS : Integer -HYDROGRPC : Integer -HYDROGRPD : Integer	-BNE : Integer -BNE : Integer -BPC : Integer -BPC : Integer -WSVF : Integer -USLE_C : Integer -SS : Integer -VDFR : Integer -FRMAC : Integer -WAVP : Integer -COBI : Integer -BROH : Integer -RSDCO_PL : Integer -CPH : Integer -CNZA : Integer -CNZB : Integer -CNZC : Integer -CNZD : Integer -FERTFIELD : Integer	-ID : Integer -TYPE : String -FLOWCONDITION : String -CONDITION : String -DEFAULT : Integer -MINIMUM : Integer -MAXIMUM : Integer -ORCONDITION : String	-NAME : String -LATITUDE : String -LONGITUDE : String -WLELEV : Single -RAIN_VRS : Integer -TMPM(12) : Single -TMPM(12) : Single -TMPM(12) : Single -PCPM(12) : Single -PCPM(12) : Single -PCPSW(12) : Single -PR_W(12) : Single -PR_W(12) : Single -PCPD(12) : Single -RAINMM(12) : Single -SOLARMM(12) : Single -DEWPT(12) : Single -WINDAR(12) : Single

FIGURE 7. HyGIS-SWAT Static non-spatial DB

HyGIS-SWAT Dynamic mdb					
HRU	CODE_LU	CODE_ST	HRU_FULL	HRU_RESULT	LANDUSE_DEFAULT
Input Tables	TABLESINBSN	TABLESINCHM	TABLESINGW	TABLESINRRI	TABLESINPND
	TABLESINCOO	TABLESINSOL	TABLESINWGN	TABLESINWMO	TABLESINRTE
	TABLESINMG11	TABLESINMG12	TABLESINSMO	TABLESINMUS	TABLESINPP
	TABLESINRCS	TABLESINPP1			
Output Tables	TABLESOUTSR	TABLESOUTRCH	TABLESOUTSUS		

FIGURE 8. HyGIS-SWAT Dynamic non-spatial DB

HyGIS-SWAT의 운영 절차

HyGIS-SWAT은 GEOMania 3.0 Pro/3D의 확장 모듈로서 add-on된 형태로 운영된다. HyGIS에서 구축된 공간 DB를 이용하여 SWAT 모형의 입력 지형인자를 계산하고 있으며, 수문시계열 자료는 HyGIS의 시계열 DB를 이용하고 있다. SWAT에서는 공간 자료와 시계열 자료 외에도 다양한 비공간 자료를 이용하고 있다. 이러한 비공간 정보를 DB기반 시스템에 맞추어 효과적으로 관리 및 사용하기 위하여 HyGIS-SWAT에서는 Static DB를 이용하고 있으며, Static DB에서 모형의 입력자료로 직접 이용되는 자료와 모형의 수행결과는 Dynamic DB를 이용하고 있다.

그림 9는 HyGIS-Model 환경에서 공간 DB 및 시계열 DB와 연계된 자료의 흐름에 대한 개념도를 나타낸 것이며, 시계열 DB는 그래프로 가시화될 수 있다. 그림 10은 HyGIS-SWAT의 운영 절차에 대한 개념도를 나타낸 것이다. 그림 10에서는 HyGIS-SWAT의 수행시 각 단계의 주요 기능과 그에 따라서 사용되는 데이터베이스와의 관계를 나타내고 있다.

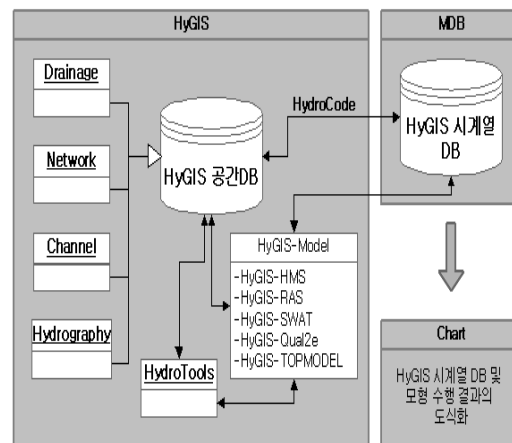


FIGURE 9. HyGIS-Model data flow schema

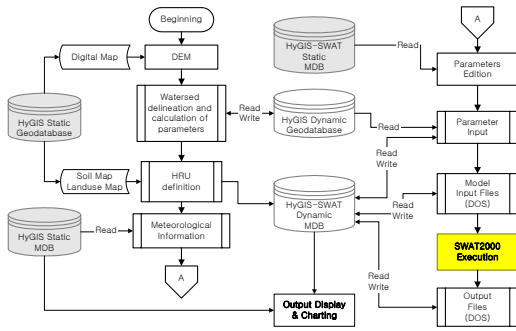


FIGURE 10. HyGIS-SWAT operation

HyGIS-SWAT 시범 시스템 개발

본 연구에서는 전문화된 HyGIS-SWAT 데이터 모델과 HyGIS-SWAT의 운영 개념을 기반으로 시범 시스템을 개발하였다. HyGIS-SWAT에서는 국내 실정에 적합한 형태로 공간 정보를 자동 생성할 수 있으며, 한국의 지역적 특성이 반영된 비공간 DB를 이용하고 있다.

SWAT은 많은 양의 공간 정보, 시계열 자료 및 비공간 정보를 필요로 하고 있다. 특히 다양한 비공간 정보의 경우 이를 모형에 적용하기 위해서는 비공간 정보에 대한 열람, 선택, 편집, 적용 시나리오의 설정, 입력 변수의 적절성 평가, 모형 구동결과의 검

보정 등 복잡한 절차가 필요하다. HyGIS-SWAT에서는 이를 위하여 MDB로 비공간 DB를 구성하였으며, 프로그램의 실행 중에 DB의 열람과 수정 및 입력자료의 편집을 위한 다양한 기능을 제공하고 있다. 모형의 수행결과 또한 MDB로 저장되고 있으며, 사용자는 표와 그래프 및 텍스트 파일로 그 내용을 분석할 수 있다(과학기술부, 2006). 그림 11은 HyGIS-SWAT의 수행 화면 중 HRU 계산을 위한 화면과 SWAT의 수행결과를 표와 그래프로 가시화한 화면을 나타낸 것이다.

본 연구에서 개발된 HyGIS-SWAT과 기존 국내외에서 널리 사용되고 있는 ESRI사의 ArcView 3.x와 연계 운영되고 있는 AVSWAT의 특성을 상대적 측면에서 정성적으로 비교하면 표 4와 같다. 표 4에서는 각 시스템의 특징과 사용하고 있는 자료 형식의 특성을 나타내고 있다. HyGIS-SWAT에서는 국산 GIS엔진인 GEOMania 3.0을 이용하고 있으며, 데이터베이스를 기반으로 운영되고 있으므로 자료의 관리와 분석이 용이하다. 또한 모형의 수행결과를 가시화하기 위하여 차트 전문 모듈인 ChartFX 5.1을 이용하고 있으며, 결과의 다양한 가시화를 통한 분석기능을 강화하였다.

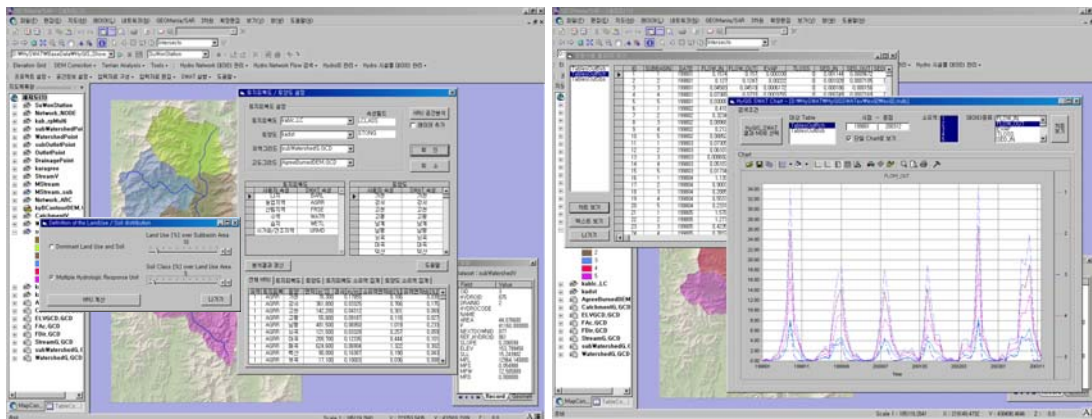


FIGURE 11. HyGIS-SWAT windows - HRU calculation(left), modeling results(right)

TABLE 4. Comparison HyGIS-SWAT with AVSWAT

구 분	AVSWAT	HyGIS-SWAT
GIS 엔진	ArcView 3.x	GEOMania 3.0
공간 자료	벡터파일(shp), 공간 DB(gss), 그리드	그리드
비공간 자료	데이터베이스 파일(dbf)	mdb
입출력 자료 관리	중	상
수행 속도	상	중
HRU 조회 및 분석	하	상
수행결과 조회 및 가시화	중	상

HyGIS-SWAT은 HyGIS 데이터 모델을 근간으로 하여 개발된 시스템이다. 따라서 수행 과정에서 사용되는 모든 자료는 HyGIS-Model 환경에서 운영되고 있으며, 이는 HyGIS의 특성상 하천의 네트워크 정보를 기반으로 유역의 모든 정보가 관리되고 있음을 의미하기도 한다. 또한 HyGIS-Model 환경의 표준을 준수하여 개발되는 HyGIS 응용프로그램은 사용되는 모든 자료를 DB를 기반으로 공유할 수 있기도 하다. 따라서 HyGIS-Model 환경에서는 HyGIS라는 단일 시스템에서 자료의 구축에서 수문, 수리 및 수질 모의와 결과의 분석에 이르는 일련의 과정이 수행 가능하며, 이는 기존에 사용되고 있던 AVSWAT과 차별되는 가장 큰 특징이라고 할 수 있다.

결 론

본 연구에서는 GIS 기반의 수자원 시스템인 HyGIS를 SWAT 모형과 연계 운영할 수 있는 HyGIS-SWAT을 개발하였다. 이 과정에서 HyGIS 데이터 모델과 HyGIS-Model의 운영 표준은 HyGIS를 이용한 응용프로그램 개발에 효과적으로 이용될 수 있는 것으로 나타났다. HyGIS-SWAT은 기존에 사용되던 AVSWAT에 비하여 입출력 자료의 관리와 그래프 기능이 향상되었으며, 입력자료로 사용되는 다양한

비공간 DB와 입력 매개변수의 자동계산 과정을 국내 실정에 맞게 적용할 수 있다. 또한 HyGIS-SWAT은 HyGIS-Model 환경에서 HyGIS와 연계되는 모든 모형과 데이터베이스를 공유할 수 있으며, 모든 자료는 하천의 네트워크 정보와 연계되어 있다.

본 연구에서 개발된 HyGIS-SWAT은 시범 시스템으로 향후의 연구를 통하여 다양한 유역에 대한 적용과 모형 구동 결과의 검증이 필요하다. 또한 사용자 요구분석을 통한 사용자 편의 기능의 추가 및 시스템의 안정성 향상을 통하여 실용적이고 편리한 시스템으로 개발하기 위한 과정이 필요할 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서는 GIS 시스템과 수자원 모형의 연계 시스템을 개발할 때 필요로 하는 일련의 절차를 거치고 있으며, 이러한 과정에서 축적된 기술은 HyGIS와 다양한 수자원 모형의 연계 시스템의 개발 시에 기반기술로 이용될 수 있을 것이다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- 과학기술부. 2004. 시공간자료 활용기술 개발. 21세기 프론티어연구개발사업 수자원의 지속적 확보기술개발사업. 443-512쪽.
- 과학기술부. 2006. HyGIS 개발 - 2단계 2차년도 연차평가 보고서. 21세기 프론티어연구개발사업 수자원의 지속적 확보기술개발사업.
- 김경탁, 김주훈, 최윤석, 박동선. 2003. Network 컴포넌트 기반의 수자원지리정보시스템에 관한 연구. 한국지리정보학회지. 6(4):122-134.
- 김경탁, 최윤석. 2006. HyGIS와 수문모형의 연계 시스템 개발을 위한 데이터 모델링에 관한 연구. 2006년 한국수자원학회 학술발표회 논문집 CD-ROM. 874-878쪽.

- 김경탁, 최윤석, 김주훈. 2004. 하천 네트워크 기반의 유역관리시스템 개발을 위한 프레임워크 공간 DB 구축에 관한 연구. 한국지리정보학회지. 7(2):87-97.
- 김경탁, 최윤석, 장재혁. 2004. HyGIS와 TOPMODEL의 연계에 관한 연구. 한국지리정보학회지. 7(4):155-165.
- 김남원, 신성철, 원유승. 2005. SWAT-AGRIMAN 모형의 개발과 적용. 2005년 한국수자원학회 학술발표회 논문집. 65-69쪽.
- 김남원, 원유승. 2004. SWAT-SWMM 결합모형의 개발 (I)모형의 개발. 한국수자원학회논문집. 37(7):589-598.
- 김남원, 정일문, 원유승. 2004. 완전 연동형 SWAT-MODFLOW 결합모형 (I) 모형의 개발. 한국수자원학회논문집. 37(6):499-507.
- Bian Ling, Hao Sun, Clayton Blodgett, Stephen Egbert, WeiPing Li, LiMei Ran and Antonis 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. pp.1-10.
- Byars, B.W., R. Srinivasan and J.G. Arnold. 2000. SWAT/GRASS Interface Users Manual. pp.5-9.
- Engel, B.A., R. Srinivasan, J.G. Arnold, C. Rewerts, and S.J. Brown. 1993. Nonpoint source (NPS) pollution modeling using models integrated with Geographic Information Systems (GIS). Water Science Technology. 28(3-5):685-690.
- EPA. 2001. Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources - BASINS version 3.0. EPA, USA. pp.1-7.
- Luzio, M.Di., R. Srinivasan and J.G. Arnold. 2001. ArcView Interface for SWAT2000 User's Guide. pp.1-334.
- Luzio, M.Di., R. Srinivasan, and J.G. Arnold. 2002. Integration of watershed tools and SWAT model into BASINS. Journal of American Water Resources Association. 38(4): 1127-1141.
- Maidment, David R. 2002. Arc Hydro - GIS for Water Resources. ESRI. pp.13-32.
- Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry and J.R. Williams. 2001a. Soil and Water Assessment Tools Theoretical Documentation Version 2000. pp.1-26.
- Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry and J.R. Williams. 2001b. Soil and Water Assessment Tools User's Manual Version 2000. pp.1-340.
- Srinivasan, R., 2005. ArcView/SWAT2005 - A Tool for TMDL Development & Assessment. AWRA 2006 Spring Specialty Conference GIS and Water Resources IV. Houston, Texas, May 7-10. pp.1-26.
- Zapata Valenzuela. 2003. Development of an ArcGIS interface and design of a geodatabase for the soil and water assesment tool. Master of Science, Texas A&M University, Houston, Texas, USA. pp.11-13.
- Zhou Yan and Chris Fulcher. 1997. A Watershed Management Tool Using SWAT and ArcInfo. 1997 ESRI International User Conference. San Diego Convention Center, San Diego, California, Jul. 8-11. 