

## 지리정보시스템과 통합된 분포형 강우-유출 모의 시스템 개발\*

최윤석<sup>1\*</sup> · 김경탁<sup>2</sup> · 심명필<sup>3</sup>

## Development of Distributed Rainfall-Runoff Modelling System Integrated with GIS\*

Yun-Seok CHOI<sup>1\*</sup> · Kyung-Tak KIM<sup>2</sup> · Myung-Pil SHIM<sup>3</sup>

### 요 약

지금까지 대부분의 분포형 모형에서는 수문해석을 위한 모형과 지리정보시스템이 파일을 기반으로 자료 호환이 가능하도록 개발되어 왔다. 또한 모형 구동상의 편의성 향상을 위해서 두 시스템을 연계하여 운영할 수 있는 인터페이스 시스템이 개발되기도 하였다. 본 연구에서는 이와 같이 파일 혹은 인터페이스를 이용한 모형의 연계가 아닌 모형과 지리정보시스템이 통합된 모의 시스템을 개발하고자 한다. 본 연구에서는 물리적 기반의 분포형 강우-유출 모형인 GRM(Grid based Rainfall-runoff Model)과 HyGIS(Hydro Geographic Information System)가 하나의 시스템으로 통합된 HyGIS-GRM을 개발하였다. 이를 통해서 입력자료의 구축과 적용의 전 과정을 하나의 시스템에서 수행할 수 있게 되었으며, 분포형 모형의 구동 및 결과의 분석에 대한 효율성을 높일 수 있었다. 또한 지리정보시스템과 분포형 모형의 통합 운영을 위한 절차를 수립함으로써 객관적인 모의환경을 제공할 수 있었으며, 수자원 모형과 지리정보시스템의 통합 시스템 개발을 위한 기반 기술을 확보할 수 있었다.

주요어 : HyGIS-GRM, 분포형 모형, 시스템 통합, 지리정보시스템

### ABSTRACT

Most distributed models have been developed for data interchange between model for hydrological analysis and GIS(Geographic Information System). And some interface systems between them have been developed to operate the model conveniently. This study is about developing integrated system between model and GIS not coupled system based on file

2009년 6월 22일 접수 Received on June 22, 2009 / 2009년 9월 17일 수정 Revised on September 17, 2009 / 2009년 9월 23일 심사완료 Accepted on September 23, 2009

\* 본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제:1-2-3)에 의해 수행되었음.

1 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 Researcher, Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

2 한국건설기술연구원 수자원연구실 책임연구원 Research Fellow, Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

3 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수 Prof., Dept. of Civil Engineering, Inha Univ., Incheon 402-751, Korea

\* 연락처 E-mail : yschoi51@kict.re.kr

interchange or interface system. In this study, HyGIS-GRM which is integrated system between GRM(Grid based Rainfall-runoff Model) which is physically based distributed rainfall-runoff model and HyGIS(Hydro Geographic Information System) have been developed. HyGIS-GRM can carry out all the processes from preparing input data to applying them to model in the same system, and this operation environment can improve the efficiency of running the model and analyzing modeling results. HyGIS-GRM can provide objective modeling environment through establishing the process of integrated operation of GIS and distributed model, and we can obtain fundamental technologies for developing integrated system between GIS and water resources model.

**KEYWORDS** : *HyGIS-GRM, Distributed Model, System Integration, GIS*

## 서론

일반적으로 분포형 모형에서는 많은 양의 지형 및 수문 시계열 자료의 처리를 필요로 하고 있으며, 특히 격자를 기반으로 하는 모형의 경우 일정한 크기의 격자형 지형정보를 필요로 한다. 이와 같은 모형의 지형정보를 구축하기 위해서는 벡터 혹은 그리드 형태의 고도 자료를 이용해서 모형에서 활용 가능한 그리드 형태의 지표면 고도자료를 생성해야 하며, 이를 기반으로 수문학적 지형정보를 생성하고 모형의 입력자료로 활용하게 된다. 이와 같이 분포형 모형의 활용을 위해서는 방대한 자료의 처리를 위한 지리정보시스템의 활용이 필수적이라고 할 수 있다(Pullar와 Springer, 2000).

일반적으로 수문해석을 수행하는 모형과 모형의 입력자료 생성을 위한 지리정보시스템은 각각의 독립된 시스템으로 존재하고 있으며 이와 같이 독립된 두 개 이상의 시스템을 연계 운영하기 위해서는 “Interchange”, “Interface” 혹은 “Integration” 방법을 적용할 수 있다(한국건설기술연구원, 2007). 복잡한 지형분석을 필요로 하는 모형에서는 대부분의 경우 지리정보시스템에 의해서 전처리된 지형정보 중 일부를 추출하거나, 레이어를 모형에서 인식 가능한 파일 형식으로 변환한 후 이를 모형의 입력자료로 활용하고 있다. 이와 같은 연계 운

영방법은 “Interchange” 방법이라고 할 수 있다. “Interchange” 방법에서는 각각의 시스템의 연계를 위한 별도의 프로그램 개발이 필요하지 않고 단지 각 시스템의 매개가 되는 입출력 파일의 포맷을 일치시키는 과정이 필요하며, 가장 단순한 연계 방법이라고 할 수 있다.

“Interface” 방법에서는 각 시스템의 상호 작용의 효율성을 높이고, 사용자의 편의성을 증대시키기 위해 시스템 간의 연계 운영을 위한 사용자 인터페이스를 제공하는 방법이다. ArcSWAT(Winchell 등, 2008) 및 HEC-GeoHMS(HEC, 2003) 등은 수문 모형과 지리정보시스템을 연계 운영하기 위한 인터페이스 시스템이라고 할 수 있으며, 최현상과 한건연(2004)은 분포형 강우-유출 모형과 지리정보시스템의 인터페이스 시스템을 개발한 바 있다. 이와 같은 단일 모형의 구동을 위한 인터페이스 시스템 외에 WMS(EMRL, 2004) 및 HyGIS-Model 시스템(한국건설기술연구원, 2007)에서는 여러 가지 모형을 동일한 인터페이스를 통해서 구동할 수 있는 환경을 제공하기도 한다.

이와 같은 인터페이스 시스템에서는 지리정보시스템과 모형의 각 부분이 폐쇄적이며, 각 시스템의 효율성 향상을 위한 상호간의 간섭이 불가능하다. 또한 두 시스템의 매개가 되는 모형의 입력파일을 생성하는 과정이 필요하며, 두 시스템 중 하나가 바뀔 경우 이를 연결하고 있는 인터페이스 시스템도 변경되어야 한

다는 단점을 가지고 있다.

“Interchange”와 “Interface” 방법의 개념을 기반으로 한 다양한 coupling 방법(Brandmeyer와 Karimi, 2000)과는 달리 “Integration” 방법은 두 가지 이상의 시스템을 하나의 시스템으로 통합하는 것을 의미한다. 통합된 하나의 시스템은 각 시스템이 가지고 있던 기능과 특징은 유지하되, 사용자 인터페이스와 내부적인 자료의 포맷 및 흐름에 대한 구분이 없이 상호간에 완전 연동되어 구동하게 된다. “Integration” 방법에 의해서 지리정보시스템과 모형이 통합된 시스템을 개발하기 위해서는 지리정보시스템에서 제공하는 GIS 응용프로그램 개발 도구 및 이와 호환할 수 있는 프로그램 개발 언어를 사용하여야 하며, 이를 통해서 두 시스템을 기능을 모두 구현할 수 있다.

지리정보시스템과 모형이 통합될 경우 기존의 모형에 지리정보시스템의 기능이 추가되므로, 분석의 기능만을 가지는 모형에 비하여 소스코드의 양이 늘어나고 복잡해지는 단점이 있다. 그러나 이와 같은 통합 시스템에서는 모형의 수정이 곧 전체 시스템의 수정을 의미하게 되므로 시스템의 유지관리 및 개선이 용이하다는 장점을 가지게 된다. 또한 모형의 입력자료 생성을 위한 추가적인 파일변환을 필요로 하지 않으며, 입력자료가 모의과정에서 미치는 영향과 모의결과를 다양한 지형공간 자료와 손쉽게 직관적으로 분석함으로써 모형의 적용 및 분석에 대한 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 “Integration” 방법의 개념을 기반으로 하여 물리적 기반의 분포형 강우-유출 모형인 GRM(Grid based Rainfall-runoff Model)(최윤석 등, 2008a)과 HyGIS(한국건설기술연구원, 2007)가 통합된 HyGIS-GRM을 개발하였으며, HyGIS-GRM의 개발 과정과 시스템의 특징을 기술하고자 한다. 또한 이를 통해서 지리정보시스템과 통합된 분포형 모형의 설계 및 개발 과정을 고찰하고, 개발된 모의

시스템의 운영에 대한 효율성과 시스템적 특성을 평가하고자 한다.

## HyGIS의 개요

HyGIS는 수자원의 다양한 분야에서 GIS를 손쉽게 활용하기 위해서 한국건설기술연구원 에서 개발된 수자원 지리정보시스템이다. HyGIS는 GEOMania GIS를 기반으로 수자원에서 필요로 하는 다양한 지표면 분석 기능과 공간 데이터 구축 기능을 추가하였으며, 이를 수리, 수문, 수질 및 유역관리 분야에서 손쉽게 활용할 수 있는 사용자 환경과 데이터베이스를 제공하고 있다(한국건설기술연구원, 2007).

HyGIS는 컴포넌트 형태로 개발된 시스템이며, 공간, 비공간 및 시계열 데이터베이스를 기반으로 운영된다. 따라서 HyGIS는 GIS를 이용한 수자원 분야의 응용프로그램을 개발하고자 할 때 기반 시스템으로 활용될 수 있으며, 이와 같은 응용프로그램을 총칭하여 HyGIS-Model이라고 한다.

HyGIS-Model에서는 수자원 분야의 다양한 모형과 HyGIS를 데이터베이스를 중심으로 통합 운영할 수 있는 개념을 제공하고 있으며, 그림 1에서는 HyGIS-Model 시스템에서의 데이터베이스의 관계를 나타낸 것이다. 그림 1에서 Static 데이터베이스는 시스템 내에서 정적인 데이터베이스로서 사용자에게 의한 수정 및 편집의 대상이 아니며, 국가적 차원에서 제공되는 지형 혹은 수문자료의 원본이 포함될 수 있다. Dynamic 데이터베이스는 시스템 내에서 동적으로 변경되는 데이터베이스로서 Static 데이터베이스의 자료를 가공한 자료 혹은 사용자에게 의해서 생성된 자료를 저장하고 있으며, DEM 분석에 의해서 생성된 지형자료, 모형에 적용된 매개변수, 모의결과 등이 포함될 수 있다.

이와 같은 HyGIS-Model 환경에서 개발된 HyGIS-SWAT(김경탁과 최윤석, 2006), HyGIS-

TOPMODEL(김경탁 등, 2004), HyGIS-HMS와 HyGIS-RAS(한건연 등, 2007) 및 HyGIS-QUAL2E(박인혁, 2006)는 지리정보시스템과 수문, 수리, 수질 모형을 연계 운영하기 위한 인터페이스 시스템이라고 할 수 있다.

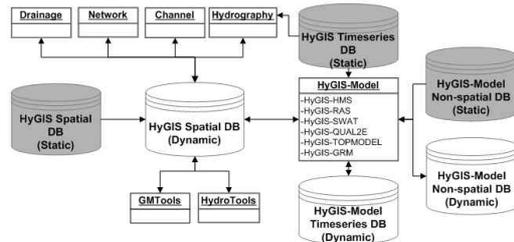


FIGURE 1. HyGIS-Model 환경에서의 데이터베이스 관계도(한국건설기술연구원, 2007)

### GRM 모형의 개요

GRM 모형은 단일 호우사상에 대한 강우-유출 현상을 모의하기 위한 물리적 기반의 분포형 모형이다. 강우에 의한 지표면 유출, 하도 유출, 침투, 지표하 유출을 모의하고 있으며, 유역에서의 저수지 효과, 댐 운영에 의한 유량 조절 및 모의기간 동안의 유출량의 배제 혹은 추가 등을 모의할 수 있다. GRM 모형은 격자 기반의 완전 분포형 모형으로, 격자 형태의 분포형 지형자료와 시계열 수문자료를 입력자료로 활용하고 있다.

#### 1. 지배방정식

GRM에서는 지표면 흐름과 하도 흐름의 홍수추적을 위해서 1차원 운동과 방정식을 이용하고 있으며, 각각에 대한 연속방정식은 식(1) 및 식(2)와 같다. 운동량방정식은 식(3)을 적용하고 있으며, 식(4)의 Manning의 식을 통해서 유속을 계산하게 된다. 또한 침투의 해석을 위해서는 Green-Ampt 모형을 이용하고 있으며, 지표하 유출은 Beven(1981)에 의해서 제안된 운동과 모형을 기반으로 하는 지표하 유출의

해석 방법을 채택하고 있다. GRM에서는 유한체적법을 이용해서 지배방정식을 이산화하고 있으며, 시간 차원에 대해서는 음해법을 적용하고 있다(최윤석 등, 2008a).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = Pr - IFr \tag{1}$$

$$\frac{\partial A_x}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = Prdy + q_L \tag{2}$$

$$S_0 = S_f \tag{3}$$

$$u = \frac{R^{2/3} S_0^{1/2}}{n} \tag{4}$$

여기서  $q$  : 단위폭당 유량(= $uh$ ),  $h$  : 수심,  $u$  : 유속,  $A_x$  :  $x$  방향에 직각인 단면적,  $Q$  : 유량,  $q_L$  : 측방유입량,  $S_0$  : 바닥 경사,  $S_f$  : 마찰경사,  $Pr$  : 강우강도,  $IFr$  : 침투율,  $t$  : 시간,  $n$  : 조도계수,  $R$  : 동수반경

#### 2. 격자 네트워크 해석

GRM에서는 강우-유출의 해석을 위해서 1차원 운동과 방정식을 이용하고 있으며, 지배방정식의 해석을 위해서 유한체적법을 적용하고 있다. GRM은 격자를 기반으로 하는 분포형 모형으로 유한체적법으로 이산화한 검사체적은 격자를 기본 단위로 하고 있다. 또한 1차원 운동과 방정식을 사용하고 있기 때문에 모든 흐름은 하류의 단일 방향으로만 발생하는 것으로 가정하며, 경사가 “0”이거나 상류 방향으로의 흐름은 해석하지 않는다. 따라서 GRM 모형에서는 D8-method(O’Callaghan과 Mark, 1984)에 의해서 생성된 단방향 흐름정보를 이용해서 이산화 방정식을 해석하기 위한 1차원 격자 네트워크 정보를 생성하게 된다(최윤석 등, 2008b).

이와 같은 흐름정보를 생성하기 위해서는 DEM에 존재하는 sink와 flat area와 같은 오류가 제거되어야 하며, 이러한 과정은 HyGIS와 같이 DEM 전처리 기능을 가지고 있는 프

로그래를 이용할 수 있다(김경탁과 최윤석, 2005). GRM에서는 오류가 제거된 DEM을 이용해서 추출된 흐름방향, 흐름누적수, 유역경계 그리드 레이어를 직접 입력자료로 활용하고 있으며, 이를 이용해서 모의대상 영역에 대한 1차원 격자 네트워크 해석을 수행하게 된다.

### 3. 모형의 입력자료

HyGIS에서는 수자원 분야에서 필요로 하는 그리드 및 벡터 형태의 다양한 수문학적 공간 정보를 생성할 수 있으며, GRM에서는 HyGIS를 통해서 생성된 그리드 형태의 지형 레이어와 분포형 강우 시계열 레이어를 자료변환 없이 그대로 이용하여 유출모의를 수행한다. GRM 모형에서 필요로 하는 분포형 입력자료는 표 1과 같다.

TABLE 1. GRM 모형의 입력자료

레이어	용도
유역경계	모의 영역 설정
경사	각 격자의 경사 획득
흐름방향	격자 네트워크 구성 및 해석
흐름누적수	격자 네트워크 해석, 하폭산정, 하도에서의 유량 초기조건 산정
하천망	하도 흐름 모의를 적용할 격자 선정
하폭(선택)	모든 하천망 격자에 대해서 사용자 지정 하폭을 적용(필수자료 아님)
토성	침투 모의를 위한 Green-Ampt 매개변수 설정
토심	포화초과유출을 모의하기 위한 유효 토심 설정
토지피복	지표면 조도계수와 불투수율 매개변수 설정
강우	지형 자료와 동일한 크기의 격자로 구성된 분포형 강우 적용

표 1에서 유역경계, 흐름방향, 흐름누적수, 하천망 그리드 레이어는 HyGIS를 이용해서 자동으로 생성할 수 있다. 토성과 토심 레이어는 정밀도양도를 이용해서 생성할 수 있으며

(농업기술연구소, 1992), 토지피복 레이어는 환경부의 토지피복도를 이용할 수 있다. GRM 모형에서는 유역의 평균강우와 분포형 강우를 선택해서 적용할 수 있으며, 분포형 강우를 적용할 경우에는 강우관측소에서 관측된 지점강우를 공간보간 하거나, 레이더 혹은 수치예보 자료를 이용해서 생성된 분포형 강우 시계열 레이어를 적용할 수 있다.

## 통합 시스템 개발

본 연구에서는 HyGIS와 GRM 모형을 통합함으로써 지리정보시스템과 통합된 분포형 강우-유출 모의 시스템인 HyGIS-GRM을 개발하고자 한다. 지리정보시스템과 모형이 통합된 시스템을 개발하기 위해서는 지리정보시스템에서 제공하는 GIS 응용프로그램 개발 도구 및 이와 호환할 수 있는 프로그램 개발 언어를 사용하여야 한다.

HyGIS-GRM은 GEOMania GIS의 개발 도구인 GDK(GEOMania Development Kits)와 Visual studio 2008의 Visual Basic .NET을 이용하여 개발하였으며, GEOMania의 범용GIS 도구인 GMMMap 환경에 dll형태로 add-on 되어 운영할 수 있다. 이를 통해서 HyGIS-GRM은 GEOMania GIS에서 제공되는 모든 자료를 포맷 변환 없이 그대로 이용할 수 있으며, HyGIS-Model 환경에서 제공되는 공간, 비공간, 시계열 데이터베이스를 직접 참조할 수 있다.

### 1. 개발 방법

HyGIS-GRM은 GDK와 Visual Basic .NET으로 개발되었다. GDK는 HyGIS-GRM에서 주로 이용하고 있는 그리드 레이어의 정보를 획득하고, 지도 정보를 처리하는 과정에 적용되었으며, Visual Basic .NET은 GUI 개발 및 검사체적 정보 생성, 유출해석 등 시스템 전반에 걸쳐 기본 언어로 사용되었다. 그림 2는 HyGIS-GRM의 개발 절차를 나타낸 것이며,

그림 3은 HyGIS-GRM의 add-on 메뉴 및 구동 화면을 나타낸 것이다.

HyGIS-GRM은 범용적인 GIS 기능을 손쉽게 활용하고, HyGIS와 직접 연계하여 운영할 수 있게 하기 위해서 HyGIS와 같이 GMMMap의 add-on으로 개발하였다. GMMMap의 add-on으로 개발된 HyGIS-GRM은 GMMMap에서 메뉴 바 혹은 풀다운 메뉴로 사용할 수 있으며, 데이터의 생성, 조회 및 모형 구동의 진과정을 동일한 환경에서 수행할 수 있다.

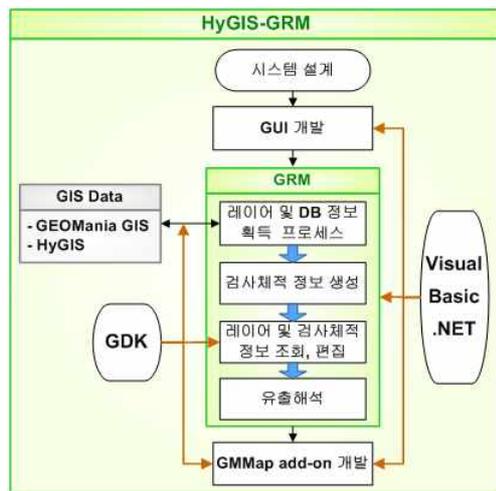


FIGURE 2. HyGIS-GRM의 개발 방법

## 2. 공간 데이터 모델

HyGIS-GRM은 GEOMania의 gcd 형식의 그리드 데이터를 입력자료로 이용하고 있으며, HyGIS-GRM의 그리드 데이터 모델은 그림 4와 같다. Gcd 데이터는 GEOMania3D에서 파생된 클래스이다. HyGIS의 Drainage 모듈에서는 gcd 형식으로 생성된 DEM을 이용해서 다양한 수문학적 지형정보를 생성하고 있으며, 이 과정에서 HyGIS-GRM에 직접 이용되는 유역, 경사, 흐름방향, 흐름누적수, 하천망 그리드 레이어를 생성할 수 있다. 또한 하폭, 토성, 토양심, 토지피복 및 강우 레이어 또한 gcd 형식의 그리드 데이터를 사용하고 있다.

HyGIS-GRM에서는 텍스트로 된 유역 평균 강우와 공간 분포된 강우 그리드 레이어를 선택해서 적용할 수 있다. 이때 분포형 강우 그리드 레이어는 강우관측소에서 관측된 지점강우를 공간보간 하거나 레이더 혹은 수치예보자료 등과 같은 자료를 이용하여 강우 그리드 시계열 자료를 생성하게 된다. 이때 텍스트 형식의 유역평균 강우량 혹은 강우관측소의 지점강우는 사용자에게 의해서 작성된 텍스트 파일을 이용하거나, HyGIS의 시계열 데이터베이스를 참조하여 얻을 수 있다.

## 3. 시계열 및 비공간 데이터 모델

HyGIS-GRM은 mdb 형식의 HyGIS 시계열 데이터베이스(한국건설기술연구원, 2007)를 직접 참조하고 있으며, 따라서 HyGIS-GRM의 시계열 데이터 모델로 HyGIS의 시계열 데이터 모델을 그대로 이용하고 있다. HyGIS-GRM에서는 HyGIS 시계열 데이터베이스를 참조하기 위하여 HYDROCODE를 식별자로 이용하고 있으며, 동일한 HYDROCODE를 가지는 시계열 자료가 여러 개가 있을 경우 이 중 하나를 선택하고, 원하는 기간에 대한 시계열 자료를 추출하게 된다.

HyGIS-GRM의 비공간 데이터베이스는 그림

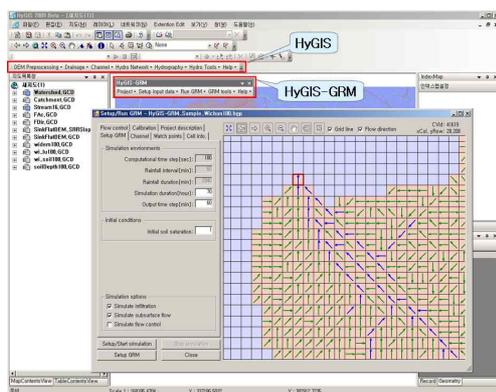


FIGURE 3. HyGIS-GRM add-on 및 구동 화면

5에서와 같이 Static 데이터베이스와 Dynamic 데이터베이스로 구분되며, mdb를 이용하고 있다. Static 데이터베이스는 HyGIS-GRM 모형에서 이용되는 토양과 토지피복에 대한 매개변수의 기본 값을 저장하고 있으며, 이는 모형의 구동과정에서 참조된다. Dynamic 데이터베이스는 프로젝트 단위로 운영되는 HyGIS-GRM의 프로젝트 mdb 파일로서 모형의 구동환경, 사용되는 자료, 매개변수 및 모의결과를 저장하고 있다.

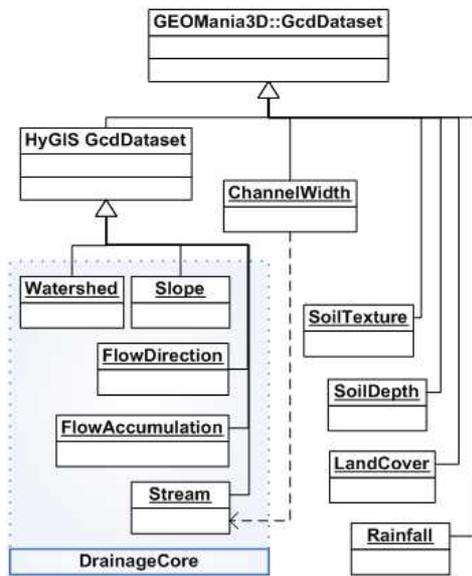


FIGURE 4. HyGIS-GRM 그리드 데이터 모델

HyGIS-GRM Non-spatial database				
Static	GreenAmptSoilParameter	SoilDepthParameter	LandCoverParameter	
Dynamic	LandCover	SoilDepth	FlowControlData	WatchPoints
	GreenAmptParameter	Rainfall	FlowControlGrid	UserChannelWidth
Output group	OutputDischarge	RainfallWPGGrid	TimeSeriesDataSummary	ChartingItem
	OutputDepth	RainfallWPGMean	ObservedData	ProjectInfo

FIGURE 5. HyGIS-GRM 비공간 데이터베이스

#### 4. 입력자료 생성 프로세스

HyGIS-GRM은 GEOMania의 gcd 형식의 그리드 데이터를 이용하고 있으며, DEM, 토양도 및 토지피복도를 이용해서 생성된 지형 자료와 강우 그리드 레이어를 입력자료로 이용한다. DEM의 분석을 통해서 생성하는 유역, 경사, 흐름방향, 흐름누적수, 하천망 레이어는 HyGIS의 “DEM Preprocessing”과 “Drainage” 모듈을 이용하여 생성할 수 있다. 토양도 및 토지피복도를 이용해서 생성하는 토성, 토양심, 토지피복 레이어는 GMTTools(한국건설기술연구원, 2007)에서 제공하는 그리드 생성, 편집 기능을 이용해서 생성한다. 또한 하천망 그리드 레이어의 모든 하천 격자에 대해서 실측된 하폭을 적용하고자 할 경우에는 GMTTools를 이용해서 하폭 레이어를 직접 생성할 수 있다. GEOMania 외의 다른 GIS 응용프로그램을 이용해서 생성된 그리드 자료는 GMMMap 혹은 GMTTools에서 제공하는 파일변환 도구를 이용해서 gcd 형식으로 전환한 후 이를 모형에 적용할 수 있다. 이와 같은 지형공간 그리드 레이어를 생성하는 방법은 그림 6과 같다.

GRMTools에서는 다양한 시계열 자료를 GRM에서 직접 이용할 수 있는 분포형 강우 그리드 레이어로 생성하는 기능을 포함하고 있다. 따라서 GRMTools를 이용해서 강우관측소의 지점 강우를 공간보간 하거나 레이더 및 수치예보자료 등으로부터 강우 그리드 레이어를 생성할 수 있다. 또한 GRMTools에서는 HyGIS의 시계열 데이터베이스를 직접 참조하고 있으며, 이를 통해서 시계열 데이터베이스를 검색하여 원하는 강우관측소에 대한 시계열 자료를 추출하고, 이를 이용해서 분포형 강우 그리드 레이어를 자동으로 생성할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 그림 7은 이와 같은 강우 시계열 그리드 레이어를 생성하기 위한 HyGIS 시계열 데이터베이스와 GRMTools의 관계를 나타낸 것이다.

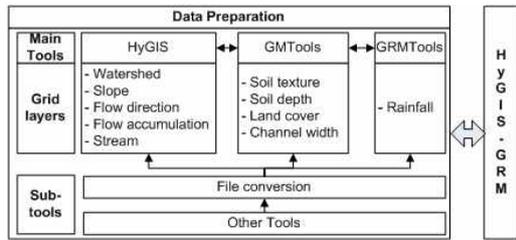


FIGURE 6. 입력자료 생성

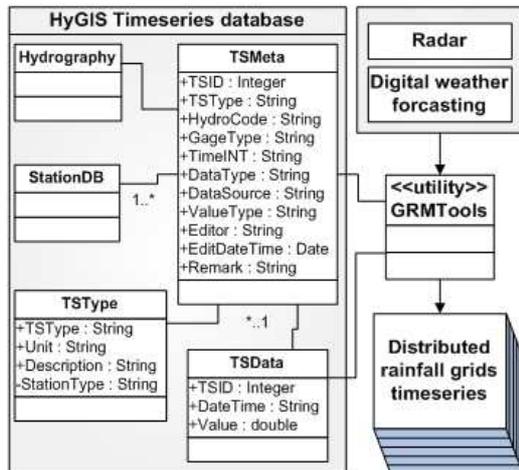


FIGURE 7. 강우 시계열 레이어 생성

### 5. 시스템 개발

HyGIS-GRM은 (주)지오매니아의 범용 GIS 툴인 GMap의 add-on으로 개발하였다. GMap은 지도, 좌표계, 파일 변환, 공간 데이터베이스, 렌더링 등 범용적인 GIS 기능을 포함하고 있으며, HyGIS와 GMTools 등과 같은 add-on 모듈을 이용해서 수문학적 지형정보 생성 도구와 다양한 데이터 처리 도구를 함께 운영할 수 있다. 본 연구에서 개발된 HyGIS-GRM은 GMap 환경에서 add-on 하여 운영하며, 이에 따라서 범용적인 GIS 기능 뿐만 아니라 HyGIS-GRM 외의 다른 add-on 에서 제공하는 기능을 함께 이용할 수 있다. 본 연구를 통해서 개발한 HyGIS-GRM은

GMap에서 풀다운 메뉴 혹은 메뉴바로 add-on 되며, 그림 8은 메뉴바로 add-on 된 HyGIS-GRM의 세부 메뉴를 나타낸 것이다.

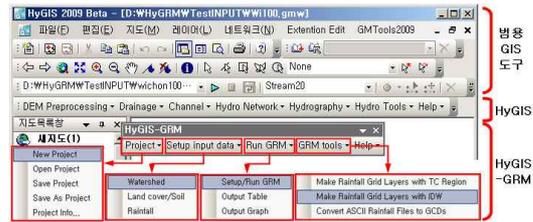


FIGURE 8. HyGIS-GRM add-on의 메뉴 구성

HyGIS-GRM은 이와 같은 구동 환경에서 HyGIS에서 제공하고 있는 공간, 비공간, 시계열 데이터베이스 및 HyGIS-GRM의 Static 및 Dynamic 데이터베이스와 동적으로 연동하면서 운영할 수 있으며, HyGIS-GRM에서의 데이터베이스의 관계 및 데이터의 흐름은 그림 9와 같다. 시계열 자료의 설정 및 공간자료의 생성을 위해서는 HyGIS의 시계열 및 공간데이터베이스를 참조할 수 있으며, GRM 모형의 매개변수 설정을 위해서는 HyGIS-GRM의 Static 데이터베이스를 참조한다. 그림 9에서 GRM 모형은 Static 데이터베이스로부터 획득한 자료를 이용하여 Dynamic 데이터베이스를 생성하며, 모형의 구동 과정에서 Dynamic 데이터베이스와 유기적으로 자료를 교환하면서 프로젝트 단위로 운영된다.

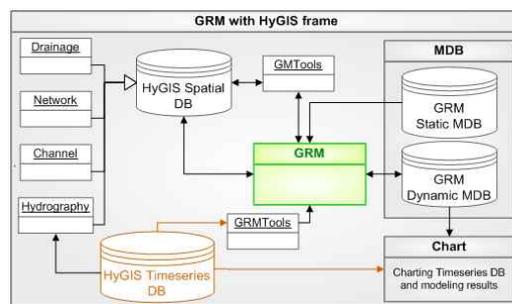


FIGURE 9. HyGIS-GRM의 데이터 흐름

## 시스템의 운영

### 1. 시스템 운영 절차

HyGIS-GRM은 프로젝트 단위로 운영된다. HyGIS-GRM 모형을 구동하기 위한 입력자료가 준비되면, 사용자는 새 프로젝트를 생성하고, 순차적으로 메뉴를 실행하면서 모형을 구동한다. 이때 새 프로젝트가 생성되면, 프로젝트 파일(.hgp)과 프로젝트 데이터베이스(Dynamic mdb)가 생성되며, 모형의 구동 과정에서 설정된 모든 정보가 저장된다. 모형의 구동 과정에서는 입력자료로 준비된 그리드 레이어를 선택함으로써 지형자료 및 강우 그리드 레이어를 설정하고, 사용자에게 의한 모형 매개변수 설정과정을 거친 후 유출모의를 수행한다. 모의결과는 사용자에게 의해서 지정된 지점에 대한 유량과 수심, 강우 등을 출력하고 있으며, 프로젝트 mdb와 텍스트 파일로 저장된다. 모의결과는 실측된 수심 혹은 유량자료와 함께 표와 그래프로 조회할 수 있으며, 각각에 대한 수문곡선의 통계적 특성 값을 제시한다. 이와 같은 시스템 운영은 그림 10과 같고, 세부적인 사용방법은 한국건설기술연구원 등(2009)을 참고할 수 있다.

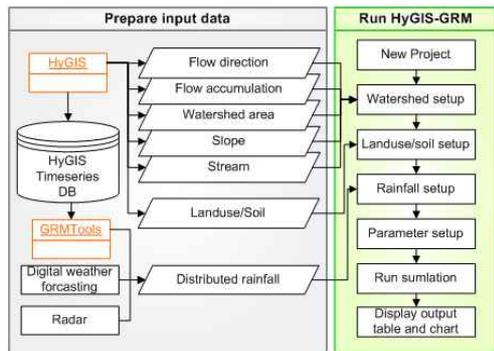


FIGURE 10. HyGIS-GRM의 운영 흐름도

### 2. 모형설정 및 구동

지형 및 강우 레이어를 설정한 다음에는 유출 모의를 수행하기 위한 GRM 모형의 구동환경 및

매개변수의 설정 과정이 필요하다. HyGIS-GRM에서는 지형과 토양, 토지피복 및 강우에 대한 매개변수는 레이어의 선택과 함께 자동으로 설정하며, 자동 설정된 매개변수의 수정 혹은 사용자에게 의한 매개변수 설정을 위해서 그림 11과 같은 사용자 인터페이스를 제공한다. 또한 HyGIS-GRM은 GIMap 환경에서 다양한 지도 정보를 비교 분석할 수 있을 뿐만 아니라, 그림 11을 통해서 모의 대상 영역에 포함된 각각의 격자에 설정된 검사체적 정보를 조회하거나 편집할 수 있다.

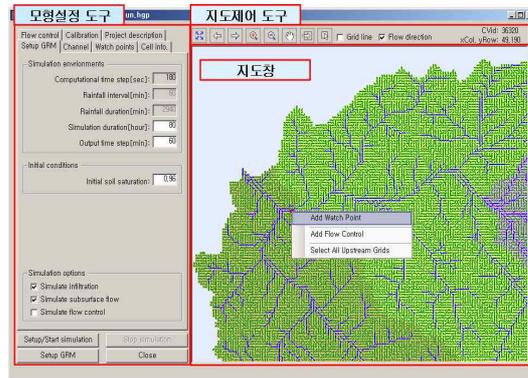


FIGURE 11. 모형 매개변수 설정 및 구동

#### 2.1 지도창

유역 레이어를 이용해서 모의 대상 영역의 지도를 표시한다. 흐름방향과 격자 구분선을 표시하며, 지표면 흐름에서는 초록색, 하도 흐름에서는 파란색으로 흐름방향을 나타내고 있다. 또한 선택된 격자를 모의결과의 출력 대상인 watch point 혹은 흐름의 제어정보를 설정할 수 있는 flow control 격자로 추가할 수 있다.

#### 2.2 지도제어 도구

지도창에서 표시된 유역 레이어의 세부적인 조회를 위해서 지도의 확대, 축소, 이동, 특정 위치 찾기, 흐름방향 및 격자 구분선 표시 선택, 격자의 위치 및 검사체적 번호 검색 등의 지도제어 기능을 제공하고 있다.

TABLE 2. HyGIS-GRM 모형설정 도구

구분	내용
Setup GRM	계산 시간간격, 모의기간, 출력 시간간격, 초기포화도, 모의 옵션 설정
Channel	하도의 조도계수, 최소경사, 하도형태, 하폭 계산방법 설정 및 하폭편집
Flow control	저수지 혹은 댐에 의한 흐름 조절, inlet에 의한 유역 분할 모의, sink 혹은 source flow에 의한 유량의 추가 혹은 배제, 저수지 운영 등의 모의 조건 설정
Cell info.	선택된 격자에 대한 모형 매개변수 조회
Calibration	토양, 토지피복 매개변수의 일괄 보정을 위한 보정계수 설정
Watch points	유출모의 수행결과를 출력할 격자의 선택 및 각 watch point 별 유량 초기조건 설정
Project description	모형에 적용된 지형자료 및 현재 프로젝트에 대한 사용자 설명 작성
Setup GRM	현재까지 설정된 매개변수를 검사체적 정보로 업데이트
Setup/Start simulation	현재까지 설정된 매개변수를 검사체적 정보로 업데이트하고, 유출모의 시작

### 2.3 모형설정 도구

모형설정 도구에서는 유출모의를 위한 사용자 지정 환경변수와 모형의 초기조건, 하도 매개변수, 흐름제어 조건, 매개변수 보정, 모의 옵션 등에 대한 매개변수를 설정하고, 유출모의를 위한 검사체적의 정보와 GRM 모형의 구동환경을 최종적으로 설정한 후 유출모의를 수행한다. 모형설정 도구에서 제공하고 있는 주요한 기능은 표 2와 같다.

### 2.4 모의결과

HyGIS-GRM의 주요 모의결과는 사용자에 의해 지정된 watch point 격자에 대한 유량, 수심, 격자강우, 상류격자 평균강우 및 flow control 자료이며, 텍스트 파일과 프로젝트 mdb에 저장된다. HyGIS-GRM은 이와 같은 모의결과를 실측자료와 함께 조회 및 분석하기 위해서 표와 그래프를 제공하고 있으며, 모의결과와 실측자료의 통계적 특성을 함께 조회할 수 있다.

모의결과의 조회를 위한 표와 그래프에서는 현재의 프로젝트뿐만 아니라, 모의결과가 저장되어 있는 다른 HyGIS-GRM Dynamic mdb를 조회할 수 있으며, 사용자에게 의한 그래프 형식의 변경 및 다수의 watch point에 대한 결과를 하나 혹은 여러 개의 그래프로 표시하는 등 편리한 결과분석 도구를 제공하고 있다. 그림 12와 그림 13은 낙동강의 위천 유역에 대해서 HyGIS-GRM을 적용한 결과를 이용한 그래프와 표를 사례로 나타낸 것이다.

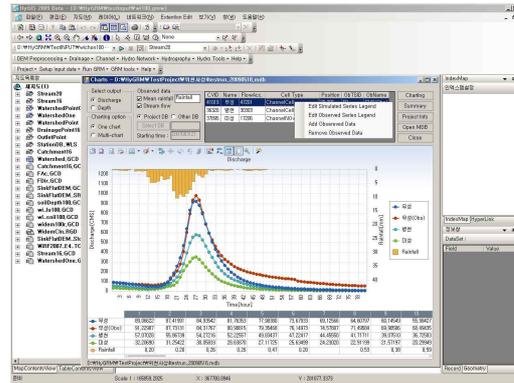


FIGURE 12. 유출모의 결과 그래프

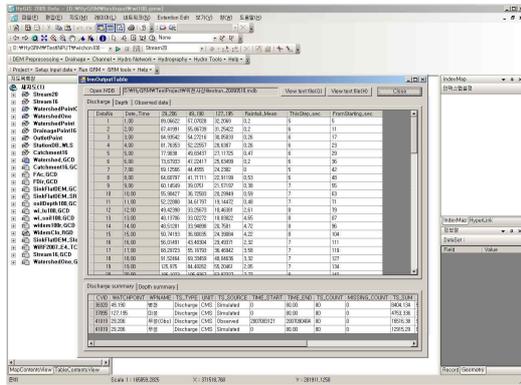


FIGURE 13. 유출모의 결과 표

### 결론

본 연구에서는 물리적 기반의 분포형 강우-유출 모형인 GRM과 지리정보시스템이 통합된 HyGIS-GRM을 개발하였다. HyGIS-GRM은 GEOMania GIS의 범용 툴인 GMMMap의 add-on으로 구동되며, 이에 따라서 GMMMap 및 HyGIS, GMTTools 등에서 제공하는 다양한 공간정보 생성, 분석 및 관리 기능을 함께 이용할 수 있다. 또한 자료의 구축과 모형의 구동을 동일한 환경에서 일관된 사용자 인터페이스를 이용해서 수행함으로써, 분포형 모형의 구동을 위한 객관적인 모의환경을 구축할 수 있었다.

지리정보시스템과 연계 운영하기 위한 인터페이스 시스템을 가지고 있던 기존의 모형에서는 모형과 지리정보시스템 중 어느 한곳의 인터페이스가 변경 될 경우, 두 시스템을 연계하기 위한 인터페이스 시스템도 변경되어야만 한다. 그러나 HyGIS-GRM은 지리정보시스템과 통합된 모형으로 지리정보시스템 혹은 모형의 변경이 곧 HyGIS-GRM의 변경을 의미하므로, 모형의 개선과 관리가 손쉽게 이루어질 수 있다.

HyGIS-GRM은 gcd 형식의 그리드 레이어를 자료변환 없이 직접 이용하고 있으며, 이에 따라서 지리정보시스템과 연계된 기존의 모형에서 요구되었던 모형의 입력자료 생성을 위

한 파일변환의 과정이 필요 없게 되었다. 또한 지리정보시스템의 자료를 직접 접근해서 참조함으로써 모형 구동의 전처리 과정을 간략화할 수 있으며, 모형의 수행과정 및 모의결과와의 분석 과정에서 손쉽게 다양한 지리정보 레이어와 종합적으로 분석할 수 있다.

HyGIS-GRM은 HyGIS에서 제공되는 하천 네트워크 기반의 공간, 비공간, 시계열 데이터베이스를 직접 참조할 수 있다. 이에 따라서 HyGIS에서 제공되는 다양한 데이터베이스를 이용해서 손쉽게 모형의 입력자료를 구축하고 모의결과를 분석할 수 있을 뿐만 아니라, HyGIS-Model 환경에서 구동되는 다른 모형들과의 연계분석이 가능해 짐으로써, 동일한 문제에 대해 다각적인 분석을 수행할 수 있는 환경을 제공할 수 있다.

HyGIS-GRM의 Dynamic 데이터베이스는 모형구동의 전 과정에 대한 정보를 포함하고 있으며, 이를 이용해서 과거의 모의결과에 대한 재현 및 분석이 용이하다. 또한 HyGIS-GRM 외의 다른 시스템에서 HyGIS-GRM의 데이터베이스를 접근할 경우 HyGIS-GRM의 모의결과를 손쉽게 참조할 수 있는 표준화된 데이터베이스를 제공함으로써 데이터베이스를 기반으로 하는 통합시스템 구축시 손쉽게 다른 시스템과 통합될 수 있는 환경을 제공하고 있다.

GRM 모형은 격자를 기반으로 하는 분포형 모형으로서 그리드 형식의 자료를 직관적인 환경에서 분석하고, 이를 모형에 적용하며, 모의결과를 다양한 지형자료와 함께 종합적으로 분석할 수 있는 환경이 절실히 요구된다. 이러한 상황에서 HyGIS-GRM은 지리정보시스템과 모형이 통합된 시스템으로 격자를 기반으로 하는 분포형 모형을 운영하기 위한 효과적인 환경을 제공할 수 있었다. 또한 본 연구를 통해서 획득한 기술들은 향후 지리정보시스템과 수자원 모형이 통합된 시스템을 개발할 때 참고할 수 있는 기반 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제:1-2-3)에 의해 수행되었습니다. **KAGIS**

## 참고 문헌

- 김경탁, 최윤석. 2005. DEM에서의 sink와 flat area 처리 알고리즘에 대한 비교 검토. 한국지리정보학회지 8(4):91-101.
- 김경탁, 최윤석. 2006. HyGIS와 SWAT의 연계 시스템 개발. 한국지리정보학회지 9(3):136-145.
- 김경탁, 최윤석, 장재혁. 2004. HyGIS와 TOPMODEL의 연계에 관한 연구. 한국지리정보학회지 7(4):155-165.
- 농업기술연구소. 1992. 증보 한국토양총설. 토양조사자료 13. 농촌진흥청. 283-290쪽.
- 박인혁. 2006. HyGIS-QUAL2E 시스템 개발 및 적용. 충북대학교 대학원 석사학위논문.
- 최윤석, 김경탁, 이진희. 2008a. 유한체적법을 이용한 격자기반의 분포형 강우-유출 모형 개발. 한국수자원학회 논문집 41(9): 895-905.
- 최윤석, 이진희, 김경탁. 2008b. 분포형 강우-유출 모의를 위한 격자 네트워크 해석. 한국수자원학회논문집 41(11):1123-1133.
- 최현상, 한건연. 2004. GIS와 불확실도 해석기법을 이용한 분포형 강우-유출 모형의 개발(I) - 이론 및 모형의 개발. 한국수자원학회논문집 37(4):329-339.
- 한건연, 김병현, 손아롱, 김태형. 2007. HyGIS-RAS모형 및 HyGIS-HMS모형의 개발. 2007년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집. 1342-1347쪽.
- 한국건설기술연구원. 2007. HyGIS 개발. 과학기술부. 126-128쪽.
- 한국건설기술연구원, (주)지오매니아, (주)로커스 솔루션. 2009. HyGIS Tutorial - 제5·6회 HyGIS Workshop 실습. 184-194쪽.
- Beven, K. 1981. Kinematic subsurface stormflow. Water Resources Research. 17(5):1419-1424.
- Brandmeyer, J.E. and H.A. Karimi. 2000. Coupling methodologies for environmental models. Environmental Modelling & Software 15:479-488.
- Choi, Y.S. and K.T. Kim. 2008. Introduction to grid based distributed rainfall-runoff model with HyGIS frame. Papers and Proceedings of the Geographic Information Systems Association. Tokyo, Japan, Dec. 23, 2008. Vol. 17, pp.217-220.
- Environmental Modeling Research Laboratory(EMRL). 2004. Watershed Modeling System - WMS 7.1 Tutorials. Brigham Young University-Environmental Modeling Research Laboratory.
- O'Callaghan, J.F. and D.M. Mark. 1984. The extraction of drainage networks from digital elevation data. Computer vision, graphics, and image processing 28:324-344.
- Pullar, D. and D. Springer. 2000. Towards integrating GIS and catchment models. Environmental Modelling & Software 15:451-459.
- Winchell, M., R. Srinivasan, M. Di Luzio, and J. Arnold. 2008. ArcSWAT 2.1 Interface for SWAT2005 - User's Guide.
- Hydrologic Engineering Center(HEC). 2003. Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC-GeoHMS - User's Manual. U.S. Army Corps of Engineering Center. **KAGIS**