

## HyGIS와 TOPMODEL의 연계에 관한 연구\*

김경탁<sup>1\*</sup> · 최윤석<sup>1</sup> · 장재혁<sup>2</sup>

### A Study on Coupling TOPMODEL with HyGIS

Kyung Tak KIM<sup>1\*</sup> · Yun Seok CHOI<sup>1</sup> · Jae Hyeok JANG<sup>2</sup>

#### 요 약

유역의 수자원 분석을 위해서는 대상 유역의 특성 및 목적에 적합한 모형을 사용하여야 한다. 그러나 적합한 모형이 사용된다고 하더라도 사용되는 자료의 객관성과 타당성이 낮을 경우에는 기대하는 결과를 도출하기 어렵다. 따라서 선정된 모형의 입력자료와 이를 바탕으로 추정된 매개변수의 결정이 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 수문모형의 입력자료인 유역의 시간자료와 공간자료를 구축하고 이를 대상유역의 기준자료로 선정하여 HyGIS(hydrological geographic information system)의 시·공간DB에 저장하였다. 또한 TOPMODEL을 HyGIS와 연계시킴으로서 저장된 DB로부터 모형 구동에 필요한 시·공간자료를 손쉽게 사용할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 시스템은 TOPMODEL에서 필요로 하는 시·공간 자료를 HyGIS의 DB로부터 입력하며, 매개변수를 결정하기 위해서는 유전자 알고리즘을 사용하였다. 연구결과 HyGIS의 시·공간DB는 TOPMODEL의 입력자료를 구성하고 매개변수를 추정하는데 효과적으로 사용될 수 있는 것으로 나타났으며, 향후 다양한 수자원 분석모형과 연계될 경우에도 적합하게 적용될 수 있는 가능성을 제시하였다.

**주요어 :** 시공간DB, 수문모형, HyGIS, TOPMODEL

#### ABSTRACT

Hydrological model which is proper to watershed characteristics and analysis purpose must be used when we analyze water resources. But, although proper model is used, if objectivity and reasonability of data is low it is difficult to get good results from the model. So it is very important to decide the data which is used in selected model and estimate parameters by using the applied data. In this study, temporal and spatial data was constructed as standard data of test site and stored in HyGIS (Hydrologic

2004년 6월 15일 접수 Recieved on June 15, 2004 / 2004년 12월 11일 심사완료 Accepted on December 11, 2004

\* 이 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제:1-2-2)에 의해 수행되었음

<sup>1</sup> 한국건설기술연구원 수자원연구부 Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

<sup>2</sup> (주)한국종합기술개발공사 수자원부 Water Resources Division, Korea Engineering Consultants Corp

\* 연락처자 E-mail : ktkim1@kict.re.kr

al Geographic Information System) DB. A system which extracts temporal and spatial data required to run hydrological model from HyGIS DB by connecting TOPMODEL with HyGIS was developed. In this system, we can extract temporal and spatial data which is needed to run TOPMODEL from HyGIS DB and estimate model parameters by using genetic algorithm. We found that HyGIS and the system connected with TOPMODEL was effective to make temporal and spatial data used in TOPMODEL and estimate model parameters. From this study, we suggested the possibility that HyGIS could be applied properly to another hydrological model, too.

**KEYWORDS : Temporal and Spatial DB, Hydrological model, HyGIS, TOPMODEL**

## 서 론

수자원분야에서는 다양한 모형을 이용해서 유역의 수문현상을 분석하고 예측한다. 이때 각 수자원 모형에서 필요로 하는 공간자료와 시간 자료는 여러 가지 형태를 가지고 있으며, 이로부터 추출되어서 적용되는 매개변수 또한 각 모형에 따라서 다르다. 현재까지 이러한 모형에 필요한 공간자료 및 시간자료는 모형을 사용하는 주체에 따라서 각각 다르게 구축되어서 적용되었으며, 이에 대한 표준화된 자료가 없는 실정이다. 따라서 특정유역에 대하여 표준화된 공간자료와 시간자료가 DB로 저장되어서 관리되어 진다면, 사용자들은 이 자료를 이용함으로써 모형 구동시 사용되는 시공간 자료의 구축 시 소요되는 시간과 비용을 절약할 수 있을 뿐만 아니라 자료의 객관성을 확보할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 수자원 공간자료 생성 및 수자원 시스템 개발 모듈인 HyGIS(hydrological geographic information system)를 이용하여 공간자료를 생성하였다. 또한 HyGIS에서는 유역 내의 주요시설물을 하천 Network과 연계해서 시스템화하고 있으며, 각 시설물들의 시계열자료를 시간DB로 저장하고 관리할 수 있다. 본 연구에서는 HyGIS에 의해서 구축되어진 유역의 시·공간DB가 수자원 분석모형에 효과적으로 적용될 수 있는지를 검토하기 위하여 시범적으로 TOPMODEL을 이용하였다. 이를 위하여

GDK(GEOMania Development Kits) v3.0과 Visual Basic 6.0을 이용해서 TOPMODEL을 재구현 하였으며, 이를 HyGIS-TOPMODEL 이라고 명명하였다. HyGIS-TOPMODEL에서는 TOPMODEL의 구동시 필요한 모든 시계열자료 및 공간자료를 HyGIS의 시·공간DB로부터 입력받고, 모형의 매개변수를 결정하기 위하여 유전자 알고리즘을 이용하고 있다.

본 연구에서는 유역단위의 수자원시스템을 구축할 때 기준자료로 사용될 수 있는 시·공간DB를 구축하고 이를 TOPMODEL의 입력자료로 이용하였다. 이를 통하여 수자원시스템에서 적용되어야 할 시·공간DB의 구축방안과 구축된 시·공간DB와 수문모형의 연계방안에 대하여 검토하고자 한다.

## 연구동향

수자원분야에 적용하기 위한 공간DB의 구축에 대한 국내의 대표적인 사업으로는 건설교통부와 한국수자원공사(1999)에 의해서 수행된 ‘하천지도데이터베이스 구축사업’과 ‘하천관리 지리정보시스템(RIMGIS)시범 구축사업’이 있다. 이 사업에서는 하천대장 및 문자정보를 전산화하고 이를 DB화하였으며, RIMGIS를 시범적으로 구축하였다. 이러한 성과를 바탕으로 건설교통부와 한국수자원공사(2001)는 하천관리 지리정보시스템(RIMGIS)에 대한 연구를 발전

시켜 국가하천 전체에 대하여 적용하기 위해 운영DB의 구축 및 프로그램 확장을 수행하였다. 유역의 시간자료의 관리에 대한 연구로는 물 관련 기관을 대상으로 산재되어 있는 물 정보를 과학적이고 체계적으로 정리하여 DB를 공동으로 활용할 수 있는 시스템인 수자원관리종합정보시스템(WAMIS)의 개발에 대한 사업이 1998년 이후에 한국수자원공사에 의해서 수행 중에 있다. 또한 김경탁 등(2002)은 수자원지리정보시스템의 구축을 위한 데이터모델의 개발에 대한 연구를 수행한 바 있으며, 김경탁 등(2003, 2004)은 수자원지리정보시스템의 구축을 위한 framework 데이터의 설정 및 구축에 대하여 연구를 수행한 바 있다. 외국의 경우 수자원분야의 시·공간DB의 구축 및 활용에 대한 연구로 Maidment(2001)는 ArcGIS Hydro Data Model을 개발하였다. 이는 ESRI의 ArcGIS의 확장 컴포넌트로 구현되는 Arc Hydro Tools(Maidment, 2002)에 적용되었으며, 최근 들어 ArcGIS Hydro Data Model과 Arc Hydro Tools를 이용한 유역의 시·공간DB와 다양한 수자원 분석모형과의 연계에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

TOPMODEL은 유역수문현상에 대한 물리적 해석기법과 분산형 모형의 개념을 토대로 Beven과 Kirkby(1979)에 의해 개발된 강우-유출 모형이다. TOPMODEL은 처음 개발된 이후 유럽과 미국 등 여러 나라에서 다양한 주제를 가지고 적용되고 있으며, 최근 들어 수자원분야에서 DEM의 사용이 일반화되면서 TOPMODEL에 대한 연구 및 적용이 늘어가고 있다. 유전자알고리즘(genetic algorithm; GA)은 미지수 함수의 최적해를 발견하는 모의진화(simulation evolution)형 탐색 알고리즘의 성격을 가지고 있으며, Goldberg(1989)에 의해 체계적인 방법으로 구체화되기 시작하여 최적화 문제에 적용되고 있다. 국내에서는 박봉진 등(1997)은 저류함수모형의 매개변수 추정에 유전자알고리즘을 적용한 바 있으며, 김성태(1999)는 하천의 수질에

측을 위하여 유전자알고리즘을 적용한 바 있다. 또한 장재혁(2002)은 TOPMODEL을 이용하여 유출량을 산정할 때 매개변수의 추정을 위하여 유전자 알고리즘을 적용한 바 있다.

## 이론

### 1. TOPMODEL

TOPMODEL에서 유출은 지표면 유출과 지표하 유출로 구분된다. 지표면 유출을 발생시키는 유출기구는 크게 침투초과유출과 포화초과유출로 구분할 수 있다. 침투초과유출은 강우가 토양의 침투율보다 커서 발생하는 지표면 유출을 나타낸 것이고, 포화초과유출은 강우가 완전히 포화된 토양의 지표면에 내리거나, 토양을 포화시킴으로써 지하수위가 지표면에 도달함으로 인하여 발생하는 직접유출과 조기지표하유출로 구성된다(Beven 등, 1995).

포화초과유출에 기여하는 면적을 포화기여면적이라고 하며, 유역의 지형 및 지표하의 수문학적 특성 그리고 유역의 습윤상태에 의해 제어된다. 유역의 습윤상태는 유입과 유출의 상대적인 균형의 함수로서 시간에 따라 변한다. 이러한 개념은 변동유출 기여면적의 이론으로서 TOPMODEL의 기본적인 개념의 토대를 이루고 있으며, 그림 1은 TOPMODEL의 유출구조를 도식적으로 표시한 것이다.

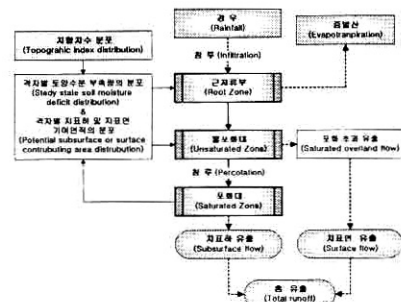


FIGURE 1. TOPMODEL의 유출구성도

TOPMODEL의 입력자료는 크게 수문자료, 지형자료, 매개변수로 나누어진다. 수문자료는 강우량, 증발산량, 관측유량이며, 지형자료는 유역의 DEM을 입력하며 이를 이용하여 지형지수를 계산하게 된다. 본 연구에서는 대상유역의 수문자료와 DEM을 HyGIS의 시간DB 및 공간DB에서 입력받아 사용하게 된다. 일반적으로 TOPMODEL을 구동할 때 가장 문제가 되는 것이 모형의 매개변수를 결정하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 사용자가 손쉽게 모형의 매개변수를 결정할 수 있도록 하기 위해 유전자 알고리즘을 이용하는 매개변수 결정 모듈을 개발하였다. TOPMODEL의 매개변수의 종류와 본 연구에서 적용한 범위는 표 1과 같다.

## 2. 유전자 알고리즘

강우-유출 모형이 실제의 유출현상을 제대로 모의하기 위해서는 모형의 매개변수들을 합리적으로 추정하는 것이 필수적이다. 매개변수는 이론적으로 계산할 수 없는 미지의 값들이며 실측된 강우-유출 자료로부터 가능한 정확하고 신뢰성이 있도록 추정하여야 한다(장재혁, 2002). 매개변수를 추정하기 위한 방법은 크게 수동검정방법과 자동검정방법으로 나눌 수 있다. 수동검정방법은 각각의 매개변수들을 직접 변화시켜가며 실제 유출현상과 가깝게 되도록 반복하는 방법으로 많은 시간과 노력이 필요하게 되며 객관성을 얻기 힘든 방법이다. 이에 비해 자동검

정방법은 목적함수와 최적화 알고리즘에 따라 매개변수를 추정하는 방법으로 검정시간이 짧고, 모형 예측값의 신뢰도가 높은 방법이다. 본 연구에서는 TOPMODEL의 매개변수 추정을 위하여 자동검정 방법인 유전자 알고리즘(genetic algorithms ; GA)을 이용하였다.

일반적인 유전자 알고리즘의 진화과정은 그림 2와 같다.

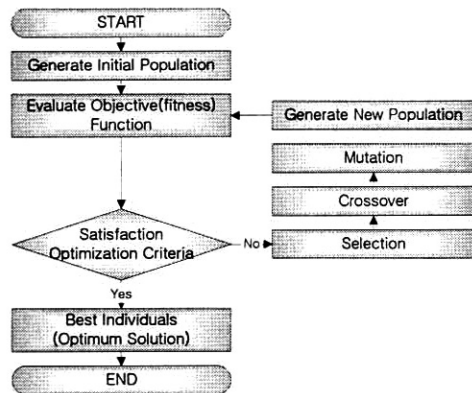


FIGURE 2. 단순 유전자 알고리즘 흐름도

그림 2와 같이 초기화 단계로 주어진 탐색공간에서 초기집단을 무작위로 생성하며, 이를 각각의 개체에 대한 적합도 평가를 수행한다. 각각의 개체에 대한 적합도가 결정되면, 그것을 기반으로 선택하여 교배 재생시키는 작업을 수행하게 된다. 선택 교차를 수행할 개체의 쌍이

TABLE 1. TOPMODEL의 매개변수(2002, 장재혁)

매개변수	내용	상한치	하한치	단위
m	지수함수형 저류매개변수	0.0001	0.1	m
T <sub>0</sub>	지표면 토양의 투수량계수	0.01	100.0	m <sup>2</sup> /hr
T <sub>d</sub>	불포화대 지체시간	0.01	100.0	hr
CHV	주하천에서의 유속	-	-	m/hr
RV	지표유출 유속	1000	10000	m/hr
SR <sub>max</sub>	근저류부의 최대 저류가능량	0.0001	0.1	m
Q <sub>0</sub>	초기유출량	-	-	m/hr
SR <sub>0</sub>	근저류부의 초기 저류부족량	0.00001	0.1	m

결정되었다면 염색체의 교배연산을 수행하여 부모의 유전자를 복제하고 돌연변이를 추가로 수행하여 새로운 세대의 개체집단을 생성한다. 이렇게 생성된 개체에 대하여 주어진 수렴조건이 만족여부를 판단하여 부적합할 경우 적합도 평가 단계에서부터 마지막 단계까지 수렴조건이 만족될 경우까지 계속 반복 수행하게 된다. 유전자 알고리즘에 의한 모형 매개변수 최적화 과정은 전달함수인 목적함수에 의해 크게 좌우되며, 본 연구에서는 표 2와 같은 8개의 목적함수를 적용하였다. 표 2에서  $f_s$  는 목적함수,  $OQ_i$  는 관측유량,  $SQ_i$ 는 모의유량,  $N$ 은 시간간격의 수를 나타낸 것이다.

## 시·공간DB 구축

### 1. 공간DB 구축

본 연구에서는 수자원 공간자료 생성 및 수자원 시스템 개발 모듈인 HyGIS(hydrological geographic information system)를 이용하여 공간자료를 생성하였다. TOPMODEL에서 필요로 하는 공간자료는 유역의 DEM이다. 따라서 본 연구에서는 HyGIS를 이용하여 DEM을 구축하고 유역을 분할함으로써 HyGIS의 framework 데이터(김경탁 등, 2003)인 하천망, watershed, catchment등을 생성하고 지형인자를 계산하여 HyGIS의 공간DB에 저장하였다.

TABLE 2. 유전자 알고리즘에서 사용된 목적함수

번호	목적함수	설 명
1	평균제곱근오차 (RMSE)	$f_s = 1/RMSE, RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N [OQ_i - SQ_i]^2 / N}$
2	잔차 절대치의 합(SOAE)	$f_s = 1/SOAE, SOAE = \sum_{i=1}^N  OQ_i - SQ_i $
3	모형효율성 계수(ME)	$f_s = ME, ME = 1 - F^2 / F_0^2$ $F^2 = 1 / (N \sum_{i=1}^N [OQ_i - SQ_i]^2), F_0^2 = 1 / (N \sum_{i=1}^N [OQ_i - \overline{OQ}]^2)$
4	전일기준(PDC)	$f_s = PDC, PDC = 1 - F^2 / F_1^2, F_1^2 = [\sum_{i=2}^N [OQ_i - OQ_{i-1}]^2] / (N - 1)$
5	잔차누가곡선계수 (RMCC)	$f_s = 1/RMCC, RMCC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \{ \sum_{j=1}^i [OQ_j - SQ_j] \}^2}{\sum_{i=1}^N \{ \sum_{j=1}^i [OQ_j - \overline{OQ}] - \overline{DC} \}^2}$ $\overline{DC} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^i [OQ_j - \overline{OQ}]$
6	일치도(IOA)	$f_s = 1/IOA, IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [OQ_i - SQ_i]^2}{\sum_{i=1}^N [  SQ_i - \overline{OQ}  +  OQ_i - \overline{OQ}  ]^2}$
7	Weighted Product-Moment (WPPM)	$WPPM = C \cdot r, S_s < S_o : C = S_s / S_o, S_s \geq S_o : C = S_o / S_s$ $r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{OQ_i - \overline{OQ}}{S_o} \right] \left[ \frac{SQ_i - \overline{OQ}}{S_s} \right]$ $S_o = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [OQ_i - \overline{OQ}]^2}, S_s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [SQ_i - \overline{SQ}]^2}$
8	정규화된 목적함수(NOF)	$f_s = 1/NOF, NOF = RMSE / \overline{OQ}$

HyGIS-TOPMODEL에서는 저장된 공간DB를 검색하여 필요한 공간자료를 선택적으로 추출하여 적용하게 된다. 그림 3은 HyGIS에서 공간DB를 생성하는 과정을 나타낸 것이다.

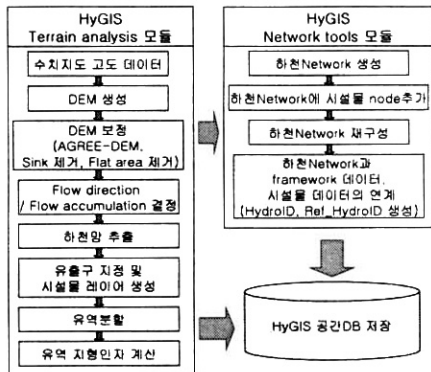


FIGURE 3. HyGIS 공간DB 생성과정

을 생성하기 전에 사용자는 하천Network과 연계시킬 유역의 모든 시설물들을 등록하여야 하며, 하천망에 노드를 추가하고, HydroID와 Ref\_HydroID를 생성함으로써 하천Network과 시설물을 연계시킬 수 있다.

HyGIS에서는 등록된 시설물에 대한 시계열 자료를 각 시설물별로 DB화하여 저장하며, 그 과정은 그림 4와 같다.

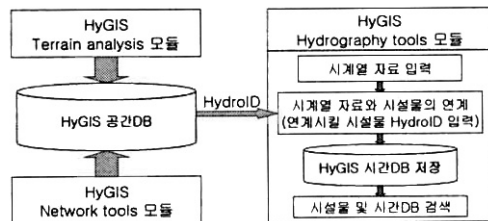


FIGURE 4. HyGIS 시간DB 생성과정

## 2. 시간DB 구축

HyGIS(hydrological geographic information system)는 “Terrain analysis” 모듈을 이용해서 유역의 공간정보를 생성하고, “Network tools” 모듈을 이용해서 하천Network를 생성한다. “Network tools” 모듈에서는 생성된 공간정보를 하천Network과 연결시켜서 하천Network 기반의 유역관리 시스템을 구축할 수 있는 도구들을 제공하고 있다(김경탁 등, 2003). 하천Network

본 연구에서는 이를 위하여 표 3과 같이 시계열자료 테이블을 설계하였다. 표 3에서 FEATUREID는 시계열DB가 연계되어 있는 유역내 시설물의 HydroID를 나타낸다. 따라서 특정 시계열자료는 유역내의 하나의 시설물과 연계되어야 하며, 이는 HyGIS의 “Hydrography tools” 모듈을 이용해서 가능하다. HyGIS의 시간DB에 저장되기 전의 시계열자료는 표 3에서 FEATUREID를 제외한 모든 필드의 값이 존재된 상태로 준비되어야 하며, “Hydrography

TABLE 3. 시계열자료 테이블 구조

필드명	TYPE	용도
FEATUREID	STRING(20)	시계열자료와 연계되는 시설물의 HydroID
TSTYPE	STRING(4)	시계열자료의 종류
DATE	LONG(10)	시계열자료의 시간
VALUE	REAL(10.4)	해당 시간대의 시계열자료
TSINT	INTEGER(4)	시계열자료의 시간간격

※ TSTYPE의 종류 : RF-강우량 / WL-수위 / WF-유량 / EV-증발량  
 DATE : 년 4자리, 월 2자리, 일 2자리, 시간 2자리. 예) 1999년 1월 2일 13시:1999010213  
 TSINT : 분 단위로 입력. 예) 1시간:60, 24시간:1440

tools”를 이용해서 HyGIS의 공간DB에 있는 시설물의 HydroID와 연계된 시간DB를 형성하게 된다.

## HyGIS-TOPMODEL 개발

본 연구에서는 HyGIS의 시·공간DB와 TOPMODEL을 연계시키기 위하여 HyGIS-TOPMODEL을 컴포넌트 형태로 개발하였으며, HyGIS의 “Flow analysis” 모듈에 포함되어 있다. 본 연구에서 이용한 TOPMODEL의 소스는 Lancaster 대학의 공개 TOPMODEL을 기반으로 하였으며, 유전자 알고리즘(GA)을 추가하여 Visual Basic으로 개발하였다. 따라서 HyGIS-TOPMODEL에서는 매개변수 적용시 사용자에게 의해서 입력된 고정된 매개변수를 사용할 수도 있고, 유전자 알고리즘을 이용하여 매개변수 최적화과정을 거쳐서 계산된 매개변수를 사용할 수도 있다. 또한 TOPMODEL의 자료인 지형지수를 계산하는 모듈을 개발하기 위하여 Lancaster 대학의 공개된 지형지수 계산 소스를 이용하였다. 이때 입력자료로 이용되는 유역의 DEM은 HyGIS에서 추출된 유역의 범위에 포함되는 셀을 추출하여 사용된다.

일반적으로 지리정보시스템과 모형의 연계는 단순히 공유파일에 의한 입출력자료의 교환으로 연결되고 있으나, 분석모듈 자체를 컴포넌트화한 경우는 많지 않다. 본 연구에서는 HyGIS 시스템에 TOPMODEL을 단순히 연결하는 것에 그치지 않고, TOPMODEL을 HyGIS의 컴포넌트로 개발하였다. 본 컴포넌트에는 지형지수 계산모듈, 유전자알고리즘을 이용한 매개변수 추정기능을 갖춘 TOPGENETIC 모듈 및 차트출력 등의 기능이 있다.

그림 5는 HyGIS-TOPMODEL의 실행화면을 나타낸 것이다. 그림 5에서 ①은 HyGIS의 공간DB에서 TOPMODEL의 구동에 필요한 DEM과 유역경계를 선택하는 것을 나타낸 것이고, ②는

HyGIS 시간DB에서 필요한 지점과 이에 대한 시계열자료를 선택하는 것을 나타낸 것이다.



FIGURE 5. HyGIS-TOPMODEL 실행

HyGIS-TOPMODEL에서는 HyGIS의 시·공간DB에서 시간자료와 공간자료를 입력받을 수 있을 뿐만 아니라, 기존 TOPMODEL에서 사용하던 파일 입력도 지원한다. 그림 5에서 ③은 표 1에서의 매개변수를 추정하기 위한 유전자 알고리즘의 수행 옵션과 매개변수의 입력창을 나타낸 것이다. 유전자알고리즘을 이용하여 TOPMODEL의 매개변수를 최적화할 경우 HyGIS-TOPMODEL에서는 매개변수의 변화양상 및 적용된 매개변수를 이용한 모의결과를 그래프로 출력함으로써 사용자가 모형의 수행과정을 파악할 수 있게 하였다.

## HyGIS-TOPMODEL 적용

### 1. 시·공간DB 구축

HyGIS는 대상유역의 시·공간DB를 구축하여 유역관리를 위해 수문모형과의 연계 구동이 가능하도록 계획된 기반시스템이라 할 수 있다. 본 연구에서는 시범적으로 HyGIS의 시·공간DB가 TOPMODEL의 입력자료로 효과적으로 연계될 수 있는지를 검토하였으며, 대상 유역으로는 한강수계의 경안천 유역 중 경안교 상류유

역을 설정하였다. 대상유역은 약 263km<sup>2</sup>의 면적을 가지며, 광주시와 용인시를 포함하고 있다. 유역의 토지피복 분포는 대부분이 산림지역(약 60%)과 농업지역(약 20%) 및 도시지역(약 11%)으로 이루어져 있다. 경안천의 1:25,000 수치지도를 이용하여 30m×30m 격자크기의 DEM을 제작하였으며, 그림 3과 같은 절차에 따라서 HyGIS-TOPMODEL에 사용되는 공간DB를 구축하였다. HyGIS-TOPMODEL에서는 그림 5의 ①을 통해서 HyGIS의 공간 DB에 저장되어진 원본 DEM과 유역경계 자료를 중첩하여 TOPMODEL에서 필요로 하는 유역경계 내부에 해당하는 DEM을 생성할 수 있으며, 이를 이용하여 지형지수를 계산한다.

TOPMODEL에서 사용되는 시간자료는 유역의 강우량, 증발산량, 유출량이다. 본 연구에서는 강우량과 증발산량으로 유역의 평균치를 사용하였으며, 유출량은 경안 수위관측소의 유량 자료를 사용하였다. HyGIS-TOPMODEL을 단기 유출모의에 적용하기 위하여 7개의 수문사상을 추출하여 검토하였으며, 이 중 강우-유출관계가 적절하다고 판단되는 3개를 적용하였다. 표 4는 본 연구에서 적용한 수문사상을 나타낸 것이다.

TABLE 4. 적용 수문사상

수문사상	기간	시간간격
수문사상1	1987년 07월 20일 09시 ~	60분
	1987년 07월 25일 24시	
수문사상2	1987년 08월 26일 01시 ~	60분
	1987년 09월 03일 08시	
수문사상3	1988년 07월 19일 00시 ~	60분
	1988년 07월 25일 23시	

## 2. HyGIS-TOPMODEL의 적용

본 연구에서는 컴포넌트 형태로 개발된

HyGIS-TOPMODEL을 이용하여 HyGIS의 시·공간DB와 수문모형을 연계하였다. 그림 6은 HyGIS-TOPMODEL이 실행되는 흐름도를 나타낸 것이다.

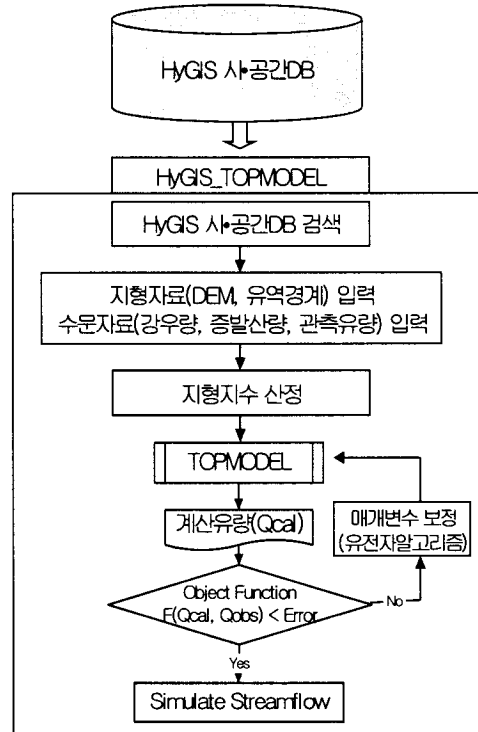


FIGURE 6. HyGIS-TOPMODEL의 흐름도

그림 6에서 HyGIS 시·공간DB의 검색은 그림 5의 ①과 ②를 이용해서 수행한다. 그림 5의 ①에서 대상 유역인 경안천 유역의 유역경계와 적용할 DEM을 선택하여 공간자료를 지정한다.

그림 5의 ②에서는 HyGIS의 시간DB에서 적용할 시간자료를 검색하기 위해서 자료의 검색 시점과 종점의 시간으로 10자리(년도 4자리, 월 2자리, 일 2자리, 시간 2자리)를 입력하고, 수문자료의 시간 간격을 입력하여 검색조건을 설정한다. HyGIS의 시간DB는 공간DB를 구성하고 있는 각 객체의 HydroID를 속성으로 가진다. 이때 하나의 객체에 여러 가지 종류의 시간자료를 가질 수 있으며, 시간자료의 종류는 표 3에서의



TSTYPE의 속성에 의해서 구분된다. 따라서 그림 5의 ②에서는 유역의 평균강우량 자료와 평균증발산량 자료를 가지고 있는 유역(watershed) 객체의 HydroID와 유출량 자료를 가지고 있는 객체인 수위관측소의 HydroID를 입력한다. 이러한 과정을 거쳐 각 객체와 연계되어 있는 시간DB의 테이블에서 검색조건과 TSTYPE을 모두 만족하는 수문자료를 추출하여 유출해석에 적용하게 된다.

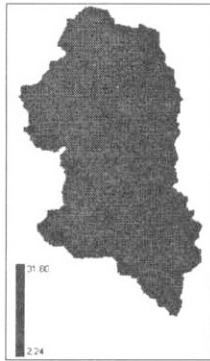


FIGURE 7. 지형지수 분포도

그림 7은 HyGIS-TOPMODEL에 의해 계산된 경안천 유역의 지형지수 분포도를 나타낸 것이다.

표 5와 표 6은 각 수문사상별로 모의된 결과를 나타낸 것이다. 표 5에서는 최적의 모의결과를 나타내는 목적함수와 그 목적함수에 의해서 도출된 매개변수를 나타낸 것이고, 표 6은 실측 자료와 모의결과를 이용하여 통계분석을 한 결과이다. 표 5에서 수문사상1은 표 2에서의 목적함수 중 일치도(IOA), 수문사상2와 수문사상3은 잔차절대치의 합(SOAE)을 이용해서 도출한 매개변수를 이용하여 유출모의를 수행하였을 때 실측치와 가장 유사한 값을 보이고 있다. 모의된 결과는 표 6에서와 같이 첨두유량비, 총유출량비, 첨두시간차 등에서 실측치와 유사한 결과를 보이고 있으며, 이는 그림 8과 같다. 그림 8은 HyGIS-TOPMODEL의 수행결과 중 표 5의 조건에서의 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 그림 8에서 유출모의 결과는 수문곡선의 상승부와 하강부 및 첨두시간 등을 적절히 반영하고 있음을 알 수 있다.

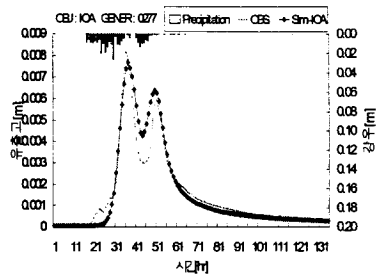
TABLE 5. 적용사상별 최적 매개변수

적용사상	목적함수	목적함수값	m	T <sub>0</sub>	T <sub>d</sub>	CHV	RV	SR <sub>max</sub>	Q <sub>0</sub>	SR <sub>0</sub>
수문사상1	IOA	0.98	0.025	10.31	9.21	5992	5992	0.0005	0.00005	0.0046
수문사상2	SOAE	0.017	0.020	1.76	41.37	4477	4477	0.0016	0.00001	0.0425
수문사상3	SOAE	0.014	0.015	8.65	3.53	7338	7338	0.0001	0.00005	0.0014

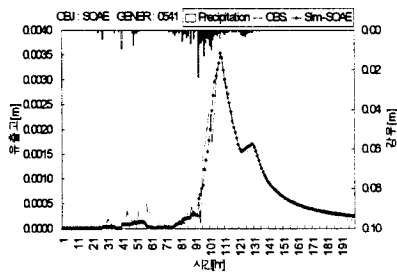
TABLE 6. 모의결과의 통계적 특성

적용사상	첨두유량비 [%]	총유량비 [%]	실측첨두시간 [hr]	모의첨두시간 [hr]	첨두시간차이 [hr]
수문사상1	-4.7	3.67	36	37	-1
수문사상2	1.1	-3.98	108	108	0
수문사상3	-5.7	-1.93	41	41	0

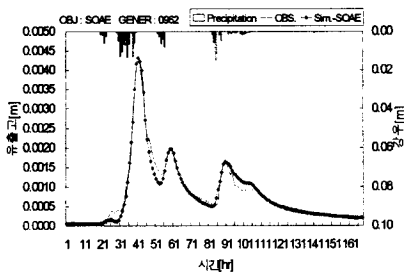
HyGIS-TOPMODEL의 적용을 통하여 HyGIS의 시·공간DB는 TOPMODEL의 수행에 필요한 공간자료와 수문자료를 효과적으로 제공할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 유전자 알고리즘을 이용하여 추정된 매개변수도 유출모의에 적절히 적용될 수 있는 것으로 나타났다.



(a) 수문사상 1



(b) 수문사상 2



(c) 수문사상 3

FIGURE 8. HyGIS-TOPMODEL 적용 결과

## 결론

본 연구에서는 유역단위의 시·공간DB와 수자원 분석모형을 연계하기 위하여 DB의 구축방법 및 수문모형과의 연계방안에 대해서 검토하였다. 유역단위 시·공간DB를 구축하기 위해서 수자원 공간자료 생성 및 수자원 시스템 개발 모듈인 HyGIS(hydrological geographic information system)를 이용하였으며, 수자원 분석모형에 효과적으로 적용될 수 있는지를 검토하기 위하여 시범적으로 TOPMODEL을 이용하였다. 컴포넌트로 개발된 HyGIS-TOPMODEL의 입력자료는 HyGIS의 시·공간DB의 검색을 통해서 입력된다. 이를 위하여 HyGIS의 공간DB와 시간DB의 구조를 개발하였으며, 공간DB의 객체와 시간DB의 연계는 공간DB의 객체가 가지고 있는 고유한 HydroID를 통해서 이루어진다. HyGIS-TOPMODEL에서는 매개변수 추정을 위하여 유전자알고리즘을 이용하였으며, 관측치에 근접한 모의결과를 도출할 수 있는 매개변수를 추출할 수 있었다.

HyGIS와 HyGIS-TOPMODEL의 개발을 통하여 저장된 시·공간DB로부터 수자원 분석모형의 구동에 필요한 시·공간자료를 손쉽게 사용할 수 있는 시스템을 개발할 수 있었다. 연구결과 HyGIS의 시·공간DB는 TOPMODEL의 입력자료를 구성하고 매개변수를 추정하는데 효과적으로 사용될 수 있는 것으로 나타났으며, 향후 다양한 수자원 분석모형과 연계될 경우에도 적합하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

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

## 참고문헌

- 건설교통부, 한국수자원공사. 1999. 99 정보화 근로 사업 하천관리지리정보시스템 구축 보고서. 9-90쪽.
- 건설교통부, 한국수자원공사. 2001. 하천관리지리정보시스템(GIS) 구축 보고서(1차년도 사업). 5-12쪽.
- 김경탁, 김주훈, 최윤석. 2002. 수자원지리정보 데이터모델. 2002년도 대한토목학회 학술발표회 논문집. 341-344쪽.
- 김경탁, 김주훈, 최윤석, 박동선. 2003. Network 컴포넌트 기반의 수자원지리정보시스템에 관한 연구. 한국지리정보학회지 6(4):122-134.
- 김경탁, 최윤석, 김주훈. 2004. 유역단위 framework 공간데이터베이스의 구축에 대한 고찰. 2004년 한국수자원학회 학술발표회 논문집 CD-ROM. P-38.
- 김성태. 1999. GIS 기반의 유전알고리즘을 이용한 하천 수질 예측. 인하대학교 대학원 박사학위 논문. 51-59쪽.
- 박봉진, 차형선, 김주환. 1997. 유전자 알고리즘을 이용한 저류함수모형의 매개변수 추정에 관한 연구. 1997년 한국수자원학회논문집 30(4):347-355.
- 장재혁. 2002. 분포형 강우-유출 모형의 이용한 하천 유출량 추정에 관한 연구. 인하대학교 대학원 석사학위논문. 23-33쪽.
- Beven, K., R. Lamb, P. Quinn, R. Romanowicz and J. Free. 1995. TOPMODEL. Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publication. Chapter 18. pp.627-668.
- Beven, K.J and M.J. Kirkby. 1979. A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. Hydrol. Sci. Bull. 24:43-69.
- Maidment D. R. 2001. ArcGIS Hydro Data Model - Second Draft Data Model and Book Manuscript. GIS in Water Resources Consortium, Held at the 21st Annual ESRI User Conference. San Diego, California. pp.3(1)-6(21).
- Maidment D. R. 2002. Arc Hydro - GIS for Water Resources. pp.33-139. **KAGIS**