수문학적 유역특성자료 자동화 추출 및 분석시스템 개발 (I)

황의호[1] · 권형중[2※] · 이근상[3] · 유병혁[4] · 고덕구[5]

System Development for Automatic Extraction and Analysis of Hydrology-Related Watershed Characteristic Data

Eui-Ho HWANG[1] · Hyung-Joong KWON[2※] · Geun-Sang LEE[3]
Byeong-Hyeok YU[4] · Deuk Koo-KOH[5]

요 약

본 연구에서는 다양한 수문 모형에 적용을 위한 입력자료 도출 기반을 마련하고자 보다 편리하고 체계적인 유역특성자료 분석시스템을 개발하였다. PRMS 모형을 이용하여 유출분석 수행시 입력자료 생성을 위해 사용되는 USGS WEASEL을 참고하여 시스템 개발항목을 도출하고, 체계적이고 효율적인 시스템 개발 및 유지관리를 위하여 UML을 이용한 객체지향 시스템을 설계하였다. 또한, 편리한 사용자 인터페이스 제공 및 다양한 수질·수문 모형에 적용하기 위하여 GIS 컴포넌트 기반인 ArcGIS ArcObjects를 이용하여 유역특성자료 분석시스템을 개발하였다.

주요어: 유출분석, 유역특성자료, PRMS, WEASEL, ArcObject, Automatic Data Extraction

ABSTRACT

This study was to develop the analyzing system for watershed characteristics data. The developed system has laid the foundation for preparing the input data in various hydrological models. The algorithms and items included in the system were derived from benchmarking of the GIS WEASEL, which used to prepare the input data of PRMS (Precipitation-Runoff Modeling System). The system was designed to develop and maintain the organized system using both object-oriented UML (Unified Modeling Language) and GIS component-based ArcObjects.

KEYWORDS: Runoff Analysis, Watershed Characteristics Data, PRMS, WEASEL, ArcObject, Automatic Data Extraction

2007년 10월 1일 접수 Received on October 1, 2007 / 2008년 5월 18일 수정 Revised on May 18, 2008 / 2008년 9월 12일 심사완료 Accepted on September 12, 2008

1 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation
2 국립환경과학원 한강물환경연구소 전문위원 Expert Researcher, Han-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research
3 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원 Principal Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation
4 과학기술연합대학원 지리정보시스템공학부 Master Course, Geoinformatic Engineering, Korea University Of Science and Technology
5 한국수자원공사 수자원연구원 연구위원 Research Fellow, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation
※ 연락저자 E-mail address : kwonhj@me.go.kr

서 론

우리나라는 전 국토의 70%가 산지로 되어 있고, 토지를 집약적으로 이용하므로 유역이 다양한 지형, 토양, 식생, 토지이용 등으로 구성되어 있다. 또한 이수 계획을 수립하기 위한 유출량의 계산을 위해서는 직접유출 뿐만 아니라 기저유출까지 재현할 수 있는 유역수문모형이 필요하다. 이에 따라 유역 내 수문인자의 정량적·정성적 분석을 위해서는 유역출구에서 뿐만 아니라 유역전체에 대한 수문인자를 평가할 수 있는 분포형 모형이 요구되고 있으며, 효율적인 수자원관리 및 개발 계획수립을 위한 물리기반 수문모형의 개발 및 적용 요구가 증대되고 있다. 유역조사 사업에서도 PRMS (Precipitation-Runoff Modeling System) (Leavesley et al., 1983) 모형에 의한 물수지 분석을 수행하고 있는 등 이수분야에 물리기반 모형의 적용이 증가하고 있는 실정이다.

국외의 경우, 공통주제도 및 프레임워크데이터 구축사업 이후 수문분야에서의 활용을 위한 전처리 및 후처리 과정이 완벽히 통합된 형태의 시스템 개발이 이루어지고 있다. 그 대표적인 데이터 모델로서 ArcGIS Hydro Data Model (Maidment, 2001)은 수자원과 관련된 시·공간자료를 저장 및 분석하기 위한 데이터 모델이다. 이 모델은 공간객체의 맵핑 및 다양한 동적 모델링이 가능하도록 개발되어 있다. BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) (USEPA, 2001) 모형은 GIS 소프트웨어와 수질모델을 결합하여 자료의 전처리 및 분석, 다양한 수질 모델의 적용을 하나의 시스템 내에서 조작이 가능하도록 개발되었다. HEC-GeoHMS (USACE, 2000a) 모형은 프로그램 언어인 Avenue와 HEC-HMS (USACE, 2000b) 모형을 결합한 모형으로서 HEC-HMS 모형의 입력자료를 공간데이터로부터 모형에 적합한 형태로 추출 및 가공하여 제공하도록 개발되어 있다.

PRMS 모형의 경우에는 모형의 입력자료를 구축하는 방법으로 USGS에서 개발된 GIS WEASEL (Viger et al, 2007)을 사용하고 있으나, PC Arc/Info 기반에서 구동하는 방식으로 사용방법 및 사용자 인터페이스 제공 측면에 있어 불편함을 초래하고 있을 뿐만 아니라 국내의 자연환경 즉, 토양이나 식생현황 등에서 공간자료의 사용 속성이 달라 국내 공간자료의 속성에 맞게 일일이 변환시켜야 하는 번거로움이 있다. 이에 따라, 편리한 모델링 환경 제공을 위한 최신 GIS 기술 적용 및 국내 자연환경에 적합한 유출매개변수 도출 시스템 개발이 필요하고, 선진 사례를 토대로 통한 수자원 DB로부터 물리기반 수문모형 입력 자료를 효과적으로 추출하는 전·후처리기를 개발 및 다양한 수문·수질 모형에 적용할 수 있는 GIS 기반의 입출력 컴포넌트를 개발에 대한 필요성이 대두되고 있다.

본 연구의 목적은 수문모형의 매개변수을 위한 GIS WEASEL의 적용시 국내 GIS 공간자료의 적용 한계를 극복하고 구축된 공간 속성의 편집 과정 없이 수문모형의 매개변수를 직접 도출하고자 국내 자연환경 특성에 적합한 GIS 기반의 PRMS 유출매개변수 도출 시스템을 개발하는데 있다. 이를 위해 토양 및 식생별 유역특성 자료를 생산 및 분석하고, 수자원 DB로부터 물리기반 수문모형 입력 자료를 효과적으로 추출하는 과정을 단계별로 정리하였다. 또한 수치지도로부터 유역특성 자료를 자동 추출하여 강우-유출 모형 등에 적용하기 위한 전처리기 (Pre-processor) 및 후처리기(Post-processor)를 개발하고, 아울러, 수자원 DB로부터 각종 물리기반 수문모형의 유역특성 입력 자료를 추출할 수 있도록 ArcObjects를 이용한 GIS 기반의 프로세서를 개발하고자 한다.

시스템 개발을 위한 GIS WEASEL 검토

GIS WEASEL은 모델링을 하기 위한 공간정보를 편리하게 구축하는데 그 목적이 있으

며 공간형태의 지도를 만드는데 사용된다. GIS WEASEL은 DEM을 이용한 GUI(Graphic User Interface)로서 지형적 특성을 모형에 반영하기 위하여 대상지역을 모형응답단위(Modeling Response Units, MRUs)로 나누고 MRU의 형상 및 특성인자를 추출하여 수문모형의 입력 자료를 GIS와 직접적인 연계로서 산출이 가능한 시스템으로서 유역 추출 기능(Delineation), 대상유역의 공간적인 특성을 분석하기 위한 유역특성 분석 기능(Characterization), 자료의 반복적인 수정과정 기능을 가지고 있는 편집 기능(Modification) 및 수문모형을 이용한 유출모의를 위한 입력 데이터 생성 기능(Parameterization)으로 구성되어 있다 (그림 1).

이러한 기능을 이용하여 GIS 공간자료로부터 유역특성자료 및 수문모형의 입력매개변수를 자동으로 추출할 수 있는데 현재 GIS WEASEL에서는 TOPMODEL과 PRMS 모형을 모의하기 위한 매개변수의 추출이 가능하다. 본 연구에서는 GIS WEASEL의 유역 추출 기능, 유역특성 분석 기능, 자료 편집 기능은 최근 들어 활용성이 증가되고 있는 ArcObjects를 이용하여 사용자 편의 시스템으로 구현하였다. 또한 GIS WEASEL의 수문모형 매개변수 추출 기능을 바탕으로 유역조사사업(건교부, 2004)에서 구축된 GIS 공간자료로부터 공간 속성의 편집 없이 직접 PRMS 모형의 유출 매개변수를 추출하는 시스템을 구축하였다.

GIS WEASEL에서 추정되는 PRMS 모형의 매개변수는 지형(slope, aspect, area, x, y, z

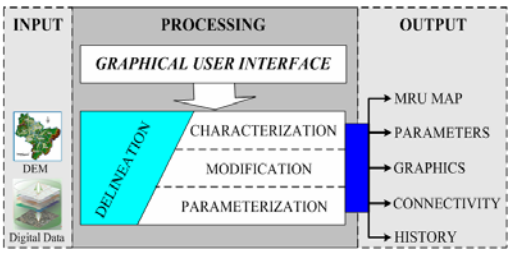


FIGURE 1. Components of GIS WEASEL

등), 토양(texture, water holding capacity), 식생(type, density, seasonal interception, radiation transmission 등), 증발산, 소유역(Connect HRUs, groundwater reservoirs, subsurface reservoirs, channel reaches, and point measurement stations)과 관련된 매개변수이며 매개변수 추출을 위한 입력 자료로서 DEM, 토양도, 임상도 등이 사용된다. GIS WEASEL에서 PRMS 모형의 매개변수를 추출하기 위해 사용되는 GIS 공간자료의 속성이 국내에서 구축된 공간자료의 속성과 상이하여 GIS WEASEL을 이용하여 국내 유역의 적용을 위한 PRMS 모형의 매개변수를 추출할 경우 속성 편집과정이 매우 번거로울 뿐만 아니라 상당한 시간이 소요되고 있다. 이러한 국내 적용성에 대한 비효율적인 시스템을 지양하여 기존에 구축되어 있는 공간자료의 속성을 이용하여 능률적으로 PRMS 모형의 매개변수 추출이 가능한 시스템을 구축하였다.

수문학적 유역특성자료 분석 시스템 개발

유역의 유출분석 수행 시 사용되는 다양한 수문모형의 입력매개변수를 편리하게 생성할 수 있는 유역특성자료 분석 시스템을 개발하였다. 이를 위해 수문모형의 입력매개변수 생성 시 주로 사용하는 GIS WEASEL을 검토하여 국내 실정에 적합한 시스템을 개발하고자 하였으며 아울러 기존 전처리기가 가지고 있는 단점을 보완하고 사용자로 하여금 편리한 유출분석 환경을 제공하고자 본 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 유역특성자료 분석 시스템 (KGIS-Hydrology)이라 명명하였으며, 4개의 주 메뉴 즉, ① 공간자료 추출, ② 공간자료 특성, ③ 공간자료 편집, ④ 매개변수 추출 메뉴로 구성하였다.

①, ②, ③ 메뉴는 각각 GIS WEASEL의 Delineation, Characterization, Modification 기능의 알고리즘을 그대로 사용하여 한글버젼으

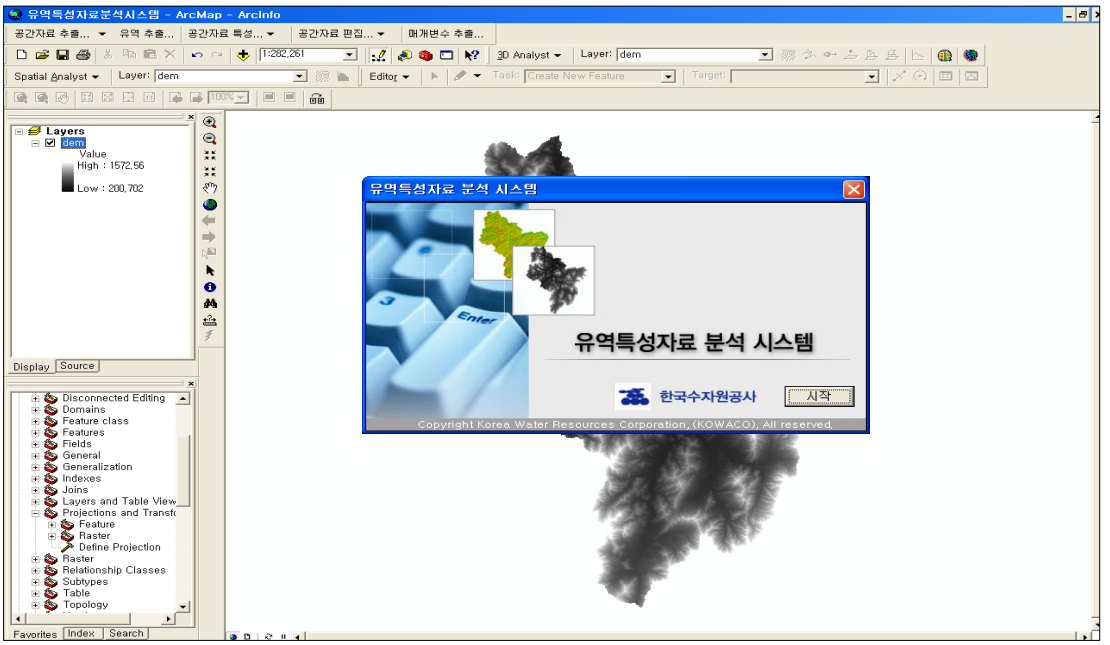


FIGURE 2. Startup screen

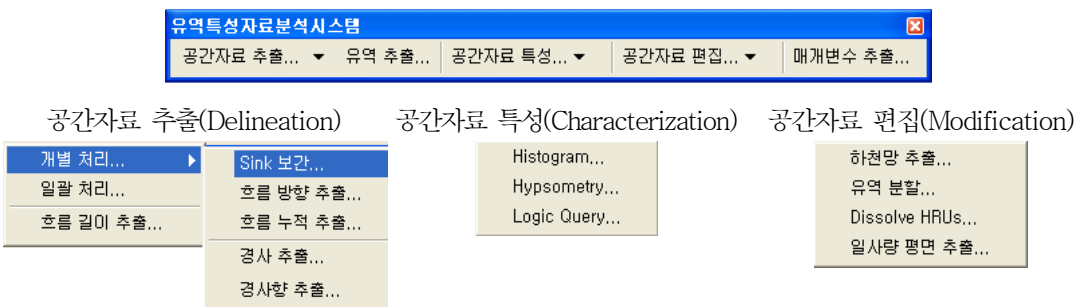


FIGURE 3. Main and sub menus

로 구축하였으며 ④ 매개변수 추출 메뉴는 Parameterization 기능을 보완하여 국내에서 기존에 구축된 GIS 공간자료를 이용하여 PRMS 모형의 매개변수의 추출이 가능하도록 알고리즘을 수정하고 사용자 편의 기능으로 구현하였다. 본 논문에서는 ①, ②, ③ 메뉴에 대해서는 기능 위주로 기술하였고 ④ 메뉴에 대하여 수정 및 개발된 알고리즘 위주로 기술하였다. 그림 2는 시스템의 초기화면이며 그림 3은 시스템에 포함된 메뉴 및 주요기능을 나타낸 것이다.

1. 공간자료 추출 (Delineation)

공간자료 추출 메뉴는 DEM으로부터 다양한 지형인자를 추출하는 모듈을 포함하고 있으며 2개의 서브메뉴(개별처리, 일괄처리)로 구축하였다. 개별처리는 GIS WEASEL의 대부분의 Delineation 기능을 바탕으로 ArcObjects를 이용하여 한글 버전으로 구현한 것으로 DEM으로부터 다양한 지형인자(흐름방향, 흐름누적, 흐름길이, 경사, 경사향 등)를 개별적으로 추출하도록 구축하였다. 일괄처리는

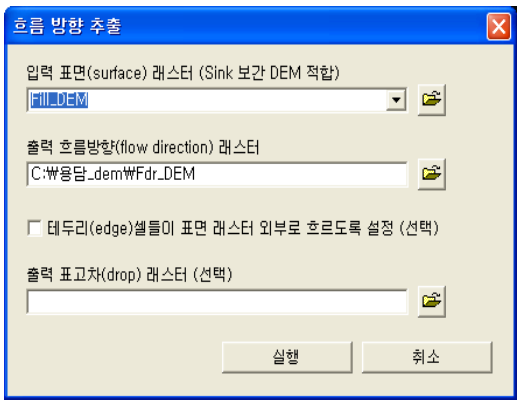


FIGURE 4. Individual processes (flowdirection)

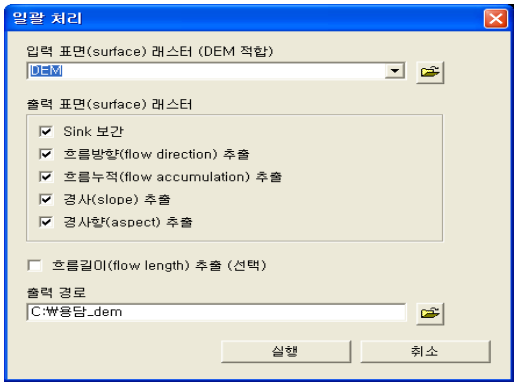


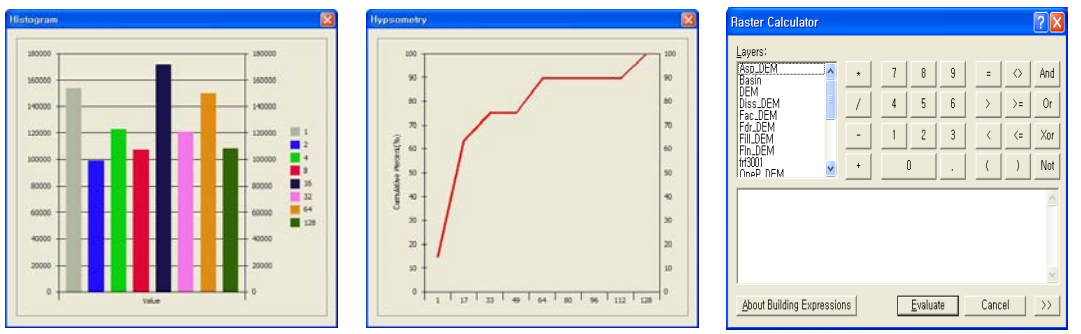
FIGURE 5. Batch process

개별처리의 번거로움을 해소하기 위하여 실행된 프로세스들을 일괄적으로 한 번에 처리할 수 있도록 본 연구에서 사용자 편의 기능으로 구현한 것이다.

공간자료 추출 메뉴에서는 원본 DEM으로부터 sink 보간을 통하여 보간된 DEM을 생성하고 이로부터 지형인자를 추출한다. 이때 DEM의 유역경계에 위치한 픽셀들의 흐름방향이 유역 외부로 향하도록 선택 기능을 추가하여 픽셀간의 고도 차이를 공간자료로서 추출이 가능하도록 구성하였다. DEM에서 추출한 흐름방향으로부터 흐름누적의 작성이 가능하며 강우 레이어를 이용하여 증발산이나 침투와 같은 강우손실이 없는 상태에서 각 픽셀별 흐름방향에 의한 누적 강우량의 파악이 가능하다. 흐름길이는 흐름방향으로부터 추출이 가능하며 측정 방향을 상류나 하류로 설정할 수 있도록 구성하였으며 경사 및 경사향은 보간된 DEM에서 추출하고 경사는 percent 혹은 degree 단위로 추출이 가능하다. 그림 4는 개별처리 모듈의 예시이며(흐름방향 추출) 그림 5는 일괄처리 모듈을 나타내고 있다.

2. 공간자료 특성 (Characterization)

공간자료 특성 메뉴는 추출된 유역특성자료를 가시적인 분포 및 통계현황을 조회 및 검색이 가능하도록 구현한 기능으로 Histogram (분포), Hypsometry (누적), Logic Query (연산) 등으로 구성하였다 (그림 6). Histogram은 선택한 레이어 내에 전체 셀 값들에 대한 분포도를 나타내고 Hypsometry는 선택한 레이



(a) Histogram (b) Hypsometry (c) Logic Query

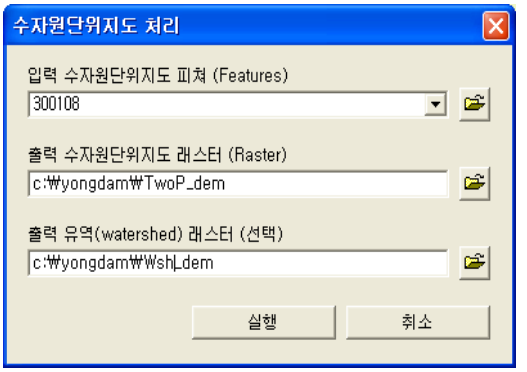
FIGURE 6. Characterization menu

어 내에 전체 셀 값들에 대한 누적도를 나타낸다. Logic Query는 하나 이상의 레어어와 상수 또는 다른 레이어와의 수학적 연산을 통해 사용자가 원하는 결과 값을 얻을 수 있도록 구성하였고 본 메뉴는 GIS WEASEL의 Characterization의 기능을 그대로 한글버전으로 구축한 것이다.

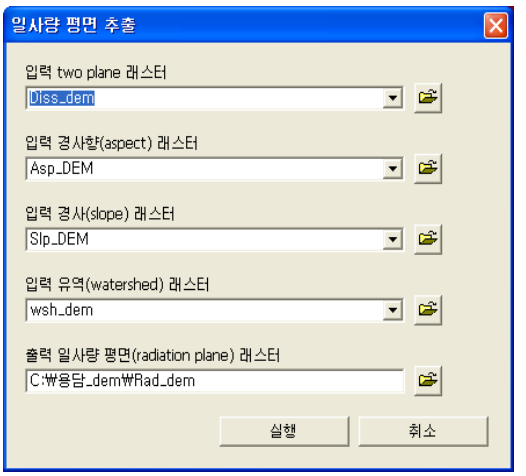
3. 공간자료 편집 (Modification)

공간자료 편집 메뉴는 하천망 추출 (Drainage Network), 유역분할(Contributing Area Zones), 유역병합(Dissolve HRUs), 수자원단위지도 처리, 일사량 평면(Radiation Plane) 추출 기능으로 구성하였다. 본 메뉴는 수문 모형을 이용한 유출 분석시 공간자료 추출 메뉴에서 생성된 대상 유역을 분할 및 병합하는 편집 기능과 일사량 평면 자료를 추출하는 기능으로 구성하였으며 이는 GIS WEASEL의 Modification 알고리즘을 사용하였다. 수자원단위지도 처리 기능은 본 연구에서 추가된 모듈로서 수자원단위지도와 같은 기존의 분할된 유역경계를 수문 모형의 유출모의 단위로 직접 사용하기 위하여 개발하였다.

대부분의 수문모형을 이용한 유출 분석시 대상 유역을 소유역(PRMS 모형의 경우 HRU 단위)으로 분할하여 각 소유역에 대하여 유출모의를 수행하는데 GIS WEASEL과 같은 기존의 전처리기를 이용하여 소유역을 생성할 경우 모의하고자하는 소유역 단위로 생성되지 않는 경우가 종종 발생하며 이를 기존의 소유역 경계로 편집하여야 하는 번거로움이 있는 실정이다. 이러한 번거로움을 해소하고자 기존의 유역경계로서 수문 모형의 매개변수를 추출하고 유출모의 단위로 직접 사용이 가능하도록 수자원단위지도 처리 모듈을 개발하여 시스템에 추가하였다. 그림 7은 수자원단위지도 처리 모듈과 일사량 평면 추출 모듈을 나타낸 것이다.



(a) Hydrological unit map generation



(b) Radiation plane extraction

FIGURE 7. Modification menu

4. 매개변수 추출 (Parameterization)

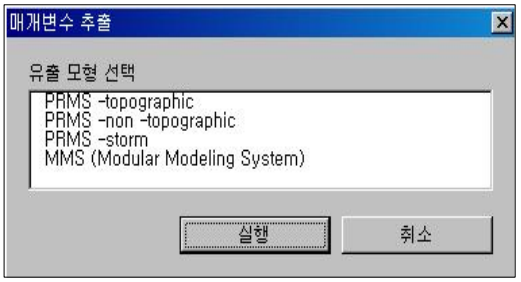
매개변수 추출 메뉴는 PRMS 모형 및 PRMS 모형의 최신 버전인 MMS 모형의 입력 매개변수들을 국내 GIS 공간자료로부터 자동으로 추출하여 편집과정 없이 직접 유출모의에 사용이 가능하도록 구축한 것이다. 앞서 설명하였듯이 국내 유역을 대상으로 PRMS 모형을 이용한 유출모의를 위하여 매개변수 추출 전처리기인 기존의 GIS WEASEL을 사용할 경우 외국의 토양 및 임상 등의 속성이

TABLE 1. PRMS parameters extracted from KGIS-Hydrology

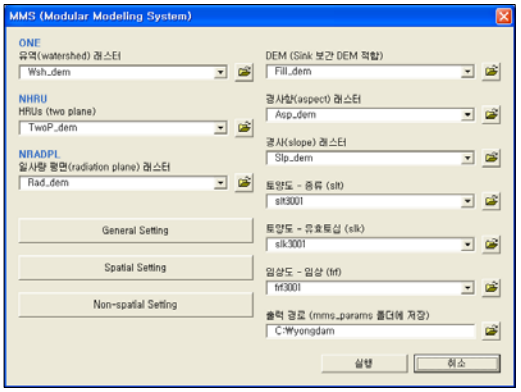
Module	Parameter	Definition (units)
PRMS-topographic	basin_area	전체 유역의 면적 (acres)
	hru_radpl	각 HRU별 일사량 평면의 지표
	hru_area	각 HRU별 면적 (acres)
	hru_elev	각 HRU별 평균 표고 (feet)
	hru_slope	각 HRU별 경사 (slope)
	jh_coef_hru	잠재증발산량을 추정하는데 사용하는 온도계수
	tmax_adj	각 HRU별 경사와 경사향에 따른 최고기온 조절값
	tmin_adj	각 HRU별 경사와 경사향에 따른 최저기온 조절값
	snarea_thresh	최대한계 적설물당량, 또는 최소 적설물당량 (inches)
	hru_deplcrv	각 HRU별 연계된 적설면적 감소곡선의 지표
	radpl_aspect	각 일사량 평면별 경사향 (degrees)
	radpl_slope	각 일사량 평면별 경사
	radpl_lat	각 일사량 평면별 위도값 (degrees)
PRMS-non-topographic	soil_moist_max	각 HRU별 토양 단면의 최대 유효수분 보유능 (inches)
	soil_type	각 HRU별 토양 유형을 정의하는 지표
	soil_rechr_max	각 HRU별 토양 함양대의 최대 유효수분 보유능 (inches)
	covden_sum	각 HRU별 주요 식생유형에 따른 여름 식생피복밀도 (percent)
	covden_win	각 HRU별 주요 식생유형에 따른 겨울 식생피복밀도 (percent)
	rad_trncf	겨울 식생수관을 통과하는 단파 복사의 전달계수 (decimal)
	cov_type	각 HRU별 식생피복유형
	srain_intcp	각 HRU별 식생에 의한 여름 강우의 평균 차단량 (inches)
	wrain_intcp	각 HRU별 식생에 의한 겨울 강우의 평균 차단량 (inches)
	snow_intcp	각 HRU별 겨울 강설의 평균 차단량 (inches)

국내의 속성과 상이하기 때문에 국내 GIS 공간자료의 속성을 GIS WEASEL의 입력 속성에 맞게 편집하는 번거로움이 있으며 GIS WEASEL을 사용하지 않고 모형의 매개변수를 추출할 경우 타 유출 모형의 매개변수를 추출에 비하여 비교적 막대한 시간과 노력이 소요되는 실정이다. 매개변수 추출 메뉴는 이러한 번거로움을 해소하고 PRMS 모형의 국내 유역에 대한 활용성을 제고하고자 개발된 메뉴이다.

매개변수 추출 메뉴는 4개의 모듈로 구성하였는데 즉, ① PRMS-topographic: PRMS 매개변수 중 DEM으로부터 추출이 가능한 매개변수 추출 모듈, ② PRMS-non-topographic: PRMS 매개변수 중 토양 및 임상 등과 관련된 매개변수 추출 모듈, ③ PRMS-storm: 홍수 유출 모의를 위한 PRMS 모형의 매개변수 추출 모듈, ④ MMS: PRMS 모형의 최신 버전인 MMS 모형의 장기 일유출 모의를 위한 매개변수 추출 모듈로 구성하여 유출 모의 목적(홍수유출 모의, 장기 일유출 모의)에 맞는 매개변수의 추출이 가능하도록 개발하였다. 또한 국내에서 구축된 GIS 공간자료로부터 추출하지 못하는 매개변수 즉, 민감도 분석 및 모형의 보정에 사용되는 매개변수는 기본값으로 주어지도록 개발하였다. 각 모듈에서 추출이 가능한 PRMS 모형의 주요 매개변수는 표 1과 같다. 여기서 PRMS-topographic 모듈의 매개변수는 DEM으로부터 추출되는 매개변수로서 GIS WEASEL의 추출 알고리즘을 수정



(a) Main screen of parameterization menu



(b) MMS parameters extraction modules

FIGURE 8. Parameterization menu

없이 그대로 사용하였으며 PRMS-non-topographic 모듈의 매개변수는 토양도 및 임상도로부터 추출되는 매개변수로서 국내의 토양 및 임상 속성에 맞게 알고리즘을 개발하였다. 그림 8은 개발된 매개변수 추출 메뉴를 나타낸 것이다.

4.1 soil_moist_max

본 매개변수는 유출 모의 단위 소유역별 토양의 최대유효수분보유능(maximum available water holding capacity)을 나타내는 매개변수로서 토양 깊이에 유효수분보유능을 곱하여 산정하여 인치 단위로 표현한다 (식 1).

$$soil_moist_\max = soil_depth \times soil_awc \qquad (1)$$

여기서, soil_awc는 토양의 유효수분 보유능이며 soil_depth는 토양의 깊이다. 유효수분 보유능은 국내의 토양도 속성에 없는 토양특성이며 토양종류 속성과 STATSGO 토양속성에 정의되어 있는 awc 속성(USDA, 1994)을 이용하여 재분류 하였고 토양 깊이는 토양 깊이 속성을 인치 단위의 토양 깊이로 분류하였다 (표 2).

TABLE 2. Reclass criteria of available water holding capacity and soil depth

토양 종류	속성	soil_awc	토양 깊이	속성	soil_depth (inch)
사양질 내지 사질	1	0.070	매우 깊음	1	59
식양질 내지 미사식양질	2	0.121	깊음~매우 깊음	2	55
자갈이 있는 사양질	3	0.058	깊음	3	49
사양질 내지 식질	4	0.100	보통~깊음	4	39
식양질 내지 사양질	5	0.153	보통	5	30
미사식양질 내지 식질	6	0.158	얕음~보통	6	22
식양질 내지 식질	7	0.158	얕음	7	14
자갈이 있는 사양질	8	0.112	매우 얕음	8	4
미사식양질 내지 식질	9	0.137	암석노출지	49	4
사질	10	0.005			
사양질 내지 미사사양질	11	0.019			
미사사양질 내지 식질	12	0.015			
미사사양질 내지 미사식질	13	0.019			
사양질 내지 식양질	14	0.015			
돌,자갈이 있는 식양질	15	0.010			
식양질 내지 사질	16	0.010			
식양질	17	0.012			
암석노출지	49	0.000			

TABLE 3. Reclass criteria of soil type

토양 종류	속성	soil_type	토양 종류	속성	soil_type
사양질 내지 사질	1	1	사질	10	1
식양질 내지 미사식양질	2	2	사양질 내지 미사사양질	11	2
자갈이 있는 사양질	3	1	미사사양질 내지 식질	12	3
사양질 내지 식질	4	3	미사사양질 내지 미사식질	13	2
식양질 내지 사양질	5	2	사양질 내지 식양질	14	2
미사식양질 내지 식질	6	3	돌,자갈이 있는 식양질	15	2
식양질 내지 식질	7	3	식양질 내지 사질	16	2
자갈이 있는 사양질	8	1	식양질	17	2
미사식양질 내지 식질	9	3	암석노출지	49	1

TABLE 4. Reclass criteria of root_depth

임상 기호	임상 종류	임상 속성	임상 재정의 (GIS WEASEL)	root_depth (inch)
PL	낙엽송림	1	Larch	30
M	침 · 활혼효림	2	Mixed Forest	36
D	소나무림	3	Evergreen Coniferous Forest	36
O	미입목지	4	Grassland	18
H	활엽수혼효림	5	Mixed Forest	36
L	경작지	6	Cropland/Grassland Mosaic	18
PR	리기다소나무림	7	Evergreen Coniferous Forest	30
PK	잣나무림	8	Evergreen Coniferous Forest	30
R	제지	9	Non-forest	0
LP	초지	10	Grassland	18
PH	포푸라림	11	Broadleaf Deciduous Forest	30
PD	소나무인공림	12	Evergreen Coniferous Forest	30
Q	참나무림	13	Broadleaf Deciduous Forest	36
C	침엽수혼효림	14	Mixed Forest	36
E	황폐지	15	Non-forest	0
PO	포푸라림	16	Broadleaf Deciduous Forest	30
PC	포푸라림	17	Broadleaf Deciduous Forest	30
CA	밤나무인공림	18	Broadleaf Deciduous Forest	30
PQ	참나무인공림	19	Broadleaf Deciduous Forest	30
F	벌채적지	20	Grassland	18
W	하천	21	Water Bodies	0
CR	삼나무림	22	Evergreen Coniferous Forest	30
CO	편백나무림	23	Evergreen Coniferous Forest	30
	etc.	24	Non-forest	0

4.2 soil_type

소유역별 토양 유형을 정의하는 매개변수로서 토양종류 속성과 STATSGO 토양속성에 정의되어 있는 texture 속성(1: 모래, 2: 양토, 3: 점토) (USDA, 1994)을 이용하여 재분류 하였다 (표 3).

4.3 soil_rechr_max

소유역별 토양 함양대(soil recharge zone)의 최대유효수분보유능을 나타내는 매개변수로서 토양 함양대는 토양 단면의 상부에 위치하며 증발산에 의한 수분 손실이 발생하므로 soil_rechr_max는 soil_moist_max 보다 작은 값을 가지게 된다. 토양 함양대의 최대유효수

분보유능은 식 2와 같이 계산된다.

$$soil_rechr_\max = soil_awc \times \sqrt{_depth} \quad (2)$$

여기서 root_depth는 근군역(뿌리 깊이)을 나타내며 임상도의 임상속성을 GIS WEASEL에서 사용하는 임상 종류로 재정의하여 임상 종류에 대한 근군역으로서 재분류 하였다 (표 4).

4.4 covden_sum, covden_win

소유역별 주요 식생 유형에 따른 여름 및 겨울 식생피복밀도(vegetation cover density)를 나타내는 매개변수로서 백분율(0.00 - 1.00)로 표현된다. 여름철의 식생피복밀도는 임상도의 임상 속성을 GIS WEASEL의 5가지의 주요 식생유형(1: 황폐지, 2: 초지, 3: 관목, 4: 낙엽수, 5: 침엽수)으로 분류하고 각 식생 유형별 식생피복밀도로서 재분류 하였고 겨울철의 식생피복밀도는 여름철 식생피복밀도로부터 계산된다 (표 5).

$$covden_win = covden_\sum \times \leq af_keep \quad (3)$$

여기서, $leaf_keep$은 겨울에 잎이 유지되는 정도를 나타낸다.

TABLE 5. Reclass criteria between forest type and vegetation cover density

임상 기호	임상 종류	임상속성	주요식생유형	covden_sum	leef_keep
PL	낙엽송림	1	3	1.00	0.60
M	침 · 활혼효림	2	3	1.00	0.60
D	소나무림	3	4	1.00	1.00
O	미입목지	4	1	0.15	0.80
H	활엽수혼효림	5	3	1.00	0.60
L	경작지	6	1	0.15	0.80
PR	리기다소나무림	7	4	1.00	1.00
PK	잣나무림	8	4	1.00	1.00
R	제지	9	0	0.01	0.00
LP	초지	10	1	0.15	0.80
PH	포푸라림	11	3	1.00	0.60
PD	소나무인공림	12	4	1.00	1.00
Q	참나무림	13	3	1.00	0.60
C	침엽수혼효림	14	3	1.00	0.60
E	황폐지	15	0	0.01	0.00
PO	포푸라림	16	3	1.00	0.60
PC	포푸라림	17	3	1.00	0.60
CA	밤나무인공림	18	3	1.00	0.60
PQ	참나무인공림	19	3	1.00	0.60
F	벌채적지	20	1	1.00	0.80
W	하천	21	0	0.01	0.00
CR	삼나무림	22	4	1.00	1.00
CO	편백나무림	23	4	1.00	1.00
	etc.	24	0	0.01	0.00

TABLE 6. Reclass criteria between forest type and vegetation cover density

임상 기호	임상 종류	임상속성	srain_intcp	wrain_intcp	snow_intcp
PL	낙엽송림	1	0.05	0.02	0.02
M	침 · 활혼효림	2	0.05	0.03	0.07
D	소나무림	3	0.05	0.05	0.01
O	미립목지	4	0.05	0.05	0.00
H	활엽수혼효림	5	0.05	0.03	0.07
L	경작지	6	0.02	0.02	0.00
PR	리기다소나무림	7	0.05	0.05	0.01
PK	잣나무림	8	0.05	0.05	0.01
R	제지	9	0.00	0.00	0.00
LP	초지	10	0.05	0.05	0.00
PH	포푸라림	11	0.05	0.02	0.02
PD	소나무인공림	12	0.05	0.05	0.01
Q	참나무림	13	0.05	0.02	0.02
C	침엽수혼효림	14	0.05	0.03	0.07
E	황폐지	15	0.00	0.00	0.00
PO	포푸라림	16	0.05	0.02	0.02
PC	포푸라림	17	0.05	0.02	0.02
CA	밤나무인공림	18	0.05	0.02	0.02
PQ	참나무인공림	19	0.05	0.02	0.02
F	벌채적지	20	0.05	0.05	0.00
W	하천	21	0.00	0.00	0.00
CR	삼나무림	22	0.05	0.05	0.03
CO	편백나무림	23	0.05	0.05	0.03
	etc.	24	0.00	0.00	0.00

4.5 srain_intcp, wrain_intcp, snow_intcp

소유역별 식생에 의한 여름 강우, 겨울 강우, 겨울 강설의 평균 차단량을 나타내는 매개변수로서 임상도의 임상 속성을 이용하여 GIS WEASEL의 식생 유형별 차단량으로서 표 6과 같이 재분류하였다.

요약 및 결론

본 연구에서는 기존 유출분석의 입력자료 생성 시 발생되는 사용상의 불편함과 다양한 수질·수문 모형에 적용을 위한 유역특성자료 도출 기반의 미비로 인하여 보다 편리하고 체계적인 유역특성자료 분석 시스템을 개발하였다. 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

① 수문 모형의 전처리기인 GIS WEASEL의 프로세스를 분석하여 유출인자 추출을 위한 과정을 재 정의하여 시스템 개발항목을 도출하였다. 이에 따라, 기존 모형의 주요 기능을 수용하고 사용자 편리성을 고려한 GUI 설계를 구현하여 보다 편리한 모델링 환경 제공이 가능할 것으로 판단된다.

② 기존의 시스템 설계 방식은 각 모듈설계에 대한 비구조적인 시스템 설계 기법을 이용하여 자료의 흐름, 자료의 처리, 자료의 입·출력 등을 관점으로 설계하였으나 본 연구에서는 객체지향 설계기법인 UML을 이용하여 객체관의 관계, 오퍼레이션, 특성, Class 등에 대한 상세설계를 수행하였다. 객체지향 시스템 설계 기법 도입을 통하여 시스템 개발 및 유지관리에 있어 효율성을 확보하였다.

③ 다양한 수문 모형에 적용이 가능한 GIS 기반의 유역특성자료 분석 시스템 개발을

목적으로 컴포넌트 기반의 ArcObjects를 이용하여 시스템을 개발하였다. 따라서 본 시스템을 이용하여 수문 분석의 전처리 과정인 유역특성자료를 추출함으로서 전처리 과정에 소요되는 비용 및 시간을 크게 절감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

④ 수문모형에 사용되는 입력 매개변수 도출과정을 단계별로 정리하여 국내에서 구축된 공간자료 체계에 맞는 도출기법을 시스템에 적용하였다. 개발된 시스템의 신뢰성 검증을 위해 GIS WEASEL의 결과 값과 비교한 결과 서로 동일한 매개변수가 추출됨을 확인하였다. 따라서 추출된 유역특성자료에 대한 별도의 후처리 과정 없이 수문모형의 입력 자료로의 사용이 가능하다. KAGIS

참고 문헌

한국수자원공사. 용담댐 시험유역특성자료 분석 연구. 2006.

황의호, 채효석, 이근상, 고덕구. 2006. 용담댐 시험유역특성자료 분석 연구. 한국수자원학회 춘계학술발표집. 1444-1449쪽.

Leavesley, G.H., R.W. Lichty, B.M. Troutman and L.G. Saindon. 1983, Precipitation-Runoff Modeling System, User's manual. Water Resources Investigations, pp. 83-4238. USGS.

Leavesley, G.H., P.J. Restrepo, S.L. Markstrom, M. Dixon and L.G. Stannard. 1996b. The modular modeling system-MMS User's manual. USGS Open File Report 96-151, USGS.

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).

USACE-HEC. 2000a. Geospatial hydrologic modeling extention HEC-GeoHMS User's manual. USACE.

USACE-HEC. 2000b. Hydrologic modeling HEC-HMS User's manual. USACE.

U.S. Department of Agriculture, 1994. State soil geographic (STATSGO) data base - data use information, (rev. ed.): Fort Worth, Texas, Natural Resources Conservation Service miscellaneous publication no. 1492, p. 212.

USEPA. 2001. Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources (BASINS) v.3.0 User's Manual. EPA-823-B01-001, Washington, D.C., Office of Water, USEPA.

Viger, R.J. and G.H. Leavesley. 2007. The GIS Weasel User's manual. U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. B4, USGS. KAGIS