

# SWAT/GRASS GIS Linkage를 이용한 기후 및 수자원 자료분석 연구

○이 현\*, 차은정\*, 최영진\*

## 1. 서론

점차 복잡하고 큰 규모의 모델 분석이 요구되면서 수자원 분석에 있어 GIS를 이용하는 경향은 증가되는 추세이다. 이 연구의 목적은 수자원 모형에서 GIS와 연계된 모델분석에 응용할 수 있는 SWAT수문모형을 이용하여 지리정보 데이터 베이스를 이용한 GIS-수자원 모델 분석방법을 고찰하는데 있다. 또한 수집된 데이터의 GIS 데이터베이스 구축의 타당성을 고찰하고 앞서 제시된 모델을 이용한 사례분석을 실시하여 데이터의 흐름과 프로그램의 구체적인 수행과정을 고찰하여 모델의 특성을 분석한다.

## 2. SWAT 모형

토양 및 수문평가 도구(The Soil and Water Assessment Tool : SWAT)는 SWAT/ GRASS 연계에 사용된 수문 모형이다(Arnold and others, 1995). SWAT는 연속계 분지규모 수문모형이며 수문학, 방제와 영양주기 및 침식과 퇴적물 이동 등의 복잡한 장기 모사가 가능하다. 기본적으로 SWAT 수문 모형은 다음의 물 수지 공식에 기초한다.

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (1)$$

여기서,  $SW$ 는 [토양 함수량]-[15bar 함수량]을 나타내며,  $t$ 는 일일 시간, 그리고  $R$ ,  $Q$ ,  $ET$ ,  $P$ , 그리고  $QR$ 은 각각, 분지와 하위분지의 일일 강수량, 유출, 증발산량, 여과량, 및 return flow를 나타낸다. (모든 단위는 millimeters 임)

분포된 Soil Conservation Service (SCS) curve number는 표준 유출 공식(standard SCS runoff equation : USDA, 1986)에서 주어진 육상 유출 체적(overland flow runoff volume)의 계산을 위해 생성되었다.

$$Q = \frac{(R - 0.2s)^2}{R + 0.8s}, R > 0.2s \quad (2)$$

$$Q = \leq 0.2s \quad (3)$$

여기서  $Q$ 는 표면 유출수량,  $R$ 은 강수량,  $s$ 는 retention parameter(유지계수)를 나타낸다.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

여기서  $CN$ 은 curve number를 나타낸다. 초기 항은 또한 유출의 시작과 저감의 축적을 포함, 식

\*기상연구소 예보연구실

생의 차단과 증발후 모든 손실을 계산한다. 선행되는 수분 조건은 curve number map layer 계산에 사용된다. CN은 SWAT이 일일 시간간격으로 수행되기 때문에 매일 자동적으로 업데이트 된다. 토양 데이터베이스는 토양의 타입, 질감, 깊이, 수문학적 분류정보를 얻기 위하여 사용된다. SWAT 모형에서 토양의 종단면은 10개 이상의 레이어로 나누어질 수 있다. 그러한 정보는 SWAT의 작물 성장모델링, 침전량 산출, 유출수 및 물수지 계산에 결정적이다.

SWAT 에서 침투는 [강수]-[유출]로 정의된다. 침투수는 토양층을 통과하는 경로로써 토양 종단면으로 이동한다. 축적 전달경로 유출계수는 층이 현장 용량초과시 발생하는 플로우와 함께, 각각의 토양층을 통과하는 플로우를 예측하는데 사용된다. 물의 침투가 바닥층을 지날 때, 그것은 얇은 대수층 영역으로 진입한다.(Arnold and others, 1993). 이러한 얇은 대수층의 물수지는 다음의 식으로 계산된다 :

$$SAQ_i = SAQ_{i-1} + Rc - revap - q_{rf} - perc_{gw} \quad (5)$$

여기서 SAQ 는 얇은 대수층의 축적을, Rc 는 재충전, revap 는 토양 종단면 밑의 얇은 대수층으로 부터의 물의 흐름을 나타내며,  $q_{rf}$  는 하천으로의 return flow를,  $perc_{gw}$  는 깊은 대수층으로의 침투, 그리고  $i$  는 일수를 나타낸다. Channel 전달손실과 얇은 대수층으로의 pond/reservoir 침투수는 얇은 대수층이 하천과 직접적으로 상호작용 하는 동안 재충전된다. 하천의 Baseflow 후퇴 ( $\alpha$ ) 는 하천흐름 기록에서 입력된 자료로부터 구해진다. 이것은 다음 식으로 계산된다 :

$$\alpha = 2.3 \frac{\ln(q_{t-1}) - \ln(q_t)}{\Delta t} \quad (6)$$

$$\alpha = 2.3 \frac{10}{BFD} \quad (7)$$

여기서 BFD 는 1 대수주기 동안 통과하는 baseflow 후퇴 일수를 말한다. 이 방법에서 방출량은  $\alpha$ 와 동일한 경사를 가진 log-normal 척도로 표출될 수 있다. 깊은 대수층 시스템으로의 흐름은 효과적으로 손실되고 하천으로 회수되지 않는다. (Arnold and others, 1993).

또한, 관개수의 이송은 SWAT model의 유지관리 작용에 병합된다. 도달 경로 명령체계가 주어지면 분지내의 물의 전달모사는 비교적 간단하다. SWAT용으로 개발된 관개 알고리즘은 관개수가 어떤 도달점 혹은 저수지로부터 다른 어떠한 유역내의 곳으로 전달이 가능하다. 그것은 또한 물의 관개를 위한, 전환과 직접적인 적용을 가능하게 한다.

SCS 유출 공식을 사용하여 계산된 표면 유출에 기초하여, 초과된 표면 유출은 다른 함수에서 손실되지 않고 하류로 경로설정이 된 채널에 방향 설정이 된다. SWAT에서는 각각의 경로가 분지와 하위분지의 성격에 따라서 따로 설정된다. 이러한 명령구조는 도달하는 유역과 저수지를 통하여 경로를 설정하고 플로우를 추가한다. 명령어 집합은 유역의 방출구에 대한 경로설정과 플로우 추가를 제어하기 위해 사용된다.

연못과 저수지로 경로 설정된 물은 기본적인 방수구 수위의 저장을 초과하여 저장된 체적을 증가 시켜, 기본적인 방수구 수위가 초과되면 주어진 방류량에서 유출을 발생 시킨다. 그러나 저수지에서 빠른 유입이 발생하면 유출은 비상 방출 수위를 넘게 되어 초과 체적을 포함하게 된다.

하천에 유입 이송되는 침식량 산출은 수정 공통 토양 손실 공식(Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE : Arnold, 1992)에서 결정되며, 식은 :

$$Y = 11.8(Vq_p)^{0.56} (K)(C)(PE)(LS) \quad (8)$$

여기서 Y 는 분지로 부터의 산출 침식량, V 는 표면 유출 체적,  $q_p$  분지의 최대 유출율, K 는 토

양의 침식성 계수,  $C$  는 작물 관리계수,  $PE$  는 침식제어 현상 계수, 그리고  $LS$  는 경사도 및 함준 계수, 특히  $C$  계수는 작물의 생물체와 잔류물의 함수이다.  $K$  값은 하위 분지 성격으로부터 생성되는 다른 계수들과 함께 STATSGO<sup>2)</sup> 데이터베이스로부터 직접 얻어진다.

SWAT에서 침식경로 설정에 관해서는, 퇴적량의 계산이 여러 가지 침전의 크기에 따른 낙하 속도에 기초하여 이루어진다. 채널의 붕괴율은 Bagnold's (1977) 의 하천 세력식으로부터 결정된다. 토양의 침전 크기는 SWAT model 이 STATSGO 데이터 베이스로부터 얻는 일차 분산입자 크기로 추정된다.(Foster and others, 1980). 또한 하천 세력(Stream power)은 침전 경로절차로 계산되고, 모든 물질이 제거 될 때까지 시스템 내에서 풀려서 퇴적되는 물질의 재 설정된 계산법이 사용된다. 저수지의 침전은 저수지의 저장체적에 기초한 침전 유입과 유출로서 비슷한 방식으로 결정된다. 저수지의 퇴적물은 낙하속도와 저수지 유입 유출 비율의 함수이다.

장기 기후 모사의 합성물 생성기는 기후 입력변수를 개발하기 위해 SWAT에 사용된다. 강수량이나 온도에 관해서는 현존하는 기상관측소의 기상 데이터베이스 파일에서 추출되고 사용되는 직접입력이나, 혹은 모델이 분지의 지리적 위치에 따른 조건을 모사하게 된다. 기후 생성기는 분지내의 한 지점에서 독립적인 변수를 생성하고 그러므로, 모델상의 다른 지점에서 생성된 기후사이에는 상호관계가 없다. SWAT 기후 생성기는 일일 강수량, 태양복사, 최고와 최저 온도, 풍속, 상대습도를 생성한다. 각각의 하위분지는 단일 강수 계량기로 표현되거나 강수/유출값의 더욱 정확한 모사를 위해 분지 시스템내의 다중 관측소가 지정될 수 있다.

### 3. Geographic Resources Analysis and Support System(GRASS)

사용된 GIS 는 GRASS(Geographic Resources Analysis and Support System) version 4.2 (CERL, 1997)으로서, 미국 Illinois주 Champaign에 위치한, 미군 건설기술연구실(the U.S. Army Construction Engineering Research Lab : USA-CERL)이 개발한 범용 GIS 이다.

래스터기반 GIS 인, GRASS 는 본래 토지 및 군 시설의 환경관리를 지원하기 위하여 개발되었다. GRASS software 는 양호한 이식성과 사용자 친밀성 때문에, 정부 부처, 대학, 개인연구에 널리 사용되게 되었다. GRASS가 널리 퍼지게 된 또 하나의 이유는 데이터 레이어와 정보가 다른 GIS application에서도 쉽게 사용될 수 있다는 점이다. 또 다른 이유는 software 자체가 C 언어로 짜여져 있어서 어떠한 표준 UNIX platform에서도 실행된다는 점이다.

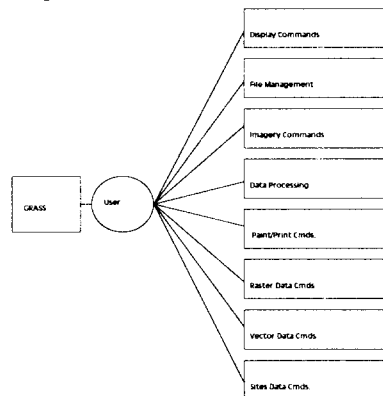


fig.1 가능한 도구들을 보여주고 있는 GRASS GIS 의 개요. 이러한 유형의 포괄적인 시스템의 사용은 사용자로 하여금 수문학 모델링을 위한 데이터 셋의 개발과 관련하여 GRASS 내에서 도구들을 유용하게 사용하도록 한다. 또한 GRASS 는 출력데이터의 가시화를 위하여 사용될 수 있다.

#### 2) 주립 토양 지리 데이터베이스(the State Soil Geographic Database :STATSGO)

GRASS는 digitizing, image processing, 지도제작, modeling, 그리고 GIS 기능 등등, 집중된 프로그램들의 집합을 제공한다. GRASS의 명령어와 프로그래밍 구조는 최소한의 프로그래밍으로 다른 응용 소프트웨어, 데이터베이스, 도구들과의 연계를 가능하게 한다. GRASS에 의해 제공되는 프로그램과 도구들의 많은 부분은, 유역모형에 응용할 수 있다. 경사, 지세, 유역묘사, 및 흐름경로 계산 프로그램이 수문학 연구를 수행함에 있어 유용하게 사용될 수 있도록 고안되었다.

#### 4. 사례분석

본 연구에 사용된 데이터는 미국 Midlands Regional Research Laboratory(MRRL)에서 개발한 “GRASS Seeds - A Beginner’s Tutorial”의 Dataset으로 사용된 North west Leicestershire 지역의 12km×12km범위를 대상으로 하여 지형 및 각종 데이터를 이용하였다. 기본적인 축척은 도로, 도시지역, 유역, 하천에 대해 1/2십5만, 수치지도모델(DEM)은 1/5만으로서 50m 격자셀이 240×240개가 사용되었다. 다음 표는 사용된 데이터와 설명을 보여준다.

file name	image title
crash	Site of Motorway crash
contours	Topographic Contour data
image	Satellite image
landcov	Land cover / Land use
plant	Sawage treatment plant
popln	Population data
rail	Railways
roads	Road network
segment	Polluted river segment
source	Sawage source
spillage	Chemical spillage
topo	Digital Elevation Model
urban	Major Urban areas
water	Rives and reservoirs

table.1 Raster map layers for this study.

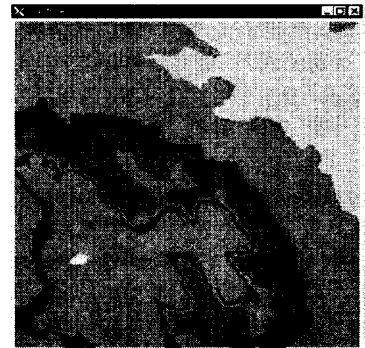


fig.2 Topographic map(DEM)

이러한 데이터는 SWAT모델분석에 모두 이용되지는 않지만, GRASS는 모델분석 이외의 많은 부분에 응용되는 프로그램이므로 기타 여러 분석의 경우를 위하여 다양한 자료가 마련된 것이다.

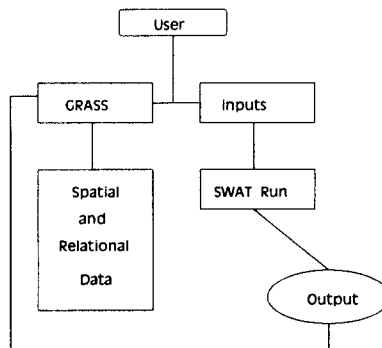


fig.3 GRASS-SWAT연계의 개요. 사용자는 SWAT model 에 요구되는 입력데이터를 구축하기 위해, 선취 인터페이스를 가지고 지도 셋의 형태로 공간적으로 참조된 데이터(지도 레이어)를 처리한다. 사용된 지도 레이어는 SWAT에서 필요한 정보를 포함하고 있는 관계형 데이터베이스에 연결된다.

SWAT/GRASS project의 시작을 위해, 메뉴방식의 화면이 제공된다. *swatgrass*는 SWAT /GRASS interface project manager에 의해 요구되는 필요한 환경변수를 생성하는 일종의 초기화 스크립트이다. *swatgrass*를 시작하기 전에 사용자는 GRASS GIS를 실행 중에 있어야 한다. 사용자가 *swatgrass*를 타자하면, 그림 4과 같은 메뉴가 표시된다.

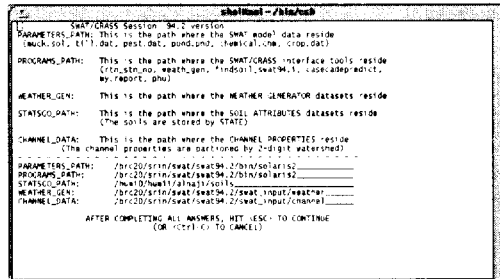


fig.4 SWAT/GRASS interface

*swat\_input96.2* 는 SWAT 모사의 실행에 필요한 입력치를 완성하기 위해 단계별 메뉴를 제공한다. 각각의 모사는 *swat\_input96.2*에서 "project" 로 취급된다. 사용자가 *swatgrass*명령어 라인에서 *swat\_input96.2*를 타자하면 다음과 같은 화면이 나타난다.

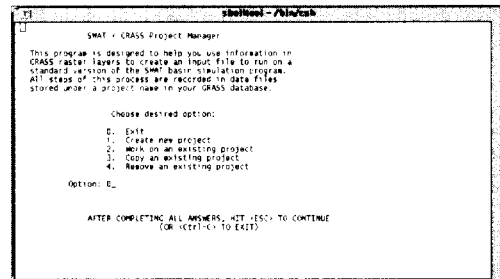


fig.5 *swat\_input96.2* interface

여기에서 새로운 프로젝트나 기존의 프로젝트를 선택하고 ESC 키를 누르면 다음과 같은 메뉴가 나타나는데 실제 모델의 수행이 모두 여기서 이루어진다. 지면 관계상 각 단계에 관한 설명은 생략하였다. 메뉴항목 좌측의 "run" 표시는 아직 모델이 수행되지 않았음을 나타내며 필요한 입력이 완료되면 "done"으로 표시된다. 또한 입력변수가 변경되어 다시 수행되어야 할 경우에는 "rerun"으로 표시된다.

**SWAT / GRASS Project Data Extraction Menu**  
Project Name: Leicester-Swat/Grass Session

Status	Option	Description
	0	Quit
	1	Extract data from layers
	2	Display Raster, Vector and/or Site Maps
run	3	Extract Basin Attributes
run	4	Extract Soils Attributes
run	5	Extract Topographic Attributes
run	6	Extract Land use Attributes
run	7	Extract Irrigation and Nutrients Attributes
run	8	Extract Weather Generator Attributes
run	9	Extract Rain and Temperature Gauges
run	10	Input Reservoir & Inflow/Withdrawal Menu
run	11	Compute Routing Structure and Create .fig file
run	12	Extract Groundwater Attributes
run	13	Update Climate Attributes
run	14	Misc. Functions

Option: 0\_\_

## 5. 결론

SWAT/GRASS project를 수행하면 결과물로서 래스터 지도가 생성된다. 이러한 지도는 위 메뉴3~14의 각 단계에서 지정한 파일명으로 저장되며 GRASS의 *r.report* 명령을 사용하여 보고서로 출력할 수도 있다. 앞서 설명한 바와 같이 이 결과(지도)들은 GRASS와 연계된 database에 저장되거나 다시 SWAT의 입력으로 처리된다. 다음은 결과화면의 예이다.

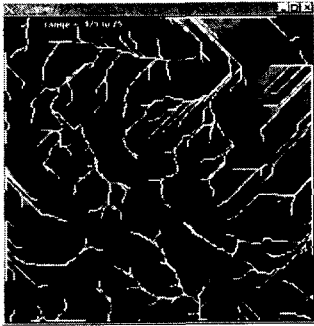


fig.6 Accumulation map



fig.7 Half-basin map

## 6. Acknowledgement

이 연구는 과학기술부 지원에 의하여 기상연구소가 수행한 1998년 특정연구개발사업 환경기반 기술개발(과제번호: 98-N11-02-01 -A-02)의 일환으로 이루어졌다.

## 7. 참고문헌

- R. Srinivasan, B. W. Byars, and J. G. Arnold1. SWAT/GRASS User's Manual, USDA - Agricultural Research Service Soil and Water Research Lab. Temple, Texas, Texas Agricultural Experiment Station, Blackland Research Center, Temple, Texas, 1996
- S.F.Clamons & B.W.Byars, GRASS4.2 User's Manual, GRASS Reaseach Group, Bayler University, 1997
- Mitchel Langford & Joseph Wood, GRASS Seeds - A Beginner's Tutorial, Midlands Regional Reasearch Laboratory(MRRL), 1995