

지리정보시스템을 이용한 장기유출모형의 개발(II)

- 전·후처리 시스템 개발 -

Development of a Cell-based Long-term Hydrologic Model Using Geographic Information System(II)

- Pre and Post Processor Development -

최진용* · 정하우** · 김대식***
Choi, Jin Yong · Chung, Ha Woo · Kim, Dae Sik

Summary

A CELTHYM(Cell-based Long-term HYdrologic Model), a pre-processor and a post-processor that can be integrated with geographic information system(GIS) were developed to predict the stream flow of a small agricultural watershed. Three kinds of routines, that are watershed boundary extraction routine(WBER), curve number calculation routine(CNR) and maximum available soil moisture calculation routine(MASR) composed pre-processor that was nicely interfaced with CELTHYM and GIS. Two kinds of routines, grapher and map composer composed post-processor that was well adapted CELTHYM output to chart making and GIS map making. The developed pre-post processor was useful for the GIS integration and spatial comprehension of the CELTHYM output.

I. 서론

총괄형 모형의 단점을 보완하기 위해서는 유역의 토지이용상황이나 지상인자의 변화에 따른 유출 및 수문인자의 변화를 파악할 수 있는 분포형 수문모형을 이용하는 것이 적합

하다고 알려져 있으며, 우리나라에서도 AGNPS와 같은 수문모형을 적용한 바 있다. 그러나 이는 분할 요소마다 지형, 토양, 토지 이용상태와 같은 상세한 정보가 필요하며, 정교한 수문자료에 의해 보정되어야 하므로 적용에 걸림돌이 되어 온 것이 사실이다. 이와

*서울대학교 농업개발연구소

**서울대학교 농업생명과학대학

***서울대학교 대학원

키워드 : 장기유출모형, 수문모형, 지리정보시스템, 유역증발산량

같이 공간적으로 자세한 자료를 필요로 하는 분포형 매개변수 수문모형은 최근에 수문모형에의 응용이 보편화 되고 있는 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)을 이용하면 입력자료 작성과 출력자료의 처리에 효과적으로 운영될 수 있을 것이다. 미국 등 GIS가 발달된 나라에서는 ANSWERS, HEC과 같은 단기유출모형 뿐 아니라 SHE, TOP-MODEL 등과 같은 분포형 장기유출모형과 지리정보시스템의 통합 운영을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다^{10,11,12,13}. 한편, GIS에 통합하거나 GIS로 부터 자료를 획득하여 효율적으로 분포형 수문모형 등에 응용하기 위해서는 입력자료의 처리를 위한 전처리 시스템, 후처리 시스템을 개발하여 사용하는 것이 효과적이며^{12,13}, 우리나라에서도 홍수유출 해석, 농업 비점원 오염 해석, 수자원 관리 분야 등에 활발하게 지리정보시스템의 응용에 관한 연구가 진행되고 있으나 장기유출해석과 이에 대한 지리정보시스템 통합 운영에 관한 연구는 아직 미진한 상태에 있다.

따라서, 본 논문의 제2보는 제1보에서 개발된 격자단위 장기유출 모형 CELTHYM(CELL-based Long-Term HYdrologic Model)을 지리정보시스템과 통합 및 연계 운영이 가능하도록 하기 위한 입력자료 작성 전처리 시스템과 유역수문량의 공간적 현황 파악이 가능한 후처리 시스템의 개발하는데 목적이 있다.

II. 자료구조 및 처리

1. 자료의 구조

지형공간 자료를 처리하는 전후처리기의 개발에 있어 가장 먼저 정의되어야 하는 것은 처리하여야 할 자료의 형식을 표현하는 자료 구조이다. 자료 구조란 입력과 저장, 출력에 관련된 자료의 서식을 일컫는 바, 본 연구에서는 격자 형태의 지도자료를 이용하므로, 행,

```
ncols      61
rows       85
ulcorner   19533.34377
llcorner   423987.78127
cellsize   30
nodata_val -9999
```



Fig. 1. Example of ASCII data of grid map

열, 격자크기, 지도의 왼쪽 아래 모서리를 실제 좌표로 투영된 X, Y좌표값, 격자의 속성이 없는 부분의 값(nodata) 등이 자료의 헤더(header)에 포함되어야 한다. 헤더 부분은 격자지도를 실제 좌표계에서 투영, 중첩 등의 처리를 할 때 격자의 위치와 좌표를 계산하는데 이용된다. 격자자료 지도는 Fig. 1과 같이 격자의 값을 행과 열의 형태로 나열하여 저장하되 헤더의 자료를 참조하여 행과 열의 값을 처리할 수 있도록 되어 있다.

2. 자료의 처리

가. DEM

공간상에 나타나는 고도에 관한 연속적인 기복의 변화를 수치적으로 표현하는 방법을 수치 고도 모델(Digital Elevation Model, DEM)이라 한다. DEM의 고도는 여러 가지 방법으로

표현될 수 있으나 계산과 자료의 처리가 쉽고 모델링에 적합한 규칙적인 격자배열인 고도행렬의 형태로 나타내는 것이 일반적인 방법이다. 고도행렬은 일정간격의 격자를 구성하여 격자 중심점의 고도를 행렬의 형태로 나타내는 것을 의미한다.

나. DEM의 오류 수정

지형도로 부터 수치 등고 지도를 구축한 후에 오류가 없는 DEM을 얻으려면 Fig. 2와 같은 여러 단계의 처리과정을 거쳐야 한다. 등고선으로 구축된 수치지도를 등고선의 변곡점들을 삼각망으로 연결한 TIN(Triangle Irregular Network)으로 변환한 후, 이로부터 각 격자점을 보간하여 격자고도자료(DEM)를 만든다. TIN으로 부터 생성된 DEM은 low-pass filtering과 sink-fill과 같은 처리과정을 거쳐 오류를 수정하여야 한다. low-pass filtering은 흐름방향도(flow direction)을 생성하기 전에 평면인 격자군의 값을 주변 격자값으로 보간하고 격자간의 고도차를 가지도록 하여 부드럽게하는 효과(smoothing effect)를 갖게하는 것이다. 이와 같이 filtering한 자료

도 고도자료를 이용하여 흐름 방향도를 작성하면 하나의 격자로 주변 8개 격자의 흐름이 모이는 경우가 생긴다. 이러한 격자 역시 고도자료 보간 오류에서 발생하게 되는데, 이러한 격자를 sink 격자라고 하며 sink 격자가 있으면 유역경계 발생시 흐름방향을 차단하게 되어 오류를 발생하게 되므로 sink-fill 작업을 통하여 이를 제거하여 주어야 한다.

다. 경사도 및 경사방위 계산

본 연구에서 사용하는 수치고도모델(DEM)은 격자형태로 나타내며 격자값은 고도로서 지형의 형태를 표현하도록 되어 있다. 경사도 S는 식 (1)을 이용하여 하나의 격자를 둘러싼 8개 격자의 대각선방향에 따른 고도의 차이를 계산하여 고도차가 가장 큰 것을 경사도로 계산하게 된다. 경사방향 A는 주변에 인접한 8개 격자로 부터 식 (4)와 같이 계산한다.

$$S_{(i,j)} = MAX(\Delta EL / Dist') \dots\dots\dots (1)$$

위에서 ΔEL 은 반대방향간의 고도차, Dist은 반대방향간의 거리이다. Dist'은 대각선 방향과 X, Y방향에 따라 식 (2), (3)으로 계산된다.

$$Dist' = 1 \times Dist(X, Y \text{ direction}) \dots\dots\dots (2)$$

$$Dist' = 1.414216 \times Dist(\text{diagonal direction}) \dots\dots\dots (3)$$

여기서 Dist는 격자 간격이다.

$$A = MAX(S) \dots\dots\dots (4)$$

여기서 A는 North(N), South(S), East(E), West(W), North East(NE), North West(NW), South East(SE) 그리고 South West(SW)와 같이 8개 방향으로 구분된다.

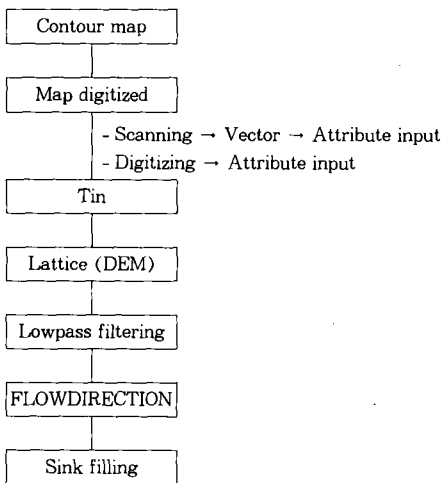


Fig. 2. Algorithm of error free DEM preparation procedure

III. 전·후처리 시스템의 개발

본 연구에서는 소유역의 일 유출량 추정을 위하여 지리정보시스템으로 부터 추출된 유역의 지상인자와 일 기상자료를 이용하여 유출량을 추정할 수 있는 격자형 장기유출 모형 CELTHYM(Cell-based Long-Term Hydrologic Model)을 개발하였다. 또한 CELTHYM을 지리정보시스템과 연계 운영을 위해 격자자료 형태로 유역의 지상인자를 추출하여 입력자료 작성을 할 수 있도록 유역경계추출 루틴, 유출곡선번호(Curve Number, CN)계산 루틴, 최대유효수분량 계산 루틴으로 구성된 전처리 시스템(Pre-processor)을 개발하였고, 유역수분량인 일 유출량, 토양수분량, 증발산량 등의 공간적 분포에 대한 파악과 다양한 출력결과를 처리할 수 있는 그래프 작성기(ographer)와 지도 작성기(map composer)로 구성된 후처리 시스템(Post-processor)을 개발하였다.

CELTHYM, 전처리시스템, 후처리 시스템과

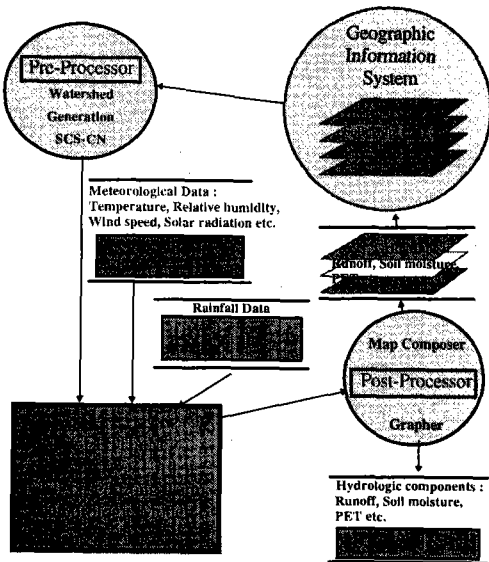


Fig. 3. Development of GIS integrated long-term hydrologic model

의 모형간의 연결과 자료의 흐름을 개념적으로 나타내면 Fig. 3과 같고, 이는 지리정보시스템, 전·후처리 시스템, CELTHYM이 유기적으로 연결되어 운영될 수 있음을 보여준다.

1. 도형자료 전처리시스템의 개발

전처리 시스템은 지리정보시스템의 격자수 치지도로 부터 장기유출모형의 입력자료를 공급하기 위한 프로그램으로서 유역경계 발생을 위한 WBER(Watershed Boundary Extraction Routine), SCS CN 계산을 위한 CNR(CN Routine), 최대 유효 토양수분량 계산을 위한 MASR(Maximum Availvble Soil moisture Routine) 등 모두 3개의 루틴으로 구성되어 있으며, 입출력자료를 정리하면 Table-1과 같다. Fig. 4는 CELTHYM, 전처리 시스템 그리고 지리정보시스템의 연결과 자료의 흐름도 DFD(Data Flow Diagram)를 나타낸다.

Table-1. Description of pre-processor routines and in put-output

Model	Input	Output
Watershed Boundary Extraction routine (WBER)	- DEM - Flow direction - Stream line	Sub-watershed of stream cell
CN routine (CNR)	- Landuse - Soil drain condition - LU/T classification - Hydrologic soil group classification	SCS curve number
Max. ASM routine (MASR)	- Soil type - Effective soil depth	Max. available soil moisture

가. 유역경계 추출

유역경계란 강우의 발생시 일정 지점의 유출에 기여하는 집수구역으로서, 이는 DEM을

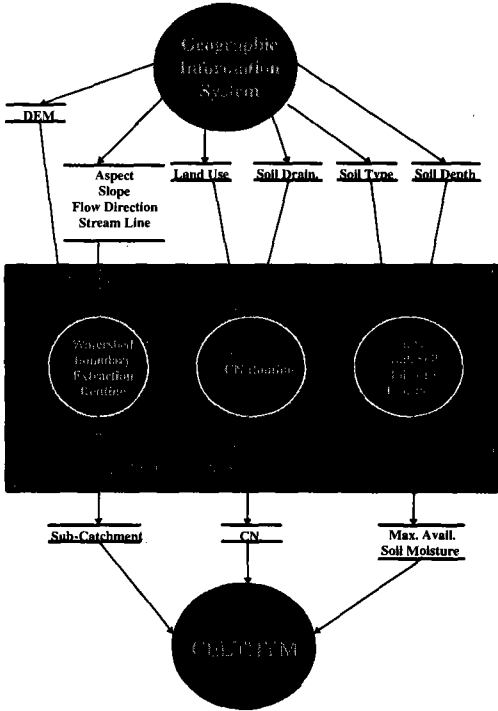


Fig. 4. Data flow diagram of Pre-processor with GIS and long-term hydrologic model

이용하여 효과적으로 추출해 낼 수 있다. 유역경계의 발생루틴은 하천 격자의 각 지점을 유출구로 하는 소유역을 분할하여 입력자료를 작성하는데 사용되며, 작성된 자료는 CELT-HYM에서 소유역별 유출량을 계산하는데 이용된다.

1) 흐름방향 생성(Flow direction generation)

GIS에서 격자의 흐름방향을 생성하기 위한 기법으로는 유입격자를 표시하는 유입격자도(inflow cell map) 생성과 유출격자를 표시하는 유출격자도(outflow cell map) 생성으로 구별되고, 이 중에서 유출 격자도를 흐름 방향도(flow directionmap)라 한다.

흐름 방향도는 윈도우를 사용하여 주위 격자 중에서 가장 낮은 고도값을 가지는 격자의 2진수로 표시하게 되고, 이는 최급경사방향(direction of the steepest slope)이 된다.

2) 유역 추적 알고리즘

흐름 방향도를 이용하여 유입계산자(inflow calculator)를 이용하면 임의 격자로 유입되는 격자를 찾아낼 수 있다. 즉 흐름 방향도에서 유입 계산자를 임의 격자의 중심으로 위치시킨 후에, 주변의 8개 격자에 대하여 유입 계산자의 값과 비교하여 유입 계산자의 값과 같은 값을 갖고 있는 격자는 그 중심 격자로 유입되는 격자이며, 이는 같은 유역의 격자임을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 어떤 임의의 유출구에 대하여 유입계산자를 이용하여 유입 격자가 선정되면 이 격자에 유출구와 같은 격자값을 입력하고 다시 새로 선정된 격자에 대하여 위와 같은 방법을 되풀이 하여 유입격자가 발생하지 않을 때 까지 반복하면 한개의 유출구에 대한 유역 발생이 끝나게 된다. 유역발생의 작업순서는 Fig. 5와 같다.

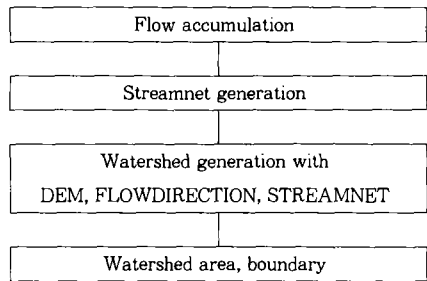


Fig. 5. Algorithm of watershed boundary extraction

나. SCS CN 산정

본 연구에서 강우에 의한 지표유출량 산정은 미국 토양보전국에서 개발한 SCS 유출수법(SCS Curve Number Method, 이하 CN)을 사용하였는 바, 토양도의 배수조건과 지형도의 토지이용도를 수치지도화 한 후 격자자료로 변환하여 CN을 산정할 수 있는 CN 산정루틴을 개발하였고, 방법은 Fig. 6과 같다. CN 값은 도형자료의 속성에 따라 토지이용도와 수문학적 토양 분류를 이용하여 구분할 수

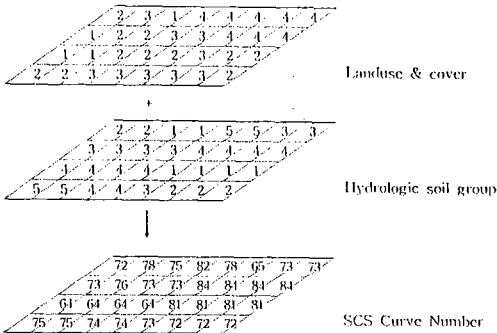


Fig. 6. Curve Number determination procedure using map algebra

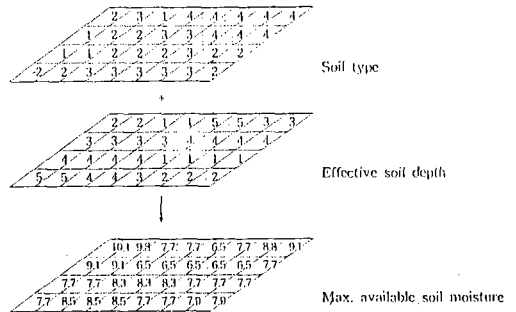


Fig. 7. Calculation of max. available soil moisture using map algebra.

있도록 하였다.

CN은 지표면의 토지이용상태, 경작방법, 토지피복의 수문학적 상태(hydrologic condition)와 수문학적 토양군(hydrologic soil group)을 이용하여 AMC II (Antecedent Moisture Condition II) 조건에서의 유출수(curve number, CN)를 결정할 수 있다.

다. 최대 유효토양수분량 산정

본 연구에서는 토양도로 부터 토양종류와 유효토심의 격자자료를 획득하여 최대유효수분량(최대 토양수분 미흡량)의 격자자료를 얻을 수 있는 최대 유효토양수분량 산정 루틴(Max. ASM Routine)을 구성하였으며 장기유출모형에서는 이를 이용하여 격자 단위의 토양수분을 계산하도록 하였다. 격자별 최대유효 토양수분량은 토양종류별 포장용수량과 위조점, 토양별 최대 공극률을 사용하였고, 계산 방법은 Fig. 7과 같다.

2. 출력자료의 후처리 시스템의 개발

본 연구에서 개발된 장기유출모형은 일유출량, 일별 토양수분, 일별 잠재 증발산량 등이 격자별로 계산되기 때문에 일별 수문량의 공간적 변화를 도표나 수치로서 파악하기는 무리가 따른다. 따라서 유역 수문량에 대한 계산 결과를 검토하고, 이의 공간적 분포를 파

악하려면 출력자료를 지도와 그래프로 나타내어 유역 수문량의 일별 변화를 3차원적으로 확인할 수 있도록 하는 후처리기의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Table-2와 같은 격자별 일단위 장기유출모형(CELTHYM)의 출력결과를 시간적·공간적으로 재현할 수 있는 후처리 시스템을 개발하였다. CELTHYM은 Table-2와 같이 유출구에서의 일별 직접 유출량, 일별 기저 유출량 뿐만 아니라 하천 격자별 일별 직접 유출량과 기저 유출량을 계산하여 주며 유역의 각 격자별 직접유출량과 침투량, 토양수분, 지하배수량, 증발산량을 산정한다.

후처리 시스템은 유출지점의 자료와 유역수문량의 평균값의 일별 변화를 그래프로 볼 수 있는 그래퍼(grapher)와 수문량의 공간적 분

Table-2. Description of post-processor routines and input-output

Routine	Input	Output
Grapher	Outlet daily runoff and watershed data	Runoff hydrograph Soil moisture graph Evapotranspiration graph
Map composer	Map header Grid-based runoff Grid-based soil moisture Grid-based evapotranspiration	Daily map of runoff Daily map of soil moisture Daily map of evapotranspiration

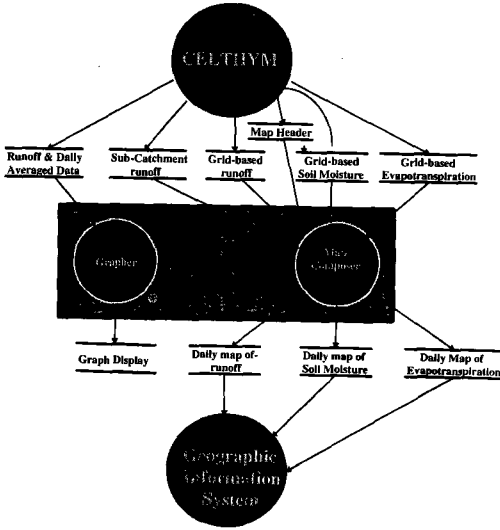


Fig. 8. Data flow diagram of Post-processor with GIS and long-term hydrologic model

포를 격자지도로 변환하여 주는 맵 콤포저 (map composer)로 구성되어 있으며, 이의 자료흐름과 모형간의 연결은 Fig. 8과 같다.

IV. 전·후처리 시스템의 적용

1. 입력자료 전처리 결과

가. 유역경계발생

오류가 수정된 격자고도자료와 하천망 격자 자료를 이용하여 대상 유역을 소유역으로 분할하였으며, 이를 적용한 결과는 Fig. 9와 같다. 유역경계 발생모형을 이용하여 소유역을 분할한 결과, 하천망 격자 만큼의 소유역이 발생하였으며 실제 지형과 비교한 결과 수작업에 의한 유역경계와 비교적 잘 일치함을 볼 수 있었다.

나. 유출곡선번호 산정

지리정보시스템에서 추출한 토양 배수 조건, 토지이용 격자자료를 이용하여 SCS CN을 산정한 결과, Fig. 10와 같다.



Fig. 9. Sub-catchment extracted with WBER

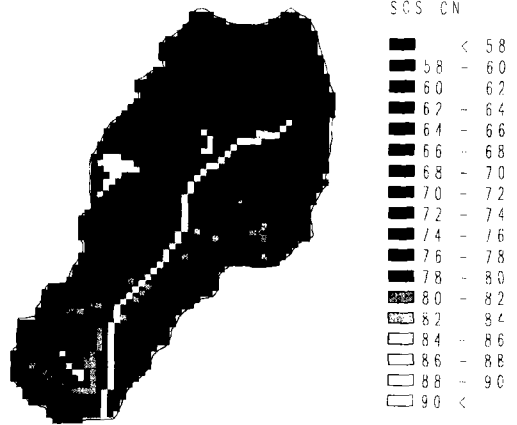


Fig. 10. SCS CN calculated with CNR

다. 최대 유효수분 산정

지리정보시스템에서 추출한 유효토심, 토양 종류로부터 산정한 격자별 최대 유효토양수분 조건은 Fig. 11과 같다.

2. 출력자료의 후처리 결과

본 연구에서 개발된 후처리 시스템은 그래프 작성기(Grapher)에서는 유출구에서의 유출량, 유역평균 토양수분, 증발산량 등과, 지도 작성기(Map composer)에서는 공간자료로서 격자단위의 유출량, 잠재증발산량, 토양수분 등을 처리하도록 되어있다. CELTHYM 계산 결과의 공간적 분포를 살펴보기 위하여 본 연구에서 개발된 후처리 시스템을 이용하여 작성한 출력결과는 Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14

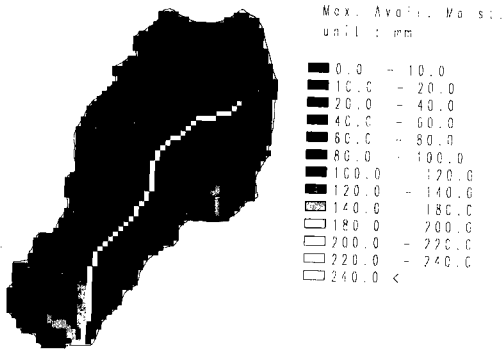


Fig. 11. Maximum available soil moisture with MASR

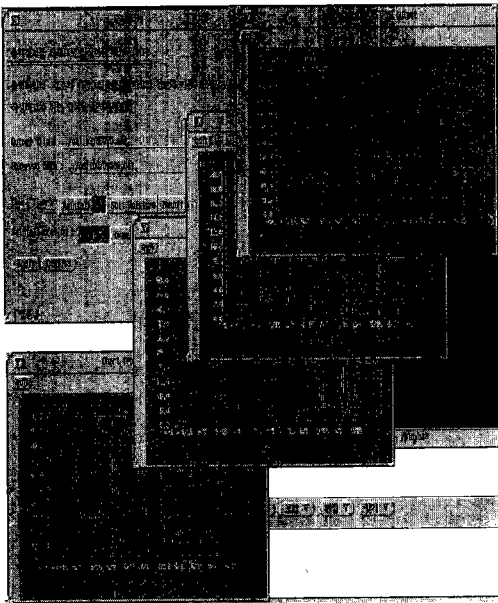


Fig. 12. Example display of charts for daily runoff using grapher

와 같다. Fig. 12는 유출구의 유출량의 일별 변화를 그래퍼를 이용하여 출력한 결과이다. Fig. 13은 격자별 일 유출량을 표시한 것으로서 논지역과 바위 노출 지역은 밝게 나타나서 유출량이 산림에 비하여 많이 발생함을 알 수 있으며, Fig. 14는 일별 토양수분변화를 격자별로 나타낸 것으로서 밝게 나타나는 지역이

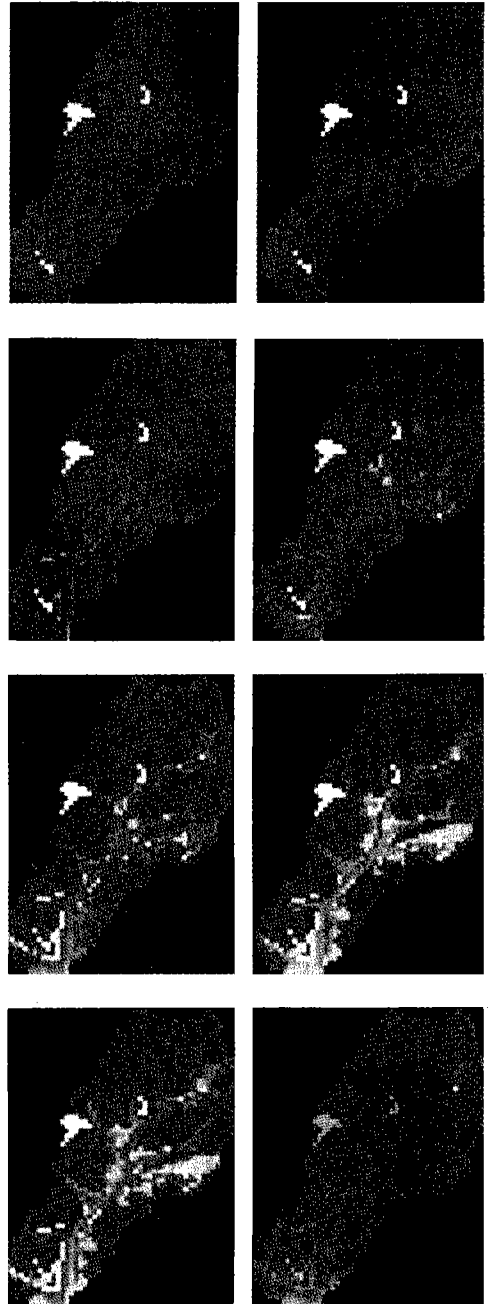


Fig. 13. Example display of cell-based direct runoff using post-processor

담수 상태의 논지대이며 토지이용상황에 따른 토양수분 변화를 살펴 볼 수 있다.

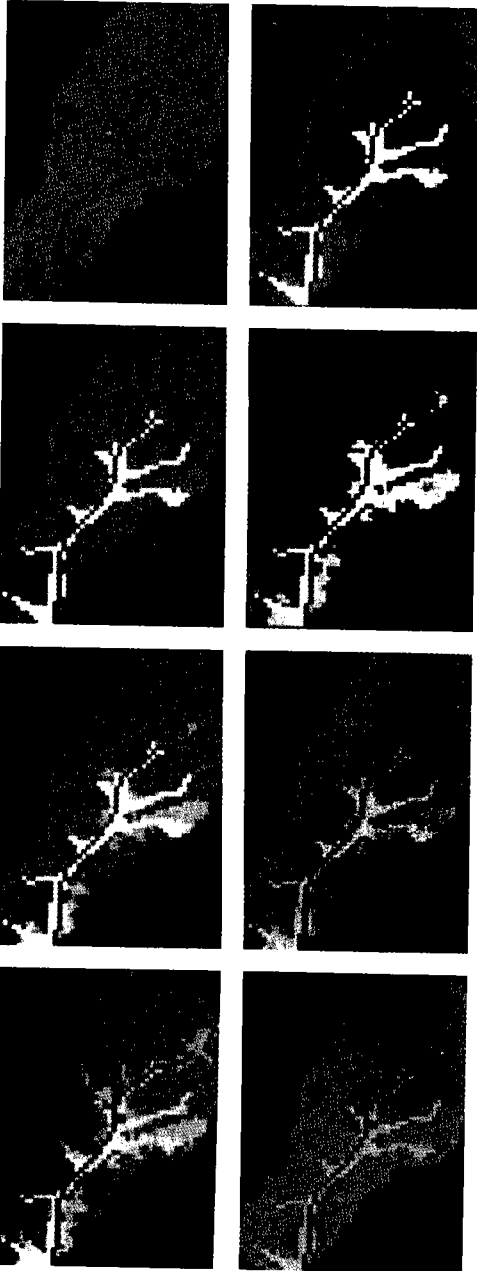


Fig. 14. Example display of cell-based soil moisture using post-processor

유출량 추정을 위하여 지리정보시스템으로 부터 추출된 유역의 지상인자와 일 기상자료를 이용하여 유출량을 추정할 수 있는 격자형 장기유출 모형 CELTHYM(CELL-based Long-Term HYdrologic Model)의 운영과 이 모형의 입력자료 작성을 위한 전처리 시스템, 출력자료의 처리를 위한 후처리 시스템을 개발하였다.

1. 전처리 시스템은 지리정보시스템과의 연계운영과 입력자료 작성을 위하여 CN 계산 루틴, 유역경계 추출 루틴, 최대유효수분량 계산 루틴으로 구성하였으며, 후처리 시스템은 출력결과를 수문자료를 차트로 작성하는 그래프 작성기(grapher)와 격자지도로 작성할 수 있는 지도 작성기(map composer)로 구성하였다.

2. 본 연구에서 개발된 전처리 시스템을 이용하여 대상유역 자료의 처리와 소유역 분할, CN 값 계산, 최대 유효 수분량 계산을 실시할 수 있었으며, 대상 유역내 분할격자의 공간적인 입력자료를 효과적으로 작성하여 분포형 장기유출모형의 운영이 용이 하였다.

3. 후처리 시스템의 그래프 작성기를 이용하여 유출구에서의 유출량과 유역의 평균 증발산량, 토양수분 등을 그래프로 확인할 수 있었고, 지도 작성기를 이용하여 지리정보시스템으로 자료변환을 할 수 있었으며, 모형의 계산 결과인 수문량의 공간적 분포를 효과적으로 파악할 수 있었다.

4. 지리정보시스템을 이용한 격자형 일단위 장기유출모형을 개발하고, 이 모형을 이용하기 위한 자료의 전·후처리 시스템을 개발하여 적용한 결과, GIS와 통합·연계하여 수자원 관리 지리정보시스템 등에 운영할 수 있을 것으로 사료되었다.

V. 요약 및 결론

본 연구의 제1보에서 개발된 소유역의 일

참 고 문 헌

1. 고재균, 정하우 외, 1991-1993, 농어촌용

- 수 이용 합리화계획 자료정보 D/B 구축 연구(I), (II), (III), 농림수산부, 농어촌진흥공사
2. 김진택, 1995, 농업비점원 오염모형을 위한 지리정보시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위 논문
 3. 유근배, 1990, 지리정보론, 상조사
 4. 정하우, 박병태, 이정재, 최진용, 1995, 농촌지역 토지이용계획 기법 연구(II)-GIS의 공간분석기법 이용-, 한국농촌계획학회지, Vol.1(2), pp.43-51
 5. 정하우, 김성준, 최진용, 김대식, 1995, 소유역 지표유출의 시간적·공간적 재현을 위한 GIS 응용모형, 한국GIS학회지, Vol.3(2), pp.136-146
 6. 정하우, 이정재, 이남호, 김성준, 최진용, 1995, 농어촌지역의 수자원시스템 계획을 위한 지리정보시스템의 활용, 한국 GIS 학회지, Vol.3(1), pp.39-46
 7. 최진용, 1996, 지리정보시스템을 이용한 장기유출모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문집
 8. Broder, M., and B. Sperling, 1993, Raster based modelling of watersheds and flow accumulation, HydroGIS 93 : Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources, IAHS Publ. no. 211, pp.193-199
 9. Chase S. B., 1991, The integration of hydrologic simulation models and geographic information, Ph. D. Thesis. University of Rhode Island
 10. Grayson, R. B., G. Bloschl, and I. D. Moore, 1995, Distributed Parameter Hydrologic Modelling using Vector Elevation Data : THALES and TAPWS-C, Computer Models of Watershed Hydrology, ed. Singh, V. P., Water Resources Publications, pp.669-696
 11. Moore, I. D., J. C. Gallant, L. Guerra, and J. D. Kalma, 1993, Modelling the spatial variability of hydrological processes using GIS, HydroGIS 93 : Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources, IAHS Publ. no. 211, pp.161-169
 12. Refsgaard, J. C. and B. Storm, 1995, MIKE SHE, Computer Models of Watershed Hydrology, ed. Singh, V. P., Water Resources Publications, pp.809-846
 13. Romanowicz, R., and K. Beven, J. Freer, and R. Moore, 1993, TOPMODEL as an application module within WIS, HydroGIS 93 : Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources, IAHS Publ. no. 211, pp. 211-223
 14. Van Deursen, W. P. A., and J. C. J. Kwadijk, 1993, RHINEFLOW : an integrated GIS water balance model for the river Rhine, HydroGIS 93: Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources, IAHS Publ. no. 211, pp.507-518
 15. Zang, H., and C. T. Haan, 1990, Hydrologic modeling with GIS, ASAE, Vol.6(4).

(접수일자 : 1996년 11월 14일)