

# 소유역 지표유출의 공간적 해석을 위한 지리정보시스템의 응용모형(Ⅱ)

- 격자 불수지 모형을 위한 GIS응용 모형 개발 -

## GIS Application Model for Spatial Simulation of Surface Runoff from a Small Watershed(Ⅱ)

- Development of a GIS Application Model for Cell Water Balance (CELWAB) Model -

김 대 식\* · 정 하 우\*\* · 김 성 준\*\*\* · 최 진 용\*  
Kim, Dae Sik · Chung, Ha Woo · Kim, Seong Joon · Choi, Jin Yong

### Summary

This paper is to develop a GIS application model (GISCELWAB) for the spatial simulation of surface runoff from a small watershed. The model was constituted by three sub-models : The input data extraction model (GISINDATA) which prepares cell-based input data automatically for a given watershed, the cell water balance model (CELWAB) which calculates the water balance for a cell and simulates surface runoff of watershed simultaneously by the interaction of cells, and the output data management model (GISOUTDISP) which visualize the results of temporal and spatial variation of surface runoff.

The input data extraction model was developed to solve the time-consuming problems for the input-data preparation of distributed hydrologic model. The input data for CELWAB can be obtained by extracting ASCII data from a vector map. The output data management model was developed to convert the storage depth and discharge of cells into grid map. This model enables to visualize the spatial formulation process of watershed storage depth and surface runoff wholly with time increment.

---

\* 서울대학교 대학원

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학

\*\*\* 서울대학교 농업개발연구소

키워드 : 지리정보시스템, 분포형 수문모형

## I. 서 론

분포형 모형의 입력자료를 효율적으로 추출하기 위하여 지리정보시스템을 이용한 연구가 1970년 후반부터 많은 연구자들에 의해 연구되기 시작하였으며 최근에 이르러 범용화되어 가고 있는 실정이다. 또한 수문모형의 출력결과를 GIS 기능으로 나타내는 연구도 1990년대에 들어 태동하기 시작하였다.<sup>2)</sup>

분포형 모형의 입력자료는 유역을 격자별, 공간자료별로 분할하여 구성되는데, 자료의 정교함과 복잡성 등의 많은 어려움으로 인하여 실제로 사용하는 데는 한계가 따른다.<sup>10)</sup> 따라서 이들 자료를 효율적으로 구성하기 위하여 지리정보시스템을 이용한 자료처리 및 추출기법의 도입이 필요하다.

한편, Cuhadaroglu(1992)<sup>12)</sup>는 격자 수치자료를 이용하여 도시홍수유출해석을 위한 2차원 유한요소모형을 개발하고, 이 모형의 결과를 GIS 데이터베이스에 저장하고 그래픽 기능을 이용하여 수심도로 나타낸 바 있으나, 그 후로는 출력자료 처리에 관한 연구가 거의 없었으며, 특히 소유역에 대한 연구는 없는 실정이다.

분포형 모형의 출력결과를 GIS 기능으로 나타내기 위해서는 우선 수문모형이 시간별, 격자별로 계산 결과를 출력할 수 있도록 구성되어야 한다. 이렇게 출력된 격자별 자료는 사용 소프트웨어의 기능을 통해 적절한 모형으로 변환되고 도시되어야 한다. 따라서 수문모형의 결과를 GIS를 이용하여 유역전체에 대한 유출현상의 시각적 인지가 가능하도록 하는 기법의 개발이 요구된다.

본 연구의 목적은 격자 물수지 모형의 입력자료 및 출력자료를 GIS를 이용하여 구성 및 처리하도록 하는 격자 물수지 모형을 위한 GIS의 응용모형을 개발하는데 있다. 제 1보에서 개발 및 적용된 격자 물수지 모형의 입력

자료 추출모형과 격자별, 시간별 저류수심을 모형으로 나타내는 출력자료 처리모형을 ARC/INFO의 기능을 이용하여 개발하고 그 적용성을 분석하였다.

## II. 모형의 개발

### 1. 모형의 구성

본 보에서는 GIS의 소프트웨어인 ARC/INFO를 이용하여 소유역의 지표유출 해석 모형 GISCELWAB (GIS-Cell Water Balance)을 개발하였다. 본 모형은 격자 물수지 모형 (CELWAB)과 이를 지원하기 위한 입력자료 추출 모형 (GISINDATA)과 출력자료 처리 모형 (GISOUTDISP)으로 구성된다.

격자 물수지 모형 (CELWAB)은 격자별 물수지 계산을 통하여 유역 출구점 및 유역전체에 대한 유출현상을 재현하도록 한 것인데, 임의 격자에서 물수지 계산이 가능하도록 하기 위한 유출입계산자 (Inflow-Outflow Calculator)의 개발이 필요하였다. 유출입계산자는 GIS Tool에서 사용하는 격자자료처리 기법인 3×3윈도우의 개념을 응용하여 C 언어로 구성하였으며, 격자자료를 이용한 분포형 모형에 필요한 격자간 이송체계의 수작업 작성 문제를 자동으로 해결하고, 격자의 크기 및 갯수에 상관없이 효율적인 계산이 가능하도록 하며, 출력 결과를 격자별로 나타내기 위하여 개발한 것으로 제 1보에서 상술하였다.

입력자료 추출 모형 (GISINDATA)은 모형자료층의 설계 (layer design) 후 자료구축 흐름도에 따라 구축된 벡터자료를 격자지도 (grid map)로 자동으로 처리, 작성한 후, 격자 물수지 모형의 입력자료인 격자별 ASCII로 변환하도록 하기 위하여 ARC/INFO의 내장언어인 AML (Arc Macro Language)을 사용하여 개발하였다.

출력자료 처리 모형 (GISOUTDISP)은 격자

물수지 모형의 출력결과인 격자별 ASCII자료를 지도로 변환하여 시간적, 공간적 유출현상의 재현을 위해 ARC/INFO에 도시하도록 C언어와 AML을 사용하여 개발하였다.

이상과 같이 구성한 GISCELWAB 모형의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

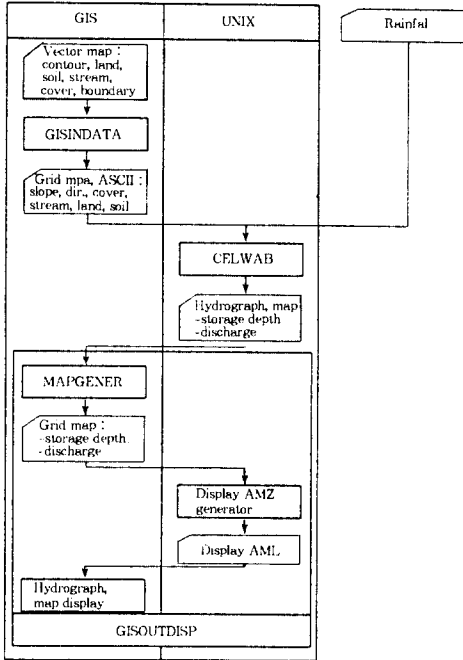


Fig. 1. Flow chart of GISCELWAB model

## 2. 입력자료 추출 모형

### 가. 도형자료층의 설계

CELWAB 모형에서 필요로 하는 도형자료는 등고선도, 유역경계도, 토양도, 하천도, 토지이용도, 토양피복도의 여섯개 층으로 구성된다. 토양도와 토지 이용도는 현재 1:25,000 축척으로 정밀도를 구성하고 있으므로 본 연구에서는 모든 자료층에 대해서 1:25,000 축척 지도를 사용하였다. 자료층에 대한 분류는 Table-1과 같다.

Table-1. Assortment of layer design and input attribute

layer	scale	feature	attributes
contour map	1:25,000	line	elevation
stream map		line	stream type
soil map		polygon	soil number, soil type
land use map		polygon	land use type
cover map		polygon	cover condition type
boundary map		polygon	-

### 나. 도형자료의 구축

도형자료는 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과에서 연구한 바 있는 자료구축 흐름도에 따라 구축하였다.<sup>1)</sup> Fig. 2는 자료구축 흐름도를 나타낸다.

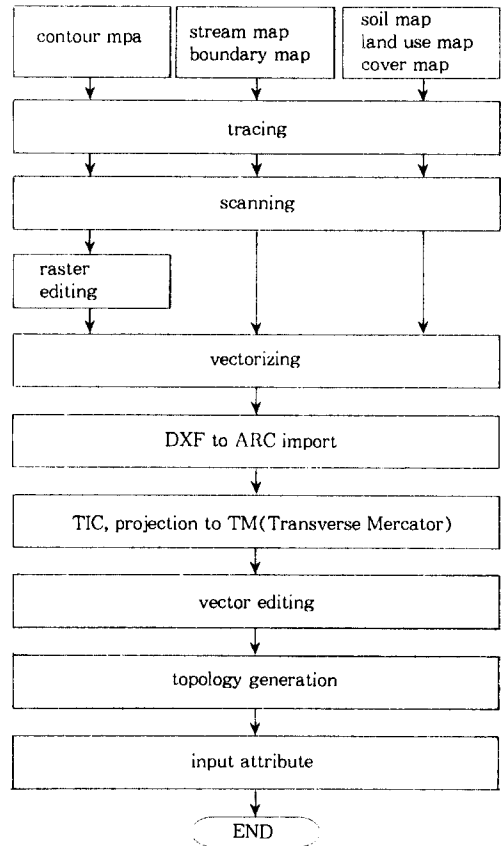


Fig. 2. Flow chart of GIS data construction

다. 입력자료 추출 모형

입력자료 추출 모형의 개발을 위해 ARC/INFO의 모듈들 중에서 ARC, GRID의 두가지를 사용하였는데, 각 모듈에서 지원하는 함수와 매크로 언어인 AML (Arc Macro Language)을 이용하여 Fig. 3의 흐름도와 같이 GISINDATA를 개발하였다. 각 과정에서 가장 중요하고 복잡한 수치고도자료(DEM)의 자료처리과정은 백터고도자료를 불규칙삼각망(TIN, Triangulated Irregular Network)으로 변환시킨 후, 모든 지표면에 대하여 내삽하여 격자지도(grid map)로 변환하게 되는데, 격자 사이의 거친 부분을 제거하기 위한 필터링

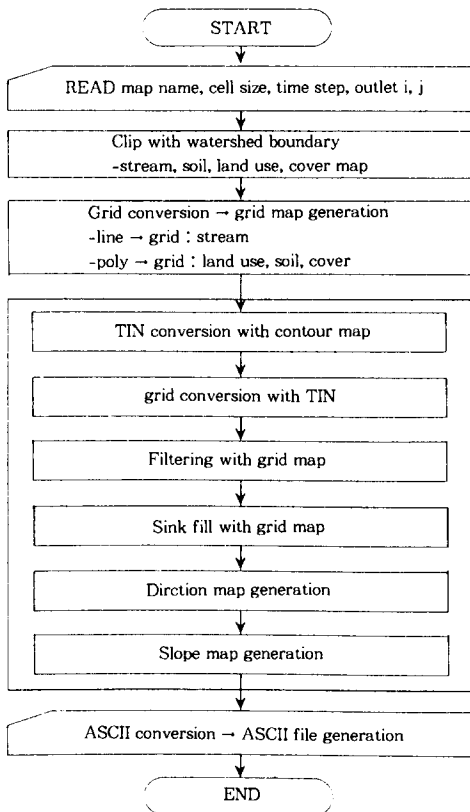


Fig. 3. Flow chart of GISINDATA model

(filtering)과 싱크(sink) 격자를 제거하기 위해 필(fill)을 하도록 하였다.

라. 출력자료 처리 모형

CELWAB 모형의 출력결과인 ASCII자료를 격자 지도로 변환시켜 도시가 가능하도록 하기 위하여 출력자료 처리 모형 GISOUTDISP를 개발하였다. GISOUTDISP 모형은 출력지도 생성 모형 MAPGENER, 출력지도 도시 모형 GISDISP로 구성된다.

1) 출력지도 생성 모형

CELWAB 모형의 출력결과인 ASCII자료를 격자지도(Grid map)로 변환시켜 주기 위하여 AML을 이용하여 MAPGENER 모형을 개발하였다. 이 모형은 ARC/INFO와 UNIX C 언어로 구성된 CELWAB 모형의 완전 호환이 가능하도록 하기 위해 개발한 것으로 Fig. 4의 흐름도와 같이 구성하였다.

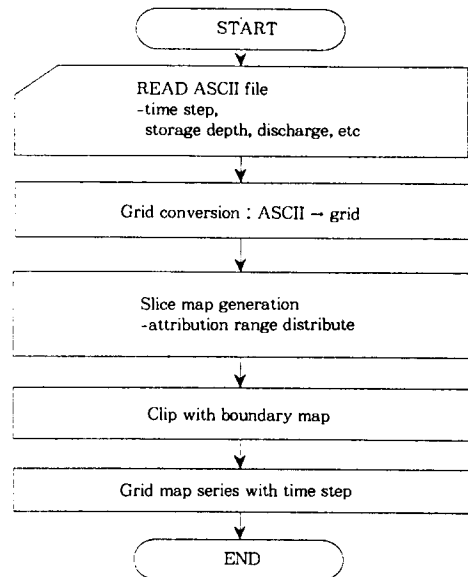


Fig. 4. Flow chart of MAPGENER model

## 2) 출력지도 도시 모형

MAPGENER 모형의 출력결과인 시간별 격자 지도와 유출곡선을 도시하도록 하기 위하여 출력지도 도시 모형 GISDISP를 개발하였다. 이 모형은 지도와 유출곡선을 동시에 도시할 수 있도록 하기 위하여 AML을 이용하여 구성하였다. GISDISP 모형은 유역 출구의 유출곡선 자료, 시간별 저류 수심도, 유출량도와, DEM자료를 입력받아 시간별 유역출구격자의 유출곡선과 시간별 지도를 3차원으로 도시하도록 하여 유역전체의 유출현상을 시간적, 공간적으로 인지가 가능하게 한다. Fig. 5는 GISDISP 모형의 흐름도를 나타내고 있다. 흐름도에서 처럼 크게 유출곡선자료와 지도 이름을 입력받아 AML 프로그램을 생성하는 부분과 구성된 AML 프로그램에 의해 도시하는 부분으로 나누어 구성하였는데, 그 이유는 유출곡선의 경우 강우마다 달라지므로 AML의 특성상 유출곡선마다 AML을 다시 구성해 주어야 하는 어려움을 없애고, GISCELWAB 모형의 자동화를 위해서 C 언어로 도시 프로그램을 만드는 프로그램을 개발 적용하였다.

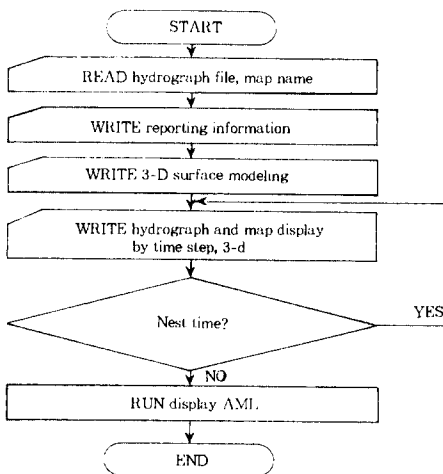


Fig. 5. Flow chart of GISDISP model

## III. 모형의 적용

### 1. 적용유역의 도형자료 구축

제 1보에서 CELWAB 모형을 적용한 경기도 안산시 반월동에 위치한 유역에 대하여 CELWAB 모형의 입력자료에 필요한 도형자료를 구축하여 이를 입력자료 추출 모형으로 추출하였다. 적용유역에 대한 도형자료는 유역경계를 포함하는 사각형 내부에 대하여 구축하였으며 구체적 속성입력 내용은 Table-2와 같다. Fig. 8~Fig. 9는 경사도와 흐름방향도를 나타낸다.

Table-2. Attribute data of each layer

layer	attribute
contour map	level(20m~130m)
stream map	type(1, 2)
soil map	soil number, soil type(1, 2, 3)
land use map	land use type(1, 2, 3, 4)
boundary map	-

### 2. 모형의 적용결과

#### 가. 입력자료 추출 모형

GISINDATA의 출력결과는 30m 격자로 제 1보에 격자지도로 나타낸 바 있다. 또한 Fig. 6은 격자지도를 ASCII 자료로 변환시킨 토지 이용도를 나타낸 것이다.

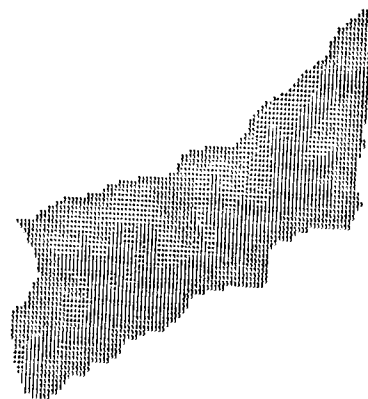


Fig. 6. ASCII data of land use grid map

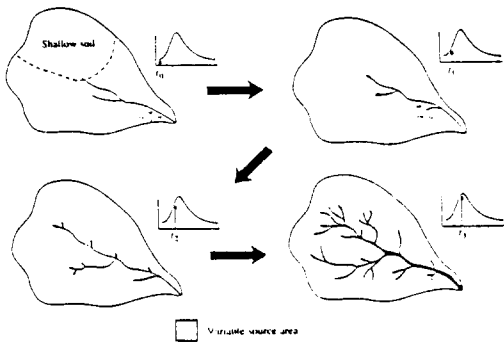


Fig. 7. A time-lapse view of a watershed showing expansion of the source area and channel system during a storm

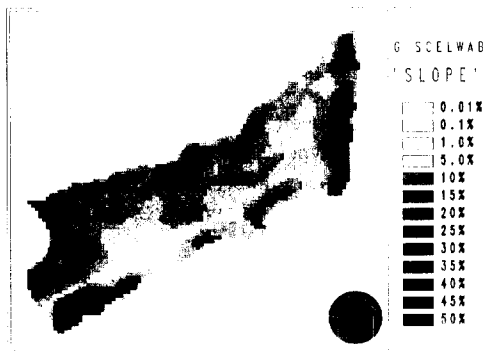


Fig. 8. Slope map of WS #1



Fig. 9. Flow direction map of WS #1

### 3. 출력자료 처리 모형

GISOUTDISP 모형의 결과는 ARC/INFO의 GRID 모듈에서 3차원 모델링과 시간별 저류수심도, 유량도, 유출곡선으로 도시된다. Fig. 10(a)~Fig. 10(d)는 3시간 지속, 50mm/hr

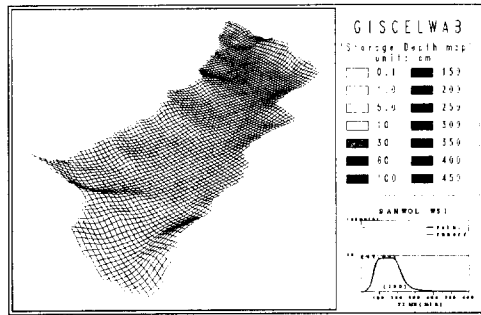


Fig. 10(a). Storage depth map after 10min

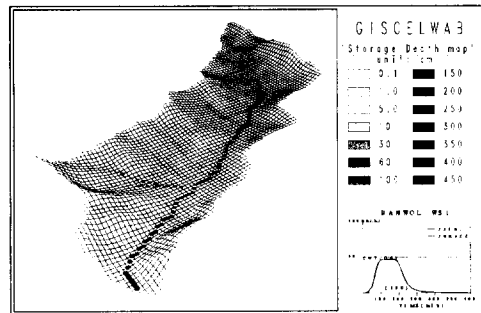


Fig. 10(b). Storage depth map after 30min

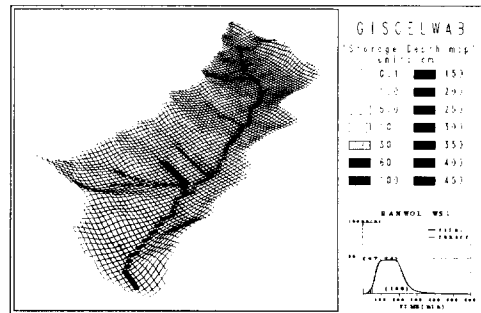


Fig. 10(c). Storage depth map after 50min

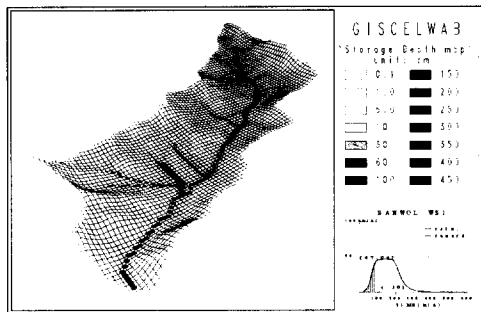


Fig. 10(d). Storage depth map after 120min

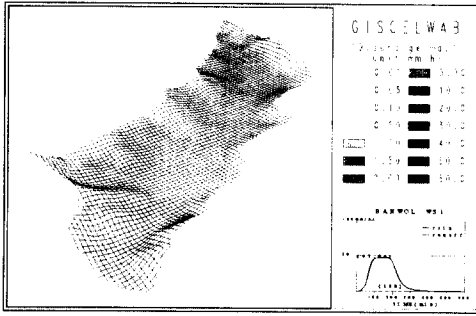


Fig. 11(a). Discharge map after 10min

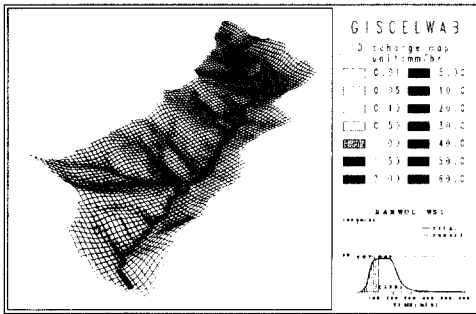


Fig. 11(b). Discharge map after 120min

의 강우강도에 대하여 강우시작 10, 30, 50, 120분에 대한 저류 수심도를 나타낸 것이다. 그림에서 처럼 유역전체에 대한 시간적, 공간적 유출현상의 분석이 가능하며, Hewlette (1982)<sup>11)</sup>이 도식적으로 나타낸 Fig. 7과 같은 현상을 재현한다고 판단되었다. 결과에서 보면 강우초기에는 유역적 작은 집수구역에서 먼저 집수되며, 점차적으로 주 수로를 형성하고 수문곡선의 최대점에 이르러 유출구지점의 수심이 최대로 됨을 보여주고 있다. Fig. 11(a), Fig. 11(b)는 강우시작 10, 120분에 대한 유량도를 나타낸 것이다.

#### IV. 결 론

지리정보시스템의 이용은 단순히 입력자료만 추출하던 단계에서 점차 수문모형의 일부로서 호환(interface)되어 가는 경향을 보이고 있다. 이러한 호환에 있어서 다양한 상업적

소프트웨어의 기능을 고려해야 하며, 호환모형은 각 사용소프트웨어의 기능에 알맞게 개발되어야 한다. 본 연구에서는 지리정보시스템의 응용모형으로서 격자 물수지 모형을 위한 GIS 호환 모형 GISCELWAB을 개발하였는 바, 이를 위하여 부모형으로 분포형 모형의 입력자료 구성의 문제점 해결을 위해 수치지도와 지리정보시스템을 이용한 입력자료 추출 모형 GISINDATA를 개발하였고, 유역 전체에 대한 유출현상의 시간적, 공간적 재현이 가능하도록 하기 위해 격자 물수지 모형 CELWAB의 출력결과를 도형화하고 도시하는 출력자료 처리 모형 GISOUTDISP를 개발하였다. 또한 본 모형을 시험유역에 적용하여 그 응용성을 검토하였다.

1) 입력자료추출 모형은 벡터지도로부터 격자 물수지 모형에 필요한 격자별 ASCII자료를 자동으로 추출하여 분포형 모형의 입력자료 구성 문제를 해결하였다.

2) 출력자료 처리 모형은 격자 물수지 모형의 출력결과인 저류수심 및 유량을 지도화하여 유출현상의 시각적 인지가 가능하게 하였으며, 유량도와 저류 수심도를 재현한 결과에서는 시간경과에 따라 집수수로 및 주수로의 형성과정과 유역적 습지의 전체적인 파악을 가능하게 하였다.

#### 참 고 문 헌

1. 고재균, 정하우 외, 1991, 농어촌용수 이용 합리화계획 자료정보 D/B 구축연구 (I), 농림수산부, 농어촌진흥공사.
2. 김대식, 1995, 지표배수량 산정을 위한 지리정보시스템의 응용모형 개발, 서울대학교 석사학위 논문.
3. 김병진, 1987, 수문모형 ANSWERS의 반월유역에의 적용, 서울대학교 석사학위 논문.

4. 유근배, 1990, 지리정보론, 상조사
5. Allen S. J., 1987, Digital hydrologic modeling methods for water resources engineering with application to the Broad Brook Watershed(Connecticut), Ph. D. Thesis, The University of Connecticut.
6. Anderson, L. O. and C. L. Larson, 1977, Predicting peak runoff rate for ungaged watershed, Trans. ASAE.
7. Arnold J. G. et al, 1993, Continuous time, GRID cell watershed model, ASAE, Proceedings of the 18-19 June 1993 Conference, pp. 267-278.
8. Baxter E. V., 1993, DEM aggregation and smoothing effects on surface runoff modeling, J. of Computing in Civil Engineering, Vol. 7, No. 3, pp. 310-338.
9. Chang C., 1992, A physically-based flood prediction model aided by a Geographic Information System, Ph. D. Thesis. University of Calgary (Canada).
10. Chase S. B., 1991, The integration of hydrologic simulation models and geographic information, Ph. D. Thesis. University of Rhode Island.
11. Chow V. T. et al, 1988, Applied hydrology, McGRAW-HILL, pp. 201-302.
12. Cuhadaroglu M., 1992, Integrating a finite element model with a Geographic Information System to model urban stormwater flow, Ph. D. Thesis. The University of Texas at Austin.
13. Devulapalli R. S., 1990, Application of Geographic Information Systems in hydrologic modeling, MS. Thesis. University of Louisville.
14. James L. D., 1972, Hydrologic modeling, parameter estimation, and watershed characteristics, J. of Hydrology, Vol.(17)
15. Mary L. W. et al, 1988, Input data development for a distributed parameter hydrologic model (FESHM), ASAE, Proceedings of the 1988 International Symposium, pp. 462-469.
16. Nageshwar R. B. et al, 1992, Hydrologic parameter estimation using Geographic Information System, J. of Water Res. Plan. and Man., Vol. 118, No. 5, pp. 492-512.
17. Rewerts C. C., 1992, ANSWERS on GRASS : Integration of a watershed simulation with a Geographic Information System (Nonpoint Source Pollution), Ph. D. Thesis. Purdue University.
18. Rosenthal W. D. et al, 1993, A GIS-Watershed hydrology model link to evaluate water resources of the lower Colorado river in Texas, ASAE, Proceedings of the 18-19 June 1993 conference, pp. 260-266.
19. Steenberghen T. M., 1992, Automation of data input in the A&M watershed model using GIS, Ph.D. Thesis. Texas A&M University.
20. Steffen, P. M., H. S. Tarek, and W. L. Jhon, 1993, Geographic Information Systems in urban storm water management, J. of Water Resour. Planning and Management, ASCE, 119(2), pp. 206-228.

(접수일자 : 1995년 3월 24일)