The Journal of GIS Association of Korea, Vol.3, No.2, pp.135-146, October 1995

소유역 지표유출의 시간적·공간적 재현을 위한 GIS 응용모형

정하우* • 김성준* • 최진용* • 김대식*

GIS Application Model for Temporal and Spatial Simulation of Surface Runoff from a small watershed

Ha-Woo Chung • Seong-Joon Kim • Jin-Yong Choi • Dae-Sik Kim

요 약

본 연구의 목적은 소유역 지표유출의 시간적·공간적 재현을 위한 GIS의 응용 및 호환 모형 GISCELWAB을 개발하는 것이다. 이 모형은 세가지의 모형으로 구성되었다. 분포형 수문모형인 격자 물수지 모형 CELWAB과 CELWAB 모형의 입력자료를 자동으로 추출하는 입력자료 추출모형 GISINDATA와 CELWAB 모형의 계산결과를 도형화하여 도시하도록 구성된 출력자료 처리 모형 GISOUTDISP로 구성되었다.

GISINDATA는 모형의 입력자료 구성에 소모되는 시간을 절약하고 자료의 객관적 정확성을 갖도록 하기 위하여 개발되었으며, GISOUTDISP는 CELWAB 모형의 결과를 도형화하고 도시하여 유역전체에 대한 유출현상을 시간적, 공간적으로 재현하는 것을 가능하게 하였다.

ABSTRACT : The purpose of this study is to develop a GIS application and interface model (GISCELWAB) for the temporal and 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

* 서울대학교 농공학과(Department of Agricultural Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon, 441-744, Tel.(0331) 290-2369)

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 cell into grid map. This model enables to visualize the temporal and spatial formulation process of watershed storage depth and surface runoff wholly with time increment.

서 론

강우-유출해석을 위한 GIS의 이용은 가장 기본적인 기능인 지도중첩기능과 면적추출 기능을 통하여 가장 활발하게 진행되어 왔다고 할 수 있다. 특히, 분포형 모형의 입력자료를 효율적으로 추출하기 위하여 지리정보시스템을 이용한 연구가 1970년 후반부터 많은 연구자들에 의해 연구되기 시작하였으며 최근에 이르러 범용화 되어가고 있다. 또한 수문모형의 출력결과를 GIS 기능으로 나타내는 연구도 1990년대에 들어 태동하기 시작하였다.[2]

Allen(1987)[3]은 SWHAM 모형의 입력자료를 GIS로 추출하였으며, Devulapalli (1990)[6]는 입력자료 추출에 대한 GIS의 효율성을 검토하였고, Chase(1991)[4]는 Huber et al.(1983)이 개발한 SWMM모형에 ARC/INFO를 호환시켰으며, 그 밖에 Nageshwar et al.(1991)[7]은 WAHS, Rewerts(1992)[8]는 ANSWERS 모형에 적용하는 등 많은 연구사례가 있으나 국내의 경우는 실제로 적용된 연구는 미흡한 상태이다.

분포형 모형의 입력자료는 유역을 격자별, 공간자료별로 분할하여 구성되는데, 자료의 정교함과 복잡성 등의 많은 어려움으로 인하여 실제로 사용하는데는 한계가 따른다.[4] 따라서 이들 자료를 효율적으로 구성하기 위하여 지리정보시스템을 이용한 자료처리 및 추출기법의 도입이 필요하다.

분포형 모형의 출력결과를 GIS 기능으로 나타내기 위해서는 우선 수문모형이 시간별, 격자별로 계산 결과를 출력할 수 있도록 구성되어야 한다.[2] 이렇게 출력된 격자별 자료는 사용 소프트웨어의 기능을 통해 적절한 도형으로 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 모형의 GIS 호환모형을 개발하는데 있다. 이를 위하여 입력자료 추출모형과 격자별, 시간별 저류수심을 도형으로 나타내는 출력자료 처리모형을 ARC/INFO의 기능을 이용하여 개발하고 그 적용성을 분석하였다.

모형의 구성

격자 물수지 모형의 개요

격자 물수지 모형(CELWAB)은 유역을 동질 요소의 격자로 분할하여 격자에 대한

수문과정을 Fig. 1과 같이 도식적으로 정의하고, Fig. 2와 같은 인접격자와 상호 흐름관계로부터 유역전체에 대한 강우-유출을 해석하는 전형적인 분포형 모형(distributed hydrologic model)이다.[2] 동수파 공식(kinematic wave equation)과 격자 물수지 기법으로 구성된 CELWAB 모형의 도면 입력자료 및 도면 출력자료는 Table 1과 같다. Table 1에서 처럼 격자별로 필요한 입력자료는 경사도, 흐름방향도, 토지이용도, 토양도, 하천도, 토양 피복도의 6개로 구성되고 출력자료는 유역출구점에서 수문곡선 자료와 격자별 수심도와 유량도로 구성되어 있다.

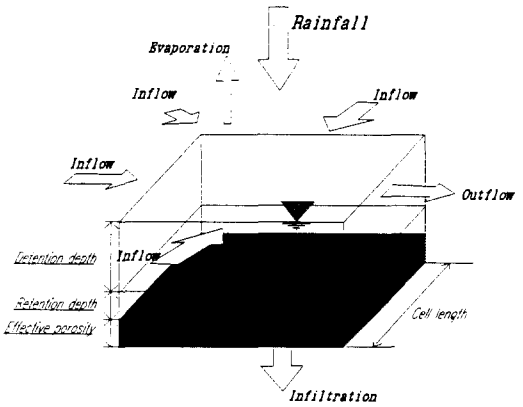

Fig. 1 Computational cell dimensions and the components of hydrologic process

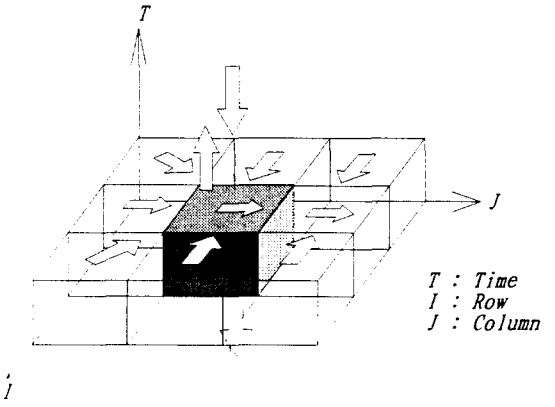

Fig. 2 Modeling of inflow-outflow relationship

Table 1. Input variables of CELWAB model

	derivation	unit	variable name	type	contents
input	contour	watershed	slop.dat	file	slope ASCII file
	contour		direct.dat	file	direction ASCII file
	land use		land.dat	file	landuse ASCII file
	soil		soil.dat	file	soil ASCII file
	stream		strm.dat	file	stream ASCII file
	land cover		cover.dat	file	land cover ASCII file
output	file	watershed	hydro.dat	file	outlet discharge hydrograph
			depth—n.dat	file	depth mape ASCII file
			disch—n.dat	file	discharge mape ASCII file

입력자료 추출

CELWAB 모형의 도면 입력자료들은 격자단위의 래스터 자료이며 이들은 Table 2와 같은 도형자료층에 따라 구축된 후 적절한 자료처리 과정을 거쳐서 추출되어야 한다.

Table 2. 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
landuse map		polygon	type
cover map		polygon	landuse type
boundary		polygon	cover condition
map			type
			–

입력자료 추출을 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 GISINDATA (GIS INput DATA program)를 구성하였다. 각 과정에서 가장 중요하고 복잡한 수치고도자료(DEM)의 자료처리과정은 벡터고도자료를 불규칙삼각망(TIN, Triang-ulated Irregular Network)으로 변환시킨 후, 모든 지표면에 대하여 내삽하여 격자지도(grid map)로 변환하게 되는데, 격자 사이의 거친 부분을 제거하기 위한 필터링(filtering)과 싱크(sink) 격자를 제거하기 위해 필(Fill)을 하도록 하였다.

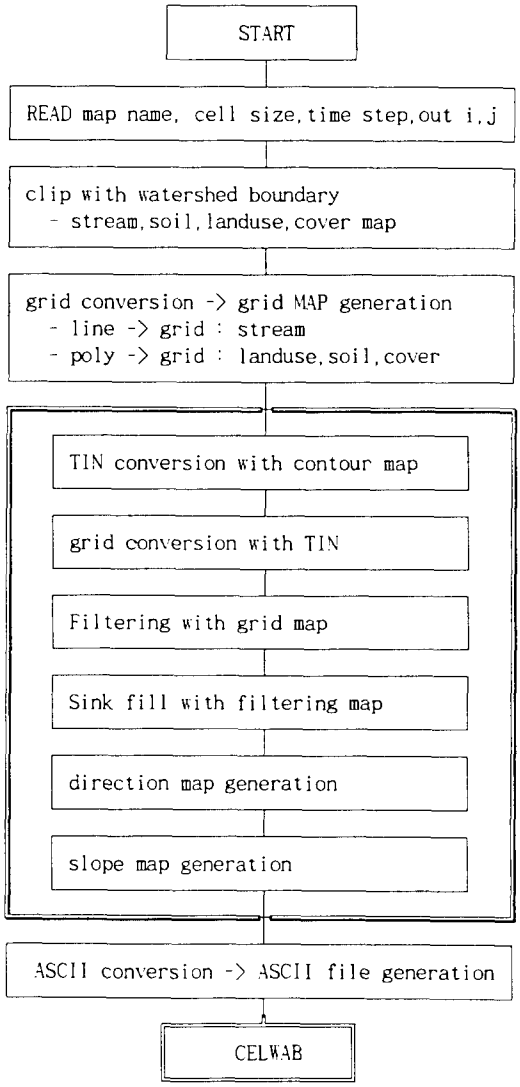

Fig. 3 Flow chart of GISINDATA

출력자료 처리

CELWAB 모형의 출력결과인 ASCII자료를 격자지도로 변환시켜 도시(Display)가

가능하도록 하기 위해서는 우선 지도화되고 적절한 형태로 화면에 출력되어야 한다. 또한 이것은 수문모형과 자동적으로 연결되게 구성되어져야 하므로 출력자료 처리 프로그램 GISOUTDISP(GIS OUTput DISPlay program)를 지도생성 부분과 도시(Display) 부분으로 구별하여 구성하였다.

ARC 모듈의 함수와 AML을 이용하여 구성한 MAPGENER(MAP GENERation program)의 흐름도는 Fig.4와 같다. 이것은 ARC/INFO와 UNIX C로 구성된 CELWAB 모형의 완전 호환(Interface)이 가능하도록 하기 위해 구성한 것이다.

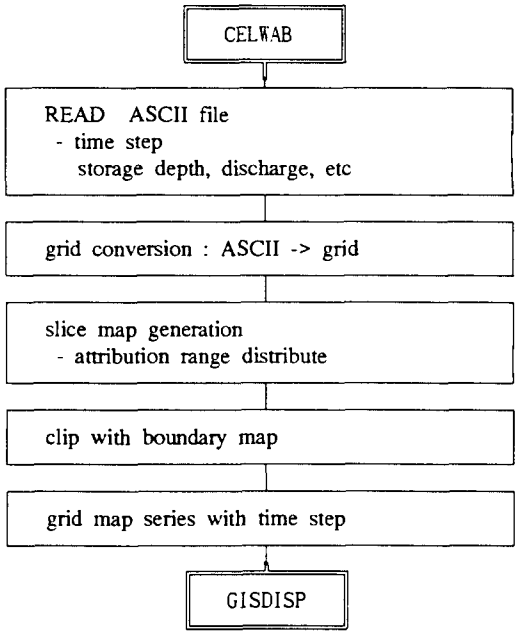

Fig. 4. Flow chart of MAPGENER

MAPGENER의 출력결과인 시간별 격자지도와 유출곡선(Hydrograph)을 도시하도록 하기 위한 출력지도 도시 프로그램 GISDISP(GIS map DISPlay program)는 지도와 유출곡선을 동시에 도시할 수 있도록 하기 위하여 AML을 이용하여 구성하였다. GISDISP는 유역 출구의 유출곡선 자료, 시간별 저류 수심도, 유출양도와, DEM자료를 입력받아 시간별 유역출구격자의 유출곡선과 시간별 지도를 3차원으로 도시하도록 하여 유역전체의 유출현상을 시간적, 공간적으로 인지가 가능하게 한다. Fig.5은 GISDISP의 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 구성해주어야 하는 어려움을 없애고, 자동으로 AML을 구성하도록 C 언어로 도시 AML을 만드는 프로그램을 구성하여 적용하였다.

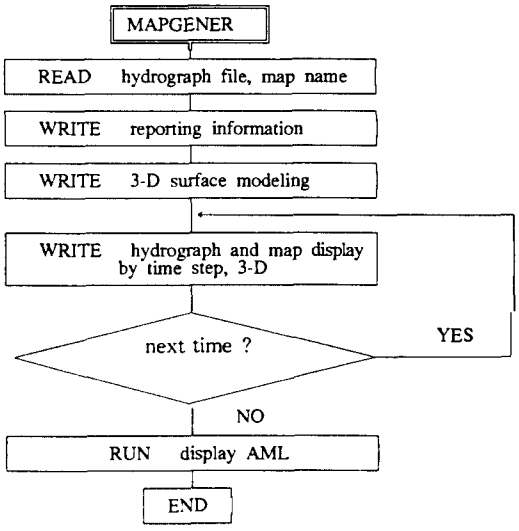

Fig. 5 Flow chart of GISDISP

GIS 응용모형의 구성

CELWAB 모형을 입력 및 출력 프로그램과 호환(Interface)시킨 GIS 응용모형 GISCELWAB(GIS-CELWAB)의 흐름도는 Fig.6과 같다.

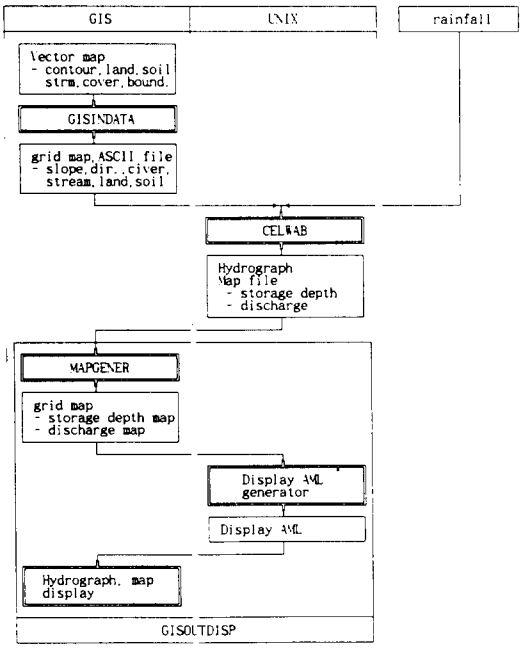

Fig. 6 Flow chart of GISCELWAB model

모형의 적용

시험유역의 도형자료 구축

모형을 적용하기 위하여 경기도 안산시 반월동에 위치한 유역면적 274ha의 소유역(WS #1)에 대하여 CELWAB 모형의 입력자료에 필요한 도형자료를 구축하고, 이를 입력자료 추출 프로그램으로 30m의 격자지도를 만들어 격자별 자료를 추출하였다. 시험유역에 대한 도형자요는 유역경계를 포함하는 사각형 내부에 대하여 구축하였으며 구체적 속성입력 내용은 Table 3과 같다. Fig.7과 Fig.8은 토지이용도와 토양도를 나타내며, Fig.9는 격자지도를 ASCII자료로 변환시킨 토지이용도를 나타낸다.

Table 3. 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)
landuse map	landuse type(1, 2, 3, 4)
boundary map	—

모형의 적용결과

CELWAB 모형의 적용결과는 수문곡선과 GISOUTDISP의 입력자료인 격자별 수심자료로 출력되는데, 이로부터 GISOUTDISP 모형의 결과는 ARC/INFO의 그리드 모듈에서 3차원 모델링과 시간별 저류 수심도, 유양도, 유출곡선으로 도시된다. Fig.10(a)~Fig.10(d)는 3시간지속, 50 mm/hr의 강우강도에 대하여 강우시작 10, 20, 50, 120분에 대한 저류 수심도를 나타낸 것이다. 따라서 기존 수문모형이 유역출구점에서 유출곡선만을 나타낸 것에 비해 GISCELWAB 모형은 그림에서 처럼 유역전체에 대한 시간적, 공간적 유출현상의 분석을 가능하게 하였다.

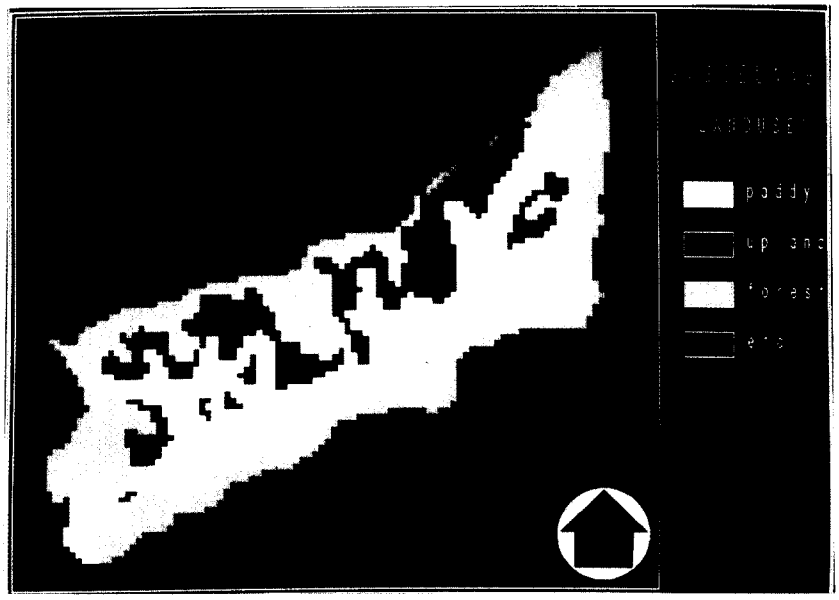

Fig. 7 Land use map of WS #1.

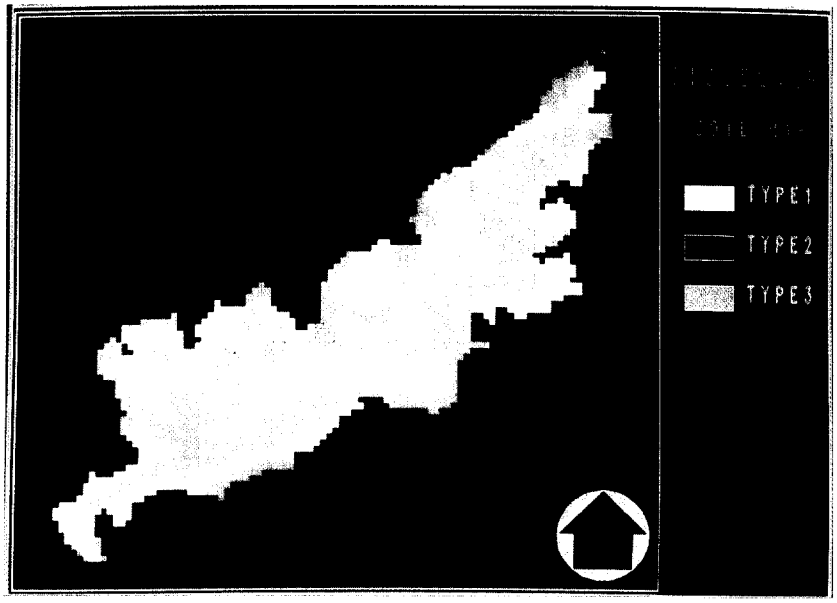

Fig. 8 Soil map of WS #1.

Fig. 9 ASCII data of land use grid map.

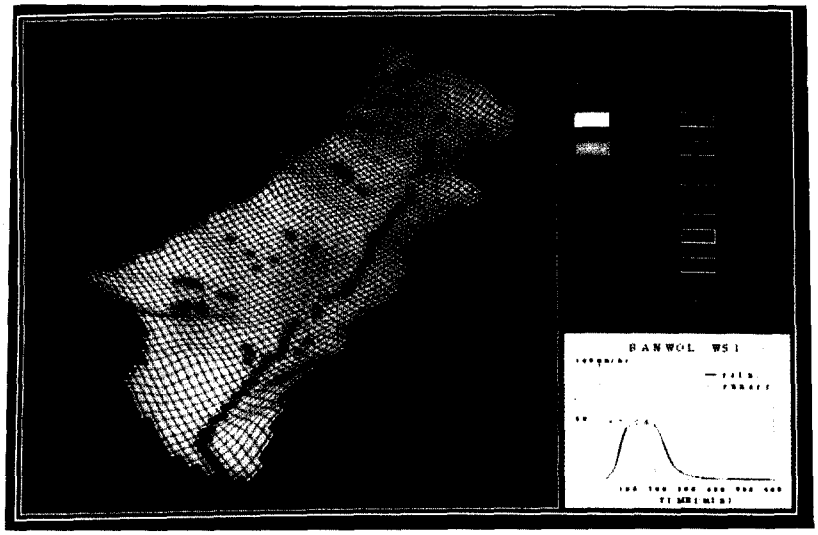

Fig. 10(a) Storage depth map after 10min.

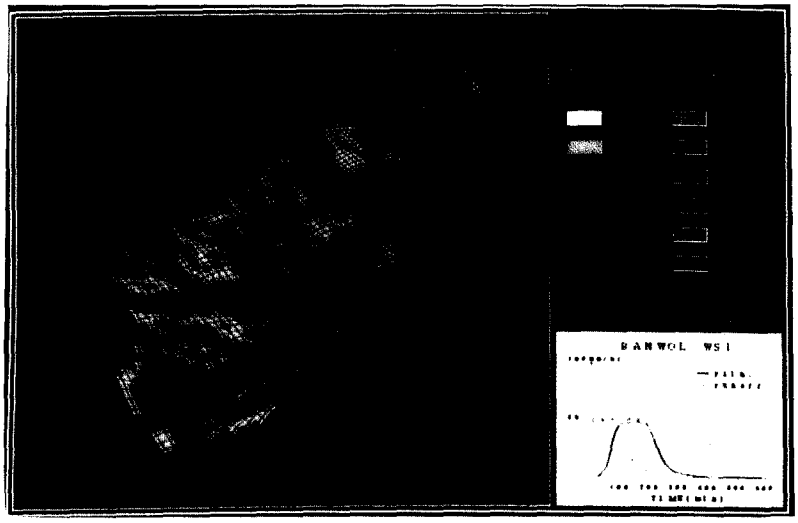

Fig. 10(b) Storage depth map after 20 min.

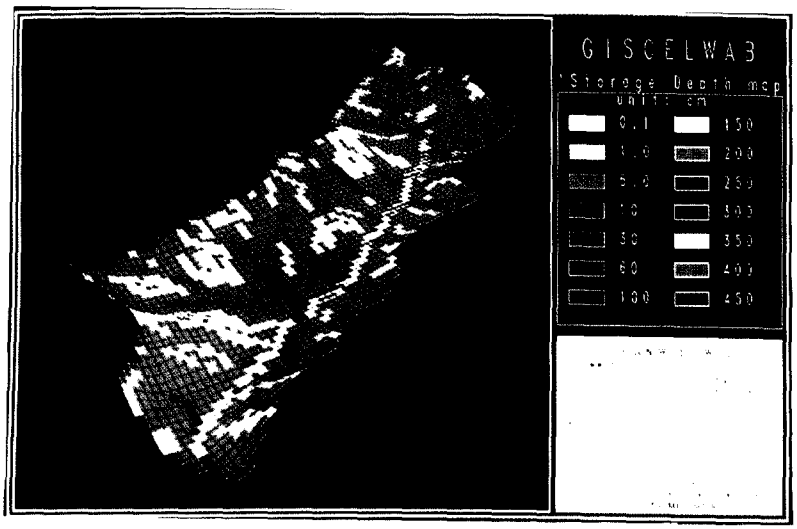

Fig. 10(c) Storage depth map after 50 min.

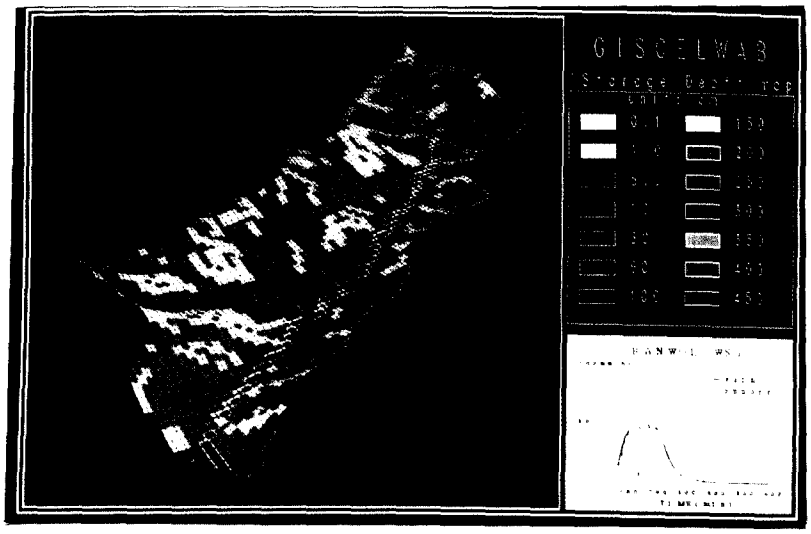

Fig. 10(d) Storage depth map after 120 min.

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 응용 모형 GISCELWAB을 개발하였는 바, 이를 위하여 부모형으로 분포형 모형의 입력자료 구성의 문제점 해결을 위해 수치지도와 지리정보시스템을 이용한 입력자료 추출 프로그램 GISINDATA를 구성하였고, 유역 전체에 대한 유출현상의 시간적 공간적 재현이 가능하도록 하기 위해 격자 물수지 모형 CELWAB의 출력결과를 도형화하고 도시하는 출력자료 처리 프로그램 GISOUTDISP를 구성하였다. 또한 본 모형을 시험유역에 적용하여 그 응용성을 검토하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

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

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

참 고 문 헌

1. 고재군, 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. 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
4. Chase S.B., 1991, The integration of hydrologic simulation models and geographic information, Ph.D. Thesis. University of Rhode Island
5. 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
6. Devulapalli R.S., 1990, Application of Geographic Information Systems in hydrologic modeling, MS. Thesis. University of Louisville
7. 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
8. Rewerts C.C., 1992, ANSWERS on GRASS : Integration of a watershed simulation with a Geographic Information System (Nonpoint Source Pollu-

tion), Ph.D. Thesis. Purdue University
9. Steenberghen T.M., 1992, Automation of data input in the A&M watershed model using GIS, Ph.D. Thesis. Texas A&M University