

# GIS를 이용한 분산형 강우-유출 모형의 개발

김경숙\* · 박종현\* · 윤기준\* · 이상호\*\*

\*한국과학기술연구원/시스템공학연구소, \*\*한국수자원공사

## Distributed Rainfall-Runoff Modeling Using GIS

Kyungsook Kim\* · Jonghyun Park\* · Gijun Yun\* · Sangho Lee\*\*

\*Korea Institute of Science and Technology/Systems Engineering Research Institute

\*\*Korea Water Resources Corporation

### Abstract

This study is conducted to evaluate the potential of a GIS to assist an application problem. GIS has been applied to rainfall-runoff modeling over Soyang area. Various rainfall-runoff models have been developed over the years. A distributed rainfall-runoff model is selected because it considers the topographic characteristics over the basin. GIS can handle the spatial data to enhance the modeling. GRASS- a public domain GIS S/W- is used for GIS tools. Digital database is generated, including soil map, vegetation map, digital elevation model, basin and subbasin map, and water stream. The input data for the model has been generated and manipulated using GIS. The database, model and GIS are integrated for on-line operation. The inflow hydrographs are tested for the flood of Sept., 1990. This shows the promising results even without the calibration.

### 요 약

본 연구에서는 GIS(Geographic Information System) 기법을 수자원모델링 분야에 적용시키고자 하였다. 강우에 따른 정확한 유출량의 예측은 수자원의 개발이나 관리 분야에 있어서 매우

중요하므로 지금까지 다양한 강우-유출 모형들이 개발되어 왔으며, 이 중 지형적인 특성인자를 최대한 고려한 분산형 모형은 기존의 모형인 집중형 모형의 단점을 보완할 수 있다는 점에서 그 효용이 인정되어 왔다. 그러나 대유역에 적용할 경우에는 방대한 량의 공간자료를 처리하여야 하므로, 현실적으로 적용하기가 어려웠다.

본 연구에서는 우리의 지형에 맞는 분산형 강우-유출 모형을 개발하였으며, GIS 기법을 활용하여 입력 자료를 생성, 입력 조작하고 이들을 병합시켜 사용자가 보다 용이하게 사용할 수 있도록 통합된 시스템을 개발하고자 하였다. 이러한 시스템의 개발에는 실시간(on-line) 운영과 off-line 보정기능을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 일차로 데이터베이스, 모형, GIS 그리고 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface, GUI)의 기능을 병합시켜 신속한 최종 결과를 도출시키는 on-line 운영을 할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다. 소양강 댐 유역의 1990년 9월 홍수를 대상으로 하여 댐 지점의 유입 수문 곡선을 모의한 결과 사후 모형 보정단계를 거치지 않았음에도 불구하고 관측된 자료와 비교적 잘 일치하여 실무에의 활용 가능성을 보여주었다.

## 1. 서 론

강우에 따른 정확한 유출량의 예측은 수자원의 개발이나 관리 분야에 있어서 매우 중요하다. 현재 우리나라에서는 홍수시 각 다목적댐의 유입량 예측을 위해 개념적 모형인 저류함수법을 사용하고 있으나, 이 모형은 집중형(lumped)모형이기 때문에 소양강댐, 충주댐과 같은 대유역에 적용하는 것은 상당히 무리가 있다. 또한 이 모형은 기록된 강우와 유출량만을 기본으로 하여 모형의 매개 변수를 추정하기 때문에, 사용되는 홍수사상에 따라 모형의 매개변수가 바뀌게 되므로 유출량 예측에 있어서 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다.

이에 반하여 지형적 특성을 고려한 분산형 강우-유출 모형은 기본적인 이론들은 잘 정립되어 있지만, 방대한 량의 공간 입력 자료의 작성이 거의 불가능하였기 때문에, 현실적으로는 대유역에 적용이 어려웠다. 그런데 최근 GIS 기술의 발전으로 공간 자료의 입력 및 조작 문제는 어렵지 않게 해결할 수 있으므로, 분산형 모형도 대유역에 적용할 수 있는 여건이 조성되었다.

GIS는 방대한 공간 정보를 유기적으로 편집 관리하고 분석할 수 있는 시스템으로서, 컴퓨터 기술의 발전에 힘입어 탁월한 기능을 가진 S/W 들이 저가로 공급되고 있어 다양한 분야에서 활용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 GIS를 활용하여 입력 자료를 생성, 관리하며, 이를 댐의 수량을 추정할 수 있는 강우-유출 모형에 적용시켜 실무자들이 보다 용이하게 수자원계획 및 관리에 효율적으로 응용할 수 있도록 시스템을 개발 하고자 하였다.

## 2. 배경 연구

성공적인 수문학적 모델링을 위해서는 정확하면서도 대표성을 지닌 데이터가 필요하다. 데이터의 공간적인 특성, 방대한 데이터의 량 및 데이터의 구조 등에 따른 데이터의 수집, 저장, 조작 등의 어려움은 성공적인 모델링의 장애 요소로 작용하여 왔다. 그러나 최근 GIS기술의 개발과 컴퓨터 기술의 급격한 발달로 인하여 이러한 문제점들을 쉽게 해결할 수 있게 되었다.

수문학적인 현상은 본질적으로 3차원의 공간적인 특성을 갖고 있으나, 기존의 집중형 모델(lumped model)에서는 토양, 토지이용, 지질학적인 특성 등을 기록된 강우와 유출량에 의해서만 매개변수를 추정하여 그 값으로 유역을 대표하게 하고 있어서 지역적 특성을 충분히 고려할 수 없는 한계가 있었다. 분산형 모델(distributed model)에서는 지역적, 공간적인 특성을 최대한 고려할 수 있으나, 기존의 데이터 구조로서는 이러한 공간적인 특성을 제대로 나타낼 수 없었으므로, 공간적인 관계 및 특성을 고려할 수 있는 공간데이터 분석 및 조작 기법이 필요하게 되었다. 이러한 수문학적인 모델링에 있어서 GIS는 중요한 역할을 기여할 수 있으므로, 그 이용 가능성이 매우 커지게 되었다. 즉, 대개의 수문학적인 모델에 사용되는 매개변수(parameter)들은 토지 이용도, 토양도, 지형도 등이 있는데, 유역 상태는 이에 따라 크게 좌우된다. GIS는 이러한 매개변수들의 값들을 저장하고 조작할 수 있으며, 다양한 종류의 시나리오를 만들어 지역적인 영향을 평가하거나 관리를 하는데 효율적으로 이용될 수 있다. 수문학 모델에 있어서 GIS의 역할은 공간 데이터베이스의 형성, 모델과의 병합 및 모델과 GIS의 인터페이스 등의 3가지 부분으로 나뉘어 질 수 있다.

GIS 기술은 1970년 초 Tomlinson 의하여 개념이 정립된 후, 20여년 간에 걸쳐 발달되어 왔으나, 수문학에 GIS가 응용되기 시작한 것은 1970년 말 이후이며 본격적으로 수문학적인 모델과 GIS의 병합이 이루어지기는 극히 최근의 일이다. 특히 토지의 특성을 추출, 중첩시키며, 구분할 수 있는 GIS의 기능은 수문학적으로 동일한 특성을 가지고 있는 소유역을 구분하는데 적합하므로, 분산형 모델에 적용하는데 유효 적절하게 사용될 수 있다.

GIS를 이용하면 다량의 데이터를 쉽게 조작할 수 있으나, 이에 앞서 데이터베이스를 구축하는데 많은 시간과 인력이 소요된다. 따라서 과거에는 정부 등에서 주도하여 주로 공공의 목적을 위하여 사용하였으나, 최근 컴퓨터 및 GIS의 급속한 발전과 함께 보편화가 이루어지고 있다.

일반적으로 GIS는 모델링을 할 수 있는 툴(tool)은 아니므로 GIS에서 직접 모델링을 하기보다는 수문학적 모델들을 개발하여 이를 GIS와 접목시켜야 한다. 대개의 GIS는 프로그래밍 기능(macro language)을 어느정도는 보유하고 있으나, 이들은 분석기능이나 속도의 측면에서 볼 때 충분하지 못하므로 이러한 모델 프로그램들을 외부에서 작성하여 GIS와 연결시켜야 한다.

GIS를 성공적으로 이용하기 위하여서는 데이터의 정확도 및 데이터베이스의 구축과 함께 여러 종류의 속성데이터를 처리할 수 있는 기능이 필요하다. 즉, GIS를 이용하여 토양도와 지형도로부터 지형의 기울기와 침식의 정도를 구하여 토양분실률(ventura)을 계산하거나, 지형도 및 토지이

용도 등으로부터 침전물의 이동을 등을 계산할 수 있으며, 또한 GIS의 기능을 이용하여 수문학적으로 동일한 특성을 가지는 지역을 구분하여 각 종의 값들을 계산할 수 있다(Hession, 1988).

Silfer(1987)는 강우-유출 모델에 적용될 수 있는 PC용의 벡터(vector) GIS를 개발하였으며, Vieus (1988)는 ARC/INFO를 사용하였다. Wolfe와 Neale(1988)은 래스터(raster) GIS(GRASS)를 사용하여 finite element model에 데이터를 제공하고자 하였으며, 주로 지도(map layer)를 중첩시켜 수리적으로 동일한 특성을 지닌 지역을 추출하고자 하였다. Muzik(1988)은 SCS Runoff Curve Number Model을 개발하는데, PC용의 래스터 GIS를 이용하여 주로 데이터를 저장하는데 사용하였으며, 다른 종류의 관련 S/W를 이용하여 필요한 정보를 추출하고자 하였다.

Hill(1987)은 Raster GIS를 이용하여 루이지애나와 미시시피의 유역의 SCS Runoff Curve Number를 생성하였으며, Landsat MSS 데이터와 항공사진을 이용하여 토지이용도를 작성하였다. White(1988)는 펜실베니아 유역의 강우-유출량을 계산하는데 raster GIS를 이용하여 강우량, 토양 및 토지 이용도 등의 데이터를 입력시켜 SCS Curve Number를 구하였으며 10개의 storm에 대하여 cell 별로 유출량을 계산하였다.

Hodge(1988)은 래스터 GIS를 이용하여 수리적인 모델과 유역 모델을 연결하였으며, GRASS 3.0의 'Watershed' 모듈을 개발하였다. 이러한 모델과 GIS의 병합은 의사결정자와 모델개발자 사이의 실제적인 접목을 통하여 이해의 도를 높일 수 있는 역할을 수행하였다.

Stuebe와 Johnston(1990)은 SCS Runoff Curve Number 모델을 이용한 강우-유출모델의 형성에 수작업과 GIS를 이용한 작업의 결과를 비교하였다. 여기에서 GIS는 유역의 분할과 유출을 추적 하는데 사용되었다. GIS(GRASS)를 이용한 경우, 수작업의 경우와 비슷한 결과를 나타내었으나, 넓은 유역에 적용하는 경우나 반복적인 작업에 적용되는 경우, 또한 디지털 데이터베이스가 존재하는 경우에 이점이 있었다. 사용자 인터페이스는 이러한 모델과 GIS를 보다 효율적으로 쉽게 사용할 수 있도록 하여 주며, 사용자들이 의사를 결정할 때 보다 쉽게 여러가지의 경우를 고려하여 볼 수 있도록 하고 있다.

### 3. 연구 대상 지역

본 연구에서는 국내 최대의 저류 용량을 가진 댐이며 대표적 다목적 댐인 소양강 댐 유역을 연구대상 지역으로 선정하였다(Fig. 1). 소양강 댐은 1973 년에 준공되었으며, 한강 수계의 수자원을 개발하여 발전, 홍수조절 및 용수 공급을 목적으로 하고 있다. 소양강 댐은 유역 면적이 약 2,703 km<sup>2</sup>이고 총저수용량은 29억 m<sup>3</sup>이며 홍수조절용량은 5억 m<sup>3</sup>으로서, 매년 홍수기에 한강 하류지역 홍수피해 경감에 커다란 기여를 하는 중요한 댐이다. 상시 만수위는 표고 193.5 m이며 홍수기에는 표고 190.3 m로 저수지 수위를 제한하여 그 이하에서 관리하며 계획 홍수위 표고 198.0 m사이의 공용량을 홍수조절 용량으로 활용한다. 소양강 댐 건설 당시 유역의 연평균 강우량은 약 1,100 mm으로, 이 중 약 70%가 6-9월 사이에 발생하며, 연평균 유하량은 55.5

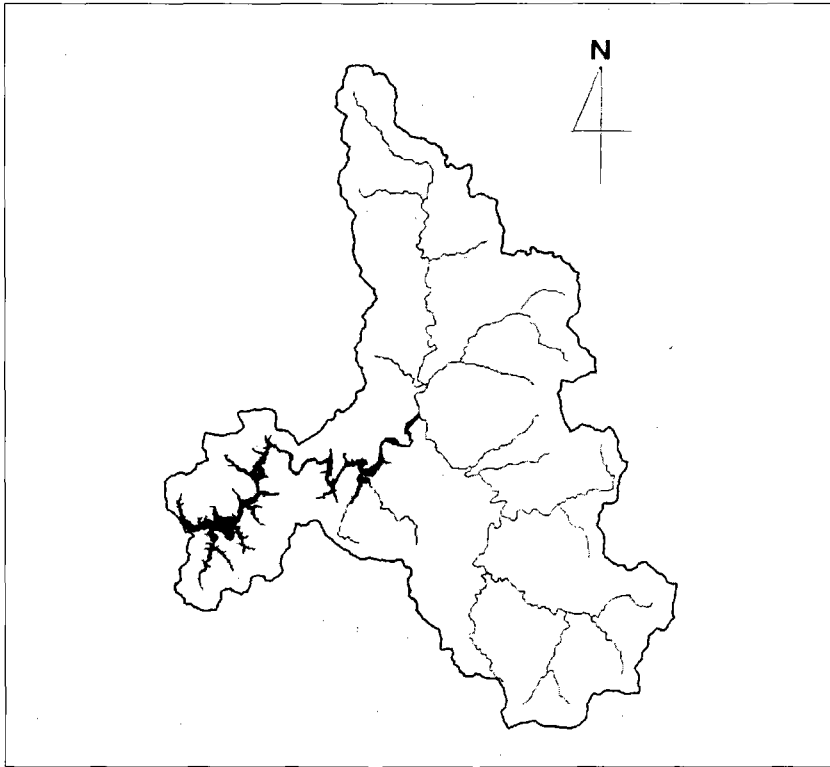


Fig. 1 Basin of Soyang Dam

m<sup>3</sup>/s, 평균 유출율은 약 59%이다.

#### 4. 연구 내용 및 방법

시스템의 실시간 운영 및 보정을 위하여서는 사용자들이 모델에 보다 쉽게 접근할 수 있도록 시스템이 설계되어야 한다. 전체 시스템은 네가지의 모듈, 즉, 강우 관측, 강우 예측, 강우-유출 모형, 사용자 인터페이스로 구성되어 있다(Fig 2 참조). 각 모듈 들은 각각 개체로 운영되거나 전체적으로 병합되어 사용될 수도 있다.

강우관측 모듈은 관측소로부터 매시간 들어오는 점 데이터로부터 강우도를 생성하여 낸다. 강우 예측 모듈은 강우 측정데이터 및 다른 정보를 이용하여 강우를 예측할 수 있는 모듈로서, 대개의 경우 여러개의 가능성 있는 결과를 도출하여 고려하여야 하나 본 연구에서는 고려되지

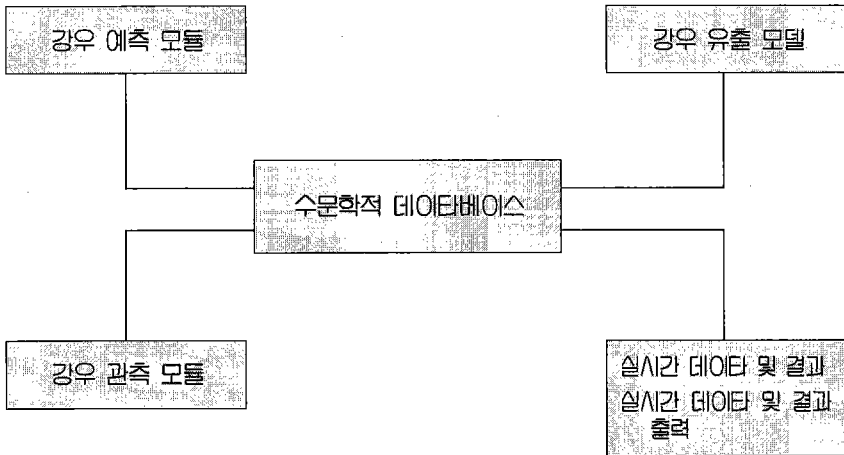


Fig 2. System Configuration

못하였다. 분산형 강우-유출 모형이 개발되었으며, 이에 필요한 입력자료들이 GIS를 이용하여 생성되었다. 이와 같은 모듈들을 일괄적으로 연계시키며, 사용자들이 보다 쉽게 사용할 수 있도록 사용자 인터페이스가 작성되었다. 본 연구에서는 실시간 시스템 개발을 목표로 필요한 결과만이 제시될 수 있도록 구성 되었으나, 보정 등 off-line 분석을 위하여서는 사용자들이 모델에 접근하여 원하는 정보를 도출하기 위한 작업을 할 수 있도록 인터페이스가 구성되어야 할 것이다.

#### 4.1. GIS tool의 선정

GIS tool 로서는 현재 상용화되어 있는 S/W들과 공용의 S/W를 비교 평가한 결과, 미국에서 1980년대 공용으로 개발하여 사용자들에게 저가 또는 무료로 공급하고 있는 GRASS를 이용하였다(U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory, 1989a; 1989b). 이는 상용 S/W에 비하여 기능이 다양하지는 못하지만, 대부분의 지리정보 분석에 필요한 기능을 갖추고 있으며, 프로그램 원문(source code)이 공개되어 있어 개발자의 입장에서 보면 유연하게 활용할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 자료의 조작 관리는 GRASS에서 수행하였고, GUI도 GRASS의 기능을 이용하여 개발하였다.

#### 4.2. 기본 수치 자료의 생성

본 연구에서 디지털라이저(digitizer)나 스캐너(scanner)를 이용하여 수치화한 자료 및 자료원은 Table 1에 나타나 있다.

Table 1 Raw Data

자 료 명	자 료 원
- 1:250,000 지형도	국립지리원
- 1:50,000 지형도	국립지리원
- Digital Elevation Model(DEM)	미국 Defense Mapping Agency
- 1:50,000 개략 토양도(1971년)	농촌 진흥청 식물환경연구소
- 1:50,000 현존 식생도(1990년)	환경처 자연환경과
- 강우 관측소 위치도	수자원공사

#### 4.3. 모형의 입력자료 생성

강우 유출 모형에 필요한 Table 2와 같은 입력 자료들은 GIS 기능을 이용하여 보다 정확히 생성되도록 하였다. Fig 3과 4는 모형의 입력 자료중 가장 중요한 원자료인 토양도 및 토지 피복도를 보여준다.

Table 2 Input data generated using GIS

- 유역경계도, 소유역분할도, 수치고도도, 소유역별 평균 경사도
- 토양도, 식생도, Curve Number도
- 강우관측소 위치도, Thiessen망도, 등우선도, 소유역별 평균 강우량
- 횡단측량지점 위치도
- 하천망도, 수역도



Fig. 3 Soil Map of the Study Area



Fig. 4 Landcover of the Study Area

#### 4.4. 분산형 강우-유출 모형 개발

##### 4.4.1. 모형의 구성

집중형 모형은 유역을 수문학적으로 균일한 배수역으로 가정하여 매개변수의 공간변화가 없는 것으로 보아, 세세한 소유역의 응답은 고려하지 않고 전체 유역의 출구에서만 유역의 응답이 계산된다. 이에 반하여 분산형 모형은 유역내에서 매개변수의 공간 변화를 허용하여 전체 유역의 출구 뿐만 아니라 세분화된 소유역의 응답까지도 계산 가능하도록 한다. 그러므로 분산형 모형은 집중형 모형보다 많은 입력 자료가 요구되고 계산량도 크게 증가 하지만, GIS 기법을 활용하면 입력 자료를 효율적으로 생성하여, 대유역 관리에도 매우 효과적으로 사용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유역의 특성인자를 최대한 사용하는 기법들을 선별하여 모형을 개발하였다. 그리고 모의 시간의 연속성 측면에서는 홍수 사상에 대한 모형(event model)을 사용하였는데 이 모형에 의한 유출량 산정은 다음과 같은 강우관측, 유효강우량 산정, 유출 계산, 모형 보정등의 순서를 거쳐 이루어진다 (Fig 5 참조).

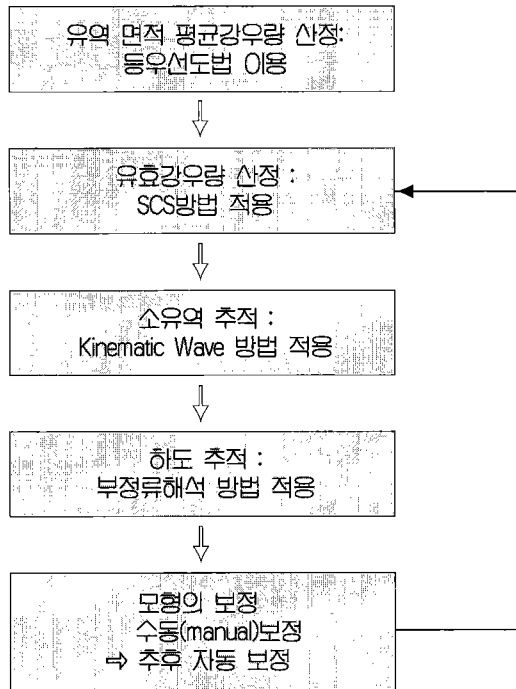


Fig. 5 Composition of a Distributed Rainfall-Runoff Model



#### 4.4.2. 각 Module의 기본개념

개발한 분산형 강우-유출 모형은 네 부분의 중요한 모듈(module)로 구성되어 있다. 모형자동 보정 모듈은 이번 연구에서는 고려되지 않았지만 Pattern Search 기법이나 Shuffled Complex Evolution 기법 같은 우수한 알고리즘들이 컴퓨터 프로그램으로 개발되어 있기 때문에 향후 추가할 예정이다. Fig. 4의 각 모듈은 FORTRAN으로 프로그램이 작성되었으며 각각의 기본 개념은 다음과 같다.

##### (1) 유효 강우량 산정

강우 관측소에서 관측된 강우량은 점우량이므로, 유역을 여러개의 소유역으로 분할하여 유출 해석을 할 때에는 이러한 점우량으로부터 소유역별 면적 평균 강우량을 산정하여야 한다. 면적 평균 우량을 산정하는 여러가지 방법 중에서 Thiessen 방법이 가장 많이 사용되고 있으나, 여기에서는 GRASS의 등우선도법을 활용하였다. 면적 평균 강우량으로부터 소유역별 유효 강우량 산정은 잘 알려진 미국 토양보존국의 SCS 방법으로 실시하였다. 이 방법은 토양도와 토지이용도를 이용하여야 하기 때문에 기존의 방법으로는 대유역에 적용하기가 어려웠으나, 본 연구에서는 GIS를 적용하여 해결하였다.

총우량과 유효강우량과의 관계를 다음의 식 (1)로 표시할 수 있다.

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} \dots\dots\dots (1)$$

- Ia = 강우 초기 손실(mm)
- P = 호우별 총우량(mm)
- S = 유역의 최대 잠재 보유수량(mm)
- Q = 유효우량(mm)

윗식에서 초기손실 Ia는 다음 식 (2)로 가정하였다.

$$Ia = 0.2S \dots\dots\dots (2)$$

식 (2)를 식(1)에 대입하면

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (P > 0.2S)$$

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad \text{: 흙이 최대한으로 저류할 수 있는 양}$$

CN : Curve Number 로서 토양도, 토지이용도, 흙의 초기 함수 상태에 의존

유역의 잠재 보유수량의 크기를 표시하는 S는 유역의 토양이나 토지이용 및 처리상태 등의 수문학적 토지피복형의 성질을 대변하는 것이다. 이로부터 한 유역의 유출능력을 표시하는 유출곡선지수라는 변수를 다음 식 (3)과 같이 S의 함수로서 정의한다.

$$CN = \frac{25,400}{S + 254} \dots\dots\dots (3)$$

(2) 소유역 추적

일반적으로 비교적 작은 유역을 대상으로 한 간단한 강우-유출 모형에서는 전체 유역을 하나로 보고 분석한다. 그러나 본 연구에서는 비교적 대유역에서도 적용 가능한 모형을 개발하도록 시도하였기 때문에, 대상 유역을 여러개의 소유역으로 분할한 후 각 소유역에 대한 유출해석을 실시하고 그 결과를 하도추적의 입력자료로 사용하여 최종적으로 댐 지점에서의 유입수문곡선을 산정하도록 하였다.

지표면의 흐름이나 하천의 일차원 흐름은 St. Venant 식으로 나타낼 수 있으며 이는 연속방정식(식4)와 운동량 방정식 (5)으로 구성된다.

1) 연속 방정식

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + VT \frac{\partial y}{\partial x} + T \frac{\partial y}{\partial t} = q' \dots\dots\dots (4)$$

- A : (통수)단면적
- V : 유속
- x : 흐름방향의 좌표축
- y : 수심
- t : 시간
- q' : 측방 유입량(lateral inflow)

2) 운동량 방정식

$$g(S_0 - S_f) V \frac{\partial V}{\partial x} + q \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{y} = q' \dots\dots\dots (5)$$

- S<sub>0</sub> = 하상경사
- S<sub>f</sub> = 에너지 경사
- g = 중력가속도

식 (5)에서 관성력과 압력항이 중요하지 않고 측방유입량의 영향도 무시할 수 있는 경우, 중력에 의한 물의 힘이 흐름의 마찰력과 평형을 이루게 되어 등류에 가까운 흐름이 된다. 즉 하

상경사  $S_0$ 가 큰 비증을 차지하는 산악지형의 흐름에서는, 지표면 흐름이나 소하천 유역의 하도 흐름을 하상 경사항과 마찰 경사항 만을 고려한 kinematic wave 법에 의해 해를 구해도 좋은 결과를 기대할 수 있다.

kinematic wave 법에서의 운동량 방정식은 식 (5)에서  $g(S_0 - S_f)$  이외의 항은 무시하는 경우이므로,

$$S_0 = S_f \dots\dots\dots (6)$$

로 표시된다. 식 (6)을 유량의 항으로 나타내기 위해 Manning의 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2} \dots\dots\dots (7)$$

- Q : 유량
- n : Manning 공식의 조도계수
- R : 動水半徑

식 (7)은 넓은 하도에 대하여  $R \approx y$ ( $y$ 는 수심)으로 근사하고, 단위폭당 유량  $q$ 로 쓰면 다음과 같다.

$$q = \frac{1}{n} y^{5/3} S_0^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

또한  $\alpha = \frac{1}{n} S_0^{1/2}$ ,  $m=5/3$  를 사용하여 식 (8)을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$q = \alpha y^m \dots\dots\dots (9)$$

그리고 연속방정식 (4)를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{2y}{\partial x} = q' \dots\dots\dots (10)$$

따라서 식 (9)와 (10)이 지표면 유출을 모의하는 지배방정식이 된다.

한편 하도의 경우는 다음의 두식을 이용한다.

$$Q = \alpha A^m \dots\dots\dots (11)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{2y}{\partial x} = q' \dots\dots\dots (12)$$

여기서,  $Q$  : 유량

$\alpha, m$  : 하도형상과 조도계수에 따른 고유의 값

$A$  : 通水 단면적

$q'$  : 측방 유입량

위의 지배방정식은 유한요소법이나 유한차분법으로 해석할 수 있으며 상류쪽의 경계조건과 전체계산 격자에 대한 초기 조건을 필요로 한다. 상류쪽 경계조건만을 필요로 한다는 것은 하류 구조물에 의한 배수영향을 고려하지 못한다는 것을 의미하므로 하류에 흐름을 방해하는 구조물이 없는 경우에만 사용할 수 있다.

본 연구에서는 1차수 하천을 갖는 소유역에 대해서는 지표면 유출과 하도추적 모두 kinematic wave법을 사용하여 소유역 출구 유출량을 계산 하였으며, 2차수 이상 하천을 갖는 소유역에 대해서는 kinematic wave법으로 단지 지표면 유출만 모의하여 주수로 양쪽에 유입되는 단위폭당 유입량을 계산하고 그 결과를 부정부동류에 의한 하도추적시 측방 유입량이나 상류 경계조건으로 사용되도록 하였다. 소유역 추적에 이용한 모형은 HEC-1(U.S.Army Corps of Engineers, 1985)의 kinematic wave 부프로그램으로 일부분을 수정한후 사용하였다.

### (3) 하도 추적

소유역 추적으로부터 계산되는 유출량은 하천으로 유입되고, 하천을 따라 이동한 후 유역 출구에서의 유출 수문곡선을 형성한다. 자연 하천에서의 흐름은 일반적으로 부정 부동류이며 이는 연속 방정식과 운동량 방정식으로 이루어진 St.Venant식을 이용하여 해석할 수 있다. 본 연구에서는 한국수자원공사에서 개발한 부정 부동류 해석 프로그램인 LOOPNET(이환기, 1987)을 근간으로 하여 하도 추적을 실시하였는데, 소유역 추적으로부터 산정되는 각 소유역의 유출 수문 곡선은 LOOPNET에서 상류 경계조건 또는 측방유입량으로 사용되도록 하였다.

### (4) 강우-유출 분석

개발된 강우-유출 모형의 검증을 위하여 소양강댐 유역에 발생한 홍수 사상 중에서 '90년 9월 홍수(9월 10일부터 12일까지)를 선택하여 강우-유출 해석을 실시하였다. 이 홍수의 평균누가 강우량은 387.3 mm, 댐지점에서의 침투 유입량은 10,653 CMS이며 강우가 시작된 후 29시간 만에 발생하였다. 유역을 지형과 하천망을 고려하여 17개의 소유역으로 분할하였으며, 소유역별로 각기 다른 매개변수 값을 갖는다. 소유역별 주요 매개변수 값들은 Table 3과 같은데 이는 GIS로부터 계산된 것이다. 그 밖의 주요 자료들 중에서 하천횡단자료는 기존의 소양강댐 저수지 수심측량자료, 인북천(강원도, 1991b), 내린천(강원도, 1991a)의 하천 정비를 위해 일부구간에서 실시한 횡단 측량 자료를 사용하였으며 그의 지역은 이번 연구기간 중 실시한 횡단 측량 성과를 이용하였다. 유역과 하천의 조도계수는 중요한 모형의 매개변수인데, 본 연구에서는 직접 현

지 측량시 입수한 자료와 기존의 연구 자료들을 기초로 하여 추정하였다.

개발한 강우-유출 모형을 이용하여 1990년 9월 홍수를 모의한 결과 Fig. 6와 같은 유출 수문 곡선이 산정되었다. AMC III 상태일 때의 계산된 첨두 유입량은 9,976 CMS로서 기록된 10,653 CMS와 비교할때 약 6% 오차가 있으며 첨두 유입량 발생시각은 관측된 것과 2시간 차이가 난다. 이 결과는 전혀 사후 모형 보정단계를 거치지 않은 것임을 감안해 볼 때 매우 양호한 것으로 판단된다.

식생도 및 토양도를 이용하여 추출한 SCS 방법의 CN (curve number) 값은 토양의 함수 상태에 따라 수정되어 사용되어야 한다. 보통 토지 이용도에서 추정된 CN값은 AMC(antecedent moisture content) II의 값이고 이는 AMC I, AMC III로 수정되어 사용될 수 있다. 즉 분석하고자 하는 홍수 시점의 7일 이전 기간내에 30 mm 이하의 강우가 내렸다면 AMC I, 50 mm 이상이 내렸다면 AMC III로 변경하여 사용해야 한다.

여기에서는 AMC 조건으로 AMC II과 III를 사용하였다. 실제로 1990년 9월의 강우 자료를 검색한 결과 9월 2일부터 3일 사이에 50 mm 이상의 강우가 있었으므로 AMC III의 조건이 보

Table 3 Main Paramerters of Subbasins

소유역 번호	면적	주수로 연장(km)	주수로 평균 경사	유역 평균 경사	평균 CN 값	
					AMC II	AMC III
1	206.9	23.90	0.014	0.272	60.3	78.24
2	188.0	11.61	0.008	0.302	60.3	78.24
3	300.0	30.11	0.017	0.376	58.8	77.04
4	198.9	24.34	0.004	0.321	60.3	78.24
5	98.3	15.95	0.000	0.335	62.0	79.60
6	46.1	5.90	0.004	0.319	61.0	78.80
7	181.3	13.03	0.002	0.321	60.3	78.24
8	165.6	12.97	0.000	0.331	62.5	80.00
9	333.2	30.57	0.000	0.323	63.5	80.80
10	61.3	12.03	0.004	0.350	60.1	78.08
11	195.4	28.00	0.015	0.346	58.2	76.56
12	83.7	16.71	0.026	0.302	61.3	79.04
13	62.5	13.32	0.006	0.340	60.0	78.00
14	181.9	22.41	0.013	0.310	59.1	77.28
15	96.6	17.41	0.009	0.396	57.5	76.00
16	170.7	15.93	0.017	0.378	59.1	77.28
17	132.1	16.86	0.020	0.283	60.6	78.48

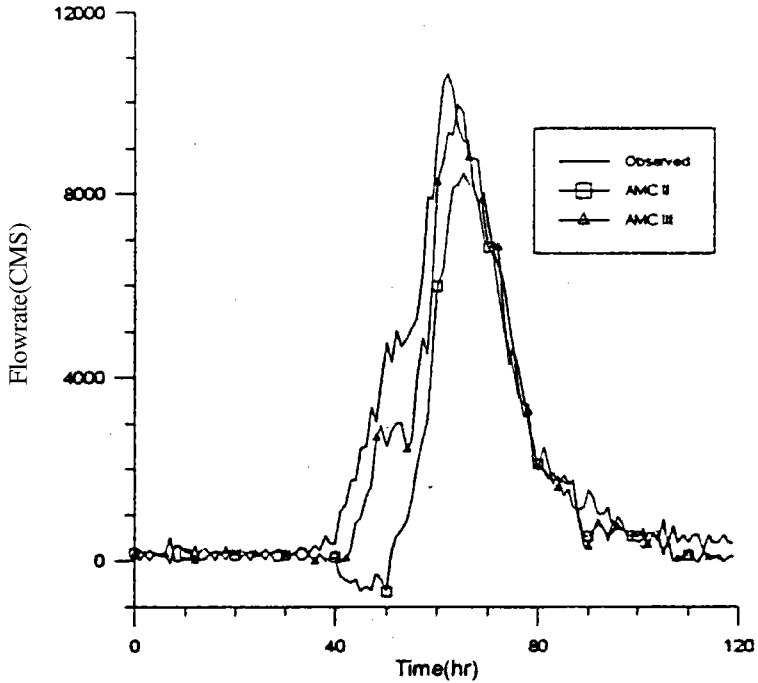


Fig. 6 Simulation Results of Soyang Dam Inflows on September 1990

다 타당하다고 판단된다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 AMC 조건은 강우-유출 모의 결과에 매우 큰 차이를 나타내는 요소이므로 주의하여 사용해야 한다.

## 5. 결론 및 향후 과제

본 연구는 GIS 기법의 수자원관리 분야에의 활용성을 검토하여 본 연구로서 개발된 강우-유출 모형을 실제 호우사상에 적용하여 본 결과가 비교적 잘 일치하였다. 이 모형을 다른 여러 호우사상에도 적용하여 추가의 검증이 필요하겠으나, 실제 방재업무 수행시 충분히 사용 가능한 강우-유출 모형이 될 것으로 기대된다.

향후 연구과제로는 위성자료에 의한 토지 이용 및 지형정보의 추출, 하천 횡단자료 추출, CN 값의 정확도 검증, 모형 부분에서의 중간유출 고려 및 모형 자동보정기법도 추가시켜 매개변수 추정을 보다 용이하도록 하여 off-line calibration 시스템으로 개발하여야 할 것이다. 또한 GUI도 본 연구에서는 GRASS의 기능을 이용하여 작성하였으나, 추가적인 향상과 수자원 관리에 필요한 지식기반 베이스를 병합하여 의사결정을 지원할 수 있는 실시간 운영 시스템으로 디자인 되어야 할 것이다.

GIS는 강우-유출 분야 뿐만 아니라, 여타 수자원관리 업무에도 효율적으로 활용될 수 있기 때문에, 보다 적극적으로 GIS를 활용한 시스템의 개발 및 운용과 이를 활용할 수 있는 인력 양성에 지속적인 투자가 이루어져야 한다고 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 강원도, 1991a, 소양강 하천정비 기본계획.
- 강원도, 1991b, 인북천 하천정비 기본계획.
- 이환기, 1987, "수치 모형에 의한 개수로 Network의 부정류 해석", 제8회 한국 대담학회 학술발표회.
- U.S.Army Construction Engineering Research Laboratory, 1989a GRASS 3.0 Programmers's Manual.
- U.S.Army Construction Engineering Research Laboratory, 1989b, GRASS Users's Manual.
- Hill, J.M., Singh, V.P. and Aminian, H., 1987, "A Computerized Data Base for Flood Prediction Modeling", *Water Resources Bulletin*, 23-1.
- Hodge, W.H., Larson, M. and Goran, W., 1988, "Linking the ARMSED Watershed Process Model with the GRASS Geographic Information System", *Proceedings of the International Symposium on Modeling and Agricultural, Forest, and Rangeland Hydrology*, Chicago, American Society of Agricultural Engineers, Michigan.
- Muzik, I., 1988, "Application of GIS to SCS Procedure for Design Flood Hydrographs", *Proceedings of the International Symposium on Modeling in Agricultural, Forest, and Rangeland Hydrology*, Chicago, American Society of Agricultural Engineers, Michigan.
- Silfer, A.T., Kinn, G.J. and Hassett, J.M., 1987, "A Geographic Information System Utilizing the Triangulated Network as a Basis for Hydrologic Modeling", *Proceedings of International Symposium Computer Assisted Cartog. Am. Soc. Photogram.*
- Stube, M.M. and Johnston, D.M., 1990, "Runoff Volume Estimation Using GIS Techniques", *Water Resources Bulletin*, 26-4.
- Tomlinson, R.F., ed., 1972, "Geographical data hand in UNSCO/IGU", 2nd Symposium on GIS, Ottawa, Canada.
- Vieus, B.E., Braits, V.F. and Segerlind, L.J., 1988, "Finite Element Analysis of Hydrologic Response Areas Using Geographic Information Systems", *Proceedings of the International Symposium on Modeling in Agricultural, Forest, and Rangeland Hydrology*, Chicago, American Society of Agricultural Engineers, Michigan.
- White, D., 1988, "Grid-based Application of Runoff Curve Numbers", *Journal of the Water*

Resources Planning and Management Division, American Society of Civil Engineers 114.  
Wolfe, M.L. and Neale, M.U, 1988, "Input Data Development for a Distributed Parameter Hydrologic Model", *Proceedings of the International Symposium on Modeling and Agricultural, Forest, and Rangeland Hydrology*, Chicago, American Society of Agricultural Engineers, Michigan.