

# 유출 매개변수 분석을 위한 GIS 엔진의 적용

## Application of GIS Engine for Runoff Parameter Analysis

김 상 호<sup>1\*</sup> · 최 근 호<sup>2</sup> · 김 성 준<sup>3</sup>

Sang-Ho Kim<sup>1\*</sup> · Keun-Ho Choi<sup>2</sup> · Seong-Joon Kim<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 박사과정 & (주)한국공간정보통신

공간정보연구소, sanghok@ksic.net

<sup>2</sup> (주)한국공간정보통신 공간정보연구소, khchoi@ksic.net

<sup>3</sup> 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수, kimsj@konkuk.ac.kr

### 요약

본 연구의 목적은 분포형 수문모형에 있어 공간변수의 디테일함을 고려하기 위해 GIS와 결합된 SCS-CN 값 산정 모형을 개발하는데 있다. 모형은 (주)한국공간정보통신의 GIS 소프트웨어 개발도구인 IntraMap/Objects를 사용하였고 마이크로소프트사의 닷넷 플랫폼 개발 언어인 C#으로 개발하였다. 모형의 입력자료인 토지이용도와 토양도의 지형학적 가공을 위해 클립(Clip), 디졸브(Dissolve), 인터섹션(Intersection)과 같은 지형전처리 모듈(GeoPreprocessing Module)을 개발하였다. 또한 전처리된 토지이용도(토지이용항목필드)와 토양도(수문학적 토양그룹필드)를 CN 값 기준도표에 매치시킴으로서 유역의 선행토양함수조건에 따른 분포형 CN 값 및 개략적인 유출량을 산정하는 모형을 개발하였다. 본 연구의 모형은 지형, 토양도, 토지이용도, 토지피복도 변화에 따른 미래 유출량을 예측하는데 사용될 수 있을 것이다.

### 1. 서론

자연재해 중 홍수에 의한 재해가 점차 늘고 있다. 우리나라의 경우, 여름철 저기압, 장마전선, 태풍 등의 위험에 노출된 지역이 많이 있어 각종 산업시설을 보호하고 있는 하천제방 등의 홍수방지 시설물들은 그 설계와 관리에 만전을 기하고 있음에도 불구하고 홍수범람은 하천의 주변 지역에서 많은 인명피해 및 재산피해 등 사회적 문제를 초래하고 있어 근본적인 대책이 필요한 실정이다 (건설교통부, 2000).

이러한 홍수피해를 방지하기 위해서는 대상유역에 대한 강우-유출 분석을 실시하여 정확한 홍수유출량의 산정이 최우선적으로 선행되어야 한다.

유역의 유출량을 산정하기 위한 유역유

출모형의 입력자료들은 대부분 지형과 관련된, 즉 지형정보로부터 추출되어지는 자료들이 다수를 차지하고 있어 자료의 구축이 쉽지 않을 뿐 아니라 정확한 값을 산정하기 어렵다. 기존에는 이러한 지형입력자료의 구축에 있어 종이지도와 구적기 및 현장측량에 의해 지형정보를 추출하였지만 이러한 방법은 넓은 지역의 수행에 있어서 많은 비용과 시간의 소비를 가져오며, 그 대상물 자체의 관측에는 상당히 유용하지만 주변 요소들과의 상대적인 관계를 거시적으로 이해하기에는 여러 가지 문제점을 내포하고 있는 것이 사실이다.

그러나 최근 GIS (Geographic Information System)의 발달과 수치지도 제작이 활발히 이루어지면서 유역의 수문학적 특성을 자동으로 계산하고 분석하는 GIS도구와 수

치지도모형 (Digital Terrain Model, DTM) 으로부터 하천단면을 추출하고 수리해석을 실시하며, 그 결과를 그래픽, 그래프, 또는 텍스트 등으로 나타낼 수 있는 방법들이 널리 보급되어 정밀 정확한 분석 및 입력자료 구축이 가능하게 되었다 (박종민, 2003). 따라서 GIS는 유역경사 등 지형요소를 고려한 수문해석을 가능하게 하고 유역 내 국부적인 토지이용변화 등을 정밀 분석 하는데 유용한 수단이 될 수 있다.

한편 강우-유출 분석에서 직접유출량을 계산하는 데 있어 중요한 매개변수인 CN 값은 침투량과 지표유출을 구분 짓는 지수로서 토지이용과 수문학적 토양군의 함수로 표현되어지는데, 일반적으로 SCS-CN 방법을 사용하여 산정한다. SCS-CN에 대한 연구를 살펴보면 조홍제 (2004) 등은 GIS를 이용하여 유역경사를 고려한 CN 값을 산정하였고 장은미 (2004) 등은 위성영상을 이용하여 공간해상도에 따른 유역 평균 SCS-CN 값 변화에 대해 연구하였으며 김상호 (2006) 등은 KOMPSAT-3급 위성영상인 QuickBird 위성영상을 이용하여 CN 값을 산정, 홍수수문모형 (HEC-HMS) 에 적용하였다.

일반적으로 소규모 농업지역에의 제한적인 적용이라는 SCS-CN 법의 특성상 집중형 수문모형에서 유역의 유출량을 연구하기 위해 면적가중평균의 CN 값을 전체 유역의 CN 값으로 이용하는데 이는 큰 유역과 산지지역에서는 공간이라는 변수의 디테일함이 무시되는 단점이 있다. 더불어 우리나라는 70% 이상이 산지지역이기 때문에 면적가중평균 CN 값의 사용은 큰 오차를 유발할 수 있어 공간변수가 고려된 CN 값을 산정할 필요가 있다. 또한 일부 외국의 CN 값 산정 모형들은 입력자료로 사용되어지는 토지이용도와 토양도 자료의 국가 간 포맷의 상이성 때문에 입력자료 구축이 번거로운 경우가 발생하고 있어 사용자 편의를 위하여 국산 소프트웨어를 이용한 NGIS 포맷에 맞는 모형을 개

발할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 GIS를 이용하여 이러한 공간변수의 디테일함과 이전의 강우 발생 정도에 따른 유역의 토양상태 (Antecedent Moisture Condition : AMC)가 고려되면서 우리나라의 NGIS 포맷을 이용하여 입력자료를 구축할 수 있는 유역의 CN 값 및 유효우량 산정 모형을 개발하고자 하였으며 향후 이러한 모형은 토포그라피, 토양도, 토지이용도, 토지피복도 등의 변화에 따른 미래 유출량을 예측하는데 사용될 수 있고 통합수문모형의 입력자료 구축을 위한 하나의 모델로 제시될 수 있을 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 1. SCS-CN Method for Runoff

SCS-CN (Soil Conservation Service - Curve Number)법은 미 토양보존국에서 만든 유효우량 (직접유출량) 산정방법 중 하나로서 토양도, 토지이용도 그리고 선행토양함수조건에 대한 데이터만으로 강우-유출 자료가 없는 미계측유역의 유효우량 산정에 널리 사용된다.

직접 유출량은 다음의 식 (1)과 같이 계산되어진다.

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

여기서 Q = 유효우량(직접유출량) (mm), P = 총강우량 (mm),  $I_a$  = 초기손실량 (차단, 침투, 저류 등) (= 0.2·S) (mm), S= 최대잠재저류량 (potential maximum retention) (mm) 이다.

한편 유역의 유출능력을 대표하는 S는 CN 값을 사용하여 식 (2)와 같이 계산되어지는데, CN 값은 유역의 토양특성과 식생피복상태 및 토지이용과 처리상태에 관한 자료를 이용하여 총 강우량으로부터 유효우량을 산정하기 위한, 즉 침투량과 지표유출을 구분 짓는 지수이다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (2)$$

본 연구에서는 SCS-CN 방법으로 선행 토양함수조건을 고려하여 CN값 (CNI, CNII, CNIII) 및 그에 따른 유효우량을 산정하는 모형을 개발하였다.

## 2. IntraMap/Objects Model

(주)한국공간정보통신에서 개발한 IntraMap/Objects는 Spatial Server와 연동하여 GIS 데이터 관리 및 편집기능을 지원하는 ActiveX Component 기반의 순수 국산 2D GIS 개발자 라이브러리이다.

IntraMap/Objects는 VB, VC++, Delphi 등 ActiveX Component를 지원하는 다양한 언어에서 개발이 가능하며 직관적인 인터페이스로 손쉽고 빠른 GIS 시스템 개발이 가능하다. 또한 SHP, DXF, DGN, MDB, XMAP 등 다양한 GIS 데이터 포맷과 TIFF, JPG, GIF 등 항공사진 및 위성영상

의 이미지 래스터 데이터 포맷을 지원하므로 별도의 데이터 변환 없이 쉽게 기존의 자료를 활용할 수 있다. 또한 표출되어지는 지도를 빠르게 디스플레이 할 수 있는 기술을 적용시켜 사용자 편의를 극대화시킴으로서 개발환경의 개선 및 개발시간의 단축이라는 장점이 있다. 본 연구에서는 입력자료의 지형전처리를 위한 모듈과 GIS 기반의 SCS-CN 값 산정모형을 개발하기 위해 (주)마이크로소프트사의 닷넷 플랫폼 개발언어인 C#과 IntraMap/Objects를 사용하였다.

## 3. System Flowchart

본 연구의 전체 시스템 구성도는 다음 (FIGURE 1)과 같다.

유역의 SCS-CN 값과 유효우량을 산정하기 위해 본 연구에서 개발한 Clip, Dissolve, Intersection과 같은 지형전처리(GeoPreProcessing) 과정을 거친 후 최종적으로 SCS-CN 및 유효우량 산정 모델을 이용하여 결과를 도출하였다.

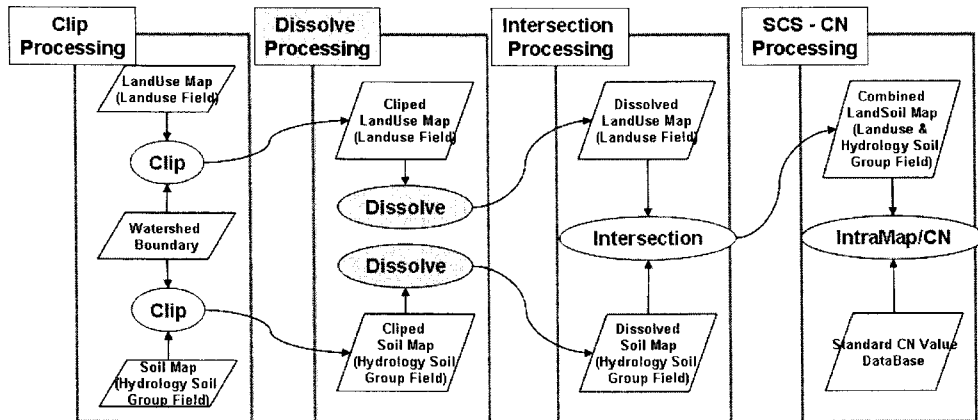


FIGURE 1. Flow Chart of SCS-CN Calculation System

## 3. 결과 및 고찰

### 1. 대상지역 선정

본 연구에서는 모형의 적용을 위해 안성천 유역의 소유역인 진위천 유역을 대

상지역으로 선정하였다 (FIGURE 2A). 진위천은 안성천의 제1지류로서 위, 경도 상으로는 동경 126° 50'~ 127° 00'와 북위 36° 50'~ 37° 20'사이에 위치하고 있으며,

유역면적과 유로연장은 각각 737.7 km<sup>2</sup>, 50 km이다. 또한 전체적인 유역경사는 완

만한 편이고 하상경사 역시 비교적 완만한 편이다.

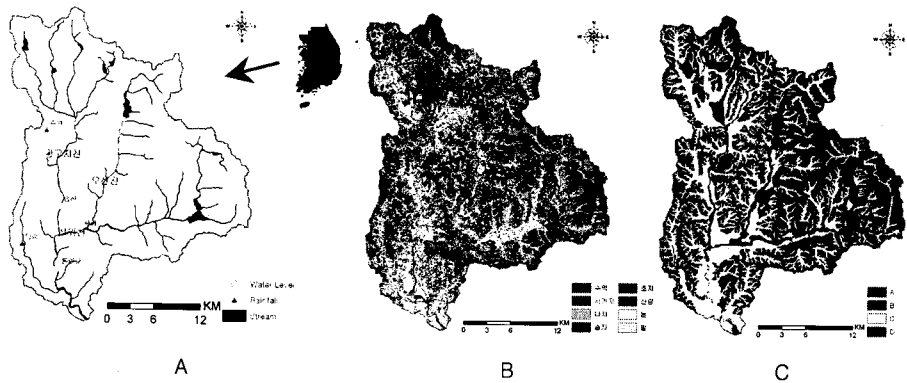


FIGURE 2. Study Area & Input Data, A: Study Area B: Land Use C: Hydrology Soil Group.

## 2. 모형 입력자료 구축

IntraMap/CN 모형의 입력자료로서, CN 값 산정에는 토지이용도와 토양도가 필요하고, 유효우량 산정에는 산정된 CN 값과 강우량 자료가 필요하다. 모든 입력자료는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 1:50,000도의 자료로 획득이 가능하다.

모형의 입력자료 기본파일포맷은 MS ACCESS 파일포맷 (MDB)을 지원하지만 데이터 변환 기능이 포함되어 있기 때문에 ESRI 사의 대표적인 GIS 파일포맷 (SHP) 또한 사용가능하다. 본 모형에서는 토지이용도의 토지이용항목 (Landuse) 필드와 토양도의 수문학적 토양군 (Hydrology Soil Group) 필드를 필요로 하고 이는 기본적으로 모든 토지이용도 및 토양도 자료에서 제공하고 있다.

### 가. 토지이용도 (Landuse Map)

토지이용도는 국립지리원, 환경부 및 건설교통부에서 쉽게 획득이 가능하며 고해상도의 토지이용을 획득하기 위해 위성영상을 이용한 토지이용도 작성이 가능하다. 진위천 유역의 토지이용현황은 Landsat 위성영상을 이용하여 영상의 보정 후 Reclass 작업을 통해 토지이용을 분류, 농경지, 임야, 대지 및 기타를 중심으로 토지이용도를 작성하여 파악하였다. 토지이

용구성비는 농경지 면적이 350.90 km<sup>2</sup> (47.6%)로 가장 많은 비중을 차지하고 있다(FIGURE 2B).

### 나. 토양도 (Soil Map)

토양도는 농촌진흥청 농업기술연구소에서 제공하는 정밀토양도 (1:25,000) 및 개략토양도 (1:50,000) 자료를 쉽게 획득할 수 있다. 한 유역의 토양특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미친다. 즉, 토양의 성질에 따라 침투능이 상이하므로 총 유량 중 직접유출로 유하하는 유효우량의 크기도 다를 수밖에 없다. 그런데 토양의 성질을 양적으로 표현하기란 힘들므로 미국 토양보전국 (Soil Conservation Service; SCS)은 토양의 침투능을 기준으로 Type A, B, C, D 4개의 토양군으로 분류하고 있다. 각 토양군의 토양침투능의 크기는 A, B, C, D 순이고 유출물은 이의 역순이다.

한편 진위천 유역의 토양특성으로는 토양분포, 배수특성, 수문학적 토양군 등을 구분하여 분석하였다. 대상유역의 토양특성은 농촌진흥청에서 제작한 개략토양도 (S=1:50,000)로부터 토양도를 작성하여 토양분포, 토양배수상태, 수문학적 토양군 등으로 구축하였다 (FIGURE 2C).

다. CN 값 기준도표 (기준 CN 값 DB)  
 각 토지이용별, 수문학적 토양군별 CN 값 산정에 필요한 CN 기준값은 AnnAGNPS (Annualized Agricultural Non-Point Source)의 Curve Number 도표를 기초로 MS ACCESS 파일포맷으로 DB를 구축하여 모형과 함께 제공하도록 하였다. 이 데이터베이스는 사용자가 다른 CN 기준값으로 재구축 하여 지역 특성에 맞는 CN 값을 산정할 수 있도록 설계하였다.

### 3. 지형 전처리 (Geo-Preprocessing)

#### 가. Clip

SCS-CN 값은 토지이용과 수문학적 토양군에 대한 함수이므로 반드시 대상지역 어느 부분에 대해서도 두 가지의 자료를 동시에 가져야 한다. 이는 대상지역에 대한 토지이용도와 토양도 자료가 동일한 면적과 동일한 위치를 가져야 함을 의미한다. 한편 모형의 입력자료인 NGIS 자료는 일정한 격자범위로서 데이터를 제공하

므로 해당 연구지역으로 설정한 부분만을 추출해 내고자 클립 모듈을 개발하였다 (FIGURE 3A).

#### 나. Dissolve

대상지역의 토지이용과 수문학적 토양군은 지역적으로 분산되어 분포되어있기 때문에 SCS-CN 값 산정 시 중복된 계산을 하여 프로세싱 시간의 증가를 가져온다. 이에 따라 입력자료의 토지이용 및 수문학적 토양군 항목 중 동일한 항목들은 일괄적으로 처리하여 CN 프로세싱 시간을 단축하고자 디졸브 모듈을 개발하였다 (FIGURE 3B).

#### 다. Intersection

유역의 토양-피복형별 분포면적을 결정하기 위해서 각 토지이용에 대한 수문학적 토양군의 결합을 처리하고자 인터섹션 모듈을 개발하였다. 따라서 본 모듈로 인해 재구성된 자료의 토양-피복형별 항목의 수는 총 [토지이용항목 수 \* 수문학적 토양군 수]가 된다 (FIGURE 3C).

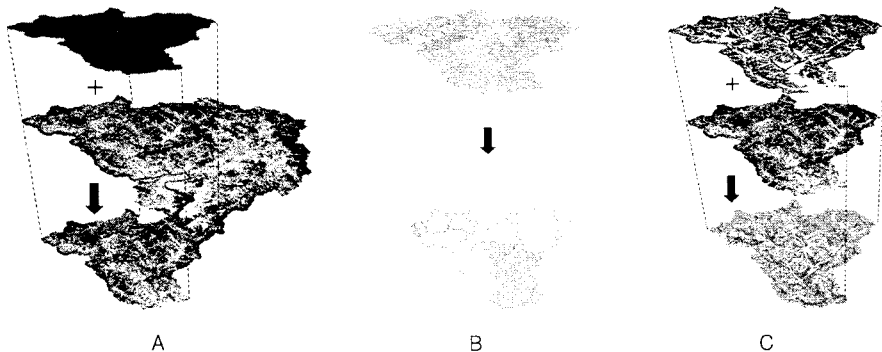


FIGURE 3. GeoProcessing Module, A: Clip B: Dissolve C: Intersection.

### 4. CN 값 및 유효우량 산정

지형 전처리 과정으로 처리된 토양-피복형별 자료와 기준 CN 값 DB를 이용하여 AMC 조건에 따른 CN I, CN II, CN III 값 및 유효우량을 산정하는 모형을 개발하였다 (FIGURE 4).

모형의 구동 절차는 먼저 모형의 입력자료인 토양-피복형별 자료에서 사용할 토

지이용 항목필드와 수문학적 토양군 항목필드를 선택하고 각각의 필드항목이 참조하게 될 CN 기준 값 DB를 지정한다. 다음으로 토양-피복형별 자료와 CN 기준 값 DB 내 레코드의 매칭작업을 수행하게 되는데, 이는 두 자료의 토지이용필드의 항목이름이 달라 기준 값을 참조하지 못하는 것을 방지하기 위한 과정이다. 매칭작

업 수행 후 최종적으로 토양-피복형별에 해당하는 CNⅡ 값을 각 레코드마다 산정하게 되고 이렇게 산정된 CNⅡ 값을 기준으로 AMC 조건에 따른 CNⅠ 및 CNⅢ 값을 산정하게 된다.

추가적으로 총강우량을 입력하면 산정된 CN 값을 적용하여 SCS 방법에 의한 유효우량 값을 깊이 단위로 산정하고 입력자료 내 면적필드와의 곱을 통해 부피 단위의 유효우량 값을 산정하여 각각에 대한 필드가 생성된다. 따라서 시스템의 전체 계산을 수행하면 총 5개의 필드(CNⅠ, CNⅡ, CNⅢ, 유효우량 (Runoff - Depth), 유효우량 (Runoff - Volume))가 생성된다.

#### 5. SCS-CN 및 유출 분포도 작성

IntraMap/Objects와 SCS-CN 방법을 이용하여 산정한 모형의 결과는 (FIGURE 5) 및 (FIGURE 6)과 같다.

본 모형에서는 결과인 유역의 분포된 SCS-CN 값 및 유효우량을 레이어 (Layer) 형식으로 지도상에 표출하는 기능을 개발하여 결과 값의 분포 현황을 가시화 하도록 하였다.

그 결과 본 연구의 적용대상 지역인 진위천 유역의 SCS-CN 값 및 유효우량의 분포 상태는 진위천, 오산천, 황구지천 등 하천 주변이 대체로 높은 값을, 산지 지역은 대체로 낮은 값을 나타내고 있다. 이는 하천 주변이 대부분 높은 유출률을 나타내는 논과 시가지로 토지가 이용되고 있고 낮은 침투율을 나타내는 Type C의 토양이 분포되어 있기 때문이며, 또한 산림 지역의 낮은 SCS-CN 값 및 유효우량은 높은 침투율을 나타내는 Type A의 토양이 분포되어 있기 때문임을 알 수 있다.

#### 4. 요약 및 결론

IntraMap/Objects를 이용하여 공간변수의 디테일함과 이전의 강우 발생 정도에 따른 유역의 토양상태 (AMC)가 고려되면서 우리나라의 NGIS 포맷을 이용하여 입력자료를 구축할 수 있는 유역의 SCS-CN 값 및 유출량 산정 시스템 개발에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

시스템에서 요구되어지는 입력자료인 토지이용도와 토양도는 국가 NGIS 자료로서, 구입 및 획득이 용이하고 또한 본 시스템을 국내 입력자료 포맷에 맞도록 개발하였기에 토지이용 및 토양도의 편집 작업 없이 시스템에 바로 적용할 수 있다.

기존 집중형 수문모형의 매개변수로 사용되던 면적가중평균 SCS-CN 값은 물론 분포형 수문모형에 지형적 디테일함이 고려된 분포형 SCS-CN 값 또한 산정이 가능하다.

AMC 조건을 고려하여 한 번의 프로세스로 CNⅠ, CNⅡ, CNⅢ 및 그에 따른 유효우량을 산정 하도록 모형을 개발하여 작업의 효율성이 극대화 되었다.

시스템의 SCS-CN 값 및 유출량 산정 처리속도는 적용 유역인 진위천 유역의 데이터를 처리하는데 빠른 시간이 소요됨으로서 실무에서 개략적인 유출량을 산정하는데 하나의 대안으로 제시될 수 있을 것이다.

본 시스템을 이용한 SCS-CN 값 및 유효우량은 토양도, 토지이용도, 토지피복도 변화에 따른 미래 유출량을 예측하는데 사용될 수 있을 것이다.

앞으로 유역 경사를 고려한 모듈을 추가한다면 좀 더 정확한 유역의 SCS-CN 값을 산정할 수 있는 시스템이 구현되리라 판단된다.

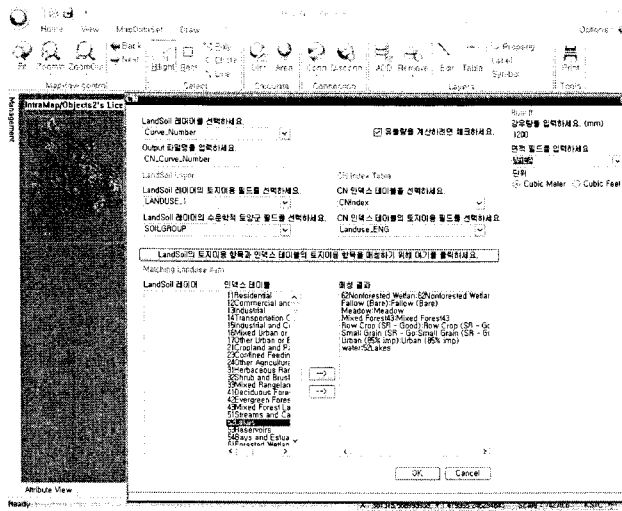


FIGURE 4. IntraMap/CN Model of IntraMap/Manager

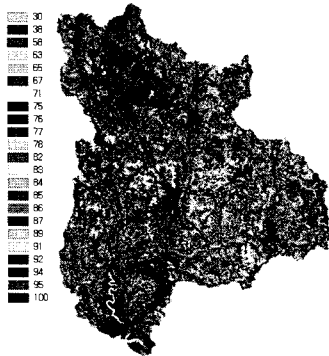


FIGURE 5. SCS-CN II Distributed Map

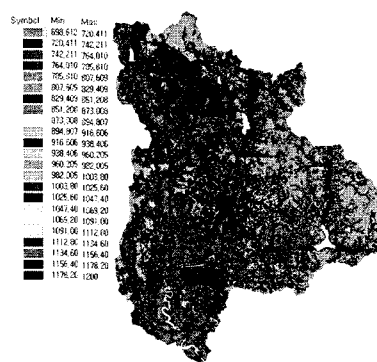


FIGURE 6. Runoff Distributed Map

## 5. 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과 제의 연구비지원 (06국토정보C01)에 의해 수행되었습니다.

## 6. 참고 문헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사. 2000. 수자원장기종합계획보고서 : Water vision 2020
2. 건설교통부, 2002, 안성천 수계 하천정비 기본계획서
3. 박준일, 신형우, 조봉철, 장영태. 2000.

남강댐 유역에서의 HEC-HMS 모형의 적용성.

4. 생산기술연구소논문집 16(1): 161-167. 최한규, 백효선, 정병하. 2002. 내린천 유역의 HEC-HMS 모형 적용에 관한 연구. 산업기술연구 22(A): 211-218.
5. 권형중, 김성준. 2003. TOPMODEL과 Muskingum 기법을 연계한 안성천유역의 홍수유출분석. 한국지리정보학회지 6(1): 1-11.
6. 이준우, 권형중, 신사철, 김성준. 2003. WMS HEC-1 모형을 이용한 경안천 유역의 경년 수문변화 분석. 한국지리정보학회지 6(1): 107-118.
7. 홍성민, 정인균, 이준우, 김성준. 2004.

- SMS를 이용한 경안천 하류구간의 하천 흐름 분석. 한국지리정보학회지 7(1): 94-104.
8. 장인수. 2004. HEC-HMS 모델을 이용한 산지 소하천유역의 홍수유출량 산정. 한국산업응용학회지 7(3): 281-288.
  9. 장석환, 구분웅. 2004. GIS를 이용한 한탄강 유역의 홍수량산정. 대진논총, 11(1): 115-128.
  10. 박종민. 2003. GIS를 이용한 농경지 침수모의시스템 개발. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 109-122쪽.
  11. 김상호. 2006. GIS기반 홍수지도의 개발. 환경대학교 대학원 석사학위논문. 60-79쪽.