

미계측 유역의 유출모의를 위한 지리정보시스템의 응용(I) : 토양도 및 토지이용도의 선정

Application of GIS for Runoff Simulation in Ungaged Basin(I) : Selection of Soil Map and Landuse Map

김 경 탁* / 심 명 필** / 선 우 중 호***

Kim, Kyung Tak / Shim, Myung Pil / Sonu, Jung Ho

Abstract

Hydrology-based topographical informations generated by GIS techniques could be changed according to the selection of base map, algorithm of extraction, and so on. The purpose of this paper is to investigate the variation of SCS CN extracted by GIS technique and to propose the effective strategy for applying GIS to the rainfall-runoff simulation in ungaged basin. For experimental implementation, GIS spatial data, such as reconnaissance soil map, detailed interpretative soil map, landuse planning map and remotely sensed data(Landsat TM), were collected and generated to calculate the amount of effective rainfall in Pyungchang river basin.

In applying SCS Runoff Curve Number to the test basin, the hydrological attribute data were analyzed. In addition, the characteristics of runoff responses according to the selection of GIS spatial data for SCS CN were reviewed. This study shows the applicability of GIS techniques to runoff simulation in ungaged basin by comparing with the measured flood hydrograph. It has been found that the detailed interpretative soil map and remote sensing data are appropriate for calculating of SCS CN.

Keywords: GIS, CN, ungaged basin, soil map, landuse map

요 지

GIS기법을 이용하여 추출되는 수문지형정보는 기본 주제도의 선정, 사용된 알고리즘 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 토양도 및 토지이용도의 선정에 따른 유출수문곡선번호의 변화를 분석하여 미계측 유역의 강우유출모의에 효과적인 GIS의 활용방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 미계측 유역에서의 유출강우량 산정에 필요한 GIS 공간자료(개략토양도, 정밀토양도, 토지이용계획도, 위성영상)를 구축하였다.

미국 토양보존곡(SCS)의 유출곡선번호(runoff curve number; CN)방법의 적용을 위한 수문학적 속성의 입력과정에서 발생할 수 있는 문제점을 분석하였다. 또한 SCS CN값 산정을 위한 GIS 공간자료의 선정에 따른 유출응답특성을 검토하였다. 실측 수문곡선과의 검증을 통해 미계측 유역에서의 강우유출모의에서 GIS의 적용성을 확인할 수 있었다. SCS CN값을 산정하기 위한 GIS 공간자료로서는 정밀토양도와 위성영상자료를 이용하는 것이 적합한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 지리정보시스템, 유출곡선번호, 미계측 유역, 토양도, 토지이용도

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원
Senior Researcher, Water Resources and Environmental Research Div., Korea Inst. of Construction Technology, Koyang, Kyonggi 411-410, Korea

** 인하대학교 토목공학과 교수
Prof., Dept. of Civil Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea

*** 전 서울대학교 총장
Formerly President, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

1. 서 론

강우유출과정에 영향을 미치는 수문학적 특성인자들은 시간적, 공간적으로 다변성을 갖고 있으며 유출과정에 대한 정확한 규명에는 아직까지 많은 어려움이 남아 있다. 강우유출관계를 규명하기 위한 수문모형분야에서의 계속된 노력으로 더욱 정확한 모의가 가능하도록 모형들이 개선되고 있으나, 이러한 노력들은 보다 많은 매개변수와 다양한 정보들을 필요로 하게 되어 이들의 추정 및 검증과정에서 어려움을 겪게되는 역효과를 발생시키는 원인이 되고 있다.

GIS를 이용할 경우, 시간과 인력을 절약하여 유출현상에 영향을 미치는 토양, 토지이용, 배수유역의 형태, 하천망 및 유역경사 등 많은 형태의 수문지형정보를 빠르고 정확하게 획득하고 정량화할 수 있다. 따라서 모의과정에서 요구되는 수문지형정보의 추출이라는 수문학적 문제 해결을 위해서 GIS를 이용하여 수문지형정보를 효율적으로 획득할 수 있는 방안이 연구되어 왔다. Peucker 등(1978)은 TIN(Triangulated Irregular Network)의 연구에서 하천과 능선을 표시하는 방법을 제안하였고, Lawrence (1986)는 DEM(Digital Elevation Model)을 통하여 유역의 분리에 관한 연구를 수행하였으며, Jenson 등(1988)은 GIS분석을 위하여 DEM으로부터 지형의 구조를 추출하는 방법에 대하여 연구하였다. 또한 David (1994)는 배수구역에서 유역경사, 수로경사 등의 지형학적 특성을 정량화 할 수 있는 유역특성시스템(basin characteristic system)에 대하여 연구한 바 있으며 국내의 경우 함창학(1996)은 Arc/Info의 GRID 모듈을 이용하여 격자형 DEM으로 활용한 수문지형정보 추출에 관한 연구를 수행한 바 있다. 이와 같은 GIS의 장점을 토대로 강우유출모의를 개선하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있으나, 주요 연구방향은 GIS를 이용하여 대상유역의 지형정보를 추출하고 이를 수문모형의 매개변수로 사용함으로써 모의 결과를 개선하고자 하는 노력으로 이루어져왔다.

강우유출모의를 위하여 어떠한 수문모형을 사용하였느냐에 따라 모의결과는 달라질 수 있다. 이와 마찬가지로 GIS를 이용하여 모형의 입력매개변수를 추출할 때에도 사용된 기본 주제도, 속성값의 재입력, 수치고도자료로부터의 지형특성인자 추출 기법 등이 달라질 경우에도 결과 값의 차이를 보일 수 있다. 기존의 연구에서는 GIS를 이용하지 않은 경우에 비해 GIS를

이용할 경우에 대한 장점을 연구하고 활용하는 면에서 다수의 연구가 이루어져 왔으나 사용되는 기초 자료의 차이에 따라 발생할 수 있는 문제점에 대해서는 그 중요성에 비하여 연구 사례를 찾아보기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 GIS를 이용하기 위해 사용되는 기초자료 특히, 미계측 유역의 유출모의를 위한 SCS 유출곡선번호를 산정하기 위해 사용되는 기본 주제도의 선택에 따른 모의 결과의 변화에 대해 검토하고자 한다. 또한 주제도에서의 속성을 수문모형에서 사용되는 속성으로 재분류할 때 발생할 수 있는 문제점으로 인한 영향에 대하여 연구, 검토함으로써 미계측 유역에서의 유출모의를 위한 GIS의 활용방안을 제시하고자 한다. 즉, GIS를 이용하여 SCS방법에 의한 유출강우량 산정에 필요한 토양 자료층(layer) 및 토지이용 자료층 구축을 위한 주제도 선정 및 속성자료의 입력 기준에 따른 CN값의 변화를 검토하고자 한다. 아울러 이로 인한 유출응답특성의 변화를 분석하여 합리적인 주제도 선정 및 속성자료 입력방안을 제시하고자 한다.

이를 위해 미 육군공병단(U.S. Army Corps of Engineers)과 Brigham Young 대학의 공학컴퓨터그래픽 연구실(Engineering Computer Graphics Laboratory)에서 공동으로 개발한 WMS(Watershed Modeling System) v.5.0을 사용하였으며 WMS에 포함되어 있는 HEC-1모형을 이용하여 주제도 선정에 따른 유출응답특성을 분석하였다.

2. 대상유역의 선정

수문모형의 기본자료로는 유역의 지형학적 특성자료와 기상학적 특성자료로 구분할 수 있으므로 연구대상 유역의 결정은 지형학적, 기상학적 자료가 충분한 곳을 선택하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 국제수문개발계획(IHP) 대표시험유역으로 선정되어 관리되고 있는 평창강 유역을 연구 대상 유역으로 선정하였다. 이 지역은 수문 기상학적 자료의 수집이 용이할 뿐 아니라 신약지형이기 때문에 타 지역에 비하여 산업화, 도시화 등에 따른 지형의 변동이 거의 없는 지역이다. 따라서 현실적으로 수집 가능한 지형도, 토지이용도, 토양도, 위성영상자료 등의 자료 제작 일시가 상이함에도 불구하고 본 연구에서 지형특성인자 및 SCS CN값의 추출에 필요한 기초자료로서 무리 없이 사용 가능할 것으로 판단하였다. 그림 1은 평창강 유역의 우량 및 수위관측소의 위치를 나타낸다.

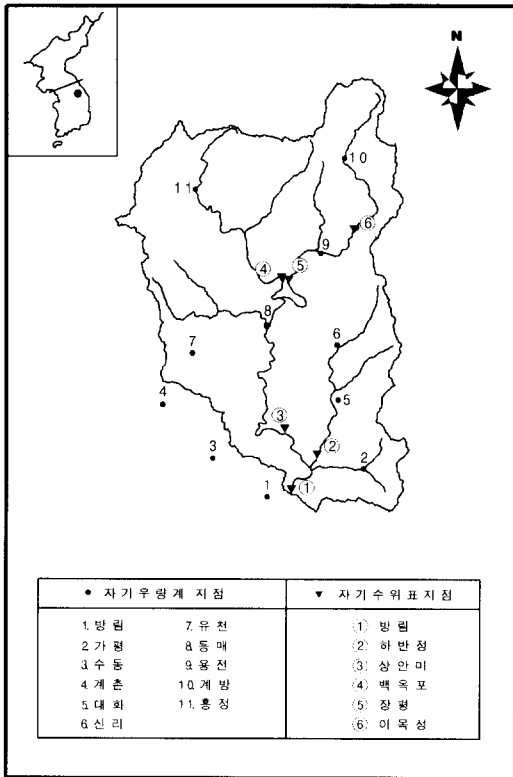


그림 1. 평창강 유역의 우량 및 수위관측소

3. 토양도 및 토지이용도의 선정

국내의 경우 토양자료층 구축을 위한 기본자료로는 한국개략토양도(1:250,000), 개략토양도(1:50,000) 그리고 정밀토양도(1:25,000)가 있으며 본 연구에서는 실무에서 많이 사용되고 있는 개략토양도와 정밀토양도를 이용하여 토양자료층을 구축하였다. 토지이용자료층을 구축하기 위해 국내에서 수집할 수 있는 기본자료로는 국립지리원에서 제작된 토지이용현황도, 도시계획도(또는 도시계획총괄도), 토지이용계획도 및 인공위성 영상자료 등이 있다. 본 연구는 각 지방관청에서 작성되어 관리되고 있는 토지이용계획도와 Landsat TM 위성영상자료를 기초자료로 하여 토지이용자료층을 작성하였다.

3.1 토양도

3.1.1 개략토양도를 이용한 토양자료층 구축

유역의 토양특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미치므로 미 토양보존국(SCS)에서는 미국

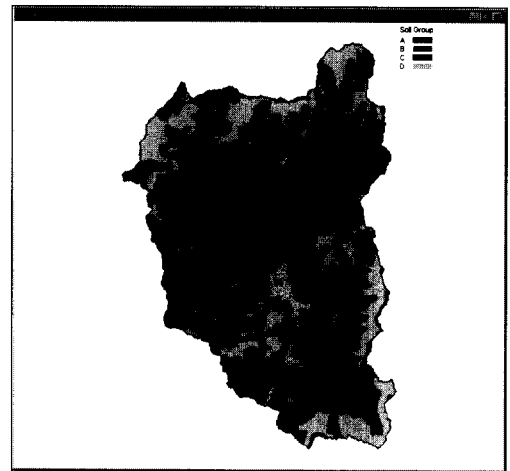


그림 2. 토양자료층(개략토양도, 1:50,000)

전역의 토양특성을 파악하여 토양도를 작성하였으며 토양의 침투능을 기준으로 4개의 토양군으로 분류하였다. 또한 A,B,C,D로 분류한 토양형, 토지이용상태 및 선행토양함수조건의 함수로 유역의 배수특성을 정량적으로 나타내는 CN값을 부여하고 있으며 이는 GIS를 이용할 경우 미계측 유역에서의 유효강우량 산정방법으로 유용하게 이용될 수 있다.

평창강 유역에 대한 토양자료층 작성을 위하여 농업과학기술원에서 제공한 강원도지역의 1:50,000 개략토양도(농촌진흥청, 1971)를 이용하여 평창강 유역의 토양자료층을 작성하였다. 또한 CN값을 산정하기 위하여 평창강 유역에 포함되는 토양군에 대하여 토양형 및 성질을 기준으로 SCS의 수문학적 토양군으로 재분류하였다. 개략토양도를 이용하여 수문학적 토양군의 속성으로 분류된 평창강 유역의 토양자료층은 그림 2와 같다.

3.1.2 정밀토양도를 이용한 토양자료층 구축

정밀토양도에 대한 수치지도화 작업이 농업과학기술원에 의하여 1995년부터 진행되어 오고 있으며, 본 연구에서는 연구 지역에 해당하는 시군별 수치지도자료와 정밀토양도(평창군)를 획득하였다. SCS의 수문학적 토양군별 토양배열은 미 농무성(USDA)의 토양분류기준(soil survey manual)에 근거하고 있는 것과 마찬가지로 우리나라의 농촌진흥청의 토양분류기준도 미 농무성의 토양분류기준에 기초를 두고 있다. 따라서 정밀토양도상에 나타나 있는 토양통을 기준으로 SCS의 수문학적 토양군별로 재분류할 수 있다. 허와 정(1987)

은 토성(soil texture), 토양심도(soil depth), 토양배수(soil drainage), 토양팽창(soil swelling), 유기물함량(organic matter content)에 대한 SCS와 농촌진흥청의 분류기준을 정량적으로 비교, 검토하여 정밀토양도상의 토양통을 SCS의 수문학적 토양군 A, B, C, D로 분류하여 제시하였다. 본 연구에서도 이를 근거로 하여 수문학적 토양군의 재분류를 실시하였다.

토양의 수치지도 자료로부터 SCS 수문학적 토양군의 속성을 갖는 토양자료층을 구축하였으며 이는 그림 3과 같다. 그림에서 검은색 실선은 토양구로 분류되어 있던 정밀토양도(농촌진흥청, 1994)상의 토양경계선이다.

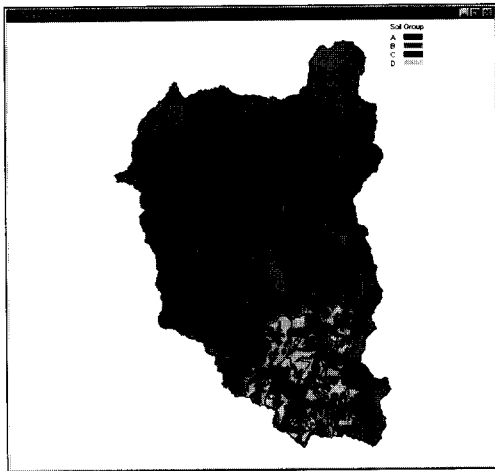


그림 3. 토양자료층(정밀토양도, 1:25,000)

3.1.3 토양도 선정에 따른 토양분포의 차이

평창강 유역의 수문학적 토양분포를 개략토양도를 이용하여 건설부(1990)에서 산정된 값과 본 연구에서 개략토양도 및 정밀토양도를 이용하여 산정된 값을 그림 4에 함께 도시였다. 건설부(1990)와 본 연구에서는 동일한 유역에 대해 동일한 자료(개략토양도, 1:50,000)를 이용하여 수문학적 토양분포를 산정하였으나 그 결과가 서로 다르게 나타나고 있다. 개략토양도는 실무에서도 보편적으로 CN값을 산정하기 위하여 사용되고 있는 토양도이다. 그러나 농촌진흥청에서 작성된 개략토양도의 58개 토양군을 SCS 수문학적 토양군인 A,B,C,D로 재분류하는데 있어서 주관적 판단의 차이가 있을 수 있다. 이는 분류를 위한 객관적인 기준이 수치로 제공되고 있는 것이 아니라 개략토양도상에 표기되어 있는 각 토양군의 토양형 및 성질을 기준으로 하여 분류되고 있기 때문이다. 따라서 기존의 연구와 본 연구에서 서로 차이가 발생할 수 있으며 이는 주로 분류 기준이 애매할 수 있는 SCS 토양형 B와 C에 대한 분류에서 나타나고 있다.

한편, 개략토양도와 정밀토양도를 이용하여 SCS 수문학적 토양군으로 분류할 경우 서로 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 주제도 선정이 유효강우량 산정에 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며 원인은 각 자료에 대해 수문학적 토양군으로의 재분류과정에 있다. 개략토양도의 경우는 재분류시 그 기준 자체가 수치적으로 분명하지 않으나 정밀토양도를 이용한 재분류시에는 SCS의 기준과 농촌진흥청의 토양분류기준과

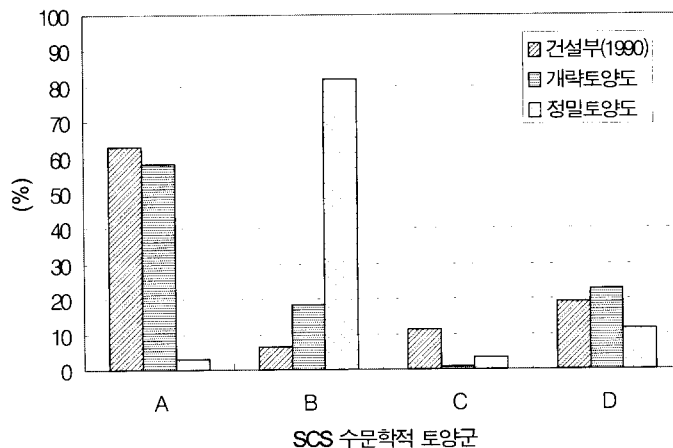


그림 4. 토양분포 비교(방림)

의 수치적인 비교가 가능하므로 보다 합리적인 재분류가 가능하다.

3.2 토지이용도

3.2.1 토지이용계획도를 이용한 토지이용자료층 구축

평창강 유역에 대한 토지이용계획도는 평창군청의 협조를 입수할 수 있었으며 이들은 1:25,000 지형도와 1:5,000 국가기본도상에 토지이용계획을 도시하고 있다. 본 연구에서는 1:25,000 지형도를 이용하여 제작된 토지이용계획도를 사용하였다. 최종적으로 완성된 토지이용자료층은 그림 5와 같다.

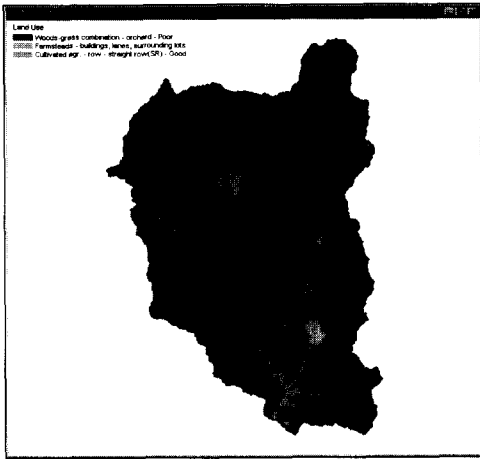


그림 5. 토지이용자료층(토지이용계획도)

3.2.2 원격탐사자료에 의한 토지이용자료층 구축

유역의 토지이용상태를 나타내는 토지이용자료층을 구축하기 위해 영상자료의 해상도(spatial resolution), 파장영역의 폭과 종류(spectral resolution), 에너지를 감지할 수 있는 센서의 민감도(radiometric resolution), 그리고 데이터 획득의 용이성 등을 고려해서 미국의 Landsat TM (Thematic Mapper) 영상을 이용하였다. 사용된 영상은 산림청 임업연구소의 협조를 얻어 입수한 것으로 1984년 4월 16일 촬영된 영상이며 SCS 토지이용도표의 속성으로 재분류하여 구축된 토지이용자료층은 그림 6과 같다.

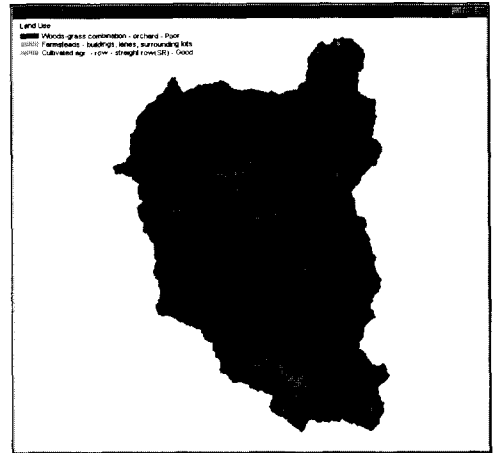


그림 6. 토지이용자료층(Landsat TM, 1984.4)

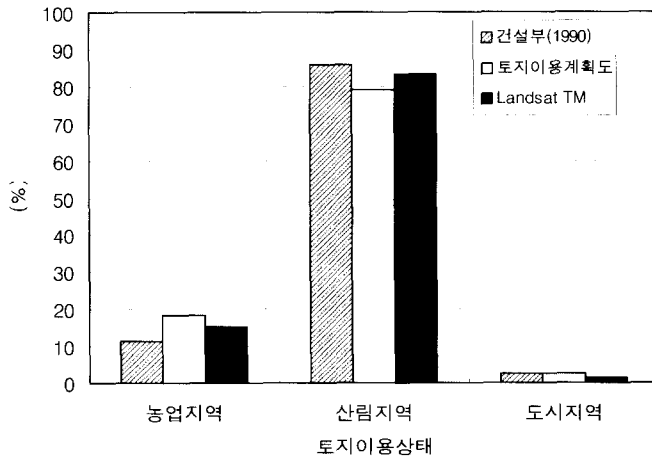


그림 7. 토지이용분포 비교(방림)

3.2.3 토지이용분포

평창강 유역에 포함된 토지이용별 면적을 산정하였으며 그림 7에서 보는 바와 같이 앞의 토양분포의 산정에서 보다 비교적 유사한 값을 나타내고 있다. 그러나 건설부(1990)에서의 토지이용분포의 산정방법은 지형도에 표기되어 있는 토지이용과 처리상태를 이용하는 것으로 이 경우 지형도상에는 각 토지이용의 분포가 면(polygon) 형태를 취하고 있지 않기 때문에 토지이용도 분류시 분류자의 주관적 판단에 의해 오류를 범하기 쉬운 문제점을 갖고 있다. 또한 토지이용계획도의 경우 비록 면 형태의 각 구역별 경계가 설정되어 있으나 이는 현재의 토지이용상황을 나타내고 있는 것이 아니라 앞으로의 토지이용에 대한 계획을 지형도 위에 도시한 것이므로 이 또한 실제의 토지이용상황을 나타낸다고 보기는 어렵다.

따라서 토지이용상황을 가장 잘 나타낼 수 있는 것은 분석 대상 시점과 동일한 시점에서 촬영된 위성영상을 통하여 구축된 토지이용도라 할 수 있다. 특히, 평창강 유역과 같이 토지이용분류 등급이 몇 종류가

되지 않는 지역의 경우에는 분류 등급이 많은 지역보다는 정확도가 상대적으로 높다.

3.2.4 산림 속성의 선정

SCS CN 값의 산정을 위한 토지이용분포도의 작성에서는 분류된 각 토지이용상태에 해당하는 SCS의 토지이용도표의 항목에서 어떤 항목을 선택하는 문제가 더욱 중요하다. 특히, 평창강 유역과 같이 산림이 유역의 대부분을 차지하는 지역에 대해서 산림속성의 선정은 중요한 요소이다. SCS 토지이용도표에는 산림에 대한 속성자료로 표 1과 같이 6가지의 산림형태를 제공하고 있는데 이 중에서 어떤 항목을 선택하느냐에 따라 CN값은 약 30 정도의 차이를 나타내기도 한다.

선우중호 등(1977)은 표 2와 같이 경안천 및 무심천 대표시험유역의 산림을 SCS 토지이용도표의 "Forest"로 분류하고 있으며 이후 발표된 대부분의 연구에서도 SCS CN값의 산정시에 동일하게 "Forest"가 사용되고 있다. 이들의 연구에서 산림의 분류기준에 대한 명확한 언급은 찾을 수 없으나 이는 우리나라의 산림인 경우, 미국의 산림에 비해 수목의 종류에서 차

표 1. 토지이용도표에서 산림에 관한 항목

WMS Attribute No.	Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
	Cover Type	Hydrologic Condition	A	B	C	D
27	Woods-grass combination (orchard or tree farm)*	Poor	57	73	82	86
28		Fair	43	65	76	82
29		Good	32	58	72	79
30	Woods**	Poor	45	66	77	83
31		Fair	36	60	73	79
32		Good	30	55	70	77

* : CNs shown were computed for areas with 50 % woods and 50 % grass(pasture)cover

Other combinations of conditions may be computed from the CNs for woods and pasture

** : Poor : Forest Litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning

Fair : Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil

Good : Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil

표 2. 토지-피복형별 유출곡선번호(선우중호 등, 1977)

토지이용상태	토지처리상태	수문학적조건	토양형			
			A	B	C	D
논 밭 농가 산림지	Straight row	Good	67	78	85	89
	Straight row	Good	63	75	83	87
	Normal		59	74	82	86
	Very sparse or Low Transpiration		56	75	86	91

표 3. 토지이용자료층의 속성 선정(본 연구)

분 류	SCS 토지이용도표 항목	수문학적 조건	토양형			
			A	B	C	D
주거지역	Farmsteads-buildings, lanes, surrounding lots	Good	59	74	82	86
농업지역	Cultivated agr.-row-straight row		67	78	85	89
산림지역	Woods-grass combination-orchard	Poor	57	73	82	86

이가 나는 점과 SCS의 토지이용도표에서 의미하고 있는 “Woods” 또는 “Forest”의 의미가 우리 나라의 산림과는 개념적인 차이가 나고 국토의 80 %이상이 산악지역인 우리 나라의 지형특성을 감안하여 CN값이 다소 높은 항목을 선택한 것으로 판단된다.

그러므로 원어의 해석상으로는 다소 의미의 차이가 있으나 선우중호 등(1977)에서 사용된 CN값과 가장 유사한 CN값을 갖는 SCS 토지이용도표에서 제공하고 있는 항목명인 “Wood-grass combination-orchard-Poor” 즉, WMS에서 제공하는 속성으로는 “WMS Attribute No.(이하 WANo.) = 27”을 평창강 유역의 산림속성으로 선택하였으며 주거지역 및 농업지역에 대해 선택한 속성은 표 3과 같다.

4. 주제도 선정에 따른 유출응답특성 분석

4.1 CN값의 변화 분석

속성값이 입력된 토양자료층 및 토지이용자료층을 이용하여 그림 8과 같이 사용된 기본 주제도별로 CASE I ~ CASE IV로 평창강 유역의 수위관측소 유역별 SCS CN 값을 산정하여 기존의 연구결과와 비교하였다.

CN값의 산정 결과는 표 4와 같다. 정밀토양도를 이용하는 경우가 개략토양도를 이용할 때에 비해 수위관측소 유역별로 6~9 정도 크게 나타나고 있다. 또한 건설부(1983)에서 제시한 값과 비교해 보면 개략토양도를 이용한 토양자료층 작성시 SCS 수문학적 토양군으로의 재분류 과정과 사용된 토지이용도(지형도의 토

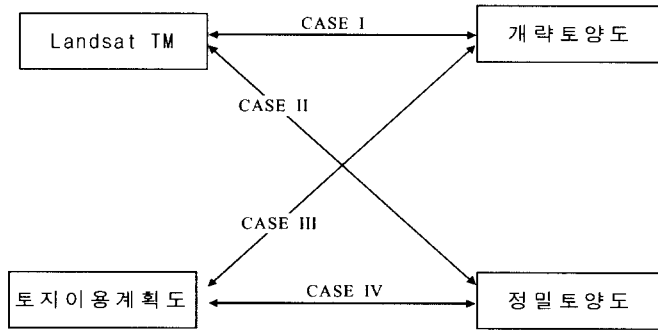


그림 8. 사용된 기본 주제도

표 4. 수위관측소 유역별 SCS CN (AMC-II 조건)

구 분	수위관측소	방림	하반정	상안미	백옥포	장평	이목정
		본 연구	CASE I	68	69	67	68
	CASE II	75	78	74	74	74	74
	CASE III	68	69	67	69	65	67
	CASE IV	76	78	74	74	74	74
건설부(1983)		67.5	65.0	66.7	68.4	65.8	70.0

지이용부호를 기준으로 분류한 경우)의 차이로 인해 CN값은 0.3~4.0 정도의 차이를 보이고 있다. 그러나 하반정 및 이목정 유역을 제외한 유역에서는 전반적으로 비슷한 값을 나타내고 있다. 한편, 본 연구에서 개략토양도를 이용한 경우와 비교할 때 유역면적이 클수록 더욱 유사한 값을 나타내고 있다.

4.2 관측유출곡선번호와의 비교

본 연구에서는 토양도 및 토지이용도를 이용하여 GIS 기법으로 SCS CN값을 산정하였으므로 이의 적용성을 검증하기 위하여 표 5에서 제시한 평창강 유역의 1983년부터 1989년사이의 강우유출자료를 이용하여 수위관측소 유역별로 SCS CN값을 산정하여 비교하였다. CN값은 HEC-1의 최적화 모듈과 식(1)의

SCS 관측유출곡선번호(observed runoff curve number) 산정식을 이용하였다.

여기서 ACEXS는 누가 유효우량, ACRAN은 누가 총우량이며, 산정된 결과는 표 6과 같다.

SCS에서는 강우유출자료가 있을 경우 유역을 대표하는 유출곡선번호로 중앙값을 사용하도록 권장하고 있으므로(건설부, 1990) 그림 9와 같이 두 방법에서 구한 관측유출곡선번호의 중앙값을 산정하였으며 수위관측소 유역별 관측유출곡선번호는 75~87의 값으로 산정되었다. 수위관측소 유역별로 산정된 유출곡선번호를 비교해 보면 개략토양도를 이용한 경우가 65~67의 범위인데 반해 정밀토양도를 이용한 경우 74~78의 범위를 나타내고 있으므로 두 경우 모두 관측유출곡선번호보다는 작은 값을 나타내고 있다. 그러나 정밀토양도

$$CN = \frac{25400}{254 + 5ACRAN + 10ACEXS - 10(ACEXS^2 + 1.25ACEXS \times ACRAN)^{0.5}} \quad (1)$$

표 5. 사상별 강우유출자료

년 도	사상별 강우유출자료	
	강우기간	수위일시 (지속기간)
1983	7.02 04:00 ~ 7.03 24:00	7.02 04:00 ~ (166)
1983	7.14 08:00 ~ 7.14 24:00	7.14 08:00 ~ (102)
1984	7.02 15:00 ~ 7.05 01:00	7.02 15:00 ~ (139)
1985	7.10 09:00 ~ 7.10 23:00	7.10 09:00 ~ (136)
1985	8.16 18:00 ~ 8.17 18:00	8.16 18:00 ~ (74)
1987	6.07 04:00 ~ 6.07 22:00	6.07 04:00 ~ (117)
1987	7.21 08:00 ~ 7.23 17:00	7.21 08:00 ~ (113)
1988	7.09 04:00 ~ 7.10 03:00	7.09 03:00 ~ (71)
1988	7.19 18:00 ~ 7.20 12:00	7.19 18:00 ~ (175)
1989	7.24 21:00 ~ 7.27 14:00	7.24 21:00 ~ (108)

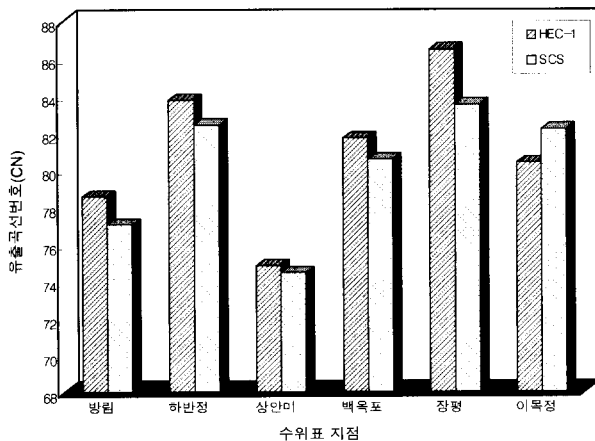


그림 9. 관측유출곡선번호의 중앙값 비교

표 6. 강우유출자료를 이용한 유출곡선번호의 산정

수위관측소	사상	HEC-1	SCS					
		CN	총강우량	유효우량	유출율	선행강우량	AMC	CN
방림	83.07.02	59.68	97.7	33.51	34.30	38.799	Ⅱ	71.46
	83.07.14	77.78	44.015	5.17	12.92	19.178	Ⅰ	75.41
	84.07.02	53.77	229.33	105.54	46.02	0.611	Ⅰ	60.26
	85.07.10	73.13	76.68	29.77	38.82	41.6	Ⅱ	78.50
	85.08.16	84.26	45.05	7.66	17.00	48.831	Ⅱ	75.94
	87.06.07	81.56	60.43	17.47	28.91	31.301	Ⅰ	77.50
	87.07.21	79.59	262.65	188.13	71.63	42.056	Ⅱ	76.62
	88.07.09	91.84	51.32	35.56	69.29	34.073	Ⅰ	93.82
	88.07.19	78.85	119.85	67.22	56.09	13.489	Ⅰ	79.97
89.07.24	78.28	250.9	188.68	75.20	54.814	Ⅲ	80.19	
하반정	87.06.07	81.73	52.15	17.87	34.27	32.94	Ⅰ	80.42
	87.07.21	83.76	272.58	211.61	77.63	49.401	Ⅱ	80.83
	89.07.24	90.48	256.54	213.57	83.25	31.101	Ⅰ	86.23
상안미	83.07.02	53.97	108.95	23.82	21.86	40.021	Ⅱ	60.54
	83.07.14	74.83	46.5	6.36	13.68	18.857	Ⅰ	73.08
	84.07.02	74.1	252.5	174.6	69.15	0.828	Ⅰ	75.40
	85.07.10	70.16	86.37	29.08	33.67	42.966	Ⅱ	73.55
	85.08.16	82.5	44.54	9.49	21.31	45.432	Ⅱ	78.66
	87.06.07	65.02	61.78	10.92	17.68	31.406	Ⅰ	70.19
	87.07.21	85.05	255.48	185.63	72.66	42.094	Ⅱ	77.91
	88.07.09	85.24	50.36	25.73	51.09	40.024	Ⅱ	88.99
	88.07.19	79.21	121.86	68.19	55.96	13.045	Ⅰ	79.64
89.07.24	74.87	253.9	162.15	63.86	60.207	Ⅲ	71.24	
백옥보	83.07.02	56.77	137.65	17.79	12.92	23.535	Ⅰ	47.13
	83.07.14	78.87	50.76	10.75	21.18	21.219	Ⅰ	76.31
	84.07.02	84.55	260.65	197.15	75.64	2.1	Ⅰ	79.92
	85.07.10	78.18	101.96	49.62	48.67	52.056	Ⅱ	78.72
	85.08.16	70.34	52.27	16.53	31.62	56.925	Ⅲ	81.21
	87.06.07	78.72	66.72	17.17	25.73	53.527	Ⅲ	73.89
	87.07.21	93.33	260.02	229.81	88.38	35.982	Ⅲ	90.27
	88.07.09	98.49	46.2	42.61	92.23	45.65	Ⅱ	98.77
	88.07.19	91.09	122.29	87.76	71.76	3.383	Ⅰ	87.62
89.07.24	85.76	222.06	181.58	81.77	50.409	Ⅱ	86.79	
장평	83.07.14	74.06	49.39	7.08	14.33	71.212	Ⅲ	72.36
	84.07.02	79.96	253.28	163.36	64.50	0	Ⅰ	71.77
	85.07.10	61.46	98.07	26.71	27.24	45.177	Ⅱ	66.85
	85.08.16	86.48	46.43	15.32	33.00	41.527	Ⅱ	83.52
	87.06.07	91.66	58.5	38.11	65.15	15.413	Ⅰ	91.86
	87.07.21	98.67	223.2	219.71	98.44	14.264	Ⅰ	98.86
	88.07.09	92.32	45.21	30.52	67.51	51.044	Ⅱ	94.12
	88.07.19	95.24	122.67	110.91	90.41	10.726	Ⅰ	96.03
	89.07.24	61.93	237.74	139.57	58.71	58.236	Ⅲ	68.75
이북정	83.07.02	61.39	110.55	31.15	28.18	42.683	Ⅱ	64.80
	83.07.14	74.34	52.02	10.97	21.09	86.627	Ⅲ	75.81
	84.07.02	93.61	231.29	197.77	85.51	0	Ⅰ	89.10
	85.07.10	76.47	94.89	42.92	45.23	46.722	Ⅱ	78.15
	85.08.16	82.98	46.12	13.46	29.18	39.179	Ⅱ	81.98
	87.06.07	94.88	58.5	22.28	38.09	4.2	Ⅰ	82.40
	87.07.21	93.92	238.33	205.12	86.07	16.982	Ⅰ	89.23
	88.07.09	93.78	42.36	30.19	71.27	55.73	Ⅲ	95.24
	88.07.19	77.81	119.27	72.29	60.61	11.653	Ⅰ	82.41
89.07.24	60.51	239.75	138.5	57.77	61.047	Ⅲ	67.87	

를 이용할 경우 유역의 관측유출곡선번호에 더 가까운 값을 나타낼 수 있다.

한편, 윤태훈(1990)은 개략토양도를 이용한 CN값을 사용하여 유효강우량의 산정에 SCS 유출곡선번호법의 적용에 대하여 연구한 바, 미세측 유역에서의 유효강우

량산정을 위해서는 AMC-II와 AMC-III를 3 : 7로 사용하는 것이 적절하다고 하였다. 이는 본 연구에서 정밀토양도를 이용한 경우와 유사한 값을 갖는 것이다. 따라서 속성값의 재분류 방법에서의 합리성과 산정된 결과를 비교할 때 기본 주제도로서 정밀토양도를 이용

하는 것이 적절하다고 판단된다. 따라서 현재 실무에서 CN값 산정을 위해 개략토양도를 이용하고 있는 것은 개선할 필요성이 있다. 또한 농업과학기술원에서 정밀 토양도에 대한 수치지도화 작업이 거의 마무리 단계에 있으므로 앞으로 GIS 기법으로 CN값을 산정하기 위하여 토양도를 이용할 경우에는 개략토양도를 디지털화하는 번거로움 없이 이미 구축되어 있는 정밀토양도를 이용하는 것이 자료 구축을 용이하게 할 것이다.

4.3 토지이용도표의 항목선정에 따른 영향 분석

평창강 유역은 80% 이상이 산림지역으로 이루어져 있다. 그러므로 SCS 토지이용도표에서 제공하고 있는 산림속성에 대한 항목 중에서 어떤 것을 선택하느냐에 따라 SCS CN값이 차이가 나며 이는 유출모의에 영향을 미치게 된다. 따라서 이들 각각을 평창강 유역의 산림을 표시하는 항목으로 선택하였을 때에 유출응답 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 앞의 각 CASE별로 수위관측소 자기유역별 SCS CN값을 산정하였으며 그 결과는 표 7과 같다.

그림 10은 CASE I에 대하여 산림으로 분류된 지

역의 속성값을 SCS 토지이용도표의 속성별로 달리하였을 경우 수위관측소 자기유역별 CN값의 변화를 나타낸 것이다. 산림 속성으로 "Woods-grass combination-orchard-poor(WANo.=27)"의 속성을 입력한 경우가 그 외 속성을 입력한 경우에 비하여 자기유역별 CN 값에 있어서도 큰 값을 나타내고 있다. 각 경우에 대해 자기유역별로 계산되는 CN값은 10~21의 차이를 보이고 있다. 최대 변화폭은 개략토양도와 위성영상으로부터 자기유역별 CN값을 계산한 경우(CASE I)인 장평 자기유역에 대한 CN값 계산에서 21의 차이를 나타내고 있다. 이는 WMS에서 제공하는 속성번호인 27과 32를 입력하였을 경우이다.

산림 속성값 입력에 따른 유출응답특성의 변화를 검토하기 위하여 방림 수위관측소 상류측 유역에 대하여 6개의 소유역을 분할하여 유출해석을 수행하였다. 분할된 수위관측소 자기유역별 유역평균강우량은 자기유역별 Thiessen계수를 사용하여 산정하였으며 Muskingum-Cunge 방법에 의하여 하도홍수추적을 실시하였다.

하도홍수추적구간에 대한 평균단면자료는 한국건설

표 7. 산림 속성의 입력에 따른 CN값의 변화

WMS Attribute No.	수위관측소 분류	방림	하반정	상안미	백옥포	장평	이북정
27	CASE I	72	69	67	68	62	67
	CASE II	80	78	75	74	74	74
	CASE III	72	69	67	69	63	67
	CASE IV	80	78	76	74	74	74
28	CASE I	65	61	58	60	52	57
	CASE II	75	73	69	67	67	66
	CASE III	66	61	59	61	52	58
	CASE IV	75	73	69	67	68	67
29	CASE I	60	54	51	53	43	50
	CASE II	71	68	63	61	61	60
	CASE III	60	55	52	54	44	51
	CASE IV	72	69	64	62	62	61
30	CASE I	67	62	59	61	53	59
	CASE II	76	74	70	68	68	67
	CASE III	66	62	60	62	54	60
	CASE IV	76	74	70	68	68	68
31	CASE I	62	56	53	55	46	52
	CASE II	72	69	65	63	63	62
	CASE III	62	57	54	56	47	53
	CASE IV	72	70	66	63	63	62
32	CASE I	58	53	49	51	41	48
	CASE II	69	66	61	59	58	57
	CASE III	59	53	50	52	43	49
	CASE IV	70	67	62	59	59	58

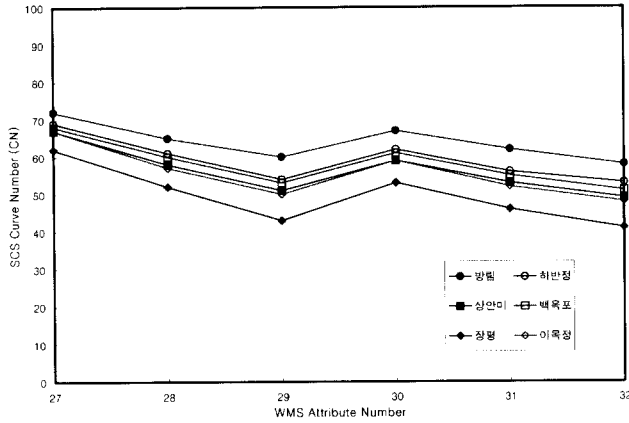


그림 10. 산림 속성값에 따른 자기유역별 CN값의 변화(CASE I)

기술연구원(1991)의 수위표 지점별 단면자료와 평창군(1995)의 자료를 참조하여 결정하였다. 한편, 하도의 조도계수는 산지하천에 적용 가능한 조도계수의 범위(0.03이상)를 감안하여(건설부, 1993) 홍수추적구간 전체를 0.045로 일정하게 가정하였다. 유출모의는 분석한 CN값 중에서 정밀토양도와 위성영상자료로부터 구축된 토양자료층과 토지이용자료층 사용하여 계산된 자기유역별 CN값 즉, CASE II인 경우에 대하여 실시하였다. 또한 SCS 무차원단위도법의 적용을 위해 필요한 입력변수인 자기유역별 지체시간은 TIN해석을 통해 산정된 지형특성인자를 이용하여 산정하였다.

주제도 선정에 따른 유출수문곡선의 변화를 분석하기 위해서 방립 수위관측소를 검증지점으로 선택하고 강우유출자료로는 선행토양함수조건이 각각 AMC-I,

AMC-II, AMC-III인 3개의 사상을 선택하여 모의를 수행하였다. 한편, 편의상 선택된 호우사상 중 84년 7월 2일 호우사상을 호우사상 #1, 87년 7월 21일 호우사상을 호우사상 #2, 89년 7월 24일 호우사상을 호우사상 #3로 정의하였다.

그림 11은 호우사상 #2에 대한 모의결과이다. CN값이 큰 경우에서 모두 침투유량이 크게 나타나고 있으며 가장 큰 경우는 "WANo. = 27"을 선택한 경우이고 가장 작은 경우는 "WANo. = 32"를 선택한 경우로써 294.2m³/sec의 차이를 보이고 있다. 한편, 호우사상 #1인 경우에는 328.6m³/sec, 호우사상 #3인 경우에는 156.7m³/sec의 차이를 보이고 있으며, 이들 모두 호우사상 #2에서와 같이 산림의 속성으로 "WANo. = 27"을 선택한 경우에서 가장 큰 값을 나

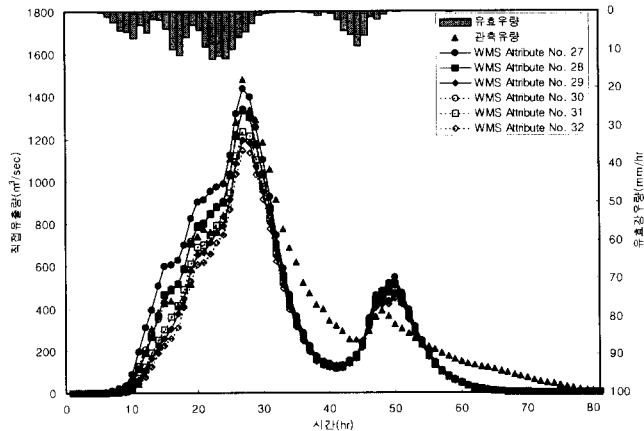


그림 11. 산림 속성에 따른 유출응답특성의 변화(호우사상 #2)

타내며 “WANo. = 32”를 선택한 경우에서 가장 작은 값을 나타내고 있다. 각 사상에 대해 모의된 침투유량의 최대값과 최소값의 상대오차는 호우사상별로 각각 26.5%, 20.5%, 16.4%의 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 평창강 유역과 같이 산림이 80%이상을 차지하는 지역에 대한 CN값 산정시 산림 속성의 선정이 유출모의에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 11의 호우사상 #2의 선행토양함수조건은 AMC-II 상태이므로 토양자료층 및 토지이용자료층을 이용하여 산정된 CN값을 AMC 조건의 변화 없이 그대로 사용하였다. 따라서 “WANo. = 27”을 사용한 경우가 침투부분을 잘 모의하고 있음을 알 수 있다. 한편, HEC-1 모형은 단일사상모형으로 하나의 침투부를 가지는 사상에 적합한 모형이나 선택된 사상이 두 개의

침투부(double-peaked)를 가지는 사상이므로 전반부 호우와 후반부 호우사상의 사이에 발생할 수 있는 침투능의 회복으로 인한 손실량을 적절히 모의하지 못하는 원인으로 인해 후반부 침투유량은 실측치에 비해 크게 나타나는 경향을 보이고 있다.

4.4 주제도 선정이 유출응답에 미치는 영향

주제도의 선정에 따른 유출응답특성의 영향을 분석하기 위하여 산림 속성값 입력에 따라 계산된 수위관측소 자기유역별 CN값 중에서 산림 속성값을 “WANo. = 27”로 할당된 경우에 산정된 CN값을 이용하여 각 CASE별로 유출모의를 수행하였다.

“WANo. = 27”을 선택한 경우 토지이용자료층 구축을 위해 사용된 주제도에 따라서는 산정된 CN값의

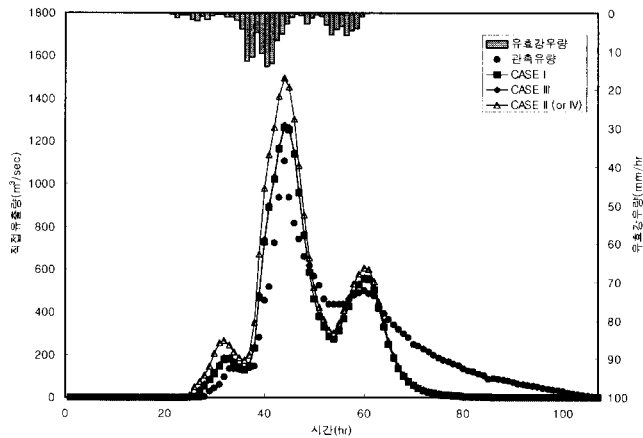


그림 12. 주제도 선정에 따른 유출모의(호우사상 #1)

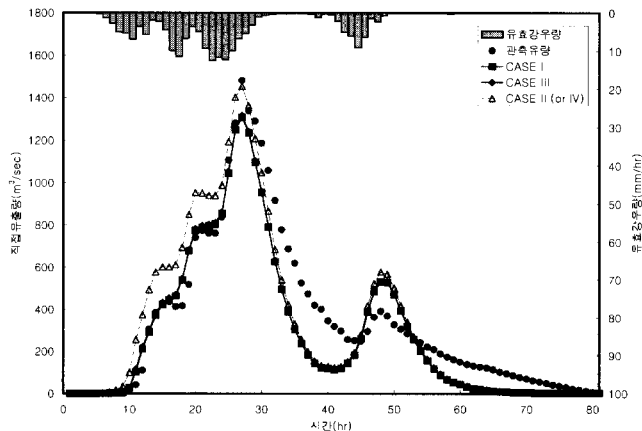


그림 13. 주제도 선정에 따른 유출모의(호우사상 #2)

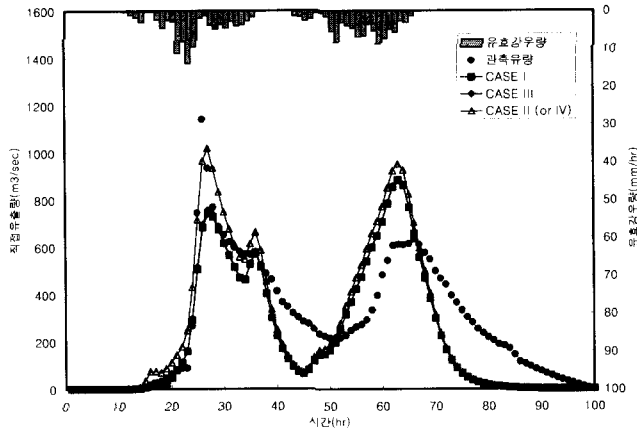


그림 14. 주제도 선정에 따른 유출모의(호우사상 #3)

차이가 없으므로 CASE II와 CASE IV의 경우에는 같은 유출응답을 나타낼 것이다. 따라서 CASE I, CASE III, CASE II(or IV)에 대하여 모의를 수행하였으며 방립수위표 지점에 대한 모의결과는 그림 12~14와 같다. 각각의 경우에서 CN값은 AMC-II조건을 기준으로 산정된 값을 사용하였다. 모든 경우에 있어서 정밀도양도를 사용한 경우가 개략도양도를 사용한 경우에 비하여 침투유량이 크게 나타나고 있다. 정밀도양도를 이용한 CASE II(or IV)의 경우를 기준으로 볼 때 호우사상 #1인 경우에는 모의된 침투유량이 관측치의 침투유량에 비해 큰 값을 나타내고 있다. 이는 호우사상 #1은 5일 선행강우량이 AMC-I조건인데 반해 모의에 사용된 CN값들은 AMC-II 조건으로 산정된 값이기 때문이다. 또한 호우사상 #2는 GIS에서 산정된 값과 선행도양함수조건이 동일하게 AMC-II을 갖는 것으로 거의 유사하게 침투유량이 모의되고 있다. 호우사상 #3은 GIS에서 산정된 값은 AMC-II조건인데 반해 선행도양함수조건은 AMC-III조건을 갖는 경우이므로 침투유량이 작게 나타나고 있다. 따라서 관측 유출량과의 검증을 토대로 볼 때 미계측 유역에서 GIS에서 산정된 지형특성인자를 이용하여 유출모의를 수행하여도 비교적 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

GIS에 사용되는 기초 자료 즉, 기본 주제도의 선택에 따른 모의 결과의 변화를 분석하고 또한 주제도에서의 속성 값을 SCS 방법으로 재분류할 때 발생할

수 있는 문제점에 대해 분석하였다. 이를 위해 기본 주제도의 종류에 따라 선정되는 유출곡선번호(CN)를 비교 검토하고 이로 인한 유출응답특성의 변화를 분석하여 합리적인 주제도 선정 및 속성자료 입력방안에 대해 제시하였다.

한편, GIS를 이용하여 추출한 지형정보를 토대로 유출모의를 실시할 경우, 유출모의가 일정 수준의 정확도를 가질 수 있음을 분석함으로써 미계측 유역에서의 강우유출모의에 GIS 적용 가능성을 제시하였으며 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 개략도양도와 정밀도양도를 사용하여 SCS CN 값산정에 필요한 토양자료층을 구축하였다. 개략도양도를 이용한 경우 평창강 유역의 수문학적 토양군인 A, B, C, D의 분포는 각각 50.08%, 18.43%, 0.72%, 22.02%이나 정밀도양도를 이용한 경우에는 3.17%, 82.01%, 3.35%, 11.46%로 나타났다. 이로부터 GIS 적용시 주제도로 개략도양도를 이용할 경우가 정밀도양도를 이용할 경우에 비하여 침투율이 크게 산정됨을 알 수 있다. 한편, 분류방법에서의 합리성과 모의 결과를 비교할 때 기본 주제도로서 정밀도양도를 이용하는 것이 적절하다고 판단된다.

(2) 토지이용계획도와 위성영상을 이용하여 토지이용자료층을 구축하였으며 평창강 유역의 토지이용분포는 주거지역, 농업지역, 산림지역으로 분리하였다. 토지이용계획도를 사용한 경우에는 각각 2.46%, 18.30%, 79.24%이고 위성영상은 이용한 경우에는 1.35%, 15.45%, 83.21%로 나타났다. 토지이용분포는 전체 면적에서는 자료에 관계없이 거의 유사한 값을 보이고

있다. 그러나 위성영상을 이용할 경우가 유역내 여러 개의 작은 지역으로 산재되어 있는 주거지역의 분포 특성을 잘 반영하고 있으므로 토지이용자료층 구축을 위한 기초자료로서 위성영상의 적용성을 확인할 수 있었다.

(3) 토지이용자료층 구축에서의 문제점인 SCS 토지이용도표의 항목선정에 대해 검토하였다. 특히, 평창강 유역에 있어서 토지이용분포의 약 80%이상을 차지하고 있는 산림지역에 대한 속성항목 선정이 유출응답에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

(4) 한편, 미계측 유역에서의 보다 정확한 강우유출 모의를 위해서는 국내 유역특성에 맞는 토지이용도표의 작성이 필요하며 SCS 유출곡선번호에 대한 실험적 연구를 수행하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

건설부 (1983-1990). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.

건설부 (1989). 국제수문개발계획 대표유역 수문자료집.

건설부 (1993). 하천시설기준.

농촌진흥청 농업기술연구소 (1994). 정밀토양해설도 (평창군).

농촌진흥청 농업기술연구소 (1992). 증보 한국토양총설.

농촌진흥청 식물환경연구소 (1971). 개락토양도 (강원도).

선우중호, 윤용남, 심순보, 이순탁 (1977). "정밀계측된 소유역의 강우 및 유출 특성." 한국수문학회지, 한국수문학회, Vol. 10, No.1, pp. 53-70.

심명필, 김경탁 (1998). "지리정보시스템과 결합된 강우·유출모형의 적용." 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제31권 제1호, pp.26-35.

윤용남 (1998). 공업수문학, 청문각.

윤태훈 (1990). "중소유역의 유효강우량 산정을 위한 SCS 곡선번호방법의 적용성연구." 국제수문개발계획(IHP)연구보고서, 건설부.

평창군 (1995). 평창강(준용하천) 하천정비기본계획.

한국건설기술연구원 (1991). 평창강유역의 수문특성조사, 건기연 91-WR-111.

한국수자원공사 (1997). 경인운하의 안정적 주운을 위한 수리·수문학적 분석 연구 보고서.

함창학 (1996). 지리정보시스템(GIS)을 이용한 수문지형정보 추출에 관한 기초적 연구, 박사학위논문, 충북대학교.

허기술, 정정화(1987) "한국토양의 수문학적분류 및 그 응용." 농공기술, 제4권 제4호 pp. 47-61.

David, A.E. (1994). "A Geographic information system procedure to quantify drainage basin characteristics", *Water Resources Bull.*, Vol. 30, No. 1, pp. 1-8.

ECGL (1997). *WMS v5.0 Reference Manual and Tutorials*, Engineering Computer Graphics Laboratory, Brigham Young University, Provo, Utah.

Jenson, S.K., and Domingue, J.O. (1988). "Extracting topographic structure form digital elevation data for geographic information system analysis." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 11, pp. 1593-1600.

Lawrence, E.B. (1986). "Topographic partition of watershed with digital elevation model." *Water Resources Research.*, Vol. 22, No. 1, pp.15-24.

Peucker, T.K., Fowler, R.J., Little, J.J., and Mark, D.M. (1978). "The triangulated irregular network", *Proceed. of the ASP Digital Terrain Models Symposium*, American Society of Photogrammetry, Virginia, pp. 516-540.

(논문번호:98-074/접수:1998.12.03/심사완료:1999.03.03)