한국지리정보학회지 6권 1호 : 107~118(2003)

WMS HEC-1 모형을 이용한 경안천 유역의 경년 수문변화 분석

이준우[1] · 권형중[2] · 신사철[3] · 김성준[4]※

Assessment of Hydrological Impact by Long-Term Land Cover Change using WMS HEC-1 Model in Gyeongan-cheon Watershed

Jun-Woo LEE[1] · Hyung-Joong KWON[2] · Sha-Chul SHIN[3] · Seong-Joon KIM[4]※

요 약

본 연구는 경안천 유역(558.2㎢)을 대상으로 WMS의 HEC-1 모형을 이용하여 1980년~2000년 동안 토지피복변화에 따른 수문변화 분석을 수행하였다. 토지피복변화를 분석하기 위하여 다시기의 Landsat MSS(1980/2/15) 및 TM 위성영상(1986/4/15, 1990/4/26, 1996/4/26, 2000/5/17)을 이용하여 최대우도법을 실시하였다. 총 유역면적에 대하여 도시지역의 면적은 약 5.6% 증가하였으나, 산림지역은 6.1% 감소하였으며 SCS CN은 9.8 증가하였다. 모형의 매개변수 결정을 위하여 5개의 홍수사상(1998/5/2, 1998/8/23, 1998/9/30, 1999/5/3, 2000/7/29)을 대상으로 검·보정을 실시하였는바, 유출고에 있어 9~36%의 상대오차를 보였다. 30년 빈도의 일 최대강우 254mm를 적용하여 경년 수문변화를 분석한 결과 1986년~2000년 동안 첨두유출시간은 약 4시간 감소하였으며, 첨두유량은 455 ㎥/sec가 증가하였다.

주요어 : WMS, 토지피복, Landsat, HEC-1, SCS CN

ABSTRACT

The purpose of this study is to assess the hydrological impact on a watershed from long-term land cover changes. Gyeongan-cheon watershed(558.2㎢) was selected and WMS(watershed modeling system) HEC-1 model was adopted as an evaluation tool. To identify land cover changes, five Landsat images(1980/2/15, 1986/4/15, 1990/4/26, 1996/4/26, 2000/5/17) were selected and analyzed using

2003년 2월 23일 접수 Received on February 23, 2003 / 2003년 3월 24일 심사완료 Accepted on March 24, 2003
1 한국건설기술연구원 GIS사업단 GIS Enterprising Center, Korea Institute of Construction Technology
2 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과 Department of Rural Engineering, Konkuk University
3 안동대학교 토목환경공학과 Department of Civil Engineering, Andong National University
4 건국대학교 지역건설환경공학과 Department of Rural Engineering, Konkuk University
※ 연락저자 E-mail: kimsj@konkuk.ac.kr

maximum likelihood method. As a result, urban areas have increased by 5.6% and forest areas have decreased by 6.1% between 1980 and 2000. SCS curve number increased by 9.8. To determine model parameters and evaluate HEC-1 model, five storm events(1998/5/2, 1998/8/23, 1998/9/30, 1999/5/3, 2000/7/29) were used. The simulated stream flow agreed well with the observed one with relative errors ranging from 9% to 36%. For 254 mm daily rainfall of 30 years frequency, due to the increase of urban areas peak flow increased by 455 ㎥/sec and the time of peak flow reduced about four hours for 20 years land cover changes.

KEYWORDS: WMS, Land Cover, Landsat TM, HEC-1, SCS-CN

서 론

인구 증가 및 산업화와 도시화 등으로 도시화 이전의 지표면이 갖고 있었던 보수 및 유수기능 등이 현격하게 줄어들면서, 하천으로 유입되는 홍수 유출량이 이전보다 증대되며 유역 출구점까지의 도달시간이 단축됨으로써 첨두 유량이 증가하고 있다. 따라서, 유역에 도시화 진전에 따른 SCS CN의 증가는 유역 내에 집중호우가 내릴 경우에 대비하여 이에 대한 대책이 요구된다. 강우가 해당 유역에 발생하면 토양의 종류, 토지이용 상태, 식생피복 등에 따라 지표면을 따라 흐르는 직접 유출량이 결정되는데, 이 유출의 시간적 분포는 유역면적의 크기, 유역형상, 하천의 상황 등에 따라 결정된다.

지리정보시스템(geographic information system; GIS)의 응용범위가 확대되면서 수자원분야에 있어서도 지리정보시스템을 이용하여 효율적으로 수자원을 관리하기 위한 다양한 기술들이 개발되고 있다. 또한 원격탐사(remote sensing; RS)의 발전으로 인하여 넓은 지역에 대한 자료구축을 빠른 시간안에 효율적으로 처리할 수 있게 되었고, 주기적 데이터 획득에 의한 정보갱신과 시계열 분석에 용이하다는 장점을 이용해 GIS 자료와 함께 입력자료로서의 사용이 많아지고 있다. 이와 같은 연구는 1970년대 이후부터 많은 연구자들에 의해 시작되었으며, 컴퓨터 성능의 향상과 더불어 지리정보시스템의 발전, 그리고 수치고도모델(digital elevation model; DEM)의 획득·사용이 가능하게 됨으로써 연구는 더욱 가속화되고 있다. DEM을 이용한 유역의 구분 및 지형인자의 산정에 관한 연구는 비교적 많이 이루어진 실정이다. Lawrence와 Garbrecht (1993)는 유역의 수문학적 해석을 위한 소유역의 구분, 유역면적, 하천연장 및 경사 등의 지형인자를 DEM으로부터 바로 추출해 내는 컴퓨터 프로그램에 관하여 연구한 바 있으며, Cruise와 Miller(1993)는 위성영상자료를 이용하여 유역의 도시화, 산림의 변화, 지형의 변화 등을 추정하여 수문해석에 적용하였으며, 나아가 작은 농촌으로 구성된 유역의 유사 모의에까지 확장을 시도하였다.

국내에서 GIS를 활용한 연구성과를 살펴보면, 조홍제와 김정식(1997)은 3차원 수치고도자료 및 TIN 모듈을 이용하여 SCS 방법에 의한 유효강우량의 산정방법에 관하여 연구한 바 있다. 김경탁(1998)은 TIN해석과 Grid 해석을 통한 유역의 수문학적 지형인자의 산정에 관하여 연구하였으며, 토지이용도와 토양도에 따른 유출해석 결과 및 SCS CN 값의 선정을 포함한 GIS 적용에 따른 유출응답특성에 대해서도 검토하였다. 또한 행정자치부(1998)에서는 미계측 유역의 하천 재해 분석을 위한 위성영상자료의 적용에 관하여 연구하였으며, GIS자료의 구축 방법과 적용 방법 및 그 적용결과를 검토하였다. 김성준 등(2001)은 Landsat-TM과 KOMPSAT-1 EOC 영상을 이용한 토지피복분류 및 SCS-CN 직접유출량 산정 하였다. 이외에 GIS와 RS를 이용한 수문해석에 관한

연구는 1990년대 이후 다수 발표되고 있다.

본 연구는 경안천 유역을 대상으로 과거 20년간 토지 피복의 변화에 따른 수문 환경 변화를 파악하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 WMS의 HEC-1모형을 채택하였으며, 제반 GIS 자료(수치고도모델, 토양도, 수치지도)의 구축과 더불어 토지 피복변화는 총 5개의 Landsat 인공위성영상(1980/2/15, 1986/4/15, 1990/4/26, 1996/4/26, 2000/5/17)을 이용하여 추정하였다.

모형의 개요

본 연구에서 사용한 WMS는 미육군공병단과 Brigham Young 대학(1999)에서 공동으로 개발한 수문모델링을 위한 프로그램으로서 Windows O/S 및 Unix에서 구동이 가능하다. WMS는 비교적 자료의 호환성이 좋으며 공간해석을 위한 여러 방법을 제시하고 있다. 또한, 포괄적인 그래픽 사용자 환경(graphical user environment)을 제공한다. 유역의 위상관계를 자동으로 나타내주고 강우-유출 모형의 매개변수(parameter)는 사용하기 편리한 대화형 박스(dialog box)를 통해 입력가능하며 제공된 모든 강우-유출 모형은 WMS 안에서 직접 실행할 수 있고 결과 값 및 수문곡선 또한 같은 환경 안에서 출력된다.

WMS는 유역의 공간해석을 위하여 DEM을 기본자료로 TIN 해석과 Grid 해석이 가능하며, 수문모델의 입력자료인 유역의 수문인자들을 자동으로 계산한다. 계산된 매개변수들은 WMS에서 제공하는 유출모델에 자동으로 입력된다. 그림 1은 연구의 전체적인 흐름을 나타내는 모식도이다.

입력자료의 구축

1. 대상유역 개요

본 연구의 대상유역인 경안천 유역(그림 2)은 한강유역의 일부로서 유역면적은 558.2㎢이며 유로연장 49.5㎞, 유역평균폭은 170m이고 평균하천경사는 1/720이다. 한강을 본류로 하여 경안천은 금학천, 양지천 등을 포함한 18개의 제 2지류와, 제 2지류인 양지천, 오산천 등에 포함된 11개의 제 3지류로 형성되어 있다. 광주군과 용인군 두개의 군에 걸쳐 있는 경안천 유역은 최근 들어 2, 3차 산업중심으로 급속한 발전이 이루어지고 있으며, 그에 따른 택지개발 등 용인과 광주를 중심으로 급속도로 개발되고 있다.

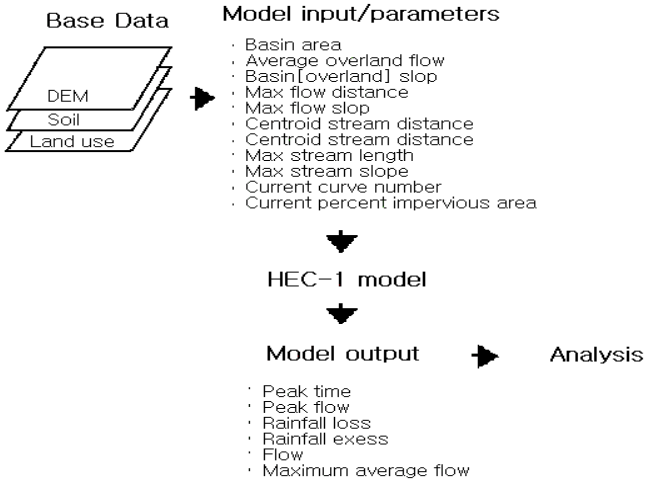


FIGURE 1. Procedure of WMS HEC-1

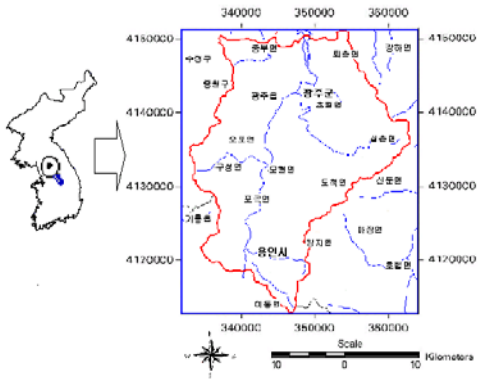


FIGURE 2. Study area

2. 지형자료

본 연구에서는 유역에서의 매개변수에 대한 공간적 변이를 적절히 고려하여 보다 정확한 입력자료를 산출함으로써 유출해석 결과의 신뢰도를 높이고 입력자료 산출에 있어 효율성을 높이기 위해 GIS 공간자료를 유출모형에 적용하였다.

HEC-1모형의 매개변수를 결정하기 위해 필요한 자료는 지형자료, 토지이용자료, 토양자료 등이 있다. 본 연구에서 매개변수를 결정하기 위해 구축된 GIS 자료는 표 1과 같다.

1) 수치고도모델(diigital elevation model; DEM)

환경부에서 구축한 1초(≒27.8 m) 해상도의 DEM(digital elevation model)을 사용하였으며 이를 WMS에 적용하기 위하여 GIS 소프트웨어인 ARC/INFO-v8을 사용하여 격자 크기를 재구성(resampling)하였다. 본 연구에서는 1초 해상도의 DEM을 300m 해상도의 DEM으로 재구성하기 위하여 간단한 일차방정식으로서 격자 값을 변화시키지 않는 최근린법(nearest-neighbor method)을 사용하여 재구성한 결과 행(row) 171, 열(column) 143의 DEM을 생성하였다 (그림 3).

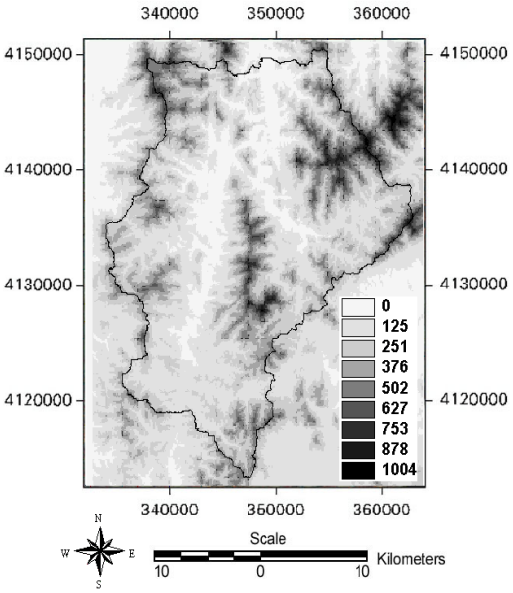


FIGURE 3. DEM(300m)

TABLE 1. GIS Data prepared to determine model parameters

GIS 자료	구축	유출해석을 위한 추출자료
수치고도모델	환경부 구축자료 (1초 DEM)	하천망, 유역경계, 지형특성인자 (면적, 경사, 고도, 하천)
토지이용 및 식생	위성영상 토지피복도	유효강우량 산정(SCS 방법)
토양도	농촌진흥청 구축자료 (1: 50,000 개략토양도)	
하천	수치지도	하천망
우량 및 수위관측점	현지 GPS 측정 및 기존자료	유역 분할, Thiessen

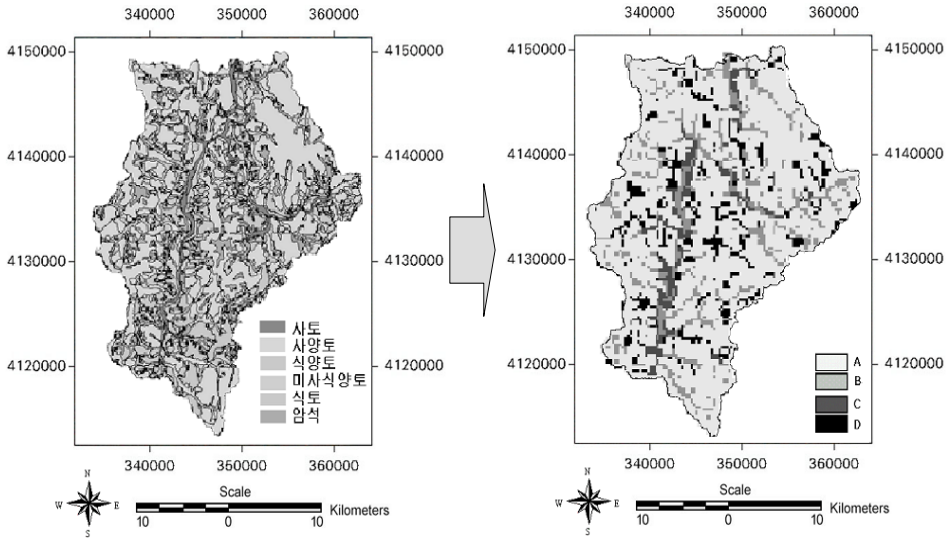


FIGURE 4. Soil map(300m)

2) 토양도

토양도는 농촌진흥청 토양물리과에서 제작한 벡터형태의 1:50,000 축척의 개략토양도로부터 구축하였다. 백터 커버리지 형태인 토양도의 속성 중, 토양종류와 토양배수의 속성을 추출한 후, 이를 모형의 입력자료로서 사용하기 위하여 격자 형태의 그리드 파일로 변환시, DEM과의 해상도 일치를 위하여 300m 해상도로서 변화하였다. 토양종류 및 토양배수도의 구축 과정은 토양도를 DLG 파일형태로 변환시킨 후, 이를 GIS 소프트웨어인 IDRISI로 불러들여 원래 토양부호를 수자원 · 수질분야에 맞게 속성을 재분류하여 사용하였다. 토양총설을 기준으로 토양부호별 속성자료인 배수정도에 따라 입력된 자료를 4가지 수문학적 토양군(A: 배수 매우양호, B: 배수 양호 C: 배수 불량, D: 배수 매우불량)으로 재분류(reclass)하였다(그림 4).

3) 토지피복도

토지피복 변화에 따른 수문환경의 변화를 알아보기 위해 1980년 2월 15일(Landsat4 MSS), 1986년 4월 15일(Landsat5 TM), 1990년 4월 26일(Landsat5 TM), 1996년 4월 26일(Landsat5 TM), 2000년 5월 17일(Landsat5 TM)의 다시기 영상을 분석하였다. 본 연구에서 고려된 분류등급은 WMS에서 유출해석 시 필요한 식생 및 토지이용상태에 대한 자료를 제공할 목적으로, 한국수자원공사에서 제시한 수자원분야에 적합한 토지이용 분류체계를 따랐다. Landsat 위성자료가 가지고 있는 공간해상도 등을 고려하여 최종적인 분류등급은 수역, 시가지, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭, 기타로 분류하였다. 분류항목을 기준으로 훈련지역을 획득하여 최대우도 분류기법(maximum likelihood classification, MLC)을 이용 · 분류하였다. 분류결과를 정리하면 표 2와 같으며, 그림 5는 토지피복의 공간적 분포 변화를 보여주고 있다. 위성영상을 이용하여 피복분류 시행 시 Landsat MSS(80m)과 TM(30m)의 해상도 차이에 의해 경향 분석에 있어 분석이 용이하지 않았다. 분류 결과, 1980년에 논, 밭, 산림의 비율이 12.8%, 11.0%, 70.6%에서 2000년에는 각각 9.3%, 7.6%, 64.5%로 감소하였음을 알 수 있다. 이에 비해 시가지와 초지의 비

TABLE 2. Result of land cover classification using Landsat images

분류	면적 (㎢)					면적비 (%)				
	1980	1986	1990	1996	2000	1980	1986	1990	1996	2000
물	3.0	3.2	2.3	2.0	2.4	0.5	0.6	0.4	0.4	0.4
도시	7.9	7.9	18.9	31.1	39.3	1.4	1.4	3.4	5.6	7.0
나대지	2.5	1.0	8.7	8.6	14.2	0.4	0.2	1.6	1.5	2.5
초지	17.5	17.5	22.0	32.3	45.8	3.1	3.1	3.9	5.8	8.2
산림	393.8	406.1	413.8	386.2	360.1	70.6	72.8	74.1	69.2	64.5
논	71.7	76.6	57.6	61.3	51.7	12.8	13.7	10.3	11.0	9.3
밭	61.6	45.5	35.0	36.8	42.3	11.0	8.1	6.3	6.6	7.6

율은 각각 1.4 %에서 7.0 %로, 3.1 %에서 8.2 %로 증가하였다. 시가지의 증가는 대상유역의 도시화 진전에 기인한 것이고, 초지의 증가는 감독 분류시 지형도 상에 골프장으로 표시된 지역을 훈련지역으로 선정한 때문이다.

3. WMS를 이용한 유역인자 구축

WMS HEC-1의 유역인자를 추출하기 위해서는 앞에서 언급한 지형자료들이 필요하다. DEM, 토양도, 토지피복도를 이용하여 모형에서 사용하는 매개변수를 구한 후 이들을 이용하여 WMS HEC-1 모형을 모의하였다.

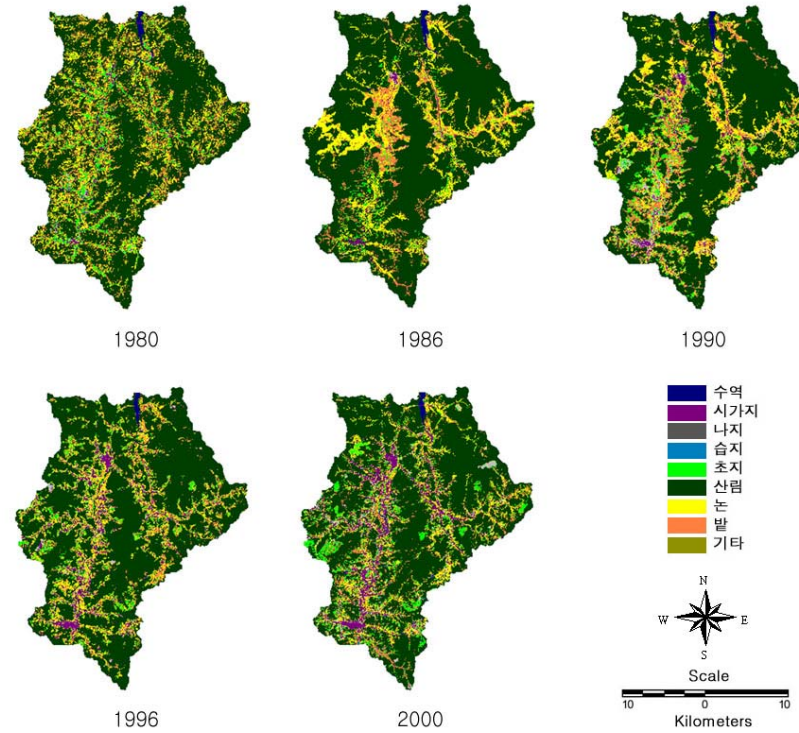


FIGURE 5. Land cover change

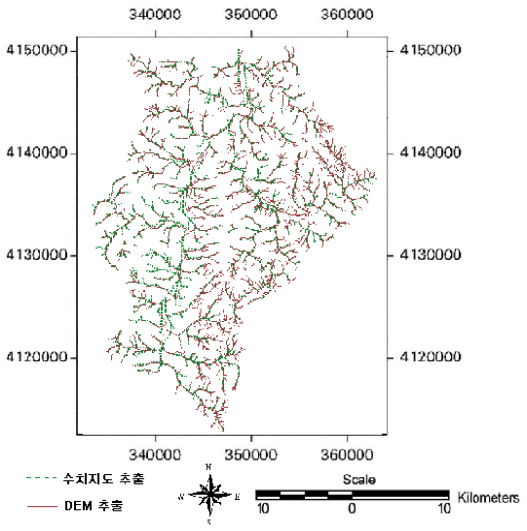


FIGURE 6. Comparison of digitized stream and generated stream using DEM

1) 하천망 및 유역경계의 추출

WMS의 DEM을 이용한 Grid 해석을 통해 유역의 수문학적 지형특성인자를 결정하기 위해서는 각 격자의 흐름방향을 결정하여야 한다. 이를 위해서는 우선 DEM의 sink, peak 및 flat area의 수정이 필요하다. 격자의 흐름방향을 결정하기 위하여 WMS에서 구동되도록 개정된 TOPAZ 프로그램을 사용하였다. TOPAZ는 래스터 형태의 수치고도모델(DEM)을 사용하여 지형특징의 측정과 판정, 표면 유역의 정의, 하천분수계를 따라 유역을 분할, 하천망의 크기 결정 및 분할유역의 매개변수를 결정한다. TOPAZ의 DEM 처리는 D8 방법에 기본을 두고 있으며, 하향경사흐름의 순서를 정하는 개념과 임계수역(CSA) 개념에 근거한다. 하향경사흐름의 순서를 정하는 개념은 하나의 격자에 인접한 여덟 개의 격자 중 하나를 경사가 가장 가파른 격자로 하여 지형표면에서의 하천과 흐름방향을 정의하는 것이다. 그림 6은 수치지도에서 추출한 하천망과 DEM에서 추출한 하천망을 함께 도식한 것인데, 두 하천의 차이는 하천의 본류에서보다는 1차 하천에서 많은 차이를 보이고 있다. 이는 sink, peak 및 flat area를 제거하는데 사용되는 알고리즘의 차이로 인한 흐름방향의 해석방법과 stream feature object로 형성되어 있는 하천은 반드시 분할되는 유역 내에 포함되어야 한다는 유역분할시의 기본 원칙 등으로 인한 것이다. 그림 7은 DEM에서 하천 추출 과정을 도식화 한 것이며, 그림 8은 일련의 과정을 통해서 산정된 경안천 수위관측소를 중심으로 분할한 유역을 나타낸 것이다. 표 3은 일련의 과정을 통해 추출된 지형특성인자이다.

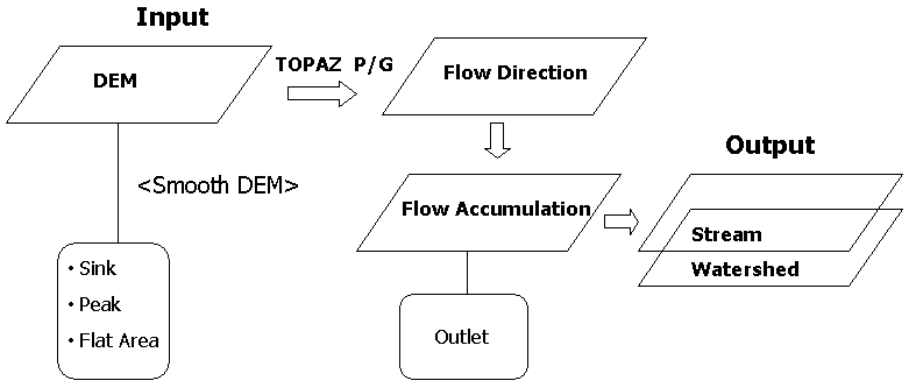


FIGURE 7. Procedure of stream extraction

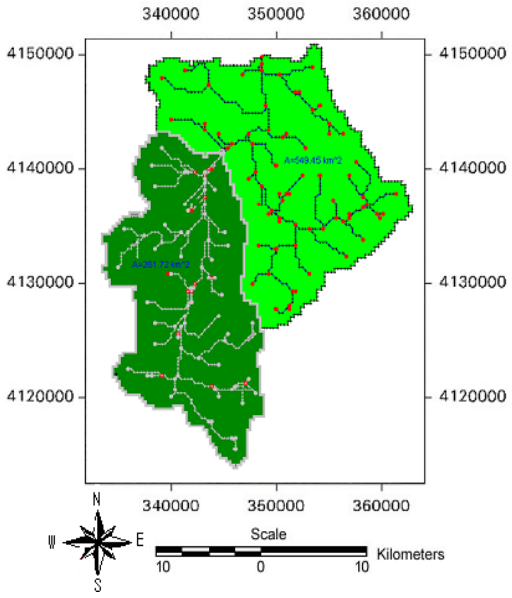


FIGURE 8. Subbasin of Gyeongan-cheon watershed

TABLE 3. Basin geometric attribute

지형인자	단위
Basin area	261.72㎢
Average overland flow	832.19m
Basin[overland] slop	0.086m/m
Max flow distance	32,430m
Max flow slope	0.011m/m
Centroid stream distance	13,694m
Centroid stream slope	0.002m
Max stream length	30,682m
Max stream slope	0.004m/m
Current curve number	64.6
Current percent impervious area	10%

2) 수문자료의 구축

모형의 적용성을 검토하기 위하여 1998년 홍수사상 3개(5/2, 8/23, 9/30)와 1999년 홍수사상 1개(5/3), 2000년 홍수사상 1개(7/29)를 선정하여 모의를 수행하였다. 사용한 강우자료는 1급 관측소인 기상청 측후소(양평, 홍천, 이천) 자료를 이용하여, 이에 대한 Thiessen망을 생성하였다. 본 연구에서는 20년 동안의 토지피복의 변화에 따른 유출특성을 분석하고자 측후소에서 관측된 일 최대강우를 정규분포 방법을 사용하여 얻은 30년 빈도 일 최대강우(254mm)를 동일 적용하였다.

3) SCS CN 산정

SCS CN 방법의 경우 CN 값 선정 시 필요한 자료는 토양도, 토지이용도 및 지형자료로 토지 피복 경년 변화에 GIS를 이용하여 유효우량을 계산할 때 용이하게 적용될 수 있을 뿐 아니라 따른 유효우량의 변화를 잘 반영시킬 수 있다. 본 연구에서는 구축된 수문학적 토양군과 토지피복도를 이용하여 선행강우조건 AMC-Ⅱ를 고려한 표 4의 SCS 유출곡선번호표에 의해 유출곡선번호를 산정하였다.

TABLE 4. Runoff curve number for selected land use(AMC Ⅱ)

	A	B	C	D
물	100	100	100	100
도시	77	85	90	92
나대지	77	86	91	94
초지	64	75	83	85
산림	45	66	77	83
논	78	78	78	78
밭	65	76	84	87

홍수 유출 해석

1. 합성단위도의 선정

모형의 적용에 있어 대상 유역에 가장 적합한 합성단위도법을 알기 위하여 유출해석시 주로 사용되는 SCS의 무차원 단위도법을 포함하여 일반적으로 많이 알려져 있는 Clark 방법 및 Snyder 방법을 적용하였다. 그림 9에서 나타난 바와 같이 경안천 유역의 경우 SCS 방법이 적합한 것으로 판단된다.

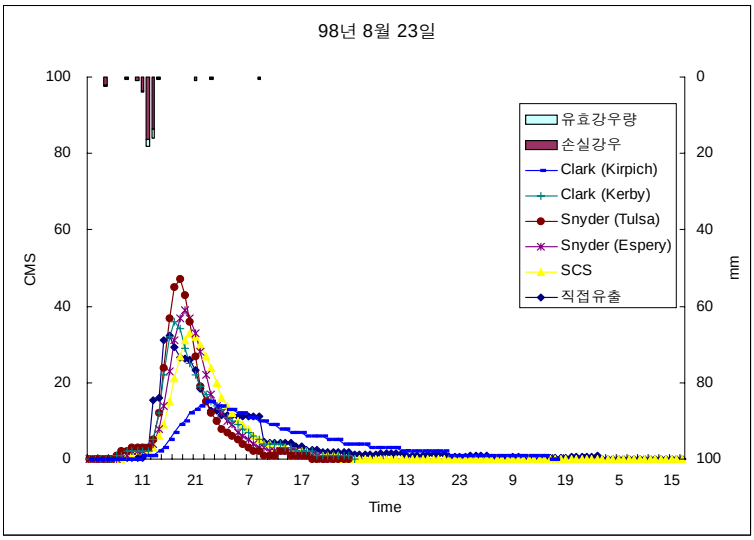


FIGURE 9. Comparison of composite hydrograph to determine proper method

2. 모형의 보정과 검증

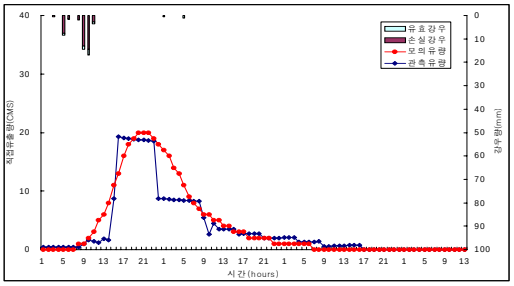
보정에 사용된 강우자료는 2000년 7월 29일 AMC Ⅱ 조건의 강우 사상이다. 이 때의 실측자료는 경안천 수위 관측소를 중심으로 하는 단일 유역 수위자료를 이용하였다. 유출량 보정에 있어 민감도가 가장 크게 나타나는 매개변수는 CN 값으로 나타났다. 보정을 통해서 구한 매개변수를 검증하기 위하여 4개의 강우사상에 대하여 적용하였다. 모의 결과 초기강우의 많은 부분이 손실되는 것을 알 수 있었으며, 대체적으로 첨두유출시간과 첨두유량에 있어 실측치에 비해 모의결과가 높게 나타났다. 그 결과를 정리하면 표 5 및 그림 10과 같다.

3. 토지피복경년변화에 따른 유출해석

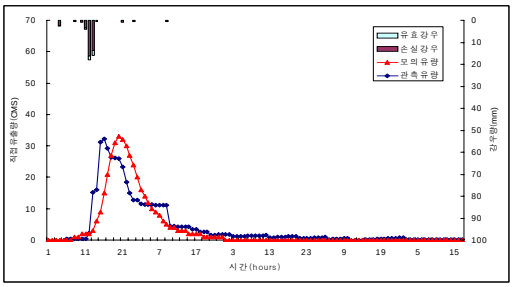
토지피복의 변화에 따른 유출 변화를 살펴보기 위하여 선정한 호우사상은 정규분포 방법을 통해 구해진 30년 빈도 일 최대강우인 254mm를 이용하였다. 이를 모노노베공식을 이용하여 24시간 시강우로 분포시켰다. 그림 10은 20년 동안 피복변화에 따른 강우-유출 관계를 보여주고 있다. 1980년부터 2000년까지의 경안천 유역의 토지피복변화에 따른 CN과 lag time을 계산한 결과, CN은 유역전체에 대하여 약 9.2 증가하였으며, Lag Time은 2.06(hours)의 감소를 보이고 있다.

TABLE 5. The result of calibration and verification

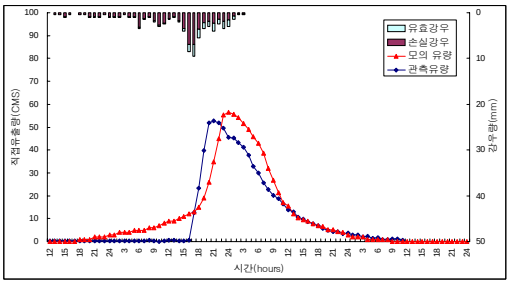
Date	AMC	강우(mm)	첨두유출시간 (hr)		첨두유량 (㎥/sec)		유출고 (mm)		Relative error (%)
			실측	모의	실측	모의	실측	모의	
98-05-02	I	49.0	20	20	19	20	4.3	4.8	10
98-08-23	II	44.5	15	20	32	33	6.3	5.5	13
98-09-30	II	80.0	34	37	53	51	10.6	12.3	13
99-05-03	II	60.0	13	15	37	44	15.9	14.4	9
00-07-29	II	18.0	5	7	28	28	5.7	3.6	36



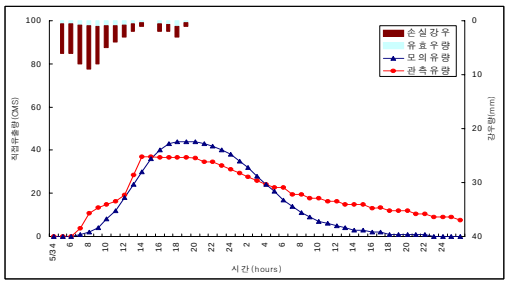
(a) 1998. 5. 2



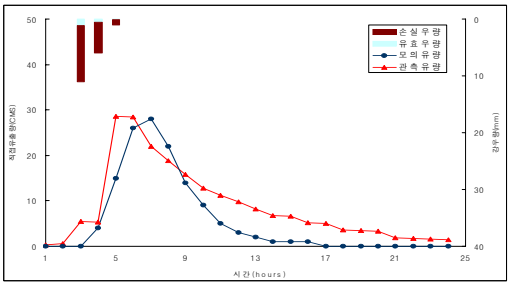
(b) 1998. 8. 23



(c) 1998. 9. 30



(d) 1999. 5. 3



(e) 2000. 7. 29

FIGURE 10. Observed vs. predicted stream flow at Gyeongan-cheon

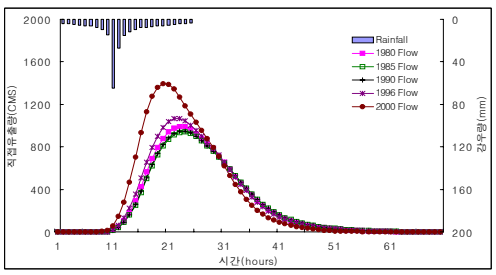


FIGURE 11. Change of runoff by temporal land cover change

요약 및 결론

본 연구에서는 WMS 수문모형과 지형정보를 이용하여 강우-유출량 관계를 모의하여 보았다. 모형의 입력자료로 사용되는 지형정보 자료를 GIS와 RS 기법을 이용하여 구축함으로써 WMS HEC-1 모형에 적용성을 평가하였다. GIS 입력자료를 구축하고 모형의 보정과 검증을 위하여 1998년 홍수사상 3개(5/2,

TABLE 6. Result of simulation

모의년도	CN	Lag time (hours)	첨두유출시간 (hours)	첨두유량 (㎥/sec)	유출율 (%)	강우조건 (mm/day)
1980	59.0	9.28	23	991	46	
1986	57.8	9.57	24	941	45	
1990	58.0	9.52	24	951	46	254
1996	60.7	8.89	23	1067	49	
2000	67.0	7.51	20	1396	58	

8/23, 9/30)와 1999년 홍수사상 1개(5/3), 2000년 홍수사상 1개(7/29) 등 총 5개의 홍수사상을 대상으로 모형의 보정과 검증을 실시한 후 30년 빈도에 대한, 일 최대 강우에 대한 그 동안의 유출변화를 살펴보았다.

1. 과거 30년 동안의 택지개발 등으로 점차 도시화 되어가고 있는 경안천 유역을 대상으로 DEM, 토양도, 토지피복도 등의 지형자료를 이용하여 유역경계, 유역의 하천 등을 효과적으로 추출할 수 있었고, 이렇게 추출한 유역경계와 하천에 대하여 Grid 연산을 수행하여 유역내의 지형인자들을 추출함으로써 모형의 정밀도를 높일 수 있었다.

2. 토지피복 변화에 따른 유출변화를 알아보고자 1980년, 1986년, 1990년, 1996년, 그리고 2000년의 Landsat 위성영상을 이용하여 분석한 결과 1980년에 논, 밭, 산림의 비율이 12.8%, 11.0%, 70.6%에서 2000년에는 각각 9.3%, 7.6%, 64.5%로 감소하였음을 알 수 있다. 이에 비해 시가지와 초지의 비율은 1.4%에서 7.0%로, 3.1%에서 8.2%로 증가하였다.

3. 구축된 지형자료를 이용하여 유출해석을 수행할 때 경안천 유역에 적합한 합성단위도법을 검토한 결과, SCS의 무차원 단위도법이 가장 적합한 것으로 나타났다.

4. 1980년부터 2000년까지의 경안천 유역의 토지피복변화에 따른 CN과 lag time을 계산한 결과, CN은 약 9.2정도 증가하였으며, lag time은 2.06hours이 짧아졌다. 이에 따른 첨두유출시간은 4hours 빨라졌으며, 첨두유량은 455㎥/sec 커진 것으로 나타났다.

사사(Acknowledgments)

The authors thank RESTEC(Remote Sensing Technology Center of Japan) for providing Landsat Images as research purpose. KAGIS

참고문헌

김경탁. 1998. GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구. 인하대학교 박사학위논문.

김상욱. 1995. 토지이용 변화에 따른 경안천 유역 토양유실에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.

김성준, 이윤아, 이남호, 윤광식, 홍성구. 2000. GIS와 RS를 이용한 비점원오염 모형의 적용에 관한 연구. 한국지리정보학회지 3(4):63-72.

김중훈, 전환돈, 윤용남, 이재수. 1994. HEC-1 모형의 대하천 유역에의 적용. 대한토목학회지. 17(Ⅱ-1):1-11.

신사철, 김성준, 채효석, 권기량, 이윤아. 2002. 공간정보를 이용한 유역 관리시스템 개발. 한국지리정보학회지 5(3):33-44.

심명필, 김경탁. 1998. 지리정보시스템과 결합한 강우·유출 모형의 적용. 한국수자원학회지. 31(1): 26-35.

한국수자원공사. 2000. 수자원단위지도개발-공간정보 콘텐츠 구축 및 활용에 관한 연구.

한국건설기술연구원. 1995. HEC-1 홍수 수문곡선 해석 프로그램 사용자 설명서.

Adinarayana, J. and N.R. Krishna. 1996. Integration of multi-seasonal remotely-sensed images land use classification of a hilly watershed using geographical information systems, International Journal of J. Remote Sensing 17(9):1679-1688.

Brigham Young University - Environmental Modeling Research Laboratory. 1999. WMS V6.0 Reference Manual.

ERDAS Inc. 1999. ERDAS Field Guide Fifth Edition. KAGIS