

WMS HEC-1을 이용한 안성천 평택수위관측소 상류유역의 수문 경년변화 분석

Analysis of Hydrological Impact for Long-Term Land Cover Change Using the WMS HEC-1 Model in the Upstream Watershed of Pyeongtaek Gauging Station of Anseong-cheon

김성준* / 박근애** / 정인균** / 권형중***

Kim, Seong Joon / Park, Geun Ae / Jung, In Kyun / Kwon, Hyung Joong

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the hydrological impact due to temporal land cover change by gradual urbanization of upstream watershed of Pyeongtaek gauging station of Anseong-cheon. WMS HEC-1 was adopted, and DEM with 200×200m resolution and hydrologic soil group from 1:50,000 soil map were prepared. Land covers of 1986, 1990, 1994 and 1999 Landsat TM images were classified by maximum likelihood method. The watershed showed a trend that forest & paddy areas decreased and urban/residential area gradually increased for the period of 14 years. The model was calibrated at 2 locations (Pyeongtaek and Gongdo) by comparing observed with simulated discharge results for 5 summer storm events from 1998 to 2001. The watershed average CN values varied from 61.7 to 62.3 for the 4 selected years. To identify the impact of streamflow by temporal area change of a target land use, a simple evaluation method that the CN values of areas except the target land use are unified as one representative CN value was suggested. By applying the method, watershed average CN value was affected in the order of paddy, forest and urban/residential, respectively.

Keyword : land cover change, WMS HEC-1, CN

요 지

본 연구는 안성천의 평택수위관측소 상류유역을 대상으로 점진적인 도시화로 인한 토지피복변화가 수문변화에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위해 WMS HEC-1모형을 사용하였고, 격자크기 200×200m DEM과 1:50,000토양도로부터의 수문학적 토양군을 이용하였다. 1986, 1990, 1994, 1999년 Landsat TM 영상을 최우도

-
- * 건국대학교 지역건설환경공학과 부교수
Associate Professor, Dept. of Rural Engrg., Konkuk Univ., Seoul 143-701, Korea
(E-mail address: kimsj@konkuk.ac.kr)
 - ** 건국대학교 지역건설환경공학과 석사과정
Graduate Student, Dept. of Rural Engrg., Konkuk Univ., Seoul 143-701, Korea
 - *** 건국대학교 지역건설환경공학과 박사과정
Doctoral Student, Dept. of Rural Engrg., Konkuk Univ., Seoul 143 701, Korea

법에 의해 피복분류를 실시한 결과, 이 기간동안 유역내에 산림과 논은 지속적으로 감소하여 왔고, 도시/주거지 면적은 꾸준히 증가한 것으로 분석되었다. 1998년에서 2001년까지 5개의 강우사상을 선정하여 평택과 공도 두 지점에 대하여 모형을 보정하였다. 4개년의 유역평균 CN값은 61.7-62.3의 범위를 보였다. 본 연구에서는 특정토지이용의 면적변화가 하천유출에 미치는 영향을 파악하기 위하여 특정토지이용을 제외한 타 토지이용의 CN을 대표 CN으로 변환하는 간단한 방법을 제안하였다. 논, 산림, 도시/주거지의 동일면적변화에 대하여 논, 산림, 도시/주거지의 순으로 유역평균 CN값에 영향을 주었다.

핵심용어 : 토지피복변화, WMS HEC-1, CN

1. 서 론

대도시주변 유역의 꾸준한 산업화와 도시화 등으로 인한 산림과 농경지의 감소는 기존에 지표면이 갖고 있던 보수 및 유수 기능을 저하시키므로서 유역에서 하천으로 유입되는 유출량을 증가시키고, 홍수 도달시간의 단축과 더불어 침투유량도 증가시킬 것으로 판단된다. 이와 같은 현상은 해당유역의 치수대책 및 하천정비계획에 직접적으로 영향을 미치게 되므로, 유역내 토지이용의 변화가 하천유출에 미치는 영향을 정량적으로 구명하여야만 유역관리에 능동적으로 대처할 수 있게 될 것이다.

토지이용의 변화에 따른 강우-유출 관계를 해석하기 위해서는 해당유역의 지형특성, 토양 및 토지이용의 공간적 분포 등을 고려하여야 하는데, 이들 자료를 준비하는 데에는 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 한편 수문 분석을 위한 다양한 유역자료를 준비하는데 있어 GIS(Geographic Information Systems) 기반의 자료 구축이 보편화되고 있다. 1990년대부터는 기존의 수문모델들이 WMS HEC-1, BASINS-SWAT, CASC2D 등과 같이 포괄적인 그래픽 사용자환경을 제공하는 시스템으로 개발되면서 모델의 입력과 출력을 가시화할 수 있게 되었다. 토지이용의 시간적인 변화를 추적하고, 공간적인 변화를 파악하기 위하여 항공사진 또는 인공위성 영상을 활용하는 것이 효율적인 방법으로 일반화되고 있다. 특히 미국의 Landsat 위성영상은 수백 km² 이상의 넓은 지역을 대상으로 빠른 시간내에 일정 수준의 정확도를 가지는 토지피복도를 작성할 수 있게 되었다. 또한 주기적인 영상자료를 확보하면 시계열 분석이 가능하므로, 과거 수십년간의 인공위성 영상자료를 이용하면 유역내 토지이용의 시간적, 공간적 변화를 추정할 수 있다.

GIS를 이용한 강우-유출관련 국외 연구사례를 살펴보면, Bhaskar 등(1990)은 수문응답함수의 유도를 위

해 GIS를 이용한 지형학적 순간단위도(GIUH)해석을 시도하였으며, Mayer 등(1991)은 ARC/INFO의 TIN module을 이용하여 HEC-1모형의 공간 및 지형인자를 결정하였다. 이와 함께 수치고도자료(Digital Elevation Model, DEM)를 통하여 대상유역에 대한 지형요소들을 효율적으로 추정하기 위한 알고리즘의 Garbrecht 등(1996)에 의하여 제시되었다. 국내에서는 남형욱(1989)이 평창강 유역을 대상으로 Landsat 위성영상자료를 이용하여 유역의 매개변수를 산정하고 이를 토대로 유역 유출량을 산정하였으며, 한국수자원공사(1993)는 Landsat 위성영상자료를 이용하여 소양강 유역의 토지이용도를 구축하고 SCS-CN 방법으로 유역의 유출량을 산정한 바 있다. 김경탁(1998)은 TIN해석과 Grid 해석을 통한 유역의 수문학적 지형인자를 산정한 후, 토지이용도와 토양도에 따른 유출응답특성을 연구한 바 있다. 이범희 등(1999)은 도시하천으로서 다수의 지류를 포함하고 있는 안양천을 대상으로 SWMM을 적용하였으며, 지리정보체계의 적용과 인공위성 관측자료를 사용하여 정확한 입력자료의 생성방법을 개발하였다. 권형중 등(2001)은 용담댐 유역을 대상으로 Landsat TM과 KOMPSAT-1 EOC 영상을 이용한 토지피복분류 및 SCS-CN 직접유출량을 산정하였고, 이준우(2002)는 경안천 유역을 대상으로 과거 20년간의 Landsat TM 영상자료와 HEC-1모형을 이용하여 수문변화를 분석한 바 있다. 이와 같이 최근 들어 GIS와 RS(Remote Sensing)를 이용한 유역의 수문분석과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편 유역내 토지이용의 변화를 종합적으로 고려하여 유역 유출반응에 미치는 영향을 분석한 연구는 있었으나, 토지이용을 항목별로 구분하여 해당 토지면적의 증감에 따른 수문변화를 분석하고자 시도한 연구는 없었다고 볼 수 있다. 이와 같은 연구는 대상 유역의 특정 토지이용 항목별로 하천유출에 미치는 영향을 파악할 수 있게 되므로서, 수자원 측면에서 효율적인 유역

관리 및 해당 토지이용면적의 적정규모 결정을 위한 정보로 제공될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 과거 꾸준히 토지이용의 변화가 진행된 안성천 유역의 일부를 대상으로, 과거 20년간의 다시기(multi-temporal) Landsat TM영상을 이용하여 유역 내 토지이용의 시·공간적 변화양상을 파악하고, 수문분석을 위한 GIS자료인 수치고도모델, 하천도, 토양도 등을 작성한 후, WMS HEC-1 모델을 이용하여 유역내 유출특성의 경년변화를 분석하고자 한다. 또한 특정 토지이용이 하천유출에 미치는 영향을 파악하기 위한 방법을 제시하고, 이 방법에 의하여 해당 토지이용 면적의 변화가 유역 유출량에 미치는 변화를 정량적으로 알아보고자 시도하였다.

2. 자료 및 방법

2.1 WMS HEC-1 모형

WMS(Watershed Modeling System, 1999)는

HEC-1, TR-20, TR-55, 합리식, NFF(National Flood Frequency program)를 GIS와 결합된 상태에서 실행시켜 유출모의가 가능하도록 개발된 GUI기반의 수문분석 시스템이다. 본 연구에서는 이들 수문모형 중에서 국내에서 홍수유출해석으로 가장 많이 사용되고 있는 HEC-1모형을 선택하였다. HEC-1모형은 유역을 수문학적, 수리학적 구성요소로 이루어지는 시스템으로 나타내어, 유역에 발생한 강우사상으로부터 유출을 모의하는 단일사상 강우-유출모형이다. 수문학적, 수리학적 구성요소로는 유역의 유출, 하도 홍수추적과 저수지 홍수추적 등을 포함하고 있다. HEC-1모형에서 유효강우량의 산정은 토지이용과 토양자료를 이용할 경우, 이들 자료의 특성을 충분히 활용할 수 있는 SCS CN방법을 선택하였다. SCS 무차원단위도를 이용하여 유출을 모의하였으며, 유역분할에 의한 소유역간의 하도홍수추적은 Muskingum방법을 이용하였다.

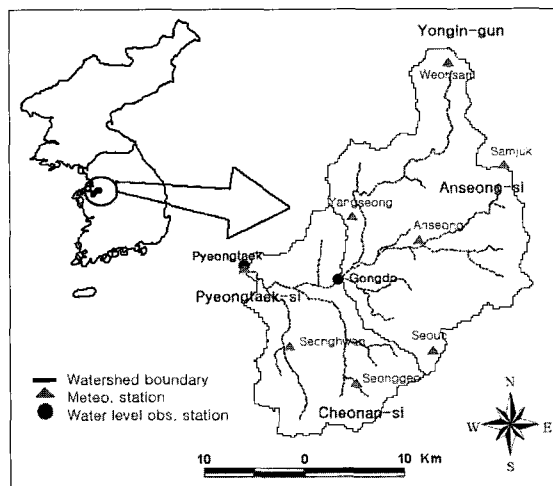


Fig. 1 Anseong-cheon watershed

Table 1. Summary of 5 selected rainstorm characteristics

Storm events	Thiessen average rainfall (mm)	Rainfall duration (hr)	Max. rainfall intensity (mm/hr)
1998/8/08 - 1998/8/13	206.6	32	31.0
1999/8/02 - 1999/8/05	238.3	44	23.8
2000/8/23 - 2000/9/06	344.0	263	31.5
2000/9/12 - 2000/9/24	209.0	96	10.4
2001/7/29 - 2001/8/04	103.8	124	18.8

2.2 대상유역 및 수문자료

안성천의 평택 수위관측소를 유역출구로 하는 상류 유역을 대상으로 하였으며, 유역면적은 592.6km²이며, 주하천의 유로연장은 76km이다. 행정구역상으로는 안성시와 천안시가 각각 62.5%, 28.5%를 차지하는 이 지역은 지난 20여년간 공단, 택지, 골프장 조성 등의 도시화에 따라 산림지역과 농경지가 감소하는 등 유역내 토지이용의 변화가 꾸준히 진전된 지역이다.

유역을 지배하는 기상관측소는 총 8개(Fig. 1)로 구

성되었으며, 모형의 적용성을 검토하기 위하여 총 5개의 강우사상(Table 1)을 대상으로 유역내 공도 및 평택 수위관측소의 시간수위자료를 이용하였다.

2.3 RS를 이용한 토지피복 변화도 작성

연구대상지역의 토지이용 변화를 파악하기 위하여, Landsat TM 영상을 대상으로 약 5년 간격의 총 4개 영상(1986년 4월 15일, 1990년 4월 10일, 1994년 4월 5일, 1999년 4월 19일)을 선정하였다. Spheroid Bessel, Datum Tokyo (Korea), Projection UTM-

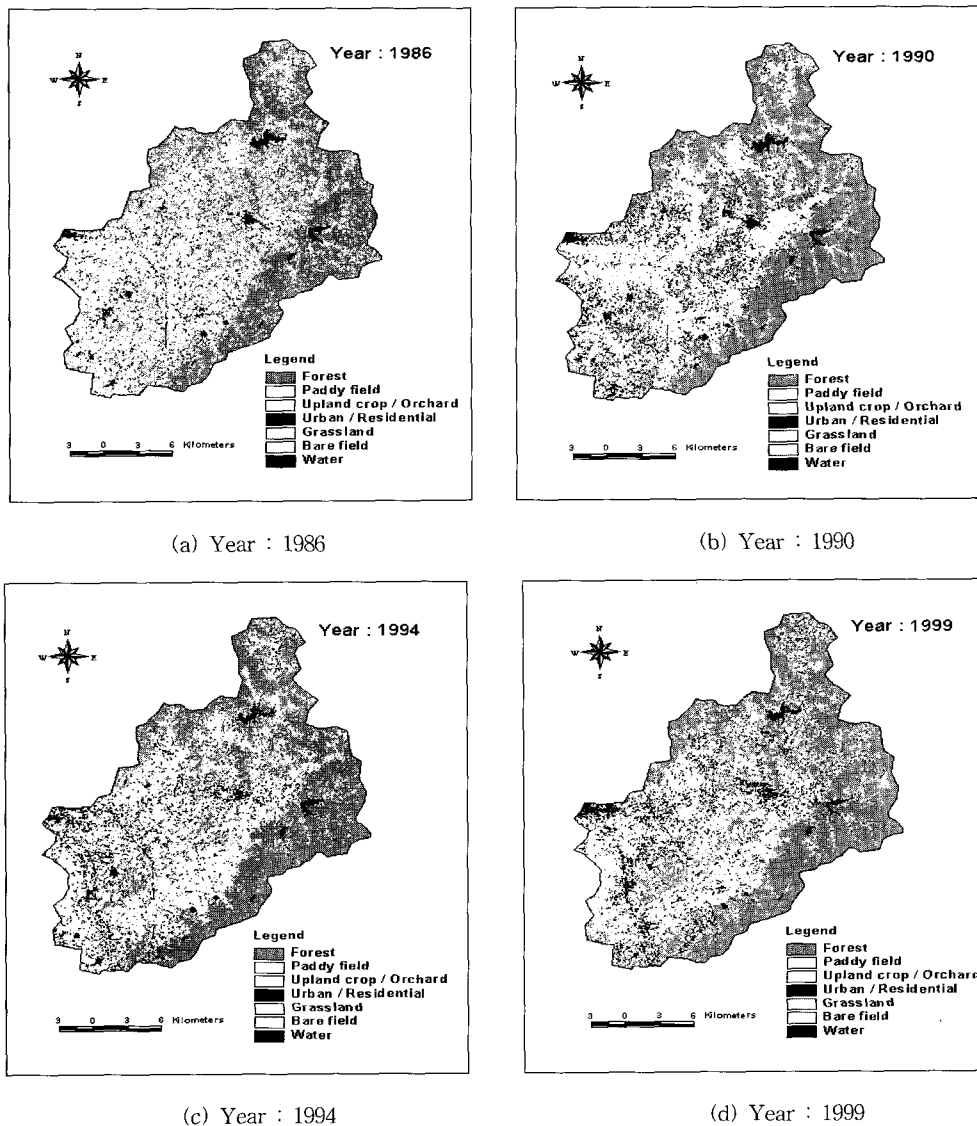


Fig. 2. Classification results of land cover for 4 selected years (1986, 1990, 1994, 1999)

52N으로 투영하여 기하보정이 되어있는 2000년 1월 16일 영상의 교량, 댐, 항만, 방조제와 같이 위치변동이 없는 지점을 지상기준점(GCP; Ground Control Point)으로 선정하고 다른 영상자료의 동일 지점에 지상기준점을 지정함으로써 두 영상의 동일 지점에 같은 좌표체계를 갖도록 Image to image 방법으로 기하보정 처리하였다. 이때 좌표변환은 다항식 방정식을 사용하였고, 재배열은 근접된 2×2 격자의 화소 값들을 거리 가장 평균하는 공일차내삽법을 사용하였으며, 기하보정에 의한 RMSE는 0.28~0.53pixel의 범위를 보였다.

Landsat TM 영상의 6개 band 중에서 본 연구에서는 밴드별 분류항목의 DN(digital number)값의 분포를 고려하여 각 년도의 항목별 DN값의 편차를 보이는 band를 조합하여 최대우도(maximum likelihood) 감독분류법으로 각 년도별 토지피복을 실시하였다. 1990년 영상은 식생 형태, 생장, 함수량과 토양 함수량의 지표가 되는 4, 5 band와 식생의 반사도를 나타내는 2 band, 식생 구별에 탁월한 3 band를 조합하였고, 1986, 1994, 1999년 영상은 5, 4, 3 band 조합을 실시하였다. 토지피복을 위한 분류항목은 Landsat TM의 공간해상도와 SCS-CN의 분류항목을 고려하여 총

7개(1.산림, 2.논, 3.밭, 4.주거지, 5.초지, 6.나지, 7.물)의 항목을 선정하였다. Fig. 2는 1986, 1990, 1994, 1999년에 대한 연구대상 구역의 토지피복 분류결과를 도시한 것이며, 이 4개 년도에 대한 토지이용 항목별 면적변화를 Table 2에 정리하였다. 주요 토지이용의 변화를 보면, 도시 및 주거지역이 1986년 3.3%에서 1999년에 9.3%로 6.0% 증가하였으며, 산림과 논은 1986년에 46.3%, 26.5%에서 1999년에는 41.5%, 22.5%로 각각 4.8%, 4.0%가 감소하였다.

2.4 분류 결과의 정확도 검증

분류정확도의 1차적인 평가로서 위성영상 자료의 분류결과를 객관적이고 정확하게 평가하고자 하는 가장 일반적인 방법 중의 하나인 오차행렬(error matrix)을 이용하였으며, 또한 순수하게 바르게 분류된 화소만을 고려하여 정확도를 평가하고자 하려는 의도에서 도입된 통계량인 Kappa 계수로 정확도를 확인하였다. Table 3에 그 결과 값을 정리하였다.

분류정확도의 2차 평가로서 안성시의 행정구역별 지적통계자료(안성시, 1987, 1991, 1996, 2000)와의 비교를 실시하였다. 통계자료의 분류체계가 본 연구의 분류

Table 2. Summary of land cover changes of 7 items for 4 selected years (1986, 1990, 1994, 1999)

Items	Area (km ²)				Ratio of Area (%)			
	1986	1990	1994	1999	1986	1990	1994	1999
1. Forest	274.6	255.3	251.0	246.2	46.3	43.1	42.4	41.5
2. Paddy field	157.3	149.1	141.9	133.6	26.5	25.2	23.9	22.5
3. Upland crop / Orchard	69.6	78.7	78.9	78.0	11.7	13.3	13.3	13.2
4. Urban / Residential	19.8	42.6	44.1	55.2	3.3	7.2	7.4	9.3
5. Grassland	53.5	55.5	56.2	60.2	9.0	9.4	9.5	10.2
6. Bare field	11.0	1.5	13.2	14.1	1.9	0.3	2.2	2.4
7. Water	6.8	9.9	7.3	5.3	1.1	1.7	1.2	0.9
Total	592.6	592.6	592.6	592.6	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 3. Accuracy assessment using error matrix and Kappa coefficient

Date	Overall accuracy (%)	Kappa coefficient
April 15, 1986	98.58	0.98
April 10, 1990	89.45	0.87
April 5, 1994	98.78	0.98
April 19, 1999	92.08	0.90
Average	94.72	0.93

Table 4. Comparison of statistical data and land cover classification results for Anseong administration boundary

Land cover item		Area (km ²)				Ratio of Area(%)			
		1986	1990	1994	1999	1986	1990	1994	1999
Forest	Statistics	301.2	298.7	296.7	294.0	54.5	54.0	53.5	53.1
	This study	250.6	289.3	285.2	256.2	45.3	52.3	51.6	46.3
	Abs. error	50.6	9.4	11.5	37.8	9.2	1.7	1.9	6.8
Paddy field	Statistics	127.6	127.8	125.8	123.0	23.1	23.1	22.7	22.2
	This study	137.6	121.3	118.8	99.5	24.9	21.9	21.5	18.0
	Abs. error	10.0	6.5	7.0	23.5	1.8	1.2	1.2	4.2
Upland crop / Orchard	Statistics	64.5	62.9	60.3	58.4	11.7	11.4	10.9	10.5
	This study	92.4	63.6	68.9	50.8	16.7	11.5	12.5	9.2
	Abs. error	27.9	0.7	8.6	7.6	5.0	0.1	1.6	1.3
Urban / Residential	Statistics	22.7	25.3	29.4	34.0	4.1	4.6	5.3	6.1
	This study	24.5	28.8	30.5	44.1	4.4	5.2	5.5	8.0
	Abs. error	1.8	3.5	1.1	10.1	0.3	0.6	0.2	1.9
Total area	Statistics	552.8	552.9	553.1	554.2	100	100	100	100
	This study	553.4	553.4	553.4	553.4	100	100	100	100

체계와 다르므로 적절한 항목끼리 묶을 필요가 있었다. 상·대지와 도로를 합쳐 시가화 지역으로 하고, 전과 과수원을 합쳐 밭지역으로 하여 상호 비교한 결과를 Table 4에 나타내었다. 산림지역은 1.9~9.2% 범위의 절대오차를 보였고, 논 밭/과수원, 및 도시/주거지는 5.0% 미만의 절대오차로 분류되었음을 알 수 있다. 주

요 오차의 원인으로서, 산림지역은 골프장으로 건설 중인 지역이 분류시에는 나지로 분류되는 반면에 통계자료에서는 산림으로 처리되었으며, Landsat TM의 지상해상도(30m)로는 산림과 논사이의 지역에 산재해 있는 밭의 구분이 제대로 이루어지지 않았기 때문에 판단된다.

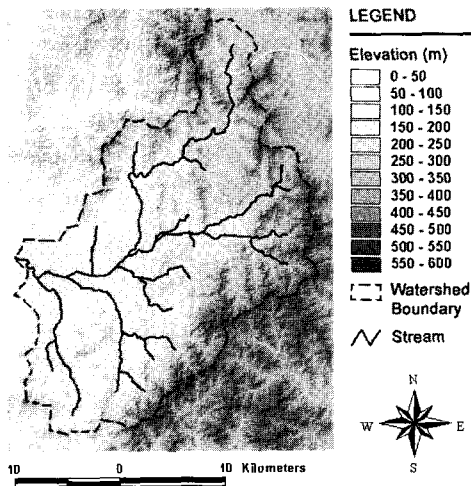


Fig. 3. DEM and stream network of the study watershed

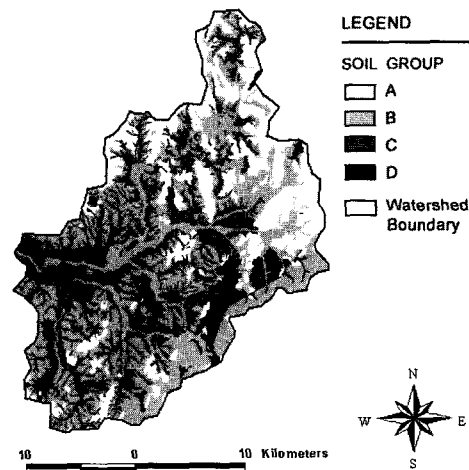


Fig. 4. Soil map by hydrologic soil group A, B, C, D.

2.5 GIS자료의 구축

DEM은 안성천지역의 NGIS 1:5000 수치지도로부터 지형관련 레이어인 7111(주곡선), 7114(계곡선), 7217(표고점), 7311(삼각점)을 추출하고 ARC/INFO를 이용하여 Coverage, TIN(Triangulated irregular network), Lattice변환과정을 거쳐 격자간격 200m의 DEM을 생성하였다. 대상구역의 유역경계와 하천망은 Garbrecht 등(1997)이 개발한 WMS내의 TOPAZ(TOpographic PArameteriZation) 프로그램을 사용하여 DEM 필터링, 흐름방향도, 흐름누적도 생성과정을 거쳐 생성시켰다(Fig. 3). 토양도는 농촌진흥청 토양물리과에서 제공한 1:50,000 개략토양도를 이용하여 Fig. 4와 같이 수문학적 토양군(A: 배수 매우양호, B: 배수 대체로 양호, C: 배수 대체로 불량, D: 배수 대단히 불량)으로 구분하여 작성하였고, WMS의 입력자료로 사용하기 위해 200×200m 격자크기로 재배열하였다.

2.6 특정 토지이용면적의 시간적 변화에 따른 하천유출량 변동 분석방법

1986년부터 1999년까지의 토지피복 분류결과, 수자원 측면에서 중요한 역할을 하는 산림과 논 면적이 꾸준히 감소하는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 4개 년도에 대하여 작성된 토지피복도를 활용하여 특정 토지이용의 변화가 하천유출에 얼마만큼의 영향을 주었는지 파악하기 위하여 다음과 같은 과정을 거쳐 SCS CN방법에 의한 유출분석을 시도하였다. 분석과정을 설명하면 다음과 같다.

① 분석대상인 특정 토지이용항목과 기준년도를 정한다.

② 기준년도에서 특정 토지이용(논을 예로 들면)면적을 제외한 지역(나머지 6개 항목의 토지이용)에 대한 평균 CN을 식(1)에 의해 구한다. 이는 특정 토지이용항목을 제외한 타 토지이용항목들에 대한 각각의 CN을 하나의 대표 CN으로 변환시키는 과정이다.

$$\text{PaddyOutsideAverageCN} = \frac{\sum(\text{PaddyOutsideArea} \times \text{PaddyOutsideCN})}{\sum \text{PaddyOutsideArea}}$$

$$= \frac{(\text{ForestArea} \times \text{ForestCN}) + (\text{UplandArea} \times \text{UplandCN}) + (\text{UrbanArea} \times \text{UrbanCN}) + \dots}{\text{ForestArea} + \text{UplandArea} + \text{UrbanArea} + \dots} \quad (1)$$

③ 유역평균 CN값은 식(2)와 같이 논 면적의 CN 값과 식(1)로 구한 논 외 지역의 대표 CN값으로 구분하여 구하게 된다.

$$\text{BasinAverageCN} = \frac{(\text{PaddyArea} \times \text{PaddyCN}) + (\text{PaddyOutsideTotalArea} \times \text{PaddyOutsideAverageCN})}{\text{TotalArea}} \quad (2)$$

④ 타 년도의 유역평균 CN값은 변화된 논 면적과 논 이외의 면적을 적용하여 구한 다음 유출분석을 실행한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모형의 보정 및 유역평균 매개변수 결정

모형의 적용성을 검토하기 위하여 선정된 총 5개의 강우사상을 이용하여 평택 및 공도 지점에서 모의를 실시하였고, 관측유량 자료와 비교하여 적절한 매개변수 값을 추정하였다. 본 모형의 보정시 이용한 매개변수는 SCS 지체시간(lag time), Muskingum 하도홍수추적방법의 인자인 저류상수 K와 가중계수 x이다.

5개의 강우사상이 1998~2001년의 범위에 있으므로 1999년의 토지피복도를 이용하여 구한 AMC-II 조건에서의 SCS-CN값은 공도관측소 상류유역(WS1)이 57.9, 공도와 평택관측소사이의 유역(WS2)은 68.0, 유역전체의 CN값은 61.7를 적용하였다. Table 5는 각 강우사상별로 결정된 매개변수 값과 모형의 결과를 정리한 것이며, Fig. 5는 두 강우사상(1998, 1999)에 대하여 공도와 평택지점에서의 유출 모의치와 관측치를 비교한 그림이다. 지체시간은 유역 최상류단에서 공도 지점까지의 구간(21,417m)은 평균 8.3 hr, 공도에서 평택까지의 구간(8,038m)에서는 평균 4.4 hr, Muskingum 저류상수(K) 및 가중계수(x)는 각각 평균 1.3과 0.4로 추정되었으며, Nash-Sutcliffe (1970) 모형 효율은 63.0% - 96.5%의 범위를 보였다. Fig. 5에서 1999년 감수곡선 부분의 오차 원인으로서는 유역면적의 22.5%를 차지하는 논 면적의 강우전 담수성에 따른 저류능력, 강우진행시 농민의 물꼬를 통한 강제배수에 의한 지표유출이 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 토지피복

Table 5. Summary of model calibration and its parameters

Storm event	Station	Rainfall (mm)	AMC	Parameters			Peak runoff (m ³ /s)		Total runoff (mm)		Peak runoff relative error (%)	Nash-Sutcliffe Model eff. (%)
				Lag time (hr)	K	x	Obs.	Sim.	Obs.	Sim.		
1998/8/08	GD	196.2	III	8.0	3.0	0.2	684	706.7	96.7	105.2	3.3	95.3
1998/8/13	PT	206.6		4.7			1183	1193.7	130.3	126.3	0.9	96.5
1999/8/02	GD	228.2	II	7.8	1.0	0.2	557	562.7	114.5	96.7	1.0	94.3
1999/8/05	PT	238.3		7.6			1000	1016.3	148.8	111.0	1.6	89.1
2000/8/23	GD	331.3	II	8.9	0.5	0.5	510	546.9	157.6	180.0	7.2	72.0
2000/9/06	PT	344.0		3.0			1289	1238.2	303.8	229.4	3.9	85.8
2000/9/12	GD	211.6	II	9.2	1.0	0.5	209	208.6	108.1	84.3	0.2	86.1
2000/9/24	PT	209.0		2.0			454	454.5	167.5	112.9	0.1	86.4
2001/7/29	GD	104.2	III	7.5	1.0	0.5	153	155.5	33.5	30.2	1.6	63.0
2001/8/04	PT	103.8		4.7			453	457.2	60.3	49.6	0.9	93.5
Mean	GD	214.3		8.3	1.3	0.4	422.6	436.1	102.1	99.3	2.7	82.1
	PT	241.4		4.4			875.8	872.0	162.1	125.8	1.5	90.3

Note) GD: Gongdo, PT: Pyeongtaek

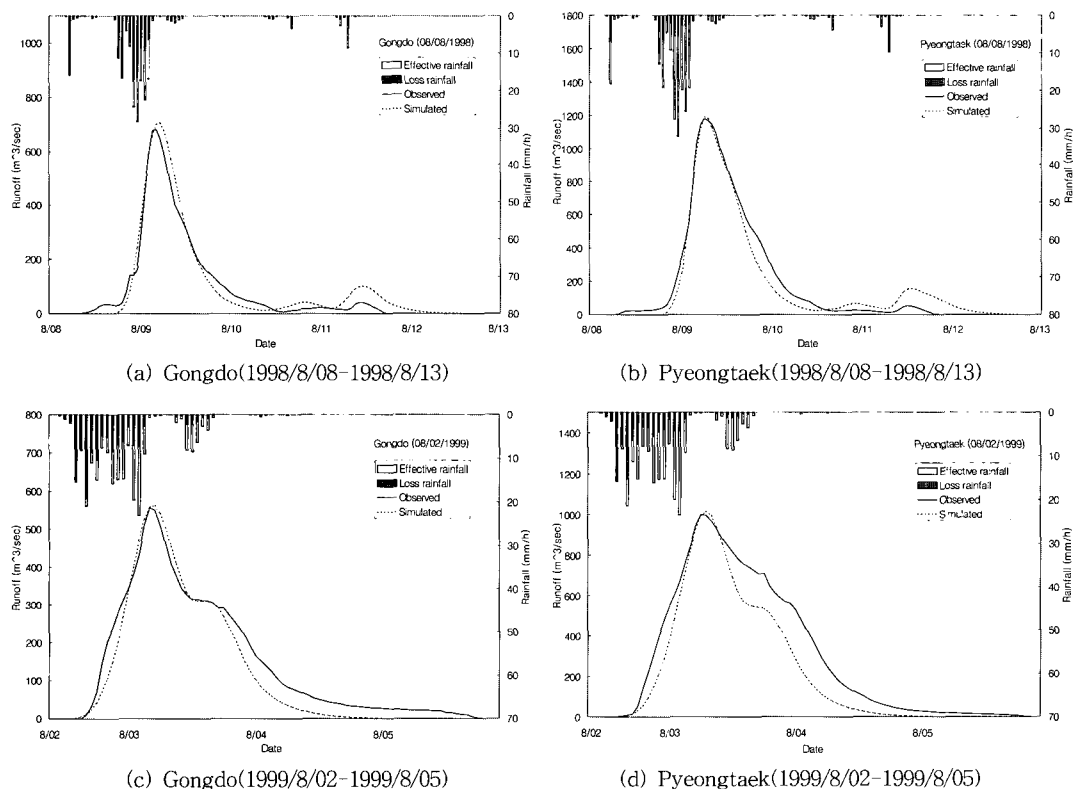


Fig. 5. Comparison of simulated result with observed data

Table 6. SCS-CN (AMC-II) values adopted in this study

Items	Soil group			
	A	B	C	D
1. Forest	25	55	70	77
2. Paddy field	78	78	78	78
3. Upland crop / Orchard	51	67	76	80
4. Urban / Residential	57	72	81	86
5. Grassland	6	35	70	79
6. Bare field	39	61	74	80
7. Water	100	100	100	100

Table 7. Comparison of 8/02/1998-8/13/1998 storm runoff by applying each land cover data for 4 selected years

Year	Watershed (Station)	Average CN	Peak runoff (m ³ /s)	Total runoff (mm)
1986	WS1(Gongdo)	59.0	472.4	76.6
	WS2(Pyeongtaek)	66.5	480.6	120.4
	Total	61.8	920.9	92.9
1990	WS1(Gongdo)	58.4	456.5	75.1
	WS2(Pyeongtaek)	68.3	524.8	126.0
	Total	62.1	931.8	94.1
1994	WS1(Gongdo)	59.0	474.6	76.8
	WS2(Pyeongtaek)	67.8	513.5	124.5
	Total	62.3	944.2	94.6
1999	WS1(Gongdo)	57.9	444.3	73.8
	WS2(Pyeongtaek)	68.0	518.9	125.2
	Total	61.7	911.5	93.0

Table 8. CN contribution ratio of each land cover items for WS1 and WS2

Items	WS1(Gongdo)				WS2(Pyeongtaek)			
	1986	1990	1994	1999	1986	1990	1994	1999
1. Forest	0.46	0.44	0.43	0.43	0.25	0.17	0.18	0.17
2. Paddy field	0.29	0.28	0.28	0.23	0.42	0.38	0.34	0.37
3. Upland crop / Orchard	0.13	0.12	0.13	0.14	0.12	0.19	0.18	0.17
4. Urban / Residential	0.03	0.07	0.06	0.09	0.06	0.12	0.14	0.16
5. Grassland	0.05	0.06	0.06	0.08	0.11	0.11	0.10	0.08
6. Bare field	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.04	0.04
7. Water	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

분류결과의 오차 그리고 산림지역과 밭의 경우는 침엽수, 활엽수, 밭, 과수원 등 세부항목으로 분류하지 않고 대표 CN값을 정하여 적용한 것이 결과에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 1998년~2001년 동안 매년의 토지피복변화에 대한 년도별 CN값을 고려하지 않고, 1999년의 CN값을 모든 강우사상에 적용한 것도 오차의 한 원인이라고 판단된다.

3.2 토지이용의 변화에 따른 하천유출량의 경년 변화 분석

모형의 보정으로 결정된 매개변수와 본 연구에서 채택한 SCS-CN값(Table 6) 및 Table 2의 4개년도(1986, 1990, 1994, 1999) 토지피복비율을 이용하여 약 15년 동안의 토지이용 변화가 하천유출량에 미치는 영향을 분석하였다. Table 6의 논에 대한 CN값(AMC I-63, AMC II-78, AMC III-88)은 임상준, 박승우(1997)가 제시한 값을 사용하였다. 1998/8/02-1998/8/13의 강우사상(215.6mm)을 적용하여 각 년도의 토지피복에 대한 유출을 비교한 결과는 Table 7과 같다. 대상유역 전체에 대한 4개년도 CN값은 61.7 - 62.3의 변화범위에서 침두유출량은 최대 32.7m/s(911.5 - 944.2m/s), 유출심은 최대 1.7mm (92.9 - 94.6mm)의 차이를 보였다.

한편 공도와 평택관측소를 기준으로 한 소유역 WS1과 WS2의 토지이용 변화에 따른 유출기여율을 파악하기 위하여 소유역별 평균 CN값에 대한 토지이용 항목별 CN값의 비율을 계산하여 Table 8에 제시하였다.

Table 7에서 공도관측소 상류유역인 WS1의 평균 CN값을 살펴보면 1994년 59.0에서 1999년 57.9로 1.1 감소하여 타 년도에 비하여 침두유출량이 474.6m/s에서 444.3m/s로 상대적으로 크게 감소하였다. 이는 Table 8에서 보는 바와 같이 이 기간 중에 논면적이

크게 줄어들면서 타 토지이용에 비하여 논 전체 유역에 대한 CN 기여율이 28.0%에서 23.0%로 크게 줄어들었기 때문에 판단된다. 한편, 공도와 평택관측소간의 유역인 WS2의 평균 CN값은 1986년 66.5에서 1990년 68.3으로 1.8 증가하여 타 년도에 비하여 침두유출량이 480.6m/s에서 524.8m/s로 상대적으로 크게 증가하는 변화를 보였다. 이는 Table 8에서 보는 바와 같이 이 기간 중에 산림면적이 줄어들고, 상대적으로 도시/주거지와 개간에 의한 발작물 지역이 크게 늘어나면서 타 토지이용에 비하여 도시/주거지 및 발작물의 전체 유역에 대한 CN 기여율이 각각 6.0%, 7.0% 증가하였기 때문에 판단된다.

3.3 특정 토지이용의 면적변화가 하천유출에 미치는 영향 분석

본 연구에서 제안한 방법을 이용하여 1998/8/02-1998/8/13의 강우사상(215.6mm)을 적용하여 1986년을 기준으로 유역내 논, 산림, 도시/주거지의 면적변화가 각각 하천유출에 미친 영향을 정량적으로 분석한 결과를 정리하면 Table 9와 같다.

논의 경우, AMC-II 조건에서 논 이외지역에 대한 평균 CN값은 54.4로 계산되었다. 이 값과 각 년도의 논면적을 적용하여 구한 유역평균 CN값은 1986년 60.7에서 1999년 59.7로 감소하여, 23.7km²의 논면적 감소에 대하여 유역평균 CN값은 1.0 감소하였다. 이에 따른 침두유출량은 1986년 360.8m/s에서 1999년 343.8m/s로 17.0m/s 감소하였는데, 그 이유는 적용한 논 CN값이 78이므로, 논면적이 줄어들면 유역전체의 평균 CN값이 작아지기 때문이다.

산림은 산림외지역의 평균 CN값이 70.3이었으며, 이 값과 각 년도의 산림면적을 적용하여 구한 유역평균 CN값은 1986년 60.0에서 1999년 61.1로 계속 증가하

Table 9. Hydrologic impact of streamflow due to area change of paddy, forest and urban

Year	Paddy				Forest				Urban			
	Area (km ²)	Basin average CN	Peak runoff (m/s)	Total runoff (mm)	Area (km ²)	Basin average CN	Peak runoff (m/s)	Total runoff (mm)	Area (km ²)	Basin average CN	Peak runoff (m/s)	Total runoff (mm)
1986	157.3	60.7	360.8	38.1	274.6	60.0	349.8	37.4	19.8	60.6	360.1	38.1
1990	149.1	60.3	354.5	37.7	255.3	60.8	363.3	38.3	42.6	61.2	371.5	38.8
1994	141.9	60.0	349.6	37.7	251.0	60.9	365.9	38.4	44.1	61.3	372.2	38.8
1999	133.6	59.7	343.8	37.4	246.2	61.1	369.0	38.6	55.2	61.6	377.6	38.9

여, 이 기간동안에 28.4 km²의 산림면적 감소에 대하여 유역평균 CN값은 1.1 증가하였다. 이에 따른 침투유출량은 1986년 349.8m³/s에서 1999년 369.0m³/s로 19.2 m³/s 증가하였다.

도시/주거지는 그 외의 지역에 대한 평균 CN값이 60.1이었으며, 이 값과 각 년도의 도시/주거지면적을 적용하여 구한 유역평균 CN값은 1986년 60.6에서 1999년 61.6으로 계속 증가하여, 이 기간동안 35.4 km²의 도시/주거지면적 증가에 대하여 유역평균 CN값은 1.0 증가하였다. 이에 따른 침투유출량은 1986년 360.1m³/s에서 1999년 377.6m³/s로 17.5m³/s 증가하였다. 이상의 결과를 정리하면, 이 기간 중에 논, 산림, 도시/주거지는 1km²의 면적변화에 대하여 CN값이 각각 0.042, 0.039, 0.028의 변화를 보였으며, 침투유출량은 0.72, 0.68, 0.49m³/s의 변화를 보여 논, 산림, 도시/주거지의 순으로 토지이용면적의 변화에 대하여 하천유출에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

한편 논은 타 토지이용과는 달리 물꼬높이까지 저류

능력을 가지며, 그 이상의 강우는 물꼬를 통하여 모두 하천으로 배제된다. 이 물꼬유출량은 강우량의 크기와 강우전의 담수심에 영향을 받는다. 따라서 유역내 논면적의 변화가 하천유출량에 미치는 영향을 강우량의 크기별로 파악하여 강우량-논면적-유출량간의 관계로부터 논 저류효과를 분석할 필요가 있다. 이를 위하여 2시간 지속강우로서 40mm - 300mm 범위의 강우량을 대상으로 유역의 논면적이 230km²에서 130km²로 감소하는 상황에서 유역 유출량을 모의하였는 바, 그 결과를 정리하면 Table 10과 같다. 여기서 유출율의 변화율은 논면적 230km²의 유출율을 100으로 하여 나머지 논면적에 대한 유출율의 비율을 계산한 것이다. Table 10에서 보는 바와 같이 강우량이 커질수록 유역내 논면적의 감소(-100km²)에 따른 유출율의 변화폭은 40mm 강우 78%(100%-22%)에서 300mm 강우에 대해서는 8.7%(100%-91.3%)로 줄어드는 것을 알 수 있었다. 따라서 이는 강우량이 커질수록 유역내 논면적의 변화가 하천유출량에 미치는 영향은 상대적으로 작아진다는

Table 10. Runoff ratio and changing rate of runoff ratio by paddy area change of watershed for several rainfall amount

Rainfall (unit: mm/2hr)	Runoff ratio (%)	Paddy area of watershed (km ²)						
	Changing rate of runoff ratio (%)	230	210	190	170	150	130	Average
40	Runoff ratio	1.9	1.5	1.2	0.9	0.6	0.4	1.08
	Changing rate of runoff ratio	100	79.8	61.8	46.4	33.1	22.0	57.2
50	Runoff ratio	5.2	4.6	4.0	3.5	3.0	2.5	3.80
	Changing rate of runoff ratio	100	88.1	77.0	66.8	57.2	48.4	72.9
70	Runoff ratio	12.8	11.9	11.1	10.2	9.4	8.7	10.7
	Changing rate of runoff ratio	100	93.0	86.2	79.7	73.5	67.4	83.3
100	Runoff ratio	23.2	22.2	21.1	20.0	19.0	18.0	20.6
	Changing rate of runoff ratio	100	95.3	90.7	86.3	81.8	77.5	88.6
200	Runoff ratio	46.2	45.0	43.9	42.8	41.6	40.5	43.3
	Changing rate of runoff ratio	100	97.5	95.1	92.6	90.2	87.8	93.9
300	Runoff ratio	58.8	57.7	56.7	55.7	54.7	53.6	56.2
	Changing rate of runoff ratio	100	98.3	96.5	94.8	93.1	91.3	95.7

것을 의미한다.

4. 요약 및 결론

안성천의 평택수위관측소 상류유역(589.09 km²)을 대상으로 4개년도 Landsat TM 영상을 이용하여 이 기간 중의 유역내 토지이용 변화양상을 파악하고 WMS HEC-1모형을 이용하여 토지이용의 변화가 하천유출에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 또한 특정 토지이용의 면적변화가 하천유출에 미치는 영향을 구명하기 위하여 간단한 평가방법을 제안하였으며, 이 방법을 이용하여 대상유역의 논, 산림, 도시/주거지의 면적변화가 하천유출에 미친 영향을 정량적으로 제시하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 4개년도의 Landsat TM 영상을 대상으로 최대우도 감독분류법을 이용하여 분류한 결과, 오차행렬에 의한 전체정확도와 Kappa 계수는 각각 94.72%, 0.93이었으며, 안성시 통계자료와 비교한 결과, 절대오차 9.2%(1986년 산림) 이하의 정확도로 분석되었다.
2. 5개의 강우사상을 선정하여 유역내 공도와 평택수위관측소의 실측유량자료와 비교하여 모형의 보정을 실시한 결과, SCS 지체시간은 공도지점까지 평균 8.3 hr, 공도에서 평택까지의 구간에서는 평균 4.4 hr, Muskingum 저류상수(K) 및 기중계수(x)는 각각 평균 1.3과 0.4로 추정되었으며, Nash-Sutcliffe 모형효율은 63.0% - 96.5%의 범위를 보였다.
3. 1998년 8월의 강우사상(215.6mm)을 적용하여 각 년도의 토지피복에 대한 유출을 비교한 결과, 대상유역 전체에 대한 4개년도 CN값은 년도별 경향을 보이지 않고 61.7 - 62.3의 변화범위에서 침투유출량이 최대 32.7m³/s, 유출심은 최대 1.7mm의 차이를 보였다.
4. 유역내 특정 토지이용면적의 변화가 하천유출량에 미치는 영향을 파악하기 위한 방법으로 특정 토지이용항목과 그 외 항목으로 구분하여 CN값을 적용하는 방법을 제안하였으며, 제안된 방법을 이용하여 1998년 8월의 강우사상을 적용하여 유역내 논, 산림, 도시/주거지의 면적변화가 하천유출에 미치는 영향을 분석한 결과, 논, 산림, 도시/주거지는 1km²의 면적변화에 대하여 CN값이 각각 0.042, 0.039, 0.028의 변화를 보였으며, 침투유출량은 0.72, 0.68, 0.49m³/s의 변화를 보여 논,

산림, 도시/주거지의 순으로 토지이용면적의 변화에 대하여 하천유출에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

“이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2002-003-D00483)”

참고 문헌

- 권형중, 김성준, 고덕구 (2001). “Landsat TM과 KOMSAT-1 EOC 영상을 이용한 토지피복분류 및 SCS-CN직접유출량 산정.” **한국관개배수**, 제7권, 제2호, pp. 66-74.
- 김경탁 (1998). **GIS적용에 따른 유출응답에 관한 연구**. 박사학위논문, 인하대학교.
- 남형욱, 박경윤, 조성익 (1989). “원격탐사기법에 의한 소유역의 홍수수문곡선 결정.” **대한원격탐사학회지**, 제5권, 제1호, pp. 13-27.
- 안성시 (1987, 1991, 1995, 2000). **안성시 통계연보**.
- 이범희, 이길성 (1999). “수질오염 모의모형의 입력자료 생성방안을 개선하기 위한 원격탐사 정보와 지리정보체계의 응용.” **대한토목학회논문집**, 제19권, 제 II-2호, pp. 125-137.
- 이준우 (2002). **WMS HEC-1 모형을 이용한 경안천 유역의 경년 수문변화 분석**. 석사학위논문, 건국대학교.
- 임상준, 박승우 (1997). “논의 유출곡선번호 추정.” **한국수자원학회논문집**, 제30권, 제4호, pp. 379-387.
- 한국수자원공사 (1993). **GIS를 이용한 수자원관리 및 계획에 관한 연구**.
- Bhaskar, N. R., James, W. P., and Devulapalli, R. S. (1992). “Hydrologic parameter estimation using geographic information system.” *Journal of Water Resource Planning and Management*, ASCE, Vol. 118, No. 5, pp. 492-512.
- Garbrecht J., Martz, L. W., and Goodrich, D. C. (1996). “Subcatchment parameterization for surface runoff modeling using digital elevation models.” In: *Proceedings of the American Society of Civil Engineers Hydraulics Conference*, North American Water and Environment Congress '96, CD-ROM publication: Session C-126, GIS Distributed Models: Data, Parameterization and

- Scale, 6 pages, Anaheim, California.
- Garbrecht, J. and Martz, L. W. (1997). "TOPAZ: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization; TOPAZ overview." U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Grazinglands Research Laboratory, El Reno, Oklahoma, USA, *ARS Publication* No. GRL 97-2, pp. 21.
- Mayer, S. P., Salem, T. H., and Labadie, J. W. (1993). "Geographic information systems in urban storm water management." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 119, No. 2, pp. 206-398.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles." *Journal of Hydrology*, Vol. 10, pp. 283-290.
- Watershed Modeling System (1999). Brigham Young University Environmental Modeling Research Laboratory.
- (논문번호:03-41/접수:2003.04.16/심사완료:2003.06.23)