

HSPF 모형을 이용한 토지피복변화에 따른 유출 변화 분석 Analysis of Impacts of Land Cover Change on Runoff Using HSPF Model

박민지* / 권형중** / 김성준***

Park, Min Ji / Kwon, Hyung Joong / Kim, Seong Joon

Abstract

The objective of this study is to estimate the impacts of land cover change on the runoff behavior using Hydrologic Simulation Program-Fortran (HSPF) model and Landsat images. Land cover maps were prepared using three every ten years from 1980 to 2000 of the upper watershed (258 km²) of Gyeongan stream. Hydrologic parameters of HSPF were calibrated using observed data (1999 - 2000) and validated using observed data (2001, 2003) at Gyeongan gauge station. The simulation results showed that runoff volume and peak rate increased as 15.0 km² forest areas decreased and 19.3 km² urban areas increased for 20 years land use changes. The runoff volume showed a higher rate of increase in wet year (2003, 1709.4 mm) than in dry year (2001, 871.2 mm). The peak runoff increased 13.3 % in normal year (2000, 1257.3 mm) because the year has the highest rain intensity (241.3 mm/hr) among the test years. The runoff volume of a dry season and a wet season (May - September) in normal year 2000 increased 4.4 % and decreased 8.1 %, respectively.

keywords : HSPF, runoff behavior, Landsat, land cover, urbanization

요 지

본 연구의 목적은 HSPF 모형과 Landsat 영상을 이용하여 토지피복 변화에 따른 유출의 변화를 분석하는 것이다. 토지피복도는 경안수위관측소 상류유역(258km²)에 대하여 10년 단위로 3개의 토지피복도(1980, 1990, 2000)를 준비하였다. HSPF의 수문학적 인자들의 보정에는 1999년부터 2000년의 경안수위관측소의 자료를 사용하였고, 검증에는 2001년과 2003년의 자료를 사용하였다. 토지피복도를 입력자료로 한 유출변화의 모의 결과, 20년 동안의 산림 감소(15.0 km²)와 도심지 증가(19.3 km²)에 따라 총유출량과 첨두유량이 증가하였다. 총유출량은 풍수년(2003, 1709.4mm)과 갈수년(2001, 871.2mm)의 강수조건에서 각각 0.6%, 1.0%의 증가율을 보였다. 첨두유량은 2000년의 최대강우강도 241.3mm/hr 조건에서 13.3%의 증가를 보였고, 성수기와 비성수기로 구분한 총유출량은 평수년(2000, 1257.3mm)인 2000년 강수조건에서 각각 4.4% 증가와 8.1% 감소로 가장 큰 변화를 보였다.

핵심용어 : HSPF, 유출거동, Landsat, 토지피복, 도시화

* 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과 석사과정
Graduate Student, Dept. of Rural Engrg., Univ., Seoul 143-701, Korea

** 건국대학교 대학원 지역건설환경공학과 박사과정
Doctoral Student, Dept. of Rural Engrg., Univ., Seoul 143-701, Korea

*** 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학전공 부교수
Associate Professor, Dept. of Civil & Env. System Engrg., Konkuk Univ., Seoul 143-701, Korea
Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3749, (e-mail: kimsj@konkuk.ac.kr)

1. 서론

지난 수십년에 걸친 개발로 인한 도시화로 토지이용은 많은 변화를 하게 되었다. 도시 및 주거지의 개발로 인한 불투수지역의 증가는 지표유출을 증가시키고, 증발, 침투, 지하수 공급은 감소시킨다(Dow와 DeWalle, 2000). 불투수지역은 도시화된 유역에서 하천으로 유입되는 유출량을 증가시킨다. 증가된 하천유출량은 보다 많은 하천제방침식을 유발하고 토사유출의 원인이 될 수 있다. 그 결과 하류의 수질을 저하시키고 재산을 파괴시킨다(Trimble, 1997; Bledsoe와 Watson, 2001). 도시화는 영양물질의 부하에도 영향을 미친다. 빠른 지표유출은 인의 운송을 도와주고, 침투율의 감소는 질산염의 지표하 및 지하수로의 이동량을 감소시킨다(Jordan 등, 1997). 이러한 여러 가지 영향으로 보았을 때 도시 개발에 따른 환경적 영향은 긍정적이지 못한 것이 틀림없으며, 앞으로 개발에 대하여 환경적 측면에서의 잠재적인 영향을 충분히 검토할 필요가 있다.

토지이용의 변화와 인간활동이 유역으로부터의 하천 유출, 토사운송, 영양물질 이동에 대한 장기적인 영향을 평가하는 모니터링 프로그램이 필요하다. 현장 모니터링 자료는 유역에서 수문 및 수질상황에 대한 정보를 제공하지만 이러한 모니터링 자료만으로는 하천에서 측정된 수질상태를 유역내 토지이용상태와 바로 연결하여 설명해주는 못한다. 따라서 토지이용과 유역의 수문, 수질 과정간의 보다 복잡하게 영향을 미치고 있는 현상에서는 실험적 연구와 수학적 모델을 이용하여 수문, 수질을 종합적으로 파악하여야 한다. 또한 모델 내 인자를 변화시킴으로 근본적인 수질개선대책을 강구하여 관계를 보다 구체적으로 이해하기 위해서는 모니터링 자료와 함께 컴퓨터 모의모형을 이용하여야 한다.

국외의 경우 도시화가 하천의 수량과 수질에 미치는 영향을 조사한 최근의 연구가 다수 진행되어 왔다. Donigan 등(1995)은 만으로 유입하는 영양물질의 양을 파악하기 위하여 체사픽만 유역모형을 개발하여, 다양한 농지관리에 따른 영향을 평가하였다. Brun과 Band(2000)는 HSPF 모형을 이용하여 과거, 현재의 토지이용 시나리오를 작성하여 홍수유출량과 기저유출의 관계를 불투수지역의 비율에 대한 함수로 나타낸 바 있다. Wicklein과 Schiffer (2002)는 HSPF 모형을 이용하여 플로리다주 Reedy Creek 유역에서 토지이용의 변화가 유출과 수질에 미치는 영향을 평가한 바 있다. 또한, 이준우(2002)는 WMS HEC-1 모형을 이용한 경안천 유역의 경년 수문변화 분석하였다. 그 결과 토지피복 변화에 따라서 30년 빈도의 일 최대강우인 254mm 강우

에 의한 침투유량이 $991\text{m}^3/\text{s}$ 에서 $1396\text{m}^3/\text{s}$ 로 증가된 것으로 분석되었다. Im 등(2003)은 HSPF 모형을 이용하여 버지니아주 Polecat Creek 유역에서 미래의 다양한 토지개발 시나리오에 대한 하천수질을 평가하였다. 그 결과 전체 12,048ha 지역에 50%와 100% 개발되었다는 가정하에 총유출량은 4.2%, 8.7% 증가하였고, 침투유량은 2.2, 4.2% 증가를 나타냈다. 국내의 최근 연구로는 박의정과 김철(2003)이 함평천유역의 토지이용변화가 하천유출에 미치는 영향을 분석한 바 있으며, 김성준 등(2003)은 WMS HEC-1모형을 이용하여 토지이용의 변화가 안성천유역의 홍수유출량에 미치는 영향을 분석한 결과 553.4km^2 의 전체 면적에서 1986년부터 1999년까지 농지가 감소하고 도시지역이 4.4%에서 8.0% 증가함에 따라 침투유량이 $17\text{m}^3/\text{s}$ 증가하였다. 김상용 등(2003)이 청주시를 대상으로, 인구와 토지이용변화에 따른 수질관계를 모색하고, 수질 오염을 고려한 친환경적인 도시화의 효과를 분석하였다.

본 연구에서는 투수 및 불투수 지표면과 하천에서의 수문과정을 모의할 수 있는 GIS기반의 연속모형인 HSPF (Hydrologic Simulation Program-Fortran)를 사용하여 총유출량과 침투유출량을 모의하였다. 모형 HSPF는 지표면유출과 복류수, 지하수 유출을 고려할 뿐 아니라 투수지형과 수체 내의 토사 유출을 모의할 수 있으며, 점오염원과 비점오염원이 함께 고려할 수 있으므로 오염총량제가 점차적으로 도입되고 있는 현시점에서 HSPF의 사용이 적절할 것이라고 판단되었다. 대상지역으로는 지난 20여년 동안 주거지의 증가 및 도시화가 진전되어 왔고, 건설교통부에서 하천의 유출을 지속적으로 모니터링하여 온 경안수위관측소 상류유역을 선정하였다. 토지피복자료는 Landsat 위성영상을 사용하여 작성된 토지피복도를 이용하였다.

2. 모형 개요

HSPF 모형은 1970년대 중반 미환경청에서 오염총량제의 도입에 따라 점오염원과 비점오염원의 영향을 함께 고려할 수 있도록 개발되었다. 준분포형, 개념적 모형으로서, 하천을 여러 개의 Reach로 나누고, 각각의 Reach는 하나의 레이어로 구성된 완전 혼합형의 수체로 가정한다. 흐름은 한 방향이며 유입은 한 부분에서 이루어지나 유출은 여러 부분으로 나뉜다(그림 1). 수문학적 반응 단위(Hydrologic Response Units ; HRUs)로 강우와 증발량 같은 기상 입력자료와 침투, 지표보유능, 토양 수분 저장과 같은 저장능 인자들이 작용되어 수문학적 모의가 이루어진다. 지표 유출은 침투 과잉으로 모의

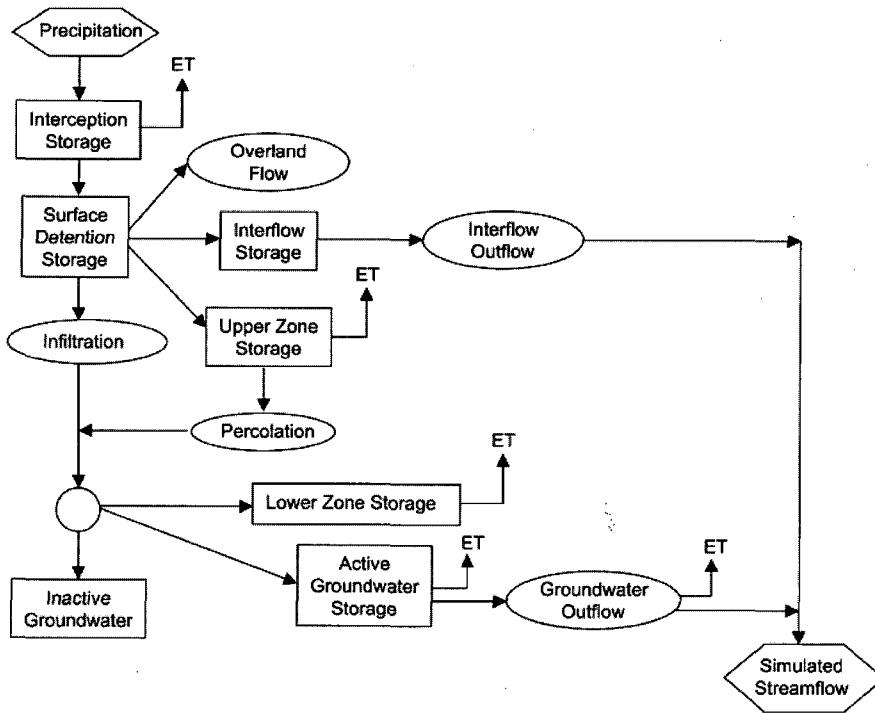


그림 1. HSPF 모형의 개념적 흐름도

된다. 각 HRU의 출력자료(지표 흐름이나 중간흐름, 지하수 흐름)는 강우와 하천 수로에 대한 반응들을 나타내게 된다. 수리학적 계산은 Storage Routing (Kinematic Wave) 방법으로 결정된다(Johnson 등, 2003).

3. 대상 유역의 개요

대상 유역은 경안천 경안교에 위치한 경안수위관측소 상류 유역으로서 유량 및 수질자료의 수집이 비교적 용이하다. 또한 지난 수년간에 개발로 인하여, 1980년대에 비하여 산림지역은 158.1km²에서 143.1km²로 5.8% 줄어든 반면, 도시지역은 6.4km²에서 25.7km²로 약 4배 증가하여 토지이용의 변화가 두드러진 유역이다. 유역 면적은 약 554km²이고, 유로연장은 약 44km이며, 경안수위관측소 상류 유역의 면적은 약 258km²이고, 유로연장은 약 30km이다(그림 2).

4. 자료 및 방법

4.1 토지피복도

건교부에서 실시한 한강유역기본현황조사의 토지피복도를 이용하였다. 토지피복도는 1980년부터 10년 단위로 작성된 것으로 8가지 항목으로 나누어져 있으며 시간의 변화에 따라 도심지가 눈에 띄게 증가하는 것을 확인할 수 있다(그림 3).

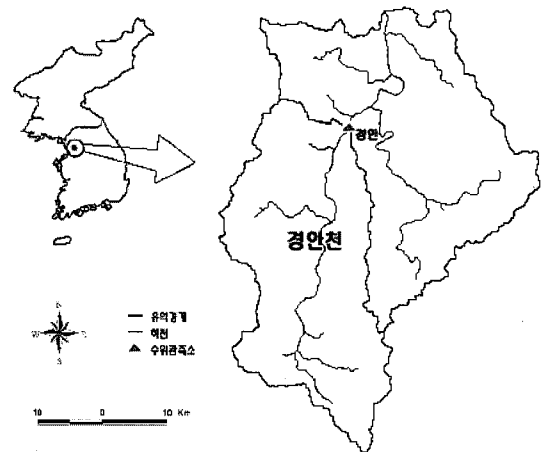


그림 2. 대상 유역

4.2 기상, 수문 자료

강우자료는 한강홍수통제소에서 제공하는 시단위 자료를 사용하였다. 강우자료를 제외한 기상자료는 경안수위관측소에서 동남쪽으로 약 20km 떨어진 이천기상관측소의 일단위 기상자료를 이용하였으며 이천기상관측소에서 제공하지 않는 운량은 경안수위관측소에서 남서쪽으로 약 30km 떨어진 수원기상관측소의 자료를 사용하였다. 기상자료에는 일최고온도, 일최저온도, 이슬점 온도, 풍속이 사용되었으며, 일자료들은 WDMutil 프로그램(Hummel 등, 2001)을 사용하여 시단위로 조정하고

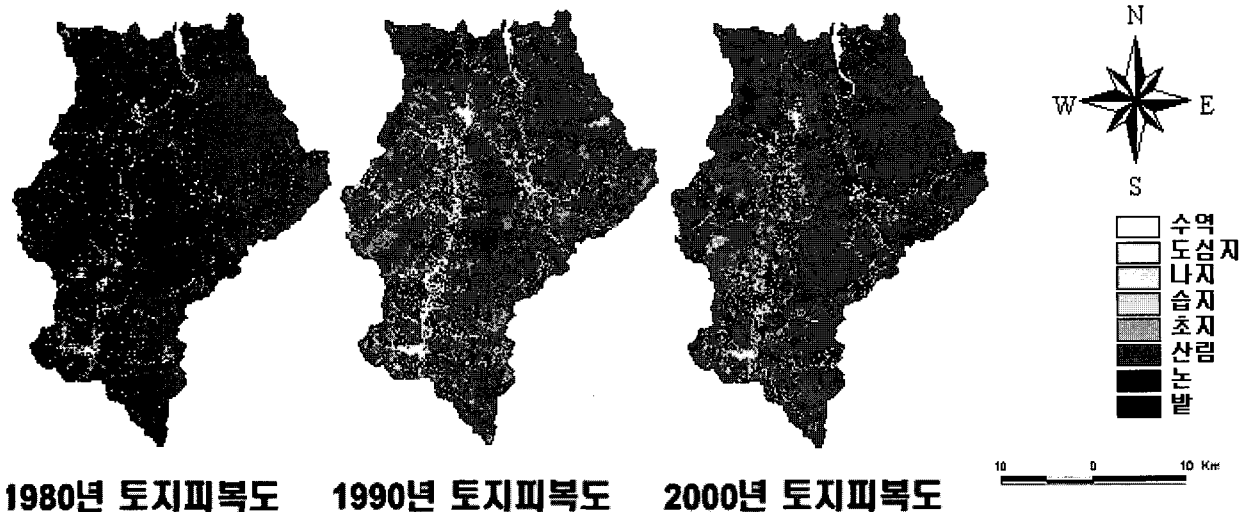


그림 3. 년도별 토지피복도

이를 이용하여 일조량, 증발량, 잠재증발산량을 구하였다. 자료 사용 기간은 1998년 1월부터 2003년 10월까지이다.

수문자료는 한강홍수통제소에서 제공하는 일단위 유량 자료를 사용하였다. 경안천은 하류 지점의 댐 등의 조작으로 갈수시 수문 변화가 미미한 것과 동절기에 결측 자료가 많으므로 모의시에 이러한 상황들을 고려하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 민감도 분석

기존 연구성과(Im 등, 2003, Engelmann 등, 2002, Chew 등, 1991)를 토대로 인자 특성상 민감하다고 생각되는 것들을 선정하여 민감도 분석을 실시하였다. 선정된 인자는 중간수대 명목의 저수량에 대한 인자(Lower zone nominal soil moisture storage : LZSN), 침투인자(Index to infiltration capacity : INFILT)와 지하수의 지체 정도를 나타내는 인자들(Variable groundwater recession : KVARY, Base groundwater recession : AGWRC), 최대/평균 침투능 비율 인자(Ratio of max/mean infiltration capacities : INFILD), 토양수대 명목의 저수량에 대한 인자(Upper zone nominal soil moisture storage : UZSN), 지표류 흐름면에 대한 Manning 계수(Manning's N (roughness)for overland flow : NSUR), 중간 유출 유입인자(Interflow recession parameter : INTFW), 중간 유출 감쇠인자(Interflow recession parameter : IRC)들을 총유출량과 침투유출량을 비교하는 민감도 분석을 실시하였다. 각 인자값에

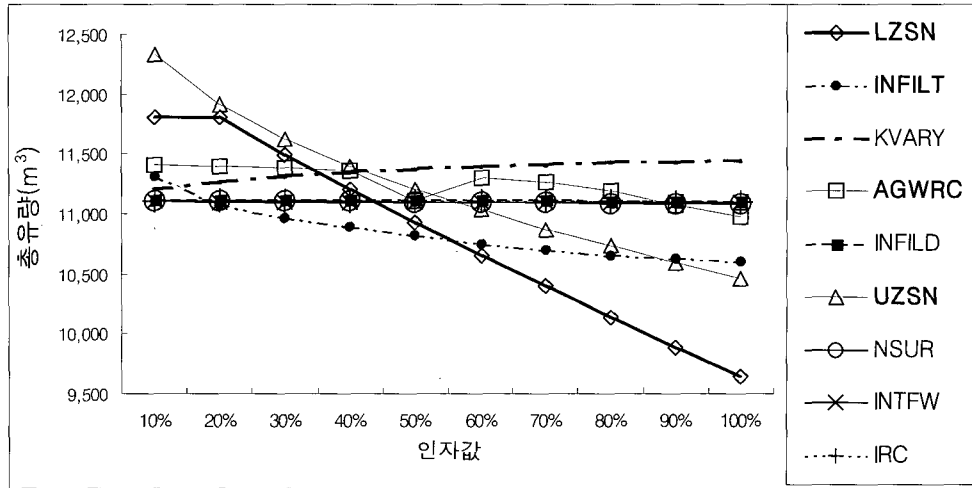
대한 범위를 10%부터 100%로 나누어서 민감도 분석 실시 결과는 그림 4와 같다.

총유출량에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 매개변수는 10%일 때와 100%의 차이가 22.4%이었던 LZSN와 17.9%인 UZSN이었으며, 6.6%인 INFILT와 3.4%인 AGWRC를 제외한 매개변수들은 총유출량에 대해서 1%이하의 미미한 영향을 미쳤다. 하지만, 각 인자들의 총유출량의 값이 아닌 침투유출량 비교결과 387.0%의 감소를 나타낸 INFILT가 가장 큰 영향을 미쳤으며, 29.8%의 INTFW의 영향도 크게 나타났다. 이외의 각 인자들은 감수곡선이나 침투유출량에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으나 INFILD와 NSUR는 2%이하의 차이를 나타내면 영향을 끼치지 못하는 것으로 분석되었다. 민감도 분석에 따라 보정된 매개변수의 값은 표 1과 같다.

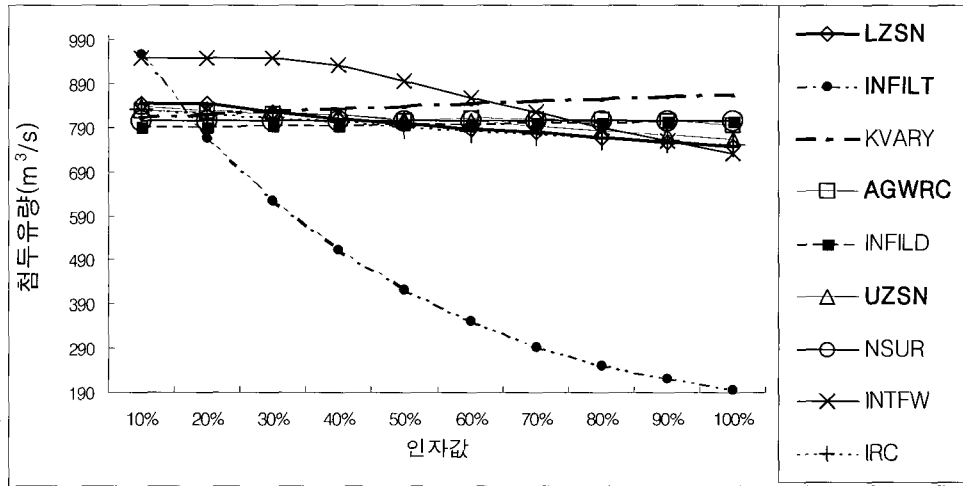
5.2 모형의 보정 및 검증

2000년 토지피복도를 입력하여 민감도 분석 결과를 토대로 인자들을 조정하였다. 보정에 앞서 동절기에 결측된 것으로 보이는 자료가 있으므로 이를 고려하여 유출량을 조정하였다. 우선 LZSN과 UZSN의 두 매개변수를 조정하여 전체적인 수문곡선을 보정하고, 다음으로는 INFILT와 INFILW 그리고 AGWRC, IRC, KVARY 다섯 개의 매개변수들을 조정하여 감수곡선과 평상시 유출량을 보정한 후, 마지막으로 LZSN과 UZSN을 다시 조정하여 침투유출량을 맞추는 방식으로 보정을 실시하였다.

보정 결과는 그림 5와 같다. 상단에 있는 그래프는



(a) 인자값의 변화에 따른 총유량 결과

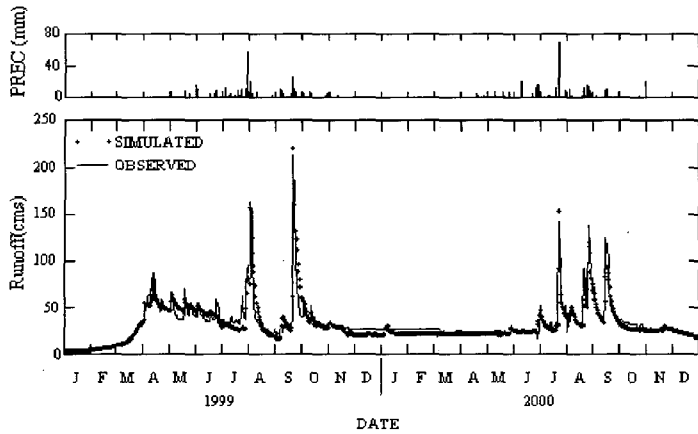


(b) 인자값의 변화에 따른 침두유량 결과

그림 4. 민감도 분석

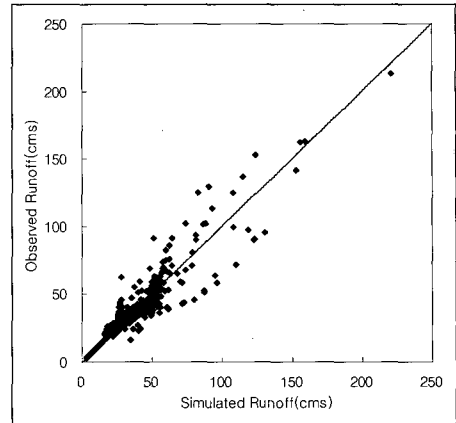
표 1. 유출 매개변수 보정 결과

매개변수	개요	초기치	보정결과	Im 등 (2003)	Moore 등 (1998)	Chew 등 (1991)	Laroche 등 (1996)	Engelmann 등 (2002)	김 등 (2004)
LZSN	Lower zone nominal soil moisture storage(in)	6.0	3.0	4.3-5.8	4.9	5	14.2	5	4
INFILT	Index to infiltration capacity(in/hr)	0.16	0.09-0.3	0.0047-0.075	0.004-0.02	0.05-0.17	0.23	0.04	0.08
AGWRC	Base groundwater recession(day ⁻¹)	0.98	0.9-0.98	0.88-0.91	0.98	0.98	0.99	0.99	0.98
UZSN	Upper zone nominal soil moisture storage(in)	1.128	0.01	0.35-1.0	0.2	0.01-0.06	0.76	0.7	0.15
INTFW	Interflow recession parameter	0.75	3-10	1.0-1.7	1	0.75-1	9.83	0.5	1.28
IRC	Interflow recession parameter(day ⁻¹)	0.5	0.3-0.85	0.3-0.5	0.6	0.6-0.8	0	0.5	0.5

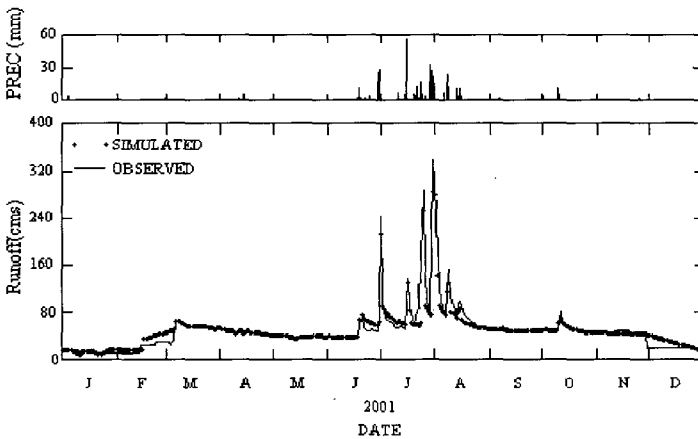


(a) 보정에 따른 유출량 비교

그림 5. 보정 결과

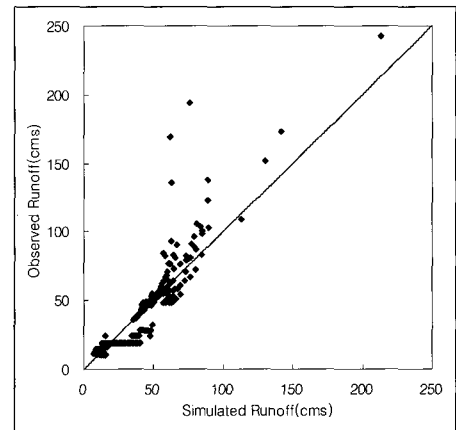


(b) 유출 보정 결과



(a) 검증에 따른 유출량 비교

그림 6. 검증 결과



(b) 유출 검증 결과

모의치와 실측치를 비교한 것이며, 하단 그래프는 모의치와 실측치의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 보정 결과 모델효율(Nash and Sutcliffe, 1970)은 0.86, RMSE는 $7.73\text{m}^3/\text{s}$ 을 나타냈고, 모의치와 실측치가 1:1 직선에 매우 근접하는 것을 알 수 있다.

검증 결과는 그림 6과 같다. 보정 그래프와 마찬가지로 각 상단에 그래프는 모의치와 실측치를 비교한 것이며, 하단 그래프는 모의치와 실측치의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 검증은 2001년과 2003년 두 개년을 실시하였다. 2002년은 관측 자료가 불확실하여 제외하였다. 검증 결과 2001년에 대해서 모델효율은 0.80, RMSE는 $12.89\text{m}^3/\text{s}$ 을 나타냈으며, 2003년에 대해서는 모델효율은 0.79, RMSE는 $9.38\text{m}^3/\text{s}$ 을 나타냈다.

5.3 토지이용변화에 따른 유출량의 변화

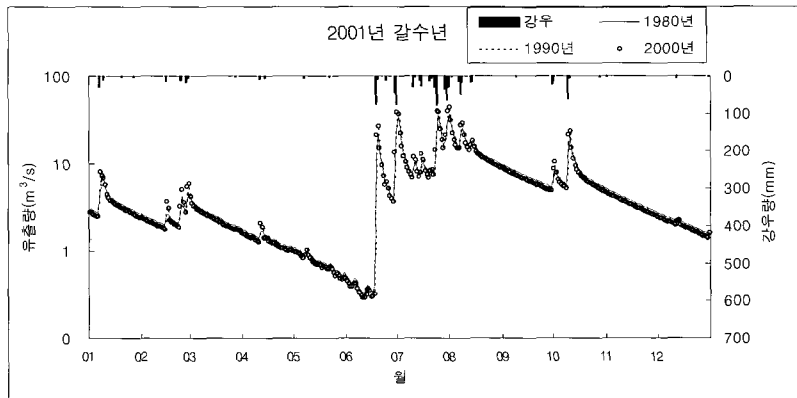
20년 동안에 각 피복 상태에 대한 변화는 표 2와 같

다. 도심지가 6.4km^2 에서 25.7km^2 로 전체면적에 대해 7.5% 증가한 반면에 산림지역은 158.1km^2 에서 143.1km^2 로 전체면적에 대해 5.8%가량 감소한 것을 볼 수 있다.

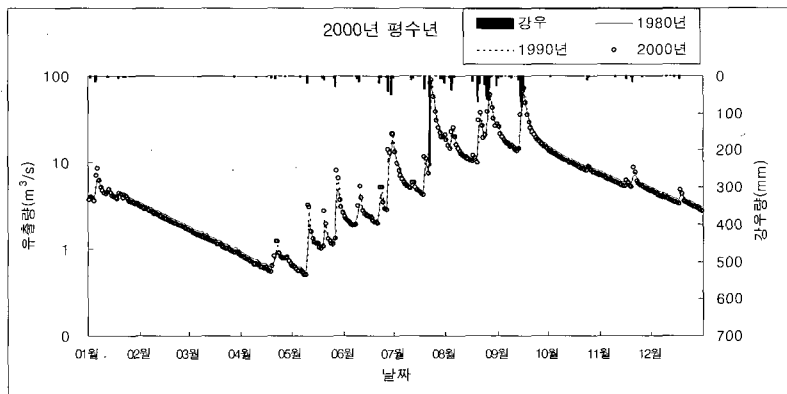
모형에서 다른 입력자료와 매개변수들은 고정시킨 상태에서 년강우량 조건(2000, 2001, 2003년)별로 토지피복 조건(1980, 1990, 2000년)만을 변화시키면서 1년 단위의 유출변화를 모의하고자 하였다. 갈수년인 2001년은 년강수가 871.2mm 이며, 평수년인 2000년은 1257.3mm , 풍수년인 2003년은 1709.4mm 이다. 년강우량에 따른 토지피복조건별 평수년, 갈수년, 풍수년에 대한 모의 결과는 그림 7과 같다. 모의결과, 토지피복조건이 불투수층인 도심지가 증가할수록 강우시의 유출은 증가하고, 평상시의 유출은 감소하는 것으로 모의되었다. 이는 불투수층이 증가하면 강우시에 도심지에서의 침투가 감소하고 지표유출은 증가하기 때문에 하천유출에 기여하는 지표유출량이 증가하기 때문이며, 평상시에는 감

표 2. 토지 피복 변화

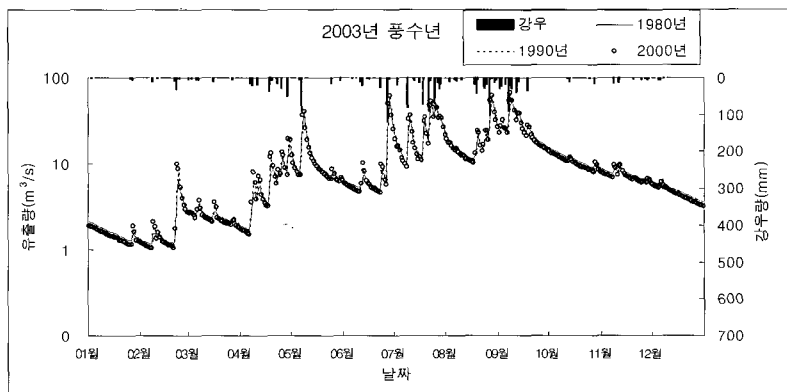
분류	1980년		1990년		2000년	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
수역	0.5	0.2	0.6	0.2	0.5	0.2
도심지	6.4	2.5	13.0	5.0	25.7	10.0
나지	2.1	0.8	7.4	2.9	8.4	3.2
습지	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.8
초지	8.3	3.2	23.5	9.1	27.8	10.8
산림	158.1	61.3	146.8	56.9	143.1	55.5
논	82.5	32.0	66.6	25.8	50.4	19.5
합계	257.9	100	257.9	100	257.9	100



(a) 토지피복 변화에 따른 갈수년시 유출량 비교



(b) 토지피복 변화에 따른 평수년시 유출량 비교



(c) 토지피복 변화에 따른 풍수년시 유출량 비교

그림 7. 토지피복 변화에 따른 강우량별 유출 변화

표 3. 토지피복 조건별 대표년 유출변화 특성분석

(단위 : mm)

토지피복도	1980	1990	2000	비교	1980	1990	2000	비교	1980	1990	2000	비교
강수량(mm)	871.2 ^a				1257.3 ^b				1709.4 ^c			
최대강우강도 (mm/hr)	76.2				241.3				119.4			
총유출량 (mm)	687.8	689.7	691.6	0.6% 증가	1003.8	1007.4	1011.2	0.8% 증가	1328.2	1334.5	1341.3	1.0% 증가
침투유량 (m ³ /sec)	33.9	36.3	37.2	9.7% 증가	80.4	87.3	91.1	13.3% 증가	58.7	61.1	62.8	7.0% 증가
성수기 유출량(mm)	444.4	450.5	456.9	2.8% 증가	692.7	707.8	723.4	4.4% 증가	959.4	969.7	979.7	2.1% 증가
비성수기 유출량(mm)	243.4	239.2	234.7	3.7% 감소	311.2	299.6	287.8	8.1% 감소	368.8	364.8	361.6	1.9% 감소

^a 2001년 강수량, ^b 2000년 강수량, ^c 2003년 강수량

소된 침투량만큼 지표하흐름이 감소하여 궁극적으로는 기저유출이 감소되기 때문이다.

표 3은 그림 7의 모의결과를 정량적으로 파악하기 위하여 조건별 총유출량, 침투유출량, 그리고 성수기와 비성수기의 유출변화량으로 구분하여 정리한 것이다. 총유출량은 갈수년(2001년), 평수년(2000년), 풍수년(2003년)에 따른 결과이며, 침투유량은 각 년도에서 가장 높은 유량을 나타낸 날의 유출량이다. 총유출량은 성수기와 비성수기로 나뉘서 정리하였다. 성수기 총유출량은 각 강우별 5월부터 9월까지의 총유출량이며, 비성수기 총유출량은 1년중 성수기 때를 제외한 나머지 기간의 총유출량을 나타낸다.

1980년부터 2000년까지 20년간 총유출량은 산림의 158.1km²에서 143.1km²로 10.5% 감소와 도심지의 4배 증가에 따라 총유출량은 연강수량이 적은 2001년에는 687.8mm에서 691.6mm로 3.8mm(0.6%) 증가하였고 2000년에는 7.4mm(0.8%), 2003년에는 13.1mm(1.0%) 증가하였다. 침투유량은 2001년에는 3.3m³/s(9.7%), 2000년에는 10.7m³/s(13.3%), 2003년에는 4.1m³/s(7.0%) 증가하였는 바, 강우강도가 높은 2000년에 가장 많이 증가하였다. 성수기에 유출량은 2001년에는 12.5mm(2.8%), 2000년에는 30.7mm(4.4%), 2003년에는 20.3mm(2.1%) 증가하였다. 강우가 성수기에 비해 적은 비성수기에는 도심지등 불투수지역의 증가에 따라 평상시에 기저유출이 감소하여 갈수년(2001)에는 8.7mm(3.7%), 평수년(2000)에는 23.4mm(8.1%), 풍수년(2003)에는 7.2mm(1.9%) 감소하였다. 정리하면 2000년의 강수조건에서 각각 4.4% 증가와 8.1% 감소로 가장 큰 변화를 보였다.

6. 요약 및 결론

본 연구는 경안천 유역에 토지피복 변화에 따른 장기유출 특성을 파악하고자 20년 동안에 3개에 토지피복도를 사용하여 모의를 실시하였다. 도시화에 진행과 산림의 감소에 따른 유출특성에 변화를 확인할 수 있었다. 본 연구에 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 준분포형, 개념적 모형으로써, 광범위한 유역에 수문과 수질을 모의할 수 있는 HSPF 모형을 사용하여 경안천 유역에 토지피복 변화에 따른 장기유출 특성을 확인하였다.
2. 건교부에서 실시한 한강유역기본현황조사에 작성된 토지피복도 3개와 이천기상관측소의 기상자료, 경안천수위관측소에 수문자료를 수집하였다.
3. 민감도 분석 결과 유출량에 있어서 중간수대 명목의 저수량의 대한 인자(LZSN)과 토양수대 명목의 저수량에 대한 인자(UZSN)이 가장 민감하게 나타났으며, 최대/평균 침투능 비율 인자(INFILD)와 지표류 흐름면에 대한 Manning 계수(NSUR)은 침투유량과 감수곡선에 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있었다.
4. 모형을 보정한 결과 모델효율은 0.73, RMSE는 11.8m³/s을 나타냈고, 모의치와 실측치의 상관계수는 0.86을 나타냈고, 검증 결과 모델효율은 0.44, RMSE는 22.9m³/s을 나타냈고, 모의치와 실측치의 상관계수는 0.89을 나타냈다.
5. 토지피복도에 따른 유출량에 특성은 유출량은 도심지의 증가와 산림의 감소에 영향을 받아 전체적으로 증가하는 경향을 보이는 반면, 비성수기의 유출량은 감소하는 경향을 보인다. 그 이유는 비성수기에 유출량은 기저유출에 기인하는데 불투수지역

이 높아질수록 침투량이 작아져 지하수충진량이 작아지면서 기저 유출량이 감소하기 때문이다.

감사의 글

본 연구에서 사용한 토지피복도는 건설교통부에서 실시한 한강유역기본현황조사의 토지피복도를 사용하였으며, 과학기술부 “웹기반 홍수정보 시스템 Prototype 개발” 사업 과제에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

김성준, 박근애, 정인균, 권형중 (2003). “WMS HEC-1 을 이용한 안성천 평택수위관측소 상류유역의 수문 정년변화 분석.” **한국수자원학회논문집**, Vol. 36, pp. 609-621.

김상민, 박승우 (2004). “농촌소유역의 오염부하 추정 을 위한 HSPF 모형의 보정과 검증.” **한국수자원학 회논문집**, pp. 643-651.

김상용, 이무순, 임세욱, 장진희, 하성룡 (2003). “오염 원 변화에 따른 하천수질변화 분석.” **한국지리정보 학회 2003년 춘계학술대회 발표논문집**, pp. 1-7.

박의정, 김철 (2003). “GIS를 이용한 함평천유역의 토 지이용변화에 따른 유출분석.” **한국지리정보학회 2003년 추계학술대회 발표논문집**, pp. 1-9.

이준우 (2002). “WMS HEC-1 모형을 이용한 경안천 유역의 경년 수문변화 분석.” **건국대학교 석사 논문**

Bledsoe, B.P., and Watson, C.C. (2001). “Effects of urbanization on channel instability.” *Journal of the American Water Resources Association* Vol. 37, No. 2, pp. 255-270.

Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kitte, J.L. Jr., Jobs, T.H., and Donigan, A.S., Jr. (2001). “Hydrologic Simulation Program - Fortran (HSPF) User's Manual for Version 12.” *Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, GA*

Brun, S.E., and Band, L.E. (2000). “Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed.” *Computer, Environment and Urban Systems*, Vol. 24, pp. 5-22.

Chew, C.Y., Moore L.W., and Smith R.H. (1991). “Hydrological simulation of tennessee's north reelfoot creek watershed.” *Journal of Water Pollution Control Federation*, Vol. 63, pp. 10-16

Donigan, A.S., Bicknell, B.R., and Linker, L.C. (1995). “Regional assessment of nutrient loadings from agriculture and resulting water quality in the Chesapeake Bay area. International Symposium on Water Quality Modeling.” *ASAE*, pp. 294-302.

Dow, C.L., and DeWalle, D.R. (2000). “Trends in evaporation and bowen ration on urbanizing watersheds in Eastern United States.” *Water Resources Research* Vol. 36, No. 7, pp. 1835-1843.

Engelmann, C.Y., Ward, A.D., Christy A.D., and Bair E.S. (2002). “Application of the BASIN database and NPSM model on a small Ohio watershed.” *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 38, pp. 289-200.

Im, S.J., Brannan, K.M., and Mostaghimi, S. (2003). “Simulating hydrologic and water quality impacts in an urbanizing watershed.” *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 39, pp. 1465-1479.

Hummel, P., Kittle, J.Jr., Gray, M. (2001). “WDMUtil User's Manual.” *Water United States Environmental Protection Agency*

Johnson, M.S., Coon, W.F., Mehta, V.K., Steenhuis, T.S., Brooks, E.S., and Boll, J. (2003). “Application of two hydrologic models with different runoff mechanisms to a hillslope dominated watershed in the northeastern US: a comparison of HSPF and SMR.” *Journal of Hydrology*, Vol. 284, pp. 57-76

Jordan, T.E., Correll, D.L., and Weller, D.E. (1997). “Relating nutrient discharged from watersheds to land use and streamflow variability.” *Water Resources Research* Vol. 33, No. 11, pp. 2579-2590.

Laroche, A.M., Gallichand J., Lagace, R. and Pesant A. (1996). “Simulation Atrazine Transport with HSPF in an Agricultural Watershed.” *Journal of Water Environmental Engineering*, Vol. 22, No. 7, pp.622-630.

Moore, L.W., Matheny, H., Tyree, T., Sabatini, D., and Klaine, S.J. (1988). “Agricultural Runoff Modeling in a Small West Tennessee Watershed.”

- Journal of Water Control Federation*, Vol. 60, pp. 242-249
- Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V. (1970). "River flow forecasting through conceptual models. Part 1: A discussion of principles." *Journal of Hydrology*, Vol. 10, pp. 282-290.
- Trimble, S.W. (1997). "Contribution of stream channel erosion to sediment yield from an urbanizing watershed." *Science* Vol. 278, No. 21, pp. 1442-1444.
- Wicklein, S.M., and Schiffer, D.M. (2002). "Simulation of runoff and water quality for 1990 and 2008 land-use conditions in the Reedy Creek watershed." *East-Central Florida U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 02-4018*, Allahassee, Florida.
- (논문번호:05-03/접수:2005.1.8/심사완료:2005.05.26)