

# 안성천 유역의 도시화 진전에 따른 수문환경 변화

Assessment of Hydrological Impact by Long-Term Land Cover Changes due to  
Urbanization in Ansung River Basin

○장 철 희\* · 장 석 길\*\* · 김 성 준\*\*\*

## 1. 서론

산업발전에 따른 인간의 개발 활동에 의하여 자연적인 토지피복 뿐만 아니라 식생 및 토지이용 형태의 변화를 일으키게 되었다. 개발 목적으로 과거 농경지나 산림지역이 주거지 및 상업지역으로 그 이용이 변화되면서 토양침식의 증가는 물론이고, 불투수층이 증가로 인한 토양 저류능의 감소와 강우로 인한 유출 도달시간의 감소로 인해 폭우에 의한 홍수 및 침수의 피해가 야기된다. 이러한 수문환경 변화를 분석하여 개발의 계획단계에서 적절한 하천의 관리나 개·보수에 대한 대책이 수립되어야 할 것이다.

최근 위성영상을 이용한 원격탐사는 직접적인 현장 조사 없이 간접적으로 지상의 물체에 대한 반사특성을 이용하여 식별하고 그 상태를 조사한다. 이러한 원격탐사를 이용하여 일정한 지역의 다시기 영상을 획득하여 개발에 따른 토지피복이나 경관분석 등에 적용이 가능하다.

성(1996)은 안양천 유역분지에 대하여 1951년과 1991년의 토지이용을 비교한 결과, 도시화로 인하여 농경지는 10%, 산지는 20%가 감소한 것으로 보고하였고, 한(1995) 등은 도시개발사업의 정책이나 계획단계에서 Landsat TM(Thematic Mapper)위성영상과 지리정보시스템을 활용하여 사업대상지를 선정하고, 토지이용 변화를 분석하였으며, 이(1998)는 Landsat MSS(MultiSpectral Scanner) 위성영상으로부터 서울의 산림녹지대를 중심으로 산림경관 패턴의 변화를 분석하였고, 이(2000) 등은 RS(Remote Sensing)와 GIS(Geographic Information System)를 이용하여 안성지역의 오염물질의 거동을 분석하였다.

본 연구에서는 1990년에서 2000년까지 10년 동안의 안성천 유역의 수문환경변화를 비교하고 강우에 의한 유출자료들을 분석하였다.

유출해석을 위한 매개변수들은 WMS(Watershed Modeling System)에서 제공하는 각종 방법들을 사용하여 자동으로 계산하였으며, 홍수유출해석은 TR(Technical Release)-20을 사용하였다. 그리고 단위도의 유도를 위해서는 SCS(U. S. Soil Conservation Service) 무차원단위도법을 사용하였다.

유역의 지형인자를 계산하기 위한 DEM(Digital Elevation Models)으로는 환경부에서 구축한 1초 간격의 DEM을 사용하였고, 이러한 DEM으로부터 GRID 해석을 수행하여 소유역과 하천망을 자동추출 하였다.

SCS CN(Curve Number)값의 산정을 위해서 토양도 및 토지이용도를 이용하였다. 즉 토양도로는 1:50,000의 개략토양도를 사용하였으며, 토지이용도는 위성영상으로부터 얻은 것으로서 4개의 속성등급을 갖는 개략토지이용도를 사용하였다.

대상유역은 경기도 안성시의 안성천 유역으로 하였다. 안성천의 3개의 수위관측소 지점

\* 건국대학교 농공학과 대학원

\*\* 건국대학교 농공학과 조교수

총 최하류에 위치한 평택지점의 상류를 안성천 유역으로 설정하였으며, 7개의 소유역으로 나누어 유출특성에 따른 수문변화를 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 대상지구의 개요

본 연구의 대상지구로는 경기도 안성시의 안성천 유역을 선정하였다. 본 대상지구는 과거 20년 동안의 원격탐사 자료가 확보된 지역으로서, 상당부분의 개발 및 산업발전으로 인한 개발 전후의 토지피복 변화를 분석하고 이를 이용하여 수문환경 변화를 평가하기가 용이한 곳이다. 전체 면적이 약 593km<sup>2</sup>인 안성천 유역은 경기도 안성시를 중심으로 하여 용인시, 평택시, 충청북도 진천군으로 둘러싸여 있다. 그림 1은 안성천 유역의 모식도를 나타낸 것이며, 표 1은 안성천 유역의 수위관측소 좌표이다.

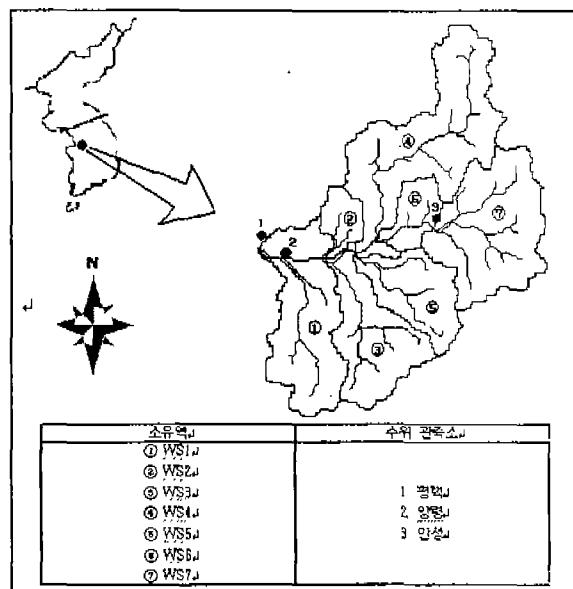


그림 1. 안성천 유역의 모식도

표 1. 안성천유역의 수위관측소 좌표

수위관측소	경위도 좌표	
1. 평택	127° 04' 50"	36° 58' 50"
2. 양령	127° 06' 28"	36° 58' 07"
3. 안성	127° 16' 40"	37° 00' 20"

### 2.2 GIS 공간자료구축

수문유출모형에 사용되는 매개변수 자료는 유역 단위로 구분하여 유역 내에서의 공간적인 변이를 구분하지 않고 하나의 대표 값으로 입력하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 하나

의 단위 유역에서 각각의 매개변수에 대한 공간적 변이를 적절히 고려하여 보다 정확한 입력자료를 산출함으로써 유출해석의 결과에 대한 신뢰도를 높이고자 GIS 공간자료를 유출모형에 적용하였다.

TR-20 모형의 매개변수를 결정하기 위해 필요한 자료는 지형자료, 토지이용자료, 토양자료 등 여러 가지가 있다. 유출모의에 있어서 가장 기본이 되는 유역경계, 하천망, 지형특성인자 등의 자료들은 수치지형자료를 이용하여 산출될 수 있다. 수치고도자료는 환경부에서 구축한 1초 간격의 DEM을 Arc/Info를 사용하여 내삽법에 의해 200m 크기의 격자로 재구성한 자료를 이용하였다. 토지이용 및 식생상태는 1990년 4월과 2000년 5월에 관측된 Landsat-5 TM 영상을 사용하였으며, 토양자료는 1:50,000의 개략토양도를 사용하였다.

### 2.2.1 하천망 및 유역경계의 추출

DEM을 이용하여 유출해석에 필요한 소유역 구분 및 지형특성인자를 추출하는 방법으로는 TIN 해석과 Grid 해석을 들 수 있다. 본 연구에서는 WMS의 DEM 모듈을 이용한 Grid 해석을 이용하였다. Grid 해석을 통해 유역의 수문학적 지형특성인자를 결정하기 위해서는 각 격자의 흐름방향을 결정해야 하며, 이를 위해서는 DEM의 sink, peak 및 flat area의 수정을 거쳐야 한다. 이러한 작업은 ArcView, GRASS 및 TOPAZ 프로그램에 의해서 수행될 수 있다.

WMS에서는 각 격자의 흐름방향이 결정되면 격자별로 흐름누적수를 계산하며, 격자크기별 정정 최소흐름누적수에 따른 하천망을 추출할 수 있다. 또한, WMS는 임의 유역출구를 설정하면 그 출구의 상류유역에서의 하천망 및 유역경계를 DEM 모듈에서 자동으로 추출할 수 있다. 적정 최소흐름누적수를 이용하여 추출된 최종적인 하천망과 유역경계가 결정된 후 이 유역을 소유역으로 나누고자 할 경우는 유역의 수위관측소와 가장 근접한 하천망의 Vertex를 Node로 변환시키고 이 Node를 다시 유역출구(Outlet)으로 변환시켜서 유역구분을 다시 실시하면 된다.

### 2.2.2 지형인자의 추출

본 연구에서 선정한 WMS 모형에서는 수치고도자료(DEM)를 이용하여 하천망을 추출함으로써 여러 가지 방법으로 소유역을 구분할 수 있으며, 구분된 유역의 지형인자는 자동으로 계산된다. 본 연구에는 환경부에서 구축한 1초 간격의 DEM을 재구성하여 제작한 200m 간격의 DEM을 이용하였으며, 지형인자 추출을 위한 방법으로는 WMS에서 제공되는 Grid 해석을 이용하여 수행하였다.

유역의 홍수유출해석을 위해서는 유역에 대한 지형특성 값이 필요하다. WMS에서는 각종 지형인자를 자동으로 계산해 주며, 계산된 지형인자는 TR-20 모형을 이용한 유출해석시의 변수로 입력된다.

### 2.2.3 토양 및 토지이용 자료의 구축

위성영상 및 수치지도자료를 이용하여 홍수유출모의를 위한 여러 가지 매개변수에 대한 공간자료가 구축되었지만, 사용하고자 하는 유출모형에 따라 요구되는 입력자료의 구체적인 포맷은 다양하다. 따라서 본 연구에서 사용되는 토양도 및 토지이용도 또한 WMS에서 지원되는

자료형태로 변환되어야 하는 데, WMS에서 지원하는 대표적인 GIS 자료형태는 현재 비교적 널리 사용되고 있는 Arc/Info 자료형이다. 본 연구에서는 Landsat TM 위성영상자료를 처리하여 제작한 안성천 유역의 토지이용도를 사용하였다. 또한 토양레이어의 경우 개량토양도(1:50,000)를 Arc/Info를 이용하여 WMS에서 직접 이용될 수 있는 shape 파일(.shp) 형태로 변환시킨 것을 사용하였다.

#### 2.2.3.1 토양레이어의 구축

WMS에서는 형성된 유역 위에 토양레이어 및 토지이용레이어를 층첩하여 소유역 별 CN값을 산정한다. 따라서 CN값을 계산하기 위해서는 SCS에서 제공하고 있는 수문학적 토양군 A, B, C, D의 속성을 갖고 있는 토양레이어와 SCS의 토지이용도표의 속성을 갖고 있는 토지이용레이어가 필요하다.

본 연구에서는 농촌진흥청의 개량토양도(1:50,000)를 선정하여 유출모의에 필요한 토양레이어를 구축하였다.

#### 2.2.3.2 토지이용레이어의 구축

토지이용레이어는 토양레이어와 함께 SCS의 CN값에 의한 유효강우량 산정시 기본 자료로 사용되고 있으며, 본 연구에서는 1990년 4월과 2000년 5월에 Landsat-5 TM에 의하여 관측된 Path 116/Row 34의 영상을 사용하여 토지이용레이어를 구축하였다.

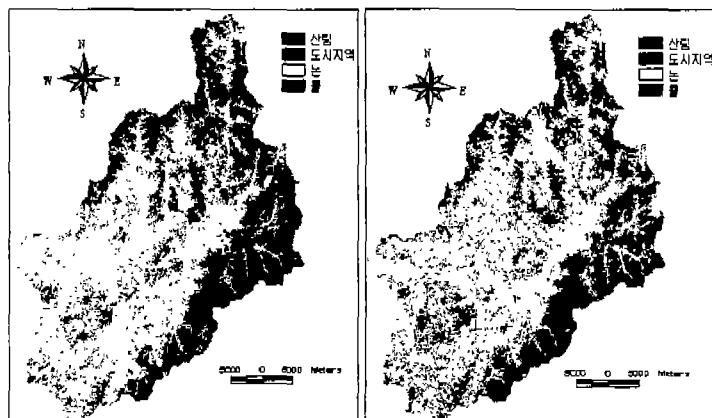


그림 2. 1990년과 2000년 토지피복분류 결과

분류결과에 관한 검증을 위해서 분류 결과와 검증지역 간의 Error Matrix를 작성하였고, 그 결과는 표 2와 같다.

표 2. Error Matrix

	산림	도시지역	농	물	계
산림	63	0	1	6	70
도시지역	0	26	2	1	29
농	4	1	102	7	114
물	0	0	0	13	13
계	67	27	105	27	226

\*Overall Accuracy(1990년) : 90.27%

	산림	도시지역	농	물	계
산림	106	0	0	3	109
도시지역	0	58	5	2	65
농	13	3	113	26	155
물	0	0	1	36	37
계	119	61	119	67	336

\*Overall Accuracy(2000년) : 85.52%

### 2.3 수문환경 변화 분석

인간의 개발활동에 의한 도시화로 인하여 유역내의 토지이용이 변화하고, 주택지 등과 같은 불특수층이 증가하게 되며, 지형의 경사도가 달라지게 된다. 개발전후의 토지이용이나 지형변화는 홍수 시에 발생하는 첨두유량이나 총 유출량의 변화를 가져오게 된다. 그러므로 이러한 토지이용이나 지형 요소의 변화를 예측하여 이에 수반되는 수문환경의 변화정도를 계량화할 필요가 있다.

본 연구에서의 시범유역으로 채택한 안성천 유역의 홍수유출해석을 위하여 신뢰도, 적합도, 호환성, 및 적용사례 등의 기준으로 판단한 결과 WMS(Watershed Modeling System)v6.0을 선정하였다.

본 연구에서는 개발전후의 수문환경변화를 분석하기 위해서 WMS모형의 TR-20을 이용하여 첨두유량과 첨두유출시간을 추정하였다.

#### 2.3.1 강우사상

본 연구에서는 소유역에 대하여 1시간 동안 100mm의 강우가 발생하였을 경우에 대해서 모의를 하였으며, 합성단위도의 유도를 위하여 SCS 무차원 단위 수문곡선법을 사용하였다. 이 SCS 방법은 미국토양보존국(U. S. Soil Conservation Service : SCS)에 의해 합성단위유량도를 작성하기 위해서 고안된 방법으로서 기 작성된 무차원단위도의 이용에 근거를 두고 있다. 이 무차원 수문곡선은 미국 내 여러 지방의 대소 유역으로부터 얻은 실제의 단위도를 해석하여 얻은 것이므로 유역의 특성에 별 관계없이 적용할 수 있는 장점이 있다.

#### 2.3.2 CN 값의 산정

GIS를 이용하여 CN값을 산정 할 때 필요로 하는 자료로서 토양도, 토지이용도 및 지형자료 등이 있다. 즉 CN값의 산정에 있어서 토양의 종류, 토지이용상태, 식생피복의 처리상태 및 토양의 수문학적 조건 등은 중요한 인자가 된다. SCS는 토양을 침투능을 기준으로 4개의 토양군으로 분류하고 있다.

또한, GIS를 이용할 경우에는 지형인자에 의해서 단위도 계산에 대한 매개변수가 결정된다. 단위도법의 매개변수를 계산하기 위한 공식으로는 여러 가지가 있으나 특정지역에 국한되지 않고, 일반적으로 알려져 있는 공식 중 WMS에서 지원이 가능한 것을 선택하였다. 본 연구에서는 도달시간(Time of Concentration)이 유출해석에 있어 중요한 매개변수가 되므로, 도달시간의 계산에 있어 WMS에서 제공하는 도달시간 계산공식인 Kirpich의 공식을 채택하였다. Kirpich의 공식은 다음과 같다.

$$T_c = C_t \frac{0.00013 L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (1)$$

여기서,

$T_c$  : 도달시간(hrs),  $L$  : 지표유출의 연장(m),  $S$  : 평균지표경사(m/m)

$C_t$  : 도달시간 계수(Time of Concentration Coefficient);  $C_t = \{1.0 + (80 - CN) \times 0.04\}$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 토지이용변화

본 연구에서는 다음의 표와 같이 안성천 유역을 7개의 소유역으로 나누어서 토지이용을 분석하고 홍수유출량을 추정하였다. 토지이용에 있어서는 그림에서 보는 바와 같이 1990년에 비하여 2000년에는 도시지역이 증가하였음을 알 수 있으며, 변화량은 비율로 나타나는 바와 같이 제 5유역에서 가장 큰 변화를 보이고 있다.

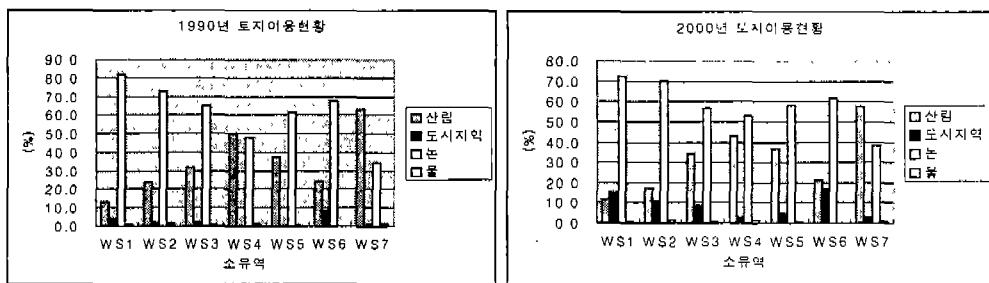


그림 3. 각 소유역별 토지이용의 변화

#### 3.2 CN(유출곡선번호, Curve Number)과 TC(도달시간, Time of Concentration)의 비교

1990년과 2000년의 안성천 유역의 토지이용변화에 따른 유출곡선번호(CN, Curve Number)와 도달시간(TC, Time of Concentration)을 산정 한 결과, CN은 평균적으로 0.5정도 증가하였으며, TC는 0.0~0.2(hr)의 감소를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이는 유출에 대한 잠재능이 증가하여 홍수유출량이 증가하는 것을 의미한다.

#### 3.3 홍수량의 비교

표 7은 소유역에 대하여 100mm의 강우가 발생하였을 경우의 첨두유량 및 첨두유출시간을 보여주고 있다. 표 7에서와 같이 1990년부터 2000년까지 10년 동안의 도시화에 따른 첨두유출 시간은 평균 3.1%정도 짧아졌으며, 첨두유량은 평균 10.77% 증가한 것으로 나타났다. 따라서 이 유역에 집중호우가 내릴 경우 위협이 따르고 있음을 알 수 있다.

표 3. 도시화에 따른 수문인자의 비교

소유역	1990년		2000년	
	CN	TC(hr)	CN	TC(hr)
WS1	76.9	7.2	77.5	7.0
WS2	76.1	1.8	76.2	1.8
WS3	72.8	3.0	73.3	2.8
WS4	70.3	6.6	70.9	6.5
WS5	78.1	2.0	79.2	1.9
WS6	74.4	1.1	74.8	1.1
WS7	72.5	2.9	72.9	2.8
Average	73.6	6.6	74.1	3.2

표 4. 도시화에 따른 홍수량의 변화

소유역	1990년		2000년	
	첨두유출 시간(hr)	첨두유량 (m/sec)	첨두유출 시간(hr)	첨두유량 (m/sec)
WS1	11.9	7.7	11.2	8.5
WS2	8.1	1.4	8.1	1.4
WS3	8.7	2.9	8.6	3.3
WS4	8.5	2.1	7.9	2.8
WS5	8.2	5.5	7.8	6.4
WS6	7.7	1.4	7.7	1.5
WS7	8.7	4.1	8.5	4.5

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 GIS 및 RS 활용기술을 이용하여 안성천 유역의 도시화에 따른 지형 및 토지이용변화를 평가하였으며, 이로부터 수문환경, 즉 유출곡선번호(CN)와 도달시간(TC), 첨두유출시간과 첨두유량의 변화를 비교·분석하였다. 지금까지의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 안성천 유역을 대상유역으로 선정하여 환경부에서 구축한 1초 간격의 DEM으로부터 하천수계망과 유역경계를 자동 추출하였으며, 개략토양도(1:50,000)를 이용하여 수문학적 토양군으로 재분류하였다.
- (2) 1990년 4월과 2000년 5월의 LANDSAT 5 TM 영상을 취득하여 기하보정을 실시한 후, 토지피복분석을 수행하였다.
- (3) GIS 공간자료와 위성영상 자료를 이용하여 토지이용 변화를 평가하고, 안성천 유역의 도시화에 따른 수문환경 변화를 고찰하였다.
- (4) WMS 모형의 TR-20을 이용하여 대상유역의 7개 소유역에 대한 첨두유출시간과 첨두유량을 산정 한 결과, 첨두유출시간(hr)은 평균 3.1% 짧아졌으며, 첨두유량은 평균 10.77%가 증가하였다.

#### 참고문헌

1. 최윤석. (1999). GIS를 응용한 홍수유출해석에 관한 연구. 석사학위논문. 인하대학교
2. 김상현, 한건연. (1996). “지리정보시스템을 이용한 유역에서의 지형지수 산정”. 한국수자원학회지, Vol. 29(4), pp.115-124.
3. 윤용남. (1998). 공업수문학. 청문각
4. 이규성. (1999). “홍수재해관리를 위한 위성영상자료의 현황과 전망”. 한국수자원학회지, Vol. 32(3), pp.20-29.
5. 한국수자원공사. (1997). 경인운하의 안정적 주운을 위한 수리·수문학적 분석연구 보고서
6. 함창학. (1996). “지리정보시스템을 이용한 수문지형정보 추출에 관한 기초적 연구”. 박사학위논문. 충북대학교.
7. 임상준, 박승우, 구지희. (2000). “GIS와 위성영상을 이용한 신도시의 수문환경 평가”. 한국농촌계획학회지(2000.11.28). pp.166-173
8. BOSS Int'l Inc., 1999, WMS : Watershed Modeling System, User's Manual.