

# GIS와 RS를 활용한 수문인자 추출에 관한 연구

\*김지은, ☆이근상, \*\*장영률

(순천청암대학교 지리정보기술연구소, 지리정보기술연구소 소장)

## 1. 서론

우리나라의 수문 특성은 비교적 건기와 우기의 구분이 확실하고 장마기를 전후하여 강우가 집중되는 현상이 현저하다. 또한 도시화의 영향으로 인한 표면저류의 감소와 배수시설의 확대에 의한 유하시간의 감소로 하류에서 침투유량에 도달하는 시간이 줄어들어 비슷한 호우사상에도 상대적으로 큰 피해가 발생하고 있다.(김덕화, 1996) 따라서, 이러한 피해를 최소화하고 효율적인 유역관리를 위해서는 유역과 관련된 지형적, 수문학적 특성들을 신속하고 정확하게 추출하는 것이 요구되나, 현재까지는 이러한 수문인자들을 수작업이나 간단한 연산과정을 거쳐 추출하고 있어 데이터에 대한 신뢰성이 저하되고 데이터 생성에도 많은 시간이 소요되고 있는 실정이다.(함창학, 1996)

본 연구에서는 유역내의 지형학적 인자들만을 추출해 오던 기존의 연구에 덧붙여 SCS CN값, 지체시간, Muskingum K 그리고 소유역의 수 등과 같은 수문 모형에 필요한 수문인자들까지도 최근 부각되고 있는 GIS와 원격탐사(Remote Sensing) 기법을 이용하여 정확하고 객관적으로 추출하는 알고리즘을 소개하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 SCS 유출곡선번호(CN) 산정

한 유역에 내린 총강우량 중 직접유출은 유역의 토양 특성에 좌우된다. SCS는 토양의 유출특성을 결정하는 기후, 경사, 생물학적 활동, 구성물질 등과 같은 인자들의 영향을 반영하는 토양형과 토지이용을 고려하여 침투능의 서술적인 지수로서 토양을 A, B, C, D의 4개 수문학적 토양군(hydrologic soil group)으로 분류하였다. 수문학적 토양군과 함께 지면피복상태를 나타내는 토지이용 상태를 알면 이에 대한 CN값을 구할 수 있다.

### 2.2 Muskingum 하도추적법

일반적으로 저류량과 유량과의 사이에는 다음과 같은 관계식으로 표현된다.

$$S = \frac{b}{a} [XI^{\frac{m}{n}} + (1-X)O^{\frac{m}{n}}] \dots(1)$$

Mc Carthy(1938)는 Muskingum 유역의 홍수 추적을 실시하기 위하여  $\frac{m}{n} = 1$ ,  $\frac{b}{a} = K$ 로 가정하여 식 (2)를 다음과 같이 재정리하였다.

$$S = K[XI + (1-X)O] \dots(2)$$

K는 저류계수라고 하며, 저류량과 유량과의 비를 나타내 주는 상수로서 시간의 단위를 갖고 있다. 식(2)에 의한 방법을 Muskingum 방법이라고 한다. X의 값은  $0 < X < 0.5$ 의 범위를 가지며 보통 0.25에 접근할 때가 많다.(윤태훈, 1997)

### 2.3 원격탐사를 활용한 토지피복분류

본 연구에서는 토지피복분류를 위해 감독분류기법 중 최대우도법을 이용하여 었다. 이 알고리즘은 영상의 각각의 픽셀값에 대하여 등급에 따라 특성벡터들에 대해서 분류될 확률을 구한후에 가장 큰 확률값을 가지는 등급으로 픽셀값들을 분류하는 방식이다. 즉 처리하고자 하는 픽셀 x가 등급 k에 속할 확률  $P_k(x)$ 라고 할때 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.(전성우, 1999)

$$\begin{aligned} P_k(x) &= -\frac{1}{2}(x - M_i)^T COV_i^{-1}(x - M_i) \\ &= -\frac{d}{2} \log(2\pi) - \frac{1}{2} \log(|COV_i|) + \log(C_i) \end{aligned}$$

### 2.4 강제배수 알고리즘

배수강제 알고리즘은 입력과정 중 공간데이터를 함물로 지정하지 않았음에도 불구하고 출력 DEM에서 생성되는 함물을 제거하는데 목적을 두고 있다. 배수강제 알고리즘의 핵심은 데이터 보간 과정에서 발생하는 각각의 함물은 최소한 하나 이상의 안부점을 포함하고 있는 유역 분수계로 둘러싸여져 있다는 것을 인식하는 것이며 이 과정을 통해 유역추출에 효과적인 DEM 자료를 생성할 수 있게 된다.(Hutchinson, M. F. and T. I. Dowling, 1991)

## 3. 수문인자 추출

### 3.1 유역추출 알고리즘

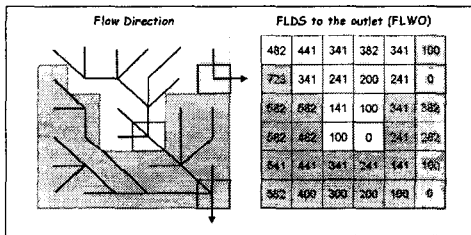
강제배수 알고리즘으로 보간된 수치표고모델(DEM)로부터 유역추출 알고리즘

을 이용하여 유역 경계를 추출하였다.(Ferdinand Leberect Hellweger and David Maidment, 1997)

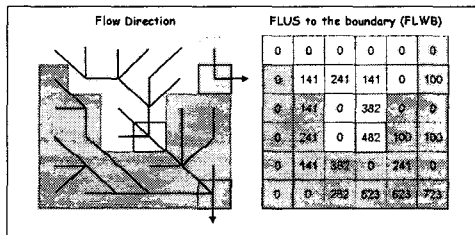
### 3.2 유역관련 수문인자 추출

#### 1) 유역길이 및 유역길이 경사

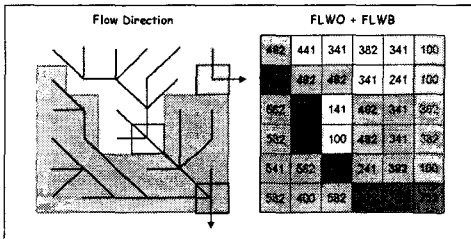
유역길이는 유역의 유출구에서 주수로로 따라 유역의 분수령까지의 거리로 정의되며, 유역의 유출구로부터 유역 경계선까지의 하류방향 흐름의 길이인 FLWO(flow length downstream to the watershed outlet)와 유역경계까지의 상류방향 흐름의 길이인(FLWB: flow length upstream to the watershed boundary)의 합으로 정의된다. <그림1>, <그림2>, <그림3> 그리고 <그림4>는 각각 FLWO, FLWB, 유역길이 그리고 유역길이 경사 추출 모형을 나타낸다.



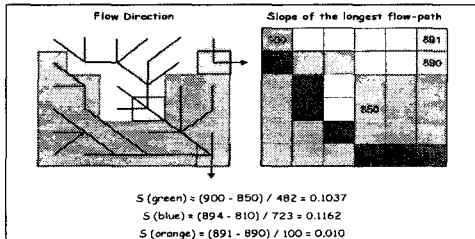
<그림1> FLWO 모형도



<그림2> FLWB 모형도



<그림3> 유역길이 추출 모형



<그림4> 유역길이 경사 추출모형

#### 2) SCS 유출곡선번호(CN)

유출곡선번호(CN)를 갖는 격자는 Anderson의 토지이용코드에 의한 토지이용 데이터를 이용하여 계산되어지며 STATS 토양 데이터에 따라 각각의 수문토양 그룹(A, B, C, D)을 %로 계산한다. 유역의 평균 SCS 유출곡선번호(CN)의 계산은 식 (3)과 같다.(윤태훈, 1997)

$$\text{유역평균 } CN = \frac{\sum A_i \cdot CN_i}{\sum A_i} \dots (3)$$

### 3) 지체시간

소유역 지체시간은 SCS공식으로 계산되어지며 식 (4)과 같다. (이근상, 2000; Ferdinand Leberect Hellweger and David Maidment, 1997)

$$t_p = \frac{L_w^{0.8} [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{31.67 S^{0.5}} \dots (4)$$

## 3.3 하천관련 수문인자 추출

### 1) Muskingum K

임의의 소유역을 흐르는 하천흐름시간( $L_s/V_s$ )은 소유역 크기에 따라 달라지게 되나 본 연구에서는 중분류 체계의 유역을 기준으로 하고 있으므로 일반적인 흐름분석시간( $\Delta t$ )인 1시간보다는 크게 된다. Muskingum K는 식 (5)를 이용하여 산정한다.(Ferdinand Leberect Hellweger and David Maidment, 1997)

$$K = \frac{L_s}{3600 V_s} \dots (5)$$

### 2) 소하천의 수(n)

Muskingum기법을 사용시 수치적 불완전을 피하기 위해, 긴 하천들은 동일한 길이를 갖는 소하천으로 분류되며 그들 각각에 대한 흐름시간은  $k/3 < \Delta t < k$  조건을 만족하게 된다. 소하천의 수(n)는 식 (6)과 같다.(Ferdinand Leberect Hellweger and David Maidment, 1997)

$$n = \text{int} \left( \frac{L}{3\Delta t v} \right) + 1 \dots (6)$$

## 4. 적용 및 고찰

### 4.1 연구대상지역

본 연구의 대상지역으로는 섬진강 유역 중상류지역으로 대략적인 경위도 좌표는 동경  $126^\circ 36' \sim 127^\circ 48'$ , 북위  $35^\circ 00' \sim 35^\circ 52'$  이다.

## 4.2 데이터베이스 구축

본 연구를 수행하기 위해 구축한 데이터베이스는 <표1>과 같다.

<표1> 데이터베이스 구축

데이터형태	데이터 내용
DEM	셀크기( 1" × 1" )
토지피복도	Landsat TM 영상( 30m×30m)
수계망도	1/250,000 수계망도
토 양 도	1/50,000 개략토양도

## 4.3 유역경계 및 하천 추출

DEM과 수계망도로부터 강제배수 알고리즘을 이용하여 유역경계 추출에 적합한 DEM을 생성하였다. 강제배수 알고리즘으로 보간된 DEM으로부터 8방향 물의 흐름을 분석하여 흐름방향도를 생성하게 되며 흐름방향도로부터 임의의 셀로 유입되는 상류방향의 셀을 계산하여 흐름누적도를 생성하였다. 흐름누적도에 경계값 15000을 적용하여 유역에 영향을 미치는 하천을 추출하였고 유출구로부터 주위셀의 경사를 역추적하여 유역을 추출하였다. 본 연구에서는 섬진강 유역 내 섬진강 본류와 보성강이 만나는 전남 구례군 압록을 유출구로하여 이곳에 영향을 미치는 최종유역 경계를 추출하였다.

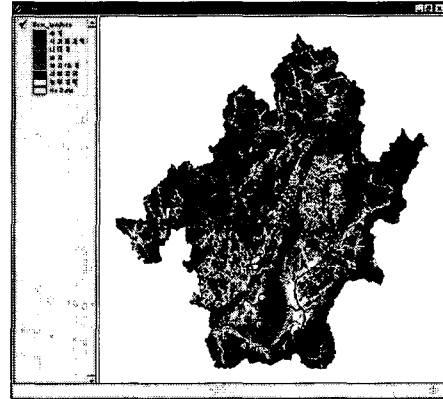
## 4.4 SCS 유출곡선번호(CN) 추출

### 1) 토지피복도 생성

연구대상지역의 Landsat TM영상에서 최대우도법(Maximum Likelihood Method) 영상분류( Image Classification)를 수행하여 토지피복도를 추출하였으며 실제좌표로의 위치보정을 위해 GCP (Ground Control Point) 작업을 수행하였다. GCP작업을 수행한 토지피복도는 토양도와의 분석을 위해 격자형으로 변환하였다. <표2>는 대상유역내의 토지피복 현황을 셀수와 백분율(%)로 나타낸 것이며, <그림5>는 토지피복도를 나타내고 있다.

〈표2〉 토지피복 분포

토지이용	셀수	백분율(%)
수계	51,926	1.702
시가화지역	31,547	1.034
나대지	19,800	0.649
습지	104	0.001
녹지/초지	146,791	4.811
산림지역	2,291,012	75.094
농업지역	509,758	16.709
합 계	3,050,938	100.00



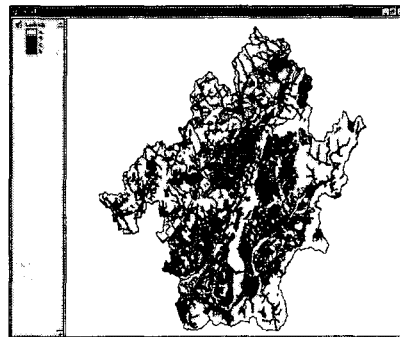
〈그림5〉 토지피복도

### 2) SCS 수문학적 토양도 생성

SCS 수문학적 토양군은 먼저 1/50,000 개략 토양도를 디지털링하여 벡터형태의 토양도를 구축한 후 토양구성형태나 배수상태에 따라 SCS 수문학적 토양군인 A, B, C, D로 분류하였다. <표3>은 유역내의 SCS 수문학적 토양군 분포현황을 셀수와 백분율(%)로 나타낸 것이며, <그림6>은 SCS 수문학적 토양도를 보여주고 있다.

〈표3〉 SCS 수문학적 토양군 분포

토양도	셀수	백분율(%)
A 형	1,719,334	56.354
B 형	636,056	20.848
C 형	247,971	8.128
D 형	447,577	14.670
합 계	3,050,938	100.000



〈그림 6〉 SCS 수문학적 토양도

### 3) SCS CN값 추출

SCS CN값을 추출하기 위해 Landsat TM 영상에서 추출한 토지피복도와 1/50,000 개략 토양도에서 추출한 SCS 수문학적 토양도에 대해 격자 중첩 분석을 수행하였다. 중첩한 격자데이터를 비교·분석하여 토지피복도와 토양도간의 점유면적 비율을 산정함으로써 SCS CN값을 추출하였다.

#### 4.5 유역관련 수문인자 추출

연구대상지에 대한 유역면적, 유역길이, 유역길이 경사값, SCS CN값 그리고 유역별 지체시간은 아래 표와 같다.

〈표4〉 유역 면적

유역명	면적(km <sup>2</sup> )
A 유역	549.34
B 유역	187.61
C 유역	259.27
D 유역	372.70
E 유역	485.22
F 유역	424.62
G 유역	194.44
합계	996.220

〈표5〉 유역길이 및 유역길이 경사

유역명	유역길이(km)	경사(%)
A 유역	77.598	0.8
B 유역	43.354	0.61
C 유역	38.140	1.23
D 유역	44.774	1.21
E 유역	61.512	1.4
F 유역	38.647	0.76
G 유역	28.425	1.74

〈표6〉 유역별 평균 SCS CN값

유역명	SCS CN값
A 유역	49.0613
B 유역	48.6693
C 유역	52.0865
D 유역	56.2171
E 유역	50.0243
F 유역	58.5798
G 유역	50.2572

〈표7〉 지체시간( $t_p$ )

유역명	지체시간(분)
A 유역	4091.75
B 유역	2970.92
C 유역	1731.19
D 유역	1787.99
E 유역	2506.21
F 유역	1889.44
G 유역	1205.09

#### 4.6 하천 인자 추출

유역별 주하천 길이, Muskingum K 그리고 소하천의 수는 아래 표와 같다.

〈표8〉 주하천 길이(km)

유역명	주하천길이(km)
A 유역	55.478
B 유역	10.920
C 유역	30.146
D 유역	20.590
E 유역	35.210
F 유역	28.235
G 유역	17.040

〈표9〉 Muskingum K(hr)

유역명	Muskingum K(hr)
A 유역	15.4107
B 유역	3.0335
C 유역	8.3740
D 유역	5.7197
E 유역	9.7807
F 유역	7.8431
G 유역	4.7336

〈표10〉 소하천의 수(n)

유역명	소하천의 수(n)
A 유역	7
B 유역	2
C 유역	4
D 유역	3
E 유역	4
F 유역	4
G 유역	2

## 5. 결론

본 연구는 GIS와 RS를 활용한 유역내 수문인자 추출에 관한 연구로서 전남 구례군 압록을 유출구로 가정한 섬진강 유역에 적용하여 다음의 결과를 얻었다.

첫째, 배수강제 알고리즘으로 보간한 DEM 데이터로부터 유역추출 알고리즘을 이용하여 유역경계 및 하천을 효과적으로 추출할 수 있는 기법을 제시하였다.

둘째, 추출한 유역경계와 하천에 대해 격자연산을 수행하여 유역길이 및 유역경사 등과 같은 지형관련 수문인자들을 추출할 수 있었다.

셋째, 토지피복도는 1999년 3월에 촬영한 LANDSAT TM 영상에서 최대우도법을 이용하여 분류하였으며 토양도와의 중첩을 통해 점유면적비율을 분석함으로써 유역평균 SCS 유출곡선번호(CN)를 추출할 수 있었다.

넷째, 추출한 지형인자와 유역평균 SCS 유출곡선번호(CN)에 대해 연산을 수행하여 하도 추적인자인 Muskingum K, 지체시간( $t_b$ ) 그리고 소하천의 수(n)와 같은 수문관련 인자들을 추출할 수 있었다.

마지막으로 수문인자 추출에 이용된 각종 연산식은 주로 GIS에 활용할 목적으로 지형인자와 기타 수문인자가 결합된 형태로 미국에서 개발되었는데, 이러한 식을 우리나라에 적용하여 실무에 사용하기 위해서는 먼저 우리나라 지형에 맞는 수문인자의 정립이 필요하고 대상유역을 선정하여 정확한 실험 분석을 통해 우리나라에 적합한 연산식을 제시하는 것이 선행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

김덕화, "도시유역에서의 하도추적방법에 따른 유출량 변화에 관한 연구", 연세대학교 대학원 석사논문, pp. 23~34, 1996.

윤태훈, "응용수문학", 청문각, pp. 449~454, pp. 561~565, 1997

이근상, 채효석, 박정남, 조기성, "GIS를 이용한 수문모형 입력매개변수 추출에 관한 연구", 한국지형공간정보학회지, 2000. 6

전성우, "인공위성영상자료를 이용한 토지피복분류", 환경부 보고서, 1999. 11

함창학, "GIS를 이용한 수문지형정보추출에 관한 기초적 연구", 충북대학교 대학원 박사논문, 1996. 2

Ferdinand Leberect Hellweger and David Maidment, "A GIS Pre-processor for Lumped Parameter Hydrologic Modeling Program", CRWR Online Report 97-8, 1997



Garbrecht, E. J., L. W. Martz, "Digital landscape parameterization for hydrological application in Application of GIS in Hydrology and Water Resource Management" : Proceeding of HydroGIS '96 Conference held in Vienna, pp. 169~173, 1996

Hutchinson. M. F. and T. I. Dowling, "A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia", Hydrological Processes, pp. 45~58, 1991

Jenson S. K., Dominique J. O., "Extracting Topographic Structure from DEM for Analysis", PE & RS, vol. 54, 1988

Peter Neil, Hynd Smith and David Maidment, "Hydrologic Data Development System", CRWR online Report 95-1, pp.57~75, 1995

Peucker T. K., Douglas D. H., Detection of surface specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data, Comput. Graph. Image Proc., vol. 4, 1975