

위성영상을 이용한 유출곡선번호의 추정

SCS Curve Number Estimations from the Satellite Image

박 회 성* (한국건설기술연구원) · 박 승 우 (서울대)

Park, Hee Seong · Park, Seung Woo

Abstract

In order to assess the estimations of CN for a small agricultural watershed using the satellite image, TM image from Landsat-5 was classified by MLC. CN for each pixels in the image was estimated using that result. For the estimation enhancing, it was tried that each land use area in a pixel was estimated by the mixel assumption and the averaged CN by weighted areas. Those results were applied for the actual hydrologic analyses were highly concerned with the observed runoff discharges and more enhanced on the mixel assumption.

I. 서론

유출곡선번호의 추정을 위해서는 토지이용도가 필요하며 근래 토지이용도의 획득에 위성영상이 종종 이용되고 있다. 위성영상을 이용하여 유출곡선번호를 구하는 일반적인 방법은 토지이용도를 위성영상에서 구한 래스터의 토지이용 분류도로 대체 하는 것이다. 그런데 위성영상의 일반적인 분류 방법은 하나의 셀을 하나의 항목으로 분류하게 된다. 그러나 하나의 셀에 대해 구성 항목별 면적비의 추정이 가능하다면, 면적가중평균을 통하여 셀을 대표하는 좀 더 타당성 있는 유출곡선번호의 추정이 가능할 것이다. 따라서 본 연구에서는 확률론의 Bayesian 이론을 통하여 위성영상으로부터 하나의 셀을 이루는 항목별 면적비를 추정하고 이를 유출곡선 번호의 추정에 사용하는 방법을 시도하고 기존의 방법과 비교해 보도록 하였다.

II. 영상자료 및 전처리

1. 영상자료

위성영상자료로서 93년 5월 20일 Landsat-5의 TM Path 116/Row 34 영상의 남동쪽 사분을 사용하였다. 대상영상의 동쪽은 경기도 일대, 서쪽은 서해지역의 일부를 포함하고 있으며, 남쪽은 충청북도, 북쪽은 서울의 일부지역이 포함되어 있다.

2. 영상의 전처리

영상에 대한 기하학적인 왜곡을 보정하고 지도좌표와 일치 시키기 위하여 지상통제점(Control Points)을 설정하고 3차의 좌표 변환식을 적용함으로써 기하 보정을 실시하였으며, 유출곡선번호 추정 을 위하여 표 1 과 같이 경기도 반월 유역 일대를 포함하는 영역을 절출하였다. 광학적인 왜곡을 보 정하기 위한 방사량 보정으로써 태양고도 보정과 대기 보정을 실시하였으며, 밴드의 압축을 위하여 Tasseled Cap 변환을 실시하였다.^{4),7)} 추가적인 정보를 추출하고자 표 2 와 같은 지수밴드를 도입, 주 성분 분석과 상관분석에 의하여 밴드를 압축하므로써 밴드를 재구성하였다.^{5),7),8)} 결과적으로 Tasseled Cap 변환에 의하여 3 개의 밴드가 추출되었으며, 지수밴드에 대한 주성분분석과 상관분석에 의하여 4 개의 밴드를 추가하여 총 7 개의 밴드를 구성하였다.

표 1. 영상 절출 영역

	Min.	Max	Col. : 500	Ref. system :
X	187000	199500	Row : 632	TM Korea
Y	414100	429900	Res. : 25 m	(Mid ref)

표 2. 지수의 주요 특성

Related Component	Band Ratio	Significance
Vegetation	$(4-3)/(4+3)$	NDVI (common, standard vegetation index)
Water	$(2-4)/(2+4)$	NDWI (Normalized Difference Water Index, open water features have high values)
	2/1	Water Depth (darker is deeper)
Mineral	3/1	Variations in Iron Oxide Content
	5/7	Variations in Clay Minerals Content
	5/4	Variations in Ferrous Minerals Content

* Adapted from ERDAS Inc., 1991⁵⁾ and McFeeters, 1996.⁸⁾

III. 유출곡선번호의 추정

1. 추정방법 및 대상 유역

유출곡선 번호의 추정은 경기도 화성군 반월면에 위치한 반월 저수지 유역을 대상으로 영상분류에 의한 방법(방법 1)과 항목별 면적비 추정에 의한 방법(방법 2)의 두 가지 방법으로 실시하였다. 방법 1 에서 영상의 분류는 감독분류의 하나인 최대우도분류를 사용하였고 분류 결과로 나타난 각 셀의 토지이용을 바탕으로 셀의 유출곡선 번호를 추정하였으며 방법 2 에서는 Bayes의 이론을 이용하여 사후확률을 추정하고 이를 셀의 면적 비로 가정하므로써 면적에 따른 가중평균으로 셀을 대표하는 유출곡선번호를 추정하였다.

유출곡선번호는 토지이용 특성과 수문학적 토양군, 선행함수조건에 의하여 결정되며 방법 1 의 경우는 대상

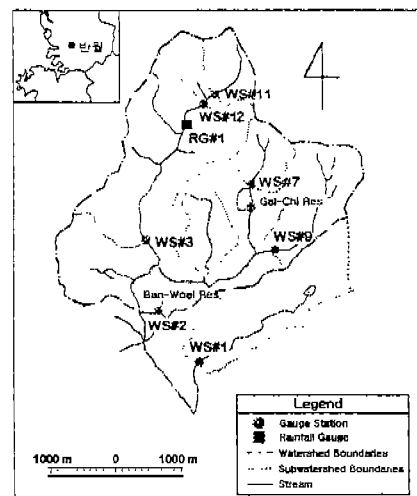


그림 1. 반월저수지 유역도

유역을 위성영상과 같은 크기의 셀로 쪼개고 셀에 해당하는 토지이용 특성을 단지 위성영상의 분류로부터 얻어진 결과로 대체하는 것이나 방법 2의 경우는 위성영상으로부터 각 셀이 가지고 있을 것이라고 추측되는 토지이용 특성의 비율을 추정하여 그 비율에 의하여 유출곡선번호를 평균하는 것으로 각 토지이용 특성의 비율을 추정에는 확률론에서 보편적으로 사용되는 Bayes 이론을 사용하였다.

1.1. Bayes 이론

Bayes 이론은 '원인'의 가능성으로서 '사전확률'로부터 관측 결과 나타날 수 있는 '사후확률'을 추정하는 방법으로 다음과 같은 식으로 정의된다.

[Bayes 정리]

$$\begin{aligned}
 P(F_i | E) &= \frac{P(F_i \cap E)}{P(E)} = \frac{P(E \cap F_i)}{P(E)} \\
 &= \frac{P(F_i)P(E | F_i)}{P(E)} \\
 &= \frac{P(F_i)P(E | F_i)}{\sum_{j=1}^n P(E | F_j)P(F_j)}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

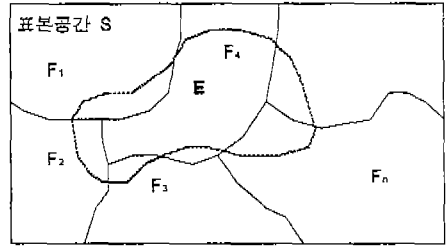


그림 2. 표본공간(S)과 임의사건(E)

여기서, 사건 F_1, F_2, \dots, F_n 을 n 가지의 원인이라고 한다면, $P(F_i)$ 는 '원인'의 가능성으로서 '사전확률(A priori probability)'이라 할 수 있고, $P(E|F_i)$ 는 '원인' F_i 의 결과로서 E 가 관측될 확률을 나타내며, $P(F_i|E)$ 는 E 가 관측된 후에 '원인' F_i 의 가능성으로서 '사후확률(A posteriori probability)'이라 할 수 있다.

Bayes 이론에 의하면 사전확률 $P(F_i)$ 를 알고 있어야만 사후 확률을 계산할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 실제로 각 분류항목에 대한 신뢰할 만한 사전확률은 추정하기 어려우므로 분류항목에 대한 사전 확률을 모두 같게 하는 것이 일반적이다.

이때, 사후확률을 살펴보면 사후확률이란 임의 사건 E 중 표본공간의 사건 F_i 가 차지하는 비율로서 확률을 의미하나 관점을 바꾸어 혼합셀(Mixel)에 대한 면적비율 개념으로 생각한다면, 한 혼합셀 내에서 한가지의 분류항목이 차지하는 면적 비율로 가정할 수 있을 것이다.

1.2. 관측확률 계산

관측확률은 분류항목이 결과로서 관측될 확률을 의미하며, 관측확률을 계산하는 방법에는 여러 가지가 있지만, 일반적으로 최대우도 분류에서는 각 분류항목에 대한 확률함수를 정규확률 밀도함수로 정의하여 표현하고 있으며 1 차원 또는 단일변량(univariate)의 경우, 분류항목 i 에 대한 정규확률밀도함수는 다음 식과 같다.

$$P(X | \omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma_i} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(X - \mu_i)^2}{\sigma_i^2} \right]
 \tag{2}$$

여기서, X = 전체 측정공간에서의 측정값

ω_i = 분류항목 i 를 의미

$\mu_i = E[X | \omega_i]$ 분류항목 i 내의 측정값의 평균(기대값)

$\sigma_i^2 = E[(X - \mu_i)^2 | \omega_i]$ 분류항목 i 내의 측정값의 분산

실제로 μ_i 와 σ_i^2 은 미지값이며 분류실행 전 단계의 훈련지역에서 추정되어야 한다.

이 식을 벡터 및 행렬의 개념을 이용하여 n 차원으로 확장하면 n 차원 다변량(multivariate) 정규확률밀도함수는 다음 식으로 표현된다.

$$P(X | \omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma_i|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2} (X - M_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - M_i)\right] \quad (3)$$

- 여기서 M_i = 분류항목 i의 평균벡터
- Σ_i = 분류항목 i의 공분산행렬
- $|\Sigma_i|$ = 공분산행렬의 행렬식
- Σ_i^{-1} = 공분산행렬의 역행렬

이상의 방법에 의하면 훈련지역의 분광특성으로부터 평균과 공분산행렬을 결정하므로써 분류항목에 대한 사후확률, 즉, 화소내의 면적비를 추정할 수 있다.

2. 수문학적 토양군

농촌진흥청의 정밀토양도에 나타난 개략적인 토성은 표 3 과 같으며 이것을 표 4 와 비교해 볼 때 사토와 양질사토, 사양토의 경우는 A 군으로 양토와 식양질토는 B 군으로 식질토는 C 군으로 세식질토는 D 군으로 분류할 수 있으며 정밀토양도로 부터 그림 3 에서 보는 바와 같은 수문학적 토양군도를 얻을 수 있었다.

표 3. 정밀토양도의 투수성 기준(정밀토양도)

투수정도	투수속도(cm/hr)	대체적인 토성
매우느림	- 0.1	세식질토
느림	0.1 - 0.5	식질토
약간느림	0.5 - 2.0	식양질토
보통	2.0 - 6.0	양토
약간빠름	6.0 - 12.0	사양토
빠름	12.0 - 25.0	양질사토
매우빠름	25.0 -	사토

표 4. 침투속도에 의한 수문학적 토양군 구분(Chow, 1964)

Soil Group	USDA soil textures	Transmission Rate (cm/hr)
A	sand, loamy sand, and sandy loam	0.76 -
B	silt loam and loam	0.38 - 0.76
C	sandy clay loam	0.13 - 0.38
D	clay loam, silty clay loam, sandy clay, silty clay, and clay	0.0 - 0.13

Hydrologic Soil Group In Ban-Woel Watershed

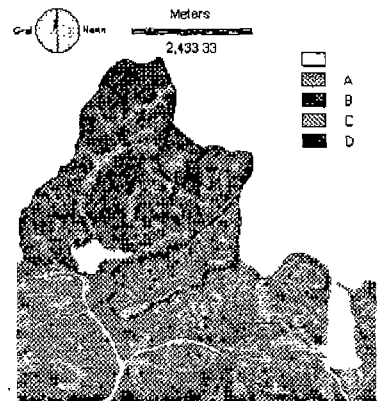


그림 3. 수문학적 토양군도

3. 토지이용 분류

지도와 영상을 바탕으로 반사특성이 서로 다른 트지의 피복을 기준으로 17개 지역을 선정하고 DGPS 측량을 실시하므로써 시험지역을 설정하였으며, 이를 분류에 사용되는 분광특성을 채취할 훈련지역과 분류 후 결과를 검증할 검증지역으로 분리하였다. 훈련지역으로부터 채취된 분광특성을 바탕으로 영상을 17개 항목으로 분류하였고, 분류된 영상의 검증을 위하여 검증지역을 이용하여 오차행렬을 작성한 결과 전체적인 분류정확도는 90.65 % 로 판단되었으며 각각의 항목에 대하여 표 5 와 같이 유출곡선 번호를 선정하였다.

표 5. 토지이용에 따른 유출곡선 번호

구 분	SCS 토지이용구분 (수문학적 조건)	유출곡선번호			
		A	B	C	D
밭(나치)	Cultivated land (without C.T.)	72	81	88	91
밭(식생지)	Cultivated land (with C.T.)	62	71	78	81
림업수림	forest(very sparse)	56	75	86	91
활엽수림(명)					
활엽수림(암)					
초지(산림초지)	pasture(good)	39	61	74	80
초지(골프장초지)	golf courses (good)	39	61	74	80
논(담수)	paddy	78	78	78	78
논(비담수)					
초지(약한 식생)	pasture(poor)	68	79	86	89
나지(식생 없음)	Streets and roads: dirt	72	82	87	89
콘크리트 포장	Paved roofs: roofs	98	98	98	98
밀집 주거지	72% impervious	81	88	91	93
길(자갈)	Streets and roads: gravel	76	85	89	91
길(아스팔트)	Streets and roads: paved	98	98	98	98
수면	water surface	100	100	100	100
수면 부유물					

※ C.T. : conservation treatment

4. 유출곡선 번호 추정 결과

이상에서 제시된 방법 1 과 방법 2 를 사용하여 AMC II 조건에 대하여 유역내의 유출곡선번호의 값을 추정하였으며 추정된 유출곡선 번호의 분포는 그림 4, 5 와 같다. 두 그림이 유사하여 보이나 자세히 살펴보면 방법 2 로 추정된 그림 5 가 더 유연하여 보임을 알 수 있다. 이것은 그림 1 은 각 셀의 유출곡선번호의 값이 상당히 불연속적인데 반하여 그림 2 는 각 셀의 유출곡선번호의 값이 좀 더 부드럽게 연결되어짐을 의미한다.

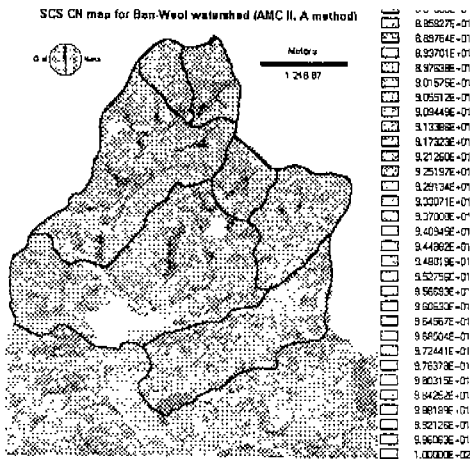


그림 4. 유출곡선번호추정 결과(방법1)

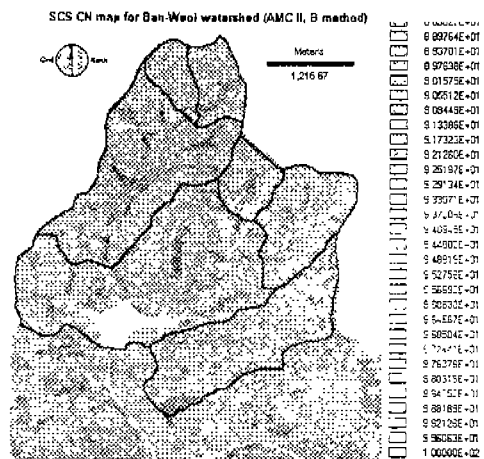


그림 5. 유출곡선번호추정 결과(방법2)

이상의 결과를 바탕으로 김(1993)의 논문에 수록된 1993년도 반월 저수지 유역 주요 강우사상 13개에 대하여 직접 유출량을 구하여 실측치와 비교해 본 결과 방법 1과 방법 2의 평균적인 상관계수(R)와 평균제곱근오차(RMSE)는 표 6 과 같이 좀 더 향상 되는 것으로 나타났다.

표 6. 93년 강우에 대한 평균 R 및 RMSE

Method	방법 1	방법 2
Averaged R	0.97333	0.97507
Averaged RMSE (mm)	5.29	5.10

IV. 결 론

위성영상을 사용하여 경기도 화성군 반월면에 위치한 반월 저수지 유역을 대상으로 영상분류에 의한 방법(방법 1)과 항목별 면적비 추정에 의한 방법(방법 2)의 두 가지 방법으로 유출곡선번호를 추정하였다. 방법 1 에서 영상의 분류는 감독분류의 하나인 최대우도분류를 사용하였고 분류 결과로 나타난 각 셀의 토지이용을 바탕으로 셀의 유출곡선 번호를 추정하였으며 방법 2 에서는 Bayes의 이론을 이용하여 사후확률을 추정하고 이를 셀의 면적비로 가정하므로써 면적에 따른 가중평균으로 셀을 대표하는 유출곡선번호를 추정하였다.

추정결과를 1993년 주요강우13개에 적용하여 보았으며 방법 2가 1보다 나은 결과를 나타내었다. 실제 유출곡선 번호가 가지는 부정확성으로 인하여 나타난 결과가 실제의 상황을 완전히 반영하여 준다고 보기는 어려우나 일반적인 영상분류를 이용하는 방법 1 보다 토지이용 항목별 면적비 추정에 의한 방법 2 가 더 합리적이라고 보여진다.

참고문헌

1. 김진택, 1995, 농업 비점원 오염 모형을 위한 지리정보 시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위 논문
2. 박희성, 1998, 위성영상을 이용한 토지이용 분류 및 유출곡선번호의 추정, 서울대학교 석사학위 논문
3. Chow, Ven Te., et al., 1964, Handbook of Applied Hydrology : Sec. 21 Hydrology of Agricultural lands, Sec. 22 Hydrology of Forest lands and Rangelands, McGraw-Hill.
4. Crist, E.P., and R.C. Cicone, 1984, Comparisons of the Dimensionality and Features of Simulated Landsat-4 MSS and TM Data, Remote Sensing of Environment 14 : 235-246
5. ERDAS Inc., 1991, ERDAS Field Guide, Atlanta, Georgia.
6. Jensen, John R., 1996, Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective, Englewood Cliffs, New Jersey , Prentice-Hall.
7. Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer, 1994, Remote Sensing and Image Interpretation, New York : John Wiley and Sons.
8. McFeeters, S.K., 1996, The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, Int. J. Remote Sensing 17(7) : 1425-1432.