

LANDSTAT 자료를 이용한 유출곡선지수의 추정

조홍제 · 황재호
지구환경시스템 공학부

<요 약>

수치고도모델을 이용하여 유역의 지형학적 특성을 분석하고, LANDSAT 위성영상을 이용하여 유역의 토지피복상태를 분류한 후 유출곡선지수를 추정하였다. 특히, 우리나라는 유역의 대부분을 산림이 차지하는 피복특성이 있으므로 식생의 다중반사특성을 응용하여 산림지역을 분류하고 유출곡선지수 추정에 응용하였다. 산림지역은 식생의 건강 상태나 밀도에 따라 유출특성이 변화하는데, LANDSAT 위성영상의 다중분광자료를 사용하여 산출한 식생지수는 산림지역을 밀도나 건강상태에 따라 분류하는데 유용하였다. 또한 식생지수를 사용하여 산림지역을 분류한 후 산출한 유출곡선지수는 산림지역을 분류한 후 산출한 유출곡선지수에 비하여 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Estimating Runoff Curve Numbers Using the LANDSAT Data

Cho, Hon-Je · Hawang, Jae-Ho
School of civil & Environmental

<Abstract>

Having analyzed the topographical quality of the basin using Digital Elevation Model and classified land uses by LANDSAT Satellite image, we estimated Runoff Curve Numbers.

Most of the basins are characterized by the forest, therefore multiple reflex qualities were used to classify the forest and to estimate Runoff Curve Numbers. Because runoff changes according to the vegetative health and density, the vegetation index

derived from the multispectral data of LANDSAT satellite images was useful to classify the forest by its health and density.

It was observed that Runoff Curve Number decreased when the vegetation index was taken into account.

In conclusion, the mulispectral image was useful to observe special quality and classification of the land.

1. 서 론

유역의 유출현상은 그 유역의 지상인자와 기후인자의 영향을 받는다. 지상인자로는 유역의 면적, 경사, 방향, 형태, 고도, 피복상태 등이 있으며, 피복상태는 강수의 침투와 토양침식 등에 영향을 주는 중요한 인자이다. Rango(1974)와 Jackson(1977)등은 유출모형의 피복상태 자료의 관리와 처리과정에 주목하여 LANDSAT 위성영상을 활용한 결과, LANDSAT 위성영상이 적합한 피복상태 자료를 제공하고 아울러 경비와 노동력을 절감한다고 하였다. 토지피복분류에 많이 이용되는 위성영상으로는 LANDSAT의 MSS (Multi-Spectral Scanner sensor), TM (Thematic Mapper sensor), ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) 영상, SPOT의 HRV (High Resolution Visible sensor) 영상 등이 있는데, SPOT 위성영상은 공간 해상력이 높은 반면에 분광 해상력이 낮고 LANDSAT 영상의 경우 공간 해상력은 다소 낮으나 분광 해상력과 시간 해상력이 뛰어나다. SCS 유출곡선지수법(U.S. Soil Conservation Services Runoff Curve Number Method)은 1964년 미국 토양국의 수문기술자인 Mockus에 의해서 토지피복상태와 수문학적 토양특성에 관한 자료를 이용하여 추정된 유출곡선지수를 사용하여 총강우량으로부터 유효우량을 산출할 수 있도록 개발된 방법으로 적용의 간편성이 부각되어 우리나라에서 자주 활용되고 있으며 Rango(1974)와 Jackson(1977)은 LANDSAT TSS 위성영상을 사용하고, 심명필(1998)과 김경탁(1999)은 LANDSAT TM 위성영상을 사용하여 SCS 유출곡선지수법을 적용하는데 필요한 피복상태 자료를 만들어 활용하였다. 그런데 우리나라는 논과 산림이라는 두드러진 피복특성을 갖고 있는 반면에 SCS 토지피복분류 체계에는 이에 대한 적절한 분류가 주어져 있지 않거나, 활용되는 과정에서 적절한 분류를 선택하여 적용하지 못하고 있는 실정이다. 논인 경우에는 우리나라의 벼 재배특성상 담수를 하게되므로 SCS 토지피복분류체계에서 제시하는 경작지와는 그 특성이 상이하다고 판단할 수 있으며, 산림의 경우에는 SCS 토지피복분류체계에서는 산림의 밀도나 산림토양의 깊이 유기물 함양에 따라 산림을 분류하여 적용하도록 하고 있으나 그동안 우리나라에서 적용된 예가 드물다. 이는 산림지역을 조사한 자료가 부족하며, 직접조사를 하기에는 비용이나 시간이 과다하게 소요되기 때문이다. 따라서 산림지역을 적절히 분류할 수 있는 방법이 요구되는데 LANDSAT 다중분광위성영상과 식생의 다중반사특성을 적절히 활용하면 좋은 대안이 될 수 있다. 이는 다중분광영상으로부터 산출되는 다양한 식생지수를 적절히 활용하여 식생의 밀도, 건강상태에 따라 산림지역을 분류하는 방법이다.

이상의 내용을 바탕으로, 본 연구에서는 LANDSAT 위성영상을 이용하여 유역의 토지 피복상태를 분류하고, 식생지수를 산출하여 산림지역을 분류한 후, 유역에 대한 SCS 유출

곡선지수를 추정하고자 한다.

2. 위성영상자료

2.1 LANDSAT-7 ETM+ 위성영상

LANDSAT-7 위성은 1999년 4월 15일 발사되었으며 궤도는 지상 705km 상공이다. 회전 주기는 99분으로 매 16일 마다 지상 동일 지점을 통과한다. 그림 1과 같은 LANDSAT-7 위성에 탑재되어있는 센서는 그림 2와 같은 Enhanced Thematic Mapper로서 표 1과 같이 모두 8 개의 분광밴드를 가지고 있으며, 밴드의 공간 해상력은 약 30m 이나, 6번 밴드는 열 적외선 밴드로서 공간 해상력이 60m로 다른 밴드에 비하여 낮고, 8번 밴드는 전정색 밴드로서 공간 해상력이 15m로 다른 밴드에 비하여 높다. 그림 1에서 사진은 발사전 육상에서 촬영된 위성체의 모습이고, 오른쪽 그림은 우주 공간에서 태양전지판을 전개한 위성체의 모습이다.

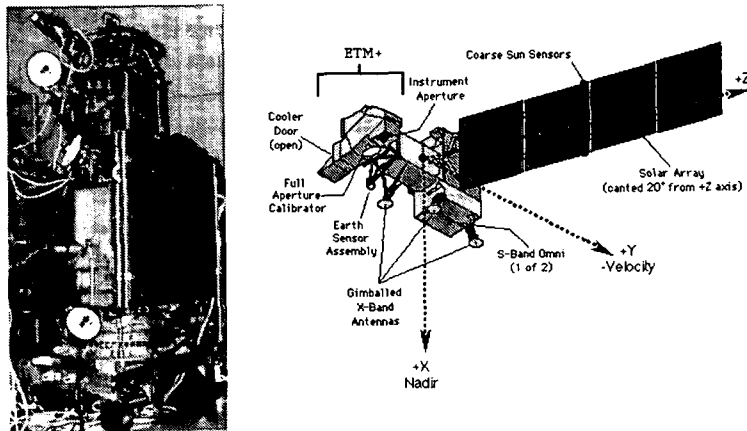


그림 1. LANDSAT-7 위성체

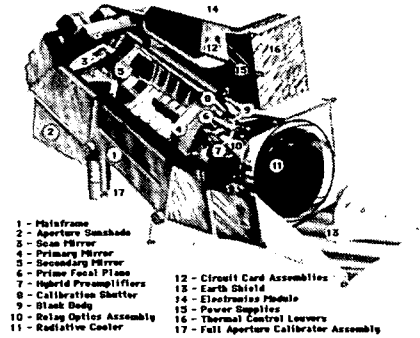


그림 2. LANDSAT-7 ETM+ 센서

분광 번호	파장대 (μm)	해상도 (m)	스펙트럼
1	0.450~0.515	30	Blue
2	0.525~0.605	30	Green
3	0.630~0.690	30	Red
4	0.775~0.900	30	Near-infrared
5	1.550~1.750	30	Mid-infrared
6	10.40~12.50	60	Thermal
7	2.090~2.350	30	Mid-infrared
8	0.520~0.900	15	Panchromatic

표 1. LANDSAT-7 ETM+ 센서의 분광별 특성

본 연구에서 피복분류 대상 위성영상으로는 1999년 12월 9일 Landsat-7의 Enhanced Thematic Mapper Plus Sensor에 의하여 관측된, Path 114/Row 35 지역의 영상을 사용하였다. 이때 Path는 위성체의 비행 경로를 나타내고, Row는 촬영 순번을 나타내는데, Path 114/Row 35는 위성이 114번째 비행 경로에서 35번째 촬영하는 지역을 의미하고, 이 위치에서 촬영된 위성영상은 경상북도와 경상남도 일원을 포함하게 된다.

2.2 위성영상을 이용한 토지피복분류

토지피복분류(Land Cover Classification)는 위성영상 자료를 활용하는 가장 대표적이고 전형적인 방법의 하나로 산림, 초지, 콘크리트 포장과 같은 지표면의 물리적인 상황을 분류하는 것인 반면, 토지이용(Land Use)은 공업지역, 주거지역, 농경지 등과 같은 토지의 이용 현황 및 계획 상태를 반영하는 것으로 개념상 차이가 있으며, 이는 유출곡선지수를 추정하는데 있어 토지이용도를 사용하는 것보다 위성영상을 분류하여 얻어진 토지피복분류도를 사용하는 것이 적합하다는 것을 의미한다. 위성영상을 이용하여 토지피복을 분류하

기 위해서는 매우 많은 인자들을 고려해야 한다. 최우선적으로는 위성영상을 촬영하는, 위성에 장착된 센서(Sensor)의 특성을 파악해야 한다. 또한 토지피복분류 결과물이 요구하는 최종적인 정확도 및 해상도를 고려하여 센서를 결정해야 한다. 위성영상에는 계절변화와 경년변화의 2가지 변화가 있다. 계절변화란 낙엽성 식물에서 보이는 것과 같은 일년주기의 변화로, 농지에서 이 변화가 뚜렷하게 나타난다. 경년변화는 골프장 조성이나 산림 벌채 등과 같은 변화로 일반적으로 주기성이 없는 변화이며, 보통은 경년변화를 관측하고자하는 경우가 대부분이다. 경년변화를 관측하려는 경우에도 계절변화를 무시할 수는 없다. 계절변화는 일반적으로 생각하는 것보다 더 복잡하고, 한랭지의 경우에는 10~15일 사이에 급격한 변화를 야기하는 경우가 많으므로 토지피복을 분류하거나 특성을 관측하는 경우에 대상지물의 계절변화 특성을 잘 알아둘 필요가 있다. 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷한 지역에서는 분류하고자 하는 대상에 따라 사용하는 계절이 달라지므로 대상에 대한 명확한 이해가 있어야 한다. 일례로 논과 갯벌지역은 계절에 따라 유사한 성질을 갖고 있거나, 매우 상이한 성질을 갖게 된다. 5월부터 6월초까지의 위성영상에서는 논은 모내기를 위해 물을 담아 놓기 때문에 갯벌과 유사한 분광 특성을 갖고 있으나, 9월부터 10월까지의 영상에서는 벼가 성장함에 따라 매우 다른 분광 특성을 갖게 된다. 즉 5월부터 6월초 사이에 촬영된 위성영상을 사용하여 토지피복을 분류하는 경우 논과 갯벌을 구분하지 못하는 경우가 있을 수도 있으며, 논과 밭을 구분해야 하는 경우에는 이때 촬영된 위성영상을 유용하게 사용할 수 있다.

2.3 토지피복분류의 개요

토지피복분류는 위성영상을 분광 특성에 따라 분류하는 것으로 그림 3~9과 같이 LANDSAT ETM+ 위성영상에서는 물, 농경지, 활엽수림, 침엽수림, 시가화 지역, 초지, 나대지 등에 다양한 분광 특성이 있음을 관찰할 수 있다. 그림 3~9에서 가로축은 위성영상의 분광밴드이고, 세로축은 분광밴드별 화소값의 크기를 나타낸다. 그림 3~7은 식생의 분광 특성을 나타내고 있는데 식생은 다른 물체에 비하여 근적외선에 해당하는 밴드 4, 5에서 두드러진 변화가 있음을 알 수 있다. 또한 그림 3~9에서 보여지듯이 밴드 1, 2 간의 변화가 대부분의 물체에서 비슷하게 나타나므로 분류 과정에서 밴드 1을 제외하게 된다.

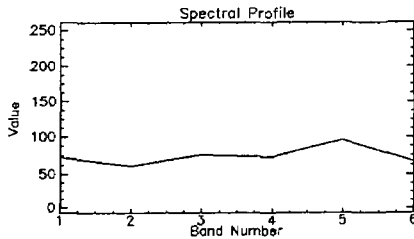


그림 3. 농경지의 분광 특성

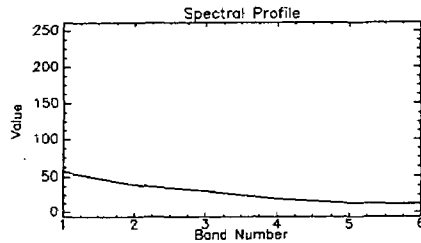


그림 4. 물의 분광 특성

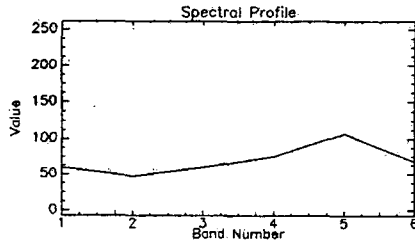


그림 5. 활엽수림의 분광 특성

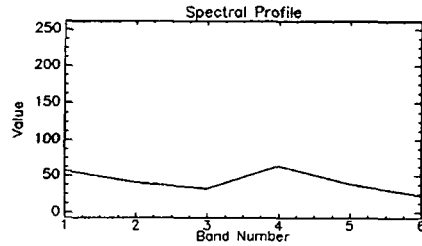


그림 6. 침엽수림의 분광 특성

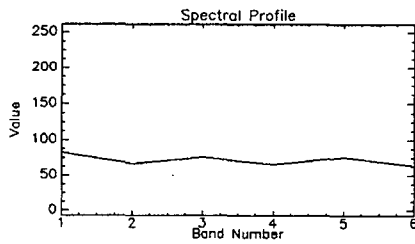


그림 7. 초지의 분광 특성

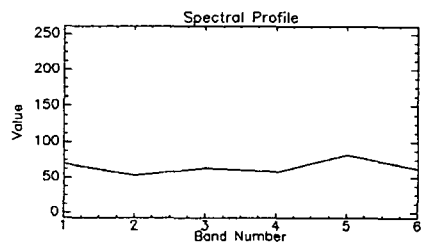


그림 8. 시가화 지역의 분광 특성

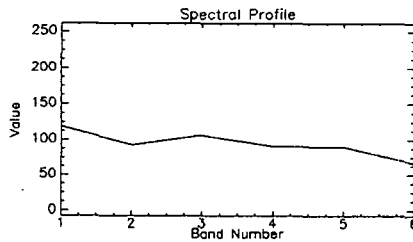


그림 9. 나대지의 분광 특성

영상분류의 방법은 크게 감독 분류와 무감독 분류로 구분되어진다. 감독 분류란 분류자가 특정한 훈련지역을 선정하여 분광특성을 추출한 후 그 분광특성에 따라 화소를 분류해 나가는 방법이고, 무감독 분류란 훈련지역에 대한 분광특성을 입력하지 않고 단지 분류갯수나 분류하고자하는 유형만을 지정하여, 군집분석법(Clustering Method)에 의하여 영상을 분류하는 방법이다. 무감독 분류의 경우에는 사용자가 단지 분류 갯수만을 입력하게 되는 경우가 많으므로 손쉽게 사용할 수 있으나, 분류된 결과를 해석하는 것은 상당히 어렵다. 감독분류의 경우에는 사용자가 선정한 훈련지역의 분광특성과 비교하여 유사한 분광특성을 가진 것들을 묶어내는 것이므로 훈련지역외의 영역은 도출하여 낼 수 없다는 단점을 가진다. 이러한 감독분류에는 특성공간에 있는 화소를 어떤 방법에 의해 분류하느냐에 따라 평행육면체분류(Parallelepiped Classification), 최소거리분류(Minimum Distance Classification), 최대우도분류(Maximum Likelihood Classification)등의 방법이 있다. 평행육면체분류는 평균과 표준편차를 기준으로 상한과 하한을 설정하여 그 영역 내의 화소인 경우 같은 군집(Cluster)으로 구분하는 방법이며, 최소거리분류는 주어진 화소와 각 군집 중심간의 분광거

리(Spectral Distance)를 계산하여 가장 가까운 군집에 속하는 것으로 판단하는 것이다. 이러한 방법들과는 달리 최대우도분류법의 경우는 통계적인 방법을 통하여 화소가 각 군집에 속할 확률을 구하고 확률이 가장 큰 군집에 속하는 것으로 판단하는 방법이다. 최대우도분류는 그 정확도와 활용도가 높은 기법으로 평가되며, 현재 가장 널리 쓰이고 있으며, 분류 이전 단계에서 확률에 의한 분석이 가능하므로 본 연구에서는 영상의 분류를 위하여 최대우도분류방법을 사용하였다.

3. 산림 구역의 유출 특성

3.1 산림 상태에 따른 유출 특성의 변화

일반적으로 산림에 비해 나지에서는 수문곡선의 상승 및 하강이 급하며, 산림의 수문곡선은 산림구역의 특징을 그대로 보여준다. 즉 같은 강수량이라도 산림을 벌채한 경우는 수문곡선상의 침투유량이 증대하고, 반대로 조림을 하면 침투유량이 줄어들면서 지하수 유출량이 늘어난다. 산림 상태가 호전되어 직접유출량이 감소하는 가장 큰 원인은 증발산에 의해서 산림이 강우 전의 토양수분을 감소시키는 것과 강우 중 또는 강우가 그친 후에 차단이나 증산으로 물을 소비하기 때문이다. 그러나 나머지 물은 침투능이 좋은 임지로 침투하여 지중수 또는 중간유출, 지하수유출로 되기 때문에 침투유량이 줄어들고 장기간에 걸쳐 완만한 지하수유출을 한다. 산림구역에 있어서 산림 상태가 좋아질수록 산복사면의 토심이 두껍게 형성되어 갈 것으로 가정할 때, 산복사면에 있어서 수류마찰저항력의 유일한 변수인 조도계수에 변화가 나타난다. 산복사면에 있어서 조도계수는 구역내의 지형, 토양, 식생 등의 구역특성에 의해서 특징의 값을 가지기 때문에 산림의 상태에 따라 변화한다. 예를 들어 일본 도쿄(東京)대학 아이치(愛知) 연습림의 아나큐(穴窩) 구역에 있어서 장기간에 걸쳐 사면조도계수를 추적한 결과와 직접유출량과의 관계를 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 조도계수의 값이 증가할수록, 즉 산림상태가 좋아질수록 직접유출량이 감소하였다. 직접유출량이 감소하는 이유는 임지에 충분한 낙엽낙지의 공급으로 토양층의 발달을 촉진시켜 임지의 보수능, 수관차단량이나 수관저류량, 증발산량 등이 증가하였기 때문으로 볼 수 있다.

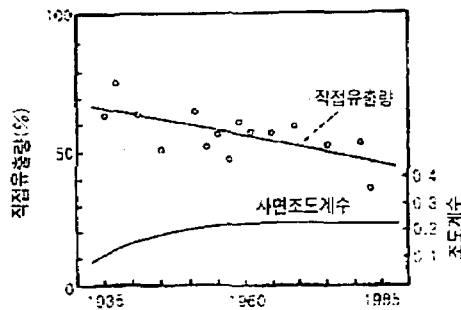


그림 10. 조도계수와 직접유출의 관계

그림 11은 아나큐 유역에 있어서 1981년 9월 25일 발생한 연속강우 81.7mm에 대해 1935년의 홍수유량을 추적하여 현재와 당시의 산림 상태에 따른 직접유출량 및 침투유량의 변화 모습을 나타낸 것이다. 실선으로 나타낸 1935년의 침투유량 및 직접유출량이 점선으로 나타낸, 산림상태가 호전된 1985년에 비해 현저하게 많은 것으로 추정되었다. 그밖에도 김경하(1996)는 임업연구원 광릉시험림의 활엽수림 및 침엽수림에 대하여 사방사업으로 산림상태가 변화된 전후의 유출수문곡선을 비교하여 산림 상태가 호전될 경우 침투유량 및 직접유출량이 감소함을 확인하였고, 산림 벌채 전후의 수문곡선을 비교하여 산림이 50% 벌채된 경우 수문곡선 상의 침투유량이 급격히 증가하고 감수의 기울기가 급하게 변하는 사실을 확인한 경우도 있다. 산림의 홍수유량 감소기능은 산림 토양의 지표류 감소 및 침투수 저류에 의한 유출속도의 저하 기능, 산림 식생의 증산에 의한 토양 수분 감소 및 강우 차단 작용에 의하는 것이다

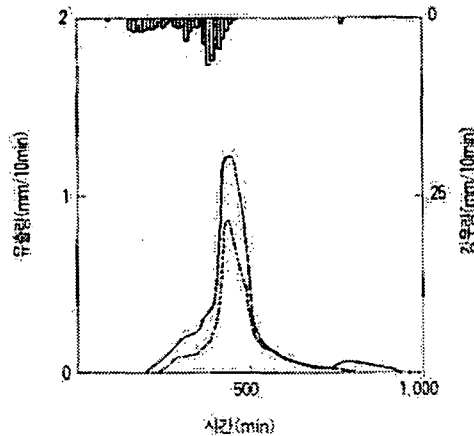


그림 11. 산림 상태에 따른 수문곡선의 변화

3.2 산림 지역 토지피복 분류

전술한 바와 같이 산림지역은 산림 상태에 따라 유출 특성에 변화가 있다. 그러나 우리나라에서는 SCS 유출곡선지수법을 적용하는데 있어서 산림지역을 수문학적 토양군으로만 분류하여 수문학적 토양군 A, B, C, D에 대하여 유출률이 보통인 상태에서 각각 56, 75, 86, 91의 단일 값으로 적용하고 있다. 반면에 SCS에서는 산림지역의 유출곡선지수를 유출률이 보통인 경우, 조림 지역에 대해서는 표 2와 같이, 자연림 지역에 대해서는 표 3과 같이 제시하고 있다. 표 2에서 조림 지역의 수문학적 상태 구분 등급인 Poor, Fair, Good은 각각 조림 지역이 50% 이하, 50~75%, 75% 이상인 경우를 의미하고, 표 3에서 자연림 지역의 수문학적 상태 구분 등급은 표 4를 사용하여 추정한다. 표 4에서와 같이 자연림 지역은 토양 깊이와 토양내 유기물의 함량에 따라 구분되고 있다.

Hydrologic condition class	Hydrologic soil group			
	A	B	C	D
I. Poor	45	66	77	83
II. Fair	36	60	73	79
III. Good	25	55	70	77

표 2. 조림 지역의 유출곡선지수

Hydrologic condition class	Hydrologic soil group			
	A	B	C	D
I. Poorest	56	75	86	91
II. Poor	46	68	78	84
III. Medium	36	60	70	76
IV. Good	26	52	62	69
V. Best	15	44	54	61

표 3. 자연림 지역의 유출곡선지수

Hydrologic condition class	Soil depth (cm)	Organic matter Content(%)
I. Poorest	<10	<2
II. Poor	10-15	2-3
III. Medium	15-20	3-5
IV. Good	20-30	5-10
V. Best	>30	>10

표 4. 유기물 함양과 토심에 따른 자연림 지역의 구분

전술한 바와 같이 우리나라 산림 지역에 대한 유출곡선지수로 자연림 지역의 가장 미약한 상태에 해당하는 값을 사용하는 것은 산림 지역의 상세한 구분이 힘들고, 치수 안전도를 향상시킬 수 있다는 점이 반영된 것으로 판단할 수 있다. 그러나 다중분광의 위성영상을 활용하면 산림 지역의 적절한 구분이 가능하고, 치수 관련 설계에 있어서 경제적 측면을 고려한다면 표 2, 3에서와 같이 산림 지역을 세분화하여 유출곡선지수를 적용할 필요가 있다.

3.3 식생지수를 이용한 산림분류

다중분광의 위성영상으로부터 산출할 수 있는 식생지수를 이용하면 산림 지역을 세분화시킬 수 있다. 식생지수(Vegetation Index)는 위성영상으로부터 식생의 분포와 상태 등을 표현하기 위하여 고안된 처리기법으로, 지구표면에서 식물과 식물이 아닌 물체의 분광반사 특성을 이용하여 식물에 관한 정보를 하나의 밴드로 표현하고자 하는 방법이다. 식생지수

는 일반적으로 식물의 생체량, 생산량, 엽면적지수, 광합성량 등과 밀접한 관계를 가진 지표로서 알려져 있다. 그림 12에서 쉽게 확인할 수 있듯이 녹색식물의 반사특성이 다른 물질과는 달리 가시광선 영역과 근적외선 영역 사이에서 큰 차이를 보이는 반면에 식물이 아닌 물 등은 차이가 뚜렷하지 않다. 또한 근적외선 영역에서 식물의 반사특성은 식물의 종류, 엽량, 수관밀도 등에 크게 좌우되기 때문에 식물의 이러한 특성도 식생지수에 잘 나타날 수 있게 되는 것이다.

식물의 반사 특성을 구체적으로 살펴보면, 그림 13에서와 같이 엽록소, 카로티노이드 및 크산토펜을 포함하는 광합성 색소의 작용이 활발한 건강한 식물은 일반적으로 가시광선 영역에서는 입사된 태양에너지의 80~90%를 흡수하므로 이 영역에서는 반사율이 아주 낮게 되는 반면, 노화된 식물은 가시광선 파장에서 건강한 식물보다 높은 반사도를 갖게 된다. 반면 근적외선영역에서는 건강한 식물과 노화된 식물사이의 반사정도가 가시광선과는 반대로 나타나게 된다. 일반적으로 토양은 식물과 달리 가시광선영역이나 근적외선영역에서 반사도의 차이가 크지 않다. 이와 같은 반사 특성의 원리를 이용하여 가시광선 파장대와 근적외선 파장대를 수학적으로 조합하면, 두 개의 파장영역에서 식물의 특성과 관련한 정보를 집약할 수 있게 되는 것이다.

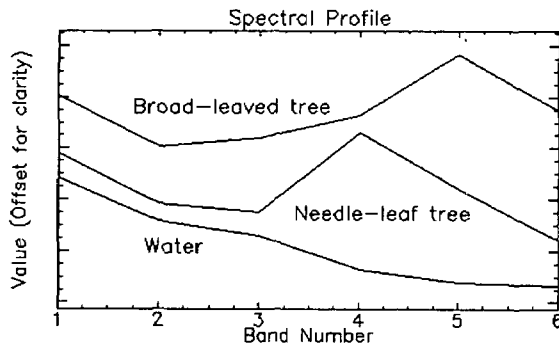


그림 12. 분광 특성의 비교

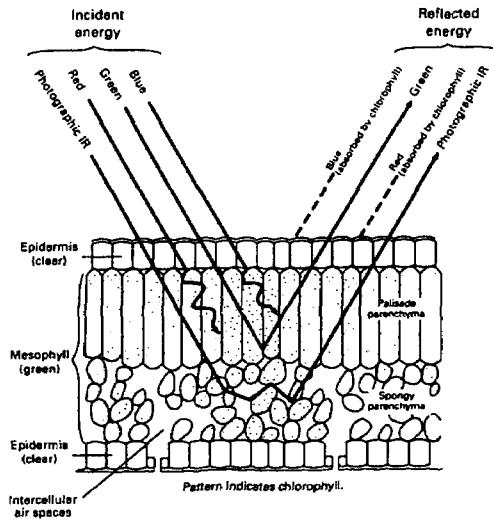


그림 13. 식물의 반사 특성

식생지수의 산출은 밴드비, 밴드차 등 여러 가지 방법이 사용되고, 종합차식생지수(Normalized Difference Vegetation Index), 녹색식생지수(Greenness Vegetation Index), 엽면적지수(Leaf Area Index) 등이 있다.

NDVI는 근적외선과 가시광선 영역에서 얻어지는 상대적 반사값의 차이를 그 합으로 나눈으로써, 식생과 관련된 정보를 산출하는 기법이다.

NDVI는 -1에서 1사이의 값을 갖게 되는 데, 일반적으로 구름, 눈, 토양 등과 같이 식물이 아닌 토지피복형은 -1에서 0에 가까운 값을 갖게 되며, 식물은 0부터 1 사이의 값을 갖게 된다. 또한 식물이 있는 지역이라도 식물의 양이 많거나 건강한 식물의 경우 근적외선에서의 반사값이 상대적으로 높게 되므로 노화한 식물이나 병충해 등에 피해를 입은 식물보다 높은 식생지수를 보여주게 된다.

NDVI는 밴드차의 비만을 사용하여 간편하게 산출할 수 있는 반면에 GVI, LAI 등은 각각의 다중분광 밴드에 대한 계수를 필요로 하나 본 연구에 사용한 LANDSAT ETM+ 위성영상은 최근에 활용되기 시작하여 계수가 개발되지 않은 상태이므로 본 연구에서는 NDVI만을 식생지수로 활용하였다.

4. 유출곡선지수의 추정

본 연구의 대상지역은 우리나라의 대표시험유역 중의 하나인 위천 유역이다. 전체 면적이 약 472km²인 위천 유역은 경상북도 군위군을 중심으로 하여 의성군, 구미시, 칠곡군, 대구광역시, 영천군 및 청송군으로 둘러싸여 있다. 이 유역에는 건설교통부에서 직접 관리 운영하는 11개의 우량관측소(군위 남부, 효량, 대울, 고매, 우보, 산성, 신령서부, 의흥, 화

수, 화산, 석산)와 6개의 수위관측소(무성, 병천, 미성, 고노, 동곡, 효령)가 있다.

피복분류 대상 위성영상으로는 1999년 12월 9일 Landsat-7의 Enhanced Thematic Mapper Plus Sensor에 의하여 관측된, Path 114/Row 35 지역의 영상을 사용하였으며 전처리 과정으로 기하보정 및 방사량 보정을 실시하여 그림 14와 같은 토지피복분류전 영상을 준비하였다. 또한 국립지리원에서 발행한 축척 5만분의 1 지형도 중에서 위천 유역에 해당하는 도엽번호 36815(군위), 36816(화북)의 지형도에서 등고선과 표고점을 추출하고 30(m)×30(m) 크기로 지형의 기복을 나타내는 수치고도모델을 제작하여 유역경계와 하도망 분석에 사용하였다. 그림 15는 위천 유역의 수치고도 모델을 태양 고도 28°, 태양 방위각 158° 인 음영기복도로 나타낸 것이고 그림 16은 수치고도모델로부터 유역경계와 하도망을 추출한 결과이다.

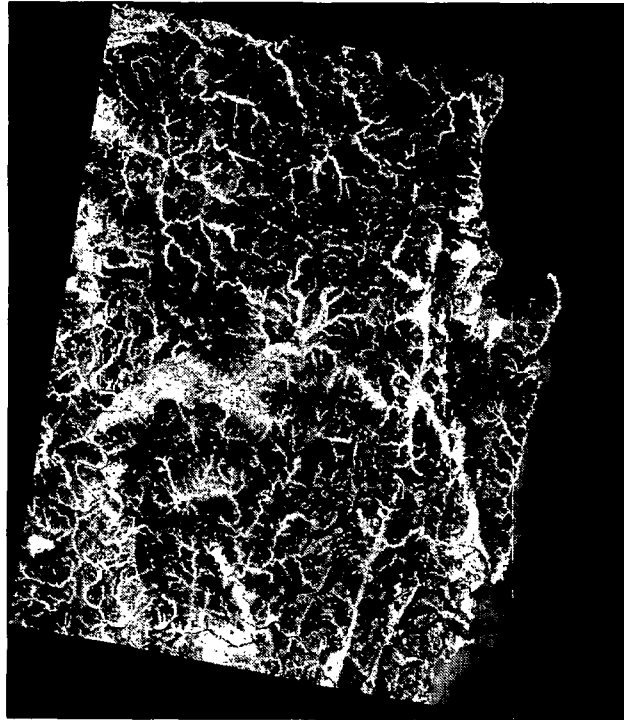


그림 14. 기하보정 후 영상

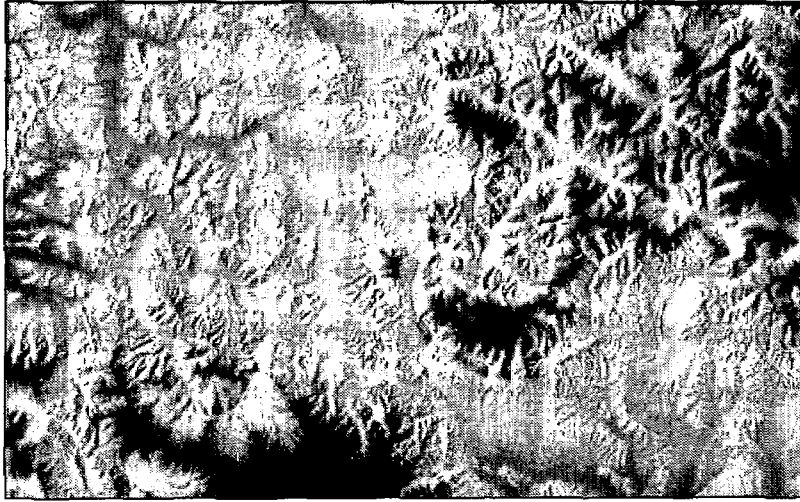


그림 15. 위천 유역 음영 기복도

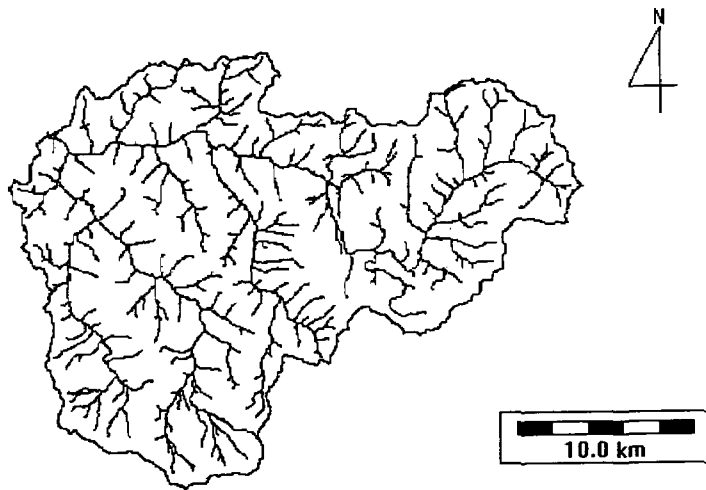


그림 16. 위천 유역 하도망

SCS 유출곡선지수는 토지이용, 경작방법, 토지피복의 수문학적 상태로 나타나는 토지이용과 토양의 투수성을 나타내는 수문학적 토양군, 그리고 토양의 함수량을 나타내는 선행함수조건(Antecedent Moisture Condition)의 영향을 받는다. 본 연구에서 수문학적 토양군은 농업과학기술원에서 제작한 정밀토양도를 SCS의 수문학적 토양 분류 단계로 재분류하여 사용하였고, 선행함수조건은 강우자료를 사용하였고, 토지피복의 수문학적 상태는 위성영상의 처리를 통하여 얻어졌다. 그림 17은 위천 유역의 수문학적 토양군 분류도이다.



그림 17. 위천 유역의 수문학적 토양군 분류도

연구지역의 토지피복분류 단계를 물, 시가화 지역, 농경지, 산림, 나대지로 하였고 아울러 산림지역은 NDVI를 사용하여 Poor, Fair, Good의 3가지로 구분하였다. 이러한 분류단계는 토지피복분류에 위성영상을 가장 많이 활용하는 USGS(U.S. Geology Survey)의 Anderson분류등급에서 LANDSAT TM 위성영상을 사용하는 경우에 권고하는 단계를 따른 것이다. 위천유역의 토지피복분류 결과 산림이 전체의 75%를 차지하였고, 농경지가 18%, 물이 1%, 시가화 지역이 1%를 차지하였다. 또한 산림 지역은 전체 면적에 대해 Poor 19%, Fair 16%, Good 40%로 산림 지역은 전반적으로 상태가 양호한 지역이 많이 차지하고 있음을 알 수 있었다.

Fully developed urban area - open space - Poor
 Paved streets with curbs and storm sewer (road ROW)
 Woods-grass combination - orchard - Poor
 Woods - Good
 Cultivated ag - fallow - bare soil
 Cultivated ag - row - straight row(SR) - Poor
 Cultivated ag - row - contoured and terraced (CAT) - Poor



그림 18. 산림 지역을 세분류 하지 않은 경우

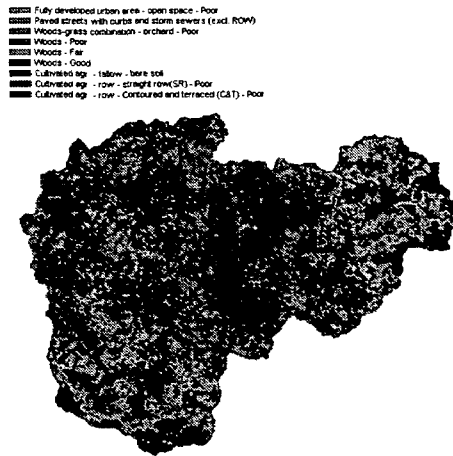


그림 19. 산림 지역을 세분류 한 경우

그림 18, 19의 토지피복분류 결과와 그림 17의 수문학적 토양군 분류 결과를 중첩하여 유출률이 보통인 경우의 위천 유역의 유출곡선지수를 산출한 결과 산림 지역을 세분화 하지 않은 경우의 유출곡선지수가 81이었으나 산림지역을 Poor, Fair, Good으로 세분화 한 경우의 유출곡선지수가 73으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 산림의 홍수유량 저감기능에 의한 것으로 판단된다.

5. 결론

토지피복분류는 위성영상 자료를 활용하는 가장 대표적이고 전형적인 방법의 하나로, 산림, 초지, 콘크리트 포장과 같은 지표면의 물리적인 상황을 분류하는 것이므로 유출곡선지수를 추정하는데 있어 토지이용도를 사용하는 것보다 위성영상을 분류하여 얻어진 토지피복분류도를 사용하는 것이 보다 적합하다. LANDSAT ETM+ 다중분광 위성영상을 이용하여 수문학적 토지피복분류를 하였고, 특히 산림지역을 중합차식생지수를 산출한 후 세분화하여 적용한 결과 유출곡선지수가 9.9% 가량 감소하는 것을 확인할 수 있었다. SCS에서는 산림 지역을 산림의 밀도나, 토양층의 깊이, 유기물의 함양에 따라 세분화하여 적용하고 있으며, 이는 산림의 상태가 양호한 경우 충분한 낙엽, 낙지가 지표면에 공급되어 산림 토양층이 발달하게 되면 지표류가 감소 되고, 침투수 저류에 의한 유출속도의 저하가 발생하며, 산림 식생의 증산에 의해 토양의 수분 감소되고 강우 차단되는 효과가 있음을 의미한다고 볼 수 있다. 유출곡선지수를 높게 추정하는 것은 치수 안전도면에서 바람직하다고 판단할 수도 있겠으나, 수공구조물의 설계에서 경제성을 고려하거나 비점원 오염원 해석에 필요한 유출 자료를 만들기 위해서는 보다 신뢰성 높은 유출곡선지수의 추정이 필요하다. 따라서 위성영상을 이용한 토지피복분류도를 유출곡선지수 추정에 사용하는 것은 바람직하다고 판단되며, 식생지수를 이용하여 산림 지역을 세분화 시켜 적용할 필요가 있다.

참고문헌

1. 남현옥, 박경운, 조성익, 1989, 원격탐사기법에 의한 소유역의 홍수수문곡선 결정, 대한원격탐사학회지 5(1) : 13-27
2. 윤용남, 1986, 공업수문학, 청문각
3. 우보명, 1997, 산림공학, 광일문화사
4. 김경하, 1996, 산림 소유역의 수문특성(I), 산림과학논문집 54: 71-80
5. 임상준, 박승우, 1997, 논의 유출곡선번호 추정, 한국수자원학회논문집 30(4) : 379-387
6. 국립방재연구소, 1998, 위성자료를 이용한 미계측 특정지역의 하천재해 분석을 위한 기초연구.
7. 한국환경정책·평가연구원, 1999, 인공위성자료를 이용한 토지피복분류.
8. 김경탁, 심명필, 선우중호, 1999, 미계측 유역의 유출모의를 위한 지리정보시스템의 응용(I): 163-176
9. 환경부, 1998, 인공위성 영상자료와 GIS를 이용한 녹지자연도 등급판정 기법 개발.
10. 박희성, 1998, 위성영상을 이용한 토지이용분류 및 유출곡선번호의 추정, 서울대학교 석사학위 논문.
11. 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.
12. Jensen, John R., 1996, Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective, Englewood Cliffs, New Jersey , Prentice-Hall
13. Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer, 1994, Remote Sensing and Image Interpretation, New York : John Wiley and Sons.
14. Sabins, Floyd F., Jr., 1987, Remote Sensing Principles and Interpretation, New York : W.H.Freeman and Co.
15. SCS, 1972, National Engineering Handbook, Sec. 4, Hydrology, U.S. Department of agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
16. Rango, A.J., Foster, and V.V. Salomonson, 1975, Extraction and utilization of space acquired physiographic data for water resources development, Journal of Water Resource.
17. Jackson, T.J. R.M. Ragan, W.N. Fitch, 1977, Test of LANDSAT-based urban hydrologic modeling, Journal of Water Resource.