

Landsat TM 위성영상을 이용한 산불 발생지역의 탐지

Detection of Burned Forest Areas Using Landsat TM Images

김철민 · 이승호 · 노대균

임업연구원 산림조사과

Helmin@foa.go.

요 약

2000년 4월, 강원도 삼척일대에 크게 발생한 산불 지역에 대해서 Landsat TM 인공위성 영상자료를 이용하여 산불의 피해지역을 조사분석하였다. 산불발생 전과 후의 2시기 위성영상을 이용하여 변화탐지 기법의 하나인 화상간차이법을 적용하였다. 분석 결과 산불 발생지역의 탐지에는 NDVI를 유도하고 그 차이를 이용하는 것이 가장 탁월한 것으로 나타났다. 산불 피해지역을 구분하는 임계값을 표준편차×0.9로 하였을 때, 현지조사 결과에 대한 전체정확도는 93.8%, 카파계수는 0.82로 매우 높았다.

1. 서 론

지난 2000년 4월 7일부터 15일까지 강원도 고성군, 강릉시, 삼척시, 동해시 및 경북 울진군에 산불이 동시다발적으로 발생하였다. 당시의 산불은 오래 계속된 가뭄과 봄철의 건조한 기상, 그리고 순간 최대 풍속이 27m/sec에 달하는 강풍으로 인해 넓은 면적에 급속하게 확산되었으며, 대한민국 전체 산림면적의 0.5%에 해당하는 총 23,794ha에 달하는 산림이 소실되고 가옥 등 재산 피해와 인명의 손실까지 있었다.

산불은 산림자원의 경영적 측면에서 그 역할과 기능이 매우 크고 중요하다. 첫째로 꼽을 수 있는 산불의 기능은 파괴 기능이다. 위에서 본 것처럼 산불은 임목을 포함하여 많은 재산상의 손실과 피해를 야기한다. 이러한 기능에 대응하여 산불을 방지하기 위한 많은 노력과 수단이 강구된다. 그러나 이러한 산불방지의 개념은 생태계 경영의 개념이 도입되면서 근년들어 다르게 바뀌어 가는 추세이다. 즉 산불을 생태계를 구성하는 하나의 중요한 인자로 인식하게 되었다는 점이다. 산불에 대한 태도와 인식이 산불의 방지(fire

control)에서 산불의 관리(fire management)로 전환됨에 따라, 산불의 생태적 특성과 기능까지 고려하여 산림 경영의 목적과 방향을 설정하는 경우도 빈번하게 나타나고 있다. 원하지 않는 산불의 파괴적 역기능은 최소화하면서 그것이 주는 이점은 최대한 이용한다는 것이다.

산림을 건전하고 지속가능한 상태로 유지 관리하기 위해서는 일단 산불이 발생하면, 그것이 원하였거나 아니면 원하지 아니 하였는지를 막론하고 산불의 규모와 피해의 범위를 즉시 파악할 수 있는 수단이 강구되어야 한다. 산림의 복구계획 수립이나 식생의 회복을 분석 평가하는데 있어 필수적이기 때문이다.

산불은 조사자의 접근이 어려운 험한 산지에 확산되는 경우가 많으므로, 산불에 의한 산림식생의 피해를 조사하고 회복되는 과정을 모니터링하여 산림자원 경영계획에 반영시키기 위해서는 인공위성 영상자료를 이용하는 것이 효과적이다. 인공위성 센서를 통해 각 밴드별로 획득한 지표면에 대한 반사특성값이 산불 발생과 이후의 현상을 특징적으로 나타내어 주기 때문이다. 본 연구에서는 중간 정도의 해상도를 갖는 Landsat TM 위성영상이 산불 발생지역을 탐지하는데 얼마나 유용하게 쓰일 수 있는지를 분석 검토하였다. 동일지역의 산불 발생전과 산불 발생 이후의 두 가지 위성영상을 이용하고 변화탐지 기법을 적용하여 산불 발생지역에 관한 피해 정보를 획득하는데 연구의 목적을 두었다. 이러한 방법을 통해 얻은 연속적인 정보는 차후 이 지역의 식생 회복이나 생태적 변화상태를 평가하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각한다.

2. 재료 및 방법

가. 연구대상지

본 연구를 위한 대상 지역은 강원도 삼척시

근덕면과 원덕읍 및 그 주변 지역으로서 2000년 4월 대규모의 산불이 발생한 지역이다. 한반도 생태계를 자연지리적 특성과 기후인자에 따라 16개의 생태지역으로 구분한 결과에 따르면(Shin 등, 1999; 오, 2000) 이 지역은 “강원해안” 생태지역으로 구분된다.

이 생태지역은 강원도 고성군으로부터 삼척시까지의 태백산맥 동쪽의 동해안 지역에 길게 걸쳐 있으며, 이 지역의 기후특성은 여름에는 서늘하고 겨울에는 따뜻하며 겨울의 강수량은 많으나 봄과 여름의 강수량은 적다. 따라서 식생으로는 소나무가 우점종을 형성하며, 봄철의 건조현상과 강한 바람 때문에 산불피해가 대규모로 잘 발생하는 지역이다.

나. 인공위성 영상 자료

분석에 사용한 위성 영상은 1998년 5월 20일과 2000년 5월 25일에 각각 수신된 Landsat TM 영상이다. 산불 발생 이후에 수신한 2000년 5월 25일의 영상에서는 육안으로도 산불 피해지역의 범위가 어느 정도 구분된다. 연구대상 영역은 산불이 집단으로 발생한 지역이 포함되도록 하고, 기하보정과 재배열이 끝난 각각의 영상에서 970×865 픽셀의 크기로 잘라내어 분석에 사용하였다.

다. 전처리 및 자료분석

(1) 기하보정 및 재배열

기하보정은 데이터 수신시 관측위성의 궤도나 자세의 변동, 지구의 자전 등에 기인해 생기는 영상의 왜곡을 실제 지표의 위치와 일치시키는 처리과정을 말한다. 본 연구에서 기하보정은 지상기준점(GCP; Ground Control Points)을 선정하고 이를 이용하여 인공위성 영상자료를 지도좌표계에 일치시켰다. 좌표변환은 우리 나라에서 사용하고 있는 평면직각좌표체계에 맞추었고, 동부원점을 적용하였다.

지상기준점에 대한 정확한 좌표값을 지도에서 읽어내기 위해서는 연구지역의 1:25,000 축척 지형도를 칼라 스캐너를 이용해서 이미지 파일로

만든 후 이것에 좌표값을 부여한 수치영상지형도를 사용하여 정확도를 높였다. 위성영상의 좌표변환식은 2차다항식을 사용하였으며, 재배열은 화소의 크기를 30m×30m로 하고, 재배열 방법은 공1차 내삽법에 의하였다.

영상대 영상정합은 먼저 기하보정이 된 인공위성 영상자료를 기준으로 해서 동일 지역의 다른 영상자료를 같은 좌표체계와 위치를 갖도록 보정 처리하는 방법이다. 본 연구에서도 1998년의 영상을 먼저 기하보정하고 2000년의 영상은 영상대 영상 정합방법에 의해 위치를 일치시켰다. 영상 정합방법에 의한 영상의 변환에도 2차 다항식에 의해 유도된 변환식을 적용하고, 재배열은 공1차내삽법에 의하였다.

지상기준점과 공통기준점의 변환식 적용 전후의 지도좌표계에서의 차이를 나타내는 오차사승합은 일반적으로 변화탐지 분석연구에서는 대응하는 화소끼리 일대일로 비교하는 경우가 많기 때문에, 영상대 영상의 정합에서는 0.5 픽셀 이내가 되도록 요구하고 있는데 본 연구에서는 0.2 정도로 위 조건을 충분히 수용하였다.

(2) 대기보정

지표면의 어떤 대상물이 반사 또는 복사하는 전자기파에너지는 물리적으로 항상 일정하지 않고 태양의 위치, 대기의 상태 등에 따라 왜곡이 포함되는데 이러한 왜곡을 제거하는 것을 방사보정 혹은 복사량 보정(radiometric correction)이라 한다. 방사보정에는 센서의 감도 특성에 기인하는 보정, 태양고도나 지형의 영향을 제거하는 보정, 그리고 대기효과의 보정 등이 있는데, 본 연구에서는 대기의 조건이나 대상물의 상태에 따라 태양광이 흡수, 산란되어 변동된 방사량의 값을 보정하는 대기보정(atmospheric correction)을 실시하였다.

대기효과 보정을 위해서 1998년에 관측된 영상 데이터를 기준영상(reference image)으로 하고 2000년도의 영상 데이터를 보정 대상 영상(subject image)으로 하여 회귀식에 의한 보정방법 중의 하나인 Automated Scattergram-

<표 1> 연구대상지역 영상의 대기효과 보정을 위해 유도된 보정회귀직선식의 계수

구분	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7	비고
a(offset)	27.05	-11.43	5.004	-16.26	-20.15	-4.808	y절편
b(gain)	0.632	1.329	1.552	2.477	2.233	1.102	기울기

Controlled Regression 방식을 택해 두 시기 영상을 정규화하였다. 이것은 Elvidge 등(1995)이 제안한 상대적 방사보정의 한 방법으로써, 대응하는 밴드에서 이상치들을 제외시키고 회귀분석을 적용시켜 기준영상에 대해 보정대상 영상의 값을 변환시킨다. 열적외선 영역인 Band 6을 제외하고 밴드별로 유도된 보정 회귀직선의 기울기(b_i)와 절편(a_i)의 값은 표 1과 같았으며, 이에 따라 2000년도의 보정영상 데이터는 $a+b \times (2000\text{년의 데이터값})$ 의 식으로 구해졌다.

(3) 화상간 차이법에 의한 변화지역 탐지

화상간 차이법(image differencing)은 두 시기 t_1 과 t_2 의 화상에서 서로 같은 위치에 있는 화소들의 반사값끼리 단순히 빼기를 하고 그 차이를 이용하여 변화지역을 탐지한다. 즉 변화가 심하게 일어난 지역은 양(+)이나 음(-)의 부호를 가지면서 그 차이가 클 것이고, 변화가 없거나 적은 지역에서는 그 값이 0이나 0에 가까운 값을 얻게 되는데, 이 결과를 히스토그램으로 나타내면 0 값을 중심으로 하는 정규분포 모양을 하게 되며, 변화가 있는 지역은 양 끝단에 모이게 되어 변화지역을 나타내게 된다. 화상간 차이법은 대응하는 화소끼리 단순 비교하여 그 차이를 이용하는 것이기 때문에 앞에서 설명한 대기보정의 과정을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 화상간 차이법에 의한 산불발생지역 탐지

산불 발생지역의 탐지를 위해서 두 시기 화상간의 비교에 의한 변화탐지 기법을 사용하였다. Landsat TM 데이터의 경우 이론적으로 7개의 밴드 쌍마다 모두 차이를 계산할 수 있으며, 경우에 따라서 식생지수를 유도하거나 주성분 분석을 실시하고 그 결과로 생겨난 새로운 성분특성끼리의 차이를 비교하는 것이 효과적이기도 하다. 본 연구에서는 열적외선 밴드를 제외한 Landsat TM의 6개의 밴드와 각각의 영상에서 유도해낸 식생지수를 비교하여 그 차이를 변화탐지에 이용하였다.

사용된 식생지수는 정규식생지수(NDVI)로써, 근적외선 파장대에서의 반사량과 적색 파장대에서의 반사량의 차이를 그 합으로 나누어서 산출한 지수값이다. 이 식생지수는 녹색 식물체가 적색파장대의 빛을 흡수하고 근적외선 영역의 빛은 반사하는 특성을 이용하여 식물체의 광합성

활동과 밀접히 관련된 정보를 제공한다(Malingreau, 1990).

산불발생 후에 수신한 Landsat TM 영상과 산불발생 전에 수신한 영상에서 대응하는 각각의 밴드 및 NDVI의 차이를 계산하고 그 결과를 영상으로 나타내었을 때, 밴드 3, 4, 7, 및 NDVI에서는 육안으로 산불피해 지역의 범위가 어느 정도 구분되었으나, 밴드 1, 2, 및 5에서는 두 영상간의 차이에 별다른 유의성이 나타나지 않았다. 다만 밴드 3과 밴드 7에서는 산불피해 지역의 반사값이 산불발생 이후에 더 높아져 양(+) 방향의 변화를 보이는 반면, 밴드 4와 NDVI에서는 두 영상간의 차이가 음(-) 방향의 변화를 보이고 있어 산불피해 지역의 반사값이 크게 감소하였음을 나타내고 있다. 이는 파장대별로 산불 발생에 의한 토지피복이나 식생의 변화가 서로 다른 반사 형태를 보여주는 것으로 이해된다.

나. 밴드별 분류정확도 평가

밴드별 분류정확도는 전체정확도와 카파계수를 구해 평가하였다. 이것은 통계적인 작업에 의해 분류결과를 정량적으로 평가하는 방법 중에서 대표적인 것들이다. 화상간 차이법을 적용하면서 대응하는 화소간에 변화의 여부를 판정하는 임계값(threshold)은 표준편차량으로 하였다.

먼저 전체정확도(overall accuracy)는 제대로 분류된 총 화소수를 조사 대상지역 전체 화소수에 대해 백분율로 나타내는 값이다. 표 2는 밴드 7의 경우를 error matrix로 나타낸 것인데 이와 같은 분할표에서 전체정확도는 $((57,115.7 + 8,417.4) / 75,514.5) \times 100 = 86.8\%$ 로 계산되어 얻어진다.

여기에서 참조자료(reference data)는 현지조사에 의해 작성된 이 지역의 산불피해지 도면(동해안산불피해지 공동조사단, 2000)을 수치화하여 산불피해지역과 무피해지역으로 구분하였으며, 분류결과는 화상간 차이법에 의해 얻어진 결과 이미지에서 임계값으로 설정한 표준편차량을 초과하는 화소가 위치한 지점을 산불피해지역으로 판정하였다.

카파계수(Kappa coefficient)는 error matrix의 모든 항을 다 감안하여 얻어지는 값으로 1960년 Cohen에 의해 처음 개발되었으며 1980년대 초에 Congalton에 의해 원격탐사 분야에 소개되어 이후 널리 사용되고 있다. 이것은 실질적 일치에서 우연의 일치(chance agreement)를 뺀 식(Overall accuracy - Chance accuracy) / (1 - Chance

<표 2> 밴드 7의 산불 발생지역 탐지 결과 분할표

		Reference data			
		No change (Undamaged)	Change (Burned)	Total	Row Marginal Totals
Classified data	No change	57115.7	8303.0	65418.7	0.8663
	Change	1678.4	8417.4	10095.8	0.1337
	Total	58794.1	16720.4	75514.5	
	Column Marginal Totals	0.7786	0.2214		

accuracy)의 형태로 계산된다. 여기에서 우연의 일치치는 비교하는 두 데이터에서 각 항목의 합이 분류비율을 서로 곱하고 이를 더한 값으로써, 위 band 7의 경우 우연적 일치값은 $(0.8663 \times 0.7786) + (0.1337 \times 0.2214) = 0.7041$ 이며, 따라서 카파계수는 $(0.8678 - 0.7041) / (1 - 0.7041) = 0.55$ 로 계산된다.

이렇게 하여 화상간 차이를 보았을 때 어느 정도 산불 발생지역의 범위가 구분되는 밴드 3, 4, 7 및 NDVI에 대해 산불 발생지역 탐지 결과를 참조자료와 비교하여 그 분류정확도를 평가한 결과는 표 3과 같다.

연구 대상지역이 된 삼척시 근덕면과 원덕읍 일대의 산불 발생지역의 경우 4개 밴드의 전체정확도는 대략 80%를 상회하고 있다. 산불 발생지역에서 반사값의 증대 현상을 보이는 band 3과 7에서 상대적으로 낮고 band 4와 NDVI에서는 90% 이상의 매우 높은 값을 보였다. 그러나 일반적으로 전체정확도는 잘못 분류된 부분에 대한 고려가 없어서 분류정확도를 판정하는 기준으로 다소 미흡한 점이 있다.

카파계수에서는 0.2에서 0.8까지 매우 큰 차이를 보였는데 근적외선 영역인 band 4에서 좋은 결과를 보였으며, 여기에 가시광선의 적색 영역인 band 3의 영향을 가미한 NDVI에서 가장 높은 값을 나타냈다. 변화탐지에 관한 유사한 연구에서

임(2000)은 도시화 및 산업화에 따른 농경지의 감소 현황을 화상간 차이법에 의해 분석했을 때 밴드 1이 농경지의 변화탐지에 가장 유효하다고 했으며, Choung(1992)은 습지의 변화탐지에서 밴드 7이 가장 좋았다고 했는데 본 연구 결과와 모두 상이하다. 이는 같은 화상간 차이법에 의한 변화탐지라고 해도 분석하고자 하는 대상물의 종류와 내용에 따라 반사특성들이 다르게 나타나기 때문이다.

다. 임계값의 변화에 따른 산불 발생지역 탐지 평가

화상간 차이법을 이용하여 변화지역을 탐지하는 방법은 직접 화소값의 변화를 확인할 수 있는 반면, 변화지역과 그렇지 않은 지역을 판단하는 경계인 임계값을 결정하기 어려운 점이 있다. 따라서 화상간 비교법에서 산불 발생지역 탐지에 가장 유효하다고 판단되는 NDVI에 대해서 임계값을 표준편차 1.0을 중심으로 0.1씩 증감시켜 분류 결과를 평가하였다(표 4).

본 연구에서는 산불이 발생하여 산림이 소실된 지역을 탐지하는 것이기 때문에 임계값을 증가시켰을 때보다 0.1씩 감소시켰을 때, 즉 허용오차를 크게 하였을 때 산불에 의해 변화된 산림지역을 정확히 분류하는 비율이 높아질 가능성이 크다. 그러나 전체정확도가 높아질수록, 변화지역

<표 3> 화상간 차이법에 의한 밴드별 분류정확도

구분	Overall accuracy(%)	Kappa coefficient
Band 3	80.38	0.21
Band 4	92.87	0.79
Band 7	86.78	0.55
NDVI	93.70	0.81

<표 4> NDVI를 이용한 화상간 차이법에서 임계값 수준에 따른 분류정확도

SD level	Overall accuracy(%)	Kappa coefficient
1.1	93.40	0.80
1.0	93.70	0.81
0.9	93.82	0.82
0.8	93.63	0.78

이 아니면서 변화된 것으로 잘못 분류되는 비율이 따라서 커지기 때문에 이런 오류로 인하여 임계값 수준에 따라 분류정확도가 다소 변화한다. 이렇게 하였을 때 표에서 보는 바와 같이 전체정확도와 카파계수는 표준편차×0.9 수준에서 가장 높은 분류정확도를 보였다.

4.참고문헌

동해안산불피해지 공동조사단. 2000. 동해안 산불 지역 정밀조사보고서 I. 533pp

오정수. 2000. 산불의 피해형태 및 기술적 복구방안. 2000년도 한국임학회 학술연구발표회집. pp31-42

임상규. 2000. Landsat TM 자료를 이용한 농경지의 변화분석에 관한 연구. 경희대학교 대학원 박사학위논문. 105pp.

Cheong, S. H. 1992. Wetland change detection using Landsat-5 Thematic Mapper data in Jackson Hale, Wyoming. Ph.D. Dissertation Paper. 230pp.

Elvidge, C. D., Yuan, D., Weerackoon, R. D., and R. S. Lunetta. 1995. Relative radiometric normalization of Landsat Multispectral Scanner data using an automatic scattergram-controlled regression. PE & RS 61(10):1255- 1260

Fung, T. and E. Ledrew. 1988. The determination of optimal threshold levels for change detection using various accuracy indices. PE&RS 54(10): 1449-1454

Green, K., D. Kempka, and L. Lackey. 1994. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. PE&RS 60(3):331-337

Jenson, J. R. 1996. Introductory digital image processing : a remote sensing perspective. Prentice Hall, NJ., USA. 316pp.

Lunetta, R. S. and C. D. Elvidge (ed.). 1998. Remote Sensing Change Detection: Environmental monitoring methods and applications. Ann Arbor Press, Chelsea, USA.

Malingreau, J.-P. 1990. The contribution of remote sensing to the global monitoring of fires in tropical and subtropical ecosystems. pp. 330-370 in Goldammer J.G. (ed.) fire in the Tropical Biota. Springer-Verlag, Berlin

Shin, J.H., Kim, C.M., Lim, J.H., and J.S. Oh.1999. Forest vegetation zone and ecosystem classification of the Korean peninsula. Proceedings of International Symposium on Environmental Monitoring in East Asia. October 1999, Kanazawa Japan. pp68-77.