

위성자료를 이용한 산화지의 입목 손실량 평가

마호섭¹ · 정영관¹ · 정수영¹ · 최동욱¹

Evaluation of Damaged Stand Volume in Burned Area of Mt. Weol-A using Remotely Sensed Data

Ho-Seop Ma¹ · Young-Gwan Chung¹ · Su-Young Jung¹ · Dong-Wook Choi¹

요 약

본 연구는 1995년 4월 5일 진주시 월아산지역에서 발생한 산화지를 1995년 5월에 관측된 Landsat TM화상 데이터로부터 산림내 피해를 분류하고 그 입목손실량을 추정하기 위해서 실시되었다. 화상 데이터에서 11개의 GCP를 선정하여 Affine좌표변환식에 의해 TM지도좌표체계에 일치되도록 화상을 기하보정 처리한 후 공1차내삽법(bilinear interpolation)에 의해 재배열하였다. 재배열된 화상 데이터를 감독분류 중 최대우도법에 의해 토지이용구분을 실시하였다. 산화지로 분류된 지역과 비산화지로 분류된 인접지역 중 임상(*Pinus thunbergii*)과 지형이 동일한 지역을 GIS기법에 의해 추출하고 이 지역을 표준지로 선정하였다. 선정된 표준지를 중심으로 표준목의 재적과 수령을 Criterion laser estimator와 WinDENDROtm(v. 6.3b)시스템에 의해 분석하였다. 표준목의 흉고직경은 20.9cm, 수고는 9.7m, 재적은 0.1396m³으로서 표준지의 입분재적은 2.9316m³/0.04ha로 나타났으며, 산화지 218.4ha에서의 총 입목손실량은 16,007m³로 평가되었다.

주요어: Landsat TM, 산화, 표준지, 입목손실량

ABSTRACT

This study was carried out to estimate the area of damaged forest and the volume of stand tree in burned area, Mt. Weol-A in eastern Chinju, Korea using digital maps derived from supervised classification of Landsat thematic mapper(TM) imagery as reference data. Criterion laser estimator and WinDENDROtm(v. 6.3b) system as a computer-aided tree ring measuring system were used to measure a volume and age of sampled tree. The sample site had been chosen in unburned areas having the same terrain condition and forest type of burned areas. The tree age, diameter at breast height, tree height and volume of the sample tree selected from sample site in unburned area were 27years, 20.9cm, 9.7m and 0.1396m³ respectively. Total stand volume of sample site was estimated 2.9316m³/0.04ha, Damaged stand volume evaluated to about 16,007m³ in the burned area of 218.4ha.

KEYWORDS: Landsat TM, Burned Area, Sample Site, Damaged Stand Volume

1999년 8월 31일 접수 Received on August 31, 1999

¹ 경상대학교 농과대학 산림과학부 (mahoseop@nongae.gsnu.ac.kr)

Faculty of Forest Science, Coll. of Agriculture, Gyeongsang Nat'l Univ.

서론

산불은 자연적인 요인과 예방대책의 미비로 과거에는 주로 발생하였으나 최근 인구가 증가되고 복지수준이 향상됨에 따라 산림지역 내의 여가활동 증가로 부주의에 의한 실화가 더욱 많은 것으로 나타나고 있다. 우리나라 산림면적은 전국토의 65%를 차지하나 산림녹화사업이 성공적으로 수행되어 이제 임목축적은 340,824,225m³로서 ha당 축적이 52.91m³이며 수령 또한 청장년기에 접어 들고 있다(임업통계연보, 1998). 잘 조성된 산림일수록 산불이 발생하면 많은 수목들이 피해를 받아 그 피해액도 더욱 증가하는 실정이므로 산림을 보전하고 관리하는 일이 산림자원의 경영적 측면에서 더욱 중요한 시점이 되고 있다. 이러한 산림자원을 보전하는데 있어 걸림돌이 되는 주요 원인들 중에는 산화에 의한 피해, 풍해, 설해 등의 기상에 의한 해 및 산지개발에 의한 인위적인 피해 등 그 종류가 다양하다. 특히 산화는 짧은 시간내에 많은 면적이 연소되므로 경제적인 피해 뿐 만 아니라 강우를 차단 및 저류할 수 있는 능력이 상실되어 표면유출을 증대시켜 토양침식이 가속화되고, 산사태 및 하상범람 등 각종 2차적인 재해를 유발하면서 경관과 토양의 생산성을 악화시킨다(마호섭 등, 1997; 우보명 등, 1986). 산화는 자연재해 중 가장 피해가 크고 지속적으로 일어나므로 우리나라와 같이 지형지세가 복잡한 산지에서는 더욱 세심한 예방대책이 요구되고 있다.

최근 위성이미지로부터 정규화된 식생지수의 차이를 이용하여 산림을 구분하고 이에 대한 수치정보를 수집하려는 연구가 활발히 수행되고 있다. 다른 두 시기에 관측된 Landsat 화상 자료를 비연산처리에 의한 화상강조처리를 한후 최대우도법에 의해 화상분류한 후 이를 중첩시켜 산림식피변화를 분석한 바 있으며(이승호, 1992), 운두령 다목적산림경영시험단지를 대상으로 Landsat TM화상데이터와

DEM에서 현지표본점의 지도좌표와 대응하는 지점 및 화소를 대상으로 표고, 경사 및 방위 등의 지형특성이 소나무림과 신갈나무림의 임분성장 특성인자 즉, 축적, 흉고단면적, 평균직경, 생장량, 임령, 물질생산량간의 상관성이 다소 있다며 이들간의 추정회귀식을 유도하였다(이승호 등, 1994). 10년의 시차를 두고서 관측된 Landsat 화상자료를 이용하여 소나무가 고사된 지역을 분류하고, GIS기법에 의하여 이곳의 벌채적지와 유역산림관리에 안정성을 도모할 수 있도록 공간분석을 하는 등 장기적인 산림관리정책에 위성이미지 및 GIS기법이 응용된 바 있다(東敏生, 1995). Landsat TM 데이터 및 GIS를 이용하여 화산 주변의 국립공원지역에서 지형데이터 및 하층 임분상황을 통합하여 임상도를 작성한 결과 분류정확도가 73%였다고 보고 한 바 있고(White 등, 1995), 30m 해상력으로서 24개의 Landsat TM화상 데이터를 모자이크 처리한 후 GIS기법에 의해 표고, 경사, 방위 등의 공간정보를 화상데이터에 응용함으로써 분류 정확도를 향상시켜 Utah주 내의 식생을 36개 항목으로 구분한 바 있다(Homer 등, 1997). 또한 AVHRR위성이미지를 이용하여 산화지의 분류 및 산불위험도를 평가하였고(Chuvico 와 Martin, 1994), 수치지형자료를 이용한 산불의 연소유형을 분석한 결과에서 산불의 평균 연소진행 속도는 상향사면의 경우 6.7~25.7m/분, 하향사면의 경우 0.2~5.5m/분으로서 지형, 풍향, 속도 및 임상조건에 따라 연소속도와 연소형태가 결정된다고 한 바 있으며(이시영 등, 1994), 산불 진화용 저수탱크의 적지분석을 통하여 산불진화를 효과적으로 할 수 있도록 재난관리측면에서 GIS를 응용한 바 있다(이기철 등, 1998). NOAA/AVHRR의 위성이미지를 이용하여 식생지수의 값을 지표로하여 산화지역을 분류하고 식생을 구분한 결과 GEMI3지수에 의한 식생구분이 가장 양호하였고, 다음으로 GEMI, VI3 및 NDVI순으로 나타났다고 보고하였다

(Pereira, 1999).

이와같이 산림자원을 보전 및 관리하기 위해서는 산림정보 데이터베이스를 더욱 실시간적인 갱신 및 구축을 통하여 각종 산지재해로부터의 피해분석과 산불 방재시설의 확충등 산화예측 시스템을 개발하여 보다 안정된 산림생태계를 유지할 수 있도록 하여야 할 것이다.

따라서 본 연구는 1995년 4월 5일 발생한 진주시 월아산의 산화지역을 중심으로 미국 자원탐사위성인 Landsat5호의 TM(Thematic map)화상 데이터를 이용하여 산화피해지 및 그 주변일대를 토지이용구분하고, 이로부터 산림내의 현지 표준지 조사를 병행하여 산화에 의한 입목손실량을 추정하고자 한다. 이를 통하여 산림자원의 중요성을 더욱 인식시켜 산화에 대한 경각심을 고양시킬 뿐만 아니라 피해지역의 공간특성정보를 수집함으로써 장차 이 지역의 미래 임분을 설계하는 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 진주시의 동쪽에 위치하고 있는 월아산(471m), 장군태산(482m)지역으로서 임분 조성이 안정되고 적색사암을 모암으로 하는 적갈색 산림토양으로 되어있다. 행정구역상으로는 진주시 문산면, 금산면 및 진성면에 걸쳐 있다. 본 지역은 경남의 동맥인 남강이 거창군 덕유산과 지리산으로부터 발원하여 서부경남 산간지대의 저곡부를 따라 흐르는 사행천이며, 주변의 안정된 임분으로부터 안정된 수원을 제공받고 있는 지역이기도 하다. 시험대상지역의 지형특색은 첨예한 산봉대신 원정을 이루고 있으며, 산복 및 산록은 완경사지이며, 지형윤상으로 보아 만장년기에서 노년기산지의 형태적 특징을 이루고 있다.

2. 화상 데이터의 전처리

1) 기하보정처리(Geometric Correction)

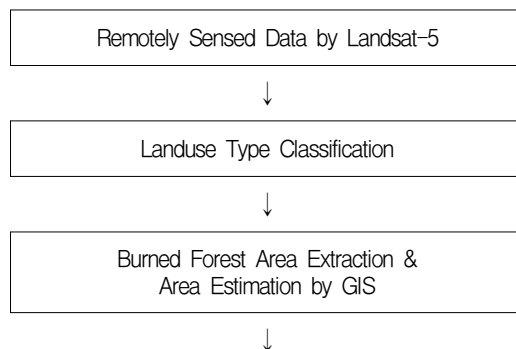
Landsat TM화상 데이터에 대하여 1:25,000 지형도를 이용하여 TM(Transverse Mercator) 지도좌표체계에 따라 투영변환한 다음 공1차 내삽법(bilinear interpolation)에 의해 각 화소 값(DN)을 부여하여 재배열하였으며, 이때 화소크기는 30m×30m로 하였다.

2) DEM(Digital Elevation Model)구축 및 화상분류처리

축적 1:25,000지형도를 스캐닝한 등고선원도를 GEOVEC에 의해 속성과 지도좌표계를 입력하여 DEM을 구축하였다. 화상분류처리는 PC용 ERDAS IMAGINE에 의하였으며, 기하보정된 화상자료를 ISODATA Clustering법에 의해 감독분류(supervised classification)하고, training field내 sites를 선정한 후 화상강조처리는 밴드 2, 4, 7번의 composite 화상에 의하였으며, 선정된 화소수는 최소한 band 수의 10~100배 이상 되도록 하고, 분류방법은 최대우도법(maximum likelihood classifier)으로 토지이용을 구분하였다.

3. 산화지의 입목손실량 산출

Landsat 자원탐사위성 화상자료로부터 산화지의 입목손실량을 추정하기 위한 처리과정은 그림 1과 같다.



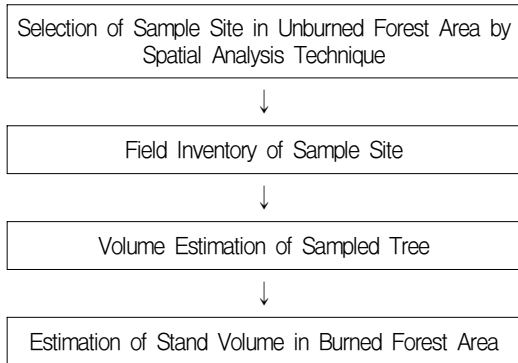


FIGURE 1. Process for estimation of damaged stand volume and Landuse classification from remotely sensed data.

인공위성화상 데이터의 기하보정처리 및 재배열 등의 전처리과정을 거친 화상자료에서 산림지대를 분석한 후, 산화에 의한 피해지역을 분류하였다. 본 연구 대상지역의 산화지역과 비산화지역은 비교적 인접하여 임분밀도, 임령 및 지형조건이 동일하므로 임상도와 GIS의 공간분석기법을 이용하여 산화지와 동일한 해상도이면서 남동사면의 산복지점에 위치한 환경사지 한곳을 비산화지의 현지 표준지로 유의 선정하였다. 표준지내 임분조사를 위하여

Sample plot size는 20m×20m로 설정하고, 매 목조사에 의한 흉고단면적의 평균에 의하여 표준지내 표준목을 선정하였다. 선정된 표준목에 대한 단면고별 직경측정은 Criterion-레이저수목측정장비에 의하여 하였다. 그리고, 표준목의 수령 및 성장률 등을 분석하기 위해 성장추를 이용하여 core를 추출한 후 이를 건조 및 연마하여 1200dpi의 분해능 수준으로 scanning 하였으며, 시료측정은 WinDENDRO™(v. 6.3b) 시스템에 의하여 분석하였다. 표준목의 재적을 추정하기 위하여 Huber식에 의한 구분구적법(식(1))을 이용하였으며, 또한 표준지법에 의한 산화지의 총 임분재적 손실량은 Presseler식(식(2))에 의하여 구하였다.

$$v = \frac{\pi}{4} d_1^2 l + \frac{\pi}{4} d_2^2 l + \dots + \frac{\pi}{4} d_{n+1}^2 l$$

$$= l(r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n) + r_{n+1} l$$

..... (1)

산화지의 임분재적(V) = 표준지재적(v)×
산화지의 면적/표준지의 면적(20m×20m)
= v(m³)×Classified burned forest area(ha)
/ 0.04(ha)

..... (2)

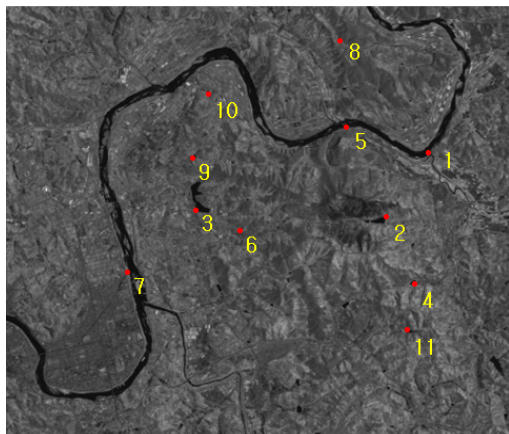


FIGURE 2. Location of ground control points.



FIGURE 3. Image scene of study area after geometric correction.

결과 및 고찰

1. 피해임분의 화상자료 분석

1) TM data의 전처리

Landsat TM 데이터의 기하보정처리는 위성화상에서 그 위치를 확연히 구분할 수 있는 지상대상물을 대상으로 지상기준점(GCP) 11개소를 설정하였으며, 이들 11개 화상좌표를 지도좌표계와 일치시켜 화상데이터를 지도화하였다(그림 2). 횡메르카토르(Transverse Mercator)법 및 좌표변환 affine식에 의해 일치된 화상 좌표체계의 발생된 RMS(Root Mean Square)오차는 0.575 pixel로서 화상 데이터의 1 pixel이 내 오차로서 만족할 만한 수준이었다. 그리고, 재배열(resampling)방법 중 기하보정에서 새로운 좌표체계에 따라 구해진 위성이미지에 원레이미지와 관계에 의한 최근린내삽법(nearest neighbor resampling)이 시험대상지의 현지 검정결과 가장 적절한 화소값을 결정하는 것으로 판단되었다. 전처리과정에 의해 지도좌표계에 일치된 화상결과는 그림 3과 같다. 또한 화상데이터 전체를 대상으로 하기 보다는 필요한 부분을 절출한 수치지도를 이용하여 시험대상지를 분석하는 것이 시간, 노력 및 경비를 줄일 수 있어 토지이용분류를 시행

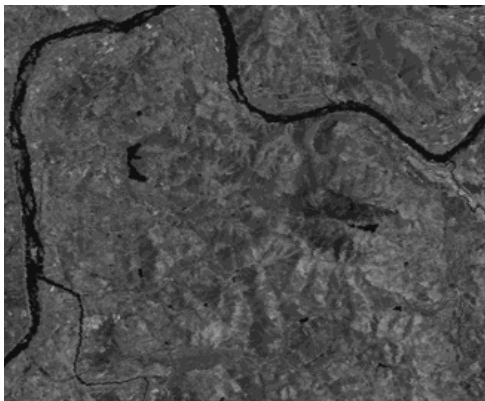


FIGURE 4. Image scene of study area.

하는데 있어 효과적이므로 지도좌표계에 일치된 화상좌표에서 산화지와 산화지 주변 산림지대를 포함하는 시험대상지를 그림 4와 같이 절출하여 이용하였다.

2) 화상해석 및 토지이용현황

Band 수의 10~100배 이상이 되도록 training field를 선정한 sites의 해당 pixel 개수는 7,433개였으며, band 2, 4 및 7이 유효 band로서 분석이 되었으며, training field의 화상강조처리는 Linear saturation stretch에 의한 2.5% 신장효과가 육안적으로 쉽게 구분할 수 있어서 아주 효과적인 것으로 나타났다.

시험대상지의 인공위성 화상자료를 이용하여 최대우도법에 의해 산화지, 수역, 산림지역 및 논 등 7개 항목으로 토지이용형태를 분류한 결과는 표 1과 같다.

TABLE 1. The area of land-use cover by maximum likelihood classifier

Classification	Area(ha)
Burned forest	218.4
Water	201.6
Forest	3,992.0
Paddy	1,227.8
Sand	141.0
Residence	656.1
Others	2,467.2
Total	8,904.1

표 1에서, Landsat 1995년 5월 인공위성 화상자료에 의한 토지이용구분형태를 점유면적으로 나타낸 결과이다. 분석결과로부터 1995년 4월 5일 식목일 월아산 지역에서 산불이 발생하기 전 산림지대의 점유면적 비율이 연구대상지의 약 47.3%로 나타났으나 산불이후 산림지대가 44.8%로 줄어 들었음을 알 수 있었다.

산림지대는 시험대상지역에서 여전히 가장 많은 면적(44.8%)을 차지하고 있으며, 이곳의 임상은 해송, 소나무, 아카시아 및 참나무류등으로 구성되어 있었다. 그리고 산화지인 월아산의 남쪽 및 동쪽사면의 계곡부는 DEM(digital elevation model)을 이용한 GIS의 공간분석을 실시한 결과 경사가 15-30%로서 나타났으며, 임상은 해송림이었고, 토양은 적색사암을 모암으로 하는 적갈색 산림토양형이며, 토성은 미사질 양토 및 돌이 있는 양토로 구성되어 있다. 수원으로 분류된 지역은 남강류역이 대부분이었으며, 모래로 분류된 지역은 전형적인 사행천으로서 하방침식이 극히 미약한 남강류역의 주변을 따라 일부 분류되었다.

시험대상지의 인공위성 화상자료를 이용하여 최대우도법에 의해 토지이용구분에 의해 분류된 결과의 화상은 그림 5와 같다.

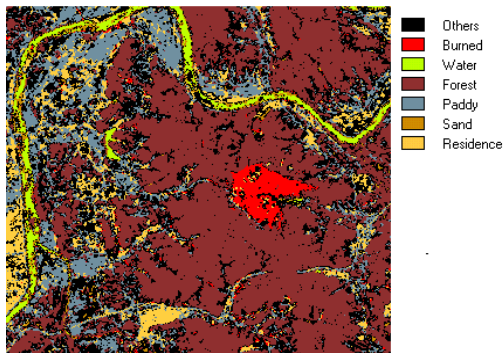


FIGURE 5. The results map of landuse cover classification.

그림 5에서, Landsat TM 화상자료에 의한

토지이용형태를 7개항목으로 분류한 결과이미지이다. 남강이 남쪽에서 북쪽을 향해 사행하면서 흐르고 있으며, 그 오른쪽을 중심으로 산림지대가 조성되어 있다. 특히 산화지로 분류된 바로 좌측에 월아산(471m) 및 장군대산(482m)의 주능선이 위치해 있고, 주능선에는 방화선 및 임도가 설치되어 있어 그 경계선을 중심으로 산불이 이동 및 확산되지 못하여 임도 및 방화선의 역할이 대단히 중요한 것으로 나타났다.

Pereira(1999)는 NOAA/AVHRR의 위성이미지를 이용하여 식생지수의 값을 지표로하여 산화지역을 분류하고 식생을 구분한 결과 GEMI3지수에 의한 식생구분이 가장 양호하였고, 다음으로 GEMI, VI3 및 NDVI순으로 나타났다고 보고한 바 있으며, 본 연구에서 Landsat TM화상 데이터를 이용하여 band 2, 4 및 7번의 composite 화상으로도 토지이용을 쉽게 탐지할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 피해임분의 재적측정

GIS의 공간분석기법을 이용하여 산화지의 특성 즉 해송림이면서 남동사면의 산복에 위치한 환경사지역의 비산화지를 현지 표준지로 선정되었다. 표준지로 선정된 비산화지를 대상으로 20m×20m의 표준지내에서 매목조사에 의하여 평균흉고단면적을 가진 표준목을 선정하여 단면고별 수간직경을 측정된 결과는 표 2와 같다.

표 2에서, 표준지로 선정된 곳은 동령일제림의 해송림으로서 표준목의 흉고직경은 20.9cm,

TABLE 2. The growth information of sample tree in study area

	Tree (<i>Pinus thunbergii</i>)										
Height (m)	0.2	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	9.6
Diameter(cm)	26.9	20.9	16.7	15.6	12.7	10.3	5.9	5.1	4.4	2.4	0.5

수고는 9.7m로 나타났다. 표준목의 수령은 WinDENDROtm(v. 6.3b)시스템의 scanner에 의해 목편의 이미지를 확대하여 연륜의 개수를 측정한 결과 27년생으로 나타났다.

표준목의 단면고별 단면적을 이용하여 Huber식에 의한 구분구적법으로 입목체적을 측정 한 결과 $v=0.0114 + 2(0.0343 + 0.0191 + 0.0083 + 0.0020) + 0.0008$ 로서 $0.1396m^3$ 으로 나타났다. 월아산지구의 산불지역은 너덜지구도 많이 포함되어 있어 이것을 고려하여 표준지내 본수의 2/3수준(21본)에서 손실된 입목체적을 평가하여도 $2.9316m^3$ 나 된다. 이것은 ha당 $73.3m^3$ 에 해당되며, 우리나라의 입목축적은 1970년에 $16.0m^3$, 86년에 $37.0m^3$, 95년에 $47.9m^3/ha$ 로서 10년에 약 $10.9m^3/ha$ 정도 증가하는 경향을 볼 때 매우 많은 피해를 받았음을 알 수 있다. 특히 ha당 $73.3m^3$ 의 피해는 1995년 ha당 입목축적 $47.9m^3$ 와 비교해 볼 때 1.5배 이상 달하여 월아산 지역은 임목의 구성상태가 매우 양호한 지역임을 알 수 있었다.

3. 산화지의 입목손실량 평가

Landsat 화상자료의 토지이용형태분류에 의해 분석된 산화지에서 피해를 입은 입목체적은 표준지체적에 '산화지의 면적/표준지의 면적'을 곱하여 얻었으며, 그 피해체적은 $16,007m^3$ ($=2.9316m^3 \times 218.4/0.04ha$)에 달하였다. 또한 1995년 당시 국내에서 생산되는 소나무류의 원목가격이 $97,000/m^3$ 이었으므로 산화로 인한 순수한 입목손실 피해액만 하더라도 약 15억5천만 원 ($16,007m^3 \times 97,000원 = 1,552,633,992원$)에 달하는 경제적 손실을 보게 되었다.

최근의 산불은 산림지역내의 여가활동 증가로 부주의로 인한 실화가 더욱 많은 것으로 나타나고 있다. 그동안 우리나라의 산림녹화사업이 성공적으로 수행되어 ha당 축적이 $52.91m^3$ 로서 많이 증가하였으나 잘 조성된 산림일수록 산불이 발생하면 그 피해액도 더욱 증가하는 실정이므로 산림을 보전하고 관리하는 일이 산

림자원의 경영적 측면에서 더욱 중요한 시기라고 생각된다. 특히 산불은 짧은 시간내에 많은 면적이 연소되므로서 엄청난 경제적 피해 뿐만 아니라 강우를 차단 및 저류할 수 있는 능력이 상실되어 표면유출을 증가시켜 토양침식이 가속화되고, 산사태 및 하상범람등 각종 2차적인 재해를 유발하면서 경관과 토양의 생산성을 악화시킨다(마호섭 등, 1997; 우보명 등, 1986). 산화는 자연재해 중 가장 피해가 크고 지속적으로 일어나므로 우리나라와 같이 지형지세가 복잡한 산지에서는 더욱 주의 깊은 예방대책이 요구된다.

따라서 산림자원을 보전 및 관리하기 위해서는 산림정보 데이터베이스를 더욱 실시간적인 갱신 및 구축을 통하여 각종 산지재해로부터의 피해분석과 산불 방재시설의 확충등 산화예측 시스템을 개발하여 더욱 안정된 산림생태계를 유지할 수 있도록 하여야 할 것이다.

결 론

진주시 월아산지역에서 1995년 발생한 산불로부터 손실된 입목의 피해량을 추정하기 위하여 Landsat TM화상자료를 이용하여 TM지도 좌표체계에 일치되게 기하보정처리하여 재배열 한 다음 토지이용형태 및 산화지를 분류하고 산화지의 입목체적 손실량을 추정한 결과는 다음과 같다.

1. TM 위성자료의 화상전처리단계에서 지상대상물을 대상으로 한 GCP 11개소의 화상좌표를 횡메르카토르법과 affine좌표변환식에 의해 지도좌표계와 일치시켜 화상데이터를 지도화할 때 발생한 오차는 0.575 pixel로서 만족할 만한 수준이었다.
2. tranining field에 선정된 pixel 개수는 7,433개였으며, 유효밴드는 2, 4, 7로서 분석되었으며, 화상강조처리에서 linear saturation stretch에 의한 2.5%가 효과적인 것으로 나타났다.

3. 감독분류에 의한 토지이용구분에서, 전체 8,904.1ha 중 산화 발생전의 산림지대가 47.3%에서 산화 발생 후 산림면적이 44.8%로 줄어들었으며, 산화에 의한 산림피해면적은 약 218.4ha에 해당되었다.
4. 산화지의 지형특성 중 사면경사는 약 15~30% 범위였으며, 피해지역의 임상은 주로 해송림이었고, 표준목의 수령은 27년생, 흉고직경은 20.9cm, 수고는 9.7m 및 재적은 0.1396 m³였으며, 표준지내의 입목재적은 2.9316m³로 나타났다.
5. Landsat 화상자료의 토지이용형태 분류에 의해 분석된 산불에 의한 피해림 지역의 입목재적은 16,007m³로 그 피해액은 약 15억5천만원으로 평가되었다. **KAGIS**

참고문헌

- 마호섭, 전권석, 정원옥, 김용철. 1997. 산지사면에 있어서 산불에 의한 토사유출량의 변화. 경상대 연습림연보 제7호:21-30.
- 산림청. 1998. 임업통계연보. 26-187pp.
- 우보명, 권태호, 마호섭, 이현호, 이종학. 1986. 황폐산지에서의 산불이 산림식생 및 토양에 미치는 영향에 관한 연구(II). 한국임학회지 68:37-45.
- 이기철, 김승환, 남정철, 박승범, 강영조, 옥진아. 1998. GIS를 이용한 산불 진화용 저수탱크 적지 분석에 관한 연구. 한국지리정보학회지 1(2):1-13.
- 이승호. 1992. Landsat화상 자료를 이용한 산림식피 변화에 관한 연구. 서울대 박사학위논문. 104pp.
- 이승호, 김철민, 김규현. 1994. 원격탐사와 지형정보를 이용한 입분구조 및 생장특성 해석. 임업연구원연보 50:80-95.
- 이시영, 정연하, 이봉수. 1996. 수치지형자료를 이용한 산불의 연소유형 분석. 산림과학논문집 53:186-193.
- 東敏生. 1995. 衛星リモートセンシングによる森林調査. 森林立地 37(1):19-27.
- Chuvico, E. and M. P. Martin. 1994. Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR image. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 60(5):563-570.
- Homer, C. G., D. Ramsey, T. C. Edwards Jr. and A. Falconer. 1997. Landscape cover-type modeling using a multi-scene thematic mapper mosaic. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 63(1):59-67.
- Pereira J.M.C. 1999. A comparative evaluation of NOAA/AVHRR Vegetation Indexes for burned surface detection and mapping. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 37(1):217-226.
- White, J.D., G.C. Kroh, and J.E. Pinder III. 1995. Forest mapping at Lassen Volcanic National Park, California: Using Landsat TM data and a geographic information system. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 61(3):299-305. **KAGIS**