

인공위성 화상데이터를 이용한 솔잎혹파리 피해 확산모델의 개발

A Development of Damaged Spread Model of the Pine Needle Gall Midge Using Satellite Image Data

안 기 원 *	이 호 성 **	서 두 천 **	신 석 호 **
Ahn, Ki-Won	Lee, Hyo-Sung	Seo, Doo-Chun	Shin, Sok-Hyo

要 旨

본 연구에서는 Landsat-5 TM 데이터를 사용하여, 강원도 양양군, 인제군, 홍천군 일부지역을 대상으로 솔잎혹파리 피해지역과 경년변화를 효율적으로 추출할 수 있는 기법을 연구 제시하였다. 또한 피해상황을 파악하여 피해지역의 지형적 상관관계를 규명하고, 피해확산방향을 예측하여, 인공위성 화상데이터가 산림의 병충해 감시에 유용함을 입증함과 아울러, 효과적인 방제를 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 연구결과 수치표고화상을 이용한 BRCT(Backwards Radiance Correction Transformation)기법을 통하여 지형영향으로 인한 그림자지역을 효과적으로 제거시켜, 피해지역 추출시 그 유효성을 높일 수 있었다. 분류된 피해지역의 분석결과 경사 31° ~ 38°, 온도 21°C ~ 25°C, 남서·남동 사면 및 산지 최고 표고의 23%~39%에서 피해가 주로 발생하며, 피해가 확산되는 신규지역은 경사향 46° ~ 180°, 경사도 27° ~ 30°, 온도 11°C~12°C 및 산지최고표고의 27%~39%의 지역에서 피해가 주로 확산됨을 알 수 있었으며, 신규 피해지역의 환경인자와 식생지수를 이용하여 피해예측지수(NDI: New Damaged Index)를 개발하였다.

ABSTRACT

The main object of this study was to prove the effectiveness of satellite image data for extraction of the pine needle gall midge damaged area in the part of Kangwon-do area, and to present the detailed procedure of a digital image processing for extraction of those damaged area.

The effectiveness of extraction of damaged area was improved by using the BRCT(Backwards Radiance Correction Transformation) with DEM for the normalization of topographic effects. The topographic surface analysis of the extracted damaged area revealed that the general damaged area was at south-west and south-east aspect with the slope of 31 to 38 degrees, the temperature of 21 to 25, and 23% to 39% of the highest altitude mountains. The new damaged area in which expanded area was at 27 to 30 degree of slope, the aspect of 46 to 180 degrees, the temperature of 11°C to 12°C, and 27% to 39% of the highest altitude mountains. The NDI(New Damaged Index) was developed using the environment factor and simple vegetation index.

* 경상대학교 공과대학 토목공학과 교수
(경상대학교 부속 생산기술연구소 연구원)

** 경상대학교 대학원 토목공학과 박사과정

1. 서 론

원격탐사(Remote Sensing)는 항공기나 인공위성 등에 탑재된 각종 센서를 사용하여 지표의 대상물에서 반사 또는 방사되는 전자파를 감지하고, 얻어진 데이터를 해석함으로써 대상물이나 현상에 관한 정보를 얻는 기술이며, 이용분야는 환경, 광물자원, 삼림자원, 수자원, 농업, 임업, 기상, 해양분야는 물론 토지이용조사, 지질탐사, 재해조사와 재해예지 등 그 범위가 광범위하며, 앞으로도 그 이용분야가 더욱 확대될 전망이다.

우리 나라에서도 1980년도 초반부터 원격탐사분야에 관한 연구가 꾸준히 진행되어 도시지역의 토지이용분야 및 경년변화의 추출, 지질 및 광물자원의 조사 등 많은 성과를 거두고 있으나 산림지역에 있어서는 활용 예가 많지 않은 실정이다.

임업연구원(1996)에 의하면 우리 나라의 대표적인 자생식물로서 전체 산림면적 646만ha의 약 45%인 293만ha를 차지하는 소나무들에 솔잎혹파리가 발생하여 산림에 큰 피해를 받고 있다. 특히 경상북도의 영양군 일대에서 시작한 솔잎혹파리의 피해는 충청북도를 거쳐 현재에는 강원도의 평창군, 영월군 및 설악산까지 심각한 피해를 끼치고 있으며, 피해가 멀리는 경상남도의 최남단까지 확산되고있다. 그 피해가 확산되는 원인으로서는 첫째, 피해가 확산되어 가는 지역에서 극심한 피해를 나타내므로 이들 지역이 방제의 주 대상지가 되지만 지역적으로 편중되어 있어 한정된 시기에 집중적인 방제를 실행하는데 어려움이 있어 방제시기를 놓치기 쉬우며, 둘째, 험준하고 광활하며 복잡한 생태계로 구성된 산림의 환경적인 특수성으로 무분별한 약제위주의 화학방제가 제한을 받으며, 셋째, 피해지역의 파악과 피해확산방향을 예측에 어려움이 있기 때문이다. 따라서 넓은 면적의 삼림에 있어서 솔잎혹파리의 피해상황을 단시일 내에 파악을 하고 주기적으로 관찰하여 피해확산방향을 예측하고 효율적인 방제를 하기 위해서는 인공위성 화상데이터의 활용이 시급하다. 인공위성 화상데이터를 이용하여 산림의 피해지역을 추출하는데 있어서는 산림지역과 산림 피해지역의 분광특성과, 산림지역에 있어서의 지형

영향 감소처리방법 및 피해지역 추출방법과 같은 문제가 해결되어야 한다. 국내외적으로 이들에 관한 연구가 상당히 이루어진 바 있으며 특히, 산림지역과 산림피해지역의 분광특성과악연구(안철호, 1992; 김철민, 1991; 양경락, 1989), 산림지역에 있어서의 지형영향 감소처리방법연구 및 피해지역 추출방법연구가 많이 행하여졌다(김용일, 1991; Ahern, 1998; Coldy, 1991).

본 연구에서는 인공위성 화상데이터 중에서 해상력이 우수하고 다양한 파장대의 데이터를 관측·수집하고 있는 미국의 Landsat TM데이터를 사용하여 솔잎혹파리 피해지역과 경년변화를 효율적으로 추출할 수 있는 기법을 제시하고자 한다. 추출된 피해지역과 미피해지역의 환경인자에 의한 솔잎혹파리의 피해확산방향을 예측하여 피해예측지수를 개발함으로써 인공위성 화상데이터가 산림의 병충해 감지에 유용함을 입증하고 효과적인 방제를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구대상지역

본 연구에 사용된 데이터는 표 2.1에서 보는 바와 같이 1989년 5월 2일과 1994년 4월 14일 관측 수집된 Landsat TM 인공위성화상데이터와 미국 지도청에서 우리 나라의 표고를 100m 간격으로 추출하여 생성시킨 수치표고모델(DEM: Digital Elevation Model)을 사용하였다.

표 2.1 사용데이터

Parameter	Landsat TM	Landsat TM
화상크기	185 km × 170 km	185 km × 170 km
수집일	1989년 5월 2일	1994년 4월 14일
Path-Row	115-034	115-034
태양 방위각	131°	137°
태양 고도각	59°	53°
보정단계	Bulk	Bulk

구입된 화상데이터는 공급기관에서 표준적으로 채택

하고 있는 지구타원체와 평면직각좌표 투영법이 우리나라 국토기본도의 경우와 다르기 때문에 기하보정을 실시하여 위성데이터를 우리나라의 지도좌표체계로 맞추어야 한다(안기원, 1988).

본 연구에서 사용된 기하보정방법은 지상기준점의 지도좌표를 이용하는 방법을 사용하였다. 기하보정을 위한 지상기준점(GCP: Ground Control Point) 선정에 있어서는 지도와 화상 모두에서 명확히 식별되고, 연구대상지역 전반에 걸쳐 고르게 분포되어 있는 15점을 선정하였으며, 지도좌표는 축척 1:25,000 국가기본도상에서 디지털타이저로 독취 하였으며, 화상좌표는 ERDAS 8.3.1의 viewer상에서 화소이하 단위로 획득하였다.

화상좌표와 지도좌표간의 좌표변환식으로는 1차다항식을, 화소 값의 재배열(resampling)방법으로는 공1차내삽법(bilinear interpolation)을 사용하였다. 재배열에 있어서는 각 화상에 대하여 화소 1개에 해당하는 지상크기를 동일하게 30 m × 30 m가 되도록 하였다. 기하보정시의 평균제곱근오차(RMSE)는 ± 0.5 화소 이내가 되도록 하였다.

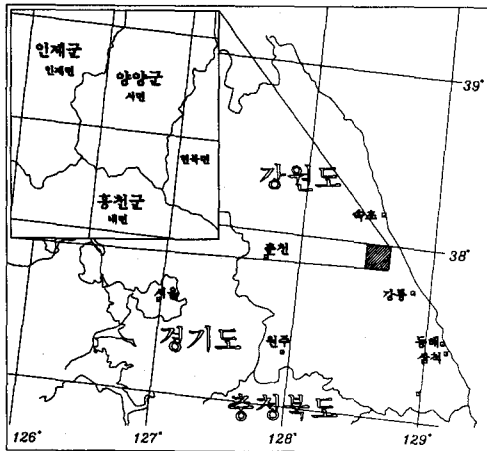


그림 2.1 연구대상지역

연구대상지역의 선정에 있어서는 1996년 솔잎혹파리 피해현황도를 참고하여, 강원도 양양군, 인제군, 홍천군 일부지역을 선정하였다. 선정된 연구대상지역의 화상 크기는 600 × 500 (row × column) 화소이며,

절출된 지역은 그림 2.1에서 보는 바와 같이, 위도 37° 50' ~ 38° 00', 경도 128° 25' ~ 128° 35' 사이의 대부분 산악지역이며, 지상크기는 중형방향으로 18 km × 15 km 이다(면적 : 270 km²).

3. 지형보정

3.1 솔잎혹파리와 산림피해지역의 분광반사 특성

솔잎혹파리는 소나무와 곰솔의 새로 나온 잎 밑부분에 벌레혹(충영)을 만들어 잎이 정상적으로 자라지 못하게 하고 피해를 받은 그 해에 잎을 죽게 하므로 임목 생장에 영향을 주고 피해가 심할 경우, 신초 고사와 임목고사를 일으키는 무서운 해충이다. 일반적으로 솔잎혹파리의 피해가 확대되어 가는 선단지에 있어서 소나무의 고사과정은 먼저 정아신초가 죽고 다음으로 수관 상부, 중부, 하부의 순으로 신초가 고사되는 경우가 일반적인 현상이며, 신초고사율이 80%를 넘으면 대부분의 나무가 죽는 것으로 알려져 있다(정영진, 1997).

식물에 있어서 병충해가 발생하면 나뭇잎들의 색과 형태 그리고 나무의 전반적인 모양이 변하게 된다. 이 중에서 가장 일반적이며, 인공위성을 통해 관측될 수 있는 것은 색이 변하는 것이다. 이러한 색의 변화는 잎을 구성하고 있는 클로로필, 단백질, 녹말 등과 같은 성분들의 감소에 기인한다. 병해충피해에 대한 조사는 원격탐사를 이용한 칼라사진에 의해 잘 나타난다. 특히 근적외 파장대에서 나타나는 변화는 매우 크다. 적외선 사진 상에서, 건강한 식물들은 빨강 또는 자홍색으로 나타나고 피해를 받아 죽어가고 있거나 시들고 있는 식물들은 검푸른색 계통으로 나타난다(유복모, 1995). 이는 식물내의 수분함량과 관계가 있다. 일반적으로 수분함량의 감소는 전체의 파장대에 걸쳐 반사율의 증가를 가져오며, 파장대별 특성을 살펴보면 0.4-0.55 μm 파장대에서는 피해 받은 솔잎과 피해 받지 않은 솔잎의 반사율에서 큰 차이를 발견하기 어렵다. 0.55 -0.70 μm 파장대에서는 피해 받은 솔잎은 피해 받지 않은 솔잎보다 더 높은 반사율을 가진다.

0.7-1.0 μ m 파장대의 근적외선 파장대에서는 피해를 받지 않은 솔잎과 피해 받은 솔잎 모두 높은 반사율을 갖지만 그 차이점은 뚜렷하지 않다(안철호, 1992).

3.2 산림지역에 있어서의 지형영향 보정처리

인공위성 화상데이터를 이용하여 화상처리를 하는데 있어서는 분류정확도를 높일 수 있는 화상강조처리를 행하여야 하며, 특히 산림지역에 있어서는 그림자 영향으로 분류 정확도가 크게 떨어지게 되므로 지형적 영향에 대해 보정 처리하여야만 한다. 즉 지형에 따른 경사 및 태양고도에 따른 복사량의 변화를 보정하여 산지에서 그림자 영향을 제거하는 것을 지형영향보정이라 한다.

본 연구에서는 DEM화상을 이용하여, 대응되는 화소에 대한 경사도(slope) 및 경사향(aspect)을 계산하여, 태양 입사각과의 상호관계를 규명함으로써 그림자 영향을 제거하는 BRCT (backwards radiance correction transformation)모델에 의한 방법으로 그림자 영향을 제거하고자 하였다(Coldy, 1991).

경사도와 경사향 화상을 생성시키기 위해서 100m \times 100m 간격의 DEM화상을 30m \times 30m로 재배열된 인공위성 화상데이터와 맞추어야 한다. 본 연구에서는 DEM화상을 기하보정된 인공위성 화상에 맞추기 위하여 image to image 기법을 적용하였다. 기준점 선정에 있어서는 DEM화상과 인공위성 화상에서 비교적 위치를 정확히 독취 할 수 있는 산지 정상부의 6점을 선정하였으며, 재배열방법으로는 공1차내삽법을 적용하여 DEM화상을 인공위성 화상에 일치시켰다. 평균제곱근오차는 ± 0.5 화소이내가 되도록 하였다.

본 연구에서 적용된 지형영향보정방법은 Lambertian 모델을 기초로 Minnaert 상수를 계산한 후, 지형에 따른 태양입사각과 법선벡터를 고려하여 지형의 영향에 의한 그림자지역을 보정하는 방법이다. Minnaert 상수 k 는 다음과 같은 식에 의해서 유도된다.

$$L \cos e = L_n \cos^k i \cos^k e \quad (3.1)$$

여기서 L : 방사량

L_n : 태양광선에 수직인 법선벡터
(radiance when $i = e = 0$)

i : 태양입사각

k : Minnaert 상수

e : 태양반사각

식(3.1)에서 상수 k 를 유도하기 위해서 \log 를 취하면 식(3.2)와 같다.

$$\log(L \cos e) = k \log(\cos i \cos e) + \log L_n \quad (3.2)$$

위의 식(3.2)에서 $y = \log(L \cos e)$ 를 종속변수로 하고 $x = \log(\cos i \cos e)$ 을 독립변수로 하고, $b = \log(L_n)$ 을 상수로 하여 일차회귀방정식을 사용하면, k 와 b 값이 얻어진다.

얻어진 값에 태양의 입사각과 지형의 경사가 고려된 방정식을 사용하여 지형영향을 보정하는 방법이 BRCT 방법이다. k 가 얻어진다면 식(3.1) 또는 식(3.4)으로부터 보정후의 화소값 L_n 을 얻을 수 있다.

$$L_n = \frac{L(\cos e)}{(\cos^k i \cos^k e)} \quad (3.3)$$

여기서 L_n : 보정후의 화소값

L : 보정전의 화소값

e : 경사도 (radian)

식(3.3)에서의 $\cos i$ 는 식(3.4)와 같이 구해진다.

$$\cos i = \cos \theta_s \cos \theta_n + \sin \theta_s \sin \theta_n \cos(\Phi_s - \Phi_n) \quad (3.4)$$

여기서 θ_n : 경사도

θ_s : 태양천정각

Φ_s : 태양방위각

Φ_n : 사면방위 화소값

본 연구에서 유도된 k , b 값은 표 3.1에서 보는 바와 같으며, 보정이전의 화상과 식(3.3)을 사용하여 보정한 화상은 그림 3.1, 그림 3.2, 그림 3.3 및 그림 3.4와 같다.

표 3.1 Minnaert constant

Image	1989. 5. 2		1994. 4. 14	
	k	b	k	b
TM1	0.15	1.84	0.11	1.84
TM2	0.14	1.51	0.12	1.46
TM3	0.22	1.50	0.13	1.57
TM4	0.16	1.79	0.15	1.61
TM5	0.20	1.91	0.16	1.88
TM6	0.15	2.17	0.09	2.01
TM7	0.15	2.16	0.10	2.01

4. 솔잎혹파리 피해지역의 추출

4.1 분류항목 및 Training Field의 선정

본 연구에 사용된 인공위성 화상데이터의 취득시기는 각각 4월과 5월경이다. 이 시기에 있어서 연구대상지역으로 선정된 강원도 산악지역에서 활엽수림, 혼효림 및 피해지역의 분광특성의 구분이 용이하지 않다. 이는 인공위성의 센서에 의해 감지되고 또한 우리에게 유용한 데이터는 식물의 잎의 특성으로부터 얻어지기 때문이다. 본 연구는 인공위성 화상데이터를 이용하여 솔잎혹파리 피해지역 추출, 피해확산 방향의 예측, 및 피해확산 모델을 개발함으로써 산림 병충해 감지·방제에 기초자료를 제공함이 그 목적이다. 따라서 연구대상지역으로 선정된 지역전체를 대상으로 토지이용분류를 수행할 경우에 발생하는 오차를 최소화시키고, 컴퓨터의 처리 속도 및 저장공간의 확보를 위해서 1990년 환경처에서 발행한 1:50,000 현존식생도에서 소나무와 곰솔 군락만을 절출하여 사용하기로 하였다. 절출된 화상을 살펴본 결과 일부 지역에서 산지도로, 나지 및 주거지역이 관찰되어 이들도 분류항목에 포함시켰다. 분류항목의 선정에 있어서는 표 4.1에서 나타낸 것처럼 1989년도 화상데이터에서는 도로,

주거지 및 나지를 도로의 단일항목에 모두 포함시켜 총 4가지로 분류항목을 선정하였으며, 1990년도 화상데이터에서는 도로와 주거지 항목을 도로의 단일항목, 그리고 나지를 새로운 항목에 포함시켜 총 5가지로 분류항목을 선정하였다.

training field의 선정에 있어서는 지형영향이 보정된 인공위성 데이터를 고해상도(21", 1600×1280화소) 칼라 모니터 상에 출력시킨 화상, 1:25,000 국가기본도, 식생도 및 솔잎혹파리 피해현황도를 바탕으로 하여 색조나 농담의 차이에 의해 육안으로 분류 가능한 항목마다, 그 분류항목을 대표할 수 있는 데이터가 구성되도록 하였다. 이때 training field내의 화소수가 많을수록 평균과 분산의 정도가 높아지지만 training field내의 화소수는 사용 band수의 10배~100배가 되도록 하는 것이 효과적이다(Lillesand et al., 1994).

본 연구에서는 1989년도 화상데이터에서는 446화소를, 1994년도 화상에서는 398화소를 사용하였다.

표 4.1 선정된 분류항목

화상	분류항목
1989	혼효림, 미피해림, 피해림, 도로
1994	혼효림, 미피해림, 피해림, 도로, 나지

4.2 피해지역의 분류 및 지형영향보정 평가

솔잎혹파리 피해지역 추출을 위한 토지이용분류 기법으로는 최대우도법을 사용하였다. 이 방법은 다른 방법에 비하여 알고리즘이 복잡하고 처리 시간이 많이 소요되지만 분류정확도의 향상이 두드러지며, 확률통계적 이론을 기본으로 하기 때문에 토지이용분류에 많이 사용되는 방법이다.

Landsat TM의 7개의 다중분광데이터를 이용하여 토지이용분류를 수행할 경우 효과적인 밴드수를 결정하거나 분류목적에 맞게 밴드조합을 선정할 필요가 있는데 이러한 과정을 유효밴드의 선정이라 한다. 즉 적합한 밴드조합을 찾기 위해서는 분류기법에 따라 예상되는 오차의 확률을 찾아서 각 밴드조합을 서로 비교해 보아야 하는데, 이러한 오차의 확률은 직접 계

산되지 않으므로 분류수행결과를 예측하기 위한 지표로서 통계적 분리도를 사용한다. 이러한 통계적 분리도는 오차의 확률을 간접적으로 나타내는 지표합수로서 Divergence, Bhattacharyya거리, Jeffries-Matusita, 그리고 (J-M) 거리가 있다. 이들중 J-M거리는 Divergence, Bhattacharyya거리와는 달리 오차의 확률변위의 범위를 상한과 하한을 모두 선정하고 있으므로 분리도 측정기법중 가장 정확하고 유효한 결과를 예상할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유효밴드의 선정 및 지형영향보정의 평가방법으로 J-M거리를 구하여 그 결과를 비교 평가하였다. 표 4.2는 지형영향 보정 전·후에 각 밴드조합별로 평균분리도가 가장 높은 밴드조합을 추출하여 정리한 것이다.

표 4.2 밴드조합별 원화상과 지형영향보정화상의 분리도 비교(최대분리도 밴드조합)

1989년				
원화상		지형영향보정화상		변화량
밴드조합	분리도	밴드조합	분리도	
TM34	1263	TM24	1334	71
TM146	1323	TM234	1388	65
TM2456	1367	TM3467	1395	28
TM12456	1378	TM34567	1400	22
TM123456	1388	TM134567	1405	17
TM1234567	1393	TM1234567	1408	15
평 균				36.3

1994년				
원화상		지형영향보정화상		변화량
밴드조합	분리도	밴드조합	분리도	
TM16	1288	TM24	1299	11
TM146	1340	TM247	1350	10
TM1346	1358	TM2467	1382	24
TM13467	1371	TM13467	1393	22
TM123467	1379	TM123467	1400	21
TM1234567	1383	TM1234567	1403	20
평 균				18.0

이를 살펴보면 지형영향 보정 전·후에 있어서 1989년 화상에서는 분리도가 평균 36.3정도 증가하였으며, 1994년 화상에서는 18.0정도 증가 한 것으로 나타났다.

특히 Landsat TM 1,2,3,4,5,6 및 7의 모든 밴드를 사용하는 경우 분리도가 1989년 화상에서는 1,408로 그리고 1994년 화상에서는 1,403로 높은 분리도를 나타내고 있다. 이는 지형적 영향의 보정이 매우 효과적으로 수행되었음을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 Landsat TM 1,2,3,4,5,6 및 7의 모든 밴드를 사용하여 토지이용분류를 수행하였다.

4.3 분류결과의 고찰

분류결과의 신뢰도는 일차적으로 사용된 training field에 대한 confusion matrix에 의해 평가 될 수 있다(Lillesand et al., 1994).

표 4.3과 표 4.4에서 나타난 것처럼 1989년 화상데이터에서는 99.8%, 1994년 화상데이터에서는 96.5%로 나타나 training field의 선정 및 분류항목간 분리도가 양호함을 알 수 있다.

표 4.3 Confusion matrix(1989년)

분류 항목	혼효립	미피해립	피해립	도로	정확도
혼효립	29	0	0	0	100.0
미피해립	0	105	0	1	99.1
피해립	0	0	34	0	100.0
도로	0	0	0	17	100.0

표 4.4 Confusion matrix(1994년)

분류 항목	혼효립	미피해립	피해립	도로	나지	정확도
혼효립	29	0	0	0	0	100.0
미피해립	0	102	0	0	1	99.0
피해립	0	0	13	0	0	100.0
도로	0	2	0	15	0	88.2
나지	0	1	0	0	21	95.5

연구대상영역에 대한 토지피복분류의 최종적인 결과는 그림 4.1과 그림 4.2와 같다.

이들 분류된 결과를 바탕으로 하여 각 항목별로 하

소수를 추출하여 1화소의 지상면적 크기는 30 m×30 m로 계산한 후, ha단위로 환산하여 표 4.5와 표 4.6으로 나타내었다.

표 4.5 분류결과에 따른 각 항목별 면적(1989)

분류항목	Pixels	Area (ha)	Percent (%)
도 로	6,273	564.6	8.81
혼 효 립	10,797	971.7	15.16
미피해림	46,131	4,151.8	64.77
피 해 립	8,023	722.1	11.26
합 계	71,224	6,410.2	100.00

표 4.6 분류결과에 따른 각 항목별 면적(1994)

분류항목	Pixels	Area (ha)	Percent (%)
도 로	11,568	1,041.1	16.24
혼 효 립	19,186	1,726.7	26.94
미피해림	38,402	3,456.2	53.91
피 해 립	1,293	116.4	1.82
나 지	775	69.8	1.09
합 계	71,224	6,410.2	100.00

이를 살펴보면 피해림에 있어서는 1989년 화상에서는 11.26%, 1994년 화상에서는 5.82%로 9.44% 감소하고 있는 것으로 나타났다. 도로와 나지의 경우 각각 7.43%와 1.09%로 분류결과가 증가했다. 이는 솔잎혹파리 피해방제를 위해 피해림을 벌채한 결과로 생각된다. 또한 도로의 경우 training field로 선정된 일부분이 산지도로서 미포장지역이며, 1994년도 화상데이터의 취득시기가 4월경이다. 이 시기의 강원도지역에 있어서는 산지도로, 나지 및 피해림 벌채지역의 분광반사특성이 차이가 크지 않기 때문에 나타난 결과로 생각된다. 혼효림의 경우 10.78% 증가, 미피해림의 경우 10.86% 감소한 것으로 나타난다. 이는 training

field의 선정시 오차가 있었다고 볼 수 있으나, 이 보다는 두 인공위성 화상데이터의 취득시기가 상이하며, 1994년 화상데이터의 취득시기가 4월경으로 혼효림과 미피해림의 분광반사특성을 명확히 반영하지 못한 결과로 생각된다. 앞으로 산림병충해연구에 있어서는 데이터의 취득시기가 동일한 5월경의 데이터를 사용하는 것이 보다 더 효과적인 연구결과가 나타날 것으로 생각된다.

5. 통계적 기법을 이용한 솔잎혹파리 피해모델의 개발

5.1 피해지역의 분석

소나무 군락만 절출한 화상을 이용하여 최대우도법으로 피해지역을 추출한 결과 1989년 화상에서는 8,023화소, 그리고 1994년 화상에서는 1,293화소로 분류되어 그 피해가 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이는 임업연구원에서 매년 발행하고 있는 산림병충해발생예찰년보의 결과와 비교적 일치하고 있음을 알 수 있다. 표 5.1 1989년부터 1994년까지 임업연구원에서 조사한 솔잎혹파리 충영형성율을 본 연구의 연구대상 지역과 강원도 전역의 평균을 나타낸 것이다.

표 5.1 솔잎혹파리 충영형성률(임업연구원, 산림병충해예찰결과)

지역	충영형성률(%)					
	89년	90년	91년	92년	93년	94년
강원도 평균	23.3	19.5	19.4	20.8	22.2	13.2
인제군	22.8	11.3	6.7	29.6	20.1	18.7
양양군	-	4.4	19.1	14.8	29.8	9.2
홍천군	22.9	11.1	9.3	11.1	-	-

이범영 등(1991)은 솔잎혹파리 피해정도와 관계가 깊은 환경인자는 지표식생피복도, 방위, 경사위치, 임목도, 경사도, 국소지형 등의 순 이었다고 밝힌 바가 있다.

따라서, 본 연구에서는 피해확산모델의 개발 및 피

해확산방향의 예측에 있어서는 이들 요소를 기본으로 하여 피해추출인자를 표고, 경사향(aspect), 경사도(slope) 및 온도의 4개 인자로 선정하였다.

일반적으로 절대온도 0 °K 이상의 모든 물체는 그 온도에 대응하는 열적외선 에너지를 방사함으로써, 측정 대상물로부터 방사되는 에너지를 측정함으로써 온도에 대한 정보를 얻을 수 있다. Landsat TM의 band6의 관측파장대는 10.4µm~12.5µm(열적외선 파장대의 일부에 해당)로서, 이 band6의 데이터 값으로부터 지표의 온도를 환산할 수 있다.

TM band6의 데이터 값(V)으로부터 절대온도(T)를 구하는 식은

$$T(°K) = 172.065 + \sqrt{107.537 \times V + 780.941}$$

$$T(°C) = T(°K) - 273.15$$

이다(NASA, 1984). 이 식으로부터 얻어지는 온도는 센서가 감지할 수 있는 수면하 또는 지표면하 0.02mm 깊이까지의 온도정보이다.

표 5.2와 표 5.3은 인공위성화상데이터를 최대우도법으로 토지이용분류를 수행한 결과중 두 인공위성화상 데이터에서 피해립으로 분류된 지역을 다시 절출하여 본 연구에서 선정한 인자에 대해서 분석한 표이다. 각 인자별 그 특성을 살펴보면 다음과 같다.

① 표고별 피해립의 특성을 살펴보면 400 m ~ 600 m에서 1989년 14.4%, 1994년 36.5%의 피해를 받은 후 산지의 아래쪽 방향보다는 산지 위쪽 방향으로 그 피해가 점차 증대됨을 알 수 있으며, 또한 초기 1차적

표5.2 솔잎혹파리 피해지역의 평가(1989)

DEM	경사도		경사향		온도(°C)						
	화소수	%	화소수	%	화소수	%					
200이하	69	0.9	10이하	46	0.6	45이하	959	12.0	15이하	240	3.0
201-400	399	5.0	11-14	111	1.4	46-90	1392	17.4	16-20	1143	14.2
401-600	1156	14.4	15-18	244	3.0	91-135	1925	24.0	21-25	4091	51.0
601-650	923	11.5	19-22	611	7.6	136-180	1237	15.4	26-30	2139	26.7
651-700	1344	16.8	27-30	1258	15.7	181-225	849	10.6	31-40	307	3.8
701-750	1302	16.2	31-34	1965	24.5	226-270	604	7.5	41이상	103	1.3
751-800	1152	14.4	35-38	2134	26.6	271-315	456	5.7			
801-1000	1020	12.7	39-42	1120	14.0	316-360	601	7.5			
1001이상	658	8.2	43이상	534	6.7						
합 계	8023	100.0		8023	100.0		8023	100.0		8023	100.0

표 5.3 솔잎혹파리 피해지역의 평가(1994)

DEM	경사도		경사향		온도(°C)						
	화소수	%	화소수	%	화소수	%					
200이하	2	0.2	11이하	13	1.1	45이하	152	11.8	15이하	168	13.0
201-400	202	15.6	15-18	40	3.1	46-90	209	16.2	16-20	345	26.7
401-600	473	36.6	19-22	79	6.1	91-135	279	21.6	21-25	511	39.5
600-650	138	10.7	27-30	192	14.8	136-180	238	18.4	26이상	269	20.8
650-700	164	12.7	31-34	391	30.2	181-225	164	12.7			
700-750	114	8.8	35-38	309	23.9	226-270	93	7.2			
750-800	100	7.7	39-42	175	13.5	271-315	56	4.3			
800이상	100	7.7	43이상	94	7.3	316-360	102	7.8			
합 계	1293	100.0		1293	100.0		1293	100.0		1293	100.0

피해는 산지의 최대표고의 약 23%~39%에서 피해가 1차적으로 발생되어 산지의 상향방향으로 피해가 진행됨을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 표고 데이터는 최저표고 123m, 최대표고 1,335m이다.

② 경사도는 유충의 이동과 밀접한 관계를 가지고 있는 요소로서 40° 이상의 급경사지 보다는 31°~38°의 경사지에서 그 피해가 심한 것으로 나타난다.

③ 경사향에 있어서는 비교적 햇빛을 많이 받는 남서사면 및 남동 사면에서 그 피해가 심한 것으로 나타났다.

④ 온도의 영향을 살펴보면 온도가 낮은 경우보다는 비교적 온도가 높은 경우에 그 피해가 심한 것으로 나타나며, 약 21°C~25°C사이에서 그 피해가 심한 것으로 나타난다. Rudolf(1924)는 모기의 비상활동에는 온도가 결정적인 요소이고, 최적온도가 20°C~25°C라고 발표한 결과와 비교적 일치한다.

5.2 신규피해 확산지역의 분석

1994년도 신규피해 확산지역의 분석에 있어서는 1989년도에 피해를 받지 않은 지역 중에서 1994년도에 솔잎혹파리 피해를 받은 산림을 재 추출하여 5년 동안 피해 확산 방향 및 신규피해 확산지역의 특성을 살

펴보고자 한다. 표 5.4는 신규피해 확산지역으로 추출된 873화소에 대해서 앞에서 선정한 4가지의 환경인자에 대해서 분석한 표이다.

신규피해 확산지역을 인자별로 살펴보면 표고 451 m ~ 600 m, 경사향 46° ~ 180°, 경사도 27° ~ 30°, 온도 11°C ~ 12°C 및 산지의 최고표고의 27%~39%지역에서 피해가 주로 확산됨을 알 수 있다. 따라서 솔잎혹파리 피해가 발생한 후, 이러한 지역을 중심으로 방제계획을 구축한다면 효율적인 방제를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

5.3 피해예측지수의 개발

솔잎혹파리의 피해예측지수의 개발에 있어서는 많은 변수를 이용하기보다는 적은 변수로 모델을 구축하는 것이 더욱 현명하다고 할 것이다. 이는 적은 변수로 현상에 대한 원인과 결과의 체계를 구축하고 이를 토대로 하여 예측력이 높다면 적은 독립변수를 선택하는 것이 더욱 유용하고 타당성이 있기 때문이다. 즉, 모델들은 그 유용성의 크기에 따라 가치를 인정받게 된다.

따라서 앞에서 고찰한 결과를 바탕으로 피해예측지수의 개발에 있어서는 식생지수(VI: Simple Vegetation Index)를 종속변수로, 표고, 경사향, 경사도 및 온도의 4개의 변수를 독립변수로 이용하였으며, 식생지수는 아래의 식을 사용하였다.

표 5.4 신규피해 확산지역

	DEM		경사향		경사도		온도(°C)				
	화소수	%	화소수	%	화소수	%	화소수	%			
300이하	47	5.38	45이하	100	11.45	20이하	55	6.30	8이하	65	7.45
301-350	67	7.67	46-90	116	13.29	21-22	35	4.01	9-10	229	26.23
351-400	82	9.39	91-135	196	22.45	23-24	43	4.93	11-12	380	43.53
401-450	71	8.13	136-180	163	18.67	25-26	77	8.82	13이상	199	22.79
451-500	100	11.45	181-225	132	15.12	27-28	137	15.69			
501-550	92	10.54	226-270	74	8.48	29-30	152	17.41			
551-600	149	17.07	271-315	39	4.47	31-32	109	12.49			
601-650	98	11.23	316이상	53	6.07	33-34	106	12.13			
651-700	87	9.97				35-36	65	7.45			
701이상	80	9.17				37-38	46	5.27			
						39이상	48	5.50			
합계	873	100.00		873	100.00		873	100.00		873	100.00

$$VI = TM4 - TM3 \quad (5.1)$$

피해예측지수(NDI: New Damaged Index)의 기본모델 식은 신규피해지역의 분석에서 나타난 각각의 변수를 최대한 설명할 수 있는 두 개이상의 변수조합에 의한 중회귀모형을 이용하였다(김우철, 1998; 김정년, 1998).

$$NDI = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 + e \quad (5.2)$$

여기서,

- x_1 (표고변수) = 피해가 확산되는 지역으로 판단된 표고 451 m ~ 600 m의 특성치가 최대한 반영될 수 있는 5차다항식($R^2=0.82$)에서 재 산출된 값
- x_2 (경사변수) = 피해가 확산되는 지역으로 판단된 경사 27° ~ 30°의 특성치가 최대한 반영될 수 있는 5차다항식($R^2=0.91$)에서 재 산출된 값
- x_3 (경사향변수) = 피해가 확산되는 지역으로 판단된 경사향 46° ~ 180°의 특성치가 최대한 반영될 수 있는 cosine 함수($R^2=0.81$)에서 재 산출된 값
- x_4 (지표면 온도변수) = 피해가 확산되는 지역으로 판단된 온도 11°C ~ 12°C의 특성치가 최대한 반영될 수 있는 유리함수(rational function) ($R^2=0.89$)에서 재 산출된 값
- a, b, c 및 d 는 모집단회귀계수로서 주어진 x_1, x_2, x_3 및 x_4 의 상수
- e 는 오차항

개발된 피해예측지수는 아래와 같다.

$$NDI = -0.030x_1 + 0.025x_2 - 0.444x_3 - 0.043x_4 + 6.535 \quad (5.3)$$

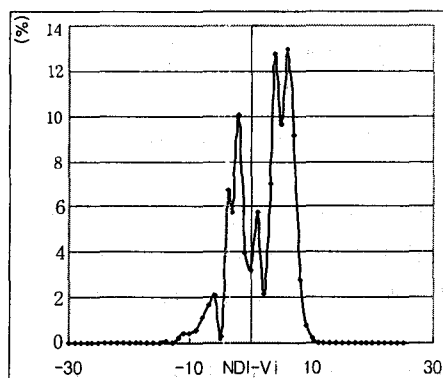


그림 5.1 신규피해확산지역의 NDI와 VI의 차이

통 계 값	
평균	-0.01
표준오차	0.07
중앙값	0.05
표준편차	2.00
왜도	-0.49
최소값	-10.73
최대값	5.81

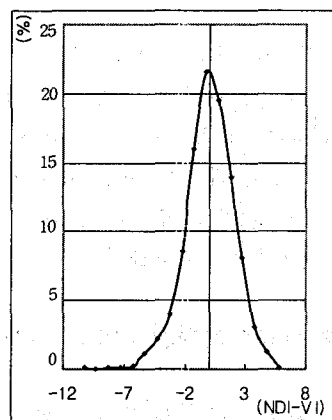


그림 5.2 미피해지역에서의 NDI와 VI의 차이

그림 5.1과 그림 5.2는 신규피해확산지역과 미피해 지역에서 추출한 화소로부터 식(5.3)을 이용하여 새로이 생성된 피해예측지수와 식생지수의 차이를 퍼센트(%)로 나타낸 것이다.

피해림의 추정에 있어서는 표본에서 얻어지는 정보를 이용하여 미지인 모수의 참값이 속할 것으로 기대되는 범위를 일정한 방법에 따라 택하는 구간추정을 수행하였다.

표본크기가 큰 경우에 임의의 모집단에 대한 모평균 μ 에 대한 $100(1-\alpha)\%$ 근사신뢰구간은 σ^2 이 미지인 경우

$$\left(\bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

여기서

\bar{x} : 표본평균

$z_{\alpha/2}$: 표준정규분포에서의 신뢰구간

σ : 표본표준편차

n : 표본크기

이다(김우철,1998).

표본크기가 $n=873$ 으로 비교적 크므로, 모집단의 표준편차 대신에 표본의 표준편차(s)를 사용하여, μ 에 대한 95% 신뢰구간을 적용할 경우 다음과 같다.

$$\left(-0.01 - 1.96 \frac{2}{\sqrt{873}}, -0.01 + 1.96 \frac{2}{\sqrt{873}} \right)$$

$$= (-0.143, 0.123)$$

따라서 솔잎혹파리 피해량을 추정하는데 있어서 본 연구에서 제안된 피해예측지수와 인공위성 화상데이터에서 산출된 식생지수값의 차이가 -0.143에서 0.123 사이에 존재하면 피해량으로 추정될 수 있다고 생각 된다.

6. 결 론

본 연구에서는 1989년 5월과 1994년 4월에 관측된 Landsat TM데이터를 사용하여, 지형영향보정을 수행한 후, 토지이용분류를 수행하여 솔잎혹파리 피해지역을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 인공위성 화상데이터를 이용한 수치화상처리기법의 적용을 통하여 솔잎혹파리 피해지역을 추출할 수 있는 구체적인 처리기법을 제시할 수 있었다.
2. 분류된 피해지역의 분석결과, 경사 $31^{\circ} \sim 38^{\circ}$, 온도 $21^{\circ} \sim 25^{\circ}$, 남서·남동사면 및 산지 최고 표고의 23%~39%에서 피해가 주로 발생하며, 피해가 확산되는 신규지역은 경사향 $46^{\circ} \sim 180^{\circ}$, 경사도 $27^{\circ} \sim 30^{\circ}$, 온도 $11^{\circ} \sim 12^{\circ} \text{C}$ 및 산지최고표고의 27%~39%의 지역에서 피해가 주로 확산됨을 알 수 있다.
3. 신규피해지역의 환경인자와 식생지수를 이용하여

피해예측지수(NDI)를 개발하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$NDI = -0.030x_1 + 0.025x_2$$

$$- 0.444x_3 - 0.043x_4 + 6.535$$

4. BRCT모델에 의한 지형영향 보정처리를 수행하여 산림피해지역 추출의 유효성을 높일 수 있었으며, 경년변화 화상을 작성, 분석하여 개략적인 솔잎혹파리 피해진행방향을 예측 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구(과제번호: 951-1206-006-2)는 한국과학재단 핵심전문연구지원금에 의한 연구결과임을 밝히며 본 연구의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 임업연구원, “솔잎혹파리 방제 연구”, 임업연구원 보고자료(미발표), 1996, pp7.
- 2) 안철호, 연상호, 김용일, 표명영, “원격탐사기법을 이용한 솔잎혹파리 피해지역의 추출”, 한국측지학회지, 제10권, 제1호, 1992, pp.9-18.
- 3) 김철민, “LANDSAT TM데이터와 수치지형모델을 이용한 산림분석 해석에 관한 연구”, 서울대학교 박사학위논문, 1991.
- 4) 양경락, “LANDSAT TM DATA를 이용한 솔잎혹파리 피해지역 추출에 관한 연구”, 서울대학교 석사학위논문, 1989.
- 5) 김용일, “인공위성 원격탐사 데이터의 분석 정확도 향상에 관한 연구”, 서울대학교 박사학위논문, 1991.
- 6) Ahern,F.J., “The effects of bark beetle stress on the foliar spectral reflectance of lodgepole pine”, International Journal of Remote Sensing, Vol.9, No.9, 1988, pp.1451~1468.
- 7) Coldy,J.W.,“Topographic Normalization in Rugged Terrain”, PE & RS, Vol.57, No.5, 1991, pp.531~537.

- 8) 안기원, "인공위성 화상데이터를 이용한 지형표고의 추출", 서울대학교 대학원, 박사학위논문, 1988, pp.8-32.
- 9) 정영진, "소나무에서 솔잎혹파리 피해해석", 서울대학교 대학원, 박사학위논문, 1997, pp.3~8.
- 10) 유복모, "원격탐측", 개문사, 1995, pp 139~152.
- 11) Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W., "Remote Sensing and Image Interpretation", Wiley, 1994, pp.44 6~486.
- 12) 임업연구원, "산림병충해발생예찰년보", 1989-1995.
- 13) 이범영, 정영진, 변병호, 최병희, "환경인자에 의한 솔잎혹파리 피해위험도 예측", 임업연구원 솔잎혹파리 논문집, 제42권, 1991, pp. 127~134
- 14) NASA, "Technical memorandum 86149:a prospect us for TM research", NASA, pp. 5-13
- 15) Rudolfs, W., 1924, Influence of external condition upon the behaviour of mosquitoes. Proc. Ann. Mtg. N. Jersey mosquito exterm. Ass. 11, pp.5863
- 16) 김우철 외, "현대통계학", 영지문화사, 1998, pp.117~137.
- 17) 김정년, "통계학", 경문사, 1998, pp.131~174.

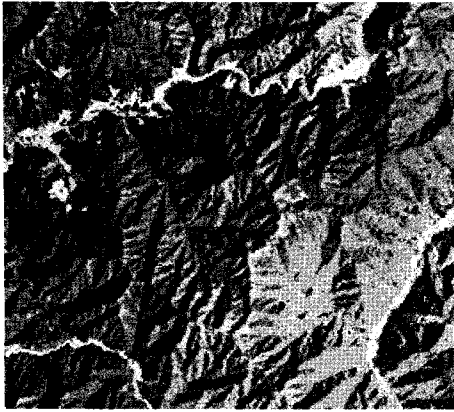


그림 3.1 미보정화상(1989, 5, 2 R/G/B, 4/3/2)

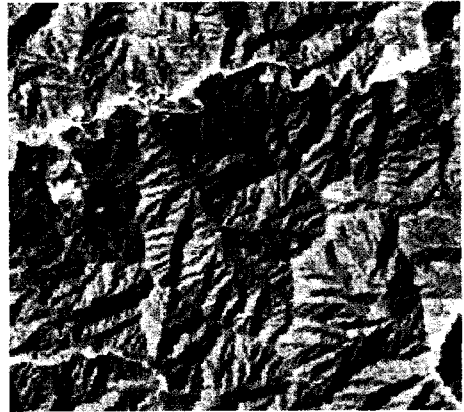


그림 3.3 미보정화상(1994, 4, 14 R/G/B, 4/3/2)

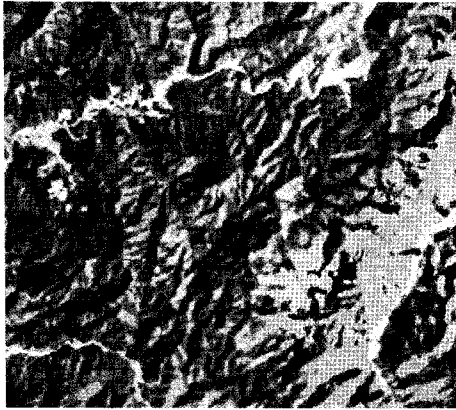


그림 3.2 보정화상(1989, 5, 2 R/G/B, 4/3/2)

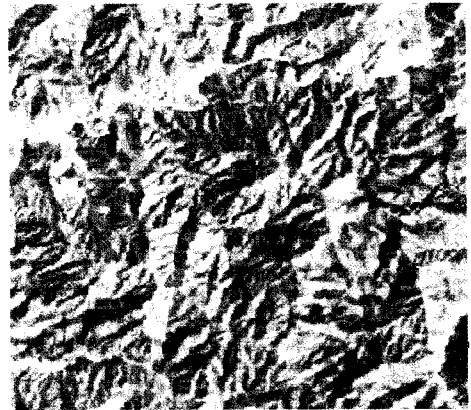


그림 3.4 보정화상(1989, 5, 2 R/G/B, 4/3/2)



그림 4.1 토지이용분류 결과화상(1989. 5. 2)



그림 4.2 토지이용분류 결과화상(1994. 4. 14)