

Article

피해목 위치자료를 이용한 북한산 국립공원 참나무시들음병 공간분석

Zhu Yongyan*, Piao Dongfan*, 이우균*†, 전성우*

*고려대학교 환경생태공학과

Spatial Analysis of Oak Wilt Disease in Bukhansan Mountain Park Using Spatial Data of Damaged Trees

Yongyan Zhu*, Dongfan Piao*, Woo-kyun Lee*† and Seong-Woo Jeon*

*Department of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University

Abstract : This study is a preliminary research conducted in Bukhansan mountain National Park to develop a management system to predict and control oak wilt disease by indicating spatial factors which affect diffusion of the disease. After analysing altitude factor during the estimation of spatial analysis of damaged area, it is indicated that damaged trees are mainly distributed at altitude of 200-500 m and number decreased drastically over the altitude of 500 m. The result showed that 92% of total damaged trees are on slope between 20~40 degrees and the number decreased drastically on slope steeper than 40 degrees. It is indicated that damaged area is mainly distributed on southern aspect. It is estimated by using CART that slope factor affected the diffusion of disease mostly but aspect factor did not. Surface temperature and altitude showed similar effect. By simulating possible diffusion scenario, it is estimated that the disease could spread to DO-BONG Mt., northeast of Bukhansan mountain.

Key Words : oak wilt disease, spatial statistics, distribution pattern, diffusion type

요약 : 본 연구에서는 북한산국립공원을 대상으로 참나무시들음병 피해지내의 지형적 특성을 파악하고 피해확산 예측지도를 작성하였다. 피해대상지 고도인자 분석결과 피해목은 고도 200 m~500 m 사이에 많이 분포되어 있는 것으로 탐지 되었고, 고도 500 m 이상에서는 피해목수가 급격히 줄어드는 것으로 나타났다. 경사인자 분석결과 전체 92%의 피해목이 경사 20-40도 사이에서 탐지 되었고 경사 40도 이상에서는 피해가 급격히 줄어드는 것으로 나타났다. 방위 분석결과 주로 남향에서 피해가 많이 발생 되는 것으로 나타났다. 피해 대상지내에서의 참나무시들음병 피해목은 군집형태로 존재하는 것으로 나타났고 CART 분석결과 경사의 영향이 가장 큰 것으로 나타난 반면 방위의 영향은 적은 것으로 분석되었다. 그 다음으로 지표면 온도와 고도의 영향이 비슷하게 나타났고 CART 분석결과를 토대로 각 요소별 가중치를 적용하여 피해확산 예측지도를 작성하였다. 그 결과 북한산국립공원의 동북방향에 위치하여 있는 도봉산방향으로 피해가 확산 될 것으로 판단된다.

Received July 31, 2017; Revised September 29, 2017; Accepted October 12, 2017; Published online October 31, 2017.

† Corresponding Author: Woo-kyun Lee (leewk@korea.ac.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

1) 연구의 배경 및 목적

참나무시들음병은 2004년 성남 이배재에서 처음 발견된 이후 서울·경기 등지의 참나무에 큰 피해를 입혔고 참나무시들음병으로 인하여 참나무의 피해현상이 급속도로 확산되어 가고 있어 사회적으로 참나무시들음병에 대한 위기감이 높아 가고 있다. Kim *et al.*(2011), Suh *et al.*(2012)에 의하면 참나무시들음병의 주요피해수종은 신갈나무로 조사되었으며 갈참나무(*Quercus aliena* Blume), 졸참나무(*Quercus serrata*), 상수리나무(*Quercus acutissima*), 굴참나무(*Quercus variabilis*), 떡갈나무(*Quercus dentata*)까지 피해를 입히는 것으로 확인되었다. Ahn(2008)은 참나무류는 우리나라의 주요수종 중 하나로 소나무와 함께 중요한 경제수종으로 잘 알려져 있기 때문에 참나무시들음병의 방제 및 해결이 매우 시급하다고 하였다. 이와 같은 산림병해충 피해는 확산을 막기 위한 방제활동뿐만 아니라 피해지역의 복구활동도 같이 동반되기 때문에 피해가 확산될수록 그에 따른 2차적인 경제적 피해 또한 증가한다. 기존 국내 연구에서 Yeum *et al.*(2013)은 참나무시들음병의 감염정도를 파악하기 위해 피해지에 대한 감염단계별 현황을 조사하여 감염지수를 도출하여 지도화 하였고 Um *et al.*(2009)은 전라남도과 제주도를 제외한 전국 18개 참나무시들음병 발생지역을 대상으로 총 74개의 방형구(400 m²)를

설치하고 환경인자, 토양특성을 비롯하여 임목 및 중하층 식생을 조사하였다. 하지만, 참나무시들음병의 종합적 방제 및 관리시스템을 구축하기 위해서는 광역범위에서의 피해목 발생과 확산에 관한 동태 파악을 위한 기초연구가 필요하다. 광역범위에서의 피해목, 특히 피해목의 위치정보는 고해상도 위성사진 혹은 항공사진 등의 영상자료를 통하여 획득할 수 있다. 고해상도 영상 및 공간통계학적 기법을 이용하여 감염 경로를 예상하는 연구가 이루어졌으나 그 성과가 미흡하고 참나무시들음병의 발생 동태 파악을 위해서는 피해목의 발생분포 패턴 및 경사, 방위, 고도, 등과 같은 지형인자의 분석이 필요하다.

본 연구에서는 참나무시들음병의 확산을 사전에 예측하기 위하여 기존의 통계학적 분석방법에 공간이라는 개념을 포함시켜 피해목 분포지역의 고도, 경사, 방위와 같은 지형적 인자의 특성을 파악하고 피해목에 대한 공간적 분포 및 통계분석을 통하여 피해 발생유형과 참나무시들음병 확산을 예측하는데 있다.

2. 연구대상지 및 자료

1) 대상지

동경127°03' 북위37°43'에 위치하고 있는 북한산국립공원은 행정구역상 서울특별시, 고양시, 양주시, 의정부

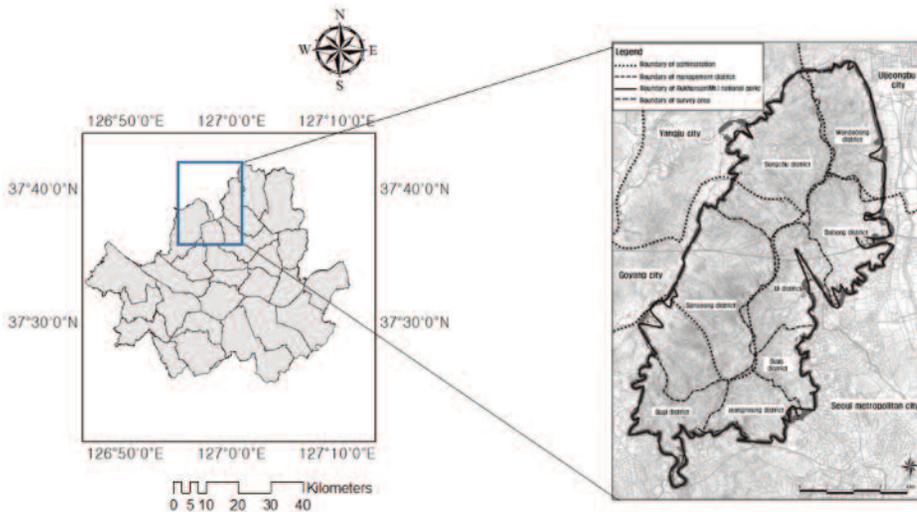


Fig. 1. Bukhansan mountain National Park.

시 등 4개의 지자체 인접한 대표적 도심형 국립공원으로서 그 면적은 78.54 km²이고 식물상은 108과 692종류의 관속식물이 조사되었으며, 주요 식물상은 신갈나무, 굴참나무, 굴참나무, 소나무, 상수리나무, 아까시나무 단풍나무 등이 있다. 2006년부터 참나무시들음병이 발병하기 시작하여 2011년 여름철 급격한 강수량 증가(2010년 대비 245.6 mm 증가) 등 이상기후가 발생한 시점에 집중 발생하였으며 특히 신갈나무등 참나무류의 피해가 급증하였다(Yeum *et al.*, 2013)(Fig. 1).

2) 자료

북한산 지역 피해목 탐지를 위해 2011, 2012년 6~8월 사이에 촬영된 다중 시기 고해상도(0.25m×0.25m) 디지털 항공영상과, 영상 획득 시 발생한 기하학적 왜곡을 보정하기 위하여 수치지형도(1:5,000)를 이용하여 기하학적 보정을 실시하였다(Fig. 2).

3) 연구체계

대상지 피해목의 GPS(Global Position System)정보를 이용하여 피해목 DataBase 구축을 하였고 수치표고모델(Digital elevation model;DEM)를 이용하여 지형관련

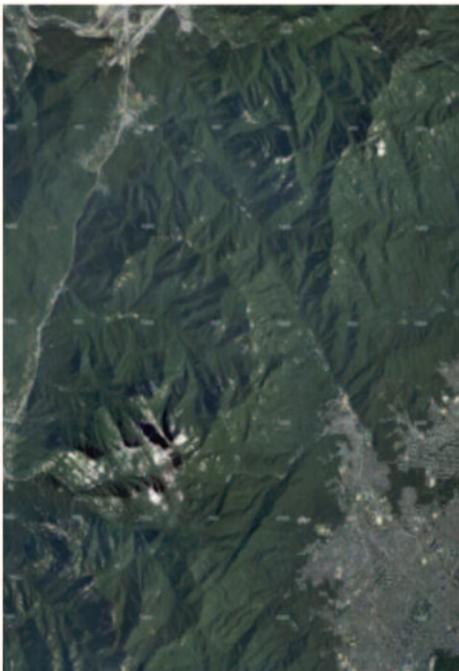


Fig. 2. Aerial image of Bukhansan mountain Study area.

주제도를 작성하였다. 구축된 피해목 위치데이터와 주제도를 사용하여 공간통계분석을 진행하였으며 피해목들에 대하여 공간분포 패턴분석을 실시하였다. 또한 통계모형인 분류회귀나무(Classification And Regression Tree) 모형을 이용하여 확산유형 분석을 진행하고 이 결과를 토대로 확산예측 지도를 작성하였다.

3. 분석방법

1) 피해목 DB 구축

영상분류기법(image classification)은 원격탐사 분야에서 가장 보편화된 분석 중의 하나로 각 픽셀을 몇 개의 집단으로 할당하는 방법이다(Dietterich, 1998). 북한산 지역 피해목의 분포도 작성을 위해 항공영상을 이용한 영상분류와 GPS정보를 이용하여 참나무시들음병 피해지역의 위치정보를 점(Point)형태로 조사하였다.

본 연구에서는 현장조사를 통해 획득한 피해목의 GPS와 북한산 지역 2011, 2012년 시계열 항공영상을 이용하여 선정된 피해목을 기준으로 분광특성에 대한 훈련지역들을 생성하였다. 그리고 추출한 분광특성들의 훈련지역 모집단의 특성을 최대우도(Maximum Likelihood) 기법에 적용시켜 피해목을 분류하였다.

분류결과를 토대로 ArcGIS 10.2 프로그램을 사용하여 피해목을 점(Point) 데이터를 전환하고 추출한 피해목의 좌표계를 항공영상과 같은 좌표계인 WGS-1984 좌표계를 입력시켜 피해목 위치정보 DB를 구축하였으며(Fig. 3), 현장조사를 통해 피해목 위치자료를 보정하여

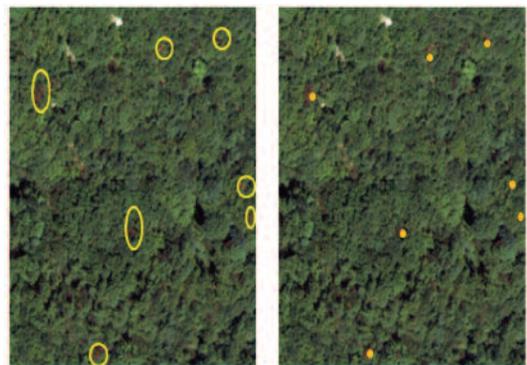


Fig. 3. Established database of damaged trees.

참나무시들음병 피해목의 GIS Data를 보완하여 분포도를 작성하였다.

2) 피해목 공간분포 패턴 분석

본 연구에서는 피해지역의 피해목들의 공간패턴을 분석하기 위해 Ripley's k function(Ripley, 1976) 방법을 사용하였다. 점들의 분포를 파악하는데 있어서 2번째 지점의 영향력(second order effect)을 확인하는 방법으로 사용되는 Ripley's k 함수는 점들의 분포에 변이가 존재하지만 전체 대상지역을 통해 나타나는 현상을 1차적 영향력(first order effect)이라 볼 때 공간적인 영향으로 인한 결과라고 볼 수 없는 것에 착안된 것이다. 따라서 공간분포 패턴을 분석하기 위해서는 2차적 영향력을 분석해야 하는데 균등성 과정(istropic process)인 2차적 영향지점의 공간분포 패턴분석 방법이 사용된다(Son *et al.*, 2006). 일정 공간의 점(point)들이 임의의 공간에서 일정한 패턴을 나타내는 함수로서 점(point)의 집중도(intensity)를 나타내는 식은 Eq. (1)과 같다.

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{S} \quad \text{Eq. (1)}$$

Eq. (1)에서 S는 면적을 말하고 N는 그 공간내의 점(point)의 개수를 말한다.

Eq. (1)을 사용하여 공간분포의 패턴을 나타내는 다음 식을 유도하였다(Ripley, 1976).

$$\hat{K}(t) = \frac{1}{\lambda} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=2}^N kij \quad \text{Eq. (2)}$$

Eq. (2)에서의 t는 거리, 위의 Ripley's K function 식을

Lhan(transformed K) 형태의 식으로 변형하였다(Goreaud, 1999)(Eq.2).

$$\hat{L}(t) = \sqrt{\frac{\hat{K}(t)}{\pi}} - 1 \quad \text{Eq. (3)}$$

Eq. (3)을 적용하면 보다 쉽게 공간분포 패턴을 분석할 수 있다. L함수의 값이 0보다 클 경우 군집 패턴이 되며, 0일 경우는 임의의 분포, 0보다 작을 경우에는 규칙적 형태를 나타낸다. L함수를 거리에 따라 그래프로 표현할 경우 원점에서부터 기울기가 1인 직선이 임의의 패턴을 나타낸다. 실제 점의 분포가 군집된 형태일 경우 L함수는 직선의 상단에 위치하며 분산의 경우 직선 그래프의 하단에 위치하게 된다(Son *et al.*, 2006)(Fig. 4).

3) 지형 DB 구축

참나무시들음병 피해지역에 대한 선행연구(Kelly, 2002)와 지형공간적인 영향력 연구(Kim *et al.*, 1995)등을 통하여 북한산 참나무시들음병 피해확산에서 고려해

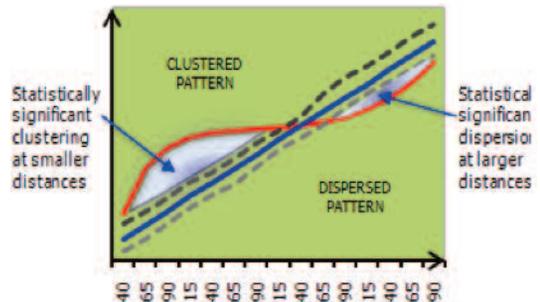


Fig. 4. Graph of Ripley's K function (Source: Esri ArcGIS).

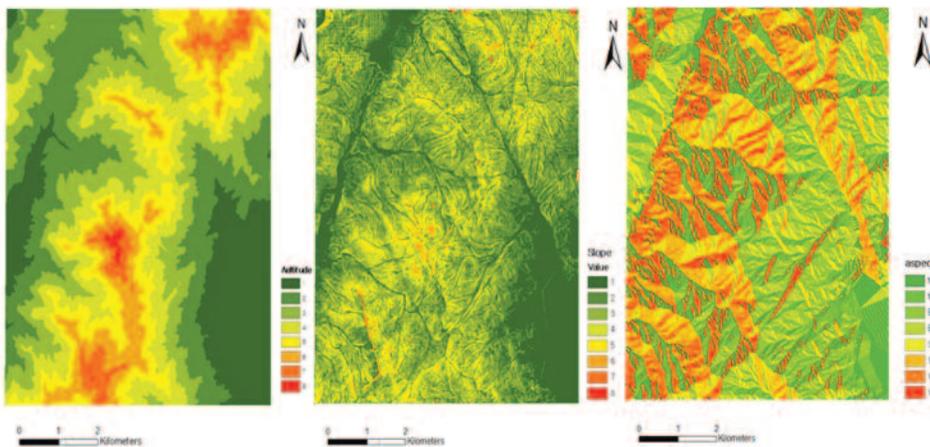


Fig. 5. Map of terrain factors.

야 할 지형인자(고도, 경사, 방위)들을 선정하고 북한산 지역의 1:5000 수치지형도를 이용하여 지형인자 별 주제도를 작성하였다(Fig. 5). 고도는 100m 단위로 8개의 Class로 나뉘서 주제도를 작성하였다. 방위는 Dubayah (1994)에 의하여 얻어진 Eq. (4)를 적용하여 계산되었다.

$$ASPECT = \cos\theta \cos S + \sin\theta S \cos(\Phi - A) \quad \text{Eq. (4)}$$

식(4)에서 θ 는 태양천정의 각(solar zenith angle), Φ 는 태양각(Solar azimuth), S는 사면 경사(slope of the terrain)이며, A는 사면 방향(Aspect of the slope)이다. 방위 주제도는 전체방위를 360도로 볼 때 동남방위 NE(22.5-67.5도)를 기준으로 시계방향 매 45도 단위를 한 개 방위로 하여 NE(북동), E(동), SE(남동), S(남), SW(남서), W(서), NW(북서), N(북) 보편적으로 사용하는 8개의 Class로 나뉘서 주제도를 작성하였다. 경사 주제도는 10도를 단위로 8개의 Class로 나뉘서 작성하였다.

지표면 온도는 병해충의 생장 및 확산이 활발하게 이루어진다는 5월~8월까지 평균 온도(Lee *et al.*, 1987)를 적용하여 Lee *et al.*(2001)에 의하여 얻어진 식(5)를 적용하여 계산하였다.

$$TEMPER = BaT - (BL - BaBL) * TLR \quad \text{Eq. (5)}$$

식(5)에서, BaT(base temperature)는 기준온도, EL(elevation)은 고도, BaEL(base elevation)은 기준고도, TLR(temperature lapse rate)은 기온감율이다.

수치표고모델(DEM)에서 추출한 지형인자 주제도와 북한산지역의 피해목 위치정보 GIS Data를 사용하여 피해목에 따른 지형인자들과의 공간통계 분석을 진행하였다.

4) 확산유형 분석

참나무시들음병 피해 확산유형 분석을 하기 위하여 Son *et al.*(2006)이 소나무 재선충피해 분석에서 사용한 CART(Classification And Regression Tree)모형을 이용하여 분석하였다. CART 모형은 분류나무(Classification Tree)에 기반을 둔 공간통계 분석모형으로 1984년 Breman 등에 의해 제안 되었다. CART 모형의 기본적인 목적은 종속변수를 동일한 특성을 가진 하부 그룹으로 분류하는 것이다. 또한 CART 모형은 크기의 순서가 정해져 있는 연속형 변수 이외 에도 범주형 변수에 대해서도 패턴인

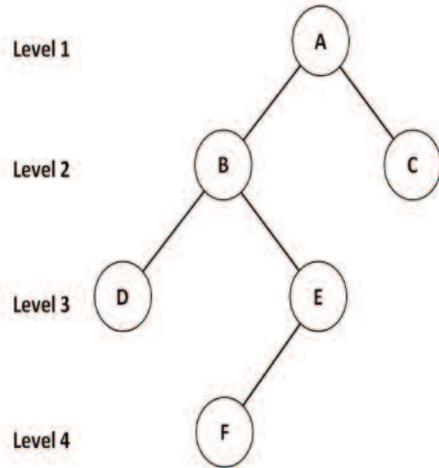


Fig. 6. Basic Structure of CART Model.

식 및 회귀분석을 적절히 수행할 수 있다. <Fig. 6>은 CART 모형의 기본구조를 설명한 그림이다.

지형, 공간특성을 가진 인자들을 CART모형에 적용시키기 위해서는 인자들을 목적에 맞게 분류해야 한다. 본 연구에서는 SPSS Clementine 프로그램을 사용하여 북한산 피해지역(2011년)에서 피해목 GIS data을 (1)으로 하고, 피해받지 않은 지점은 (0)으로 하여 훈련자료로 입력하고 독립변수로 설정하여 실행하였다. 기타 인자들은 예측 값으로 설정하는데 방위는 보편적으로 사용하는 8개의 방위를 1-8로 그룹화 시켜 적용하였고 고도, 경사, 온도 3가지 인자를 추가 및 실행하여 피해에 가장 영향력 있는 인자를 순서대로 선별하여 가중치를 부여하였다. 최종적으로 위의 분석결과를 토대로 ArcGIS 프로그램을 이용하여 피해 확산예측 지도를 작성하였다.

4. 결과

1) 피해목 DB 구축

Fig. 7 중 (a)와 (b)에서의 점들은 각각 2011년과 2012년 피해 참나무들의 수관정점을 테이터화 시킨 포인트이다. 분석결과 2011년에는 7,830그루, 2012년에는 9,269그루의 피해목을 탐지할 수 있었다(Fig. 7).



Fig. 7. Location data of damaged trees.

2) 피해목 공간분포 패턴분석

구축된 피해목 GIS 위치 Data와 Ripley's K function 식을 L_{tran} (transformed K) 형태의 식으로 변형한 식에 적용하여 분석한 결과 북한산 분포패턴 그래프가 K function 예측 그래프 위에 있으므로 군집형태로 존재하는 것으로 보인다(Fig. 8).

3) 공간통계 분석

2011년 북한산 지역 참나무시들음병 피해목의 점 데이터를 이용하여 지형인자 별(고도, 경사, 방위) 공간 분석 결과는 다음과 같다(Fig. 9)

가) 고도분석

북한산 지역의 피해목 피해에 따른 고도를 살펴보면, 참나무시들음병 발생지역 분포는 고도 30 m~818 m 사이에 위치하여 있고 고도 200 m~500 m 사이에 많이 분포되어 있는 것으로 나타났고, 고도 500 m 이상부터는 피해목수가 급격히 줄어드는 것으로 나타났다(Table 1).

고도인자가 참나무시들음병의 피해에 주는 영향을 구체적으로 알아보기 위하여 전체피해목수를 각 고도별 면적(ha) 당 평균 피해목수로 전환하였다. 그 결과 평균치는 고도 400 m-500 m 가장 높았고 고도 200 m 이상에서는 큰 차이가 나타나지 않는 것으로 나왔다.

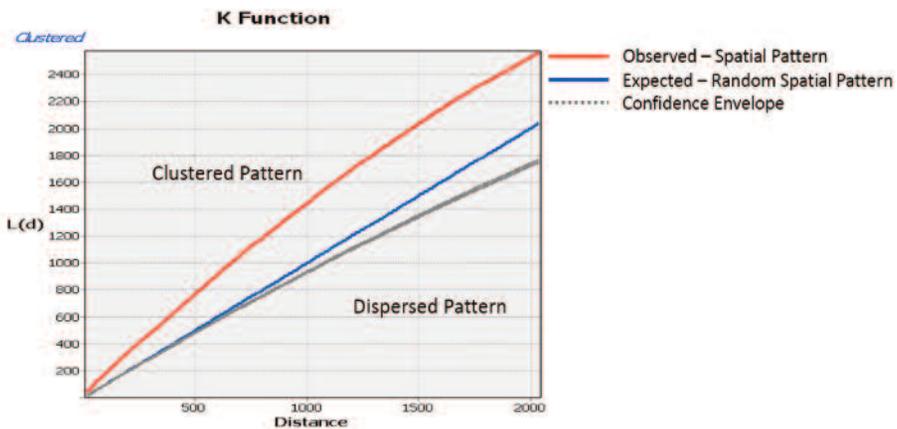


Fig. 8. Distribution pattern of damaged trees.

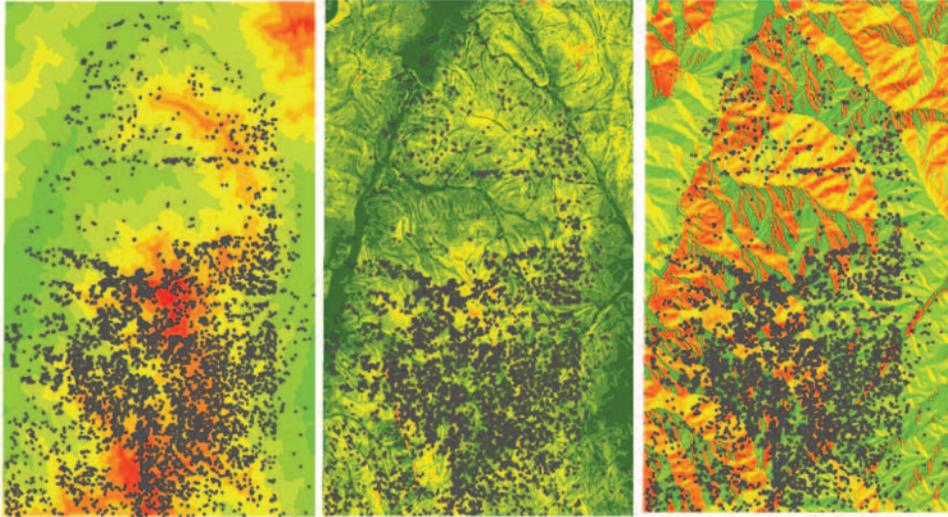


Fig. 9. Spatial statistical analysis (2011).

Table 1. The results of different altitude

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
Altitude	30-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-818
Area (ha)	887.5	1204	1191.6	981.4	807.6	446.6	148.8	19
Damaged trees (total)	135	562	1947	2174	2052	701	237	22
Damaged trees (average)	0.15	0.47	1.63	2.22	2.54	1.57	1.59	1.16

나) 경사분석

북한산 지역 참나무시들음병 경사별 피해목은 0-80도 사이에 분포 되어 있는 것으로 탐지 되었고 20-30도 사이에 가장 많았다. 전체 피해목 중 92%가 경사 20~40도 사이에서 탐지 되었고 경사 40도 이상에서는 피해가 급격히 줄어드는 것으로 나타났고 50-80도 사이 경사에서 피해목은 존재하나 그 피해가 적은 것으로 나타났다 (Table 2). 경사별 전체 피해목수를 면적(ha)당 평균 피해목수로 전환하고 전체 피해목수 피해와 비교 해본 결과 경사 30~40도 사이에서 평균치가 가장 높았고 다음으로 20~30도 경사에서 높았다. 전반적으로 볼 때 경사가 완만한 지역에서 피해가 많이 발생하고 가파른 지역에

서는 피해가 적게 나타나는 것으로 파악되었다.

다) 방위분석

북한산 지역의 참나무시들음병 방위에 따른 피해를 보면 동남방위에서 피해목수가 가장 많이 존재하는 것으로 나타났고 다음으로 남, 서남 순으로 많이 나타났다. 전반적으로 피해는 주로 남향에서 일어나는 것으로 나타났고, 피해목수를 각 방위별 평균화 한 결과 남향에서의 평균치가 가장 높은 것으로 확인되었다(Table 3).

Table 4는 북한산 피해지역의 CART 분석 결과이다. 북한산 피해지역 CART분석에서 경사의 영향이 가장 큰 것으로 나타난 반면 방위의 영향은 아주 적은 것

Table 2. The results of different slope

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
Slope	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
Area (ha)	989.7	1471.2	1970	1025.6	192.6	26.1	5.8	5.6
Damaged trees (total)	296	1346	3516	2408	247	12	3	2
Damaged trees (average)	0.3	0.91	1.78	2.35	1.28	0.46	0.52	0.36

Table 3. The results of different aspect

Aspect	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Area (ha)	882.6	710.4	874.2	743.8	563.3	628.6	647.8	635.9
damaged trees (total)	633	692	1184	1708	1231	1116	774	492
damaged trees (average)	1.28	1.35	1.20	1.31	1.30	1.14	1.66	1.87

Table 4. The Results of CART Model

Grade	1	2	3	4
variables (%)	Slope (100)	Temperature (68)	Altitude (60)	Aspect (51)
Accuracy	76 %			

로 나타났다. 지표면 온도와 고도의 영향이 비슷하게 나타났다. ArcGIS 프로그램을 이용하여 피해 확산예측지도를 작성한 결과 북한산 참나무시들음병 병해충의 확산 흐름은 동북(NE)쪽으로 진행될 것으로 북한산국립공원 동북방위에 인접하여 있는 도봉산 방향으로 확산될 것으로 예측되었다(Fig. 10).

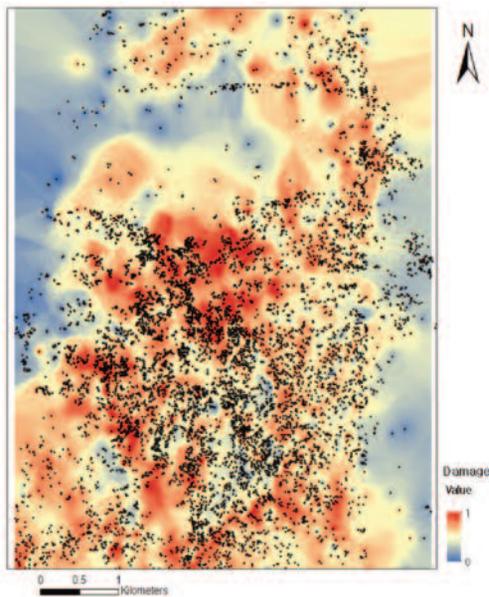


Fig. 10. Damage prediction map and damaged trees location data (2012).

5. 결론

본 연구는 북한산 참나무시들음병 피해발생지역인 북한산국립공원의 2011, 2012년 항공영상의 피해목 분광

특성을 이용하여 피해목 탐지를 하였고 참나무시들음병 피해목의 공간분포 특성과 분포패턴분석을 진행하였다. 분석결과를 기반으로 CART 모형을 통해 확산예측을 한 결과 76%의 정확성으로 북한산 피해지내에서의 자연적 확산을 예측할 수 있었다. 그러나 고해상도 항공영상만 이용하여 참나무시들음병 피해목 선정 및 위치데이터를 생성하는데 자료적 한계도 존재하였다. 향후 연구에서는 근적외선(NIR) 및 초분광(Hyperspectral) 영상 자료를 활용하여 피해목을 생성하게 되면 더 정확한 피해목 위치데이터를 구축할 수 있을 것으로 사료된다. 북한산 대상지역 대부분 참나무 임상으로 구성되어 있어 임상을 별도의 종속변수로 적용하지 않았다. 하지만 Kelly (2002)의 경우 임상과 피해확산 사이의 상관성이 높음을 설명하고 있다. 후속 연구에서는 임상과 병해충의 성장과 이동을 고려하여 날씨, 풍속, 풍향과 같은 정확한 기상인자를 고려한다면 보다 정확도가 높은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구결과는 산림병해충 부문에서의 병해충의 이동경로 파악과 참나무시들음병의 사전 방제 및 관리 시스템을 구축하기 위한 대안으로 연결할 수 있을 것으로 보인다.

References

- Aase, J. K., J.P. Millard, and B.S. Brown, 1986. Spectral radiance estimates of leaf-area and leaf phytomass of small grains and native vegetation, *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*, 24: 685-692.
- Ahn, H. H., 2008. *Studies on forest community structure and correlation with environmental factor – case of outbreak area of oak wilt disease. : In the case of Seoul City*, Sangji University, Korea.

- Choi, W. I., J. S. Lee, G. S. Choi, and S. C. Sin, 2008. Tree Trunk Level Distribution of Entry Hole by *Platypus Koryoensis*(Coleoptera: Platypodidae) and Its Implication to Tree Damage, *Korean Society of Applied Entomology*, 47(2): 127-131 (in Korean with English abstract).
- Dietterich, T.G., 1998. Approximate statistical tests for comparing supervised classification learning algorithms, *Neural Computation*, 10(7): 1895-1923.
- Eckardt, F. E., L. Heerfordt, H. M. Jorgensen, and P. Vaag, 1982. Photosynthetic production in greenland as related to climate, Plant cover and Grazing pressure, *International Journal For Photosynthesis Research*, 16(1): 71-100.
- Ekstrand, S., 1996. Landsat TM-based forest damage assessment: correction for topographic effects, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(2): 151-161.
- Gamon, J. A., J. Peñuelas, and C. B. Field, 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency, *Remote Sensing of Environment*, 41(3): 35-44.
- Goreaud, F. and R. Pelissier, 1999. On explicit formulas of edge effect correction for Ripley's K-function, *Journal of Vegetation Science*, 10: 433-438.
- Han, B.H., J. H. Choi, J. H. Yeum, and K. J. Lee, 2014. Characteristics of Vegetation Structure of Managed Area by Oak Wilt Disease in Bukhansan National Park, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 23(3): 342-356 (in Korean with English abstract).
- Hong, K. J., Y. D. Kwon, S.W. Park, and D. P. Lyu, 2006. *Platypus koryoensis* (Murayama) (Platypodidae; Coleoptera), the Vector of Oak Wilt Disease, *Korean Journal of Applied Entomology*, 45(2): 113-117.
- Kelly, M., 2002. Landscape dynamics of the spread of sudden oak death, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(10): 1001-1009.
- Kelly, M., 2003. Terrain modeling and visualization to understand spatial pattern and spread of sudden oak death in California, *Proc. of the ASPRS Terrain Data Conference*, Charleston, South Carolina, Oct. 24-29, pp. 13-24.
- KIM, S. W., J. H. Jung, K., Lamsal, Y. S. Kim, S. J. KIM, H. S. Kim, S. J. Chang, J. K. Kim, K. S. Kim, and Y. S. Lee, 2011. Control efficacy of nano-silver liquid on oak wilt caused by *raffaelea* sp.in the Field, *Korean Society of Plant Pathology*, 17(2): 136-141 (in Korean with English abstract).
- Kim, S.W., J. H. Jung, Y.S. Lamsal, S.J. Kim, H.S. Sim, S.J. Kim, J.K. Jang, K.S. Kim, and Y.S. Lee, 2011. Control efficacy of nano-silver liquid on oak wilt caused by *Raffaelea* sp. in the field, *Research in Plant Disease*, 17(2): 136-141 (in Korean with English abstract).
- Kleman, J. and E. Fagerlund, 1987. Influence of different nitrogen and irrigation treatments on the spectral reflectance of barley, *Remote Sensing of Environment*, 21: 1-14.
- Park B.Y, K.Y. Oh, J.H Lee, J.H. Yoon, S.K. Lee, and M.J. Lee, 2017. A Study on Environmental research Trends by Information and Communications Technologies using Text-mining Technology, *Korean Journal of Remote Sensing*, 33(2): 189-199 (in Korean with English abstract).
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering, 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *Proc. of the Third ERTS Symposium*, Washington DC, NASA SP-351, vol. 1, pp. 309-317.
- Shin D.Y, J.H. Han, Y.J. Jin, J.Y. Park, and H.H. Jeong, 2016. Availability Evaluation For Generation Orthoimage Using Photogrammetric UAV System, *Korean Journal of Remote Sensing*, 32(3): 275-285 (in Korean with English abstract).
- Son, M.H., W. K. Lee, S. H. Lee, H. K. Cho, and J. K. Lee, 2006. Natural spread Pattern of damaged area by pine wilt disease using geostatistical Analysis, *Journal of Korean Forestry Society*,

- 95(3): 240-249 (in Korean with English abstract).
- Suh, D. Y., S. Y. Son, S. H. Kim, S. T. Seo, K. H. Kim, and H. K. Ko, 2012. Investigation of Fungi in Pesticide Fumigated Oak Wilt-Diseased Logs, *Korean Journal of Mycology*, 40(4): 288-291 (in Korean with English abstract).
- Um, T.W., J. H. Chun, and K. H. Kim, 2009. Stand structure characteristics of oak wilt infected forest, Korea, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 23(2): 220-232 (in Korean with English abstract).
- Yeum, J.H., B. H. Han, J. W. Choi, and H. E. Jeong, 2013. Mapping of the damaged forest by oak wilt disease in Bukhansan National Park, *Korean Journal of Environment*, 27(6): 704-717 (in Korean with English abstract).
- Yeum, J. H., B. H. Han, J. W. Choi, and H. U. Jeong, 2013. Mapping of the Damaged Forest by Oak Wilt Disease in Bukhansan National Park, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 27(6): 704-717 (in Korean with English abstract).