

휴대용 근적외선 카메라를 이용한 소나무 재선충 피해목의 식생지수 변화분석

김유승¹ · 정성은² · 이우균^{2*} · 김준범³ · 권태형⁴

¹(주)선도소프트, ²고려대학교 환경생태공학부, ³국립산림과학원, ⁴(주)세다스 미디어

Analyzing Vegetation Index Change of Damaged Trees by Pine Wilt Disease Using Portable Near Infrared Camera

You Seung Kim¹, Sung Eun Jung², Woo Kyun Lee^{2*}, Jun Beom Kim³ and Tae Hyeong Kwon⁴

¹Sundosoft Inc., Seoul 153-023, Korea

²Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

³Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

⁴SEDAS MEDIA Co. Ltd, Seoul 140-210, Korea

요 약: 소나무 재선충병은 우리나라 소나무림에 심각한 위협이 되고 있다. 소나무 재선충병은 보통 5~6월에 감염 되지만 10~11월에 비로소 피해목을 육안으로 확인할 수 있어, 피해예방에 큰 어려움을 겪고 있다. 재선충에 의해 소 나무가 고사되는 과정중에는 식생활력도가 크게 감소하게 되는데, 이러한 현상은 분광스펙트럼상의 근적외선 영역에 서 분광반사의 감소를 수반한다. 본 연구에서는 이러한 현상을 토대로 재선충 피해목의 식생활력도 변화를 식생지 수 모니터링을 통하여 분석하였다. 휴대가 간편한 근적외선 카메라를 이용하여 재선충 피해지역의 소나무림을 5월부 터 11월까지 매월 촬영함으로써 녹색, 적색 및 근적외선 영역대의 분광반사값을 취득하였다. 이렇게 수집된 분광반 사값으로부터 피해목의 식생지수(Vegetation Index: VI)의 변화를 분석하였고, 피해목의 식생지수는 감염초기인 6월부 터 감소하기 시작한다는 것을 밝힐 수 있었다.

Abstract: *Pinus densiflora*(red pine) stands in Korea have been faced with the serious threat by pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus* (nematodes). It is not easy to early detect and prevent the infected trees because those cannot be visually identified during the initial phase of infection. Red pine is usually infected by *B. xylophilus* from May to July and can be just visually detected in October or November. While the infected trees are wilted, the spectral value of Near Infrared (NIR) is supposed to be decreased. Based on this phenomena, in this paper, the vegetation vitality change of infected trees was analyzed using vegetation indices. Spectral values of Red, Green and NIR had been acquired monthly by a portable NIR camera in the same place of red pine stands infected by pine wilt disease. It could be proven that the vegetation index, or vegetation vitality of damaged trees starts to decrease from June, in the early infecting phase.

Key words : pine wilt disease, *Bursaphelenchus xylophilus*, portable NIR camera, vegetation index

서 론

소나무재선충병(pine wilt disease)은 솔수염하늘소 (*Monochamus alternatus*)를 통해 매개되는 소나무재선충 (*Bursaphelenchus xylophilus*)에 의해 유발되는 것으로서, 이 에 감염된 소나무는 3개월 이내에 완전 고사할 정도로 소 나무림에 심각한 피해를 주고 있다. 또한 매개 후 고사단계 까지 진행이 빨라 재선충 감염목 조기진단 및 처리에 어려

움을 겪고 있다(손민호, 2006). 재선충에 의한 산림피해는 1988년 부산 금정산에서 처음 발견된 이래 꾸준한 방제활 동에도 불구하고 매년 피해면적이 증가하여 2006년 12월 까지 7,871 ha에 이르고 있다(산림청, 2007).

5~6월에 소나무 재선충에 감염된 피해목은 점차 고사되 어 11월이면 육안으로 구분할 수 있게 된다. 이와 같이 육 안으로 확인된 고사목을 벌채하여 현장에서 훈증 처리하는 것이 지금까지의 대처방식이었으나, 재선충 감염목을 조기 에 발견할 수 있다면 피해규모를 줄일 수 있고, 확산 및 예 방에도 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

재선충에 의해 소나무가 고사되는 과정중에는 식생활력

*Corresponding author
E-mail: leewk@korea.ac.kr

도가 크게 감소하고, 이러한 현상은 분광스펙트럼상의 근적외선 영역에서 분광반사값의 감소를 수반하게 된다. 일반적으로 위성영상이나 항공사진의 분광반사값으로부터 산정되는 식생지수(Vegetation Index)를 이용하여 소나무 재선충을 비롯한 병해충의 피해목을 추출하고 있다(Kelly, 2002). 손민호 등(2006)은 공간통계학적인 방법을 이용하여 피해목의 공간분포유형, 피해발생과 지형인자간의 관계를 분석하였으며 지형공간자료를 통계학적 Tree 모형에 적용한 CART(Classification And Regression Trees)모형을 이용하여 재선충 피해의 자연적인 확산 예측 지도를 작성한 바 있다. 또한 김준범(2001, 2002, 2003)은 고해상도인 IKONOS 영상으로 NDVI 및 히스토그램분석을 통하여 피해지역을 추출하였다. Kelly(2002)는 미국 캘리포니아 차이나 캠프지역에서 1 m급 해상도를 가진 항공사진을 이용하여 고사중인 참나무와 고사된 참나무를 분류한 바 있다. 조명희 등(2001)은 경남 추봉도 지역의 소나무 재선충 피해지역을 추출하기 위해 Landsat TM 영상을 이용하여 감독분류, 히스토그램분석, NDVI 등 다양한 영상처리를 하였다. 그러나 이러한 위성영상 및 항공사진은 획득이 용이하지 않은 문제를 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 휴대 및 촬영이 용이한 휴대용 근적외선 카메라를 이용하여 식생지수를 산출함으로써 재선충 피해목의 식생활력도 변화를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상지 및 재료

본 연구는 휴대용 근적외선 카메라를 이용하여 재선충에 감염된 소나무의 식생지수 변화를 분석하는 것이 목적이므로, 재선충 감염 가능성이 높은 기존 감염지역 중 부산광역시 기장군 대변항 주변(35° 11'N, 129° 13'E)의 소나무림을 연구대상지로 선정하였다(Figure 1).

측정장비 또는 지상형 원격탐사 장비로 가시광선 파장대역 및 근적외선대역을 감지하는 CMOS 센서를 장착한

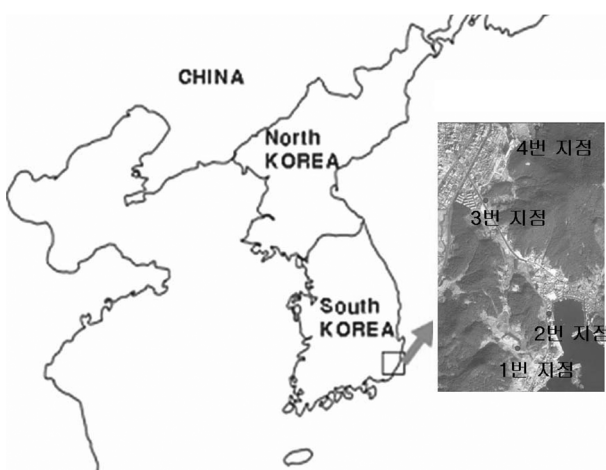


Figure 1. Study area and red pine stands.

Agricultural Digital Camera(ADC)를 이용하였다. ADC의 센서는 근적외선(Near Infrared: NIR), 적색(Red), 녹색(Green)의 3개 밴드로 되어있으며 파장대는 500~1,050 nm를 감지한다.

2. 조사 및 분석 방법

2006년 5월부터 11월까지 총 7회의 현지조사를 실시하였다. 각 지점에서 삼각대 설치 후 피해 대상지의 남사면을 일반 디지털 카메라와 ADC를 이용하여 촬영하였다. 획득한 영상들은 촬영당시 조건에 따라 두 가지의 오차가 발생한다. 광량의 차이에서 발생하는 노출(exposure)오차와 파장별 분포량이 달라져 밴드별로 노출의 차이가 발생하는 조화(balance)오차이다. 이중 노출오차는 승법적 오차이기 때문에 식생지수 자체로 보정이 되지만, 조화오차는 식생지수 자체로 보정이 불가능하다.

따라서 식생지수를 산출하는데 쓰이는 NIR과 Red Band 간 화소값의 보정이 필요하다. 이를 위해 일반적인 사진촬영 시 노출을 결정하기 위해 사용하는 영상보정판인 18% 회색보정판(18% gray card)을 이용하여 촬영된 보정판으로부터 시기별·장소별로 획득된 영상을 보정하였다. 18% 회색보정판은 입사광의 18%를 반사하는 무채색(회색)으로 이루어진 판으로 무채색은 적색, 녹색, 청색 밴드가 동일한 값을 갖기 때문에 18% 회색보정판의 반사값을 동일하게 조정하는 방법으로 가시광의 영상보정이 가능하다(최창호, 2004).

본 조사는 촬영 대상지에서 11월에 고사목으로 발견된 소나무 입목을 재선충 감염목으로 간주하고, 해당입목의 식생지수를 일자별로 역추적하여 분석하였다.

1) 영상조정지수 (Calibration Index: CI)

ADC로 획득한 영상의 시기에 따라 각 밴드의 파장 분포량이 달라지기 때문에 ADC로 촬영된 18% 회색보정판의 값을 통해 식 (1)과 같이 CI를 설정하여 식생지수(Vegetation Index: VI)를 보정하였다.

$$CI = \frac{\text{Average value of NIR Band}}{\text{Average value of Other Band}} \quad (1)$$

2) 식생 지수 (Vegetation Index: VI)

본 연구에서는 ADC에서 획득한 영상으로부터 식생지수(VI)를 산정하여 비교해 봄으로써 소나무의 활력도 변화를 관찰하였다. 식생지수(VI)의 종류로는 여러 가지가 있지만 NIR, Red, Green Band의 포괄적인 값을 화상으로 나타내는 카메라의 특성상 단순식생지수(Ratio of Vegetation Index: RVI)와 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)의 사용이 적절하다고 판단되어 이 두 가지의 식생지수(VI)를 선택하였다.

(1) 단순식생지수(RVI)의 보정

Pearson과 Miller(1972)가 개발한 단순식생지수(RVI)는 가장 고전적인 식생지수로 이것은 스펙트럼에서 RED와

NIR의 반사값에 기초를 두고 있다.

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad (2)$$

NIR : 근적외선 파장대역

RED : 가시광선 적색파장대역

식 (3)과 같이 단순식생지수(RVI)를 산정하였다.

$$RVI_{cal} = \frac{NIR/CI}{RED} \quad (3)$$

(2) 정규식생지수(NDVI)의 보정

Rouse *et al.*(1974)이 제시한 정규식생지수(NDVI)는 원격탐사장비를 이용하여 얻은 화상 자료로부터 식생분포 상황을 파악하고 대상 식생의 활력을 지수로 표현한 것이다. 정규식생지수(NDVI)는 여러 종류의 승법적 오차를 효과적으로 줄일 수 있기 때문에 널리 이용되고 있다. 정규식생지수(NDVI)는 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

NIR : 근적외선 파장대역

RED : 가시광선 적색파장대역

또한, 영상조정이 적용된 NDVI는 식 (5)와 같이 다시 표현될 수 있다.

$$NDVI_{cal} = \frac{\frac{NIR}{CI} - RED}{\frac{NIR}{CI} + RED} \quad (5)$$

결과 및 고찰

조사초기에는 수집한 영상자료에서 육안판독이나 식생지수 산출방법으로 식생활력도가 낮은 입목을 구분해낼 수 없었다. 그러나 11월에 디지털카메라로 촬영한 영상에서 재선충에 의해 고사된 피해목이 육안으로 확인되어, 각 고사목에 대한 식생지수 값을 역추적 하였다.

1. 단순식생지수(RVI)

월별로 단순식생지수(RVI)를 비교해보면, 재선충 피해목이 정상목에 비해 낮게 나타났다(Figure 2). 그 차이는 이미 5월부터 나타났으며, 6월 이후에는 그 차이가 현격히 벌어

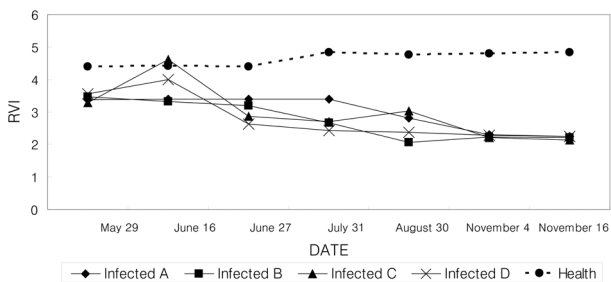


Figure 2. RVI changes from May to November in 4 infected areas and 1 health area.

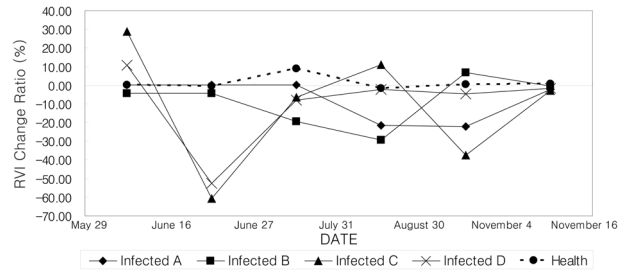


Figure 3. Change ratio of RVI in 4 infected areas and 1 health area.

지는 것으로 나타났다.

RVI 변화율 (Change Ratio%) $=((VI_t - VI_{t+1})/VI_t) \times 100$ 을 비교해본 결과, 정상목의 RVI 변화는 거의 나타나지 않은 데 반해 피해목의 RVI는 6월~9월에 변화가 크게 나타났고, 11월에는 이미 고사하여 변화율이 낮은 것으로 나타났다(Figure 3).

2. 정규식생지수(NDVI)

월별 정규식생지수(NDVI)를 비교해 보면, 5월에는 식생 활력도 값에 큰 차이를 보이지 않으나 6월부터는 피해목의 NDVI가 정상목의 NDVI에 비해 일정한 간격으로 낮게 유지되는 것으로 나타났다(Figure 4).

또한 NDVI의 변화율을 비교해본 결과 정상목에 비해 감염목의 변화율이 크게 변동하는 것을 볼 수 있으며, 특히 7월과 8월 사이에 변화가 크게 나타났다. 11월에는 이미 고사하여 NDVI에 변화가 거의 없는 것으로 나타났다(Figure 5).

본 연구에서는 휴대용 근적외선 카메라로 취득한 영상을 이용하여 소나무 재선충 감염목의 식생지수를 도출하였다.

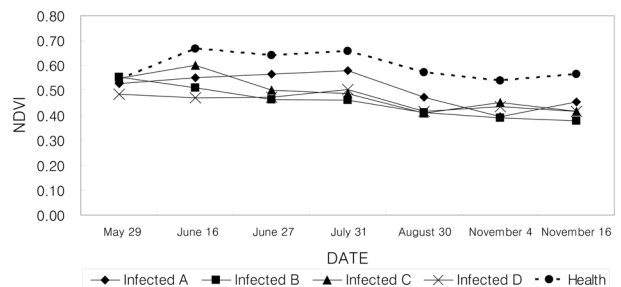


Figure 4. NDVI changes from May to November in 4 infected areas and 1 health area.

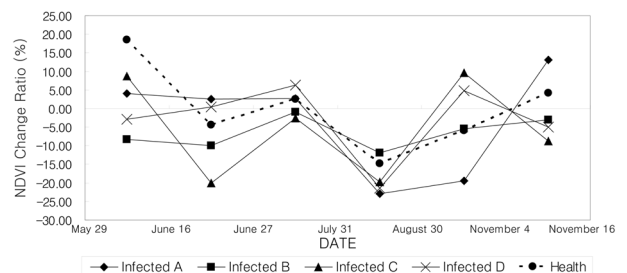


Figure 5. Change ratio of NDVI in 4 infected areas and 1 health area.

정규식생지수(NDVI), 단순식생지수(RVI) 두 지수를 통해 소나무에 재선충이 감염 되었을 때 6, 7월부터 식생활력도가 감소하는 것을 발견할 수 있었다. 특히 정상목과 감염목 간의 차이는 RVI에서 NDVI보다 크게 나타났다. 이를 통해 소나무는 5~7월에 재선충에 감염된 이후부터 활력이 조금씩 저하되고 서서히 고사가 진행되는 것으로 판단된다.

연구를 진행함에 있어서 주의해야 할 사항은 위성이나 항공기의 고해상도 센서를 이용한 원격탐사와 다르기 때문에 지상에서의 광학센서를 이용한 원격탐사에서는 영상 취득시 카메라의 조리개나 광학센서, 촬영위치, 각도 등 촬영 조건을 동일하게 하여 영상을 취득할 수 있도록 주의해야 한다는 점이다. 특히 광량뿐만 아니라 수분, 기온, 풍속 등 기상인자에 따라 식생 활력이 많은 영향을 받으므로 식생지수 비교시 이에 대한 고려가 필요하다. 또한 원거리 촬영시 관찰을 효과적으로 할 수 없기 때문에 개체목당 취득될 수 있는 화소수의 증가를 위해 근접촬영이 효과적일 수 있다. 이는 추후 탐지센서가 발달함에 따라 개선될 것으로 판단된다.

소나무 재선충 피해목 진단을 위하여 본 연구에서 수행된 NDVI와 RVI 외에도 다양한 분석이 필요하다. 또한 정확도 향상을 위해 영상 취득시 동일조건에서 영상을 취득할 수 있도록 주의해야 하며, 보다 많은 샘플지역에서 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

결 론

본 연구에서는 소나무 재선충의 피해를 ADC를 이용한 식생지수의 산출을 통하여 분석하였다. 그 결과 정규식생지수(NDVI)와 단순식생지수(RVI) 모두 재선충에 감염이 되었을 때 6월부터 뚜렷한 차이를 보이며 감소현상이 나타났다. 특히 단순식생지수에서 정규식생지수보다 감염목과 정상목 사이의 수치 차이가 크게 나타났다. 본 연구를 통해 휴대용 근적외선 카메라(ADC)의 분광특성을 이용하여 재선충에 감염된 소나무가 고사하여 육안으로 확인되기 전에 조기 탐지할 수 있는 가능성이 있음을 확인하였다.

인용문헌

1. 김준범, 조명희, 오정수, 이광재, 박성중, 엄향희. 2001. GIS 위성영상을 이용한 소나무 재선충 피해지역과 기상 인자와의 시·공간적 상관분석. 한국농림기상학회 학술 발표논문집. 49-52.
2. 김준범, 조명희, 김인호, 박재현. 2002. 소나무재선충 피해지역 추출을 위한 IKONOS 위성영상의 지형별 분광 특성 분석. 한국지리정보학회 추계학술대회 발표논문집. 15-22.
3. 김준범, 조명희, 김인호, 김영걸. 2003. IKONOS 위성영상과 GPS를 이용한 소나무 재선충 피해지역 추출에 관한 연구. 한국임학회지 92(4): 362-366.
4. 산림청. 2007. 임업통계연보(2007). 제37호. pp. 182.
5. 손민호, 이우균, 이승호, 조현국, 이준학. 2006. 공간통계학적 방법에 의한 소나무 재선충 피해의 자연적 확산유형분석. 한국임학회지. 95(3): 240-249.
6. 조명희, 김준범, 오종수, 이광재, 2001. 고해상도 IKONOS 영상을 활용한 소나무재선충 피해지역 추출 기법. 한국지리정보학회지 4(4): 72-78.
7. 최창호. 2004. 사진학강의 7판. 포토스페이스. 서울. pp. 423.
8. Kelly, N.M. 2002. Monitoring sudden oak death in California using high-resolution imagery. USDA-Forest Service. General technical report. PSW-GTR-184:799-810
9. Pearson, L. and L.D. Miller. 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass prairie. Pawnee National Grasslands. Colorado. In Proceedings of the 8 th International Symposium on Remote Sensing of the Environment. Ann Arbor. MI: ERIM.
10. Rouse J.W., Haas R.H., Deering D.W. and J.A. Schell. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation. Final Rep. RSC 1978ñ4, Remote Sensing Center. Texas A&M University. College Station.

(2008년 5월 9일 접수; 2008년 10월 8일 채택)