

휴대용 근적외선 카메라를 이용한  
소나무 재선충 피해목 조기탐지 방법개발  
정성은\*, 김유승, 노병윤, 이영원

Development of early diagnosis method of damaged tree  
by pine wilt disease using Portable NIR camera

Sungeun Jung\*, Yooseung Kim, Byungyoon Noh, Youngwon Lee

고려대학교 환경생태공학부  
truthse@gmail.com

요약

소나무 재선충에 감염되어 고사하는 소나무의 증가는 우리나라 산림에 심각한 위협이 되고 있다. 재선충은 매개 후 고사단계에 이르기까지 진행과 확산이 빨라 감염목이 발견되면 곧바로 임내에서 벌채 및 훈증 처리해야 하며 5~6월에 감염되어 10~11월에 육안으로 고사를 확인할 수 있다. 재선충에 의해 소나무가 고사되는 과정에서 식생활력도가 크게 감소하며 이러한 현상은 근적외선 영역에서 분광반사의 감소를 수반한다. 따라서 본 연구는 근적외선영역의 분광감소를 이용하여 재선충 피해목의 조기진단이 가능할 수 있다는 것에 착안하여 수행하였다. 근적외선영상 취득 방법으로 휴대가 간편한 근적외선 카메라를 이용하여 재선충 피해지역의 소나무림을 5월부터 11월까지 매월 촬영하였다. 이렇게 수집된 분광반사값으로부터 식생지수(Vegetation Index: VI)의 변화를 분석하였고, VI의 감소율로부터 소나무 재선충 감염목을 조기에 발견할 수 있다는 결과를 도출하였다.

서론

소나무재선충병(pine wilt disease)은 솔수염하늘소(*Monochamus alternatus*)를 통해 매개되는 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)에 의해 유발되는 것으로서 매개 후 고사단계까지 진행이 빨라 재선충 감염목 조기진단 및 처리에 어려움을 겪고 있다.

5~6월에 소나무 재선충에 감염된 피해목은 점차 고사되어 11월이면 육안으로 피해목을 구분할 수 있게 된다. 이와 같이 육안으로 확인된 고사목을 벌채하여 현장에서 훈증 처리하는 것이 지금까지의 대

처방식이다. 그러나 재선충 감염목을 조기에 발견할 수 있다면 피해규모를 줄일 수 있고, 확산 및 예방에도 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

재선충에 의해 소나무가 고사되는 과정에서 식생활력도가 크게 감소하며 이러한 현상은 근적외선 영역에서 분광반사값의 감소를 수반한다. 따라서 위성영상이나 항공사진의 분광반사특성으로부터 산정되는 식생지수(Vegetation Index: VI)를 이용하여 소나무 재선충을 비롯한 병해충 피해목과 지역 추출이 가능하다(Kelly, 2002; 김준범, 2003).

이러한 위성영상 및 항공사진은 획득이 용이하지 않은 문제를 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 휴대 및 촬영이 용이한 휴대용 근적외선 카메라를 이용하여 재선충 피해목의 조기진단이 가능할 수 있다는 것에 착안하여 본 연구를 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구는 휴대용 근적외선 카메라를 이용하여 재선충에 감염된 소나무를 조기에 찾아내는 것이 목적이므로 재선충 감염지역 중 경남 진주시와 사천시(35° 05' N 128° 04' E)를 연구대상지로 선정하였다.

### 2. 연구재료

측정장비 또는 지상형 원격탐사 장비로 가시광선 파장대역 및 근적외선대역을 감지하는 CMOS 센서를 장착한 Agricultural Digital Camera(이하 ADC)를 이용하였다. 센서의 밴드는 3가지 밴드로 근적외선(Near Infra Red: NIR), 적색(Red), 녹색(Green)으로 되어있으며 파장대는 500 ~ 1,050nm를 감지한다.

### 3. 조사방법

2007년 5월부터 11월까지 총 8회의 현지조사를 실시하였다. 각 지점에서 삼각대 설치 후 피해 대상지의 남사면을 일반 디지털 카메라와 ADC를 이용하여 촬영하였다. 획득한 영상들은 일자별로 광량이 다르기 때문에 이 광량을 일정하게 맞춰야 할 필요가 있다. 18% 회색보정판(18% grey card)을 촬영하여 촬영된 보정판으로부터 시기별 장소별로 획득된 영상을 보정하였다.

### 4. 분석방법

촬영한 대상지에서 소나무 재선충 감염목

을 발견하고 조사된 자료를 바탕으로 일자별로 역추적하여 분석하였다.

### 4.1 영상조정지수 (Calibration Index: CI)

ADC로 획득한 영상의 시기에 따라 각 밴드의 파장 분포량이 달라지기 때문에 식(1)과 같이 CI를 이용하여 보정하였다.

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

이번 실험에서 사용한 Calibration Tag는 일반적인 사진촬영 시 노출을 결정하기 위해 사용하는 영상보정판인 회색보정판(18% 반사)을 이용하였다. 18% 회색보정판은 입사광의 18%를 반사하는 무채색(회색)으로 이루어진 판으로 사람의 눈은 이 18% 회색보정판을 중간 정도의 명도를 가지는 회색으로 인식한다. 무채색은 모든 Band가 동일한 값을 갖기 때문에 18% 회색보정판이 반사하는 R, G, B Band의 반사값을 동일하게 조정하는 방법으로 가시광의 영상조정이 가능하다(최창호, 2004).

### 4.2 식생 지수 (Vegetation Index: VI)

본 연구에서는 ADC에서 획득한 영상으로부터 산정한 다양한 식생지수(VI)를 비교해 봄으로써 소나무의 활력도 변화를 관찰하였다.

식생지수(VI)의 종류로는 여러 가지가 있지만 NIR, Red, Green Band의 포괄적인 값을 화상으로 나타내는 Camera의 특성상 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)와 단순식생지수(Ratio of Vegetation Index: RVI)의 사용이 적절하다고 판단되어 이 두 가지의 식생지수(VI)를 선택하였다.

#### 4.2.1. 정규식생지수(NDVI)

Rouse *et al.*(1974)이 제시한 정규식생지수(NDVI)는 원격탐사장비를 이용하여 얻은 화상 자료로부터 식생분포 상황을 파악하고 대상 식생의 활력을 지수로 표현한 것이다.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

NIR : 근적외선 파장대역  
RED : 가시광선 적색파장대역

또한 영상조정이 적용된 NDVI는 식 (3)와 같이 다시 표현될 수 있다.

$$NDVI_{cal} = \frac{\frac{NIR}{CI} - RED}{\frac{NIR}{CI} + RED} \quad (3)$$

#### 4.2.2. 단순식생지수(RVI)

Pearson과 Miller(1972)가 개발한 단순식생지수(RVI)는 가장 고전적인 식생지수로 이것은 스펙트럼에서 RED와 NIR의 반사값에 기초를 두고 있다.

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad (4)$$

NIR : 근적외선 파장대역  
RED : 가시광선 적색파장대역

식 (5)과 같이 단순식생지수(RVI)를 산정하였다.

$$RVI_{cal} = \frac{NIR / CI}{RED} \quad (5)$$

#### 4.3 탐지율(Detection Rate: DR)

VI변화율을 참고하여 적절하다고 판단되는 탐지율(Detection Index: DI)을 설정하고, 이 DI를 적용하여 감염목의 조기탐지율을 추정하였다. 탐지율이 특정 임계값 이상이 되면 임목의 고사가 진행되고 있다는 것을 나타낸다.

각 시기별 영상의 VI값의 비교를 통해 식 (6)과 같이 변화율(CR)를 구하였다.

$$Changing Rate (CR) = \frac{VI_i - VI_{i+1}}{VI_i} \quad (6)$$

변화율을 적용하여 탐지된 모든 화소수에 대한 감염목 위치에 속한 화소수의 비율을 식 (7)과 같이 탐지율(DR)을 구하였다.

$$탐지율 (DR) = \frac{\text{고사위치에 속한 화소수}}{\text{전체 화소수}} \quad (7)$$

### 결과 및 고찰

#### 1. 결과

##### 1.1. 정규식생지수(NDVI)

조사초기에는 수집한 영상자료에서 육안판독이나 NDVI 산출방법으로 식생활력도가 낮은 영역을 구분해낼 수 없었다. 그러나 11월에 디지털카메라로 촬영한 영상에서 재선충에 의해 고사된 피해목이 육안으로 확인되어 각 지점에 대한 NDVI값을 역추적 하였다.

각각의 촬영지역을 일자 별로 보면 5~7월까지는 식생활력도 값의 차이가 없으나 7~8월부터 낮게 나타나고 8월 이후부터는 NDVI값의 차이가 크게 나타났다(Fig.1).

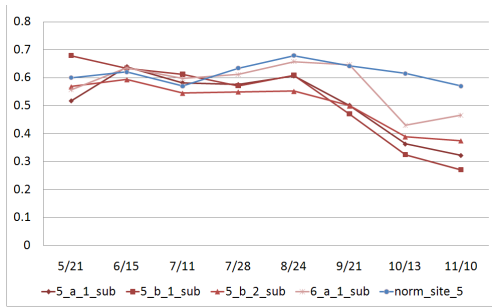


Fig.1 NDVI changes from May to November

또한 각 지점별 변화율을 비교해본 결과 8~10월에 변화가 크게 나타났으며 11월에는 이미 고사하여 변화율이 낮게 나타났다(Fig.2).

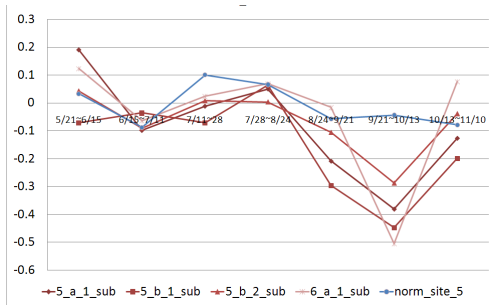


Fig.2 Rate of change of NDVI

### 1.2. 단순식생지수(RVI)

단순식생지수(RVI)에서도 재선충 피해목의 식생지수변화가 크게 나타났다(Fig.3). NDVI와 마찬가지로 감염목일 때 8월 이후 RVI값이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다.

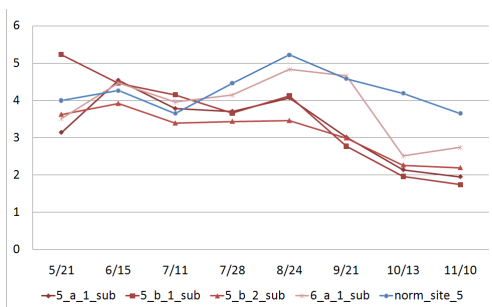


Fig.3 RVI changes from May to November

각 지점별 변화율을 비교해본 결과 NDVI와 마찬가지로 8~10월에 변화가 크게 나타났고 11월에는 이미 고사하여 변화율이 낮게 나타났다(Fig.4).

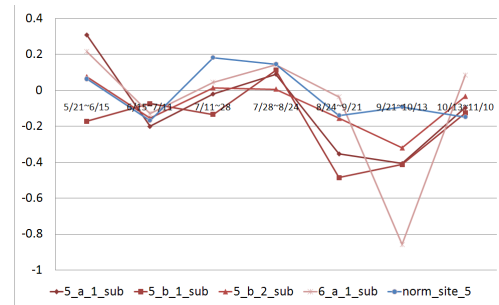


Fig.4 Rate of change of RVI

2. 탐지지수(DI)를 이용한 감염목 탐지  
재선충에 감염되어 육안으로 고사가 확인되는 부분을 100×100화소 크기로 DI의 감염목 탐지 가능성을 확인하였다. Fig.5의 원은 고사된 임목을 나타내며, 그림b에서 고사목의 NDVI의 분포가 0.2~0.4을 나타낸 것을 흰 부분으로 표시하였다.

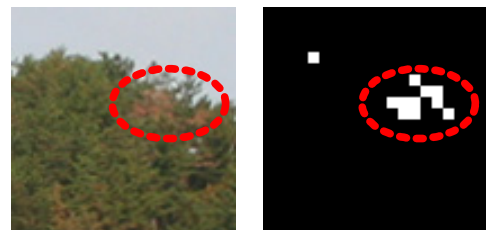


Fig.5 Extraction of Dead section from NIR image

Fig.6은 NDVI변화율이 20%이상인 지점을 나타낸 것이다. 5~6, 7~8월에는 20% 이상의 변화율을 나타내지 않았다. 6~7월에는 20%이상의 변화율을 나타낸 부분의 탐지율이 50%로 나타났다. 10~11월에는 가을이 되어 활엽수로 인해 NDVI가 낮은 지점이 많이 발생하였다.

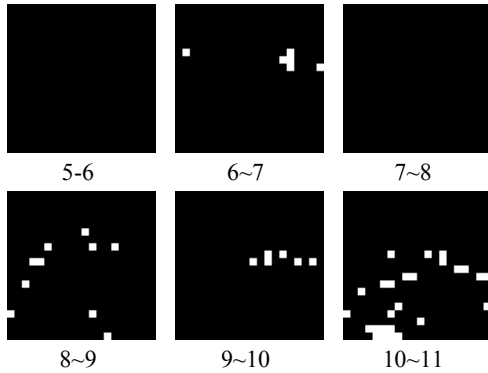


Fig.6 CR images from May to November

Fig.7은 변화율이미지를 실제 감염목영상과 중첩시킨 것이다.

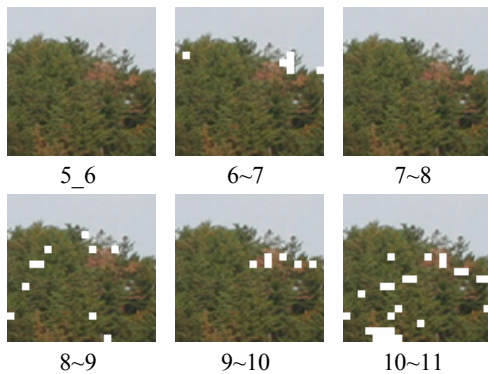


Fig.7 Overlap results of CR images

### 3. 고찰

본 연구에서는 입사식 근적외선 카메라로 취득한 영상을 이용하여 식생지수를 산출하는 방법으로 소나무 재선충 감염목의 식생지수 변화를 발견할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

정규식생지수(NDVI), 단순식생지수(RVI) 두 지수 모두 재선충에 감염이 되었을 때 떨어지는 경향이 나타났다. 이중 단순식생지수(RVI)에서 정상목과 감염목 사이의 감소폭이 NDVI보다 비교적 크게 나타났다. 이 외에도 다양한 식생지수를 통한 분

석이 필요하다.

식생지수 변화율을 통해 적합한 탐지율을 찾아내어 DI가 특정 임계값 이상이 되면 감염목의 고사가 진행되고 있다는 것을 나타내며, 가시적으로 고사가 확인되기 전 조기탐지의 지표로 활용 할 수 있다는 데 의미를 두고 있다.

위성이나 항공기의 고해상도 센서를 이용한 원격탐사와 달리 지상에서의 광학센서를 이용한 원격탐사이기 때문에 영상 취득시 동일조건에서 영상을 취득할 수 있도록 주의해야 한다. 특히 VI값은 광량뿐만 아니라 수분, 기온, 풍속 등 기상인자에 따라 식생이 많은 영향을 받으므로 이에 대한 고려가 필요하다.

또한 원거리 촬영시 관찰을 효과적으로 할 수 없기 때문에 가시거리를 확보하는 근접촬영이 효과적이다. 이는 탐지 센서의 발달에 의해 개선될 것으로 판단된다.

이와 함께 영상을 취득하는 기기에 GPS, 방위계, 거리측정계가 결합하면 좌표와 방향, 거리를 측정, 연산하여 대상지의 위치를 파악할 수 있으리라 판단된다.

### 결론

본 연구에서는 소나무 재선충의 피해를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

정규식생지수(NDVI)와 단순식생지수(RVI) 모두 재선충에 감염이 되었을 때 7월 ~ 9월 사이에 감소현상이 나타났다. 특히 단순식생지수에서 정규식생지수보다 감염목과 정상목 사이의 수치 차이가 크게 나타났다.

결론적으로 본 연구를 통해서 지상원격탐사용 도구인 휴대용 근적외선 카메라(ADC)의 분광특성을 이용하여 재선충에 감염된 소나무가 고사하여 육안으로 확인하기 전에 조기 탐지할 수 있는 가능성이

있음을 확인하였다.

본 연구에서 수행된 NDVI와 RVI 외에도 다양한 식생지수를 통한 분석이 필요하다. 또한 정확도 향상을 위해 영상 취득시 동일조건에서 영상을 취득할 수 있도록 주의해야 하며 보다 많은 샘플지역에서 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 감사의글

본 연구는 산림청 실연연구과제 ‘근적외선 카메라를 이용한 재선충병 조기진단법 개발’ 과 산림과학기술개발사업(과제번호: S10107L0201004)’ 연구결과의 일부임.

### 참고문헌

1. 김준범, 조명희, 김인호, 김영걸, 2003. IKONOS 위성영상과 GPS를 이용한 소나무 재선충 피해지역 추출에 관한 연구, 한국임학회지, 92(4): 362~366.
2. 바바라 런던 외(역 최창호), 2004, 사진학강의 7판, 포토스페이스
3. 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
4. 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.

5. Rouse J. W., Haas R. H., Deering D. W. & Schell J. A., 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation. Final Rep. RSC 1978-4, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station.