

시계열 고해상도 항공영상을 이용한
소나무재선충병 감염목 탐지*
- 강원대학교 학술림 일원을 대상으로 -

박정묵¹ · 최인규² · 이정수^{1*}

Detection of Pine Wilt Disease tree Using High
Resolution Aerial Photographs*
- A Case Study of Kangwon National University
Research Forest -

Jeong-Mook PARK¹ · In-Gyu CHOI² · Jung-Soo LEE^{1*}

요 약

본 연구는 강원대학교 학술림을 대상으로 현장조사 기반(Field Survey Based)에 의한 감염목(FSB_감염목)과 객체분류기반(Object Classification Based)에 의한 감염목(OCB_감염목)을 추출하고 감염목에 대한 공간적 분포특성 및 발생강도 평가를 목적으로 하였다. OCB 최적 가중치는 Scale 11, Shape 0.1, Color 0.9, Compactness 0.9, Smoothness 0.1로 선정되었으며, 전체 분류정확도는 약 94%, Kappa 계수는 0.88로 매우 높았다. OCB_감염목 지역은 약 2.4ha로 전체 면적의 약 0.05% 발생하였다. OCB_감염목과 FSB_감염목의 임분구조 분포특성 및 지형·지리적 요인을 비교 하면, OCB_감염목 영급은 IV영급의 분포비율이 약 44%로 가장 높았으며, FSB_감염목의 영급도 IV영급의 분포비율이 약 55%로 가장 높았다. OCB_감염목의 IV영급 비율은 FSB_감염목보다 약 11% 낮았다. OCB_감염목 경급은 소경목과 중경목이 약 93%로 대부분을 차지한 반면, FSB_감염목 경급은 중경목과 대경목이 약 87%로 전체 대상지의 경급 분포와 상이하였다. 한편, OCB_감염목 표고 분포비율은 401-500m에서 약 30%로 가장 높은 반면, FSB_감염목은 301-400m에서 약 45%로 상이하였으며, 임도로부터 접근성 분포 비율은 OCB_감염목과 FSB_감염목 모두 100m이하에서 각각 약 24%와 31%로 가장 높아 임도로부터 접근성이 높을수록 감

2019년 03월 15일 접수 Received on March 15, 2019 / 2019년 03월 28일 수정 Revised on March 28, 2019 /
2019년 05월 15일 심사완료 Accepted on May 15, 2019

* 본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2018112C10-1920-BB01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

1 강원대학교 산림환경과학대학 산림과학부 산림경영학과 Dept. of Forest Management, Division of Forest Sciences, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University

2 한국산지환경조사연구회 Korean society of forest environment research

* Corresponding Author E-mail : jslee72@kangwon.ac.kr

염목이 높았다. OCB_감염목 핫스팟은 31임반과 32임반으로 영급과 경급이 높은 지역에서 높게 분포하였다.

주요어 : 객체기반, 소나무재선충병, 핫스팟분석, 강원대학교 학술림, 항공사진

ABSTRACT

The objectives of this study were to extract “Field Survey Based Infection Tree of Pine Wilt Disease(FSB_ITPWD)” and “Object Classification Based Infection Tree of Pine Wilt Disease(OCB_ITPWD)” from the Research Forest at Kangwon National University, and evaluate the spatial distribution characteristics and occurrence intensity of wood infested by pine wood nematode. It was found that the OCB optimum weights (OCB) were 11 for Scale, 0.1 for Shape, 0.9 for Color, 0.9 for Compactness, and 0.1 for Smoothness. The overall classification accuracy was approximately 94%, and the Kappa coefficient was 0.85, which was very high. OCB_ITPWD area is approximately 2.4ha, which is approximately 0.05% of the total area. When the stand structure, distribution characteristics, and topographic and geographic factors of OCB_ITPWD and those of FSB_ITPWD were compared, age class IV was the most abundant age class in FSB_ITPWD (approximately 55%) and OCB_ITPWD (approximately 44%) - the latter was 11% lower than the former. The diameter at breast height (DBH at 1.2m from the ground) results showed that (below 14cm) and (below 28cm) DBH trees were the majority (approximately 93%) in OCB_ITPWD, while medium and (more than 30cm) DBH trees were the majority (approximately 87%) in FSB_ITPWD, indicating different DBH distribution. On the other hand, the elevation distribution rate of OCB_ITPWD was mostly between 401 and 500m (approximately 30%), while that of FSB_ITPWD was mostly between 301 and 400m (approximately 45%). Additionally, the accessibility from the forest road was the highest at “100m or less” for both OCB_ITPWD (24%) and FSB_ITPWD (31%), indicating that more trees were infected when a stand was closer to a forest road with higher accessibility. OCB_ITPWD hotspots were 31 and 32 compartments, and it was highly distributed in areas with a higher age class and a higher DBH class.

KEYWORDS : *Object-Based, Pine Wilt Disease, Hot Spot Analysis, Kangwon National University Research Forest, Aerial Photographs*

서론

소나무재선충병(Pine Wilt Disease)은 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)이 수목의 목질 내부 세포에 서식하여 수목의 하부로부터 올라오는 양분과 수분의 이동을 저해하여 수목을 말라죽게 하는 병으로 크기 1mm 내

외 실 모양의 선충이 솔수염하늘소 또는 북방수염하늘소 등의 매개충의 몸 안에서 서식하다가 새순을 갉아 먹을 때 상처부위를 통하여 수목에 침입한다(Forest Service 1991; Kim and Kim, 2008). 소나무재선충병은 1905년 일본에서 처음 발생하였으며, 우리나라에서는 1988년 부산 동래구의 소나무에서 보고된 후 2006년 12월에 잣나무에서 첫 피해가 발생되

었다(Korea Rural Economic Institute, 2014).

소나무재선충병은 고사된 감염목의 매개충을 구제하면 방제할 수 있지만, 소나무재선충병 감염목(이하 감염목)의 확산은 소나무재선충병의 매개충이 생태적 특성에 따라 이동하는 것과 더불어 확산을 예측할 수 없는 인위적 요인에 의해 이동하기 때문에 소나무재선충병의 피해가 매해 증가하고 있다(Jeong, 2015). 정부는 2005년 「소나무재선충병 방제특별법」을 제정하고 지방자치단체가 시행하는 등 적극적인 방제 활동을 통하여 감염목이 감소하는 추세를 보였지만, 이러한 노력에도 불구하고 2011년부터 감염목의 피해가 다시 증가하였다(Korea Forest Research Institute, 2009; Kim *et al.*, 2002).

특히, 소나무재선충병은 소나무가 많은 강원도지방에서 급증하였는데, 2018년 기준으로 춘천시와 홍천군지역에서 전체 발생면적의 약 56%를 차지하여 이에 따른 공간적 원인 규명이 필요하다(National Institute of Forest Science, 2014).

소나무재선충병의 공간적 분포특성과 관련된 연구를 보면, Kim *et al.*(2002)은 산림병해충 지역에 대하여 지형적 요인이 미치는 영향력에 관한 연구를 수행하였으며, Park(2016)은 제주지역의 곰솔림을 대상으로 통계적 분석방법을 이용하여 재선충병 피해목의 공간적 패턴을 분석하였지만, 개체목 단위의 공간적 분포 특성에 관한 연구는 미비하다.

광범위하게 발생하고 있는 소나무재선충병 피해 확산을 파악하기 위하여 다양한 원격탐사 기술이 적용되고 있으며(Kim *et al.*, 2015), 소나무재선충병의 피해지역을 신속히 파악하고 이를 기초로 피해확산 방향을 예측하여 신속한 방제 전략을 수립하기 위해서는 현장조사 자료와 원격탐사를 활용한 연구가 필요하다(Son *et al.*, 2006). 또한, 산림분야에서 위성영상은 자료 수집의 광역성, 신속성, 동시성 및 경제성이라는 이점이 있으므로 원격탐사를 이용한 소나무재선충병 연구가 활발히 이루어지고 있다

(Lee *et al.*, 2014).

Kim *et al.*(2010)은 위성영상과 GPS자료를 이용하여 산림 대면적에 대한 소나무재선충병 감염목 추출을 통하여 정확도 평가 및 피해목의 예찰 접근을 시도하였으며, Hong(2017)은 객체기반 분류기법을 바탕으로 UAV영상을 이용하여 소나무재선충병 감염목에 대한 추출 및 분석을 하였다.

한편, 소나무재선충병은 군집이 아닌 단목 중심의 점상(點狀)으로 산림 내부에서 발생되고 있으며(Kansas Forest Service, 2008), 영상의 해상도가 향상됨에 따라 감염목을 개체목 단위로 추출하는 객체기반 분류기법에 대한 연구가 필요한 실정이다(Johnson *et al.*, 2013).

객체기반 분류기법은 기존에 사용되던 픽셀기반 분류기법과는 달리 축척(Scale), 형태(Shape), 색조(Color), 조밀도(Compactness)와 평활도(Smoothness) 등을 고려한 영상의 분할이 가능하여, 픽셀기반 분류법보다 높은 분류정확도를 기대할 수 있다(Baatz *et al.*, 2004).

소나무재선충병은 점차 넓은 면적으로 확산되고 있으며, 최근 UAV영상을 이용하여 소면적 단위의 감염목 추출에 대한 연구는 많이 이루어지고 있지만 현장조사 자료 기반 임분구조에 대한 분포 특성과 시계열에 따른 공간분포 패턴에 대한 연구는 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 소나무재선충병 피해가 많은 강원도 내 춘천시와 홍천군에 해당하는 강원대학교 학술림을 대상으로 현장조사 자료에 의한 감염목과 객체기반 분류기법에 의한 감염목을 추출하고, 감염목에 대한 공간적 분포 특성 및 발생강도 평가를 목적으로 한다.

연구 자료 및 방법

1. 연구 대상지

연구대상지는 강원대학교 학술림 일원의 소나무림과 잣나무림이 분포한 지역으로 선정하였다. 특히, 강원대학교 학술림은 2013년부터

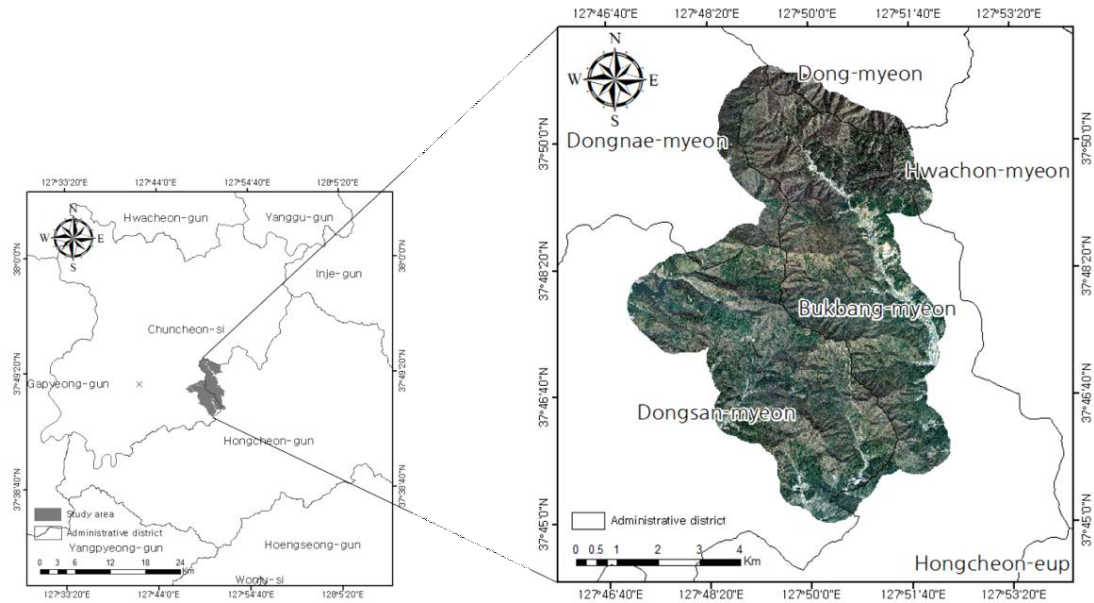


FIGURE 1. Location of study area

2019년까지 소나무재선충병 감염목에 대한 현장조사를 실시하여 소나무재선충병의 공간적 분포특성과 확산패턴을 평가하기 위해 용이한 지역이다. 강원대학교 학술림은 춘천시 동산면과 홍천군 북방면에 위치하고 있으며, 총 면적은 3,144ha로 33개 임반과 158개의 소반으로 구성되어 있다(그림 1).

2. 연구 자료

대상지 내 소나무재선충병 감염목의 현장조사 자료는 2019년 학술림에서 제공받은 감염목의 위치, 수종, 경급, 영급정보를 이용하였으며, GIS(Geographic Information System)자료는 산림청에서 제공받은 행정구역도와 1:5k 수치임상도 그리고 학술림에서 제공받은 학술림 임소반도를 사용하였다. RS(Remote Sensing)자료는 국토지리원에서 제공받은 2016년 9월과 10월에 촬영된 항공영상(공간해상도 51cm급)을 사용하였다. 공간분석과 영상분석은 각각 ArcGIS 10.1과 eCognition Developer 8.8 프로그램을 사용하였다.

3. 연구 방법

본 연구는 현장조사 자료와 항공영상의 객체기반 분류기법에 의한 감염목을 추출한 후 임분구조 및 지형·지리적 요인에 대한 분포특성을 비교·분석하였다. 또한, 객체기반 분류기법에 의한 감염목은 공간통계기법을 이용하여 연구 대상지 전체 감염목에 대한 발생강도를 평가하였다(그림 2).

1) 소나무재선충병 감염목의 추출

소나무재선충병 감염지의 공간적 범위는 학술림 임소반도를 이용하여 추출하였다. 현장조사 자료에 의한 감염목(Filed Survey Based 감염목, 이하 FSB_감염목)은 조사된 위치정보를 이용하여 추출하였으며, 객체기반 분류기법에 의한 감염목(Object Based Classification 감염목, 이하 OCB_감염목) 추출은 객체기반 영상분할의 최적의 가중치를 선정하여 감염목과 비(非)감염목을 구분한 후 분류정확도를 검증하여 추출하였다(Futai, 2003).

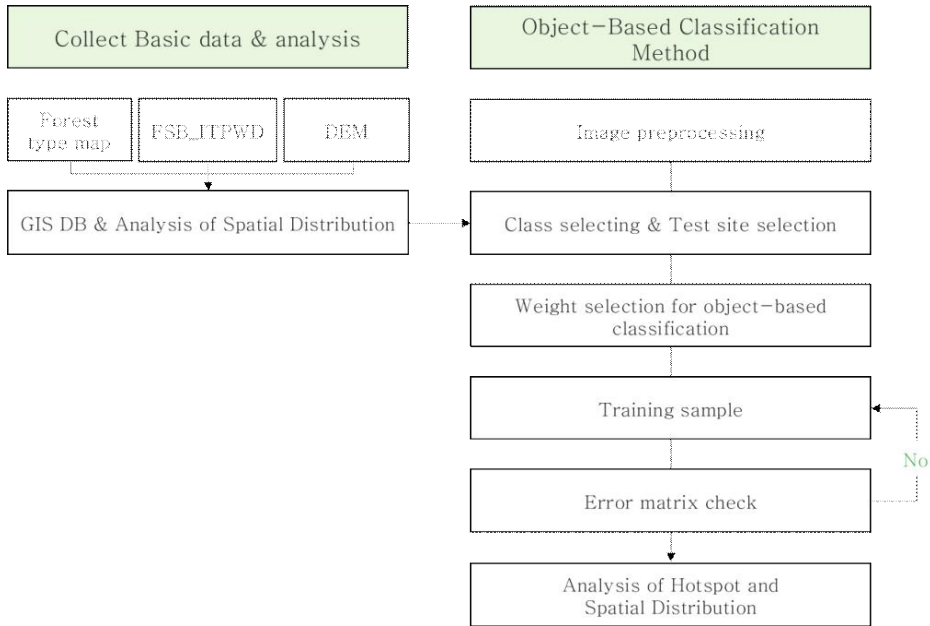


FIGURE 2. Schematic methodology for Infection Tree of Pine wilt disease

(1) 영상의 전처리 및 Test site 선정

OCB_감염목 추출 시 그림자 지역 및 감염목의 분광패턴과 유사한 활엽수림과 나지 등의 비산림은 분류정확도를 감소시키기 때문에 마스킹 처리가 필요하다(Takenaka *et al.*, 2017). 대상지 내 침엽수림은 1:5k 수치임상도를 이용하여 추출하였으며, 분류정확도를 향상시키기 위하여 추가적으로 도로와 소로 등을

육안판독하여 전체 면적 5,079ha 중 약 74%를 마스킹 처리하였다. 객체기반 분류기법에서 최적의 가중치 선정은 항목별로 가중치를 다르게 적용하여 분류하고자 하는 객체가 명확히 구분될 때까지 변경 및 적용 과정을 반복하게 되며, 객체기반 분류과정에 장시간이 소요된다.(Lee *et al.*, 2007). 따라서 OCB_감염목 추출을 위한 Test site는 현장조사에서 감염목의

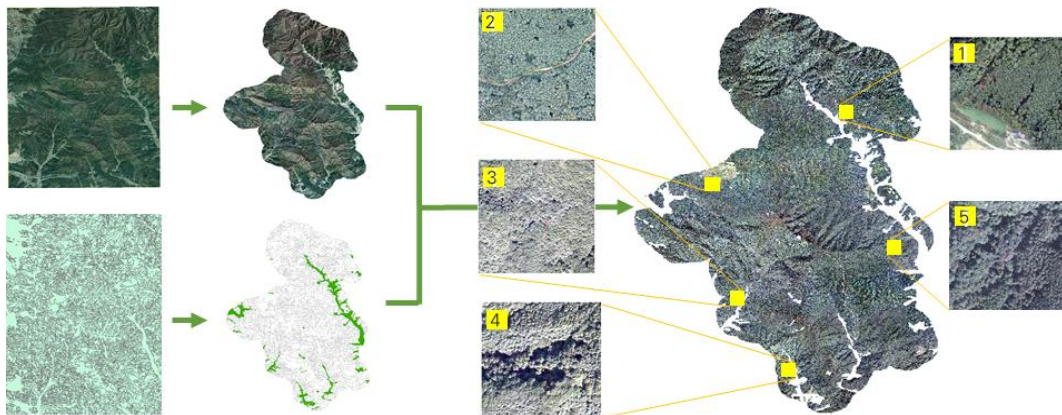


FIGURE 3. Process of masking

발생 밀도가 높은 지역을 중심으로 200m×200m(4ha) 크기로 5개 선정하였다(그림 3).

(2) 객체기반 분류기법에 의한 가중치 선정

객체기반 분류기법에 의한 가중치 선정은 분류 정확도에 영향을 미치기 때문에 객체기반 분류에서 매우 중요한 과정이다(Lee et al., 2011). 최적 가중치 선정은 Multi-resolution segmentation 기법을 이용하였으며, 가중치 항목은 Scale(분할축적) Shape(공간정보), Color(분광정보), Compactness(조밀도), Smoothness(평활도)의 정보를 고려하여 선정하였다.

Scale은 객체 분할할 경우 생성되는 객체의 크기를 결정하는 가중치로써 값이 높아질수록 생성되는 객체의 크기가 커지는 가중치이다. Shape는 객체의 모양을 결정하는 가중치이며, Color는 분광 값에 의해 객체가 결정되는 가중치로 두 값의 합이 1이 되어 Color 가중치가 커질수록 생성되는 객체가 공간정보 보다는 분광정보에 영향을 받아 생성된다. Compactness/Smoothness는 Shape값의 하위 가중치로써 Compactness의 가중치가 높을수록 객체의 형태가 복잡해지고 Smoothness가 높을수록 객체의 형태가 곡선의 형태로 생성된다(Walter, 2004). Scale 가중치는 최댓값이 정의되어 있지 않아 2단계 Level로 구분하여, Level 1에서는 10단위, Level 2에서는 1단위로 구분하여 선정하였다. Shape와 Color, Compactness와 Smoothness는 0.1부터 0.9까지 가중치를 적용하여 선정하였다(표 1).

(3) 객체기반 분류기법에 의한 감염목 추출 및 정확도 검증

객체기반 분류를 위한 항목으로는 감염목, 비감염목(정상목, 비산림)으로 구분하여 샘플을

추출하였으며, 최근린기법을 이용하여 선정된 샘플과 가장 유사한 특징을 갖는 객체를 현장 조사에 의한 감염목의 위치정보를 통해 탐색하여 감독분류를 하였다. 최근린기법은 비모수(non-parametric) 추정기법으로 샘플 객체의 특징과 유사한 특징을 가지는 가장 가까운 객체를 찾는 방법이며, 분류되지 않은 객체는 주변 객체 중 특징이 가장 유사한 객체로 분류된다. 최근린법에 사용되는 인자로는 영상 밴드별 분광값의 평균(Mean)과 표준편차(Standard deviation)가 사용된다(Hellesen and Matikainen, 2013).

분류된 OCB_감염목 정확도 검증은 Training and test area(TTA) mask기법을 이용하였다. TTA mask기법은 각각 다른 샘플을 선정하여 분류되는 두 개의 감독분류항목을 비교검증 하는 방법으로 두 개의 감독분류 결과를 Error matrix로 만들고 일치하는 항목과 비일치하는 항목으로 구분하여 정확도를 검증한다. 정확도 평가는 전체 분류 정확도(Overall accuracy; OA)와 Kappa분석을 이용하였다(Na and Lee, 2014).

2) 소나무재선충병 감염목의 임분구조 분포 특성 및 지형·지리적 요인 분석

소나무재선충병 감염목의 임분구조 분포특성과 지형·지리적 요인 분석을 위한 인자는 각각 경급과 영급, 표고와 임도로부터의 접근성을 선정하였다(James et al., 2006; Kansas Forest Service, 2008; Lee et al., 2010). 감염목의 임분구조 분포특성 분석을 위한 인자는 FSB_감염목의 경우 현장자료의 감염목의 위치에 따른 경급과 영급정보 DB를 추출하였으며, OCB_감염목의 경우 1:5k 수치임상도를 중

TABLE 1. Selection of optimized segmentation parameters on level

| Segmentation parameters | Level | Segmentation parameters |
|-------------------------|-------|-------------------------|
| Scale | 1 | 10 |
| | 2 | 1 |
| Shape/Color | 1 | 0.1 |
| Compactness/Smoothness | 1 | 0.1 |

칩하여 경급과 영급정보 DB를 추출하였다. 또한, 감염목의 지형·지리적 요인 분석을 위한 인자는 FSB_감염목과 OCB_감염목 모두 DEM과 학술림 임도망도를 이용하여 각각 표고와 임도와외의 접근성 DB를 구축하였다.

3) OCB_감염목의 핫스팟분석

추출된 OCB_감염목은 핫스팟 분석기법을 이용하여 공간적 발생강도를 파악하였다. 핫스팟 분석의 핫스팟은 값이 높은 값을 가진 지점들에 둘러싸인 값이 높은 값을 가진 지점인 반면, 쿨드스팟은 낮은 값을 가진 지점에 둘러싸인 낮은 값을 가진 지점이다(Bagstad *et al.*, 2016).

핫스팟 분석은 식 (1)과 같이 Getis-Ord G_i^* 통계를 통하여 산출되며, 해당 지점 값과 이웃되는 지점 값의 합계를 전체 지점 값의 합계와 비교하여 계산된다. Getis-Ord G_i^* 산출식에서 x_j 는 공간 데이터 j 의 속성 값, $w_{i,j}$ 는 공간 데이터 i 와 j 사이의 공간 가중치, n 은 전체 공간 데이터 개수이다(Harris *et al.*, 2017).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (1)$$

결과 및 고찰

1. OCB_감염목 추출

1) 객체기반 분류기법에 의한 최적의 가중치 선정

Scale 가중치 선정은 Shape/Color 값과 Compactness/Smoothness의 값을 0.5로 고정하였다. Scale Level 1에서는 10단위 분할영상을 생성하여 순차적으로 판독한 결과, 10에서 20으로 가중치를 적용하였을 때, 감염목의 개체보다 크게 분류되는 것을 확인하여 10을 선정하였다.

Level 2에서는 1단위 분할영상으로 가중치를 적용하였을 때, 1에서 10까지는 감염목보다 작은 객체가 생성되었으며, 11 이상부터는 감염목의 객체가 비감염목의 객체와 병합되어 Scale의 최적 가중치는 11로 선정하였다. Shape/Color 가중치는 Scale 11, Compactness/Smoothness를 0.5로 고정하여 선정하였다. 감염목과 비감염목은 색감의 차이가 크며, 감염목의 경우 고사가 진행되면서 초기 붉은 잎이 갈색 잎으로 변하고, 잎이 떨어지면 회갈색 잎으로 변하기 때문에 Shape/Color 가중치 비교 결과 Color 가중치 0.9에서 감염목이 명확히 구분되어 Shape/Color 가중치는 0.1/0.9로 선정하였다. Shape/Color 가중치는 Hong (2017)이

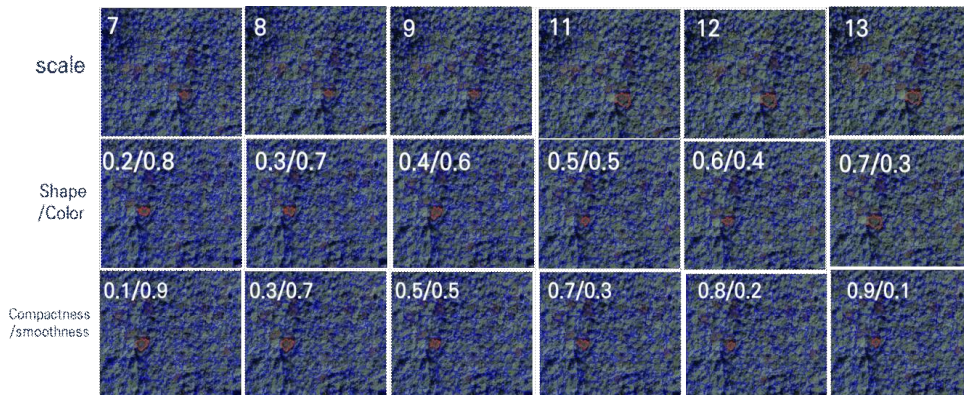


FIGURE 4. Selection process of scale and shape/color and compactness/smoothness

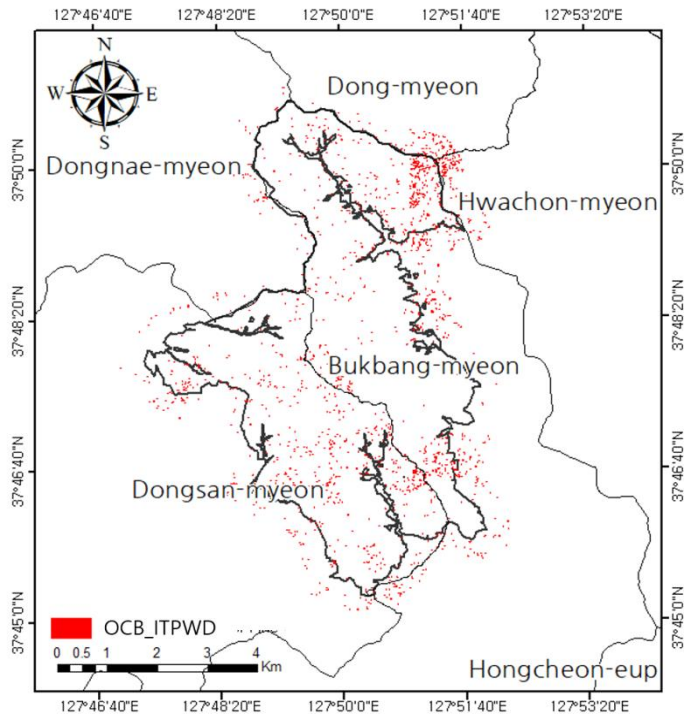


FIGURE 5. OCB_ITPWD region

TABLE 2. Error Matrix based on TTA Mask

| Factor | OCB_ITPWD | Non-forest | Non-Infection Tree | Sum |
|--------------------|-----------|------------------|--------------------|-------|
| OCB_ITPWD | 283 | 0 | 0 | 283 |
| Non-forest | | 1,220 | 0 | 1,220 |
| Non-Infection Tree | 30 | 220 | 2,171 | 2,421 |
| Sum | 313 | 1,440 | 2,171 | 3,924 |
| Total | | | | |
| | | Overall accuracy | 94% | |
| | | Kappa | 0.88 | |

UAV영상을 이용하여 소나무재선충병 감염목 추출에서 사용한 Shape/Color 가중치와 동일하였다. Compactness/Smoothness 가중치는 Scale 11, Shape 0.1/Color 0.9로 고정하여 선정하였다. Compactness/Smoothness의 가중치는 Compactness 가중치가 증가할수록 감염목의 객체가 선명히 구분되어 Compactness/Smoothness의 가중치는 0.9/0.1로 선정하였다. 따라서 객체기반 분류의 최적 가중치는 Scale 11, Shape 0.1, Color 0.9, Compactness 0.9,

Smoothness 0.1로 선정하였다(그림 4).

2) OCB_감염목 추출 및 정확도 검증

OCB_감염목 지역은 약 2.4ha로 전체 면적의 약 0.05%, 비감염지는 약 5,077ha로 전체 면적의 약 99% 분포하였다. OCB_감염지 분류도의 전체 분류정확도는 94%이며, Kappa 값은 0.88로 분류정확도가 매우 높았다(그림 5; 표 2).

2. OCB_감염목과 FSB_감염목의 임분구조

분포특성 및 지형·지리적 요인 비교

OCB_감염목의 임분구조에서 영급분포 특성은, IV영급과 V영급 각각 약 44%, 약 25%로 집중 분포하였고, FSB_감염목의 영급 분포는 IV영급과 V영급 각각 약 55%, 약 25%이었다. 연구 대상지 전체 영급 분포는 IV영급 비율은 약 59%로, 모두 IV영급의 비율이 가장 높았다. 한편, III영급에서 OCB_감염목이 FSB_감염목에 비해 약 13%p 높아 편차가 가장 높았다. 감염목의 영급분포 특성은 연구 대상지 전체 영급 분포특성과 유사하였고 약 90% 이상이 모두 III~V영급에서 발생하였다.

OCB_감염목의 경급분포는 소경목과 중경목이 각각 약 30%와 약 63%로 대부분을 차지하였다. FSB_감염목의 경급 분포는 중경목과 대경목이 각각 약 44%와 약 43%이며, 연구 대상지 전체 경급 분포는 소경목과 중경목 각각 약 21%, 약 74%로 OCB_감염목의 경급분포특성과 유사하였다. 감염목의 경급이 대경목보다 중경목이 많은 결과는 Yun et al.(2006)이 경상남도 사천시 대상으로 감염목을 탐지한 연구의 경급분포 특성 결과와 유사하였다. OCB_감염목에서 소경목은 FSB_감염목의 소경목 비율보다 약 16%p 높게 분포하였고, 연구 대상지 전체 경급의 분포특성은 중경목이 약 74%

로 매우 높았지만, FSB_감염목의 중경목은 약 44%로 비교적 낮아 소나무재선충병은 경급분포에 큰 영향을 받지 않은 것으로 판단된다(그림 6).

OCB_감염목의 표고 분포특성은 501~600m 구간에서 약 30%로 가장 높았으며, 0~600m 구간에서 전체 감염목의 79%가 분포하였다. FSB_감염목은 표고 301~400m 구간에서 약 45%로 가장 높았으며, 0~600m 구간에서 전체 감염목의 97%가 분포하였다. 학술림의 표고 분포는 301~400m 미만 구간에서 약 24% 차지하였으며, 0~600m 구간에서 81%로 높게 분포하였다. Park(2016)은 중부지방을 대상으로 한 소나무재선충병 확산 양상 분석을 통해 강원도 내의 춘천, 원주와 같이 비교적 고도가 낮은 지역이나 강릉, 동해와 같은 해안가 지역은 표고가 비교적 낮은 지역을 중심으로 재선충병이 확산되고 있는 것을 알 수 있었다. Lee(2018)가 전국을 대상으로 감염목의 분포특성을 분석한 결과도 마찬가지로 표고 300m 이하에서 전체의 90%가 분포하였다. 본 연구에서도 OCB_감염목과 FSB_감염목 모두 비교적 낮은 표고 0~400m에서 소나무재선충병이 많이 발생하였다.

OCB_감염목의 접근성 분석결과 임도로부터 300m 이내에 감염목의 55%가 분포하며,

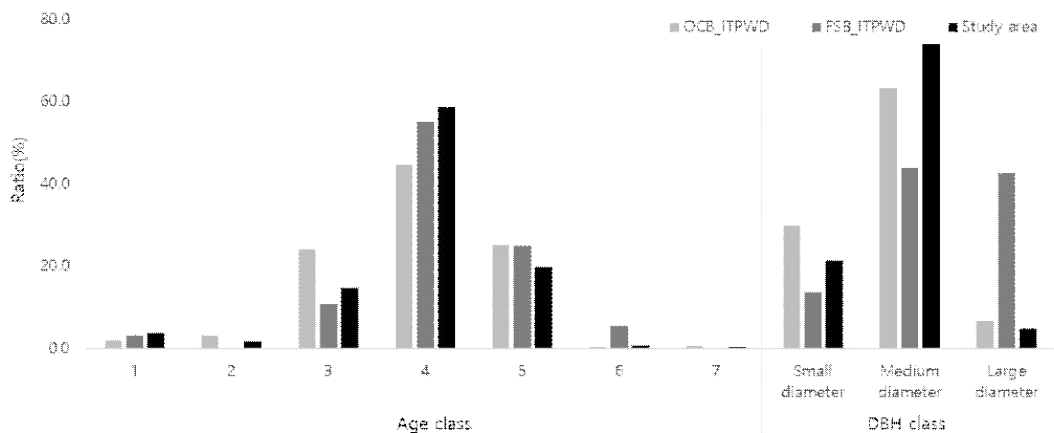


FIGURE 6. Comparison of ageclass and DBH class

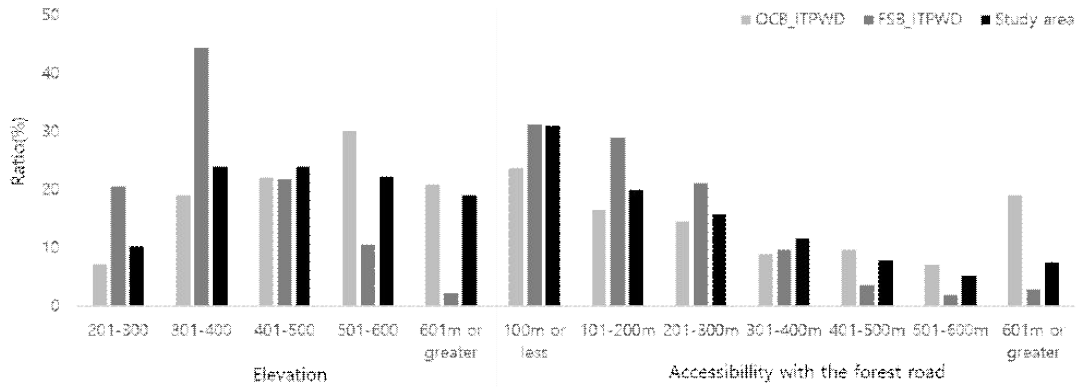


FIGURE 7. Comparison of elevation and Accessibility with the forest road

600m 이내에 감염목의 81%가 분포하였다. FSB_감염목은 임도로부터 200m 이내에 감염목의 60%가 분포하며, 600m 이내에 감염목의 97%가 분포하였다. 학술림은 200m 이내가 전체면적의 51%이며, 600m 이내가 92%였다. Park(2016)은 제주도에서 감염목의 공간적 분포변화를 모니터링한 결과, 도로로부터 접근성이 높을수록 감염목 발생이 높았다. 이와 마찬

가지로, 본 연구에서도 임도로부터 거리가 가까울수록 감염목 분포비율이 높았다(그림 7).

3. OCB_감염목과 FSB_감염목의 공간적 발생 강도

OCB_감염목 공간적 발생강도 분석결과 31 임반(5소반), 32임반(1,2,3,5소반), 18임반(4소반)이 핫스팟이었다. 31임반의 평균표고는

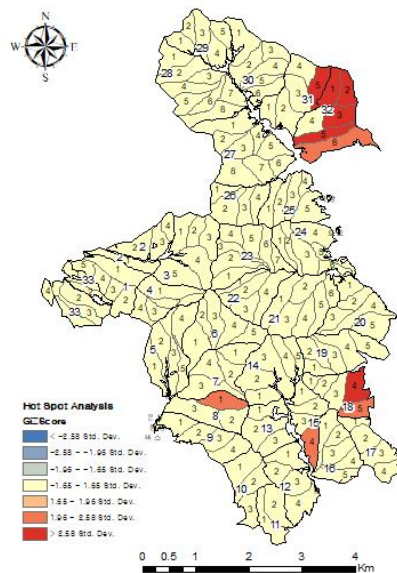


FIGURE 8. Hotspot analysis of OCB_ITPWD

509m이며 32임반의 523m, 18임반은 436m였다. 임도로부터 거리는 31임반이 108m이며 32임반의 112m, 18임반은 463m였다. 31임반과 32임반은 18임반에 비해 상대적으로 표고는 높지만 임도로부터의 거리가 가까워 감염목의 발생이 높은 것으로 판단된다(그림 8).

결론

본 연구는 고해상도 항공영상을 이용하여 강원대학교 학술림 일원을 대상으로 객체기반 분류기법을 통해 소나무재선충병 감염의심목을 추출하고자 하였다. 추출된 데이터를 바탕으로 학술림 현지조사 자료와의 공간분포 특성을 비교하고, 소나무재선충병의 시공간 확산패턴을 시계열 핫스팟을 통해 분석하고자 하였다.

분류된 OCB_감염목과 FSB_감염목의 임분구조 분포특성을 분석한 결과 감염목은 학술림의 영급 비율과 유사하였고 주로 IV영급과 V영급에 집중되어 있었다. OCB_감염목은, IV영급과 V영급 각각 약 44%, 약 25%로 집중 분포하였고, FSB_감염목은 IV영급과 V영급 각각 약 55%, 약 25%이었다.

OCB_감염목의 임분구조에서 경급분포 특성은, 소경목과 중경목이 각각 약 30%와 약 63%로 집중 분포하였고, FSB_감염목의 경급분포는, 중경목과 대경목이 각각 약 44%와 약 43%이며, 학술림의 경급 분포는 소경목과 중경목 각각 약 21%, 약 74%였다. OCB_감염목의 경급분포는 학술림의 영급비율과 유사하였다. 특히 소경목은 FSB_감염목의 비율보다 약 16%p 높게 분포하였다. 대상지 전체 경급의 분포특성은 중경목이 약 74%로 매우 높았지만, FSB_감염목의 중경목 비율은 약 44%로 비교적 낮아 소나무재선충병은 경급분포에 큰 영향을 받지 않은 것으로 판단된다.

OCB_감염목의 표고 분포특성은 501~600m 미만 구간에서 약 30%로 가장 높았으며, FSB_감염목은 표고 301~400m 미만 구간에서 약 45%로 가장 높았다. 소나무재선충병은 비교적 낮은 표고 0~400m에서 발생하였다. OCB_감

염목의 접근성 분석결과 임도로부터 300m 이내에 감염목의 55%가 분포하며, FSB_감염목은 임도로부터 200m 이내에 감염목의 60%가 분포하였다. 임도로부터 거리가 가까울수록 감염목의 분포비율이 높았다.

감염목의 Hot spot은 31임반(5소반), 32임반(1,2,3,5소반), 18임반(4소반)으로 나타났다. 31임반과 32임반은 임도로부터의 거리가 약 100m로 임도로부터 거리가 가까워 감염목이 다수 분포하는 것으로 판단된다. 전체적으로 표고가 낮고 임도로부터 가까운 4영급의 중경목 잣나무에서 감염목의 비율이 높았다. 본 연구는 고해상도 항공영상을 이용한 소나무재선충병 추출을 통해서 학술림 일원의 감염목 분포를 알 수 있었으며, 이는 향후 소나무재선충병 피해지 파악 및 방제의 기초적인 자료 제공이 가능할 것으로 판단된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Baatz, M., U. Benz., S. Dehghani., M. Heynen., A. Holtje., P. Hofmann., I. Lingenfelder., M. Mimler., M. Sohlbach., M. Weber and G. Willhauck. 2004. eCognition Professional: User Guide 4, Munich:Definiens-Imaging.
- Bagstad, K.J., D.J. Semmens., Z.H. Ancona and B.C. Sherrouse. 2017. Evaluating alternative methods for biophysical and cultural ecosystem services hotspot mapping in natural resource planning. *Landscape Ecology* 32(1):77-97.
- Futai, K. 2003. Role of asymptomatic carrier trees in epidemic spread of pine wilt disease. *Journal of Forest Research* 8(4):253-260.
- Harris, N.L., E.Goldman., C.Gabris., J.Nordling., S.Minnemeyer., S.Ansari., M.Lippmann., L.Bennett., M.Raad.,

- M.Hansen and P.Potapov. 2017. Using spatial statistics to identify emerging hot spots of forest loss. *Environmental Research Letters* 12(2):1-13.
- Hellesen, T. and L. Matikainen. 2013. Thomas Hellesen Leena An Object-Based Approach for Mapping Shrub and Tree Cover on Grassland Habitats by Use of LiDAR and CIR Orthoimages. *Remote Sensing* 2013(5):558-583.
- Hong. G.Y. 2017. A Extraction and Accuracy Assessment of Dead Tree Using UAV Image. Ph.M. Thesis, Univ. of Seoul, Seoul, Korea. pp.63-64 (홍기영. 2017. UAV 영상을 이용한 감염목 추출 및 정확도 검증에 관한 연구. 서울시립대학교 대학원 석사학위논문. 63-64쪽).
- James, R., N. Tisserat and T. Todd. 2006. Prevention of Pine Wilt of Scots Pine (*Pinus sylvestris*) with Systemic Abamectin Injections. *Arboriculture & Urban Forestry* 32(5):195-201.
- Jeong, H.S. 2015. Studies on the Damage Analysis and Effective Control System of Pine Wilt Disease in Korea. Ph.D. Thesis, Univ. of Sangji, Wonju, Korea. pp.1-7 (정호성. 2015. 소나무재선충병의 피해해석 및 효율적 방제시스템에 관한 연구. 상지대학교 대학원 박사학위논문. 1-7쪽).
- Johnson, B.A., R. Tateishi and N.T. Hoan. 2013. A hybrid pansharpening approach and multiscale object-based image analysis for mapping diseased pine and oak trees *International Journal of Remote Sensing* 34(20):6969-6982.
- Kansas Forest Service. 2008. A Guide to Aid Local Central/Western Government in Addressing Pine Wilt Disease. pp.4-12.
- Kim, E.N. and D.Y. Kim. 2008. An Investigation of Pine Wilt Damage by Using Ground Remote Sensing Technique. *Journal of The Korean Association of Regional Geographers* 14(1):84-92 (김현옥, 염종민. 2012. 농촌 지역 토지피복분류를 위한 객체기반 영상분 석기법 연구. *한국지리정보학회지* 15(4): 26-41).
- Kim, J.B., D.Y. Kim and N.C. Park. 2010. Development of an Aerial Precision Forecasting Techniques for the Pine Wilt Disease Damaged Area Based on GIS and GPS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(1):28-34 (김준범, 김동윤, 박남창. 2010. GIS와 GPS를 이용한 소나무재 선충병 피해지 항공정밀예찰 기법 개발. *한국지리정보학회지* 13(1):28-34).
- Kim, J.B., M.H. Jo., I.H. Kim and J.H. Park. 2002. Analysis of Topography spectral characteristics for Extracting Pine Wilt Disease Using IKONOS satellite image. *The Korean Association of Geographic Information Studies* 2002. pp.15-22 (김준범, 조명희, 김인호, 박재현. 2002. 소나무재선충 피해지역 추출을 위한 IKONOS 위성영상의 지형별 분광특성 분석. 2002 추계학술대회. 15-22쪽).
- Kim S.R., E.S. Kim, Y.W. Nam, W.I. Choi and C.M. Kim. 2015. Distribution Characteristics Analysis of Pine Wilt Disease Using Time Series Hyperspectral Aerial Imagery. *Korean Journal of Remote Sensing* 31(5):385-394 (김소라, 김은숙, 남영우, 최원일, 김철민. 2015. 소나무재선충병 발생

- 시기별 피해목 탐지를 위한 시계열 초분광 항공영상의 활용. 대한원격탐사학회지 31(5):385-394).
- Korea Forest Research Institute. 2009. Pine Wilt Disease of Ecological Characteristics Research. pp.167-193 (국립산림과학원. 2009. 소나무재선충병 생태특성 연구. 167-193쪽).
- Korea Rural Economic Institute. 2014. Pine Wilt Disease and control policy task. pp. 1 (한국농촌경제연구원. 2014. 소나무재선충병과 방제 정책 과제. 1쪽).
- Lee, H.J., L.J. Ho and S.Y. Kim. 2011. Land cover object-oriented base classification using digital aerial photo image. Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System 19(1):105-113 (이현직, 유지호, 김상연. 2011. 디지털항공사진영상을 이용한 객체기반 토지피복분류. 한국지형공간정보학회지 19(1):105-113).
- Lee, H.J., Y.Y. Geol and R.J. Ho. 2010. Improvement of accuracy in land cover information using an object-based classification. Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System 18(3):11-12 (이현직, 유영결, 유지호. 2010. 객체기반분류법을 이용한 토지피복정보의 정확도 향상 방안. 한국지형공간정보학회지 18(3):11-12).
- Lee, J.B., D.Y. Heo and Y.D. Eo. 2007. Study on selection of optimized segmentation parameters and analysis of classification accuracy for object-oriented classification. Korean Journal of Remote Sensing 23(6):521-528 (이정빈, 허준, 어양담. 2007. 객체기반 영상분류에서 최적가중치 선정과 정확도 분석 연구. 대한원격탐사학회지 23(6):521-528).
- Lee, M.B. 2010. A geomorphic surface analysis using remote sensing in DMZ of Chugaryeong rift valley, Central Korea. Journal of the Korean Geomorphological Association 17(1):1-14 (이민부. 2010. 위성영상을 이용한 추가령 열곡 DMZ지역의 지형면 분석. 한국지형학회지 17(1):1-14).
- Lee, S.H., Y.G. Oh., N.Y. Park., S.H. Lee and J.Y. Choi. 2014. Extraction of paddy field in Jaeryeong, North Korea by object-oriented classification with RapidEye NDVI imagery. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 56(3):55-64 (이상현, 오윤경, 박나영, 이성학, 최진용. 2014. RapidEye 위성영상의 시계열 NDVI 및 객체기반 분류를 이용한 북한 재령군의 논벼 재배지역 추출 기법 연구. 한국농공학회논문집 56(3):55-64).
- Na, H.S. and J.S. Lee. 2014. Analysis of Land Cover Characteristics with Object-Based Classification Method - Focusing on the DMZ in Inje-gun, Gangwon-do-. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 17(2):121-135 (나현섭, 이정수. 2014. 객체기반 분류기법을 이용한 토지피복 특성 분석 - 강원도 인제군의 DMZ지역 일원을 대상으로-. 한국지리정보학회지 17(2):121-135).
- National Institute of Forest Science, 2014, http://forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/conser/conser_020103.html&mn=KFS_14_03_10_01_03&orgId=kfri (A ccessed March 2019).
- Park, G.D. 2016. Studies on Forest Stand Management of Pinus thunbergii in Jeju Island. Ph.D. Thesis, Univ. of Gangwon, Kangwon-do, Korea. pp.40-66 (박길동.

2016. 제주지역 곰솔림의 임분관리에 관한 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문. 40-66쪽).
- Son, M.H., W.K. Lee., S.H. Lee., H.K. Cho and J.H. Lee. 2006. Natural Spread Pattern of Damaged Area by Pine Wilt Disease Using Geostatistical Analysis. *Journal of Korean Forest Society* 95(3): 240-249 (손민호, 이우균, 이승호, 조현국, 이준학. 2006. 공간통계학적 방법에 의한 소나무 재선충 피해의 자연적 확산유형분석. *한국임학회지* 95(3):240-249).
- Takenaka, Y., M. Katoh., S. Deng and K. Cheung. 2017. Detecting Forests Damaged by Pine Wilt Disease at the Individual Tree Level using Airborne Laser data and WORLDVIEW-2/3 Images over Two Seasons. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Volume XLII-3/W3*.
- Walter, V. 2004. Object-based classification of remote sensing data for change detection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58(3-4):225-238. [KAGIS](#)