韓國環境復元技術學會誌 24(5) : 35～53(2021)
J. Korean Env. Res. Tech. 24(5) : 35～53(2021)
DOI : https://doi.org/10.13087/kosert.2021.24.5.35
ISSN 1229-3032

안동시 소나무재선충병 피해지에 대한 생태학적 특성*

김성열[1] · 박준성[2] · 문건수[2] · 최재용[3]

[1] 엔필드(주) 선임연구위원 · [2] 충남대학교 농업생명과학대학 산림환경자원학과 학생 ·
[3] 충남대학교 농업생명과학대학 산림환경자원학과 교수

Ecological Characteristics of Pine Wilt Disease affected areas in Andong city, Korea*

Kim, Sung-Yeol[1] · Park, Jun-Seong[2] · Moon, Geon-Soo[2] and Choi, Jae-Yong[3]

[1] Enfield Co., Senior Researcher Fellow,
[2] Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Student,
[3] Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Professor.

ABSTRACT

A field survey was carried out targeting 59 pine wilt disease control areas distributed in Andong, and the ecological characteristics of the areas affected by pine wilt disease were analyzed using vegetation information, ecological information, and land use information. Vegetation characteristics of Pine wilt disease affected forest area showed a 3-layer vegetation structure, high percentage of accidental occurrence species (37%) and secondary vegetation species (59.6%), appearing 12 taxa naturalized plants and 3 taxa ecosystem disturbance organisms designated by the Ministry of Environment. Ecological information of Pine wilt affected area showed frequent occurrence of water stress in south and west slopes, low lying grounds in mountains, and in well-drained soils. Also, surrounding the area has been used as roads, tombs, and cultivation where intensive human activities were the cause of disturbance and stress to the pine forest. It was analyzed that the pine forest in Andong city suffered extensive damage due to the onset of pine wilt disease while the pine trees were weakened due to continuous human activities. Conclusively, the spread and onset of pine wilt disease are worsened by artificial factors than natural environmental conditions.

* 이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음(2021-0689-01).
First author : Kim, Sung-Yeol, Enfield Co., Senior Researcher Fellow,
Tel : +82-42-821-7835, E-mail : sdzzangksr@naver.com
Corresponding author : Choi, Jae-Yong, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Professor,
Tel : +82-42-821-5750, E-mail : jaychoi@cnu.ac.kr
Received : 12 August, 2021. **Revised** : 30 September, 2021. **Accepted** : 27 September, 2021.

Key Words: *Pine wilt disease, Plant Ecology, Pinus densiflora, Andong city, Biological control*

I. 서 론

소나무재선충병(Pine wilt disease)은 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus* Nickle)이 솔수염하늘소(*Monochamus alternatus* Hope)를 통해 소나무 내 가도관에 침입하여 가도관을 막음으로 인해 발생하는 산림병해이며(Cram and Hanson, 2005), 동북아시아 최초 피해는 1905년 일본에서 발생한 것으로 추정하고 있다(Yano, 1913; Mamiya, 1983). 한국에서는 1988년 금정산에서 최초로 소나무재선충병 피해지가 보고되었으며, 현재는 전국적으로 확산되었다(KFRI, 2011; Shim et al., 2021).

산림청은 소나무재선충병의 전국적 확산에 따라 매년 소나무재선충병에 감염된 피해고사목에 대한 방제를 실시하고 있다. 매년 피해고사목의 발생본수가 2014년도에 218만본에서 2019년 4월 49만본으로 감소하였지만, 소나무(*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.), 곰솔(*Pinus thunbergii* Parl.), 잣나무(*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.) 등 다양한 피해 수종 발생과 북방수염하늘소(*Monochamus saltuarius*)가 솔수염하늘소와 같이 매개충 역할을 하는 것으로 알려지면서 여전히 전국적으로 문제가 되고 있다(Korea Forest Service, 2021).

소나무재선충병에 대한 연구는 원격탐사기술을 이용한 소나무재선충 감염목 탐지 및 피해조사(Jo et al, 2001; Kim and Kim, 2008; Zhang et al., 2020), 생물학적 방제제 개발(Jeong et al., 2015), 방제방법 개발(Shin, 2009), 매개충 솔수염하늘소와 북방수염하늘소의 생태 연구(Kim et al., 2003), 소나무재선충 고사목 제거에 따른 2차 산림훼손 영향(Hong and Lee, 2015), 소나무재선충병 예방을 위한 나무주사용 약제 선발(Lee et al., 2009)과 솔수염하늘소 방제 방법 개발(Kim and Park, 2013; Kim et al., 2016) 등 다양한 분야와 방법으로 연구되고 있다. 현재까지의 주요 연구들은 소나무재선충병이 이미 감염되어 고사된 수목을 대상으로 하거나 방제를 위한 기법 개발, 감염 경로 및 방법 등 소나무재선충병을 미리 방지하기 위한 연구가 아닌 현재 피해가 더 이상 확산되지 않기 위한 수준의 연구로 한정되어 있으며, 예방적 측면에서 소나무재선충 및 매개곤충에 대한 연구 또한 제한적이다. 소나무재선충병 선제적 발병을 막을 수 있는 가장 좋은 방법은 소나무재선충 감염을 예방하기 위한 소나무류(*Pinus* spp.)의 생리적 건강성 강화 및 매개곤충 예방이지만 발병 피해지의 생태적 특성과 식물 종조성적 특성을 반영한 서식처 특성을 밝혀내어 이들 발병 피해지와 유사한 잠재발병 입지 파악 및 피해지 복원 관리 또한 매우 중요하다.

따라서, 본 연구는 소나무재선충병이 발병한 피해지에 대한 식물 종조성적 특성, 생태적 입지환경과 분포특성에 기초한 서식처 특이성을 밝히는 것이 목적이다. 이러한 연구는 생태계 안전성과 한국 기후 및 환경에 맞는 생물학적 방제를 성취할 수 있는 생태학적 기초연구이며, 더 나아가 소나무재선충병 잠재감염위험입지를 발굴할 수 있는 연구가 될 것으로 기대한다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

연구지역은 행정구역상 안동시 와룡면으로 안동시 북쪽에 위치하며, 지리적으로 36° 36’ 18″ ~ 36° 40’ 53″ N, 128° 40’ 06″ ~ 128° 48’ 10″ E에 위치하고 있다(Figure 1). 이 지역은 2005년 소나무재선충병이 보고된 이후(Lee and Ko, 2016), 현재까지도 소나무재선충병이 발생함으로 인해 항공방제, 훈증, 벌목 등 방제작업을 실시하고 있다. 연구지역의 지형은 140~

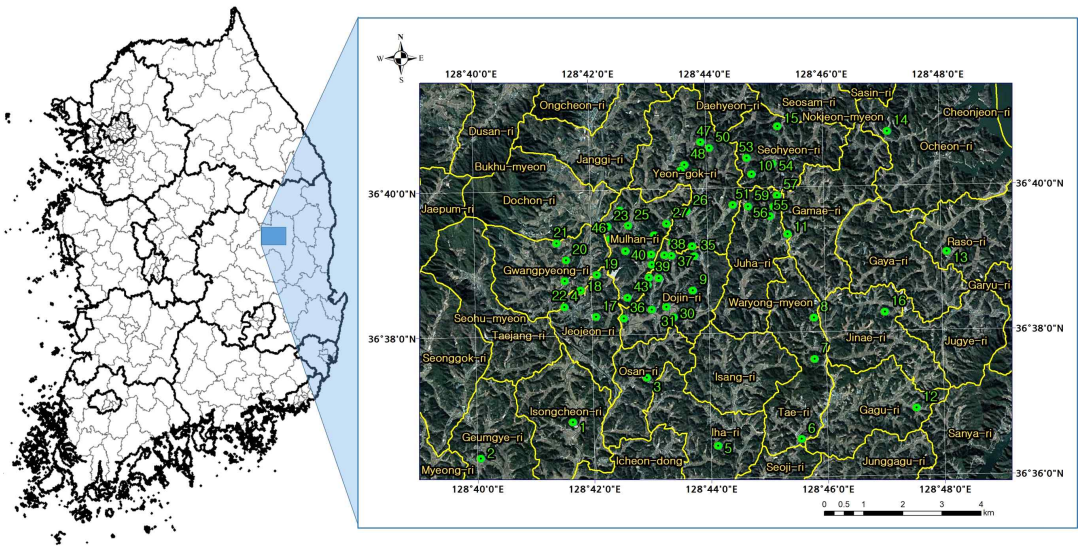


Figure 1. Study boundary and survey points.

Table 1. Andong(136) meteorological data on the study area from 1991 to 2020.

Andong(136)													
Mean	Month												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
temperature	-1.8	0.7	6.0	12.4	17.8	21.9	24.8	25.1	20.0	13.5	6.4	-0.1	12.27
Lowest temperature	-7.2	-5.1	-0.2	5.5	11.2	16.5	21.0	21.2	15.5	8.0	1.0	-5.3	6.89
Highest temperature	4.0	7.0	12.6	19.5	24.7	27.9	29.5	30.1	25.7	20.5	13.0	5.9	18.4
Precipitation	16.7	24.9	44.5	74.0	85.1	123.1	235.2	226.4	119.8	46.5	30.9	18.6	1045.7

300m의 해발고도를 나타내는 구릉대가 조밀하게 분포하고 있으며, 북과 동으로 갈수록 고도가 높아지는 특징을 나타내고 있다(Song, 2007). 대상지역 내 지질은 중생대 쥬라기에 형성되어 굵은 입자의 토양을 형성하는 흑운모화강암과 신생대 제4기에 형성된 충적층이 분포하고 있다(KIGAM, 2021).

연구지역의 기후자료는 안동시 기상관측소(136)에서 1991년부터 2020년까지 획득된 30년간 자료를 이용하였다(KMA, 2021). 연구지역의 연평균기온은 12.27 °C, 연평균 최저기온 6.89 °C, 연평균 최고기온 18.4°C로 나타났으며, 연평균강수량은 1,045mm로 나타났다. 각 기온요소를 볼 때, 최저기온과 최고기온의 차이가 크며 3월까지 영하의 기온을 나타내는 기후적 특징을 나타내고 있다. 한국 생물기후구계도에서 조사지역은 지역생물 기후구에 속하는 대구형으로 영남중북부지역에 위치하여 소백산맥으로 인한 강우그늘효과가 나타남에 따라 건생식생과 소나무림이 우점하여 발달하는 것이 특징이다(Kim and Lee, 2006).

2. 현장조사 및 분석 방법

현장 조사는 소나무재선충병이 발생하여 방제가 실시된 행정구역을 대상으로 하였으며, 다른 지역과 비교하여 비교적 넓은 피해 및 방제면적을 나타내는 물한리, 연곡리, 주하리, 도진리 등을 중심으로 총 59개 현장조사 지점을 선

Table 2. Survey Item

Division	subdivision
Vegetation Information	Flora by survey point, Dominant species by vegetation structure,Vegetation structure and height
Ecological Information	Bedrock, Soil, Soil character, Habitat topography, Micro-topography, Altitude, Slope direction, Inclination
Neighboring Land use Information	Adjacent land use pattern, Number of graves, Distance from the road to the affected area, road width

정하였다. 소나무가 자연적으로 살아가는 서식처(자연림)는 산지 암각지 그리고 하안 단애지 아극상(pseudo-climax) 식물군락과 선상지에서 발달하는 선구식물군락이다(Kim, 2005; Kim, 2006; Shin et al., 2014; Oh et al., 2017). 따라서 대상지인 안동시 소나무재선충병 발병지는 구릉지 및 일반 산지로 자연림이 아닌 이차림으로 볼 수 있으며, 과거 1970년대 산림녹화사업에 의해 조림된 후 방치된 산림이다(Kim, 2006). 서식처 특이성을 분석하기 위한 현장 조사 자료는 소나무재선충병 피해지 및 그 주변 지역에 대한 식생 정보(생물정보), 생태정보(환경정보), 주변 토지이용 정보 항목에 따라 기재되었다. 토지이용정보와 생태정보는 선정된 59개 현장 조사 지점에서 수집되었다. 식생정보는 식생학적 구조 및 특성과 식물학적 특성을 분석한 생물적 정보로서 GIS DEM 자료와 위성사진을 참고하여 소나무재선충병 발생 지점의 경사, 방위, 산지지형 등을 고려한 후, 반경 100m 안에서 유사한 환경조건과 답압(등산로 및 길 유무) 및 훼손(벌목, 간벌)이 없는 소나무림에서 획득되었다. 식생정보가 획득된 조사구의 면적은 산림식생의 종급원을 고려하여 최고 식생고의 자승한 면적 이상(15m × 15m 이상)으로 조사하였다(Kim et al., 1995).

생물들의 서식 환경을 결정짓는 일차적 요소인 생태정보는 소나무재선충병 피해지의 무생물적 정보로써 8개 항목(암석권, 토질, 토양, 지형, 미세지형, 해발고도, 방위, 경사도)(Brewer and McCann, 1982)에 대해서 Kim and Lee(2006)의 현장조사 지침에 따라 조사 및 기록되었다. 암석권은 국토지질정보(KIGAM, 2021)와 층리 및 엽리에 따른 암석분류표(Kim and Lee, 2006)를 활용하여 조사하였으며, 토질과 토양은 지형에 따른 분포 및 현장 분류표(Kim and Lee, 2006)를 활용하였다. 해발고도, 경사도, 지형은 Arc GIS DEM자료를 활용하여 분석되었으며, 미세지형, 방위는 현장에서 기재하였다. 생태정보의 분석은 각 생태정보 항목별 조사구 수 비율을 통해 일반적인 생태학적 관점(Begon et al., 1996; 2014)의 해석이 이루어졌다. 주변 토지이용 정보는 피해지와 인접한 토지이용 방법에 따라 인간간섭의 강도 및 빈도를 확인할 수 있는 요소로서 한국 소나무림에 흔히 관찰되는 봉분 유무와 수, 인접 토지의 이용방식, 도로와 피해지 간의 이격거리, 도로 너비가 조사되었다. 주변 토지이용 정보는 소나무재선충병 피해지 반경 100m 이내에 있는 정보를 기록하였다. 특히 봉분은 산지 산림주변에서 이차초원 형태로 조성되어 주변 산림에 열섬효과, 가장자리효과, 병해충 유입 통로 등을 제공하는 교란입지로 분류될 수 있으며(Lee and Kim, 2017), 도로는 솔수염하늘소와 북방수염하늘소와 같은 매개충의 이동통로를 제공할 수 있으므로 주변 토지이용 정보로 조사되었다. 식생정보는 식생발달 기간과 천이 양상을 확인할 수 있도록 식생 구조에 따른 식생 높이와 층별 구조가 기재되었다(Kim and Lee, 2006). 또한, 각 조사지에 대해 식물종 다양성, 출현 식물종 생태 특성 등 생태식물상적 특성 분석을 위해 식생 구조별 우점종 및 식물목록을 작성하였으며, 생명주

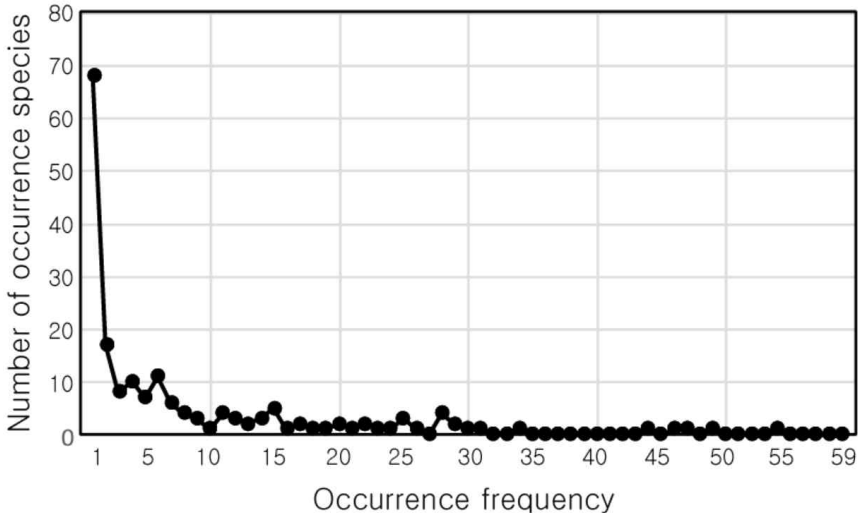


Figure 2. Integrity of vegetation as expressed by the number of species and frequency

기(life cycle)(Begon et al, 1996)와 식물종 서식처 및 식생유형(Kim and Lee, 2006; Kim, 2013; 2016)을 확인하여 분석하였다. 출현 식물종의 동정은 Lee(1996), Lee(2006), Korean Fern Society (2009)를 참고하여 수행되었으며, 식물종명은 KPNIC(2017)에 따라 기재하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 식생정보

총 59개 조사지의 식생 구조는 교목층, 관목층, 초본층을 나타내는 3층 식생구조가 가장 많으며, 교목층 소나무의 식생고는 최저 7m에서 최고 14m로 평균 수고 9.95m(±1.63)를 나타내어 비교적 천이초기와 중기의 숲구조와 수고를 나타내고 있다. 숲을 우점하고 있는 소나무의 연령은 10년생에서 40년생까지 확인되었으며, 주로 20~30년생 소나무들이 교목층을 우점하는 것으로 나타났다.

소나무를 제외한 조사지에서 가장 높은 빈도로 출현하는 식물 10종은 주름조개풀(*Oplismenus undulatifolius* (Ard.) P.Beauv.), 졸참나무(*Quercus serrata* Thunb. ex Murray), 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium* Siebold & Zucc.), 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruth.), 댕댕이덩굴(*Cocculus orbiculatus* (L.) DC.), 개머루(*Ampelopsis glandulosa* (Wall.) Momiy var. *brevipedunculata* (Maxim.) Momiy), 굴참나무(*Quercus variabilis* Blume), 아까시나무(*Robinia pseudoacacia* L.), 인동덩굴(*Lonicera japonica* Thunb.), 고욤나무(*Diospyros lotus* L.) 순이며(Appendix 1), 참나무류를 제외한 식물종들은 밝은 빛이 숲내를 통과하는 인공림(Artificial afforestation)과 이차림(Secondary forest)에서 높은 빈도와 피도로 출현하는 식물종들이면서 임연 및 망토군락의 진단종들이다(Jung and Kim, 1998; Kim, 2008; Kim et al., 2021). 특히 주름조개풀은 산지에서 인간간섭 영향이 강한 서식처에서 살아가는 식물종으로 도시 주변 조림지와 육림지, 외래식물 식재림의 초본층에서 주로 우점한다(Cho and Kim, 2005).

전체 조사지 출현 식물종에 대한 출현빈도는 1회 출현종이 68종으로 전체 출현식물종(183종)의 약 37%를 나타내었으며, 출현빈도가 높은 식물종들의 수가 낮은 hollow curve를 나타내었다(Figure 2). 이러한 출현빈도 특성은 연구지역의 식생이 특정 환경조건과 스트레스에 의해 식생구

Table 3. Life cycle and vegetation type information

Vegetation Information	Life cycle					Vegetation type									
Analysis items	T	S	PH	AH	Total	Fo	Ep	ArAf	Ro	Ru	Se	We	Pi	He	Total
No. of species	57	28	68	30	183	63	3	11	2	29	3	1	42	29	183
Percentage(%)	31.1	15.3	37.2	16.4	100	34.4	1.6	6	1.1	15.9	1.6	0.5	23	15.9	100

Abbreviations: T: Tree, S: Shrub, PH: Perennial Herb, Annual Herb, Fo: Forest vegetation, Ep: Epilithic vegetation, ArAf: Artificial afforestation, Ro: Road vegeation, Ru: Ruderal vegetation, Se: Segetal vegetation, We: Wetland vegetation, Pi: Pioneer vegetation, He: Herb vegetation

조 단순화와 종조성 빈약성을 나타내는 파괴된 식생임을 의미한다. 귀화식물은 개망초(*Erigeron annuus* (L.) Pers.), 미국자리공(*Phytolacca americana* L.), 미국가막사리(*Bidens frondosa* L.) 등 총 12종의 식물종이 출현하였으며, 환경부 지정 생태계 교란 식물인 환삼덩굴(*Humulus japonicus* Sieboid & Zucc.), 가시박(*Sicyos angulatus* L.), 단풍잎돼지풀(*Ambrosia trifida* L.)도 출현하고 있다.

조사지 출현 식물종의 생명주기는 다년생 초본이 68종(37.2%)로 가장 많았으며, 교목과 아교목을 나타내는 식물종들 순으로 나타났다(Table 3). 특히 일이년생 식물종들이 전체 출현식물종의 약 16.4%인 30종이 출현하였으며, 이러한 결과는 도시림 또는 이차림에서 나타나는 생활형 특성과 유사하다(Kwak, 2011). 각 서식처에 대한 우점 분포 및 진단종(diagnostic species)을 나타내는 출현식물종 식생유형은 3층~4층 식생구조에서 출현하는 산림식생유형이 34.4%로 나타났으며, 주기적 또는 비주기적 간섭으로 교목층을 형성하지 못하며 1~2층 식생구조(관목층과 초본층 또는 초본1층과 초본2층)를 나타내는 암극식생(잔고사리 *Dennstaedtia hirsuta* (Sw.) Mett. ex Miq., 꼬리고사리 *Asplenium incisum* Thunb., 구절초 *Dendranthema zawadskii* var. *latilobum* (Maxim.) Kitam. 등), 노상 · 노방식생(짚신나물 *Agrimonia pilosa* Ledeb., 닭의장풀 *Commelina communis* L. 등), 진개식생(매듭풀 *Kummerowia striata* (Thunb.) Schindl., 별꽃 *Stellaria media* (L.) Vill., 쑥 *Artemisia princeps* Pamp. 등), 경작지식생(개망초, 갈퀴덩굴 *Galium spurium* L. 등), 습지수변부식생(고마리 *Persicaria thunbergii* (Siebold & Zucc.) H.Gross, 개여뀌 *Persicaria longiseta* (Bruijn) Kitag., 미국가막사리), 임연식생(산국 *Dendranthema boreale* (Makino) Ling ex Kitam., 양지사초 *Carex nervata* Franch. & Sav., 으름덩굴 *Akebia quinata* (Houtt.) Decne. 등), 이차초원식생(이질풀 *Geranium thunbergii* Siebold ex Lindl. & Paxton, 제비쑥 *Artemisia japonica* Thunb., 청사초 *Carex breviculmis* R.Br. 등) 유형 식물종들이 59.6%로 확인되었다(Table 3). 1~2층의 식생구조를 나타내는 식생유형 식물종들이 조사지에서 높은 비율로 출현한다는 것은 현재 연구지역의 산림은 교목층의 식피율이 낮은 결과로 볼 수 있다.

조사지 산림에 대한 식생 구조에서 교목층에는 소나무, 아교목층에는 밤나무(*Castanea crenata* Siebold & Zucc.), 관목층에는 상수리나무, 초본층에는 주름조개풀이 가장 많이 우점하는 것으로 나타났다(Table 4). 식생 구조별 우점하는 식물종 목록을 살펴보면 교목층과 아교목층에서는 식재수종들(소나무, 리기다소나무 *Pinus rigida* Mill., 아까시나무, 일본잎갈나무 *Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière, 잣나무, 밤나무)이 함께 혼생하여 우점하고 있으며, 관목층에서는 본 서식처의 잠재자연식생상 천이에 따라 우점양상을 나타낼 수 있는 상수리나무, 졸참나무, 굴참나무, 갈참나무(*Quercus aliena* Blume) 등 참나무류가 우점하여 출현하고 있다. 초본층에는 산림 내 물리적 교란에 의한 원지형 변형 및 열린 교목층으로 숲 내 빛투과율이 높은 서식처

Table 4. Dominant plant species by vegetation structure.

	Occurrence species	Pd	Pk	Rp	Qal	Pr	Qac	Qv	Lk	Qs					Total
T1	No. of releve	41	4	3	2	2	2	1	1	1					57
	Percentage (%)	71.9	7.0	5.3	3.5	3.5	3.5	1.8	1.8	1.8					100
	Occurrence species	Cc	Rp	Qs	Qal	Pst	Zse	Psa	Qac	Pd					
T2	No. of releve	5	2	2	1	1	1	1	1	1					15
	Percentage (%)	33.3	13.3	13.3	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7					100
	Occurrence species	Qac	Qs	Qv	Rp	Qal	Cc	Zsh	Lo	Dl	Zse	Ah	Af	Cs	
S	No. of releve	15	11	7	7	4	4	4	2	1	1	1	1	1	59
	Percentage (%)	25.4	18.6	11.9	11.9	6.8	6.8	6.8	3.4	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	100
	Occurrence species	Ou	Cl	Qv	Qs	Pa	Hj	Qal	Pt	Po	Sm	Qac			
H	No. of releve	40	4	3	3	2	2	1	1	1	1	1			59
	Percentage (%)	67.8	6.8	5.1	5.1	3.4	3.4	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7			100

Abbreviations: Pd: *Pinus densiflora*, Pk: *Pinus koreana*, Rp: *Robinia pseudoacacia*, Qal: *Quercus aliena*, Pr: *Pinus rigida*, Qac: *Quercus acutissima*, Qv: *Quercus variabilis*, Lk: *Larix kaempferi*, Qs: *Quercus serrata*, Cc: *Castanea crenata*, Pst: *Platycarya strobilacea*, Zse: *Zelkova serrata*, Psa: *Prunus sargentii*, Zsh: *Zanthoxylum schinifolium*, Lo: *Lindera obtusiloba*, Dl: *Diospyrous lotus*, Ah: *Abies holophylla*, Af: *Amorpha fruticosa*, Cs: *Corylus sieboldiana*, Ou: *Oplismenus undulatifolius*, Cl: *Carex lanceolata*, Pa: *Phytolacca americana*, Hj: *Humulus japonicus*, Pt: *Parthenocissus tricuspidata*, Po: *Polygonatum odoratum* var. *pluriflorum*, Sm: *Stellaria media*

에서 출현하는 주름조개풀(Cho and Kim, 2005)이 전체 피해 조사지 가운데 40곳(67.8%)에서 우점하였다. 이러한 식생구조별 우점식물종 양상을 볼 때, 소나무재선충병 발생입지 주변 지역은 아직 천이 초기와 중기 특성으로 볼 수 있으며, 과거 조림을 하였거나 주변 마을에서 산림을 관리하였다는 증거로 볼 수 있다.

2. 생태정보

피해지에 대한 기반암은 모두 흑운모화강암으로 한국에 넓게 분포하고 있는 심성암류 산성암이다(Table 5). Jung et al.(1994)에 의하면 흑운모화강암은 큰 결정으로 인해 굵은 토양 입자를 생성하며, 흑운모화강암에서 생성된 토양은 비교적 토양투수력(soils infiltration capacity)이 높아 쉽게 건조해질 수 있는 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 특히 화강암 지역에서는 진달래속(*Rhododendron* spp.) 식물종의 높은 종다양성과 빈도를 나타내는 것으로 알려져 있다(Kim 1998).

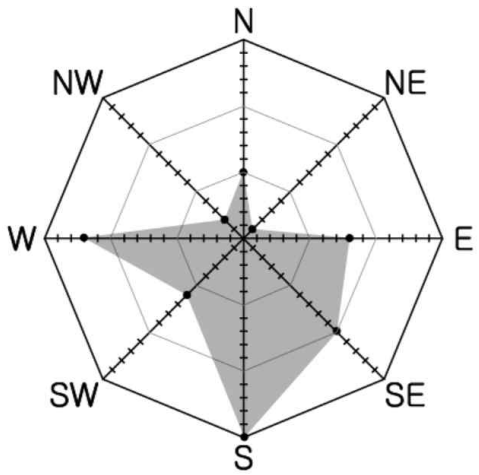
토질은 미사질양토가 89.8 %로 가장 높게 나타났으며, Brewer and McCann(1982)에 의하면 이러한 토질 특성은 전반적으로 배수가 잘되는 양질의 밭흙과 유사한 특성을 나타내는 것이다. 토양은 한반도에서 우세하게 나타나는 갈색산림토(83 %)가 높게 나타났다(Table 5).

피해지의 지형은 74.6 %가 산지 사면하부에 집중적 분포를 나타내는 것으로 확인되었다(Table 5). 일반적으로 사면하부 입지환경은 사면상부와 능선부에 비하여 지형적 특성으로 인해 온도, 바람, 건조 등 다른 환경조건을 나타내며, 그에 따른 식물종의 분포 양상이 다르게 나타난다. 조사지역 내 소나무재선충병 피해지는 기후적으로 사면상부와 능선부와 비교하여 온화한 환경조건을 나타내는 곳에서 주로 출현하였다. 계곡부에서는 소나무재선충병 피해지가 관찰되지 않았는데 계곡부는 냉해가 발생하는 입지로 소나무가 생육하기 어려운 환경조건으로 인해 나타나지 않는 것으로 판단된다. 미세지형은 평면이 83 %로 가장 많이 나타났으며,

Table 5. Ecological information.

Ecological information		%	Ecological information		%
Bedrock*	Biotite granite	100	Mountain topography	Lower part of slopes	74.6
Soil**	Brown forest soils	83.0		Middle part of slopes	15.2
	Gray brown forest soils	8.5		Upper part of slopes	10.2
	Dark red forest soils	5.1	Altitude class(m)	100 ~ 150	10.2
	Red yellow forest soils	3.4		150 ~ 200	33.9
Soil texture**	Silt loam	89.8		200 ~ 250	42.4
	Clay loam	10.2		250 ~ 300	13.5
Micro-topography	Plane	83.0	Inclination class(°)	0 ~ 5	11.9
	Prominence	10.2		5 ~ 10	62.7
	Depression	3.4		10 ~ 15	16.9
	Unevenness	3.4		15 ~ 20	6.8
				20 ~ 25	1.7

*(KIGAM, 2021), (Kim and Lee, 2006); **(Jung et al., 1994), (Kim and Lee, 2006)



Slope direction	Number of Relevé	%
N	5	8.5
NE	1	1.7
E	8	13.6
SE	10	16.9
S	15	25.4
SW	6	10.2
W	12	20.3
NW	2	3.4

Figure 3. Aspect of slope direction on the pine wilt disease sites.

돌출 10.2 %, 함몰 3.4 %, 요철 3.4 % 로 나타났다(Table 5). 함몰과 요철 미세지형에서는 비교적 낮은 출현율을 나타내고 있는데 함몰 미세지형은 비교적 습윤한 수분환경조건을 나타내는 미세지형이다.

해발고도는 150~250m 범위에서 가장 많이 발생(76.3 %)하였으며, 120~140m 범위의 피해지에서 가장 적게 나타났다(Table 5). 안동시 전체에서 150~250m 해발고도 면적은 약 39.03%에 해당하며, 안동시에서 가장 넓은 면적으로 분포하고 있는 해발고도 지역이다(안동시 평균 해발고도 242m, 최저 해발고도 60m, 최고 해발고도 872m). 경사도는 10° 이하 지역이 74.6 %를 나타내었으며, 경사가 급할수록 감소하는 경향을 나타내었다(Table 4). 부산시 기장군 소나무재선충병 발생지역 연구에서도 10~25 ° 경사도에서 발생율이 가장 높은 것으로 나타났다(Son et al., 2006). 소나무 자연림이 발달하는 급경사의 산지암각지 및 하안 단애지를 비교하면 아주 낮은 경사도이다(Kim, 2005; Kim, 2006;

Table 6. Land use information.

List of land use	Number of Relevé			
	East	West	South	North
Forest	31	28	31	33
Grave	8	12	9	13
Cultivated land	21	22	22	16
Road	8	5	12	5
Stable	1	1	2	1
Open space	2	4	3	2
House	2	4	4	2

Shin et al., 2014). 따라서 소나무재선충병 피해 입지는 낮은 해발고도의 완경사 입지를 나타내는 서식처에서 출현하고 있으며, 이러한 서식처 환경조건은 인간이 생활하기 좋은 기후 및 입지적 조건을 나타내어 인간간섭의 영향을 쉽고 강하게 받을 수 있는 특성을 나타내고 있다.

소나무재선충병 피해지의 방위는 대부분 남향(S, SW, SE: 52.5 %)과 서향(W: 20.3 %)을 중심으로 분포하고 있으며, 북향(N, NE, NW)은 13.6 %로 나타났다(Figure 3). 산지 사면에서 북향은 남향과 서향에 대비되는 방위로 겨울철 비교적 적은 일사량, 높은 습도환경, 더욱 추운 기온을 나타낸다. 따라서 남향과 서향은 북향과 비교하여 더욱 건조하며, 높은 기온을 나타낸다.

3. 주변 토지 이용정보

소나무재선충병 피해지의 주변 토지이용 정보는 피해지의 동서남북에 직접 연접한 입지로써 현재 토지이용 현황에 대한 정보이다. 인접토지가 산림으로 이루어진 곳은 17개소였으며, 최소 한개 방위 이상으로 봉분, 경작지, 도로, 인가, 축사, 과수원 등 토지이용이 이루어진 곳은 42개소였다. 또한 인간간섭에 의한 토지이용이 이루어지고 있는 방위에서는 최소 1개 이상의 토지이용이 이루어지고 있었다. 각 방위에서 보았을 때, 가장 많이 출현하는 인접 토지는 산림이 가장 많았으며, 다음으로 경작지, 무덤, 도로 순이였다(Table 6).

식물성장에 대한 생태학적 관점으로 볼 때, 경작지는 식물생육 시기에 주기적인 간섭이 이루어지는 장소로 집약적인 질소비료 투입, 농약살포 등 화학적 스트레스와 함께 농기계에 의한 지형변형, 인간에 의한 답압, 잡목 및 잡초제거 등 물리적 교란이 동시에 행해지는 장소로써 소나무재선충병 피해지에 큰 영향을 주었을 것으로 판단된다. 또한 봉분은 생태학적 측면으로 볼 때, 산림 내 숲틈을 만들어 병해충 유입과 열섬효과가 발생하여 주변 산림에 악영향을 줄 수 있는 장소이다(Lee and Kim, 2017).

피해지와 가장 인접한 도로와의 거리는 40m 이내가 74.6%로 나타났으며, 60m 이상은 11.9%로 도로와 피해지는 매우 가깝게 인접하고 있는 것이 확인되었다(Table 7). 도로 폭은 2~4m로 시멘트로 만들어졌으며, 논경작지 주변에 거미줄처럼 분포하면서 트럭과 농기계들이 주로 다니는 길이다.

4개 방위에서 토지이용이 모두 산림으로 나타난 피해지를 제외한 42개 피해지의 토지이용 패턴은 도로-경작지-피해지, 도로-피해지, 도로-경작지-봉분-피해지, 도로-인가-피해지, 도로-봉분-피해지로 확인되었다(Figure 4). 토지이용 패턴 결과는 피해지 주변 토지이용에서 항상 도로와 함께 출현하는 양상을 나타내며, 산지 가장자리를 중심으로 소나무재선충 피해지가 분포

하고 있다는 의미이기도 하다.

4. 안동시 소나무재선충병 발생 특성

소나무는 냉온대 남부·저산지대와 난온대 지역에 분포 중심을 나타내는 식물이다(Kim, 1992). 소나무의 자연서식처는 산지 암각지와 하안 단애지에서 아극상(pseudo-climax)으로 발달하는 식물군락과 선상지에서 발달하는 선구식물군락이다(Kim, 2005; Kim, 2006; Shin et al., 2014; Oh et al., 2017). 그런데 전국에서 발병한 소나무재선충병 발병입지는 자연서식처가 아닌 산지사면 또는 구릉지에서 발생하였다(Lee, 2006; Son et al., 2006; Lee et al., 2017). 또한 고해발고도와 급경사를 나타내는 서식처보다 완경사와 저해발고도를 나타내는 입지에서 소나무재선충병이 발병하고 있으며, 안동 소나무재선충병 발병입지도 그러한 지형적 특성을 나타내고 있다(Figure 1). 안동시가 위치한 경상북도는 태백산맥과 소백산맥에 의해 내륙분지 지역을 나타내며, 강우그늘(rain shadow) 효과로 경상북도에 분포한 지역들은 건조한 수분환경조건을 나타내는 영남과우지역에 속한다(Kim and Lee, 2006). 한국 생물기후구계도에서도 경상북도는 대구형에 속하며, 발달하는 식생

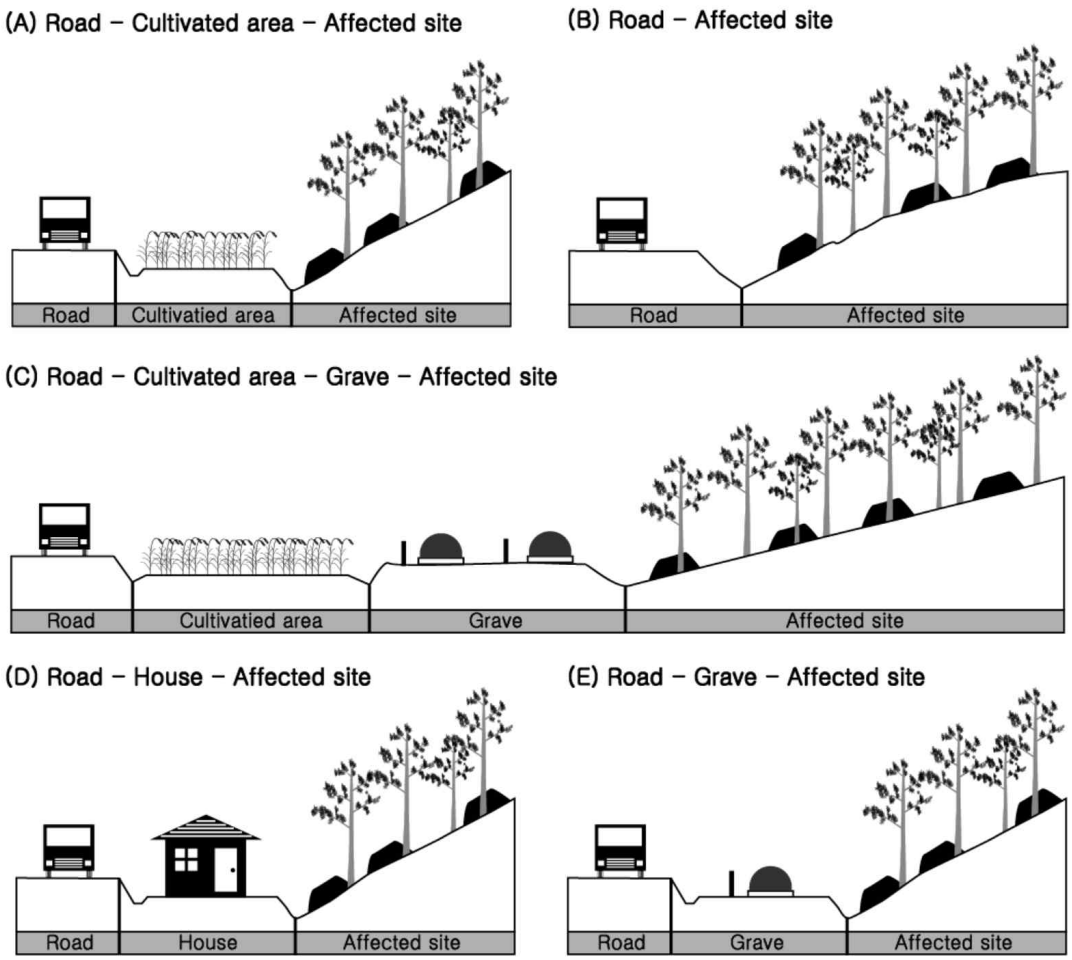


Figure 4. Current status of land use around areas affected by pine wilt disease.

Table 8. Area of *Pinus densiflora* by each province (Unit: ha)

Table 7. Distance class between damaged sites and adjacent road.

Distance class Province Number of Relevé Percentage (%)	0~20 28 47.5	20~40 16 27.1	40~60 8 13.5	60~80 0 0	80~100 2 3.4	100~ 5 8.5

Province	Land area	Forest area	*Pinus densiflora* forest area	Forest area rate (%)	Forest area rate(%) of *Pinus densiflora* forest in the Province
Gyeonggi-do	1,017,240	516,198	21,000	50.74	4.06
Gangwon-do	1,687,351	1,370,443	232,000	81.21	16.92
Chungcheongbuk-do	740,719	489,482	70,000	66.08	14.30
Chungcheongnam-do	820,450	405,938	97,000	49.47	23.89
Jeollabuk-do	806,648	441,959	99,000	54.78	22.40
Jeollanam-do	1,230,903	688,720	201,000	55.95	29.18
Gyeongsangbuk-do	1,902,898	1,336,071	494,000	70.21	36.97
Gyeongsangnam-do	1,053,797	700,684	257,000	66.49	36.67
Jeju	184,902	87,645	16,000	47.40	18.25

은 다른 지역과 달리 건생식생과 소나무림이 넓게 분포하면서 지속하는 것이 특징이다. 특히 다른 지역보다 경상북도에서 소나무림 면적과 비율이 높은 것 또한 경상북도의 지형적 특성에 따른 기후영향이 반영된 결과이다(Table 8). 따라서 경상북도에 소나무림이 넓은 면적으로 분포하는 것은 다른 지역들보다 경상북도에 소나무재선충병 발생면적과 빈도를 높이는 또 하나의 요소로 작용할 수 있다.

안동시 소나무재선충병이 발병한 산지대는 파편화된 산지 경관을 나타내고 있다(Figure 1). 이러한 경관은 파편화된 산지 가장자리에서 다양한 인간간섭이 나타나 주변 산림에 영향을 줄 수 있다. 이러한 영향의 결과로 안동시 소나무재선충병 피해지 산림은 주름조개풀, 댕댕이덩굴, 개머루, 인동덩굴 등 인공림, 이차림, 임연군락의 진단종들이 높은 빈도와 피도 출현, 12종의 귀화식물과 3종의 환경부 지정 생태계 교란식물이 출현하고 있으며, 1회 출현종이 68종(37%)으로 단순한 식생구조와 빈약한 종조성 나타내는 파괴된 식생 특성을 나타내고 있다. 특히 안동시 소나무재선충병 피해지 주변 토지이용은 도로, 경작지, 봉분으로 주기적인 인간간섭의 높은 강도와 빈도를 나타내는 방식이다. 특히 도로는 소나무류(*Pinus* spp.)의 성장과 건강도에 악영향을 줄 수 있는 자동차 배기가스(SO_2, NOx)가 발생하는 장소이며(Kwon et al., 1985), 농경지는 농약 및 질소화합물을 살포하여 주변 소나무에 심각한 화학적 스트레스를 줄 수 있는 토지이다. 봉분은 산림 사이에 숲틈(forest gap)의 역할을 하여 주변 산림 기온의 상승과 건조한 서식처 환경조건을 만드는 토지이용방식이다. 또한, 안동시의 소나무재선충병 피해지는 고온・건조한 남사면, 투수성이 큰 화강암 지역, 사면 하부의 구릉지에 집중적으로 출현하고 있어 수분스트레스가 쉽게 발생할 수 있는 서식처 환경 특성을 나타내고 있다. 일본에서는 하계의 고온・과우 기상환경으로 인한 수분스트레스 발생이 소나무재선충병 징후를 촉진하는 요인으로 알려져 있으며(Suzuki and Kiyohara, 1978; Kazuo, 1984), 일본, 미국, 유럽에서 소나무재선충병은 소나무의 면역력에 따라 고사 여부가 결정된다고 보고되고 있다(Rutherford and Webster, 2011). 이러한 연구결과에 비추어 볼 때, 안동시에 분포하고 있는 소나무는 인간간섭, 지형적 특성, 서식처 환경조건 등에 의해서 쇠약한 건강상태를 나타내고 있었으며, 확산되는 소나무재선충병에 쉽게 감염되어 넓은 확산과 높은 빈도 분포를 나타내는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

안동시 소나무재선충병 피해지의 식생정보, 생태정보, 주변 토지이용 정보를 활용하여 피해지의 서식처 특성을 분석하였다.

피해지는 3층 식생구조와 평균 수고 9.95m를 나타내는 산림천이 초기·중기의 숲구조 및 수고를 나타내었다. 또한, 숲 내 빛 투과율이 높은 인공림과 이차림, 임연 및 망토군락에서 우점하는 식물종들(주름조개풀, 산초나무, 댕댕이덩굴, 개머루, 인동덩굴 등)의 높은 출현빈도와 1~2층 식생구조를 나타내는 식생유형 식물종들의 높은 출현 비율(59.6%), 1회 출현종의 높은 구성 비율(37%), 12종의 귀화식물과 3종의 환경부 지정 생태계 교란식물 출현 등 안동시 소나무재선충병 피해지의 산림은 특정 환경조건과 스트레스에 의해 파괴된 식생임이 확인되었다. 또한, 피해지는 토양투수력이 높은 토양을 생성하는 흑운모화강암이 기반암으로 확인되었으며, 150~250m 낮은 해발고도 범위의 구릉지 사면하부 분포, 10° 이하의 경사도와 남향과 서향 중심 분포의 생태정보를 나타내었다. 이러한 생태정보를 나타내는 입지는 주로 인간활동이 이루어지는 환경이면서 수분스트레스가 빈번히 발생할 수 있는 생태적 특성을 나타낸다. 피해지 주변 토지이용 정보 또한 피해지 생태정보를 잘 반영하듯 인간간섭이 집약적으로 이루어지는 도로, 봉분, 경작지가 인접하여 분포하고 있었으며, 소나무재선충병 피해지에 물리적 · 화학적 스트레스의 영향을 주는 것으로 판단되었다.

안동시 소나무재선충병 피해지는 수분스트레스가 발생하는 생태적 특성, 지속적 인간간섭을 나타내는 토지이용 특성과 강우그늘효과로 건조한 수분환경조건을 나타내는 자연환경 특성, 서식처 파편화를 나타내는 산지대 경관 특성으로 인해 소나무재선충병 피해의 강도와 빈도가 높은 것으로 사료되며, 자연적인 소나무재선충병 확산보다는 인위적 간섭에 의해서 소나무재선충병이 발병 및 확산되는 영향이 더 큰 것으로 분석되었다. 따라서 안동시 소나무재선충병 피해지는 온전한 숲구조 및 식물상을 나타낼 수 있는 생태적 복원과 인간간섭을 최소화하는 생태적 관리가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 결과들은 소나무재선충병이 비교적 넓은 면적으로 발생한 안동시를 중심으로 소나무재선충병 피해지 및 주변 소나무림의 서식처 자연환경, 인문환경 특성을 고려하여 분석하였으며, 향후 소나무재선충병 잠재발생위험 입지에 대한 평가지표 및 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 그러나, 소나무재선충병이 발병한 안동시는 현재 소나무재선충병이 확인된 경기도를 포함한 15개 시도와는 다른 자연환경 및 인문환경 특성을 나타내고 있어 본 연구에서 기술된 연구 결과를 다른 지역에 적용하기에는 아직 미흡하다. 또한 소나무재선충병 발병입지와 잠재적 발병입지에 대한 생태적 관리전략 및 방법 매뉴얼과 잠재적 발생위험지도 제작을 위해서는 소나무재선충병 잠재적 발병입지를 평가할 수 있는 지표 설정 연구가 필요하며, 전국 지역별 생태역(ecoregion)을 고려한 소나무재선충병 감염지에 대한 분포 특성 또한 발굴되어야 한다.

References

Begon M · Harper JL and Townsend CR. 1996. Ecology, Individuals, Populations and Communities. 3rd. Balckwell Science: Oxford. (in English)

Begon M · Howarth RW and Townsend CR. 2014. Essentials of Ecology 4th. Wiley: USA. (in English)

Brewer R and McCann MT. 1982. Laboratory and Field Manual of Ecology. Saunders College Publishing: USA. (in English)

Cho KJ and Kim JW. 2005. Syntaxonomy and

Synecology of the Robinia pseudoacacia Forests. Korean J. Ecol. 28(1): 15~23. (in Korean with English summary)

Cram M. and Hanson J. 2005. How to identify and manage pine wilt disease and treat wood products infested by the pinewood nematodes. USDA: USA. (in English)

Hong SH and Lee SD. 2015. Report on Forests Damaged Due to Cutting Trees Infected by Pine Wilt Disease. Korean J. Environ. Ecol. 29(4): 590-598. (in Korean with English summary)

Jeong MH · Yang SY · Lee YS · Ahn YS · Park YS · Han HR and Kim KY. 2015. Selection and Characterization of Bacillus licheniformis MH48 for the Biocontrol of Pine Wood Nematode. J. Korean For. Soc. 104(3): 512-182. (in Korean with English summary)

Jo MH · Kim JB · Oh JS and Lee KJ. 2001. Extraction Method of Damaged Area by Pinetree Pest(*Bursaphelenchus xylophilus*) using High Resolution IKONOS Image. Journa of the Korean Association of Geographic Information Studies 4(4): 72-78. (in Korean with English summary)

Jung SJ · Hyeon GS · Moon YT and Jo YK. 1994. Characteristic, Genesis and Classification of Soils Derived from Coarse Grain Granitic Materials. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer 27(1): 3-9. (in Korean with English summary)

Jung YK and Kim JW. 1998. Syntaxonomy of Mantle Communities in South Korea. Korean J. Ecol. 21(6): 739-750. (in Korean with English summary)

Kazuo S. 1984. General Effect of Water Stress on the Development of Pine Wilting Disease Caused By *Bursaphelenchus xylophilus*. Forestry and Forest Products Research Institute Bull, For. & For. Prod. Res. Inst. 325: 97-126. (In Japanese with English summary)

KFRI(Korea Forest Research Institute). 2011. Report of Monitoring for Forest Insect Pets and Diseases in Korea. Seoul: Korea Forest Research Institute. (in Korean)

KIGAM(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources). 2021. GEO Big Data Open Platform. https://mgeo.kigam.re.kr/ (accessed 30. May 2021)

Kim DS · Lee SM · Chung YJ · Choi KS · Moon YS and Park CG. 2003. Emergence Ecology of Japanese Pine Sawyer, Monochamus alternatus(Coleoptera: Cerambycidae), a Vector of Pinewood Nematode, Bursaphelenchus xylophilus. Korean J. Appl. Entomol. 42(4): 307-313. (in Korean with English summary)

Kim EM and Kim DY. 2008. An Investigation of Pine Wilt Damage by Using Ground Remote Sensing Technique. Journal of KARG 84-92. (in Korean with English summary)

Kim EY · Choi JY and Song WK. 2021. Introduction and Spread of the Invasive Alien Species *Ageratina altissima* in a Disturbed Forest Ecosystem. Sustainability 13(11): 6152. (in English)

Kim J · Jung H and Park YH. 2016. Predicting Potential Distribution of Monochamus alternatus Hope responding to Climate Change in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 55(4): 501-511. (in Korean with English summary)

Kim JB and Park YG. 2013. Invention of the Portable Bark Remover for Control of Pine Wilt Disease by Disruption of Oviposition of Insect Vector (*Monochamus alternatus*). Journal of Kroean Forestry Society 102(2):

300-304. (in Korean with English summary)

Kim JW. 1992. Vegetation of Northeast Asia; on the syntaxonomy and syngeography of the oak and beech forests. Dissetation of the University of Vienna. (in English)

Kim JW. 1998. Plant diversity in the cool-temperate forests of Northeast Asia, with emphasia on Korea. Rare, Threatened, and Endangered Floras of Asia and the Pacific Rim Institute of Botany, Academia Sinica Monograph Series, Taipei 16: 17~25. (in English)

Kim JW. 2005. What is the problem with Korean pine trees seen through forest fires on the east coast and pinewilt disease. Korean J. Ecol. 28(2): 113-120. (in Korean)

Kim JW. 2006. Vegetation Science(2nd ed.). Seoul: World Science. (in Korean)

Kim JW and Lee YK. 2006. Vegetation Science Series II: Classification and Assessment of Plant Communities. World Science: Seoul. (in Korean)

Kim JW. 2013. The Ecological Flora of Korea Vol. 1. Plants Living Close to the Village. Nature & Ecology: Seoul. (in Korean)

Kim JW. 2016. The Ecological Flora of Korea Vol. 2. Plants Living on Grasslands. Nature & Ecology: Seoul. (in Korean)

Kim JW · Lee DI and Kim W. 1995. Minimal Areas and Community Structures of *Pinus densiflora* Forests and *Quercus mongolica* Forests. Korean J. Ecol. 18(4): 451-462. (in English)

Kim SY. 2008. The Vegetation of Mt. Ap-san in Daegu. MS dissertation, Keimyung University. (in Korean with English summary)

KMA(Korea Meteorological Administration). 2021. Weather data opening Portal. Korea Meteorological Administration. https://data.kam.go.kr/(accessed 21. Jun. 2021)

Korean Fern Society. 2009. Ferns and Fern Allieds of Korea. Seoul: Geobook. (in Korean)

Korea Forest Service. 2021. Pine Wilt Disease. Korea Forest Service http://www.forest.go.kr/ (accessed 29. Mar. 2021)

KPNIC(Korean Plant Names Index Committee). 2017. Checklist of Vascular Plants in Korea. Pocheon: Korea National Arboretum. (in Korean)

Kwak JI. 2011. A Study on Vegetation Structure Characteristics and Ecological Succession Trends of Seoul Urban Forest, Korea. Ph.D. dissertation, University of Seoul. (in Korean with English summary)

Kwon SP · Chung Y · Park YM and Lee SR. 1985. Plant Damages Due to Air Pollution in the Highway - on the Pinaceae-. Journal of Korean Institute of Landscape Architecture 13(1): 1-24. (in Korean with English summary

Lee DS · Nam YW · Choi WI and Park YS. 2017. Environmental Factors Influencing on the Occurrence of Pine Wilt Disease in Korea. KJEE 50(4): 374-380. (In Korean with English summary)

Lee JA and Kim JW. 2017. A New Association of Gueldenstaedtio-Zoysietum japonicae: A Syntaxonomical and Syngeographical Description of the Southernmost Population of *Gueldenstaedtia verna* in South Korea. Weed Turf. Sci. 6(1): 40-54. (in Korean with English summary)

Lee SH and Ko YC. 2016. Crisis Communication Strategy of the Local Goverment: A case of the Pine Wilt Disease. Journal of Communication Science 16(1): 209-262. (in Korean with English summary)

Lee SK. 2006. Occurrence Status and Prevention

Control of Pine Wilt Disease. Tree Health 11: 44-53. (in Korean)

Lee SM · Kim DS · Lee SG · Park NC and Lee DW. 2009. Selection of Trunk Injection Pesticides for Prenventive of Pine Wilt Disease, *Bursaphelenchus xylophilus* on Japanese Black Pine(*Pinus thunbergii*). The Korean Journal of Pesticide Science 13(4): 267-274. (in Korean with English summary)

Lee TB. 2006. Coloured Flora of Korean. Seoul: Hyangmunsa. (in Korean)

Lee WT. 1996. Standard Illustrations of Korean Plants. Seoul: Academy press. (in Korean)

Mamiya Y. 1983. Pathology of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. Annual Review of Phytopathology 21: 201-220. (in English)

Oh HY · Kang HK · Kim MS · Back SJ and Hong JK. 2017. Vegetation Structure and Management Planning on the Historical Landscape of Pinus densiflora Forest in Guryong Valley, Chiak National Park. J. Korean Env. Res. Tech 20(6): 117-131.(In Korean with English summary)

Rutheford TA and Webster JM. 2011. Distribution of pine wilt disease with respect to temperature in North America, Japan and Europe. Canadian Journal of Forest Research 17(9): 1050-1059. (in English)

Son MH · Lee WK · Lee SH · Cho HK and Lee JH. 2006. Natural Spread Pattern of Damaged Area by Pine Wilt Disease Using Geostatistical Analysis. Jour. Korean For. Soc. 95(3): 240-249.(In Korean with English summary)

Shim ST · Lee SH · Lee CY and Nam Y. 2021. Analysis of Occurrence Characteristics of Pine Wilt Disease in Korea. J. Korean Soc. For. Sci. 110(2): 280~288.

Shin MH · Lim JH and Kong WS. 2014. Relationship between Environment Factors and Distribution of *Pinus densiflora* after Fire in Goseong, Gangwon Province, Korea. J. Korean Env. Res. Tech. 17(2): 49-60. (In Korean with English summary)

Shin SC. 2009. A Study on the Contro Method of Pine Wilt Disease. KFRI: Seoul. (in Korean)

Song MS. 2007. Geomorphological traits of the south-eastern piedmont zone of sobaek range: from Sanjoo to Andong. MS dissertation, Graduate School of Korean National University of Education. (in Korean with English summary)

Suzuki K and Kiyohara T. 1978. Influence of water stress on development of pine wilting disease caused by Bursaphelenchus lignicolus. Eur. J. For. Path. 8: 97-109. (in English)

Yano M. 1913. Investigation on the causes of pine mortality in Nagasaki Prefecture. Sanrin-Koho 4:1-14. (In Japanese)

Zhang RR · You J · Kim BJ · Sun JN and Lee JW. 2020. Searching the Damaged Pine Trees from Wilt Disease Based on Deep Learning. Smart Media Journal 9(3): 46-51. (in Korean with English summary)

Appendix 1. Flora in Study area(sorted by occurrence frequency)

Scientific name	Vegetation type	Life cycle	Occurrence frequency
Pinus densiflora Siebold & Zucc.	Forest	Tree	54
Oplismenus undulatifolius (Ard.) P.Beauv.	Pioneer	Perennial herb	49
Quercus serrata Thunb. ex Murray	Forest	Tree	47
Zanthoxylum schinifolium Siebold & Zucc.	Forest	Tree	46
Quercus acutissima Carruth.	Forest	Tree	44
Cocculus trilobus (Thunb.) DC.	Pioneer	Shrub	34
Ampelopsis heterophylla (Thunb.) Siebold & Zucc.	Pioneer	Shrub	31
Quercus variabilis Blume	Forest	Tree	30
Robinia pseudoacacia L.	Artificial afforestation	Tree	29
Lonicera japonica Thunb.	Pioneer	Tree	29
Diospyros lotus L.	Forest	Tree	28
Rubia akane Nakai	Pioneer	Perennial herb	28
Commelina communis L.	Pioneer	Annual herb	28
Lindera obtusiloba Blume	Forest	Shrub	28
Castanea crenata Siebold & Zucc.	Artificial afforestation	Tree	26
Quercus aliena Blume	Forest	Tree	25
Rosa multiflora Thunb.	Pioneer	Shrub	25
Spodiopogon sibiricus Trin.	Herb	Perennial herb	25
Rhus trichocarpa Miq.	Forest	Tree	24
Parthenocissus tricuspidata (Siebold & Zucc.) Planch.	Pioneer	Tree	23
Carex lanceolata Boott	Forest	Perennial herb	22
Chelidonium majus var. *asiaticum* (Hara) Ohwi	Ruderal	Annual herb	22
Ligustrum obtusifolium Siebold & Zucc.	Forest	Tree	21
Smilax sieboldii Miq.	Pioneer	Shrub	20
Phryma leptostachya var. *asiatica* H. Hara	Pioneer	Perennial herb	20
Rubus crataegifolius Bunge	Pioneer	Shrub	19
Celastrus orbiculatus Thunb.	Pioneer	Tree	18
Polygonatum odoratum var. *pluriflorum* (Miq.) Ohwi	Herb	Perennial herb	17
Stellaria media (L.) Vill.	Ruderal	Annual herb	17
Erigeron annuus (L.) Pers.	Ruderal	Annual herb	16
Humulus japonicus Sieboid & Zucc.	Ruderal	Annual herb	16
Morus bombycis Koidz.	Pioneer	Tree	15
Acer tataricum subsp. *ginnala* (Maxim.) Wesm.	Forest	Tree	15
Artemisia princeps Pamp.	Ruderal	Perennial herb	15
Corylus sieboldiana Blume	Forest	Tree	15
Celastrus flagellaris Rupr.	Pioneer	Tree	15
Asplenium incisum Thunb.	Epilithic	Perennial herb	14
Athyrium yokoscense (Franch. & Sav.) Christ	Forest	Perennial herb	14
Isodon inflexus (Thunb.) Kudo	Herb	Perennial herb	14
Prunus sargentii Rehder	Forest	Tree	13
Potentilla fragarioides var. *major* Maxim.	Herb	Perennial herb	13
Dioscorea tokoro Makino ex Miyabe	Forest	Perennial herb	12
Quercus mongolica Fisch. ex Ledeb.	Forest	Tree	12
Pueraria lobata (Willd.) Ohwi	Pioneer	Perennial herb	12
Clematis apiifolia DC.	Pioneer	Shrub	11

Scientific name	Vegetation type	Life cycle	Occurrence frequency
Amphicarpaea bracteata subsp. *edgeworthii* (Benth.) H.Ohashi	Ruderal	Annual herb	11
Melica onoei Franch. & Sav.	Forest	Perennial herb	11
Rhododendron mucronulatum var. *ciliatum* Nakai	Forest	Shrub	11
Miscanthus sinensis var. *purpurascens* (Andersson) Rendle	Herb	Perennial herb	10
Pinus rigida Mill.	Artificial afforestation	Tree	9
Persicaria senticosa (Meisn.) H.Gross ex Nakai	Ruderal	Annual herb	9
Arundinella hirta (Thunb.) Tanaka	Herb	Perennial herb	9
Festuca ovina L.	Herb	Perennial herb	8
Juniperus rigida Siebold & Zucc.	Forest	Tree	8
Phytolacca americana L.	Ruderal	Perennial herb	8
Pinus koraiensis Siebold & Zucc.	Forest	Tree	8
Galium spurium var. *echinospermon* (Wallr.) Hayek	Ruderal	Annual herb	7
Ribes fasciculatum var. *chinense* Maxim.	Forest	Shrub	7
Pyrola japonica Klenze ex Alef.	Forest	Perennial herb	7
Rubus parvifolius L.	Pioneer	Shrub	7
Adenophora triphylla var. *japonica* (Regel) H. Hara	Herb	Perennial herb	7
Lespedeza cyrtobotrya Miq.	Pioneer	Shrub	7
Pteridium aquilinum var. *latiusculum* (Desv.) Underw. ex A. Heller	Herb	Perennial herb	6
Styrax japonicus Siebold & Zucc.	Forest	Tree	6
Conyza canadensis (L.) Cronquist	Segetal	Annual herb	6
Smilax nipponica Miq.	Forest	Perennial herb	6
Achyranthes japonica (Miq.) Nakai	Pioneer	Perennial herb	6
Disporum smilacinum A. Gray	Forest	Perennial herb	6
Cephalanthera longibracteata Blume	Forest	Perennial herb	6
Viola mandshurica W.Becker	Herb	Tree	6
Crassocephalum crepidioides (Benth.) S.Moore	Ruderal	Annual herb	6
Aster scaber Thunb.	Forest	Perennial herb	6
Bidens biternata (Lour.) Merr. & Sherff ex Sherff	Ruderal	Annual herb	6
Dendranthema zawadskii var. *latilobum* (Maxim.) Kitam.	Epilithic	Perennial herb	5
Solanum nigrum L.	Ruderal	Annual herb	5
Maackia amurensis Rupr. & Maxim.	Forest	Tree	5
Chimaphila japonica Miq.	Forest	Perennial herb	5
Fraxinus rhynchophylla Hance	Forest	Tree	5
Solanum lyratum Thunb.	Ruderal	Perennial herb	5
Rhus javanica L.	Pioneer	Tree	5
Indigofera kirilowii Maxim. ex Palib.	Pioneer	Shrub	4
Duchesnea indica (Andr.) Focke	Ruderal	Perennial herb	4
Prunus persica (L.) Batsch	Artificial afforestation	Tree	4
Lactuca raddeana Maxim.	Forest	Annual herb	4
Galium verum var. *asiaticum* Nakai	Herb	Perennial herb	4
Desmodium podocarpum var. *mandshuricum* Maxim.	Forest	Perennial herb	4
Lactuca indica L.	Ruderal	Annual herb	4
Dryopteris varia (L.) Kuntze	Forest	Perennial herb	4
Celtis sinensis Pers.	Forest	Tree	4
Euonymus alatus f. *ciliatodentatus* (Franch. & Sav.) Hiyama	Forest	Shrub	4
Persicaria thunbergii (Siebold & Zucc.) H.Gross	Wetland	Annual herb	3

Scientific name	Vegetation type	Life cycle	Occurrence frequency
Acer palmatum Thunb.	Forest	Tree	3
Oenothera biennis L.	Ruderal	Annual herb	3
Aralia elata (Miq.) Seem.	Pioneer	Tree	3
Metaplexis japonica (Thunb.) Makino	Pioneer	Perennial herb	3
Menispermum dauricum DC.	Ruderal	Shrub	3
Eleutherococcus sessiliflorus (Rupr. & Maxim.) S.Y.Hu	Forest	Shrub	3
Crepidiastrum denticulatum (Houtt.) Pak & Kawano	Ruderal	Annual herb	3
Viburnum dilatatum Thunb.	Forest	Tree	2
Lindera glauca (Siebold & Zucc.) Blume	Forest	Shrub	2
Scutellaria indica L.	Herb	Perennial herb	2
Dryopteris crassirhizoma Nakai	Forest	Perennial herb	2
Platycarya strobilacea Siebold & Zucc.	Forest	Tree	2
Zelkova serrata (Thunb.) Makino	Forest	Tree	2
Firmiana simplex (L.) W.F.Wight	Artificial afforestation	Tree	2
Viburnum carlesii Hemsl. ex F.B.Forbes & Hemsl.	Forest	Shrub	2
Lespedeza cuneata G.Don	Herb	Perennial herb	2
Atractylodes ovata (Thunb.) DC.	Forest	Perennial herb	2
Themeda triandra var. *japonica* (Willd.) Makino	Herb	Perennial herb	2
Lespedeza bicolor Turcz.	Pioneer	Shrub	2
Kalopanax septemlobus (Thunb.) Koidz.	Forest	Tree	2
Albizia julibrissin Durazz.	Pioneer	Tree	2
Amorpha fruticosa L.	Ruderal	Shrub	2
Mosla dianthera (Buch.-Ham. ex Roxb.) Maxim.	Segetal	Annual herb	2
Dianthus chinensis L.	Herb	Perennial herb	2
Parthenocissus tricuspidata (Siebold & Zucc.) Planch.	Pioneer	Tree	1
Carex humilis var. *nana* (H.Lév. & Vaniot) Ohwi	Forest	Perennial herb	1
Dryopteris chinensis (Baker) Koidz.	Forest	Perennial herb	1
Sicyos angulatus L.	Ruderal	Annual herb	1
Ailanthus altissima (Mill.) Swingle	Pioneer	Tree	1
Setaria viridis (L.) P.Beauv.	Ruderal	Annual herb	1
Athyrium niponicum (Mett.) Hance	Pioneer	Perennial herb	1
Aster tataricus L.f.	Herb	Perennial herb	1
Betula chinensis Maxim.	Forest	Tree	1
Persicaria longiseta (Bruijn) Kitag.	Ruderal	Annual herb	1
Carex japonica Thunb.	Forest	Perennial herb	1
Rhus succedanea L.	Pioneer	Tree	1
Securinega suffruticosa (Pall.) Rehder	Pioneer	Tree	1
Eragrostis ferruginea (Thunb.) P.Beauv.	Road	Perennial herb	1
Peucedanum terebinthaceum (Fisch.) Fisch. ex DC.	Pioneer	Perennial herb	1
Cudrania tricuspidata (Carr.) Bureau ex Lavallée	Pioneer	Tree	1
Clerodendrum trichotomum Thunb.	Pioneer	Tree	1
Ulmus davidiana var. *japonica* (Rehder) Nakai	Forest	Tree	1
Ambrosia trifida L.	Ruderal	Annual herb	1
Gypsophila oldhamiana Miq.	Herb	Perennial herb	1
Aralia cordata var. *continentalis* (Kitag.) Y.C.Chu	Pioneer	Perennial herb	1
Gynostemma pentaphyllum (Thunb.) Makino	Pioneer	Perennial herb	1
Eucommia ulmoides Oliv.	Artificial afforestation	Tree	1

Scientific name	Vegetation type	Life cycle	Occurrence frequency
Viola collina Besser	Forest	Perennial herb	1
Eupatorium japonicum Thunb.	Herb	Perennial herb	1
Patrinia villosa (Thunb.) Juss.	Herb	Perennial herb	1
Dioscorea batatas Decne.	Pioneer	Perennial herb	1
Patrinia scabiosifolia Fisch. ex Trevir.	Herb	Perennial herb	1
Kummerowia striata (Thunb.) Schindl.	Ruderal	Annual herb	1
Persicaria perfoliata (L.) H.Gross	Ruderal	Annual herb	1
Betula davurica Pall.	Forest	Tree	1
Impatiens textori Miq.	Forest	Annual herb	1
Bidens frondosa L.	Ruderal	Annual herb	1
Digitaria ciliaris (Retz.) Koel.	Ruderal	Annual herb	1
Salix koreensis Andersson	Forest	Tree	1
Elaeagnus umbellata Thunb.	Pioneer	Tree	1
Lindera erythrocarpa Makino	Forest	Shrub	1
Asparagus schoberioides Kunth	Herb	Perennial herb	1
Fatoua villosa (Thunb.) Nakai	Segetal	Annual herb	1
Dendranthema boreale (Makino) Ling ex Kitam.	Pioneer	Perennial herb	1
Cynanchum paniculatum (Bunge) Kitag.	Herb	Perennial herb	1
Agropyron ciliare (Trin.) Franch.	Ruderal	Annual herb	1
Leibnitzia anandria (L.) Turcz.	Herb	Perennial herb	1
Fraxinus sieboldiana Blume	Forest	Tree	1
Prunus tomentosa Thunb.	Artificial afforestation	Shrub	1
Carex nervata Franch. & Sav.	Herb	Perennial herb	1
Clematis brachyura Maxim.	Pioneer	Shrub	1
Akebia quinata (Houtt.) Decne.	Pioneer	Shrub	1
Clematis terniflora var. *mandshurica* (Rupr.) Ohwi	Pioneer	Shrub	1
Prunus japonica var. *nakaii* (H.Lév.) Rehder	Forest	Shrub	1
Geranium thunbergii Siebold & Zucc.	Herb	Perennial herb	1
Larix kaempferi (Lamb.) Carrière	Artificial afforestation	Tree	1
Callicarpa japonica Thunb.	Forest	Shrub	1
Dennstaedtia hirsuta (Sw.) Mett. ex Miq.	Epilithic	Perennial herb	1
Abies holophylla Maxim.	Artificial afforestation	Tree	1
Artemisia japonica Thunb.	Herb	Perennial herb	1
Lespedeza maximowiczii C.K.Schneid.	Pioneer	Shrub	1
Rhododendron mucronulatum Turcz.	Forest	Shrub	1
Agrimonia pilosa Ledeb.	Road	Perennial herb	1
Ulmus parvifolia Jacq.	Forest	Tree	1
Cedrela sinensis Juss.	Artificial afforestation	Tree	1
Carex breviculmis R.Br.	Herb	Perennial herb	1
Campanula punctata Lam.	Herb	Perennial herb	1
Lysimachia clethroides Duby	Herb	Perennial herb	1
Circaea mollis Slebold & Zucc.	Forest	Perennial herb	1
Sorbus alnifolia (Siebold & Zucc.) C.Koch	Forest	Tree	1
Chamaecyparis obtusa (Siebold & Zucc.) Endl.	Artificial afforestation	Tree	1
Chenopodium album L.	Ruderal	Annual herb	1