

사천지역 소나무 건조피해목 제거에 따른 소나무임분의 생태적 특성

Ecological Characteristics on Dry Damaged Trees Removal of *Pinus densiflora* Stand in Sacheon

김희주¹, 김태운², 문현성², 박준호¹, 정한복¹

¹경상남도산림환경연구원, ²경상대학교 산림자원학과

Abstract

2009년 봄, 전년도 겨울부터 지속된 고온과 가을에 인한 수분스트레스로 소나무 건조피해 고사목이 대량 발생하였다. 본 연구에서는 건조피해가 많았던 사천지역을 대상으로 수분스트레스와 피해목 제거에 따른 교란이 소나무임분에 미치는 영향을 알아보고자 건조피해지의 토양환경, 산림식생구조, 식물상, 연륜을 분석하였다. 토양분석 결과, 토양 pH, 유기물함량, 전질소함량, 유효인산 함량은 피해지가 미피해지보다 다소 높게 나타났고, 토양함수량은 미피해지가 다소 높았다. 피해지에서는 총 93종이 출현하였고, 미피해지에서는 총 90종이 출현하였다. 교목층에서는 피해지와 미피해지 모두 소나무와 굴송이 우점하였다. 아교목층은 피해지의 경우 개운나무, 개웃나무가 우점하였고 미피해지는 소나무와 졸참나무가 우점하였다. 관목층에서는 피해지와 미피해지 모두 개웃나무가 우점하였고, 초본층에서는 피해지와 미피해지 모두 주름조개풀과 담쟁이 덩굴이 우점하였다. 종다양도는 피해지의 종다양도와 균제도가 미피해지보다 다소 낮고 우점도가 높아 생태적 안정성이 낮은 것으로 나타났다. 흉고직경과 수고분포를 분석한 결과, 대체로 동일 직경급에서는 피해지가 미피해지보다 수고생장이 상대적으로 양호한 것으로 나타났다. 건조피해 발생 후 평균연륜생장률은 피해지가 미피해지보다 다소 낮았다.

Introduction

최근 1990년대 후반부터 서울, 무주, 사천 등지에서 소나무가 집단적으로 고사하였으며, 특히 2009년에는 총 피해면적 8,416ha, 974천본이 피해를 입었고, 경남에 그 피해가 집중되었는데 전체피해의 85.6%(7,130ha, 834천본)에 달했다(산림청, 2009). 우리나라를 대표하는 수종인 소나무의 여러 요인들에 의한 피해와 고사, 쇠퇴현상이 발생하고 있고 계속될 전망이지만 소나무 제거 후 임분, 식생구조 변화 등에 관한 국내연구는 미진한 상태이다. 2009년 소나무 건조피해가 대부분 경남지역에서 발생하였고 특히 자생지 분포의 남한계선 부근에 집중적으로 발생하였다는 점에서 이 지역의 피해를 대상으로 한 기초생태학적 접근과 장기모니터링에 의한 자료의 축적이 필요하다. 이러한 자료의 축적은 피해임분의 산림식생구조와 식물상을 비롯한 산림생태적 적응과 회복과정의 이해, 피해임분의 효율적인 관리방안과 기후변화에 대응하기 위한 산림보호의 기술적 전략마련에 기초적인 자료가 될 것이다. 이에 기후변화에 대응하여 소나무 보호를 위한 기술적 전략과 효율적인 관리방안 마련에 기초자료로 활용코자 본 연구에서는 사천지역을 대상으로 피해지와 미피해지의 환경과 식생을 조사하였고, 식물상, 식생구조, 성장특성, 다양한 인자간의 상호연관성 등을 연구하였다.

Materials and Methods

조사지

- 지역 설정 : 2009년 소나무 건조피해가 대발생한 경남 사천
- 조사구 설정 : 피해지 10개소, 미피해지 20개소로 20m x 20m 설정

기후 및 기상

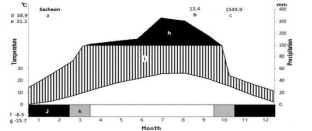


Fig. 1. Climate diagram of the study sites

Table 1. Temperature and precipitation of winter period in the study sites

	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
Temp. '08-'09 (°C)	16.8	8.6	2.5	-0.4	5.9	8.7
Average year	14.9	8.2	2.1	0.3	2.6	7.1
Prep. '08-'09 (mm)	35.2	11.3	2.9	11.5	67.2	69.9
Average year	50.3	49.9	23.8	32.8	51.9	77.2

Result

조사지 임분구조

Table 3. Stand structure of the damaged site

Site	No. of trees (N/ha)	No. of P ¹ (N/ha)	Cutting rate (%)	No. of residual trees (N/ha)	Basal area (m ² /ha)	Mean DBH (cm)	Mean H (m)
Damaged	1,200 (675~2000)	710 (200~1470)	83 (10~56)	493 (60~960)	33 (12.7~50.9)	20.4 (6~42)	11.5 (5~18)
Undamaged	1,465 (660~2825)	850 (325~2200)	-	615 (325~2200)	31 (21.3~40.7)	18.3 (6~42)	10.4 (3~18)

¹ P¹: *Pinus densiflora*

토양 화학성

Table 4. Soil chemical properties of the study sites

Site ¹	SM ² (%)	pH	OM (%)	TN (%)	Avail. P (ppm)	CEC (cmol ⁺ /kg)	Ex. cation (cmol ⁺ /kg)							
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺				
I	21.1a (1.87)	4.80 (0.17)	9.88 (0.39)	0.21 (0.02)	10.6 (1.43)	17.0 (1.55)	1.23 (0.19)	0.39 (0.06)	0.46 (0.04)	0.16 (0.02)				
II	23.4b (1.01)	4.30 (0.12)	7.35 (0.44)	0.18 (0.02)	6.4 (0.82)	14.7 (1.70)	0.77 (0.17)	0.28 (0.04)	0.34 (0.03)	0.15 (0.02)				
Avale	0.007 ^{**}	0.007 ^{**}	0.007 ^{**}	0.006	0.007 ^{**}	0.007 ^{**}	0.007 ^{**}	0.390	0.080	0.007 ^{**}				

¹ I, damaged site; II, undamaged site. ² SM; Soil Moisture, ^{***}: Significant at P < 0.001

식물생태지수

Table 5. Ecological indices of the study sites

Indices	Damage site	Undamaged site	All sites
RI (Rare Index, %)	-	1.1	0.9
EI (Endemic Index, %)	1.1	1.1	1.8
NI (Naturalized Index, %)	2.2	1.1	1.8
Pite-Q (Pteridophyta Index)	0.8	1.1	1.1

종다양도

Table 7. Species diversity index by layer of the study sites

Site ¹	Layer ²	No. of species	No. of individual	Species diversity (H')	Maximum H' (H' max)	Evenness (J')	Dominance (D)
Tree	Tree	7	253	0.481	0.845	0.570	0.430
	Sub-tree	22	175	1.165	1.342	0.868	0.132
	Shrub	38	427	1.367	1.580	0.865	0.135
Herb	Tree	17	212	0.828	1.230	0.673	0.327
	Subtree	27	152	1.415	1.431	0.989	0.011
	Shrub	36	408	1.411	1.556	0.907	0.093

¹ I, damaged site; II, undamaged site. ² T, tree layer; Su, sub-tree layer; Sh; shrub layer

조사 및 분석 방법

1. 조사지 환경

- 1) 입지특성 및 임분구조 : GPS 좌표, 해발고, 사면방위, 경사도, 암노출도, 입목분수, 흉고직경, 흉고단면적
- 2) 토양분석 : 토양함수량, 유기물함량, 전질소함량, 유효인산, 양이온치환용량, 치환성 양이온(농촌진흥청 분석법에 의한)
- 3) 식물상 : Engler 분류체계에 따라 작성
- 3) 식물생태지수 : 희귀종(RI), 특산종(EI), 귀화종(NI), 양치식물계수(PeQ)

Table 2. Calculation process of ecological indices applied this study

Indices	Calculation process
RI (Rare Index)	(No. of rare plants/No. of whole surveyed plants) × 100%
EI (Endemic Index)	(No. of endemic plants/No. of whole surveyed plants) × 100%
NI (Naturalized Index)	(No. of naturalized plants/No. of whole surveyed plants) × 100%
Pite-Q (Pteridophyta Index)	(No. of pteridophyta plants/No. of whole surveyed plants) × 25

4. 식생조사

- 1) 2015년 6-9월 실시 Braun-Blanquet(1964)의 식물사회학적 방법에 층위 구분 조사구내 출현하는 목본식물 중 흉고직경 2cm 이상 되는 수목을 대상으로 매목조사 실시
- 1) 중요치(IV)
 - 교목층, 아교목층, 관목층: Curtis and McIntosh (1951)가 고안한 방법에 따라 상대밀도(RD), 상대피도(RC), 상대빈도(RF)의 합으로 중요치(IV)를 산출
 - 초본층: 피도우점도 계급을 이용하여 상대적 중요치(IV) 산출 상대밀도(RD), 상대빈도(RF) 두가지 상대빈도수 중요치(IV) 산출
- 2) 종다양도(H')
- 2) 종다양도(H')
- 2) Shannon-Wiener의 종다양도 지수 산출
- 5) 흉고직경급 분포
- 1) 출현빈도가 높은 주요 수종에 대하여 흉고직경급별 개체분포를 분석
- 2) 소나무 흉고집중과 수고 분포 분석
- 6) 연륜분석
 - 1) 소경목(18 cm 이하), 중경목(18-30 cm), 대경목(30 cm 이상)으로 구분하고 각 구분별 10개체 이상의 표준목을 선정, 1.2 m 높이에서 성장추를 이용하여 남북방향에서 각각 연륜을 채취, 연륜측정기기(WinDENDRO Ver. 6.3) 이용

층위별 중요치

Table 6. Importance values of the study sites

Layer	Scientific name	Korean name	Importance value	
			Damaged	Undamaged
Tree	<i>Pinus densiflora</i>	소나무	39.0	35.6
	<i>Pinus thunbergii</i>	곰솔	38.1	15.6
	<i>Pinus rigida</i>	리기다소나무	7.2	5.4
	<i>Quercus acutissima</i>	참소나무	7.1	6.7
	<i>Castanea crenata var. dulcis</i>	밤나무	3.4	5.9
	<i>Alnus firma</i>	사방모리	-	6.7
	<i>Prunus sargentii</i>	산딸나무	-	4.6
	<i>Quercus serrata</i>	중참나무	2.1	2.2
	<i>Carpinus tomentosii</i>	개서너나무	-	4.0
	<i>Juniperus rigida</i>	노각나무	-	4.0
	<i>Morus bombycis</i>	사탕무	-	2.5
	<i>Alnus hirsuta</i>	물오리나무	-	2.4
	<i>Cornus controversa</i>	중홍나무	-	2.4
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	아까비나무	-	2.3
	<i>Carpinus cordata</i>	개떡잎나무	-	2.2
	<i>Albizia julibrissin</i>	자귀나무	-	2.1
	<i>Platycarya strobilacea</i>	골짜기나무	-	2.1
	<i>Diospyros lotus</i>	고욤나무	-	1.6
	<i>Pinus densiflora</i>	소나무	7.5	13.8
	<i>Syrax japonica</i>	매나무	17.9	1.7
	<i>Quercus serrata</i>	중참나무	7.5	7.8
	<i>Rhus tricarpa</i>	개웃나무	9.6	3.1
	<i>Castanea crenata var. dulcis</i>	밤나무	6.3	6.2
	<i>Lindera erythrocarpa</i>	비목나무	2.2	4.2
	<i>Juniperus rigida</i>	노각나무	1.8	7.6
	<i>Platycarya strobilacea</i>	골짜기나무	4.6	2.6
	<i>Quercus acutissima</i>	참소나무	2.2	4.2
	<i>Pinus thunbergii</i>	곰솔	2.3	3.8
	<i>Alnus firma</i>	사방모리	3.0	3.1
	<i>Diospyros lotus</i>	고욤나무	2.1	3.6
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	아까비나무	2.0	3.2
	<i>Morus bombycis</i>	사탕무	-	5.2
	<i>Quercus aliena</i>	갈참나무	2.4	2.6
	<i>Carpinus tomentosii</i>	개서너나무	4.7	4.7
	<i>Rhus sylvestris</i>	산딸나무	4.2	-
	<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	2.0	2.2
	<i>Prunus sargentii</i>	산딸나무	-	3.6
	<i>Kalopanax septemlobus</i>	윤나무	-	3.3
The others 14 species		10.9	20.4	
<i>Rhus tricarpa</i>	개웃나무	10.8	9.4	
<i>Quercus aliena</i>	갈참나무	9.0	5.8	
<i>Quercus serrata</i>	중참나무	6.8	6.5	
<i>Lindera erythrocarpa</i>	비목나무	8.4	2.1	
<i>Syrax japonica</i>	매나무	5.8	3.5	
<i>Castanea crenata</i>	밤나무	2.1	7.0	
<i>Lindera obtusiloba</i>	산딸나무	4.4	4.2	
<i>Alnus alata</i>	두릅나무	0.6	0.9	
<i>Lindera glauca</i>	강나무	4.0	3.5	
<i>Symplocos chinensis var. pilosa</i>	노린재나무	3.9	3.5	
<i>Rhododendron yedense for. poukhanense</i>	비목나무	3.8	3.9	
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	산초나무	3.4	2.9	
<i>Juniperus rigida</i>	노각나무	2.2	4.7	
<i>Lespedeza bicolor</i>	싸리	1.2	2.3	
<i>Liquidum obtusilobum</i>	취문나무	4.0	1.4	
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	진달래	2.6	2.1	
<i>Corylus heterophylla</i>	개굴참나무	0.8	3.7	
<i>Diospyros lotus</i>	고욤나무	1.8	2.4	
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	조목싸리	3.6	0.6	
<i>Stephanandra incisa</i>	구수나무	0.6	3.5	
The other 26 species		20.2	19.8	
<i>Opismenus undulatifolius</i>	주름조개풀	10.7	13.0	
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	덩굴야덩굴	7.3	6.9	
<i>Paedaria scandens</i>	덩굴야덩굴	6.0	6.7	
<i>Smilax china</i>	참미레덩굴	4.4	5.6	
<i>Miscanthus sinensis var. purpurascens</i>	벼	5.0	4.6	
<i>Pueraria lobata</i>	개고사리	7.1	1.3	
<i>Carex humilis var. nana</i>	가늘은털그늘초	2.6	4.9	
<i>Wisteria floribunda</i>	고사리	3.6	2.1	
<i>Pteridium aquilinum var. latiusculum</i>	비비초	1.4	3.7	
<i>Hosta longipes</i>	비비초	1.4	3.7	
<i>Vitis coignetiae</i>	마루	3.7	1.3	
<i>Pyrola japonica</i>	두굴나무	0.6	3.7	
<i>Allyrium rhiponum</i>	개고사리	1.6	2.9	
<i>Quercus serrata</i>	중참나무sd	2.1	2.1	
<i>Coccoloba trilobus</i>	덩굴야덩굴	1.9	1.3	
<i>Rubus idemae</i>	중굴야덩굴	1.9	1.6	
<i>Rhus sideroxylon</i>	대소나무	0.5	2.7	
<i>Coccoloba trilobus</i>	덩굴야덩굴	2.3	0.9	
<i>Rhus trichocarpa</i>	갈참나무	1.4	1.6	
<i>Solidago litwinowii</i>	담바리리드	1.4	1.9	
<i>Aster scaber</i>	참취	0.9	1.9	
The other 59 species		28.4	31.4	

흉고직경급 분포

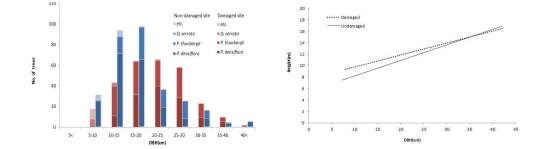


Fig. 2. DBH distribution of the study sites.

Fig. 3. Pattern of height growth according to DBH of *P. densiflora* in the study sites

Figure 3 shows a line graph of annual height growth (m/year) versus DBH (cm) for *P. densiflora*. It compares growth rates in undamaged sites (solid line), sites with small diameter trees (dotted line), and sites with large diameter trees (dashed line). Growth rates generally increase with DBH up to about 15-20 cm and then slightly decrease.

Figure 4 shows a line graph of annual ring growth (mm/year) versus year (2005-2015) for *P. densiflora*. It compares ring growth in undamaged sites (solid line), sites with small diameter trees (dotted line), and sites with large diameter trees (dashed line). The growth rates are relatively stable over time, with a slight increase in the latter part of the period.

Figure 4 shows a line graph of annual ring growth (mm/year) versus year (2005-2015) for *P. densiflora*. It compares ring growth in undamaged sites (solid line), sites with small diameter trees (dotted line), and sites with large diameter trees (dashed line). The growth rates are relatively stable over time, with a slight increase in the latter part of the period.

Figure 4 shows a line graph of annual ring growth (mm/year) versus year (2005-2015) for *P. densiflora*. It compares ring growth in undamaged sites (solid line), sites with small diameter trees (dotted line), and sites with large diameter trees (dashed line). The growth rates are relatively stable over time, with a slight increase in the latter part of the period.

Figure 4 shows a line graph of annual ring growth (mm/year) versus year (2005-2015) for *P. densiflora*. It compares ring growth in undamaged sites (solid line), sites with small diameter trees (dotted line), and sites with large diameter trees (dashed line). The growth rates are relatively stable over time, with a slight increase in the latter part of the period.

Discussion

기후변화에 대응하여 소나무 보전을 위한 기술적 전략과 효율적인 관리방안 마련에 기초자료로 활용코자 본 연구에서는 사천지역을 대상으로 토양, 식생, 연륜 등을 조사하였다. 토양분석은 미피해지가 피해지보다 높았고, pH, 유기물함량, 전질소함량, 유효인산, 양이온치환용량은 피해지가 높은 것으로 나타났다. 식물생태지수 분석결과 미피해지가 새로운 종의 침입과 유입이 더 자유롭고, 환경 교란과 척박함의 정도가 다소 커 식물종이 안정적이고 균형있는 생육에 유리할 것으로 판단된다. 중요치 분석 결과 미피해지와 비교했을 때 피해지의 아교목층과 관목층에서 소나무는 존재하지 않거나, 중요치가 아주 낮았고, 그 자리를 활엽수종이 대신하고 있어 피해지의 경우 미피해지보다 소나무가 도태, 쇠퇴하고 활엽수종이 우점하게 되는 전이의 과정이 더 빨리 진행될 것으로 예상된다. 종다양도는 피해지가 미피해지보다 종다양도와 균제도가 다소 낮으며, 출현종수가 많고 최대종다양도와 우점도가 다소 높게 나타나 미피해지가 피해지보다 다양한 식물종들이 균일하게 분포하는 안정적인 식생을 가지고 있는 것으로 판단된다. 흉고직경급 분포 분석 결과 피해지는 정규분포와 가까운 형태를 보였고 피해지와 미피해지 모두 어린 경급에서 참나무류의 지수발생 비율이 높아 향후 후계림은 생육경쟁으로 인해 참나무류가 우점하고 소나무류가 피압되거나 쇠퇴하는 양상을 보일 것으로 사료된다. 건조피해목 제거 직후 중경목과 대경목은 일시적으로 연륜생장률이 증가하였다가 그 이후 감소하는 경향을 보였고, 소경목에서는 반대로 일시적으로 연륜생장률이 큰 폭으로 감소하였다가 그 이후 감소폭은 점차 작아지는 경향이 나타났다. 건조피해목 제거 후 중경목과 대경목에서는 일반적으로 나타나는 간벌효과로 토양 수분이용, 빛 경쟁 완화 등 환경조건 변화로 직경생장이 촉진되어 건조피해목 제거 1년동안 연륜생장이 급격히 증가한 것으로 판단된다. 배상일 등(2010)은 참나무 일부 내 직경생장 변화는 간벌 직후 간벌쇼크(thinning shock)에 의해 직경생장량이 일시적으로 감소하다가 그 이후 점차 증가하는 경향을 나타냈다고 하였다. 본 연구에서 건조피해목 제거 직후 소경목의 연륜생장률이 일시적으로 감소한 것과 일치하는 경향을 보였다. 간벌쇼크는 갑자기 광선에 노출된 잎이 황화현상을 일으키거나, 생장잠수, 소나무 등으로 나타나는 데이(경준, 1995), 중경목, 대경목에 비하여 비교적 환경변화에 대한 저항력이 약한 소경목이 갑작스러운 수분스트레스와 임분의 소개로 간벌쇼크 현상을 보여 나타난 결과로 판단된다.