

산불 후 입지에 따른 소나무 분포와 환경 요인

- 강원도 고성군을 중심으로 -

신문현¹⁾²⁾ · 임주훈¹⁾ · 공우석²⁾

¹⁾ 국립산림과학원 산림수토보전과 · ²⁾ 경희대학교 지리학과

Relationship between Environment Factors and Distribution of *Pinus densiflora* after Fire in Goseong, Gangwon Province, Korea

Shin, Moon-hyun¹⁾²⁾ · Lim, Joo-Hoon¹⁾ and Kong, Woo-suk²⁾

¹⁾ Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute,

²⁾ Department of Geography, Kyunghee University.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effect of forest fire on natural distribution and regeneration of *Pinus densiflora* Sieb. & Zucc. in Goseong, Gangwon province, Korea. After 13 years of the last forest fire in 2000, five investigation plots (10m×10m) in each of rocky land and ridge, the well-known location as a favorite site for natural distribution of *P. densiflora*, were set to investigate stand characteristic and soil environment including physico-chemical properties and moisture contents of soil. Also, five investigation plots in slope area were set and investigated as well. The concentration of organic matter, total nitrogen, and exchangeable nutrients (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) were highest in the slope while the soil in the rocky land showed the lowest concentration of organic matter, total nitrogen, available P_2O_5 , and exchangeable nutrients (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). The soil in the slope only showed higher concentration of total nitrogen, K^+ and Ca^{2+} than the unburned area in Goseong. Mean soil moisture contents in the rocky land (5.77%) were lowest while the slope

First author : Shin, Moon-hyun, Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute & Department of Geography, Kyunghee University,
Tel : +82-10-5250-7291, E-mail : shinjimix@khu.ac.kr

Corresponding author : Lim, Joo-hoon, Division of Forest Soil and Water Conservation, Korea Forest Research Institute,
Tel : +82-10-7119-1871, E-mail : forefire@forest.go.kr

Received : 3 December, 2013. **Revised** : 11 April, 2014. **Accepted** : 17 April, 2014.

(15.78%) and the ridge (15.27%) showed almost three times as much than the rocky land. *P. densiflora* was dominant in the rocky land and *Quercus* spp. were dominant in the ridge and slope. The average proportion of *P. densiflora* was highest in rocky land (58.4%, 14.6 trees per plot) followed by the ridge (25.2%, 7.8 trees per plot) and the slope (11.3%, 3.4 trees per plot) while the average height of *P. densiflora* was highest in slope (277cm) followed by the ridge and the rocky land. The height and crown width of *Quercus* spp. were higher than *P. densiflora* in the every plot. The results suggest that *P. densiflora* may be able to naturally regenerate and survive in the rocky land after the fire while *P. densiflora* in the ridge and the slope are suppressed by *Quercus* spp.

Key Words : *Vegetation cover, Soil property, Soil moisture, Type of tree, Competition.*

I. 서 론

산불은 산림 생태계를 교란시키는 대표적인 원인 가운데 하나로 산림 환경 및 식생 변화에 직·간접적으로 지대한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Hungerford *et al.*, 1991; Korea forest research institute, 1996; Lee, 2012; Rab, 1996). 우리나라에서는 최근 16년간(1997~2012) 연평균 약 440건의 산불이 발생하여, 매년 2,658ha의 산림이 소실되었으며, 이는 1980년대와 1990년대 각각 연평균 237건과 336건의 산불이 발생하여 1,102ha와 1,399ha의 산림에 피해를 입힌 것과 비교하여 크게 증가된 수치이다(Forest service, 2012; Lim, 2002). 1996년 고성 산불과 2000년 동해안 산불, 2005년 양양 산불에서 확인할 수 있듯이 대형 산불은 주로 동해안 지역에서 발생하고 있으며 피해는 소나무 단순림과 침·활 혼효림에 집중되어 있다. 특히 2000년 동해안 산불의 경우는 피해 면적의 약 70%가 소나무림이었으며, 침·활 혼효림과 활엽수림은 각각 28%와 3%에 그쳤다(Joint investigation group for forest fire in the east coastal region of Korea, 2000; Chung *et al.*, 2004).

소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)는 백두산에서 제주도에 이르기까지 한반도 전역에 분포하는 우리나라의 대표적 침엽수로 주로 난대

및 온대 지역에 분포하고 있어 난대·온대성 수종으로 분류된다(Korea forest research institute, 1999; 2012). 소나무가 속한 소나무속(*Pinus*)은 현재 우리나라에 자생하는 송백류(松栎類, pines) 가운데 가장 먼저 한반도에 정착하였으며 중생대 백악기(약 1억 4천 5백만~6천 5백만 년 전)에 황해도와 전북 등지에 걸쳐 분포하였다(Kong, 2004). 소나무는 주로 산불이나 산사태, 홍수, 인간간섭 등과 같은 교란 활동으로 인해 퇴행 천이가 나타나는 곳에서 선구 식물(Pioneer plant)으로 나타나며, 암석지나 일부 능선부의 척박한 지역도 대표적 입지로 알려져 있다(Kim, 2005).

동해안 지역의 식생은 후빙기 기온 상승과 함께 참나무류와 소나무가 지속적으로 우점해 왔다. 소나무는 약 6,500년 전부터 동해안 지역에 급격히 세력을 확장하였으며, 산불이나 여름철 폭우로 인한 침식과 같은 자연 교란이 그 원인으로 지목되고 있다(Fujiki and Yasuda, 2004). 반면 지난 2000년 동안의 소나무 우점은 인위적인 간섭에 따른 것으로 여겨지고 있다. 땔감 채취 등으로 인해 소나무와 경쟁 관계에 있는 활엽수들이 지속적으로 제거되었으며, 토양이 척박한 상태로 유지되어 소나무림이 토양 극상으로 유지될 수 있었다. 조선시대에는 금산(禁山) 또는 봉산(封山) 정책으로 소나무 육림과 보호가 이뤄졌으며(Kim *et al.*, 2011), 특히 동

해안 지역은 고가의 산림 부산물인 송이가 생산되고, 금강송과 같은 양질의 소나무가 자라기 때문에 우리나라의 대표적 소나무 우점 지역으로 인식되고 있다.

우리나라 산림은 1973년 이래 성공적으로 진행된 치산 녹화 사업으로 가연 물질의 양이 많아져 산불이 대형화 될 가능성이 높아지고 있으며, 주로 산불에 취약한 소나무림이 큰 피해를 입을 것으로 보인다(Forest service, 2006). 산불과 소나무에 대한 개별적인 연구들이 다수 진행된 것에 비해 산불이 소나무의 갱신과 분포에 미치는 영향 및 환경 요인과의 관계에 대한 종합적인 연구는 부족하다.

따라서 본 연구에서는 동해안 지역인 강원도 고성군에서 산불이 소나무의 갱신 및 분포 변화에 미치는 영향을 파악하고자 마지막 산불 발생으로부터 13년 후 입지별로 소나무를 중심으로 임분 환경 및 토양 조사를 실시하여 산불 후 소나무 분포와 환경 요인과의 관계를 분석하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험지 개황

강원도 고성군 토성면 및 죽왕면 일대는 100ha 규모의 자연 복원 지역(국립산림과학원 시험지)이 소재하는 곳으로서 이외의 지역은 소나무, 곰솔, 잣나무, 자작나무 등 다양한 수종으로 조립되어 있다. 자연 복원 지역은 1996년 산불 당시 기존 조림 사업에 대한 토양 침식 등의 문제제기와 함께 생태적이고 환경 훼손이 적은 복원의 필요성이 대두됨에 따라 산불 피해를 자연 복원시켜 모니터링 하는 지역이며, 조림지는 지역 환경에 적합한 수종과 지역 경제에 이익이 될 수 있는 수종, 주민 선호 수종 등을 선정하여 인공 복원시킨 곳이다.

이 지역은 연중 내내 동해로부터 유입되는 해풍의 영향으로 인해 연평균 기온이 12.2°C로

비교적 온화하며, 연강수량은 전국 평균 강수량(1,308mm)보다 높은 1,402.2mm이다. 겨울철에는 강한 북서계절풍의 영향으로 폭풍현상이 나타나며, 4-5월에는 태백산맥의 지형 및 기상학적인 원인이 복합적으로 작용한 폭풍현상이 나타난다(<http://www.kma.go.kr>).

모암은 주로 중생대 주라기의 흑운모화강암이며, 일부 낮은 산봉우리에 플리그-돛형 현무암지가 나타나고 있다(Koh and Yun, 2005). 토양은 주로 갈색산림토양이 나타나지만 구릉지 등에서는 침식토양이 나타나고 있으며 노년기 지형으로 구릉성 산지를 이루고 있다(Lee *et al.*, 1997).

2. 조사구 선정

조사지역은 1996년 고성 산불과 2000년 동해안 산불이 발생한 산림 지역 가운데 산불 이전에 소나무림이었으며, 수관화 피해가 발생한 지역으로 조림된 이후 방치되거나 인간 간섭이 최소한으로 나타나 상당기간 자연 복원이 진행된 지역을 대상으로 선정하였다.

산불 후 소나무의 분포와 환경 요인을 확인하기 위하여 소나무의 대표적 입지로 알려진 암석지와 능선부에 각각 5개소의 임분 및 토양환경 조사구를 선정하였으며 사면부 5개소를 대조구로 선정하였다(Table 1, Figure 1).

3. 조사방법

산불 후 입지별 소나무의 분포와 환경 요인과의 관계를 구명하기 위해 10m × 10m 규모의 조사구 15개소를 설치하고 조사지의 좌표, 고도(m), 토심(3반복, cm), 식피율(%), 평균경사(도), 낙엽층 심도(5반복, 단위: 1cm이하, 1~5cm, 5~10cm, 10~15cm, 15cm 이상), 수종, 수고, 근원경, 소나무 임령, 그리고 수관폭을 조사하였다.

식피율은 Braun-Blanguet의 피도 계급에 따라 1 : 5% 이하, 2 : 5~25%, 3 : 25~50%, 4 : 50~75%, 5 : 75% 이상으로 구분하여 조사구 전체 피도를 조사하였다(Wikum and Shanholtzer,

Table 1. The selected sites to investigate stands and environment factors including physico-chemical properties of surface soil, vegetation cover degree, soil moisture content, and effective soil depth.

Plot No.	Classification	Administrative District	Altitude (m)	GPS Coordinate	
				Latitude	Longitude
1	Rocky Land A	Unbong-ri	86	N 38.294917	E 128.511806
2	Rocky Land B	Unbong-ri	88	N 38.295028	E 128.512111
3	Rocky Land C	Sampo-ri	97	N 38.309861	E 128.493583
4	Rocky Land D	Yachon-ri	136	N 38.304333	E 128.490944
5	Rocky Land E	Yachon-ri	143	N 38.304555	E 128.490528
6	Ridge A	Yachon-ri	67	N 38.306777	E 128.488722
7	Ridge B	Yachon-ri	38	N 38.300750	E 128.503722
8	Ridge C	Yachon-ri	49	N 38.300555	E 128.502611
9	Ridge D	Unbong-ri	40	N 38.288416	E 128.523556
10	Ridge E	Unbong-ri	39	N 38.288750	E 128.524472
11	Slope A	Yachon-ri	46	N 38.308416	E 128.492667
12	Slope B	Unbong-ri	64	N 38.294528	E 128.511889
13	Slope C	Yachon-ri	76	N 38.309167	E 128.492556
14	Slope D	Yachon-ri	45	N 38.300639	E 128.501917
15	Slope E	Unbong-ri	32	N 38.285306	E 128.524667

1978). 유효 토심과 낙엽층 심도는 평균이 되는 곳을 지정하여 각각 3반복과 5반복으로 측정하였다. 조사구내 소나무와 참나무류를 중심으로 교목성 수종의 수종별 개체수, 수고 및 근원경을 조사하였으며, 암석지와 능선의 수목은 수관 폭의 장경과 단경을 측정하였다. 조사구내 소나무는 산불 발생 후 갱신되어 대체로 임령이 낮고, 성장추로 측정할 만큼 직경이 굵지 않아 줄기에서 뺀어 나온 가지의 마디 수를 세어 임령을 조사하였다.

식생 분포와 토양 환경 요인과의 관계를 구명하기 위해 낙엽층을 제거한 뒤 깊이 0~10cm 사이의 토양을 조사구 당 5점씩 총 75점 채취하여 토성(입도 분석), 산도(pH), 유기물(Organic matter), 전질소(Total nitrogen), 유효 인산(Available P₂O₅), CEC, 치환성 양이온(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), EC 를 분석하였으며, 토양 수분 함량을 측정하기 위해

100cc 토양시료켄(Stainless Sampling Tube)을 이용하여 조사구당 5점씩 총 75점의 토양을 추가로 채취하였다.

토양 산도는 유리 전극에 의한 측정법(pH meter HM-30R, TOA-DKK)으로 분석하였으며, 유기물과 전질소함량, 그리고 OM-N 비(Organic matter/nitrogen)는 CNS(Vario Max CN, Elementar Analysensysteme GmbH., Germany)를 통해 분석하였다. K, Na, Ca, Mg와 같은 치환성 양이온은 원자흡광 광도계(Atomic Absorption Spectrophotometry, Thermo)를 이용하여 분석하였고, 전기전도도(EC)는 교류 2전극법(CM-30R, TOA-DKK)을 통해 분석되었다. 유효 인산은 분광 광도계(UV-2501PC, Shimadzu)로 분석하였다.

측정된 값들에 대한 통계분석은 SPSS(Ver. 9.0)를 이용하여 일원배치 분산분석(ANOVA)과 Duncan 분석, Pearson 상관분석 등을 수행하였다.

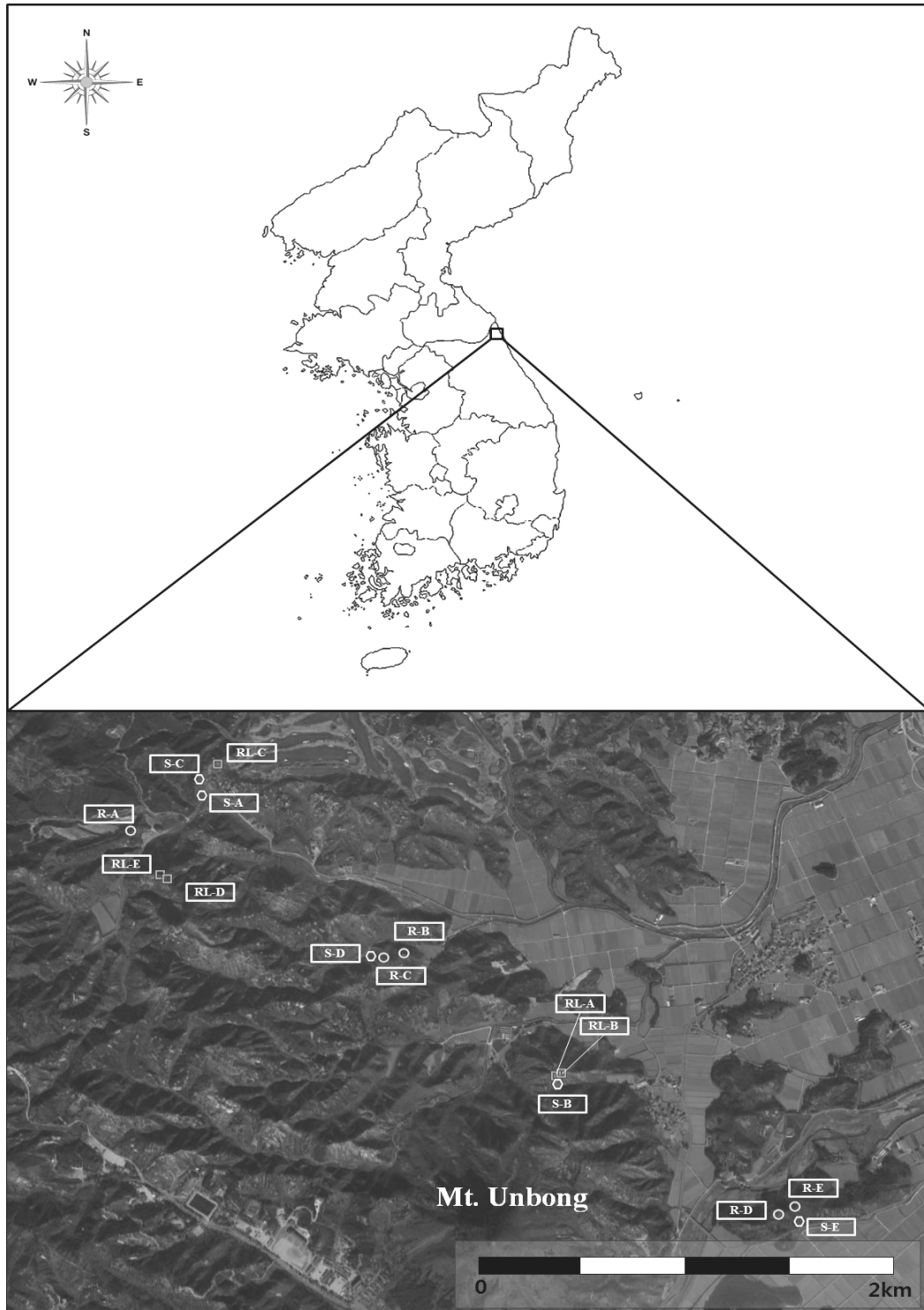


Figure 1. The location of the 15 research plots in Goseong, Gangwon province, Korea. (RL: Rocky land, R: Ridge, S: Slope).

III. 결과 및 고찰

1. 토양 특성

조사된 입지별 토양의 물리·화학적 특성을 비교하기 위해 강원도 고성군 산불피해지 및 미피해지 토양 조사 자료(Lee *et al.*, 1997)와 전국 22개 소나무림의 78개 조사구에서 측정된 A층 토양 화학성(Park *et al.*, 2009) 자료를 활용하였다 (Table 2).

토양 산도는 사면부(5.41)와 암석지(5.46), 능선부(5.50) 모두 산불 직후 고성군 산불피해지 표토층(1-5cm)의 평균값인 5.8에 비해서는 낮았으나 미피해지의 토양 산도 평균값인 5.2에 비해서는 높았다. 또한 입지별로 유의한 차이를 나타내지 않은 가운데 전국 78개 소나무림의 평균 토양 산도 값(5.50)과 비슷한 값을 나타냈다. Lee *et al.*(1997)은 고성 산불 피해지에서 산불 직후 표토층의 토양 산도가 높아졌으며 이러한 현상은 짧은 기간 동안에 한정될 것으로 보았다. 조사 지역의 토양 산도는 산불 발생 이후 13년이 지났기 때문에 모든 입지에서 소나무림의 일반적인 토양 산도(5.0~5.5) 수준으로 회복된 것으로 판단된다(Lee *et al.*, 1997; Park *et al.*, 2009).

토양 양분 함량은 Na^+ 를 제외한 치환성 양이온(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})과 유기물, 전질소 등이 사면부 > 능선부 > 암석지 순으로 높게 나타나 유사한 경향을 보였으며 입지별로 유의한 차이를 나타냈다. 유기물 함량은 전 조사 지역에서 산불 미피해지보다 낮은 값을 나타냈으며, 토양 1kg 내 유효인산 함량은 능선부(18.19mg) > 사면부(16.00mg) > 암석지(10.11mg) 순으로 나타나 암석지를 제외하고는 미피해지의 측정값(16mg) 이상을 상회하는 것으로 나타났다.

암석지의 토양 화학성은 미피해지와 전국 78개 소나무림의 평균 값과 비교하여 볼 때 모든 항목에서 낮은 함량을 나타내었다. 반면 능선부와 사면부는 전질소, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 등 대부분의 토양 양분 함량이 전국 78개 소나무림의 평균 값에 비해 높게 나타났다. 따라서 능선부와 사면부의 토양 화학성은 소나무의 생장에 제한요인이 되지 않을 것으로 판단되며 암석지의 경우에는 양분 부족으로 인해 수목 생육이 제한될 수 있을 것으로 보인다.

토성은 암석지에서 모래 비율이 가장 높았으며 양질사토(LS)가 주로 나타났다. 능선부는 암석지에 비해 모래 비율이 낮고 미사와 점토 비율이 높았으며 사양토(SL)과 양질사토(LS)가

Table 2. Physico-chemical properties of surface soil in the study sites. Burned and unburned means the investigated data in Gosung (Lee *et al.*, 1997), and control means the average chemical properties of surface soil in 78 research plots of pine forest in Korea (Park *et al.*, 2009).

	Sand	Silt	Clay	Soil pH	Organic matter (%)	Total nitrogen (%)	Avail. P_2O_5 (mg/kg)	CEC (cmol _c /kg)	Exchangeable (cmol _c /kg)			
									K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Rocky land	81.6	12.5	6.0	5.46 ^a	1.62 ^a	0.059 ^a	10.11 ^a	-	0.15 ^a	0.09 ^a	0.63 ^a	0.30 ^a
Ridge	72.9	17.3	9.8	5.50 ^a	2.00 ^b	0.149 ^b	18.19 ^b	-	0.28 ^b	0.10 ^a	1.00 ^b	0.74 ^b
Slope	70.6	11.4	18.0	5.41 ^a	3.34 ^c	0.216 ^c	16.00 ^c	-	0.39 ^c	0.10 ^a	1.88 ^c	0.94 ^c
Burned	-	-	-	5.80	7.41	0.290	72.00	11.70	0.52	0.14	4.60	2.33
Unburned	-	-	-	5.20	5.20	0.200	16.00	10.00	0.30	0.16	1.78	1.23
Control	-	-	-	5.50	2.30	0.110	23.80	9.18	0.19	0.27	0.95	0.44

The values indicate with different letters are significantly different with other values ($P < 0.05$).

Table 3. The soil texture in the research plots.

	Sand (S)	Loamy Soil (LS)	Sandy Loam (SL)	Loam (L)	Sandy Clay Loam (SCL)
Rocky land	3	18	4	-	-
Ridge	3	8	9	2	3
Slope	-	5	10	-	10

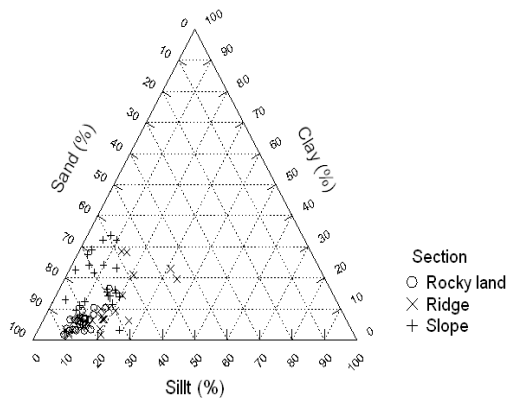


Figure 2. The soil texture of research sites in the soil texture triangle.

주로 나타났다. 대조구인 사면부는 점토 비율이 다른 곳에 비해 높았으며 사질식양토(SCL)와 사양토(SL)가 대부분을 차지하였다(Table 3, Figure 2).

평균 토양 수분 함량은 암석지에서 5.77 %로 나타나 능선부(15.27 %)와 사면부(15.78 %)에 비해 현저히 낮았다. 평균 유효 토심은 암석지와 능선부가 각각 21.3cm와 23.6cm로 유사하였으나, 사면부는 51.8cm로 비교적 깊었다(Figure 3).

Lee and Lee(2003)는 가뭄이 심한 6월 중 산지 토양의 수분함량이 3.7~6.1% 정도까지 낮아지며 이로 인한 수분 결핍으로 어린 소나무의 고사가 나타날 수 있다고 보고하였다. 또한 소나무에 비해 수분 결핍에 대한 저항성이 떨어지는 참나무류에게는 성장과 유묘의 정착 등 다양한 측면에서 더 불리한 요건으로 작용할 것으로 보였다. 따라서 암석지의 낮은 토양 수분 함량은 참나무류 등 경쟁 수종의 정착 및 성장에 불리한 조건을 형성하여 소나무가 분포하기 유리

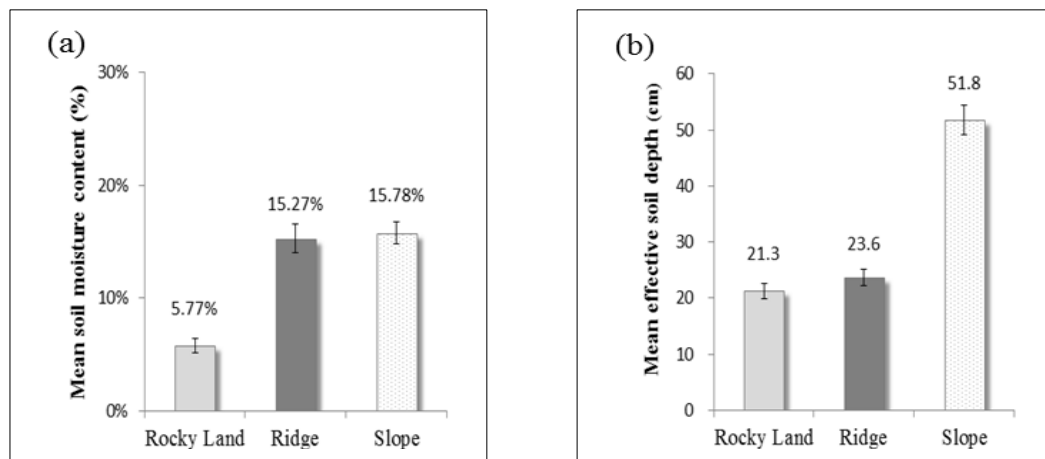


Figure 3. Mean soil moisture content (a) and mean effective soil depth (b) in different location. Error bars indicate standard errors.

한 환경 요인이 될 것으로 판단된다.

토양 분석 결과를 종합해 볼 때 소나무 임분은 주로 건조한 지역에 분포하고 배수가 양호한 토양에서 생장이 좋은 것으로 나타나므로 능선부와 사면부에 비하여 건조하고 배수가 양호한 암석지가 소나무 분포 및 갱신에 유리한 토양 환경 조건을 가진 것으로 판단된다(Korea forest research institute, 2012).

2. 낙엽층 깊이 및 식피율

암석지에서는 낙엽층이 1cm 미만으로 일부 수목의 밑동에만 소량이 나타났으며 전체적으로 토양이 노출된 경관을 나타냈다. 능선부의 낙엽층 깊이는 평균 1~5cm로 지피물이 지표를 고르게 덮고 있었으며, 사면부는 낙엽층이 평균 5~10cm로 비교적 두꺼웠지만 미지형에 따라 두께의 편차가 최대 30cm까지 나타났다. 식피율은 암석지에서는 대체로 50% 미만으로 나타났으며, 능선부와 사면부는 75% 이상으로 비교적 높은 피도 계급을 나타냈다(Table 4). 상관분석 결과 입지별 낙엽층의 깊이는 토양 수분 함량과 정의 상관 관계에 있었다($R^2=0.659$).

3. 입지별 소나무 분포 비율

조사지내 우점수종은 소나무와 신갈나무(*Quercus mongolica*), 굴참나무(*Quercus variabilis*), 졸참나무(*Quercus serrata*) 등을 포함하는 참나무류로 나타났다. 조사구별 소나무의 개체수는 암석

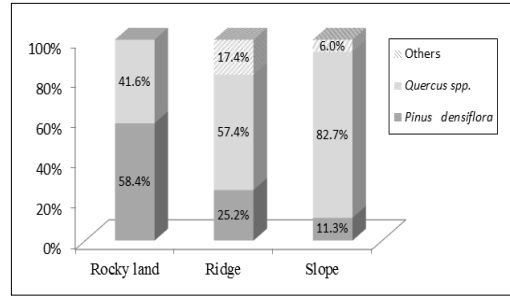


Figure 4. Proportion of stands in the study sites.

지에서 조사구 평균 14.6본으로 가장 많았으며, 능선부가 평균 7.8본, 사면부가 평균 3.4본으로 나타났다. 조사구내 전체 교목성 수목에서 소나무가 차지하는 비율은 암석지에서 58.4%로 우점하고 있었으며, 능선부와 사면부에서는 각각 25.2%와 11.3%로 신갈나무를 비롯한 참나무류에 비해 개체수가 적었다(Figure 4).

4. 입지별 소나무와 참나무류의 수고 및 근원경 비교

소나무와 참나무류의 평균 수고는 사면부에서 각각 277cm와 466.7cm로 가장 높았으며, 능선부, 암석지 순 이었다. 평균 근원경도 수고와 같은 경향을 나타냈다. 평균 수고는 모든 입지에서 참나무류가 소나무보다 높게 나타났으나, 근원경은 암석지와 능선부에서는 참나무류가 높았고 사면부에서는 소나무가 높았다. 사면부에서 소나무의 근원경이 높게 나타난

Table 4. Vegetation cover degree in the study sites. The degrees are evaluated according to the cover degree of Braun-Blanquet(1: below 5%, 2: 5~25%, 3: 25~50%, 4: 50~75%, 5: above 75%).

Plot	Vegetation cover degree		
	Rocky Land	Ridge	Slope & Valley
A	2	5	5
B	4	5	5
C	3	5	5
D	3	4	5
E	3	5	5

것은 산불 직후 조림되었던 소나무 가운데 일부 개체가 아직까지 생존하고 있기 때문인 것으로 보이지만 이미 참나무류들과의 경쟁에서 도태되어 상부 고사가 진행되고 있는 점으로 볼 때 향후 피압 될 가능성이 높을 것으로 판단된다. 사면부의 소나무와 참나무류의 평균 수고는 능선부 평균에 비해 약 2배였으며, 암석지 평균에 비해서는 4배 이상 높았다. 수관 폭은 암석지와 능선부 조사구 모두에서 참나무류가 소나무에 비해 2배 이상 높은 측정치를 나타냈다(Table 5).

5. 수목 성장과 환경요인

암석지 소나무의 평균 임령은 5.3년으로 능선부 7.5년과 사면부 7.0년에 비해 낮게 나타났다. 이는 새로운 소나무 치수 유입이 어려운 사면부 및 능선부와 달리 암석지에서는 1-2년생 소나무

치수가 지속적으로 유입되었기 때문인 것으로 판단된다. 소나무의 입지별 연년생장량은 수고의 경우 사면부 39.5cm, 능선부 17.4cm, 암석지 9.8cm 순이었으며, 근원경은 사면부 11.2mm, 능선부 4mm, 암석지 3.2mm 순으로 나타났다. 이러한 결과는 앞서 언급한 토양내 유기물, 전질소 함량의 경향과 일치하여 토양내 유기물의 증감에 따라 반응하는 것으로 사료된다. Son and Chung(1994)은 토양 수분 및 유효 토심과 유효 인산, 전질소, 치환성 Ca^{2+} 등의 함량이 소나무의 수고생장에 영향을 미친다고 보고한 바 있다.

암석지의 낮은 토양 수분 및 양분 함량은 수목의 성장에 직접적으로 영향을 미쳐 제한된 수고 성장과 관목형 수형의 원인이 된 것으로 보인다. 암석지에서 조사된 소나무와 참나무류는 수고 성장을 충분히 하지 못하여 수관폭이 수고보다 큰 수형을 나타내었다. 이러한 수목의 형

Table 5. Tree height, root collar diameter and width of crown of *Pinus densiflora* and *Quercus* spp.

Growth of the species	Rocky Land		Ridge		Slope	
	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus</i> spp.	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus</i> spp.	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus</i> spp.
Height (cm)	52.2(5.5)	102.4(6.49)	130.6(18.6)	242.9(13.7)	277.0(49.2)	466.7(17.5)
Root Collar Diameter (mm)	17.1(1.61)	27.1(1.63)	29.7(4.90)	50.7(2.92)	79.0(6.37)	66.0(3.10)
Width of Crown(S)	41.5(3.67)	95.6(6.24)	62.3(4.90)	130.4(2.92)	-	-
Width of Crown(L)	55.4(4.77)	131.3(6.87)	77.2(8.37)	162.4(5.86)	-	-

Values in parenthesis are standard errors. S and L respectively indicates shortest and longest.

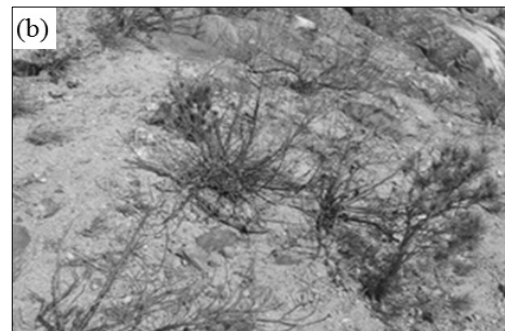


Figure 5. Type of tree of *Pinus densiflora* (a) and *Quercus mongolica* (b) in Rocky land.

태는 관목이나 고산 지역 등에서 생장이 제한된 수목에서 주로 나타나는 것으로 암석지의 건조하고 척박한 환경 요인에 기인한 것으로 판단된다(Figure 5).

동해안 지역 산불 피해지는 자연 복원의 경우 약 20년 정도가 지나면 한국의 전형적인 4층 구조 식생이 복원 될 것으로 예상되고 있으며 조림 후 방치한 자연 복원지는 13년이 경과하면 식생이 상당히 회복될 것으로 보고 있다(Lee *et al.*, 2004; Ministry of environment, 2002). 사면부는 수목의 수고 및 근원경 성장 수준으로 볼 때 이러한 예측과 유사한 식생 회복과정이 진행 중인 것으로 판단되며 능선부는 상대적으로 낮은 토심 및 토양 양분 함량으로 인해 식생 회복이 비교적 더디게 진행되는 것으로 보인다. 반면 암석지는 건조하고 척박한 토양 환경으로 인해 수목 생장이 제한됨에 따라 식생 회복이 가장 느리게 나타나고 있으며 소나무와 참나무류의 분포 비율 또한 다른 지역과 다른 양상을 나타내고 있다.

입지별 환경 요인과 수목 성장을 종합해 볼 때 능선부와 사면부는 참나무류의 수고와 밀도가 비교적 높아 소나무가 생존하기 어려운 환경으로 보이며, 잔존한 소나무도 시간이 경과함에 따라 피압되어 자취를 감출 것으로 판단된다. 이러한 결과는 1996년 고성 산불과 2000년 동해안 산불 후 식생 복원 과정을 분석한 연구 결과 및 예측과도 일치한다 (Joint investigation group for forest fire in the east coastal region of Korea, 2000; Ministry of environment, 2002; Cho *et al.*, 1998; Choung *et al.*, 2004; Lee and Hong, 1998).

능선부 및 사면부와는 다르게 암석지의 소나무들은 비록 성장 속도는 느리지만 비교적 안정적으로 정착하였다. 신갈나무를 비롯한 참나무류들도 암석지에 상당수 분포하고 있으며 수고와 근원경이 소나무에 비해 높았지만 다른 지역에 비해 낮은 성장 및 개체군 밀도로 인해 소나무와 직접적으로 경쟁하거나 영향을 미치지

못하는 것으로 보인다. 즉 암석지에서는 소나무와 참나무류 사이의 종간 경쟁으로 인한 성장 제한이나 피압보다 수목 개체들이 가진 생존 능력이 식생 발달 과정에 보다 중요한 변수인 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 대표적 생태계 교란 요인인 산불이 소나무의 자연 분포 및 갱신에 미치는 영향과 관련하여 소나무의 주요 입지인 암석지와 능선부를 중심으로 산불 발생 13년 후의 임분 및 토양 환경을 조사 및 비교 분석함으로써 산불 후 입지별 소나무의 천이진행 상황을 분석하고 환경 요인과의 관계를 구명하고자 하였다. 결과적으로 소나무는 토양 수분 함량이 낮고 척박한 암석지에서 참나무류와의 경쟁을 피해 자연 분포하는 것으로 판단된다.

산불 발생 13년이 지난 시점에서 강원도 고성군 산불 피해 지역의 암석지에는 능선부 및 사면부와 다르게 소나무가 다수 분포하였다. 이러한 분포 특징은 암석지의 입지 특성 상 토양이 건조하고 배수가 좋으며 얇은 토심과 낮은 토양양분 함량으로 인해 식물 생육이 불리하기 때문에 소나무의 주요 경쟁 수종인 참나무류의 분포가 제한된 점이 원인인 것으로 판단된다. 또한 암석지의 비교적 낮은 수목 개체 밀도와 생장은 소나무와 참나무류 사이에 직접적인 경쟁이 나타나기 힘든 환경을 조성하여 수목 개체의 생존 능력이 암석지 식생 발달에 중요한 요인이 된 것으로 보인다. 따라서 소나무와 함께 참나무류 가운데 척박하고 건조한 지역에서도 잘 적응하는 신갈나무가 암석지에 주로 분포하는 것으로 나타났다.

향후 연구를 통해 산불 후 소나무와 참나무류의 입지별 성장 및 경쟁 과정을 장기적으로 조사하여 단기적인 연구로 추정하기 어려운 소나무의 자연 분포 및 천이 과정을 확인할 필요

가 있으며 이를 통해 홀로세 이후 참나무류와 더불어 한반도의 대표 우점 수종으로 꾸준히 자리잡아온 소나무의 생태적 지위에 대한 보다 명확한 이해가 요구된다.

인용문헌

- Cho, H. J. · J. H. Cho · H. S. Seo · M. S. Choi and J. S. Oh. 1998. Early regeneration of vegetation in the burned forest areas in Kosung county, Korea. FRI. J. For. Sci. 59: 133-142.
- Choung, Y. · B. C. Lee · J. H. Cho · K. S. Lee · I. S. Jang · S. H. Kim · S. K. Hong · H. C. Jung and H. L. Choung. 2004. Forest responses to the large-scale east coast fires in Korea. Forest service. 2006. 2005 White book for big forest fire during the spring (Korean only) pp. 514.
- Forest service. 2012. 2012 Forest fire statistical yearbook (Korean only) pp. 214.
- Fujiki, T. and Y. Yasuda. 2004. Vegetation history during the Holocene from Lake Hyangho, northeastern Korea. Quaternary International 123-125(2004): 63-69.
- Hungerford, R. D. · M. G. Harrington · W. H. Frandsen · K. C. Ryan and G. J. Niehoff. 1991. Influence of fire on factors that affect site productivity. Proceedings- management and productivity of western-montane forest soils. USDA Forest Service General Technical Report INT-280. pp. 32-50.
- Joint investigation group for forest fire in the east coastal region of Korea. 2000. Scrutiny report for the area damaged by forest fire in the east coastal region of Korea I & II (Korean only) pp. 533.
- Kim, J. W. 2005. What is the problem of *Pinus densiflora* with the eastern coast forest fire *Bursaphelenchus xylophilus* in Korea(Korean only). Korean journal of ecology 28(2): 113-120.
- Kim, D. H. · Y. H. Kang and K. I. Kim. 2011. Analysis of forest fires during Chosun dynasty through historical literature survey. J. of Korean institute of fire Science & engineering 24(4): 8-21.
- Koh, J. S. and S. H. Yun. 2005. Petrology on the late Miocene basalts in Goseong-gun, Gangwon province. Jour. Korean earth science society 26(1): 78-92.
- Kong, W. S. 2004. Species composition and distribution of native Korea conifers. Journal of Korean geographical society 39(4): 528-543.
- Korea forest research institute. 1996. Report on ecological investigation of fire damaged area in Gosung. Seoul: KFRI. pp. 169.
- Korea forest research institute. 1999. Restoration of fire damaged area. Seoul: KFRI pp. 179.
- Korea forest research institute. 2012. Economic tree species ① *Pinus densiflora*. KFRI research book No. 59. pp. 250.
- Lee, C. and S. Hong. 1998. Changes of landscape pattern and vegetation structure in rural area disturbed by fire. Korean J. Ecol., 21(4): 389-399.
- Lee, C. and A. Lee. 2003. Ecological importance of water budget and synergistic effects of water stress of plants due to air pollution and soil acidification in Korea. Korean journal of ecology 26(3): 143-150.
- Lee, K. S. · Y. Choung · S. C. Kim · S. S. Shin · C. H. Ro and S. D. Park. 2004. Development of vegetation structure after forest fire in the east coastal region, Korea. Korean journal of ecology 27(2): 99-106.
- Lee, D. G. 2012. Ecological management of forests. Seoul national university press. pp. 471.

- Lee, W. K. · C. Kim · S. H. Cha · Y. K. Kim · J. K. Byun · K. S. Koo and J. W. Park. 1997. Fire effects on soil physical and chemical properties following the forest fire in Kosung. Korean journal of ecology 20(3): 157-162.
- Lim, J. 2002. Fire situation in republic of Korea. Global Fire Monitoring Center IFFN 26: 61-65.
- Ministry of environment. 2002. Studies on the ecosystem restoration and the polices in the east coast fire regions. Research report to ministry of environment. pp. 224.
- Park, N. C. · K. S. Lee and S. Y. Jung. 2009. Estimation of site productivity of *Pinus densiflora* by the soil physico-chemical properties. Korean journal of soil science and fertilizer 42(3): 160-166.
- Rab, M. A. 1996. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *Eucalyptus regnans* forest of Southeastern Australia. For. Ecol. Manage. 84: 159-176.
- Son, Y. M. and Y. G. Chung. 1994. The effects of the topographical, soil and meterological factors on the tree height growth in the *Pinus thunbergii* stands. Jour. Korean For. Soc. 83(3): 380-390.
- Wikum, Douglas A. and G. Frederick Shanholtzer. 1998. Application of the Braun-Blanquet cover-abundance scale for vegetation analysis in land development studies. Environmental Management 2(4): 323-329.
- http://www.kma.go.kr/weather/climate/average_regional01.jsp#a5.