

산불 피해지 복원 방법이 임분 내 미세 기후에 미치는 영향

김정환 · 임주훈* · 박찬우 · 권진오 · 최형태
국립산림과학원

(2015년 2월 17일 접수; 2015년 6월 2일 수정; 2015년 7월 29일 수락)

Effects of Forest Restoration Methods and Stand Structure on Microclimate in Burned Forest Stand

Jeong Hwan Kim, Joo-Hoon Lim*, Chanwoo Park, Jino Kwon and Hyung Tae Choi

Korea Forest Research Institute, Seoul 02455, Korea

(Received February 17, 2015; Revised June 2, 2015; Accepted July 29, 2015)

ABSTRACT

The study was conducted to determine the effects of forest restoration methods and stand structure on solar radiation, air temperature, relative humidity, soil temperature, and soil water content, based on volume, in forest stand after forest fire. The changes of the micro-climate elements in naturally and artificially restored forest after forest fire were measured in Goseong and Samcheok, Gangwon province. *Pinus* spp. were commonly appeared in ridges, barren lands or planted areas of the study sites while the other areas were dominated by *Quercus* spp. In the early stage, trees in the naturally regenerated site grow better than the trees in artificially rehabilitated site. However, the growth ratio rapidly decreased by time passed in natural regeneration area. The environmental conditions (solar radiation, air temperature, relative humidity, soil temperature and soil water content) were significantly different by the regions and the methods ($p < .05$). However, the coefficients of variations of the environmental conditions were not significantly different at 95% confidence level. As the coverage and tree height in crown layer increased, the relative humidity and soil water content were increased while the temperature and solar radiation were decreased. Especially, the relative humidity, solar radiation, and soil water content were clearly affected by the tree height and coverage ratio (R^2 means from 0.628 to 0.924). Even though the data should have collected at least more than 5 years in meteorological analysis, the two year results show some clear relationship between forest structure and microclimate elements.

Key words: Post-fire, Regeneration, Correlation, Temperature, Soil water content, Coverage ratio

I. 서 론

강원도 동해안 저지대의 산림은 주로 소나무 단순림으로 구성되어 있다. 소나무 단순림의 임분 구조는 상층은 소나무로, 중층과 하층은 참나무류 등으로 구성된 형태이다. 상당한 면적의 이 지역 소나무림이

1996년과 2000년 발생한 대형 산불에 의해 소실되었으며, 교란 후 새로운 형태의 천이 과정에 속하는 임분 발달 과정을 거치고 있다.

산불은 자연 생태계의 중요한 교란 요인 중 하나로 토양과 식생에 직접적으로 피해를 입힐 뿐 아니라 주변 환경을 변화시켜 산불 이후 새로운 종의 이입과



* Corresponding Author : Joo-Hoon Lim
(forefire@korea.kr)

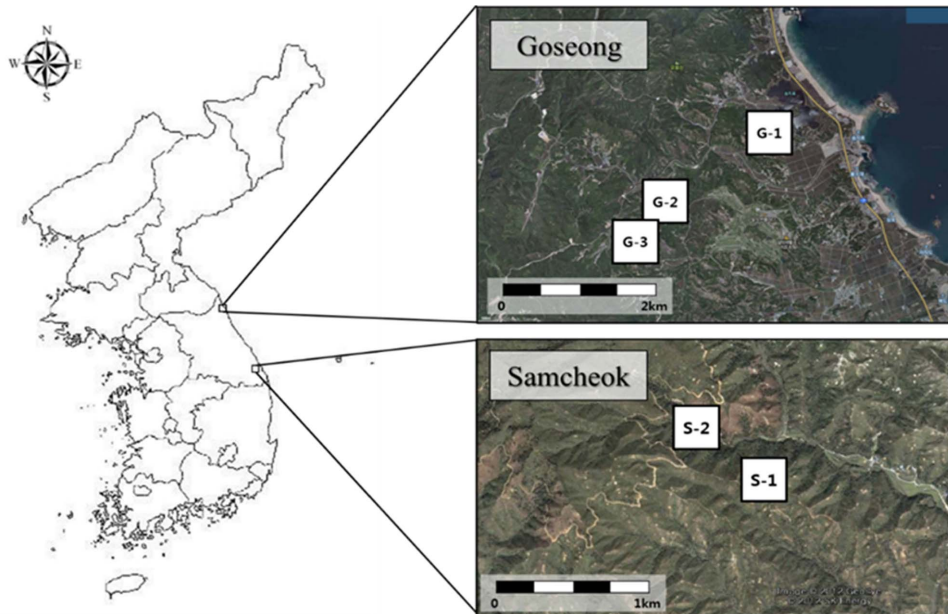


Fig. 1. The geographic location of the study site.

생장, 중간 경쟁과 도태 등에 영향을 미친다. 산불 이후 자연 복원지의 식생 분포 유형은 산불의 형태, 강도를 비롯하여 기존의 분포 수종 및 산불 피해지 인근의 수종, 그리고 토양환경 및 임분의 지형적 위치 등에 따라 달라지며, 어떤 경우에는 산불피해 이전과는 전혀 다른 임분이 형성되는 등 일반적인 교란과는 다른 특성을 보인다(Barnes *et al.*, 1998; Fernandes *et al.*, 2008; Korea Forest Research Institute, 1996; Retana *et al.*, 2002).

산불 피해지의 복원 방법은 크게 인공조림과 자연복원으로 구분할 수 있는데, 복원 방법의 선정은 산불 피해지의 특성과 복원 목적에 따라 달라진다. 인공 조림방법은 목재 생산림이나 송이 생산림, 유실수림과 같이 경제성 추구를 목적으로 하는 지역과 산지 재해 방지림과 같이 산사태 등의 재해 발생을 예방하기 위해 조성하는 산림, 경관조성을 위한 경관림 또는 대면적의 산림이 황폐화되어 집중 호우로 인해 토양이 유실되거나 토성이 크게 나빠질 가능성이 높은 지역에 주로 적용된다. 반면, 자연 복원 방법은 지표화 피해지 또는 국립공원과 같이 숲의 생태적 관리와 자연천이를 우선시하는 지역에 적용한다(Korea Forest Research Institute, 2006).

한편, 임분 내부의 미세 기후는 임분을 구성하는 토양,

수분, 그리고 사면 위치, 방향 등의 비생물적 요인과 식물의 종류와 밀도 등의 생물적 요인에 의해 결정된다. 임분 내부의 기온과 습도, 풍속은 임분의 형태와 수종 구성, 하층 식생의 종류와 크기 등에 의해 변화된다(Chen *et al.*, 1999). 이는 다시 종자의 발아, 하층 식생의 성장과 경쟁에 영향을 끼쳐 상호 작용한다(Chen *et al.*, 1999; Cho *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2013).

본 연구는 산불 피해지에서 복원 방법과 임분의 수종 구성과 성장에 따라 임분 내 미세기후 패턴이 어떻게 변화하는지에 대해 구명하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구 대상지는 강원도 고성군 죽왕면과 삼척시 원덕읍 소재의 국유림으로서 고성은 1996년과 2000년에, 삼척은 2000년에 산불 피해를 받았으며, 해안으로부터 약 4km 가량 떨어져 있다. 고성 조사지의 모양은 화강암이며, 평균 해발고는 약 100m 이다. 삼척 조사지의 모양은 퇴적암이며, 평균 해발고는 약 230m 이다. 그러나 두 지역 모두 태백산맥의 동쪽에 위치할 뿐 아니라 바다에 인접하였기 때문에 해양성 기후의 영향을 많이 받는 '강원해안' 생태 지역에 속한다(Korea Meteorological Administration, 2009; Lim, 2000;

Table 1. Monthly solar-radiation of study site from Jun. 2011 to Jun. 2013 (unit: $W\ m^{-2}\ min^{-1}$)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
G-1	47.5	77.8	112.1	107.4	56.5	43.0	34.9	23.9	45.4	49.2	49.0	41.1
G-2	113.5	159.9	152.8	197.6	189.3	114.7	164.3	146.2	151.1	84.9	119.0	157.9
G-3	92.6	139.0	148.7	200.4	207.8	174.8	186.8	118.8	145.9	142.4	70.6	90.6
S-1	28.3	72.4	119.9	184.3	171.0	149.1	159.3	128.4	101.4	66.2	34.8	21.8
S-2	25.2	22.8	31.1	29.3	25.9	26.3	31.2	30.6	29.7	23.5	27.6	29.6

G, Goseong; S, Samcheok.

Shin and Lee, 2007).

조사구의 설정은 산불피해를 입은 지역 중 능선을 기준으로 2km 이내의 거리에서 복원방법별로 자연 복원지 3개 지점(G-2, G-3, S-1), 인공 조림지 2개 지점(G-1, S-2)으로 구분하여 각 조사구당 10×30m 규모로 설정하였다. 모든 조사구는 최종적으로 2000년에 산불 피해를 받은 지역으로 각 조사 지점은 능선을 중심으로 북쪽 사면과 남쪽 사면으로 약 10~30m 가량 떨어진 위치에 설정하였다. 해당 지역의 연평균 기온은 16.0°C이며, 연 평균 강수량은 1,260mm로 나타났다(Korea Meteorological Administration, 2009).

임분내 기상자료를 측정하기 위해 데이터 로거(SU-4941, Ahlborn, German)를 각 조사구의 가운데 지점에 설치하였다. 데이터로거 설치를 통해 측정된 기상자료는 광량($W\ m^{-2}$), 기온(°C), 대기 중 상대 습도(relative humidity, %), 토양 온도(°C), 그리고 부피기준 토양 내 수분 함량(Soil water content based on volume, %)이며, 각각 solar radiation, air temperature, humidity, soil temperature, soil water content 로 표와 그림에 제시하였다. 각 데이터는 2011년 6월부터 2013년 6월까지 2년에 걸쳐 15분 간격으로 수집하였다. 수집된 데이터 중 삼척 산불피해지의 S-1 조사구의 토양 수분함량 데이터는 2013년 4월 이후부터 센서 이상으로 데이터 분석에서 제외하였다. 그리고 각 조사구에 대한 임분 조사는 매년 9월 중순에 조사하였으며, 조사 항목은 출현종, 임분 밀도, 수고, 근원경, 흉고직경이었다.

15분 단위로 측정된 기상 데이터는 SAS 9.2 와 SPSS 18.0을 이용하여 단위근 검정, 상관분석, 회귀분석을 실시하였다. 기온, 습도, 토양 온도와 토양 수분 함량은 실측 데이터, 일 평균값, 월 평균값, 연 평균값을 사용하였으며, 일사량의 경우 일 평균 합계를 기본으로 사용하였다. 각 측정값에 대한 상관 분석 이후, 상관성이 높은 데이터를 활용하여 회귀 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 산불 피해지의 미세 기후 패턴

2011년 12월부터 2013년 12월까지 고성 산불 피해지와 삼척 산불 피해지 내 자연 복원지와 인공 조림지의 임분 내 기온과 습도, 토양 온도와 수분 함량, 그리고 광량을 조사한 결과를 Table 1에, 시간 경과에 따른 각 변수의 변화와 변동계수를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

고성 산불 피해지의 임분 내 연 평균 기온과 습도는 자연 복원지인 G-2와 G-3의 경우, 12.1, 64.7%로

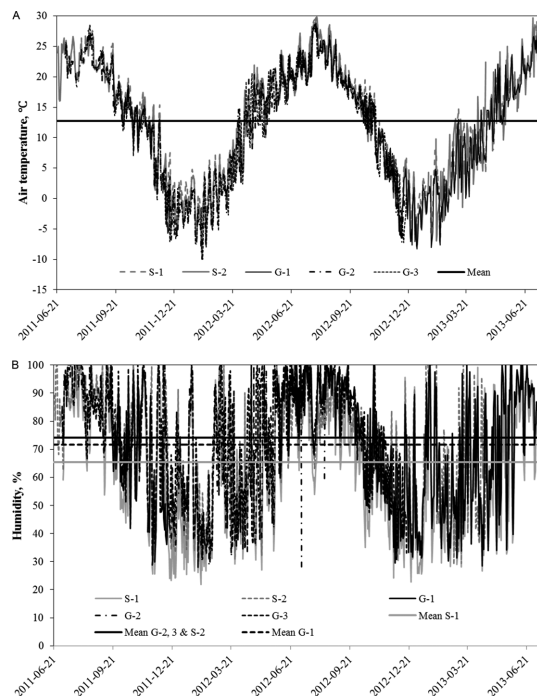


Fig. 2. The complemented time series data of (A) air temperature and (B) humidity during 2 years. Blank data were interpolated by stretcher and curve link.

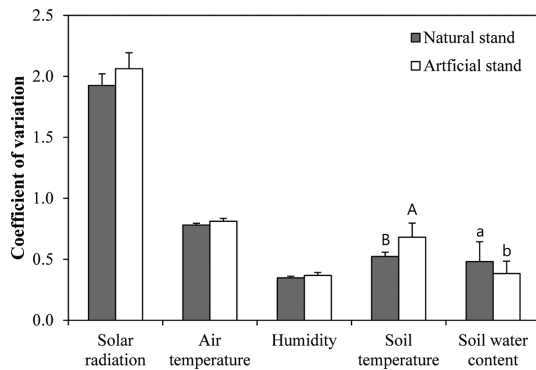


Fig. 3. The coefficient of variation of microclimate elements by restoration methods.

인공 조림지인 G-1의 경우, 12.3, 66.0%로 나타났다. 연 평균 토양 온도와 토양 수분 함량은 자연 복원지에서는 11.5°C, 10.9%로, 인공 조림지에서는 12.0, 23.6%로 각각 나타났다. 그리고 평균 광량은 자연 복원지에서는 4,462W m⁻² d⁻¹로, 인공 조림지에서는 1,790W m⁻² d⁻¹로 나타났다.

삼척 산불 피해지의 경우, 임분 내 연 평균 기온과 습도는 자연 복원지인 S-1조사구에서는 12.7, 60.3%로, 인공 조림지 S-2조사구에서는 12.1, 59.4%로 나타났다. 연 평균 토양 온도와 토양 수분 함량은 자연 복원지에서는 15.2, 21.3%로, 인공 조림지에서는 11.3, 8.8%이었다. 임분 내 광량은 자연 복원지에서는 평균 4,623W m⁻² d⁻¹로, 인공 조림지에서는 평균 3,891W m⁻² d⁻¹로 나타나 일정한 경향을 보이지는 않았지만, 복원 방법 및 지역 간 유의한 차이를 보였다(p<0.01).

자연 복원지의 평균 광량이 인공 조림지의 평균 광량에 비해 높은 경향을 보였는데, 이는 임분을 구성하는 수종과 임분 밀도, 상층목의 수고, 그리고 피복율의 차이로 판단되며, 이에 대한 사항은 '3.3 산불 피해지의 임분 구성이 미세 기후에 미치는 영향'에서 언급하였다.

고성과 삼척 지역에서 조사구의 기온과 습도 조건에 대한 시계열 데이터의 안정성을 단위근 검정을 통해 분석하였는데, 모든 항목에서 단위근이 나타나지 않아 현재까지 축적된 데이터에 대한 안정성은 나타났으나, 이는 측정된 주기가 5주기 미만이기 때문에 실질적으로 본 지역의 임분 내 기상 조건의 안정성에 대한 결론을 내리기에는 다소 어려움이 있을 것으로 판단된다

(Dickey and Fuller, 1979). 복원 방법별로는 변동계수의 차가 통계적으로 유의하지 않았으나, 세부 기상 요소별로는 일정한 패턴을 보였다. 먼저, 광 조건과 이에 직접적으로 영향을 받는 기온과 습도의 경우는 변동계수의 차이가 작은 것에 반해, 2차적으로 영향을 받는 토양 온도와 토양 수분 함량의 경우는 그 차이가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 따라서, 변동계수를 활용하여 복원 방법별 임분 내 미세 기후의 안정성을 비교하기 위해서는 토양 온도와 토양 수분 함량을 우선적으로 확인하는 것이 옳은 것으로 사료된다.

3.2. 각 조사구별 임분 특성

고성 자연 복원지(G-2, 3)의 경우 대부분 참나무류로 구성되어 있고, 수고는 약 2.2±0.8m, 흉고 직경은 약 4.1±1.4cm 이었으며, 층위별 피도는 20~60% 수준이었다. 인공 조림지의 경우는 자연 복원지와 달리 대부분 소나무로 구성되어 있고, 수고는 약 3.9±0.8m, 흉고 직경은 약 7.0±2.9cm 이었으며, 피도는 약 60% 이었다.

삼척 지역의 경우에도 구성 수종은 고성과 유사하여 자연 복원지(S-1)는 참나무류로, 인공 조림지(S-2)는 소나무로 상층이 구성되어 있었다. 자연 복원지에 발생한 참나무류의 수고는 2.5±1.2m, 흉고직경은 2.8±1.7cm로 나타나 수고 생장은 고성과 유사하였으나, 흉고 직경은 고성에 미치지 못하였고, 층위별 피도는 40~70% 이었다. 인공 조림지에 식재된 소나무의 수고는 약 2.3±0.6m, 흉고 직경은 2.0±1.0cm 이었고 각 층의 피도는 10~80% 수준이었다.

수고 성장량은 삼척 산불 피해지가 고성 산불 피해지에 비해 비교적 높게 나타났고, 피복률 또한 상대적으로 높았다. 삼척 지역의 경우, 자연 복원지의 참나무류가 인공 조림지의 소나무에 비해 높은 수고 및 직경 성장을 보였으나, 고성 지역의 경우, 그 반대되는 경향을 보였다. 한편, 각 층의 피도를 조사한 결과, 수고 3m 높이 이상에서의 피도가 증가할수록 3m 이하의 피도는 감소하는 경향을 보였다.

Cheong *et al.*(1997)와 Lim *et al.*(2012)은 토양 시비, 간벌 등의 산림 작업을 실시하지 않고 자연 복원하는 경우 시간 경과에 따라 수고 상대 생장율이 감소한다고 하였다. 또한, Gonzalez-Prez *et al.*(2004)는 산불 발생 시 토양 내 양분 함량이 산불 이전에 비해 감소한다고 하였으며, Zedler(1995)는 *Quercus* 속

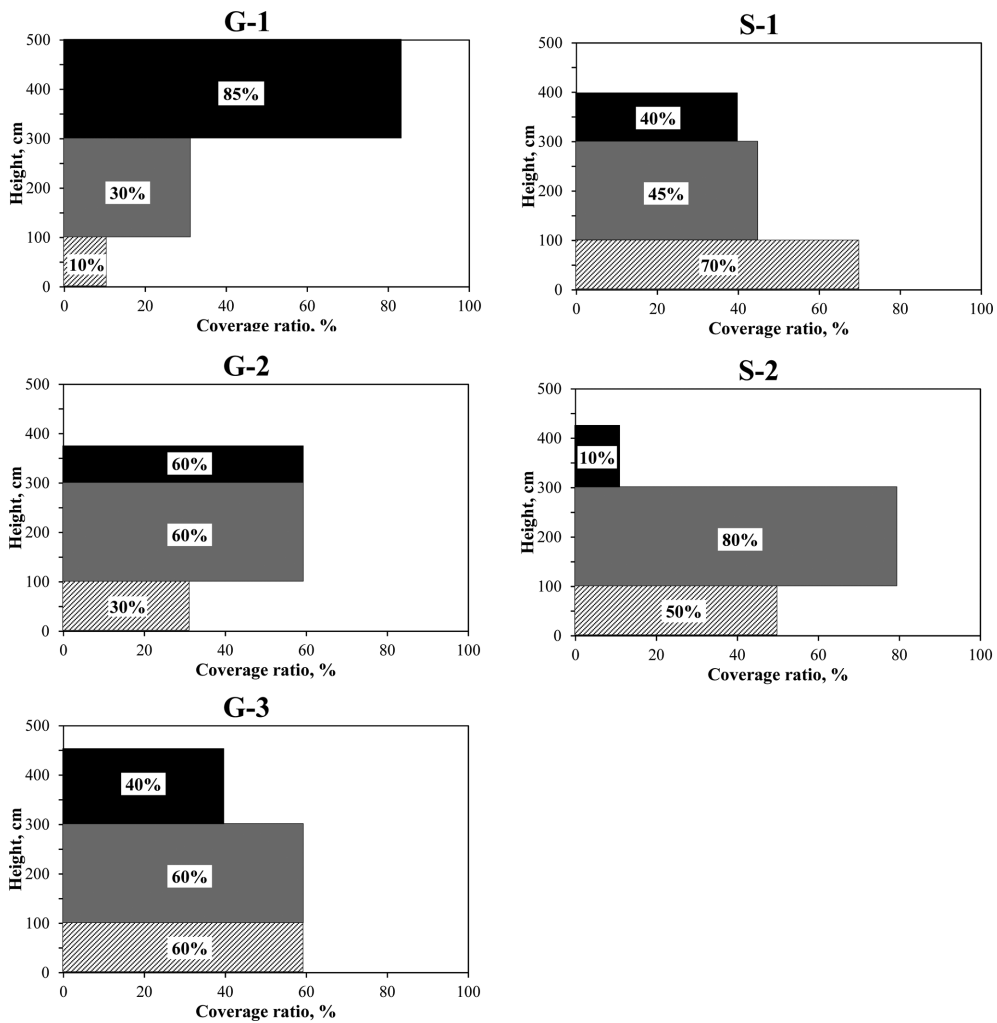


Fig. 4. Coverage ratio and tree density of forest stands in the study sites.

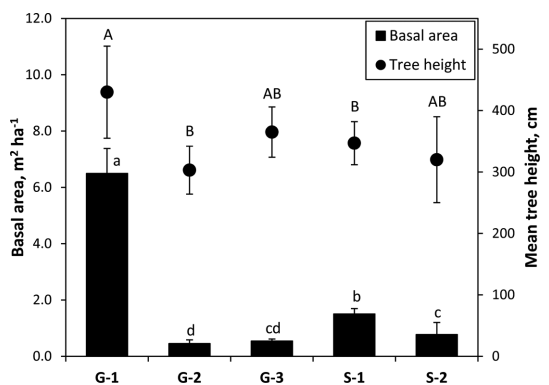


Fig. 5. Mean tree height and basal area in the study sites. Error bars mean standard errors. The values with different letters indicated significantly different by Fisher's multiple range test at $\alpha=0.05$.

의 경우 산불 피해를 입게 되면 맹이를 형성하게 되는데, 이는 산불의 강도와 정(+)의 상관 관계에 있으며, 산불 발생 빈도와도 정상관 관계에 있다고 하였다.

따라서, 두 번에 걸쳐 산불이 발생한 고성 지역에서 자연 복원된 참나무류의 경우 토양 내 양분이 상대적으로 더 낮아져 생장이 둔화되었을 뿐 아니라, 두 번의 산불에 의해 피해를 입은 참나무류가 상대적으로 더 많은 수의 맹이를 발생함에 따라 삼척지역에 비해 수고 생장이 둔화된 것으로 보인다.

한편 두 지역에서 복원방법별로 임목의 생장이 일정한 경향을 보이지 않았기 때문에 실질적으로 임분 조사 결과와 미세 기후와의 상관 분석 및 회귀 분석은 임분의 구성과의 관계를 확인하는 것이 알맞을 것으로

Table 2. The correlation between microclimate conditions and forest structure

		Coverage	Tree density	Tree height	Mean DBH
Coverage		-			
Tree density		.491*	-		
Mean tree height		0.406	-0.159	-	
Mean DBH		0.421	-0.216	.833**	-
Number of species		-0.201	0.102	-.757**	-.711**
AT in light	Mean	0.064	0.207	0.698	0.391
	Max	0.746	0.443	0.170	-0.256
	Min	-0.017	0.175	.934*	0.718
	CV	0.173	-0.091	-.862*	-0.673
AH light	Mean	0.693	0.478	-0.308	-0.663
	Max	.844*	0.634	-0.249	-0.781
	Min	0.337	-0.250	-0.594	-0.174
	CV	-0.061	-0.021	0.209	0.122
ST in light	Mean	0.612	.944**	0.396	-0.617
	Max	0.427	.882*	0.336	-0.612
	Min	-0.323	-0.181	0.772	.901*
	CV	0.324	0.770	0.134	-0.694
SWC in light	Mean	-0.100	-0.278	-0.080	0.321
	Max	-0.412	-0.699	0.108	.871*
	Min	-0.197	-0.583	-0.535	0.186
	CV	0.039	0.059	-0.332	-0.479
SR in light	Mean	0.745	0.488	0.193	-0.289
	Max	.886*	0.724	-0.202	-.881*
	Min	0.237	-0.259	-.923*	-0.546
	CV	0.450	0.445	-0.439	-.815*
AT in shade	Mean	-0.208	-0.286	-0.772	-0.525
	Max	0.277	0.413	-0.481	-.878*
	Min	-0.447	-0.560	-.834*	-0.219
	CV	0.648	0.760	.826*	0.062
AH shade, %	Mean	0.136	0.051	-0.017	0.051
	Max	-0.209	-0.714	-0.175	0.610
	Min	-0.094	-0.460	-0.249	0.355
	CV	-0.190	-0.084	0.164	0.124
ST in shade	Mean	-0.120	-0.438	-.983**	-0.464
	Max	0.038	0.193	-0.028	-0.342
	Min	-0.595	-0.703	-0.694	0.067
	CV	0.579	0.655	0.713	0.008
SWC in shade	Mean	-.823*	-.915*	-0.403	0.472
	Max	-0.452	-0.714	-.883*	-0.098
	Min	-0.356	-0.609	-0.915*	-0.231
	CV	0.631	.899*	0.564	-0.328
SR in shade	Mean	0.617	0.413	-0.073	-0.506
	Max	0.567	0.332	-0.465	-0.792
	Min	0.332	-0.323	-0.588	-0.159
	CV	0.621	0.368	-0.582	-.911*

*Correlation is significant at the 0.05 level (1-tailed).

**Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

AT, air temperature; AH, air humidity; ST, soil temperature; SWC, soil water content; SR, solar radiation; CV, coefficient of variation.

판단되었다.

3.3. 산불 피해지의 임분 구성이 미세 기후에 미치는 영향

2011년부터 2013년까지 5개소의 조사구에서 조사한 기상 자료와 임분 구조에 관련된 데이터를 상관 분석한 자료를 Table 2에 나타내었다. 조사된 기상 조건의 경우 대부분 임분의 유형과 구성에 따라 다르게 나타났다. 임분 내 습도의 경우 임분 밀도와, 임분 내 기온은 수목의 수고와 각각 반의 상관 관계에 있는 것으로 나타나, 임분 밀도와 수목의 생장이 증가할수록 임분 내부의 기온과 습도는 상대적으로 감소하는 경향을 보였다. 한편 변동계수의 경우 수목의 생장에 따라 감소하는 경향을 보였다.

산림 생태계의 안정도는 기상 환경의 변동계수가 적을수록 더 쉽게 안정될 수 있으며, 또한 안정된 산림 생태계가 지속적으로 유지되기도 쉽다(Clark and McLachlan, 2003; Wiens, 1974). 또한 각 수종이 가지는 성장 능력과 발아 등의 조건이 온도와 습도와

같은 조건에 의해 영향을 받기 때문에 특별한 교란이 발생치 않는 경우 형성된 미세 기후에 알맞은 수종으로 산림 생태계가 안정된 상태로 친이되거나 유지될 가능성이 높다(Krasnov *et al.*, 2001; Way and Oren, 2010). 따라서 본 연구에서 나타난 결과를 감안하면 현재 상태에서는 고성 지역의 자연 복원지(G-1)가 다른 조사구에 비해 안정된 상태로 판단된다. 그러나 선행 연구의 경우 대부분 30년 이상의 임분을 대상으로 하였기에 현재의 식생이 그대로 유지될 것인가에 대한 부분은 추가적인 연구로 밝혀야 할 사항이다.

상관 분석 이후 선택된 인자를 이용하여 회귀분석을 실시하였는데 선형 회귀로 회귀 분석하는 경우 임분 밀도, 직경, 수고 증가에 기상 조건이 매우 극한적인 상황으로 변화한다는 결론을 지을 수 있어, 지수 함수와 같은 같은 형태의 곡선 회귀 분석을 실시하는 것이 알맞을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서는 조사구가 5개에 불과하기 때문에 어떠한 형태를 사용하더라도 높은 정도의 회귀식을 산출하는 것은 어려운 것으로 보여 직선 회귀 분석 또한 동시에 진행하여

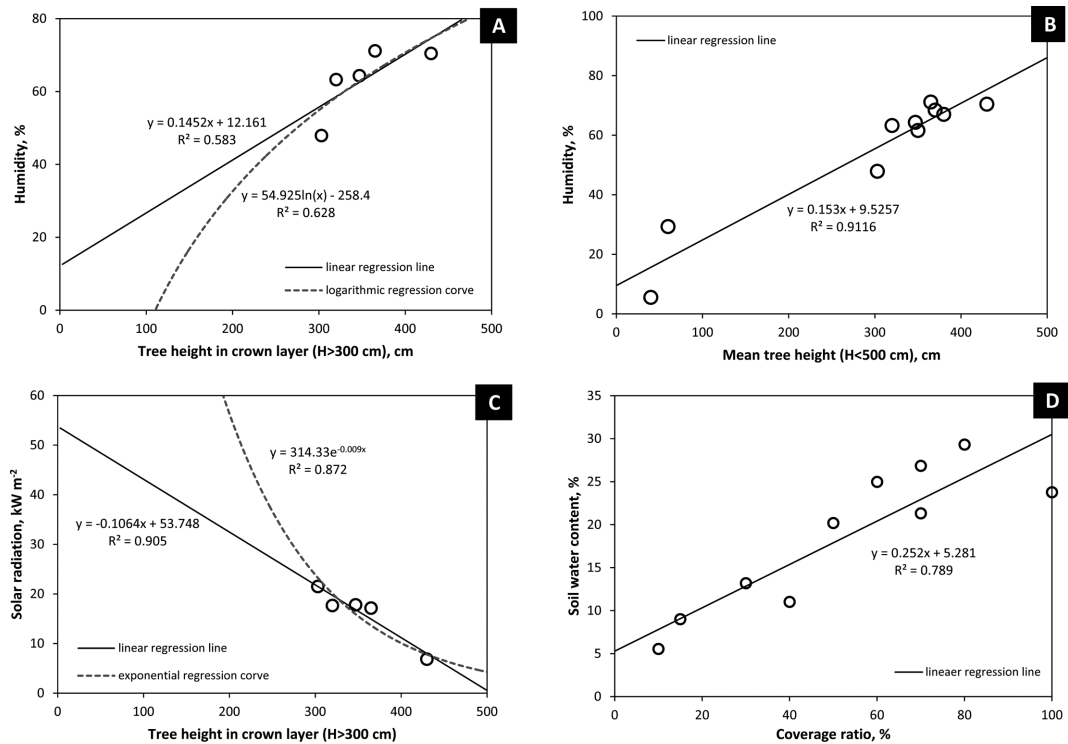


Fig. 6. Regression graphs between weather factor and forest structure in study sites. A, regression of tree height and humidity in crown layer; B, in all tree layers; C, tree height and solar radiation; D, plant coverage ratio and soil water content.

그 추세를 확인하는 데 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 회귀 분석한 결과는 Fig. 6에 나타내었다.

습도와 수관 층을 구성하는 수목의 높이는 광량과 음(-)의 상관 관계에 있었으며, 전체 수목이 평균 수고와 함께 임분 내 습도와 양(+)의 상관 관계에 있는 것으로 나타났다. 1차 함수와 로그 및 지수 함수를 이용하여 회귀 분석한 결과 모두 일관적인 추세를 보이는 것으로 나타났고, 1차 함수를 이용하는 경우 로그 및 지수 함수 보다 더 높은 결정 계수를 보이는 것으로 나타났으나 이는 반복의 부족으로 나타난 결과로 보이며, 앞서 서술한 것과 같이 로그 함수의 형태의 회귀식을 이용하는 것이 알맞은 것으로 사료된다.

전반적으로 수목의 수고 및 피도와 임분 내 기상 조건은 비교적 높은 정도를 가지는 것으로 나타났다($R^2 > 0.78$). 그러나 지속적으로 서술한 것과 같이 제한된 데이터로 인하여 수치에 대한 정확한 신뢰도가 낮을 뿐 아니라, 일반적으로 기온과 습도 데이터는 임분의 구성에 따라 변화된 일사량에 의한 종속 변수이기 때문에 그 값을 회귀 분석하여 예측한 수치에 대한 신뢰도를 이야기하기는 어려운 것으로 사료된다(Keith and Gaylon, 1984). 다만, 임분을 구성하는 수목의 구조와 성장 등에 관한 자료와 임분 내 기후와 일관적인 추세를 보이기 때문에 산불 이후 초기 임분의 발달에 따라 임분 내 기온과 습도 조건이 점차 감소하는데, 이는 수종의 구성에 의해서 영향을 받은 것으로 판단된다. 이는 임분의 구조, 구성, 피복 정도에 따라 임분을 통과하는 에너지의 양이 변화하기 때문에 임분 내부의 기온과 습도가 영향을 받아 변한다고 보고된 기존 연구 결과와 유사하였다(McPherson, *et al.*, 1997; Smith, 1992).

기상 조건은 임분을 구성하는 수목의 성장과 피복에 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 임분 구성은 대부분 미세 기후의 전체 평균보다는 변동계수와 같은 편차를 줄이는 형태로 영향을 주었으며, 수관 층의 수고와 임분 내 광량과 직접적인 관계에 있는 것을 감안하면($R^2 = 0.87$), 임분의 구조는 광량에는 직접적인 영향을, 다른 미세 기후에는 간접적인 영향을 준 것으로 판단되며, 이를 간단히 도식화하면 Fig. 7과 같다.

한편, Messier *et al.*(1998), Rosenberg *et al.*(1983), Stamper and Allen(1979)은 임분이 활엽수로 구성되면 동일한 영급의 침엽수에 비해 임분 내부까지 투과

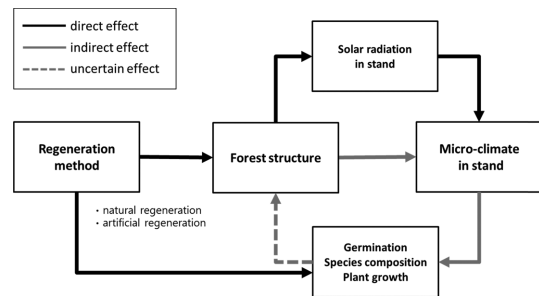


Fig. 7. The structure chart about relationship of study factors after forest fire.

되는 광량이 높으며 이에 따라 침엽수림과 활엽수림 내 미세 기후의 차이가 나타난다고 하였고, Bader *et al.*(2007), Dong *et al.*(2012), Pearcy(1983)는 광 조건에 따라 임분을 구성하는 잠재 식생이 점차 변화한다고 보고하여, 임분 구조와 미세 기후 간에는 상호 작용적인 관계에 있다고 하였으나 본 연구에서는 수종에 따른 차이와 변동계수의 차이가 불분명하게 나타났다. 추후 지속적으로 데이터를 수집하여 분석한다면, 산불 피해 이후 숲의 천이 과정에 따른 임분 내부의 기상 조건의 변화상과 상호 작용에 관한 결과를 확인할 수 있을 것으로 판단되며, 이러한 결과는 이후 하층 식생의 분포, 잠재 식생의 변화의 이해에 도움이 될 것으로 보인다.

적 요

본 연구는 산불 피해지에서 복원 방법 및 수종의 구성에 따라 미세 기후가 어떻게 변하는지에 관한 연구는 거의 이루어진 바 없어 산불 피해지에서 복원 방법 및 임분의 구성에 따라 임분 내 기상 패턴이 어떻게 변화하는지에 대해 구명하고자 수행되었다. 본 연구에서 사용된 독립 변수로 임분을 구성하는 수종의 종류와 성장, 임분 밀도, 그리고 피복율이며, 이에 따른 종속 변수로는 임분 내 광량, 기온, 습도, 토양 온도, 그리고 토양 수분 함량이었다. 기상 조건은 대부분 광 조건에 영향을 받는 종속 변수이나, 임분을 구성하는 수목의 성장과 피복률에도 변화하는 것으로 나타났다. 임분 내 습도는 임분 밀도와, 임분 내 기온과 수목의 수고와 음(-)의 상관 관계에 있는 것으로 나타나 임분 밀도와 수목의 생장이 증가할수록 임분 내부의 기온과 습도는 상대적으로 감소하는 경향을 보였다.

그러나 임분의 발달은 대부분 미세 기후의 전체 평균 보다는 변동계수와 같은 편차를 줄이는 형태로 더 큰 영향을 주었으며, 수관 층의 수고와 임분 내 광량과 직접적인 관계에 있는 것을 감안하면($R^2=0.87$), 임분의 구조는 광량에는 직접적인 영향을, 다른 미세 기후에는 간접적인 영향을 준 것으로 사료된다. 한편 변동계수의 경우 삼척 지역이 고성 지역보다 상대적으로 높은 값을 보였으며, 수목의 생장에 따라 감소하는 경향을 보였다. 따라서 산불 발생 이후 시간 경과에 따라 상대적으로 안정된 상태를 지니는 것으로 해석되었다. 그러나, 현재 단계에서는 산불 피해 이후 숲의 발달에 따른 임분 내부의 기상 조건의 변화상을 뚜렷하게 확인하고 일반화하기에는 많은 어려움이 있어 이를 위해서는 보다 긴 시간에 걸쳐 많은 지점에서의 기상 조건과 임분 현황을 지속적으로 조사되어야 할 것이다. 이후 일반화된 자료를 활용한다면, 임분 구조와의 관계 해석은 물론, 하층 식물 출현 등에 대한 해석에 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 국립산림과학원 리서치펠로우십의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Bader, Y. M., V. I. Geolooof and M. Rietkerk, 2007: High solar radiation hinders tree regeneration above the alpine treeline in northern Ecuador. *Plant Ecology* **191**(1), 33-45.
- Barnes, V. B., D. R. Zak, S. R. Denton, and Stephen H. Spurr, 1998: *Forest ecology* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc., 792pp.
- Chen, J., S. C. Saunders, T. R. Crow, R. J. Naiman, K. D. Brosfške, G. D. Mroz, B. L. Brookshire, and J. F. Franklin, 1999: Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience* **49**(9), 288-297.
- Cho, H., D. G. Choi, S. D. Oh, and J. Ryu, 2001: Prediction model of growth and fruit characteristics of pear in relation to local climate and terms of location in Jeollabuk-do. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **19**(2), 74.
- Clark, J. S., and J. S. McLachlan, 2003: Stability of forest biodiversity. *Nature* **423**, 635-638.
- Dickey, D. A., and W. A. Fuller, 1979: Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association* **74**, 427-431.
- Dong, S. X., S. J. Davies, P. S. Ashton, S. Bunyavejchewin, M. N. Supardi, A. R. Kassim, S. T. Sylvester, and P. R. Moorcroft, 2012: Variability in solar radiation and temperature explains observed patterns and trends in tree growth rates across four tropical forests. *Proceeding of Royal Society of Biological Science* **279**(1744), 3923-3931.
- Gonzalez-Prez, J. A., G. Almendros, F. J. Gonzalez-Vila, and H. Knicker, 2004: The effect of fire on soil organic matter—a review. *Environment International* **30**(6), 855-870.
- Keith, L. B., and S. C. Gaylon, 1984: On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* **31**(2), 159-166.
- Korea Meteorological Administration, 2009: Weather resource database. [Online] Available at: http://www.kma.go.kr/weather/observation/data_monthly.jsp(2013.08.29)
- Krasnov, B. R., I. S. Khokhlova, L. J. Fielden, and N. V. Burdelova, 2001: Effect of air temperature and humidity on the survival of preimaginal stages of two flea species (Siphonaptera: pulicidae). *Journal of Medical Entomology* **38**(5), 629-637.
- Lee, J., J. Hong, J. Yi, Y. M. Chun, and J. Lee, 2013: Characteristic of seed germination of *Dendropanax morifera* according to temperature and light factors for estimating change of habitat area in global warming. *Journal of Climate Research* **8**(2), 143-151.
- Lim, J. H., 2000: Forest fire and meteorology of eastern Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **2**(2), 62-67.
- Lim, J., J. Kim, and S. Bae, 2012: Natural regeneration pattern of pine seedlings on the burned forest site in Gosung, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 222-228.
- McPherson, G. E., D. Nowak, G. Heisler, S. Grimmond, C. Souch, R. Grant, and R. Rowan, 1997: Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago urban forest climate project. *Urban Ecosystem* **1**(1), 49-61.
- Messier, C., S. Parent, and Y. Bergeron, 1998: Effects of overstory and understory vegetation on the understory on the understory light environment in mixed boreal forest. *Journal of Vegetation Science* **9**, 511-520.
- Pearcy, W. R., 1983: The light environment and growth of C3. *Oecologia* **58**, 19-25.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad, and S. B. Verma, 1983: *The biological environment: Microclimate* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Inc., 528pp.
- Shin J. H., 2012: Ecosystem geography of Korea : Lee, D.

- Ecology of Korea*. Bumwoo Publishing Company, 19-46.
- Smith, J. T., 1992: 5. Forest structure. *Tropical mangrove ecosystems*, A. I. Robertson and D. M. Alongi (Eds.), American Geophysical Union, 330pp.
- Stamper, J. H., and J. C. Allen, 1979: A model of the daily photosynthetic rate in a tree. *Agricultural Meteorology* **20**(6), 459-481.
- Way, D. A., and R. Oren, 2010: Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data. *Tree Physiology* **30**, 669-688.
- Wiens, J. A., 1974: Climatic instability and the "ecological saturation" of bird communities in north American grasslands. *The Condor* **76**(4), 385-400.