

## 산불 유형별 식생회복정도에 따른 현존생물량 비교<sup>1a</sup>

임석화<sup>2</sup> · 김정섭<sup>2</sup> · 신진호<sup>2</sup> · 방제용<sup>3</sup> · 양금철<sup>2\*</sup>

Comparison of Biomass by Forest Fire Type and Recovery at Samcheuk-si, Gangwon-do, Korea<sup>1a</sup>

Seok-Hwa Lim<sup>2</sup>, Jung-Sup Kim<sup>2</sup>, Jin-Ho Shin<sup>2</sup>, Je-Yong Bang<sup>3</sup>, Keum-Chul Yang<sup>2\*</sup>

### 요약

본 연구에서는 2007년 7월부터 2010년 7월까지 4년 동안 강원도 삼척시에서 산불 유형(비산불조사구: 산불피해를 입지 않은 지역, 수관화: 산불에 의해 교목의 수관까지 전소한 지역, 지표화: 산불에 의해 교목의 수관 하층만 전소한 지역)과 산불 후 식생의 재생정도(산불피해 후 식피의 재생정도가 1/3이하인 지역: 1, 산불피해 후 식피의 재생정도가 1/3 ~ 2/3인 지역: 2, 산불피해 후 식피의 재생정도가 2/3이상인 지역: 3)에 따른 현존생물량과 순생산량을 비교하였다. 비산불조사구(Un), 수관화 발생 조사구(C-1, C-3), 지표화 발생 조사구(G-2)에서 4년간 평균 현존생물량은 각각  $181.20 \pm 5.39$ ,  $62.04 \pm 4.38$ ,  $131.09 \pm 14.83$ ,  $63.39 \pm 2.72 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ 로 나타났다. 비산불조사구, 수관화 발생 조사구(C-1, C-3), 지표화 발생 조사구(G-2)에서 4년간 평균 순생산량은 각각  $4.17 \pm 0.56$ ,  $3.27 \pm 1.56$ ,  $11.51 \pm 0.53$ ,  $2.10 \pm 0.31 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 나타났다. 각 조사구의 공통수종인 신갈나무의  $\text{DH}_{10}$ (지상으로부터 10cm 높이에서의 직경, mm)의 생장률을 비교하여 보면 수관화 발생 조사구(C-1)에서  $1.21 \pm 0.55 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 가장 높았으며 수관화 발생조사구(C-3), 지표화 발생 조사구(G-2), 비산불조사구(Un)의 순으로 나타났다. 수고생장률로 비교하였을 때 수관화 발생 조사구(C-3)에서  $15.43 \pm 4.57 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 가장 높았으며 수관화 발생 조사구(C-1), 지표화 발생 조사구(G-2), 비산불조사구(Un)의 순으로 나타났다.

주요어: 수관화, 지표화, 흉고직경

### ABSTRACT

This study has compared the different types of forest fires(unburned, crown fire, ground fire) and the degree of vegetation recovery at Samcheuk-si, Gangwon-do by assessing the biomass and net primary production from July 2007 through July 2010. The research showed that the average biomass of unburned site(Un), crown fire site(C-1), crown fire site(C-3), ground fire site(G-2) were  $181.20 \pm 5.39$ ,  $62.04 \pm 4.38$ ,  $131.09 \pm 14.38$ ,  $63.39 \pm 2.72 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively. And the research showed that the average net primary production of unburned site(Un), crown fire site(C-1), crown fire site(C-3), ground fire site(G-2) were  $4.17 \pm 0.56$ ,  $3.27 \pm 1.56$ ,  $11.51 \pm 0.53$ ,  $2.10 \pm 0.31 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ , respectively. *Quercus mongolica*  $\text{DH}_{10}$ (Diameter at the 10cm tree height) growth rate at each plot was compared to the crown fire site(C-1) in the annual average  $1.21 \pm 0.55 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  at the speed of the fastest growth follows; showed crown fire site(C-3), ground fire site(G-2), unburned site(Un)

1 접수 2012년 3월 20일, 수정(1차: 2012년 5월 17일, 2차: 2012년 7월 5일), 게재확정 2012년 7월 6일

Received 20 March 2012; Revised(1st: 17 May 2012, 2nd: 5 July 2012); Accepted 5 July 2012

2 공주대학교 건설환경공학부 Division of Civil and Environmental Engineering, Kongju Nat'l Univ., Cheonan(330-717), Korea

3 서울여자대학교 환경생명과학부 Faculty of Environment and Life Sciences, Seoul Women's Univ., Seoul(139-774), Korea

a 이 논문은 환경부의 “국가장기생태연구사업”과 “공주대학교 산학협력단”의 지원에 의하여 수행되었음.

\* 교신저자 Corresponding author(yangkc@kongju.ac.kr)

appeared in the order. And that showed the growth rate of height was highest in the  $15.43 \pm 4.57 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$  at crown fire site(C-3), then the crown fire site(C-1), and ground fire site(G-2), and lowest in the unburned site(Un).

**KEY WORDS: CROWN FIRE, GROUND FIRE, DIAMETER AT BREAST HEIGHT**

## 서 론

오늘날 벌목에 의한 교란은 현저히 낮아진 반면, 산불은 산림에 여전히 위협적인 요소로서 임목축적량이 커짐에 따라 오히려 대형화되는 추세이다. 특히 대형 산불은 동해안 지역에서 집중적으로 발생하고 있다. 2000년 동해안 지역(고성, 동해, 강릉, 삼척, 울진)을 따라 동시다발적으로 산불이 발생해 23,794 ha에 이르는 산불피해가 발생하였다. 이는 전 산림 면적의 약 0.36% 정도로써, 여의도 면적의 80배에 해당되는 것이다(Choung *et al.*, 2004).

산불의 피해는 일차적으로는 현존생물량의 감소 등 구조적 변화를 야기하지만, 이차적으로 물질의 순환 등 생태계의 기능에 치명적인 영향을 미친다. 또한, 식물군집과 토양의 이화학적 성질에 영향을 미치는데, 이들 영향은 산불의 강도와 지속기간, 토양의 수분함량, 산불이 발생하는 시기, 산불 후 강우의 강도 등에 따라 많은 차이가 있다(Chandler *et al.*, 1983). 또한 그 규모에 따라 산림 내에 다양한 규모의 공간을 형성하며, 지상부의 생물체와 유기물질을 제거시켜 비생물 환경 요인의 변화를 유발시킨다(Mun and Choung, 1996).

생태계의 기능은 물질생산과 영양염류 순환으로 구분되며(Odum, 1971), 지구의 육상생태계에서 식물에 의하여 매년 생산되는 순생산량은  $10 \sim 125 \times 10^9 \text{ ton}$ 에 이른다(Lieth, 1973). 산림생태계는 지구 육상생태계 지상부 생물량의 약 90%를 차지하고, 초지와 농지 등 육지의 다른 생태계와 비교하여 높은 순생산량(NPP)을 가진다(Waring and Schlesinger, 1985). 식물군락의 현존생물량은 생태계 내 물질생산의 지표이며, 생물량 분배는 생태계의 물질축적 유형과 특성을 파악하는 중요한 요인이다(Whittaker and Marks, 1975). Kittredge(1944)에 의하여 임목의 흉고직경과 엽량 사이에 상대성장 관계가 성립된다는 사실이 밝혀진 이래, 1950년대부터 전 세계적으로 산림생태계의 현존생물량과 순생산량에 대한 연구가 이루어지기 시작하였으며, 여러 연구자들(Shidei, 1960; Hozurni, 1963; Kira and Shidei, 1967)에 의하여 수목의 DBH와 각 기관들 사이의 상대생장식을 이

용하여 임목의 현존생물량이 추정되었다.

국내에서는 Kim and Yoon(1972)이 춘천지방의 소나무림과 신갈나무림에서 산림의 생산구조와 생산력에 대한 연구에 의해 상대생장식을 구명하였으며 이후, Lee(1985)는 강원도산 소나무 천연림 생태계의 현존생물량 및 순생산량에 관한 연구를, Kim(1995)은 양평지역 리기다소나무, 낙엽송, 졸참나무림의 물질생산과 질소 및 인의 분포에 관한 연구, Ji(2005)는 금강자연휴양림 지역 소나무, 굴참나무, 상수리나무의 현존생물량, Lee and Kwon(2006)은 평창 및 제천 지역의 신갈나무림의 현존생물량과 연간 순생산량, Namgung(2010)은 월악산 굴참나무림에서의 물질생산과 영양염류 순환에 대해 조사한바 있다. 국외에서는 Nakagoshi *et al.*(1987)가 일본의 남부 히로시마 현에서 산불 후 경과 연수에 따른 지상부 식물량의 변화를 관찰한 바 있으며, Skre *et al.*(1998)은 서부 노르웨이에서 산불에 의한 현존생물량과 화학 조성을, Yu *et al.*(2004)은 Daxinganling 지방에서 산불이 산림 현존생물량에 미치는 영향을, Hiratsuka *et al.*(2006)은 인도네시아 동부 칼리만탄에서 산불 후 자연적으로 재생되는 식물의 현존생물량을, Slik *et al.*(2008)은 보르네오 열대우림에서의 산불에 의한 숲의 구조, 다양성, 현존생물량을 조사한 바 있다.

그러나 국내에서 산불피해 후 재생되는 지역에서는 산불 후 경과 연수에 따른 식생구조(Lee *et al.*, 2004), 산불로 교란된 지역에서 자연복원지와 조림복원지의 영양염류 수치 비교(Lee and Choung, 1999), 산불이 소나무림 토양의 영양염류에 미치는 영향(Mun and Choung, 1996)과 같이 산불이 토양의 화학적 특성이나 식생의 구조에 미치는 영향에 대한 연구는 활발히 수행되고 있으나, 산불피해 후 재생되는 지역에서의 물질생산과 순생산량에 대한 정량적 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 동해안 산불피해지 중 삼척지역을 대상으로 하여 비산불지역과 산불 유형별 피해지역에서 식생의 회복정도에 따른 현존생물량과 연간 순생산량 변화를 비교하는데 목적이 있다.

## 연구 방법

### 1. 조사지의 특성

본 연구의 대상지는 강원도 삼척시의 근덕면 양리와 원덕읍 임원리에 위치하며 Kim and Yang(2012)의 연구 대상지와 같은 지역이다. 2000년 동해안 산불의 피해를 입은 지역 중에서 당시 총 피해면적의 72 %에 해당하는 피해를 입은 곳으로 산불 전 식생이 소나무림인 곳을 선정하였다. 산불 피해 후 2001년도에 각각의 산불 유형(비산불조사구: 산불 피해를 입지 않은 지역, 수관화: 산불에 의해 교목의 수관까지 전소한 지역, 지표화: 산불에 의해 교목의 수관 하층만 전소한 지역) 및 산불 후 식생의 회복정도(산불피해 후 식피의 회복정도가 1/3이하인 지역: 1, 산불피해 후 식피의 회복정도가 1/3 ~ 2/3인 지역: 2, 산불피해 후 식피의 회복정도가 2/3이상인 지역: 3) 조합에 따라 4개 유형으로 구분하여 방형구를(20 m × 20 m) 설치하였다. 그 중 가장 대표성을 띠고 균질한 지소에 10 m × 10 m와 5 m × 5 m 크기의 방형구를 각 조사구별로 하나씩 재설치하여 조사를 실시하였다.

각 조사구에서 2007년 7월에 기저직경 1 cm 이상의 모든 목본에 번호를 부착하여 교목수종은 흉고직경(DBH, cm)과 수고(H, m)를 측정하고 관목수종은 기저로부터 10 cm 높이에서 직경과 수고를 측정하여 매목조사를 실시하였다. 비산불조사구(Un)의 교목층은 소나무가 우점하며 평균 흉고직경과 수고는 각각 26.06 ± 7.18 cm, 15.46 ± 0.47 m이었고, 관목층에는 졸참나무와 신갈나무가 우점하며 굴참나무, 밤나무, 털진달래가 분포하였다. 수관화 발생 조사구

(C-1)의 관목층에는 신갈나무가 우점하며, 졸참나무, 싸리가 분포하였다. 수관화 발생 조사구(C-3)는 쇠물푸레나무와 신갈나무가 우점하며 개웃나무, 싸리, 졸참나무, 쪽동백나무, 참싸리가 분포하였다. 지표화 발생 조사구(G-2)의 교목층은 소나무가 우점하며 평균 흉고직경과 수고는 각각 20.36 ± 6.33 cm, 10.6 ± 0.95 m이었고, 관목층에는 쇠물푸레나무와 신갈나무가 우점하며 싸리, 참싸리, 철쭉, 털진달래가 분포하였다(Kim and Yang, 2012). 각 조사구에서 2007년부터 2010년까지의 토양 이화학적 특성을 조사한 결과를 다음 Table 1에 나타내었으며, 비산불조사구(Un)에서 다른 세 조사구들과 5% 유의 수준에서 유의한 차이를 보였고, 산불피해지인 세 조사구는 조사구간의 유의한 차이를 보이지 않았다(Kim, 2011).

2. 현존생물량 및 순생산량 측정  
각 조사구에서 기저직경 1 cm 이상의 모든 목본에 번호를 부착하여 매목조사를 실시하였으며, 2007년부터 2010년까지 매년 7월에 방형구 내 교목의 직경은 1.3 m 높이에서 흉고직경측정용 줄자를 이용하여 측정하였고, 관목은 지상으로부터 10 cm 높이에서 직경이 1cm 이상인 목본을 대상으로 하여 직경(mm)과 높이(cm) 측정하였다. 수고는 디지털 측고기를 이용하여 측정하였다. 교목의 현존생물량은 Kim and Yoon(1972)의 12개체 소나무의 흉고직경(cm), 수고(m), 잎, 줄기, 가지 생물량(kg) 자료를 엑셀프로그램을 사용하여  $\log D^2 \cdot H$ 의 값을 변수로 하여 잎, 줄기, 가지 생물량( $\log W_s$ ,  $\log W_b$ ,  $\log W_l$ )을 추정하는 선형회귀식을 재산정하여 이용하였다(Table 2). 관목의 현존생물량은 Lee et al.(2004)이 산불지역에서 만든 상대생장식을 이용하여 추정하였다. 지하부의 현존생물량은 지상부 현존생물량의 25 %로 간주하여 총 현존생물량을 추정하였다(Johnson

Table 1. Soil characteristics of the study area

Plot	pH	Organic Matter(%)	T-N (%)	T-P (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)
Unburned**	4.74±0.44	7.85±0.78	0.05±0.02	0.43±0.07	7.08±2.46	2.78±2.97	7.75±1.86
Crown fire - 1	4.74±0.42	6.13±0.94	0.03±0.01	0.11±0.06	2.60±1.87	1.88±1.97	1.46±1.18
Crown fire - 3	4.74±0.33	6.69±1.42	0.04±0.02	0.09±0.04	2.38±0.98	1.47±1.17	1.40±0.63
Ground fire - 2	4.65±0.50	6.73±1.25	0.04±0.01	0.13±0.07	2.99±1.38	1.34±1.03	2.04±1.55

\*\* :  $p < 0.05$

Table 2. Allometric equations of red pine tree(*Pinus densiflora*)

Classification	Allometric equation*
Stems	$\log W_s = 0.657 \times \log D^2 H - 0.654$
Branches	$\log W_b = 0.621 \times \log D^2 H - 1.204$
Leaves	$\log W_l = 0.530 \times \log D^2 H - 1.114$

\* $W_s$ : Weight of stems(kg),  $W_b$ : Weight of branches(kg),  $W_l$ : Weight of leaves(kg),  $D$ : Diameter at breast height(cm),  $H$ : Height(m)

and Risser, 1974). 연간 순생산량은 금년도 현존생물량과 전년도 현존생물량을 비교하여 추정하였다. 산불 유형별 회복정도에 따른 유의성 분석은 통계분석 프로그램(SPSS v12.0)을 이용하여 ANOVA 분석을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 산불 유형과 회복정도에 따른 수종별 성장속도

각 조사구에서 수종별  $DH_{10}$ (지상으로부터 10cm 높이에 서의 직경, mm) 및 H(수고, cm)의 연도별 성장률 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 각 조사구에서  $DH_{10}$ 으로 비교하였을 때 가장 빠른 성장을 보인 수종은 수관화 발생 조사구(C-1)에서 졸참나무( $1.24 \pm 0.26 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ ), 신갈나무( $1.21 \pm 0.55 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ )로 조사되었으며 수관화 발생 조사구(C-3)는 개웃나무( $1.23 \pm 0.37 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ ), 굴참나무( $1.19 \pm 0.68 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ ), 지표화 발생 조사구(G-2)는 싸리( $1.09 \pm 0.33 \text{ m}\cdot\text{yr}^{-1}$ ), 털진달래( $1.07 \pm 0.13 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ ), 비산불조사구(Un)는 털진달래( $1.18 \pm 0.22 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ ), 졸참나무( $0.96 \pm 0.88$

$\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ )로 조사되었다. H는 수관화 발생 조사구(C-1)에서 신갈나무( $14.30 \pm 9.01 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ ), 수관화 발생 조사구(C-3)는 쇠물푸레나무( $18.33 \pm 7.64 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ ), 지표화 발생 조사구(G-2)는 쇠물푸레나무( $15.61 \pm 2.36 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ ), 비산불조사구(Un)는 털진달래( $9.33 \pm 6.251 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ )로 조사되었다.

각 조사구의 공통 수종인 신갈나무의  $DH_{10}$  및 H의 성장률을 Figure 1에 나타내었다.  $DH_{10}$ 은 수관화 발생 조사구(C-1)에서 연평균  $1.21 \pm 0.55 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ 의 속도로 가장 빠른 성장을 보였으며, 수관화 발생 조사구(C-3), 지표화 발생 조사구(G-2), 비산불조사구(Un)의 순으로 조사되었다. H는 수관화 발생 조사구(C-3)에서  $15.43 \pm 4.57 \text{ cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 가장 빠른 성장률을 보였으며 수관화 발생 조사구(C-1), 지표화 발생 조사구(G-2), 비산불조사구(Un) 순으로 나타났다. 각 조사구에서 수종별 성장률에 대한 연도별 변화를 ANOVA 분석한 결과 유의한 차이를 보이지 않았다. 연구기간동안의 공통 수종인 신갈나무의 성장률은 수관화 발생 조사구(C-1)에서 1% 유의 수준에서 유의한 차이를 보였고 수관화 발생 조사구(C-3), 지표화 발생 조사구(G-2), 비산불조사구(Un)에서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 3. Average diameter and height of shrub species

Unburned site	<i>Quercus dentata</i>	<i>Castanea crenata</i>	<i>Quercus mongolica</i>	<i>Quercus serrata</i>	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	
$DH_{10}$ (mm)*	2008	0.62	0.72	0.66	0.74	1.04
	2009	0.25	0.12	0.35	0.20	1.08
	2010	0.50	0.47	0.93	1.93	1.44
	Growth rate( $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ )	$0.46 \pm 0.19$	$0.44 \pm 0.30$	$0.65 \pm 0.29$	$0.96 \pm 0.88$	$1.18 \pm 0.22$
H(cm)*	2008	2.00	2.00	17.56	13.59	15.50
	2009	2.42	2.00	2.78	6.18	3.00
	2010	3.40	1.50	4.56	4.53	9.50
	Growth rate( $\text{cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ )	$2.61 \pm 0.72$	$1.83 \pm 0.29$	$8.30 \pm 8.07$	$8.10 \pm 4.83$	$9.33 \pm 6.25$

\* $DH_{10}$ : Diameter on the 10cm tree height, H: Height of tree

(Table 3. Continued)

Crown fire site - 1	<i>Quercus mongolica</i>	<i>Lespedeza bicolor</i>	<i>Quercus serrata</i>	
$DH_{10}$ (mm)*	2008	0.59	0.31	1.00
	2009	1.37	0.60	1.21
	2010	1.67	0.91	1.52
	Growth rate ( $\text{mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ )	$1.21 \pm 0.55$	$0.60 \pm 0.30$	$1.24 \pm 0.26$
H(cm)*	2008	9.20	1.33	5.00
	2009	9.00	5.00	5.00
	2010	24.70	3.33	4.00
	Growth rate ( $\text{cm}\cdot\text{yr}^{-1}$ )	$14.30 \pm 9.01$	$3.22 \pm 1.84$	$4.67 \pm 0.58$

\* $DH_{10}$ : Diameter on the 10cm tree height, H: Height of tree

(Table 3. Continued)

Crown fire site - 3		<i>Rhus trichocarpa</i>	<i>Quercus variabilis</i>	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	<i>Quercus mongolica</i>	<i>Lespedeza bicolor</i>	<i>Styrax obassia</i>	<i>Lespedeza crbototrya</i>	<i>Quercus serrata</i>
DH <sub>10</sub> (mm)*	2008	1.66	0.45	0.75	1.12	0.85	1.40	0.99	3.35
	2009	0.99	1.36	0.22	0.92	1.32	1.50	1.12	1.94
	2010	1.04	1.77	0.19	1.13	1.09	0.27	0.76	3.75
	Growth rate(mm·yr <sup>-1</sup> )	1.23 ± 0.37	1.19 ± 0.68	0.39 ± 0.32	1.06 ± 0.12	1.09 ± 0.24	1.06 ± 0.68	0.95 ± 0.18	3.01 ± 0.95
H(cm)*	2008	2.00	9.00	25.00	19.87	10.50	15.00	11.40	9.00
	2009	3.00	26.00	10.00	15.70	9.33	4.50	23.20	33.00
	2010	8.00	10.00	20.00	10.74	10.00	4.50	12.40	4.00
	Growth rate(cm·yr <sup>-1</sup> )	4.33 ± 3.21	15.00 ± 9.54	18.33 ± 7.64	15.43 ± 4.57	9.94 ± 0.59	8.00 ± 6.06	15.67 ± 6.54	15.33 ± 15.50

\*DH<sub>10</sub>: Diameter on the 10cm tree height, H: Height of tree

(Table 3. Continued)

Ground fire site - 2		<i>Fraxinus sieboldiana</i>	<i>Quercus mongolica</i>	<i>Lespedeza bicolor</i>	<i>Lespedeza crbototrya</i>	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	<i>Rhododendron mucronulatum</i>
DH <sub>10</sub> (mm)*	2008	0.71	0.86	0.99	0.60	0.41	1.10
	2009	0.53	0.74	0.82	0.49	0.56	0.94
	2010	0.91	1.35	1.45	0.68	1.42	1.18
	Growth rate(mm·yr <sup>-1</sup> )	0.72 ± 0.19	0.98 ± 0.33	1.09 ± 0.33	0.59 ± 0.10	0.79 ± 0.54	1.07 ± 0.13
H(cm)*	2008	18.25	17.06	18.30	37.00	11.22	16.75
	2009	14.91	6.83	5.80	5.00	6.00	7.25
	2010	13.69	6.89	9.60	2.00	4.67	4.00
	Growth rate(cm·yr <sup>-1</sup> )	15.61 ± 2.36	10.26 ± 5.89	11.23 ± 6.41	14.67 ± 19.40	7.30 ± 3.46	9.33 ± 6.63

\*DH<sub>10</sub>: Diameter on the 10cm tree height, H: Height of tree

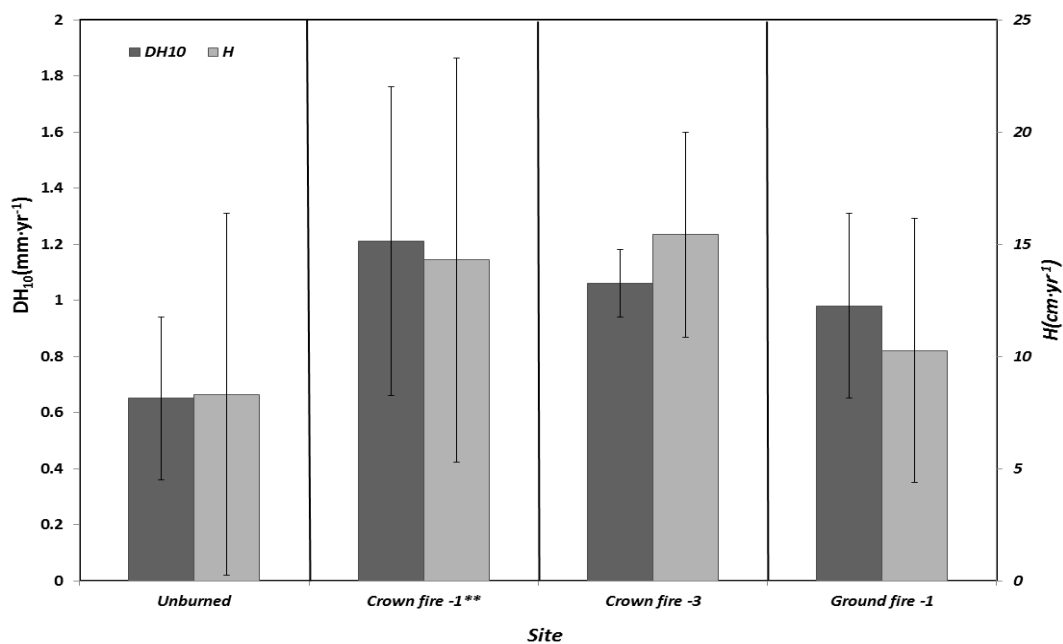


Figure 1. Growth rate of *Quercus mongolica* for 4 years at the study site(\*\*:  $p < 0.01$ )

## 2. 산불 유형과 회복정도에 따른 현존생물량과 순생산량 비교

각 조사구에서 지상으로부터 10 cm 높이의 직경 1 cm 이상의 목본을 대상으로 한 구성 식물 종의 현존생물량과 총 생물량을 추정하고 연간 순생산량을 Table 4, 5에 나타내었다. 각 조사구 관목층의 현존생물량은 수관화 발생 조사구(C-1)에서 신갈나무가 가장 높은 현존생물량을 보유하고 있었다. 수관화 발생 조사구(C-3)와 지표화 발생 조사구(G-2)는 쇠물푸레나무와 신갈나무, 비산불조사구(Un)에서는 졸참나무가 가장 높은 현존생물량을 보유하고 있었다. 각 조사구의 공통 수종인 신갈나무의 연간 순생산량은 수관

화 발생 조사구(C-3)에서  $3.95 \pm 0.65 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났으며, 수관화 발생 조사구(C-1), 지표화 발생 조사구(G-2), 비산불조사구(Un)순으로 각각  $2.84 \pm 1.09$ ,  $0.52 \pm 0.19$ ,  $0.26 \pm 0.25 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 나타났다. 산불피해지에서 연간 순생산량의 변화를 각 수종 별로 비교하여 보면 수관화 발생 조사구(C-1)에서 신갈나무가  $2.84 \pm 1.09 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 가장 빠른 성장률을 보였으며, 수관화 발생 조사구(C-3)에서는 쇠물푸레나무, 신갈나무가 각각  $5.32 \pm 0.49$ ,  $3.95 \pm 0.65 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ , 지표화 발생 조사구(G-2) 또한 쇠물푸레나무, 신갈나무가 각각  $0.67 \pm 0.18$ ,  $0.52 \pm 0.19 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 가장 빠른 성장률을 보였다.

각 조사구의 4년간 평균 현존생물량은 비산불조사구(Un)에서  $181.20 \pm 5.39 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 수관화 발생

Table 4. Species biomass of each plot during the experiment( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

Plot	Scientific name	Year			
		2007	2008	2009	2010
Unburned	<i>Pinus densiflora</i>	153.88	156.34	159.89	161.19
	<i>Quercus dentata</i>	2.27	2.44	2.49	2.61
	<i>Quercus mongolica</i>	1.70	1.85	1.93	2.48
	<i>Quercus serrata</i>	14.40	15.16	15.59	18.30
	<i>Castanea crenata</i>	2.92	3.01	3.03	3.08
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	0.05	0.06	0.06	0.08
	Total biomass	175.22	178.86	182.99	187.74
	Mean	$181.20 \pm 5.39$			
Crown fire - 1	<i>Quercus mongolica</i>	52.38	54.00	57.19	60.91
	<i>Quercus serrata</i>	4.75	5.38	6.04	6.77
	<i>Lespedeza bicolor</i>	0.75	0.88	0.96	1.15
	Total biomass	57.88	60.26	64.19	68.83
	Mean	$62.04 \pm 4.38$			
Crown fire - 3	<i>Quercus mongolica</i>	43.73	47.73	51.01	55.59
	<i>Quercus serrata</i>	2.10	2.92	3.48	4.69
	<i>Quercus variabilis</i>	2.81	2.91	3.21	3.63
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	59.28	64.59	70.40	75.23
	<i>Lespedeza bicolor</i>	3.06	3.47	4.15	4.79
	<i>Lespedeza crtobotrya</i>	2.07	2.41	2.85	3.19
	<i>Rhus trichocarpa</i>	0.74	0.86	0.93	1.01
	<i>Styrax obassia</i>	0.26	0.34	0.44	0.46
	Total biomass	114.05	125.23	136.47	148.59
	Mean	$131.09 \pm 14.83$			
Ground fire - 2	<i>Pinus densiflora</i>	45.26	45.65	46.65	46.94
	<i>Quercus mongolica</i>	4.78	5.23	5.61	6.35
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	8.40	9.04	9.55	10.42
	<i>Lespedeza bicolor</i>	1.34	1.55	1.74	2.10
	<i>Lespedeza crtobotrya</i>	0.32	0.34	0.36	0.38
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	0.10	0.13	0.15	0.19
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	0.20	0.23	0.24	0.31
	Total biomass	60.4	62.17	64.3	66.69
	Mean	$63.39 \pm 2.72$			

조사구(C-3), 지표화 발생 조사구(G-2), 수관화 발생 조사구(C-1)의 순으로 각각  $131.09 \pm 14.83$ ,  $63.39 \pm 2.72$ ,  $62.04 \pm 4.38 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ 로 나타났다. 산불피해지 중에서 4년간 평균 현존생물량은 관목의 밀도가 높은 수관화 발생 조사구(C-3)에서 가장 높게 나타났으며, 수관화 발생 조사구(C-1)은 지표화 발생 조사구(G-2)와 비슷한 결과를 나타내었다. 또한, 각 조사구별 4년간 평균 연간 순생산량은 수관화 발생 조사구(C-3)에서  $11.51 \pm 0.53 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났으며, 비산불조사구(Un), 수관화 발생 조사구(C-1), 지표화 발생 조사구(G-2)의 순으로 각각  $4.17 \pm 0.56$ ,  $3.27 \pm 1.56$ ,  $2.10 \pm 0.31 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 나타났다.

2009년 국가 장기생태 조사지인 서울 남산지소에서 소나무림의 현존생물량은  $190.70 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ , 연간 순생산량은  $13.30 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 조사 되었으며, 월악산 지소의 소나무림에서 각각  $115.39 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $6.28 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ , 점봉산 지소의 소나무림에서 각각  $229.08 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $13.99 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ ,

지리산 지소의 소나무림에서 각각  $80.41 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $4.48 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 보고되었다. Hong and nakagoshi(1996)는 계룡산 일대의 인간 간섭을 받지 않은 소나무림의 현존생물량을  $206.19 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Lee(1985)는 강원도산 평균 임령 36년생 천연림 지상부 현존생물량을  $198.82 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ 로 규명하였으며, 본 연구대상지의 비산불조사구(Un)와의 차이는 식생의 수령과 임목의 밀도에 의한 차이로 판단된다. 비산불조사구(Un)와 수관화 발생 조사구(C-3)의 현존생물량은 남산, 점봉산 지소보다는 낮고 월악산, 지리산지소 보다는 높게 나타났다. 수관화 발생 조사구(C-3)는 연간 순생산량이  $11.51 \pm 0.53 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 남산과 점봉산 지소의 연간 순생산량과 비슷한 수치로 가장 빠르게 회복되고 있다고 판단할 수 있다.

본 연구의 결과 산불 유형별 회복정도에 따른 현존생물량은 비산불조사구(Un)에서 가장 높았으며, 수관화 발생조사구(C-3), 지표화 발생 조사구(G-2), 수관화 발생 조사구

Table 5. Species net primary productivity of each plot during the experiment( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ )

Plot	Scientific name	Year			Mean
		2008	2009	2010	
Unburned	<i>Pinus densiflora</i>	2.46	3.55	1.30	$2.44 \pm 1.13$
	<i>Quercus dentata</i>	0.17	0.05	0.12	$0.11 \pm 0.06$
	<i>Quercus mongolica</i>	0.15	0.08	0.55	$0.26 \pm 0.25$
	<i>Quercus serrata</i>	0.76	0.43	2.71	$1.30 \pm 1.23$
	<i>Castanea crenata</i>	0.09	0.02	0.05	$0.05 \pm 0.04$
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	0.01	0.00	0.02	$0.01 \pm 0.01$
	Total NPP	3.64	4.13	4.75	$4.17 \pm 0.56$
Crown fire - 1	<i>Quercus mongolica</i>	1.62	3.19	3.72	$2.84 \pm 1.09$
	<i>Quercus serrata</i>	0.63	0.66	0.73	$0.67 \pm 0.05$
	<i>Lespedeza bicolor</i>	0.13	0.08	0.19	$0.13 \pm 0.06$
	Total NPP	2.38	3.93	4.64	$3.65 \pm 1.16$
Crown fire - 3	<i>Quercus mongolica</i>	4.00	3.28	4.58	$3.95 \pm 0.65$
	<i>Quercus serrata</i>	0.82	0.56	1.21	$0.86 \pm 0.33$
	<i>Quercus variabilis</i>	0.10	0.30	0.42	$0.27 \pm 0.16$
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	5.31	5.81	4.83	$5.32 \pm 0.49$
	<i>Lespedeza bicolor</i>	0.41	0.68	0.64	$0.58 \pm 0.15$
	<i>Lespedeza crtobotrya</i>	0.34	0.44	0.34	$0.37 \pm 0.06$
	<i>Rhus trichocarpa</i>	0.12	0.07	0.08	$0.09 \pm 0.03$
	<i>Styrax obassia</i>	0.08	0.10	0.02	$0.07 \pm 0.04$
	Total NPP	11.18	11.24	12.12	$11.51 \pm 0.53$
Ground fire - 2	<i>Pinus densiflora</i>	0.39	1.00	0.29	$0.56 \pm 0.38$
	<i>Quercus mongolica</i>	0.45	0.38	0.74	$0.52 \pm 0.19$
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	0.64	0.51	0.87	$0.67 \pm 0.18$
	<i>Lespedeza bicolor</i>	0.21	0.19	0.36	$0.25 \pm 0.09$
	<i>Lespedeza crtobotrya</i>	0.02	0.02	0.02	$0.02 \pm 0.00$
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	0.03	0.02	0.04	$0.03 \pm 0.01$
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	0.03	0.01	0.07	$0.04 \pm 0.03$
	Total NPP	1.77	2.13	2.39	$2.10 \pm 0.31$

(C-1)의 순으로 나타났다. 산불피해지에서 수종별 성장율과 연간 순생산량은 수관화 발생 조사구(C-3, C-1)에서 지표화 발생 조사구(G-2)보다 높은 것으로 나타났으며, 이는 수관화 발생 조사구(C-3)가 지표화 발생 조사구(G-2)에 비해 관목의 밀도(수관화 발생 조사구(C-3) : 368 개체/100 m<sup>2</sup>, 지표화 발생 조사구(G-2) : 78 개체/100 m<sup>2</sup>)와 낙엽에 의해 임상으로 이입되는 영양염류의 함량(수관화 발생 조사구(C-3) : 19.60 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>, 지표화 발생 조사구(G-2) : 15.8 kg·ha<sup>-1</sup>·yr<sup>-1</sup>)이 높고(Kim and Yang, 2012), 교목의 유무에 따른 수관층의 울폐도가 낮아 관목 및 초본층으로 도달하는 광량이 증가하기(Park *et al.*, 2002) 때문으로 판단된다.

## 인용문헌

- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud and D. Williams (1983) Fire in forestry. Vol. I. Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons, New York, 450pp.
- Choung, Y.(2000) Natural regeneration after forest fire, and restoration policy. In the ecological role of fire. The Ecological Society of Korea International Symposium: 1-26.
- 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. Ecological Research 19(1): 43-54.
- Hiratsuka, M., T. Toma, R. Diana, D. Hadriyanto and Y. Morikawa (2006) Biomass recovery of naturally regenerated vegetation after the 1998 forest fire in east Kalimantan, Indonesia. Japan agricultural research quarterly 40(3): 277-282.
- Hong, S.K. and N. Nakagoshi(1996) Biomass changes of a human-influenced pine forest and forest management in agricultural landscape system. Korean J. Ecol 19(4): 305-320.
- Hozumi, K.(1963) Allometry in higher plants. 2. Allometry in trees, especially on the allometry relating DBH. Seicho 2: 1-18.
- Ji, D.H.(2005) Biomass of *Pinus densiflora*, *Quercus variabilis* and *Quercus acutissima* in Geum-Gang Recreational Forest. M. thesis, Univ. of Chungnam, Daejeon, Korea, pp. 17-26. (in Korean with English abstract)
- Johnson, F.L. and P.G. Risser(1974) Biomass, annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak-black oak forest. Ecology 55: 1,246-1,258.
- Kim, J.H. and S.M. Yoon(1972) Studies of the productivity and the productive structure of forests II. Comparison between the productivity of *Pinus densiflora* and of *Quercus mongolica* Stands located near Choon-Chun City. The botanical society of Korea 15: 71-78. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.S. and K.C. Yang(2012) Comparison of litter production and nutrient returned to forest floor according to forest fire type and recovery. Korean society of environment and ecology 26(1): 67-73. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.S.(1995) Biomass and distribution of nitrogen and phosphorus for *Pinus rigida*, *Larix leptolepis* and *Quercus serrata* stands in Yang pyeong. M. thesis, Univ. of Korea, Seoul, Korea, pp. 57-76. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.S.(2011) The comparison of biomass production and nutrient distribution according to forest fire type and recovery degree. M. thesis, Univ. of Kongju, Chungnam, Korea, pp. 14-20. (in Korean with English abstract)
- Kira, T. and T. Shidei(1967) Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. Jap J Ecol 17: 70-87.
- Kittredge, J.(1944) Estimation of the amount of foliage on trees and stands. Journal of Forestry 42: 905-912.
- Lee, C.S. and S.K. Hong(1998) Changes of landscape pattern and vegetation structure in Rural Area Disturbed by Fire. Korean J. Eco. 21(4): 389-399. (in Korean with English abstract)
- Lee, D.K. and K.C. Kwon(2006) Biomass and annual net production of *Quercus mongolica* stands in Pyungchang and Jecheon areas. Journal of Korean forest society 95(3): 309-315. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.S. and Y.S. Choung(1999) Comparison of nutrient budget on the planting revegetation site with natural revegetation site in Kosung area disturbed by fire. Journal of east coastal research 1: 137-153.
- Lee, K.S., Y.S. 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 J. Ecol 27(2): 99-106. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.W.(1985) Biomass and net primary productivity of *Pinus densiflora* natural ecosystem in Kangwondo, Korea. Journal of Korean forest society 71: 74-81. (in Korean with English abstract)
- Lieth, H.(1973) Primary production: Terrestrial ecosystems. Human Ecology 1: 302-303.
- Mun, H.T. and Y.S. Choung(1996) Effects of forest fire on soil nutrients in pine forests in Kosong, Kangwon Province. Korean J. Eco. 19(5): 375-383. (in Korean with English abstract)
- Nakagoshi, N., K. Nehira and F. Takahashi(1987) The role of fire in pine forest of japan. In L. Trabaud(ed.), The role of fire in ecological systems. SPB Academic publishing, Hague, pp. 91-119.
- Namgung, J.(2010) Production and nutrient cycling in *Quercus variabilis* forest at Mt. Worak. Doctoral thesis, Univ. of Kongju, Chungnam, Korea, pp. 25-31 (in Korean with English abstract)
- Odum, E.P.(1971) Fundamentals of production. A source of error in estimating woodland production, energy flow and mineral cycling. Oikos 14: 148-153.



- Park, G.S. and M.J. Lee and H.K. Song(2002) Effects of Forest Fire on Herb Layer Development and Chemical Properties of Soil. Korean society of environment and ecology 26(1): 67-73. (in Korean with English abstract)
- Shidei, T.(1960) Studies on the productivity of the forest I. Essential needle-leaved forests on Hokkaido. Kokusaku Pulp. Industry Co., Tokyo, 99pp.
- Skre, O., F.E. Wielgolaski and B. Moe(1998) Biomass and chemical composition of common forest plants in response to fire in western Norway. Journal of Vegetation Science 9(4): 501-510.
- Slik, J.W., C.S. Bernard, M. Beek, F.C. Breman and K.A. Eichhorn(2008) Tree diversity, composition, forest structure and aboveground biomass dynamics after single and repeated fire in a Bornean rain forest. Springer Science and Business Media 158(3): 579-588.
- Waring, R.H. and W.H. Schlesinger(1985) Forest ecosystems; Concept and Management. Academic press, New York, 304pp.
- Whittaker, R.H. and P.L. Marks(1975) Methods of assessing terrestrial productivity. In primary productivity of the biosphere(Lieth H, Whittaker RL, eds). Springer, New York, pp. 55-118.
- Yu, X., Y. Pang, D. Zhuang and X. Hou(2004) Forest fire disturbance and its effect on forest biomass in Daxinganling region. Interbational geoscience and remote sensing symposium 4: 2,310-2,313.