

동해안 산불 피해지에서 산불 후 경과 년 수에 따른 식생 구조의 발달

이규송* · 정연숙¹ · 김석철 · 신승숙² · 노찬호¹ · 박상덕²

강릉대학교 생물학과, ¹강원대학교 생물학과, ²강릉대학교 토목공학과

적 요: 동해안 산불피해지역 중 시급한 복구계획을 요하는 사면지역에 대한 산불 후 경과 년 수에 따른 일반적인 식생발달 모형을 개발하였다. 또한 산불피해지역을 관리하기 위한 기법 개발에 사용될 매개변수로서 식생지수들의 발달모형을 제시하였다. 산불 피해지역에서 맹아로 재생하는 목본 식물량을 추정하기 위하여 총 17종의 상대 생장식을 구하였다. 산불 경과 후 교목층, 아교목층, 관목층 및 초본층의 4층 구조를 갖춘 완전한 형태의 숲으로 회복되는데 약 20년이 경과해야 하는 것으로 추정되었다. 산불후 경과 년 수에 따라 최상층부 식생의 키, 목본의 기저면적 및 지상부 목본 식물량은 직선적인 증가 경향을 나타내었고, 전체 지상부 식피율과 낙엽층은 대수적인 증가 경향을 나타내었다. 식생지수 중 *Ivc*와 *Ivcd*는 산불 후 경과 년 수에 따라 대수적인 증가 경향을 그리고 *Hcl*과 *Hcdl*은 직선적인 증가경향을 나타내었다. 특히 산불 피해 후 2차 재해가 예측되는 초기 5년차 이내에서는 모든 식생 요인들이 입지요인이나 지력에 따라 공간적 이질성이 큰 것이 확인되었다. 식생 지수 중 *Ivc*와 *Ivcd*는 산불 초기의 공간적 이질성을 표현하기에 적당한 지수이었고, *Hcl*과 *Hcdl*은 장기적인 식생구조의 발달을 예측하는데 유용한 지수로 판단되었다.

검색어: 공간적 이질성, 산불, 식물량, 식생 구조, 식생지수, 식생천이, 2차 재해

서 론

산불은 목재원이나 송이와 같은 산림자원의 손실을 가져올 뿐만 아니라 홍수, 토사유출 및 어장의 피해와 같은 산불 후에 발생하는 2차 재해를 유발하기도 한다(Marques and Mora 1998, 동해안 산불피해지 공동조사단 2000, 신 2002, 행정자치부 국립방재연구소 2003). 최근에는 산불의 빈도와 규모가 크게 증가하고 있다. 특히 동해안 지역에서 대형 산불이 빈번하게 발생하고 있는데, 그 이유는 산불에 취약한 소나무 단순림이 우점하고, 지형적인 특성으로 인하여 건조기에 강한 바람이 불며, 군사시설과 취락농경지가 밀집되어 있고, 산림내 연료원이 많이 축적되어 있기 때문이다(동해안산불피해지 공동조사단 2000, 정 등 2002, 환경부 2002, 김 2003, Choung *et al.* 2004). 전 국토의 65% 이상을 차지하고 있는 산림생태계를 효율적으로 관리하기 위해서는 훼손의 원인, 훼손을 방지하기 위한 방안과 관리, 그리고 훼손된 생태계에 대한 적절한 복구 및 관리방안이 반드시 필요하다(이 1995). 1996년과 2000년도에 동해안에서 발생한 대형 산불은 산불피해에 대한 사회적 경각심을 불러 일으켜 산불의 원인 제거, 산불피해를 줄이기 위한 여러 가지 관리기법의 도입 및 산불피해지에 대한 적절한 복구기법의 모색에 대한 노력을 기울이게 하였다. 특히 2000년 산불피해 후에 학계를 중심으로 벌어진 산불피해지역의 복구방법에 대한 뜨거운 논쟁은 동해안 산불피해지 공동조사단을 결성하여 사회경제적 요소, 자연복원력, 입지생산력 등 다양한 요인을 고려한 산림복구계획을 수립

하게 하였다(동해안 산불피해지 공동조사단 2000). 이 과정은 산불피해지 복원정책에 대한 최초의 사회적 합의 과정으로 큰 의의를 지니고 있지만, 각각의 복구계획에 대한 과학적인 자료가 매우 부족분하기 때문에 보다 장기적이고 확고한 현장자료를 근거로 한 산불피해지역의 복구 모형이 개발될 필요가 있다(환경부 2002, 김 2003, 이 2003).

산불피해지역의 복구 모형을 개발하기 위해서는 생태계 발달의 기초를 이루는 식생의 발달 속도, 즉 천이속도를 추정할 수 있는 모형이 먼저 개발되어야 한다. 일반적으로 산불피해지역은 산불 전 식생의 종류와 관리방법, 산불피해강도, 입지 조건 등이 복잡하게 작용하여 모자이크상의 재생 패턴을 보인다(노 1999, 동해안 산불피해지 공동조사단 2000, 김 2003, Choung *et al.* 2004). 따라서 산불피해지에서 나타나는 주요 유형마다 식생의 발달 속도를 예측하여 복구계획에 반영하여야 한다. 특히 산불피해강도가 강수간화나 수관화로 심한 사면지역은 산불피해지 중 가장 넓은 면적을 차지하고 있고, 전체 식생이 소실된 후 재생이 이루어지기 때문에 토사유출이나 홍수피해 등 2차 재해를 야기할 가능성이 매우 높다. 따라서 심한 산불피해를 입은 사면 지역에서 식생의 발달 속도를 예측할 수 있는 일반적인 모형을 개발하여 자연적인 식생발달 가능성을 판단하고, 이 모형에 비해 현저히 발달 가능성이 낮다고 예측되는 지역에 대하여 다양한 복구 및 관리대책을 세워야 한다.

본 연구에서는 산불 피해지역 중 보다 시급하게 복구계획을 필요로 하고 넓은 면적을 차지하고 있는 강수간화 이상의 심한 피해를 입은 사면지역에 대한 일반적인 식생 발달과정에 대한

* Corresponding author; Phone: 82-33-640-2311, Fax: 82-33-642-6124, e-mail: leeks84@kangnung.ac.kr

모형을 개발하였다. 또한 산불피해지의 토사유출이나 홍수피해 등과 같은 2차 재해 예측의 중요한 매개변수로서 식생요인을 보다 쉽게 사용할 수 있도록 하기 위하여 개발된 식생지수들의 발달 모형을 제시하였다.

연구 방법

심한 산불피해를 입은 사면지역에 대한 일반적인 식생 발달의 모형 개발을 위하여 다음과 같은 전제조건을 갖춘 지역을 선정하여 조사하였다.

- 가. 동해안 지역의 일정 고도 이하에 분포할 것.
- 나. 산불 전 식생유형이 소나무림 지역인 곳.
- 다. 산불 피해의 강도가 강수간화 피해 이상으로 산불 전의 모든 식생이 소실된 후 재생이 일어나는 지역일 것.
- 라. 사면지역일 것.
- 마. 산불 이후의 재생이 자연방치상태에서 진행되고, 인간에 의한 관리가 최소화한 지역일 것.

상기의 조건을 만족시키는 지역 중에서 산불의 발생시기가 다른 여러 지소의 자료를 수집하여 사용하였는데, 자료가 수집된 장소는 고성군, 양양군, 강릉시, 동해시 및 삼척시 지역이었다. 자료의 수집은 1998년도 35지소, 2000년도 26지소, 2001년도 72지소, 2002년도 89지소 그리고 2003년도 34지소 총 265지소에서 이루어졌다. 조사 지역별 산불 발생 시기와 행정구역별 조사 지소를 정리하면 Table 1과 같다.

각 조사지소에서 교목층, 아교목층, 관목층 및 초본층으로 식생구조를 구분하여 각 층별 키와 피도를 측정하였다. 또한 낙엽층의 두께와 피도를 측정하였다. 모든 유형의 식생이 지표면을 덮는 정도를 전체 지상부 식피율로 측정하였다. 또한 산불 후 맹아로 재생하는 모든 목본의 기저면적(지표면 위 10 cm 지점에서 줄기의 횡단면)을 측정하였다. 산불후 10년차이내의 초기에 기저직경 10 cm 이하로 재생하고 있는 목본의 건중량은 본 조사지역에서 직접 상대생장식을 개발하여 사용하였고(Table 2), 직경 10 cm 이상인 목본은 다른 연구자에 의해 개발된 상대생장식을 사용하였다(김과 윤 1972, 이와 정 1999, 국립방재연구소 2001).

토사유출이나 강우유출과 같은 2차 재해 가능성의 예측과 같이 생태계를 관리하는 분야에서는 식생요인을 주요 매개변수로 활용한다(신 2002, 행정자치부 국립방재연구소 2003). 그러나 산림의 식생구조는 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층 및 낙엽층으로 세분되어 있어서 식생요인을 하나의 매개변수로 이용하기가 불편하다. 따라서 여러 측정값으로 나타나는 복잡한 식생구조를 하나의 값으로 압축하여 사용하면 식생요인을 하나의 매개변수로서 다루기 쉬워진다. 본 연구에서는 본 연구팀에 의하여 산불피해지역에서 토사유출과 강우유출의 예측모형에 사용하기 위하여 개발한 다음의 식생지수를 구하여 이들의 발달 모형을 개발하였다(김 2003, 행정자치부 국립방재연구소 2003).

Table 1. The studied area and number of plots

Fire occurred year	Gosung	Yangyang	Gangreung	Donghae	Samcheok
1972 ^a		26			
1982 ^b			9		
1986 ^c	20				
1993 ^d					5
1996 ^e	33				
1998 ^f			8		
2000 ^g	6		20	13	125
Total	59	26	37	13	130

^a Gangwon-Do, Yangyang-Gun, Hyunbuk-Myon(Investigated year: 1998, 2001, 2002, 2003).

^b Gangwon-Do, Gangreung-Si, Yucheon-Dong(Investigated year: 2002).

^c Gangwon-Do, Gosung-Gun, Geojin-Uep(Investigated year: 1998).

^d Gangwon-Do, Samcheok-Si, Wondeok-Uep(Investigated year: 1998).

^e Gangwon-Do, Gosung-Gun, Jukwang-Myon(Investigated year: 1998, 2001, 2002, 2003).

^f Gangwon-Do, Gangreung-Si, Sacheon-Myon(Investigated year: 2001, 2002, 2003).

^g Gangwon-Do, Gosung-Gun, Jukwang-Myon(Investigated year: 2000) Gangwon-Do, Gangreung-Si, Sacheon-Myon(Investigated year: 2000, 2001, 2002)

Gangwon-Do, Donghae-Si, Hyoga-Dong(Investigated year: 2000, 2002) Gangwon-Do, Samcheok-Si, Wondeok-Uep, Imwon-Uep(Investigated year: 2000, 2001, 2002, 2003).

식생 지수(V_{cl}) = 지표면에 식생을 투영했을 때의 전체 식피율(%)

$$\text{식생 지수}(I_{vc}) = \sum V_{cl} / 100$$

$$\text{식생 지수}(H_{cl}) = \sum (H_l \times V_{cl})$$

$$\text{낙엽층을 포함한 식생 지수}(H_{cdl}) = \sum (H_{cl} \times V_{cdl})$$

$$\text{낙엽층을 포함한 식생 지수}(I_{vcdl}) = \sum V_{cdl} / 100$$

위의 식생지수에서 V_{cl} 은 1 층의 식피율(%)을, 그리고 H_l 은 1 층의 식생의 키(m)를 나타낸다. 또한 V_{cdl} 은 낙엽층까지 포함한 1 층의 식피율(%)을, 그리고 H_{cdl} 은 낙엽층까지 포함한 1 층의 키를 나타내는 데, H_{cdl} 에서 초본층, 관목층, 아교목층 및 교목층의 키는 m 단위로 낙엽층의 두께는 cm 단위로 사용하였다.

결과 및 고찰

식생구조의 발달

동해안 산불 피해지역 중 강수간화 피해를 입은 사면 지역에서 산불 후 경과 년 수에 따른 최상층부를 구성하는 식생의 키

Table 2. Allometric equations of woody species in burned area

Species	Equations	r ²	n
<i>Rhus trichocarpa</i> (개웃나무)	DW = 0.2095DBH ₁₀ ^{2.2092}	0.9870	65
<i>Securinega suffruticosa</i> (광대싸리)	DW = 0.6931DBH ₁₀ ^{1.6791}	0.6678	4
<i>Stephanandra incisa</i> (국수나무)	DW = 1.5719DBH ₁₀ ^{1.1511}	0.5612	17
<i>Quercus variabilis</i> (굴참나무)	DW = 0.6509DBH ₁₀ ^{2.1034}	0.9855	52
<i>Quercus dentata</i> (떡갈나무)	DW = 0.518DBH ₁₀ ^{2.078}	0.8983	69
<i>Alnus hirsuta</i> (물오리나무)	DW = 0.3528DBH ₁₀ ^{2.4062}	0.9860	13
<i>Prunus sargentii</i> (산벚나무)	DW = 0.3421DBH ₁₀ ^{2.1813}	0.9357	13
<i>Lindera obtusiloba</i> (생강나무)	DW = 0.1541DBH ₁₀ ^{2.4426}	0.9005	16
<i>Fraxinus sieboldiana</i> (쇠물푸레)	DW = 0.7031DBH ₁₀ ^{1.882}	0.9890	47
<i>Quercus mongolica</i> (신갈나무)	DW = 0.4687DBH ₁₀ ^{2.1313}	0.9632	105
<i>Robinia pseudo-acacia</i> (아까시나무)	DW = 0.1392DBH ₁₀ ^{2.1122}	0.9904	34
<i>Quercus serrata</i> (졸참나무)	DW = 0.48DBH ₁₀ ^{2.4976}	0.9631	91
<i>Styrax obassia</i> (쪽동백나무)	DW = 0.1412DBH ₁₀ ^{2.4976}	0.9832	30
<i>Corylus sieboldiana</i> (참개암나무)	DW = 0.4237DBH ₁₀ ^{2.0318}	0.9115	87
<i>Lespedeza crtobotrya</i> (참싸리)	DW = 0.4196DBH ₁₀ ^{2.2821}	0.9779	87
<i>Rhododendron schlippenbachii</i> (철쭉꽃)	DW = 0.0786DBH ₁₀ ^{2.6482}	0.9713	13
<i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> (털진달래)	DW = 0.0471DBH ₁₀ ^{2.8498}	0.9958	12

※ DW: shoot dry weight, DBH₁₀: diameter on the 10cm height.

를 Fig. 1에, 그리고 지표면에서 측정한 전체 지상부 식피율을 Fig. 2에 나타내었다. 최상층부 식생의 키는 산불 후 경과 년 수 증가에 따라 직선적으로 증가하여 지소에 따라 다소의 차이는 있으나 산불 후 17년 이상이 경과하면 8 m 이상의 식생을 구성한다(Fig. 1). 지표면에 투영한 식생의 식피율은 대수적인 증가 경향을 나타내어 산불 발생 후 5년이 경과하면 70% 이상을 나타내는 지소가 대부분이고, 10년이 경과하면 90% 이상을 나타내

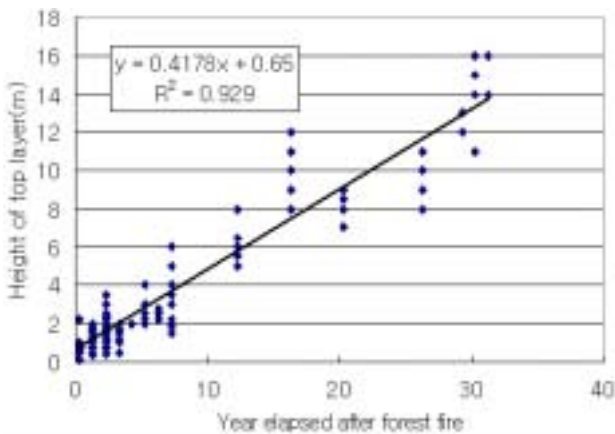


Fig. 1. Changes of height of top layer after forest fire (n = 265).

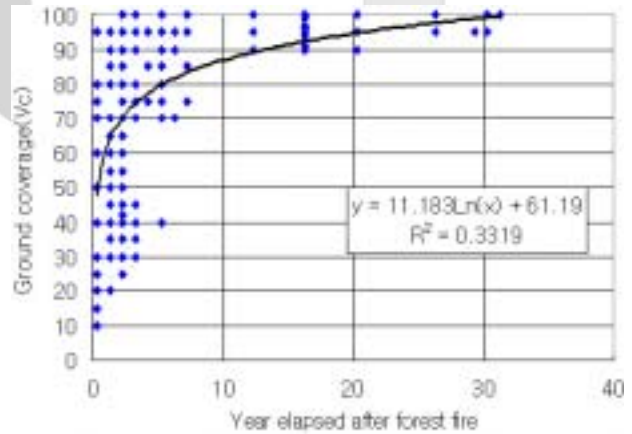


Fig. 2. Changes of ground vegetation coverage after forest fire (n = 265).

는 지소가 대부분이었다(Fig. 2). 이러한 결과는 동해안의 산불 피해지에서 별다른 조치가 없이 자연복원을 하여도 식생을 재생하는데 큰 문제가 없다는 사실을 말해준다(정 등 2000). 특히 산불 후 초기에는 최상층부 식생의 높이와 지표면 식피율의 증가가 지소에 따라 크게 다르다는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 산불 후 초기에 복구나 복원 계획을 세울 때 지소에 따라 다른 관리 계획이 필요하다는 것을 의미한다(김 2003).

동해안 산불피해지역 중 강수간화 이상의 심한 피해를 입은 사면 지역에서 산불 후 경과 년 수에 따른 교목층, 아교목층, 관목층 및 초본층의 키의 변화를 Fig. 3에, 그리고 식피율의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 산불 발생 후 5년차까지는 초본층과 관목층이 맹아의 형태로 재생되고, 5년차부터 아교목층이 분화하기 시작해 15년차에 이르면 아교목층의 분화가 완료되며, 교목층은 13년차부터 분화하기 시작해 20년차에 이르면 분화가 완료된다고 할 수 있다(Figs. 3, 4). 즉, 산불 발생 후 5년차까지 관목층과 초본층의 2층 구조를 형성하고, 15년차에 이르면 아교목층, 관목층, 초본층의 3층 구조를, 그리고 20년차에 이르면 교목층, 아교목층, 관목층 및 초본층의 4층 구조를 완성하는 것이 동해안의 산불 피해지역에서 일반적인 식생구조의 발달 과정이라고 할 수 있다. 산불 후 4층 구조가 완료되는 20년차 이상에서 교목층의 키와 식피율이 각각 8 m 이상과 80% 이상을, 아교목층의 키와 식피율이 각각 2~6 m와 20~70%를, 관목층의 키와 식피율이 각각 1~2 m와 20~70%를, 그리고 초본층의 키와 식피율이 각각 0.5 m 이하와 10~40%를 나타내었다. 이러한 식생발달 속도는 거의 완전한 나지에서 시작되는 목밭에서의 식생발달 속도보다 5~10년 정도 빠른 것이다(이 1995). 본 조사지역의 이러한 식생발달 속도는 일본의 히로시마 현보다 아교목층과 교목층의 발달 속도가 빨라 전체적인 식생구조의 완성이 빠른 것으로 확인되었다(Angara *et al.* 2000). 일본의 히로시마 현과 본 조사지역의 식생구조 발달에서 나타나는 큰 차이는 본 조사지역에서는 산불 후 초기에 초본층의 발달이 크고 산불 후 경과 년 수 증가에 따라 점차 초본층이 상층부에 의해 피압되어 식피율이 20~40%로 낮아지는데 비해 일본의 경우에는 초본층이 산불 후 경과 년 수에 따라 점차 증가하여 20년차 정도에서 80~90%의 식피율을 나타내고 있다는 것이다(Angara *et al.* 2000). 이러한 차이는 일본의 기후가 습하고 또한 초본식물의 내음성이 우리나라 초본식물과 차이가 있기 때문으로 판단된다. 산불 후 2차 재해 등이 예측되는 산불발생 후부터 초기 10년차까지는 입지요인이나 지력에 따라서 식생의 재생력에서 큰 변이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다(Figs. 3,

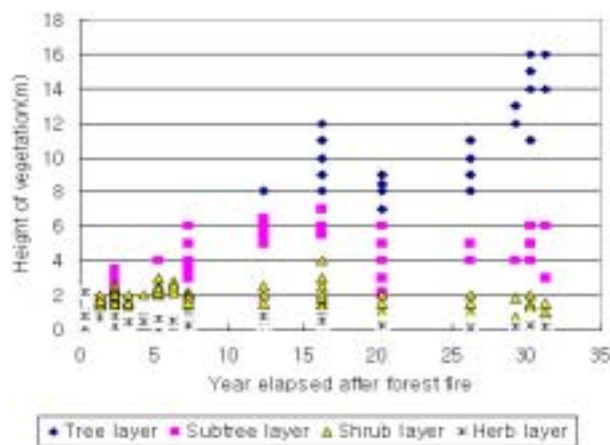


Fig. 3. Changes of height of each layer after forest fire (n = 265).

4). 이러한 식생 발달의 이질성은 산불이 잦은 일본의 히로시마 현에서도 확인되었다(Angara *et al.* 2000, 2003년 일본 현지답사 확인). 산불 지역 외의 생태계에서도 여러 가지 요인에 의해 나타나는 공간적 이질성은 생태계를 해석하는 데 중요하게 다루어지고 있다. 특히 이질성이 나타나는 원인과 생태계의 발달과정에서 나타나는 공간적 이질성의 의미를 파악하는 일은 매우 중요하다고 알려져 왔다(Robertson *et al.* 1988, Armesto *et al.* 1991, Koch and Matzner 1993, Lee and Cho 1999). 따라서 향후 공간적 이질성이 크게 나타나는 산불 발생 후 초기 10년차까지 식생의 재생력에 영향을 미치는 요인들에 대한 정밀 분석을 한다면 산불 발생 지역의 생태계 관리에 큰 도움을 줄 수 있을 것

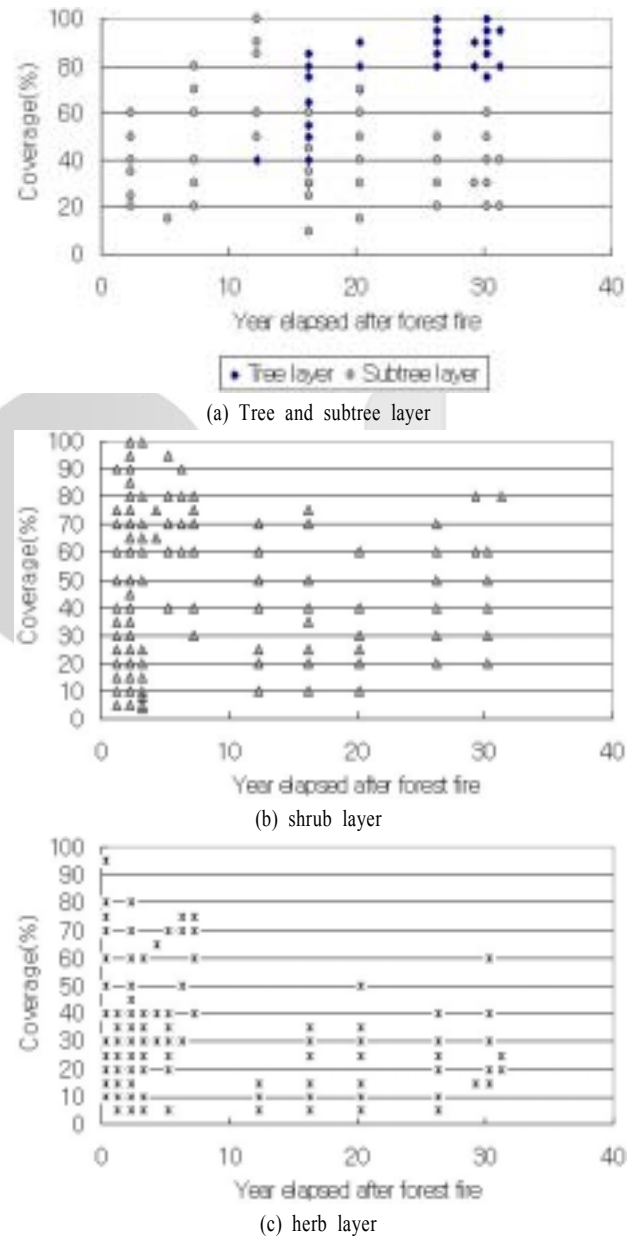


Fig. 4. Changes of coverage of each layer after forest fire (n = 265).

으로 판단된다.

낙엽층의 발달

산불 후 경과 년 수에 따른 낙엽층의 두께(낙엽층 두께 = $0.707 \times \ln(\text{경과 년 수}) + 0.258$, $r^2 = 0.47$, $n = 147$)와 피도(낙엽층 피도 = $23.896 \times \ln(\text{경과 년 수}) + 14.425$, $r^2 = 0.40$, $n = 147$)는 모두 대수적으로 증가하는 경향이 있었다. 낙엽층의 전체적인 발달과정을 살펴보기 위하여 구한 낙엽층의 두께와 피도를 곱한 값도 산불 후 경과 년 수에 따라 대수적인 증가 경향을 나타내었다(Fig. 5). 낙엽층의 발달 정도는 생태계 내에서 물질의 재순환, 수분이나 온도 등 지표면 미환경의 조절, 표면유출수량이나 토사유출의 억제, 토양 미생물이나 소동물의 분포 등과 밀접한 관련을 가진다. 호주 동부지역의 산불 후 초기 10년차까지의 연구에서 지상부 낙엽량이 대수적으로 증가하였고, 쥐의 밀도가 증가 하는 패턴이 낙엽량의 증가와 밀접한 관련이 있었다는 보고는 낙엽층 발달의 중요성을 말해준다(Fox and Fox 1987). 특정 지소의 낙엽층은 낙엽을 생산할 수 있는 식생의 발달 상태, 낙엽의 재배치와 밀접한 관련이 있는 바람의 강도와 방향, 분해생물의 다소와 이들이 활동하기 좋은 미환경 요소, 분해능과 관련된 낙엽의 질 등에 의해 결정된다(Lee and Cho 1999, 이와 조 2000a, b, 최 2001). 동해안 지역에서는 식물의 생육이 시작되는 초봄 시기에 매우 강한 바람이 자주 불기 때문에 특히 산불 초기에 낙엽의 재배치가 활발하게 일어난다. 본 조사지역에서 식생의 발달상태는 낙엽층의 발달과 매우 밀접한 관련을 나타내고 있었다(낙엽층두께×피도 = $3.13 \times (\text{지표면 식생의 식피율}) - 136.81$, $r^2 = 0.59$, $n = 147$). 따라서 동해안 산불 피해지역에서 낙엽층의 발달과 가장 밀접한 관련을 가지는 요인은 낙엽의 생산과 바람에 의한 재배치 차단 집적의 기능을 수행하는 식생의 발달상태라고 할 수 있다.

목본의 기저면적과 식물량의 변화

산불 후 맹아로 재생하는 목본의 기저면적과 건중량의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 산불 이후에 재생하는 목본의 기저면적

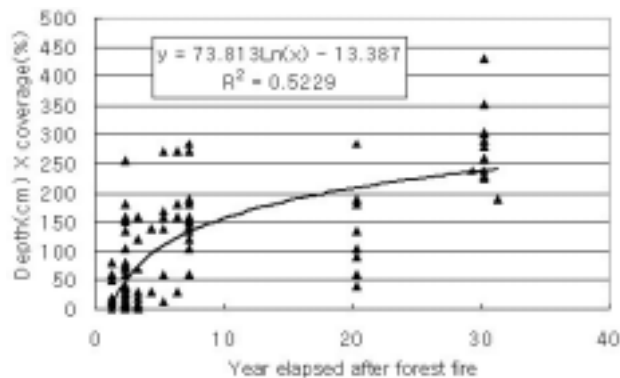


Fig. 5. Changes of depth(cm) X coverage(%) of litter layer after forest fire (n = 147).

과 건중량은 산불후 경과 년 수에 따라 직선적으로 증가하는 경향이 확인되었다(Fig. 6). 일본의 남부 히로시마 현에서 산불 후 경과 년 수에 따른 지상부 식물량의 변화를 관찰한 결과에 따르면 약 10년이 경과한 시점에서 17~18 ton/ha이었고, 약 20년이 경과한 시점에서 50~60 ton/ha이었다(Nakagoshi *et al.* 1987). 본 조사지역에서는 약 10년이 경과한 시점에서 17 ton/ha, 20년이 경과한 시점에서 36 ton/ha 그리고 30년이 경과한 시점에서 56 ton/ha의 평균 지상부 식물량을 갖는 것으로 추정된다. 지소에 따른 변이를 고려한다면 일본의 히로시마와 본 조사지역의 지상부 식물량의 증가 경향은 비슷하다고 할 수 있다. Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 5년 미만의 산불경과 년 수를 나타내는 지역에서는 동일한 경과 년 수라도 지소에 따른 기저면적과 생물량의 변화 폭이 매우 크다. 산불 초기에 재생하는 목본의 재생량은 일반적으로 산불전 식생의 관리방법과 입지조건에 따른 산불전 식생구조의 영향을 크게 받기 때문에 산불 후의 재생초기에 큰 편차를 나타내고 이후 식생이 회복되면서 재생하는 목본들 간의 경쟁압 등으로 편차가 줄어들기 때문에 지소간의 편차가 줄어드는 것으로 생각된다(환경부 2002). 산불지역에서 식생의 회복에 따른 생물량의 증가는 호우시 강우의 타격면적을 감소시키고 지표면의 보유수량을 증가시키게 되며 지표면 유속을 낮추어 결과적으로 토사유출량 및 표면유출수량을 감소시킬 수 있다(행정자치부 국립방재연구소 2001, 김 2003). 결과적으로

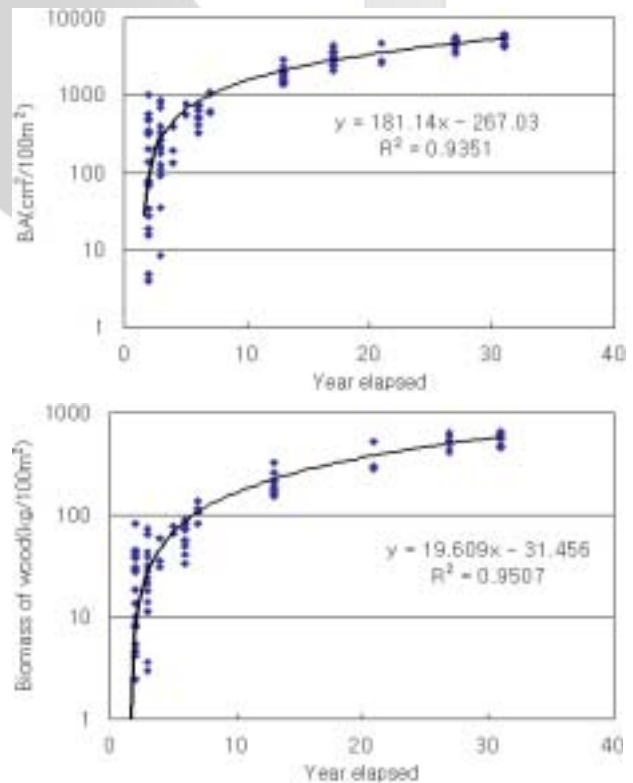


Fig. 6. Changes of basal area (BA, $\text{cm}^2/100\text{m}^2$) and standing biomass ($\text{kg}/100\text{m}^2$) of woody plants after forest fire (n = 97).

산불 이후의 생물량의 증가 속도는 유실되기 쉬운 염양염류의 생태계내 유지와 산불 지역에서 우려되는 토사 유출이나 홍수 등의 2차 재해를 저감하는 것과 매우 밀접한 관련을 가진다(행정자치부 국립방재연구소 2003).

식생지수의 변화

본 연구에서 복잡한 식생구조를 하나의 값으로 표현하기 위하여 개발한 주요 식생지수들의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 식생의 구조로 계산된 식생지수 중에서 I_{vc} 와 I_{vcd} 는 지표면 식피율(V_c)과 마찬가지로 산불 후 경과 년 수에 따라 대수적인 증가 경향을 나타내었고, H_{cl} 과 H_{cdl} 은 기저면적이나 생물량과 마찬가지로 직선적인 증가경향을 나타내었다(Fig. 7).

모든 식생지수들은 산불후 초기 특히 5년차 이내의 지소에 서 입지조건에 따른 큰 편차를 나타내고 있다. 산불초기에 재생되는 식생이 큰 편차를 나타내는 것은 생태계 관리나 보전을 위한 식생의 관리방법이 지소에 따라 차별적으로 이루어져야 한다는 사실을 의미한다(동해안 산불피해지 공동조사단 2000, 행정자치부 국립방재연구소 2003, 김 2003). 특히 토사 유출이나 표면 유출수량은 산불후 초기의 입지조건과 식생의 상태에 크게 영향을 받고 있으므로 토사 유출이나 홍수 피해와 같은 2차 재해를 방지하기 위한 대책수립도 지소에 따라 달리 수립되어야 한다는 것을 의미한다(행정자치부 국립방재연구소 2001).

Table 3은 산불 이후의 경과 년 수에 따른 식생회복 모형에

사용된 식생 요인들 간의 상관분석을 한 결과이다. 모든 식생요인들이 산불 후 경과 년 수와 밀접한 상관을 나타내었다. 특히 산불 후 경과 년 수와 보다 높은 상관을 나타내는 식생요인들은 직선적인 증가 경향을 나타낸 최상층부 식생의 키(H), 기저면적, 목본식물량, H_{cl} 및 H_{cdl} 이었다. 지표면 식피율(V_c)은 I_{vc} 및 I_{vcd} 와 높은 상관을 나타내었다. 최상층 식생의 키(H), H_{cl} , H_{cdl} , BA 및 WDW 간에는 매우 높은 상관이 확인되었다. I_{vcd} 는 모든 식생요인들과 가장 높은 상관을 나타내고 있었다(Table 3).

결론적으로 본 연구에서 제시한 여러 가지 식생 요인과 지수는 산불 피해지역에서 생태계의 발달과정을 고려한 다양한 관리기법을 개발하는데 있어서 매개변수로 활용될 수 있다. 또한 산불 피해지역의 복구나 관리를 위한 매개변수로서 사용될 수 있는 각각의 식생요인은 나름대로 장점과 단점을 갖고 있어서 생태계를 관리하고자 하는 목적에 맞추어 적절한 식생요인(지수)들을 취사선택하여 사용할 수 있다. 본 연구에서 제시한 식생지수 중 비교적 현장에서 쉽게 측정할 수 있고 산불 초기의 공간적 이질성을 잘 표현해 주어 산불초기 생태계의 관리나 복구기법을 개발하는데 사용할 수 있는 식생 지수는 V_c , I_{vc} 및 I_{vcd} 이다. 그러나 이 식생지수들은 연구자의 숙련도에 따라 다소의 차이가 발생할 수 있는 단점이 있다. 최상층부 식생의 키, 기저면적, 식물 현존량, H_{cl} 및 H_{cdl} 은 다른 지수들에 비하여 산불 후 초기의 지소에 따른 이질성을 잘 반영하지 못하지만 식생경과 년수에 따른 직선적인 발달상태를 잘 나타내주고 있어서 장기적

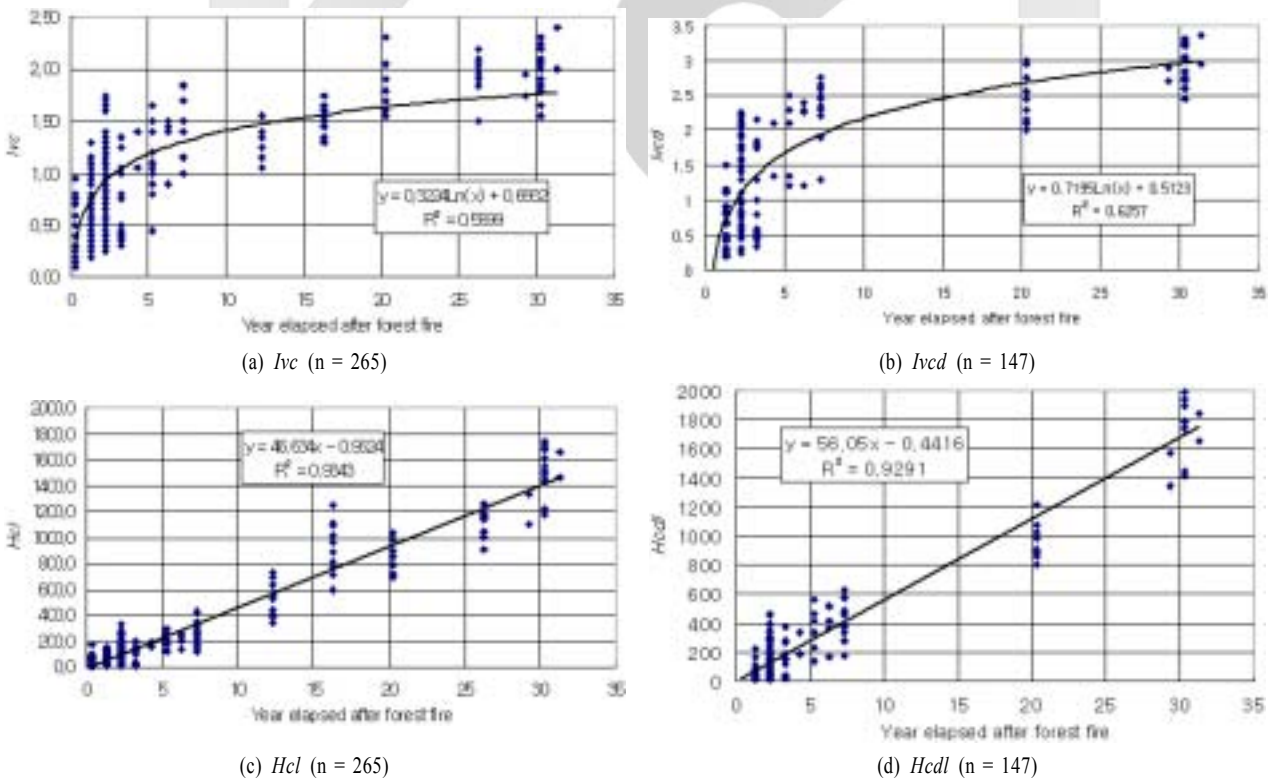


Fig. 7. Changes of several vegetation index(I_{vc} , I_{vcd} , H_{cl} , H_{cdl}) after forest fire.

Table 3. Pearson correlation coefficients between vegetation indices and elapsed year after forest fire(*H*; height of top layer(m), *V_c*; ground coverage(%), *BA*; basal area of woody plants($\text{cm}^2/100\text{m}^2$), *WDW*; standing biomass of woody plants(kg D.W./100m^2))

	<i>T</i> (yr)	<i>H</i>	<i>V_c</i>	<i>I_{vc}</i>	<i>H_{cl}</i>	<i>I_{ved}</i>	<i>H_{cdl}</i>	<i>BA</i>	<i>WDW</i>
<i>T</i> (yr)	1.000	***	***	***	***	***	***	***	***
<i>H</i> (m)	0.964	1.000	***	***	***	***	***	***	***
<i>V_c</i> (%)	0.527	0.573	1.000	***	***	***	***	***	***
<i>I_{vc}</i>	0.780	0.791	0.892	1.000	***	***	***	***	***
<i>H_{cl}</i>	0.967	0.986	0.585	0.813	1.000	***	***	***	***
<i>I_{ved}</i>	0.772	0.785	0.909	0.970	0.806	1.000	***	***	***
<i>H_{cdl}</i>	0.967	0.985	0.670	0.873	0.994	0.844	1.000	***	***
<i>BA</i>	0.967	0.938	0.567	0.803	0.948	0.823	0.959	1.000	***
<i>WDW</i>	0.969	0.930	0.562	0.798	0.938	0.823	0.955	0.996	1.000

*: 0.05, **: 0.01, ***: 0.001.

인 식생구조의 발달을 예측하는 데 사용할 수 있다. 이 중 *H_{cl}*과 *H_{cdl}*은 *V_c*, *I_{vc}* 및 *I_{ved}*과 마찬가지로 연구자의 숙련도에 따라 다소의 차이가 발생할 수 있는 단점이 있다. 이에 비해 산불이후 재생한 목본의 기저면적과 식물량은 연구자에 따른 차이가 거의 없는 객관적이고 정량적인 식생 요인이지만 측정하는데 많은 시간과 노력이 들어가기 때문에 현장에서 쉽게 적용하기 어려운 단점이 있다(김 2003). 따라서 생태계를 관리하기 위하여 식생발달 모형과 식생지수를 사용할 경우에는 적용대상지역이 산불 발생 후 어느 정도 시점이 지난 생태계인지, 관리하고자 하는 목적이 무엇인지, 현장에서의 측정의 용이성이 중요한 지, 보다 객관적이고 정량적인 자료가 중요한 지 등을 종합적으로 고려하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구를 위하여 연구비를 지원해준 행정자치부 국립방재연구소(2001~2003년)와 환경부(2001~2002년)에 깊은 감사를 드립니다. 또한 현장 자료를 수집하고 정리하는데 도움을 주신 강릉대학교와 강원대학교의 생태학연구실원들께도 깊은 감사를 드립니다.

인용문헌

김석철. 2003. 산불피해지역에서 재생된 식생이 토사유출에 미치는 영향. 강원대학교 이학석사 학위논문 66 p.
 김준호, 윤성모. 1972. 삼림의 생산구조와 생산력에 대한 연구 II - 춘천지방의 소나무림과 신갈나무림의 비교. 한국식물학회지 15: 71-78.
 노찬호. 1999. 산불피해 소나무 식생에서 군집구조의 발달 - 자

연복원지와 조림복원지의 비교. 강원대학교 이학석사 학위논문 40 p.
 동해안산불피해지 공동조사단. 2000. 산불피해지의 건전한 자연생태계 복원 및 항구적인 산림복구계획 수립을 위한 동해안 산불지역 정밀조사 보고서(I, II).
 신승수. 2002. 산지유역의 토사유출에 관한 연구. 강릉대학교 이학석사 학위논문 62 p.
 이규송, 정연숙. 1999. 산불로 교란된 고성지역에서 자연복원지와 조림복원지의 영양염류수지 비교. 강원대학교 동해안연구 10: 137-153.
 이규송, 조도순. 2000a. 온대낙엽수림에서 미소환경요인의 공간이질성이 임상초본식물의 공간분포에 미치는 영향. 한국생태학회지 23(3): 255-266.
 이규송, 조도순. 2000b. 점봉산 생물권 보전지역내 온대낙엽수림에서 미소환경요인과 식생요인의 공간분포와 상관분석. 한국생태학회지 23(3): 241-253.
 이규송. 1995. 진부(강원도 평창군) 일대 화전 후 목밭의 식생 천이기구. 서울대학교 이학박사 학위논문 237 p.
 이성학. 2003. 산불 피해 지역에서 산불 후 관리 방법이 식물군집의 재생에 미치는 영향. 강원대학교 교육대학원 교육학석사학위논문 41 p.
 정연숙, 노찬호, 오현경, 이규송. 2002. 동해안 산불피해 생태계의 효과적인 자연복원 기법. 자연보존 110: 34-41.
 최오길. 2001. 등산객에 의한 답압이 설악산 아고산대에 자생하는 식물의 분포에 미치는 영향. 강원대학교 교육대학원 교육학석사 학위논문 69 p.
 행정자치부 국립방재연구소. 2001. 강원도 산불재해 지역의 저감대책 수립. 343 p.
 행정자치부 국립방재연구소. 2003. 산지지역 우수 및 토사유출

- 량 관측 및 저감대책 수립. 173 p.
 환경부. 2002. 동해안 산불지역 생태계 변화 및 복원기법 연구. 244 p.
- Angara, E.V., N. Nakagoshi and K. Nehira. 2000. Twenty-one years post-fire succession in a small watershed on Etajima island, Hiroshima prefecture, southern Japan. *Journal of International Development and Cooperation* 6: 177-196.
- Armesto, J.A., S.T.A. Pickett and M.J. McDonnell. 1991. Spatial heterogeneity during succession: A cyclic model of invasion and exclusion. *In* Kolasa and S.T.A. Pickett(eds). *Ecological Heterogeneity*. Springer-Verlag, New York. pp. 256-260.
- 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 response to the large-scale east coast fires in Korea. *Ecol. Res.* 19: 43-54.
- Fox M. and B.J. Fox. 1987. The role of fire in the scleromorphic forests and shrublands of eastern Australia. *In* L. Trabaud (ed.), *The Role of Fire in Ecological Systems*. SPB Academic Publishing, Hague. pp. 23-48.
- Koch, A.S. and E. Matzner. 1993. Heterogeneity of soil and soil solution chemistry under norway spruce (*Picea abies* Karst.) and european beech (*Fagus sylvatica* L.) as influenced by distance from the stem basis. *Plant Soil* 151: 227-237.
- Lee, K. S. and D. S. Cho. 1999. Spatial distribution of herbal vegetation along microtopographic gradients formed by disturbance in a temperate deciduous hardwood forest. *Korean J. Ecol.* 22(4): 211-217.
- Marques M.A. and E. Mora. 1998. Effects on erosion of two post-fire management practices: clear-cutting versus non-intervention. *Soil Tillage Res.* 45: 433-439.
- Nakagoshi, N., K. Nehira and F. Takahashi. 1987. The role of fire in pine forests of Japan. *In* L. Trabaud (ed.), *The Role of Fire in Ecological Systems*. SPB Academic Publishing, Hague. pp. 91-119.
- Robertson, G.P., M.A. Huston, F.C. Evans and J.M. Tiedje. 1988. Spatial variability in a successional plant community: Patterns of nitrogen availability. *Ecology* 69: 1517-1524.

(2004년 3월 8일 접수; 2004년 3월 31일 채택)

Development of Vegetation Structure after Forest Fire in the East Coastal Region, Korea

Lee, Kyu Song, Yeonsook Choung¹, Suk-Cheol Kim, Seung Sook², Shin, Chan-Ho Ro¹ and Sang Deog Park²

Dept. of Biology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

¹*Dept. of Biology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea*

²*Dept. of Civil Engineering, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea*

ABSTRACT : We developed the estimation model for the vegetation developmental processes on the severely burned slope areas after forest fire in the east coastal region, Korea. And we calculated the vegetation indices as a useful parameter for the development of land management technique in the burned area and suggested the changes of the vegetation indices after forest fire. In order to estimate the woody standing biomass in the burned area, allometric equations of the 17 woody species regenerated by sprouter were investigated. According to the our results, twenty year after forest fire need for the development to the normal forest formed by 4 stratum structure, tree, sub-tree, shrub and herb layer. The height of top vegetation layer, basal area and standing biomass of woody species show a tendency to increase linearly, and the ground vegetation coverage and litter layer show a tendency to increase logarithmically after forest fire. Among vegetation indices, *Ivc* and *Ivcd* show a tendency to increase logarithmically, and *Hcl* and *Hcdl* show a tendency to increase linearly after forest fire. The spatial variation of the most vegetation factors was observed in the developmental stages less than the first 5 years which were estimated secondary disaster by soil erosion after forest fire. Among vegetation indices, *Ivc* and *Ivcd* were the good indices for the representation of the spatial heterogeneity in the earlier developmental stages, and *Hcl* and *Hcdl* were the useful indices for the long-term estimation of the vegetation development after forest fire.

Key words : Biomass, Forest fire, Secondary disaster, Spatial heterogeneity, Succession, Vegetation development, Vegetation index, Vegetation structure
