

## 동해안 산불피해지 복구를 위한 산림생산력의 추정

구교상<sup>1</sup> · 이명종<sup>2</sup> · 신만용<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산불방제연구과, <sup>2</sup>강원대학교 산림자원학부, <sup>3</sup>국민대학교 산림환경시스템학과  
(2010년 2월 22일 접수; 2010년 3월 23일 수정; 2010년 3월 25일 수락)

## Estimation of Forest Productivity for Post-Wild-fire Restoration in East Coastal Areas

Kyo Sang Koo<sup>1</sup>, Myung Jong Lee<sup>2</sup> and Man Yong Shin<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

<sup>2</sup>Department of Forest Resources, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

<sup>3</sup>Department of Forestry, Environment, and Systems, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received February 22, 2010; Revised March 23, 2010; Accepted March 25, 2010)

### ABSTRACT

In order to rehabilitate forest sites damaged by wildfire *via* natural or artificial restoration, it is important to determine right tree species, which can acclimate to biogeoclimatic environment at the sites. The objectives of this study were to develop site index equation of different tree species for estimating forest productivity and to provide information on species selection for post-wildfire restoration. Site index equation was developed based on environmental information from wildfire damaged areas in Gangneung, Goseong, Donghae, and Samcheok, where were located in east coastal areas of South Korea. Despite the small numbers (4~5) of environmental variables used for the development of the site index equations, statistical analysis (e.g. mean difference, standard deviation of difference, and standard error of difference) showed relatively low bias and variation, suggesting that those equations can provide relatively high capability of estimation and practical applicability with high effectiveness. The small numbers of the variables enabled the model to be applied in a wide range of usages including determination of appropriate tree species for post-wildfire restoration. The estimation of forest site productivity showed the possibility of large distribution in east coastal region as the best site for Korean ash (*Fraxinus rhynchophylla*) and original oak (*Quercus variabilis*) that can be used for firebreak in the region. These results imply that damages by forest fire can be reduced significantly by replacing existing pure coniferous forests in the area with ones dominated by broad-leaved deciduous stands, which can play an important role as fire break and/or prevent a transition from surface fire to crown fire.

**Key words** : Site index, Forest site productivity, Site productivity estimation model, Post-wild-fire restoration, Species selection

### I. 서 론

최근 동해안 지역에 대규모 산불이 발생한 이래 산 불 피해지의 복원과 복구에 대한 다양한 방안이 연구 되어 왔다. 산불 피해지에 대한 복원과 복구는 입지조

건과 환경조건을 고려한 입지의 생산력을 반영하여 실시하는 것이 중요하다. 입지 생산력은 입지로부터 일정 기간 동안에 생산할 수 있는 임목재적의 최대치로 정의할 수 있다(Park *et al.*, 1990). 또한 산림에서의 입지 생산력은 대부분 입지조건과 토양환경 조건에 따

\* Corresponding Author : Man Yong Shin (yong@kookmin.ac.kr)

라 결정되기 때문에 산림 환경에 적합한 수종을 선택하는 것이 필요하다. 임지 생산력은 다양한 방법으로 추정 가능하나, 가장 일반적인 방법은 지위지수를 이용하는 것이다(Kim *et al.*, 1991). 지위지수는 임지의 잠재적 생산능력을 평가하는 기준으로, 이를 추정하기 위해 일정 임지에 생육하고 있는 수종의 생장에 영향을 미치는 임지 및 토양환경 인자들과의 관계를 분석하는 방법들이 사용되어 왔다.

임목 생장에 영향을 미치는 요인들 중에서 지형 및 토양인자를 포함하는 임지환경인자가 임목생장에 결정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 이들 인자들이 임지 생산력에 어떻게 작용하는지를 분석하는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다(Kim *et al.*, 1991). 다양한 임지환경인자 중에서 수종별 그리고 지역별로 임목생장에 가장 영향을 많이 미치는 인자들의 순위를 결정하고, 이를 계량화한 지위지수 추정 방법은 임목 생장과 관련된 다양한 환경 인자간의 상호작용을 동시에 고려한 합리적인 방법으로 평가된다(Yun, 1972).

현재 우리나라에서 사용되고 있는 지위지수 추정 방법은 국립산림과학원에서 개발한 임령-수고 관계식을 이용하고 있으며, 이를 통해 수종별 지위지수 분류곡선을 도출하여 사용하고 있다(Korea Forest Service, 2001a). 하지만 임령과 수고의 관계로 구명된 기존의 지위지수 추정식은 다양한 임지환경 인자들을 충분히 반영하지 못하고 있을 뿐만 아니라, 임분의 우세목 수고와 임령을 측정해야만 지위지수를 산출할 수 있어 무림목지, 산불피해지, 그리고 수종 갱신 대상지와 같은 곳에서는 직접 활용할 수 없는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해 임지환경 요인에 의해 지위지수를 추정하는 것은 기존의 방법을 대체할 수 있는 합리적인 방법으로 판단된다. 특히 임지 생산력 추정을 위해 임지환경 인자들이 상호간에 어떻게 작용하는지를 분석하는 것은 매우 중요하다. 이와 더불어 다양한 임지환경 인자를 계량화한 지위지수 추정식을 개발하여 국유림에서 시범운영중인 산림지리정보 시스템의 적지적수도 작성프로그램(Korea Forest Service, 2001b)의 알고리즘에 반영할 경우, 임지 생산력과 관련된 다양한 정보를 보다 손쉽게 획득할 수 있을 것으로 판단된다.

대규모로 발생한 동해안 산불피해지를 대상으로 임지의 생산력을 추정하여 복구를 위한 기준을 제시할

수 있는 기초적인 임지생산력 추정이 요구되어 왔으나, 현지의 임지조건과 기후조건을 감안한 추정식은 개발되지 않은 상태이다. 최근 우리나라의 대표 수종인 소나무에 대한 기후대별 지위지수 추정식이 개발되었지만(Won *et al.*, 2007), 산림재해지에 적용하기 위해서는 다양한 수종에 대한 지위지수 추정식이 필요한 실정이다.

본 연구는 임지환경 인자를 적용하여 수종별 지위지수 추정식을 개발하고 이를 통해 해당 임지의 산림생산력을 추정함으로써, 동해안 산불피해지와 같은 산림 재해지의 복구에 적합한 수종 선택에 필요한 정보를 제공하기 위해 수행하였다. 본 연구의 결과는 산불 피해지의 산림복구를 위한 조림수종의 선택 등 다양한 의사결정에 필요한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 1990년대 중반 이후 대규모 산불 피해를 입은 동해안 지역의 산림이다. 동해안 산불 피해지역은 Fig. 1과 같이 강릉, 고성, 동해, 그리고 삼척으로 산림기후대로 구분하면 온대중부 지역에 속한다. 연구 대상지의 총 산불피해 면적은 23,466ha 이고 그중에서 삼척의 산불피해 면적이 17,079ha로 가장 넓은 것으로 나타났다(Table 1).

### 2.2. 연구 자료

#### 2.2.1. 산림임지 자료의 정리

연구 대상지인 동해안 산불 피해지의 산림생산력을 추정하기 위해 사용할 수 있는 지위지수 추정식을 개

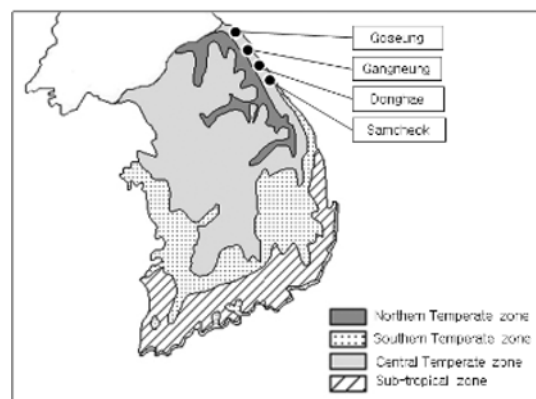


Fig. 1. Distribution of climatic zones and study site damaged by forest fires.

**Table 1.** Summary of damaged areas by forest fires in study sites

Classification	Total	Gangneung	Goseung	Donghae	Samcheok
Area	23,466ha	1,447ha	2,696ha	2,244ha	17,079ha

**Table 2.** Environmental variables and its code description used in this study

Variables	Variable Name	Code Description
X <sub>1</sub>	Topography	1: flatness 2: gentle hill 3: foot of mountain 4: middle of mountain 5: top of mountain
X <sub>2</sub>	Climatic Zone	1: the north temperate zone 2: the middle temperate zone 3: the south temperate zone 4: warm temperate zone
X <sub>3</sub>	Parent Rock	1: igneous rock 2: sedimentary rock 3: metamorphic rock
X <sub>4</sub>	Soil Drainage	1: poor 2: common 3: good 4: very good
X <sub>5</sub>	Slope	1: less than 15° 2: 15~20° 3: 20~25° 4: 25~30° 5: more than 30°
X <sub>6</sub>	Altitude	1: lower than 100m 2: 100~200m 3: 200~300m 4: 300~400m 5: 400~500m 6: 500~600m 7: higher than 600m
X <sub>7</sub>	Sedimentary Type	1: residual deposit 2: creeping 3: colluvial
X <sub>8</sub>	Erosion State	1: not exist 2: exist 3: severe
X <sub>9</sub>	Relief	1: concave 2: flat 3: convex
X <sub>10</sub>	Aspect	1: east 2: west 3: south 4: north 5: northeast 6: northwest 7: southeast 8: southwest
X <sub>11</sub>	Available Soil Depth	real measured values
X <sub>12</sub>	Rock Exposure	1: less than 10% 2: 10~30% 3: 30~50% 4: 50~70%
X <sub>13</sub>	Ratio of Valley to Hill	real measured values
X <sub>14</sub>	Wind Exposure	1: exposure 2: medium 3: protected
X <sub>15</sub>	Weathering Degree	1: high 2: medium 3: low
X <sub>16</sub>	Soil Type	coded from 1(B <sub>1</sub> ) to 29(Va-4)
X <sub>17</sub>	Soil Depth in Horizon A	1. less than 50cm 2: 50~70cm 3: 70~90cm 4: more than 90cm
X <sub>18</sub>	Soil Depth in Horizon B	1. less than 50cm 2: 50~70cm 3: 70~90cm 4: more than 90cm
X <sub>19</sub>	Soil Color in Horizon A	coded with 98 different numbers from 101 to 421
X <sub>20</sub>	Soil Color in Horizon B	coded with 98 different numbers from 101 to 421
X <sub>21</sub>	Organic Matters in Horizon A	1: 0~2% 2: 2~4% 3: 4~6% 4: more than 6%
X <sub>22</sub>	Organic Matters in Horizon B	1: 0~2% 2: 2~4% 3: 4~6% 4: more than 6%
X <sub>23</sub>	Soil Texture in Horizon A	1: sandy loam 2: loam 3: silt loam 4: silt clay loam 5: sandy clay loam 6: silt clay 7: clay loam 8: clay 9: loamy sand 10: sand
X <sub>24</sub>	Soil Texture in Horizon B	1: sandy loam 2: loam 3: silt loam 4: silt clay loam 5: sandy clay loam 6: silt clay 7: clay loam 8: clay 9: loamy sand 10: sand
X <sub>25</sub>	Soil Moisture in Horizon A	1: moderate 2: slight dry 3: slight humid 3: humid 5: dry
X <sub>26</sub>	Soil Moisture in Horizon B	1: moderate 2: slight dry 3: slight humid 3: humid 5: dry
X <sub>27</sub>	Soil Consistency in Horizon A	1: very crumbly 2: crumbly 3: soft 4: hard 5: very hard
X <sub>28</sub>	Soil Consistency in Horizon B	1: very crumbly 2: crumbly 3: soft 4: hard 5: very hard

발하기 위해 산림입지조사 자료를 이용하였으며, 전체 산림입지 자료를 산림기후대별로 구분한 후(Kim, 2003; Shin *et al.*, 2005) 연구 대상지가 포함된 온대중부지역의 수종별 자료를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 산림입지조사 자료는 국립산림과학원에서 구축한 1:25,000의 수치산림입지도에서 추출하였다. 수치산림입지도에 포함된 자료는 산림입지조사요령(Korea Forest Service, 1998)에 따라 현지 조사되어 사용할 수 있도록 전산화된 자료이다. 수치산림입지도에는 총

28개의 입지환경 인자에 대한 정보가 포함되어 있는데, 입지와 관련된 인자는 해발고, 경사도 및 경사형태, 퇴적양식, 토양형 등 16개이며, 토양과 관련된 인자는 토심, 토성, 층계 및 층위, 토색, 견밀도, 토양구조 등 12개로 모든 속성정보를 코드화하여 정리하였다(Table 2).

산불 피해지인 온대중부지역의 수종별 지위지수 추정식 개발을 위해 표준지의 개수가 최소 200개 이상(Meyer, 1947)의 표본점 자료를 보유하고 있는 수종을 선정하였다. 본 연구에서는 이러한 조건에 맞는 소

나무(*Pinus densiflora*), 낙엽송(*Larix leptolepis*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 곰솔(*Pinus thunbergii*), 상수리나무(*Quercus acutissima*), 신갈나무(*Quercus mongolica*), 굴참나무(*Quercus variabilis*), 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*), 고로쇠나무(*Acer mono*), 자작나무(*Betula platyphylla*)의 총 10개 수종을 대상으로 자료를 정리하였다.

**2.2.2. 지위지수의 추정**

본 연구에서는 수치산림입지도에 나타난 임령과 수고 자료에 근거하여 기준임령을 30년으로 하는 수종별 지위지수를 추정하였다. 이를 위해 Chapman-Richards의 모델(Clutter et al., 1983)을 이용하여 국립산림과 학원에서 개발한 수종별 지위지수 추정 모델의 모수 추정치를 사용하였다(Table 3). 이와 같은 방법으로 기준 임령 30년에 대한 수종별 지위지수를 추정할 후 분석이 가능하도록 정리하였다.

**2.2.3. 추정자료와 검증자료의 정리**

이상과 같은 방법으로 정리된 자료에는 종속변수인 기준 임령이 30년일 때의 지위지수(SI)와 독립변수인 입지환경 인자 28개가 포함되어 있다. 각 독립변수에 속한 인자는  $X_1 \sim X_{28}$ 로 지정하고 분석을 위해 수종별로 데이터베이스화하였으며, 이와 같이 정리된 온대중부 지역의 총 10개 수종의 자료 중에서 점검을 통해 이상치는 분석에서 제외하였다. 또한 각 표준지별로 임령과 수고를 비교하여 추정식에 영향을 미칠 수 있는 비현실적인 자료도 제외하였다.

이와 같이 얻어진 자료는 7:3의 비율로 추정자료(fit

data)와 검증자료(test data)로 무작위로 분류하여 정리하였다. 추정자료는 회귀분석에 의해 수종별 지위지수 추정식을 조제하기 위한 것이며, 검증자료는 추정자료에 기초하여 얻어진 추정식의 통계적 검증에 사용하기 위한 것이다(Snee, 1977; Song, 2003).

**2.3. 수종별 지위지수 추정식의 도출**

본 연구에서는 산불 피해지인 온대중부 지역에 분포하는 10개 수종에 대해 입지환경요인에 의한 기후대별 수종별 최적 지위지수 추정식을 도출하기 위해 중회귀 분석의 단계별 회귀기법(stepwise regression)에 의하여 지위지수 추정에 필요한 최적 변수의 조합을 선택하였다. 이 과정에서 선택된 독립변수간의 내부상관이 있는지를 검증함으로써(Belsley et al., 1980; Myers, 1986; Judge et al., 1988), 내부상관의 문제를 제거함과 동시에 최적 변수의 조합으로 결정계수가 높은 지위지수 추정식이 조제되도록 하였다.

이상과 같은 방법으로 조제된 수종별 지위지수 추정식의 적합성을 검증하기 위한 검증 통계량은 모형의 추정편의(model's estimation bias), 모형의 정도(model's precision), 그리고 이 두 가지를 고려한 측정치에 대한 오차의 평균평방화(mean square error type of measure)인 모형의 표준오차 등의 3가지를 사용하였다(Shin, 1990; Arabatzis and Burkhart, 1992).

본 연구에서는 최종적으로 추정자료와 검증자료를 합친 통합자료(pooled data)에 근거하여 최종 지위지수 추정식을 조제하였다. 즉, 추정자료만을 이용하여 조제된 수종별 지위지수 추정식이 일종의 독립자료로 간주되는 검증자료에 의해 통계적 검증에서 문제가 없

**Table 3.** Parameter estimates of site index model by species

Model	Species	Parameter Estimates	
		b	c
• Chapman-Richards model $SI = H_D \left[ \frac{1 - e^{-c}}{1 - e^{-c}} \right]^b$	<i>Larix leptolepis</i>	0.0381	1.0939
	<i>Pinus densiflora</i>	0.0253	0.9995
	<i>Pinus koraiensis</i>	0.0220	1.0808
	<i>Pinus thunbergii</i>	0.0483	1.4360
• Schumacher model $SI = \exp\left(\log(H_D) - c \times \left(\frac{1}{t_i} - \frac{1}{t_j}\right)\right)$ (SI=site index, $H_D$ =height of dominant trees, $t_i$ =stand age, $t_j$ =index age(30), b, c=regression coefficients to be estimated)	<i>Quercus acutissima</i>	0.0039	0.4459
	<i>Quercus mongolica</i>	0.0342	0.9241
	<i>Quercus variabilis</i>	0.0953	1.9958
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	0.0203	0.5443
	<i>Acer mono</i>	-	-0.5105
	<i>Betula platyphylla</i>	0.1868	2.8800

**Table 4.** Evaluation guideline of productive site based on site index by each species

Species	Evaluation Guideline of Productive Site
<i>Larix leptolepis</i>	greater than 18 in site index
<i>Pinus densiflora</i>	greater than 16 in site index
<i>Pinus koraiensis</i>	greater than 16 in site index
<i>Pinus thunbergii</i>	greater than 14 in site index
<i>Quercus acutissima</i>	greater than 16 in site index
<i>Quercus mongolica</i>	greater than 16 in site index
<i>Quercus variabilis</i>	greater than 14 in site index
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	greater than 12 in site index
<i>Acer mono</i>	greater than 14 in site index
<i>Betula platyphylla</i>	greater than 16 in site index

는 것으로 판정된 경우, 최종 지위지수 추정식을 추정 자료와 검증자료를 통합한 통합자료에 근거하여 개발하였다.

## 2.4. 산물피해지의 산림생산력 추정

### 2.4.1. 수종별 적지의 판정기준

수종별 적지 판정의 기준은 앞에서 조제된 지위지수 추정식에 근거한 산림생산력에 의해 설정하였다. 즉, 적지판정의 기준은 기준임령을 30년으로 하는 수종별 지위지수 곡선식의 범위에 근거하여 Table 4와 같이 설정하였다. 추정된 지위지수에 따라 수종별 적지의 범위를 설정하였는데, 적지의 기준은 산림생산력이 상대적으로 높은 것으로 인정할 수 있는 최소한의 조건으로 우리나라 수종별 수확표의 지위 중상 이상을 의미한다(Korea Forest Research Institute, 2004). 수종별 지위지수 곡선에 따라 강원지방소나무의 적지 기준은 지위지수가 최소한 16 이상으로 추정되면 적지로

판정하였고, 중부지방소나무와 해송은 지위지수가 14 이상일 경우에 적지로 설정하였다.

### 2.4.2. 수종별 적지면적의 산출

수종별 적지면적을 산출하기 위해 먼저 기후대별 전체 산림지역을 대상으로 앞에서 최종적으로 도출한 수종별 지위지수 추정식을 적용하여 수치산림입지도 상의 각 grid별로 지위지수를 추정하였다. 이와 같이 얻어진 grid별 지위지수를 Table 3에서 제시한 적지 판정 기준과 비교하여 일정 지위지수 이상의 grid의 수를 산출한 후, 최종 적지 면적을 ha 단위로 계산하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 산물 피해지의 임지생산력 추정

#### 3.1.1. 수종별 지위지수 추정식의 조제

산물 피해지역인 온대중부지역에서 생육되고 있는 주요조림 수종인 낙엽송, 잣나무, 소나무, 상수리나무, 해송, 신갈나무, 물푸레나무, 굴참나무, 고로쇠나무, 자작나무 등 10개 수종에 대하여 기준임령을 30년으로 하는 지위지수 추정식을 조제한 결과는 Table 5와 같다. 수종별로 약간의 차이는 있었지만 수종별로 4-5개의 다양한 인자의 조합에 의해 지위지수가 결정되었는데, 주로 토양배수( $x_4$ ), 표고( $x_6$ ), 유효토심( $x_{11}$ ), B층 건습도( $x_{26}$ ), 그리고 B층 건밀도( $x_{28}$ ) 등이 주요 인자였다.

이와 관련하여 미 남부지역의 *Quercus alba*와 *Quercus velutina*의 경우 지위지수에 토심 및 국소지형 등이 주요한 인자로 작용하였다고 보고된 바 있다(Kabrick *et al.*, 2004). 또한 침엽수인 미송(*Pseudotsuga menziesii*)의 지위지수 추정식에 영향하는 주요

**Table 5.** Site index equations for forest productivity by tree species in warm temperature zone

Tree species	Estimated equation of forest productivity	R <sup>2</sup>
<i>Larix leptolepis</i>	SI = 2.1766*X <sub>4</sub> +2.1113*X <sub>9</sub> +1.2977*X <sub>12</sub> +1.6622*X <sub>18</sub> +0.8164*X <sub>28</sub>	0.97
<i>Pinus densiflora</i>	SI = 0.8917*X <sub>4</sub> +0.4317*X <sub>6</sub> +2.4526*X <sub>14</sub> +1.7564*X <sub>18</sub> +0.3434*X <sub>26</sub>	0.96
<i>Pinus koraiensis</i>	SI = 2.1299*X <sub>9</sub> +0.1727*X <sub>10</sub> +0.2254*X <sub>11</sub> +0.5225*X <sub>26</sub> +0.5155*X <sub>28</sub>	0.97
<i>Pinus thunbergii</i>	SI = 1.1541*X <sub>5</sub> +0.0222*X <sub>11</sub> +3.1665*X <sub>14</sub> +0.1756*X <sub>16</sub> +0.8885*X <sub>28</sub>	0.95
<i>Quercus acutissima</i>	SI = 0.8303*X <sub>4</sub> +1.8732*X <sub>7</sub> +0.2614*X <sub>11</sub> +0.3577*X <sub>23</sub> +0.5875*X <sub>26</sub>	0.95
<i>Quercus mongolica</i>	SI = 0.6239*X <sub>6</sub> +2.5891*X <sub>9</sub> +1.3411*X <sub>15</sub> +0.2023*X <sub>24</sub> +0.4202*X <sub>28</sub>	0.95
<i>Quercus variabilis</i>	SI = 0.6828*X <sub>3</sub> +2.4949*X <sub>4</sub> +0.0683*X <sub>16</sub> +2.5581*X <sub>22</sub>	0.95
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	SI = 0.5972*X <sub>1</sub> +2.8934*X <sub>8</sub> +0.7040*X <sub>15</sub> +1.6378*X <sub>21</sub>	0.97
<i>Acer mono</i>	SI = 2.6565*X <sub>8</sub> +1.1367*X <sub>9</sub> +2.7735*X <sub>22</sub> +0.6482*X <sub>26</sub>	0.95
<i>Betula platyphylla</i>	SI = 0.6008*X <sub>1</sub> +0.4089*X <sub>6</sub> +0.1288*X <sub>11</sub> +3.0422*X <sub>22</sub>	0.96

입지환경 인자 중에서 표고(39%)와 토양배수(29%)가 높은 영향력을 보였다는 연구결과도 있다(Curt *et al.*, 2001). 이외에도 Curt 등의 연구에서는 토양양분이 지위에 영향을 미치는 중요한 요인으로 설명되고 있는데, 본 연구에서 사용된 28개 입지환경인자에는 토양양분과 관련된 인자가 포함되어 있지 않은 한계를 가지고 있다. 이는 광범위한 지역에 대한 토양의 양분을 조사하기에는 제약이 있기 때문이다.

한편 본 연구로부터 조제된 10개 수종에 대한 지위지수 추정 다중회귀식의 결정계수는 모두 0.95 이상으로 매우 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 지위지수 회귀추정식을  $y$ -절편이 없는 모형을 사용하였는데, 몇 가지 입지환경 인자만으로 설명력이 높은 지위지수를 추정할 수 있는 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 1991). 이상의 지위지수 추정식을 이미 구축된 입지환경 자료와 연계할 경우 수종별 입지생산력 판단 및 적지적수 판정을 위한 비용과 시간을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

### 3.1.2. 수종별 지위지수 추정식의 검증

Table 6은 수종별 지위지수 추정식의 현지 적용성을 검증하기 위하여 마련된 검증자료에 근거하여 평가통

**Table 6.** Evaluation results of the estimation ability for site index equations by species developed in warm temperature zone

Tree species	n	MD	SDD	SED
<i>Larix leptolepis</i>	2,754	0.2030	2.9581	2.9659
<i>Pinus densiflora</i>	2,274	0.2212	2.4917	2.5015
<i>Pinus koraiensis</i>	744	0.1049	2.6692	2.2716
<i>Pinus thunbergii</i>	220	0.0063	2.7402	2.7382
<i>Quercus acutissima</i>	3,950	0.2230	2.9007	2.9092
<i>Quercus mongolica</i>	1,031	0.0939	2.7524	2.7540
<i>Quercus variabilis</i>	70	0.5928	2.6187	2.6850
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	36	-0.5145	3.4898	3.5276
<i>Acer mono</i>	67	0.4525	2.7086	2.7461
<i>Betula platyphylla</i>	49	0.1420	2.8382	2.8418

계량인 평균편의(MD), 모형의 정도(SDD), 그리고 모형의 표준오차(SED)를 산출하여 분석한 결과이다. Table 6에서 보면 대부분의 지위지수 추정식은 추정오차가 낮아 사용하는데 문제가 없는 것으로 평가되었다.

산불피해지의 입지생산력을 추정하기 위한 지위지수 추정식에 대한 평균편의를 보면 굴참나무와 물푸레나무가 수고 약 50cm 내외의 편차를 보였을 뿐 나머지 수종은 매우 편차가 작은 것으로 분석되어 개발된 식을 현장 적용하여도 무방할 것으로 판단된다. 특히 해

**Table 7.** Estimated areas of appropriate site by species

Tree species	Gangneung	Goseung	Donghae	Samcheok	Total
<i>Larix leptolepis</i>	31,602ha (23.4%)	15,052ha (26.0%)	19,636ha (27.6%)	3,077ha (5.4%)	69,367ha (8.0%)
<i>Pinus densiflora</i>	31,566ha (23.4%)	11,444ha (19.8%)	16,081ha (22.6%)	3,225ha (5.7%)	62,316ha (7.2%)
<i>Pinus koraiensis</i>	21,419ha (15.9%)	9,432ha (16.3%)	10,744ha (15.1%)	3,189ha (5.6%)	44,784ha (5.2%)
<i>Pinus thunbergii</i>	79,369ha (58.9%)	36,690ha (63.3%)	49,516ha (69.6%)	30,100ha (53.2%)	195,675ha (22.5%)
<i>Quercus acutissima</i>	23,603ha (17.5%)	10,870ha (18.8%)	15,321ha (21.5%)	9,062ha (16.0%)	58,856ha (6.8%)
<i>Quercus mongolica</i>	17,143ha (12.7%)	3,391ha (5.9%)	10,303ha (14.5%)	4,559ha (8.1%)	35,396ha (4.1%)
<i>Quercus variabilis</i>	55,957ha (41.5%)	25,312ha (43.7%)	29,491ha (41.5%)	13,850ha (24.5%)	124,610ha (14.3%)
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	89,228ha (66.2%)	34,333ha (59.3%)	42,136ha (59.2%)	17,643ha (31.2%)	183,340ha (22.1%)
<i>A. cer mono</i>	23,967ha (17.8%)	4,135ha (7.1%)	8,832ha (12.4%)	10,834ha (19.2%)	47,768ha (5.5%)
<i>Betula platyphylla</i>	27,576ha (20.5%)	4,828ha (8.3%)	10,829ha (15.2%)	3,615ha (6.4%)	46,848ha (5.4%)
Total	401,430ha	155,487ha	212,889ha	99,154ha	868,960ha

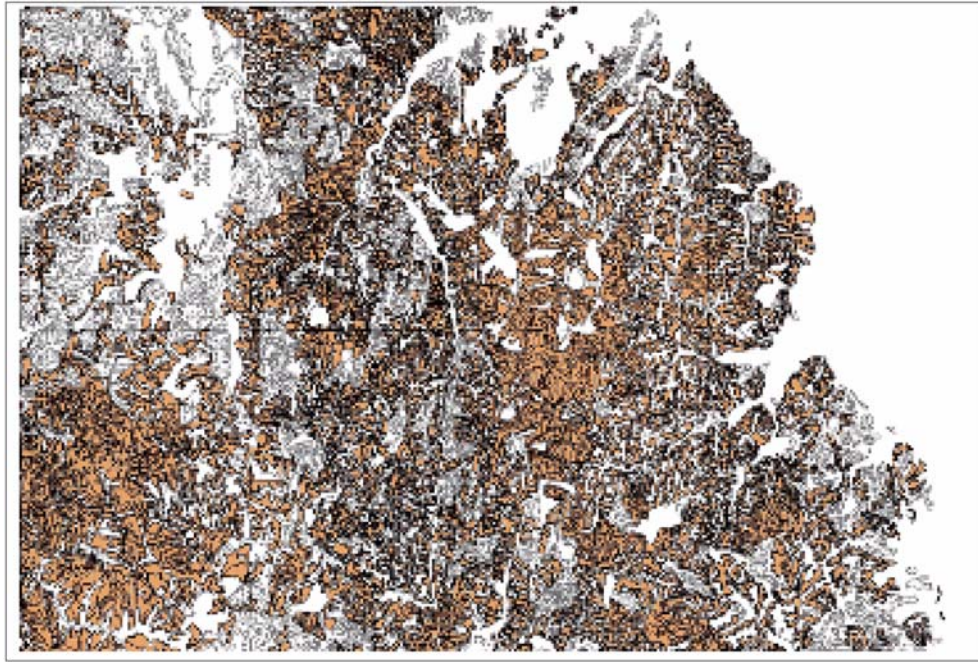


Fig. 2. Distribution of appropriate site for *Pinus thunbergii* in Gangneung.

송과 잣나무의 경우에는 다른 침엽수종에 비해 표본의 개수가 적음에도 불구하고 편이가 작아 조제된 지위지수 추정식의 정도(精度)가 매우 높음을 알 수 있다. 한편 다른 평가통계량인 모형의 정도와 표준오차의 경우에도 수종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 평균편의와 마찬가지로 매우 작은 값을 보이고 있다.

### 3.2. 산불피해지의 수종별 적지면적 산출

임지 생산력을 추정하기 위해서 만들어진 온대중부 지방의 수종별 임지생산력 추정식을 이용하여 대형 산불피해지인 강릉, 고성, 동해, 그리고 삼척에 대한 수종별 적지면적을 추정한 결과는 Table 7과 같다. 영동지역 산불피해지의 복구에 곰솔이 가장 적당한 수종으로서 분석되었으며, 조성가능 면적은 강릉지역 79,369ha, 고성지역이 36,690ha, 동해지역이 49,516ha, 그리고 삼척지역이 30,100ha이었다. 잣나무의 경우는 적지면적이 침엽수 중에서 가장 작았으며, 내화력이 있는 것으로 알려진 낙엽송의 적지면적은 삼척지역의 경우 전체 산림면적의 5.4%로 가장 작았으나 나머지 지역에서는 27.6%까지 분포되어 있어 산불피해지 복구조림용 수종으로 낙엽송도 가능할 것으로 판단된다. 한편 활엽수 중에서는 굴참나무의 적지면적이 가장 넓

은 것으로 추정되어 산불에 취약한 침엽수 단순림의 구조를 개선할 수 있는 내화수종으로 사용이 가능할 것으로 판단된다(Table 7).

곰솔은 일반적이며 알려진 바와 같이 해안지역에서 가장 잘 자라고 있는 수종이다. 그러나 본 연구에서 얻어진 추정식으로 적지를 산출한 결과 곰솔의 적지 분포는 전체 적지면적의 22.5%로 가장 넓은 것으로 확인되었다. 이러한 사실은 강릉지역의 곰솔 적지분포에서도 확인할 수 있다(Fig. 2). 그림에서 갈색으로 표시된 부분이 곰솔의 적지 분포를 나타낸 것이다.

반면에 활엽수와 같이 다비성(多肥性)의 수종은 영동 지방에서는 생육이 어렵거나 생육이 불량한 것으로 알려졌다. 본 연구에서 임지환경 인자에 의한 임지생산력을 추정한 결과 물푸레나무와 굴참나무의 적지가 비교적 넓은 면적으로 분석되었다. 이는 그 동안 활엽수에 대한 적지 조건을 감안하지 않고 침엽수 일변도로 조림과 재복구가 이루어졌다는 것을 의미하며, 앞으로 이를 개선 할 수 있는 근거가 된다고 생각한다. 즉, 침엽수의 단순림이 많이 있는 동해안 지역의 임분을 참나무류와 같은 활엽수 수종으로 임분 구조를 개선하면 산불이 수관화로 확산되는 큰 피해를 막을 수 있을 뿐만 아니라 산불의 피해를 저감하는 내화수림대의

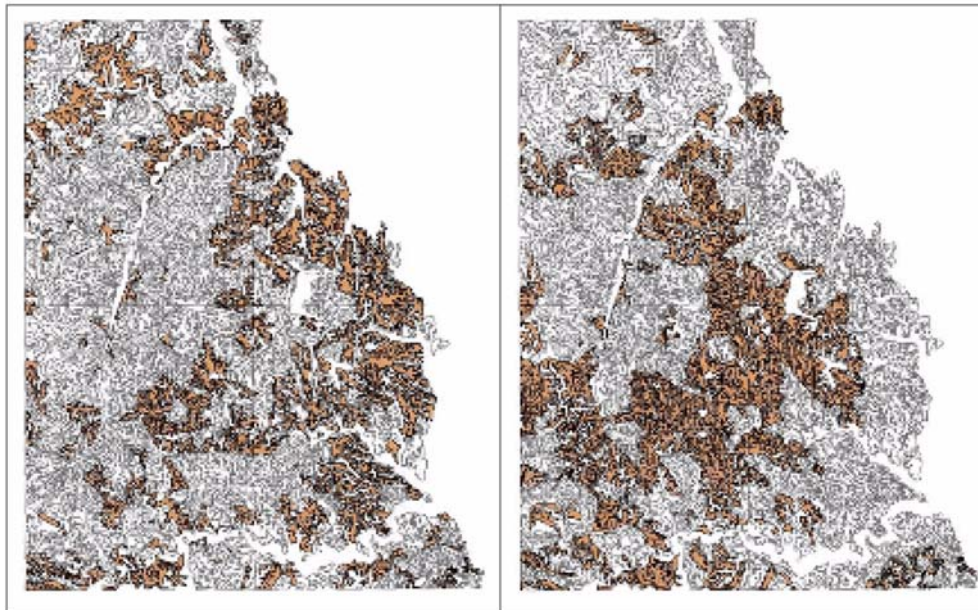


Fig. 3. Estimation of appropriate sites for *Quercus variabilis* and *Fraxinus rhynchophylla* in Samcheok.

역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 3은 삼척지역의 굴참나무와 물푸레나무의 적지분포를 나타낸 것이다.

영동지방 같이 건조하고 토양환경이 열악한 지역에서는 소나무와 같은 침엽수가 적지라고 알려져 있다. 본 연구에서도 동해안 산불 피해지에는 침엽수인 소나무, 낙엽송, 그리고 해송이 적절한 수종으로 분석되었으나, 영동지방은 주기적으로 대형 산불이 발생하고 있어 임업적으로 대형 산불을 예방할 뿐만 아니라 산불의 확산을 저지할 수 있는 내화수림대 조성을 위한 수종 선정을 고려하여야 한다. 특히 산림생산력 추정식에 의해 적지를 분석한 결과 굴참나무, 상수리나무, 그리고 물푸레나무 등의 활엽수도 상당한 정도의 적지 분포를 보이고 있어, 이들 수종을 이용할 경우 대형 산불을 예방할 수 있는 내화수림을 조성할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 지형인자와 토양인자를 포함하는 28개 입지환경인자 중에서 연구 대상지의 수종별 산림생산력에 영향을 미치는 최적의 조합을 선정함으로써 지위지수 추정식을 개발하였다. 본 연구에서 사용된 입지환경인자에는 산림생산력과 밀접한 관련이 있는 연구 대상지의 온도 및 습도와 같은 기후인자가 포함되어 있지 않다. 본 연구에서 사용한 산림입지조사 자료의

항목에는 광역분포를 나타내는 기후대 인자만 포함되어 있어, 특정 지역의 기상조건을 미기후적인 관점에서 반영하기에는 한계가 있는 것이 사실이다. 이러한 문제는 앞으로 추가적인 연구를 통해 해결해야 할 과제로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 입지환경 인자를 적용하여 수종별 지위지수 추정식을 개발하고 이를 통해 해당 입지의 산림생산력을 추정함으로써 산불 피해지의 복구를 위한 수종 선택에 필요한 정보를 제공하고자 하였다. 이를 위해 입지환경 인자를 이용하여 동해안 산불 피해지역인 강릉, 고성, 동해, 그리고 삼척 지역에 적용할 수 있는 온대 중부지역의 수종별 지위지수 추정식을 조제하였다. 본 연구에서 도출된 수종별 지위지수 추정식은 4~5개의 비교적 소수의 입지환경 인자를 이용하여 산림생산력에 대한 높은 추정능력을 보였다. 또한 이와 같이 개발된 수종별 지위지수 추정식을 대상으로 모형의 평균 편의, 정도, 표준오차 등의 3가지 평가통계량에 근거한 검증을 실시한 결과 수종별 오차가 모두 0.5m 이내로 본 연구에서 도출된 지위지수 추정식의 실용성을 입증할 수 있었다. 지위지수 추정식의 검증결과를 보면



전반적으로 본 연구에서 개발된 수종별 지위지수 추정식의 평가통계량은 낮은 것으로 판명되어 실제 적용하는데는 문제가 없는 것으로 평가되었다.

본 연구에서 개발한 수종별 지위지수 추정식은 몇 가지의 입지환경 인자만으로 산불 피해지에 대한 수종별 산림생산력을 추정할 수 있는 것으로 판명되어 앞으로 활용가치가 높을 것으로 평가된다. 특히 본 연구에서 얻어진 결과는 수종별 적지판정과 이를 통한 산림의 경영 및 관리에 유용한 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

산불 피해지역의 입지평가 기준을 설정하기 위해서는 우선 산불피해입지를 자연회복, 인공복구 방법으로 현재의 입지를 개선하고자 할 때 이를 위한 입지 및 토양환경 인자 및 기준에 따라 입지의 생산력을 고려하여 적절한 수종을 선정하여 복구를 하여야 할 것이다.

본 연구에서는 입지환경 인자에 의한 입지생산력 추정결과 물푸레나무와 굴참나무의 적지가 비교적 넓은 면적으로 분석되어 침엽수의 단순림이 많이 있는 동해안 지역의 임분을 참나무류와 같은 활엽수 수종으로 임분 구조를 개선하여 산불이 수관화로 확산되는 큰 피해를 막을 수 있을 뿐만 아니라 산불의 피해를 저감하는 내화수림대의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Arbatzis, A. A., and H. E. Burkhart, 1992: An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantation. *Forest Science* **38**(1), 192-198.
- Belsley, D. A., E. Kuh, and R. E. Welsch, 1980: *Regression diagnostics*. John Wiley & Sons, New York, 292pp.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister, and R. L. Bailey, 1983: *Timber management: A quantitative approach*. Krieger Publishing Company, New York, 333pp.
- Curt, T., M. Bouchaud, and G. Agrech, 2001: Predicting site index of Douglas-Fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France. *Forest Ecology and Management* **149**(3), 61-74.
- Judge, G. G., R. C. Hill, W. E. Griffiths, H. Lutdepohl, and T. Lee, 1988: *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*. John Wiley & Sons, New York, 1024pp.
- Kabrck, J. M., S. R. Shifley, R. G. Jensen, J. Fan, and D. R. Larsen, 2004: Factors associated with oak mortality in Missouri Ozark forests. USDA Forest Service General Technical Reports NE-316, 27-35.
- Kim, I. H., 2003: Estimation of site index by species in Gyongi-Chungcheong Province using forest map. Master thesis. Chungnam National University. 60pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, T. H., J. H. Chung, C. H. Lee, K. S. Koo, W. K. Lee, I. A. Kang, and S. I. Kim, 1991: Studies on the growth of major tree species by forest soil types. The Research Reports of the Forestry Research Institute 42, Seoul, 91-106. (in Korean)
- Korea Forest research Institute, 2004: Evaluation and prediction system for timber resources of main species, 125pp. (in Korean)
- Korea Forest Service, 1998: *Guide for forest site inventory*, 58pp. (in Korean)
- Korea Forest Service, 2001a: *Guide for Forest Site Inventory*. 58pp. (in Korean)
- Korea Forest Service, 2001b: *Development of a Computer Program on the Righteous Tree Selection for a Given Site by Using GIS Technique*. 7-24. (in Korean)
- Meyer, H. A., 1947: The structure and growth of Virgin beech-birch maple hemlock forest in Northern Pennsylvania. *Journal of Agricultural Research* **12**, 1-15.
- Myers, R. H., 1986: *Classical and modern regression with applications*. Duxbury Press, Pacific Grove, 395pp.
- Park, T. S., D. C. Kim, O. B. Kwon, M. W. Lee, S. S. Jee, Y. H. Lee, Y. H. Cho, S. Y. Kang, Y. K. Chung, U. H. Byun, and J. C. Woo, 1990: *Forest management*. Hyangmun-sa. 426pp. (in Korean)
- Shin, M. Y., 1990: The use of ridge regression for yield prediction models with multicollinearity. *Journal of Korean Forest Society* **79**(3), 260-268. (in Korean with English abstract)
- Shin, M. Y., H. K. Won, J. H. Jeong, K.S. Koo, and M.H. Song, 2005: Estimation of forest site productivity by regional environment and forest soil factors. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**(2), 132-140. (in Korean with English abstract)
- Snee, R. D., 1977: Validation of regression models : Methods and examples. *Technometrics* **19**, 415-428.
- Song, M. H., 2003: Development of regional site index equations for main tree species based on environmental factors. Master thesis. Kookmin University, 2-11. (in Korean with English abstract)
- Won, H. K., M. Y. Shin, S. W. Lee, and Y. Y. Lee, 2007: Site index equations and estimation of productive areas for major Pine species by climatic zones using environmental factors. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(3), 179-187. (in Korean with English abstract)
- Yun, J. W., 1972: Studies on tree growth by multiple regression analysis. Kangwon National University. *Research Bulletin of the Experimental Forests* **1**, 3-55. (in Korean)