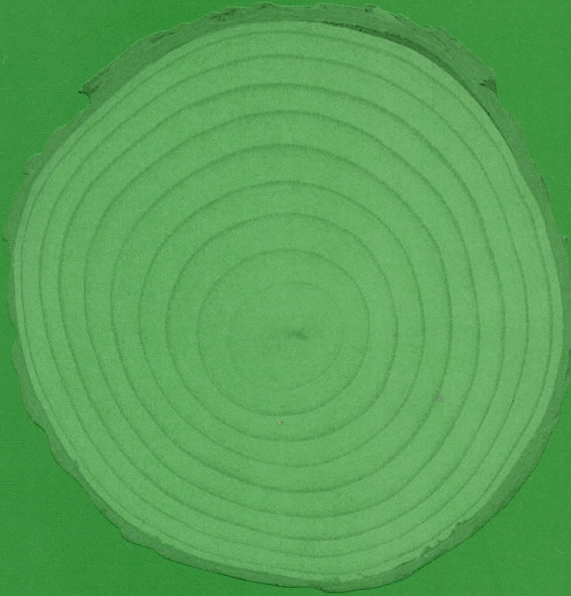


ISSN 1226-8186

한국산림측정학회지

제10권

2007년 12월



사단법인 한국산림자원측정학회

한국산림측정학회지

제10권

2007년 12월

論 文

- 완도지역의 붉가시나무 수간형태와 수간곡선식 손영모 · 이경학 · 김래현 · 서정호... 1
- 강원 양양지역 굴참나무 천연림의 임분특성 및 연륜생장 분석
..... 배상원 · 백을선 · 정문호 · 이광수 · 김영수... 7
- 지형 인자가 잣나무림 성장 및 밀도에 미치는 영향
..... 박한빈 · 최정선 · 김학준 · 정경화 · 김미성 · 나홍진 · 김태민 · 김소라 · 송철철 · 이우균...14
- 간벌 강도가 낙엽송림 성장 및 구조에 미치는 영향 정성은 · 채한석 · 이상순
..... 김종민 · 임아란 · 최병현 · 이민아 · 최현아 · 송철철 · 손요환 · 이우균...20
- 주요 4개 참나무 임분의 성장 특징 및 모델 개발 손영모 · 이경학 · 김래현 · 서정호...26
- Quickbird 영상에 의한 소나무의 유역단위 식생탄소저장능력 추정
..... 김태민 · 송철철 · 이우균 · 손요환 · 배상원 · 김춘식...33
- 산지전용허가기준의 개선방안 연구 박영규 · 권순덕 · 김은희...39
- 예산지역 산불피해지 상수리나무 맹아림의 성장 및 바이오매스 추정
..... 이영근 · 조혜경 · 표정기 · 이영진...48
- 임분특성에 따른 산불피해와 산불 피해지 처리에 따른 식생변화
..... 이광수 · 정문호 · 배상원 · 김석권 · 김영수 · 이경재...56
- GIS를 이용한 경제림육성단지의 임상유형 구분 정세경...64
- 편백의 간제적 추정에 관한 연구 서연옥 · 이영진 · 박상문...71
- (사단법인)한국산림자원측정학회 정관 76
- (사단법인)한국산림자원측정학회 원고투고규정 80

사단법인 한국산림자원측정학회

완도지역의 붉가시나무 수간형태와 수간곡선식¹

손영모² · 이경학² · 김래현² · 서정호²

Development of Stem Profile and Taper Equation for *Quercus acuta* in Wando¹

Yeong Mo Son², Kyeong Hak Lee², Rae Hyun Kim² and Jeong Ho Seo²

요 약

전남 완도지역의 붉가시나무 수간곡선식의 도출 및 수간재적표를 구축하기 위하여 몇가지 수간곡선 모형 이용을 통해 분석한 결과 다음과 같다.

Max & Burkhardt 등 3가지 수간곡선 모델의 적합성을 평가하기 위하여 통계량 및 잔차분석을 수행한 결과, 붉가시나무 수간곡선을 가장 잘 표현하는 식으로는 Kozak 모형이 가장 우수함을 알 수 있었다. 잔차분석에 있어서도 Max & Burkhardt 모형과 Lee 모형이 상대수고가 낮은 부분에서 다소 직경값을 과소 추정하는데 비하여 Kozak 모형은 고른 잔차를 보여 주었다. 따라서 Kozak 모형이 붉가시나무 수간곡선 추정 및 재적표 조제 도구로 최적 모형임을 알 수 있었다. 이를 이용하여 수간재적을 산출하게 되었는데, 이 표로 붉가시나무의 재적 정보 파악 및 경영관리에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

ABSTRACT

This study was carried out to develop equations for predicting stem taper for *Quercus acuta* in Wando district. We were used to derive three taper equations from Max and Burkhardt, Kozak, and Lee functions.

The models tested for choosing the best-fit equations were Max & Burkhardt's model, Kozak's model, and Lee's model. In result, all three models behaved similarly and estimated diameter well at all points along the stem, although Kozak's model gave slightly better values of fit statistics. In plotting residuals against predicted diameter, Max & Burkhardt's and Lee's model showed underestimation in predicting small diameter. On the other hand, Kozak's model was quite evenly distributed over the whole range of diameter. Based on the above analysis of three models in predicting stem taper, Kozak's model was chosen for the best-fit stem taper equations. It was showed the stem volume table by this model, therefore this table was provided user with volume and management information.

Key words : *Quercus acuta*, Kozak's model, taper equation, stem volume table.

¹ 接受 2007年 8月 1日 Received on August 1, 2007.

² 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

서 론

임목의 직경은 근주부부터 초두부로 이동함에 따라 감소하며, 수간은 불규칙적인 완만한 감소선(taper)을 형성한다. 이러한 선은 수간부위에 따라 수종에 따라 각기 다른 감소율을 가지며, 이에 따른 형을 갖는다. 수간형을 이해함에 따라 수간 제적과 바이오매스의 추정, 목재생산량과 현존량 추정, 임목의 성장조건과 경쟁의 이해 등에 대한 정보를 획득할 수 있다.

임목수간의 형상은 복잡하나, 기하학적인 몇가지 형태로 개략적인 형의 모양을 그릴 수는 있다. 그러나 여기서 고려해야 할 점은 수간형 불규칙적이라는 점과 많은 굴곡을 갖는다는 점이다. 특히 수종에 따라서는 천차만별이며, 지형에 따라서도 변한다. 또 수간형과 수관간의 관계도 상당히 복잡한 상호관련을 한다. 따라서 수관에 영향을 미치는 인자들도 또한 수간형에 영향을 한다. 이러한 모든 인자들을 고려하여 수간형을 결정하는 방법의 구명이 지속적으로 이루어 지고 있으며, 현재까지 수많은 간곡선식 및 모델 들이 발표된 바 있다. 임목에 대한 수간형태는 크게 포물선형(paraboloid), 원추형(conoid) 및 나이로이드형(neiloid) 3가지로 나뉜다. 이들에 대한 일반적인 식의 형태는

$y=kx^r$ 로서, k는 간곡선율(rate of taper), r는 회전체의 형태(shape of the soild), y는 직경 또는 직경, x는 정점 또는 마지막으로부터의 거리를 나타낸다. 수간의 각 부분은 이들 3부분이 결합되어 형성된다. 임목의 근주부는 나이로이드형이며 초두부로 갈수록 원추형을 가지게 되는데, 이를 제외한 임목의 대부분은 포물선형이 차지하게 된다. 포물선형은 다시 2차와 3차 포물선형으로 나뉘게 되며, Metzger의하면 임목은 3차 포물선형과 비슷하다고 주장한 바 있다.

붉가시나무는 참나무과의 상록교목으로 한국에서는 제주도를 비롯한 남부 여러 섬과 남부 해안산지의 주로 분포하고 있다. 본 수종은 목재의 색이 붉어 붉가시나무로 불리며 지고 있으며, 목재의 이용 측면에서는 건축, 가구, 기구재 등으로 쓰임새가 있으나, 생산가능면적이 많지 않은 관계로 고급용재임에도 불구하고 그다지 많이 알려지지 않는다.

본 연구는 남부지방 주요 활엽수인 붉가시나무의 용재로서의 가능성 평가 및 추후 경영 대상지로서의 타당성 평가를 위한 기초적인 분석으로 수간형태와 수간형태를 설명해 줄 수 있는 수간곡선식을 도출해 보았다.

Table 1. Taper equations selected for this study

Model	Taper Equation
Max and Burkhardt	$d = DBH \sqrt{b_1 \left(\frac{h}{H} - 1\right) + b_2 \left(\frac{h^2}{H^2} - 1\right) + b_3 \left(a_1 - \frac{h}{H}\right)^2 I_1 + b_4 \left(a_2 - \frac{h}{H}\right)^2 I_2}$ <p>where a = diameter outside bark at height (cm) DBH = diameter at breast height outside bark (cm) h = height along stem (m) H = total height (m) b_i = parameters a_i = inflection points (i=1;upper, i=2;lower)</p> $I_i = 1, \text{ if } \frac{h}{H} < a_i$ $0, \text{ otherwise}$
Kozak	$d = a_1 DBH^{a_2} a_3^{DBH} X^{b_1 Z^2 + b_2 \ln(Z + 0.001) + b_3 \sqrt{Z} + b_4 e^Z + b_5 \left(\frac{DBH}{H}\right)}$ <p>where Z = relative height ($= \frac{h}{H}$) $X = \frac{1 - \sqrt{\frac{h}{H}}}{1 - \sqrt{p}}$ ($p = \frac{HI}{H}$, HI, inflection point) a_i, b_i = parameters</p>
Lee	$d_r = b_1 \cdot DBH^{b_2} \cdot \left(1 - \frac{x}{h}\right)^{[c_1 \cdot \left(\frac{x}{h}\right)^2 + c_2 \cdot \left(\frac{x}{h}\right) + c_3]}$ <p>where $\frac{x}{h}$ = relative height</p>

재료 및 방법

1. 공시 재료

전남 완도수목원 내에 있는 붉가시나무 임분에서 경급별로 표준목 7본을 선정하여 개체목에 대한 수간석해를 실시하였다. 표준목의 수간곡선을 해석하기 위하여 각 표본목 당 5년 주기별로 측정되는 단면고별 직경을 모두 개개의 독립목으로 간주하여 처리하였다. 따라서 실제 분석에 이용된 표본 자료는 30본 이상이라 볼 수 있다.

2. 분석 방법

붉가시나무의 최적 수간곡선 모델을 개발하기 위해 이용된 모델은 Max, Burkhardt, Kozak and Lee 등이었다.

Max & Burkhardt식은 1976년 개발된 식으로서 수간을 세부분으로 나누어 2개의 변곡점에서 연결하는 부분모델회귀식(segmented model regression)으로 수간곡선 추정에 많이 이용되고 있으며, 정확성면에서 인정받아 많은 유사연구가 이루어진 바 있다(Cao et al.; 1980, Parresol et al.; 1986, Clark et al.; 1991).

Kozak식은 변량지수식(variable exponent taper equation, or K2 equation)으로 명명되고 있으며, 수간을 두부분으로 나누어 1개의 변곡점을 갖는다는 전제하에 분석이 이루어진다. 이 변곡점(β)은 전제수고에 대한 상대수간높이로 일반적으로 표본목의 상대수간높이에 대한 상대수간직경 산포도를 그려 결정하게 된다. 이 식은 1988년 Kozak에 의해 개발되어 미국과 캐나다에서 널리 이용되고 있다(Figueiredo, 1995)

Lee식은 우리나라에서 처음 개발된 수간곡선식(이우균, 1999)으로서 수간형태를 그루터기부터 나일로이드형, 포물선형, 포물선·원추형 및 원

추형으로 구분, 이 형태, 즉 수간형태지수를 2차 방정식으로 표현하여 지수식으로 표현한 것으로, 안면도 소나무림 수간곡선형태 연구에 적용한 바 있다.

각 수간곡선식의 수간높이별 수간직경 추정 이행능력을 평가하기 위해 먼저 표본목 자료를 적합을 위한 표본자료(sample data)와 검정을 위한 검정용(validation data)로 구분하였으며, 이 자료를 이용한 추정결과를 평가하기 위해 편의(Bias), 추정치 표준오차의 백분율(Standard error of estimate, SEE%), 평균절대편차(Mean absolute deviation, MAD), 잔차의 표준편차(Standard deviation of differences, SDD) 및 상대잔차제곱합(SSRR) 등의 검정통계량을 이용하였다(Table 2).

각종 검정통계량의 기능을 알아보면, 적합도지수(FI)는 회귀분석에서의 결정계수와 성질을 같이 하는 하는 것인데, 비선형회귀분석에서의 결정계수는 의미가 없으므로 실측치와 추정치와의 관계 정도를 구명하기 위하여 적합도지수를 계산한다. 편의는 추정량이 평균적으로 모수의 참값에 대해 어느 정도 과소치 혹은 과대치를 주는 지를 나타내 주며, 추정치 표준오차의 백분율은 모델의 상대적인 정도(accuracy)를 평가하고, 평균절대편차는 각 추정치 잔차의 절대값을 평균한 값으로 개개 추정치의 평균적인 편차 크기를 나타내 주는 것이다. 그리고 잔차의 표준편차는 잔차의 흩어진 정도를 나타내 주는 것으로서, 편이의 표준편차이며 적은 값을 가질수록 추정의 정도가 높다고 할 수 있다. 상대잔차제곱합은 관측치에 대한 각 잔차의 크기와 관련된 상대적인 값 즉, 상대잔차의 제곱합으로서 추정치의 상대적인 오차에 대한 검정통계량이라 볼 수 있다.

Table 2. Statistics for evaluating performance of taper equations

Statistics	Equation
Fitness index (FI)	$FI = 1 - \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (\sum (Y_i - \bar{Y})^2)$
Bias	$\bar{D} = \sum (Y_i - \hat{Y}_i) / n$
Standard error of estimate as percent of the mean (SEE%)	$SEE\% = \sqrt{(\sum (e_i - \bar{D})^2) / (N - 1)} / \bar{Y} \times 100$
Mean absolute difference (MAD)	$ \bar{D} = \sum (Y_i - \hat{Y}_i) / n$

Table 3. Parameter estimates for three taper equations in *Quercus acuta*

Model	Max and Burkhart		Kozak		Lee	
Parameter	a_1	0.71889	a_0	1.53221	b_1	1.25322
	a_2	0.11646	a_1	0.67083	b_2	0.94406
	b_1	-4.63518	a_2	1.02784	c_1	0.41733
	b_2	2.17384	b_1	-0.04699	c_2	-0.24858
	b_3	-2.56207	b_2	-0.02019	c_3	0.57076
	b_4	6.76398	b_3	0.07542		
			b_4	0.28499		
			b_5	-0.11374		
FI	0.9761		0.9795		0.9770	
SEE	0.6594		0.6111		0.6443	
Bias	0.0641		0.0053		0.0160	
MAD	0.4962		0.4502		0.4848	

결과 및 고찰

1. 붉가시나무 수간곡선식 추정

3가지 수간곡선 모형을 이용하여 붉가시나무 수간곡선식을 추정한 바 표와 같이 각 모형별 파라미터 및 검정통계량을 도출할 수 있었다.

Table 3에서 적합도지수 및 기타 검정통계량 값이 Kozak 모형이 가장 우수함을 알 수 있어, 이 모형이 붉가시나무 수간곡선을 추정하는데 있어 최적 식임을 알 수 있었다. 그리고 Max & Burkhart식에서 수간 상부와 하부의 변곡점을 나타내는 모수인 a_1 과 a_2 의 추정치가 있는데, 수간 상에서 상대적으로 변곡점 부위로 이 지점에서 곡선이 굴곡이 일어난다. 국립산림과학원(2005)에서 제주시험림에 자생하고 있는 붉가시나무에 대하여 수간곡선식을 도출한 결과와 비교해 보면, 변곡점의 위치가 다소 다를 수 있었다. 본 완도지역 붉가시나무 수간곡선의 변곡점은 0.25인데 반하여 제주 붉가시나무 변곡점은 0.22로 나타나, 동일 수종이라 하더라도 수간형태가 달라질 수 있음을 보여 주었다. 물론 다른 계수들도 달리 나타났다.

이들 3가지 모형을 이용하여 표준목을 대상으로 수간곡선을 도형화한 바 다음과 같으며(Fig. 1), 수간곡선 모형의 적합도에서도 나타났듯이 적합도의 우열 판단이 거의 나지 않으므로, 곡선모양 역시 비슷한 곡선형태를 보여 주고 있다. 이들 모형을 적합도지수 높고 낮음의 차이를 확실하게 식

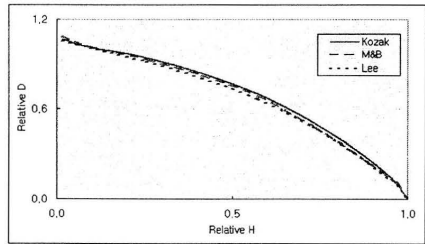


Fig. 1. Taper curve pattern by taper model

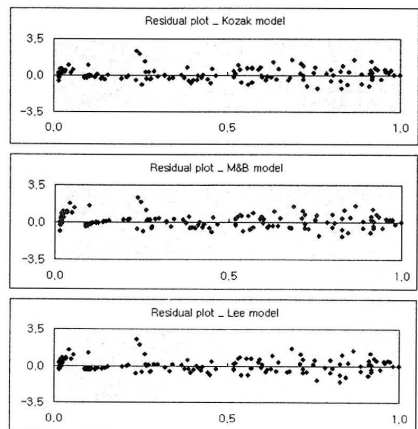


Fig. 2. Residual error in diameter outside bark prediction plotted over predicted values

별하기 위해서는 실측치에 대한 추정치를 서로 비교할 수 있는 찬차분석이 필요할 것이다.

따라서 이들 모형이 편의없이 모집단을 얼마나 잘 설명하는지 알아보기 위하여 찬차분포도를 그려 본 바 다음 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 Kozak모형은 상대수고에 따른 직경값을 잘 표현해 주고 있음을 알 수 있고, Max & Burkhardt모형은 상대수고가 낮은 부분에서 다소 직경값이 과소 추정되고 있음을 알 수 있고, Lee모형 역시 마찬가지로 알 수 있었다. 따라서 검정통계량 값에서도 알 수 있었지만, 불가시나무 수간곡선을 추정함에 있어서는 Kozak모형이 최적임을 알 수 있다.

2. 불가시나무 수간재적

각 표본목의 수피포함 수간재적 실측치는 측정된 수간고와 직경을 토대로 Smalian식에 의한 구분구적법으로 계산하였다. 반면 수피포함 수간재적 추정치는 먼저 측정된 수간고와 직경에 의해 모형별 수간곡선식을 도출한 후, 이를 이용 수간

고 10cm 간격으로 직경을 추정하고, Smalian식에 의한 구분구적법으로 산출하였다. 각 모형별 수간곡선식에 의해 얻어진 추정재적과 실측재적을 비교하여 실측재적을 가장 잘 적합시키는 최적 수피포함 수간곡선식을 결정하였다.

이렇게 Kozak 모형을 이용하여 불가시나무의 수간재적표를 다음과 같이 작성할 수 있었다. 이 표를 이용하면 불가시나무 단목 재적을 얻을 수 있을 것이며, 현재까지 전혀 제시되지 못하였거나, 다른 수종의 재적표를 대체 이용하였던 불가시나무 재적표이므로 정도 향상 뿐만아니라 이용 효율성 측면에서 효과를 가져 올 수 있을 것이다.

결 론

전남 완도지역에 자생하는 불가시나무 수간곡선식의 도출 및 수간재적표를 구축하기 위하여 수간석해 자료로 몇가지 수간곡선 모형 이용을 통해 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

Max & Burkhardt 등 3가지 수간곡선 모델 중

Table 4. Stem volume table for *Quercus acuta*

H	DBH (cm)																	
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
5	0.009	0.010	0.012	0.014	0.015	0.017	0.019	0.020	0.022	0.024	0.025	0.027	0.029	0.030	0.032	0.033	0.035	0.037
6	0.015	0.017	0.020	0.023	0.025	0.028	0.031	0.033	0.036	0.039	0.042	0.044	0.047	0.050	0.052	0.055	0.058	0.061
7	0.023	0.026	0.030	0.034	0.039	0.043	0.047	0.051	0.055	0.059	0.063	0.067	0.071	0.075	0.079	0.083	0.087	0.092
8	0.033	0.039	0.044	0.050	0.056	0.061	0.067	0.073	0.079	0.084	0.090	0.096	0.102	0.108	0.113	0.119	0.125	0.131
9	0.047	0.054	0.062	0.069	0.077	0.085	0.093	0.101	0.109	0.117	0.125	0.133	0.140	0.148	0.156	0.164	0.172	0.180
10	0.064	0.074	0.084	0.094	0.104	0.115	0.125	0.136	0.146	0.157	0.167	0.178	0.189	0.199	0.210	0.220	0.231	0.242
H 11	0.087	0.099	0.112	0.125	0.138	0.152	0.165	0.179	0.193	0.206	0.220	0.234	0.248	0.262	0.276	0.289	0.303	0.317
e 12	0.117	0.132	0.147	0.164	0.181	0.198	0.215	0.232	0.250	0.267	0.285	0.303	0.321	0.338	0.356	0.374	0.392	0.410
i 13	0.155	0.172	0.191	0.212	0.233	0.254	0.276	0.298	0.320	0.342	0.364	0.387	0.409	0.432	0.454	0.477	0.499	0.522
g 14	0.205	0.224	0.246	0.271	0.297	0.323	0.350	0.377	0.405	0.433	0.460	0.488	0.516	0.544	0.573	0.601	0.629	0.657
h 15	0.269	0.288	0.315	0.344	0.375	0.408	0.441	0.474	0.508	0.542	0.577	0.611	0.646	0.681	0.716	0.750	0.785	0.821
t 16	0.351	0.370	0.400	0.434	0.472	0.511	0.551	0.592	0.633	0.675	0.717	0.759	0.802	0.844	0.887	0.930	0.973	1.016
(m) 17	0.459	0.474	0.505	0.545	0.589	0.636	0.684	0.733	0.783	0.834	0.885	0.937	0.989	1.041	1.093	1.145	1.198	1.250
18	0.599	0.604	0.636	0.681	0.732	0.787	0.845	0.904	0.964	1.025	1.087	1.149	1.212	1.275	1.338	1.402	1.466	1.530
19	0.783	0.769	0.799	0.848	0.906	0.971	1.039	1.109	1.181	1.254	1.328	1.403	1.479	1.555	1.631	1.707	1.784	1.861
20	1.026	0.978	1.001	1.062	1.118	1.192	1.272	1.355	1.440	1.528	1.616	1.706	1.796	1.887	1.978	2.070	2.162	2.255
21	1.349	1.245	1.252	1.303	1.375	1.460	1.552	1.650	1.750	1.854	1.959	2.065	2.173	2.281	2.390	2.500	2.610	2.721
22	1.781	1.585	1.564	1.610	1.687	1.783	1.889	2.002	2.120	2.242	2.366	2.492	2.619	2.748	2.878	3.008	3.140	3.271
23	2.364	2.021	1.953	1.986	2.066	2.172	2.293	2.424	2.561	2.703	2.849	2.998	3.148	3.301	3.454	3.609	3.764	3.921
24	3.158	2.582	2.439	2.448	2.526	2.641	2.777	2.926	3.086	3.251	3.422	3.596	3.773	3.953	4.134	4.316	4.500	4.685
25	4.249	3.308	3.047	3.016	3.084	3.205	3.356	3.526	3.709	3.901	4.100	4.304	4.511	4.722	4.935	5.149	5.366	5.584

이 지역 붉가시나무 수간곡선을 가장 잘 표현하는 식 선정을 위하여 적합도지수 및 기타 검정통계량 값을 비교 분석한 결과 Kozak 모형이 가장 우수함을 알 수 있어, 이 모형이 붉가시나무 수간곡선을 추정하는데 있어 최적적임을 알 수 있었다. 잔차분석에 있어서도 Max & Burkhart 모형과 Lee 모형이 상대수고가 낮은 부분에서 다소 직경값을 과소 추정하는데 비하여 Kozak 모형은 잔차 중심선을 크게 벗어나지 않아, 식의 적용 적합도를 더 가늠케 설명해 주었다.

Kozak 수간곡선 추정모형을 이용하여 각 개체목의 수간고별 직경을 추정하고 이를 구분구적하여 수간재적을 산출하게 되었는데, 이 재적표는 현재 부재중인 붉가시나무의 재적 파악에 중요한 정보를 제시할 수 있을 것이라 판단되며, 상록활엽수인 붉가시나무를 경영관리함에 있어 중요한 지침서가 될 수 있을 것이라 판단된다.

인 용 문 헌

1. 이우균. 1994. Spline함수와 선형방정식을 이용한 수간 및 임분간곡선모델. 한국임학회지 83(1) : 63-74.
2. 이경학 외 3인. 1999. 강원도지방소나무의 개체목 수간곡선 및 재적 추정시스템. 임업연구원 산림과학논문집 62 : 155-166.
3. 정영교 · 손영모 · 이경학. 2005. 제주도 붉가시나무 수간곡선 추정식. 한국임학회지 포스터 발표 자료.
4. Bonnor, G. M., and P. Boudewyn. 1990. Taper-volume equations for major tree species of the Yukon Territory. Forestry Canada Pacific and Yukon Region-Information Report BC-X-323. 18pp.
5. Bruce, D. and T. A. Max 1989. Use of profile equations in tree volume estimation. USDA General Technical Report PNW-GTR-263 : 213-220.
6. Cao, Q. V., Burkhart, H. E., and T. A. Max. 1980. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. For. Sci. 26(1) : 71-80.
7. Clark, A. III., Souter, R. A., and B. E. Schlaegel 1991. Stem profile equations for southern tree species. USDA For. Serv. Res. Pap. SE-282. NC. 113p.
8. Figueiredo-Filho *et al.*, 1996. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. For. Ecol. Manage. 83 : 39-46.
9. Gal, J., and I. E. Bella. 1994. New stem taper functions for 12 Saskatchewan timber species. Can. For. Serv., Northeast Reg., North. For. Cent., Information Report Nor-x-338.
10. Kozak, A. 1988. A variable-exponent taper equation. Can. J. For. Res. 18 : 1363-1368.
11. Max, T. A., and H.E. Burkhart. 1976. Segmented polynomial regression applied taper equations. Forest Science. 22(3) : 283-289.
12. Parresol, B. R., Hotvedt, J. E., and Q. V. Cao. 1986. A volume and taper prediction system for bald cypress. Can. J. For. Res. 17 : 250-259.
13. Sloboda, B. 1985. Bestandesindividuelles biometrisches Schaffformmodell zur Darstellung und zum Vergleich von Formigkeit und Sortimentsausbeute sowie Inventur. IUFRO proceedings. Inventoring and Monitoring Endangered Forests, Zürich, 345-353.

강원 양양지역 굴참나무 천연림의 임분특성 및 연륜생장 분석¹

배상원² · 백을선² · 정문호² · 이광수² · 김영수²

Stand Characteristics and Annual Ring Growth Analysis of *Quercus variabilis* Stand in Yangyang, Gangwon Province¹

Sang Won Bae², Eul Sun Baik², Mun Ho Jung², Kwang Su Lee² and Young Soo Kim²

요 약

본 연구는 강원도 양양지역의 굴참나무 천연림 유지를 위한 무육 정보를 얻기 위해 임분특성 및 생장 분석을 실시했다. 임령은 대부분 V영급부터 VII영급 사이에 분포하고 있었으며, 가장 오래된 임분은 IX영급이었다. V영급 임분과 IX영급 임분의 임분밀도는 각각 2,212본과 892본이었으며, 평균 흉고직경과 수고는 V영급 임분에서 각각 11.6cm, 9.5m였으며, IX영급 임분은 25.1cm, 17.8m였다. 굴참나무의 수간 및 수관 형질은 두 임분 모두 대부분 양호하였으나, IX영급 임분에서 수관 형질이 불량하였다. V영급 임분에서는 수령 10년까지가 생장이 가장 양호하였으며, 수령 25년 이후로 생장량이 감소하였다. IX영급 임분에서 굴참나무의 연륜생장은 수령 25년까지 가장 양호하였으며, 수령 46년 이후 1mm 정도의 생장을 보였다. 연륜 생장량 유지를 위해 적절한 임분 밀도가 필요한 것으로 생각된다.

ABSTRACT

This study was conducted to provide information for the tending practice that could be used to maintain the natural *Quercus variabilis* forest by analysing stand characteristics and annual ring growth in Yangyang, Gangwon province. Most of stand ages were from V to VII class, and the oldest stand was IX class. Stand density of V and IX age class was 2,212 No/ha, and 892 No/ha, respectively. Average DBH and tree height in V age class was 11.6cm, 9.5m, respectively, while 25.1cm and 17.8m in IX age class, respectively. Qualities of stem and crown of *Q. variabilis* were generally good in both of V and IX age class stands, but crown quality in IX age class was bad. Annual ring growth of *Q. variabilis* in IX age class was good to 25 years old. After 46 years old, and annual ring growth was around 1mm. In V age class, annual ring growth was the best to 10 years old, but decreased after 25 years old. Annual ring growth in IX age class was the best to 25 years old, while decreased to 1mm after 46 years old. We conclude that it is necessary to adjust stand density properly for maintenance of annual ring growth.

Key words : *Quercus variabilis*, stand structure, annual ring growth.

¹ 接受 2007年 8月 5日 Received on August 5, 2007.

² 국립산림과학원 산림생산기술연구소 Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, 51, Chikdong-ri, Sohul-up, Pocheon-si, Gyeonggi-do.

서 론

우리나라 산림면적의 약 20%를 차지하고 있는 활엽수림과 29%를 차지하고 있는 혼효림은 과거 활엽수가 별다른 가치없는 활감목으로 취급되어 왔기 때문에, 이들의 생리·생태적 특성을 고려한 임분 관리방안이 전혀 이루어지지 않았다. 특히, 천연활엽수림을 마치 인공단순림과 같은 방법으로 관리해 왔기 때문에 임분의 불량화가 우려된다. 하지만 최근 산림이 가지는 다양한 공익적 기능과 환경보전 및 사회에 대한 산림의 역할과 활용의 수요가 점차 높아짐에 따라, 지금까지 외래 침엽수종 위주로 한 조림사업이나 연구보다 옛날부터 오랜 세월 우리나라의 환경에 적응해온 천연활엽수림에 대한 연구가 점차 증가하고 있다(김세현, 1998; 김지홍 등, 1999; 신만용 등, 2001; 이원섭 등, 2000; 김광택, 2002). 그 결과 2005년 현재 지난 20년 동안 침엽수의 면적은 486,971ha가 감소한데 비해, 활엽수림의 면적은 512,411ha가 증가하였으며(산림청, 2006), 이러한 추세는 앞으로도 계속될 것으로 전망된다(정문호 등, 2006). 이에 따라 정부에서는 침엽수와 활엽수 균형을 위한 조림정책과 숲 가꾸기 등 천연활엽수림에 대한 여러 정책을 시행하고 있다(김지홍 등, 1999; 신만용 등, 2001; 산림청, 2005).

유럽과 캐나다를 비롯한 유럽 선진국에서는 이미 천연활엽수림이 가지는 경제적 기능뿐만 아니라 야생 동물의 서식처 제공과 휴양 기능과 같은 다양한 공익적 기능을 위한 친환경적 산림관리를 실시해 오고 있다(최정기·유병오, 2006).

하지만 우리나라는 그 동안의 시업 정책이 침엽수 위주로 진행되어 왔기 때문에, 천연활엽수림 시업에 대한 기술개발이 제대로 이루어지지 않았고, 특히 천연활엽수림의 수종 구성과 지형 등이 복잡하고, 국지적 기상 변화가 심하기 때문에 주요 활엽수종의 분포나 유용 활엽수종의 발굴 및 이의 적지에 관한 연구 등이 미미한 실정이다(최정기·유병오, 2006). 따라서 천연활엽수림의 효율적인 시업관리를 위해서 천연활엽수 임분의 특성과 환경을 고려한 생장패턴에 대한 연구가 필요하며, 이를 위해 환경, 수종 구성, 임분 구조, 생장 패턴 등에 대한 분석이 선행되어야 할 것이다(Whittaker, 1975; Gholz and Boring, 1991). 본

연구의 목적은 우리나라 천연활엽수림의 대표수종인 굴참나무를 대상으로 임분특성 및 흉고직경 성장량을 분석하여 천연활엽수림 무육관리를 위한 기초자료를 제시하는 데 있다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지 개황

본 연구대상지는 강원도 양양군에 위치한 현북면과 현남면으로, 현북면에 14개 조사구, 현남면에 4개 표준지를 설치하였다. 두 지역 모두 굴참나무가 우점하고 있는 지역으로, 조사구 설치 시 다른 임분과의 경계부는 제외하였다. 조사구 위치는 해발고 280~715m, 경사 11~26°에 분포하고 있었으며, 방위는 주로 남동과 남서에 분포하였다(Table 1). 조사대상지의 토양특성을 Table 2에 나타냈다. 주로 변성암모체의 갈색악전산림토양에 분포하고 있었으며, 전도심과 유효토심은 각각 53cm, 16cm로 보통이었다. 토양구조나 수분상태 등은 수분유지가 곤란한 토양특성을 보였는데, 토성이 양질사토로 모래의 함량이 매우 높기 때문에 배수가 매우 빠른 토양이었다.

Table 1. Environmental factors of the study sites

Plot No.	Area	Aspect (°)	Slope (°)	Elevation (m)
1	A	185(S)	30	323
2	A	128(SE)	32	387
3	A	54(NE)	24	440
4	A	158(SE)	36	385
5	A	255(SW)	22	623
6	A	202(S)	35	715
7	A	205(S)	33	697
8	A	130(SE)	30	663
9	A	174(S)	23	520
10	A	177(S)	24	525
11	A	160(SE)	28	547
12	A	122(SE)	11	280
13	A	292(NW)	33	285
14	A	311(NW)	33	347
15	B	191(S)	22	555
16	B	206(SW)	22	536
17	B	193(S)	23	499
18	B	238(SW)	28	481

*A : Hyunbuk-myun, B : Hyunam-myun

Table 2. Soil characteristics of natural *Quercus variabilis* stand

Area	Bed rock	Soil type	Unconsolidated depth (cm)	Available soil depth (cm)	Soil texture	Organic matter content (%;A horizon)	Soil structure		Wetness (B horizon)
							A horizon	B horizon	
Yangyang-gun	Metamorphic	B ₂	53	16	Loamy sand	2-4	Granular	Subangular blocky	Somewhatdry

2. 조사구 선정 및 조사 항목

본 연구의 조사를 위해 각 대상지역에서 굴참나무가 우점하고 있는 임분의 중심부를 기준으로 임연부를 제외하고 해발고 및 지형에 따라 임의로 조사구를 선정했다. 표준지는 원형조사구로 설정하였으며, 조사구의 크기는 임분 상황과 상층목의 수고에 따라 직경 12~24m 사이에서 다양하게 조절했다. 조사항목은 각 수종별 흉고직경, 수고, 지하고, 임목형질급(Kraft, 수관급, 수간급), 연륜생장 등이다. 흉고직경은 직경테이프를 이용해서 mm 단위로 측정했고, 수고와 지하고는 하가 로프 수고측정기를 이용해서 0.1m 단위로 측정했다. 또한 조사구당 3본의 표본목을 선정하여 생장

추로 흉고부위에서 표본을 채취한 후 연륜측정기를 이용해서 0.01mm 단위로 측정하였다. 이들 조사자료에 대해 수고급, 직경급, 형질급 등을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 굴참나무 천연림의 임분특성

조사대상지 내 굴참나무림 조사구 18개소의 임분 구조를 분석한 결과를 Table 3에 나타냈다. 대부분 굴참나무가 우점한 임분으로 신갈나무, 당단풍나무, 소나무, 잣나무, 물푸레나무, 들메나무, 쪽동백나무 등이 생육하고 있었으며, 일부지역에

Table 3. Structures of natural *Q. variabilis* stand

Plot No.	Area	Stand age	No. of trees (No./ha)	Average DBH (cm)	Average height(m)		Basal area (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)	Plot radius (m)
					Top	Live branch			
1	A	VI	2,389	14.4	10.9	5.8	39.16	166.2	10
2	A	V	1,393	20.3	16.2	10.0	45.06	290.8	8
3	A	V	1,393	19.6	11.4	6.5	41.92	216.1	10
4	A	V	1,051	18.8	14.9	8.2	29.31	197.5	10
5	A	VII	796	28.7	16.9	6.8	51.62	374.8	12
6	A	V	752	18.5	13.3	6.5	20.18	122.4	6
7	A	VII	701	26.9	18.4	8.4	39.86	291.7	8
8	A	VII	573	22.5	15.6	9.1	22.84	136.2	10
9	A	VI	541	20.0	14.7	6.9	17.07	95.3	12
10	A	VI	541	26.4	17.5	9.0	29.70	224.7	10
11	A	VI	487	27.9	13.7	5.3	29.79	204.5	10
12	A	VI	446	29.0	19.5	9.9	29.46	227.5	12
13	A	VI	398	26.3	20.6	10.9	21.68	174.9	10
14	A	VI	354	28.5	19.1	13.1	22.63	161.5	12
15	B	VI	1,083	22.6	14.9	7.4	43.33	290.6	10
16	B	V	2,212	11.6	9.5	6.0	27.6	120.7	6
17	B	IX	892	24.0	17.8	10.3	44.18	315.7	10
18	B	V	1,045	20.4	14.9	7.6	37.57	234.4	8

*A : Hyunbuk-myun, B : Hyunam-myun

Table 4. Characteristics of natural *Quercus variabilis* stand by stand age class

Stand age class	Species	No. of trees (No./ha)	DBH (cm)	Height (m)	Basal area (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
V	SO	177	5.3	6.9	0.4	1.0
	QM	708	6.7	6.6	2.6	6.5
	QV	1,327	15.0	11.4	24.6	113.2
	Total	2,212	11.6	9.5	29.3	120.7
IX	SO	32	0.2	4.2	0.2	0.9
	PD	32	0.3	8.5	0.2	3.5
	MA	32	0.5	3.1	0.2	0.7
	QV	796	43.5	25.7	43.5	310.6
	Total	892	25.1	17.8	44.2	315.7

*SO : *Styrax obassia*, QM : *Quercus mongolica*, QV : *Quercus variabilis*, PD : *Pinus densiflora*, MA : *Maackia amurensis*

서는 신갈나무가 상층부에서 굴참나무와 경쟁하고 있었다. 하층식생으로는 생강, 참나무류 멧아, 층층나무, 국수나무, 싸리나무류, 철쭉, 쪽동백나무, 개암나무, 노린재 등이 있었으며, 초본으로는 산겨울, 쭉, 취나물, 우산나물, 고사리, 김의털, 사초류 등이 생육하고 있었다. 현북지역의 굴참나무림은 임목본수 354~2,389No./ha(평균 844), 흉고직경 14.4~29.0cm(평균 23.4cm), 수고 10.9~19.5m(평균 15.9m), 지하고 5.8~10.0m(평균 8.3m), 흉고단면적 17.1~45.1m²/ha(평균 31.4m²/ha), 제적 95.3~374.8m³/ha(평균 206.0m³/ha)의 범위를 보였으며, 현남 지역의 굴참나무림은 임목본수 892~2,565본/ha(평균 1,421), 흉고직경 12.1~25.1cm(평균 20.1cm), 수고 9.5~17.8m(평균 14.3m), 지하고 6.0~10.3m(평균 7.8m), 흉고단면적 29.27~44.2m²/ha(평균 38.6m²/ha), 제적 120.7~315.7m³/ha(평균 240.4m³/ha)의 범위를 보였다. 임령은 V영급부터 IX영급 사이에 분포하고 있었다.

Table 4와 Fig. 1에 조사구 중 가장 어린 임분인 5영급 임분과 가장 오래된 영급인 9영급 임분의 특성 및 직경급과 수고급 분포를 나타냈다. 5영급 임분의 경우, 임분의 대표성을 지니는 16번 조사구를 대상으로 하였다. 5영급 임분의 상층은 굴참나무와 신갈나무가, 임관의 중층과 하층은 신갈나무가 우점하고 있었다. 9영급 임분의 상층은 굴참나무가 하층 임목은 다릅나무, 소나무 쪽동백이 일부 생육하고 있었으며, 하층식생의 피도는

약 50%였다. V영급 임분은 임분 밀도가 2,212본/ha이었으며, 굴참나무의 본수는 전체의 60%인 1,327본이었다. IX영급 임분의 경우, 굴참나무의 본수는 796본/ha으로 전체의 약 89%였다.

V영급 임분의 경우, 영급에 비해 직경급과 수고급이 작은 것으로 분석되었다. 굴참나무가 상위 경급을 차지하고, 신갈나무가 그 이하의 경급을 차지하고 있었다. 굴참나무의 평균흉고직경은 15.0cm, 평균수고는 11.0m였다. 신갈나무는 8cm급이 전체 본수의 20% 정도를 차지하였으며, 10cm급과 6cm급에 일부 분포하였다. 수고급은 임관상부인 12~14m급에 굴참나무가 분포하고, 8m급 이하의 신갈나무가 차지하고 있는 구조로, 상부만 굴참나무가 자리잡고 있고 나머지는 신갈나무가 우점하고 있었다.

IX영급 임분의 직경급 분포는 크게 두 그룹으로 나뉘어 있는데, 첫 번째는 22cm급을 중심으로 한 분포이며, 다른 하나는 28cm급을 경계로 32cm급이 중심인 분포로 분화되어 있다. 전체적으로는 28cm 이하의 경급이 60% 정도를 차지하고 30cm 이상 경급이 40% 정도를 차지하고 있다. 수고급 분포는 16m에서 24m급까지 비슷한 비율로 분포하고 있으나 16m에서 20m급까지의 분포가 약간 더 많은 편으로서 수고급은 전 영역에서 고른 분포를 보이고 있다. 수고급과 경급과의 관계를 분석한 결과 직경급 24cm 이하의 임목은 대부분 수고 20m 이하로서, 경급이 높은 임목이 임분의 상층부를 점유하고 있음을 보여주고 있다. 굴참나무

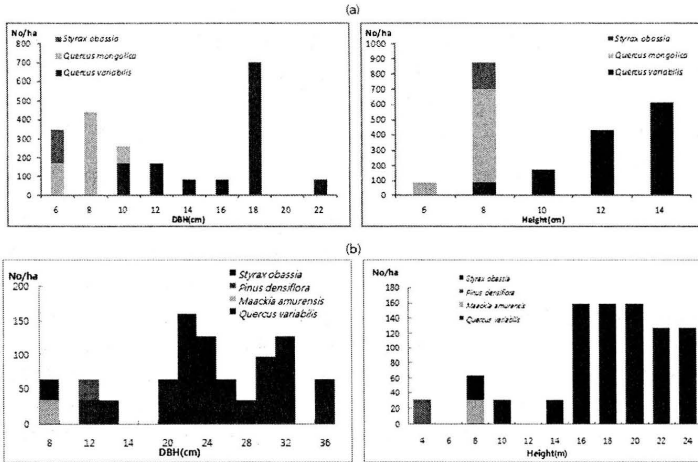


Fig. 1. DBH and height distributions of *Quercus* spp. mixed stand (a : V age class, b : IX age class)

를 제외하고 출현한 다른 수종은 대부분 직경급과 수고급이 각각 12cm와 8m 이하로 중, 상층부에서는 출현하지 않았고 하층부에만 분포하였다. 임목본수도 적어 전체 본수의 약 11%이었다. 정홍락 등(2000)이 대구 지역에서 산림식생을 분류한 연구결과에 따르면, 굴참나무군락에서 졸참나무와 신갈나무의 출현 빈도가 높고, 이는 신갈나무군락의 전형하위군락과 유사한 형태라고 하였는데, 이를 토대로 볼 때, 굴참나무와 신갈나무는 서로 경쟁관계에 있는 것으로 생각된다. 본 연구대상지에서 신갈나무의 출현 빈도가 V영급 임분에서는 높았지만 IX영급 임분에서는 낮았던 것으로 미루어 볼 때, 굴참나무 천연림의 천이단계에서 신갈나무가 도태될 가능성이 있는 것으로 판단된다.

2. 굴참나무 천연림의 임분형질 특성

V영급 임분의 수간형질을 분석한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 가장 우량한 형질을 A급으로, 가장 불량한 형질을 C급으로 표시하였다. 상층을 점유하고 있는 굴참나무는 대부분 수간형질이 좋았지만, 신갈나무는 수간형질이 불량한 임목이 50%를 차지하였다. 일반적으로 임분밀도가 높은 경우 좋은 수간형질을 보이는 임목의 비율이 높는데, 이 임분의 경우 임분 밀도 외의 다른 요인도

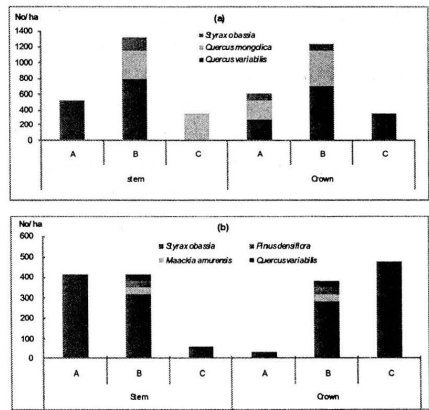


Fig. 2. Stand quality of natural *Quercus variabilis* stand by stand age class (a : V age class, b : IX age class)

작용한 것으로 판단된다. 굴참나무의 수간형질은 수간형질과 비슷한 경향을 보였으나, 신갈나무는 수간형질과는 다르게 우량한 형질이 다소 많았다.

IX영급 임분 내 굴참나무의 수간형질은 우량한 것이 50% 이상이었으며 형질이 불량한 것은 10% 이하로 나타났다. 이는 현재 영급에 비해 임분밀도가 높아 상당한 수고경쟁을 거쳤기때문으로 판

단되며, 수간형질이 우량한 임목의 비율이 높으므로 다른 변수가 없다면 형질이 좋은 목재의 생산 가능성이 있는 것으로 판단된다. 그러나 수관형질은 V영급 임분에 비해 형질이 우수한 임목의 비율이 5% 정도이며 60% 가까이가 수관형질이 좋지 않은 것으로 나타나서 현재에도 경합이 치열한 것으로 판단할 수 있었다. 따라서 형질 개량을 위해 적절한 강도의 밀도조절 시업이 필요한 것으로 판단되었다.

3. 굴참나무의 연륜생장 특성

Fig. 3에 IX영급 임분 내 57년생, 66년생, 85년생 굴참나무와 V영급 임분 내 44년생, 47년생, 49년생 굴참나무의 연륜생장을 나타냈다. V영급 임분에서는 수령 10년까지는 최대 7mm 평균 4mm의 생장을 보였으며, 수령 25년 이후로 성장량이 급감해 평균 1mm 정도의 생장을 보였다. 이는 현재 임분의 밀도가 2,212본 정도로 매우 높은 상태로 심한 경쟁에 의해 연륜생장이 저조한 것으로 판단된다. IX영급 임분의 경우, 수령 25년까지는 대체로 성장량이 양호하였으나, 수령 46년 이후에는 모두 2mm 이하의 생장을 보이며 완만한 감소세를 보였다. 84년생과 57년생은 최근 15년 동안 평균 1mm 정도의 생장을 계속 유지하고 있으며, 66년생의 경우 수령 50년 이후 1mm 이하의 생장을 보였지만, 최근에는 평균 1mm에 가깝게

생장을 회복하고 있다. 따라서, 적절한 임분 밀도 조절이 이루어진다면 더 좋은 성장을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 우리나라 천연활엽수림의 대표수종인 굴참나무를 대상으로 시업적 측면에서 굴참나무 천연림 유지를 위한 정보를 얻기 위해 강원도 양양지역의 굴참나무 천연림에서 영급별 임분특성 및 생장 분석을 실시했다. 임령은 대부분 V영급부터 VII영급 사이에 분포하고 있었으며, 가장 오래된 임분은 IX영급이었다. V영급 임분과 IX영급 임분의 임분밀도는 각각 2,212본과 892본이었으며, 평균흉고직경과 수고는 V영급 임분에서 각각 11.6cm, 9.5m였으며, IX영급 임분은 25.1cm, 17.8m였다. 굴참나무의 수간 및 수관 형질은 두 임분 모두 대부분 양호하였으나, IX영급 임분에서 수관 형질이 불량하였다. V영급 임분에서는 수령 10년까지가 생장이 가장 양호하였으며, 수령 25년 이후로 성장량이 감소하였다. IX영급 임분에서 굴참나무의 연륜생장은 수령 25년까지 가장 양호하였으며, 수령 46년 이후 1mm 정도의 생장을 보였다. 연륜 성장량 유지를 위해 적절한 임분 밀도가 필요한 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

1. 김광택. 2002. 점봉산 일대 천연활엽수림의 군집분류별 생태적 구종 및 동태 분석. 강원대학교 박사학위논문. 139pp.
2. 김세현. 1998. 황칠나무(*Dendropanax morbifera* Lev.)의 생태와 우량개체 선발에 관한 연구. 경상대학교 박사학위 논문. 134pp.
3. 김지홍 · 양희문 · 김광택. 1999. 천연활엽수림의 세가지 조림작업종에 따른 천연갱신 양상. 한국임학회지 88(2) : 169-178.
4. 산림청. 2005. 주요업무추진계획. 35pp.
5. 산림청. 2006. 임업통계연보. 36호. 482pp.
6. 신만용 · 임중수 · 이돈구. 2001. 강원도 평창지역 천연활엽수림의 입지유형별 임분 구조와 경쟁관계의 구명. 한국임학회지 90(3) : 295-305.

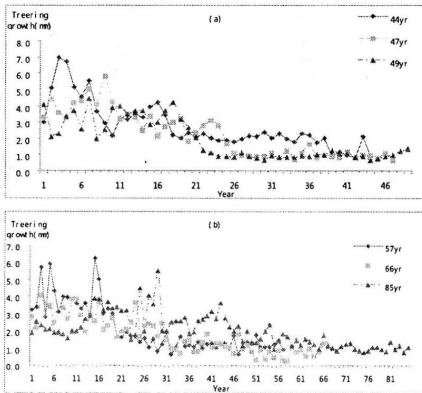


Fig. 3. Annual ring growth of the sample trees in *Quercus variabilis* stand (a : V age class, b : IX age class)

and smallest for *Q. acutissima*.

The interesting for forest was increasing from now on as carbon sinks under the UNFCCC. It was already reported that the carbon absorption capacity was excellent better than other coniferous species. Therefore we have to need a different point of view for *Quercus* spp.

Kew words : *Quercus*, *growth*, *UNFCCC*, *carbon absorption*.

서 론

우리나라에 생육하고 있는 참나무는 그 면적에 있어 약 1,700천ha에 달하며, 고급가구재, 표고골목재, 펄프재 등의 이용으로 인하여 임업경영상 잠재적 효율성과 이용가치는 현재의 어느 수준보다 높은 실정이다.

참나무류중에서도 대표적인 상수리나무를 비롯하여 전국적으로 3,000ha 이상 면적을 가진 참나무류는 약 7종에 달하며, 면적 분포 상으로는 상수리나무가 약 50만ha, 신갈나무가 약 40만ha를 점유하고 있고, 축적 상으로는 치수발생율이 좋은 신갈나무가 가장 높은 약 25백만 m^3 을 차지하고 있다(임업연구원, 1996). 그러나 아직까지는 주로 3-4령급이하의 임목이 대부분이며, 지난 시절의 도벌·남벌 등과 지금의 무육관리의 부재 등으로 인하여 임분생육상태는 그다지 좋지 못한 실정이며, 그나마 최근 숲가꾸기로 인하여 시업이 일부 진행된 바 있다.

우리나라 산림면적의 약 25%를 점하고 있는 참나무림을 현재의 경제적 가치와 경영주의 손익에 편승하여 이대로 방치한다면 앞으로의 임업은 정말 설 자리가 없을 지도 모른다. 물론 산림 내 어느 수종이 귀하지 않고 잠재적인 가치가 없는 수종이 있을까. 만은 일단 소나무와 함께 가장 많은 점유면적을 갖고 있는 참나무에 대한 관심은 지금부터라도 가져야 할 것이다.

산림을 해석하는데는 여러 가지 모델이나 추정식들이 개발 이용되고 있다. 이 중 임분의 성장변화를 구명하는데는 직경급모델이 많은 이용빈도를 보이고 있는데, 이 중 Weibull직경확률분포함수는 단연 돋보이는 모델이다(신만용 등, 1998; 윤종화 등, 1991; 이경학, 1992). 이는 직경급 변화를 아주 융통성있게 설명해 줄 수 있어 각광받고 있고, 본 분석에서는 직경급변화까지는 다루지

않지만 이 과정 상 필요한 추정함수 개발까지 다루도록 할 예정이다.

본 연구에서는 상수리나무 등 4개 참나무 임분에 대한 현실자료를 이용하여 성장 양태를 알아보고, 또한 수고, 흉고직경, 단면적, 지위지수 등 성장인자에 대한 몇가지 성장모델을 구축하여 참나무 임분의 임업경영 상 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사 자료 개황

분석에 이용된 자료는 갈참나무, 굴참나무, 상수리나무, 신갈나무가 정상적으로 생육하고 있는 지역에서 표준지를 선정하여 수집되었다. 표준지 자료의 수는 상기 수종별로 각각 31plots, 32plots, 38plots, 24plots이 조사되었다. 그리고 이들 조사지 임분의 최대 임령은 수종별 차이는 있으나 약 72년에 달하였으며, 경급 범위는 8-34cm에 달하고 있다.

2. 분석방법

수종별로 지위지수, 임분수고, 흉고직경, 임분 밀도 등에 대하여 비선형적인 성장모델을 개발하고자 하였다. 통계적 분석기법은 현존하는 다양한 성장식들을 조사한 임분자료에 적합시켜 그 중 최적인 모델을 도출하였으며, 최적의 조건 판정기준으로는 적합도 지수와 잔차 등이 이용되었다.

결과 및 고찰

1. 4개 참나무 지위지수 추정

지위(site quality)는 임지의 잠재적인 생산력을 나타내는 것이며, 이는 기후, 토양 등 그 산림 입지가 처한 자연환경의 다양한 인자에 의해 영향을

Table 1. Parameter for site index estimation model by four species

Parameter	Species			
	<i>Quercus aliena</i>	<i>Quercus variabilis</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Quercus mongolica</i>
b_1	14.799083	16.269059	19.266453	33.826074

받는다. 이를 전체적으로 하나의 지표로 나타내고자 특정한 기준임령의 우세목 수고로 나타낸 것이 바로 지위지수(site index)이다. 따라서 이러한 지위지수는 산림경영상 적지적수 선정이나, 생장·수확예측 등에 있어 중요한 정보로 사용되고 있다.

1) 수종별 지위지수 모형 및 파라미터 추정
 지위지수 추정 모형으로는 다음과 같은 모델을 이용하였는데, 이 모형은 Schumacher(1939)에 의해 처음 개발되어 소개된 모델이다(Bailey, 1973; Clutter, 1983; Garcia, 1981) 본 모델은 임령과 임분수고간의 관계를 제시하였는데, 당시 Schumacher는 임령에 따른 수고생장에 변곡점(inflexion point, 수고생장의 변화가 있는 시점)이 있다는 점을 간과하였으나, 이후 다른 연구자들에 연구 보완하여 오늘에 이르고 있다(손영모 등, 2003; 이경학 등 2003)).

$$SI = \exp \left(\ln H_i + b_i \left(\frac{1}{A_i} - \frac{1}{A_j} \right) \right)$$

여기서, SI ; 지위지수, A_i ; 현실임령, A_j ; 30(기준년도) H_j ; 우세목수고, b_i ; 파라미터

참나무류 4개 수종별 지위지수 추정모형의 파라미터를 산출한 결과 다음 표와 같으며, 본 모형의 기준연도는 수고생장이 안정화에 접어드는 30년을 기준으로 하였다. 이를 이용하여 수종별로 지위지수 기준선을 그린 것이 Fig. 1이다.

그림에서 초기의 우세목 수고생장은 신갈나무가 가장 떨어지고, 나머지 3 수종은 비슷한 패턴을 보이나 갈참나무가 가장 먼저 생장의 점근선을 보여 주고 있다. 노령림에 이르면 신갈나무도 지속적인 성장으로 상수리나무, 굴참나무 등과 유사한 성장을 보일 수 있는 것으로 나타났다.

이 중 상수리나무에 대한 전체 지위지수 곡선을 표시해 보면 다음과 같다. 본 조사 분석에 의하면

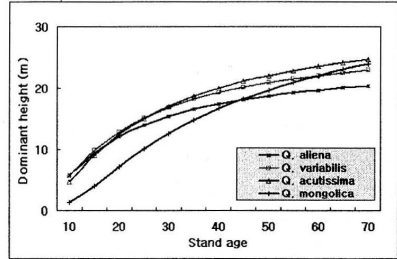


Fig. 1. Comparison among four species by Site index baseline

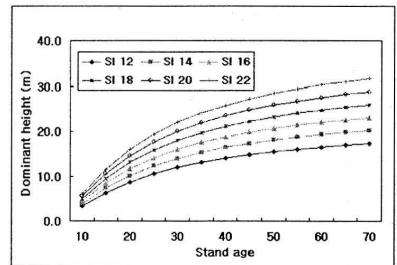


Fig. 2. Site index classification curve in *Quercus acutissima* stand

상수리나무 지위지수 범위는 12~22로 다양한 범위를 갖는 것으로 나타나, 다양한 입지에서 생육하고 있음을 알 수 있었다.

2. 일본 수고생장 모형 및 파라미터 추정

4개 참나무 수종에 대한 임분수고를 해석할 수 있는 수고모형은 다음과 같고, 이 모형은 지위지수, 임목본수, 임령, 흉고직경 등을 변수로 하는 형태이며, 추정 파라미터는 다음과 같다.

$$ht = \exp \left(a + b \times SI + c \times sph + \frac{d}{age} + \frac{e}{dbh} \right)$$

여기서, ht ; 임분평균수고, sph ; ha당 임목본수, a, b, c, d, e ; 파라미터

Table 2. Parameter for stand height estimation model by four species

Species	Parameter					Fitness index
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	
<i>Quercus aliena</i>	2.721594	0.034620	0.00004	-10.24752	-5.142050	0.9479
<i>Quercus variabilis</i>	2.413263	0.048637	-0.00004	-3.446948	-7.379769	0.9254
<i>Quercus acutissima</i>	2.827205	0.036370	-0.00011	-8.093392	-6.940422	0.9429
<i>Quercus mongolica</i>	2.948519	0.049072	0.00018	-25.97851	-8.257409	0.9196

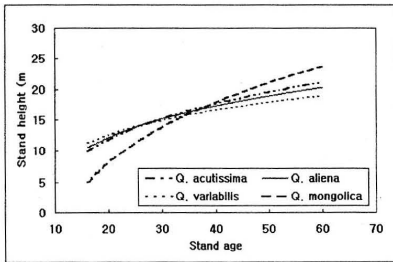


Fig. 3. Comparison among four species by stand height curve

표2에서 4개 수종 임분수고 추정에 대한 적합성은 모두 90% 이상으로 높게 나타났으며, 본 조사 지뿐만 아니라 현실림에 적용시키기에 별문제가 없을 것으로 생각된다. 그리고 4개수종별로 수고 곡선을 비교해본 결과 다음 그림과 같다. 임분평균수고 경우 우세목 수고와 유사한 경향을 가지나, 신갈나무 경우 장령기 이후 타 수종보다 높은 수고생장을 하는 것을 나타냈다. 다른 3가지 수종은 거의 유사한 수고성장 패턴을 보여 주고 있다. 지위지수 추정에 있어 우세목 수고가 노령기까지 상수리나무가 가장 높게 나타난 바 있는데, 평균

수고는 신갈나무가 가장 높아 상대적으로 상수리나무 임분에 있어 수고생장의 변이 폭이 더 큼을 유추할 수 있었다.

3. 임분 흉고직경성장 모델 및 파라미터 추정

4개 참나무 수종에 대한 임분 흉고직경을 해석할 수 있는 모형은 다음과 같고, 이 모형은 지위지수와 임령을 변수로 하는 형태이며, 추정 파라미터는 다음과 같다.

- 갈참나무, 굴참나무, 신갈나무 추정 모델

$$DBH = (a + b \times SD) \times (1 - e^{-c \times age^d})$$

- 상수리나무 추정모델

$$DBH = (a + b \times SD) \times (age^d)$$

여기서, DBH ; 임분평균흉고직경,

a, b, c, d ; 파라미터

표에서 4개 수종 임분흉고직경 추정에 대한 적합성은 갈참나무를 제외하고는 모두 80% 이상 높게 나타났다. 4개수종별로 임분흉고직경 성장양태를 비교해본 결과 다음 그림과 같다. 임분흉고직경 생장은 굴참나무가 지속적으로 성장하는 양태를 보여 주었으며, 다음으로는 신갈나무

Table 3. Parameter for stand dbh estimation model by four species

Species	Parameter				Fitness index
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	
<i>Quercus aliena</i>	8.272031	1.523085	0.014954	1.143711	0.7251
<i>Quercus variabilis</i>	9.393814	1.459641	0.001227	1.892884	0.8370
<i>Quercus acutissima</i>	1.846571	0.011409	-	0.650224	0.8377
<i>Quercus mongolica</i>	26.38028	0.454405	0.002218	1.681547	0.8207

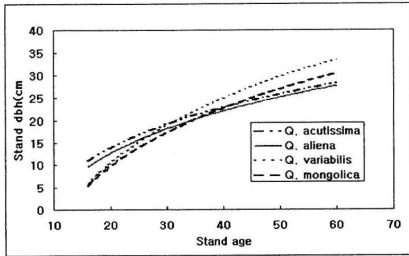


Fig. 4. Comparison among four species by stand dbh curve

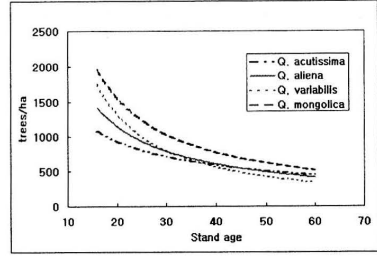


Fig. 5. Comparison among four species by stand density curve

가 나머지 두수종보다는 장령기 이후 생장이 좋은 것으로 나타났다.

4. 임분밀도 추정 모델 및 파라미터

4개 참나무 수종에 대한 임분밀도를 해석할 수 있는 모형은 지위지수와 임령에 의해 ha당 흉고단면적과 평균흉고단면적을 추정하는 식을 구한 후, 임분밀도 즉 ha당 임목본수는 전자를 후자로 나누어 추정하는 체계를 채택하였다. 여기서 평균흉고단면적은 이미 개발된 평균직경추정식에 의하여 도출된다.

$$\text{임분밀도} = \frac{\text{임분흉고단면적(BA)}}{\text{평균흉고단면적(Mean BA)}}$$

임분밀도를 정확하게 추정함은 쉬운 일이 아니다. 너무 다양한 밀도분포를 갖고 있기에 그러한

것이며, 본 분석에서는 신갈나무에 대한 추정식 적합도는 높았으나, 그 외 수종은 다소 낮은 적합성을 보여 주고 있다. 이에 대해서는 잔차검정 시 다시 고려해 보기로 한다.

4개수종별로 임분밀도 양태를 비교해본 결과 다음 그림과 같다. 임분밀도의 유효기와 노령기 간 가장 변화 폭이 큰 수종은 역시 치수발생율이 가장 좋은 신갈나무 임분에서 일어나고 있으며, 굴참나무도 비슷한 유행을 보이고 있다. 반면 상수리나무는 임분밀도가 시기별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

상수리나무를 대상으로 임분밀도 잔차를 비교해 보면 Fig. 6과 같다.

잔차도를 보면 모두 “0”을 중심으로 균등히 분포하고 있음을 볼 수 있다. 이는 앞서 임분밀도 추정식의 적합도지수가 다소 낮을 지라도 그것은 밀도라는 너무나 다양한 인자를 설명하기에 식의 한

Table 4. Parameter for stand density estimation model by four species

Species	Growth factor	Parameter				Fitness index
		a	b	c	d	
<i>Quercus aliena</i>	BA	0.161613	0.170493	-	0.535006	0.3521
	Mean BA	8.272023	1.523797	0.014954	1.143715	
<i>Quercus variabilis</i>	BA	0.127780	0.029234	-	1.000857	0.4709
	Mean BA	9.393825	1.459646	0.001227	1.892830	
<i>Quercus acutissima</i>	BA	2.948808	-0.035880	-	0.624773	0.4791
	Mean BA	1.846571	0.011409	-	0.650224	
<i>Quercus mongolica</i>	BA	0.052825	0.021895	-	1.141256	0.7871
	Mean BA	26.380256	0.454404	0.002218	1.681551	

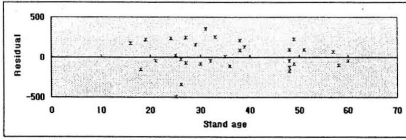


Fig. 6. Residual distribution by stand density estimation in *Quercus acutissima* stand

계를 보여 준 것이라면, 잔차도에 있어 균등한 분포는 본 추정식의 이용가능성을 충분히 인지해 주는 증거라 할 수 있겠다.

결론

우리나라 참나무류 중 주요 4개 수종인 상수리나무, 신갈나무, 굴참나무, 갈참나무를 대상으로 임분 내 성장인자에 대한 성장모델 추정 및 의미 검증을 수행하고, 또한 수종간 성장차에 대해 구명한 결과를 요약하면 다음과 같다.

4개 수종 참나무 중 초기의 우세목 수고생장은 신갈나무가 가장 떨어지고, 나머지 3 수종은 비슷한 패턴을 보이거나 노령기에 이르면 신갈나무도 지속적인 성장으로 상수리나무, 굴참나무 등과 유사한 성장을 보이는 것으로 나타났다.

4개 수종 참나무 중 초기의 우세목 수고생장은 신갈나무가 가장 떨어지고, 나머지 3 수종은 비슷한 패턴을 보이거나 노령기에 이르면 신갈나무도 지속적인 성장으로 상수리나무, 굴참나무 등과 유사한 성장을 보이는 것으로 나타났다.

임분수고 추정에 대한 적합성은 모두 90% 이상으로 높게 나타났으며, 4개 수종별로 수고곡선을 비교해본 결과 신갈나무 경우 장령기 이후 타 수종보다 높은 수고생장을 하는 것으로 나타났다. 그리고 다른 3가지 수종은 거의 유사한 수고생장 패턴을 보여 주고 있다.

임분용고직경 추정에 대한 적합성은 갈참나무를 제외하고는 모두 80% 이상 높게 나타났고, 4개 수종별로 임분용고직경 성장양태를 비교해본 결과 굴참나무가 지속적으로 성장하는 패턴을 보여 주었으며, 다음으로는 신갈나무가 나머지 두 수종보다는 장령기 이후 생장이 좋은 것으로 나타났다.

임분밀도 추정곡선을 추정하기 위하여 평균용고단면적과 임분용고단면적을 이용하는 추정식을 이용하였으나, 적합도는 그다지 높지 않았으나, 이 식을 이용하여 밀도곡선 변화를 그려 본 결과 역시 치수발생율이 가장 좋은 신갈나무 임분에서 가장 많은 시기별 변화가 일어나고 있음

을 알 수 있었다. 반면 상수리나무는 임분밀도가 시기별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 4개 수종 중 상수리나무에 대한 잔차도를 분석한 결과, 모두 0을 중심으로 균등히 분포하고 있음을 볼 수 있다. 이는 적합도지수가 다소 낮을지라도 임분밀도 추정에 있어서는 본 모델을 이용하는 데 별 문제가 없을 것임을 인정하는 증거라 할 수 있겠다.

참나무는 소나무와 함께 우리나라 역사를 간직한 나무라 할 수 있다. 쓸모없는 나무라는 인식들을 배제하고, 용도에 맞게끔 경영할 수 있는 방안을 강구해야 할 시점이라 생각한다. 산림청의 정책 역시 장기적으로 활엽수 면적을 확대(산림면적의 60%)한다는 기본계획이 정립되어 있고, 기후 변화협약 대비 활엽수가 일반 침엽수 보다 더 많은 탄소흡수원(2배정도 더 흡수)으로서의 가치가 있으므로 이런 사안을 감안하여 정책입안자나 국민 모두 활엽수 특히, 참나무에 대한 관심을 증폭시켜야 할 시점이다.

인용 문헌

1. 임업연구원. 1996. 전국 활엽수 조사. 산림자원정보와 내부 자료.
2. 손영모 · 이경학. 2003. 비선형모델을 이용한 강원지방소나무와 낙엽송의 지위지수 추정식. 한국산림측정학회지 6(1) : 1-7.
3. 신만용 · 정동준. 1998. 인공림과 천연림에서의 직경분포 추정을 위한 Beta와 Weibull 함수의 비교. 한국산림측정학회지 1(1) : 3-11.
4. 윤종화 · 조현국. 1991. Weibull분포에 의한 직경분포 추정에 관한 연구. 한림지 80(4) : 420-426.
5. 이경학. 1992. A model for stand structure and yield prediction of *Larix leptolepis* plantation in Korea. 서울대학교 박사학위논문.
6. 이경학 · 손영모. 2003. 단순적률법을 이용한 소나무림에서의 Weibull직경분포 모수추정. 한국산림측정학회지 6(1) : 8-14.
7. Bailey, R. L., and T. R. Dell. 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. For. Sci. 19 : 97-104.

8. Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister and R. L. Baily. 1983. Timber Management : A Quantitative Approach. John Wiley & Sons. 333pp.
9. Garcia, O. 1981. Simplified method-of-moments estimation for the weibull distribution. New Zealand J. of For. Sci. 11(3) : 304-306.

Quickbird 영상에 의한 소나무의 유역단위 식생탄소저장능력 추정¹

김태민² · 송철철² · 이우균^{2*} · 손요환² · 배상원³ · 김춘식⁴

Estimation of Vegetation Carbon Storage of *Pinus densiflora* in Watershed Level Using Quickbird Imagery¹

Tae-min Kim², Chul-chul Song², Woo-kyun Lee^{2*}, Yowhan Son²
Sang-won Bae³ and Choonsig Kim⁴

요 약

일반적으로 산림에서의 탄소저장능력은 식생탄소저장량(Vegetation Carbon Storage, VCS)과 토양탄소저장량(Soil Carbon Storage, SCS)의 합으로 볼 수 있다. 이 VCS 및 SCS는 임목의 크기, 나이, 임분밀도 등과의 관계식을 통해 간접적으로 추정할 수 있다.

본 연구에서는 소나무 임분의 VCS를 유역단위로 추정하는 방법을 제시하였다. 우선, Quickbird 영상의 감독분류를 통해 소나무의 분포를 추출하였다. 이렇게 추출된 화소단위의 소나무 분포를 GIS기반으로 구축된 유역단위로 구획하였다. 각 유역단위의 소나무 임분에서 평균 수관직경을 추정 한 뒤, 이를 전체 소나무림 면적에 대비시켜 유역별 소나무 분수를 추정하였다. 평균 흉고직경은 지상조사를 통해 유도된 수관직경에 대한 흉고직경 관계식을 이용하여 추정하였다. 이와 같이 추정된 평균 흉고직경과 분수를 기존의 VCS추정식에 대입하여 유역별 VCS를 추정하였다. 본 연구의 VCS추정 접근방식은 향후, 표본점 단위의 VCS를 유역단위 VCS분포로 확장시키는데 활용될 수 있다.

ABSTRACT

Total forest carbon storage can be classified into vegetation carbon storage (VCS) and soil carbon storage (SCS). These VCS and SCS can be indirectly estimated by tree size and age and stand density. This study suggested an approach for estimating VCS of *Pinus densiflora* in watershed level. Spatial distribution of *P. densiflora* was prepared through supervised classification of Quickbird imagery. The pixel based distribution of *P. densiflora* was segmented in watershed level which was prepared in GIS. Mean crown diameter for each watershed was estimated and used for estimating number of *P. densiflora* for each watershed. DBH was

¹ 接受 2007年 9月 30日 Received on September 30, 2007.

² 고려대학교 환경생태공학과 Department of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University Seoul 136-701, Korea.

³ 국립산림과학원 산림생산기술연구소 Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute.

⁴ 국립전주산림대학교 산림자원학과 Department of Forest Resources, JINJU National University.

* 연락저자(leewk@korea.ac.kr)

estimated using relationship between DBH and crown diameter which was prepared by field survey. VCS could be estimated in watershed level in the way that the DBH and number of *P. densiflora* in each watershed fit to the VCS estimation function. Our approach can be used for up-scaling plot based VCS to the VCS distribution in watershed level.

Key words : *Vegetation Carbon Storage, Watershed level, Pinus densiflora, Satellite imagery.*

서 론

교토의정서에서 온실가스 감축의 추가, 보조적인 수단인 하나로 탄소흡수원(carbon sink)의 활용을 제시되고 있다. 이에 따라 국내에서는 국립산림과학원을 중심으로 관련연구 및 통계 구축사업이 이루어지고 있으며(이경학·임재규, 2004; 서정호 등 2006; 이경학, 2007), 산림청에서는 '탄소흡수원 10년 계획(2005)'을 수립하는 등 탄소흡수원 확충을 위한 노력이 추진되고 있다.

대표적인 탄소흡수원으로 산림을 들 수 있는데, 식물의 광합성과정에서 이산화탄소는 탄소로 전환되어 바이오매스나 토양에 저장된다. 따라서 산림의 탄소저장량(Carbon Storage, CS)은 식생탄소저장량(Vegetation Carbon Storage, VCS)과 토양탄소저장량(Soil Carbon Storage, SCS)의 합으로 구할 수 있다. 이렇게 산출한 CS의 공간분포 특성을 산림경영 계획수립에 활용하여 탄소흡수원으로서 산림의 효과를 극대화 시키는 것이 필요하다.

우리나라 산림에서 구성비율이 가장 높은 단일 수종은 자생수종인 소나무이므로 우리나라 산림의 CS를 예측하기 위해서는 소나무림 VCS의 공간분포 특성파악이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 위성영상을 통해 추출된 소나무 공간분포를 이용해, VCS를 유역단위로 산출하는 방법을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지 현황

경기도 포천시 가산면과 소흘읍, 가산면, 내촌면에 걸쳐 위치한 1,829ha에 달하는 지역을 대상으로 연구를 수행하였다(Fig. 1a). 해당 지역은 전체 면적의 약 76%가 산림이며, 그 중 78%가 100~400m의 높이에 위치하고 90%가 30° 이하의 경사를 갖는다.

2. 이용 자료 및 프로그램

2005년 4월 5일 취득된 0.6m 해상도의 Quickbird 위성영상(Fig. 1b)을 구획 및 분류하기 위해

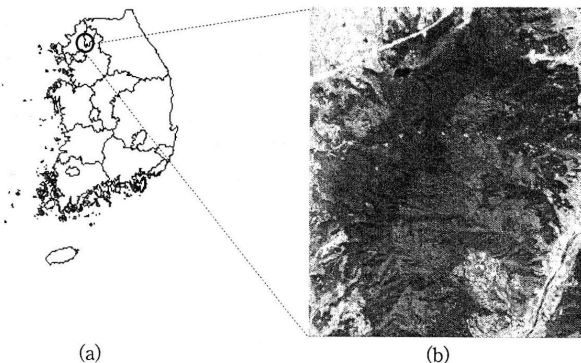


Fig. 1. Study site (a) and Quickbird satellite imagery (b)

'ERDAS IMAGINE 9.1'과 'Definiense Professional 5.0'을 이용하였다. 분류한 영상에서 소나무림을 추출하고 수관직경과 DBH 공간분포를 분석하기 위해서는 'ArcMAP 9.0'을 이용하였다.

3. 연구방법

본 연구는 Fig. 2와 같은 흐름으로 수행되었다.

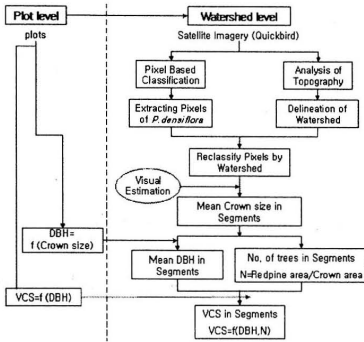


Fig. 2. Flow chart for estimating VCS in watershed level

1) DBH와 수관직경 측정

연구대상지역의 소나무림에서 10m와 15m 반경의 조사구 2곳을 선정하고 소나무 59본의 DBH와 수관직경을 측정하여 DBH와 수관직경간의 관계식을 유도하였다.

2) 소나무림 공간분포 및 DBH의 추정

위성영상을 입상에 따라 '소나무림 / 기타 침엽수림 / 활엽수림 / 기타' 지역으로 감독분류한 후, 소나무림만 추출하였다.

대상지역을 유역에 따라 구획하고 추출된 소나무림 분포도를 이용하여 각 유역의 소나무림 밀도를 산출하였다. 평균 수관직경은 위성영상을 육안 분석하여 추정하였다. 평균 DBH는 수관직경과 DBH의 관계식을 통해 추정하였으며, 수관직경으로부터 계산된 수관면적을 이용해 각 유역 내 소나무 본수를 산출했다.

3) 광역적 범위의 확대

소나무림을 대상으로 개발된 건중량 추정 회귀식(박인협·김준선, 1989; 박인협·이석면 1990)(Eq. 1)과 일반적으로 사용되는 바이오매스-탄소저장량 전환식(Eq. 2)으로부터 DBH와 VCS의 관계식(Eq. 3)을 도출하였다. 전환식에서 전환계수는 정부간기후변화위원회(Intergovernmental Panel for Climate Change : IPCC)에서 제시한 값을 적용하였다.

$$\log W = 2.523 + 1.99 \cdot \log D \dots\dots\dots \text{Eq. 1.}$$

W = 임목의 바이오매스(gC/tree)

D = DBH(cm)

$$VCS(gC/tree) = W(gC/tree) \cdot 0.5 \dots\dots\dots \text{Eq. 2.}$$

0.5 = IPCC에서 권고하는 전환계수

DBH로부터 VCS를 산출하기 위해 (Eq. 1)과 (Eq. 2)로부터 도출한 관계식은 다음의 (Eq. 3)과 같다.

$$VCS(gC/tree) = 166.71 \cdot D(cm)^{1.99} \dots\dots\dots \text{Eq. 3.}$$

DBH와 VCS의 관계식을 통해 임목 당 VCS를

Table 1. Error matrix of supervised classification of Quickbird imagery

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy(%)	Users Accuracy(%)
PD	7	5	5	71	100
C	3	5	3	100	60
H	5	5	3	60	60
O	5	5	4	80	80
Total	20	20	15		

PD = Pinus densiflora, C = Other Coniferous, H = Hardwood, O = Others

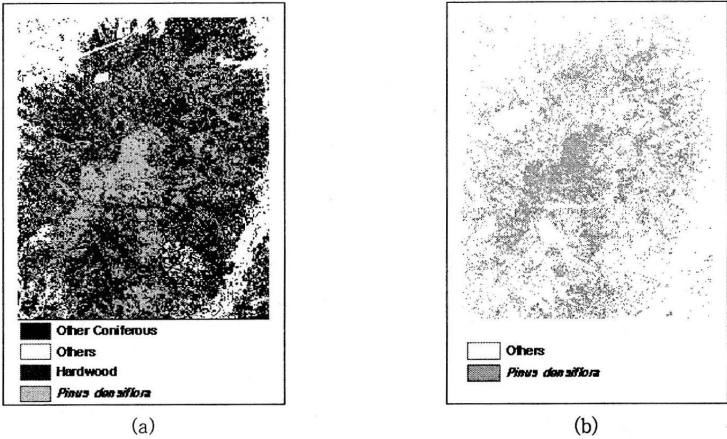


Fig. 3. Forest types(a) and Spatial distribution of *Pinus densiflora* stand(b)

산출하였으며, 각 유역 내 소나무 본수를 곱해 유역단위의 총 VCS를 추정하였다.

Accuracy는 75%, Kappa Value는 0.67로 나타났다.

결과 및 고찰

1. 소나무림 추출

위성영상을 임상에 따라 4지역으로 감독분류(Fig. 3a)하고 소나무림만 추출한 결과(Fig. 3b) 전체 산림면적의 약 26%가 소나무림으로 추출되었다. 분류의 정확도를 보여주는 Error matrix는 Table 1과 같으며 Overall Classification

2. 유역구분

대상지역을 유역에 따라 구획한 결과 총 22개 유역으로 구분되었으며, 각 유역의 면적은 0.1~340.0ha로 나타났다(Table 2, Fig. 4a).

3. 유역별 소나무림 밀도와 평균 수관직경

위성영상의 분류결과에서 위성영상을 육안분석하여 소나무림의 평균 수관직경을 추정하였다. 유

Table 2. *Pinus densiflora* area, mean crown area, DBH, number of *Pinus densiflora* for each watershed

Watershed	Area (m ²)	Area of <i>Pinus densiflora</i> (m ²)	MeanCrown Diameter(m)	MeanCrown Area(m ²)	Number of <i>Pinus densiflora</i>	Mean DBH (cm)
1	978	0	0	0	0	0
2	58,646	587	6	32	18	25
3	115,448	2,309	6	30	76	24
4	599,498	5,995	6	28	212	23
5	258,966	10,359	6	24	436	22
6	417,658	20,883	6	27	764	23
7	483,602	29,016	6	29	993	24
8	1,300,000	52,000	6	30	1,722	24
9	1,000,000	90,000	6	28	3,183	23
10	653,554	91,498	7	40	2,311	27

Table 2. Continued.

Watershed	Area (m ²)	Area of <i>Pinus densiflora</i> (m ²)	MeanCrown Diameter(m)	MeanCrown Area(m ²)	Number of <i>Pinus densiflora</i>	Mean DBH (cm)
11	937,974	131,316	7	36	3,616	26
12	979,702	137,158	8	45	3,023	28
13	508,087	152,426	7	35	4,323	26
14	767,584	168,869	6	30	5,593	24
15	553,251	171,508	6	32	5,331	25
16	902,538	180,508	7	33	5,440	25
17	880,131	228,834	8	49	4,668	29
18	1,200,000	288,000	8	55	5,197	31
19	1,400,000	294,000	6	29	10,060	24
20	938,737	319,171	7	35	9,053	26
21	900,756	405,340	9	62	6,516	32
22	3,400,000	884,000	8	45	19,487	28

역별 소나무림 평균 수관직경은 3.0~6.4m로 추정되었다. 수관직경에서 계산된 평균 수관면적으로 소나무림 면적을 나누어 각 유역 내 소나무 본수를 산출할 수 있었다(Table. 2).

4. 수관직경으로부터 DBH의 추정

현장조사로 측정한 59입목의 수관직경과 DBH 자료를 토대로 Eq. 4와 같은 수관직경과 DBH 관계식을 추정하였으며, 이 식의 R²는 0.80이다.

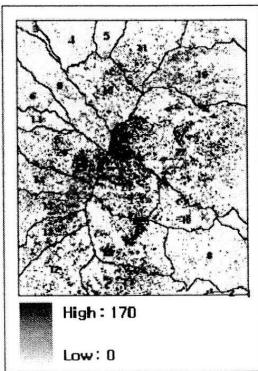
$D=4.7507+3.1175 \cdot C$ Eq. 4.

D=DBH(cm)

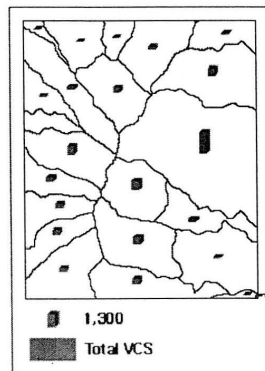
C=수관직경(m)

5. VCS 분포도

각 유역 내 소나무림의 평균 DBH와 본수를 Eq. 3에 대입하여 유역별 임목평균 VCS(Fig. 4a)와 각 유역의 총 VCS량(Fig. 4b)을 추정하였다.



(a)



(b)

Fig. 4. Spatial distribution of mean VCS (a) and total VCS in watersheds (b)

결 론

본 연구는 표본점 범위에서 조사되고 있는 탄소 저장량을 GIS와 RS를 이용하여 유역단위로 추정하기 위해 수행되었다.

필요자료 및 모델은 기존 연구결과를 주로 이용함에 따라 정확도가 낮으며 추정치에 대한 검증이 이루어지지 않았다는 한계가 있다. 또한, 바이오매스를 VCS로 전환하는 과정에서 IPCC에서 권고한 전환계수를 사용했으므로 우리나라 소나무림의 특성을 반영한 고유값으로 보기 어려운 점도 있다.

이런 한계점을 개선하기 위해 수관직경과 DBH, 탄소저장량에 대한 조사와 검증이 필요하며, 우리나라 산림고유 수종별 전환계수 개발이 이루어져야 할 것이다.

탄소흡수원으로서 산림의 역할을 명확히 하고 온실가스 저감수단으로 활용하기 위해서는 본 연구에서 수행한 VCS의 공간분포 특성규명뿐만 아니라 토양탄소저장량(Soil Carbon Storage, SCS)에 대한 연구가 추가로 수행되어야 할 것이다.

감사의 말씀

본 연구는 한국과학재단의 연구지원 (R01-2006-000-10863-0)으로 수행된 연구결과의 일부임.

인 용 문 헌

1. 박인협 · 김준선. 1989. 한국산 4개 지역형 소나무천연림의 물질 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78(3) : 323-330.
2. 박인협 · 이석면. 1990. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79(2) : 196-204.
3. 서정호 · 이경학 · 손영모 · 임종환 · 배재수 · 유동현 · 노종환. 2006. 지구온난화와 산림 그리고 탄소나무 계산기. 국립산림과학원. p.96.
4. 이경학. 2007. 탄소흡수원 기술 정책 및 인벤토리 연구. 교토의정서 발표 2주년 학술 심포지움 : 기후변화협약 협상동향 및 산림부문 대응방향.
5. 이경학 · 임재규. 2004. 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구(제1차년도) 임업부문 온실가스 통계작성에서의 IPCC 우수실행지침 적용성 분석. 에너지경제연구원.
6. Dong, J., Kaufmanna, R. K., Myनिया, R. B., Tuckerb, C. J., Kauppica, P. E., Liski, J., Buermanna, W., Alexeyevf, V., and Hughesg, M. K. 2003. Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass : carbon pools, sources, and sinks. Remote Sensing of Environment, 5789(2002) : 1-18.

산지전용허가기준의 개선방안 연구¹

박영규² · 권순덕² · 김은희²

A Study on the Improvement Plans of the Forest-Land Conversion Permission Standards¹

Young-Kyu Park², Soon-Duk Kwon² and Eun-Hee Kim²

요 약

본 연구는 산지전용허가기준의 운용실태를 파악하여 산지전용허가기준의 개선방안을 모색하기 위하여 수행하였다. 산지전용허가기준의 운용실태 파악을 위하여 전국의 산지전용허가담당공무원에 대한 도별 순회 워크숍을 개최하였고, 현지 방문조사와 우편 설문조사를 병행하였다.

운용실태 조사 결과, 산지관리법상의 산지전용허가기준은 산지의 난(亂)개발 방지에 어느 정도 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 전용허가기준이 획일적이고 선언적이어서 현지에 적용하기 곤란한 경우가 발생하고 있으며, 불명확하고 애매함에 따른 민원사례가 빈번하게 발생하고 있어 전용허가기준의 개선·보완이 요구되고 있다.

전용허가기준 중 가장 시급하게 개선해야 할 기준으로는 표고와 평균경사도로 나타났다. 표고 100분의 50에 대한 기준은 산정부와 산자락 하단부의 개념이 애매하여, 개발사업자가 악용할 경우 산지의 능선 전체를 훼손할 수 있어 개선이 요구되며, 경사도 기준에 대하여는 평균경사도로 규정함으로 인하여 급경사지도 개발대상지에 포함될 수 있어 난개발을 조장할 수도 있는 것으로 나타났다.

또한 산지의 능선분류와 평균경사도 산출방법에 있어서 문제점이 노출되어 산지전용허가업무에 비효율성을 초래하고 있으므로 전용허가담당공무원이 쉽게 이용할 수 있는 프로그램의 개발이 시급한 것으로 분석되었다.

산지전용허가기준은 획일성과 모호함으로 많은 민원이 발생할 수 있는 소지가 있으므로 기준을 적용함에 있어서 지역여건이나 지형형태에 따라 탄력적인 적용이 필요하며, 기준을 규정함에 있어서도 지자체별로 차등화 할 수 있는 조례제정 등의 제도개선이 필요하다.

ABSTRACT

This study was carried out to search for the improvement plan and to suggest a permission standard for the application of forest-land conversion. Through a series of workshops nationwide, direct survey using a questionnaire was conducted to the public official for the forest-land conversion.

It was shown that enacted the Forest Land Administration Law including forest-land conversion permission standards was somewhat effective to prevent unplanned forest land development. However, forest-land conversion permission standards were difficult to be applied

¹ 接受 2007年 10月 4日 Received on October 4, 2007.

² 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

in the field because the standards were unclear and monotonous. The forest-land conversion permission standards were required to be improved for the response of frequent civil appeal. It was revealed that both average slope and altitude standards among the forest land conversion permission standards were required to be improved immediately. Developers could abuse the permission of 50/100 forest land altitude, in that case finally total edge of forest land would get damaged. Also, the permission of the average slope 25 degrees could include steep slope area in the development area, which could be caused by unplanned development.

Although the permission was arranged by calculating edge classification and average slope of forest land, it was insufficient. It was urgently need for the public official in the field to use the program that considered a variety of topographies and the region circumstances, and that analyzed the difference of application by province.

Forest-land conversion permissions standards were caused by the civil appeals because of uniformity and indefiniteness. So, We need to arrange the guide line and institutionalize the regional regulations that considered a variety of topographies and the region circumstances.

Key words : the Forest Land Administration Law, forest land conversion permissions, average slope, edge classification.

서 론

우리나라는 1988년 서울올림픽을 계기로 건설의 붐과 함께 도시·산업적 토지수요와 레저수요가 급증함으로써 이들 수요를 산지에서 공급해야 한다는 의견이 제기되면서 많은 산지가 개발되기 시작하였다.

그러나 산지개발에 대한 방식이나 기준 등이 없어 기존의 평지 개발방식을 여과 없이 산지에 적용함으로써 산지의 난(亂)개발이 발생했고, 이는 사회적 문제를 초래했다. 일부 지자체에서는 자치예규나 조례로써 난개발 방지에 노력을 기울였으나 중앙정부의 규제완화 정책으로 법률적 근거가 미흡하여 효과를 거두지 못하였다.

따라서 산림청은 2003년 산지관리법을 제정하여 산지전용허가기준을 마련하여 시행하게 되었다. 그러나 산지전용허가기준이 산악지와 평야지 등의 지역여건에 대한 고려가 미흡하여 산지의 난개발을 억제하는데 한계가 있고, 획일적이고 선연적이어서 다양한 산지에 적용하기 곤란한 경우가 발생하고 있는 실정이다. 또한, 기준이 애매하고 모호하여 행정소송 등 민원사태가 빈번하여 산지전용허가기준의 개선·보완이 요구되고 있다.

산지관리제도의 개선방안에 관한 연구로는 박영규 등(2002)은 자연친화적 산지개발 연구에서

전문가를 대상으로 델파이조사를 실시하여 산지개발시 고려해야 할 기준 및 지표를 제시하였다. 유병일 등(2000)은 한국과 일본의 산지관리제도에 연구에서 한국과 일본의 산지개발기준을 비교 분석하여 산지개발정책 및 제도를 정비하고자 하였다.

산림청(2002)은 산지전용허가기준의 법제화 방안 연구를 통해 현재 문제가 되고 있는 채석 및 토사채취, 복구설계승인기준 등을 검토하여 허가기준의 개선방안을 마련하였다. 채미옥 등(2005)은 계획적 국토관리를 위한 산지관리제도의 개선방향 연구에서 산지전용 수요 및 보전의 필요성에 합리적으로 대처할 수 있는 국토관리 차원에서 개선방안을 제시하였다.

본 연구는 산지전용허가기준의 운용실태 및 문제점을 파악하여 산지전용허가기준의 개선방안을 모색하는 것에 목적을 두고 있다.

산지전용허가기준의 생성과정

1. 1970년대

1970년대는 만성적인 식량부족을 해결할 수 있는 식량증산이 중요한 과제였으며 농지확장을 위한 개간촉진법 등이 공포되면서 68%에 해당하는 산지의 역할이 강조되었다.

한편, 농지확장을 위한 농업정책과 산림녹화의

산림정책 간 문제점이 야기되면서 전국의 산지를 절대임지와 상대임지로 구분하게 되었다. 절대임지는 산림자원의 보호육성을 위해 관리하였고 상대임지에서만 농지, 초지, 상전 등으로 개발이 가능하도록 하였다. 이 시기에는 산지개발이란 곧 개간을 의미하였기 때문에 산지개발에 대한 기준은 정립되지 않았다.

2. 1980년대

1980년대에 들어서서 도시·산업화가 급진전되고 초지확대 등을 위해 산지를 개발해야한다는 압력이 거세지면서 산림청은 산림법(1980)을 개정하여 전국의 산림을 보전임지와 준보전임지로 구분하였다. 보전임지는 임업경영 및 공익목적으로 육성하며, 준보전임지는 임업생산용으로 사용하며 타용도로 전용이 가능하도록 하였다.

보전임지는 철저히 보전한다는 원칙에 따라 보전임지를 전용할 경우에는 산림청장의 허가를 받도록 규정함으로써 전용이라는 용어가 처음으로 탄생하게 되었다. 그러나 보전임지 전용에 대한 세부적인 기준은 규정하지 않았으며 위치 및 면적, 지황, 보전임지 전용사유, 전용에 따른 영향, 타법과의 관계 등 개략적인 사항만을 규정하였다.

3. 1990년대

1990년대 들어서서 도시·산업·레저 수요가 급증하면서 보전임지에 대한 전용수요가 증가하자 1990년 산림법을 개정하여 조립성공지 및 형질이 우량한 산림의 여부, 전용신청면적의 적정성 등에 대한 전용허가기준으로 규정하였다.

1993년에는 환경부에서 환경영향평가제도를 도입하여 일정규모이상의 개발사업에 대하여 환경영향평가를 실시하도록 하였다. 산지개발의 경우 25ha 이상의 묘지조성, 30ha 이상의 초지조성, 20ha 이상의 산림형질변경을 할 경우 사전환경성검토를 받도록 규정하였다.

1994년에는 문화체육부의 체육시설의 설치·이용에 관한 법률에서 골프장의 홀벌 면적의 규모, 클럽하우스의 면적규모, 스키장의 슬로프 규모, 설치금지 시설물, 절개지 조경 등을 규정하였다. 1995년에는 골프장의 임지기준 및 환경보전 등에 관한 규정에서 상수원보호구역과의 거리를 유지하고 일정규모의 수림지와 원형보전지를 확보하

도록 규정하였다.

한편, 급격한 경제 성장으로 도시화·산업화가 급진전됨에 따라 산지의 수요가 다양화 복잡화됨에 따라 과거의 물리적 기준에 의한 체계로는 토지 수용에 대처할 수 없다는 문제점이 제기되면서 산지이용구분체계를 재편하게 되었다.

재편방향은 자연환경의 보전, 국토의 균형발전, 토지이용의 효율성 증대 등 보전과 개발을 조화시킬 수 있는 산지이용체계를 확립하는데 있으며 분류체계는 과거의 보전임지, 준보전임지에서 공익, 생산, 준보전임지로 재편하였다.

관리방향은 공익임지는 공익기능 증진과 임업생산기능을 동시에 추구할 수 있도록 관리하며, 생산임지는 임업생산기반 확충과 집약적 산림경영, 경제성 있는 임업산업으로 육성할 수 있도록 관리방향을 설정하였다. 또한, 준보전임지는 임업생산과 함께 농림어민의 소득기반 확충과 타용도로 개발이 가능하도록 하였다.

4. 2000년대

1993년 규제 완화차원에서 국토이용관리법을 개정하여 용도구역을 대폭 축소(한 후 산지의 난개발이 사회적 문제로 대두되기 시작하자 2001년 산림청에서는 산지의 난개발을 방지하기 위하여 산림형질변경허가기준²⁾을 제정하였으나 기준이 미흡하여 효과를 거두지 못하였다.

2003년에는 산지의 난개발을 방지하기 위하여 산지관리법을 제정하여 광범위한 산지전용허가기준을 마련하였으며, 산지이용분류체계를 임업용산지, 공익용산지, 준보전산지로 개편³⁾하였고, 산지이용구분타당성조사 제도를 도입하여 10년마다 산

- 1) 경지지역, 산림보전지역, 자연환경보전지역, 수자원보전지역, 도시지역, 취락지역, 공업지역, 관광휴양지역, 개발촉진지역, 유보지역 등 총 10개의 용도지역에서 농림지역, 자연환경보전지역, 준농림지역, 도시지역, 준도시지역 등 5개 용도지역으로 대폭 축소
- 2) 형질변경허가기준으로는 평균경사도 45도 이하, 해당 시·군의 평균 입목축적의 150% 이하, 50년 이상의 활엽수림의 점유면적 비율 75% 이하, 채광의 경우 산림형질변경지의 면적이 30,000m² 이상, 절개면의 높이가 10m 이상의 경우 10m 마다 소단 설치 등이다.
- 3) 과거의 산지이용분류체계(생산임지, 공익임지, 준보전임지)

지이용구분의 타당성 여부를 평가하여 산지이용구분도에 반영하도록 개편하였다.

전용허가기준의 골격은 지형, 경관, 재해방지 등을 위한 기준⁴⁾들로 규정되어 있으나 획일적이며 애매모호한 규정으로 인하여 분쟁사례가 빈번함에 따라 산지전용허가기준의 개선·보완의 필요성이 제기되고 있다.

또한, 산지이용구분도 작성방법에 있어서도 산지이용구분도가 소축척에 의한 도면 표시의 한계, 도면과 대장의 오차에 따른 민원사례가 빈번해지면서 산지관리업무의 비효율성을 초래함에 따라 현행 수작업에 의한 작성방법을 21세기 디지털시대에 걸맞게 개선해야 한다는 의견이 제기되었다.

따라서 국립산림과학원에서는 연속지적도를⁵⁾ 바탕으로 도면으로 하여 GIS기법에 의한 산지이용구분도 구축방법을 개발하였으며, 2006년부터 전국에 확대 적용하도록 하였다.

산지전용 추이

1. 개발유형별 산지전용 추이

산지이용구분제도가 시행된 1985년 이후 개발 유형별 산지전용추이는 택지와 공장용지의 경우 1980년대 후반부터 보합 내지는 증가 추이를 보였다. 1990년대 후반 IMF영향으로 감소추세를 보였으나 2000년대 들어서서 계속하여 증가 추이를 보였다. 택지의 경우 2003년부터 급속한 증가 추세를 보였으며 개발 유형 중 가장 많은 산지전용 추이를 보였다.

도로의 경우 1990년대 후반부터 산지에서의 도로 개설이 급증하였으며 가장 많은 산지전용추이

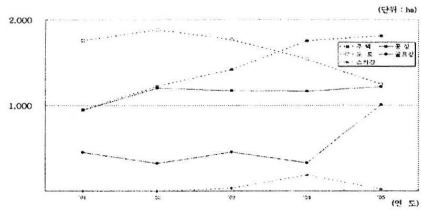


그림 1. 개발 유형별 산지전용 추이

를 보였으며 최근까지도 꾸준한 증가 추이를 보이고 있다.

골프장의 경우 1980년대 후반에는 가장 많은 전용 추이를 보였으나 1998년 IMF이후 급속히 감소하였다. 그러나 최근 규제완화와 골프 수요의 증가에 힘입어 급속한 증가 추이를 보이고 있다. 스키장의 경우 1998년 IMF이후 산지전용 추이는 급속히 감소하였으며 최근에는 스키장에 의한 산지전용수요는 미미하며 기존의 스키장에 추가 슬로프를 개설하는 정도에 머무르고 있다 (그림 1).

2. 용도구분별 산지전용추이

1985년 산지이용구분제도가 시행되면서 산지전용은 대부분 초지나 농경지 등 주로 농업용으로 전용이 되었으며, 대부분 준보전산지에서 전용되어 보전산지정책이 실효성을 거두고 있는 것으로 판단되었다. 그러나 1988년 서울올림픽을 계기로 건설의 붐과 함께 골프장을 중심으로 한 레저수요가 급증하면서 보전산지의 전용이 급증하였으며 1990년에는 준보전산지 보다 보전산지의 전용이 앞지르는 기현상을 보이기도 했다. 개발유형에 있어서도 농업용보다는 도시·산업적 수요가 급증하면서 택지, 공장 등의 비농업용도로의 수요가 증가하였다.

1997년 체계재편 이후 보전산지의 전용은 감소 추세를 보였으며 준보전산지의 전용이 꾸준한 증가추세를 보여 보전산지 정책이 실효성을 거두고 있는 것으로 판단된다. 최근 5년 동안의 산지전용 추이를 살펴보면 연평균 8,000ha의 산지가 전용되고 있으며, 이중 농업용은 1,300ha(16.2%)이며, 비농업용은 6,758ha(83.7%)로 대부분 비농업용으로 전용되고 있다(표 1).

- 4) 표고 50/100 이하, 절개면의 높이 15m 이하, 건축물 높이 16m 이하, ha 당 입목축적 150% 이하, 전용하고자 하는 산지의 면적이 과다하게 포함되지 않을 것, 산지전용허가를 받고자하는 지역의 경계와 종전의 산지전용허가지역의 경계가 직선거리 500m 이내에 있는 경우 허가예정지의 면적과 종전의 산지전용허가지역 면적을 합산하여 30,000m² 이하일 것, 최초의 소단높이는 용벽을 포함하여 2m로 하며, 수직높이 5m 이상의 경우 5m 간격으로 2m 이상의 소단설치 등이다.
- 5) 연속지적도란 건교부에서 구축한 것으로 지적도 전산파일을 TM 평면직각좌표계로 변환하여 연속된 형태의 GIS데이터를 출력한 도면을 말한다.

표 1. 용도구분별 산지전용추이

단위 : ha

용도	합계	농업용	비농업용	용도	합계	농업용	비농업용		
'01	계	7,386	925	6,461	'04	계	7,952	357	7,595
	보전	1,992	225	1,767		보전	2,027	73	1,954
	준보전	5,394	700	4,694		준보전	5,925	284	5,641
'02	계	7,545	582	6,963	'05	계	9,013	472	8,541
	보전	1,861	117	1,744		보전	2,103	116	1,987
	준보전	5,684	465	5,219		준보전	6,910	356	6,554
'03	계	7,526	516	7,010	총계	계	39,152	2,852	36,570
	보전	1,714	88	1,626		보전	9,697	619	9,078
	준보전	5,812	428	5,384		준보전	29,725	2,233	27,492

산지전용허가기준의 운용실태 및 문제점

1. 조사방법

산지전용허가기준에 대한 운용실태와 문제점을 파악하기 위하여 전국의 산지전용허가 공무원을 대상으로 도별 순회 워크숍을 개최하였으며 현지 방문조사를 병행하였다.

또한, 산지전용허가 공무원을 대상으로 우편 설문조사를 실시하였다. 설문조사 항목은 산지전용허가 공무원에 대한 예비조사를 실시하여 선정하였다. 예비조사는 완전 개방형으로 질문을 구성하는 것이 바람직하나 완전 개방형일 경우 참여자의 심리적 부담이 클 수 있으므로 사전에 산지전용허가업무 경험이 풍부한 공무원의 의견을 종합하여 보기를 제시하였다.

설문조사는 산지전용허가공무원들의 잦은 인사 이동 등에 의한 업무파악을 고려하여 시차를 두어 두 차례에 걸쳐 실시하였다. 산지전용허가기준에 대한 설문항목은 표 3과 같이 총 18개 문항으로 구성하였으며 5점 척도로 구성하였다. 1차 설문조사는 2006년 3월에 실시하였으며, 2차 설문은 1차 설문결과를 토대로 일부항목을 추가하여 2006년 10월에 실시하였다. 회수율은 1차 42.9%, 2차 47.8%를 보였다.

표 2. 응답자수 및 회수율

설문회수	1차	2차
발송(회수)	261(112)	182(87)
회수율	42.9%	47.8%

2. 조사결과

전국의 산지전용허가공무원에 대한 도별 순회 워크숍과 현지방문조사, 설문조사를 통해 분석된 산지전용허가기준의 운용실태 및 문제점은 다음과 같다.

1) 평균경사도

산지관리법상의 평균경사도 기준은 “전용하고자 하는 산지의 평균경사도는 25도 이하일 것⁶⁾”으로 규정되어 있다. 이와 같이 평균경사도로 규정함으로써 급경사지도 개발대상지에 포함되어 산지의 난개발을 조장할 수 있는 것으로 나타났다.

또한 평균경사도 산출 방법에 있어서, 평균경사도 산출방법에 대한 표준화가 되어 있지 않은 상태에서 개발사업자는 수치지형도를 이용한 GIS 방법을, 전용허가공무원은 도면상에서 사전법(寺田法)을 이용함으로써 방법간의 오차로 인한 논쟁의 소지가 있는 것으로 분석되었다. 따라서 평균경사도 산출에 대한 표준화와 함께 쉽게 이용할 수 있는 방법의 개발이 시급한 것으로 나타났다.

2) 표고

산지관리법상의 표고관련 기준은 “산지의 경관을 보전하기 위하여 전용하고자 하는 산지는 당해 산지의 표고의 100분의 50 미만에 위치해야 할 것⁷⁾”으로 규정하고 있다. 여기에서 표고의 정

6) 산지관리법 시행령 별표 4 산지전용허가기준의 적용범위와 사업별·규모별 세부기준 제6호 가목

표 3. 산지전용허가기준에 대한 분석결과

설 문 항 목	평균(표준편차)	
	1차	2차
1. 난개발 방지효과	3.61(1.10)	3.33(0.71)
2. 현지 적용성	3.46(1.09)	2.79(0.65)
3. 허가기준의 검토여부	4.16(0.95)	4.46(0.61)
4. 현지답사 여부	4.66(0.73)	4.95(0.21)
5. 전용허가기준의 엄격성	3.12(0.97)	3.14(0.67)
6. 전용허가기준의 명확성	2.64(0.96)	2.63(0.75)
7. 전용허가기준의 적용상 어려움 정도	3.31(0.98)	3.48(0.57)
8. 전용허가기준에 대한 이해정도	3.98(1.00)	4.18(0.74)
9. 전용허가관련 민원사례	3.00(1.04)	3.31(0.60)
10. 세부검토기준 3의 다목 ⁸⁾	2.80(1.47)	2.89(1.21)
11. 세부검토기준 3의 라목 ⁹⁾	2.21(1.33)	1.61(0.81)
12. 세부검토기준 3의 바목 ¹⁰⁾	2.60(1.31)	2.29(1.03)
13. 적용범위와 사업별·규모별 세부기준 7의 다목 ¹¹⁾	1.95(1.09)	1.68(0.90)
14. 하단부 개념의 개선 필요성	-	4.23(0.80)
15. 산정부 개념의 개선 필요성	-	4.15(0.83)
16. 산지의 표고 100m미만 예외규정 개선필요성	-	3.91(0.90)
17. 능선분류 및 평균경사도 산출 프로그램의 필요성	-	4.13(0.86)
18. 기준의 차등화 필요성	-	3.66(1.04)

의를 “산지락 하단부를 기준으로 한 산정부의 높이로서 지반고를 말한다”고 명시하고 있다.

이와 같이 표고에 대한 애매한 기준으로 인하여 민원사례가 빈번하게 발생하고 있었다. 즉, 산지락 하단부는 “진답, 취락 등 산지 이외의 다른 용도로 이용되고 있는 토지가 산지에 의하여 단절되지 아니하고 연속하여 이루어지는 최고지점”이라고

정의하고 있어 산지락 하단부를 어떻게 설정하느냐에 따라 개발가능 여부가 결정될 수 있기 때문이다. 산정부에 대한 용어는 “전용하고자 하는 산지의 사면이 속하는 산봉우리를 말하며 복합사면의 경우 주된 사업계획부지 경계선으로부터 1km의 범위 내에서 최고지점”으로 정의되어 있으나 “주된 사업계획부지의 경계선”의 개념이 애매하여 주체에 따라 이를 자의적으로 해석할 수 있기 때문에 논쟁이 발생하고 있었다.

능선분류 방법에 있어서도 산지의 지형이 다양한 복합사면으로 형성되어 있어 조망지점에 따라 100분의 50에 대한 기준이 달라질 수 있어 개발사업자와 전용허가공무원간 논쟁이 발생하고 있었다.

3) 연접개발제한

연접개발 제한기준으로는 “전용하고자 하는 지역의 경계와 종전의 산지전용허가지역의 경계가 직선거리 500미터 이내에 있는 경우 허가 예정지의 면적과 종전의 산지전용허가지역의 면적을 합

- 7) 산림청 고시 제2007-47호 「산지전용 허가기준의 세부 검토기준에 관한 규정」 산지전용허가기준의 세부검토기준 제3항 영 별표4 제7호 적용범위 바목
- 8) 산지전용으로 발생하는 절·성토 경사면의 면적이 100분의 50을 초과하여서는 안된다.
- 9) 절성토면의 기울기 경암 1:0.5이하, 풍화암 1:0.8이하, 토사 1:1.0이하, 성토지의 석력토층 1:1.0이하 일 것.
- 10) 전용하고자하는 산지는 당해산지의 표고 100분의 50미만에 위치하여야 한다.
- 11) 목적사업의 성격, 주변경관, 설치하고자 하는 시설물의 배치 등을 고려할 때 전용하고자 하는 산지의 면적이 과다하게 포함되지 아니할 것.

산한 면적이 3만 제곱미터 이하¹²⁾일 것으로 규정되어 있다.

이와 같은 연계개발 제한규정으로 개발 선점 경쟁에 의한 허가신청 난립으로 산지의 난개발을 조장하고 있으며, 사유재산 침해에 의한 다수 민원 사례가 발생하고 있었다. 또한, 농가주택이나 공장 증축 등 실수요자들이 선의의 피해를 당하고 있었다.

4) 지목의 등록 전환

지적법상 지목의 등록 전환 규정에도¹³⁾ 불구하고 산림소유자가 신청하면 지목을 산에서 토지임야로 등록 전환을 해줌으로써 산지관리업무의 비효율성을 초래하고 있었다. 즉, 토지임야로 등록 전환되면 입야도상에 산지의 지번 경계가 삭제되어 확인이 불가하다. 과거에는 지목이 산지이나 실제 지목이 대지나 농경지 등으로 이용되고 있는 경우에 한하여 토지임야로 등록 전환을 해주었으나 최근에는 산지를 매매하기 위한 수단으로 무분별하게 등록 전환을 하고 있는 실정이다.

5) 소규모로의 필지분할

과거 산림법상에는 보전산지의 경우 필지분할을 금지하였으나 1999년 필지분할 금지규정 폐지이후 한 개의 필지를 400m²에서 600m² 등 소규모 바둑판 모양으로 분할하고 있다. 이와 같은 소규모의 필지분할로 인하여 대장정리에 의한 업무량 증가 등 산지관리업무의 비효율성을 초래하고 있다.

이를 개선하기 위하여 국토의 계획 및 이용에 관한 법률을 개정하여 토지분할 금지 규정을 마련하였으나¹⁴⁾ 이미 분할된 필지로 인하여 산림경영

에 많은 지장을 초래하고 있다.

6) 지목의 변경

지목이 산이나 산지전용허가 이후 준공검사가 완료되면 개발 용도에 따라 묘지나, 초지, 과수원 등으로 지목이 변경된다. 이와 같이 지목이 변경되면 산지에서 제외되어 사후관리가 불가능하므로 산림관리에 지장을 초래하게 된다. 산지의 형태를 유지하고 있으나 산지관리법상의 불합리한 산지의 개념으로 산지로서의 관리근거가 없는 실정이다.

농지법상에서는 농림지역의 경우 개발이 되더라도 지목변경을 불허함으로써 농지로 관리하고 있다.

7) 운용실태상의 문제점

산지전용허가기준을 운용함에 있어서, 산지전용허가기준을 적용함으로써 산지의 난개발 방지 효과가 있는 것으로 나타났으며, 산지전용허가 전에 산지전용허가기준에 대하여 사전에 충분히 검토하며 현지답사는 꼭 실시하고 있는 것으로 나타났다.

산지전용허가기준은 비교적 엄격하지만 획일적이어서 현지에 적용하기 곤란한 경우가 발생하고 있었으며, 불명확하고 애매함에 따른 민원사례가 빈번하게 발생하는 것으로 나타났다.

산지전용허가 기준의 개선방안

산지전용허가기준이 지역여건이나 지형형태를 고려하지 않고 선연적이며 획일적으로 규정되어 현지에 적용하는데 어려움이 발생하고 있으며, 애매함에 따른 분쟁 등 민원사례가 빈번하게 발생하고 있는 실정이다.

산지전용허가기준 중 가장 시급하게 개선해야 할 기준으로는 평균경사도 산출방법과 능선분류 방법이었다. 평균경사도와 능선분류방법에 있어서 전용허가공무원과 개발사업자가 공감할 수 있도록 표준화하여 쉽게 이용할 수 있는 프로그램을 개발하여 보급함으로써 산지전용 업무의 효율성을 제고시킬 수 있을 것으로 판단된다.

아울러 경관회복, 재해방지, 산림경영, 수원함양, 생태계보호, 해양보전, 계획개발 등 범주별로

12) 산지관리법 시행규칙 제18조 제1항
 13) 지적법 제13조 등록전환요건 ①산지관리법등에 의하여 전용허가 후 지목을 변경하는 토지, ② 대부분의 토지가 등록전환 되어 나머지 토지를 존치하는 것이 불합리할 경우, ③ 입야도에 등록된 토지가 사실상 형질변경 되어 지목변경을 할 수 없는 경우, ④ 도시계획선에 따라 토지를 분할하는 경우 등이다.
 14) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률의 분할 금지규정 (2007. 3. 23)
 - 녹지지역, 관리지역, 농림지역 및 자연환경보전 지역 안에서는 관계법령에 따른 허가 인가 등을 받지 아니하고는 토지분할을 할 수 없다.

구분된 기준도 필요하다. 현재의 산지전용허가 기준은 경관저해 방지를 위한 기준 위주로 되어있어 수원함양, 생태계보호, 재해방지 관련 기준이 모호하거나 미흡한 실정이다.

경관과 관련하여서는 녹지축 등 가시범위 설정 등에 대한 기준이 필요하다. 즉, 조망점으로부터 보여 지는 녹지비를 또는 경관훼손 정도를 판단할 수 있는 기준마련과 표고 100분의 50에 대한 규정을 대체할 기준이 필요하다.

수변지역이거나 해안지역에서는 하천 중심부 또는 반대쪽 수변경계, 일정거리 해양으로부터의 경관조망과 관련된 기준의 마련이 필요하다. 또한 사업완료 후 경관보전을 위한 산림경영적 관리방안 등에 대한 기준이 필요하다.

재해방지와 관련해서는 현재 산사태 위험지 판정기준을 이용하고 있으나 경사길이, 집수구역의 범주 확정 등에 있어 GIS 분석 등에 의한 평가방법의 개발이 필요하다. 아울러 토석류 등과 관련하여 일본의 기준처럼 배수시설기준, 홍수량판정 등 수문학 및 토목학적인 기준 마련이 필요할 것으로 판단된다.

수원함양기능과 관련해서는 당해 숲이 어느 정도의 수원함양기능을 가지고 있는 지 판정하고 당해 사업의 실시로 인하여 수량, 혼탁도 등에 있어 어느 정도의 변화가 일어날지를 예측할 수 있는 평가기준의 마련이 필요한 것으로 판단된다. 특히, 수변으로부터 어느 범위를 버퍼로 유지하는 것이 적정한지의 여부와 인근 주민의 수원이용과 관련하여 영향이 없는지에 대한 판정기준의 마련도 필요하다.

원형보전지와 관련해서는 원형보전지의 설정기준 또는 설계기준을 마련하여 사업자 또는 설계자 편의대로 설계되는 것을 미리 방지할 필요가 있다. 즉, 주변부에 편중되지 않고 시설물과 시설물사이에 적절하게 배치할 수 있도록 해야 할 것이다.

산림경영에 대한 저해 여부도 보다 정밀한 허가 기준이 필요하며, 현재의 기준 중 형질이 우량한 산림, 조림성공지 등의 표현은 애매모호하며, 조림성공지의 편입, 임도의 단절제한 등이 들어가 있으나 구색 맞추는 정도에 지나지 않는다.

토공량 제한과 관련된 이론적 기초가 필요하다. 과도한 훼손과 난개발을 방지하기 위해서는 토공량 제한이 중요하며 이를 기준화하기 위해서는 각

사업종별로 토공량을 토목학적으로 계산해서 기준을 확립할 필요가 있다. 특히 토공량은 절개면 발생량, 경사도, 복구기준과도 밀접하게 관련되기 때문이다.

절·성토의 경사면과 높이에 관한 기준은 토질에 관한 전문용어와 구체적이지 않은 비율로 제시되어 있으며, 이에 대한 개선책으로는 지질조사를 수반하거나 개발 유형이나 지형에 따른 구체적인 비율을 제시하는 등 다양한 개선방법을 도출할 필요성이 있다.

계획개발과 관련해서는 현재의 연결개발제한 기준을 대체하여 보다 현실적인 대안 마련이 필요한 시점이다. 아울러 대표적인 훼손사례인 도로, 체육시설, 낚시시설, 채광 등과 관련된 기준을 보다 정밀하게 만들 필요가 있다.

국유림의 전용과 관련하여, 과연 산림청에서 국유림을 경영·관리하는 본 목적이 무엇인지에 대한 의문이 제기된다. 즉, 국유림경영관리에 대한 국민의 이해, 지원, 당위성에 대한 충분한 연구결과가 미흡함에 따라 지자체 등의 개발수요가 국유림에 물리는 경우에도 이에 대한 대응이 어려웠으며, 산지전용허가기준에 비해 국유림대부·사용허가기준의 미흡으로 오히려 지역개발의 방해자로 물리는 경우도 있다. 따라서 국유림경영·관리의 목적과 당위성, 국민인식, 지자체 수요 등에 대한 기초조사를 바탕으로 바람직한 국유림 관련허가기준을 마련할 필요가 있다.

전용허가기준을 적용함에 있어서 지역여건이나 지형형태를 고려하여 탄력적으로 적용할 수 있는 제도적 장치가 필요하다. 즉, 현행 획일적인 기준을 지자체별로 지역여건에 따라 차등화 할 수 있도록 조례를 제정하는 것도 하나의 방법이라 할 수 있다.

산지전용허가기준을 적용함에 있어 개별법과의 조율이 필요하다. 즉, 산림관련법이 적용되는 산림 외의 산림은 타법과 상충 또는 대립되는 부분이 있어 명확한 구분이 제시되어야 하며, 산지전용허가 시 상위법이 우선시되기 때문에 부처간 협의를 통해 산지전용 업무를 단일화 할 필요가 있다.

결론 및 고찰

산림청에서는 산지의 난(亂)개발을 방지하기 위

하여 2003년 산지관리법을 제정하였으며, 산지전용허가규정을 마련하여 현재 일선 시·군에서 산지전용 시 판단자료로 활용하고 있다. 그러나 산지전용허가기준이 획일적이며 불명확하여 현지에 적용하기 애매한 경우가 발생하고 있으며, 분쟁사례가 빈번함에 따라 전용허가기준의 개선·보완이 요구되고 있다.

본 연구에서는 산지전용허가기준의 개선안을 마련하기 위하여 산지전용허가기준에 대한 운용실태를 파악하였다. 운용실태파악을 위하여 전국의 산지전용허가 공무원을 대상으로 도별 순회 워크숍을 개최하였으며, 설문조사와 현지방문조사를 병행하였다.

운용실태조사 결과, 산지전용허가기준이 난개발 방지에 어느 정도의 효과가 있으나 현지에 적용하기 곤란한 경우가 발생하고 있으며, 기준은 비교적 엄격하나 불명확, 애매함에 따른 민원사례가 빈번하게 발생하는 것으로 나타났다.

산지전용허가 전에 산지전용허가요건에 대하여 충분히 검토하고 있으며 산지전용허가 신청지에 대하여는 반드시 현장 답사를 하고 있었다.

산지전용허가기준 중 절·성토 면적의 100분의 50과 절·성토면의 기울기, 산사태 위험지 판정 등에 대하여는 전문지식이 없어 현지에 적용하지 못하고 있는 것으로 조사되었다.

표고 100분의 50에 대한 기준은 산정부와 산자락하단부의 개념이 애매하여 용어에 대한 개선이 필요하며, 산지의 능선을 분류함에 있어서 능선 분류방법이 표준화 되어있지 않아 현지 적용이 곤란하므로 과학적인 방법에 의한 능선분류 프로그램의 개발이 필요한 것으로 나타났다. 또한, 표고 100m 미만의 산지는 예외규정으로 산지 전체를 훼손할 수 있으므로 도심 주변의 보전가치가 있는 100m 미만의 산지에 대한 보전대책이 필요하였다.

경사도 기준에 대하여는 평균경사도로 규정함으로써 개발 사업지내 급경사지도 개발대상이 될 수 있기 때문에 기준의 개선이 필요하며, 개발사업자와 전용허가공무원간 평균경사도 산출방법에 대한 이견으로 분쟁사례가 발생하고 있어 전용허가공무원이 쉽게 이용할 수 있는 평균경사도 산출

프로그램의 개발이 시급하였다.

연접지개발제한규정은 개발 선점경쟁에 의한 편법개발 등으로 산지의 난개발을 조장하고 있으며 특히, 공장 증축이나 농가주택 건설 등 실수요자들이 불이익을 받고 있으며 사유재산의 침해로 인한 민원사례가 급증하고 있어 기준의 개선이 요구되고 있었다.

이상과 같이 산지전용허가기준은 자체가 가지고 있는 획일성과 모호함으로 현지에 적용하기 곤란하여 많은 민원이 발생할 수 있는 소지가 있는 것으로 나타났다. 따라서 지역여건이나 지형형태에 따라 탄력적으로 적용할 수 있는 기준이 마련될 수 있도록 하고, 세부기준을 규정할 때 지역에 따라 차등화 할 수 있도록 지자체에서 조례로 정할 수 있는 방법 등을 강구해야 한다.

인 용 문 헌

1. 건설교통부. 1996. 국토이용에 관한 연차보고서. pp.41-99.
2. 건설교통부. 2001. 국토기본법 제정을 위한 기초연구. pp.436.
3. 박영규·유병일·유리화. 2002. 자연친화적 산지개발에 관한 연구. 산림과학논문집 65 : 56-69.
4. 박영규·권순덕·성규철. 2004. 산지이용구분제도의 운용실태 및 문제점. 한국산림측정학회지 7(1) : 106-115.
5. 산림청. 2000. 산지전용타당성 평가기준 정립에 관한 연구. pp.197.
6. 산림청. 2002. 산지전용허가기준 법제화 방안에 관한 연구. pp.193.
7. 산림청. 2007. 산지관리법 편람. pp.325.
8. 산림청. 2007. 산지관리법 개정 교육 교재. pp.331.
9. 유병일·박영규·정진현·류주형·박찬우. 2000. 한국과 일본의 산지관리 제도. 임업연구원 연구자료 제169호, p.717.
10. 채미옥·염형민·송하승. 2005. 계획적 국토관리를 위한 산지관리제도의 개선방향. 국토연구원 44, pp.200.

예산지역 산불피해지 상수리나무 맹아림의 생장 및 바이오매스 추정¹

이영근² · 조혜경² · 표정기³ · 이영진³

Estimation of Biomass and Sprout Growth of *Quercus acutissima* After Forest Fires in Yesan¹

Young-Ken Lee², HyeKyoung Cho² Jung-Kee Pyo³ and Young-Jin Lee³

요 약

본 연구의 목적은 2002년 산불피해 후 발생한 예산지역 상수리나무 맹아지의 바이오매스 추정과 인위적인 맹아지 처리에 대한 직경 및 수고 성장패턴을 조사하기 위함이다. 조사지는 2002년 4월 발생한 산불의 피해지인 충청남도 예산군 신양면의 상수리나무 임분이며, 각 처리구에 대하여 그루터기 당 맹아지 무처리, 1, 3, 5본을 잔존시키고 그 외는 제거하였다. 조사시기는 2007년 3월과 9월 두 차례에 걸쳐 맹아 시험지에 대하여 수고, 근원경, 흉고직경, 부위별 생중량, 건중량 등을 측정하였다. 본 연구의 결과에 의하면, i) 맹아지의 잔존 본수처리구별 생장의 변화는 평균적으로 수고보다 직경에서 큰 차이를 보였다. ii) 바이오매스의 경우 맹아 1본 잔존처리구에서 27.7kg에서 79.6kg으로 가장 높은 수치가 나타났다. iii) 줄기바이오매스 추정에는 $B_s=0.09136 D+0.10525 D^2$, 가지와 잎의 추정식에서는 $B_B=-0.0173+0.0104 D^{2.4458} H^{0.7792}$, $B_L=-0.0445+0.0382 D^{1.6448} H^{0.6224}$ 식이 최적의 바이오매스 추정식으로 나타났다. 본 연구의 결과는 2002년 예산군 산불피해지에서 발생한 상수리나무 맹아림의 생장패턴과 바이오매스 추정에 기초적인 자료를 제공해 줄 것으로 사료된다.

ABSTRACT

This study was conducted to estimate biomass and sprout growth of *Quercus acutissima* stands after forest fires in Yesan. The number of stump sprouting was controlled such as 1, 3, 5 sprouts per stump at each plot sites. All of the sprouts per stump measured height, root diameter and DBH during the spring and fall of 2007. According to the results of sprout control study, average diameter values were significantly larger with lower sprouts per stump. In contrast, average height growth is insensitive to sprout numbers per stump at young *Quercus acutissima* stands. In the case of sprout biomass production, the results of one sprout per stump sites indicated the largest values ranging from 27.7kg to 79.6kg. 'One variable quadratic model' showed the best results in prediction of stem biomass($B_s=0.09136 D+0.10525 D^2$),

¹ 접수 2007년 9월 20일 Received on September 20, 2007.

² 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

³ 공주대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Kongju National University, Chungnam 340-802, Korea.

while 'Generalized logarithmic model' showed the best in branch and leaf biomass predictions ($B_B = -0.0173 + 0.0104 D^{2.4458} H^{0.7792}$, $B_L = -0.0445 + 0.0382 D^{1.6448} H^{0.6224}$). The results suggested in this study could be very helpful to understand sprout growth patterns and sprout biomass production of *Quercus acutissima* stands after five years of forest fires in Yesan.

Key words : *Quercus acutissima*, forest fire, sprout growth, biomass, regeneration.

서론

산림 내 교란 중 하나인 산불은 커다란 재산피해 및 위험한 경우 많은 인명 피해를 야기시키는 큰 재해로 인식되고 있으며, 현재는 산림의 연소를 통해 배출되는 다량의 이산화탄소와 탄소 고정흡수원의 파괴적 측면에서 국가적 손실이 확대되고 있다. 산불의 예방 및 진화관련 연구는 활발히 진행되고 있지만 우리나라 지형의 특징으로 인해 임내정리 및 지력보강의 처방적인 면은 간과되고 있으며, 산불 발생 후 복구연구 또한 소홀히 되고 있다. 맹아는 산불 후의 연속적인 갱신형태로써 근계가 미리 형성되어 있기 때문에 생장이 빠르고, 높은 생존율을 보인다(Lamson, 1988; Kauffman, 1991; Yih *et al.*, 1991; Basnet, 1993; Miura, 2003). 또한 임분형성의 중요한 역할을 하며, 종자갱신을 대체하는 중요한 복구 수단인 하나이다(Ohkubo *et al.*, 1988). 맹아 갱신력이 우수한 참나무류는 우리나라의 대표적인 활엽수종써, 산지의 25.9%를 차지하고 26.9%의 임목축적 비율을 보인다(통계연보, 2006). 또한 목질이 무겁고 아름답다워 실생활에 이용되며 숲 및 표고자목의 활용도가 높아 경제적인 조림수종 중의 하나이다(김석권 등, 1995). 국외의 경우 맹아를 통한 주요 참나무 임분의 갱신모델연구가 진행되었으며(Daniel, C. D *et al.*, 1996) 참나무 임분의 맹아분수 추정연구가 진행되었다(Dale, R. W *et al.*, 2006). 우리나라의 경우 참나무 임분의 맹아에 관한 연구로는 갈참나무의 벌근 직경급에 따른 맹아분수연구에서 각 부위별 성장량을 연구하였으며(김갑덕

등, 1982), 참나무류의 맹아발생력과 맹아발생에 관한 선행연구가 있다(이돈구 등, 1996). 또한 12수종 맹아의 단별기에 의한 Biomass 생산에 관한 연구가 진행되었으며(한영일 등, 1982), 맹아의 인위적인 분수, 직경조절을 통한 성장 및 임분구조에 대해 연구하였다(김석권 등, 1995; 권기원 등, 1998). 기존의 연구는 환경인자와 맹아발생의 관계 및 맹아의 모체와 맹아발생에 관한 연구가 대부분이었으며, 산불피해 후 상수리나무 맹아의 처리에 대한 성장 및 바이오매스에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 2002년 산불피해 후 맹아림의 효과적인 갱신편태를 알아보기 위하여 인위적인 맹아지 조절을 통한 상수리나무 맹아림의 생장패턴과 바이오매스 추정식을 제시하여, 2002년도 발생한 예산지역 산불피해지의 합리적인 복구모델 결정에 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구의 조사대상지는 2002년 산불피해 지역인 충청남도 예산군 신양면 월송리 일대의 상수리나무 임분의 맹아림을 대상으로 조사를 실시하였다. 조사대상지의 기상조건은 최근 30년간 연평균 기온이 11.5°C, 최고연평균기온이 17.4°C, 최저연평균기온이 6.3°C이며, 연평균강수량 1228.9mm로 나타났다. 조사지 지형은 완구릉지이며, 해발고는 약 70m이고 경사는 약 10°이다.

Table 1. The environmental characteristics of *Quercus acutissima* stands in Yesan

Temperature(°C)	Precipitation(mm)	Altitude(m)	Aspect	Slope(°)
$\frac{11.5}{6.3-17.4}$	1228.9	70	SE	10

2. 조사방법

본 조사의 표준지는 2002년 산불피해 후 상수리 나무 맹아의 생장이 양호한 지역을 선정하여, 4개의 10m×10m의 정방형 Plot을 설정하였다. 그루터기의 근원경과 본수 분포에 대하여 큰 차이를 없는 지역에 대하여 알루미늄 탭을 이용하여 Plot을 설치하였다. 각 표준지의 맹아본수 잔존처리는 1, 3, 5본의 맹아를 잔존시키고 나머지는 모두 제거하였으며, 잔존기준은 우세목 또는 준우세목을 선정하였다. 조사 시기는 물질의 순환이 시작되는 3월과 물질의 순환이 감소하는 9월 말에 실시하였다. 모든 맹아의 근원경(Root Diameter)과 흉고직경(DBH)은 디지털 캘리퍼를 이용하여 1/100mm 까지 정밀하게 측정하였으며, 수고의 경우 함척을 이용하여 1cm단위까지 측정하였다. 조사된 자료는 SAS 통계프로그램을 이용하여 처리구별 분산분석과 5% 유의수준에서 Duncan의 다중검정을

실시하였다.

3. 맹아지 선정

바이오매스 추정을 위하여 수관이 곧고 수병이나 해충의 피해 흔적이 없는 25본의 맹아지를 선정하여 근원경의 정확한 측정을 위해 최하부를 별도로 하였다. 흉고직경은 1.2m에서 측정하였으며, 수고는 맹아지를 별도로 하여 최하부에서 초두부까지 측정하였다. 줄기, 가지, 잎으로 구분하여 생중량을 측정하였으며 부위 별 시료를 채취하였다. 시료는 실험실로 운반하여 오차를 줄이기 위해 디지털 정밀저울로 생중량을 측정하였으며, 봉투에 담아 dry oven에 95℃로 항량에 도달할 때까지 약 7일간 건조시킨 후 건조량을 측정하였다. 측정된 시료의 건조량을 통해 부위별 바이오매스량을 환산하였다.

4. 생장모형

입목의 바이오매스 계산에는 다양한 방법들이 이용되고 있으며 확장계수를 이용한 방법, 개체목의 재적식을 이용한 방법 등이 있으며, 본 연구에서 사용된 회귀 추정식은 2개의 변수(수고와 흉고 직경)를 이용한 추정식으로 단목의 간재적 및 Biomass를 추정하는데 널리 사용되고 있다 (Avery and Burkhart, 1994; Clutter *et al.*, 1983). 회귀식 추정은 SAS의 REG procedure와 비선형 회귀식 추정을 위해 NLIN procedure를 이용하여 모수들을 추정하였다. 추정식의 적합성 검정을 위해 결정계수(또는 F.I.), 오차제곱근(RMSE)을 산출하였다.

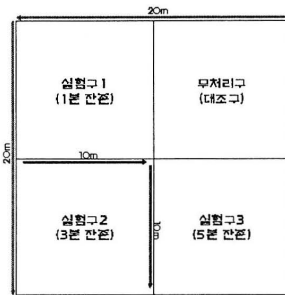


Fig. 1. The layout of experimental design in sampling sites

Table 2. Equation forms tested for estimation of sprouts biomass

Model	Equation Form
One variable model	$W = a + bD^2$
One variable quadratic model	$W = a + bD + cD^2$
One variable quadratic model	$W = aD + bD^2$
Constant form factor model	$W = aD^2H$
Combined variable model	$W = a + bD^2H$
Generalized logarithmic model	$W = a + bD^cH^d$
Honer transformed variable model	$W = \frac{D^2}{(a + b/H)}$

Where : H=height(meter), D=dbh(cm); a, b, c=coefficients to be estimated from sample data

Table 3. The average diameter and height of *Quercus acutissima* sprouts(mean±s.e.)

Treatment (No. of sprout)	DBH(cm) (p=0.0425)	Height(m) (p=0.9934)
1 sprout per stump	5.5 ± 0.3 a	4.9 ± 0.1 a
3 sprouts per stump	4.9 ± 0.3 ab	5.0 ± 0.3 a
5 sprouts per stump	4.5 ± 0.2 b	5.0 ± 0.2 a
no treatment	5.3 ± 0.3 ab	4.9 ± 0.3 a

Note : Means with different letters are significantly different(p<0.05) by Duncan's Multiple Range Test

결과 및 고찰

1. 표준지의 성장량 분석

4개의 표준지에서 분석오차를 줄이기 위해 맹아지의 흉고직경을 기준으로 우세맹아지 10본씩을 비교하였으며, 2007년 3월과 9월의 조사에서 나타난 수고와 흉고직경의 관계는 Fig. 2와 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 처리구별 수고의 변화보다 직경의 변화가 명료하게 구분되었으며, Table 3은 상수리나무 맹아림을 대상으로 각 표준지별 본수처리 후 직경, 수고의 평균치와 표준오차의 값이며 Duncan의 다중검정을 실시한 결과이다. 각 처리구별 직경은 1본 잔존처리구에서 5.5cm로 다른 처리구에 비해 가장 큰 변화량을 나타냈다. 직경의 성장변화는 1본 잔존처리구 > 3본 잔존처리구 > 무처리구 > 5본 잔존처리구 순이며 p-value는 0.0425로 5%의 유의수준에서 통계적인 차이가 나타났다. 반면에, 각 처리구별 수고는 모든 처리구에서 비슷한 성장량을 보였으며, 처리구별

로 수고생장에 대하여서는 통계적인 차이가 나타나지 않았다(p-value=0.9934). 즉, 본수처리구별 맹아의 생장은 수고보다 직경에서 큰 차이가 나타났으며 이는 인위적인 본수처리가 맹아의 직경생장을 촉진시킨 것으로 사료된다. 상수리나무 맹아림의 처리구별 직경과 수고에 관한 기존의 연구와 비교해 볼 때 유사한 결과가 나타났다(김석권 등, 1995).

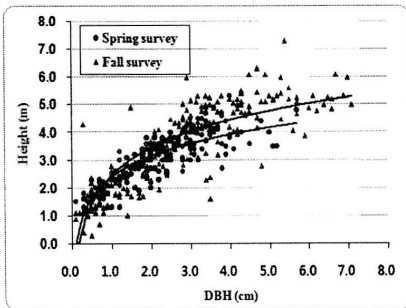


Fig. 2. DBH and height growth patterns between spring and fall survey

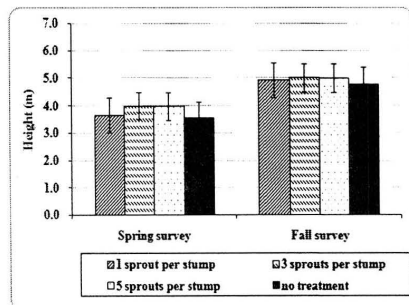
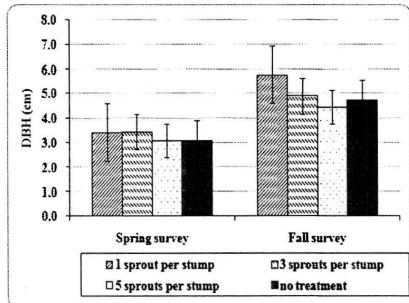


Fig. 3. Comparison of spring and fall survey for average DBH and height growth by sprouts per stump control study

2. 표준목의 Biomass

상수리나무 맹아림에서 채취한 25본의 맹아지에 대한 줄기, 가지, 잎의 건중량과 구성비중은 Table 4와 같으며 기관별로 차지하는 비중을 살펴보면 줄기는 34.8kg(49.8%), 가지는 19.7kg(28.2%)이며, 잎은 15.3kg(22.0%)으로 나타났다. 이러한 결과는 기존에 상수리나무의 부위별 바이오매스에 대한 연구결과와 비슷하게 나타났다(박인협 등, 1996).

Table 4. Calculated biomass of *Quercus acutissima* sprouts after 5 years of forest fire

Total (kg)	Stem (kg)	Branch (kg)	Leaf (kg)
69.8	34.8	19.7	15.3
(100%)	(49.8%)	(28.2%)	(22.0%)

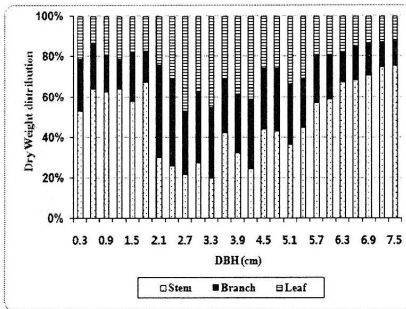


Fig. 4. Biomass distribution of individual sprouts after 5 years of forest fire

3. 바이오매스 추정식

총 25본의 맹아지 자료를 이용하여 흉고직경과 수고에 대한 부위별 바이오매스 추정을 Table 2에 제시된 여러 종류의 회귀식들을 검정해 본 결과, One variable quadratic model($aD + bD^2$)과 Generalized logarithmic model($a + bD^c H^d$)이 최적의 적합성을 나타내었다(Table 5).

4. 처리구별 바이오매스 생산량

추정된 바이오매스식을 이용하여 처리구별 산정한 Biomass량은 다음과 같다. 추정오차를 줄이기 위해 각 조사구마다 10본의 맹아지를 선택하였

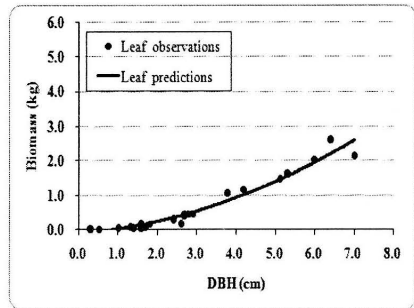
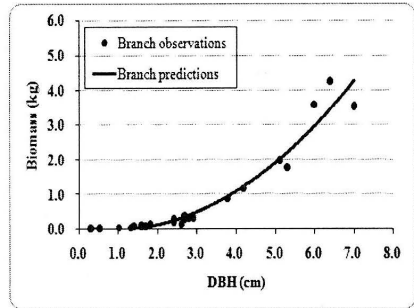
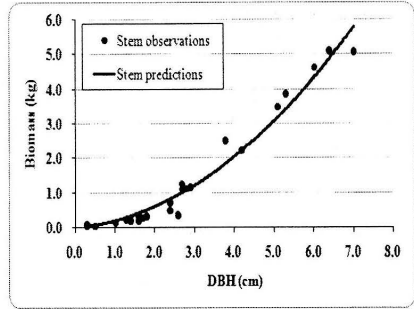


Fig. 5. Relationships between observed and predicted tree component biomass(kg) against DBH for *Quercus acutissima* sprouts after 5 years of forest fire

으며, 선정기준은 맹아지의 흉고직경으로 하였다. 절대비교가 아닌 1차 조사와 상대 비교하여 가장 큰 변화량을 보인 조사지는 1본 잔존처리구 > 무처리구 > 5본 잔존처리구 > 3본 잔존처리구 순이며, 이는 흉고직경의 변화 순위와 유사하게 나타났다.

Table 5. Regression coefficients to predict the biomass by tree components

Model	Parameters				R ²	RMSE	
	a	b	c	d			
Stem	$B_S = aD + bD^2$	0.0914	0.1053			0.9824	0.2993
	$B_S = a + bD^c H^d$	-0.0872	0.0982	1.5813	0.5986	0.9903	0.2319
Branch	$B_B = aD + bD^2$	-0.1668	0.1104			0.9651	0.2834
	$B_B = a + bD^c H^d$	-0.0173	0.0104	2.4458	0.7792	0.9677	0.2853
Leaf	$B_L = aD + bD^2$	0.0236	0.0505			0.9729	0.1679
	$B_L = a + bD^c H^d$	-0.0445	0.0382	1.6448	0.6224	0.9813	0.1459
Total biomass	$B_T = aD + bD^2$	-0.0518	0.2661			0.9825	0.6302
	$B_T = a + bD^c H^d$	-0.1210	0.1286	1.8386	0.6110	0.9872	0.5612

5. 활용방안

충청남도 예산군 신양면 산불피해지의 상수리 나무 맹아림을 대상으로 잔존 분수처리구(1본, 3본, 5본)별 성장량 및 바이오매스량을 알아보기 위해 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 그루터기별 맹아분수 조절을 통해 처리구별 생장은 수고보다 흉고직경에서 차이를 보였고, 1본 잔존처리구에서 가장 높은 성장을 나타내며 3본 잔존처리구, 5본 잔존처리구, 무처리구에서 비슷한 성장을 보였다.

2. 맹아지의 바이오매스 추정식들을 검정해 본 결과, 줄기는 $B = 0.09136 D + 0.10525 D^2$ 식, 가지에서 $B = -0.0173 + 0.0104 D^{2.4458} H^{0.7792}$ 식, 잎에서 $B = -0.0445 + 0.0382 D^{1.6448} H^{0.6224}$ 식이 가장 적합한 식이었으며, 추정된 바이오매스량은 약 70.4kg이다. 면적단위 환산을 위해 선정된 표준지에 대입하여 14,591.1(kg/ha) 값이 측정되었으며 이는 14.5(ton/ha) 값으로 전환이 가능하다.

3. 처리구별 우세맹아 10본을 대상으로 비교한

바이오매스량은 1본 잔존처리구에서 79.6kg, 3본 처리구에서 64.6kg, 5본 처리구에서 51.7kg, 무처리구에서 72.8kg로 나타났다. 이러한 연구결과는 충남 예산군과 청양군 지역의 산불 피해지에 발생한 참나무 맹아림 관리기술개발의 기초적인 자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 산림청에서 지원한 “산불 피해지 생산성 증대를 위한 참나무 맹아림 관리기술개발”에 대한 연구결과의 일부임.

인 용 문 헌

1. 국립산림과학원. 2006. 산불피해지생태계변화 조사. 76-93.
2. 권기원 · 정진철 · 최정호. 1998. 참나무림의 맹아 갱신에 관한 연구(I). 원광대 생명과학

Table 6. Estimated biomass of individual treatment sites

Treatment	Dominant ten sprouts biomass(kg)	
	Spring survey	Fall survey
1 sprout per stump	27.7	79.6
3 sprouts per stump	29.0	64.6
5 sprouts per stump	21.6	51.7
no treatment	27.7	72.8

- 연구 20 : 19-26.
3. 기상청. 2007. 기상청 홈페이지. <http://www.kma.go.kr/intro.html>
 4. 김갑태 · 박인협 · 조경진 · 김갑태. 1982. 갈참나무 맹아림의 생장구조에 관한 연구. 서울대 농대 연습립보고 18 : 35-40.
 5. 김갑태. 2003. 생태적 숲관리와 조림문제-조림지, 천연림, 맹아림에서 물푸레나무 직경생장 비교. 한국환경생태학회지 17(2) : 105-111.
 6. 김석권 · 이해주 · 김도경. 1995. 상수리나무 14년생 2차 맹아림의 생장 및 임분구조. 산림과학논문집 51 : 53-58.
 7. 농림부. 2003. 참나무류의 고부가가치를 위한 생리 · 생태 · 물질현존량에 대한 연구 및 이용 기술 개발. 374pp.
 8. 박관수 · 권기원 · 송호경. 2002. 포항 지역의 상수리나무 천연림 생태계의 물질생산에 관한 연구. 임산에너지 21(1) : 25-31.
 9. 박인협 · 문광선. 1994. 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량 추정식에 관한 고찰. 한국임학회지 83(2) : 246-253.
 10. 박인협 · 이돈구 · 이경준 · 문광선. 1996. 참나무류의 생장과 물질생산에 관한 연구(I). 한국임학회지 85(1) : 76-83.
 11. 이규송 · 정연숙 · 김석철 · 신승숙 · 노찬호 · 박상덕. 2004. 동해안 산불 피해지에서 산불 후 경과 년 수에 따른 식생 구조의 발달. 한국생태학회지 27(2) : 99-106.
 12. 이무현 · 이영진. 2004. 상수리나무 임분의 생장패턴에 관한 연구. 한국산림측정학회지 7(2) : 15-22.
 13. 이종락 · 정동준 · 김영채. 2001. 중부지방 굴참나무의 생장 특성에 관한 연구. 한국산림측정학회지 4(2) : 67-73.
 14. 임업연구원. 1990. 참나무자원의 종합이용에 관한 연구(III). 과학기술처. 449pp.
 15. 현영일 · 김재현 · 한영창 · 이경준. 1982. 12수종에 대한 맹아림의 Biomass생산. 한국임학회지 55 : 30-36.
 16. Akiko, S., and Satoki, S. 1998. A test for the resource remobilization hypothesis : Tree sprouting using Carbohydrates from Above-ground parts. *Annals of Botany.* 82 : 213-216.
 17. Blankenship, A. B., and Arthur, A. M. 2006. Stand structure over 9 years in burned and fire-excluded oak stands on the Cumberland Plateau, Kentucky. *Forest Ecology and Management.* 225 : 134-145.
 18. Mcgee, E. C. 1978. Size and age of tree affect white oak stump sprouting. *Southern Forest Experiment Station.* SO-239 : 1-2.
 19. Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., and Bailey, R. L. 1983. *Timber management : A Quantitative Approach.* John Wiley and Sons, New York. 8-30.
 20. Kabeya, D., Sakai, A., Matsui, K., and Sakai, S. 2003. Resprouting ability of *Quercus crispula* seedling depends on the vegetation cover of their microhabitats. *Japan Slant Research.* 116 : 207-216.
 21. Weigel, D. R., Dey, C. D., and Peng, J. C. Y. 2006. Stump sprout dominance probabilities of five oak species in Southern Indiana 15 years after clearcut harvesting. *USDA SRS-92.* 551-557.
 22. Daniel, C. D., Paul, S. J., and Garrett, E. H. 1996. Modeling the regeneration of oak stands in the Missouri Ozark Highlands. *Canadian Journal of Forest Research.* 26 : 573-583.
 23. Emile, S. G., and Lisa, M. H. 1997. Development of water oak stump sprouts under a partial overstory. *New Forests.* 14 : 55-62.
 24. Nix, E. L. 2006. Crop trees and quality in bottomland hardwoods ten years after an early thinning in a young sprout-origin stand in South Carolina. *USDA SRS-92 :* 620-622.
 25. Masahiro, M., and Shin-Ichi, Y. 2003. Structure and dynamics of a *Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii* population in an old-growth, evergreen, broad-leaved forest :

- The importance of sprout regeneration. Ecological Research. 18 : 115-129.
26. Masaka, K., Ohno, Y., and Yamada, K. 2000. Fire tolerance the fire-related sprouting characteristics of two cool-temperate broad-leaved tree species. Annals of Botany. 85 : 137-142.
 27. Park, G. S. 2003. Biomass and net primary production of *Quercus mongolica* stands in Kwangyang, Pyungchang, and Youngdong areas. J. Korean For. Soc. 92 : 567-574.
 28. Park, I. H., Seo, Y. K., Kim, D. Y., Son, Y. H., Yi, M. J., and Jun, H. O. 2003. Biomass and net production of a *Quercus mongolica* stand and a *Quercus variabilis* stand in Chuncheon, Kangwon-do. J. Korean For. Soc. 92 : 52-57.
 29. Suh, M. H., and Lee, D. K. 1998. Stand Structure and regeneration of *Quercus mongolica* Forests in Korea. Forest Ecology and Management. 106 : 27-34.
 30. Thomas, E. A., and Burkhart, H. E. 1994. Forest Measurement. McGraw-Hill, Inc., 133-147.

임분특성에 따른 산불피해와 산불 피해지 처리에 따른 식생변화¹

이광수² · 정문호² · 배상원² · 김석권³ · 김영수² · 이경재²

Severity of Forest Fire According to Forest Stand Characteristics and Vegetation Change According to Treatment in Damaged Stand by Forest Fire¹

Kwang Su Lee², Mun Ho Jung², Sang Won Bae², Suk Kuwon Kim³

Young Soo Kim² and Kyung Jae Lee²

요 약

본 연구는 내화림 조성 및 관리방안 마련을 위해 강원도 동해안과 충청남도의 산불피해 지역을 대상으로 임분 특성에 따른 산불피해 정도와 피해 후 임분 변화 양상에 대한 분석을 실시하였다. 대부분의 소나무류 임분은 피해가 컸으며, 특히 소나무 단순림의 피해가 매우 컸다. 반면, 굴참나무와 다른 참나무류와의 혼효임분의 경우 피해가 경미하였다. 환경인자에 따른 피해도를 분석한 결과, 산불피해에 영향을 많이 미치는 인자는 입목도, 임상, 경사의 순이었다. 상층이 제거된 임분은 신갈나무 맹아 발생이 왕성하였으며, 종다양도와 균재도, 우점도가 높았다. 상층 피해목을 방치한 피해지의 임상은 피해목을 제거한 임상보다 식생회복이 느리게 진행되었다. 따라서, 산불피해를 줄이고, 회복을 빠르게 진행시키기 위해서는 침엽수 단순림보다 굴참나무를 위시한 참나무류와 혼효림을 조성시켜야 할 것으로 생각되며, 산불피해지에 대한 복구 사업을 실시할 경우, 상층 고사목은 제거해야 임분관리에 효율적일 것이라 사료된다.

ABSTRACT

We analysed stand characteristics of damaged area by forest fire and vegetation change according to treatment after forest fire in the east coastal region in Gangwon-do and Chungcheongnam-do. Most of *Pinus spp.* stands were heavily damaged, especially pure *Pinus densiflora* stand was mostly damaged. But mixed stands of *Quercus variabilis* and other *Quercus spp.* were damaged lightly. Effect of environmental factors for severity of forest fire was the greatest in degree of density, species, slope, respectively. In the stand where upperstory was removed, sprout of *Quercus mongolica* was highly generated, and species diversity, richness, evenness and relative important value were also high. In the stand where damaged trees in upperstory were left, vegetation change was slower than the story were those were removed. As a result, it would be better to conduct *Quercus spp.* mixed forest stand than pure coniferous

¹ 接受 2007年 10月 20日 Received on October 20, 2007.

² 국립산림과학원 산림생산기술연구소 Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, 51, Chikdong-ri, Sohum-up, Pocheon-si, Gyonggi-do.

³ 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

forest stand for reduction of damage by forest fire and promotion of vegetation recovery. Also, it is necessary to remove upperstory of damaged forest stand by forest fire when restoration practice would be conducted.

Key words : forest fire, stand characteristics, vegetation development.

서 론

산불은 산림생태계의 가장 큰 교란 요소 중 하나(Telesca *et al.*, 2007), 1차적으로는 목재원이나 임산물 등 산림자원 등의 손실과 더불어 산림에 서식하는 야생동물이나 조류의 서식처를 파괴하고, 2차적으로는 홍수나 토사유출 등의 각종 재해를 유발하기도 한다(이규송 등, 2004; Marques and Mora, 1998). 이처럼 발생하였을 시 직간접적으로 큰 피해를 일으키는 산불은 대부분 인간 활동과 연관이 있으며, 인구 증가와 산불 발생빈도의 증가는 밀접한 연관이 있는 것으로 알려졌다(Whelan, 1995). 우리나라에서 발생하는 산불 역시 대부분 인화에 의한 것으로, 산림청의 임업통계(1992~2006)에 따르면 1976년부터 2005년까지 30년간 우리나라에서 발생한 산불은 약 12,000건이고, 피해면적은 약 67,000ha로, 1년에 평균 약 400건 정도가 발생하고 피해면적도 2,250ha에 달한다. 특히, 최근 10년간 발생한 산불은 약 5,000 건으로 1년에 평균 500건이 발생하고 4,435ha에 달하는 면적이 피해를 입었다. 이 시기에 발생한 산불은 산불에 취약한 소나무림이 우점하고, 건조기에 강한 바람이 부는 동해안 지역에 집중되어 있으며, 이로 인해 피해가 더 커진 것으로 생각된다.

산불의 피해 규모에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있는데, 임분의 구조와 지형, 기후 등에 따라 영향을 받으며, 특히 임분을 구성하는 수종과 밀도, 수령 등이 산불의 확산속도와 강도에 큰 영향을 미친다(Russell *et al.*, 2004; Theresa and Graham, 2004). 이들 인자 중 임분의 구조는 다른 환경인자와는 다르게 인위적인 조절이 가능하기 때문에 선진국에서는 산불의 발생을 억제하고 피해를 최소화하기 위한 각종 연구가 진행 중이다(Russell *et al.*, 2004). 우리나라 정부에서도 산불의 피해를 줄이고 산불의 원인을 제거하기 위해 여러 관리기법을 도입하고 있으며, 산불 피

해지에 대한 복구방안을 개발하는데 노력을 기울이고 있지만, 아직 임분의 구조가 산불강도에 미치는 영향에 대해서는 구체적으로 연구된 바가 없다.

따라서 본 연구는 추후 산불 피해 감소를 위해 내화림 조성 및 관리 방안을 마련하기 위한 기초 자료로 활용하고자 강원도 동해안 지역과 충청남도 지역의 산불피해 지역을 대상으로 임분 특성에 따른 산불피해 정도와 피해 후 산불 피해지의 처리에 따른 식생변화에 대한 분석을 하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

연구 대상지역은 강원 고성, 강릉, 동해, 삼척, 양양 및 충청남도 예산과 청양 지역으로, 고성에서는 1996년, 강릉, 동해, 삼척 등 동해안 지역은 2000년, 충청남도 예산과 청양은 2002년, 강원 양양 지역은 2005년에 산불이 발생한 지역이다. 우선 임분 특성에 따른 산불피해 정도를 분석하기 위해 강원 고성, 강릉, 동해, 삼척, 경북 울진 등 6권역을 대상으로 조사를 실시하였다. 고성 지역은 죽왕면 삼포, 인정, 구성리 지역과 토성군 백촌면 운봉, 학야리, 강릉지역은 사천면 판교, 석교, 노동리 지역과 산대월, 단지리 지역이며, 동해지역은 동해시 천곡동과 용정동, 자흥동과 초록봉 일대였다. 삼척지역은 삼척시 도경동 지역, 사직동의 근산지역, 미로면, 삼척시 근덕면, 노독면과 원덕읍 지역이며, 울진 지역은 북면일대를 조사하였다. 또한 산불피해지의 처리에 따른 식생변화 양상을 조사하기 위해, 피해 지역 내에 전생임분 42개소(10m×10m), 건전임지에 대한 상층간벌 처리구(4개소) 그리고 산화지 처리 방법에 따라 상·하층제거 처리구(3개소), 상층제거·하층잔존 처리구(4개소), 상층잔존·하층제거 처리구(3개소), 상·하층잔존 처리구(4개소)를 설치하고 2004년부터 2006년까지 3년간에 걸쳐 조사를 실

시하였다.

2. 연구 방법

산불취약 소나무림 임분 특성을 분석하기 위하여 피해지역의 모암, 해발고, 사면방위, 사면경사, 임상, 피해도 등 환경인자와 성립기원, 임종, 임분구조, 임분형질을 조사하고, 맹아 및 실생치수 발생 양상을 조사하였다. 또한 산불 피해 후 피해목의 변화과정을 분석하기 위하여 상층 소나무림의 피해유형을 분석하였다. 입지환경인자를 분석하기위해 지형도상에서 해발고는 10m단위, 사면방위는 8방위 및 9방위 등 9개 단위, 사면경사는 30° 이하와 31° 이상, 임상은 소나무단순림, 참나무류혼효, 활엽수혼효, 침활혼효 등 4개군으로 분류하였으며, 소밀도는 소, 중, 밀 3개 단위로 구분하고 입목도를 0.1~0.5, 0.6~1.0, 1< 3개 단위로 구분하였다. 그리고 피해도를 고사목/진체본수로 산출하였다. 조사자료에 대하여 입지환경인자와 임상조건에 따른 산불의 피해정도와의 관계를 파악하고자 독립변수가 질적변량이고, 종속변수가 양적변량의 분석에 적합한 수량화 I의 방법을 적용하였다. 자료의 분석을 위하여 인

자별 카테고리를 구분하였으며, 투입된 인자 각각의 Score, Range등의 값을 분석하여 기여도를 분석하였다. 또한 상관 및 편상관 분석을 실시하여 산불피해와 투입된 인자들의 기여율을 분석하였다. 임분구조와 산불피해 정도와의 관계를 해석하기 위하여 피해지의 고사율을 종속변수로 하여 단순상관, 편상관, 단계적회귀분석을 실시하였다. 그리고 임분밀도 조절 실연지를 대상으로 조성방법 및 처리에 따른 상층목 생장, 맹아발생밀도, 수고, 근원경, 피복도 등을 조사하여 수종별 중요치, 종다양도 등을 분석하였다. 모든 분석은 SPSS11 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 산불피해지 임분유형 분석

Table 1은 산불피해지의 수종에 따른 임분의 산불피해 정도와 임분유형을 분석한 것이다. 대부분의 소나무류 임분은 피해 정도가 심각하였으며, 임령과 임분 밀도는 높았다. 지위지수는 6~8정도로 낮았으며, 임분의 재적은 임분의 특성에 따라 다양하였으나, 피해율과는 일치하지 않았다. 소밀

Table 1. Stand characteristics of damaged area by forest fire

Species	Damage	Site index	Year	Tree number (No/ha)	Density	Height (m)	DBH (cm)	Volume (m ³ /ha)
PT	light	6>	41	1400	high	7.6	17.0	96.1
	heavy	6	34	1800	high	9.8	13.9	105.9
PR	heavy	8	29	1200	high	11.7	16.9	125.6
PD+PR	heavy	6	22	1100	low	6.1	11.6	28.5
	heavy	8	35	1250	midium	11.9	16.4	125.8
PD	heavy	10	25	1000	midium	11.1	18.8	122.1
	heavy	8	33	1600	high	11.1	15.9	141.5
	midium	10	33	600	low	14.6	22.1	134.6
	midium	8	36	800	midium	13.7	19.8	134.5
	midium	10	39	450	low	17.3	21.7	114.9
	midium	8	33	1800	high	11.5	13.3	114.9
QV+QS	light	10	41	1000	high	12.2	15.6	69.4
QM+QS+QA	midium	6>	24	2300	high	5.9	8.4	30.0
QM+QV	light	8	30	1600	midium	6.2	9.4	20.9
	midium	10	30	1400	midium	11.8	14.8	84.5

*PT : *Pinus thunbergii*, PR : *Pinus rigida*, PD : *Pinus densiflora*, QV : *Quercus variabilis*, QS : *Quercus serrata*, QA : *Quercus aliena*

도는 대부분 밀하였다. 소나무 단순림은 다른 소나무류 임분에 비해 피해의 정도가 높았다. 영급 구조는 3~4영급, 임분밀도는 450~1,800본/ha, 소밀도의 범위는 소~밀로 다양하게 구성되어 있으나, 이들 인자와 피해도와와의 관계는 명확하게 나타나지 않는 것으로 판단되었다.

산불의 피해정도에 영향을 미치는 인자에는 산불당시의 풍향과 풍속, 입지 조건, 임분 상태 등 여러 환경조건이 있으나, 임분구성만을 가지고 판단한다면, 임목밀도와 임분상·하층의 층위구성 및 종 구성 등이 큰 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Ryan, 1990; Agee, 2002). 수종 구성에 의한 피해정도를 알아보려고 밀도가 비슷한 소나무류 임분과 참나무류 혼효임분을 비교한 결과, 소나무류 임분의 피해가 더 컸다. 이는 굴참나무가 형성층이 두꺼운 코르크층으로 보호받고 있어서 산불

에 강한 내화수종이기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 일반적으로 밀도가 높은 임분에서 산불피해가 크다고 알려져 있는데, 참나무류 혼효임분은 밀도에 따라 피해정도가 다른 양상을 보였으나, 소나무류는 밀도와 상관없이 피해가 큰 것으로 나타났다.

2. 산불피해지의 입지환경인자 해석

산불피해지는 다양한 임분특성과 함께 입지적 특성도 다양하다. 따라서 산불피해 특성을 어느 한 가지 인자나 하나의 분석방법으로 해석하기는 매우 어려운 것이 사실이다. 하지만 일차적으로 조사된 입지환경인자를 통해 객관적으로 분석 가능한 인자들을 추출하여 선택된 인자들에 대하여 카테고리 범주를 설정하여 수량화 I의 방법을 적용한 후(Table 2), Score 계산 및 단순상관과 편

Table 2. Analysis of relationship between factor of environmental factor and damage by forest fire

	Parameter	Estimate	Standard Error	t-Value	Pr> t	Range
Constant	Intercept	86.26	15.69	5.5	<.001	
Species (X1)	PD	-14.9	11.97	-1.3	0.219	40.96
	Quercus spp mixed	-27	17.41	-1.6	0.129	
	BL	-40.9	15.13	-2.7	0.01	
	BL+NL	0	.	.	.	
Ellevation (X2)	<100m	2.429	9.172	0.26	0.792	8.278
	100-200m	8.279	10.32	0.8	0.427	
	200-400m	4.043	10.21	0.4	0.694	
	400m<	0	0	0	0	
Aspect (X3)	East	-2.79	10.6	-0.3	0.794	4.158
	West	-3.86	8.763	-0.4	0.662	
	South	0.301	8.888	0.03	0.973	
	North	0	0	0	0	
Slope (x4)	30°<	15.27	7.318	2.09	0.043	15.27
	30°>	0	0	0	0	
Topography (x5)	Top	5.059	9.152	0.55	0.583	9.77
	Flat	-1.09	11.91	-0.1	0.928	
	Bottom	8.659	8.905	0.97	0.336	
	Mountainside	0	0	0	0	
Density (X6)	low	10.69	9.418	1.13	0.263	10.68
	midium	7.434	10.1	0.74	0.466	
	high	0	0	0	0	
Degree of density (X7)	0.1-0.5	-56.2	14.14	-4	3E-04	57.5
	0.6-0.9	1.5	8.076	0.19	0.854	
	1<	0	0	0	0	

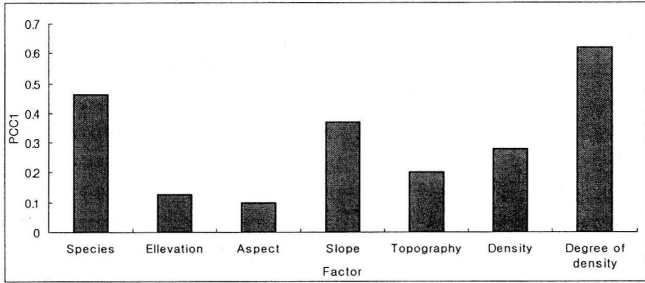


Fig. 1. Distribution of environmental factor according to partial correlation coefficient ¹PCC : Partial correlation coefficient

상관 분석을 실시하여 인자들 각각의 값과 산불피해 정도와의 연관성을 분석하였다(Fig. 1).

산림환경인자를 Range 값으로 분석한 결과 산불피해에 영향을 많이 미치는 인자는 임목도, 임상, 경사 순이었으나, 각 인자내의 항목에 따른 기여율은 일률적으로 해석하기가 곤란하였다. 따라서 이 부분에 대한 해석은 자료의 재분류, 추가, 제거 등 다양한 방법으로 분류를 실시하여 재검토를 실시해야 할 것으로 사료된다. 기여율이 높은 인자들에 대한 항목별 기여도를 살펴보면 임상에서는 활엽수, 표고 200m이하, 경사 30° < 이 상에서 피해율이 높은 것으로 판단되었다. 또한, 산림환경인자 각각 고유의 기율을 분석하기 위하여 편상관분석을 실시한 결과 임목도, 임분 구층 수종과 경사 및 임목도가 유효한 인자로 분석되었으며, 방위가 가장 기여도가 낮았다.

3. 실연시험지 성적조사

1) 중요 인자 분석(종풍부도, 종다양도, 균계도, 임목도)

조사 대상 임분은 2000년 동해안 산불로 삼척일대에 대면적의 산림피해가 발생하였고 그 중 대부분이 소나무가 우점하고 있는 임분이었다. Table 3에 각 임분별 밀도조절, 산화지의 처리에 따른 임분의 안정도 등 간접적인 임분의 속성을 비교분석하기 위하여 종다양도, 풍부도, 균계도, 우점도를 나타냈다. 그동안 종다양성과 성숙도는 정비례하는 것으로 알려져 있으며, 생물환경이 이질적이고 복잡하거나 국소적 교란이 발생하게 되면 종다양도는 높아지게 된다. 종다양도지수는 우점도와 반비례의 관계를 가지며 우점도가 높은 소수의 종

들보다 우점도가 낮은 다수의 종들에 의해 결정된다. Wittaker(1975)는 우점도가 0.9 이상일 때에 1종, 0.3~0.7일 때 2~3종, 0.3 이하일 때 다수의 종이 우점종이 된다고 하였다.

전생임분에서 종풍부도는 21개체로 산화 초기 상층잔존·하층제거임분을 제외하고 간벌과 피해지의 임분에서 풍부도가 원식생에 비해서 작았으나 차츰 증가하는 추세를 보였다. 하지만 상·하층제거임분과 상·하층잔존 임분은 감소하는 추세를 보였다. 종다양도는 산화지의 상·하층잔존 임분을 제외하고 전생임분 보다 높았으며, 일시에 상층이 제거된 임분에서는 교란이 심하여 다양성이 높게 나타내는 경향을 보였다. 하지만 상층잔존 임분의 경우 원식생보다 종다양성이 낮았다. 균계도와 우점도에서 상층제거 시 다수의 종이 우점하고 있었다. 즉 상층의 임관이 제거됨으로서 그 임분의 안정도는 크게 약화되나 차츰 시간이 지남에 따라 균계도가 높아졌으며 산화지의 상층의 피해목을 제거하지 않은 경우에는 종다양성이 원식생에 비하여 낮게 나타났으며 균계도 또한 낮아지는 경향을 나타내었다. 즉, 상층 피해목을 제거함으로써 숲틈에 의해 외부 종이 침입하나 시간이 지남에 따라 다소 안정된 임상을 유지하고 있었으며, 상층간벌을 통하여 밀도조절을 실시한 임분은 시간이 지남에 따라 원식생과 유사한 종구성의 안정도를 보여주었다. 하지만 상층의 피해목을 존치시킨 임분에서는 종다양성 측면에서 초기 피해상황과 비교하여 그 변화가 미비하게 나타났다. 즉, 이는 상층 피해목을 방치한 피해지의 임상은 피해목을 제거한 임상보다 식생회복이 느리게 진행됨을 알 수 있었다.

Table 3. Important factors of study site

	Year	Nondamaged site by forest fire		Damaged site by forest fire			
		Before forest fire	Thinned	upperstory and understory removed	upperstory removed and understory remained	upperstory remained and understory removed	upperstory and understory remained
Species richness	2004		16±2	17±7	16±3	23±8	21±5
	2005	21±8	18±3	18±5	19±4	23±11	
	2006		21±2	27±5	23±3	17±2	17±7
Species diversity	2004		1.64±0.02	1.87±0.27	2.08±0.16	1.59±0.50	1.48±0.33
	2005	1.57±0.31	1.61±0.19	1.97±0.16	1.59±0.22	1.61±0.36	
	2006		1.83±0.22	1.95±0.18	2.07±0.11	1.32±0.09	1.40±0.70
Evenness	2004		0.57±0.02	0.66±0.06	0.17±0.04	0.52±0.08	0.48±0.09
	2005	0.54±0.10	0.58±0.05	0.73±0.14	0.58±0.09	0.58±0.05	
	2006		0.60±0.08	0.59±0.09	0.65±0.01	0.46±0.05	0.49±0.18
Relative important value	2004		0.43±0.02	0.34±0.06	0.29±0.04	0.49±0.08	0.52±0.07
	2005	0.46±0.10	0.42±0.05	0.27±0.14	0.42±0.09	0.42±0.05	
	2006		0.40±0.08	0.41±0.09	0.35±0.01	0.54±0.05	0.51±0.18

2) 중요치 분석

Table 4는 각 조사 대상지에서 출현하는 주요 목본 수종 15종에 대해 수종별 상대우점도, 종풍부도, Shannon's 종다양도, 균재도, 우점도 지수 등을 이용하여 수종별 중요치를 산출하여 비교 분석한 결과이다. 전생임분에서는 소나무의 중요치가 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무 등의 참나무류에 비하여 높아서 산불 전 소나무 우점 임분임을 추측할 수 있었다. 산화지 상·하층 잔존 임분에서는 대부분의 산불발생시 전소하였거나 살아남은 몇몇 개체도 이후 몇 년 사이에 고사하였다. 그에 반하여 신갈나무, 굴참나무, 졸참나무의 참나무류는 산불의 피해 흔적은 있으나 생육을 계속하고 있었으며, 하층에서는 참싸리, 쇠물푸레, 진달래, 철쭉꽃 등의 관목류 들이 번성하고 있었다. 산화지에서 상·하층을 제거한 임분은 맹아발생을 주로 하는 참나무류와 광의 요구도가 높은 싸리류와 붉나무가 많이 발생하였는데, 이는 상하층을 제거함으로써 많은 광이 임상에 도달하여 이들 수종의 발생이 많은 것으로 생각된다. 하층에 출현하는 초본으로는 큰까치수영, 고사리, 우산나물, 삼주, 세잎양지꽃 등이 있었다. 소나무 치묘는 발생 하고 있으나 번성하는 참나무류 맹아지와

싸리류의 관목들에 의해 피압되고 있었다. 건전한 소나무림에 대하여 상층간벌을 실시한 임분에서는 소나무의 중요치가 가장 높았고, 굴참나무, 졸참나무가 전생임분에 비해 비교적 높은 값을 보였다. 상층 소나무 간벌을 통한 밀도조절로 소나무의 중요치가 감소한 반면, 참나무류 중 졸참나무의 중요치는 증가하였다. 상층을 잔존시키고 하층을 제거한 임분은 참나무류와 소나무의 혼효림을 이루고 있기 때문에 산불의 피해정도가 작았다. 또한 산불의 피해로 관목과 초본이 전소하였으나 이후 빠른 속도로 원식생과 유사하게 회복하고 있었다. 하지만 참나무류의 왕성한 맹아개신으로 상대적으로 소나무의 중요치가 낮은 경향을 보였다. 산화지에서 상층제거·하층잔존 임분에서는 신갈나무의 맹아발생이 왕성하여 신갈나무의 중요치가 가장 높았으며, 소나무 치묘는 거의 출현하지 않았다. 출현하는 식물상은 상·하층제거 임분과 큰 차이는 없었다. 고사목제거 시 제거목들이 임지에 그대로 방치되어 새로운 개체들이 생육하기 위한 임지면적을 감소시키고 방해하는 한편, 재생된 산림에서 산불발생을 가중하는 연료재의 역할을 할 수 있는 여지가 충분히 있을 것으로 사료된다. 기존의 소나무림 군락분류에 관한 연구(정홍

Table 4. Important Value of major tree species in study sites

	Before forest fire	Control		Upperstory thinned and understory remain		Upperstory and understory removed		Upperstory and understory remained		Upperstory removed and understory remained	
		2004	2006	2004	2006	2004	2006	2004	2006	2004	2006
QM	5.0	8.5	29.5	7.6	3.2	11.4	5.0	11.2	11.4	13.3	14.3
QV	5.0	0.0	3.4	7.6	8.3	11.6	18.0	11.2	16.2	7.2	5.2
QS	5.0	7.0	3.1	10.5	16.1	4.6	4.7	6.8	18.1	0.0	2.9
PD	26.0	13.5	0.0	20.7	15.7	1.7	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0
LC	0.0	3.4	6.8	3.9	2.3	12.1	6.8	0.0	3.0	8.4	9
FS	2.0	2.5	9.2	0.0	2.7	0.0	2.2	3.1	2.9	2.9	4.3
RM	4.0	1.7	6.8	2.5	1.7	2.4	0.0	1.0	0.0	7.5	2.9
SO	3.0	5.2	0.0	2.5	6.2	1.8	0.0	1.9	3.0	2.5	2.2
LM	1.8	1.7	0.0	5.1	2.7	4.8	5.0	4.7	0.0	0.0	0.0
LO	3.0	1.7	0.0	1.4	2.4	2.3	2.9	1.0	0.0	2.5	2.9
AP	2.0	0.0	1.5	0.0	0.0	1.8	3.1	4.7	1.5	0.0	2.2
RT	4.0	0.0	3.4	2.7	1.8	0.0	1.3	0.0	1.5	1.5	1.5
PM	0.0	1.7	3.4	0.0	0.0	0.0	1.3	2.1	1.5	0.0	0.0
RS	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	2.0	2.9
RC	0.0	0.0	0.0	1.4	1.2	1.4	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0

QM : *Quercus mongolica*, QV : *Quercus variabilis*, QS : *Quercus serrata*, PD : *Pinus densiflora*, LC : *Lespedeza cyrtobotrya*, FS : *Fraxinus sieboldiana*, RM : *Rhododendron mucronulatum*, SO : *Syrax obassia*, LM : *Lespedeza maximowiczii*, LO : *Lindera obtusiloba*, AP : *Acer pseudo-sieboldianum*, R T : *Rhus trichocarpa*, PM : *Prunus maackii*, RS : *Rhododendron schlippenbachii*, RC : *Rhus chinensis*

락 등, 2000; 이중효·홍성천, 2004)에 따르면, 소나무군락 내에 참나무류가 많이 출현하였고, 상재도도 높기 때문에 소나무군락의 다음 천이단계를 참나무류 군락으로 예측하였다. 따라서 간벌을 통해 상층의 소나무 밀도를 조절 할 경우, 건전한 소나무를 육성함과 동시에 중·하층에서 산불의 강도를 줄이고 확산을 지연시키는 역할을 하는 굴참나무, 졸참나무 등의 참나무류가 자리 잡을 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

결론

본 연구 조사지에서 임분 유형과 산불피해 정도를 분석한 결과, 소나무류 임분보다 굴참나무와 다른 참나무류의 혼효림에서 피해가 적었다. 산림환경인자를 Range 값으로 분석한 결과 산불피해에 영향을 많이 미치는 인자는 임목도, 임상, 경사 순이었다. 전생임분과 간벌을 통한 임분 밀도 조절을 실시한 임분에 대해 종다양도, 풍부도, 균재도, 우점도를 분석한 결과, 상층이 제거된 임분

에서 종다양도, 균재도 및 우점도가 높았으며, 상층 피해목을 방치한 피해지의 임상은 피해목을 제거한 임상보다 식생회복이 느리게 진행되었다. 따라서, 산불피해를 줄이고, 회복을 빠르게 진행시키기 위해서는 침엽수 단순림보다 굴참나무를 위시한 참나무류와의 혼효림을 조성해야 할 것으로 생각되며, 산불피해지에 대한 복구 시업을 실시할 경우, 상층을 제거해야 할 것으로 사료된다.

인용문헌

1. Agee, J. K. 2002. Fire behavior and fire resilient forest. In : Fitzgerald, Stephen A., ed. Fire in Oregon Forest : Risk, effects, and treatment options. Portland, Oregon Forest Resource Institute. 119-126.
2. Marques, M. A., and E. Mora. 1998. Effects on erosion of two post fire management practices : clear-cutting versus non-intervention.

- Research of Soil Tillage. 45 : 433-439.
3. Russell, T. G., S. McCaffrey and R. B. Jain. 2004. Science Basis for Changing Forest Structure to Modify Wildfire Behavior and Severity. Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GRT-120.
 4. Ryan, K. C. 1990. Predicting prescribed fire effects on trees in the Interior West. Proceedings of the first Interior West fire council annual meeting and workshop; Forestry Canada : 148-162.
 5. Telesca, L., G. Amatucci, R. Lasaponara, M. Lovallo and M. J. Rodrigues. 2007. Space-time fractal properties of the forest-fire series in central Italy. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 12 : 1326-1333.
 6. Theresa B. J., and R. G. Graham. 2004. Is forest structure related to fire severity? Yes, No, and Maybe : Methods and insight in quantifying the answer. USDA Forest Service Prodeedings RMRS-P-34.
 7. Whelan, R. J. 1995. The Ecology of Fire. Cambridge University Press, Cambridge.
 8. Whittaker, R. H. 1975. Communities and Ecosystems. MacMillian Publishing Co., Inc. New York. 385pp.
 9. 산림청. 1992~2006. 임업통계연보.
 10. 이규송 · 정연숙 · 김석철 · 신승숙 · 노찬호 · 박상덕. 2004. 동해안 산불 피해지에서 산불 후 경과 년 수에 따른 식생 구조의 발달. 한국생태학회지 27(2) : 99-106.
 11. 이중효 · 홍성천. 2004. 불영사계곡 일대 소나무림의 군집유형과 개체군 동태. 한국임학회지 93(1) : 59-66.
 12. 임주훈. 2005. 산불예방을 위한 내화수림대 조성 기술. 산불에 강한 숲가꾸기 기술. 임업신문사 77-122.
 13. 정홍락 · 이호준 · 이재석. 2000. 대구 인접지역에 대한 삼림식생의 군락분류. 한국생태학회지 23(5) : 407-421.

GIS를 이용한 경제림육성단지의 임상유형 구분¹ 정 세 경²

Classification of Forest Types for Timber Productive Forestlands Using GIS¹

Se-kyung Chong²

요 약

산림청은 2005년 국산재 품질향상과 목재자급을 확대를 도모하기 위해 국유림과 민유림의 약 292만 ha, 450개 단지를 경제림육성단지로 지정하였다. 경제림단지를 효율적으로 관리하기 위해서는 현존 임상의 공간적 분포를 파악하는 것이 중요하다. 따라서 수치 임상도를 이용하여 각각의 경제림단지 내에서 가장 많은 면적을 점유하고 있는 임상을 대표임상으로 분류하였고, 수치지형도를 통해 지형분석을 실시하였다.

경제림육성단지 내 임상의 면적점유율에 따른 대표임상을 기준으로 단지유형을 구분한 결과, 경제림육성단지는 소나무림, 리기다소나무림, 낙엽송림, 잣나무림, 참나무림, 혼효림 등 6개의 단지유형으로 구분되었다. 그 중에서 소나무림단지 29%(850,000ha), 참나무림단지 22%(650,000ha), 혼효림단지가 21%(620,000ha)로 전체 경제림육성단지 중 천연림이 72%나 차지하였다. 반면에 인공림은 28%로 낙엽송단지, 리기다소나무림단지, 잣나무림단지가 각각 16%, 7%, 5%를 차지하였다. 국유림의 경제림육성단지는 사유림의 경제림육성단지에 비해 평균 표고가 260m나 높고, 20도 이상의 경사도가 32%나 차지하여 지형조건이 오지에 위치하고 있는 산림이 많은 것으로 판명되었다.

ABSTRACT

Korea forest service designated 450 management units around the country in about 2.9 million hectares as productive forestlands to increase the degree of self-sufficiency in domestic timber and to enhance its quality in 2005. It is important to analyze spatial distribution of existing forest types in order to manage the productive forestland areas efficiently. Each productive forestland was classified into a representative forest type unit depending on the size of forest type occupying the management unit using digital forest type map, and was analyzed topographical characteristics by the digital topographical map.

As a result, a productive forestland unit was classified into one of the six different forest types such as red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) unit, rigida pine (*Pinus rigida* Mill.) unit, japanese larch (*Larix leptolepis* Gord.) unit, korean pine (*Pinus koraiensis* S. et Z.) unit, oak unit and mixed forest unit. Natural forest units occupied the largest portion of 72%, including red pine units of 29% (850 thousand hectares), oak units of 22% (650 thousand hectares) and mixed

¹ 接受 2007年 11月 6日 Received on November 1, 2007.

² 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

forest units of 21% (620 thousand hectares). On the other hand, planted units were 28% where japanese larch units, rigida pine units and korean pine units occupied 16%, 7% and 5%, respectively. It was identified that the productive forestlands in national forests compared to those in private forests were relatively in bad terrain conditions and situated in remote areas when the average elevation were higher 260 meters and the slopes over 20 degree occupied 32%.

Key words : productive forestlands, forest types, GIS, digital forest type map.

서론

우리나라는 1960년대부터 산림녹화를 시작하여 1973년부터 1987년까지 1·2차 치산녹화사업, 1988년부터 1997년까지는 산지자원화사업으로 성공적인 녹화사업을 완료하였다. 우리나라의 산림은 30~40년생 임목이 대부분을 차지하고 있어 지속적인 숲가꾸기 사업과 체계적인 산림자원 관리가 필요한 실정이다. 미래의 유용한 산림자원을 육성하기 위해서 숲가꾸기 사업을 전국적으로 시행하고 있으나, 산림재원은 한정되어 있고 가꿀 산림은 많아 선택과 집중의 원리가 필요한 시점에 있다. 산림청은 국산재의 품질향상과 목재자급율을 높이기 위한 방안으로 2002년 경제림육성대책을 수립하여 인공조림지와 우량천연림 실태조사를 실시하였다(산림청, 2002). 산림청은 2005년 지속적으로 일정량의 목재가 생산될 수 있는 보속생산형 구조를 가지는 국유림과 민유림의 약 292만ha에 450개 경제림육성단지를 지정하였다. 산림청은 2002년부터~2005년까지 수치임상도와 수치 산림이용기본도를 이용하여 경제림육성단지에 대한 GIS DB를 구축하였고, 350만ha까지 경제림육성단지를 확대·조성할 계획에 있다(산림청, 2003).

경제림육성단지를 국가차원 및 지자체 차원에서 효율적으로 관리하기 위해서는 산림자원 현황과 임지 특성을 분석하는 것이 요구되며, 특히 단지 내 임상의 공간적 분포를 파악하는 것이 중요하다. 임상도는 어떤 산림이 어떠한 모습으로 어

디에 분포하고 있는가를 보여주는 대표적인 산림지도로서 산림자원관리를 위한 기초정보를 제공할 뿐만 아니라 국토의 이용계획 수립, 환경관리, 자연자원과 생태계 보존 등의 활동에 있어서도 매우 중요한 정보를 제공하는 요소이다(김철민, 2005). 따라서 경제림육성단지를 효율적으로 관리하기 위해서는 도면정보를 기반으로 한 자원정보 구축과 이의 구체적인 연계방안이 필요하다(정세경 등, 2006). 최근 산림분야에서 산림 및 자연자원에 대한 적절한 정보의 제공과 대안을 평가하기 위하여 GIS를 이용한 분석이 필수적인 요소로 등장했다(권태호 등, 1999). 특히 지리정보시스템(GIS)은 대규모 공간데이터와 속성데이터를 저장할 수 있어, 광범위한 산림자원관리 및 경영에 필요한 업무를 효율적으로 수행할 수 있게 되었다(조명희 등, 2001).

이 연구는 경제림육성단지의 지정목적을 달성하기 위해서 GIS를 이용하여 임상분포와 지형조건을 분석하여 단지별 유형구분과 관리방안을 제시함으로써 국가단위 및 지역단위의 산림경영관리계획 수립을 위한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

자료 및 방법

1. 연구대상지

연구대상지는 우리나라 국내 목재생산을 위한 생산기지로 지정된 국유림과 민유림의 경제림육성단지 450개 단지, 292만ha를 대상으로 하였다.

표 1. 국유림의 경제림 육성단지지정 현황

구분	계	북부청	동부청	중부청	서부청	남부청
단지수	105	22	29	16	21	17
면적(만ha)	58	22	19	2	4	11

표 2. 민유림의 경제림육성단지 지정 현황

구분	계	강원	경기	충북	충남	경북	경남	전북	전북
단지수	345	37	30	34	39	66	62	32	45
면적(만ha)	234	28	19	20	19	68	31	20	27



그림 1. 우리나라 경제림육성단지 분포도

국유림 경제림단지는 표 1과 같이 총 105단지 58만ha가 지정되었고, 강원도 및 경기권역을 담당하는 북부지방산림관리청이 22만ha로 단지 면적이 가장 크다.

민유림 경제림육성단지는 전체 345개 단지, 234만ha를 차지하고 있다. 이 중에서 경상북도가 66개 단지, 68만ha로 경제림육성단지 면적이 가장 크고 경상남도, 강원도, 전라북도 순으로 규모가 크다.

2. 연구자료

경제림육성단지는 수치임상도 상의 집단화된 법정제한림을 제외한 인공조림지 및 우량천연림을 대상으로 선정되었고 수치산림이용구분도의 생산임지와 공익임지를 대상으로 구축되었다(산

림청 2002). 따라서 단지계제는 산지이용 구분계와 일치하고 있다. 임상도는 제3차 수치임상도를 사용하여 단지내 출현 임상수, 대표임상, 대표임상별 면적, 대표임상별 면적이중 평균경급·영급·소밀도 등을 분석하였다. 그리고 수치지형도를 이용하여 최저, 최고, 평균 표고와 경사등급에 따른 면적을 산출하기 위해 이용되었다.

3. 경제림육성단지 유형구분 기준

경제림육성단지는 대면적으로 형성되어 있어 지위나 지리를 이용하여 산림유형이나 특성을 분석하는데 한계가 있었다. 따라서 현존 임상의 특성을 최대한 고려하여 유형을 구분하고 경제림육성단지의 지정목적에 맞게 인공림의 특성을 최대한 반영할 수 있도록 하였다. 우리나라의 임상유형은 그림 2와 같이 천연림은 소나무림, 참나무림, 혼효림으로, 인공림은 리기다소나무림, 낙엽송림, 잣나무림으로 대표되었다.

유형분석방법은 단지내 분포하는 6가지 임상 중에서 점유면적이 가장 큰 순서대로 제1대표임상,

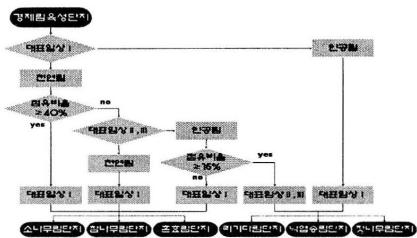


그림 2. 경제림육성단지 유형구분 흐름도

표 3. 분석자료 현황

주제도명	축적	속성정보	제작기관
경제림단지도	1/25,000	단지명, 소유기관	국립산림과학원
임상도	1/25,000	임상, 영급, 경급, 소밀도	국립산림과학원
지형도	1/25,000	표고, 경사	국토지리정보원

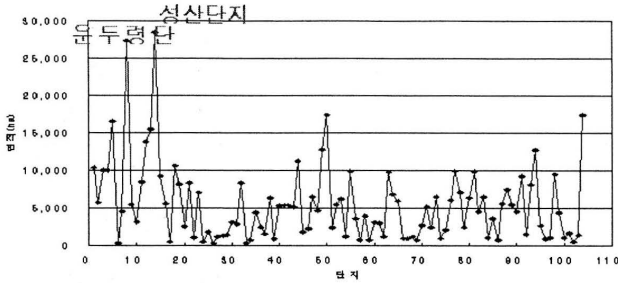


그림 3. 국유림 경제림육성단지의 면적 분포

제2대표임상, 제3대표임상으로 분류하였다. 첫번째로 점유면적이 가장 큰 임상을 제1대표 임상으로 지정하였다. 그리고 두 번째로 경제림육성단지의 지정목적에 부합토록 유도하기 위하여, 제1 대표임상이 천연림이면서 단지내 점유면적이 40% 이하인 경우, 즉 제2·3의 대표임상이 인공림이면서 점유면적이 15% 이상이면 인공림단지로 지정하였다.

결과 및 고찰

1. 면적분포 특성

경제림육성단지의 면적특성을 살펴보면 국유림은 최소 258ha부터 최대 28,494ha까지 분포하였고, 국유림단지의 평균면적은 약 5,831ha 정도였다. 그 중에서 고령군에 속해있는 성산단지와 홍천군의 운두령단지 면적이 가장 큰 것으로 나타났다.

민유림은 단지면적이 최소 235ha부터 최대 35,714ha까지 분포하고 있었으며 단지 평균면적

은 약 6,608ha 정도인 것으로 나타났다. 경기도 가평군에 속해 있는 연하외서단지와 경상북도 김천시에 속해있는 김천단지의 면적이 가장 큰 것으로 나타났다.

2. 지형특성

경제림육성단지의 표고는 최저 160m~820m까지 분포하고 있었으며, 평균표고는 약 370m인 것으로 나타났다. 특히, 국유림은 민유림보다 표고가 높은 것으로 나타나, 국유림 경제림육성단지가 상대적으로 지형이 험준한 곳에 위치하고 있는 것으로 판명되었다.

표 4. 국유림과 민유림의 표고분포 현황

구 분	표고(m)		
	최저	평균	최고
전 체	160	370	820
국유림	250	580	1,050
민유림	140	320	760

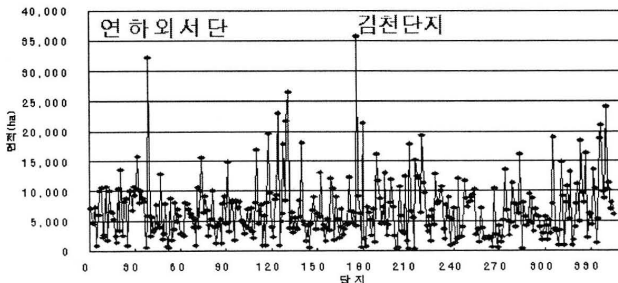


그림 4. 민유림 경제림육성단지의 면적 분포

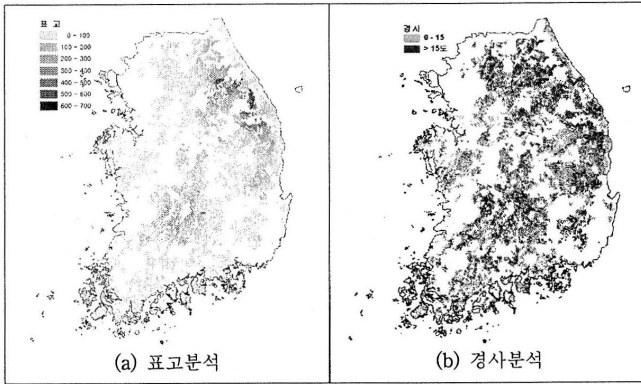


그림 5. 경제림육성단지 내 표고 및 경사분포도

경제림육성단지 내 경사도 분포현황을 살펴보면 표 4와 같이 0~5° 까지 차지하는 면적이 전체 41%에 달한다. 소유권 별로 보면 국유림 경제림 단지가 30%, 민유림이 44%를 차지하여 민유림 경제림단지가 입지조건이 양호한 지역이 많다고 할 수 있다.

표 5. 경사도 분포 비율

구분	경사도(°)					
	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	> 25
전체(%)	41	6	12	17	13	11
국유림(%)	30	5	14	19	17	15
민유림(%)	44	6	12	16	12	10

3. 단지별 유형구분

우리나라 경제림육성단지를 임상유형별로 분석한 결과, 표 5와 같이 단지유형특성을 분석할 수 있었다. 전체 경제림육성단지 중에서 소나무림 단

지가 133개소, 면적 비율은 약 30%(85만ha)로 가장 많이 차지하고있다. 그 다음은 참나무림으로 전체 104개소 22%(65만ha)를 차지하였다. 반면 인공림 중에서는 낙엽송림이 전체 58개소, 점유비율이 15%(44만ha)로 가장 많이 차지하였다. 국유림의 경우 참나무림 단지가 전체 55%로 가장 많았으며, 민유림의 경우는 소나무림 단지가 전체 35%를 차지하였다.

소나무림 단지는 강원지방소나무림, 중부지방소나무림, 해송림을 포함하며 우리나라 해안선을 따라 분포하는 특징을 나타내고 있다. 일부 강원도 내륙과 경상북도 북부, 위도 약 37도선을 경계로 남부쪽에 국한되어 분포하고 있다. 리기다소나무림 단지는 충청북도를 중심으로 대부분 서쪽으로 분포하고 있으며 과거 사방녹화를 위해 식재된 이수종의 특성상 산지의 표고가 대체로 낮은 쪽으로 많은 조림이 이루어진 것으로 판단된다. 낙엽송림 단지는 강원도 지역을 중심으로 충청도, 경상도,

표 6. 임상유형별 단지분포

단위 : (개소, 만ha)

단지유형	계		국유림		민유림	
	단지수	면적(%)	단지수	면적(%)	단지수	면적(%)
계	449	2,90(100)	104	57(100)	345	2,33(100)
소나무림	133	85(29)	9	3(6)	124	82(35)
참나무림	104	65(22)	56	31(55)	48	33(14)
혼효림	103	62(21)	18	7(12)	85	55(24)
낙엽송림	58	44(15)	15	11(19)	43	32(14)
리기다림	38	21(7)	1	(-)	37	21(9)
잣나무림	13	14(5)	5	5(8)	8	10(4)

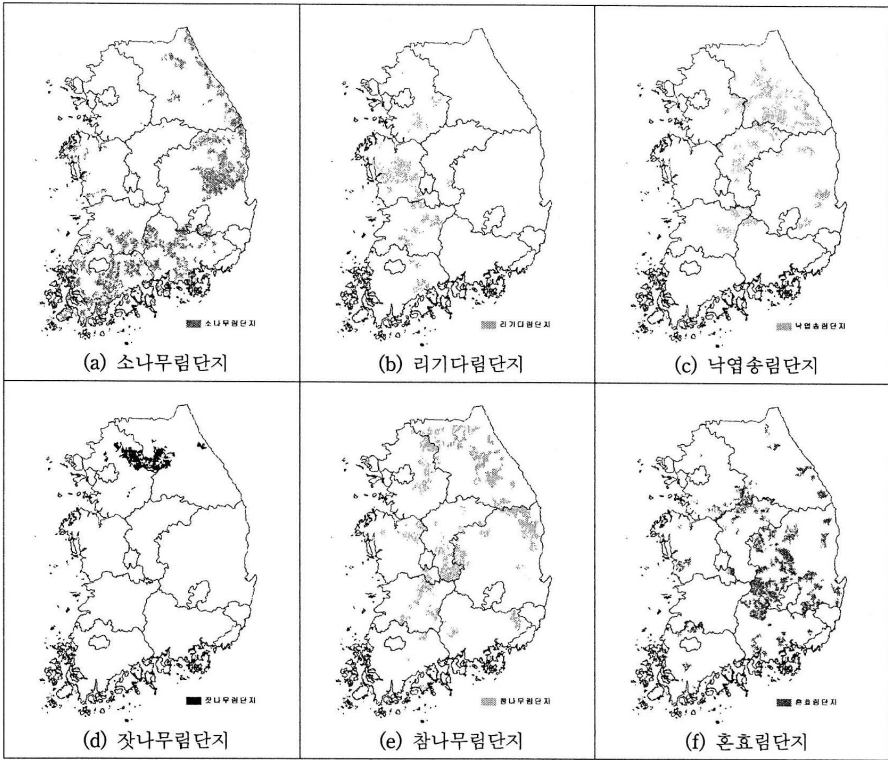


그림 6. 경제림육성단지 임상 유형별 분포도

전라북도 지역까지 분포하고 있으며, 반면 충청남도 및 전라남도를 포함한 남부지역에는 낙엽송림 단지가 분포하지 않는 것으로 나타났다.

잣나무림 단지는 경기도와 강원도 지역에 집중적으로 분포하는 것으로 나타났다. 참나무림 단지는 우리나라 전역에 고루 분포하고 있으며 특히, 경기도, 전라도, 강원도, 충청도, 경상북도에 집중적으로 나타나고 있다. 혼효림 단지도 마찬가지로 경기도 일부와 전라북도를 제외한 우리나라 전역에 걸쳐 분포하고 있다.

결 론

현존 임상을 고려한 유형분석 결과, 경제림육성 단지는 소나무, 리기다소나무림, 낙엽송림, 잣나무림, 참나무림, 혼효림단지의 6개 단위유형으로

분류되었으며, 지역적인 분포 특성을 찾아낼 수 있었다. 이러한 경제림육성단지 유형분석에 관한 정보는 국가차원에서 산림자원의 육성과 관리를 위한 계획수립 및 실행을 위해 중요한 정보로 활용될 수 있다. 특히, 경제림육성단지 지정목적의 특성상 인공림의 중요성이 크기 때문에 인공림에 대한 체계적이고 지속적인 관리가 필요하다. 연구 결과에서 나타난 바와 같이 잣나무림과 리기다소나무림 단지는 지역적 분포 특성이 명확하게 나타나고 있어 해당 시·군 지자체의 경제림육성단지 관리계획 수립을 위한 관리방향 및 방침을 결정하는 기반자료로 활용될 수 있다고 판단된다.

인 용 문 헌

1. 권태호·김태균. 1999. 대학연습림의 효율적

- 관리를 위한 지리정보시스템의 활용 방안. 한국지리정보학회지 2(3) : 81-90.
2. 김철민. 2005. 수치임상도 활용에 관한 설문조사 연구. 한국측정학회지. 한국산림 측정학회지 4(1) : 74-82.
 3. 산림청. 2003. 제4차 산림기본계획(변경). 75p.
 4. 산림청. 2002. 경제림육성을 위한 산림실태조사. pp.4.
 5. 정세경·김재원·원현규·김영환·이호상·신만용. 2007. 경제림육성단지 관리계획 수립을 위한 자원정보 DB구축. 한국임학회 하계 학술연구 발표논문. 398-399.
 6. 조명희·오정수·이시영·조윤원·백승렬. 2001. GIS를 이용한 산불 정보관리시스템 개발. 한국지리정보학회지 4(3) : 41-50.

편백의 간재적 추정에 관한 연구^{1*}

서연옥² · 이영진^{2*} · 박상문²

Estimation of Individual Tree Volumes for the *Chamaecyparis obtusa* Plantations^{1*}

Yeon Ok Seo², Young Jin Lee^{2*} and Sang Moon Park²

요 약

본 연구의 목적은 1920년대부터 우리나라 남부지방에 대단위로 조림된 편백(*Chamaecyparis obtusa*) 조림지를 대상으로 하여 최적의 간재적 추정식을 개발하고자 하였다. 남부지방의 대표적인 편백 조림지인 한 지역을 조사하였으며, 이 지역에서 29개의 표준목을 선별하여 수간석해를 실시하였다. 이 중 이용 가능한 23개체목에 대한 수간석해 자료를 이용하여 개발한 $V=0.00186+0.00003 D^{1.9232} H^{1.2228}$ 이 제시되었다. 이 식을 이용하여 간재적 실측치와 추정치를 사용한 동시 F-검정(절편=0와 기울기=1)을 실시한 결과, 통계적으로 유의성을 나타내지 않았다($p=0.6414$). 따라서 본 연구에서 제시된 간재적 추정식은 남부지방에 조림된 편백의 입목 간재적표 조제와 경영에 필요한 기초적 자료를 제공해 줄 것으로 판단된다.

ABSTRACT

This study was carried out to develop stem volume equations for *Chamaecyparis obtusa* trees which were widely planted from 1920s throughout the southern regions in south Korea. The 29 trees for stem analysis were selected in one sites in the southern and 23 available trees data were used for developing stem volume equation. The best equation in estimating *Chamaecyparis obtusa* stem volume was suggested as $V=0.00186+0.00003 D^{1.9232} H^{1.2228}$. The simultaneous F-test for this equation revealed that the estimated individual stem volume was not significantly different($p=0.6414$) from the observed stem volume for model evaluation. Therefore, this individual stem volume prediction equation could provide basic information for the construction of regional yield table and forest management.

Key words : *Chamaecyparis obtusa*, simultaneous F-test, stem volume prediction model.

¹ 접수 2007년 11월 1일 Received on November 1, 2007.

² 공주대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Kongju National University, Yesan, Chungnam 340-802, Korea.

* 본 연구는 2005년도 교육인적자원부 학술연구조성사업비로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2005-003-F00013).

* 연락저자 E-mail : leeyj@kongju.ac.kr

서 론

편백은 수간이 통직하고 재질이 우수하며 생장이 빨라 용재로서의 가치가 매우 높기 때문에 우리나라에는 1920년대에 일본으로부터 도입 식재하기 시작하여 남부지방의 경제수종으로 식재되고 있다(박인협, 2000). 한국에서는 국토녹화와 국토의 보전을 위한 조림활동이 1900년경부터 활발하게 행하여 졌는데, 특히 1926년부터 10년간에 걸친 임업시험장의 시험지 제1기 사업시에 한반도의 남부지방의 일부와 제주도에서 조림시험이 시작되어(진현오 · 전상근, 1987), 현재의 남부지방 편백 숲은 한국일보사 송현클럽에서 개척된 '아름다운 숲 전국대회'에서 22세기를 위해 보존해야 할 아름다운 숲으로 선정될 만큼 울창한 숲으로 발전되기는 하였으나, 아직까지 편백에 대한 기초적 연구조사가 미흡한 실정이다.

임업 경영은 일반적으로, 장기 회임성 산업으로 일반 작물의 경영과 달리 산림의 축적을 조사하거나, 재적 성장량을 정확히 예측하여 조림지에 대한 장기적인 관리계획을 세워야 한다. 이러한 목적으로 강원도 지역과 중부지역의 소나무, 잣나무, 리기다소나무, 참나무류 등의 수종들에 대해서는 재적 성장 특성 등에 관한 연구가 많이 이루어졌으나, 우리나라의 남부지방에 대단지로 조림된 편백림에 대한 기초연구가 현재 부족한 실정이다. 이로 이에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

편백에 대한 연구로는 기상인자와 편백의 활착률, 직경생장과 수고생장과의 관계(정영관 등, 1982)에 대한 연구가 유명림에 대하여 단편적으로 실시된 바 있으며, 그 외적으로는 연구가 거의 없는 실정이다.

그간 간재적 추정식에 대한 많은 연구가 국내의적으로 실시되었으며, 간단한 방법으로는 형수에 의한 방법(박남창 · 정영관, 1985), 일반적으로 수고와 흉고직경을 독립변수로 하는 2변수 재적식을 유도하여 이를 기초로 재적표를 조제하고 있다(김동춘, 1964; 김영환 · 이홍균, 1986; 이진규, 1972). 이러한 측면에서 본 연구에서는 전라남도 남부지방에 대단위 면적으로 조림된 편백 조림지를 집중적으로 조사하여 수고와 흉고직경을 독립변수로 하는 2변수 편백 입목 간재적 추정식을 개발하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

우리나라 남부지역의 대표적인 조림 수종 중의 하나인 편백 입목을 조사대상지로 하였으며, 비교적 생장이 우수하며 입본의 구성이 건전한 지역을 조사지로 선정을 하였다. 본 연구에서는 서부지방 산림관리청에서 관리하고 있는 국유림 내의 대표적인 편백 조림지역들 중 전라남도 장성군 서삼면(동경 126° 43' 40", 북위 35° 21' 30"~35° 21' 40") 산 98번지에 위치하고 있는 대상지를 선정하였다. 조사 대상지 중에서 입본의 구조 및 생육상태가 비교적 균일한 10m×10m로 각각 6개씩 총 18개소의 표준지를 선정하여, 표준지 내의 모든 수목에 대하여 매목조사를 실시하고 각 표준지에 대해서 표준목 1본씩을 선발한 후 별채하여 수간석해를 실시하였다. 조사지에 대한 기초적인 개황은 Table 1과 같다.

Table 1. Summary of observed statistics for *Chamaecyparis obtusa* plantations

No. of observation	Age (years)	DBH (cm)	Height (m)
129	$\frac{30}{8-54}$	$\frac{15.5}{0.3-31.4}$	$\frac{11.2}{1.3-19.4}$

2. 분석방법

입목의 간재적 추정은 현장에서 측정하기 편리하고 상관의 정도가 높은 입목의 생장인자 중 흉고직경과 수고의 2변수식을 이용하여 모형을 추정하였다. 모형들은 통합된 변수 함수식(combined-variable function)과 로그 모형식(logarithmic function), 그리고 Honer식을 기본 모형으로 하여, 절편이 있는 것과 없는 것으로 분류하여 추정하였으며, 이들 모형들은 단목의 간재적 및 Biomass를 추정하는데 널리 사용되어 왔고, 지금도 많이 적용되고 있다(Avery and Burkhart, 1994; 이여하, 1995; 김갑덕, 1998; 이광수 · 정영관, 2000). 이상과 같이 입목의 간재적 추정 모형에서는 다음의 $V=f(D, H)$ 을 기본 함수식으로 하여, 아래의 기본모형들을 적용하여 통계적 적합성을 검정하였다.

- (1) $V = a + bD^2H$,
- (2) $V = aD^bH^c$,
- (3) $V = D^2/(a + b/H)$.

Where : V =tree volume(m^3), D =tree dbh(cm),
 H =tree height(m),
 a, b, c =coefficients to be estimated from sample data

모형 (1)식은 간재적 추정식에서 잘 알려진 통합된 변수 함수식(combined-variable function)이며, 모형 (2)는 로그 모형식(logarithmic function)이라고 할 수가 있다. 모형 (3)식은 Honer식이다.

3. 추정모형들의 통계적 적합성 검증

추정모형들의 통계적인 적합성 검증에서는, 오차제곱근(root mean square error), 평균잔차(residual mean difference), 절대평균잔차(absolute residual mean difference)를 사용하였다. 그리고 이들 각각의 기준치에 대해 순위(rank)를 부여하여 최종적인 적합성 순위를 결정 하였다(Cao, 1993). 첫째, 결정계수는 사용된 모형이 평균적으로 얼마나 관측된 자료를 적합하게 설명되는지를 나타내는 척도이지만, 사용된 모형의 특성과 독립 변수의 수에 따라 달라지며, 또한 비선형모형에 있어서의 결정계수라는 개념은 선형식에서와 설명력을 보여주는 것이 아니므로 아래와 같은 다른 적합성 검증 과정을 거치는 것이 타당할 것이다. 둘째, 오차제곱근은 간재적의 평균 편의를 중심으로 편의가 어느 정도의 산포도를 갖는가를 판정하는 통계량을 말한다. 셋째, 모형의 평균잔차는 모형의 편의정도를 나타내는 평균차(mean difference)

이다. 이 통계량은 간재적의 관측치와 모형에 의하여 추정된 추정치간의 차이를 평균한 것으로 모형에 따른 추정능력을 평가하는 통계량 즉, 추정량이 평균적으로 모수의 참값에 대해 과소치 혹은 과대치를 주느냐를 평가하는 것이다. 넷째, 절대평균잔차는 실제 실측된 재적과 추정치 간의 평균 얼마만큼의 과대 또는 과소의 편의를 나타내는 통계량으로, 간재적의 실측치와 추정치의 차에 대한 절대값을 취하여 그편의가 0에 가까울수록 높은 정도(precision)를 나타내는 척도의 하나이다. 다섯째, 최적 모형의 실측치와 추정치를 사용한 동시 F-검정(절편=0과 기울기=1)을 실시하여 통계적 유의성을 검증하였다(Neter 등, 1985). 이외에도 잔차분석과 정규성 검증을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 간재적식의 모수추정

모형(I)에서부터 모형(V)는 SAS의 REG procedure와 NLIN procedure를 이용하여 모수를 추정하였다(Table 2). 추정된 각 모형들의 모수는 통계적으로 매우 유의적으로 나타났다($p < 0.001$). Table 2에서는 5개 모형들의 모수를 추정한 결과를 나타낸 것이며, 결정계수의 값이 모두 99% 이상 높은 설명력을 나타내고 있다.

2. 추정식 모형들의 적합성 검증

본 연구에서 추정식 모형들의 적합성 검증의 방법으로, 오차제곱근(RMSE), 평균잔차(MD), 절대평균잔차(AMD)를 검증하였다. 아래의 Table 3는 추정식 모형들의 통계적인 적합성 검증을 나

Table 2. Estimated Parameters for the stem volume prediction models

Models	Estimated parameters				R ²
	a	b	c	d	
I : $V = a + bD^2H$	-0.00106	0.00004			0.9925
II : $V = aD^2H$	0.00004				0.9957
III : $V = a + bD^cH^d$	0.00186	0.00003	1.9232	1.2228	0.9930
IV : $V = aD^bH^c$	0.00003	1.9184	1.1918		0.9929
V : $V = D^2/(a + b/H)$	-153.7	27456			0.9927

Where : $R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y}_i)^2}{\sum (y - \bar{y}_i)^2}$, other variables are defined as before

Table 3. Fit statistics for model evaluation of the stem volume prediction

Models	Fit Statistics			Total Rank
	RMSE	MD	AMD	
I : $V = a + bD^2H$	0.01176	-0.00000	0.00780	5
II : $V = aD^2H$	0.01174	0.00060	0.00753	4
III : $V = a + bD^cH^d$	0.01144	-0.00000	0.00720	1
IV : $V = aD^bH^c$	0.01144	-0.00059	0.00738	2
V : $V = D^2/(a + b/H)$	0.01153	-0.00053	0.00734	3

Where : $RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2 / n}$, $MD = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{n}$, $AMD = \sum_{i=1}^n \frac{|e_i|}{n}$.

타낸 것이다. 각각의 적합성 검정의 기준치에 대해 순위(rank)를 부여하여 최종적인 적합성 순위를 정하였다(Cao, 1993).

적합성의 순위가 가장 높은 모형 III식을 이용하여 재적의 실측치와 추정치를 비교하기 위하여 단순직선회귀분석을 하였다(Zar, 1996). 실측치와 추정치의 값들은 다음과 같은 Predicted Volume = $b_0 + b_1 \cdot \text{Observed Volume}$ 직선 선형모형의 관계를 가진다. 만약 간재적추정식이 정확하게 추정되었다면, 절편(b_0)은 0으로부터 통계적으로 다르지 않는 동시에 기울기(b_1)는 1과 통계적으로 다르지 않다. 즉, $H_0 : (\beta_0, \beta_1) = (0, 1)$, $H_a : (\beta_0, \beta_1) \neq (0, 1)$ 의 가설을 평가하기 위해서 동시 F-검정(simultaneous F-test)을 사용하였다(Neter 등, 1985). 그 결과, 추정된 간재적량은 실측치의 재적량으로부터 5%의 유의수준에서($p=0.6414$, F-statistics=0.4448)통계적으로 유의하지가 않으

므로 이 모델은 매우 적합한 것으로 판단된다(Fig. 1).

따라서, 본 연구에서 제시된 간재적 추정식은 앞으로 남부지방에 조림된 편백의 지역적인 입목 간재적표 작성에 사용 할 수 있으며, 또한 편백림 경영에 필요한 기초적 정보를 제공해 줄 것이다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2005-003-F00013).

인용 문헌

1. 김갑덕. 1998. 삼림측정학. 향문사. 281pp.
2. 김준순 · 이우균 · 변우혁. 1994. 강원도 지방 소나무의 지역 간곡선 및 재적식 모델. 한국임학회지 83(1) : 521-530.
3. 김동춘. 1964. 강원도산 소나무 입목 간재적표. 농사시험연구보고 7(2) : 1-18.
4. 김영환 · 이홍균. 1986. 곰솔 입목 간재적표 조제에 관한 연구. 임업시험연보 33 : 35-46.
5. 김영환. 1987. 삼나무 입목 간재적표 조제에 관한 연구. 임업시험연보 34 : 22-31.
6. 박남창 · 정영관. 1985. 곰솔 및 삼나무의 흉고형수 결정에 관한 연구. 한국임학회지 70 : 28-37.
7. 박인협 · 임도형 · 유석봉. 2000. 편백 유령 인공림의 임령에 따른 물질생산 및 무기양료

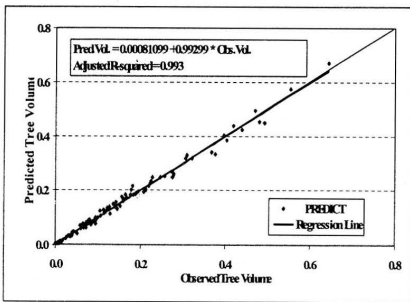


Fig. 1. Comparison between observed and predicted individual tree volumes

- 분배. 한국임학회지 89(1) : 85-92.
8. 이광수 · 정영관. 2000. 화백임분의 물질생산에 관한 연구. 한국산림측정학회지 3(2) : 45-54.
 9. 이여하. 1995. 측수학. 기전연구사 367pp.
 10. 이진규. 1972. 강원도산 일본잎갈나무의 입목 간재적표. 임업시험연보 19 : 29-42.
 11. 정영관 · 이부권 · 박남창. 1982. 기상인자와 삼나무 및 편백의 활착률, 직경생장 및 수고생장과의 관계. 경상대학교 논문집 21 : 117-120.
 12. 진현오 · 전상근. 1987. 삼나무의 엽형분류 및 성장특성에 관한 연구. 한국임학회지 76(4) : 410-417.
 13. 황 증 · 홍성각. 1978. 삼나무의 내한성. 한국임학회지 39 : 47-56.
 14. 홍성천 · 변수현 · 김삼식. 1998. 원색한국수목도감. 계명사. 310pp.
 15. Avery, T. E., and H. E. Burkhart. 1994. Forest Measurements, Ed. 4th. McGraw-Hill, Inc., New York. 408pp.
 16. Cao, Q. V. 1993. Estimating coefficients of base-age-invariant site index equations. Canadian Journal of Forest Research. 23 : 2343-2347.
 17. Neter, J., W. Wasserman and M. H. Kutner. 1985. Applied Linear Statistical Models, Ed. 2nd. R. D. Irwin, Inc. Homewood, Illinois. 1127pp.
 18. Zar, J. H. 1996. Biostatistical Analysis. Ed. 3rd. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 662pp.

사단법인 한국산림자원측정학회 정관

제 1 장 총 칙

제 1 조(명칭) 본 학회의 명칭은 사단법인 한국산림자원측정학회(Korean Society of Forest Resources Measurements, 이하 “본 회”라 한다)라 한다.

제 2 조(목적) 본회는 산림측정, 산림평가 및 산림지리정보에 관한 연구와 새로운 산림조사 방법·평가기술 등을 개발하여 임업 및 임학 발전에 기여함을 목적으로 한다.

제 3 조(사무실) 본회의 주 사무소는 서울시 동대문구 청량리동 산 207번지 국립산림과학원에 두고 필요에 따라 각 도에 지회를 둘 수 있다.

제 4 조(사업) 본회는 제2조의 목적을 달성하기 위하여 다음 사업을 한다.

1. 학회 및 학술대회 등의 개최
2. 공동연구의 기획 및 수행
3. 영상판독과 수치도면제작 등 산림지리정보에 관한 교육 및 관리운영
4. 국내외 학회, 기타 유관 단체와의 협력 및 교류
5. 회지 및 논문집 발간
6. 기타 학회의 목적 달성에 필요한 감리 등의 사업

제 2 장 회 원

제 5 조(회원의 종류) 본회 회원은 정회원, 준회원(학부 및 대학원생), 명예회원 및 단체회원으로 한다.

제 6 조(회원의 자격) ① 정회원은 산림측정 및 산림지리정보에 관한 연구와 사업에 참여하고 본회의 목적과 취지에 찬동하는 자

② 준회원은 산림측정 및 산림지리정보에 관한 연구와 사업에 참여하고 본회의 목적과 취지에 찬동하는 자로서 학부나 대학원에 적을 둔 자

③ 명예회원은 본회의 발전에 공적이 있는 자로서 이사회의 추천으로 총회의 인준을 받은 자

④ 단체회원은 산림측정 및 산림지리정보 관련 기관과 단체

제 7 조(회원가입) 본회에 가입하고자 하는 자는 소정의 가입신청서를 제출하고 이사회의 승인을 얻어 임회를 결정한다.

제 8 조(회원의 의무) ① 본회의 회원은 정관규정을 준수하고 이사회에서 정하는 바에 따라 회비 납부의무를 이행하여야 한다.

② 본회의 회원은 정관 또는 이에 따른 규정과 총회 및 제반업무 수행에 적극 협조하여야 한다.

제 9 조(회원의 권리) ① 회원은 임원에 대한 선거권, 피선거권을 가진다.

② 일반회원과 단체회원은 동일한 권리와 의무를 가지며 필요시 사업에 참여할 수 있다.

③ 총회에서의 발언권과 의결권을 가진다.

제10조(회원의 탈퇴, 자격상실, 제명 및 자격정지) ① 회원은 자유로이 탈퇴의 뜻을 통보하여 탈퇴할 수 있다.

② 금치산, 파산선고 및 제명 처분을 받았을 때에는 자격을 상실한다.

③ 회원으로서 의무를 지키지 않거나 본회의 목적에 위반하는 행위가 있을 때, 총회의 의결에

의하여 제명할 수 있다.

④ 회비를 3년 이상 체납 시 회원의 자격과 권리가 정지된다.

제 3 장 임 원

제11조(임원의 종류와 수) 본 회는 다음 임원을 둔다.

1. 회 장 1인
2. 부회장 3인 이내
3. 상임이사 6인 이내
4. 이 사 15인 이내
5. 감 사 2인
6. 고문 약 간 명

제12조(임원의 자격) 본 회 임원의 자격은 회원으로서 다음 각호에 해당하는 자로 한다.

1. 회장, 부회장, 이사 및 감사는 회원의 자격을 1년 이상 유지한 자 중에서 총회에서 선출한다
2. 법률적으로 결격사유가 없는 자

제13조(임원의 선출) 본 회의 임원 선출은 다음과 같다.

1. 회장, 부회장, 이사 및 감사는 총회에서 선출한다.
2. 고문은 이사회에서 선출한다.

제14조(임원의 임기) ① 회장, 부회장, 이사의 임기는 2년으로 하고 1회 연임할 수 있다. 단, 감사의 임기는 2년으로 한다.

② 단체회원 중에서 선출한 임원이 임기 중에 다른 직으로 전보되었거나 퇴직 한 때에는 그 후임자가 승계한다.

③ 보선 또는 승계에 의하여 취임한 임원의 임기는 전임자의 잔여기간으로 한다.

④ 임기 만료 또는 사임한 임원은 새로 선임된 임원이 취임할 때까지 그 임무를 수행한다.

제15조(임원의 직무) ① 회장은 본 회를 대표하고 본 회 업무를 총괄하며 각종 회의의 의장이 된다.

② 수석부회장은 회장을 보좌하며, 회장이 유고시 그 직무를 대행한다.

③ 이사는 정관의 규정에 의한 이사회에 기능에 속하는 사항을 심의 의결하며 이사회 또는 회무에 관한 사항을 심의 의결한다.

④ 감사는 다음의 직무를 수행한다.

1. 본 회 법인의 재산상황을 감시하는 일
2. 이사회에의 운영과 그 업무에 관한 사항을 감시하는 일
3. 제1호 및 제 2호의 감사결과 부정 또는 부당한 것이 있음을 발견한 때에는 이사회, 총회에 그 시정을 요구하고 그래도 시정치 않을 때에는 산림청장에게 보고하는 일
4. 제3호의 시정요구 및 보고를 하기 위하여 필요한 때에는 총회 또는 이사회에 소집을 요구하는 일
5. 본 회 법인의 재산상황 또는 총회, 이사회에의 운영과 그 업무에 관한 사항에 대하여 회장 또는 총회, 이사회에서 의견을 진술하는 일

제 4 장 총 회

제16조(총회의 구성) 총회는 최고 의결기구로서 회원으로 구성한다.

제17조(총회의 소집) ① 총회는 정기총회와 임시총회로 한다.

② 정기총회는 년 1회로 1/4분기에 개최하고 하계 총회는 3/4분기에 회장이 소집 한다.

③ 임시총회는 이사회, 재적회원 1/3이상의 연명이 있을 시 회장이 소집한다.

제18조(총회의장) 총회 의장은 회장이 맡는다.

제19조(총회의 의결사항) 총회는 다음 각 호의 사항을 의결한다.

1. 정관의 변경에 관한 사항
2. 임원선출 및 해임에 관한 사항
3. 사업계획 예산 및 결산에 관한 사항
4. 본 회의 해산 등 중요한 사항
5. 기타 회장, 이사회가 필요하다고 인정한 사항

제20조(의결 정족수) 총회는 특별한 규정이 없는 한 재적회원 과반수 출석과 출석회원 과반수의 찬성으로 의결한다.

제 5 장 이사회

제21조(이사회회의 구성) 본 회의 이사회는 회장, 부회장을 포함한 이사로서 구성한다.

제22조(이사회회의 소집) ① 본 회의 이사회는 다음 각호의 1에 해당하는 경우 그 사유를 명시하여 이사회를 소집한다.

1. 회장이 필요하다고 인정할 때
2. 재적 이사 과반수 이상의 소집요구가 있을 때
3. 감사의 소집요구가 있을 때
4. 기타 본 회 법인의 운영에 관하여 중요한 사항이 있을 때

② 이사회를 소집하고자 할 때에는 회의의 일시, 장소, 목적을 명시하여 회의 7 일전에 각 이사에 게 통지하여야 한다.

제23조(이사회회의 기능) 본 회의 이사회는 다음 각호의 사항을 심의 의결한다.

1. 사업계획의 작성 및 운영
2. 예산 및 결산의 사항
3. 총회에서 위임받는 사항
4. 주요정책
5. 감사가 심의를 요구한 사항
6. 정관에 의하여 그 권한에 속하는 사항
7. 기타 운영상의 중요한 사항

제24조(이사회 의결정족수) ① 이사회는 재적이사 과반수 출석과 출석이사 과반수의 찬성으로 의결한다.

② 이사는 서면이나 대리인으로 하여금 의결권을 행사할 수 있다.

제25조(편집위원회) ① 본 회 제4조의 사업을 원활하게 수행하기 위하여 편집위원회 등 필요한 위원회를 둘 수 있다.

② 위원장은 회장이 위촉하여 이사회의 승인을 얻는다.

③ 위원은 위원장이 위촉한다.

제 6 장 재산 및 회계

제26조(재산의 구분) ① 본 회의 재산은 기본재산과 보통재산으로 한다.

② 제1항의 기본재산은 다음 각호의 재산으로 하고 그 이외의 재산은 보통재산으로 한다.

1. 설립당시 기본재산으로 출연한 재산
2. 이사회 결의에 의하여 기본재산으로 편입한 재산

제27조(기금조성) 본 회 재정은 다음 각호의 수익금으로 충당한다.

1. 입회비 및 회비
2. 기부, 찬조금
3. 사업의 수익금
4. 기타 수입

제28조(재산의 관리) ① 본 회의 기본재산을 매도, 증여, 임대, 교환, 용도변경, 담보제공, 처분 또는 대체코자 할 때나, 의무의 부담, 권리의 포기를 하고자 할 때에는 이사회의 의결을 거쳐야 한다.

② 본회는 매수, 기부채납, 기타 방법으로 재산을 취득할 때에는 지체 없이 재산으로 편입 조치하여야 한다.

③ 예산 이외의 채무 부담을 하고자 할 때에는 이사회의 의결을 거쳐야 한다.

④ 기본재산의 변동이 있을 시에는 지체 없이 재산목록을 변경하여 기록하여야 한다.

제29조(회계연도) 본 회의 회계연도는 매년 1월 1일부터 당년 12월 31일까지로 한다.

제30조(예산 및 결산) 본 회의 사업계획 및 예산결산은 매 회계연도 개시를 전후하여 2월 이내에 이사회의 심의를 거쳐 총회의 승인을 얻어야 한다.

제7장 보칙

제31조(정관변경) 본 회의 정관을 변경하고자 할 때에는 총회에서 회원의 과반수 이상의 출석과 출석회원 3분의 2 이상의 찬성으로 의결하여 산림청장의 승인을 얻어야 한다.

제32조(해산) ① 본 회를 해산하고자 할 때에는 총회에서 이사의 과반수 이상이 포함된 재적회원 과반수이상의 출석과 출석회원 3분의 2이상의 찬성으로 의결하고 산림청장에게 신고하여야 한다.

② 법인이 해산할 경우 잔여 재산은 이 법인과 유사한 단체에 기증하거나 국고에 귀속한다.

제33조(별도규정) 본 정관 운영상 필요한 사항은 이사회의 의결에 의하여 규정으로서 정할 수 있다.

부칙

제1조(시행일) 본 정관은 산림청장의 허가를 받아 등기를 한 날로부터 시행한다.

제2조(준용) 본 정관에 의하여 규정되지 아니한 사항은 민법의 규정에 의한다.

제3조(임기) 초대 학회장의 임기는 2008년 12월 31일까지로 한다.

사단법인 한국산림자원측정학회 원고투고규정

1. 투고자격은 회원에 한하여 공동연구시 비회원을 포함할 수 있다. 단, 공동 또는 비회원 단독으로 투고할 경우 편집위원회의 심의를 거쳐 게재할 수 있다.
2. 본 학회지에는 연구논문(Research Articles), 총설(Review)로서 다른 일반 공개간행물에 발표하지 않은 것이어야 하며, 원고의 종별은 저자가 원고 표지에 명시하여야 한다.
3. 논문은 국문 또는 영문으로 작성할 수 있고, 어느 경우애나 반드시 제목과 요약(Abstract)은 국문과 영문 두 가지로 작성되어야 한다.
4. 원고 작성은 제목, 저자의 소속기관을 국문으로 적고, 이어서 영문으로 반복한 후, 국문요약, 영문 ABSTRACT, 서론, 재료 및 방법, 결과, 고찰(또는 결과 및 고찰), 감사의 글, 인용문헌의 순으로 한다. 영문의 경우 제목, 저자, 소속기관을 영어로 적고, 이어서 국문으로 반복한 후, ABSTRACT, 국문요약, INTRODUCTION, MATERIALS AND METHODS, RESULTS, DISCUSSION(RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION), ACKNOWLEDGEMENT, LITERATURE CITED의 순으로 함을 원칙으로 한다. 단, 속보, 총설, 논설 등은 저자의 편지상 위의 순서를 변경할 수 있다. 주요어(KEY WORDS)는 5구절 이내로 하며 국문요약 다음에 고딕체로, 그리고 영문 ABSTRACT 다음에 이탤릭체 대문자로 표기하되 학명은 고딕으로 표기한다.
5. 제목, 저자명, 저자의 소속기관명은 국문과 영문으로 모두 표기하며, 가급적 저자의 전자우편(e-mail)주소를 포함시키도록 한다.
6. 표(Table)과 그림(Figure)은 영문으로 작성하되 표 제목은 표 상단에, 그림 제목은 그림 하단에 적으며 별지에 첨부하고 본문에 표와 그림의 위치를 표시한다. 그림은 Tracing paper에 그리거나 컴퓨터로 출력하되, Tracing paper의 그림내 활자는 별지(그림의 복사지)에 적고, 컴퓨터 프린터 출력은 Lazer 프린터나 이에 준하는 프린터를 사용한다.
7. 인용문헌의 순서는 맨 앞의 저자명에 의해 국내, 국외순으로 하며 국내 문헌은 가나다순, 국외 문헌은 언어별 자순으로 한다. 정기간행물의 경우 저자명, 연도, 논문제목, 잡지명, 권수(호수), 쪽순으로 적고, 단행본의 경우는 저자명, 연도, 책명, 출판사명, 출판지명, 쪽순으로 한다. 저자와 편집자가 서로 다른 경우, 저자명, 연도, 논문제목, 쪽, 편집자명, 단행본명(논문집 등), 출판사명, 출판지명을 차례로 적는다. 영문으로 쓰여진 단행본을 인용할 때는 단어 첫자만 대문자로 표시해 주되 전치사는 예외로 하고, 쪽은 pp로 한다. 인용한 문헌의 저자나 편집자가 여럿일 때는 모두 적는 것을 원칙으로 한다.
8. 본문에 논문 및 저서를 인용할 때에는 국내 저자의 경우(홍길동, 1993), (홍길동과 박문수, 1993), (홍길동 등, 1993)의 방법으로, 그리고 국외 저자의 경우(Smith, 1993), (Smith and Baker, 1993), (Smith *et al.*, 1993) 등으로 표시한다.
9. 투고는 본학회 투고규정과 인용문헌 작성 규정에 따라 한글로 작성하고 프린터된 원고 3부(그림 원본 포함)를 투고료 및 심사료와 함께 제출하고 디스켓 1부는 논문심사결과 수정시 수정본과 동봉하여 제출한다.
10. 별채는 50부를 무료로 증정하며 그 외의 부수는 투고자가 실비를 부담한다.
11. 논문 및 논설 투고자는 1편당 기본 투고료 100,000원을 부담하여야 하며, 인쇄 후 8면을 초과할 경우 초과 면당 20,000원의 초과계재료를 부담하고, 칼라사진을 게재할 경우 1면당 현재 실비로 부담한다.

韓國山林資源測定學會 任員

顧問 : 박재욱 이광남 이동섭 이여하 이종락 정영관 한갑준
會長 : 신만용(국민대 교수)
副會長 : 공지수(산과원 산림자원정보과장) 정주상(서울대 교수)
常任理事 : 총무이사 : 이경학(산과원 산림평가과장)
 편집이사 : 최정기(강원대 교수)
 대외협력이사 : 이우균(고려대 교수)
非常任理事 : 김성호(산과원 연구관) 김철민(산과원 농학박사)
 노대균(산림조합중앙회 조사본부장) 손영모(산과원 농학박사)
 이승호(산과원 농학박사) 이영진(공주대 교수)
 정동준(산림조합중앙회 조사과장)
監事 : 김동근(상주대 교수) 권수덕(산림과학원)

한국산림측정학회지

제 10 권

2007년 12월 1일 인쇄

2007년 12월 5일 발행

발행인 신 만 용
편집인 최 정 기
발행처 (사)한국산림자원측정학회

☎ 1310 - 7112

서울시 동대문구 회기로 57번지

국립산림과학원 산림평가과

전화 : 02-961-2874

FAX : 02-961-2889

E-mail : pine21c@hanmail.net

국민은행 : 048401-04-052835(손영모)

인쇄처 : 정민사 2278-0199

