

## 강원도 남부지역에서 소나무림 벌채 후 초기 종조성 변화

조용찬<sup>1\*</sup> · 김준수<sup>2</sup> · 이창석<sup>3</sup> · 조현재<sup>4</sup> · 이호영<sup>5</sup> · 배관호<sup>6</sup>

<sup>1</sup>국립수목원 산림자원보존과, <sup>2</sup>경북대학교 대학원 임학과, <sup>3</sup>국립생태원건립추진단,

<sup>4</sup>산림청 녹색사업단, <sup>5</sup>동부지방산림청, <sup>6</sup>경북대학교 생태환경시스템학부

## Early Successional Change of Vegetation Composition After Clear Cutting in *Pinus densiflora* Stands in Southern Gangwon Province

Yong Chan Cho<sup>1\*</sup>, Jun Soo Kim<sup>2</sup>, Chang Seok Lee<sup>3</sup>, Hyun Je Cho<sup>4</sup>,  
Ho Yeong Lee<sup>5</sup> and Kwan Ho Bae<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Resource Conservation, Korea National Arboretum, Pocheon 487-821, Korea

<sup>2</sup>Department of Forestry, Graduate School, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>3</sup>School of Environment & Life Science, Seoul Women's University 139-774, Korea

<sup>4</sup>Korea Green Promotion Agency, Daejeon 302-121, Korea

<sup>5</sup>Eastern regional forest service, Gangneung 210-922, Korea

<sup>6</sup>School of Ecology & Environmental System, Kyungpook National University, Sangju 743-711, Korea

**요 약:** 강원도 남부 지역의 발달단계가 다른 소나무림 벌채지에서 16년 동안의 식생 변화를 연구하였다. 교란 후, 천이 궤적 및 환경 변화를 온도, 상대습도, 서열분석(Detrended Correspondence Analysis, DCA), Multiple Responses Permutation Procedure(MRPP) 및 지표종 분석(Indicator Species Analysis, ISPAN) 등을 통하여 분석하였다. 벌채 직후, 수관열림도는 대조구와 비교하여 세 배(1yr 68.3% 및 R1 23.0%)로 급격히 증가한 후 감소하였으나, 상대습도는 비교적 작은 변화(약 6% 감소)를 나타내었다. DCA 결과, 벌채 후 초기에는 종조성이 이질적으로 변화하였으나, 점차 벌채 이전(대조구)의 것과 유사하게 발달하였다. MRPP 결과, 각 발달 단계(1yr, 3yr, 10yr 및 16yr)의 종 조성은 대조구(R1, R3, R10 및 R16)의 것과 유의한 차이를 보였다. 1yr 및 3yr에서는 목본성 종이, 10yr 및 16yr에서는 초본 종들이 주요 종으로 분석되어, 교란 직후에는 목본성 종들이 활발한 재생을 나타내며, 이후 초본 식생이 발달하는 것을 보였다. 연구 대상지역의 천이는 초기 식물상 조성 모델로 설명할 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract:** Vegetation changes were studied for 16 yr in clearcut logged *Pinus densiflora* forests in the southern Gangwon-do province in Korea by applying chronosequence approach. Ambient temperature and relative humidity, Detrended Correspondence Analysis (DCA), Multiple Responses Permutation Procedure (MRPP), Indicator Species Analysis (ISPAN) were used to examine successional trajectory and compositional changes. After clearcutting, canopy openness was increased abruptly at three folds (1yr 68.3% and R1 23.0%) and then decreased, but relative moisture was slightly decreased (6%) compare to control site. In the result of DCA, right after clear cutting, vegetation composition was developed heterogeneously compared to control sites, and then approached to control sites within 16 years. Based on MRPP, species composition of each developmental stages (1yr, 3yr, 10yr and 16yr) revealed significant differences to that of control vegetation (R1, R3, R10 and R16). Indicator species in 1yr and 3yr samples included various woody species rather than herbaceous species, but in 10yr and 16yr, herbaceous were more abundant. Earlier succession of pine forests likely can explain to Initial Floristic Composition (IFC) Model.

**Key words :** *Pinus densiflora*, clear cutting, vegetation composition

### 서 론

벌채 작업은 식물 군락의 구조와 기능을 크게 변형시킨다. 화재를 제외하면, 우리나라에서 가장 강도가 높은 산

림생태계 교란에 속한다. 벌채는 지상부 구조를 완전히 제거하는 교란으로써 식생 조성, 다양성, 환경 등을 크게 변화시킨다. 산림생태계에서 교란은 자연적인 또는 그렇지 않은 경우가 있지만, 두 가지 모두 생태계 구조 및 기능의 유지에 필수적 요소가 된다(Kimmin, 2003). 임분 교란 후 천이는 크게 두 가지 양상으로 설명할 수 있는데(Halpern,

\*Corresponding author  
E-mail: bz0288@hanmail.net

1989), (1) 교란 직후 대부분의 종이 살아남거나 이입하는 것, 그리고 종의 연속적인 이입과 교대(식물상 교체 모델, relay floristic model)에 의한 것과, (2) 종의 점진적인 확장 과 쇠퇴를 통한 종조성의 장기 변화(초기 종조성 모델, initial floristic composition model)에 의한 것이 있다. 그리고 다양한 임분의 재생 양상은 우점종(자연림과 조림지)에도 영향을 받는 것으로 나타난다.

소나무림은 우리나라 수종 중 가장 넓은 면적에 걸쳐 성립되어 있다(동북아산림포럼, 2000). 1900년대 초반 우리나라의 황폐화 된 산림 식생은 소나무 저목림과 초지를 중심으로 성립하여 있었고, 실국시대, 전쟁 및 활발한 산림 자원 이용 등의 원인으로 산지 교란이 매우 심하였다. 소나무는 우리나라 대표적인 천이 초기 종으로 알려져 있는데, 다른 종에 비하여 수분 스트레스에 대한 내성이 높은 것이 이러한 특성에 큰 역할을 하였다(Lee *et al.*, 2004). 이러한 생태학적 배경 및 종 특성을 바탕으로 우리나라에는 소나무림이 넓게 분포할 수 있었다.

소나무는 곧게 자라는 특성으로 인하여 우수한 자연자원으로 인정받고 있으며, 목재 생산 또는 녹화를 위해 벌채 및 식재되고 있는 종이다. 그러나 넓은 면적으로 분포하고 있으며 자원으로써 효용성이 높은 소나무림에서의 벌채 또는 간벌 후 식생 재생 기작에 대한 연구는 미흡하다. 본 연구는 소나무림 벌채지의 초기 천이 경로 및 종조성 변화를 통하여 군집의 회복력(resilience) 또는 저항성(resistance)을 분석하고자 한다.

## 조사지역 및 방법

강원도 삼척의 소나무림 벌채지역 및 인접지에서 현장 조사를 실시하였다. 다양한 연령의 벌채지에서 인접지의 나이 및 입지 등이 유사한 지역(상관의 균질성, 사면 중부 등)을 선택하여(Inouye *et al.*, 1987; Pickett, 1989), 서식지 특성에 의한 이질적 식생 발달 가능성을 최소화하였고, 삼척시 하장면(벌채 후 3년 [3yr], 10년 [10yr], 16년 [16yr] 지역)과 도계읍(벌채 후 0.7년 [1yr] 지역) 지역의 벌채지역을 연구 장소로 선정하였다(Figure 1). 각각의 조사지 인접 소나무림에서 대조 자료 (R)를 획득하였다(R1, R3, R10 및 R16). 조사지역 선정은 태백국유림관리소, 삼

척국유림관리소 및 삼척시 산림조합의 자문을 구하여 선정하였다.

조사지 인근의 경관은 산림 및 농경지역으로써, 소나무림, 고랭지 채소재배지 및 주거지역이었다. 주변 식생은 모든 조사구에서 소나무림이었고, 임분의 연령은 40~60년이었다. 현장 조사는 개발지역(주거지, 농경지 및 도로)에서 최소 100 m 이상 떨어진 장소에서 실시하였다. 조사지의 평균 해발, 사면방향 및 경사는 각각 690 m, 220° 및 18° 이었다(Table 1).

1yr 조사구를 제외한 나머지 조사지에서, 식목 작업 후 풀베기와 같은 관리 작업이 이루어지지 않은 지소를 선정하였다. 1yr 조사지는 2008년 10월부터 2009년 2월까지 벌채 작업이 이루어졌고, 현장조사 시기까지 식목작업과 같은 관리가 이루어지지 않았다. 3yr는 자작나무, 10yr는 잣나무, 16yr는 소나무가 각각 식재되어 있었다. 각 조사지의 구조를 분석한 결과, 평균( $n=5$ ) 흉고단면적(area of breast height,  $m^2$ )은 차이가 없었고( $F=0.24$ ,  $p=0.869$ ), 평균 밀도(stems/ha)는 1yr( $1570.0 \pm 103.1$  stems/ha)이 가장 낮았다( $F=3.64$ ,  $p=0.045$ ) (Table 2). 벌채지역의 주요 임분 재생 종은 신갈나무, 굴참나무 및 졸참나무 등의 참나무류 및 쇠물푸레나무 등이었다.

각 조사지역에서 그곳과 인접 숲의 환경 및 식생을 선 조사법 및 방형구법을 적용하여 실시하였다. 각 벌채지 및 인접 임분에서 등고선과 평행한 방향으로 일정 간격(10 m)의 20 m 선조사구를 설치하였다. 각 선에서 5 m 간격으로, 5개 소방형구(1 m×1 m)로 구성된 방형구 (5)를 직각방향으로 설치하였다.

교란지의 기상 변화를 분석하기 위해 온도(Temperature, °C) 및 상대습도(relative humidity, %)를 측정하였다(HOBO PRO Relative Humidity and Temperature Data Logger, Onset Computer Cooperation). 기상 요인의 측정은 R3 및 R16, 3yr 및 16yr 조사지의 중심에서 11일 동안(9월 30일~10월 10일) 측정하였다. 측정된 값들은 10시부터 16시 사이의 값을 평균하여 분석하였다.

각 방형구의 상단에서 수관열림도(Canopy Openness, %) 측정을 위한 어안렌즈 영상을 촬영하였다(Nikon D90, 렌즈 Sigma 4.5 mm; F2.8 EX DC CIRCULAR FISHEYE). 영상은 지상 1 m에서 획득하였고, 분석은 Gap Light

Table 1. Physical and geographical settings of study sites

After clear-cutting	Altitude (m)	Aspect (°)	Slope (°)	Geographical location	
				Latitude	Longitude
1yr	465	225	15	37° 16'01	129° 02'54
3yr	750	195	18	37° 21'21	128° 56'20
10yr	790	220	30	37° 21'12	128° 56'53
16yr	750	235	10	37° 21'48	128° 55'43

**Table 2. Means of area (m<sup>2</sup>/ha) and density (stems/ha) of tree species in study sites**

Species	1yr		3yr		10yr		16yr	
	BHA*	Density	BHA	Density	BHA	Density	BHA	Density
<i>Pinus densiflora</i>	45.2 ± 3.97	1250.0 ± 104.1	53.4 ± 14.3	950.0 ± 170.8	51.0 ± 7.9	1300.0 ± 178.0	43.9 ± 3.8	1650.0 ± 193.6
<i>Quercus mongolica</i>	< 0.1	150.0 ± 64.6	1.34 ± 0.44	1025.0 ± 314.6	1.3 ± 0.5	900.0 ± 402.1	0.5 ± 0.2	350.0 ± 86.6
<i>Q. variabilis</i>	< 0.1	25.0 ± 25.0	< 0.1	50.0 ± 50.0	0.1 ± 0.1	50.0 ± 50.0	1.2 ± 0.6	425.0 ± 85.4
<i>Q. serrata</i>	-	-	-	-	0.1 ± 0.1	100.0 ± 100.0	< 0.1	25.0 ± 25.0
<i>Maackia amurensis</i>	-	-	-	-	-	-	< 0.1	50.0 ± 50.0
<i>Q. dentata</i>	-	-	-	-	-	-	0.1 ± 0.0	75.0 ± 25.0
<i>Rhus javanica</i>	-	-	-	-	-	-	< 0.1	75.0 ± 75.0
<i>Larix kaempferi</i>	-	-	-	-	-	-	1.0 ± 1.0	25.0 ± 25.0
<i>R. tricocarpa</i>	-	-	0.1 ± 0.1	125.0 ± 75.0	0.2 ± 0.2	100.0 ± 100.0	-	-
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	< 0.1	150.0 ± 64.5	< 0.1	100.0 ± 70.7	< 0.1	50.0 ± 50.0	-	-
<i>Lindera obtusiloba</i>	-	-	-	-	0.2 ± 0.2	125.0 ± 125.0	-	-
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	-	-	-	-	0.2 ± 0.2	150.0 ± 150.0	-	-
<i>Sorbus alnifolia</i>	-	-	-	-	< 0.1	25.0 ± 25.0	-	-
Total	45.4 ± 3.9	1575.0 ± 103.1	55.1 ± 14.1	2250.0 ± 295.8	53.2 ± 8.3	2800.0 ± 465.5	51.7 ± 3.8	2675.0 ± 143.6

\*Breast Height Area.

Analyzer v2.0 프로그램을 이용하였다. 촬영은 직사광의 영향을 최소화 할 수 있도록 흐린 날 또는 해 뜨기 전·후 시간대에 수행하였다(Frazer *et al.*, 1999; Haugo and Halpern, 2007).

각 소방형구 내에서, 출현한 종 및 피도(%)를 기록하였다. 그리고 5개 소방형구에서 구한 값의 평균을 하나의 방형구 값으로 하였다(대조구  $n=100$ , 벌채지  $n=100$ ).

각 천이 단계에서, 종조성 변화는 Detrended correspondence analysis(DCA, Hill and Gauch, 1980), Multiple response permutation procedure(MRPP) 및 지표종 분석(Indicator species analysis, ISPAN)을 이용하여 분석하였다(McCune and Mefford, 1999). DCA에서, 네 지역의 대조구를 하나로(R) 묶어서 분석하였고, 벌채 이전의 식생 조성으로 삼았다. 군집 속성 변화는 각 단계별 평균을 구한 후 대조구의 것과 비교하였다. 식물 종은 생활형군(교목류, 아교목류 및 관목류)으로 구분한 후 단계별 평균을 분석하였다. 본 연구에서는 단계별 측정 항목의 차와 같은 통계학적 유의성보다는 경향성 분석에 중점을 두었다. 다변량 및 단변량 분석은 PC-ord 4.0, SPSS 15.0 프로그램을 각각 이용하였다. 식물의 동정은 이창복(1993), 국명 및 학명은 국립수목원·한국식물분류학회(2007)를 따랐다.

## 결 과

### 1. 환경 변화

3yr의 평균 온도는 20.2, 인접 숲 내부인 R3에서는 17.6로써, 벌채지 기온이 숲 속보다 약 15% 높았고, 16yr는 14.4, R16에서는 16.5로 분석되어, 벌채지 기온이 약 13% 낮았다. 3yr의 평균 상대습도는 51.5%, R3에서는 54.7%

**Table 3. Mean canopy openness (%) and light availability (mol · m<sup>-2</sup> · day<sup>-1</sup>) of each studied and reference sites.**

Group	Harvested		Reference	
	Mean	Se	Mean	Se
1yr	68.3	1.0	23.0	1.2
3yr	64.7	0.3	14.6	1.0
10yr	15.1	1.8	9.9	0.6
16yr	5.9	0.3	9.7	0.3

로써, 벌채지 습도가 숲 속보다 약 6% 낮았고, 16yr에서는 58.8%, R16에서는 62.1%로 나타나, 역시 벌채지가 약 5% 낮았다.

벌채 직후(1yr), 수관열림도는 약 세 배 증가하였고(1yr 68.3% 및 R1 23.0%), 이후 점차 감소하였는데, 16년 경과 후에는 대조구의 절반 수준으로 나타났다(16yr 5.9% 및 R16 9.7%) (Table 3). 한편, 대조구의 환경은 인접 벌채지의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 벌채지역 수관열림도가 100%가 되지 않는 것은 180°에 가까운 어안렌즈의 시야각 특성 때문이다.

### 2. 천이 궤적

초기에는 점차 이질적인 식생으로 발달하였고, 10년 경과 이후, 종조성은 벌채 이전의 것으로 점차 접근하고 있는 것으로 나타났다(Figure 1). 또한 다양한 방향으로 식생이 발달하는 것이 나타났다. MRPP 결과(Table 4), 각 벌채구와 대조구의 종조성은 유의하게 차이가 있는 것으로 나타났다. 그리고 처리구와 대조구의 차이는 천이 초기(3yr)에 가장 컸고, 이후 10yr 및 16yr에서 감소하는 것으로 나타났다(A 통계량 참고).

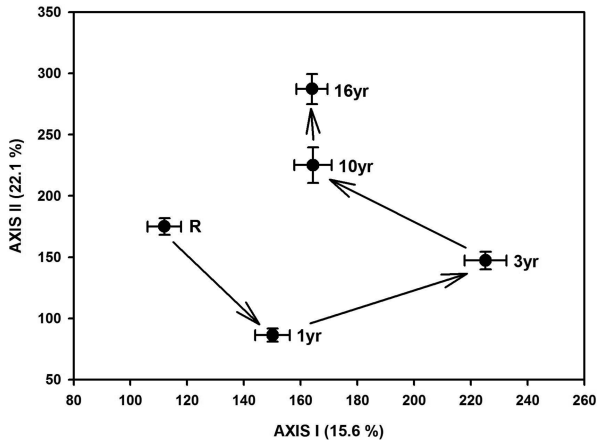


Figure 1. Ordination of species composition in studied forests. The result was shown by centroids and bars of standard errors (se) at each sites. References (R1, R3, R10 and R16) were pulled for analysis.

Table 4. Results of MRPP to detect differences in species composition between harvested and reference plots.

Groups compared	T	A	p
1yr × R1	-3.62	0.05	0.003
3yr × R3	-23.90	0.33	< 0.0001
10yr × R10	-23.60	0.32	< 0.0001
16yr × R16	-15.02	0.20	< 0.0001

하였다(Table 5). 벌채 이전 (대조구)의 지표종은 생강나무, 노박덩굴 및 개웃나무의 3종으로 나타났다. 1yr에서는 굴참나무, 싸리, 붉나무, 졸참나무, 고사리, 마타리 및 호랑버들의 7종이 지표종으로 분석되었고, 고사리, 마타리 및 호랑버들과 같은 열린 환경을 선호하는 종들이 포함되어 있었다. 3yr에서는 식재종인 자작나무, 쇠물푸레나무, 소나무, 산딸기, 철쭉, 뚝갈, 진달래, 신갈나무, 산앵도나무, 명석딸기, 두릅나무 및 기름나물의 12종이 유의한 지표종으로 분석되었으며, 교목 및 관목의 목본 식물이 대부분을 차지하였고, 명석딸기, 두릅나무 및 기름나물과 같은 열린 환경을 선호하는 식물들이 포함되었다.

10yr에서는 큰까치수염, 넓은잎외잎쭉, 선밀나무, 참취, 큰기름새, 세잎양지꽃, 잣나무, 실새풀, 개갈퀴, 잔털제비꽃, 으아리, 수리취 및 뱀고사리 등의 초본 13종이 유의한 지표종으로 분석되었고, 잣나무가 유일한 목본 식물이었다. 16yr에서는 둥굴레, 광릉갈퀴, 가는잎그늘사초, 대사초, 우산나물, 민둥갈퀴, 노루오줌, 모시대, 맑은대쭉, 물개암나무, 노린재나무, 고갈제비꽃, 참조팝나무, 미역취, 잔대, 노루발, 나비나물, 잔털벗나무, 둥근털제비꽃, 꽃머느리밥풀 및 은분취 등 21종의 초본과 물개암나무, 노린재나무 등의 관목 종들이 유의한 지표종으로 분석되었다.

### 고 찰

#### 3. 지표종 분석

대조지역 및 각 교란 이후 발단 단계의 지표종을 분석

벌채와 같은 자연자원의 이용은 생태계 교란을 동반한

Table 5. Species exhibiting significant associations ( $p < 0.05$ ) with a particular stage of vegetation development, based on indicator species analysis (ISPAN). IV means maximum indicator values.

Species	Korean name	Max group	IV (max)	p
<i>Quercus variabilis</i>	굴참나무	1yr	75.3	0.001
<i>Lespedeza bicolor</i>	싸리	1yr	55.7	0.001
<i>Rhus javanica</i>	붉나무	1yr	45.5	0.001
<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	1yr	39.7	0.001
<i>Pteridium aquilinum</i>	고사리	1yr	32.3	0.001
<i>Patrinia scabiosaefolia</i>	마타리	1yr	18.9	0.001
<i>Salix caprea</i>	호랑버들	1yr	9	0.024
<i>Betula platyphylla</i>	자작나무	3yr	100	0.001
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	쇠물푸레나무	3yr	57.9	0.001
<i>Pinus densiflora</i>	소나무	3yr	50.7	0.001
<i>Rubus crataegifolius</i>	산딸기	3yr	50.1	0.001
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	철쭉	3yr	43.9	0.001
<i>Patrinia villosa</i>	뚝갈	3yr	42.3	0.001
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	진달래	3yr	39	0.001
<i>Q. mongolica</i>	신갈나무	3yr	32.6	0.011
<i>Vaccinium hirtum</i>	산앵도나무	3yr	32	0.001
<i>Rubus parvifolius</i>	명석딸기	3yr	19.8	0.001
<i>Aralia elata</i>	두릅나무	3yr	18.6	0.002
<i>Peucedanum terebinthaceum</i>	기름나물	3yr	18.2	0.004
<i>Lysimachia clethroides</i>	큰까치수염	10yr	61.6	0.001
<i>Artemisia stolonifera</i>	넓은잎외잎쭉	10yr	57.8	0.001

**Table 5. Species exhibiting significant associations ( $p < 0.05$ ) with a particular stage of vegetation development, based on indicator species analysis (ISPAN). IV means maximum indicator values.**

Species	Korean name	Max group	IV (max)	p
<i>Viola albida</i>	남산제비꽃	10yr	57.6	0.001
<i>Smilax nipponica</i>	선밀나물	10yr	46.7	0.001
<i>Aster scaber</i>	참취	10yr	40.5	0.001
<i>Spodiopogon sibiricus</i>	큰기름새	10yr	38.4	0.001
<i>Potentilla freyniana</i>	세잎양지꽃	10yr	37.1	0.002
<i>P. koraiensis</i>	жат나무	10yr	36	0.001
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	실새풀	10yr	28.4	0.014
<i>Asperula maximowiczii</i>	개갈퀴	10yr	20	0.001
<i>Viola keiskei</i>	잔털제비꽃	10yr	16.8	0.008
<i>Clematis terniflora</i>	으아리	10yr	16.4	0.005
<i>Synurus deltoides</i>	수리취	10yr	9.5	0.044
<i>Athyrium yokoscense</i>	뱀고사리	10yr	7.8	0.037
<i>Polygonatum odoratum</i>	둥굴레	16yr	80.1	0.001
<i>Vicia venosa</i>	광릉갈퀴	16yr	49.6	0.001
<i>Carex humilis</i>	가는잎그늘사초	16yr	46	0.001
<i>C. siderosticta</i>	대사초	16yr	40	0.001
<i>Syneilesis palmata</i>	우산나물	16yr	39	0.001
<i>Galium kinuta</i>	민둥갈퀴	16yr	37	0.001
<i>Astilbe rubra</i>	노루오줌	16yr	35.9	0.001
<i>Adenophora remotiflora</i>	모시대	16yr	28	0.001
<i>Artemisia keiskeana</i>	맑은대쑥	16yr	27.1	0.034
<i>Corylus sieboldiana</i>	물개암나무	16yr	25.7	0.001
<i>Symplocos chinensis</i>	노린재나무	16yr	22	0.003
<i>Viola rossii</i>	고깔제비꽃	16yr	21	0.001
<i>Spiraea fritschiana</i>	참조팝나무	16yr	20	0.001
<i>Solidago virgaurea</i>	미역취	16yr	19.8	0.001
<i>Adenophora triphylla</i>	잔대	16yr	19.7	0.002
<i>Pyrola japonica</i>	노루발	16yr	16	0.003
<i>Vicia unijuga</i>	나비나물	16yr	15.7	0.002
<i>Prunus serrulata</i>	잔털벚나무	16yr	15.7	0.012
<i>Viola collina</i>	둥근털제비꽃	16yr	12.7	0.015
<i>Melampyrum roseum</i>	꽃머느리밥풀	16yr	12	0.008
<i>Saussurea gracilis</i>	은분취	16yr	7.5	0.036
<i>Lindera obtusiloba</i>	생강나무	Reference	39.1	0.001
<i>Rhus tricocarpa</i>	개웃나무	Reference	23.2	0.024
<i>Celastrus orbiculatus</i>	노박덩굴	Reference	13.4	0.024

다. 산불을 제외하면, 벌채는 우리나라에서 가장 강한 수준의 인위적 교란이 된다. 소나무림 벌채는 임분 구조를 매우 급격하게 변화시키는데, 이에 따라 수관열림도가 세 배로 크게 증가되었다. 천이 초기에는 벌채지 기온이 대조구와 비교하여 더 높았으나, 16yr에서는 더 낮았다. 이것은 교목 및 관목의 발달에 의해 임목 밀도가 매우 높아져 광량을 감소시키기 때문인 것으로 판단된다. 상대습도는 대조구와 비교하여 5~6% 수준으로써, 비교적 작은 차이가 있었다. 상대습도가 토양습도에 영향을 주는 것을 고려하면, 개별 작업이 토양수분의 큰 감소를 가져오지는 않을 것으로 생각된다. 한편 대조구의 환경 요인 측정값은 인접한 벌채지의 영향이 있을 것으로 생각된다.

소나무림 벌채 후 이차천이는 제한적인 종의 이입 및 기

존 구성종이 주요 역할을 수행하여 초기 식물상 조성 모델(IFC, Initial Floristics Composition Model)로 설명이 가능한 것으로 생각된다. 벌채 직후, 열린 서식처를 선호하는 마타리, 고사리 및 호랑버들 지표종으로 분석되었다. 이후 3yr에서는 자작나무, 소나무, 신갈나무 및 쇠물푸레나무의 교목종, 철쭉, 진달래 및 산앵도나무의 관목종이 주요 지표종으로 분석되었는데, 산림성 목본 종 중심으로 군집의 구성종이 변화하는 것을 나타내었다. 이것은 1년 생 초본과 같은 침입종들의 역할이 천이 초기에 제한적이라는 것을 말한다. 또한 천이 초기에는 목본 종의 활발한 확산이 임분 재생에 주요 역할을 수행한다는 것을 의미한다. 벌채 후 10년 이후에는 목본 종들의 성장으로 형성된 공간으로 초본 식물들이 발달하게 된다.

벌채 직후, 식물 군집은 재빠른 종조성의 변화를 나타내었고, 이후 방향성이 뚜렷해진 않지만, 점진적인 종 조성 회복을 나타내었다(Figure 1). 본 연구의 대상이 된 벌채지역은 개별 지역으로써, 매우 강한 수준의 교란이 발생한 곳이다. 이러한 교란 후 임지의 온·습도 및 수관열림도는 16년 이내에 교란 이전 수준을 회복하는 것으로 나타났다. 이러한 회복능력은 활엽수림 간벌 이후, 종 조성 및 환경 회복 속도와 유사하다. 개별 후 초기의 비교적 낮은 상대습도 변화 (약 6%)를 통하여 토양습도의 작은 변화를 유추할 수 있으며, 이것은 기존의 구성 종들의 생존과 종조성 회복에 긍정적인 영향을 주었을 것이다. 연구 대상지역에서, 풀베기와 같은 추가적 교란이 없었던 것 역시 식생의 회복에 도움을 주었을 것이다.

교란 후 식생의 발달 또는 회복을 분석하기 위해서는 고정조사지 설치에 의한 연구가 필요하다. 본 연구에서, 발달단계가 다른 벌채 지역과 대조 지역의 식생을 분석하여 환경, 식생 조성의 발달, 주요 구성종의 특성 등을 분석하였다. 비교적 천이 초기의 궤적을 분석한 결과로써, 정확한 교란 후 식생의 발달을 관찰하기에는 부족하다. 그러나 본 연구는 각 단계의 교란지 인접 지역에서 대조 자료를 획득하여 해석의 신뢰성을 향상시켰다. 교란 후 식생의 발달을 분석하여 군집의 회복력 등을 엄밀히 분석하기 위해서는 벌채 이전의 식생 및 이후의 식생을 고정 조사지를 설치하여 관찰하는 것이 기본이지만, 우리나라에서는 본 연구와 같이 간접적인 분석 방법만이 이루어지고 있다. 이 방법은 환경의 불균질성 등에 의해 항상 해석의 한계가 발생한다. 장기 관찰은 기존의 일반적으로 수용되던 생태학 이론에 대한 검증뿐만 아니라 최근의 환경변화에 유연히 대응할 수 있는 과학적 기초를 제공할 수 있다. 예를 들면, Lutz and Halpern(2006)은 장기 조사를 통하여, 노령림 단계에서 관찰되며, 임분의 구조적 복잡성 형성에 기여하는 숲 틈 형성이 연령 40년 이하의 임분에서 관찰된다는 것을 밝힌 바 있다. 이것은 생태학자들이 식생 발달 단계를 너무 단순하게 인식하고 있었다는 것을 지적한 점에서 큰 의미가 있으며, 장기 관찰의 중요성을 재확인 시키고 있다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청 “산림과학기술개발사업(과제번호 : S121010L020100)”의 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

## 인용문헌

1. 국립수목원, 한국식물분류학회. 2007. 국가표준식물목록. 국립수목원. pp. 534.

2. 동북아산림포럼. 2000. 한국의 산림과 임업. 동북아산림포럼, 서울.
3. 이창복. 1993. 대한식물도감. 향문사. pp. 990.
4. 이창석, 김홍은. 1989. 소나무림의 천연하중갱신을 위한 생태학적 연구. 충북대학교 농업과학연구 7: 100-109.
5. Cho, Y.C., Pee, J.H., Kim, K.S., Koo, B.Y., Cho, H.J. and Lee, C.S. 심사중. Vegetation responses to forest thinning in natural and planted broadleaved forests in southeast Korea: a chronosequence study.
6. Frazer, G.W., Canham, C.D. and Lertzman, K.P. 1999. Gap light analyzer (GLA), version 2.0: imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Frazer University, Burnaby, BC, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY.
7. Halpern, C.B. 1989. Early successional patterns of forest species: interactions of life history traits and disturbance. Ecology 70: 704-720.
8. Haugo, R.D. and Halpern, C.B. 2007. Vegetation responses to conifer encroachment in a dry, montane meadow: a chronosequence approach. Canadian Journal of Botany 85: 285-298.
9. Hill, M.O. and Gauch, Jr H.G. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. Vegetatio 42: 47-58.
10. Inouye, R.S., Huntly, J.N., Tilman, D., Tester, J.R., Stillwell, M. and Zinnel, K.C. 1987. Old-field succession on a Minnesota sand plain. Ecology 68: 12-26.
11. Kimmin, J.P. 2003. Forest ecology: a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry, 3rd edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
12. Lee, C.S., Kim, J.H., Yi, H. and You, Y.H. 2004. Seedling establishment and regeneration of Korean red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) forests in Korea in relation to soil moisture. Forest Ecology and Management 199: 423-432.
13. Lutz, J.A. and Halpern, C.B. 2006. Tree mortality during early forest: A long-term study of rates, causes, and consequences. Ecological Monographs 76: 257-275.
14. McCune, B. and Mefford, M.J. 1999. PC-Ord. Multivariate analysis of ecological data. Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
15. Pickett, S.T.A. 1989. Space for time substitution as an alternative to long-term studies. In: Likens GE (ed), Long-term studies in ecology. Wiley, Chichester, pp 71-88.
16. Walker, L.R. and del Moral, R. 2003. Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

(2011년 2월 23일 접수; 2011년 4월 21일 채택)