

강원도 남부 지역에서 소나무림 개벌 후 초기 임분 구조 및 하층식생 발달

배관호¹ · 김준수² · 이창석³ · 조현재⁴ · 이호영⁵ · 조용찬^{6*}

¹경북대학교 생태환경시스템학부, ²경북대학교 임학과, ³서울여자대학교 환경생명과학부,
⁴안동대학교 생명자원과학부, ⁵산림청 산림휴양문화과, ⁶국립수목원 산림자원보존과

Initial Development of Forest Structure and Understory Vegetation after Clear-cut in *Pinus densiflora* Forest in Southern Gangwon-do Province

Bae, Kwan Ho¹, Jun Soo Kim², Change Seok Lee³, Hyun Je Cho⁴,
Ho Young Lee⁵ and Yong Chan Cho^{6*}

¹School of Ecology & Environmental System, Kyungpook National University, Sangju 743-711, Korea

²Department of Forestry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

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

⁴School of Bioresource Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea

⁵Forest Recreation and Culture Division, Korea Forest Service, Daejeon 302-701, Korea

⁶Plant Conservation Division, Korea National Arboretum, Pocheon 487-821, Korea

요 약: 천이 모형과 같이 임분 교란 후 수관 닫힘 단계까지의 다양한 생태적 특성 변화에 관한 많은 연구가 있으나 우리나라는 다양한 연구가 수행되고 있지 않다. 본 연구는 강원도 남부 소나무림 개벌 후 임분 구조, 환경 및 하층식생 풍부성의 경시적 변화 추이를 발달 단계별(1yr, 3yr, 10yr 및 16yr)로 분석하였다. 임분구조 분석 결과, 벌채 후, 평균 줄기 밀도는 16yr에 5,714±645 stems/ha 까지 점차 증가하였고, 평균 기저면적 역시 10yr에 5.5±0.7 m²/ha, 그리고 이후 16yr(10.0±1.6 m²/ha)까지 거의 두 배로 증가함을 알 수 있었다. 숲 바닥의 나무 잔해 및 토양 노출도는 16yr의 11% 및 3yr의 10.3%에서 각각 최고점을 나타낸 후 감소하는 경향이였다. 하층식생 피도는 16년 동안의 임분 구조 발달에 따라 모든 생육형에서 모두 감소하는 경향이였으나, 광엽 초본의 중풍부도는 반대로 증가하는 경향을 나타내었다. 특히, 임분의 상층식생 발달은 하층 식생 속성을 억누르기 보다는 필터 역할과 같이 선택적 영향을 미치는 것으로 생각되었다. 본 연구와 더불어 보다 세밀한 생태 속성 변화를 관찰하기 위해서는 임분의 초기 발달 패턴과 과정에 대한 연속 모니터링이 중요하다.

Abstract: Open- to closed canopy stage and its ecological characteristics in vegetation succession are commonly described, but poorly understood in Korea. Vegetation development on structure, environment and understory abundance were studied for 16 yr in post-clearcut *Pinus densiflora* forests in the southern Gangwon-do province by applying space-for-time approach. We sampled 210 plots (10 for structure and 200 for understory) for four seral stages (1yr, 3yr, 10yr and 16yr). After clear-cut, mean stem density increased gradually to 5,714±645 stems/ha after 16 years and mean basal area was also from 5.5±0.7 m²/ha after 10 years and doubled at 10.0±1.6 m²/ha in 16 years. Woody debris and bared soil on the forest floor peaked at 11% after 10 years and at 10.3% after 3 years, respectively. In understory mean cover declined with all growth form groups following succession, but in richness, forb specie increased with structural development during 16 years. Our study suggested that overstory development did not suppress whole understory properties especially in richness, thus appeared to act as a filter selectively constraining the understory characteristics. However only long-term studies are essential for elucidating patterns and processes that cannot be inferred from short-term or space-for-time researches. Strong negative relationship between overstory and understory characteristics in conventional models surely reexamined.

Key words : canopy closure, forest development, forest structure, *Pinus densiflora*, understory richness

*Corresponding author
E-mail: bz0288@forest.go.kr

서 론

우리나라에서 소나무림 교란 후 임분구조 재생 및 풍부성(피도 및 다양성)의 발달 양상에 관한 연구는 찾아보기 어렵다. 벌채와 같은 산림 생산 작업 이후 식생 천이의 양상 및 경로를 밝히는 것은 산림생태학 연구의 기초 분야임에도 불구하고 국내 연구가 미진한 상태이다. 지금까지 교란 후 식생 천이에 관한 국내 연구는 주로 휴경 또는 산불 이후의 식생 발달에 관하여 이루어져 왔다(You and Lee, 2003; Lee et al., 2004; Lee, 2006).

강원도는 소나무림이 넓게 분포하고 있으며, 다양한 산림 작업이 이루어지고 있다. 교란 후 식생 재생 기작을 이해하는 것은 지속가능한 자연자원 이용을 위한 과학적 기초임에도 불구하고 지속적인 연구가 부족하다(예 Lee et al., 2004). 한편, 강원 지역 소나무림 벌채 후 천이 초기의 종조성 변화는, 기존의 다년생 초본 및 목본성 종의 역할에 의해 진행되는 초기 종조성 모델(IFC, Initial Floristics Composition Model)로 설명이 가능하며, 일년생 초본의 역할은 제한적인 것으로 나타나고 있다(Cho et al., 2011).

지난 수십 년 간의 관찰 및 실험적 연구들은 교란 후 천이를 통하여 어떤 군집으로부터 종의 이입, 발달 그리고 교대의 과정에 지역에 따라 수많은 양상 및 과정이 나타난다는 것을 보여주고 있다(Halpern, 1989). 산림을 대상으로 한 벌채 작업은 식물 종 다양성의 대부분을 포함하고 있는 하층 식생의 종풍부도를 증가(Metlen and Fiedler, 2006; Dodson et al., 2008), 감소(Metlen et al., 2004; Fulé et al., 2005) 또는 뚜렷하지 않은(Nelson et al., 2008) 변화 등 다양한 반응을 가져온다. 또한 종 피도 변화는 서식처 선호성, 생육형과 같은 식물 기능군에 따라 다양하게 나타나는데, 이것은 종 별 교란 내성 및 회복력의 차이가 있음을 보여준다(Halpern, 1988; Metlen et al., 2004; Metlen and Fiedler, 2006; Moore et al., 2006).

본 연구의 시간적 범위는 일반적인 임분 발달 모형에 따르면 수관 닫힘 단계(canopy closure stage)에서 줄기 밀도 조절 단계(stem exclusion stage)로 진행되는 과정으로 판단된다(Franklin et al., 2002). 연구 장소에는 수관 닫힘 단계에서 주로 확인되는 다양한 현상들이 존재하는데, 하층 광량의 감소 및 상대습도 증가는 이러한 판단을 뒷받침한다(Cho et al., 2011a). 본 연구의 천이 단계는 수관 형성 후 줄기 밀도 조절 단계로 진입하기 이전으로, 이러한 상층 식생의 발달은 피도 및 다양성과 같은 하층 식생의 양에 직접적인 영향을 미치게 된다. 우리는 이 단계에서 임분 구조 발달에 따른 광량 감소, 자원 경쟁에 의해 하층식생의 피도 및 다양성 감소와 같은 생태 속성의 급격한 변화를 예상할 수 있다(Christensen and Peet, 1984). 임분 발달에 대한 많은 모형과 제안들이 활발히 논의되고 있으

나 국내의 천이 모형에 대한 연구는 미진하다. 본 연구에서는 강원도 지역 소나무림 개발에 따른 식생 구조와 하층식생의 피도 및 종풍부도 발달 양상을 분석하였다.

재료 및 방법

본 연구지역은 Cho et al.(2011)과 동일한 강원도 삼척시 일대에서 수행되었다(연구방법 참고). 다양한 연령의 벌채지에서 인접지의 나이 및 입지 등이 유사한 지역(상관의 균질성, 사면 증부 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. 각 벌채지 인근 소나무 숲에서 대조구를 벌채지 조사구와 동일한 방법으로 조사하였다. 조사지역 선정은 태백국유림관리소, 삼척국유림관리소 및 삼척시 산림조합의 자문을 구하여 선정하였다. 조사지 인근의 경관은 산림 및 농경지역으로써, 소나무림, 고랭지 채소재배지 및 주거지역이었다. 주변 식생은 모든 조사구에서 소나무림이었고, 임분의 연령은 40~60년 이었다. 현장 조사는 개발지역(주거지, 농경지 및 도로)에서 최소 100 m 이상 떨어진 장소에서 실시하였다. 조사지소의 평균 해발, 사면방향 및 경사는 각각 690 m, 220° 및 18° 이었다(Table 1).

산림 벌채 후 환경 변화는 숲 바닥의 토양노출도(%)를 통하여 분석하였으며, 임분의 구조 발달은 숲 바닥의 목질성 잔해물 피도(%) 및 식생 높이, 임목의 기저 단면적(basal area)과 밀도를 통하여 분석하였다. 벌채 후 발달한 식생 높이에 따라 서로 다른 크기의 방형구를 설치하였다. 본 연구에서는 중수-면적 곡선 추정에 의한 방형구 크기 산정을 실시하지 않고, 우점종 수고를 한 번으로 하는 방형구를 적용하였다(Barbour et al., 1998). 10년 경과(10yr) 장소에서는 25 m², 그리고 16년 경과(16yr) 장소에서는 100 m² 방형구를 각각 5개 설치한 후 조사구 상층의 높이 및 흉고직경 5 cm 이상 구성목의 기저(지상 20 cm) 직경을 측정하였다. 숲 바닥의 목질성 잔해물 피도 및 토양노출도 정도는 하층식생 조사와 병행하여 수집하였다.

Table 1. Physical and geographical settings of study sites.

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

벌채 후 하층식생(높이 <1.7 m) 변화를 측정하기 위해, 각 벌채지에서 등고선과 평행한 10 m 간격의 길이 20 m 선조사구(5개)를 설치한 후, 각 선조사구에서 사면 아래 방향으로 5 m 간격의 5개 소방형구(1 m²)로 이루어진 방형구(5 m²)를 구성하였다. 각 방형구 내 소방형구에 출현한 식물종 및 그 피도(%)를 기록한 후, 5개 소방형구 평균을 하나의 방형구 값으로 하였다(n=100). 이에 더하여, 이와 동일한 체계를 적용하여 각 조사 단계 연결한 소나무림에서 대조 자료를 획득하였다(n=100).

각 조사 단계의 임분 구조 변화는 식생 높이, 숲 바닥의 목질성 잔해물 피도, 기저 단면적 및 줄기 밀도 변화 등을 통하여, 숲 바닥의 환경은 토양노출도 변화를 통하여 분석하였다. 각 단계에서 구성종의 전체적인 평균 피도 및 종다양도를 분석함과 아울러, 교목성 종, 관목성 종, 광엽초본(고사리류 포함) 및 협엽초본(벼과 및 사초과) 등 생육형별 구성종의 피도 및 종풍부도도 분석하였다. 출현 식물의 동정은 이창복(1993), 그리고 국명 및 학명은 산림청(2007)을 따랐다.

연구결과

1. 식생 구조 및 환경 발달

산림에 대한 벌채 교란 10년 이후 기저 단면적은 5.5±0.7 m²/ha이었지만, 16년 이후에는 10.0±1.6 m²/ha로 급격히 증가하는 경향이였다(Figure 1). 교목성 종의 줄기 밀도는 벌채 후 10년까지 5,280±512 stems/ha로 급격히 증가한 후, 16년에는 5,714±645 stems/ha로 약간 증가세가 감소하였다. 조사 단계 별 평균 식생 높이는 1yr, 3yr, 10yr 및 16yr에서 각각 평균 <1 m, 평균 1.3 m, 평균 4.5 m 및 평균 8.0 m 수준으로 나타났다. 재생 구성종에 대해서, 10yr에서는 기존 수관 하층을 구성하던 신갈나무 벌채 후 맹아지 발달에 의해 신갈나무가 우점하고 물푸레나무 및 굴참나무가 일부 관찰되었고, 16yr에 있어서는 역시 신갈나무가 우점하는 가운데 소나무 및 굴참나무가 관찰되었다.

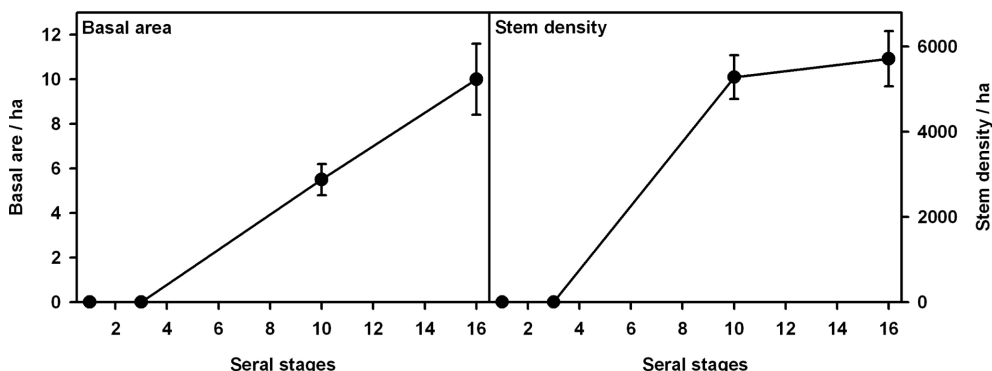


Figure 1. Seral trends in basal area (left) and stem density (right) after clear cutting in *Pinus densiflora* stands.

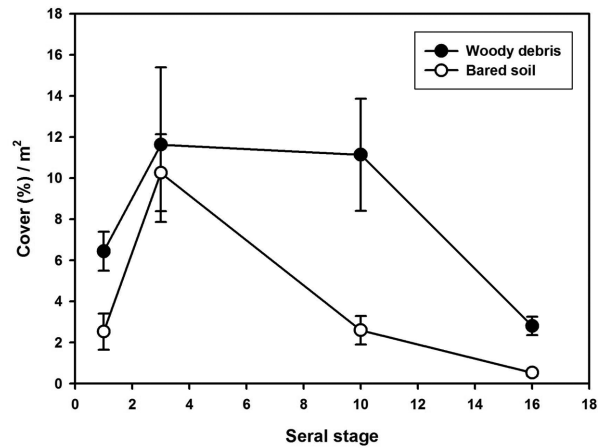


Figure 2. Seral trends in covers of woody debris and bared soil on the forest floor after clear cutting in *Pinus densiflora* stands.

숲 바닥의 목질성 잔해물 피도는 벌채 직후 6.4% 수준이었다가 도중단계에서 약 11% 수준을 유지한 후 16yr (2.8%)에서는 감소하였다. 토양노출도는 3yr에서 10.3%로 최고점을 나타내었으며 이후 급격하게 감소(10yr 2.6% 및 16yr 0.5%)하는 양상을 나타내었다.

2. 식생 피도 및 종풍부도 발달

각 천이 단계 및 대조구의 평균 피도 및 종풍부도를 분석하였다(Table 2). 본 연구에서는 하층식생 종조성 및 다

Table 2. Means (± se) of cover and species richness of each studied and reference plots.

Parameter	Seral stages			
	1yr	3yr	10yr	16yr
Clearcutting				
Cover (%)	30.6 ± 2.5	38.4 ± 1.7	26.7 ± 4.8	11.1 ± 1.2
Richness(%)	12.9 ± 1.0	12.4 ± 0.3	16.6 ± 1.7	17 ± 0.7
Reference				
Cover (%)	33.0 ± 4.1	18.5 ± 3.0	15.9 ± 1.3	13.5 ± 0.9
Richness(%)	13.5 ± 0.7	15.1 ± 0.8	12.4 ± 0.6	12.2 ± 0.6

양성의 공간적 다양성을 보완하고자 대조구와 벌채구에서 동일한 방형구 조사법을 적용하였으며, 각 천이단계의 대조구에 대한 상대값을 중심으로 관찰하여 식생 발달에 따른 식생 변화를 분석하였다. 벌채 직후 피도(1yr)는 약간 감소한 후(1yr 대조구 피도의 약 93%), 이후 3yr에서 38.4% 및 3yr 대조구의 207% 수준으로 나타나 가장 높았으며, 10yr에서 26.7%, 그리고 이후 감소(16yr 11.1%)하는 경향이었다.

벌채 후 초기에는 종풍부도는 약간 감소(1yr 12.9종 및 대조구 13.5종, 그리고 3yr 12.4 종 및 대조구 15.1종)한 후, 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다(10yr 16.6종 및 16yr 17.0종).

전체 조사구(벌채지 및 대조구)에서 각각 출현 빈도 20% 이상의 종들에 대한 평균 피도 및 빈도를 나타내었다(Table 3 및 4). 벌채지에서, 교목종에서는 신갈나무(82%)와 쇠물푸레나무(62%)가 높은 빈도를 나타내었으며, 각 종은 3yr에서 가장 높은 피도(신갈나무 8.3% 및 쇠물푸레나무 7.1%)를 나타내었다. 관목성 종에서는 싸리(63%) 및 산딸기(53%)가 가장 높은 빈도로 출현하였으며, 3yr에서 비교

적 높은 피도를 나타내었다. 광엽초본에서는 세잎양지꽃(65%) 및 삼주(48%)가 비교적 높은 빈도로 출현하였으며, 3yr 및 10yr에서 비교적 높은 피도를 나타내었다. 협엽초본에서는 가는잎그늘사초(91%) 및 큰기름새(85%)가 높은 빈도를 나타내었으며, 10yr 및 16yr에서 비교적 높은 피도를 나타내었다.

전체 대조구의 고빈도 종은 벌채구의 것과 유사하게 나타나는 경향이었다(Table 4). 교목종에서는 쇠물푸레나무(91%)와 신갈나무(83%)가 높은 빈도를 나타내었으며, 관목종에서는 생강나무(72%), 개웃나무(50%) 및 싸리(30%), 광엽초본에서는 맑은대쭉(72%), 삼주(53%) 및 고사리(43%), 그리고 협엽초본에서는 가는잎그늘사초(88%) 및 큰기름새(86%)의 순으로 높은 빈도를 나타내었다.

3. 생육형 별 피도 및 종 풍부도 발달

각 생육형 별 평균 피도를 추적하여 변화 양상을 분석하였으며(Figure 3), 대조구의 생육형 별 평균 피도 및 종 풍부도는 Table 5에 제시하였다. 교목성 종 피도는 벌채 직후(1yr 벌채구 16.8% 및 대조구 17.2%)와 비교하여 3yr

Table 3. In clearcutted plots, mean cover (%) and frequency (%) of plant species revealing above 20% frequency with overall stages of vegetation development.

Species	Korean name	Overall Freq. ^z	1 yr		3 yr		10 yr		16 yr	
			Cover	Freq.	Cover	Freq.	Cover	Freq.	Cover	Freq.
Tree										
<i>Quercus mongolica</i>	Sin-gal-na-mu	82	7.1	96.0	8.3	92.0	4.1	60.0	2.0	80.0
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	Soe-mul-pu-re-na-mu	62	2.7	76.0	7.1	92.0	2.0	64.0	0.8	16.0
<i>Pinus densiflora</i>	So-na-mu	32	0.4	52.0	0.7	64.0	2.2	4.0	0.3	8.0
<i>Quercus variabilis</i>	Gul-cham-na-mu	28	4.0	96.0	0.8	4.0	2.9	8.0	0.2	4.0
<i>Betula platyphylla</i>	Ja-jak-na-mu	25	-	-	5.1	100.0	-	-	-	-
Shrub										
<i>Lespedeza bicolor</i>	Ssa-ri	63	3.3	96.0	1.6	80.0	1.1	52.0	0.8	24.0
<i>Rubus crataegifolius</i>	San-ttal-gi	53	-	-	2.6	84.0	1.2	92.0	0.5	36.0
<i>Lindera obtusiloba</i>	Saeng-gang-na-mu	42	2.2	40.0	0.7	32.0	2.4	80.0	0.4	16.0
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	Cheol-jjuk	37	2.7	68.0	5.9	76.0	12.0	4.0	-	-
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	Jin-dal-rae	10	-	-	2.3	40.0	-	-	-	-
<i>Corylus heterophylla</i>	Gae-am-na-mu	24	-	-	-	-	2.7	28.0	0.8	68.0
Forb										
<i>Potentilla freyniana</i>	Se-ip-yang-ji-kkot	65	0.3	32.0	2.3	72.0	2.1	80.0	0.4	76.0
<i>Atractylodes ovata</i>	Sap-ju	48	0.4	60.0	0.5	28.0	0.4	36.0	0.3	68.0
<i>Aster scaber</i>	Cham-chwi	41	0.4	20.0	0.0	0.0	1.9	60.0	0.5	84.0
<i>Artemisia keiskeana</i>	Mal-geun-dae-ssuk	66	0.9	40.0	0.7	68.0	0.6	60.0	0.8	96.0
<i>Polygonatum odoratum</i>	Dung-gul-re	40	0.3	36.0	0.4	20.0	0.3	8.0	0.6	96.0
<i>Pteridium aquilinum</i>	Dung-gul-re	38	5.2	76.0	-	-	7.5	52.0	1.0	24.0
<i>Patrinia villosa</i>	Ttuk-gal	23	0.1	4.0	1.1	48.0	0.3	36.0	0.1	4.0
<i>Smilax nipponica</i>	Seon-mil-na-mu	22	0.5	4.0	-	-	0.9	56.0	0.6	28.0
Graminoid										
<i>Carex humilis</i>	Ga-neun-ip-geu-neul-sa-cho	91	0.7	92.0	1.5	80.0	1.3	92.0	3.0	100.0
<i>Spodiopogon sibiricus</i>	Keun-gi-reum-sae	85	1.8	96.0	1.0	60.0	3.2	92.0	0.6	92.0
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	Sil-sae-pul	42	0.4	56.0	-	-	0.7	56.0	0.3	56.0

^zFreq.: means percentage of total quadrats that contains at least one rooted individual of a given species.

Table 4. In reference plots, mean cover (%) and frequency (%) of plant species revealing above 20% frequency.

Species	Korean name	Overall Freq. ^z	1 yr		3 yr		10 yr		16 yr	
			Cover	Freq.	Cover	Freq.	Cover	Freq.	Cover	Freq.
Tree										
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	Soe-mul-pu-re-na-mu	91	3.6	100	1.3	88	0.9	96	1.0	80
<i>Quercus mongolica</i>	Sin-gal-na-mu	83	6.9	100	4.0	84	2.8	52	1.9	96
<i>Quercus variabilis</i>	Gul-cham-na-mu	30	3.0	100	1.2	8	0.6	4	0.8	8
Shrub										
<i>Lindera obtusiloba</i>	Saeng-gang-na-mu	72	1.7	40	5.7	84	7.8	100	3.3	64
<i>Rhus trichocarpa</i>	Gae-ot-na-mu	50	1.5	16	1.1	48	0.7	64	1.8	72
<i>Lespedeza bicolor</i>	Ssa-ri	30	1.6	84	0.6	24	0.8	4	0.4	8
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	Jo-rok-ssa-ri	30	2.7	12	2.1	40	0	0	2.4	68
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	Cheol-jjuk	22	7.3	76	0.2	4	1.0	4	1.2	4
<i>Actinidia</i> spp.	Da-rae	20	-	-	0.5	36	0.5	24	0.5	20
Forb										
<i>Artemisia keiskeana</i>	Mal-geun-dae-ssuk	72	0.6	40	1.5	88	0.9	88	0.8	72
<i>Atractylodes ovata</i>	Sap-ju	53	0.6	60	0.4	52	0.4	44	0.3	56
<i>Pteridium aquilinum</i>	Go-sa-ri	43	3.7	84	2.4	44	0.9	28	1.2	16
<i>Potentilla freyniana</i>	Se-ip-yang-ji-kkot	31	0.3	48	0.4	52	0.4	20	0.1	4
<i>Polygonatum odoratum</i>	Dung-gul-re	26	0.4	20	0.1	4	0.3	32	0.3	48
<i>Artemisia stolonifera</i>	Neol-beon-ip-oe-ip-ssuk	23	-	-	0.9	28	0.4	36	0.7	28
<i>Aster scaber</i>	Cham-chwi	21	0.7	32	0.5	32	0.4	12	0.3	8
Graminoid										
<i>Carex humilis</i>	Ga-neun-ip-geu-neul-sa-cho	88	0.8	100	0.5	88	0.4	68	1.6	96
<i>Spodiopogon sibiricus</i>	Keun-gi-reum-sae	86	2.0	96	1.4	72	0.6	84	1.7	92
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	Sil-sae-pul	33	0.6	64	0.2	16	0.5	28	0.3	24

^zFreq.: see the Table 3.

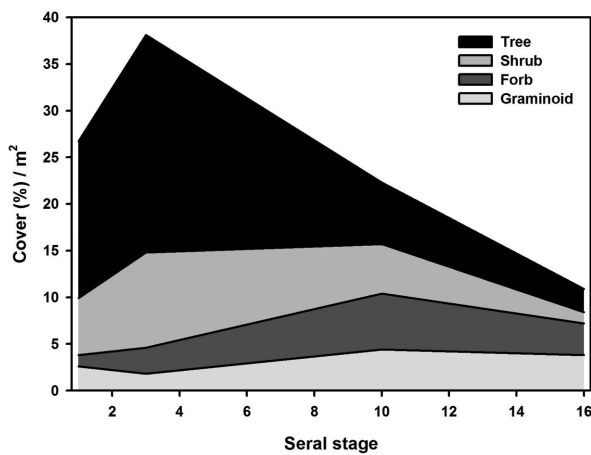


Figure 3. Changes in mean(additive) cover with seral stages for 4 life form groups.

에서 약 1.4배 증가(23.3%)하였으며, 이후 10yr 및 16yr까지 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 관목성 종의 피도는 벌채 직후(6.1%), 3yr(10.2%)에서 가장 높았으며, 이후 크게 감소하였다. 광엽초본의 경우, 교란 이후 10yr(6.0%)까지 증가하는 양상을 나타낸 후, 16yr에서 3.4%로 감소하였다.

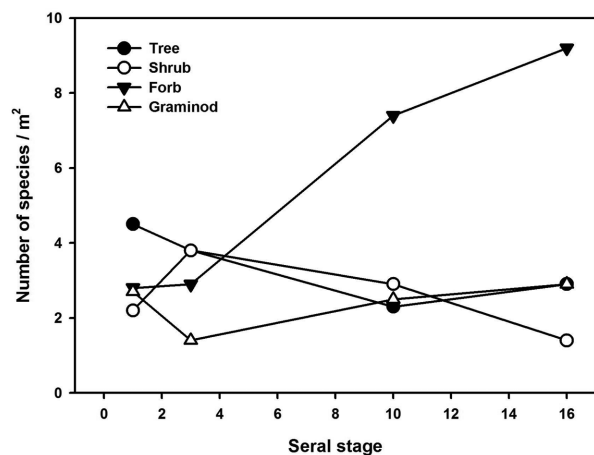


Figure 4. Changes in mean species richness with seral stages for 4 life form groups.

교목성 종(4종에서 3종)의 풍부도는 거의 변화가 관찰되지 않았으며, 관목성 종은 3yr에서 약간 증가한 후 감소하는 경향이였다(Figure 4). 광엽초본(1yr 3종 및 16yr 9종)은 벌채 교란 후 종풍부도가 가장 현저하게 증가하였으며, 협엽초본은 3yr에서 약간 감소한 후 회복하는 경향을 나타내었다(Table 5 참조). 벌채 후 식생 발달에서

Table 5. Means (\pm se) of cover and richness of tree, shrub, forb and graminoid species in reference plots. Each group n = 25.

Type and parameters	Group	Tree	Shrub	Forb	Graminoid
Cover	1 yr	17.2 \pm 2.3	8.3 \pm 1.4	1.3 \pm 0.5	3.1 \pm 0.8
	3 yr	5.4 \pm 1.0	6.7 \pm 1.5	3.3 \pm 0.5	1.4 \pm 0.3
	10 yr	3.2 \pm 0.3	10.2 \pm 0.5	1.3 \pm 0.3	0.5 \pm 0.2
	16 yr	4.8 \pm 0.6	3.9 \pm 0.9	1.2 \pm 0.3	3.1 \pm 0.5
Richness	1 yr	4.3 \pm 0.1	2.3 \pm 0.1	3.3 \pm 0.6	2.8 \pm 0.1
	3 yr	3.0 \pm 0.4	2.4 \pm 0.1	6.0 \pm 0.8	1.8 \pm 0.1
	10 yr	2.9 \pm 0.2	2.3 \pm 0.4	4.2 \pm 0.4	1.8 \pm 0.3
	16 yr	3.4 \pm 0.1	1.8 \pm 0.3	3.3 \pm 0.3	2.1 \pm 0.2

덩굴식물의 피도와 풍부도의 두드러지는 변화는 나타나지 않았다.

논 의

본 연구와 같은 space-for-time에 의한 천이 연구의 신뢰성은 충분이 보고되고 있으나, 이와 동시에 천이 진행 과정과 이에 대한 모형을 설명하는데 분명한 한계가 존재한다(예, Alaback, 1982; Moola and Vasseur, 2004; Jules et al., 2008; Cho et al., 2011b). 그리고 이러한 한계는 고정조사구 모니터링에 의해서만 극복될 수 있으며, 다양한 천이 단계에서 장기 모니터링이 필요한 근거가 된다. 본 연구에서는 연구방법의 한계를 극복하고자, 각 단계의 조사 지역과 연결한 임분에서 대조자료를 충분히 획득하여 상호 비교하는 방식을 취하였다. 또한 본 연구의 식생 재생 초기 과정은 자연 교란이 아닌 벌채 교란 이후 재생이며, 비교적 좁은 면적에서 진행되고 있으므로 시공간적 일반화에 있어서 이러한 점들을 고려해야 한다.

1. 임분 상층 발달과 임분 환경

식생 높이는 16년 동안 약 8 m 수준으로 성장하였다. 임목 기저단면적(0에서 10.0 \pm 1.6 m²/ha) 및 밀도(0에서 5,714 \pm 645 stems/ha)는 벌채 교란 후 16년 동안 매우 크게 증가하였다. 숲바닥의 목질성 잔해물 피도는 벌채 직후 증가하여 11년 이후 감소하였다. 벌채 후 식생 구조의 발달은 신갈나무 등의 맹아 성장에 의한 것으로 사전 정착 개체의 영향이다(Cho et al., 2011). 조사 지역에서 맹아 줄기 외의 호랑버들, 물푸레나무 및 쇠물푸레나무의 교목성 종과 생강나무 등의 관목성 종의 종자 발아 개체들이 관찰되었으나, 임분 구조의 발달에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 사전 정착 개체의 활발한 성장은 외래종 및 교란지 종들의 정착을 초기에 차단할 수 있는 과정으로 생각된다. 숲 바닥의 목질성 잔해물 피도는 작업에 의한 형성과 초기 맹아지 발달 과정에서 발생한 것이 누적되어 증가한 후, 임분 발달에 따른 공중습도(Cho

et al., 2011)와 낙엽 증가(토양노출도 증가 후 감소 경향 참고)로 분해 촉진에 의한 경향으로 판단된다. 개별 후 초기(3yr 이내)에는 지상부로부터의 유기물 투입 급감에 따라 토양 응집력이 감소하는 영향과 상층부 제거에 의한 바람과 비의 영향 등으로 천이 초기 숲 바닥의 토양 노출도를 증가시키는 것으로 판단된다(3yr에서 10.3%).

2. 상층과 하층식생의 상호작용

식생 구조 발달에 따라 하층식생의 피도는 일반적 모형에 따라 감소하는 양상을 나타낸 반면, 종풍부도의 경우 임분 구조의 발달과 동시에 증가하는 경향을 나타내었다. 본 연구의 시간적 범위에 해당하는 천이 단계에서는 전통적으로 경쟁 증가, 숲바닥 광량 감소 및 하층식생 피도 및 다양성의 급격한 감소 등을 언급하고 있다(Clements, 1916; Bormann and Likens, 1979). 본 연구 결과에서 피도는 상층 발달에 따른 자원 감소로 인한 수축 경향을 나타내었으나(Figure 3), 다양성의 경우 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 목본성 종은 성장에 따라 하층식생에서 감소하지만, 광엽초본은 급격한 증가를 나타내었다(Figure 4). 상층식생에 있어서의 활엽수의 양적 증가와 함께 진행되는 광량 감소 및 상대습도 증가는 가는잎그늘사초(*Carex humilis*), 큰기름새(*Spodiopogon sibiricus*)와 같은 소나무림 벌채 후 잔존한 협엽초본의 풍부성에 유리한 조건이라기보다는 광엽초본의 풍부성 증가에 도움이 되는 것으로 보인다. 따라서 소나무림 벌채 후, 임분 구조 발달은 하층식생의 풍부성 전체에 대한 억제력을 나타내기 보다는, 선택적 영향을 주는 것으로 판단된다(Halpern and Lutz, 2013). 또한 활엽수 임분 상층의 형성과 동시에 진행되는 광엽초본의 증가는 활엽수림의 풍부한 종다양성을 형성하는 과정으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013 학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Alaback, P.B. 1982. Dynamics of understory biomass in Sitka spruce-western hemlock forests of southeast Alaska. *Ecology* 63: 1932-1948.
- Barbour, M.G., Burk, J.H., Pitts, W.D., Gilliam, F.S., and Schwartz, M.W. 1998. *Terrestrial Plant Ecology* 3rd ed. Addison Wesley Longman, Menlo Park, CA, USA.
- Bormann, F.H. and Likens, G.E. 1979. Pattern and process in a forested ecosystem. Springer, New York, New York, USA.
- Cho, Y.-C., Kim, J.-S., Lee, C.-S., Cho, H.-J., Lee, H.-Y., and Bae, K.-H. 2011a. Early Successional Change of Vegetation Composition After Clear Cutting in *Pinus densiflora* Stands in Southern Gangwon Province. *Journal of Korean Forest Society* 100(2): 240-245.
- Cho, Y.C., Pee, J.H., Kim, K.S., Koo, B.Y., Cho, H.J., and Lee, C.S. 2011b. Vegetation responses to forest thinning in natural and planted broadleaved forests in southeast Korea: a chronosequence study. *Journal of Ecology and Field Biology* 34: 347-355.
- Christensen, N.L. and Peet, R.K. 1984. Convergence during secondary forest succession. *Journal of Ecology* 72: 25-36.
- Clements, F.E. 1916. *Plant succession*. Carnegie Institution Publication 242.
- Dodson, E.K., Peterson, D.W., and Harrod, R.J. 2008. Understory vegetation response to thinning and burning restoration treatments in dry conifer forests of the eastern Cascades, USA. *Forest Ecology and Management* 255: 3130-3140, doi:10.1016/j.foreco.2008.01.026.
- Franklin, J.F., Spies, T.A., Van Pelt, R., Carey, A.B., Thornburgh, D.A., Berg, D.R., Lindenmayer, D.B., Harmon, M.E., Keeton, W.S., Shaw, D.C., Bible, K., and Chen, J. 2002. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management* 155: 399-423.
- Fule, P.Z., Laughlin, D.C., and Covington, W.W. 2005. Pine-oak forest dynamics five years after ecological restoration treatments, Arizona, USA. *Forest Ecology and Management* 218: 129-145.
- Halpern, C.B. 1988. Early successional pathways and the resistance and resilience of forest communities. *Ecology* 69: 1703-1715.
- Halpern, C.B. 1989. Early successional patterns of forest species: interactions of life history traits and disturbance. *Ecology* 70: 704-720.
- Halpern, C.B. and Lutz, J.A. 2013. Canopy closure exerts weak controls on understory dynamics: a 30-year study of overstory-understory interactions. *Ecological Monographs* 83: 221-237.
- 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.
- Jules, M.J., Sayer, J.O., and Jules, E.S. 2008. Assessing the relationships between stand development and understory vegetation using a 420-year chronosequence. *Forest Ecology and Management* 255: 2384-2393.
- Korea Forest Service. 2007. *Korean plant names index*. Korea National Arboretum.
- 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.
- Lee, K.S. 2006. Changes of Biomass, Net Primary Productivity and P/B Ratio during Abandoned Field Succession after Shifting Cultivation in Korea. *Journal of Ecological and Field Biology* 29(3): 237-245.
- Lee, K.S., Choung, Y.S., Kim, S.-C., Shin, S.S., Ro, C.-H., and Park, S.D. 2004. Development of Vegetation Structure after Forest Fire in the East Coastal Region, Korea. *Korean journal of ecology* 27(2): 99-106.
- Lee, T.B. 1003. *Illustrated flora of Korea*. Hyang-Mun-sa Press, Seoul. pp. 990.
- Metlen, K.L. and Fiedler, C.E. 2006. Restoration treatment effects on the understory of ponderosa pine/Douglas-fir forests in western Montana, USA. *Forest Ecology and Management* 222: 355-369.
- Metlen, K.L., Fiedler, C.E., and Youngblood, A. 2004. Understory responses to fuel reduction treatments in the Blue Mountains of northeastern Oregon. *Northwest Science* 78: 175-185.
- Moola, F.M. and Vasseru, L. 2004. Recovery of late-seral vascular plants in a chronosequence of post-clearcut forest stands in coastal Nova Scotia, Canada. *Plant Ecology* 172: 183-197.
- Moore, M.M., Casey, C.A., Bakker, J.D., Springer, J.D., Fule, P.Z., and Covington, W.W. 2006. Herbaceous vegetation responses (1992-2004) to restoration treatments in ponderosa pine forest. *Rangeland Ecology and Management* 59: 135-144.
- Nelson, C.R., Halpern, C.B., and Agee, J.K. 2008. Thinning and burning result in limited invasion of nonnative plants but neutral effects on natives. *Ecological Applications* 18: 762-770.
- 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.
- You, Y.-H. and Lee, C.-S. 2003. Early Vegetation Succession in Abandoned Field in Cheju Island. *Korean journal of ecology* 26(4): 209-214.