

참나무 시들음병 발생지역의 임분구조에 관한 연구¹

엄태원² · 천정화^{3*} · 김경희⁴

Stand Structure Characteristics of Oak Wilt Infected Forest, Korea¹

Tae-Won Um², Jung-Hwa Chun^{3*}, Kyung-Hee Kim⁴

요 약

참나무시들음병 발생지역의 임분구조 특성 파악을 통한 피해해석을 목적으로, 전라남도과 제주도를 제외한 전국 7개도 18개 참나무시들음병 발생지역을 대상으로 식생조사를 실시하였고(Group A), 아울러 참나무시들음병의 매개충인 광릉긴나무좀(*Platypus koryoensis*)에 의한 피해 모니터링을 목적으로 설치된 경기도와 강원도 내 5개 고정조사지에도 식생조사를 실시하였다(Group B). 그 결과 전국 18개 지역(Group A) 가운데 17개 지역에서 참나무속(*Quercus* spp.) 수종의 우점도가 가장 높게 나타났으며, 참나무시들음병 피해 모니터링을 목적으로 설치한 5개 고정조사지(Group B)에서는 참나무시들음병 피해 정도를 나타내는 지표 가운데 하나인 천공률(Relative Density of Entrance Holes)과 조사지 내 참나무속 수종의 상대밀도 간에 통계적으로 매우 유의한 상관관계($R^2=0.89$, $P<0.05$)가 인정되어, 임분구조상 참나무속 수종의 우점도는 참나무 시들음병의 발생과 관련성이 높은 것으로 판단되었다.

주요어 : 광릉긴나무좀, 피해해석, 천공률, 참나무속, 우점도

ABSTRACT

The objective of this study was to understand the relationships between forest vegetation characteristics and the damage of Oak wilt disease. Field surveys were carried out for two groups. One group(Group A) consists of Oak wilt infected 18 sites from 7 provinces, and the other group(Group B) consists of 5 permanent sites where data on the relative density of entrance holes drilled by *Platypus koryoensis*., the vector of Oak wilt disease, were available. Survey results showed that 17 of 18 sites were dominated by *Quercus* spp.(Group A) and also showed a significant positive relationship($R^2=0.89$, $P<0.05$) between the relative density of entrance holes and the relative density of *Quercus* spp.(Group B) implying that the susceptibility to Oak wilt disease is related with the high dominance of *Quercus* spp. in a forest stand.

KEY WORDS : PLATYPUS KORYOENSIS, DAMAGE, FOREST VEGETATION CHARACTERISTICS, QUERCUS spp, DOMINANCE

1 접수 2008년 10월 1일, 수정(1차 : 2009년 2월 3일, 2차 : 2009년 3월 15일), 게재확정 2009년 3월 30일

Received 1 October 2008; Revised(1st : 3 February 2009, 2nd : 15 March 2009); Accepted 30 March 2009

2 상지대학교 산림과학과 Dept. of Forest Sci., Sangji University, Wonju(220-702), Korea

3 국립산림과학원 산림생태과 Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, Seoul(130-712), Korea

4 국립산림과학원 산림병해충과 Division of Forest Insect Pests and Diseases, Korea Forest Research Institute, Seoul(130-712), Korea

* 교신저자, Corresponding author(chunjh69@forest.go.kr)

서론

어떤 특정한 산림군락의 수종 구성 상태는 그 군락이 처해 있는 여러 가지 복합적인 요소들의 상호작용에 의해서 결정된다. 천이의 진척 상태, 토양과 미지형의 성격, 미기상의 다양함, 인위적 혹은 자연적인 간섭 형태 및 빈도가 군락의 수종 구성 상태를 결정짓는 가장 중요한 생태적 요소들로 판단된다(Whittaker, 1975).

천연활엽수가 생육하고 있는 지역들은 지형이 대단히 복잡하고 험한 입지이나, 계곡, 산복, 능선의 구분은 뚜렷하다. 이러한 지형적 변이 때문에 태양광선 및 수분 조건의 양과 분배가 다르게 나타나서, 산림 식생의 종구성과 발달 상황에도 지대한 영향을 미친다(Rowe, 1984). 이러한 국지적인 다양성 때문에 방위, 지세, 식생, 산림에 대한 관리 및 영향, 동물, 고도 등이 서로 복합적으로 작용하여 상호 영향을 끼치게 된다. 이러한 국지적 다양성은 우리나라 천연활엽수림의 입지 구분을 어렵게 하고 있으며 따라서 이제까지 소홀히 취급해 온 천연림 관리에 더 큰 지장을 주고 있다. 또한 산림의 생태적 구조는 지형적 위치에 따라 다양하게 변하며 같은 지형 내에서도 토양에 따라 숲의 구성과 하층목에서 상층목으로의 대치현상에도 상당한 영향을 미칠 것이다(Host et al., 1987).

우리나라 대부분의 산림은 3가지 형태의 전형적인 이차림 즉, 소나무림, 소나무-참나무림, 참나무류혼효림으로 구분할 수 있다. 그 중에서도 참나무 혼효림은 원래 중생 혼효림이 생성해 놓은 토양의 성질을 비교적 원상태로 유지하고 있음으로 인하여 서어나무류, 단풍나무류, 피나무류, 느티나무류 등의 성숙한 극성상림의 지표가 될 수 있는 수종들이 침입할 수 있는 가능성을 지니고 있기 때문에, 천이의 진척상황이 원만한 경우가 많다. 주로 6가지의 대표적인 참나무속 수종(상수리나무, 굴참나무, 신갈나무, 떡갈나무, 갈참나무, 졸참나무)으로 구성되어 있는 이들 이차림 산림군락들은 비록 천이의 초기단계에 속하지만 극성상 산림군락보다는 구조가 단순하고 오히려 조림적 생산성이 상대적으로 높기 때문에 합리적인 경영관리를 통한 입업적 이용에 일익을 담당 할 수도 있을 것이다. 또한 참나무 속 수종들은 다른 수종들에 비해 목재의 비중이 높아 상대적으로 탄소를 고정할 수 있는 효율이 높은 장점도 있다. 그러나 이와 같은 단순한 임분 구조와 수종구성은 조림지와 마찬가지로 병해충 발생시 대면적의 피해를 받을 가능성도 존재한다.

참나무류가 고사되는 현상은 과거에도 있었으나 최근 1980년대 유럽과 미국, 일본을 중심으로 쇠퇴 및 고사 현상이 발생되었다(Henry et al., 1944; Jewell, 1956). 우리나라에서 참나무시들음병은 광릉긴나무좀(*Platypus koryoensis*)이 매개하는 병원균(*Raffaelea* sp.)에 의해 기주임목이 피해

를 받고 고사하는 것(Kim et al., 2006)으로 알려져 있는데 현재 발병생태 및 방제기술개발 측면에 대한 연구가 진행 중에 있다. 2004년 경기도 및 강원도 지역에서 주로 발생하기 시작하여 2007년 현재 전국 61개 시군구에 피해가 발생하였고 지속적으로 확산되는 추세인 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 참나무시들음병이 발생한 지역의 산림에 대하여 임분구조 조사를 실시하고 임분구조와 병 발생 간의 관계를 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

전라남도과 제주도를 제외한 7개도 18개 지역을 대상으로 각 도의 산림환경연구소에서 지정한 참나무시들음병 피해지에 대하여 74개의 방형구(각 400m²)를 설치하고 조사지의 주요 환경인자, 토양특성을 비롯하여 흉고직경 2cm 이상의 임목 및 중하층 식생을 조사하였다. 조사대상지 및

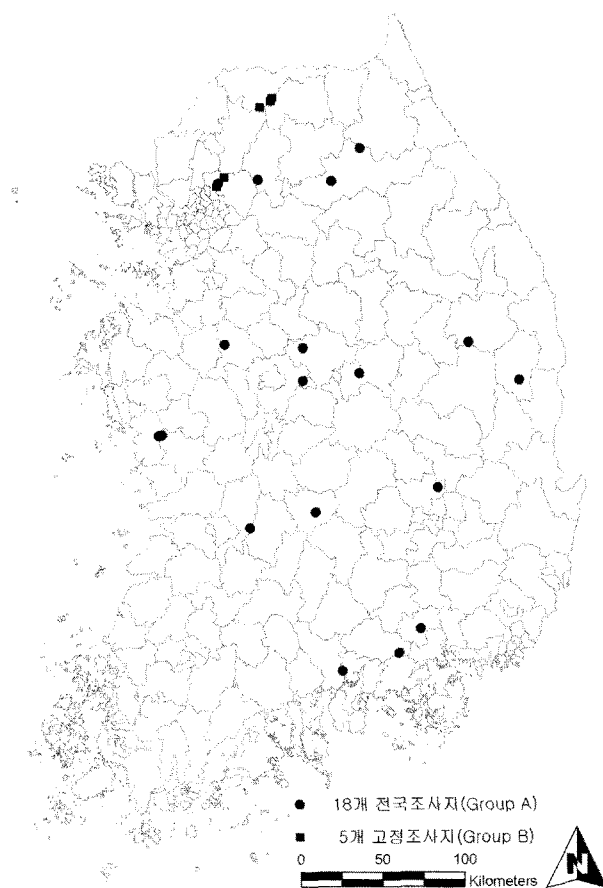


Figure 1. The location map of the survey sites

입지특성은 Table 1에 나타내었다. 천공을 조사는 대상 조사지의 개별목을 대상으로 하여 천공수를 세는 방법으로 조사해야하는 관계로 많은 시간을 필요로 하기 때문에 이상의 18개지역에서는 천공을 조사를 실시하지 않았다(이하 Group A). 식생조사는 가 조사구에 대하여 수관의 위치에 따라 상, 중, 하층으로 구분하여 상층과 중층은 수종, 개체수, 흉고직경을 측정, 기록하였으며, 하층은 수종, 피도를 측정하여 식생조사표에 기록하였다.

강원도 철원군 서면, 강원도 철원군 북주산 상부 및 산복부, 경기도 포천군 광릉, 경기도 남양주시 수락산에 2005년도에 설치하여 매개충인 광릉긴나무좀에 의한 천공을 조사가 이루어져 온 5개 고정조사지 주변에 15개의 방형구(각 400m²)를 설치하고 흉고직경 2cm 이상의 임목을 대상으로 임분구조를 조사하였다. 5개 지역에 대한 개황은 Table 2에 나타내었다(이하 Group B). 평균천공율은 조사구 내의 참나무속 수종들에 발생한 광릉긴나무좀 침입공 천공수를 참나무속 수종들의 개체수로 나눈 값으로서 평균천공율의 크기는 피해정도를 나타내는 지표이다. 5개 고정조사지에 대해서도 18개 피해지역 조사구와 동일한 방법으로 조사를 실시하였으나 참나무의 중요도와 천공율 간의 상관관계

파악을 주목적으로 하였기 때문에 층위의 구분없이 흉고직경 2cm 이상의 모든 임목에 대하여 조사를 실시하였다.

2. 임분구조 분석

각 조사구 내에서 집계된 수종별 개체수 자료를 이용하여 조사구 분류를 시도하였으며, 상·중·하층을 구성하는 총 20종을 대상으로 Ludwig and Reynolds(1988)의 방법을 이용하였다. 조사구들 간의 거리는 Percent dissimilarity를 적용하였다. Cluster 분석의 목적은 참나무시들음병 발생지 간의 수종구성 차이 유무와 어떠한 차이가 있는지를 알아보기 위함이다.

식생조사의 결과로 얻어진 자료에 의하여 각 수종의 상대적인 중요도를 나타내는 척도로써 Curtis and McIntosh (1951)의 방법에 준하여 상대우점도(Importance Value, I.V.)를 구하였는데, (상대밀도+상대피도+상대빈도)/3으로 계산하였고, 상·중·하층의 개체의 크기를 고려하여 (상층 I.V.×3+중층I.V.×2+하층I.V.)/6로 평균상대우점도(Mean importance value, M.I.V.)를 계산하였다. 종 구성의 다양한 정도를 나타내는 척도인 종다양성은 종다양도(Species

Table 1. Description of Environmental Characteristics for each plot(Group A)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Altitude(m)	156	319	215	486	247	430	288	570	298
Aspect	NW	N~S	N~E	N~E	NW	NW	N~S	W~E	N~E
Slope(°)	20	25	23	28	41	13	15	29	18
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Altitude(m)	359	544	130	408	83	416	884	446	720
Aspect	NE	N~S	S~W	S~N	SW	N~S	E~W	N~S	NE
Slope(°)	35	31	26	22	35	35	14	35	33

1. Goyang Gyeonggi-do, 2. Namyangju Gyeonggi-do, 3. Gapyeong Gyeonggi-do, 4. Sari-myeon Goesan-gun Chungcheongbuk-do, 5. Gammul-myeon Goesan-gun Chungcheongbuk-do, 6. Boeun Chungcheongbuk-do, 7. Cheonan Chungcheongnam-do, 8. Buyeo Chungcheongnam-do, 9. Boryeong Chungcheongnam-do, 10. Wanju Jeollabuk-do, 11. Muju Jeollabuk-do, 12. Jinju Gyeongsangnam-do, 13. Sancheon Gyeongsangnam-do, 14. Haman Gyeongsangnam-do, 15. Yeongyang Gyeongsangbuk-do, 16. Chilgok Gyeongsangbuk-do, 17. Gumi Geongsangbuk-do, 18. Hongcheong Gangwon-do

Table 2. Description of Environmental Characteristics for each plot(Group B)

	1	2	3	4	5
Altitude(m)	216	410	630	600	405
Aspect	SE	SE	SW	NW	NW
Slope(°)	22	28	35	23	26

1. Surakan Byeollaemyeon Namyangjusi, 2. Jikdongri Soheulup Pochungun, 3. Bokjusan Geunnammyeon Cherwongun-1, 4. Bokjusan Geunnammyeon Cherwongun-2, 5. Seomyeon Cherwongun

diversity, H'), 균재도(Evenness, J'), 우점도(Dominance, D)에 의하여 종합적으로 비교하였으며, 일반적으로 이용되는 Shannon의 수식(Pielou, 1975)을 적용하였다.

결과 및 고찰

1. 입지 특성

조사구는 전라남도과 제주도를 제외한 7개도 18개 지역을 대상으로 각 도의 산림환경연구소에서 지정한 참나무시들음병 조사구와 주변식생을 조사하였다. 조사구들은 표고 83m~720m 사이에 위치하며, 경사도는 13°~41°, 정도로 나타났다.

2. 군락구조 분석

1) 식물군락의 분류

전라남도과 제주도(참나무시들음병 미발견 지역)를 제외한 7개도 18개 지역(Group A)을 대상으로 참나무시들음병이 발생된 74개의 조사구에서 조사된 수종들의 개체수 자료를 이용하여 Cluster 분석한 결과를 Figure 2에 보였다. 분석한 결과 1차적으로 신갈나무-소나무가 우점하는 군락, 굴참나무-소나무가 우점하는 군락과 혼효군락으로 나뉘어졌다. 신갈나무와 소나무 노거수가 다수 분포하는 13개 지역의 조사구가 포함된 군락 A는 산벚나무와 졸참나무 등이 동반 수종으로 분포하였고, 군락 B는 굴참나무우점군락으로 졸참나무외에도 참나무속의 다른 수종이 함께 분포하고 있었다. 2개 지역의 조사구가 포함된 군락 C는 쇠물푸레나무, 졸참나무, 팔배나무가 분포하고 있다. 대체로 참나무류 중 신갈나무의 상대우점도가 높게 나타났다. 분석결과를 살펴보면 다소의 수종구성 차이로 인해 3개 군락으로 유형이 나뉘어지기는 하였으나 신갈나무, 굴참나무, 졸참나무 등의 골격수종은 공히 광릉긴나무썩의 가해대상이므로 경기도

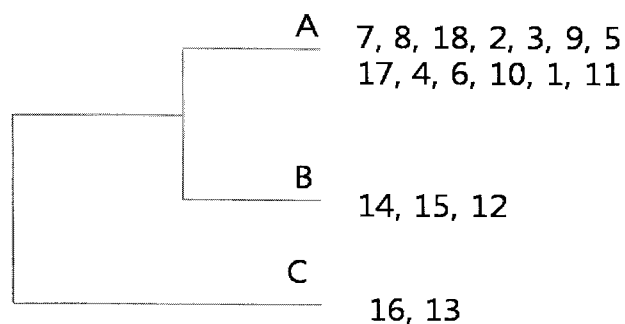


Figure 2. Dendrogram of eighteen sites by cluster analysis

북부부터 경상남도 남부에 이르는 위도차, 조사지 간의 표고차 등 입지환경 차이를 감안한다면 참나무시들음병 발생지의 군락구조는 지역을 막론하고 큰 차이를 보이지 않는다고 할 수 있다.

2) 군락별 상대 우점도

각 조사구들을 Cluster분석한 결과에 따라 3개의 군락을 나누어 각 조사구에 나타난 주요 수종에 대한 수종별 상대우점도(Importance Value, IV)를 Table 3에 보였다. 상층-하층의 개체의 크기를 고려하여 계산된 3개 군락 중에 하나인 군락 A는 신갈나무와 소나무가 우점하는 군락으로 신갈나무의 평균상대우점도가 26.8%로 가장 높은 값을 나타냈고, 다음으로 소나무, 졸참나무, 산벚나무 등의 순이었다. 군락 B는 굴참나무-소나무군락으로 굴참나무의 평균상대우점도가 27.6%로 가장 높았고, 다음으로 소나무, 상수리나무, 떡갈나무 등의 순으로 높게 나타났다. 군락 C는 신갈나무 우점군락으로 신갈나무의 평균상대우점도가 29.5%로 가장 높았고, 다음으로 물푸레나무, 졸참나무, 팔배나무 등의 순으로 높게 나타났다.

신갈나무-소나무(A)의 층위별 상대우점도는 상층에서 신갈나무의 상대우점도가 42.5%로 가장 높았고, 다음으로 소나무, 졸참나무, 산벚나무 등의 순이었다. 중층에서도 신갈나무의 상대우점도가 14.4%로 가장 높았으며 다음으로 생강나무, 개웃나무, 쪽동백나무 순이었다. 하층에서는 생강나무의 상대우점도가 16.4%로 가장 높았고, 진달래, 개웃나무, 국수나무 등의 순으로 높게 나타났다. 따라서 신갈나무-소나무군락(A)은 상층에서 신갈나무의 세력이 매우 높았고, 중층에서도 신갈나무의 세력이 높게 유지되는 것으로 보아 소나무의 세력이 점차 약화되면서 점차 신갈나무군락으로 변화될 것이라 판단된다.

굴참나무-소나무군락(B)의 층위별 상대우점도는 상층에서는 굴참나무의 상대우점도가 34.2%로 가장 높았으며 소나무, 신갈나무 등의 순이었다. 중층에서도 굴참나무의 상대우점도가 26.7%로 가장 높았으며 생강나무, 개웃나무, 마가목 등의 순으로 나타났다. 하층에서는 생강나무의 상대우점도가 10.3%로 가장 높았고, 아까시나무, 굴참나무, 참싸리 순으로 나타났다. 상층과 중층의 상대우점도의 분포로 보아 소나무의 세력은 점차 감소하고 굴참나무와 신갈나무를 비롯한 참나무류의 세력이 커지는 천이가 진행될 것으로 판단된다.

신갈나무(C)의 층위별 상대우점도는 상층에서는 신갈나무가 51.8%로 가장 높게 나타났으며 낙엽송과 물푸레나무, 졸참나무 순이었다. 중층에서는 물푸레나무의 상대우점도가 14.2%로 가장 높았으며 산초나무, 신갈나무, 쪽동백나무의 순으로 나타났다. 하층에서는 산초나무의 상대우점도가

Table 3. (Continued)

Species name	<i>Quercus mongolica</i> - <i>Pinus densiflora</i> community (A)				<i>Quercus variabilis</i> - <i>Pinus densiflora</i> community (B)				<i>Quercus mongolica</i> community (C)			
	U*	M*	L*	m.i.v.	U*	M*	L*	m.i.v.	U*	M*	L*	m.i.v.
<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>		0.4	2.0	0.5		1.1	5.3	1.3				
<i>Euonymus oxyphyllus</i>						1.0	1.0	0.5				
<i>Rhododendron schli.v.pembachii</i>		2.2	1.4	1.0								
<i>Cornus controversa</i>	1.0	0.8	0.3	0.8								
<i>Sorbus alnifolia</i>	0.9	1.1	0.8	1.0					5.0	4.2	1.5	4.2
<i>Tilia amurensis</i>	1.0	0.6	0.1	0.7								
<i>Magnolia sieboldii</i>		2.2	0.6	0.8								

* U: Upper layer, M: Middle layer, L: Lower layer

20.5%로 가장 높았으며 노린재나무, 개웃나무, 물푸레나무의 순으로 나타났다. 상층은 신갈나무의 세력이 압도적으로 우세하여 일정기간동안 신갈나무가 우점하는 임분으로 지속되겠지만, 물푸레나무의 내음성을 감안하면 중층에서 세력을 확장중인 물푸레나무와의 경쟁을 통해 일부는 신갈나무와 물푸레나무의 혼효림으로 천이가 진행될 가능성이 있는 것으로 보여진다.

각 조사구들을 각 도별로 분류하여 주요 수종에 대한 수종별 상대우점도를 Table 4에 보였다. 상·중·하층의 개체의 크기를 고려하여 계산된 7개도 지역의 상대우점도를 살펴보면 경기도는 신갈나무의 평균상대우점도가 22.8%로 가장 높은 값을 나타냈고, 다음으로 생강나무, 굴참나무, 갈참나무의 순이었다. 충청북도는 신갈나무의 평균상대우점도가 32.2%를 나타냈고, 다음으로 쇠물푸레, 산벚나무, 개웃나무의 순이었다. 충청남도는 신갈나무 평균상대우점도가 17.4%로 가장 높고, 다음으로 굴참나무, 생강나무, 소나무의 순이었다. 전라북도는 평균상대우점도가 25.3%로 가장 높게 나타난 신갈나무가 우점하고 있었으며, 때죽나무, 굴참나무, 마가목의 순이었다. 경상남도는 평균상대우점도가 굴참나무가 19.4%로 높게 나타났고, 다음으로 소나무, 신갈나무, 산철쭉나무 등의 순이었다. 경상북도는 신갈나무의 평균상대우점도가 28.5%로 가장 높게 나타났고, 굴참나무, 물푸레나무, 소나무의 순으로 높게 나타났다. 신갈나무의 평균상대우점도가 32.7%로 가장 높게 나타난 강원도는 신갈나무 다음으로 찰피나무, 졸참나무, 생강나무의 평균상대우점도가 높게 나타났다.

경기도의 층위별 상대우점도는 상층에서 신갈나무의 상대우점도가 35.4%로 높게 나타났고, 다음으로 굴참나무, 갈참나무, 일본잎갈나무 등이었다.

충청북도의 층위별 상대우점도는 상층에서 신갈나무가 51.5%로 가장 높게 나타났으며 중층에서도 신갈나무가 15.3%로 높게 나타났다. 충청북도는 신갈나무의 세력이 높

게 유지되어 소나무의 세력이 점차 약화되면서 앞으로 신갈나무가 우점할 것이라 판단된다.

충청남도의 층위별 상대우점도는 상층에서 신갈나무가 28%로 가장 높게 나타났으며 굴참나무, 소나무, 졸참나무 등의 순이었다. 중층과 하층에서 신갈나무를 비롯한 참나무류의 우점도가 그리 높지 않은 것으로 보아 상층으로 성장할 가능성이 있는 다른 교목 수종들과 경쟁이 발생할 가능성도 존재하는 것으로 보여진다.

전라북도는 상층에서 신갈나무가 47%로 가장 높게 나타났으며, 중층에서는 때죽나무가 18.6%로 나타났다. 하층에서는 생강나무를 비롯한 병꽃나무, 때죽나무, 진달래나무 등이 생육하고 있었다.

경상남도의 층위별 상대우점도는 상층에서 소나무가 24.8%로 높게 나타났으며 그 다음으로 상수리나무, 신갈나무 등의 순이다. 중층에서는 상수리나무가 17.7%로 가장 높게 나타났으며 산철쭉나무, 신갈나무, 소나무의 순이다. 하층에서는 아까시나무가 16.2%로 높게 나타났으며 산철쭉나무, 상수리나무, 산초나무 등의 순으로 높게 나타났다. 이 지역은 현재 소나무가 우점하고 있지만 시간이 경과할수록 상수리나무와 신갈나무의 세력이 확장되어 참나무류가 우점하는 임분으로 천이가 진행될 것으로 보인다.

경상북도는 상층에서 신갈나무가 41.2%, 중층에서 또한 신갈나무가 21.5%로 가장 높게 나타났다. 하층에서는 개암나무가 21.1%로 가장 높게 나타났으며 그 다음으로 생강나무, 물푸레나무, 참싸리 등의 순이었다.

강원도 지역은 상층에서 신갈나무가 42.3%로 가장 높게 나타났으며 그 다음으로 찰피나무, 졸참나무, 물푸레나무, 일본잎갈나무의 순이었고, 중층에서 또한 신갈나무가 33.2%로 높은 값을 나타냈다. 신갈나무외에 고로쇠나무, 찰피나무, 다릅나무 등이 함께 생육하고 있었으며, 하층에서는 상수리나무가 25%로 가장 높게 나타났다. 상층을 비롯하여 중·하층에도 참나무류가 우점하고 있어 강원도 지역

Table 4. (Continued)

Species name	Gangwondo			
	U*	M*	L*	m.i.v.
<i>Bidens tri.v.artita</i>				
<i>Quercus aliena</i>				
<i>Carpinus tshonoskii</i>				
<i>Corylus heterophylla</i> Fisher var. <i>hunbergii</i>	6.8	3.0	2.8	
<i>Rhus trichocarpa</i>				
<i>Acerpictum</i> var. <i>mono</i>	7.8	2.5	3.0	
<i>Securinea suffruticosa</i>				
<i>Lonicera maackii</i>				
<i>Stephanandra incisa</i>		12.4	2.1	
<i>Quercus variabilis</i>				
<i>Larix kaemferi</i>	8.0		4.0	
<i>Ulmus laciniata</i>				
<i>Corylus heterophylla</i>				
<i>Juni.v.erus rigida</i>				
<i>Symplocos sawafutagi</i>	2.8	2.7	1.4	
<i>Clerodendrum trichotomum</i>				
<i>Ulmus davidiana</i>				
<i>Maackia amurensis</i>	7.0	1.7	2.6	
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	4.0	5.0	2.2	
<i>Rhamnus parvifolia</i>				
<i>Aralia elata</i>				
<i>Fraxinus manshurica</i>				
<i>Styrax japonicus</i>				
<i>Quercus dentata</i>				
<i>Pinus rigida</i>				
<i>Sorbus commixta</i>				
<i>Chaenomeles sinensis</i>				
<i>Corylus sieboldiana</i>				
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	8.0	2.7	4.5	
<i>Tri.v.terigium regelii</i>				
<i>Castanea crenata</i>				
<i>Weigela subsessilis</i>		3.5	0.6	
<i>Lindera erythrocarpa</i>				
<i>Populus davidiana</i>	6.5		3.3	

의 경우 일정시간 경과 후에도 참나무류 우점임분으로 지속될 것으로 판단된다.

Figure 3은 현지조사(Group A)자료를 통해 분석된 수종별 상대우점도를 이용하여 각 지역별로 중상층을 구성하는 참나무속(*Quercus* spp.) 수종들의 상대피도, 상대밀도, 상대빈도, 중요도를 모두 합하여 나타낸 것이다. 진주(12)를 제외한 17개 지역에서 공통적으로 참나무속에 해당하는 수종들의 중요도가 가장 높게 나타났는데 진주의 경우 상층을 구성하는 수종은 참나무속의 굴참나무와 상수리나무 외에 소나무 1종으로만 구성된 임분으로서 참나무속 수종들의 상대피도와 상대밀도는 약간 낮았지만 상대빈도는 소나무에 비해 오히려 높게 나타나 참나무속 수종들이 전체적으로 고르게 출현하고 있음을 알 수 있다.

3) 흉고직경급별 개체수

Cluster 분석한 결과에 따라 분리된 2개의 군락으로 나누어 주요수종에 대한 수종별 흉고직경의 분포를 정리한 것을

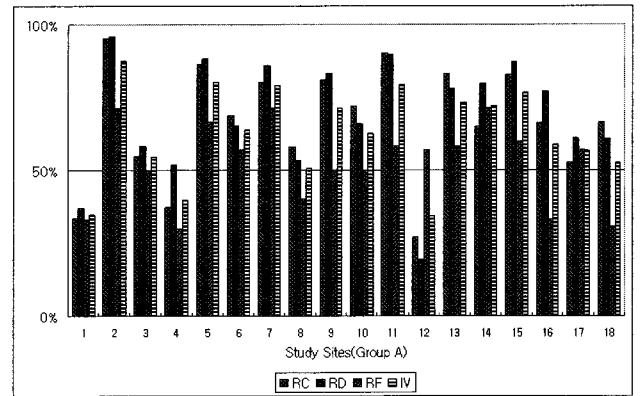


Figure 3. Realtive Coverage(RC), Relative Density(RD), Relative Frequency(RF), and Importance Value of *Quercus* spp. for 18 Study Sites(Group A)

Table 5에 보였다. 신갈나무-소나무군락(A)에서 소나무의 소경급 개체수가 상대적으로 적게 나타났으며, 신갈나무와 산벚나무의 중경급 개체수가 많아 앞으로 신갈나무 우점군락으로 지속될 것으로 보여진다. 굴참나무-소나무군락(B)에서는 소나무의 소경급 개체가 없었으나, 굴참나무와 신갈나무의 소경급 개체수 분포가 많은 것으로 보아 일정시간이 경과하게 되면 소나무는 점차 감소하고 결국에는 굴참나무 우점군락으로 천이가 진행될 것이라 판단된다. 신갈나무군락(C)에서는 흉고직경 6cm 이하 급에서 신갈나무보다 물푸레나무의 개체수가 많이 분포하는 것으로 나타났으나 흉고직경 6~10cm 급에서 신갈나무의 개체수가 압도적으로 많아 최소 수십년 간은 신갈나무 우점임분으로 유지될 것이라 판단된다. 이러한 결과로 볼 때 조사지역의 임분은 현재 시점에서 참나무속 수종이 우점하는 임분일 뿐 아니라 앞으로도 특별한 교란이 발생하지 않는다면 참나무속 수종의 우점도는 유지되거나 증가할 것으로 판단되었다.

4) 종다양성

Table 6에 군락별로 조사된 목본식물의 종다양성을 보였다. 출현종수는 신갈나무-소나무군락(A)에서 40종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 굴참나무-소나무군락(B)은 27종, 신갈나무군락(C)은 28종이 조사되었다. 종다양도(H')는 상용로그로 계산하여 신갈나무-소나무군락(A)은 1.307이고 굴참나무-소나무군락(B)은 1.185, 신갈나무군락(C)은 1.145으로 신갈나무-소나무군락(A)이 종다양도가 가장 높게 나타났다. 종다양성을 최대종다양성으로 나눈 균재도(J')에서는 굴참나무-소나무군락(B)이 0.828로 가장 높았고, 다음으로 신갈나무-소나무군락(A), 신갈나무군락(C)에서 각각 0.816, 0.791로 나타났다. 본 조사구의 종다양도는 1.145~1.307의 범위로 Kim et al.(1993)의 참나무 천연림의 임분

Table 5. The DBH distribution of major woody species for each plant community

Plant community	Species name	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
<i>Quercus mongolica</i> - <i>Pinus densiflora</i> community (A)	<i>Prunus sargentii</i>	20	14	16	11	3		1		1
	<i>Pinus densiflora</i>	11	15	12	9	6	3	3	1	1
	<i>Quercus mongolica</i>	39	99	155	138	98	11	14	9	5
	<i>Quercus serrata</i>	13	15	14	9	3	2	1	2	1
<i>Quercus variabilis</i> - <i>Pinus densiflora</i> community (B)	<i>Quercus variabilis</i>	45	73	69	34	11	3			
	<i>Quercus acutissima</i>	3	7					2		2
	<i>Quercus dentata</i>	2	3	1	1			1		
	<i>Pinus densiflora</i>	1	14	30	26	22	9	6	1	2
<i>Quercus mongolica</i> community (C)	<i>Quercus mongolica</i>	41	62	34	19	1	3			
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	80	17	2	1	2	1			
	<i>Quercus mongolica</i>	15	78	64	28	13	6	1	1	
	<i>Quercus serrata</i>	5	3	7	1	2				
	<i>Sorbus alnifolia</i>	23	4	1						

* D1:2≤DBH≤5, D2:6≤DBH≤10, D3:11≤DBH≤15, D4:16≤DBH≤20, D5:21≤DBH≤25, D6:26≤DBH≤30, D7:31≤DBH≤35, D8:36≤DBH≤40, D9:41≤DBH

Table 6. Species diversity indices of three plant communities

Plant community	No. of Sites	No. of Species	Species Diversity(H')	Evenness(J')	Dominance(D')
<i>Quercus mongolica</i> - <i>Pinus densiflora</i> community (A)	13	40	1.307	0.816	0.184
<i>Quercus variabilis</i> - <i>Pinus densiflora</i> community (B)	3	27	1.185	0.828	0.172
<i>Quercus mongolica</i> community (C)	2	28	1.145	0.791	0.209

Shannon's diversity index(H') in (*) uses logarithms to base 10

구조에 대한 해석에서 경기도 광주군 참나무 군락의 종 다양도 지수는 0.8246~1.0958 을 나타내었고, Jang and Song (1997) 강원도 신갈나무 군락의 우점도 다양성에 관한 연구에서 종다양도 지수는 0.7340~0.9368로 나타났으며, 참나무시들음병 조사구에 비해서 다소 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 대부분의 참나무시들음병 조사구가 입도 등의 개활지로부터 크게 멀지 않은 임연부에 분포하고 있어 상대적으로 광조건이 양호하고 표고가 높지 않아 다양한

아교목성, 관목성 수종이 생육하고 있기 때문인 것으로 판단되었다. 그러나 중요도가 상대적으로 높은 교목성 수종은 참나무속 수종 외에 소나무, 물푸레나무, 산벚나무 등에 지나지 않아 상층을 중심으로 본다면 상대적으로 매우 단순한 수종구성을 나타내었다.

5) 평균천공율과 참나무속 수종의 상대밀도 간의 상관성
광릉긴나무좀에 의해 참나무속 수종의 수간에 발생한 침

Table 7. Species diversity indices of seven location

Plant community	No. of Plots (1200m ²)	No. of Species	Species Diversity(H')	Evenness(J')	Dominance(D')
Gyeonggido	3	32	1.255	0.827	0.173
Chungcheongbukdo	3	29	1.147	0.785	0.215
Chungcheongnamdo	3	33	1.255	0.827	0.173
Jeollabukdo	2	26	1.142	0.807	0.193
Gyeongsangnamdo	3	29	1.158	0.792	0.208
Gyeongsangbukdo	3	25	1.155	0.826	0.174
Gangwondo	1	22	1.058	0.788	0.212

Table 8. Relative density of entrance Holes, relative density, relative coverage, and mean importance value for *Quercus* spp.(Group B)

Relative Density of Entrance Holes	Relative Density	Relative Coverage	Mean Importance Value
64%	38%	43%	67%
70%	71%	96%	66%
38%	21%	49%	70%
47%	33%	18%	42%
15%	15%	15%	20%

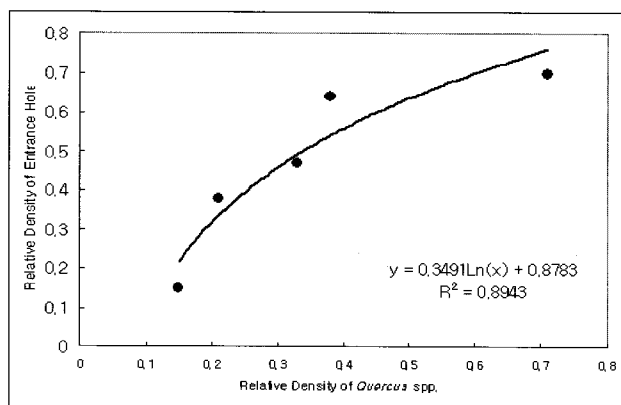
입공의 평균천공률과 해당 조사지(Group B) 참나무속 수종들의 상대밀도, 상대피도, 중요도의 상관관계를 분석한 결과 상대피도와 중요도도 어느 정도의 상관이 인정되었으나, 특히 상대밀도가 통계적으로 매우 유의한($R^2=0.89$, $P<0.05$) 상관이 인정되었다(Figure 4). 이러한 결과는 참나무속 수종들이 일정한 공간 내에서 차지하는 분수에 따라 참나무시들음병 피해의 정도가 달라질 수 있음을 시사하는 것으로서 참나무시들음병의 확산과 관련하여 상당한 의미를 지닌다고 볼 수 있다.

향후 매개충인 광릉긴나무좀의 생태적 특성에 대한 연구가 더 진행되어야 하겠으나, 거의 대부분의 생물들이 제한된 자원 하에서 자기 세대를 유지하고 차세대 생산을 극대화하는 방향으로 진화해 왔다는 가장 기본적인 사실을 염두에 둘 필요가 있다. 곤충 개체군의 증식전략 발전은 궁극적으로 생식적합도의 극대화이고, 주어진 환경 하에서 개체군의 생식적합도의 증가는 최소 에너지를 소모하면서 최대의 자원 및 에너지를 획득하는 과정의 효율화와 획득한 자원 및 에너지를 효율적으로 생식에 투자하는 분배의 효율화를 통해 이루어질 수 있다(Ryu *et al.*, 2001). 다수의 곤충이 보이는 짝짓기, 집짓기, 산란, 먹이 포획 등의 행동에는 복잡

적인 일련의 다른 행동들이 포함되어 있지만 이와 같이 거의 본능적인 행동의 주된 동기는 생식에 있다. 생식에 불리한 행동들은 사라지지만 생식을 증대시킬 수 있는 행동은 지속되어 차세대에 물려주게 된다.

곤충의 먹이는 개체군의 크기와 서식처를 결정짓는 매우 중요한 요소이어서 먹이의 유형과 양은 곤충의 성장, 발달, 생식, 행동 및 형태학적 특징에까지 영향을 미친다(Donald *et al.*, 1981). 특정한 서식공간 내에서 가용자원의 질과 양은 개체군의 밀도에 따라 변하고 이에 적응하기 위해서는 자원탐색과 생존을 위한 분산을 통해 자원과 생존률의 극대화를 피하게 되는데, 생태계에서 자원은 균일하게 분포하지 않으므로 주어진 시간과 자원분포 상태를 얼마나 잘 활용하는 것이 바람직한 자원획득 방안이 될 것인가는 곤충개체군에 부여되는 문제이다(Ryu *et al.*, 2001).

곤충의 잠재 번식력은 암컷의 산란수, 세대수, 성비에 의해 결정되는데 높은 잠재 번식력만으로 큰 개체군을 형성할 수 있는 것이 아니라 번식에 유리한 환경조건이 갖추어져야 한다. 따라서 번식에 유리한 환경조건이 형성되면 위의 잠재 번식력을 결정짓는 조건들 가운데 한 가지 또는 그 이상에 영향을 미침으로써 큰 개체군을 형성하게 된다(Robert *et al.*, 1984). 이러한 관점에서 볼 때, 참나무시들음병이 계속 확산되고 있는 현 시점에서의 우리나라 산림환경은 광릉긴나무좀의 생육과 개체군 확장에 매우 유리한 조건이라 할 수 있을 것이다. 물론 이와같이 유리한 조건이 형성된 원인은 풍부해진 가용자원 외에 기후변화에 의한 기온상승이 한 가지 원인일 가능성도 있다. 곤충은 생리적으로 온도에 민감하고 생활사가 짧으며 이동성이 크기 때문에 생장속도와 지리적 분포가 온도의 변화에 크게 좌우된다(Lange *et al.*, 2006). 일반적으로 노르웨이에서 겨울은 곤충의 생육에 부적합하기 때문에 1년에 1세대가 번식(univoltinism)하는데, 유럽지역의 산림에 가장 큰 피해를 주는 곤충 가운데 하나인 spruce bark beetle(*Ips typographus*)의 경우, 여름철 기온이 높았던 해에 1년에 2세대 번식(bivoltinism)이 스웨덴 남부(Butovitsch, 1938)와 노르웨이 남부(Austaraa *et al.*, 1977)에서 관찰되었고 중부 유럽에서는 기온이 높은 해에

Figure 4. Relationship between Relative Density of *Quercus* spp. and Relative Density of Entrance Holes(Group B)

3세대까지도 발생하는 것으로 추정되고 있다(Harding and Ravn, 1985). 나무종류를 비롯한 여타 곤충의 생육은 흔히 온도만으로도 상당히 정확한 모델링이 가능한데 관측자료와 기후변화 시나리오를 이용한 예측 결과 세대수가 증가하는 것으로 나타났다(Lange et al., 2006). 국내의 경우 국립산림과학원은 산림병해충 연구의 일환으로 2000년 이후부터 고정 조사지를 선정하여 나방류의 종구성과 딱정벌레류의 군집구조를 모니터링하고 있다. 이렇게 획득된 자료는 기후변화가 산림병해충 발생에 미치는 영향을 평가하는데 있어 기초자료가 될 수 있으나 현재까지 이들 자료에 대한 집중적인 분석은 아직 미미한 실정이다(Lim et al., 2007). 또한 지난 수십년간의 기상관측결과에 따르면 우리나라에서 기온상승 경향이 나타나는 것은 분명하나 여기에는 정규기상관측소의 위치상 도시화에 따른 열섬효과가 포함되어 있는 것이 사실이고, 복잡한 지형을 가진 산림에서의 미기상은 아직 정확하게 추정하기 어려운 상황이다. 따라서 참나무시들음병 발생 및 광릉긴나무좀의 생태와 방제에 대한 연구가 다각도로 진행되고 있기는 하나 현 단계에서 참나무시들음병의 발생과 확산에 대한 원인을 정확히 규명하는 데에는 장기간 관찰자료를 비롯한 기반자료의 부족 등으로 어려운 점이 있다. 그러나 지난 수십년에 걸친 산림보호의 결과로 광릉긴나무좀의 번식성공률을 높이는 결정적 요인 가운데 하나인 가용자원으로서의 성숙한 참나무림이 증가한 것은 명확한 사실이다. 이와 같은 맥락에서 광릉긴나무좀 역시 자원탐색과 이동으로 소비하는 에너지를 최소화는 동시에 번식성공률을 최대화하기 위해서는 가용자원이 많은 지역을 선호할 가능성이 높을 것으로 판단하였다. 참나무시들음병 발생지의 임분 구조를 조사하여 분석한 결과는 거의 모든 조사지에서 광릉긴나무좀의 가용자원인 참나무속 수종의 중요도가 여타 수종에 비해 가장 높게 나타나고 있어 참나무시들음병 발생과 참나무속 수종 개체수의 많고 적음 간에 상관성이 있으리라는 추정을 뒷받침하는 것으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 참나무시들음병 발생과 발생지의 임분 구조 간에 어떤 연관성이 있는지를 밝히고자 하였으나 여러 가지 한계가 있는 것이 사실이다. 그러나 현재 이와 관련된 연구가 지속되고 있으므로 향후 보다 명확한 원인을 규명하는 데에 있어 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

결론

조사를 실시한 전체 18개 지역(Group A) 가운데 17개 지역에서 참나무속(*Quercus* spp.) 수종들이 우점하는 임분으로 나타났으며, 나머지 1개 지역인 경상남도 진주지역의 경우는 참나무류와 소나무가 우점하는 지역으로 분류되었

다. 군락분류 결과 3개의 군락으로 분류가 되었으나 모두 참나무속 수종 우점 군락으로 나타났고 조사구간 입지환경 차이를 감안하면 수종구성에서도 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 참나무시들음병 발생지에서 천공을 조사할 목적으로 경기도와 강원도의 5개 고정조사지(Group B)에서는 참나무시들음병 피해 정도를 나타내는 지표 가운데 하나인 천공률과 조사지역 내 참나무류의 상대밀도 간에 통계적으로 매우 유의한 상관관계가 인정되어, 임분 구조상 참나무속 수종의 상대밀도는 참나무시들음병의 발생과 관련성이 높은 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 비교적 최근 전국적으로 확산되고 있는 참나무시들음병 피해해석 연구의 일환으로 참나무시들음병 발생지의 임분 구조를 조사하고 분석하였다. 그 결과 피해지의 임분 구조적 특징으로 가장 두드러지는 점은 임분을 구성하는 수종들의 상대우점도 또는 중요도 측면에서 참나무속 수종들의 중요도가 매우 높았다는 사실이다. 최근 들어 빈발하는 산림 병해충 피해에 대하여 상당수의 학자들이 기후를 비롯한 환경변화와의 상관성에 무게를 두고 있는 것으로 보인다. 실제로 화석연료 사용량의 급증, 도시화, 인구증가 등으로 인해 주변 환경이 상당히 변화하고 있는 것은 틀림없다. 그러나 주변 환경이 변한 것 못지않게 우리나라의 산림도 임목축적이나 피복 정도 측면에서 지난 수십년간 크게 바뀌었다고 볼 수 있다. 현재 대부분의 산림지역이 임업적 또는 경제적 가치를 떠나서 상당히 울창한 숲으로 덮여 있는 것은 과거 치산녹화계획을 통해 집중적인 조림을 실시하고 산림지역을 보호한 결과일 것이다. 그러나 우리나라 대부분의 산림지역은 조림지와 계곡주변 등을 제외하면 참나무 속의 수종들이 우점하는 이차림이 대부분이고, 아까시나무를 비롯한 조림수종이나 혼효되어 생육하던 소나무 등이 상대적으로 쇠퇴하면서 참나무속 수종이 상층을 우점하는 형태로 바뀌어 가고 있는 것으로 보인다. 결국 조림의 결과가 아니라 하더라도 현재의 입지환경에서 참나무속 수종들의 경쟁력이 다른 수종들에 비해 상대적으로 높다면 일부지역을 제외하고는 소위 참나무류 순림에 가까운 숲으로 발전할 가능성도 있을 것으로 판단된다. 소나무재선충병, 참나무시들음병 등을 비롯한 산림 병해충 피해의 증가가 부주의한 검역 또는 기후변화를 비롯한 환경변화에서 기인했을 가능성이 존재한다. 그리고 급변하는 환경 하에서 향후 어떤 피해가 발생할지 예측하기 어렵다 하더라도, 수종에 따른 공간적 분포가 해당지역의 생태적 특성에 적합하고, 더불어 다양한 수종과 구조로 이루어져 있다면 피해의 정도는 저감될 수 있을 것이고 회복력 또한 높아질 것이다. 앞으로 산림생태계의 건강성 유지와 생물다양성의 보전이라는 두 가지 목표를 동시에 달성하기 위해서는 산림경관 차원의 정성적인 임분밀도 조절방법, 생태적 안정성을 고려

한 수종갱신방법, 산림생물의 생태, 서식지 및 상호작용 등에 대한 연구가 더욱 심도있게 다루어져야 할 것으로 판단된다. 또한, 다양한 계층의 이해당사자와 전문가들이 참여하는 산림관리 계획수립을 통해 보다 적극적이고 체계적인 산림생태계 관리를 실시하는 동시에 산림병해충 발생에 대한 장기적인 모니터링을 강화하고 조기경보시스템을 구축하는 등 환경변화에서 비롯되는 재해나 병해충에 대한 적응력을 증진시켜야 나가야 할 것이다.

인용문헌

- Austaraa, Ø, Pettersen, H. and Bakke, A.(1977). Bivoltinism in *Ips typographus* in Norway, and winter mortality in second generation. Medd. Nor. Inst. Skogforsk 33, 272-281.
- Butovitsch V.(1938). Om granbarkborrens massförökning i södra Dalarna. Norlands skogsvårdsförbunds tidskrift. 91-126.
- Curtis, J.T. and R.P. McIntosh(1951) An upland forest continuum in the prairie-forest boarder region of Wisconsin. Ecology 32: 476-498.
- Donald J.B., D.M De Long, C.A. Triplehorn.(1981) An introduction to the study of insects, fifth edition. pp. 77-78.
- Harding, S. and Ravn, H.(1985). Seasonal activity of *Ips typographus* in Denmark. Z. Angew. Ent. 99: 123-131.
- Henry, B.W., C.S., Moses, C.A., Richards and A.J. Riker(1944) Oak wilt: Its significance, symptoms, and cause. Phytopathology 34: 636-647.
- Host, G.E., K.S. Pregitzer, C.W. Ramm and J.B. Hart(1987) Landform-mediated differences in successional pathways among upland forest ecosystem in northwestern lower Michigan. Forest Science 33:445-447.
- Jewell, F.F.(1956) Insect transmission of oak wilt. Phytopathology 46: 244-257.
- Jang K.K. and Song H.K.(1997). Study of Dominance-Diversity on *Quercus mongolica* Forests in Kangwon-do. Kor. J. Env. Eco. 11(2): 160-165.
- Kim J.H., Lee D.H., Kim J.S., Lee K.J., Hyun J.O., Hwang J.W., Kwon K.W.(1993). The Interpretation for Stand Structure in Natural Oak Forests. Jour. Korean For 82(3): 235-245.
- Kim K.H., Lee S.K., Park I.K., Lee S.H., Shin S.C(2006). Oakwilt. Korea Forest Research Institute 2-4.
- Lange, H., Økland, B. & Krokene, P.(2006) Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. Interjournal for Complex Systems 1648.
- Lim J.H., Kwon T.S, Chun J.H., Lee I.K., Lee Y.Y., Choi H.T., Won M.S., Lee C.W., Choi W.I., Chang W.S.,(2008). National masterplan for climate change adaptation : Forest and forestry sector, Korea Forest Research Institute 28.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds(1988) Statistical Ecology. John Wiley and Sons, New York, 377pp.
- Pielou, E.C.(1975) Ecological diversity. John Wiley and Sons, New York, 168pp.
- Robert N.C., J.A. Witter.(1984) Forest entomology : Ecology and management. Wiley-Interscience 44.
- Rowe, J.S.(1984) Forestland classification : Limitation of the use of vegetation. 276pp. in Forestland Classification : Experiences and problems. Perspectives. J. Bockheim(ed). Proc. Symp. Univ., Wisconsin.
- Ryu M.I., Lee J.H.(2002). Population Ecology, Seoul Nat'l University Press
- Whittaker, W.H.(1975) Communities and Ecosystems. MacMillan Pub. Co. N. Y. 385pp.