

## 졸참나무와 서어나무 고사목의 나무좀의 다양성과 풍부도

권태성 · 이봉우<sup>1</sup> · 박신영<sup>1</sup> · 변봉규<sup>2</sup> · 박상욱<sup>3</sup> · 이철민\*

국립산림과학원 산림생태연구과, <sup>1</sup>국립수목원 생물표본과, <sup>2</sup>한남대학교 생명과학과, <sup>3</sup>서울대학교 농업생명과학대학 농생명공학부 곤충학전공

## Diversity and Abundance of Bark Beetles (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae and Platypodinae) in Deadwoods of *Quercus serrata* and *Carpinus laxiflora*

Tae-Sung Kwon, Bong Woo Lee<sup>1</sup>, Shin Young Park<sup>1</sup>, Bong Kyu Byun<sup>2</sup>, Sang Wook Park<sup>3</sup> and Cheol Min Lee\*

Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Republic of Korea

<sup>1</sup>Korea National Arboretum, 51-7 Jikdong-ri, Soheul-eup, Pocheon, Gyonggi-do 487-821, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Biological Sciences, Hannam University, Daejeon 306-791, Republic of Korea

<sup>3</sup>School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 151-742, Republic of Korea

**ABSTRACT:** This study was conducted to elucidate the patterns of occurrence of bark beetles on deadwoods of *Quercus serrata* Fisher and *Carpinus laxiflora* Blume which are expected to increase due to climate change. The survey was carried out at the LTER site in Gwangneung forest in Gyeonggi Province in 2007-2008. Bark beetles were collected using emergence traps and attraction traps (funnel trap and window trap). A total of 408 beetles belonging to 12 species in two subfamilies were collected. *Platypus koryoensis* (Murayama) was the most abundant species. *P. koryoensis* and *Xylosandrus germanus* (Blandford) occurred mainly in deadwoods of *Q. serrata*. All other species, except two rare species, occurred commonly in deadwood of both tree species. Species richness and abundance of bark beetles were higher in the attraction traps than in the emergence traps, and higher in *Q. serrata* than in *C. laxiflora*. These indexes were higher in classes I-II or I-III than in classes III-IV or IV of deadwood. Bark beetle communities differed according to years and showed a little difference between tree species.

**Key words:** Bark beetles, Deadwoods, Community, Climate change

**초 록:** 본 연구는 기후변화로 분포확산이 예상되는 졸참나무와 서어나무의 고사목에 서식하는 나무좀의 발생양상을 파악하기 위해 실시되었다. 조사는 경기도에 위치한 광릉 숲의 장기생태조사지에서 2007-2008년도에 이루어졌고, 졸참나무와 서어나무의 고사목에 서식하는 나무좀은 우회트랩과 유인트랩(갈매기트랩과 윈도우트랩)을 사용하여 채집되었다. 조사결과 2아과 12종 408개체가 채집되었으며, 출현종 중 광릉긴나무좀이 가장 많았다. 광릉긴나무좀과 오리나무좀은 졸참나무에서 주로 채집된 데 비해 나머지 종(2종의 회귀종 제외)들은 졸참나무와 서어나무에서 공통적으로 채집되었다. 나무좀의 종풍부도와 풍부도는 우회트랩 보다는 유인트랩에서 높았고, 서어나무 보다는 졸참나무에서 높았다. 부후동급별로는 고사목의 I-II 또는 I-III 단계가 III-IV 또는 IV 단계의 비례 높았다. 나무좀 군집은 연도에 따라 달랐으며, 수종에 관해서는 약간의 차이를 보였다.

**검색어:** 나무좀, 고사목, 군집, 기후변화

인간의 활동에 의해 발생하는 온실 가스는 전세계적인 기후 변화(1970년 이후 약 0.5°C 상승)의 주요 원인으로 생각되며 전세계적으로 평균온도가 다음 세기까지 약 2-4°C 도 상승할 것

로 예상된다(IPCC, 2007). 이에 따라, 극심한 더위 및 가뭄이 빈발하여 산림생태계에 크게 영향을 줄 것이다(Dai, 2010). 아프리카, 아시아, 북미, 오스트레일리아, 유럽 등 전세계적으로 가뭄이나 더위에 의해서 나무의 고사율이 증가했으며(Allen *et al.*, 2010) 국내에서도 제주도 구상나무군락의 쇠퇴가 알려져 있다(Woo *et al.*, 2007; Lim *et al.*, 2008). 이러한 환경변화에 의한 산

\*Corresponding author: kr-chulmin@hanmail.net

Received October 26 2011; Revised November 14 2011;

Accepted December 5 2011

림내에 고사목 증가는 산림의 주요 해충의 하나인 나무좀에게 양호한 서식처를 제공할 것이다.

나무좀은 딱정벌레목(Coleoptera) 바구미과(Curculionidae)에 속하는 나무좀아과(Scolytinae)와 긴나무좀아과(Platypodinae)를 지칭하며, 전세계에 약 7,200종이 분포하며(Ueda *et al.*, 2009) 한국에서는 158종이 알려져 있다(Paek *et al.*, 2010). 나무좀은 생태적 특성에 따라 기주의 기질 그 자체를 가해하는 수피 나무좀(bark beetles, 나무좀과의 많은 종)과 나무에 구멍을 뚫고, 그 터널에서 암브로시아균(ambrosia fungi)을 배양하여 섭식하는 암브로시아나무좀(ambrosia beetles, 나무좀아과의 많은 종과 긴나무좀아과의 모든 종)으로 구분하기도 한다(Choo *et al.*, 1988; Edmonds *et al.*, 2000; Lieutier *et al.*, 2004; Ito and Kajimura, 2009; Masuya and Yamaoka, 2009). 수피나무좀은 내수피, 초본, 균류, 종자, 선인장, 엽병 등을 가해하며 그 중 수피 아래에 아직 살아있는 내수피를 가해하는 종이 가장 많다(Lieutier *et al.*, 2004; Ueda *et al.*, 2009). 반면, 암브로시아나무좀은 암브로시아균 밖에 먹을 수 없지만, 공생균이 가해하는 기주식물의 범위가 넓으며(Ueda *et al.*, 2009) 관련된 균은 약 300여종이 알려져 있다(Masuya and Yamaoka, 2009). 나무좀은 주로 쓰러진 나무, 벌채목, 산불에 손상된 나무 및 기름에 의해 약해진 나무 등 다양한 환경조건에 의해서 약해진 나무를 우선 공격하며 때론 개체수가 증가하여 건강한 나무를 집단공격(mass attack)하는 경우도 있다(Edmonds *et al.*, 2000; Lieutier *et al.*, 2004). 이렇게 피해를 받은 목재는 경제적으로 이용할 수 없기 때문에 나무좀은 일찍부터 산림의 주요해충으로 다루어져 왔다(Goto, 2009).

나무좀의 피해는 기후변화 때문에 점차 증가될 것으로 예상되며(Kamata *et al.*, 2002; Choi, 2011), 벌써 심각한 피해가 세계 각처에서 보고되고 있다. 캐나다의 경우, British Columbia 지역은 *Dendroctonus ponderosae*의 대발생으로 2007년까지 약 7억 1천만<sup>3</sup>의 로지폴 소나무(*Pinus contorta* Dougl.)가 죽었으며 2015년까지 주의 약 75%의 로지폴 소나무가 피해를 입을 것으로 예상했다(Brown *et al.*, 2010). 일본의 경우, *Platypus quercivorus*가 1980년대 이전에는 국한된 지역에서만 발생했지만, 1980년대 이후 급속히 확대하여 일본전역에서 참나무과(Fagaceae) 나무의 집단 고사를 일으키고 있다(Akaishi *et al.*, 2006; Yamasaki and Futai, 2008). 국내에서는 광릉긴나무좀이 매개하는 참나무시들음병(*Raffaelea quercus-mongolicae*)이 2004년 경기도 성남시의 이배재에서 최초로 발견된 이후 서울, 경기, 강원, 전북 및 충북 지역에서 많은 피해가 발생되고 있다(Hong *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2010).

현재 우리나라의 산림은 주로 이차림으로 수목들의 밀도가

높은 상태이다. 이러한 높은 밀도로 인한 나무들의 경쟁과 기후변화의 복합적인 영향으로 고사목이 증가하고 있어 나무좀의 증가가 예상되고 있으며, 이로 인한 수목피해의 가능성도 높아지고 있다. 국내에서 고사목에 서식하는 나무좀의 생태에 대한 연구는 매우 드물어, 소나무 고사목에 서식하는 나무좀에 대한 연구(Lee and Lee, 2000; Kwon *et al.*, 2002)가 있으며, 활엽수 고사목에 대한 연구는 주로 참나무시들음병의 매개충인 광릉긴 나무좀에 관한 것이다(Hong *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2010). 앞으로 기후변화로 인하여 한반도가 아열대기후로 바뀌게 되면 소나무나 신갈나무가 줄어들고 저지대에 주로 서식하는 졸참나무(*Quercus serrata* Thunb.)나 서어나무(*Carpinus laxiflora* Blume) 등의 분포가 늘어날 것으로 예상된다(Kim, 2010). 본 연구는 졸참나무와 서어나무의 고사목에 서식하는 나무좀의 발생양상을 파악하기 위해 실시되었다. 본 연구에서는 나무좀의 발생양상이 수종, 부후등급, 연도, 조사방법에 의해 차이가 나는지를 중점적으로 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 조사지 및 고사목 선정

본 조사는 경기도 포천에 위치한 광릉 숲의 학술보존림에 위치한 국립산림과학원의 장기생태조사지(N37°44', E127°08')에서 실시하였다. 조사지역의 우점종은 서어나무(약 30%)와 졸참나무(약 20%)가 우점종이며(Lee *et al.*, 1990), 이 두 종의 나무를 조사 대상으로 나무좀 발생에 대한 조사를 실시하였다. 조사지에는 수령이 100년 이상의 나무들이 많이 있으며, 고사목도 많이 있다. 고사목들은 자연상태로 방치되어 있으며, 고사목의 이동 및 제거와 같은 인위적인 조치가 금지되어 있다.

고사목의 부후등급은 Sollins(1982)가 제시한 방법을 따랐다. Sollins(1982)의 부후등급에서는 가장 신선한 1등급에서 가장 부후된 5등급까지 있지만, 5등급의 고사목에서는 조사가 어렵기 때문에 1-4등급의 고사목을 대상으로 조사하였다. 각 등급은 다음과 같이 선정했다. 수피가 온전히 남아있고 구조적으로 아직 튼튼한 고사목을 1등급으로 했다. 대부분 수피가 남아 있고 변재부(sapwood)는 약간 썩었지만 심재부(heartwood)는 거의 온전한 고사목을 2등급으로 선정했다. 수피가 벗겨지거나 없고 심재부가 대부분 온전하며 스스로의 무게를 버틸 수 있는 고사목을 3등급으로 선정했고, 수피가 없고 심재부도 썩어 자기 무게를 버틸 수 없는 고사목을 4등급으로 결정했다.

졸참나무와 서어나무 모두 각 부후등급에서 3본의 고사목을 선정하였다. 따라서 총 24본(2수종 × 4부후등급 × 3반복)의 고

사목을 선정하였다. 선정된 고사목의 직경은 30 cm 이상 이었다.

## 나무좀 성충의 채집

조사는 분류동정이 가능한 성충을 대상으로 하였으며, 2007년 4월부터 2008년 10월까지 2년간 월별로 실시하였다. 고사목에서 우화하는 나무좀(성충)은 우화트랩(Emergence trap)으로 고사목에 유인된 나무좀은 윈도우 트랩(Window trap) 또는 깔때기트랩(Funnel trap)을 이용하여 채집하였다(Fig. 1).

우화트랩과 윈도우트랩은 Johansson *et al.*(2006)의 방법에 따르되 약간의 변형을 하였다. 우화트랩은 우화한 성충을 채집하기 위해서 검은 색의 망사로 고사목을 둘러싼 후 중앙부위에 고사목 양쪽에 두개의 채집통을 설치하였다. 채집통 내에는 보존액으로 부동액(자동차용)인 폴리에틸렌글리콜을 넣었다. 망사천의 길이는 60 cm가량이며, 망사천의 끝부분에는 스폰지를 넣어 곤충들의 출입을 막았다. 고사목에는 2개의 우화트랩을 설치하였다. 같은 곳에서 우화트랩을 계속 설치하는 경우, 설치된 곳에서는 산란이 방해되어 다음해에는 우화되는 개체가 줄어들 가능성이 높기 때문에 2008년에는 우화트랩의 위치를 변경하였다.

윈도우트랩은 고사목에 유인된 곤충을 채집하기 위해서 설치하였다. 투명 아크릴판(30 cm × 20 cm)을 고사목에 고정하였고 아크릴판 밑에는 부동액을 넣은 흰색 용기(철재)를 거치하였다. 그러나 이 방법은 상부가 노출되어 고사목에 서식하지 않는 곤충들도 많이 채집되었기 때문에, 2008년에는 깔때기트랩을 대신 사용하였다.

깔때기트랩은 알루미늄 재질의 직경 20 cm의 깔때기를 고사

목에 붙여 설치하였고, 깔때기를 플라스틱박스(길이: 37 cm × 폭: 27 cm × 높이: 14 cm)에 고정하였고, 깔때기를 통해 박스에 들어간 나무좀을 채집하기 위하여, 박스의 내부바닥에는 망사를 깔고 깔때기의 밑부분과 반대되는 곳에 수거용기를 설치하였다. 채집통은 시중에서 판매되는 플라스틱컵(야외도시락국통, 직경: 8.5 cm × 깊이: 6.5 cm)을 사용하였는데, 뚜껑의 중앙부위를 잘라내고 가장자리는 중앙부위를 잘라낸 망사천을 뚜껑으로 덮어 고정시켰다.

## 분류동정 및 통계분석

나무좀의 표본은 모두 건조표본으로 만든 후 실체현미경하에서 종 수준까지 분류동정을 하였다. 분류동정은 Choo(1983), Rabaglia *et al.*(2006) 과 Knižek(2011) 등의 자료를 이용하였다. 동정된 표본은 국립수목원의 곤충표본실에 보관 중이다. 표본 제작과 분류동정 과정에서 생긴 오류로 조사시기(월)에 대한 결과는 제시하지 못했다.

각 고사목의 나무좀군집을 비교하기 위해서 종풍부도, 풍부도, Shannon and Weaver(1949)의 다양도지수( $H'$ )를 이용했다. 종다양도( $H'$ )는 다음 식으로 산출했다.

$$H' = - \sum ( (ni/N) \log_2 (ni/N) )$$

$ni$ 는  $i$ 번째의 종의 개체수,  $N$ 은 군집내의 총개체수

채집된 나무좀의 개체수가 적어 ANOVA 검증을 할 수 없어서, 변수간의 독립성검정에 사용되는 빈도의 로그선형분석(log-linear analysis of frequency on contingency table)을 사용하였다. 이 분석법은 변수간의 독립성을 검정하는 방법으로 두 변수 이상도 분석이 가능하며, 변수간 상호작용의 검정이 가능하다. 우화트랩의 자료에서 종풍부도(species richness, number of species)와 풍부도(abundance, number of individuals)에 대한 연도, 고사목의 종류, 부후등급의 3가지 요인의 영향을 분석하였다. 윈도우트랩과 깔때기트랩의 자료에 대해서는 조사방법, 고사목의 종류, 부후등급에 대한 영향을 분석하였다. 여기서 조사방법간의 비교는 우화트랩과 유인트랩(윈도우트랩 또는 깔때기트랩)에 대해 하였다. 윈도우트랩과 깔때기트랩은 조사연도가 다르기 때문에 서로간의 비교분석을 하지 않았다. 통계분석은 STATISTICA (ver. 6.0)를 사용하였다(Statsoft, 2004).

나무좀군집에 대한 분석은 다변량분석법인 다차원척도법(Non-metric Multidimensional scaling; NMS)를 이용하였다. NMS분석은 군집간의 거리를 이용하기 때문에 각 변수들이 정규분포일 필요가 없으며 군집자료에서 많은 0값에 의한 영향도

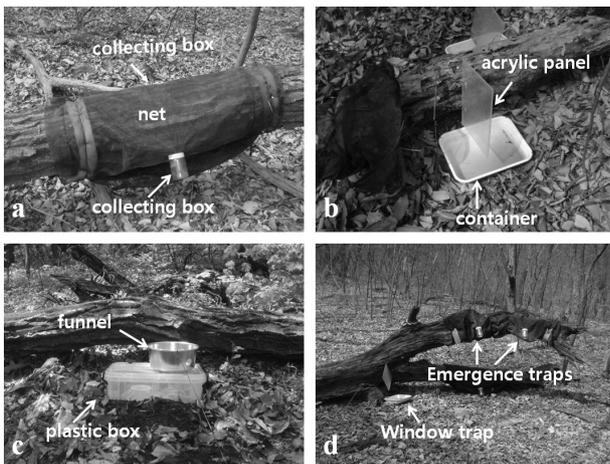


Fig. 1. Photographs of the three traps for collection of bark beetles. (a) emergence trap, (b) window trap, (c) funnel trap, and (d) emergence trap and window trap around deadwood.

적어 널리 이용되고 있다(Yi and Moldenke, 2008; Kwon *et al.*, 2010). 로그변환된 개체수를 이용하여 처리구간의 Sørensen distance를 구하고 이를 이용하여 이차원 NMS 분석을 실시하였다. 한 수종의 한가지 부후등급의 고사목에서만 채집된 종 (singleton species)은 NMS 분석에서 제외하였다(Yi, 2007; Halaj *et al.*, 2008). NMS는 PC-ORD (ver. 5.17)를 이용하여 수행했다(McCune and Mefford, 1999).

## 결과

본 연구의 결과 나무좀은 2아과 12종 408개체가 채집되었다 (Table 1, 2). 연도별로 보면 2007년도에는 10종 151개체, 2008년도에는 9종 257개체가 채집되어, 종풍부도는 연도간에 비슷하나 풍부도는 2008년이 다소 높았다. 채집 방법별로 비교해 보면 우화트랩에서는 8종 103개체가 채집되었고, 고사목에 유인된 성충을 채집한 경우(윈도우트랩과 깔때기트랩, 이하 유인트랩(Attraction trap)으로 호칭)에서는 12종 305개체가 채집되어 유인트랩에서 종풍부도와 풍부도가 높았다. 종다양도의 경우에도 유인트랩이 2.64로 우화트랩 2.11보다 높았다. 연도별로 비교해보면 2007년도에는 윈도우트랩이 10종 89개체가 채집되어 7종 63개체가 채집된 우화트랩보다 많이 채집되었으며, 2008년도에는 깔때기트랩이 9종 216개체가 채집되었지만 우화트랩은 4종 41개체가 채집되었다. 유인트랩이 우화트랩보다 종풍부도, 풍부도 모두 높았으며(Fig. 2), 유의한 차이가 났다

(Table 3). 수종별로 졸참나무에서는 12종 272개체, 서어나무가 9종 136개체가 채집되었고, 졸참나무가 서어나무보다 종풍부도와 풍부도가 높았으며, 종풍부도에서는 유의한 차이가 나타나지 않았지만( $\chi^2 = 6.22, df = 1, P > 0.05$ ), 풍부도는 유의한 차이가 있었다( $\chi^2 = 23.31, df = 1, P < 0.001$ ). 부후등급별로 종풍부도는 1-3등급이 높고 4등급이 낮았으며, 풍부도는 1-2등급이 높고, 3-4등급이 낮았다. 종풍부도에서는 유의한 차이가 없었지만( $\chi^2 = 0.85, df = 3, P > 0.05$ ), 풍부도에서는 유의한 차이가 있었다( $\chi^2 = 60.57, df = 3, P < 0.001$ ).

채집된 종들 중 광릉긴나무좀이 124개체가 채집되어(전체 개체수의 30%) 가장 많았고, 다음으로 단풍나무좀(*Scolytotoplatypus tycon* Blandford)이 108개체(26%), 루이스나무좀(*Ambrosiodmus lewisi* (Blandford))이 59개체(14%)가 채집되었는데 이 3종이 전체 개체수의 70%를 차지했다. 출현종들을 수종별로 트랩(우화트랩 또는 유인트랩)에 채집된 출현양상을 보면 Fig. 3과 같이 4그룹으로 구분할 수 있다. 오리나무좀(*Xylosandrus germanus* (Blandford)) 과 광릉긴나무좀은 발생한 개체들이 전부 또는 대부분 졸참나무에서 채집되었다. 이 두 종을 제외한 나머지 종 (singleton species는 제외)들은 두 수종에 모두 채집되어 서어나무에만 서식하는 종은 나타나지 않았다.

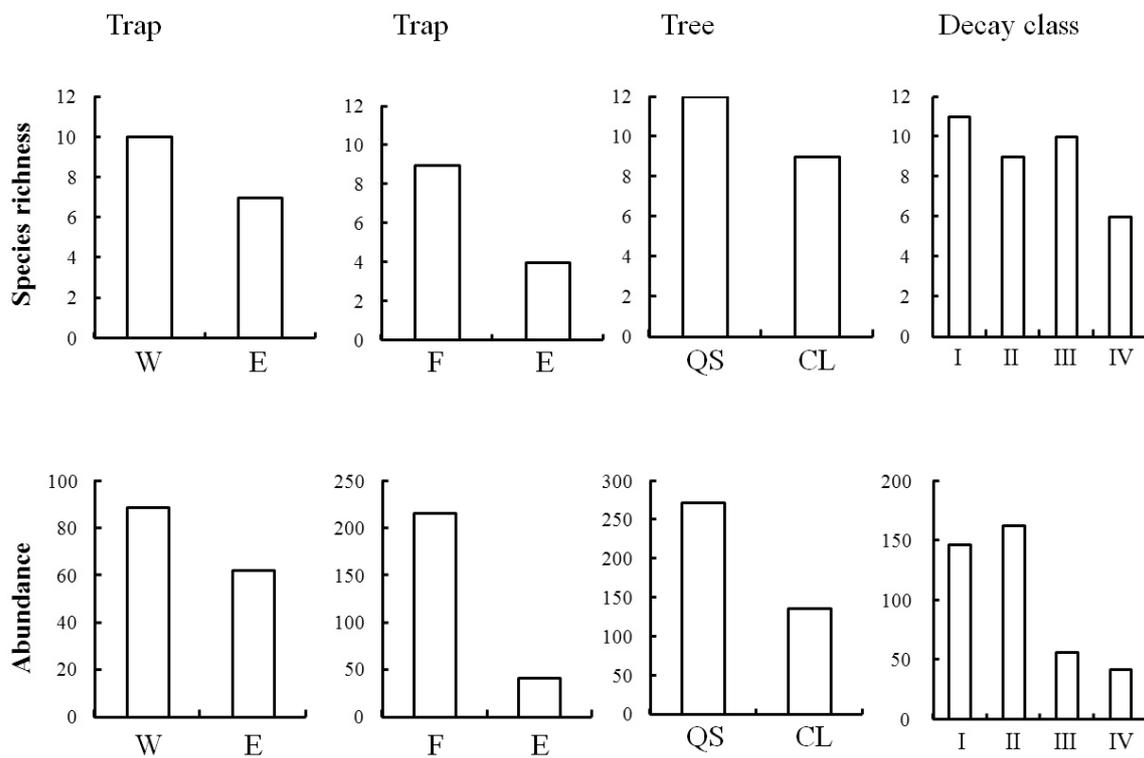
조사방법, 연도, 수종, 부후등급이 나무좀의 종풍부도와 풍부도에 미치는 영향을 분석한 결과는 Table 3와 같다. 우화트랩(2007~2008년)의 자료에서 종풍부도의 경우 수종에 따라 유의한 차이가 났다. 졸참나무에서는 7종, 서어나무는 3종으로 종풍

**Table 1.** Species richness (number of species) and abundance (number of individuals) of bark beetles collected in emergence traps in *Quercus serrata* and *Carpinus laxiflora*. Roman numerals indicate decay class (I-IV)

Species	Emergence trap														Total			
	<i>Quercus serrata</i>								Sub-total	<i>Carpinus laxiflora</i>								
	2007				2008					2007				2008				
	I	II	III	IV	I	II	III	IV		I	II	III	IV	I		II	III	IV
Platypodidae																		
<i>Platypus koryoensis</i> (Murayama)	27				21	2			50									50
Scolytidae																		
<i>Ambrosiodmus lewisi</i> (Blandford)	17	2		1					20	1			1					22
<i>Euwallacea validus</i> (Eichhoff)	1	1			1	1			4					1				5
<i>Xyleborus atratus</i> Eichhoff					3				2					5	2	1	1	9
<i>Xyleborus defensus</i> Blandford				1					1									1
<i>Xyleborus</i> sp. 2				1					1									1
<i>Xylosandrus crasiussculus</i> (Motschulsky)	2	4		2					8									8
<i>Xylosandrus germanus</i> (Blandford)	1	1							2									2
Species richness	5	4	2	2	3	2		1	7	1			2	2	1	1	3	8
Abundance	48	8	2	3	25	3		2	86	1			6	3	1	1	12	103
Species diversity ( <i>H'</i> )	1.42	1.75	1.00	0.92	0.76	0.92			1.86				0.65	0.92			0.54	2.11

**Table 2.** Species richness (number of species) and abundance (number of individuals) of bark beetles collected in attraction traps (window trap and funnel trap) in *Quercus serrata* and *Carpinus laxiflora*. Roman numerals indicate decay class (I-IV)

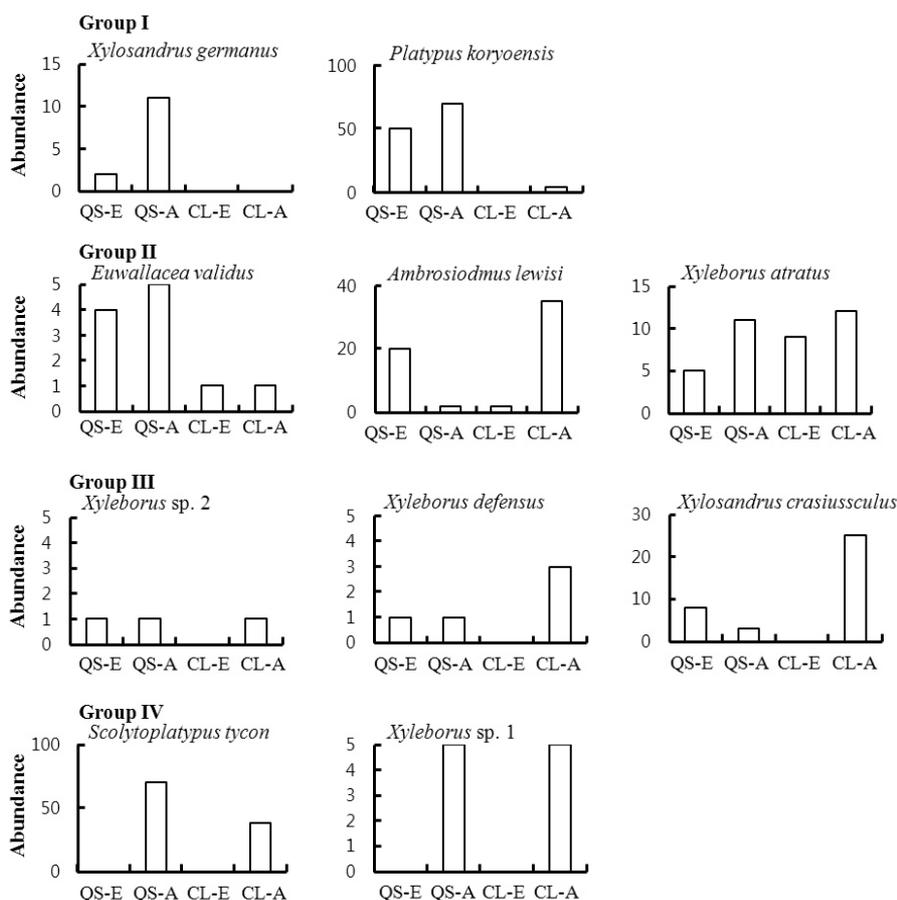
Species	Window trap (2007)					Funnel trap (2008)					Sub-total	Total								
	<i>Quercus serrata</i>				<i>Carpinus laxiflora</i>				<i>Quercus serrata</i>				<i>Carpinus laxiflora</i>							
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II			III	IV	I	II	III	IV		
<b>Platypodidae</b>																				
<i>Platypus koryoensis</i> (Murayama)	1					3				4	2	67					1	70	74	
<i>Treptoplatypus severini</i> (Blandford)											1							1	1	
<b>Scolytidae</b>																				
<i>Ambrosiodmus lewisi</i> (Blandford)					6	5	14	4	29	1		1		3	3				8	37
<i>Euwallacea validus</i> (Eichhoff)		1							1	2		2		1					5	6
<i>Scolytoplatypus tycon</i> Blandford										14	37	14	5	5	16	5	12	108	108	
<i>Scolytus clavis</i> Blandford				1					1										2	
<i>Xyleborus atratus</i> Eichhoff					2				2	4	2	4	1	1		5	4	21	23	
<i>Xyleborus defensus</i> Blandford					3				3		1							1	4	
<i>Xyleborus</i> sp. 1		1		4			1		3	9							1	1	10	
<i>Xyleborus</i> sp. 2					1				1	1								1	2	
<i>Xylosandrus crasiussculus</i> (Motschulsky)		3			16	1	3	5	28										28	
<i>Xylosandrus germanus</i> (Blandford)			10	1					11										11	
Species richness	3	2	3		5	4	2	3	10	7	4	4	2	4	2	2	4	9	12	
Abundance	5	11	6		28	10	17	12	89	25	107	21	6	10	19	10	18	216	305	
Species diversity ( <i>H'</i> )	1.37	0.44	1.25		1.73	1.69	0.67	1.55	2.47	2.03	1.12	1.38	0.65	1.69	0.63	1.00	1.34	1.80	2.64	



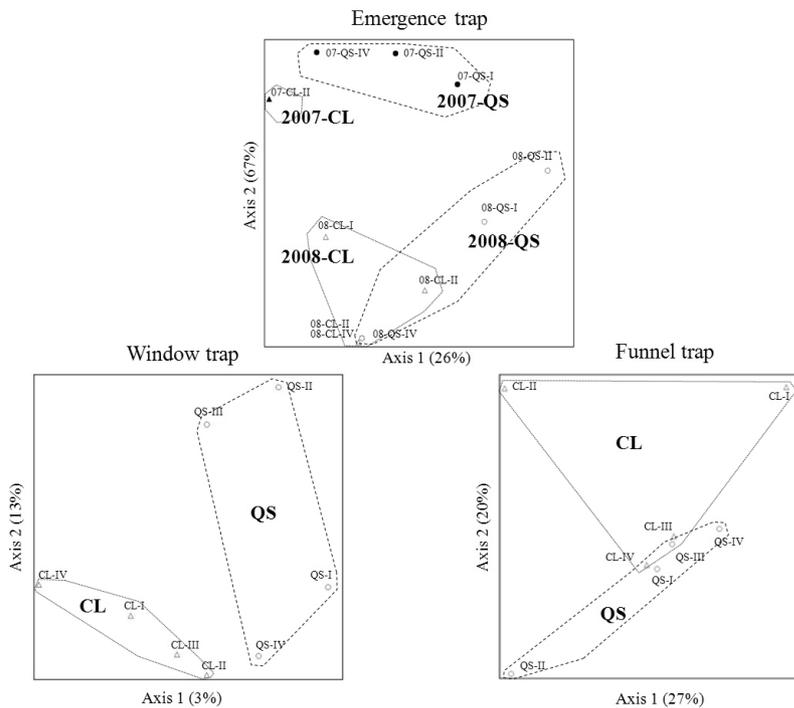
**Fig. 2.** Differences in species richness and abundance of bark beetles between collection traps, species of deadwood, and decay class. Traps, W: Window trap, F: Funnel trap, and E: Emergence trap. Species of deadwood, QS: *Quercus serrata*, and CL: *Carpinus laxiflora*, Roman numerals indicate decay class of deadwood (I-IV).

**Table 3.** Results of log-linear frequency analysis of contingency tables (method, year, tree, and decay class) based on species richness and abundance of bark beetles

Condition	Variable	df	Species richness		Abundance	
			$\chi^2$	P	$\chi^2$	P
Emergence	Year (Y)	1	0.12	0.732	4.00	0.046
	Tree (T)	1	4.33	0.037	62.32	0.000
	Decay class (D)	3	4.46	0.216	119.84	0.000
	Y × T	1	4.41	0.036	13.04	0.000
	Y × D	3	0.17	0.982	0.33	0.954
	T × D	3	0.52	0.914	7.58	0.056
	<hr/>					
2007	Method (M)	1	1.46	0.227	4.61	0.032
	Tree (T)	1	0.82	0.365	1.42	0.234
	Decay class (D)	3	4.63	0.201	58.98	0.000
	M × T	1	9.31	0.002	88.39	0.000
	M × D	3	0.08	0.994	25.85	0.000
	T × D	3	0.72	0.869	17.68	0.001
	<hr/>					
2008	Method (M)	1	6.02	0.014	125.91	0.000
	Tree (T)	1	0.51	0.475	57.35	0.000
	Decay class (D)	3	3.75	0.290	99.05	0.000
	M × T	1	0.25	0.617	0.08	0.777
	M × D	3	0.94	0.816	53.99	0.000
	T × D	3	1.23	0.745	30.60	0.000



**Fig. 3.** Abundance of ten bark beetle species collected by emergence trap and attraction traps (window traps and funnel traps). Four groups were classified based on occurrence pattern. Species of deadwood, CL: *Carpinus laxiflora*, QS: *Quercus serrata*. Traps, E: Emergence trap, A: Attraction traps (Window trap and funnel trap). Two singleton species (*Treptoplastypus severini* and *Scolytus claviser*) were not included.



**Fig. 4.** NMS ordination of bark beetle communities collected by emergence trap, window trap, and funnel trap. QS represents deadwood of *Quercus serrata* and CL represents deadwood of *Carpinus laxiflora*. Numerals in emergence trap indicate the year of survey and Roman numerals indicate the decay class of deadwood.

부도에서 배 이상 차이가 났다. 연도와 수종의 상호작용이 유의하였는데, 졸참나무는 2007년(7종)이 높고 2008년(3종)이 낮는데 비해 서어나무에서는 반대로 2007년(1종)에 비해 2008년(3종)에 높았다. 풍부도의 경우에는 연도, 수종, 부후등급에 따른 유의한 차이가 나타났다. 2007년 자료(우화트랩, 윈도우트랩)에서는 종풍부도에서는 차이가 없었으나, 풍부도에서는 조사방법과 부후등급에 따른 차이가 나타났으며, 각 요인간의 유의한 상호작용이 나타났다. 2008년 자료(우화트랩, 갈매기트랩)에서는 종풍부도는 조사방법에 따라 유의하게 달랐고, 풍부도는 조사방법, 수종, 부후등급에 따라 유의한 차이가 났다. 조사방법과 수종, 수종과 부후등급의 유의한 상호작용도 나타났다.

나무좀의 군집을 트랩의 종류별로 NMS분석을 한 결과는 Fig. 4와 같다. 우화트랩의 자료에서는 군집들은 연도에 의해 분리되고 수종에 따른 분리현상이 이차적으로 나타나고 있다. 윈도우트랩과 갈매기트랩의 자료에서는 수종에 따른 분리현상이 약하게 나타나고 있으나, 명확하게 분리되는 되지 않고 있다. 윈도우트랩에서는 졸참나무의 2등급과 3등급이 다른 군집들과 분리가 되었으며, 갈매기트랩에서는 서어나무의 1-2등급과 졸참나무의 2등급이 분리되며 나머지는 중앙에 집합하는 현상이 나타났다. 이러한 사실은 나무좀의 군집은 연도에 따른 차이가 많으며, 수종간의 차이는 그다지 심하지 않음을 나타내고 있다.

## 고찰

식생변화와 지구온난화의 영향으로 국내에서 분포증가가 예상되는 졸참나무와 서어나무의 고사목에서 서식하는 나무좀을 조사한 결과 광릉긴나무좀을 비롯한 12종의 나무좀을 확인하였다. 이 중 *Xyleborus* sp. 1과 sp. 2은 국내미기록종으로 추정되는 종으로 미기록 여부를 확인하기 위해 분석중이다. Lee와 Lee(2000)는 소나무에서 재식성 곤충을 조사한 결과 10종의 나무좀이 서식하는 것으로 보고하였다. 이러한 종풍부도는 본 연구에서의 졸참나무 12종, 서어나무 9종과 비슷한 수치라 할 수 있다. 그러나 종 구성은 확연히 달라 Lee와 Lee(2000)의 조사에서 나타난 종과 본 조사에서 나타난 종간에 공통종은 없었다. 이러한 사실은 소나무 고사목과 활엽수 고사목을 이용하는 나무좀은 매우 다르다는 것을 나타내는 것이다. 그에 반해 졸참나무와 서어나무 간에는 대부분의 종들이 공통적으로 채집되어 두 수종의 고사목을 이용하는 나무좀은 거의 비슷하다는 것을 알 수 있다. 그러나, 졸참나무 고사목에서 채집된 나무좀이 많았고, 졸참나무 고사목은 이용하지만 서어나무 고사목은 이용하지 않는 종들은 있으나 그 반대는 없는 것으로 미루어 졸참나무의 고사목이 나무좀에게 보다 선호되는 것으로 사료된다.

본 연구에서 출현한 중 중 팔배나무좀(*Xylosandrus crasiussculus*)

(Motschulsky))과 오리나무좀의 기주식물에서 졸참나무와 서어나무는 누락되어 있다(Choo *et al.*, 1988). 오리나무좀의 기주식물은 쪽동백나무, 소나무, 아까시나무, 포도나무, 때죽나무, 산초나무, 옷나무 등으로 보고되었다(Choo *et al.*, 1988). 본 조사에서는 오리나무좀이 졸참나무 고사목을 이용하는 것으로 나타났다. 팔배나무좀은 때죽나무, 붉나무, 단풍나무, 팔배나무를 이용하는 종으로, 본 조사 결과 졸참나무 고사목의 우화트랩에서 채집되어 졸참나무 고사목이 기주인 것은 확실하다. 서어나무 고사목에서는 비록 우화트랩에서 채집이 되지 않았으나 윈도우트랩에서 부후등급별로 고르게 많은 개체들이 채집되는 것으로 보아 서어나무 고사목이 기주일 가능성이 높아 보인다. 고사목은 영양분이 적고 분해과정 중 영양소가 감소하기 때문에 (Li *et al.*, 2007), 일반적으로 많은 종의 재식성 곤충(saproxyllic insects)은 성장속도가 느리며 생활주기를 완성하기 위해서 많은 시간이 필요하다(Dajoz, 2000). 출현종 중 단풍나무좀, 팔배나무좀과 오리나무좀은 2년간의 조사기간 중 한 해에만 많은 개체들이 출현하여 다년생의 생활주기를 가질 가능성이 있는 것으로 판단된다.

광릉긴나무좀의 주 서식처는 졸참나무로 보고되었으며(Choo *et al.*, 1988), 본 종이 매개하는 참나무시들음병은 주로 신갈나무에서 나타난다(Hong *et al.*, 2006). 광릉긴나무좀은 졸참나무 외에도 갈참나무, 상수리나무와 서어나무를 이용하는 것으로 보고되었다(Lee and Chung, 1997), 그러나 본 연구결과만으로 본종의 서어나무 고사목에서의 서식 가능성을 확인하기는 어렵다. 이는 서어나무에서 채집된 4개체는 모두 윈도우트랩이나 깔때기트랩에서 채집되었는데 이 두가지 방법은 고사목에 있는 개체를 직접 채집하는 방법이 아니기 때문이다. 그리고 서어나무 고사목 주변에는 많은 졸참나무 고사목들이 산재해 있기 때문에 이들 고사목에 유인된 개체가 우연히 채집되었을 가능성도 있다. 그러나, 본 조사의 결과는 광릉긴나무좀이 서어나무에 비해 졸참나무 고사목에 많이 산다는 것은 명확하게 나타내고 있다. 그러나 1-2 부후등급의 고사목에서만 제한적으로 출현하는 것으로 보아 부후가 많이 진행된 고사목에서는 더 이상 살지 못한다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 참나무시들음병의 피해방제에 대한 한가지 점을 제시하고 있다. 즉 이 수병의 피해가 심한 곳에서 광릉긴나무좀의 밀도를 감소시키기 위해서는 신규 참나무 고사목의 처리가 필요하다는 것을 나타내고 있다. 그러나 산림에서 고사목은 생물다양성 유지에 매우 중요한 역할을 하는 만큼, 고사목의 조치는 피해의 심각성, 방제의 경제성, 생태계 영향, 경관상의 문제점 등에 대한 다각적인 검토 후에 수행되어야 할 것이다.

광릉긴나무좀 외에는 부후등급별 선호도가 명확한 종을 찾

기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 전체 개체수를 비교했을 때 부후등급이 초기의 고사목에서 나무좀이 많았다(Table 1, 2; Fig. 2). 나무좀은 고사목의 초기 단계에서 많이 발생하고 분해가 진행됨에 따라 하늘소류와 같은 심재부를 가해하는 종들이 많아지고, 분해가 마무리 단계에 접어들면 개미류와 지렁이류와 같이 일반적인 부식성 절족동물들이 고사목의 마지막 잔해를 분해하게 된다(Dajoz, 2000). 나무좀은 수피부분에 침입하여 갱도를 만들어서 곰팡이와 박테리아가 침입이 용이하도록 만들어준다(Swift, 1977). 참나무와 유연관계가 높은 너도밤나무 고사목 분해의 초기단계에서는 나무좀과, 비단벌레과, 하늘소과 등이 주 역할을 하지만, 분해가 진행됨에 따라 주로 하늘소과, 사슴벌레과, 거저리과 등에 자리를 내어준다. 이런 고사목 분해초기 단계에서의 나무좀의 우점현상은 전나무, 북방림의 침엽수 고사목의 분해과정에서도 확인이 되고 있다(Dajoz, 2000). 그러므로 나무좀은 고사목의 분해가 진행될수록 풍부도나 풍부도가 감소될 것이다.

본 연구에서 사용한 우화트랩과 윈도우 트랩은 Johansson *et al.*(2006)의 방법을 따른 것이다. 그럼에도 불구하고 채집된 나무좀의 풍부도는 Johansson *et al.*(2006)의 결과에 비해 월등히 적었다. Johansson *et al.*(2006)는 스웨덴 북부에서 나무좀아과에 대한 조사결과 총 22종 154,054개체를 채집하였다. 이를 고사목 당으로 환산하면 우화트랩에서는 1,034개체가 윈도우트랩에서는 107개체가 채집된 것이다. 본 연구에서는 Johansson *et al.*(2006)의 조사시기와 동일한 2007년 6-7월에 채집된 나무좀이 우화트랩에서 고사목당 2.5개체, 윈도우트랩에서는 3개체가 채집되어 Johansson *et al.*(2006)의 결과에 비해 우화트랩은 0.2%, 윈도우트랩은 3%에 불과한 나무좀이 채집되었다. 이러한 결과는 한대림의 침엽수에 비해 온대림의 활엽수에서 나무좀의 밀도가 매우 낮음을 나타낸다. 윈도우트랩의 경우 고사목에 서식하지 않는 곤충들도 지나치게 많이 채집되어, 2008년에는 깔때기트랩으로 교체하였다. 깔때기트랩에 채집된 전체 절족동물의 풍부도(1,607개체)는 윈도우트랩(5,213개체)에 비해 적었지만, 나무좀은 윈도우트랩(10종 89개체)에 비해 깔때기트랩(9종 216개체)에서 오히려 많아서 나무좀의 채집효율이 윈도우트랩에 비해 낮지 않았다. 울진의 산불피해지의 고사목에서 조사한 결과에 따르면, 설치 1년 후에 수거한 경우에도 채집된 딱정벌레의 표본상태가 매우 양호하였다(Kwon, T.S., unpublished observation). 깔때기트랩은 구조가 간단하고 견고하기 때문에 다양한 곳에서 장기간에 걸쳐 나무좀을 동시에 채집하기에 적합한 것으로 사료된다.

우리나라 고산지대에서 많이 분포하는 신갈나무는 지구온난화로 감소가 예상되며(Choi, M.S., personal communication), 최

근에는 참나무시들음병에 의한 피해로 서울 근교를 비롯한 많은 곳에서 신갈나무 고사목이 발생하고 있다. 고사목의 증가는 곤충상을 변화시켜 다단계의 생태계 변화를 일으킬 것이다. 신갈나무의 고사로 생긴 빈틈에는 상승하는 기온이 생존에 유리한 졸참나무와 서어나무가 자라날 가능성이 높다. 이처럼 참나무시들음병의 창궐은 기후변화로 인한 활엽수림의 천이를 가속시킬 것이다. 일반적으로 고사목 서식 곤충의 숙주특이성은 종 수준 보다는 종 수준 이상의 분류군 수준에서 나타난다 (Tavakilian *et al.*, 1997). 따라서 본 연구의 졸참나무 고사목에 나타나는 나무좀의 발생양상(종 구성, 생활주기 등)은 신갈나무 고사목에도 비슷하게 나타날 것으로 예상된다. 그러나 본 연구의 결과는 한 장소에서만 얻어진 것이기 때문에, 신갈나무를 비롯한 참나무 고사목에 서식하는 나무좀의 일반적인 발생양상을 파악하기 위해서는 보다 많은 곳에서 연구자료들이 축적되어야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 국립산림과학원 연구과제(기후변화에 따른 산림 생태계 영향평가 및 적응연구, FE 0100-2009-01)와 국립수목원의 연구과제(산림내 천공성 곤충의 계통분류 및 대형종의 보전 기반 구축, KNA1-2-9, 09-1)로 수행되었다. 본 논문을 검토해준 두명의 심사자에게 감사의 말씀을 드린다. 고사목 선정을 도와준 김래현 박사와 나무좀의 표본제작을 도와준 박영규 박사와 한국유용곤충연구소 직원들께 감사의 말씀을 드린다.

## Literatures Cited

- Akaishi, D., N. Kamata and K. Nakamura. 2006. Initial stage of an infestation of *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae) in a secondary forest dominated by *Quercus serrata* and *Quercus variabilis*. J. Jpn. For. Soc. 88: 274-278.
- Allen, C.D., A.K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D.D. Breshears, E.H. Hogg, P. Gonzalez, R. Fensham, Z. Zhang, J. Castro, N. Demidova, J.H. Lim, G. Allard, S.W. Running, A. Semerci and N. Cobb. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. For. Ecol. Manage. 259: 660-684.
- Brown, M., T.A. Black, Z. Nestic, V.N. Foord, D.L. Spittlehouse, A.L. Fredeen, N.J. Grant, P.J. Burton and J.A. Trofymow. 2010. Impact of mountain pine beetle on the net ecosystem production of lodgepole pine stands in British Columbia. Agric. For. Met. 150: 254-264.
- Choi, W.I. 2011. Influence of global warming on forest coleopteran communities with special reference to ambrosia and bark beetles. J. Asia Pac. Entomol. 14: 227-231.
- Choi, W.I., J.S. Lee, K.S. Choi, J.K. Kim and S.C. Shin. 2008. Tree trunk level distribution of Entry hole by *Platypus koryoensis* (Coleoptera: Platypodidae) and its implication to tree damage. Kor. J. Appl. Entomol. 47: 127-131.
- Choo, H.Y. 1983. Taxonomic studies on the Platypodidae and Scolytidae (Coleoptera) from Korea. 129 pp. Ph.D. Thesis of Seoul National University.
- Choo, H.Y., K.S. Woo and N. Akira. 1988. Classification of Korean bark and ambrosia beetles by their galleries. Kor. J. Appl. Entomol. 27: 131-137.
- Dai, A. 2010. Drought under global warming: a review. Wiley interdisciplinary Reviews: Climate change 2: 45-65.
- Dajoz, R. 2000. Insects and forests. Lavosier publishing. Londres-Paris-New York. 668 pp.
- Edmonds, R.L., J.A. Agee and R.I. Gara. 2000. Forest health and protection. 630 pp. The McGraw-Hill Companies, USA.
- Goto, H. 2009. Taxonomic history of Japanese bark and ambrosia beetles with a check list of them. J. Jpn. For. Soc. 91: 479-485 (in Japanese with English summary).
- Halaj, J., C.B. Halpern and H.B. Yi. 2008. Responses of litter-dwelling spiders and carabid beetles to varying levels and patterns of green-tree retention. For. Ecol. Manage. 255: 887-900.
- Hong, K.J., Y.D. Kwon, S.W. Park and D.P. Lyu. 2006. *Platypus koryoensis* (Murayama) (Platypodidae; Coleoptera), the Vector of Oak wilt disease. Kor. J. Appl. Entomol. 45: 113-117.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (Eds.), Contribution of working group I to the fourth assessment. Report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, NY, USA, 996 pp.
- Ito, M. and H. Kajimura. 2009. Phylogeography of Bark and Ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). J. Jpn. For. Soc. 91: 424-432 (in Japanese with English summary).
- Johansson, T., H. Gibb, J. Hilszczański, R.B. Pettersson, J. Hjältén, O. Atlegrim, J.P. Ball and K. Danell. 2006. Conservation-oriented manipulations of coarse woody debris affect its value as habitat for spruce-infesting bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Scolytinae) in northern Sweden. Can. J. For. Res. 36: 174-185.
- Kamata, N., K. Esaki, K. Kato, Y. Igeta and K. Wada. 2002. Potential impact of global warming on deciduous oak dieback caused by ambrosia fungus carried by ambrosia beetle in Japan. Bull. Ent. Res. 92: 119-126.
- Kim, H.W. 2010. Pine tree. 266 pp. Idam Publishing, Korea.
- Kim, J.H., J.S. Lee, I.K. Park and W.I. Choi. 2010. Influence of trap type and location on tree trunk on *Platypus koryoensis* (Coleoptera: Platypodidae) trapping. Koran J. Appl. Entomol. 49: 145-149.

- Knižek, M. 2011. Subfamily Scolytinae. pp. 240-241. In Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Volume 7. Curculionoidea I, Apollo books, Stenstrup, Denmark.
- Kwon, T.S., C.S. Kim, Y.S. Park, H.M. Chae, J.D. Park and J.K. Kim. 2002. Impacts of the pine bark beetle, *Tomicus piniperda* (Coleoptera: Scolytidae), on death of fresh shoots of pine trees in burned pine stands. *J. Kor. For. Soc.* 91: 349-354.
- Kwon, T.S., H.M. Yang, J.H. Shin, S.K. Kim and H.B. Yi. 2010. Effects of thinning on abundance and community structure of arthropods in a *Pinus koraiensis* plantation. *Kor. J. Appl. Entomol.* 49: 187-198.
- Lee, B.Y. and Y.J. Chung. 1997. Insect pests of trees and shrubs in Korea. Seong An Dang publishing Co. 459 pp.
- Lee, C.Y. and S.B. Lee. 2000. Boring insects of the *Pinus densiflora* S. et Z. in Korea. *Jour. Kor. For. Soc.* 89: 609-617.
- Lee, K.J., J.C. Jo, B.S. Lee and D.S. Lee. 1990. The structure of plant community in Kwangnung Forest (I). *Jour. Kor. For. Soc.* 79: 173-186.
- Li, Z., D. Li-min, G. Hui-yan and Z. Lei. 2007. Review on the decomposition and influence factors of coarse woody debris in forest ecosystem. *J. For. Res.* 18: 48-54.
- Lieutier, F., K.R. Day, A. battisti, J-C. Grégoire and H.F. Evans. 2004. Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis. 569 pp. Kluwer academic publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Lim, J.H., J.H. Chun, S.Y. Woo and Y.K. Kim. 2008. Increased declines of Korean fir forest caused by climate change in mountain Halla, Korea. In Oral presentation at: International conference "Adaptation of forests and forest management to changing climate with emphasis on forest health: A review of science, policies, and practices", Umea, Sweden, FAO/IUFRO, 25-28 August 2008.
- Masuya, H. and Y. Yamaoka. 2009. The relationships between Fungi and Scolytid and Platypodid Beetles. *J. Jpn. For. Soc.* 91: 433-445 (in Japanese with English summary).
- McCune, B. and M.J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, Version 4.0. MjM Software Design, Gleneden Beach.
- Paek, M.K, J.M. Hwang, K.S. Jung, T.W. Kim, M.C. Kim, Y.J. Lee, Y.B. Cho, S.W. Park, H.S. Lee, D.S. Ku, J.C. Jeong, K.G. Kim, D.S. Choi, E.H. Shin, J.H. Hwang, J.S. Lee, S.S. Kim and Y.S. Bae. 2010. Checklist of Korean insects. Nature and Ecology. 598 pp. Seoul, Korea.
- Rabaglia, J.R., S.A. Dole and A.I. Cognato. 2006. Review of American Xyleborina (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) occurring north of Mexico, with an illustrated key. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 99(6): 1034-1056.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. A mathematical model of communication. Urbana, IL: University of Illinois press.
- Sollins, P. 1982. Input and decay of coarse woody debris in coniferous stands in western Oregon and Washington. *Can. J. For. Res.* 12:18-28.
- StatSoft, Inc. 2004. Statistica for Windows. Version 6. Tulsa.
- Swift, M.J. 1977. The ecology of wood decomposition. *Sci. Prog.* 64:175-199.
- Tavakilian G., A. Berkov, B. Meurer-Grimes and S. Mori. 1997. Neotropical tree species and their faunas of *Xylophagous longicornis* (Coleoptera: Cerambycidae) in French Guyana. *Bot. Rev.* 63: 303-355.
- Ueda, A., T. Mizuno and H. Kajimura. 2009. Ecological Traits of bark and ambrosia beetles (Curculionidae: Scolytinae and Platypodinae): Till now and future studies about their diets and reproduction. *J. Jpn. For. Soc.* 91: 469-478.
- Woo, S.Y., J.H. Lim, S.M. Je, D.K. Lee, M.J. Kwon and S. Ryang. 2007. Decline in Mt. Halla-A linkage with physiological changes caused by climate change. In Fourth USDA greenhouse gas conference, Baltimore, MD, 6 February 2007.
- Yamasaki, M. and K. Futai. 2008. Host selection by *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera: Platypodidae) before and after flying to trees. *Appl. Entomol. Zool.* 43: 249-257.
- Yi, H.B. 2007. Effect of thinning on flying insect communities using window traps in young Douglas-fir forests in the Pacific Northwestern America. *J. Plant Biol.* 50: 190-197.
- Yi, H.B. and A. Moldenke. 2008. Responses of litter-dwelling arthropods to four different thinning intensities in Douglas-fir forests of the Pacific Northwest, USA. *Ann. Zool. Fennici* 45: 229-240.