

# 수출분재 주요 해충인 알락하늘소와 유리알락하늘소에 대한 포스핀 훈증 효과 검정

이상명 · 정영학 · 이병호<sup>1</sup> · 김봉수<sup>2</sup> · 박민구<sup>3</sup> · 이동운<sup>4\*</sup>

(주)에스엠바이오비전, <sup>1</sup>경상대학교 산학협력단, <sup>2</sup>농림축산검역본부 식물검역기술센터, <sup>3</sup>농림축산검역본부 식물방제과, <sup>4</sup>경북대학교 생태환경관광학부 생물응용전공

## Evaluation of Phosphine Efficacy on *Anoplophora chinensis* and *A. glabripennis* in Export Bonsai

Sang Myeong Lee, Young Hack Jung, Byung-Ho Lee<sup>1</sup>, Bong-Su Kim<sup>2</sup>, Min-Goo Park<sup>3</sup> and Dong Woon Lee<sup>4\*</sup>

SMBioVision Co, Jinju 52849, Korea

<sup>1</sup>Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>2</sup>Plant Quarantine Technology Center, Animal and Plant Quarantine Agency, Gimcheon 39660, Korea

<sup>3</sup>Plant Pest Control, Animal and Plant Quarantine Agency, Gimcheon 39660, Korea

<sup>4</sup>Major of Applied Biology, School of Environmental Ecology and Tourism, Kyungpook National University, Sangju 37224, Korea

**ABSTRACT:** *Anoplophora chinensis* and *A. glabripennis* is classified as important quarantine Cerambycidae beetles worldwide. These beetles cause serious damage on natural host plants and export bonsai trees in Korea. We evaluated efficacy of phosphine fumigant for control of two Cerambycidae beetles in bonsai. In the preliminary test to achieve CT (Concentration x time) values of phosphine to Cerambycidae beetles larvae, we used *Monochamus alternatus* of larvae as an alternative insect. A 24 h phosphine fumigation with 2 g/m<sup>3</sup> phosphine achieved 100% eggs mortality against *Anoplophora chinensis* and *A. glabripennis*. Larva of *A. chinensis* was also completely controlled when treated for 168-h at same dose desiccator. 100% mortality on larval stage of two beetle species were achieved both in dormancy (January) and vegetative period (February) of bonsai when treated with 2 g/m<sup>3</sup> phosphine. However, phosphine fumigation against vegetative period of *Acer palmatum*, *Carpinus turczaninowii* and *Malus sieboldii* bonsai showed slight phytotoxicity (shorten leaf and flower size and delayed flowering).

**Key words:** Bonsai, Fumigant, Long-horned beetle, Phosphine, Quarantine

**조 록:** 알락하늘소(*Anoplophora chinensis*)와 유리알락하늘소(*A. glabripennis*)는 전 세계적으로 검역상 중요한 하늘소과 해충이다. 우리나라에서 이들은 자연 기주목과 분재에서 피해를 주고 있다. 본 연구에서는 분재에서 phosphine의 이들 두 하늘소에 대한 방제효과를 조사하였다. Phosphine은 솔수염하늘소 유충과 알에 대해 높은 훈증효과를 보였다. 2 g/m<sup>3</sup> 농도의 phosphine을 24시간 훈증처리 시 유리알락하늘소와 알락하늘소 난은 부화하지 못하였고, 알락하늘소 유충은 동일농도에 168시간 훈증처리 시 100% 치사되었다. 분재 생육기(2월)나 휴면기(1월) 모두에서 phosphine 훈증제는 2 g/m<sup>3</sup> 농도에서 두 알락하늘소를 100% 치사시켰다. 그러나 2월에 각 분재목[단풍나무(*Acer palmatum*)와 소사나무(*Carpinus turczaninowii*), 아그배나무(*Malus sieboldii*)]을 대상으로 훈증처리 시, 세 수종 모두에서 잎과 꽃잎의 크기가 작아지고, 꽃의 개화가 지연되는 약해가 발생되었다.

**검색어:** 분재, 훈증제, 하늘소, 포스핀, 검역

\*Corresponding author: whitegrub@knu.ac.kr

Received January 11 2018; Revised June 2 2018

Accepted July 3 2018

하늘소류는 우리나라에는 318종이 기록되어 있다(Lim et al., 2014). 하늘소류의 성충은 각종 침엽수나 활엽수 또는 초본류를 기주식물로 섭식하고, 유충은 식물의 조직 내에서 생활하는데 일부 종들의 경우 목질부를 갉아먹으면서 터널을 형성하여 목재로서의 상품성을 저해하는 천공성해충이다(Lim et al., 2014).

경제적으로 중요한 하늘소류로는 소나무재선충을 매개하는 *Monochamus* 속 하늘소류가 대표적이며 근래에는 아시아 원산인 알락하늘소(*Anoplophora chinensis*)와 유리알락하늘소(*A. glabripennis*)가 미국이나 유럽에 도입되어 조경수나 자연림의 경관저해 뿐만 아니라 목재 생산에도 큰 피해를 유발하고 있다(Nowak et al., 2001; Sjöman et al., 2014; Ali et al., 2017).

전세계적으로 유리알락하늘소는 66종류의 기주식물이 문헌상에 기록되어 있고, 알락하늘소는 186종의 기주식물이 기록되어 있는데(Sjöman et al., 2014) 우리나라에서는 유리알락하늘소의 기주식물로 11과 20종류가 기록되어 있고(Williams et al., 2004; Lim et al., 2014), 알락하늘소의 기주식물로 19과 41종류가 기록되어 있다(Lim et al., 2014).

이들 알락하늘소류가 다양한 수종에 대한 기주범위를 가지면서 원산지인 중국이나 한국으로부터 미국이나 유럽에 도입되어 경제적 손실이 발생함에 따라 이들 해충이 유입 될 수 있는 각종 농산물에 대한 검역규제가 시행되고 있다. 특히 알락하늘소류의 기주식물들을 가공한 목재류 이외에도 분재소재로도 국가간 교역이 이루어지고 있는데 네덜란드에서는 1980년대부터 이들 알락하늘소류의 원산지인 중국 등으로부터 수입되는 분재에서 알락하늘소를 검역하고 있다(Loomans et al., 2013). 따라서 우리나라의 농림축산검역본부에서도 한국산 분재류에 대한 대 EU 수출검역요령을 고시하여 시행하고 있다(APQA, 2016).

알락하늘소를 방제하기 위한 다양한 연구들이 수행되었는데 침투이행성 살충제들의 활성검정이 실내와 야외에서 수행된 바 있으며(Poland et al., 2006a, 2006b) 곤충병원성곰팡이 *Metarizium anisopliae*나 *Beauveria brongniartii*를 유리알락하늘소 방제를 위해 야외실험을 수행한 바 있고(Hajek et al., 2006), 유럽에서도 네오니코티노이드 계통을 비롯한 몇몇 살충제들의 알락하늘소에 대한 생물검정이 2005년부터 지속적으로 수행되고 있다(Cavaliere, 2013). 한편 이러한 연구들은 주로 야외에서 산림에 피해를 주는 알락하늘소류의 방제를 위한 시도들이었고, 검역적 활용을 위한 연구는 Ren et al. (2006)이 사이아노젠( $C_2N_2$ )의 훈증효과를 유리알락하늘소를 대상으로 연구한 바 있다.

우리나라에서 알락하늘소류의 방제는 이들이 비록 우리나라에 분포하고, 다양한 기주식물들이 자생하고 있음에도 불구하고,

자연림에서 경제적 피해가 나타나지 않음으로 인해(Williams et al., 2004) 중요해충으로 인식되지 못하였고, 분재나 분재소재에서도 그 피해를 간과하고 있어(Lee et al., 2017) 중요하게 다루어 지지 않았다. 따라서 알락하늘소의 방제에 대한 연구는 Kim et al. (2016)이 수행한 알락하늘소의 외부기생봉인 알락하늘소살이고치벌(*Spathius ibarakius*)에 대한 기록연구 정도만 있고, 최근 들어서야 우리나라 분재수출의 장애요인 극복을 위해 분재 재배과정 중에 살충제를 이용한 유리알락하늘소 방제에 관한 연구들이 수행되었다(Lee et al., 2017).

포스핀( $PH_3$ )은 상온에서 특이한 방향을 가진 무색의 기체상태로 존재하며 곤충에 대해 매우 독성이 높아 저장곡물의 해충 방제를 위한 훈증제로서 메틸브로마이드 대체물질로 많이 이용되고 있다(Pant and Tripathi, 2011, 2012).

포스핀은 다양한 종류의 검역해충 방제를 목적으로 연구되었는데 절화류나 상추에서 *Epiphyas postvittana*에 살란효과가 있는 것으로 보고되었으며(Liu et al., 2013, 2014, 2015) 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)나 *Liriomyza langei* 잎굴파리, *Pseudococcus maritimus* 가루깍지벌레 등의 해충에도 효과가 있다(Liu, 2011). 또한 목재를 가해하는 솔수염하늘소를 비롯한 몇 종의 하늘소류와 나무좀류와 같은 천공성 해충에도 다양한 효과를 보인다(Brash and Page, 2009; Pant and Tripathi, 2012). 또한 Wang et al. (2003)은 포스핀을 이용하여 포플라수체 속에 있는 *Anoplophora nobilis* 알락하늘소 유충과 번데기를 100% 방제하였다.

따라서 본 연구는 포스핀 훈증을 통해 우리나라에서 검역적으로 문제가 되고 있는 수출분재의 주요 해충인 알락하늘소류 방제가능성을 알아보고, 수출 분재에 실제적으로 적용할 수 있는 훈증기술 개발을 위하여 실증시험도 병행하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 공시충과 훈증약제

알락하늘소류 방제를 위해 사용한 공시충은 알락하늘소와 유리알락하늘소였는데 1차적인 알과 유충에 대한 약량별 반응이나 시간별 반응시험은 비슷한 크기의 솔수염하늘소를 이용하여 수행하였다. 솔수염하늘소는 성충의 침입공이 있는 곰솔(*Pinus thunbergii*) 고사목에서 2월에 솔수염하늘소 월동유충을 채집하여 실험에 이용하였으며 알은 우화상에 산란유도목(직경 5 cm)과 섭식목을 넣고, 우화탈출하여 곰솔 기주에서 섭식하고 짝짓기를 한 성충 10쌍을 방사하였다. 성충 방사 4일 후 산란목에서 산란흔을 대상으로 난의 존재 유무를 1차적으로 확

인한 다음 실험에 이용하였다.

알락하늘소류는 성충의 활동시기인 6월부터 8월 사이에 경남과 울산, 부산지역에서 알락하늘소의 기주식물인 단풍나무(*Acer palmatum*)나 유리알락하늘소의 기주식물인 왕버들(*Salix chaenomeloides*) 등 기주식물 서식지 주변에서 성충을 채집하여 실험에 이용하였다.

알락하늘소의 알은 참죽나무(*Cedrela sinensis*)를 벌채하여 1 m 길이로 절단한 뒤 수직으로 집제한 후 방충망을 씌우고 채집한 알락하늘소 성충을 방사하여 산란하게 한 다음 실험에 사용하였고, 유충이나 번데기는 기주로 제공한 분재목에서 사육하여 실험에 사용하였다.

유리알락하늘소의 알은 수양버들(*Salix babylonica*)을 벌채하여 1 m 길이로 절단하여 망실에 수직으로 세우고, 성충의 섭식목으로 소사나무(*Carpinus turczaninowii*)와 아그배나무(*Malus sieboldii*) 분재를 함께 넣고, 야외에서 채집한 성충을 방사하여 산란하게 한 다음 실험에 사용하였다..

실험에 사용 한 훈증제는 포스핀 2% 훈증제로 (주)팜한농에서 제공받아 사용하였다.

## 솔수염하늘소에 대한 억제반응

### 유충에 대한 억제처리 시간별 억제반응

PH<sub>3</sub>의 농도와 훈증 시간별에 따른 하늘소류 유충의 억제반응을 알아보기 위하여 데시케이터에서 PH<sub>3</sub> 훈증제를 1, 2, 4 g/m<sup>3</sup> 농도로 처리한 뒤 24, 48, 72, 96, 120, 168시간 후 유충의 치사유무를 조사하였다. PH<sub>3</sub>의 경우 일반적으로 농도에 비해 시간에 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있어(Daglish et al., 2002) LCT (Lethal Concentration Time)가 아니라 LT (Lethal Time) 값으로 환산하여 최적 처리 시간을 산출하였다. 각 처리별로 15마리에서 20마리의 솔수염하늘소 월동유충(2월)을 3반복 처리하였으며 조사결과를 이용하여 LT<sub>50</sub>과 LT<sub>90</sub>값을 도출하였다.

### 알에 대한 훈증 시간별 억제반응

PH<sub>3</sub>을 이용한 솔수염하늘소의 알에 대한 LT값 도출을 위한 목적으로 솔수염하늘소가 산란한 직경 5~7 cm 곰솔을 30 cm 길이로 잘라 0.125 m<sup>3</sup> 크기의 철제 훈증상에 넣고, PH<sub>3</sub> 훈증제를 2 g/m<sup>3</sup> 수준으로 처리한 후 5일과 7일 동안 훈증 처리하였다. 훈증 처리 한 시험목을 훈증상에서 꺼내어 상온에 30일간 보관한 다음 난의 부화유무를 조사하였다. 부화여부의 판단은 산란

흔 주변부를 대상으로 수피를 벗겨 내고, 알이 있고 부화유충이 발견되는 것은 부화한 것으로 판정하고 알이 발견되었으나 유충이 없는 것은 미부화한 것으로 간주하였다. 10개의 알을 한 반복으로 3반복 조사하였다.

## 알락하늘소류에 대한 훈증효과

### 처리 후 시간별 PH<sub>3</sub> 잔류량

알락하늘소류 훈증효과를 검증하기 위한 기초실험으로 PH<sub>3</sub>를 2 g/m<sup>3</sup>으로 처리한 후 24, 48, 72시간 후 약제의 잔류량을 분석하였다. 잔류량 분석은 GC-NPD (Agilent)를 이용하여 분석하였고, 분석 결과를 이용하여 CTP (Concentration x Time Product)값을 산출하였다.

### 알에 대한 PH<sub>3</sub> 훈증효과

알에 대한 PH<sub>3</sub> 훈증효과를 알아보기 위하여 솔수염하늘소 알에 대한 시험결과에서 100% 부화억제 효과를 보인 약량인 1 m<sup>3</sup> 당 2 g을 처리하였다. 훈증처리는 PVC tarpaulin 천막이 설치된 컨테이너에서 수행하였으며, 약제 처리시간은 24, 48, 72시간으로 하였는데 유리알락하늘소 알을 이용한 1차 실험에서 24시간 훈증 처리 시에도 100% 부화억제 효과가 있었기 때문에 알락하늘소 알을 이용한 2차 실험에서는 24시간 훈증처리만 하였다. 유리알락하늘소의 알은 앞에서 기술한 바와 같이 수양버들에서 산란시킨 것을 이용하였고, 알락하늘소는 참죽나무에 산란시킨 것을 이용하였는데 훈증 처리 후 컨테이너에서 빼낸 나무들을 30일간 사육상에서 보관한 후 성충의 산란흔을 중심으로 수피부를 칼로 벗긴 다음 알의 부화 및 부화유충의 서식여부로 방제효과를 조사하였다. 유리알락하늘소는 각 훈증시간 별로 훈증상 1개를 1반복으로 4반복 처리하였으며 각 반복 당 10개의 알을 대상으로 조사하였고, 알락하늘소는 각 훈증시간 별로 훈증상 1개를 1반복으로 3반복 처리하였으며 각 반복 당 10개의 알을 대상으로 수행하였다.

## 유충방제 시험

### 데시케이터 실험

솔수염하늘소 유충을 대상으로 실험한 결과에서 도출된 LCT 값을 이용하여 12월에 알락하늘소 유충(체장 21.7 ± 6.1 mm)을 대상으로 PH<sub>3</sub>의 훈증효과를 조사하였다. 여과지(Whatman #2)

1매가 깔린 직경 5.5 cm Petri dish에 참죽나무에서 생육중인 알락하늘소 유충을 채집하여 한 마리씩 넣고, 데시케이터에 임의로 배치하여 넣었다. 데시케이터에  $\text{PH}_3$ 을 2, 4  $\text{g/m}^3$  (CT값으로 144.76, 246.92  $\text{gh/m}^3$ )로 처리하고, 168시간 동안 훈증하였다. 훈증처리 후 데시케이터에서 꺼내어 20°C 항온기에서 7일 경과한 후 유충의 치사유무를 조사하였다. 10마리를 한 반복으로 3반복 시험하였다.

### 분재실험

분재를 가해하고 있는 알락하늘소 유충에 대한 실험은 알락하늘소 유충이 활발하게 발육하는 분재 생육기인 7월과 알락하늘소의 휴면기인 12월, 두 시기에 수행하였다. 7월 실험은 알락하늘소 유충의 섭식흔이 나타나고 있는 아그배나무 분재를 1  $\text{m}^3$  훈증상에 넣고 실험하였는데  $\text{PH}_3$ 을 2  $\text{g/m}^3$  약량으로 상온에서 24, 72, 120시간 훈증 처리하였다. 훈증이 완료된 이후 각각의 분재는 분재원에서 관리하면서 유충의 섭식흔 발생유무를 주단위로 5주간 조사하였고, 처리 42일 후 수피부를 제거하여 침입공의 유무를 확인하였는데 목질부를 절개하여 유충의 치사유무를 확인하고, 1차로 확인된 유충은 채집하여 Breeding dish에 담아 실험실에 1일간 보관한 후 생사유무를 재확인하였다. 각 훈증제 처리 일별로 5본씩의 분재를 처리하였다.

12월 실험은 7월과 동일한 시설에서 동일한 약량을 처리하였으며 실험에 사용한 분재는 소사나무와 단풍나무, 아그배나무 분재로 각각 5본씩 처리하였는데 훈증시간은 168시간으로 하였다. 효과조사는 월동기여서 유충이 섭식 활동을 하지 않기 때문에 유충의 생사여부만 7월 조사와 동일하게 수행하였다.

### 실증시험

#### 소규모 실증시험

6월에 공시충이 서식하고 있는 벌채목[수양버들(유리알락

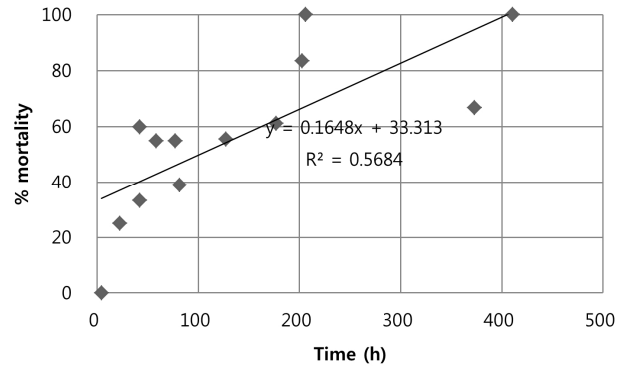


Fig. 1. Correlation between fumigation time and mortality of *M. alternatus* larvae.

하늘소), 참죽나무(알락하늘소)]을 훈증상 내에 1  $\text{m}^3$  넣고, 완전 밀봉시킨 다음  $\text{PH}_3$ 을 1  $\text{m}^3$  당 2 g 처리하였다. 훈증처리는 챔버(PVC tarpaulin 천막, 컨테이너)(Fig. 1)에서 진행하였으며, 처리시간은 24, 72시간 처리하였다. 약제 주입 후 24시간 간격으로 훈증상내의 잔류약량을 GC로 측정하였다. 훈증시간이 종료된 경우 훈증막을 열어 잔류약제가 제거되도록 하였다.

살충효과조사는 훈증 종료 1일 후 분재와 벌채목의 수피부를 제거하고, 하늘소 유충이 서식하는 부위를 절개하면서 유충의 치사여부를 확인하였다. 그리고 일부 훈증 시험목은 21일째 까지 존치 시키면서 치사유무를 관찰하였다. 훈증처리 약제에 의한 유충의 치사 정도는 완전히 죽어서 움직임이 없는 정도로 치사로 판정하였으며 유충의 배부분이 늘어나거나 두부부분이 약간 움직임이 있는 정도를 아치사로 판정하였고, 완전히 살아서 무처리와 같은 정도인 것을 생충으로 구분하였다. 각 처리별 공시충의 개체수는 유충이 서식하는 공시목 확보의 제한으로 훈증제 처리구의 경우 15마리 이상이 되게 하였으며 무처리구는 실내와 분재실험에서 치사충 발생이 없었기 때문에 두 공시충 모두 5마리로 하였다(Table 1). 1일과 21일째 각 처리별 유충 치사율은 전체 생충수 대비 치사 또는 아치사 된 개체수의 비율로 비교하였다.

Table 1. Mortality of *Anoplophora glabripennis* and *A. chinensis* egg in response to phosphine fumigations in fumigation chamber

Tested insect (host tree)	Treatment	Fumigated time (day)	Hatching rate (%) ± SD
<i>Anoplophora glabripennis</i> ( <i>Salix babylonica</i> )	$\text{PH}_3$ 2 $\text{g/m}^3$	1	0
	$\text{PH}_3$ 2 $\text{g/m}^3$	2	0
	$\text{PH}_3$ 2 $\text{g/m}^3$	3	0
	Control	-	85.0 ± 5.8
<i>A. chinensis</i> ( <i>Cedrela sinensis</i> )	$\text{PH}_3$ 2 $\text{g/m}^3$	1	0
	Control	-	74.1 ± 6.4

## 중규모 실증시험

1월에 공시충이 서식하고 있는 분재를 혼증상 내에 넣고, 완전 밀봉시킨 다음 PH<sub>3</sub>를 소규모 시험에서와 동일하게 1 m<sup>3</sup> 당 2 g 씩 처리하였다. 혼증처리하는 3 m<sup>3</sup> 챔버(0.1 mm LDPE)에서 진행하였으며 혼증시간은 72시간 처리하였다. 약제 주입 후 24시간 간격으로 혼증상 내의 잔류약량을 측정하여 약제의 정상적인 주입여부를 확인하였다. 실험에 사용된 공시충은 알락하늘소와 유리알락하늘소 유충이 서식하는 소사나무와 단풍나무, 아그배나무 분재목들을 이용하였는데 각각의 수종별로 9주씩 처리하였다. 살충효과조사는 혼증 종료 7일 후 수피부와 하늘소 유충이 서식하는 목부 부위를 절개하면서 유충의 치사여부를 확인하였다. 처리한 전체 분재목에서 유충의 치사율을 합산하여 조사하였고, 무처리하는 각 수종별로 3주씩 처리하였다.

## 대규모 실증시험

알락하늘소와 유리알락하늘소가 서식하고 있는 분재와 벌채 기주목을 규모가 큰 10 m<sup>3</sup> 컨테이너 혼증상에 넣고, PH<sub>3</sub>를 2 g/m<sup>3</sup>으로 72시간 처리하여 알락하늘소류의 사멸효과를 조사하였다.

혼증처리 시기는 1월과 2월로 하였는데 1월에는 알락하늘소와 유리알락하늘소를 대상으로 72시간 혼증 처리하였으며 효과조사는 가스제거 후 6, 10, 14, 40일 후에 조사하였다. 혼증 온도는 상온에서 수행하였는데 -1.3°C 였다. 알락하늘소는 53 개체가 실험에 이용되었고, 유리알락하늘소는 41 개체가 실험에 이용되었는데 효과조사는 전체 생충수 대비 치사충수의 비율로 조사하였다.

2월에는 유리알락하늘소만을 대상으로 실험을 하였는데 상온(1.5°C)에서 48시간 혼증처리하였으며 효과조사는 가스제거 62일 후에 하였다. 공시충의 개체수는 47마리였다.

## 혼증제의 처리시기에 따른 분재의 약해유무 조사

PH<sub>3</sub>를 분재목의 생육기와 휴면기로 구분하여 단풍나무, 소사나무, 아그배나무 분재를 대상으로 약해발생 유무를 조사하

였다. 처리시기로는 휴면기는 1월에 처리하였으며, 생육기로는 7월에 처리하였다. 처리약량은 205.34 mg/L 수준으로 7일간 혼증 처리하였다. 약해유무는 잎의 전개 유무, 잎의 크기, 꽃잎의 크기 등 외관상 나타나는 약해를 0에서 5까지의 살충제 약해평가 기준에 따라 조사하였다(KCPA, 2016).

## 결과 및 고찰

### 솔수염하늘소에 대한 약제반응

#### 유충에 대한 약제처리 시간별 약제반응

솔수염하늘소 유충에 대한 시간반응 실험 결과 PH<sub>3</sub>의 솔수염하늘소 유충에 대한 LT50%는 47.65시간이었으며 90%는 168.99시간 수준으로 나타났다(Fig. 1).

#### 알에 대한 혼증 시간별 약제반응

솔수염하늘소 알을 이용한 PH<sub>3</sub>의 살충활성을 조사한 결과 2 g/m<sup>3</sup>을 5일간만 혼증처리하여도 무처리의 난 부화율은 23.3%인데 비해 처리구에서는 난이 부화하지 못하였다(Table 2).

### 알락하늘소류에 대한 혼증효과

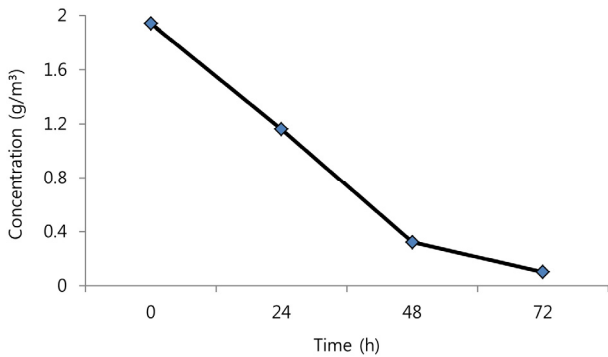
#### 처리 후 시간별 PH<sub>3</sub> 잔류량

PH<sub>3</sub>를 2 g/m<sup>3</sup>으로 처리한 후 24시간 간격으로 약제의 잔류량을 분석한 결과 약제 처리 직후에는 1.94 g이 검출되었고 24시간 후에는 1.16 g이 잔류하여 42%가 감소하였으며 48시간 후에는 0.32 g이 잔류하여 84%가 감소한 것으로 나타났다(Fig. 2).

이러한 결과를 이용하여 CTP값을 산출한 결과 48시간 혼증처리 시 26.3 (gh/m<sup>3</sup>)이었고, 72시간 처리 시 27.8 (gh/m<sup>3</sup>)인 것으로 나타났다. 따라서 본 결과를 종합해 볼 때 PH<sub>3</sub>를 이용한 알락하늘소류 100% 살충효과를 나타내는데 요구되는 CTP값은 26.3 이상이어야 하는 것으로 나타났다.

**Table 2.** Mortality of *Monochamus alternatus* egg in response to phosphine fumigations in fumigation chamber

Treatment	Fumigated time (day)	Hatching rate (%) ± SD
PH <sub>3</sub> 2 g/m <sup>3</sup>	5	0
PH <sub>3</sub> 2 g/m <sup>3</sup>	7	0
Control	-	23.3 ± 1.5



**Fig. 2.** Concentration of phosphine in desiccator during fumigation of 2 g/m<sup>3</sup> for 72 h.

### 알에 대한 PH<sub>3</sub> 훈증효과

유리알락하늘소와 알락하늘소의 난에 대한 PH<sub>3</sub>의 살충활성을 알아보기 위해 부화 전 PH<sub>3</sub>를 훈증상 1 m<sup>3</sup> 당 2 g으로 처리하여 부화 유무를 조사한 결과 24시간 훈증처리 시 유리알락하늘소와 알락하늘소 모두 부화된 개체는 없었으며 무처리에서는 유리알락하늘소의 경우 85%의 부화율을 나타내었고, 알락하늘소는 74.1%의 부화율을 나타내었다(Table 1).

### 유충방제 시험

#### 데시케이터 실험

솔수염하늘소 유충 훈증소독 시험에서 도출된 살충률 100%

의 CT (concentration time product)값을 근거로 하여 PH<sub>3</sub> 훈증제를 이용하여 20℃에서 알락하늘소 유충에 대한 훈증소독 효과를 조사한 결과 PH<sub>3</sub>를 1 m<sup>3</sup> 당 2 g과 4 g처리 시 100%의 살충효과를 보였고, 이때의 CT값은 각각 144.76 gh과 246.92 gh였다(Table 3).

### 분재실험

#### 분재 휴면기 알락하늘소 방제효과

알락하늘소 유충 피해로 섭식흔이 발생하는 소사나무, 단풍나무, 아그배나무를 1 m<sup>3</sup>의 훈증상에 넣고, PH<sub>3</sub>를 144.76 gh/m<sup>3</sup> 수준으로 상온조건에서 7일간 처리한 뒤 42일 후 알락하늘소 유충의 치사율을 조사한 결과 3수종 모두 100%의 살충효과를 보였으며 무처리구에서는 치사된 개체가 발생되지 않았다(자료 미제시).

#### 분재 생육기 알락하늘소 방제효과

분재 생육기에 알락하늘소 유충의 섭식흔이 발생하는 아그배나무 분재를 대상으로 PH<sub>3</sub>를 2 mg/L 약량으로 상온조건에서 1, 3, 5 일간 훈증처리하여 시간 경과에 따른 섭식흔의 발생 여부와 유충의 치사여부를 조사한 결과 무처리구에서 섭식흔이 계속적으로 발생하였으나 PH<sub>3</sub> 처리구에서는 섭식흔의 발생이 없었다(Table 4). 그리고 PH<sub>3</sub>처리 42일 경과 후 유충의 치사율은 100%를 보였다.

**Table 3.** Mortality of *Anoplophora chinensis* larva in response to phosphine fumigations in fumigation chamber at 20℃

Treatment	Fumigated time (day)	CT (gh/m <sup>3</sup> )	Mortality (%)
PH <sub>3</sub> 2 g/m <sup>3</sup>	7	144.76	100
PH <sub>3</sub> 4 g/m <sup>3</sup>	7	246.92	100
Control	-		0

**Table 4.** Production of feeding mark (larva face) on *Malus sieboldii* bonsai after phosphine fumigation

Treatment	Fumigated time (day)	Larval faces production after fumigation (week)					No. of dead/total larva (mortality, %) <sup>b</sup>
		1	2	3	4	5	
PH <sub>3</sub>	1	- <sup>a</sup>	-	-	-	-	5/5 (100)
	3	-	-	-	-	-	5/5 (100)
	5	-	-	-	-	-	5/5 (100)
Control	-	+	+	+	+	+	0/5 (0)

<sup>a</sup>-, none occurred larval face; +, occurred larval face.

<sup>b</sup>Survey at 42 days after fumigation.

## 실증시험

### 소규모 실증시험

알락하늘소와 유리알락하늘소를 대상으로 PH<sub>3</sub>를 혼증상 1 m<sup>3</sup> 규모에 2 g으로 24시간과 72시간 혼증처리하여 혼증 종료 1일과 21일 후 수피부와 목질부를 절개하여 하늘소 유충의 치사 여부를 조사한 결과 24시간 혼증 처리한 경우 혼증 종료 1일 후 두 하늘소 모두에서 혼증시간이 길수록 치사율이 높았다. 그러나 혼증 종료 21일 후에는 혼증시간에 관계없이 모두 100%의 살충효과를 보였다(Table 5).

### 중규모 실증시험

PH<sub>3</sub>를 이용하여 알락하늘소와 유리알락하늘소 유충이 있는 분재와 별채기주를 3 m<sup>3</sup>의 규모에서 1 m<sup>3</sup> 당 2 g을 72시간 혼증 처리한 후 7일 뒤에 조사한 결과 전체 유충이 치사되었다(자료 미제시).

### 대규모 실증시험

수목의 생육 휴면기에 해당하는 1월과 2월에 알락하늘소 유충과 유리알락하늘소 유충을 대상으로 혼증효과 시험을 실시

한 결과 1월에는 2 g/m<sup>3</sup>으로 72시간 혼증처리 시 두 해충 모두 100%의 살충효과를 보였으나, 2월에는 처리시간을 단축하여 유리알락하늘소를 대상으로 48시간 처리한 경우에는 91.5%의 살충률을 보였고, 나머지 8.5%는 아치사 상태였다(Table 6).

### 혼증제 처리시기에 따른 분재의 약해 조사

PH<sub>3</sub>의 혼증시기에 따른 약해 발현 정도를 조사한 결과 1월에 2 g/m<sup>3</sup>으로 72시간 처리 했을 때 소사나무, 단풍나무, 꽃사과나무에서 엽의 전개와 아그배나무의 개화 등이 무처리와 차이가 없었다(Table 4). 그러나 2월에 2 g/m<sup>3</sup>으로 48시간 처리 했을 때는 3수종 모두 경미한(약해정도 1) 약해증상을 보였는데 아그배나무의 경우 꽃의 개화가 약간 지연되면서 꽃잎과 잎이 작고 잎자루와 꽃자루의 길이가 무처리에 비해 작아지는 현상을 보였다(Table 7, Fig. 3). 또한 단풍나무의 경우에도 잎자루와 엽장이 무처리에 비해 작아지는 현상을 보였다(Table 7).

포스핀은 하늘소류에 대해 혼증 효과가 높았다. 혼증시간에 따라 차이는 있지만 m<sup>3</sup> 당 2 g 농도로 혼증 처리 시 솔수염하늘소 유충에 대해 치사효과가 높았으며 알에 대해서도 5일간 혼증처리 시 알이 부화하지 못하였다. 아울러 알락하늘소류의 알과 유충에 대해서도 솔수염하늘소에서도 유사한 효과를 보여 알은 m<sup>3</sup> 당 2 g 농도로 24시간만 처리하여도 100% 부화 억제

**Table 5.** Mortality of *Anoplophora glabripennis* and *A. chinensis* larva in response to 2 g/m<sup>3</sup> phosphine fumigations different exposure time periods in small volume chamber

Insect	Fumigation time (h)	No. of test individual (n)	% mortality (% sublethal)	
			1 day	21 days
<i>Anoplophora glabripennis</i>	24	20	60.0(40.0)	100(0)
	72	18	77.8(22.2)	100(0)
	Control	5	0(0)	0(0)
<i>A. chinensis</i>	24	15	26.7(73.3)	100(0)
	72	16	31.3(68.7)	100(0)
	Control	5	0(0)	0(0)

**Table 6.** Mortality of *Anoplophora glabripennis* and *A. chinensis* in response to 2 g/m<sup>3</sup> phosphine fumigations at room temperature and different treatment month in large volume chamber

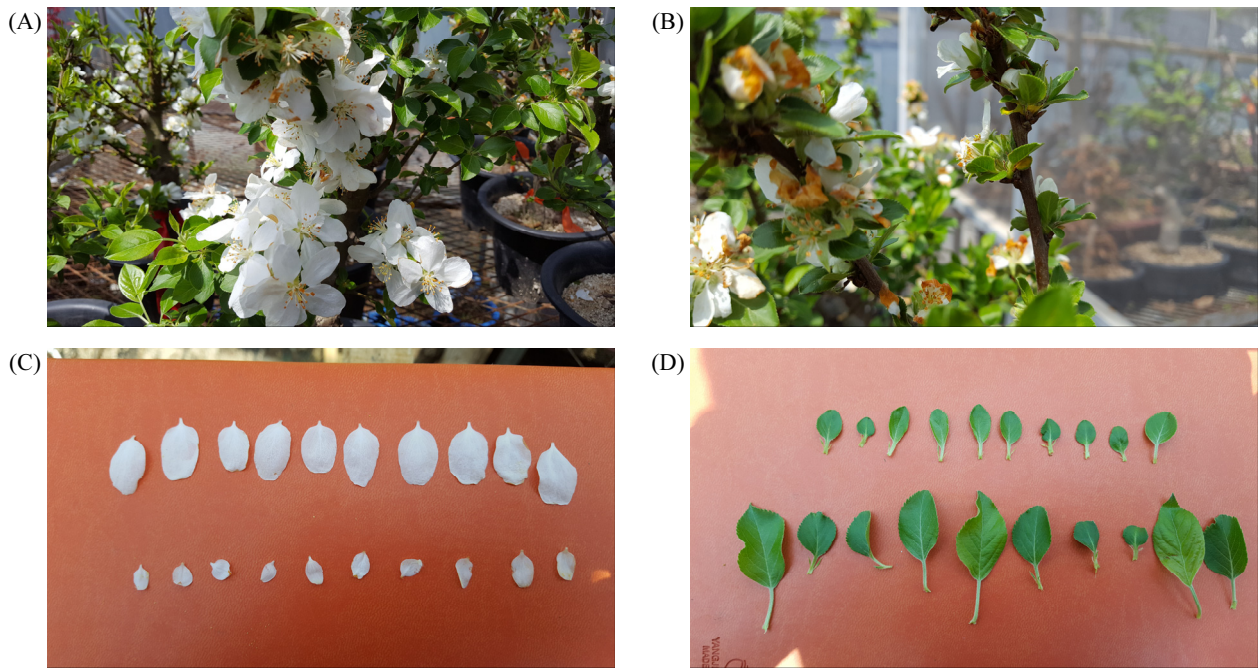
Month	Mean temperature (°C)	Tested insect	Fumigation time (h)	No. of insect		% mortality (% sublethal) <sup>a</sup>
				Tested	Dead	
January	-1.3	<i>Anoplophora chinensis</i>	72	53	53	100.0
		<i>Anoplophora glabripennis</i>		41	41	100.0
February	1.5	<i>Anoplophora glabripennis</i>	48	47	43	91.5(8.5)

<sup>a</sup>Investigated at 62 days after fumigation.

**Table 7.** Phytotoxicity of phosphine fumigation on different bonsai tree in fumigation chamber

Treated month	PH <sub>3</sub> (g/m <sup>3</sup> )	Fumigation time (day)	Phytotoxicity (0-5) <sup>a</sup>		
			<i>Carpinus coreasiaca</i>	<i>Acer palmatum</i>	<i>Malus floribunda</i>
January	2	3	0	0	0
	0	0	0	0	0
February	2	2	1	1	1
	0	0	0	0	0

<sup>a</sup>0, none phytotoxicity; 1, occurred very weak phytotoxicity (phytotoxic symptom was rarely observed).



**Fig. 3.** Phytotoxicity of phosphine fumigation on bonsai tree of *Malus floribunda* depending on treated month in fumigation chamber. Effect of flowering treated at January (A) and February (B) and effect on flower leaf (C) and leaf (D). Upper line in (C) and (D) is treated January and lower line is treated February.

되었으며 유충에 대한 데시케이터 및 실증 실험에서도 유사한 경향을 보였다.

Phosphine은 다양한 해충이나 곰팡이류에 훈증효과를 보이지만 훈증 조건이나 해충의 종류, 충태 등에 따라 상이한 효과를 보인다(Leitao et al., 1987; Brash and Page, 2009; Liu, 2011; Pant and Tripathi, 2012). *Arthropalus ferus*하늘소류의 성충은 phosphine을 200~2000 ppm 농도로 24시간 훈증 시 100% 치사되었고, 알은 200 ppm농도로 5일간 훈증하거나 100 ppm농도로 10일간 훈증 시 100% 치사되었다(See Brash and Page, 2009). *Anoplophora nobilis*알락하늘소의 유충과 번데기는 phosphine을 15.5℃에서 935 ppm농도로 96시간 훈증처리 시 100% 치사되었다(Wang et al., 2003).

본 실험은 분재목의 내부에 생활하고 있는 알락하늘소류의

알이나 유충이 박멸되어 검역적으로 문제가 없는 분재생산을 목적으로 시도되었는데 다른 선행연구의 결과와 본 연구의 결과를 통해 m<sup>3</sup> 당 2 g 농도로 72시간 훈증할 경우 알과 유충을 모두 치사시킬 수 있을 것으로 판단된다.

한편 phosphine의 훈증효과는 농도나 훈증시간(Pant and Tripathi, 2012; Liu et al., 2014) 이외에도 훈증온도나 훈증상내의 산소농도, 훈증대상의 수분함량 등이 영향을 미친다(Leesch et al., 1979; Liu, 2011; Liu et al., 2013). 본 실험에서는 분재목의 생육기인 하절기와 휴면기인 동절기에 훈증실험을 수행하였는데 두 시기 모두 알락하늘소의 치사율이 100%였다. 특히 일년 중 평균기온이 가장 낮은 1월에도 100% 치사되어 phosphine을 이용한 분재목의 알락하늘소류 방제는 연중 가능할 것으로 판단된다. 그러나 대규모 실증실험에서 1월에 phosphine을 처



리 한 분재목에서는 약해 증상을 보이지 않았지만 2월 처리에서는 약해 증상이 나타나 잎의 전개나 개화가 진행되는 시기에는 대상 나무에 약해가 발생 될 수 있기에 약해를 경감시키거나 발생되지 않는 조건에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. Liu et al. (2015)은 절화류 5종(튤립, 장미, 백합, 국화, 거베라)에 대해 5°C 70% 산소량 조건에서 2500 ppm농도의 phosphine을 72시간 훈증 시 거베라에서 심한 약해가 발생하여 식물체 종류별에 따라 약해발생이 상이하다고 하였는데 Liu et al. (2014)은 상추에서 이산화탄소흡수제를 넣고, phosphine훈증 처리 시 약해가 경감된다고 하였다. 따라서 분재목에서 발생하는 약해의 경우도 훈증상 내의 산소량의 조절이나 이산화탄소흡수제의 사용 등을 통해 경감시킬 수 있는 방법을 강구해야 할 것으로 생각된다.

아울러 phosphine처리에 의해 나타나는 잎 크기의 감소나 잎자루 길이의 왜소화가 생육 중에 지속되는지 여부도 추후 조사되어야 할 것으로 생각된다. 비록 생육중인 분재목에 낮은 약해증상은 보였지만 phosphine 훈증은 알락하늘소류의 기주가 되는 분재나 분재소재목에서 알락하늘소류를 방제 할 수 있을 것으로 판단되며 대규모 공간에서도 효과가 입증되어 실용적으로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 사 사

본 논문은 2014~2016년도 농산물 수출검역촉진사업과제의 지원으로 수행되었습니다.

## Literature Cited

- Ali, S., Ali, S., Lina, Zhou, W., Waris, M.I., Ali, A., Wang, M.Q., 2017. Chemical ecology of Asian long horned beetle (*Anoplophora glabripennis*) - a review. *Pakistan J. Zool.* 49(3), 1093-1105.
- Animal and Plant Quarantine Agency (APQA), 2016. Methods of export quarantine of bonsai to EU. Notification No. 2016-101 of the Animal and Plant Quarantine Agency. [http://www.qia.go.kr/yeongnam/html/bbs/viewWebQia8\\_COMMEN.do?id=102965&type=10\\_28tzgg](http://www.qia.go.kr/yeongnam/html/bbs/viewWebQia8_COMMEN.do?id=102965&type=10_28tzgg). Access date: 2017. 8. 29.
- Brash, D.W., Page, B.B.C., 2009. Review of phosphine research for control of timber quarantine pests. Plant and Food Research Confidential Report No. 2370. 28 pp. The New Zealand Institute for Plant & Food Research Limited. Palmerston North, New Zealand.
- Cavaleri, G., 2013. Summary of 2008-2011 trials on the possibility of controlling *Anoplophora chinensis* with pesticides. *J. Entomol. Acarol. Res.* 45(s1), 23-24.
- Daglish, G.J., Collins, P.J., Pavic, H., Kopittke, R.A., 2002. Effects of time and concentration on mortality of phosphine-resistant *Sitophilus oryzae* (L) fumigated with phosphine. *Pest Manage. Sci.* 58, 1015-1021.
- Hajek, A.E., Huang, B., Dubois, T., Smith, M.T., Li, Z., 2006. Field studies of control of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) using fiber bands containing the entomopathogenic fungi *Metarizium anisopliae* and *Beauveria brongniartii*. *Biol. Sci. Technol.* 16(4), 329-343.
- Korea Crop Production Association (KCPA), 2016. 2016 education of pesticide test person in charge. KCPA. Seoul, Korea. pp. 178-181.
- Kim, M.S., Lee, H.L., Ku, D.S., Hérard, F., Gould, J.R., Williams, D.W., Kim, I.K., Hong, K.J., 2016. Discovery of *Spathius ibarakius* Belokobylskij et Maeto (Hymenoptera: Braconidae) as a larval ectoparasitoid of citrus longhorned beetle in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 55(3), 285-291.
- Lee, S.M., Jung, Y.H., Park, M.K., Kim, D.S., Lee, D.W., 2017. Control of longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* using insecticides in bonsai. *Korean J. Pestic. Sci.* 21(3), 316-323.
- Leesch, J.G., Gillenwater, H.B., Davis, R., Wilson, R. Jr., 1979. Phosphine and methyl bromide fumigation of shelled peanuts. *Peanut Sci.* 6, 18-26.
- Leitao, J., de Saint-Blanquat, G., Bailly, J., 1987. Action of phosphine on production of aflatoxins by various *Aspergillus* strains isolated from foodstuffs. *Appl. Environ. Microbiol.* 53(10), 2328-2331.
- Lim, J., Jung, S.Y., Lim, J.S., Jang, J., Kim, K.M., Lee, Y.M., Lee, B.W., 2014. A review of host plants of Cerambycidae (Coleoptera: Chrysomeloidea) with new host records for fourteen Cerambycids, including the Asian longhorn beetle (*Anoplophora glabripennis* Motschulsky), in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 53(2), 111-133.
- Liu, Y.-B., 2011. Oxygen enhances phosphine toxicity for postharvest pest control. *J. Econ. Entomol.* 104(5), 1455-1461.
- Liu, S.S., Liu, Y.-B., Simmons, G. S., 2014. Oxygenated phosphine fumigation for control of *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) eggs on lettuce. *J. Econ. Entomol.* 107(4), 1370-1376.
- Liu, S.S., Liu, Y.-B., Simmons, G. S., 2015. Oxygenated phosphine fumigation for control of light brown apple moth (Lepidoptera: Tortricidae) eggs on cut-flowers. *J. Econ. Entomol.* 108(4), 1630-1636.
- Liu, Y.-B., Liu, S.S., Simmons, G., Walse, S.S., Myers, S.W., 2013. Effects of phosphine fumigation on survivorship of *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) eggs. *J. Econ. Entomol.* 106(4), 1613-1618.
- Loomans, A.J.M., Wessels-Berk, B.F., Copini, P., Mentink, N.J.B., de Hoop, M.B., den Hartog, W.G.S.A., 2013. Import-inspections, surveys, detection and eradication of the longhorn beetles *Anoplophora chinensis* and *A. glabripennis* in The Netherlands. *J. Entomol. Acarol. Res.* 45(s1), 8.

- 
- Nowak, D.J., Pasek, J.E., Sequeira, R.A., Crane, D.E., Mastro, V.C., 2001. Potential effect of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) on urban trees in the United States. *J. Econ. Entomol.* 94(1), 116-122.
- Pant, H., Tripathi, S., 2011. Fumigation of wood with aluminium phosphide for protection against fungi. *J. Tropical Forest Sci.* 23(4), 363-370.
- Pant, H., Tripathi, S., 2012. Evaluation of aluminium phosphide against wood-destroying insects. *J. Econ. Entomol.* 105(1), 135-139.
- Poland, T.M., Haack, R.A., Petrice, A., Miller, D.L., Bauer, L.S., 2006a. Laboratory evaluation of the toxicity of systemic insecticides for control of *Anoplophora glabripennis* and *Plectrodera scalator* (Coleoptera: Cerambycidae). *J. Econ. Entomol.* 99(1), 85-93.
- Poland, T.M., Haack, R.A., Petrice, A., Miller, D.L., Bauer, L.S., Gao, R., 2006b. Field evaluation of systemic insecticide for control of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in China. *J. Econ. Entomol.* 99(2), 383-392.
- Ren, Y., Wang, Y., Barak, A.V., Wang, X., Liu, Y., Dowsett, H.A., 2006. Toxicity of ethanedinitrile to *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae. *J. Econ. Entomol.* 99(2), 308-312.
- Sjöman, H., Östberg, J., Nilsson, J., 2014. Review of host trees for the wood-boring pests *Anoplophora glabripennis* and *Anoplophora chinensis*: an urban forest perspective. *Arbori. Urban For.* 40(3), 143-164.
- Wang, Y., Zhan, G., Wang, X., Xu, L., Liu, W., Wu, N., Yang, Y., Shi, L., Sun, C., 2003. Primary study on the phosphine fumigation of popular timber infested with *Anoplophora nobilis*. *Plant Quar.* 17(13), 129-132.
- Williams, D.W., Lee, H.P., Kim, I.K., 2004. Distribution and abundance of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in natural *Acer* stands in South Korea. *Environ. Entomol.* 33(3), 540-545.