

소나무재선충의 매개충인 솔수염하늘소 성충의 우화 생태

김동수 · 이상명 · 정영진¹ · 최광식¹ · 문일성 · 박정규^{2*}

임업연구원 남부임업시험장, ¹임업연구원 산림병해충과, ²경상대학교 생명과학연구소

Emergence Ecology of Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a Vector of Pinewood Nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*

Dong-Soo Kim, Sang-Myeong Lee, Yeong-Jin Chung¹, Kwang-Sik Choi¹, Yil-Sung Moon and Chung-Gyoo Park^{2*}

Nambu Forest Experiment Station, Korea Forest Research Institute, Jinju, Republic of Korea

¹Division of Forest Diseases and Insect Pests, Korea Forest Research Institute, Seoul, Republic of Korea

²Life Science Institute, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Republic of Korea

ABSTRACT : Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*, is a primary vector of pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in Korea. Emergence characteristics of the adults were studied in Jinju, Korea using dead pine logs in which the larvae of the sawyer overwintered from 1999 to 2002. Emergence data showed that the adults began to emerge out of the logs in sunny place from May the 15th in average of the four years. Cumulative emergence ratio (CER) reached at 50% at mid-June, and the emergence terminated by early or late July depending on years. In shady place, however, 50% CER was reached 17 days later than in sunny place. The 50% CER of males reached 1 to 4 days earlier than that of females depending on years. Of the adults emerged from the logs collected from February to April in 2001, 97.6% was univoltine, and the rest was biennial which emerged from May to July of the next year. Female and male adults emerged throughout 24 hours; 32.3% of the total adults emerged from 8 to 12 a.m. It took 68.0 seconds for the adults to escape from pine logs.

KEY WORDS : Japanese pine sawyer, *Monochamus*, Pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, Emergence ecology, Circadian rhythm

초 록 : 소나무재선충의 주 매개충인 솔수염하늘소의 우화생태를 연구하기 위하여 1999년부터 2002년까지 경남 진주의 소나무재선충병 피해임지에서 죽은 소나무를 대상으로 조사하였다. 양지에서 솔수염하늘소 성충의 우화시기를 조사한 결과 4개년 평균 매년 5월 15일을 전후하여 우화하기 시작하였고, 50% 우화일은 6월 중순경이었다. 우화 종료일은 7월 상순-하순으로 해에 따라 차이가 있었으며, 수컷의 50% 우화일은 암컷보다 해에 따라 1-4일이 빨랐다. 그러나 음지에서의 50% 우화일은 양지에서보다 17일이 늦어졌다. 2001년 2월에서 4월까지 벌채한 공시목으로부터 우화한 성충 중에서 동년에 우화한 1년 1세대 충의 비율은 97.6%이었고, 이듬해인 2002년에 우화한 2년 1세대 충의 비율은 2.4%이었다. 솔수염하늘소 성충은 암수 구분 없이 24시간 내내 우화하였지만, 오전 8시부터 12시 사이에 우화하는 성충의 비율이 32.3%로 가장 높았으며, 새벽 2시부터 오전 8시까지의 우화율이 낮았다. 번데기방에서 성충이 우화한 후 나무 밖으로 탈출하는 데 소요되는 시간은 68.0초이었다.

검색어 : 솔수염하늘소, 소나무재선충, 우화시기, 일일우화리듬

*Corresponding author. E-mail: insectpark1@hanmail.net

소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)은 시들음병(pine wilt disease)을 일으켜서 소나무류를 죽게 하는 병원체로서, 우리 나라에서는 이 병을 소나무재선충병이라고 한다. 소나무재선충은 미국, 캐나다, 멕시코 등 북미대륙의 토착종으로서(Steiner and Buhrer, 1934; Knowles *et al.*, 1983; Dwinell, 1993) 원산지의 자생 수종들은 대부분 저항성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 그러나 이 선충이 다른 나라로 침입할 경우 그 지역의 토착 소나무류는 대부분 감수성을 보이면서 극심한 피해를 나타내는 것으로 알려지고 있다(Wingfield *et al.*, 1984; Bergdahl, 1988; Dwinell, 1997). 일본에서는 1900년대 초 이 선충에 의한 피해가 나타나기 시작한 후 그 피해가 점차 확산되었고, 1941년 이후의 피해 재적량은 1979년의 243만³을 정점으로 매년 100만³ 내외를 나타내면서 소나무와 해송이 거의 전멸하였다(Mamiya, 1988; Kishi, 1995). 중국에서는 1982년에 남경시(南京市)에서 최초로 발생이 확인되었는데, 소나무, 해송, 마미송(馬尾松, *Pinus massoniana*)이 극심한 피해를 받고 있으며, 1985년 최초 발생이 확인된 대만의 경우, 유구송(琉球松, *P. luchuensis*)과 해송, 대만이엽송(臺灣二葉松, *P. taiwanensis*) 등이 전멸 위기에 있는 것으로 알려지고 있다(Enda, 1997). 우리 나라에서는 1988년 10월 부산광역시 동래구 온천2동의 금정산 일원에서 처음으로 이 선충에 의한 피해발생을 확인하였다(Yi *et al.*, 1989). 그동안 이 선충의 박멸을 위하여 산림청을 중심으로 관계 기관들이 노력해 왔으나, 그 피해는 1995년 경남 양산시, 1997년 경남 함안군, 1998년 경남 진주시, 1999년 경남 통영시, 2000년 울산시와 경남 사천시, 2001년 경남 거제시, 김해시, 진해시, 밀양시, 경북 구미시, 전남 목포시 등으로 확산되고 있다(Chung, 2002). 소나무재선충에 감염된 소나무와 해송은 대부분 감염된 지 불과 3개월 이내에 완전 고사되며, 매개충인 솔수염하늘소는 이들 고사목에 서식하면서 공생관계를 유지하고 있다.

소나무재선충은 스스로 다른 나무로 이동할 수 있는 능력이 없기 때문에, 매개충의 몸에 붙어서 이동한 후 매개충이 건전한 나무 가지의 수피를 후식(後食, maturation feeding)할 때와 수피를 찢어서 산란할 때 생기는 상처를 통하여 건전한 나무로 옮겨진다(Mamiya and Enda, 1972; Morimoto and Iwasaki, 1972; Wingfield and Blanchette, 1983; Edwards and Linit, 1992). 현재까지 알려진 소나무재선충의 매개충은

*Monochamus*속 하늘소로서 일본, 중국, 대만에서는 솔수염하늘소(Makihara, 1988), 북미지역에서는 *M. carolinensis*, *M. mutator*, *M. scutellatus*, *M. titillator* (Linit, 1988), 포르투갈에서는 *M. galloprovincialis*가 보고되어 있으며(Sousa *et al.*, 2001), 일본의 동북지방에서는 북방수염하늘소(*M. saltuarius*)도 소나무재선충을 매개하는 것으로 알려져 있다(Takizawa and Shoji, 1982). 솔수염하늘소와 북방수염하늘소는 우리 나라에도 분포하는 것으로 기록되어 있으나(The Entomological Society of Korea and Korean Society of Applied Entomology, 1994), 임업연구원의 매개충 분포조사 결과 북방수염하늘소는 확인하지 못하였고, 솔수염하늘소는 주로 남부 해안 지방에 광범위하게 분포하는 것으로 나타났다(Korea Forest Research Institute, 2003).

소나무재선충병의 방제는 이동 능력이 없고 소나무 내에서 번식하는 선충 자체를 죽이는 것보다는 매개충인 솔수염하늘소를 방제하는 쪽으로 초점이 맞추어져 있다. 현재 산림청에서는 소나무재선충에 감염된 나무를 벌채하여 집제한 후 메탐소디움액제로 훈증처리하는 것을 주력방제 방법으로 적용하고 있으며, 예방방제로서 매개충인 솔수염하늘소의 후식을 방지하기 위해 성충 우화시기에 메프유제를 항공살포하고 있다(Korea Forest Service, 2003).

본 논문은 솔수염하늘소를 효과적으로 방제하기 위한 기초 자료를 얻기 위하여 1999년부터 2002년까지 경남 진주시에서 성충의 우화시기와 우화행동을 조사한 결과이다.

재료 및 방법

공시목의 벌채, 조제 및 우화망실 내 설치

소나무재선충병의 피해임지인 경남 진주시 가좌동과 정촌면 일원의 야산에서 솔수염하늘소 유충의 침입 흔적이 있는 고사목(枯死木)을 1999년과 2000년에는 20그루, 2001년에는 24그루, 2002년에는 36그루를 매년 2월부터 4월 사이에 기계톱으로 벌채한 후, 주간과 가지를 약 1 m 내외의 길이로 절단하여 공시목으로 사용하였다. 절단한 공시목은 경남 진주시 가좌동에 있는 임업연구원 남부임업시험장의 구내에 설치된 야외의 대형 우화망실(길이 650 cm × 넓이 480 cm × 높이 300 cm)에 세로로 세워두었다(Fig. 1). 우화망실은 반원형의 쇠파이프 구조물 위에 성충 탈출을

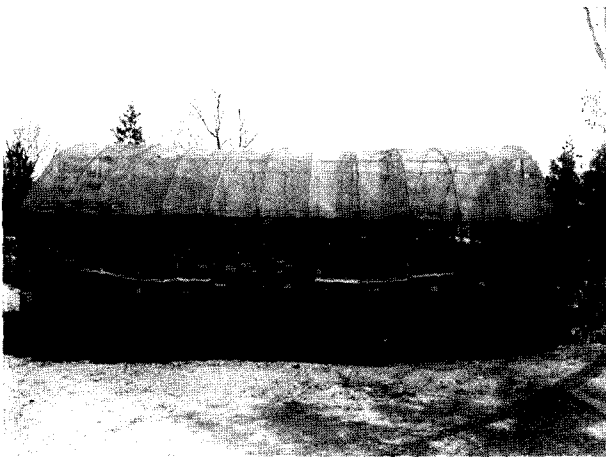


Fig. 1. A cage in which pine tree logs were kept to study the emergence ecology of *M. alternatus*.

방지하기 위하여 직경 3 mm 비닐을 코팅한 철망(5 mesh)을 씌워서 만들었다. 우화망실 내에는 공시목을 약 200개정도 넣어 두었다.

성충의 우화 행동

우화시기 조사

1999년부터 2002년까지 4년 동안 우화망실 내의 공시목에서 우화하는 성충의 수를 조사하였다. 매년 5월 1일부터 공시목에서 더 이상의 성충이 우화하지 않을 때까지 매일 오전 10시를 전후해서 조사하였다. 한편 2000년에는 음지와 양지에서 우화시기에 차이가 있는지 파악하기 위하여 양지와 24시간 내내 햇빛이 들지 않는 음지에 각각 1개의 대형 우화망실을 별도로 설치하여 성충의 우화시기를 조사하였다. 또한 동일 집단 내에서 2년에 1세대를 경과하는 개체의 비율을 알아보기 위하여, 2000년 음지에 설치한 우화망실에서는 2001년까지 2년 간 우화하는 성충을 조사하였다.

일중 우화소장 조사

2002년에는 성충의 일중 시간대별 우화소장을 조사하기 위해, 우화최성기로 추정되는 5월 31일부터 6월 15일까지 16일 동안 매 2시간 간격으로 우화하는 성충의 수를 성별로 구분하여 조사하였다.

우화 탈출 소요시간 조사

솔수염하늘소는 고사목의 목질부 내 변테기방에서 성충이 되면 튼튼한 입틀로 목질부를 갉아 외부로 탈출하기 위한 통로를 만든다. 이때 발생하는 소리로서

성충이 탈출할 준비를 하고 있다는 것을 알 수 있다. 2001년과 2002년에 솔수염하늘소 성충 5마리를 대상으로 디지털캠코더(DCR-VX2000, Sony)를 이용하여 몸체가 완전히 빠져나오는 과정과 탈출직후의 행동을 촬영하여 탈출 소요시간과 몸체 부위별 탈출순서를 조사하였다.

결과 및 고찰

우화 시기

경남 진주에서 1999년부터 2002년까지 4개년 동안 우화망실에서 조사한 솔수염하늘소 성충의 시기별 우화 상황은 Fig. 2와 같다. 성충의 우화 초일은 1999년과 2000년, 2002년이 5월 17일이었고, 2001년이 5월 15일로서 4개년 모두 5월 중순이었다. 50% 우화일은 2001년이 6월 4일로 가장 빨랐으며 2002년이 6월 8일, 1999년과 2000년은 각각 6월 15일과 19일로 나타났다. 이러한 결과는 과거 1989년부터 1998년까지 경남 진주의 남부임업시험장에서 본 실험과 동일한 장소에서 조사한 우화최성기(주로 6월 하순)에 비해 상당히 앞당겨진 것이다(Korea Forest Research Institute, 1998). 일반적으로 월동후 곤충의 우화시기는 기온의 영향을 가장 크게 받는다. 진주 지방의 1999년부터 2002년까지의 4월과 5월의 평균기온은 각각 13.35°C와 18.15°C로서, 1989년부터 1998년까지의 12.77°C와 17.41°C보다 높았는데, 이러한 기온의 차이가 년도간 우화최성기의 조만과 관계가 클 것으로 생각된다.

한편 일본의 우화최성기와 비교해 보면 구주(九州) 지방의 6월 중순과는 큰 차이가 없으나, 관동(關東) 지방의 6월 하순-7월 상순, 동북(東北) 지방 7월 상순-중순(Enda, 1976; Kishi, 1995)에 비해서는 1개월 이상 빠른 것이다. 우화 종료는 7월 상순부터 하순까지로 년도 간 큰 차이가 있었다.

Fig. 2의 결과는 양지쪽에 설치한 우화망실에서 조사한 결과이므로 자연상태에서의 우화시기와는 차이가 있을 수 있다. 비록 소나무가 양수이기는 하지만 산의 남쪽면과 북쪽면에 자라고 있는 소나무가 받는 온도의 영향은 서로 다를 것이다. 따라서 나무 속에서 월동한 솔수염하늘소 유충이 용화하기까지 받는 온도의 영향이 달라질 것이기 때문에, 임지 내의 국부적인 미기상의 차이가 우화시기에 영향을 줄 가능성이 크다고 생각한다.

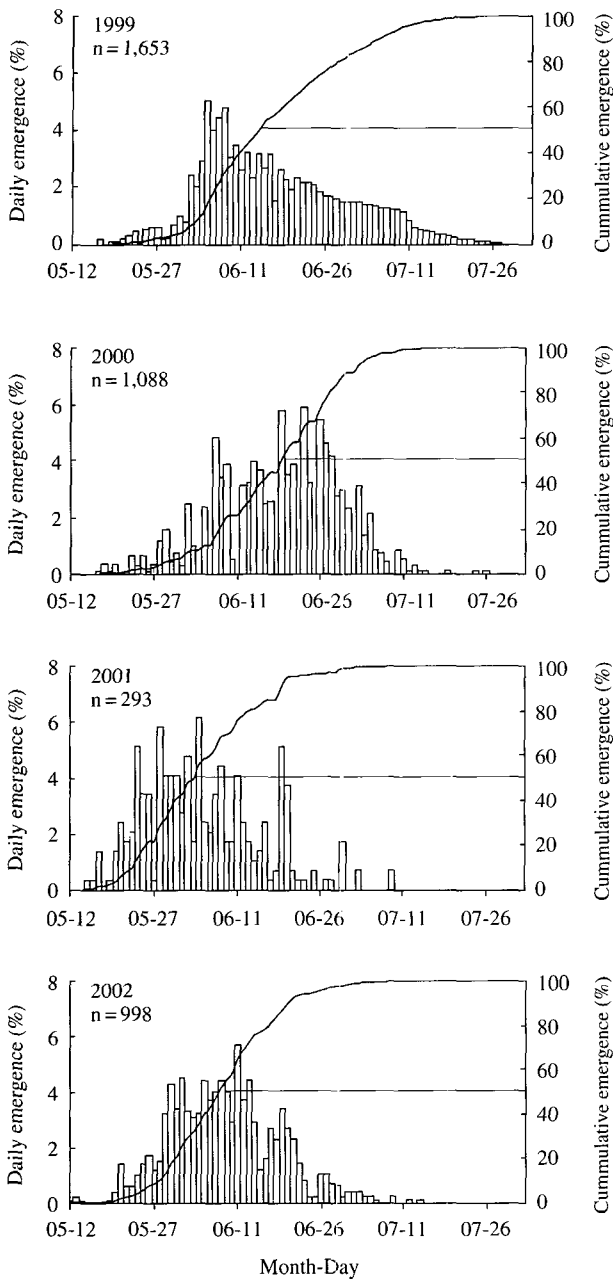


Fig. 2. Daily (bars) and cumulative emergence (lines) of *M. alternatus* adults in sunny net house in Jinju.

따라서 2000년에는 음지와 양지의 우화망실에서 우화하는 성충과 우화시기를 비교하였다(Figs. 2, 3). 음지에서는 우화 초일이 6월 7일, 50% 우화일이 7월 6일, 종료일이 8월 2일로서 양지보다 우화 초일은 21일, 50% 우화일은 17일이나 늦어졌고 우화기간의 폭도 좁아졌다. 곤충의 발육은 일정 범위 내에서는 온도에 비례하여 빨라지기 때문에 이러한 결과는 당연한 것으로 생각한다. 이러한 결과로 볼 때 산지의 북쪽면

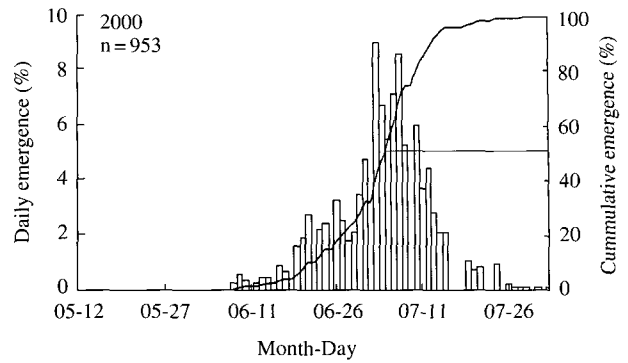


Fig. 3. Daily (bars) and cumulative emergence (lines) of *M. alternatus* adults under shady net house in Jinju in 2000.

Table 1. Composition of two types of life cycles of *M. alternatus* adults based on emergence period from pine tree logs*

Generation	Adults emerged		Emergence period
	Number	%	
Univoltine	953	97.6	2000. 6. 8-8. 2
Biennial	23	2.4	2001. 6. 20-7. 11

*Dead pine trees due to the infection of pine wood nematode were cut from February to April, 2000 to make tree logs for the study of emergence period.

에 있는 나무에 침입한 솔수염하늘소는 남쪽면에 있는 나무에 침입한 개체보다 늦게 우화할 것으로 생각한다.

솔수염하늘소 성충의 우화 상황을 암수별로 정리한 결과는 Fig. 4와 같다. 암수별 우화 초일을 보면 2000년과 2002년에는 암컷이 수컷보다 빨랐으나 2001년에는 수컷이 암컷보다 빠른 것으로 나타났으며, 50% 우화일은 수컷이 암컷보다 각각 1일, 4일, 2일이 빨랐다. Table 1은 음지에 설치한 사육상에서 1년 1세대 또는 2년 1세대를 경과하는 개체의 비율을 조사한 결과이다. 전체 성충 중에서 97.6%는 당년에 우화하였지만 2.4%는 다음 해에 우화 하였다. 이는 97.6%에 해당하는 953개체는 1999년에 쇠약목에 산란된 것이 발육하여 유충 상태로 고사목 내에서 월동한 후 2000년에 우화하였고, 2.4%는 2001년에 우화한 것이다. 일본에서도 1년 1세대 개체와 2년 1세대 개체가 한 집단 내에 섞여 있는 경우가 많은데, 개체에 따른 이러한 차이는 성충의 산란시기에 따라 결정되는 것으로 알려지고 있다. 즉, 1년 1세대 층은 보통 노숙유충으로 월동한 후 이듬해 5월경에 번데기가 되는데 비해서, 2년 1세대 층은 대개 늦게 우화한 성충이 산란했을 경우 섭식량 부족으로 미성숙 상태의 유충으로 월동하

고, 이듬해 재 섭식하여 노숙유충이 된 후 월동과정을 거쳐 다음해에 성충이 된다고 하였다(Kishi, 1995). 일본의 경우 동북지방 한랭지에서는 8월 하순 이후 산란된 것이 2년 1세대가 되며, 관동지방 서쪽의 산간부나 고지대에서도 9월 이후에 산란된 것에서 2년 1세대 층의 비율이 높게 나타나는 것으로 보고되고 있다

(Makihara, 1988).

본 실험의 결과로 볼 때 우리나라에서 솔수염하늘소는 대부분 1년 1세대일 것으로 판단되지만, 임지의 미기상 조건에 따라서는 2년 1세대 개체도 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 임지의 북쪽면에 있는 쇠약목에 늦은 시기에 산란된 알에서 부화한 유충은 온도가 낮아 발육이 더딜 뿐만 아니라, 충분한 영양을 섭취할 기간이 부족하여 발육이 부진한 상태로 월동에 들어갈 경우 2년 1세대로 발생할 가능성이 크다고 생각한다.

Table 2는 월동 직후 유충의 발육영점온도를 13.2°C (Enda and Kitajima, 1990)로 하였을 때 우화 시기별 유효적산온도를 계산한 결과이다. 유효적산온도 계산에 필요한 기온은 기상청 진주기상대의 자료를 이용하였고, 4월 1일부터 일일 평균기온이 13.2°C 이상 되는 날의 평균기온에서 발육영점온도를 뺀 값을 누적하였다. 우화 초일은 4개년 모두 5월 중순이었다. 각 누적 우화시기별 유효적산온도는 해에 따라 차이가 있어서 일률적으로 말할 수 없으나 4개년의 평균치로 볼때, 우화를 시작한 지 약 25일 후에 50%의 개체가 우화하였고, 약 33일 후에 70%의 개체가 우화하였다. 50%와 70% 우화에 소요되는 유효적산온도는 각각 262.3일도와 321.4일도이었다. 성충의 우화시기 조사는 주로 성충의 후식을 예방하기 위한 약제살포 적기를 파악하는 것이 주 목적이지만(Kishi, 1995), 연도간, 지역간에 우화시기의 차이가 심해서 예측이 어려운 실정이다. 발육영점온도 이상의 유효적산온도를 이용한 우화시기 예측에서도 실제 야외 조사자료와 잘 맞지 않는 경향을 보이고 있다(Kishi, 1980; Enda, 1981; Taketani and Ogawa, 1981; Kishi, 1995).

Table 2의 유효적산온도 계산의 기준이 되는 발육영점온도는 Enda and Kitajima (1990)가 부산산 솔수염하늘소 103마리를 대상으로 조사한 결과로서 솔수염하늘소의 발육영점온도가 산지에 따라 10.5-16.5°C로 차이가 큰 것을 감안할 때(Enda, 1994) 금후 지역

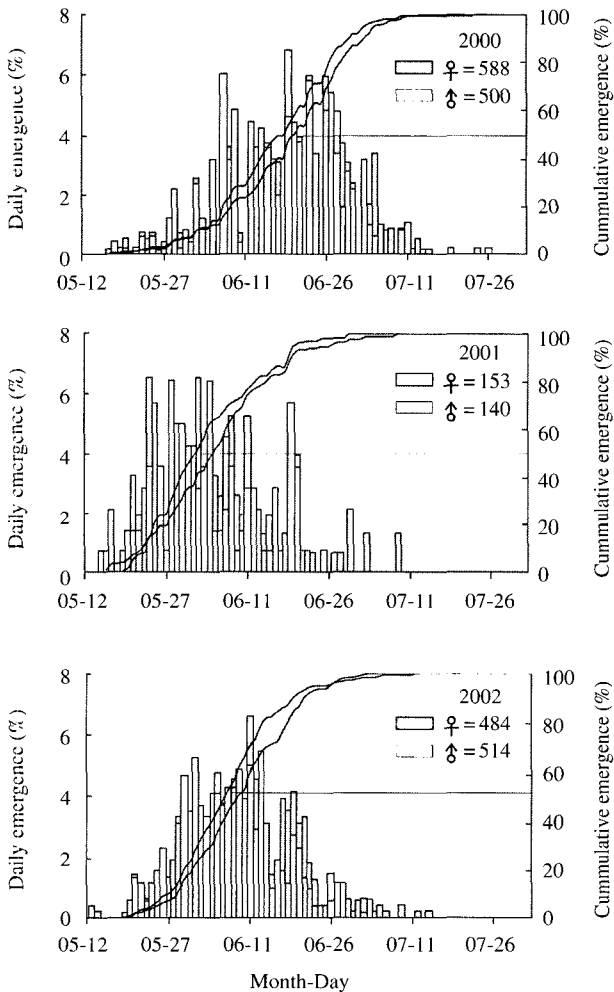


Fig. 4. Daily (bars) and cumulative emergence (lines) of male and female adults of *M. alternatus*.

Table 2. Date of emergence of *M. alternatus* adults in Jinju and accumulated total effect temperature (degree days, parentheses) based on 13.2°C threshold

Year	No. adults examined	Month/day of adults emergence (total effect temperature)				
		First	30%	50%	70%	Last
1999	1,654	5/17 (146.6)	6/8 (280.2)	6/15 (353.3)	6/23 (422.9)	7/27 (780.0)
2000	1,088	5/17 (9.1)	6/13 (124.5)	6/19 (169.5)	6/26 (227.5)	7/26 (560.0)
2001	293	5/15 (92.4)	5/29 (198.4)	6/4 (243.0)	6/10 (306.5)	7/9 (624.9)
2002	998	5/12 (90.1)	6/3 (227.8)	6/8 (283.2)	6/13 (328.5)	7/14 (598.1)
Average	4,033	5/15 (84.6)	6/5 (207.7)	6/11 (262.3)	6/18 (321.4)	7/19 (640.8)

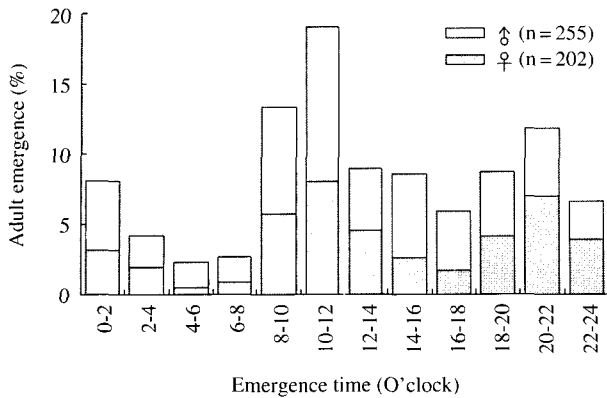


Fig. 5. Circadian rhythm of emergence of *M. alternatus* adults.

별로 발육영점온도의 조사가 요구된다.

일중 우화소장

Fig. 5는 2002년 5월 31일부터 6월15일까지 16일 동안 2시간 간격으로 조사한 성충의 일일중 시간대별 우화 결과이다. 성충은 암수 구분 없이 24시간 내내 우화하였으며, 시간대별로 우화 개체의 비율은 오전 10시부터 12시 사이가 19.0%, 오전 8시부터 10시 사이가 13.3%로서 오전 중에 우화하는 수가 32.3%로 가장 많았다. 한편 새벽 2시부터 오전 8시까지는 우화 수가 현저히 적었다. 본 조사의 결과는 일본에서 오후 6시부터 9시 사이에 가장 높은 우화율을 나타낸다 것과(Taketani *et al.*, 1974; Ido and Takeda, 1976) 큰 차이가 있는데, 현재로서는 그 원인을 알 수 없으며 금후 보완 연구가 필요할 것으로 생각한다.

우화 탈출 소요시간

솔수염하늘소의 우화 탈출은 머리를 먼저 내밀면서 탈출을 시작하고 마지막으로 더듬이 끝부분과 뒷다리가 빠져나왔다. 성충이 머리를 내밀 후 탈출공으로부터 몸 전체가 완전히 빠져나오는 데 걸리는 시간은 평균 68.0초(최소 17초, 최대 98초)이었으며, 탈출 직후에는 수초에서 수분간 휴식을 취하였다. 휴식 후 공시목의 정단부(頂端部)로 기어올라가 날아가는 것을 확인하였다. 이렇게 정단부쪽으로 이동하는 행동은 주광성 및 우화 후 소나무 가지 끝 쪽의 새순을 후식하는 행동과 관련이 있을 것으로 생각한다. 솔수염하늘소는 후식 과정에서 소나무재선충을 옮기기 때문에, 고사목에서 우화 탈출하여 소나무의 새순까지 이동한 후 후식하는 행동에 대한 세밀한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

Literature Cited

- Bergdahl, D.R. 1988. Impact of pinewood nematode in North America: Present and future. *J. Nematol.* 20: 260-265.
- Chung, Y.J. 2002. Occurrence and spread of pine wilt disease in Korea. *Tree Protec.* 7: 1-7.
- Dwinell, L.D. 1993. First report of the pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*) in Mexico. *Plant Disease* 69: 440.
- Dwinell, L.D. 1997. The pinewood nematode: Regulation and mitigation. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35: 153-166.
- Edwards, O.R. and M.J. Linit. 1992. Transmission of *Bursaphelenchus xylophilus* through oviposition wounds of *Monochamus carolinensis* (Coleoptera: Cerambycidae). *J. Nematol.* 24: 133-139.
- Enda, N. 1976. Biology of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope. *For. Protec.* 25: 182-185.
- Enda, N. 1981. Seasonal prevalence of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), in Kanto district pp. 182-185. *In* Transactions of the 25th meeting of the Kanto Branch of the Japanese Forestry Society.
- Enda, N. 1994. Japanese pine sawyer. pp. 149-152. *In* Forest insects. eds, by Kobayashi, F. and Taketani, A. Yokendo. Tokyo, Japan.
- Enda, N. 1997. The damage of pine wilt disease and control in Asia. *Forest Pests*, 46: 182-188.
- Enda, N. and H. Kitajima. 1990. Rearing of Japanese pine sawyer from Taiwan by artificial diet. pp. 503-504. *In* Transactions of the 101st meeting of the Japanese Forestry Society.
- Ido, N. and J. Takeda. 1976. Emergence of pine sawyer adults in a field cage: Continuous observations for forty-eight hours. pp. 259-262. *In* Transactions of the 27th meeting of the Kansai Branch of the Japanese Forestry Society.
- Kishi, Y. 1980. Mortality of pine trees caused by *Bursaphelenchus lignicolus* M. & K. (Nematoda: Aphelenchoididae) in Ibaraki prefecture and its control. *Bull. Ibaraki Pref. For. Exp. Sta.* 11: 1-83.
- Kishi, Y. 1995. The pine wood nematode and the Japanese pine sawyer. Thomas Company Limited, Tokyo, Japan. 302 pp.
- Knowles, K., Y. Beaublen, M.J. Wingfield, F.A. Baker and D.W. French. 1983. The pinewood nematode new in Canada. *Forestry Chronicle*, 59: 40.
- Korea Forest Research Institute. 2003. Annual research report of forest pests monitoring in 2002. Korea Forest Research Institute. Seoul. Korea. 259 pp.
- Korea Forest Service. 2003. Guideline for the control of forest diseases and insect pests. Korea Forest Service, Daejeon, Korea. 198pp.
- Linit, M.J. 1988. Nematode-vector relationships in the pine wilt disease system. *J. Nematol.* 20: 227-235.
- Makihara, H. 1988. Kinds and life history of vector insects: History of and current research on pinewood nematode. pp. 44-64. National Association for Forest Pests Control. Tokyo, Japan.
- Mamiya, Y. 1988. History of pine wilt disease in Japan. *J. Nematol.* 20: 219-226.
- Mamiya, Y. and N. Enda. 1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematologica*, 18: 159-162.
- Morimoto, K. and A. Iwasaki. 1972. Role of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) as a vector of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae). *J. Jap. For. Soc.* 54: 177-183.
- Sousa, E., M.A. Bravo, J. Pires, P. Naves, A.C. Penas, L. Bonifacio and M.M. Mota. 2001. *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) associated with *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerambycidae) in Portugal. *Nematol.* 3: 89-91.

- Steiner, G. and E.M. Buhrer. 1934. *Aphelenchoides xylophilus* n. sp., a nematode associated with blue stain and other fungi in timber. *J. Agric. Res.* 48: 949-951.
- Taketani, A. and S. Ogawa. 1981. Studies on the Japanese pine sawyer; Adult emergence in Miyazaki prefecture. pp. 191-192. *In* Transactions of the 34th meeting of the Kyushu Branch of the Japanese Forestry Society.
- Taketani, A., M. Okuda, R. Hosoda, N. Ido and J. Takeda. 1974. Hourly observations on the emergence of pine sawyer adults in a field cage. pp. 271-273. *In* Transactions of the 25th meeting of the Kansai Branch of the Japanese Forestry Society.
- Takizawa, Y. and T. Shoji. 1982. Distribution of *Monochamus saltuarius* Gebler, and its possible transmission of pinewood nematodes in Iwate Prefecture. *Forest Pests* 31: 4-6.
- The Entomological Society of Korea and Korean Society of Applied Entomology. 1994. Check list of insects from Korea. Konkuk University Press, Seoul, Korea. 744 pp.
- Wingfield, M.J. and R.B. Blanchette. 1983. The pine-wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, in Minnesota and Wisconsin: Insect associates and transmission studies. *Can. J. For. Res.* 13: 1068-1076.
- Wingfield, M.J., R.A. Blanchette and T.H. Nicholls. 1984. Is the pine wood nematode an important pathogen in the United States? *J. For.* 82: 232-235.
- Yi, C.K., B.H. Byun, J.D. Park, S.I. Yang and K.H. Chang. 1989. First finding of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhrer) Nickle and its insect vector in Korea. *Res. Rep. For. Res. Inst.* 38: 141-149.

(Received for publication 24 October 2003;
accepted 27 November 2003)