



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

제주지역에서 솔수염하늘소 성충의
우화시기 예측모형

A Forecasting Model for the Adult Emergence of
Monochamus alternatus (Coleoptera: Cerambycidae) in Jeju

濟州大學校 大學院

農學科

金 炅 範

2015年 2月

제주지역에서 솔수염하늘소 성충의 우화시기 예측모형

指導教授 金 桐 淳

金 炘 範

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2014年 12月

金炘範의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 한래우

委 員 전영철

委 員 김동순



濟州大學校 大學院

2014年 12月

목 차

List of Table	i
List of Figures	ii
ABSTRACT	iii
I. 서 론	1
II. 연구사	3
III. 재료 및 방법	6
1. 성층우화 조사	6
2. 성층우화모형 적합 및 비교	8
3. 자료분석	10
4. 모형의 선택과 평가	10
5. 솔수염하늘소 성충의 우화시기 GIS 기반 시뮬레이션	10
IV. 결 과	12
1. 성층우화 조사결과	12
2. 성층우화모형 적합 및 비교 결과	17
3. 자료분석 결과	19
4. 모형의 선택과 평가 결과	23
5. 솔수염하늘소 성충의 우화시기 GIS 기반 시뮬레이션 결과	27
V. 고 찰	30
VI. 적 요	32
인용문헌	34

LIST OF TABLES

Table 1. Origin of pine trees infested with <i>Monochamus alternatus</i> and the place of emergence chamber installed in Jeju, Korea	7
Table 2. Suggested parameter values of the cumulative emergence model of <i>Monochamus alternatus</i> two-parameter Weibull function(Park <i>et al.</i> , 2014)	9
Table 3. The first and last emergence date <i>Monochamus alternatus</i> adults in Jeju, Korea	15
Table 4. Discrepancy in days between actual observed and model outputs based on three models	20
Table 5. The residual sum of square between actual observed and model outputs of <i>Monochamus alternatus</i> (Park <i>et al.</i> , 2014)	22
Table 6. Degree-days accumulated at study site in late season for the model selection process	24

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Pine wood nematode and its insect vector, <i>Monochamus alternatus</i> , were obtained from pine tree logs cut in forest and moved to emergence chamber	6
Fig. 2. Frequency distribution of emerged <i>Monochamus alternatus</i> adults in Jeju, Korea	13
Fig. 3. Cumulative frequency distribution of adult emergence of <i>Monochamus alternatus</i> in Jeju, Korea	16
Fig. 4. Comparison of model outputs of <i>Monochamus alternatus</i> emergence with actual observed data observed in Jeju, Korea. The model outputs were based on Park <i>et al.</i> , (2014)	18
Fig. 5. Field validation for the emergence model of <i>Monochamus alternatus</i> in 2014, Jeju	26
Fig. 6. A forecasting map for the adult emergence time of <i>Monochamus alternatus</i> in degree-days in Jeju. A, B, C, D and E are indicate 10, 25, 50, 75 and 90% emergence dates, respectively	28
Fig. 7. A forecasting map for the adult emergence time of <i>Monochamus alternatus</i> in degree-days in Korea. A, B, C, D and E are indicate 10, 25, 50, 75 and 90% emergence dates, respectively	29

ABSTRACT

The Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) is well known as a primary vector of the pine wood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) that causes pine wilt disease in Korea. Therefore, it is necessary to forecast the time of adult emergence of *M. alternatus* for effective management of its population, and aerial application of insecticides for its control. This study was conducted to investigate the characteristic and pattern of *M. alternatus* adult emergence on Jeju island comparing with a published forecasting model for the adult emergence, and then to provide basic information for the control of *M. alternatus*. The results obtained were as follows.

1. Total 2,705 *M. alternatus* adults were collected over 9 years, from 2006 to 2014. and collected numbers of female and male were 1,396 and 1,309, respectively. The ratio of male to female was 0.9 (1,309 males/1,396 females).
2. Although our result shows some variations in the time of adult emergence of *M. alternatus* depending on years, in overall, the first adult emergence begun between late May and early June and completed between late July and early August.
3. The peak time of adult emergence of *M. alternatus* showed some variations depending on years, and generally occurred between 170 and 190 Julian date (late June to early July).
4. Our observed data of *M. alternatus* emergence from 2006 to 2013 provided a good fit for the advanced mode of previous model except for data in 2009 and 2011, which is based on degree-day (DD) and consisted of advanced, regular and delayed mode.

5. The deviation between forecasted and observed date was much lower in advanced mode than in regular and delayed mode, when we compared at 25%, 50%, 75%, and 90% cumulative emergence rate in each year.
6. Residual sum of squares (RSS) of advanced mode, regular mode, and delayed mode were 1.06, 1.95 and 5.23, respectively. Thus, RSS showed much lower values in advanced mode than in regular and delayed modes, indicating better fitting ability of the advanced mode.
7. The degree-days (DDs) from September to November in 2006-2014 ranged from 341.8 to 386.1 DDs (based on a lower developmental threshold temperature of 11.9°C), which was very close to the selection criterion of 379 DDs for the selection of advanced mode in the previous model.
8. For further validation of the emergence model, data sets obtained in 2014 were validated with model outputs of advanced mode, which was expected as model selection criterion. The actual emergence was located between advanced and regular mode with slightly skewed to regular mode.
9. Based on our study, we suggested an approach which can be used to determine spraying time against *M. alternatus* through its prediction of adult emergence using GIS technology on Jeju island.

Our results should be useful for the prevention and control of pine wilt disease and conservation of forest ecosystem, if the forecasting model would be validated and improved further using actual field data sets in wide areas.

I. 서 론

소나무재선충병(pine wilt disease)은 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhrer))에 의해 발병한다(Kiyohara and Tokushige, 1971; Mota *et al.*, 1999; Sun, 2005). 이 병은 적송(*Pinus densiflora*), 곰솔(*P. thunbergii*), 마미송(*P. massoniana*), 소나무(*P. luchuensis*), 대만소나무(*P. taiwanensis*)와 같은 소나무속(Pinus) 식물에 감염되며(Enda, 1997; Kishi, 1995; Lee *et al.*, 2004; Mamiya, 1988), 미국, 캐나다, 멕시코 등 북미대륙의 토착종(Indigenous species)으로 알려져 있다(Steiner and Buhrer, 1934; Knowles *et al.*, 1983; Dwinell, 1993).

우리나라인 경우 소나무재선충병은 1988년 부산광역시 동래구 온천2동 금정산 일원에서 처음으로 발견되었고(Yi *et al.*, 1989) 이후 집중적인 방제활동과 감염목 이동방지의 효과로 감염목 발생본수는 2006년부터 감소추세로 전환되면서 2007년부터 발생면적도 감소하는 듯 했으나 이후 전국으로 확산되는 실정에 이르렀다. 2014년 4월 기준 13개 시·도와 64개 시·군·구에서 발생하여 큰 피해를 주고 있다(산림청, 2014). 제주도에 2004년 9월 최초 발생하였으며 2014년 4월 기준 소나무림 면적 중 약 39%인 6,381ha가 심각한 피해를 받고 있다(제주특별자치도, 2014).

소나무재선충병의 방제는 이동 능력이 없고 소나무 내에서 번식하는 선충 자체를 죽이는 것보다는 매개충인 솔수염하늘소를 방제하는 쪽으로 초점이 맞추어져 있다. 그 중에 한 방법이 소나무재선충을 옮겨주는 일련의 과정인 매개충의 후식(maturation feeding)을 막는 것이다. 후식활동은 매개충의 성충이 성적으로 성숙하기 위하여 취하는 행동으로 이때 소나무재선충이 건전한 소나무에 옮겨진다. 매개충은 대부분의 시기를 유충의 상태로 고사된 소나무류 내에서 서식을 하며 이듬해에 성충으로 우화하여 고사목으로부터 탈출을 시도한다. 이 시기에 매개충의 후식활동을 막기 위해 실시되는 방제방법이 헬기를 이용한 항공방제이다.

따라서 성충우화시기 예측은 개체군 관리 및 항공방제 등을 효과적으로 수행하기 위하여 필수적이다. 본 연구는 2006년부터 2014년까지 9년 동안 소나무재선

충병 피해지역인 제주지역에서 매개충인 솔수염하늘소의 우화특성, 우화시기를 조사한 결과를 분석하였다. 기존 발표된 솔수염하늘소 성충우화 예측모형(Park *et al.*, 2014)을 이용하여 제주지역에서의 성충의 우화양상을 검토하고 우화 예측모형을 구축하여 성충우화 시기를 예측함으로써 지상 및 항공방제 시 기초 자료로 제공하고자 수행되었다.

II. 연구사

소나무재선충병이란 솔수염하늘소가 소나무의 가지를 섭식할 때 충체(蟲體)에서 밖으로 나온 소나무재선충이 가지의 상처에 옮겨지고, 목질 조직 안으로 침입하여 나타나는 증상으로 밝혀졌다(Mamiya and Enda, 1972; Morimoto and Iwasaki, 1972). 따라서 소나무재선충의 전파는 후식할 때 이루어진다는 것을 알게 되었다. 더욱이 선충을 보유한 하늘소로 직접 건전한 소나무를 후식시켰을 때 소나무가 감염 및 고사되어 병원체가 전파된다는 사실이 증명되었다(Enda, 1972a; 遠田와 眞宮, 1972; 森本와 岩崎, 1972). 또한 산란처를 통하여 소나무재선충을 전파시키는 것으로도 알려져 있다(Wingfield and Blacchette, 1983; Edwards and Linit 1992).

소나무재선충에 의한 피해는 원산지인 북미지역의 경우 그 지역 자생수종들은 대부분 저항성을 나타내면서 병원성을 나타내는 예가 극히 드문 것으로 알려지고 있으나 이 선충이 원산지에서 다른 나라로 유입될 경우 그 지역의 토착 소나무류는 대부분 감수성을 보이면서 극심한 피해를 나타내는 것으로 연구되었다(Wingfield *et al.*, 1984; Bergdahl, 1988; Dwinell, 1997). 대표적인 예가 일본으로서 1900년대 초반부터 일본은 소나무에 피해가 나타나기 시작하여 점차 확산되면서 현재는 소나무와 해송이 거의 전멸 상태가 되고 있다(Mamiya, 1988; Kishi, 1995). 중국에서는 1982년에 남경시(南京市)에서 최초로 발생이 확인되었는데 소나무, 해송, 마미송이 극심한 피해를 받았다. 1985년 최초 발생이 확인된 대만의 경우, 유구송(琉球松, *P. luchuensis*)과 해송, 대만이엽송(*P. taiwanensis*) 등이 전멸 위기에 있는 것으로 알려지고 있다(Enda, 1997). 1999년에는 유럽의 포르투갈에서도 발생이 보고(Mota *et al.*, 1999) 된 바 있다.

최근 소나무재선충병의 원인인 소나무재선충은 유럽연합(EU)에 의해 식물 및 식물 생산품에 해로운 생물 (harmful organism)로 등록되어 있다(Annex II, Council Directive 2000/29/EC of May 2000). 따라서 가맹국 내에서의 소나무재선충의 유입 및 확산이 금지되고 있다(Rodrigues, 2008).

소나무재선충을 옮겨주는 매개충은 *Monochamus*속에 속하는 하늘소류로서 우

리나라와 일본, 중국, 대만에서는 솔수염하늘소(Mamiya and Enda, 1972; Kishi, 1995), 북미지역에서는 *M. carolinensis*, *M. mutator*, *M. scutellatus*, *M. titillator* (Linit, 1988), 포르투갈에서는 *M. galloprovincialis* (Sousa *et al.*, 2001)가 중요한 매개충으로 알려져 있다. 한편 일본 동북지방의 한랭한 지역에서는 북방수염하늘소(*M. saltuarius*)도 소나무재선충을 매개하는 것으로 알려져 있으며 (Takizawa and Shoji, 1982; Sato *et al.*, 1987), 최근에는 국내에서도 잣나무림에서 소나무재선충병이 발생하였는데 이를 매개하는 곤충이 북방수염하늘소로 밝혀졌다(KFRI, 2007).

소나무재선충병의 매개충인 솔수염하늘소의 생활사에 관한 연구를 보면 국내에서는 남부지역의 경우 소나무와 곰솔에서 주로 솔수염하늘소가 매개 역할을 한다(Moon *et al.*, 1995; Kwon *et al.*, 2006). 기주식물은 *Pinus* 속의 여러 종류 (Furuno and Uenaka, 1979)와 삼나무, 편백 등(Yamane and Akimoto, 1974; Nakamura and Okochi, 2002)이며, 주로 연 1회 발생하지만 2년 1세대가 발생하기도 한다(Kim *et al.*, 2003). 유충기간은 보통 8월 중순~익년 5월 상순까지이며, 번데기는 4월 하순~6월 중순, 성충은 5월 하순~8월 상순, 알은 6월 중순~8월 상순이었다(Park *et al.*, 1992). Kim *et al.*(2003)에 의하면 성충의 발생시기는 5월 중순에서 8월 초순까지로 조사되었다.

일본의 경우는 늦은 봄에서 여름사이에 1년에 한번 고사목으로부터 우화탈출하는 솔수염하늘소 성충은 1년 1세대와 2년 1세대 생활사를 가진다(Kishi, 1995). 우화탈출 기간은 지역 간 차이가 있는데 일본의 남서쪽 섬지역의 Okinawa 지역에서 4월 초순에서 8월로 조사가 되었고(Irei *et al.*, 2004), 일본 본토에서는 5월에서 7월(Togashi and Magira, 1981) 또는 5월에서 8월(Kishi, 1995)이었다. 북쪽 Honshu에서는 늦은 6월 하순에서 8월 달까지 조사가 되었다(Chida and Sato, 1981; Hoshizaki *et al.*, 2005). 중국 남부지방에서는 솔수염하늘소는 1년에 2~3세대를 가진다. 그래서 우화탈출하는 솔수염하늘소 성충 수에서 계절적인 변화가 4월에서 11월 사이에 2~3차례의 최성기를 보여 준다(Song *et al.*, 1991).

소나무재선충병 방제에는 임업적 방제와 화학적 방제, 생물학적 방제법 등이 있는데(Kishi, 1995) 화학적 방제법으로는 소나무재선충을 매개하는 솔수염하늘소와 같은 매개충을 방제하기 위하여 항공방제나 피해목 훈증과 같은 방법이 있

으며, 소나무재선충을 대상으로 하는 방법으로는 나무주사와 토양관주법 등이 있다(국립산림과학원, 2006). 우화탈출한 솔수염하늘소 성충을 대상으로 하는 방제 중에 소규모 면적이나 환경에 민감한 지역에서는 지상살포가 적합하며, 넓은 지역에는 헬기를 이용한 항공방제 방법이 유용하다(Kishi, 1995). 방제시기는 솔수염하늘소의 우화탈출 초기에 맞추어 1회 살포하는 것과 초기와 최성기에 각각 살포하는 방법이 있다(川崎, 1982; 森本와 岩崎, 1973; 瀧澤와 宮崎, 1974). 이러한 살포시기 결정에 월동 유충의 생리적 연령에 기반한 degree-days 모형과 같은 예찰 시스템이 큰 도움이 된다(Enda, 1975; Fujishita and Torii, 1975; Okuda, 1973; Takizawa *et al.*, 1979)는 보고가 있으며 우리나라에서는 degree-days에 기반한 국내 솔수염하늘소 월동 유충의 성충우화모형 예측(Park *et al.*, 2014)에 관한 연구가 있다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 성충우화 조사

2006년부터 2014년까지 매년 12월부터 이듬해 2월 사이에 소나무재선충병의 피해지역인 제주시 일원의 고사목 중 솔수염하늘소의 산란흔적이 있는 나무를 공시목으로 선택하고 벌채하였다. 각 공시목을 1~1.2m로 절단하여 제주시 오라 2동에 설치된 우화상(가로 7 × 세로 6 × 높이 3m)으로 옮겨와 우물 정(井)로 적재하였고(Fig. 1), 공시목은 매년 100~300개로 다양하였다. 9년간 매년 5월부터 우화탈출이 종료되는 날까지 매일 우화탈출한 성충을 채집하고 일별, 성별 우화탈출상황을 조사하였다. 고사목의 수거장소 및 우화상 설치장소는 Table 1과 같다.



Fig. 1. Pine wood nematode and its insect vector, *Monochamus alternatus*, were obtained from pine tree logs cut in forest and moved to emergence chamber.

Table 1. Origin of pine trees infested with *Monochamus alternatus* and the place of emergence chamber installed in Jeju, Korea

Year	Emergence chamber		Origin of pine trees infected	
	Installed place	Altitude(m)	Collected area	Altitude(m)
2006	Orai-dong	270	Ora-dong	150-200
2007	Orai-dong	270	Ora/Nohyeong-dong	150-200
2008	Orai-dong	270	Nohyeong-dong	150-200
2009	Orai-dong	270	Orai-dong/Daeheul-ri	180-200
2010	Orai-dong	270	Gwangnyeong/Yusuam	200-250
2011	Orai-dong	270	Gwangnyeong/yusuam	200-250
2012	Orai-dong	270	Haeon-dong/Nabeup-ri	140-150
2013	Orai-dong	270	Sangga-ri	50-100
2014	Orai-dong	270	Gimnyeong-ri/ Youngpyeong-dong	50-350

2. 성층우화모형 적합 및 비교

수집한 슬수염하늘소 성층우화 자료를 이용하여 기존 발표된 모형(Park *et al.*, 2014)과 비교 분석하였다. 온도자료는 우화상에서 약 1km 떨어진 장소에 설치된 데이터 로거(HOBO)의 자료를 이용하였고 기존 모형에 적합시키기 위하여 자료를 누적분포로 변환하고 총 우화수를 “1.0”으로 간주하여 표준화 시켰다. 기존 모형은 우리나라 진주지역에서 수집된 우화자료를 토대로 제작되었으며 적산온도(발육영점온도 11.9℃ 적용; Kobayashi *et al.*, 1984)와 시기별 슬수염하늘소 우화율의 관계를 제시하고 있다. 이 모형은 전년도 가을의 온도 조건에 따라 전진(advanced), 보통(regular) 또는 지연(delayed)모드의 Weibull 함수 매개변수를 선택하도록 되어 있다(Table 2).

Table 2. Suggested parameter values of the cumulative emergence model of *Monochamus alternatus* two-parameter Weibull function (Park *et al.*, 2014)

Mode of model	Parameter		Equation
	a	b	
Advance	374.0	3.5250	$f(x) = 1 - \exp(-(x/a)^b)$
Regular	463.7	3.6263	x : Degree-days based on 11.9°C
Delay	543.0	4.4261	a, b : parameter

3. 자료분석

모형의 적합도는 연도별 우화율 25%, 50%, 75%, 90%에서 관측일과 예측일의 편차를 계산하여 비교하였고 관측일과 예측일간 잔차자승합(residual sum of square, RSS)을 계산하여 비교하였다. 관측일과 예측일의 편차가 적을수록 RSS가 낮을수록 적합도가 높은 것을 나타낸다.

4. 모형의 선택과 평가

기존 모형은 전년도 가을의 온도 조건에 따라 전진(advanced), 보통(regular) 또는 지연(delayed)모드를 선택한다고 하였다. 이에 전년도 가을의 적산온도(발육 영점온도 11.9℃ 적용; Kobayashi *et al*, 1984)를 비교하여 적합한 모형을 선택하였고 모형개발에 쓰이지 않은 2014년도 적산온도 자료를 가지고 모형을 평가하였다.

5. 솔수염하늘소 우화시기 GIS 기반 시뮬레이션

본 결과를 바탕으로 제주도 지역에서 솔수염하늘소 우화시기를 예측하여 사용할 수 있는 방안을 제시하기 위하여 GIS 기반의 솔수염하늘소 성충의 우화시기 분포도를 작성하였다.

전진모드 모형을 선택하여 10%, 25%, 50%, 75%, 90% 발생일을 추정 후 2013년도 전국 기상청 자동기상관측자료 665개 지점을 활용하고 DEM(Digital Elevation Model)에 근거하여 IDW(Inverse Distance Weighting)기법으로 지점 관측자료를 240m 격자자료로 정밀화 하였다. 각 지점에서 적산온도(Degree-Day, DD)가 200DD(10%), 264DD(25%), 374DD(50%), 410DD(75%), 475DD(90%) 되는 날짜를 추출하고 성충우화시기 분포도를 GIS플랫폼에 탑재하였다.

GIS기반 시뮬레이션은 서버 아키텍처는 리눅스 서버 MapServer를 사용하고

지도를 WMS(Web Mapping Service) Layer로 생성하였다. 클라이언트 아키텍처는 국토해양부 국가공간정보유통시스템(vworld) 배경지도를 활용하고 오픈소스 GIS 웹 라이브러리 Openlayers를 이용하였다.

IV. 결 과

1. 성충우화 조사결과

제주지역에서 2006년부터 2014년까지 조사된 솔수염하늘소 성충우화 양상은 Fig. 2와 같다. 연도에 따라 적재한 공시목의 수에 차이가 있었으므로 연도별 총 우화수는 다소 차이를 보였다. 우화최성기 역시 연도별 차이는 있었으나 대부분 170(Julian date)에서 190(Julian date)으로 6월 말에서 7월 초로 조사되었다.

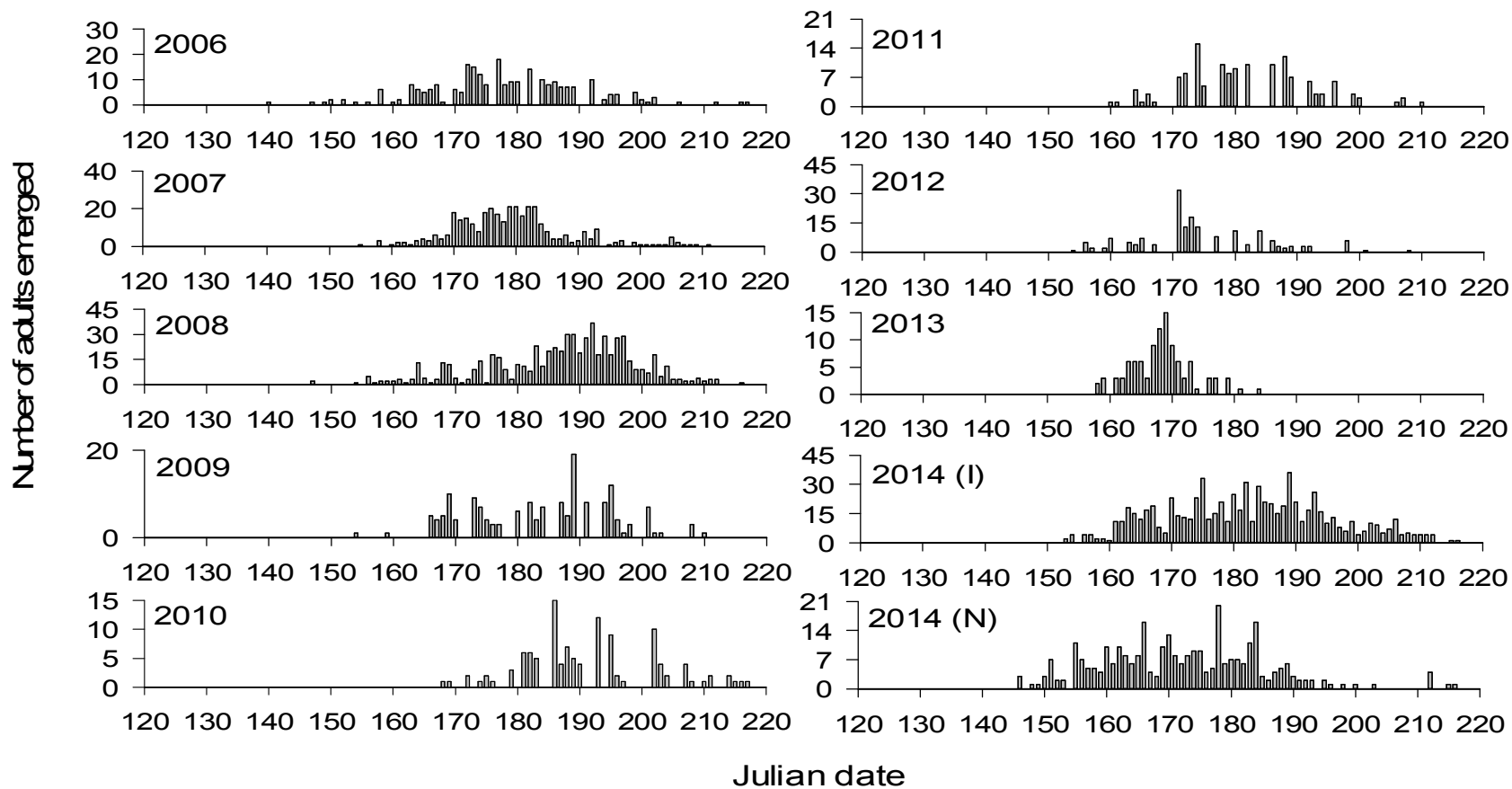


Fig. 2. Frequency distribution of emerged *Monochamus alternatus* adults in Jeju, Korea.

대부분의 연도에는 6월 상순 우화를 시작하여 7월 하순 내지 8월 상순에 종료하였다. 2006년과 2008년에는 다른 해와 비교하여 빠른 5월 하순 우화를 시작하였고, 2013년도는 우화 종료일이 다소 빠른 7월 15일 있다. 조사기간 9년간 총 2,705마리가 채집되었으며 이 중 암컷은 1,396마리 수컷은 1,309마리였다. 암컷과 수컷의 발생비율은 약 0.9(수컷 수/암컷 수)로 조사되었다(Table 3).

Table 3. The first and last emergence date *Monochamus alternatus* adults in Jeju, Korea

Year	First	Last	Female	Male	Total
2006	5.20	8. 5	150	105	255
2007	6. 4	7.30	186	169	355
2008	5.26	8. 4	329	306	635
2009	6. 3	8.10	82	82	164
2010	6.15	8. 5	59	62	121
2011	6. 9	7.29	70	69	139
2012	6. 2	7.26	83	92	175
2013	6. 7	7.15	52	52	104
2014	6.2	8.12	385	372	757
Total			1,396	1,309	2,705

각 연도별로 우화한 솔수염하늘소 성충의 우화수의 차이가 많아 누적우화율로 표준화시켜 비교한 결과 우화곡선이 연도에 따라 큰 변이를 보였다(Fig. 3).

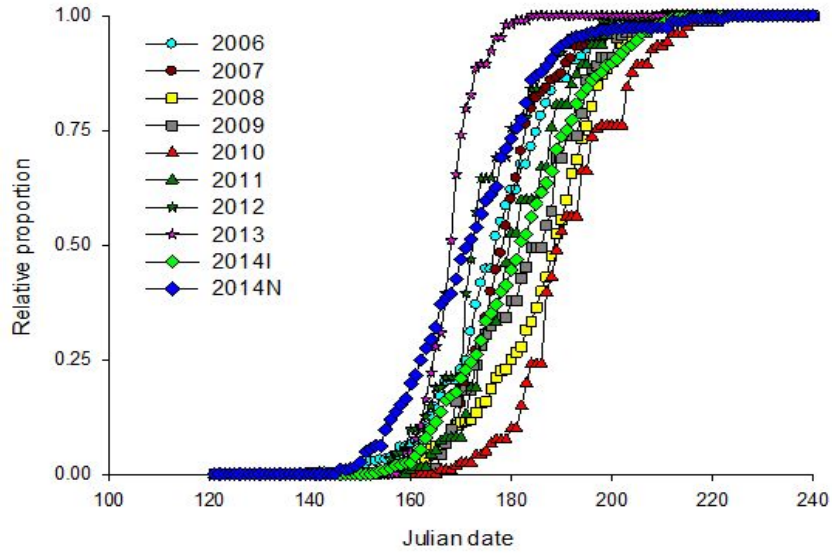


Fig. 3. Cumulative frequency distribution of adult emergence of *Monochamus alternatus* in Jeju, Korea.

2. 성층우화모형 적합 및 비교 결과

기존 모형에서 제시한 매개변수값과 적산온도(발육영점온도 11.9℃ 적용; Kobayashi *et al*, 1984) 및 누적우화율을 이용한 Weibll 함수 곡선을 각 연도별로 비교한 결과는 Fig. 4와 같았다. 연도별로 관측일과 전진, 보통, 지연의 3가지 모형과 비교한 결과 2009년도에는 보통모드, 2010년도에는 보통내지 지연모드를 나타냈으나 대부분의 연도에는 전진모드의 예측일과 관측일이 대체로 일치하였다.

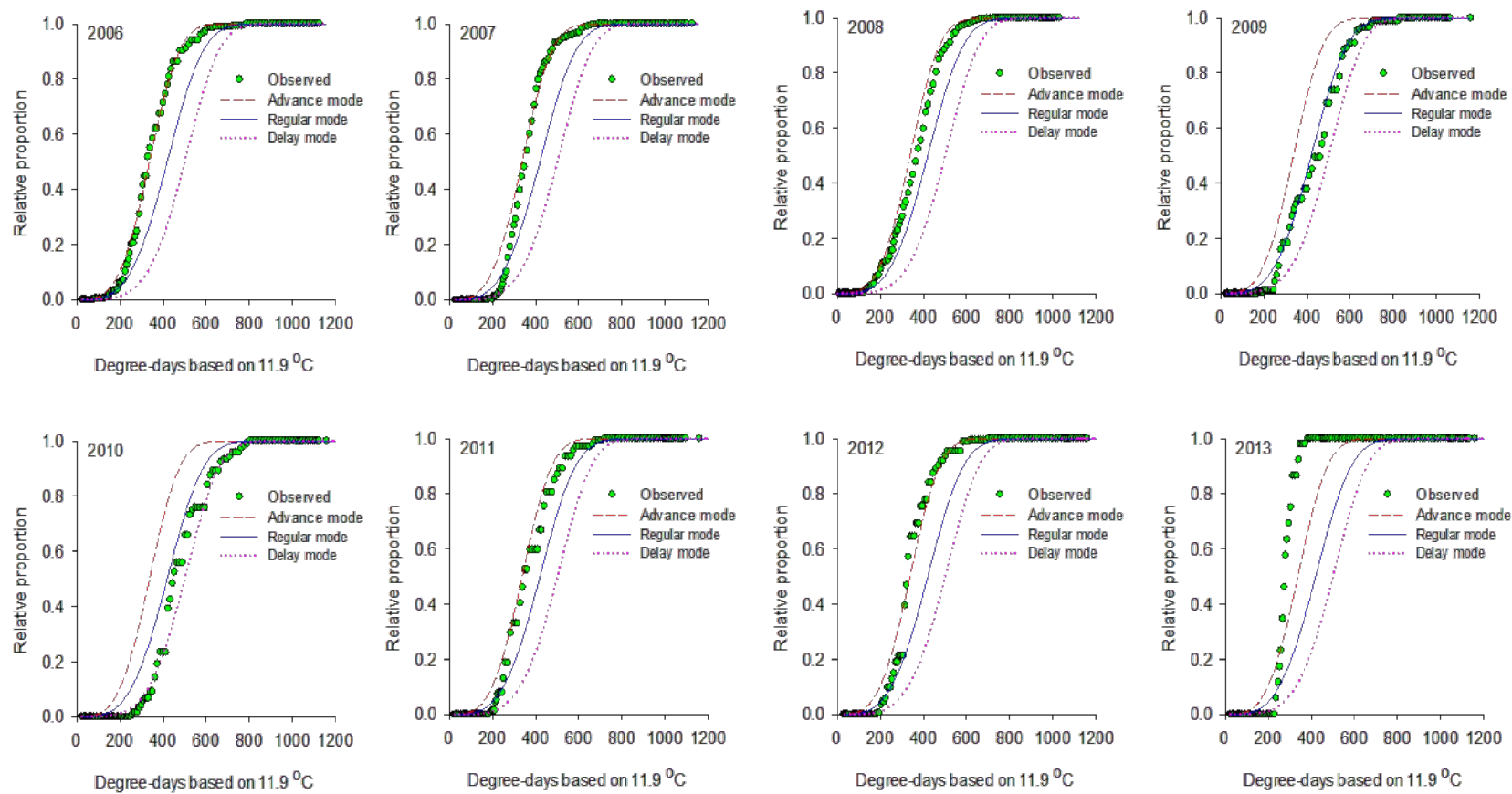


Fig. 4. Comparison of model outputs of *Monochamus alternatus* emergence with actual observed data observed in Jeju, Korea. The model outputs were based on Park *et al.*, (2014).

3. 자료분석 결과

관측일과 전진, 보통, 지연 3가지 모드의 25%, 50%, 75%, 90% 우화일의 편차는 Table 4. 와 같다. 연도별, 우화율별로 관측일과 예측일간의 편차가 컸지만 대체적으로 전진모드의 편차가 적었고 지연모드인 경우 편차가 상당히 컸다.

Table 4. Discrepancy in days between actual observed and model outputs based on three models

Year	25%				50%				75%				90%			
	O *	A	R	D	O	A	R	D	O	A	R	D	O	A	R	D
2006	171	7	1	-7	175	-13	-20	-27	185	-10	-17	-24	192	-7	-17	-23
2007	172	4	-4	-11	178	1	-6	-16	183	0	-12	-19	192	1	-10	-16
2008	179	2	-7	-14	187	0	-7	-13	194	1	-6	-12	199	1	-7	-13
2009	173	6	-1	-10	184	9	0	-8	191	8	-2	-8	198	8	-1	-8
2010	185	11	4	-3	188	6	-1	-9	196	8	-1	-7	206	12	3	-3
2011	174	2	-4	-11	180	1	-6	-13	188	3	-6	-12	195	4	-5	-10
2012	170	6	-3	-13	172	-2	-12	-19	180	-3	-12	-19	188	-1	-11	-17
2013	168	1	-7	-15	172	-4	-12	-18	176	-7	-14	-20	183	-5	-13	-19

* O = observed Julian date and abbreviation for three models: A = advanced, R = regular and D = delayed mode.

관측일과 전진, 보통, 지연 3가지 모드의 예측일과의 잔차자승합(RSS)를 비교하였다(Table 5).

잔차자승합(RSS)이란 누적우화율에 따른 관측일과 예측일의 차를 제곱한 값으로 2009년에는 보통모드의 RSS가 0.10으로 낮았고 2010년에도 보통모드의 RSS가 0.20으로 가장 낮았으나 지연모드의 RSS인 0.90와는 큰 차이를 보이지는 않았다. 2009년과 2010년을 제외한 나머지 연도에는 전진모드의 RSS가 가장 낮았다. 실제 평균 RSS를 보면 전진모드인 경우 1.06, 보통모드 1.95, 지연모드 5.23으로 전진모드 모형에서 가장 낮음을 알 수 있다. 즉, RSS가 가장 낮은 전진모드가 우세함을 알 수 있다.

Table 5. The residual sum of square between actual observed and model outputs of *Monochamus alternatus* (Park *et al.*, 2014)

Year	Advance	Regular	Delay
2006	2.66	6.80	12.35
2007	0.38	1.30	5.14
2008	0.04	1.00	4.21
2009	1.89	0.10	1.31
2010	2.20	0.20	0.90
2011	0.30	0.60	3.30
2012	0.28	2.10	6.52
2013	0.70	3.50	8.10
Mean	1.06	1.95	5.23

4. 모형의 선택과 평가 결과

연도별 9월에서 11월 적산온도를 합산한 결과는 Table 6.과 같다. 기존 연구에서 9월에서 11월 적산온도의 합이 379DD(degree-days)일 때는 전진모드를 선택하도록 되어있다. 제주 조사지점은 적산온도가 2006년부터 2013년까지 341.8~386.1DD 사이로 전진모드의 적산온도의 합에 근사치를 보였다. 실제 앞의 결과에서도 전진모드가 우세하였다.

Table 6. Degree-days accumulated at study site in late season for the model selection process

Year	Degree-days based on 11.9°C				Remark
	Sep.	Oct.	Nov.	Sep. ~ Nov.	
2006	195.7	128.9	17.2	341.8	
2007	261.3	101	2.5	364.8	
2008	250.2	110.6	11.6	372.4	Degree-days during Sep. to - Nov. in advanced model were 379DD
2009	235.1	107.6	22.2	364.9	
2010	280.8	91.3	2.7	374.8	
2011	239.3	71.3	54.2	364.8	
2012	198.9	82.6	0.6	282.1	
2013	251.4	112.2	22.5	386.1	

모형을 평가하기 위하여 2014년 모형 예측 자료와 실측 자료를 비교하였다(Fig. 5). 2013년도 9월에서 11월 적산온도의 합이 386.1DD로 2014년에는 전진모드 모형이 적합 할 것으로 예측이 가능하였다. 실제 결과에서는 전진모드에서 보통모드로 치우치는 경향이 있었으나 이는 전년도 9월에서 11월 적산온도의 합이 높았다는 것으로 해석할 수 있다.

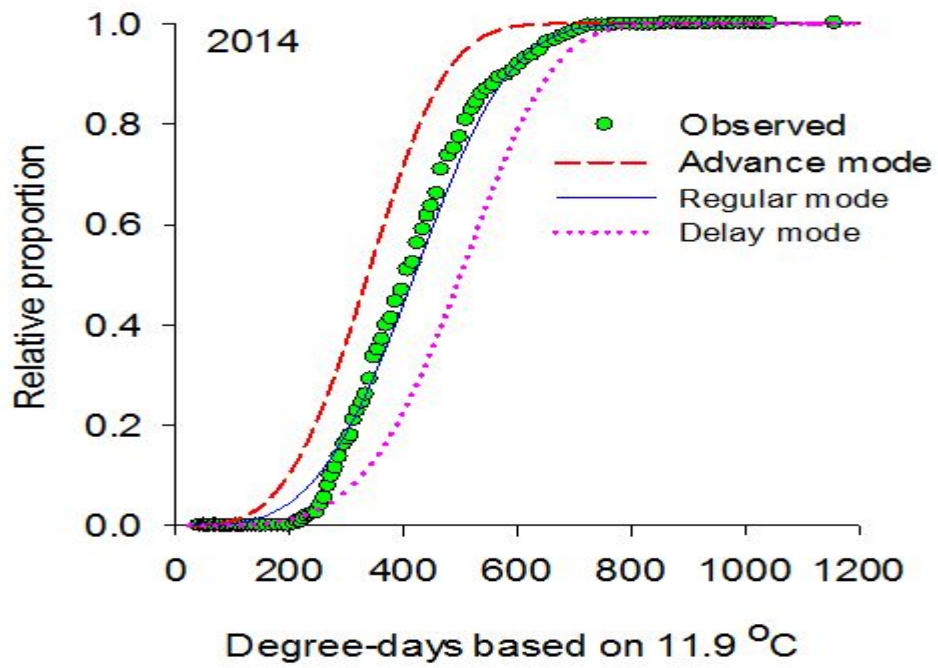


Fig. 5. Field validation for the emergence model of *Monochamus alternatus* in 2014, Jeju.

5. 솔수염하늘소 우화시기 GIS 기반 시뮬레이션 결과

(주)에피넷의 기술지원을 받아 2013년도 적산온도에 근거하여 솔수염하늘소 성충의 우화율이 10%, 25%, 50%, 75%, 90%가 되는 성충우화시기 분포도를 GIS를 이용하여 시뮬레이션을 하였다(Fig. 6 and 7). 적산온도가 같은 지역은 같은 색으로 표시되었고 제주도인 경우 실제 우화상이 설치된 곳과 예측자료는 비슷하게 표시되었다.

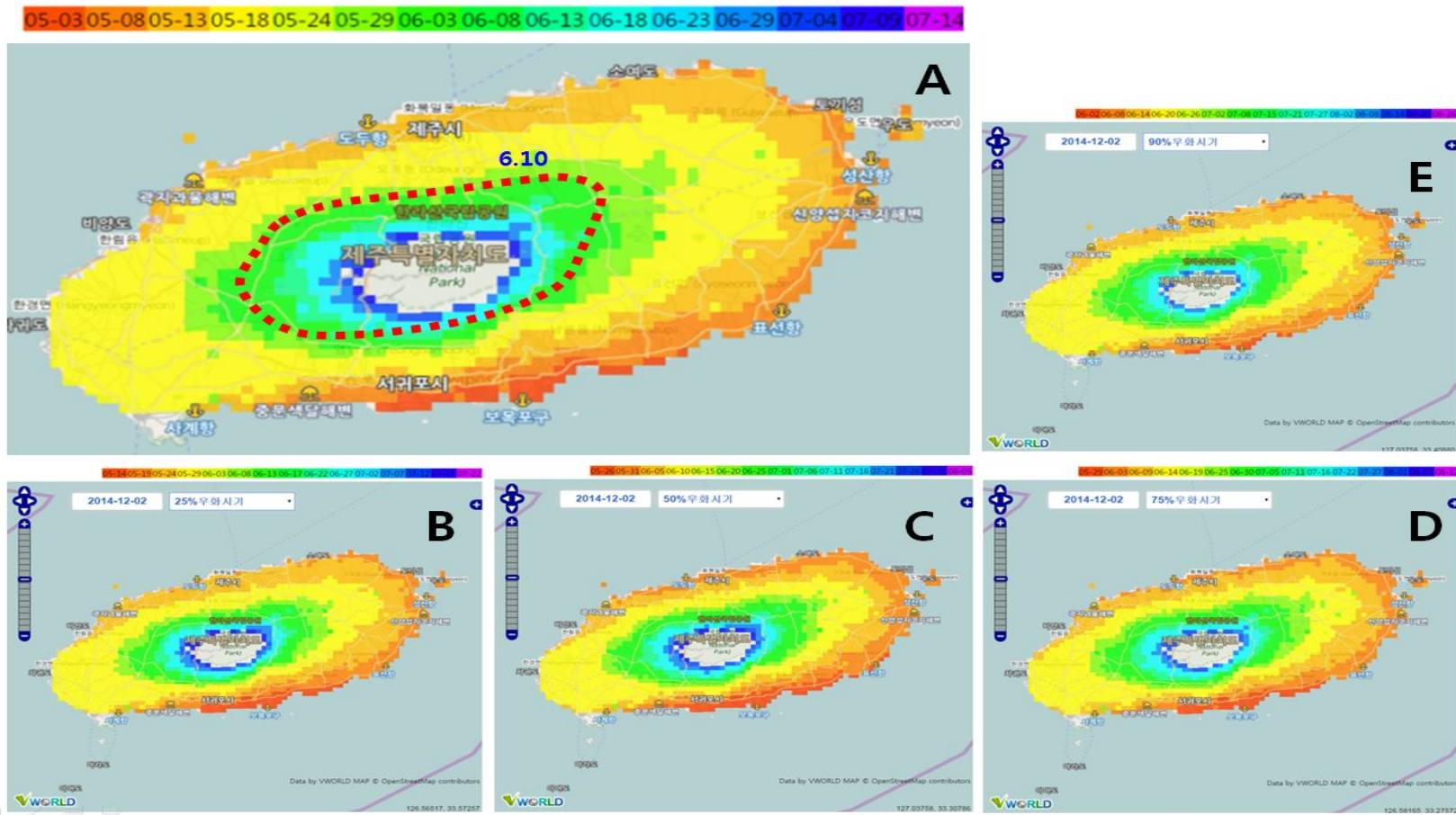


Fig. 6. A forecasting map for the adult emergence time of *Monochamus alternatus* in degree-days in Jeju. A, B, C, D and E are indicate 10, 25, 50, 75 and 90% emergence dates, respectively.

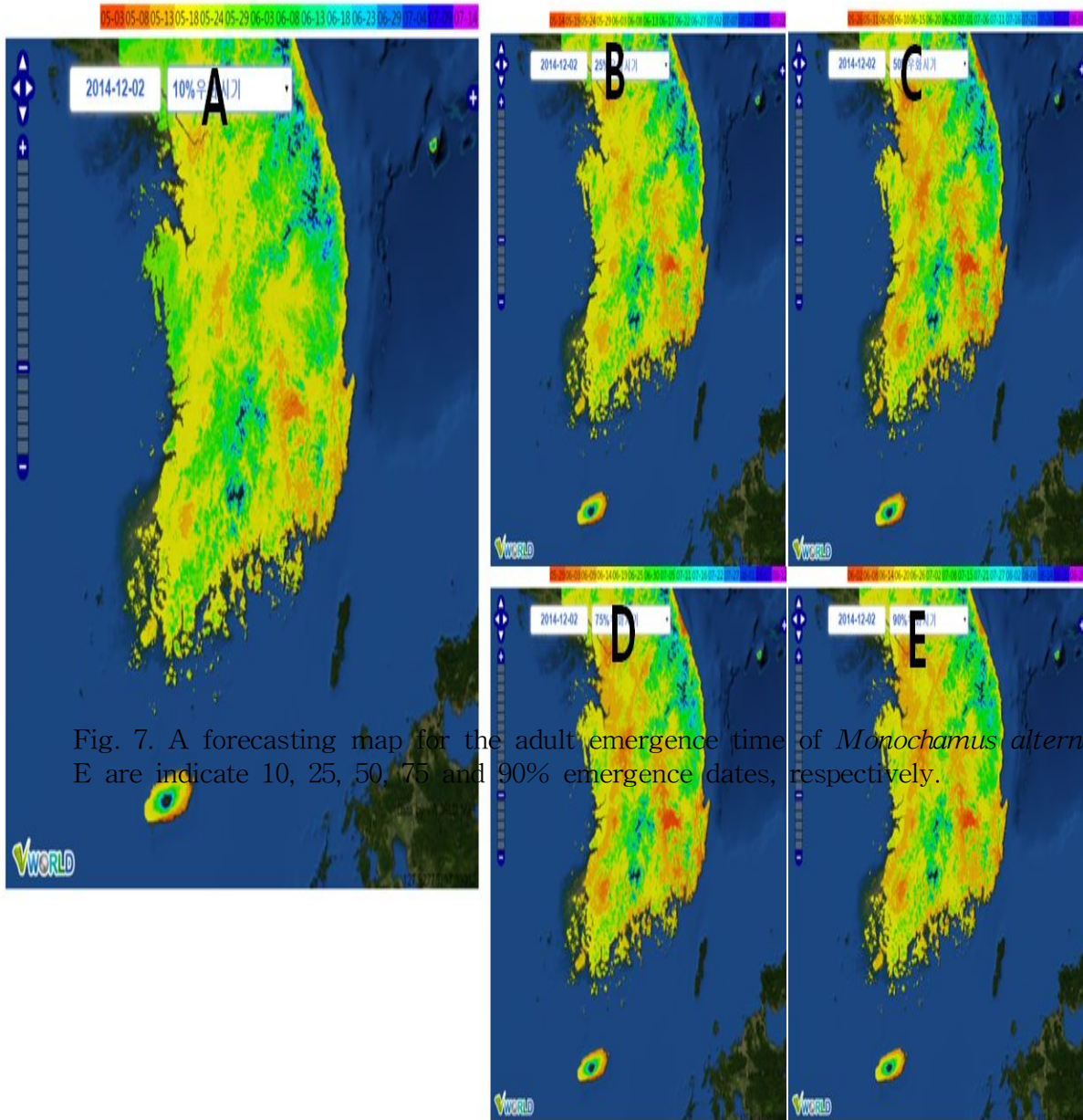


Fig. 7. A forecasting map for the adult emergence time of *Monochamus alternatus* in degree-days. A, B, C, D and E are indicate 10, 25, 50, 75 and 90% emergence dates, respectively.

V. 고 찰

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). 따라서 소나무재선충병의 방제는 이러한 매개충을 방제하는 것이 가장 효과적이다(Kishi, 1995). 이에 본 연구에서는 소나무재선충병 방제에 기초가 되는 매개충인 솔수염하늘소 성충의 우화양상 특성을 알아보기 위해서 수행하였다.

제주지역에서 2006년부터 2014년까지 9년간 조사한 자료를 보면 솔수염하늘소 성충의 우화기간과 개체수는 가장 짧았던 2013년이 38일에 104마리였고, 가장 길었던 2006년에는 77일에 255마리였다. 이와 같이 연도 간 차이가 많이 났던 것은 우화상에 적재한 공시목의 수가 달랐기 때문으로 판단된다. 솔수염하늘소 성충의 우화탈출 시기를 조사하기 위해서는 400마리 이상의 개체수를 확보하는 것이 좋다는 보고(Matsubara, 1984)가 있는데 2008년 635마리, 2014년 757마리로 이 두 해를 제외하고는 공시목의 수가 적어 충분한 개체수를 확보하지는 못했다. 이러한 이유 때문인지는 알 수 없으나 솔수염하늘소 성충의 우화 개체수를 우화시기 및 우화기간 등과 연관지어 설명 할 수는 없었다.

솔수염하늘소 성충의 우화시기 조사는 주로 성충의 후식을 예방하기 위한 약제살포 적기를 파악하는게 주 목적이지만(Kishi, 1995), 조사연도별 우화시기의 차이가 심하여 예측하기가 어려운 실정이다. 이에 Park *et al.*,(2014)은 우리나라 진주지역에서 수집된 우화자료를 토대로 솔수염하늘소 월동 유충의 성충우화 예측모형을 제작하였다. 이 모형은 전년도 가을의 적산온도(발육영점온도 11.9℃ 적용; Kobayashi *et al.*, 1984) 조건에 따라 전진(advanced), 보통(regular), 지연(delayed)모드의 Weibull-함수 매개변수를 선택하여 적산온도에 따른 솔수염하늘소 성충의 우화율을 추정하는 모형이다. 제주지역에서 수집한 자료를 가지고 기존 모형에 적합시켜 비교한 결과 대체로 전진모드 모형과 일치하였으나 2009년

에는 보통모드, 2010년에는 보통모드 또는 자연모드 모형과 일치하였다. 기존 모형에서 전년도 9월~11월 적산온도가 379DD(degree-days)에 가까우면 전진모드 모형을 선택하도록 되어있다. 그러나 2009년과 2010년 9월~11월 적산온도는 각각 364.9DD와 374.8DD로 전진모드 모형으로 예측하였으나 비교결과는 2009년 보통모드, 2010년에는 보통 내지 자연모드 모형과 가까웠다. 그 이유는 조사에 사용된 공시목이 연도별 수거장소 및 수거시기가 달랐기 때문으로 판단된다. 수거장소에 따라 그동안 누적된 적산온도의 차이가 있었을 것이며 수거시기는 월동하는 솔수염하늘소 유충의 연령에 영향을 미쳤기 때문일 것으로 생각된다. 실제 2014년도 모형예측 자료와 실측 자료의 비교 결과도 전진모드로 예측하였으나 보통모드로 약간 치우친 경향을 보였다. 향후 보다 정확한 모형제작을 위해 조사에 사용할 공시목 선정 시 수거장소와 수거시기를 고려 할 필요가 있다고 판단된다.

솔수염하늘소 성충의 우화시기 예측모형의 장점은 GIS와 전자기후도를 사용하여 우화 예측시기를 모니터링 할 수 있다는데 있다(Fig. 6 and 7). 향후 고도별, 지역별로 솔수염하늘소 성충 유인트랩이나 간이우화상을 사용한 추가 조사를 통해 좀 더 정확한 모형제작이 필요 할 것으로 생각된다.

제주도를 비롯한 우리나라에서는 소나무재선충병의 매개충인 솔수염하늘소 성충 방제를 위해 일년에 3~5회 항공방제를 실시하고 있다. 방제시기는 우화상 내에서 솔수염하늘소의 상태를 직접 관찰한 결과로 정해지고 있다. 성충 우화 초기에 이후에는 2~3주 간격으로 방제를 하고 있다. 즉 우화상이 설치되어 있지 않은 곳에서는 방제시기 결정에 큰 오차를 수반 할 수도 있다. 따라서 기온 데이터를 얻을 수 있는 곳이라면 적산온도를 통해 솔수염하늘소 성충의 우화시기 예측 모형을 활용하여 항공방제 시기를 결정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

VI. 적 요

솔수염하늘소(*Monochamus alternatus*)는 소나무재선충병을 유발하는 소나무재선충(*Bursaphelenchus xylophilus*)의 주요 매개충으로 알려져 있다. 이에 솔수염하늘소 성충 우화시기 예측은 개체군 관리 및 항공방제 등을 효과적으로 수행하기 위하여 필수적이다. 본 연구는 솔수염하늘소 성충우화 예측모형을 이용하여 제주도에서 솔수염하늘소 성충의 우화양상 특성을 검토하고 이를 이용하여 소나무재선충의 매개충인 솔수염하늘소 방제에 기초 자료로 제공하고자 실시하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 2006년부터 2014년까지 조사기간 9년 동안 솔수염하늘소 성충은 총 2,705마리가 채집되었으며, 암컷이 1,396마리, 수컷이 1,309마리였다. 암컷당 수컷의 발생 비율은 약 0.9(수컷 수/암컷 수)로 나타났다.
2. 제주에서 솔수염하늘소 성충 발생시기는 조사 연도별로 다소 차이가 있었으나 평균적으로 5월 하순 내지 6월 상순에 우화를 시작하여 7월 하순 내지 8월 상순에 종료하였다.
3. 성충 우화최성기 역시 연도별 차이를 보였으나 대체적으로 170(Julian date)에서 190(Julian date)으로 6월 말에서 7월 초로 조사되었다.
4. 2006년부터 2013년도까지의 우화자료를 기존 모형에서 제시한 적산온도와 누적우화율을 비교한 모형에 적합시켜 비교한 결과 2009년, 2010년을 제외하고는 모두 전진모드 모형에 적합되었다.
5. 연도별 누적우화율 25%, 50%, 75%, 90%에서 관측일과 전진, 보통, 지연모드의 예측일과 편차도 전진모드를 택했을 때가 가장 적었다.
6. 평균 잔차자승합(residual sum of square, RSS)의 경우도 전진모드 1.06, 보통모드 1.95, 지연모드 5.23으로 전진모드에서 가장 낮았다.
7. 전년도 9월~11월 적산온도(발육영점온도 11.9℃ 적용)의 합은 341.8~386.1DD(degree-days)로 기존 모델에서 전진모드 선택을 제시하는 379DD와 유사한 값을 보였다.
8. 우화모형을 평가하기 위해 2014년도 모형 예측 자료와 실측 자료를 평가한 결

과 전진모드가 예상되었으나 보통모드로 치우치는 경향을 보였다.

9. 본 결과를 바탕으로 GIS 기술을 이용하여 제주도 지역에서 솔수염하늘소 우화 시기를 예측하여 방제시기 결정에 활용 할 수 있는 방안을 제시하였다.

본 연구 결과를 토대로 솔수염하늘소 성충의 우화시기 예측모형이 앞으로 지역별 발생현장적합 검증을 통하여 보다 정확한 예측 시스템으로 구축 된다면 이를 통해 소나무재선충병 피해 예방과 방제, 산림생태계 보전에 큰 도움이 될 것이라고 판단된다.

인 용 문 헌

- Bergdah, I. D. R. 1988. Impact of pinewood nematode in North America: Present and future. *J. Nematol.* 20: 260-265.
- Chida, T. and Sato, H. 1981. Adult occurrence time of *Monochamus alternatus* in Ichinoseki, Iwate Prefecture. The Transactions of the meeting of the Tohoku Branch of the Japanese Forest Society. 33: 144-145.
- 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). *Journal of Nematology* 24(1):133-139.
- Enda, N. 1972a. Insect vectors of the pine wood nematode and the number of nematodes in the insect vectors. The Transactions of the Meeting of the Kanto Branch of the Japanese Forest Society. 24: 31.
- Enda, N. 1975. Effects of temperature on the growth and development of the pine sawyer larvae. *Shinrin Boeki (Forest Pests)* 24: 208 - 211. (in Japanese)
- Enda, N. 1997. The damage of pine wilt disease and control in Asia. *Forest Pests.* 46: 182-188.
- Fujishita, A. and H. Torii. 1975. Studies on the prevention of virulent epidemic in pine forests (*Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii*) (1). Biology of the pine wood nematode and the pine sawyer. *Bull Shizuoka For Exp. Stat.* 7: 31 - 34. (in Japanese with English abstract)
- Furuno, T. and K. Uenaka. 1979. Studies on the insect damage upon the pine-species imported in Japan (No. 6) on the feeding of Japanese pine

- sawyer adult, *Monochamus alternatus* Hope. The Bulletin of the Kyoto University of Forests. 51: 12-22.
- Hoshizaki, K., S. Sano, H. Sakuraba, N. Tabuchi, M. Yoshida, Y. Oikawa and K. Kobayashi. 2005. A practical protection from pine-wilt disease through conversion of infected trees to charcoal: strategy for reduction of disease-vectors and a case for a coastal pine forest, northern Japan. Tohoku Journal of Forest Science. 10: 82-89
- Irei, H., T. Miyagi, Y. Gushilken, Y. Nakahira, T. Mori, N. Kameyama, K. Nakamura, M. Akiba, N. Sahashi and M. Ishihara. 2004. Epidemiology of pine wilt disease in Ryukyu pines in Okinawa island IV. Number of adult occurrence and its prevalence of *Monochamus alternatus* in Okinawa island. The Transactions of the Meeting of the Japanese Forest Society. 115: 719.
- Kim, D. S., S. M. Lee, Y. J. Chung, K. S. Choi, Y. S. Moon and C. G. Park. 2003. Emergence ecology of Japanese Pine Sawyer. *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), a vector of pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. Korean Journal of Applied Entomology. 42(4): 307-313.
- Kishi, Y. 1995. The pine wood nematode and the Japanese pine sawyer. Thomas Company Ltd. Tokyo. Japan. 302 pp.
- Kiyohara, T. and Y. Tokushige. 1971. Inoculation experiments of a nematode *Bursaphelenchus* sp., onto pine tree. J Japanese For Soc 53: 210 - 218. (in Japanese with English abstract)
- Knowles, K., Y. Beaublen, M. J. Wingfield, F. A. Baker and D. W. French. 1983. The pine wood nematode new in Canada. Forestry Chronicle. 59: 40.
- Kobayashi F, Yamane A, Ikeda T (1984) The Japanese pine sawyer beetle as the vector of pine wilt disease. Annu Rev Entomol 29: 115-135
- Korean Forest Research Institute. 2007. Damage characteristics and control strategies of pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in Korea

- White pine forest. pp 1-12. Korea Forest Research Institute, Seoul.
- Kwon, T.S., J. H. Lim, S. J. Sim, Y. D. Kwon, S. K. Son, K. Y. Lee, Y. T. Kim, J. W. Park, C. H. Shin, S. B. Ryu, C. K. Lee, S. C. Shin, Y. J. Chung and Y. S. Park. 2006. Distribution patterns of *Monochamus alternatus* and *M. saltuarius* (Coleoptera: Cerambycidae) in Korea. Journal of Korean Forest Society. 95: 543-550.
- Lee, S. M., Y. J. Chung, D. S. Kim and K. S. Choi. 2004. Adult morphological measurements: an indicator to identify sexes of Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). Korean J. Appl Entomol. 43: 85 - 89. (in Korean with English abstract)
- Linit, M. J. 1988. Nematode-vector relationships in the pine wilt disease system. Journal of Nematology. 20: 227-235.
- Mamiya, Y. 1988. History of pine wilt disease in Japan. Journal of Nematology. 20: 219-226.
- Mamiya, Y. and N. Enda. 1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoidae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Nematologica. 18: 159-162.
- Matsubara, I. 1984. The period of adult emergence of Japanese pine sawyer in Chiba Prefecture (1) On the relation between the quantity and the period of adult emergence in the isolation chamber. The Transactions of the Meeting of the Japanese Forest Society. 95: 467-468.
- Moon, I. S., S. M. Lee, J. D. Park and W. H. Yeo. 1995. Distribution and control of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* and its vector Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*. KFRI Journal of Forest Science. 51: 119-126.
- Morimoto, K. and A. Iwasaki. 1972. Role of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) as a vector of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae). Journal of Japanese Forest Society, 54: 177-183.

- Mota, M. M., H. Braasch, M. A. Bravo, A. C. Penas, W. Burgermeister, K. Meteg and E. Sousa. 1999. First report of *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. *Nematology* 1: 727 - 734.
- Nakamura, K. and I. Okochi. 2002. Longevity and ovarian status of the adult *Monochamus alternatus* Hope fed on non-pine three species. *Journal of Japanese Forest Society*. 84: 21-25.
- Okuda M. 1973. Development and growth of pine sawyer larvae under different temperature conditions. In: *Trans. 2fourth Annual Meeting Kansai Branch, Japanese Forest Society*, pp 146-149
- Park, C. G., D. S. Kim, S. M. Lee, Y. S. Moon, Y. J. Chung and D. S. Kim. 2014. A forecasting model for the adult emergence of overwintered *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae based on degree-day in Korea. *Appl Entomol Zool*. 49: 35-42.
- Park, N. C., Y. S. Moon, S. M. Lee, J. D. Park and K. S. Kim. 1992. Effects of temperature on the development of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae). *Research Report of Forest Research Institute*. 44: 151-156.
- Rodrigues, J. M. 2008. National eradication programme for the pine wood nematode. In: Mota MM, Vieira P (eds) *Pine wilt disease: a worldwide threat to forest ecosystems*. Springer. Berlin. pp. 5 - 15.
- Sato, H., T. Sakuyama and M. Kobayashi. 1987. Transmission of *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner) Nickle (Nematoda, Aphelenchoididae) by *Monochamus saltuarius* (Gebler) (Coleoptera, Cerambycidae). *Journal of Japanese Forest Society*. 69: 492-496.
- Steiner, G. and E. M. Buhner. 1934. *Aphelenchoides xylophilus* n. sp., a nematode associated with blue stain and other fungi in timber. *Journal of Agricultural Research*. 48: 949-951.
- Sun, J. H. 2005. Forest invasive species: country report-P. R. China. In: Mckenzie PJ, Brown C, Sun J, Wu (eds) *The Unwelcome guests*,

- proceeding of the Asia-Pacific forest invasive species conference, FAO Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok. Thailand. pp. 80 - 86.
- Song, S., L. Zhang, H. Huang and X. Cui. 1991. Preliminary study of biology of *Monochamus alternatus* Hope. Forest Science and Technology. 6: 9-13.
- Sousa, E., M. A. Bravo, J. Pire, P. Naves, A. C. Penas, L. Bonifacio and M. M. Mota. 2001. *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda; Aphelenchoididae) associated with *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera; Cerambycidae) in Portugal. Nematology. 3: 89-91.
- Takizawa Y, Igarashi M, Yanbe T, Shoji T, Saho H. 1979. Studies on the pine sawyer in Tohoku district based on the rearing experiment. Shinrin Boeki (Forest pests) 28: 84-89 (in Japanese)
- Takizawa, Y. and T. Shoji. 1982. Distribution of *Monochamus saltuarius* Gebler and its possible transmission of pine wood nematodes in Iwate Prefecture. Forest Pests. 31: 4-6.
- Togashi, K. and H. Magira. 1981. Age-specific survival rate and fecundity of the adults Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae), at different emergence times. Japanese Society of Applied Entomology and Zoology. 16: 351-361.
- Wingfield, M. J. and R. A. Blanchette. 1983. The pine wood nematode, *Bursaphelenchus lignicolus*, in Minnesota and Wisconsin: insect associates and transmission studies. Canadian Journal of Forest Research. 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
- Yamane, A. and T. Akimoto. 1974. Observation of feeding behavior of *Monochamus alternatus* adults. The Transactions of the Meeting of the Japanese Forest Society. 85: 246-247.
- 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 &

- Buhrer) Nickle and its insect vector in Korea. Research Report of Forest Research Institute. 38: 141-149.
- 川崎 俊郎. 1982. 航空撒布. 森林病虫獣害防除技術. 全國森林病虫獣害防除協會. 284-297
- 森本 桂, 岩崎 厚. 1973. マツノマダラカミキリの後食豫防必要期間の推定. 森林防疫, 22: 19-20.
- 瀧澤幸雄, 宮崎 徹. 1974. マツノマダラカミキリの後食豫防適期の推定. 日本林學會九州支部研究論文集, 27: 173-174.
- 遠田 暢男, 眞宮 靖治. 1972. マツノマダラカミキリの後食がマツ枯死に及ぶ影響. 日本林學會大會講演集, 83: 320-322.
- 森本 桂, 岩崎 厚. 1972. マツノサイセソチュウ伝播者の檢索とマツ樹体内への侵入経路. 日本林學會大會講演集, 83: 326-327.
- 국립산림과학원. 2006. 산림병해충 기술교본. 국립산림과학원. 300 pp.
- 산림청. 2014. 2014 소나무재선충병 방제기관 워크숍. 산림청 170 pp.
- 제주특별자치도. 2014. 방제 희망백서. 디자인 열림 309 pp.