

배 종합방제를 위한 복숭아순나방의 경제피해수준 및 경제방제선 계측

서종석

(전남대학교 농업생명과학대학 농업경제학과)

An Estimation of Economic Injury Level and Economic Threshold for Optimal Management of Oriental Fruit Moth

Seo, Jong-Seok

Dept. of Ag. Econ., Coll. of Agric. and Life Science, Chonnam Nat'l Univ. Gwangju 500-757, Korea

적 요

복숭아순나방(*Grapholitha molesta* Busck)은 배 등의 과실자체에 피해를 끼치는 주요 해충의 하나이다. 과실자체에 피해를 주는 해충은 경제적 방제수준이 매우 낮아 농가의 수익성에 큰 영향을 미치기 때문에 정확한 경제피해수준(EIL)과 경제방제선(ET)의 산정을 통한 적기방제가 매우 필요하다.

이 연구는 유효적산온도모형과 복숭아순나방의 치사율, 그리고 1995-1997년 사이의 나주지역의 자료를 이용하여 복숭아순나방의 발생소장을 예측하고, 배 과수원 경영자가 순이익을 극대화하는 과정에서, EIL과 ET가 자연스럽게 도출되는 모의 실험모형을 개발하여 종합방제를 통한 생산비용 절감 그리고 농약사용 조절을 통한 안전한 배 생산을 도모하는 적기방제의 기초자료로서 사용하고자 수행되었다.

모의실험모형에서 도출되는 EIL과 ET는 현재 널리 사용되고 있는 기존의 EIL 혹은 ET와는 달리 이윤극대화 과정에서 도출된 개념이라는 장점이 있고, 또한 농약살포시기와 살포량을 부수적으로 알려주는 장점이 있다.

Key Words: 경제피해수준, 경제방제선, 복숭아순나방, 이윤극대화, 모의실험

I. 서론

배는 우리나라에서 수출의 경험이 있는 몇 안 되는 과일중의 하나이면서, 여러 연구결과에 의하면 앞으로도 수출가능성이 높은 품목으로 주목받고 있다. 2001년에는 45개국에 11,488톤(\$19,568천)을 수출한 바 있다.

배의 수출증대를 위하여 업계나 정부가 지속적으로 노력하고 있으나 우리나라 배의 수출이 힘든 이유는 국내의 높은 배 가격 때문이다. 배의 국내가격이 수출가격보다 높기 때문에 농민들은 수출을 기피하게 되고, 심지어는 수출용 계약생산을 하는 농민들마저 계약의 이행을 기피하게 되어 수출물량을 안정적으로 확보하기가 대단히 곤란하다.

또 하나 배의 수출을 어렵게 하는 것은 수출경쟁

국들의 출현이다. 그 동안 동양배를 생산하지 않던 호주나 뉴질랜드, 칠레 등에서 동양배의 시험재배를 마친 후 본격적인 수출드라이브 공세를 취하고 있는 것도 가격이 높은 우리나라에게는 매우 불리한 점이다.

여러 가지 여건이 수출에 불리함에도 불구하고 우리는 배의 수출을 확대할 수밖에 없는 처지로 몰리고 있다. 이는 1990년 이후 배의 재식면적이 2배 이상으로 증가하여 어린나무가 모두 생산을 개시하는 1-2년 후에는 생산량의 급증으로 상당량을 해외에 수출하지 못하면 가격파동이 발생할 것으로 예상되기 때문이다.

우리나라 배는 경쟁상대국들의 배에 비하여 품질이 우수하다고 학자들이 평가하고 있다. 그러나 품질의 우수성에도 불구하고 껍질째 씹어먹는 서양인들의 식습관은 잔류농약 등의 문제 때문에 수출확대에 장애요인이 되고 있다. 국내소비자들의 환경에 대한 인식 그리고 안전한 농산물에 대한 관심이 높아짐에 따라 농약사용을 줄이려는 경향이 나타나고 있는 것만 아직도 다른 과일에 비하여 상대적으로 높은 배 가격은 생산농민들로 하여금 농약사용을 억제하지 못하게 하는 잠재적인 유인이 되고 있다.

우리나라에서 배 생산에 투입되는 노동력은 1999년에 10a당 375시간으로 일본의 2배이고, 미국의 43시간에 비하여 월등히 많은데, 그 중 병해충 방제에 사용되는 시간은 64시간으로 총투입노동력의 17%에 달하고, 과다방제 때문에 방제비용도 매우 높다.

국내에서 배에 발생하는 해충으로는 306종이 보고되었으며, 이 중 50% 이상인 166목이 나비목 해충이다. 이들 해충 중 중요한 해충으로는 복숭아순나방, 애모무늬잎말이나방, 응애류(점박이응애, 차응애, 사과응애), 진딧물류 등이 보고되고 있다. 특히 이들 해충 중 복숭아순나방의 피해가 가장 큰 것으로 알려져 있다.

복숭아순나방(*Grapholitha molesta* Busck)은 우리나라 및 일본, 중국에서 배, 사과, 복숭아 등의 과실자체에 피해를 주는 주요 해충의 하나이다. 과실자체에 피해를 주는 해충은 경제적 방제수준이 매우 낮아 피해과율이 1%에만 이르더라도 생산농가의 수익성에 큰 영향을 미치기 때문에 정확한 EIL과 ET의 산

정을 통한 적기방제가 매우 필요하다.

이 연구는 배 종합방제를 통한 생산비용 절감 그리고 농약사용 조절을 통한 안전한 배 생산을 위하여, 우리나라에서 재배되는 배에 대한 복숭아순나방의 경제적 방제에 필요한 EIL과 ET의 수준을 계측함으로써 종합방제의 기초자료로서 사용하고자 수행되었다.

먼저 복숭아순나방의 생태에 관하여 살핀 후에, 현재 농생물학자들 사이에 널리 사용되고 있는 EIL과 ET의 개념 그리고 장단점을 살핀다. 다음에는 나주 지역의 자료를 이용하여 복숭아순나방의 발생소장을 예측하는 유효적산온도 모형을 개발하고 이윤극대화 과정에서 EIL과 ET가 도출되는 시뮬레이션 모형을 구성한다. 마지막으로 3가지 수치분석을 통하여 결과에 대한 설명이 간단히 제시되고, 수치가 뜻하는 함축적 의미를 반추한다.

II. 복숭아순나방의 생태

복숭아순나방(*Grapholitha molesta* (Busck))은 한국, 일본, 중국, 북아메리카, 오스트레일리아 등에 분포하면서 배나무, 사과나무, 복숭아나무 등에 기생하여 매년 상당한 피해를 입히는 것으로 보고되고 있다.

성충은 수컷의 길이가 6~7mm이고, 날개를 편 길이가 12~13mm인 작은 나방으로서 머리와 배는 암회색이고, 가슴은 암색을 띤다. 더듬이도 암회색이고 채찍모양이며, 겹눈은 크고 흑색이며 그 주변은 회색이다. 앞날개는 암회갈색이고, 입가를 따라 13~14개의 회백색 사문이 있다.

암컷의 경우 길이가 7mm 정도이고, 날개를 편 길이가 13~14mm 정도이며, 수컷에 비하여 배가 굵고 배 끝에 털 무더기가 없으며 뽕죽하다. 알은 납작한 원형이고 알 껍질에 점무늬가 뾰뾰이 나 있으며 부화된 애벌레는 머리가 크고 흑갈색이며 가슴과 배는 유백색이다. 애벌레는 점점 성장하면서 도황색을 띠고 머리는 담갈색으로 변하면서 몸 주변을 따라서 암갈색 반문이 일렬로 난다. 번데기는 겹눈과 날개 부분이 진한 적갈색이고 배 끝에 7~8개의 가시털이 나 있다.

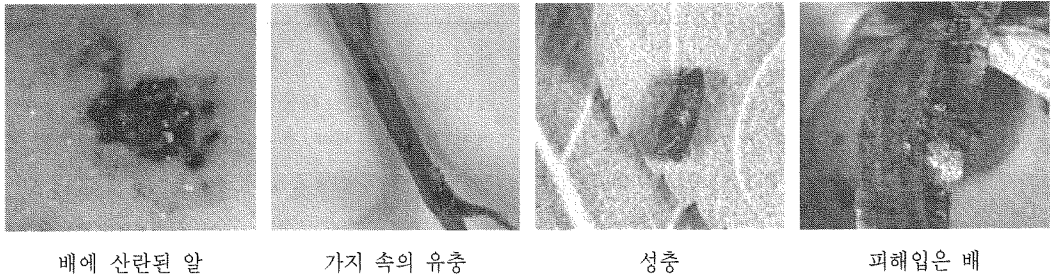


그림 1. 복숭아순나방의 모습

복숭아순나방은 배, 사과나무 등 과수의 조피에서 노숙 유충으로 월동한 후 3월하순 - 4월경에 번데기가 되고 4월중순 - 5월중순에 걸쳐서 제1회 성충이 발생하게 된다. 제1회 성충은 복숭아, 매실나무 등으로 이동하여 잎이나 어린 가지 끝에 산란한다. 부화된 애벌레는 새롭게 발생한 어린 가지나 어린 과실에 구멍을 뚫고 들어가 수액이나 과실액을 먹으면서 내부가 텅 비게 되고 꺾인 부분에 배설물을 모아둔다.

이러한 어린가지 꺾임의 피해는 복숭아나무에 많고 살구, 사과, 배나무에는 비교적 적다. 이와 같이 배 과원부근에 복숭아, 매실나무 등이 혼식되어 있는 경우에는 제1세대부터 번식에 적합한 환경조건이 되어 피해가 매우 크며, 부근에 복숭아나무가 없는 곳에서는 배나무의 어린 가지 끝을 가해하고 그 이후에 어린 과실을 가해하는 것으로 알려져 있다.

복숭아순나방이 배나무로 이동하여 번식과 해 끼침이 시작되는 시기는 6-7월경이며 이때부터 발생회수가 많아지고 알, 애벌레, 번데기, 성충 등 각 단계가 혼재한다. 복숭아순나방은 봉지를 씌우지 않은 과실의 과정부를 통하여 들어가는 경우가 많고, 봉지를 씌운 과실의 경우에는 과실과 봉지의 접촉면을 통하여 침입한다. 또 성충은 배 과실의 향기에 유인되는 성질이 있어서 품종의 속기에 따라 발생 상황이 달라지기도 한다. 일반적으로 배나무의 피해는 비교적 조생종에 적고 만생종에 많은 경향이지만 그 해의 발생 상황에 따라 다르게 나타난다.

복숭아순나방의 연간 발생횟수 및 발생시기는 지역에 따라 다른데 추운 지역에서는 2-3회, 더운 지역에서는 4-5회 발생하나 연 4회가 보통이며, 여름에

기온이 높은 경우에는 5회까지 발생하는 경우도 있다. 우리나라에서는 3-4회, 만주에서는 3회 발생하는 것으로 보고되고 있다.

방제를 위해서는 과실에 산란하는 시기인 7월 이후에 3~4회 전문약제를 살포해야 되는데 9월~10월까지도 배의 과실을 가해하는 경우가 가끔 보고되고 있다. 복숭아순나방이 배에 미치는 피해에 관하여는 농업관련기관(농림부, 진흥청, 과수연구소, 도 농업기술원)에서 별도의 통계를 보유하고 있지 않아서 우리나라에서 발생하는 구체적인 피해 정도를 확인하기는 매우 어렵는데 이는 일단 피해가 발생하면 그에 관한 조사보다는 방제가 먼저 실시되기 때문으로 생각된다. 방제약제로는 methyl-parathion, parathion, azinphos-methyl 등이 많이 사용되고 있다.

III. 경제적 피해수준과 경제방제선

농약의 무절제한 사용증가는 농산물이나 가축의 잔류독성 문제를 야기시킬 뿐만 아니라 방제 현장에서는 농업생태계를 교란시켜 잠재해충이 크게 발생하거나 해충의 약제저항성을 유발시켜 보다 많은 농약을 사용하지 않을 수 없게 한다.

이러한 살충제 중심의 방제기술에 대한 반성으로 1950년대에 종합방제(integrated pest management : IPM)의 개념이 도입되었다. 종합방제는 화학물질의 사용량을 줄이면서 다양한 방법을 통하여 병해충의 피해를 감소시키려는 관리기술체계로서 해충과 그 생활사를 구명하고, 경제피해수준을 설정하며, 해충개체군을 예찰한 후 모델링하고, 적절한 방제방법(농약,

천적, 식물저항성 등)을 적용하고, 종합방제의 효과를 판정하는 단계로 진행된다.

병해충 종합방제의 기본인 해충개체군의 평가(pest population assessment)와 방제시기 및 방제수단에 대한 의사결정은 해충의 수, 피해에 대한 작물의 반응, 그리고 결과적으로 나타나는 경제적 손실을 다루는 생물경제학(bioeconomics)에 주로 의존한다.

생물경제학의 중요한 기여중의 하나는 Stern등(1959)이 개발한 경제적 피해수준(economic injury level: EIL)의 개념이다. 오늘날에도 IPM의 기본이 되고 있는 Stern등의 연구의 요점은 경제적 피해(economic damage:ED)와 EIL, 그리고 경제방제선(economic threshold: ET)으로서 이러한 여러 개념들이 합하여 광의의 EIL 개념을 형성한다.

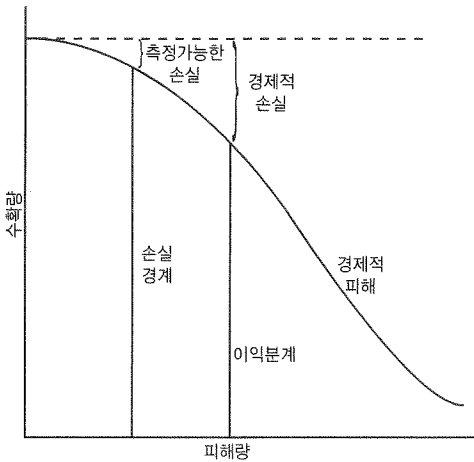


그림 2. 경제적 손실의 개념

경제적 손실은 병해충의 인위적 방제를 정당화시키는 피해량으로 막연하게 정의되어 왔으나 Southwood and Norton(1973)에 의하여 보다 실용적인 수리적 표현을 갖추게 되었다. 그들에 의하면 방제했을 때의 수확량에 가격을 곱한 것과 방제하지 않았을 때의 수확량에 가격을 곱한 것과의 차이가 방제비용과 같아야 한다는 것을 의미한다.

경제적 피해수준 EIL은 경제적 피해를 야기시키는 해충개체군의 가장 낮은 밀도(lowest population

density)로서 정의되는데, 해충개체군의 숫자가 도달하면 경제적 피해가 발생하는 이론적인 밀도 값을 의미한다. EIL은 해충의 밀도로 표현되어 정의되고 있지만 현실문제에 적용시키기 위해서 해충의 수로 지수화하여 사용하고 있다.

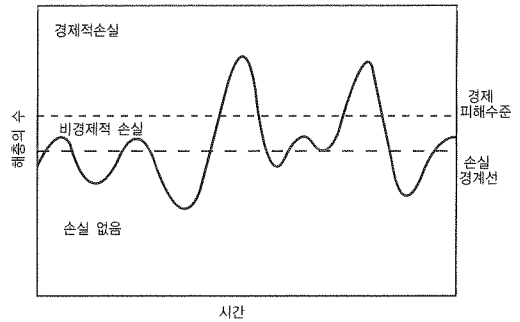


그림 3. 경제적 피해수준의 개념

Pedigo등(1986)은 경제적 피해수준이 생산단위당 방제비용(C), 생산단위당 시장가치(V), 해충 단위밀도당 (혹은 마리당) 피해 단위(I), 피해단위당 피해량(D), 해충 공격의 효율성(K) 등 5개의 주요 변수에 의하여 결정된다고 판단하고 경제적 피해수준과 이들 변수간의 관계를 아래와 같은 식으로 표현하였다.

$$EIL = \frac{C}{V \cdot I \cdot D \cdot K}$$

여기에서 V는 농산물가격을 적용하는 것이 일반적이지만, D, I, K는 수치화 하는데 어려움이 있고 때로는 자의적이라는 비판을 들을 수도 있다. 또 이 식에 의하여 계산된 EIL이 생산자의 이윤을 극대화하는 관점에서 도출된 개념이 아니라는 단점이 있다.

경제방제선 ET는 해충개체군(해충피해)이 EIL에 도달하지 못하도록 방제를 해야하는 해충개체군의 밀도로 정의되며 실용적인 의미에서는 방제를 위한 실질적 행동이 필요한 시점을 의미한다. 이 경우 EIL의 해충 수는 그러한 시점을 나타내는 지수를 의미

하게 된다.

ET는 종합방제의 우선 순위와 지속가능 농업체계의 발전을 위하여 가장 기초가 되는 방정식으로서 EIL, 해충과 식물의 성장에 영향을 미치는 기후 환경, 해충개체군의 성장률 및 치사율, 종합방제전략 실시 후 효과가 나타나기까지의 시간차 등 몇 가지 변수들의 추정치와 예측치에 의존한다. 그러나 현실적으로는 ET를 계산하는 것이 매우 어렵기 때문에 EIL의 80% 혹은 90% 수준을 미리 정하여 지칭한다.

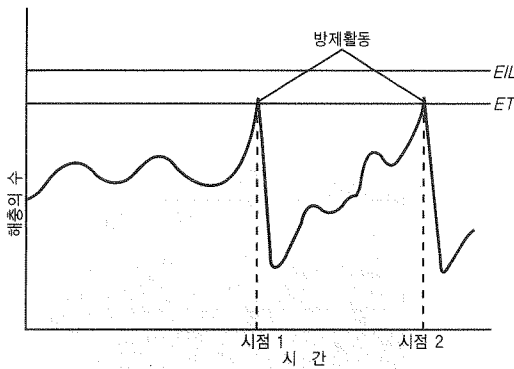


그림 4. 경제방제선의 개념

Ⅲ. 복숭아순나방 개체군의 발생 추정

곤충의 성장과 발육이 온도와 밀접한 관계가 있다는 생각은 18세기 중엽부터 제시되었는데, 이 개념은 아직도 여러 해충을 대상으로 발생시기와 개체군 발생경향을 예측하는데 유용하게 이용되고 있다. 온도의존적 발육모델은 곤충의 발생률과 온도와의 함수 관계를 이용하여 간단한 수식과 계산으로 실제 개체군 발생경향을 정확히 예측할 수 있는 수단으로 알려져 있다. 다른 곤충들과 마찬가지로 복숭아순나방의 성장도 온도에 매우 민감한 반응을 보인다.

복숭아순나방의 각 태별 발육기간은 알 기간 3-8일, 애벌레 기간 8-24일, 번데기 기간 3-12일 정도로 알려져 있는데, 발육기간은 그림 5처럼 발생시기의 기온에 크게 좌우되는 경향을 보인다.

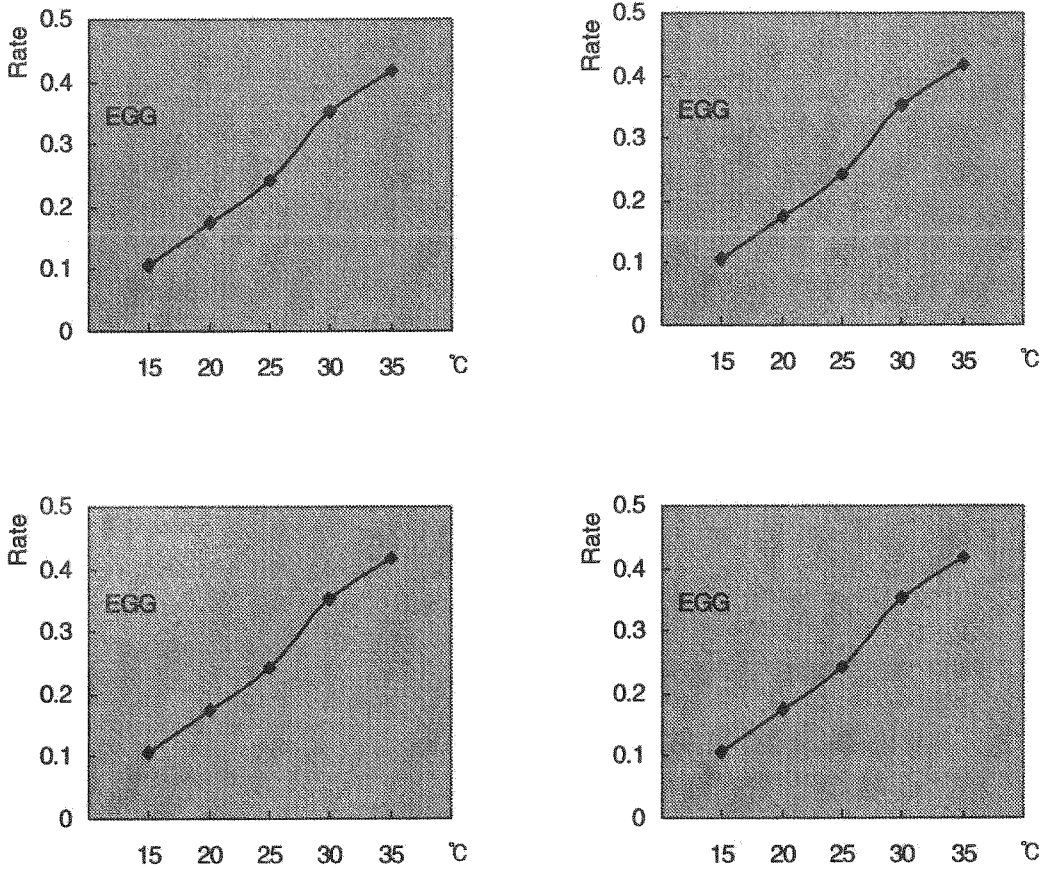
아직 완전히 성숙하지 못한 복숭아순나방은 배나무의 어린 가지나 어린 과실에서 나와 번데기로 용

화 한다. 일반적으로 우리나라의 남부 지방에서는 복숭아순나방의 알이 성충으로 성장하는데에 3-5주가 걸린다. 이 성장과정은 그림 5나 표 1에서처럼 온도와 매우 밀접한 관계를 갖는다.

복숭아순나방이 온도의존적 발생을 보인다는 것을 감안하여, 개체군의 발생 및 성장을 예측하기 위하여 유효적산온도모형(degree-day model)을 이용하였다. 유효적산온도모형은 곤충의 발생률이 온도의 선형함수라는 가정에 기초하고 있다. 대부분의 경우에 실제 발생률을 살펴보면 15°C - 25°C의 적정온도 범위내에서는 선형함수이고 너무 높거나 낮은 온도의 자료는 무시한다. 왜냐하면 너무 낮은 온도(예를 들면 발육 영점온도 이하)에서는 발생이 이루어지지 않고, 높은 온도에서는 발생은 이루어지지만 치사율이 매우 높기 때문이다. 적정온도 범위내에서 곤충의 발생을 시뮬레이션 하는데는 유효적산온도모형이 최선이라는 평가를 받고 있다.²⁾ 유효적산온도모형의 장점은 곤충의 발생기간을 상당히 정확하게 예측할 수 있게 하는 것이다.

온도에 따른 발육기간을 근거로 복숭아순나방의 온도의존적 발육모델 설정을 위한 발육속도(1/발육기간)와 처리온도와의 선형회귀분석의 결과는 표 2와 같다. 처리온도 중에서 35°C의 발육기간은 온도와 발육속도간의 선형관계를 벗어났다고 판단되어 분석에서 제외하고 15, 20, 25, 30°C에서 조사된 자료를 이용하여 분석하였다.

모든 발육단계에서 상관계수(R²)와 t-값을 기준으로 판정할 때 회귀방정식은 적합도가 매우 높은 것으로 나타났다. 각 발육단계별 발육영점온도는 선형회귀식에 의하여 알, 애벌레, 번데기가 각각 8.8, 6.2, 9.3°C이었으며, 알에서 성충까지의 전체 발육의 경우에는 7.9°C 정도로 추정되었다. 복숭아순나방의 각 발육단계가 그들의 발육을 완성하는데 요구되는 일정한 온량인 유효적산온도는 알, 애벌레, 번데기, 성충이 각각 61.9, 230.0, 132.6, 420.6度日로 계산되었다.



자료: 나주배연구소

그림 5. 복숭아순나방의 온도와 성장률과의 관계

표 1. 온도별 태별 평균발육기간

온도 (°C)	발육기간(평균±표준편차)			
	알	유충	번데기	합계
15	9.33±0.48(73)	25.93±2.26(36)	21.63±1.51(21)	56.84±3.18
20	5.67±0.26(82)	16.57±1.10(43)	13.77±0.85(35)	35.72±1.68
25	4.13±0.35(86)	12.51±1.31(52)	8.03±0.71(42)	24.70±1.86
30	2.83±0.38(81)	9.57±1.07(58)	6.47±0.82(38)	18.87±1.72
35	2.40±0.50(85)	11.98±1.22(32)	7.87±0.94(19)	22.27±2.03

주: ()안의 숫자는 표본의 크기

자료: 나주배연구소

표 2. 복숭아순나방의 발육단계별 발육속도, 발육영점온도 및 유효적산온도

발육단계	회귀방정식	R ²	LDT(°C)	유효적산온도(度日)
알	Y = 0.01609X - 0.14219 (4.87)	0.983	8.8	61.9
애벌레	Y = 0.00435X - 0.02696 (5.71)	0.998	6.2	230.0
번데기	Y = 0.00754X - 0.07016 (5.03)	0.984	9.3	132.6
성충	Y = 0.00237X - 0.01865 (6.45)	0.998	7.9	420.6

주: Y: 발육속도(1/발육기간)

X: 온도(°C)

LDT: 발육영점온도(Lower Developmental Threshold)

()안의 수치는 t-값

유효적산온도모형과 복숭아순나방의 치사율³⁾, 그리고 1995년-1997년 사이의 나주지역의 자료를 이용하여 추정한 복숭아순나방 개체군의 발생소장을 나타낸 것이 그림 6이다. 1995~1997년의 3년 동안에는 평균 4회의 발생이 이루어졌다. 실제자료와 유효적산온도 모형에 의한 예측치를 비교하면 모형에 의한 예측이 복숭아순나방의 출현숫자를 약간 과장하기는 하지만 전반적인 발생소장의 모습은 거의 비슷하다. 그림 6에서 나주지역의 실제자료는 나주배연구소 포

장의 배 재배지에 성 페로몬 트랩을 설치하고 1995년부터 3년간 4월 20일부터 9월 30일까지 매일 유인되는 수컷 성충 수를 1주일 간격으로 조사 집계한 것이다.

VI. 경제적 피해수준과 경제방제선의 추정

선행연구들에 의하면 살충제의 살포와 반응은 S자 형태의 곡선을 나타내는 것으로 알려져 있다(e.g.,

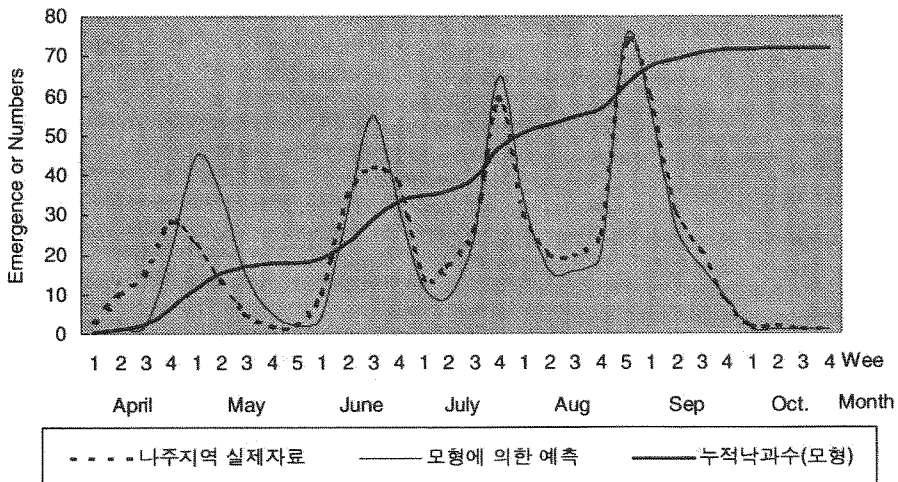


그림 2. 나주지역의 자료와 모형에 의한 발생량 예측(1995~1997의 평균)

Finney). 이것은 여러 종류의 살충제 투약에 대하여 해충이 견디어내는 능력은 오른쪽으로 치우친 비대칭 분포를 갖는 확률변수라는 가설에 기반을 두고 있다. Taipaz와 Borosh가 선행연구에서 했던 것처럼 복숭아순나방의 개체군에서 약제처리에 의하여 죽은 비율을 누적 Weibull분포함수를 이용하여 아래와 같은 함수로 나타내었다.

$$(1) K(q) = \begin{cases} 1 - \exp(-\beta q)^\alpha & \text{for } 0 \leq q \leq \infty \\ 0 & \text{for } q < 0 \end{cases}$$

여기에서 q는 살충제 methyl-parathion의 양이고 α 와 β 는 추정해야 할 파라미터임.

분석에 사용된 자료는 나주배연구소에서 제공한 1995-1997년의 3개년 자료이다. 추정된 α 와 β 의 값은 각각 0.07235와 1.01036 이었다. q의 단위는 킬로그램이었다. 시뮬레이션에서 살충률은 방정식 (1)과 추정된 α 와 β 값을 이용하여 계산되었다.

배 과수원 경영자는 과수원에서 발생하는 순이익을 극대화한다고 가정하였다. 배에서 얻는 수입은 신선과로 팔아서 얻는 수입과 낙과를 가공용으로 판매하여 얻는 수입이다. 따라서 총수입은 식(2)로 표현된다.

$$(2) TR = Q_f P_f + Q_j P_j$$

식에서 Q와 P는 각각 생산량(Kg/ha)과 가격(W/Kg)이고, f와 j는 신선과실과 가공용과실을 의미한다. 총생산비는 가변비용과 고정비용으로 나눌 수 있다. 여기에서는 해충의 구제와 관련된 비용만 변수로 취급하고, 여타의 모든 비용(예를 들면 노동, 기계, 비료, 토지 등)은 고정된 것으로 간주하였다. P_f 와 P_j 는 생산물가격에서 수확에 필요한 비용을 뺀 것이다. 총비용은 식(3)처럼 정의될 수 있다.

$$(3) TC \equiv p_x \sum_{i=1}^T q_i + p_x \sum_{i=1}^T S_i$$

여기에서 p_x 는 살충제 x의 살포비용까지를 포함한

가격(W/Kg)이고, q_i 는 시점 $i(i=1, 2, \dots, T, \text{ 각 기간은 7일})$ 에 살포된 살충제의 양(Kg/ha)을 나타낸다. S_i 는 약제를 1번 처리하는데 드는 장비비용 ($S_i=0, \text{ if } x_i=0; S_i=S, \text{ if } x_i > 0$)이다. 장비비용은 살충제의 양에 비례하지 않고 약제를 뿌리려는 방제 의사와 관련된다.

이윤함수는 식(4)로 표현되고 과수원 경영주는 식(1), (2), (3)의 제약 아래에서 식(5)를 극대화하려 한다. 배 과수원 경영주의 규모는 매우 작아서 지역의 복숭아순나방 개체군의 동적 밀도나 살충제의 가격, 배 가격에 영향을 미치지 못한다고 가정하였다.

$$(4) \Pi = TR - TC$$

$$(5) \text{Max } \Pi = TR - TC, \\ \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, T \\ x_i \geq 0$$

이 연구에서는 복숭아순나방을 배에 해를 끼치는 유일한 해충으로 가정하였다. 이 가정은 현실과는 약간 동떨어져 있지만 단순화된 가정을 이용하여 얻는 결론은 살충제의 최적사용으로부터 연유되는 EIL과 ET의 추정이라는 우리의 목적 달성에 함축적 의미를 제공한다.

식(5)를 극대화하기 위해서는 식(6)을 만족시켜야 한다.

$$(6) \Pi_{x_i} = 0, \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, T$$

여기에서 Π_{x_i} 는 순이익을 x_i 에 관하여 편미분한 것이다. 그러나 TR이 비선형이고 또한 TR이 x_i 들 사이의 동적인 상호관계를 포함하기 때문에 편도함수들을 수학적으로 풀어낼 수는 없기 때문에 Bazarra의 방법을 약간 수정한 비선형 극대화 방법을 사용하였다. 이 알고리즘은 시뮬레이션 모형을 식(1)-(4)의 제약조건하에서 반복적으로 계산함으로써 그라디언트 벡터와 헤시안 행렬을 수치계산하도록 구성되어 있다. 복숭아순나방의 공격에 배가 잠재적 피해를 당할 수 있는 기간은 5월초부터 9월 초순까지로 대략 120일 정도이다. 복숭아순나방의 개체군 발달과 배의

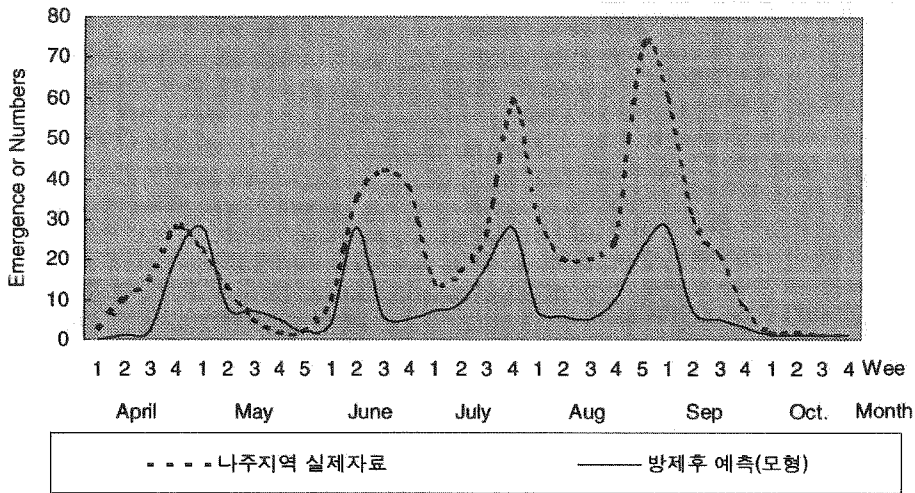


그림 7. 기본형 방제모의실험 결과

성장률, 그리고 경영주의 의사결정 등을 감안하여 1 기간이 7일에 해당하는 17개의 구간으로 이 기간을 나누었다. 이제 우리의 문제는 IT 를 극대화하는 x_i (단, $i = 1, 2, \dots, 17$)를 찾아내는 것이다.

컴퓨터를 이용한 기본모형 실험이 (a) 나주지역의 기후조건(기온, 일조시간)에서, (b) 살충제로 사용하는 메틸-파라티온 활성성분의 가격은 Kg당 4000원(살포비용 포함)이고, 장비비용은 매 살포시마다 3000원이며, (c) 배 가격(수확비용을 뺀)은 Kg당 2000원이라는 가정 하에서 수행되었다. 나주지역의 복숭아순나방의 이입률은 나주배연구소의 자료에 의하면 7일 간격의 첫 11주기에 ha당 매일 75, 60, 72, 108, 120, 175, 195, 117, 58, 30, 4마리로 나타났다. 이 기본형 모형에서의 최적 전략은 메틸-파라티온을 1, 6, 12, 17주기, 환원하면 어린 과실이 나온 후 7, 42, 84, 119일째 되는 날에 ha당 1.69, 2.74, 2.21, 2.19Kg의 순수약제를 각각 살포하는 것이었다. methyl-parathion을 살포하는 1, 6, 12, 17주기는 그림 7에서 5월 1주, 6월 2주, 7월 4주, 9월 1주에 해당한다. 기본모형의 가정을 적용한 경우에 배 과수원의 순수익은 ha당 2,768만원이 될 것으로 예상되었다.

모형의 민감도를 분석하기 위하여 기본모형의 가정을 변형하여 두 가지 모형을 추가실험하였다. 변형 모형 1은 살충제의 가격을 Kg당 4,000원에서 8,000원

으로 2배로 인상하되 여타의 다른 변수는 고정시켰다. 실험 결과 살충제의 살포량이 기본형 분석과 동일한 기간에 1.14, 1.93, 1.37, 1.30Kg으로 각각 감소하는 것으로 나타났다. 이는 살충제의 사용량이 4회에 걸쳐 35% 감소한 것이며 순이익은 ha당 1,684만원으로 감소하였다.

변형모형 2는 배 가격이 50% 상승하고 여타의 모든 변수는 변하지 않는다고 가정하였다. 이 경우의 최적 전략은 1, 5, 9, 13, 17주기에 ha당 2.01, 3.05, 3.92, 4.53, 4.16 Kg의 약제를 살포하는 것인데 이는 기본형에 비하여 살충제 사용량이 100% 증가한 것이다. 순이익은 ha당 3,325만원이었다.

추정된 EIL은 기본형과 변형모형 1, 2에서 각각 복숭아순나방의 수컷이 28.2, 35.6, 20.8마리이었고, 이에 따라 EIL의 80% 수준을 ET로 적용할 경우 각 모형의 ET는 22.6, 28.5, 16.6마리이었다. 이는 성 페로몬 트랩 혹은 유아등에 유인되는 복숭아순나방의 수컷 숫자가 이 숫자에 이르면 첫 방제를 실시하고 표 3에서 예시되는 살포량 만큼을 6, 12, 17주 후에 사용하면 된다.

이상의 방법에 의하여 도출된 EIL은 Pedigo의 EIL과는 달리 생산자가 이윤을 극대화하는 과정에서 유도된 개념이라는 특징이 있다. 또 Pedigo의 방법에서는 방제할 시점 즉 EIL에 도달되었는지 확인하기 위

표 3. 모형에 의하여 추정된 EIL과 ET

모형	살충제 살포주기	살충제 살포량(kg)	EIL(마리/ha)	ET ¹⁾ (마리/ha)
기본형	1, 6, 12, 17	1,69, 2,74, 2,21, 2,19	28,2	22,6
변형모형 1	1, 6, 12, 17	1,14, 1,93, 1,37, 1,30	35,6	28,5
변형모형 2	1, 5, 9, 13, 17	2,01, 3,05, 3,92, 4,53, 4,16	20,8	16,6

주: 1) EIL의 80% 수준

하여 지속적으로 해충을 예찰해야 하지만, 이 논문에서 적용한 방법을 사용하면 살충제 살포주기와 살포량을 명시적으로 알려준다는 장점이 있다. 다만 이 방법을 적용하기 위해서는 지속적으로 기후 및 해충의 발생소장에 관한 자료를 수집하는 것과 이를 이용한 모형작업이 동시에 이루어져야 한다는 단점이 있다.

V. 결론

배는 다른 과일에 비하여 가격이 높은 환금성 작물로서 수출 경험이 있는 몇 안되는 과일이다. 상대적으로 높은 배 가격은 농민들로 하여금 농약사용을 줄이려는 유인을 감소시켜왔으나, 최근에 나타나는 소비자들의 안전한 농산물에 대한 관심과 생산자들의 비용절감을 위한 노력은 보다 정확한 EIL과 ET 수준의 산정을 통한 종합방제의 가능성을 높게하고 있다.

이 논문은 국내에서 배에 발생하는 306종의 병해충 중에서 그 피해가 크다고 보고되고 있는 복숭아순나방을 대상으로 이윤을 극대화하기 위한 과정에서 EIL과 ET가 자연스럽게 도출될 수 있도록 모형을 구성하였다.

먼저 배, 사과, 복숭아 등의 과실자체에 피해를 끼치는 주요 해충의 하나인 복숭아순나방의 생태를 살펴본 후, 현재 널리 사용되고 있는 Pedigo의 EIL과 ET의 구조, 그리고 사용 중에 나타나는 장단점을 살핀다. 다음에는 1995-1997년 사이에 나주배연구소의 실험포에서 성 페로몬 트랩을 설치하고 유인되는 수컷 성충수를 집계한 자료와 유효적산온도 모형을 이용하여 나주지역 복숭아순나방의 발생소장을 예측하고, 이를 이윤극대화와 결합시켜서 배 과수원 경영자

가 순이익을 극대화하는 과정에서 EIL과 ET가 자연스럽게 도출되도록 모의실험모형을 구성하였다.

모의실험모형에서 도출되는 EIL과 ET는 현재 널리 사용되고 있는 기존의 EIL 혹은 ET와는 달리 이윤극대화 과정에서 도출된 개념이라는 장점이 있고, 또한 농약살포시기와 살포량을 부수적으로 알려주는 장점이 있다.

모형의 테스트를 위하여 기본모형과 2개의 변형모형을 가동시킨 후 그 결과를 분석하였다. 배 가격이 오르는 경우에는 농약살포회수와 살포량이 모두 증가하였으며, 농약가격이 상승하는 경우에는 살포회수는 변함이 없었으나 살포량은 감소하였다. 기본형과 변형모형 1, 2에 대하여 복숭아순나방의 EIL 그리고 ET를 추정하였다.

복숭아순나방의 개체군 발생모형에 의한 예측은 그림 6에서 확인할 수 있듯이 실제의 해충발생 소장과 약간의 편차를 보이고 있다. 이는 기본적으로 해마다 기온이 다르기 때문에 복숭아순나방의 발생양태가 다르기 때문이기도 하지만 아직도 모형을 보다 더 정교화 할 여지가 있다고 판단된다.

또한, 연구를 수행하는 과정에서 복숭아순나방 뿐만 아니라 모든 과수 및 채소에 대한 구체적인 피해 발생 통계를 구하기가 매우 힘들었는데, 병해충별, 연도별, 지역별, 피해범위 및 피해액에 관한 통계를 유지하기 위하여 농림부, 농촌진흥청, 과수연구소, 및 농업기술원 등이 유기적인 협조체제를 유지하는 것이 필요하다고 생각된다.

주

1) 경제방제선 ET의 경제적 해석에 관하여는

- Headley(1972) 참조
- 2) 유효적산온도모형(degree-day model)을 포함하여 곤충의 발생과 관련된 여러 가지 모형에 관여하는 <http://www.gyps moth.ento.vt.edu/~sharov/PopEcol/popecol.html> 참조
 - 3) 보다 정확한 분석을 위해서는 알, 애벌레, 번데기, 성충별로 해당되는 치사율을 적용하여야 하나 여기에서는 자료의 부족으로 알에서 성충으로 성장하는데 나타난 평균치사율 52%를 적용하였다.

“Strategy for Pesticide Use: Frequency and Applications,” Amer. J. Agr. Econ, 56, 769-75

참고문헌

1. 양창렬(1997), 복숭아순나방의 온도의존적 발육과 성충발생시기 예찰, 석사학위 청구논문, 전남대학교
2. 이승찬 등(1997), 배 병해충의 발생생태와 종합관리 기반조성 연구, 농촌진흥청 연구보고서
3. Bazaraa, M. and C. Shetty, 1993, Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, New York, Wiley
4. Hall, Darwin C., and Richard B. Norgaard., 1973. “On the Timing and Application of Pesticides,” Amer. J. Agr. Econ, 55, 198-201.
5. Headley, J. C.(1972), “Defining the Economic Threshold,” Pest Control Strategies for the Future, Washington, D.C. : National Academy of Sciences, pp.100-108.
6. Regev, Uri, Andrew P. Gutierrez, and Gershon Feder(1976), “Pests as a Common Property Resource : A Case Study of Alfalfa Weevil Control,” Amer. J. Agr. Econ, 58, p.187-97
7. Shoemaker, Christine(1973), “Optimization of Agricultural Pest Management:Formulation of a Control Model,” Math. Biosci, 17, 357-65.
8. Stern, V. M., R. F. Smith, R. van den Bosch, and K. S. Hagen(1959), The integrated control concept, Hilgardia 29:81-101.
9. Talpaz, Hovav, and Itshak Borosh(1974),