

최 중
연구보고서

천적곤충을 이용한 밤나무혹벌의 방제

Biological Control of Chestnut Gall Wasp,
Dryocosmus kuriphilus with Natural Enemy Insects

연구기관

강원대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “천적곤충을 이용한 밤나무혹벌의 방제”(세부과제 “밤나무혹벌의 주요 천적의 생태적특성 및 이용연구”, 협동과제 “밤나무혹벌의 생물적 방제 체계화연구”)의 최종보고서로 제출합니다.

2002 년 11 월 22 일

주 관 기 관 명 : 강원대학교

총괄연구책임자 : 김종국

연구원 : 이찬용

연구원 : 이상용

연구원 : 이상배

연구원 : 장석준

연구원 : 위안진

연구원 : 박민숙

연구원 : 채희문

협동연구기관명 : 임업연구원

협동연구책임자 : 박지두

연구원 : 신상철

연구원 : 김철수

연구원 : 황명수

연구원 : 이상길

연구원 : 최광식

연구원 : 권태성

연구원 : 이충규

연구원 : 김연태

요 약 문

I. 제 목

천적곤충을 이용한 밤나무혹벌의 방제

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구의 목적

밤나무(*Castanea crenata* S. et Z.)는 참나무과 밤나무속에 속하는 낙엽활엽교목으로 지리적으로는 한국, 일본, 중국동북지방에 분포한다. 국내의 밤나무는 밤나무계통(*C. crenata*) 14종과 약밤나무계통(*C. bungeana*) 5종으로 분류되어 있고, 고려시대부터 구황식량으로 식재를 권장한 기록이 있다. 1960년대 초에 일본에서 신품종밤나무를 도입, 식재하여 1970년대 중반이후 밤 생산량이 급속히 증가되었고, 최근에는 생산량의 8~10만톤 가운데 약 27%가 수출되고 있는 농산촌의 중요한 소득원이다.

그러나 이들 밤나무 조림지는 각종 해충이 발생하여 종실의 생산량을 감소시키는 것은 물론 밤나무 자체를 고사시키는 등 심한 피해를 받고 있다. 최근에는 밤나무혹벌에 의한 피해임목이 전국적으로 증가하고 있으며, 특히 내충성 품종이 식재되어 있는 남부지역에서 발생장소가 확산되고 있어, 본 해충의 방제를 원하는 민원이 야기되고 있는 실정이다. 해충의 발생상황으로 미루어 금후 밤나무 피해 임목은 계속하여 증가할 것이고, 이로 인한 밤 생산 농가의 경제적 손실이 예상되므로 밤나무혹벌의 효율적인 관리방안을 수립하여 농가소득 증대에 기여 할 목적으로 본 연구를 수행하였다.

2. 연구의 필요성

현재 밤나무혹벌(*Dryocosmus kuriphilus*)의 발생지역은 중국, 일본, 한국, 미국이며 최초발생은 중국으로 추정된다. 일본은 중국의 하북성에서 자란 묘목이 1941년 오까야마현으로 반입, 전역으로 확산되어 밤나무 조림지에 심각한 피해를 주었다. 국내에서는 1959년 충북 제천군 송학면에서 최초로 확인되었고, 1964년 경기도 평택군과 경상북도 문경군 및 울진군을 연결하는 한계선 이북에 분포하다가 점차 경상남도, 전라남도로 확산되어 현재는 전 국토에 발생되었다. 이후 1980년대 초반부터 일부지역에서 내충성품종으로 알려진 밤나무에도 발생이 확인되었고, 최근에는 남부지방의 밤나무 집단조림지에 발생하여 심각한 피해를 주고 있다. 방제를 위하여 유기인계 등의 살충제를 적용하였으나 밤나무의 눈(芽)이나 잎맥 내에 충영(insect gall)을 형성하여 그 속에서 생활하는 본 해충의 생태적인 특성 때문에 만족할만한 효과를 얻지 못하고 오히려 유용천적의 감소 및 환경오염, 밀원식물 등의 악영향 등 부작용을 초래하는 결과를 낳았다.

따라서 이러한 제약조건을 해소하고 효과적인 방제방법을 수립하기 위해서는 해충의 개체군 밀도를 조절하는 생물요인을 파악하고, 주요 생물요인에 대한 생태학적 기초연구는 물론 중요 기생벌의 유효성에 관한 검토가 필요하다. 현재까지 밤나무혹벌 및 기생성 천적에 대한 생태연구는 일부 한정된 지역에서 제한적으로 수행되었을 뿐 해충을 억제하는 생물요인의 전국적인 탐색, 기주 및 기생자의 생태, 주요 생물인자에 대한 기주밀도의 억제효과, 토착천적을 이용한 방제 방법 등 생물적 방제를 위한 종합적인 연구는 거의 이루어지지 않은 상태이다. 그러므로 농산 촌의 소득 증대 및 주요 임산물인 밤 생산의 영속적인 공급을 위하여 본 해충의 방제는 필수적이며 이를 위한 새로운 방제(생물적방제)모델의 개발이 필요하다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

농산촌의 소득원으로서 중요한 위치를 차지하고 있는 밤나무 조림지의 생물피해(밤나무혹벌)에 대한 효과적인 관리방법을 개발하고 생물적방제 체계를 수립하는데 중점을 두고 수행하였다. 이를 위해서 우선 밤나무혹벌 피해가 확산되고 있는 충청남도, 전라남도, 경상남도지방의 충영형성율을 조사하여 임목의 피해실태를 파악하였다. 경상남도 밤나무 조림지에서는 피해와 관련한 신초생장 및 결실량에 미치는 영향을 구명하였고, 밤나무 품종별 저항성 정도를 해석하였다. 또한 각 지역별(중부, 남부)로 우화소장 등 생태적인 특성을 구명하고, 재래종과 내충성품종에 기생하는 밤나무혹벌 생태형의 존재여부를 검토하였다.

다음으로 밤나무혹벌의 개체군밀도를 억제하는 효과적인 생물인자를 구명하는 것이 무엇보다도 중요한 과제로서 이를 위하여 국내를 권역별로 나누어 피해지역을 중심으로 천적곤충을 탐색하였다. 우선 국내에 서식하고 있는 기생성 천적과 포식성 천적의 종류와 지역별 분포유무를 조사하였고, 재래종과 내충성밤나무에 형성된 충영에서 우화한 천적의 종구성 등에 대하여 구명하였다. 또한 이들 주요 생물인자를 생물적방제에 활용하는데 필요한 형태적 특성 및 각 조사지역별 생활환, 생활사 특성, 기생양식, 해충밀도를 억제하는 요인 등에 대하여 구명하였다. 특히 본 해충의 개체군밀도억제를 위하여 활용이 가능한 중국긴꼬리좀벌의 지역별 생태형을 파악하기 위하여 형태 및 우화소장 차이, 유전적 변이 등을 조사하였다.

또한 생물적방제를 체계화하기 위하여, 중국긴꼬리좀벌의 채집시기, 채집방법 및 기주와의 동조비율을 높이기 위한 충영의 저장방법 등을 구명하였으며, 강원도지방 및 경상남도지방에서 피해도별로 성충태를 방사하여 거리별, 피해정도별 기생효과를 해석하였다.

본 해충의 생물적 방제연구를 보강하기 위하여 외국으로부터 중국긴꼬리
좀벌을 도입하여 실내실험을 병행하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발결과

가. 밤나무혹벌에 의한 피해의 실태

현재 국내 전국적인 밤재배 면적은 약 47천ha이며 재배 농가수는 28천여
가구에 달하는 농가의 중요한 소득원이다. 그러나 최근 밤나무혹벌의 피해
가 증가하여 밤 생산량을 저하시키는 것은 물론 밤나무자체를 고사시키고
있다. 밤나무혹벌에 의한 피해는 1959년에 재래종밤나무에 최초 발생하여
전국으로 확산되었으며, 현재까지 지역별로 개체군밀도의 증감현상이 반복
적으로 나타나고 있고, 최근에는 개체군밀도가 증가하는 추세이다. 내충성
밤나무에는 1980년대 중반부터 발생하기 시작하여 일부지방에 국한되었던
것이 최근에는 전라남도의 광양 및 경상남도의 하동지역에 발생하여 피해가
점차 심화되고 있으며, 분포지역이 확대되고 있다. 따라서 앞으로 신품종 및
재래종밤나무의 지역별 피해율 증감에 관한 자료를 축척하는 한편 천적방사
지로 선정된 지역에 관하여는 천적의 밀도억제효과와 관련된 지속적인 연구
가 필요하다.

나. 밤나무혹벌의 생태형 검토 및 저항성 품종

생물적방제 가능성을 모색하기 위하여 지역별 우화소장 및 유전자변이를

조사하여 생태형의 존재여부를 검토하였다. 우화소장은 경상남도 하동과 충청남도 공주지역(내충성밤나무)에서 6월 20일~7월 15일, 최성기 7월 5일, 강원도 춘천지역(재래종밤나무)에서 6월 25일~7월 15일, 최성기 7월 10일이었고, OPB-(01~07)primer에 의한 RAPD 분석에서 조사지역별(Table 2-3)로 유전적 변이에 차이가 나타나지 않아 지역별, 품종별 생태형이 존재하지 않는 것으로 파악되었다.

밤나무립내 동아당 산란특성 및 풋트이식묘에 성충을 접종하여 품종별 산란 선호성을 검토한 결과, 石槌 및 多鴨 품종이 산란수가 적었고, 유충기에 모든 개체가 사망하여 내충성이 강한 품종으로 파악되었다.

다. 밤나무혹벌 피해가 밤나무 신초생장 및 결실량에 미치는 영향

밤나무혹벌의 피해도와 생장은 밤나무의 령급에 따라 다소 차이가 나타났으며, 1령급의 충영형성을 10%미만 가지에서 결과지의 평균 길이생장과 직경생장은 각 32.5cm와 5.6mm, 충영형성을 70%이상가지에서는 각 5.2cm와 3.2mm이었으며, 결실량은 충영형성율이 30%이하에서는 2.1~2.2개로 피해도 간의 차이가 없었다. 충영형성율이 50%이상일 때는 밤의 착과수가 평균 0.3개 이하로서 착과량이 감소되므로 적어도 충영형성율이 30%이하로 유지되도록 밤나무조림지를 관리하는 것이 요구된다.

2. 천적곤충의 탐색 및 생태적 특성

가. 밤나무혹벌의 천적분류 및 종구성

밤나무혹벌의 기생성천적을 탐색한 결과, 국내에 서식하고 있는 기생성천

적종류는 *Torymus sinensis*, *Torymus beneficus*, *Torymus geranii*, *Torymus* sp. *Eupelmus urozonus*, *Eupelmus* sp. *Eurytoma brunniventris*, *Megastigmus nipponicus*, *Megastigmus maculipennis*, *Sycophila variegata*, *Reikosiella* sp., *Eurytoma setigera*, *Ormyrus flavitibialis*, *Ormyrus puntiger*, *Ormyrus pomaceus*로 15종이었으며 미동정 기생벌, 기생파리 등 총 20종을 확인하였고, 포식성천적은 나방류 1종, 바구미류 1종, 거미류 4종을 확인하였다. 기생벌 가운데 11월부터 익년 3월까지 채집한 기생벌은 8종, 당년 5월부터 8월까지의 9종이었으며, 최우점종은 중국긴꼬리좀벌이었다.

나. 중국긴꼬리좀벌, 남색긴꼬리좀벌, 큰다리남색좀벌의 생태특성

3종의 기생성 천적에 대하여 발육단계별로 형태적인 특성을 검토하였다. 특히 미성숙 stage에 관한 기재를 새롭게 추가하여 생태학적인 연구의 기초 자료를 제공하였다. 3종 모두 밤나무혹벌의 유충을 공격하는 외부기생자이였으며, 충영 내 충방에 다수의 알이 관찰되었으나 이는 중복산란에 의한 것으로 단독기생성 천적으로 파악되었다.

이들 천적들은 양성생식종이었으며, 중국긴꼬리좀벌의 경우 재래종밤나무에서 안정된 개체군의 성비는 암컷의 비율이 높았고, 도입종 밤나무의 불안정한 개체군의 성비는 수컷의 비율이 다소 높게 나타났다. 그 외 2종의 천적의 성비는 암수 같은 것으로 파악되었다. 수명은 20℃의 항온하에서 꿀물 원액을 제공하여 사육하였을 경우 큰다리남색좀벌이 61.9일로 가장 오래 생존하였으며, 중국긴꼬리좀벌은 41.0일, 식이물을 제공하지 않았을 경우 3종 모두 평균 3.3일 이내에 폐사하였다. 산란수는 중국긴꼬리좀벌이 64.0개체로 가장 많았다. 중국긴꼬리좀벌은 년 1회, 남색긴꼬리좀벌은 년 3회, 큰다리남

색좀벌은 년 2회 발생하였고, 모든 종은 노숙유충으로 월동하였다.

중국긴꼬리좀벌의 우화소장은 4월 중순부터 5월 상순 이었으며, 조사시기 및 지역별로 차이가 나타났다. 경상남도 하동지역이 강원도 춘천지역에 비하여 9일 빠르게 우화하였다.

다. 기생양식

상기 종별 발육단계별 형태적 특징을 이용하여 종의 상호 기생관계의 구명이 가능하였으며 기생양식은 밤나무혹벌에만 기생하는 종으로는 *Torymus sinensis*, *Torymus beneficus*, *Megastigmus nipponicus*, *Megastigmus maculipennis* 이었으며, 임의적고차기생벌(facultative hyperparasitoid)은 *Torymus geranii*, *Sycophila variegata*, *Eurytoma brunniventris*, *Ormyrus flavitibialis*, *Eupelmus urozonus*, *Eupelmus* sp., *Eurytoma setigera*, *Ormyrus puntiger*, *Torymus* sp.이었고, *Eupelmus urozonus* 는 임의적 고차기생벌에 만 기생하였다.

3. 밤나무혹벌의 생물적방제

가. 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌의 상호관계

1) 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌의 동조성 검토

연도별 지역별 동조의 정도가 다르게 나타나 기주의 밀도억제능력이 다른 것으로 파악되었다. 동일지역에서의 중국긴꼬리좀벌은 산란 가능한 충영이 형성되는 시기보다 앞서 우화하는 경향을 보였다. 이때는 밀원식물이 존재하지 않는 시기이므로 자연으로부터 식이물 획득이 어렵기 때문에 수명이

짧아서 충영이 산란 가능한 크기로 발달되기 이전에 우화된 개체가 기주와 동조하지 못하고 사망하는 것을 의미한다. 그러나 경상도 지역의 충영발육 시기(중국긴꼬리좀벌이 산란에 적합한 밤나무혹벌의 유충 출현시기)와 강원도 지역의 중국긴꼬리좀벌의 우화소장 간에 동조성이 강한 것으로 나타나 생물적방제를 위해서는 강원 영서지역의 중국긴꼬리좀벌 개체군을 경남지역의 밤나무혹벌피해지에 이식하여 생물적방제를 모색하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단되었다.

2) 중국긴꼬리좀벌의 생존율, 천적의 기생율과 피해율

가) 중국긴꼬리좀벌의 생존율, 기생율

강원도 춘천지역에서 3세대에 대하여 기생 당년 5월부터 이듬해 3월에 조사한 생존율은 18.0%~51.6%로 조사 세대별로 차이가 나타났다. 경상남도 하동 지역에서 2세대에 대하여 3월에 조사한 생존율은 각 31.4%, 35.8%로 세대별로 유사하였다. 조사기간중의 사망요인은 이차기생별로 파악되었다.

강원도 춘천지역에서 밤나무혹벌에 대한 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 각 71.2%(2000년), 36.9%(2001년), 32.4%(2002년)로 연도에 따라 심한 차이가 나타났다. 이는 전년도 기생벌의 작용에 밤나무혹벌 밀도가 감소한데 기인한 결과이며, 기타 천적의 기생율 역시 2.3%~30.3%로 연도별 차이가 나타났다. 경상남도 하동지역에서 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 21.3%(2000년), 24.5%(2001년), 27.3%(2002년)으로 차이가 없었으며, 그외 기생천적의 기생율은 3.0~17.4%이었다. 일차기생벌에 대한 이차기생벌의 추정기생율은 경상남도 하동지역이 30.0~33.3%, 강원도 춘천지역이 11.1~21.3%로 경상남도 지역이 강원도 지역보다 이차기생벌의 역효과가 높은 것으로 파악되었다.

나) 밤나무혹벌 피해율과 천적기생율

강원도 춘천지방에서 1998년부터 2002년까지 밤나무혹벌에 대한 피해율과 기생율의 관계를 검토하였다. 조사 년도별로 피해율이 점차 감소하였는데 이는 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 증가한 때문으로 생각된다. 또한 2000년 이후 피해율의 급격한 감소와 함께 기생율도 감소하였고, 임의적 2차 기생벌의 기생율 또한 연차적으로 증가하다가 급감하였다. 이는 기주와의 밀도 의존성과 관련이 있는 것으로 사료된다. 이러한 피해율과 기생율의 결과만으로 기생벌에 의한 방제효과를 판단하기는 곤란하나 기생율이 연차적으로 증가함에 따라 밤나무혹벌의 피해율은 감소하는 경향이 나타난 점, 기생벌 가운데 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 가장 높고 연차변동 폭이 크게 나타난 점 등으로 미루어 본 종이 밤나무혹벌의 밀도변동에 영향하는 생물요인 가운데 가장 효과적인 종으로 사료된다.

나. 중국긴꼬리좀벌의 생태형 검토

최우점 천적인 중국긴꼬리좀벌을 생물적방제 인자로 이용하기 위하여 재래종 및 도입종 밤나무에 기생하는 천적의 생태형을 검토하였으나 형태 및 생태학적으로 차이가 없었으며, RAPD의 분석 결과도 각 지역별, 밤나무 품종별 중국긴꼬리좀벌 분리주 간에는 유의할 만한 유전적 변이가 없는 동일한 형질의 종으로 밝혀졌다. 금후 RAPD 분석 이상의 상세한 유전적 변이 분석을 위하여는 16s rRNA와 같이 특성 유전자 영역의 염기서열 분석과 같은 해석을 실시할 필요가 있을 것으로 사료되나 현재 각 지역에 서식하는 중국긴꼬리좀벌은 동일한 종으로 판단된다.

다. 중국긴꼬리좀벌의 방사 및 구제효과

중국긴꼬리좀벌의 생존율은 야외 밤나무에 부착한 경우 다소 높고, 우화 개체수는 월동후기(1월~3월)에 채집한 충영에서 많았으며, 기생벌을 대량으로 수집하기 위한 사육상을 제작하였다.

강원도 춘천지역에서 소규모 망실내에 방사한 실험 개체군의 기생율은 60.9%이상으로 방사천적의 기생효과를 확인하였으며, 밤나무조립지(독립주)의 방사효과(기생율) 또한 미방사목에 비하여 높게 나타났고, 1년의 충영형성율도 방사목에서 현저하게 감소하였다.

강원 및 충남지역의 중국긴꼬리좀벌 성충을 경상남도 하동 지역에 이식한 시험목(방사를 썩은 밤나무)과 충영채로 이식한 시험목의 기생율은 미방사목의 기생율 보다 현저하게 높았으며, 성충태 이식이 충영태 이식보다 효과적인 것으로 파악되었다. 또한 밤나무혹벌의 피해율이 서로 다른 밤나무 조립지에 중국긴꼬리좀벌의 성충을 방사한 결과 양 지역 모두 미방사지역보다 방사지역의 기생율이 방사 당년 현저하게 증가하였으나 증가율은 점차 둔화되었다. 중국긴꼬리좀벌에 기생하는 임의적 이차기생자의 증감현상은 나타나지 않았다. 금후 천적의 기주에 대한 반응기작 및 천적의 밀도 의존적 특성 등이 상세히 논의되어야 하지만 이러한 결과는 본 종을 이용한 생물적 방제의 모색이 가능하다는 것을 시사하는 것으로 판단된다.

2. 활용에 대한 건의

국내의 밤나무혹벌은 1959년에 발생하여 최근 전국으로 확산되었으며, 내충성으로 알려진 밤나무품종에도 심각한 피해를 주고 있으나 충영(insect gall)을 형성하고 그 속에서 생활하는 생태적인 특성 때문에 농약을 이용한

해충의 구제는 만족할 만한 효과를 얻지 못하고 오히려 유용천적의 감소 및 환경오염, 밀원식물에의 악영향 등 부작용을 초래하는 결과를 낳았다. 따라서 이러한 조건을 해소하고 효과적인 구제방법을 개발하기 위하여 천적곤충을 이용한 방제방법을 모색하였다. 본 연구내용, 즉 해충의 개체군 밀도를 조절하는 생물요인의 파악방법, 주요 생물요인에 대한 생태학적 연구, 중요 기생벌에 대하여 유효성 분석방법 등은 산림해충의 생물적 방제를 위한 기초연구로서의 활용이 가능하다. 또한 연구된 결과를 종합적으로 분석하여 생물적 방제 수순을 체계화하여 제시하였다. 이는 국내 밤 주산지역인 경상남도, 전라남도, 충청남도의 내충성밤나무림 내에 발생된 밤나무혹벌을 구제하는데 활용이 가능하므로 3개도의 연구기관에서 본 방법을 이용한 실연방제시험을 수행할 것을 건의한다. 단 천적을 이용한 산림해충의 방제효과를 단기간 내에 정확하게 분석하기는 어렵기 때문에 보다 효율적인 방제를 위하여 장기간의 구제계획을 수립하는 것이 필요하다.

○ 밤나무혹벌의 생물적 방제 체계

1. 중국긴꼬리좀벌의 채집

가) 채집지역의 선정

재래종밤나무와 도입종 밤나무(각 조사지역별)에 서식하는 밤나무혹벌 및 중국긴꼬리좀벌간에는 형태적, 우화소장간, 유전자간에 현저한 차이가 없는 것으로 구명되어 지역별 생태형은 존재하지 않고, 강원도 및 경기도의 천적의 우화소장과 경상남도 및 전라남도의 밤나무혹벌의 우화소장의 동조성이 강하여 주로 강원도 영서지역이나 경기도 지역에 기생하는 중국긴꼬리좀벌을 수집하여 방사한다.

나) 채집장소의 선정

강원도 영서지역과 경기도 지역에 밤나무혹벌의 피해율이 가급적 높은 장소를 선정하여 밤나무(5본 이상)로부터 무작위로 100충영을 수집, 절개하여 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 50%이상인 곳을 충영 수집지역으로 선정한다. 가급적 한 장소에서 대량으로 수집하는 것을 피하고 여러 장소를 택하여 수집하도록 한다.

다) 충영의 수집시기

충영의 수집시기는 기주와 동조성을 높이기 위하여 기생자의 조절이 가능한 시기, 즉 충영을 수집한 후 중국긴꼬리좀벌의 용 발육속도의 조절이 가능한 2월에 채집하는 것이 효율적이다.

2. 중국긴꼬리좀벌의 사육(밤나무혹벌 충영의 보관)

2월에 수집한 밤나무혹벌충영을 야외 cage내에 우화상(Figure 4-25,26)당 1만개씩 넣고, 사육한다(충영은 우화상 부피의 1/3차지). 야외 온도가 높은 경우에는 용의 발육한계온도(8.9℃)이하로 조절된 환경조절장치 내에 넣어 보관한다. 이후 방사지역의 밤나무혹벌 발육정도를 관찰하며, 이에 동조할 수 있도록 용기간의 적산온도를 고려(16℃: 18일, 20℃: 15일, 24℃: 10일)하여 사육온도를 선택하여 사육한다. 사육시 항온기내의 습도는 70%~80%를 유지하고, 광주기는 16L: 8D로 한다. 충영이 건조하면 사망률이 증가하므로 증류수를 적당히 살포한다.

3. 방사용 성충의 수집

밤나무 충영으로부터 기생벌을 대량으로 수집하기 위하여 주광성을 이용하여 채집하도록 고안된 우화상을 사용한다. 중국긴꼬리좀벌은 일일 우화패턴을 고려하여 하루 2~3회 수집한다.

4. 방사용 성충의 보관

채집된 성충은 수집기내에 보관하며, 이때 채집된 성충은 수집기당 100~150마리를 넣고, 식이물로 꿀물원액을 제공한다. 수집기는 성충의 수명 및 방사시기를 고려하여 15℃~20℃에 저장한다. 저장기간은 산란전기간을 고려하여 10일정도로 한다.

5. 성충의 방사

가) 성충의 방사시기

방사할 지역을 선정하여 밤나무 피해가지를 시기별로 채취, 충영의 크기가 직경3cm~7cm일 때 방사한다.

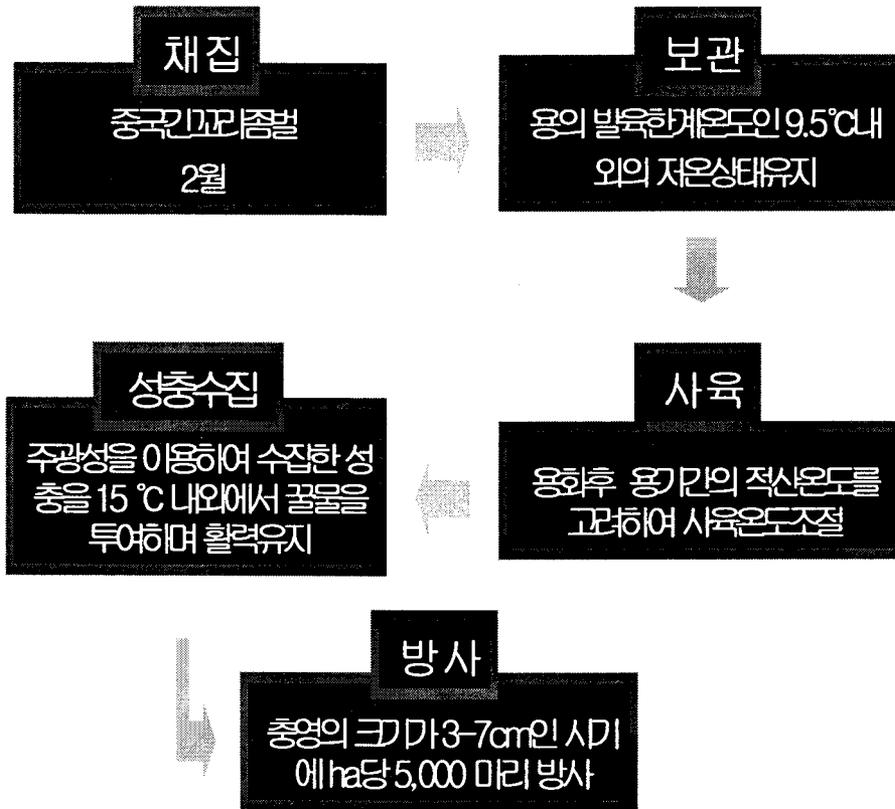
나) 성충의 방사방법

아이스박스를 이용하여 저온을 유지하며 방사할 지역으로 운반한다. 방사 성충수는 10m×10m의 크기에 200마리씩 ha당 5000마리를 방사한다. 생존시간(수명)을 연장하기 위하여 방사 대상목에 꿀물원액을 제공(천을 꿀물에 넣어 충분히 침투시킨 후 천을 밤나무가지에 감아서 제공함)한다.

6. 효과분석

방사효과조사를 위해서 방사 30일 후에 방사지 및 미방사지에서 밤나무 3 그루를 선정, 시험목별로 50개의 충영을 채집하여 충영을 절개한 후, 충방내부에 기생하는 천적의 종별 기생율을 조사, 비교한다.

7. 생물적방제 추진체계



SUMMARY

Biological Control of Chestnut Gall Wasp, *Dryocosmus kuriphilus* with Natural Enemy Insects

This project was conducted to investigate the biological control of *Dryocosmus kuriphilus* by natural enemies from October 1999 to October 2002. Investigation was comprised of three themes as analysis of damage, exploration and ecological characteristics of natural enemies, and biological control of *D. kuriphilus* by natural enemy.

1. Ecotype of *D. kuriphilus* and exploration of resistant chestnut varieties

1-1. Analysis of damage by *D. kuriphilus* in chestnut orchards

The first damage by *D. kuriphilus* was reported at native chestnut orchards in 1959, and has distributed to the whole area of the Korean peninsula. Population of *D. kuriphilus* has increased recently. Damage was also reported at resistant chestnut orchards in Middle 1980, and has distributed to Gwangyang, Chonnam province and Hadong, Kyongnam province.

1-2. Ecotype of *D. kuriphilus* and exploration of resistant chestnut varieties

Seasonal prevalence of adult emergence was different between Hadong

and Chunchon, and this was distributed not to the difference of ecotype but to the adaptation to climate. There was no difference in RAPD analysis by using OPB 01~07 primers and morphology among *D. sinensis* collected at different areas and chestnuts varieties.

The number of oviposited winter buds was low in the varieties of Ishizuchi, and Daap, indicating that the two varieties were strongly resistant against the pest.

1-3. Effect of damage by *D. kuriphilus* on shoot growth and fruition

Shoot growth of chestnut trees damaged by *D. kuriphilus* was different depending on the age of chestnut trees. There was no difference in number of fruit set per fruit branch, when gall formation was less than 30%. However, number of fruit was almost zero when gall formation was more than 50%. It was strongly recommended the damage should be managed below 30% for the good products.

2. Exploration of natural enemies and ecological characteristic

2-1. Taxonomy of natural enemies

Total 20 species of natural enemies were emerged from *D. kuriphilus* galls including 15 parasitoids such as *Torymus sinensis*, *Torymus beneficus*, *Torymus geranii*, *Torymus* sp. *Eupelmus urozonus*, *Eupelmus* sp. *Eurytoma brunniventris*, *Megastigmus nipponicus*, *Megastigmus maculipennis*, *Sycophila variegata*, *Reikosiella* sp., *Eurytoma setigera*, *Ormyrus flavitibialis*, *Ormyrus puntiger*, *Ormyrus pomaceus*, 4

unidentified parasitoids, Diptera sp., Lepidoptera sp., Coleoptera sp., and 4 spider sps. were identified as predator of *D. kuriphilus*. Eight species was collected from November to March in the next year, and nine species was emerged from *D. kuriphilus* galls collected from May to August. *T. sinensis* was the most dominant parasitoid.

2-2. Ecology of *T. sinensis*, *Torymus geranii*, and *Ormyrus punctiger*

Ecological data of immature stage of the three species of parasitoids, *T. sinensis*, *Torymus geranii*, and *Ormyrus punctiger*, were investigated newly. The three parasitoids were identified as external and single parasitoids. Female ratio was high in stable population of *T. sinensis*, and male ratio was high in unstable population. Sex ratio of *T. geranii* and *O. punctiger* was similar. The longevity of *O. punctiger* was 61.9 days when honey was supplied. When there was no food, the longevity of three parasitoids was within 3.3 days. Oviposition number of *T. sinensis* was 64. *T. sinensis*, *T. geranii*, and *O. punctiger* have one, three and two generations, respectively, and overwintered as the last larval stage. There was difference in seasonal occurrence of *T. sinensis* depending on the investigation time and area. *T. sinensis* emerged 9 days earlier in Hadong, Kyongnam province than in Chunchon, Kangwon province.

2-3. Parasitism form

Torymus sinensis, *Torymus beneficus*, and *Megastigmus nipponicus* were primary parasitoids, and *Torymus geranii*, *Sycophila variegata*,

Eurytoma brunniventris, *Ormyrus flavitibialis*, *Eupelmus urozonus*, *Eupelmus sp.*, *Eurytoma setigera*, *Ormyrus punctiger*, and *Torymus sp.* were identified as facultative hyperparasitoid. *Eupelmus urozonus* was parasitoid of hyperparasitoids.

3. Biological control of *D. kuriphilus*

3-1. Relationship between *D. kuriphilus* and *T. sinensis*

3-1-1. Synchronicity of *D. kuriphilus* and *T. sinensis*

T. sinensis emerged before the gall was formed, where *T. sinensis* could oviposit. This indicated that synchronicity was weak. However, larval growth of *D. kuriphilus* in Kyongsang province and emergence time of *T. sinensis* in Kangwon province showed strong synchronicity. This result showed that *T. sinensis* population of Kangwon province could be effective for the control of *D. kuriphilus* in Kyongsang province.

3-1-2. Survival and parasited rate of *T. sinensis*

Survival rate of *T. sinensis* was investigated in three generations from May to next March. Survival rate was different in each generation with range of 18.0~51.6% in Chunchon, Kangwon province. Survival rate of each generation in Hadong was 31.4 and 35.8%, respectively.

Relationship between damage by *D. kuriphilus* and parasited rate of *T. sinensis* was investigated from 1988 to 2002. As parasited rate of *T. sinensis* has increased, damage by *D. kuriphilus* has decreased. During

2000 to 2002, damage by *D. kuriphilus* has decreased, and the parasited rate of the pest has dramatically decreased. Parasited rate of hyperparasitoids has also decreased, as population of *T. sinensis* has decreased. This showed that population of *T. sinensis* and hyperparasitoids was dependent on host population.

Estimated parasited rates of hyperparasitoids of *T. sinensis* were higher in Hadong, Kyongnam province with range of 30.0~33.3% than in Cunchon, Kangwon province with range of 1.1~21.3%.

Among parasitoids, parasited rate of *T. sinensis* was highest, and considered as most effective factor for the control of *D. kuriphilus*.

3-2. Ecotype of *T. sinensis*

To investigate the possibility to use *T. sinensis* as biological control agent for *D. kuriphilus*, ecotype of *T. sinensis* collected at resistant and native chestnut orchards was analyzed by using RAPD. There were no differences in RAPD analysis by using OPB 01~07 primers and morphology among *T. sinensis* collected at different areas and chestnuts varieties.

3-3. Release effect of *T. sinensis*

Emergence number of *T. sinensis* was high from galls collected in January to March. The parasited rate of *T. sinensis* in adult or gall release area was higher than that of no release area. Adult release was more effective than gall release.

When adult was released in chestnut orchards with different damage

rates by *D. kuriphilus*, parasited rate was much higher than that of no release area. Parasited rate of Hyperparasitoids did not show much difference among checked. Although further study on the response of parasitoids to the host, and on the population dependence was necessary, *T. sinensis* was considered as effective biological control agent. In conclusion, we systematize the procedure of biological control by using *T. sinensis*, and conclude that *T. sinensis* is most effective agent for the control of *D. kuriphilus*.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	29
Section 1 Purpose and background of study	29
1. Purpose	29
2. Background	30
Section 2 Range and system of study	31
1. Range of study	31
2. System of study	33
Chapter 2 Ecology and Damage analysis of <i>D. kuriphilus</i>	34
Section 1 Introduction	34
Section 2 Materials and Methods	37
1. Damage analysis	37
2. Annual damage fluctuation	37
3. Morphology in each stage and genetic variation	37
4. Ecological characteristic and damage analysis	41
Section 3 Results and Discussion	47
1. Damage analysis	47
2. Annual damage fluctuation	49
3. Morphology in each stage and genetic variation	51
4 Ecological characteristic and damage analysis	60
Chapter 3 Ecological characteristic of main parasitoids	80

Section 1 Introduction	80
Section 2 Materials and Methods	82
1. Exploration of parasitoids for <i>D. kuriphilus</i>	82
2. Morphology and life history of main parasitoids (3 species)	84
Section 3 Results and Discussion	90
1. Natural enemy and composition of species	90
2. Morphology and life history of main parasitoids	98
3. Adult emergence of main parasitoid(3 species)	121
 Chapter 4 Study on systemizing the biological control of <i>D. kuriphilus</i>	 129
Section 1 Introduction	129
Section 2 Materials and Methods	131
1. Relationship between <i>D. kuriphilus</i> and <i>T. sinensis</i>	131
2. Ecotype of <i>T. sinensis</i>	136
3. Biological control by using <i>T. sinensis</i>	137
Section 3 Results and Discussion	143
1. Relationship between <i>D. kuriphilus</i> and <i>T. sinensis</i>	143
2. Ecotype of <i>T. sinensis</i>	166
3. Biological control by using <i>T. sinensis</i>	174
 Chapter 5 Conclusion	 198
 Chapter 6 Reference	 208

목 차

제 1 장 서 론	29
제 1 절 연구개발의 목적과 필요성	29
1. 연구개발의 목적	29
2. 연구개발의 필요성	30
제 2 절 연구개발의 범위 및 연구수행체계	31
1. 연구개발의 범위	31
2. 연구수행체계	33
제 2 장 밤나무흑벌의 생태 및 피해해석	34
제 1 절 서 설	34
제 2 절 재료 및 방법	37
1. 밤나무흑벌에 의한 피해실태	37
2. 내충성밤나무림의 연차별 피해율	37
3. 발육단계별 형태의 기재 및 유전적변이	37
가. 발육단계별 형태의 기재	37
나. 유전적변이	38
4. 밤나무흑벌의 생태특성, 피해해석	41
가. 시험지 개황	41
나. 밤나무흑벌의 생태특성	43
다. 밤나무흑벌 피해가 밤나무 신초생장 및 결실량에 미치는 영향	45
제 3 절 결과 및 고찰	47
1. 밤나무흑벌의 피해실태	47

2. 연차별 밤나무혹벌의 밀도변동	49
3. 발육단계별 형태의 기재 및 유전적변이	51
가. 발육단계별 형태의 기재	51
나. 지역별 밤나무혹벌의 유전적변이	54
4. 밤나무혹벌의 생태특성, 피해해석	60
가. 생태학적 특성	60
나. 밤나무혹벌 피해가 밤나무 신초생장 및 결실량에 미치는 영향	73
제 3 장 밤나무혹벌 주요천적의 생태적특성	80
제 1 절 서 설	80
제 2 절 재료 및 방법	82
1. 지역별, 품종별 천적 곤충의 탐색	82
가. 월동 후에 출현하는 천적곤충의 종구성	82
나. 6월~8월에 출현하는 천적곤충의 종구성	83
2. 주요 천적종(3종)의 형태 및 생활사	84
가. 주요천적의 미성숙 stage 및 성충의 형태	84
나. 주요천적의 생활사 특성	85
제 3 절 결과 및 고찰	90
1. 밤나무혹벌의 천적	90
가. 월동 후에 출현하는 기생성 천적곤충의 종구성	93
나. 5월~8월에 출현한 기생성 천적곤충의 종구성	95
2. 주요 기생벌의 형태 및 생활사	98
가. 중국긴꼬리좀벌의 형태 및 생활사	98
나. 남색긴꼬리좀벌의 형태 및 생활사	110
다. 큰다리남색좀벌의 형태 및 생활사	116

3. 기생성 천적(3종)의 지역별 우화소장	121
가. 중국긴꼬리좀벌의 우화소장	121
나. 남색긴꼬리좀벌 및 큰다리남색좀벌의 우화소장	126
제 4 장 밤나무혹벌의 생물적방제	129
제 1 절 서 설	129
제 2 절 재 료 및 방 법	131
1. 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌과의 상호관계	131
가. 시험지의 개황	131
나. 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌의 동조성 검토	132
다. 천적종류별 기생율 변화	133
라. 천적의 기생율과 밤나무혹벌 피해율	133
마. 중국긴꼬리좀벌의 생존율	134
바. 중국긴꼬리좀벌의 생존율에 영향을 주는 2차기생벌 역효과	134
사. 천적 종간의 기생양식	135
2. 중국긴꼬리좀벌의 생태형	136
가. 지역별 형태비교	136
나. 지역별 우화소장	136
다. 중국긴꼬리좀벌의 유전자 변이분석	137
3. 중국긴꼬리좀벌을 이용한 생물적 방제 검토	137
가. 천적의 채집시기	137
나. 중국긴꼬리좀벌의 기생능력과 방사방법별 효과	138
1) 중부지역에서 중국긴꼬리좀벌의 방사효과 실험	138
2) 남부지역에서 중국긴꼬리좀벌의 방사효과 시험	140
제 3 절 결 과 및 고 찰	143

1. 밤나무혹벌과 최우점천적인 중국긴꼬리좀벌과의 상호관계	143
가. 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌과의 동조성(synchronization)검토 ..	143
나. 중국긴꼬리좀벌의 생존율	154
다. 천적종류별 기생율 변화(4~6월)	157
라. 중국긴꼬리좀벌의 생존율에 영향을 미치는 임의적이차기생벌 역효과(10~3월)	160
마. 밤나무혹벌 피해율과 기생율 변화	163
바. 밤나무혹벌 기생천적류의 기생양식	164
2. 중국긴꼬리좀벌의 생태형	166
가. 중국긴꼬리좀벌의 형태비교	166
나. 지역별 중국긴꼬리좀벌의 우화소장비교	168
다. 중국긴꼬리좀벌의 RAPD에 의한 유전자변이 분석	170
3. 토착천적 중국긴꼬리좀벌을 이용한 생물적방제의 검토	174
가. 채집시기의 선정 및 수집방법	174
나. 중국긴꼬리좀벌의 방사방법별 구제효과	177
4. 도입천적을 이용한 생물적방제 검토	190
가. 도입천적의 생태특성	190
나. 도입천적의 이용과 관련한 문제점	192
5. 생물적방제 수행체계	193
제 5 장 결 론	198
제 6 장 인용문헌	208

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 필요성

1. 연구개발의 목적

밤나무(*Castanea crenata* S. et Z.)는 참나무과 밤나무속에 속하는 낙엽활엽교목으로 지리적으로는 한국, 일본, 만주에 분포하며, 국내의 재래종 밤나무는 밤나무계통(*Castanea crenata*) 14종과 약밤나무계통(*Castanea bungeana*) 5종으로 분류되어 있고, 고려시대부터 구황식량으로 식재를 권장한 기록이 있다. 1960년대에 일본으로부터 신품종 밤나무를 도입 식재하였으며, 1970년대 중반이후 밤 생산량이 급속히 증가하였고, 최근에는 8~10만 톤 내외를 지속적으로 생산하고 있으며, 이 가운데 약 27%를 수출하고 있는 농산촌의 중요한 소득원이다.

그러나 이들 밤나무 조림지에 각종 해충이 발생하여 종실의 생산량을 감소시키는 것은 물론, 밤나무자체를 고사시키는 등 심한 피해를 받고 있다. 최근에는 밤나무혹벌에 의한 피해가 전국적으로 증가하고 있으며, 특히 내충성으로 알려졌던 품종이 식재되어 있는 남부지역의 집단조림지로 확대 발생되어, 본 해충의 방제를 원하는 민원이 야기되고 있는 실정이다. 본 해충의 발생상황으로 미루어 금후 밤나무 피해는 계속하여 증가하고 이로 인한 밤 생산 농가의 경제적 손실이 예상되므로 본 해충의 효율적인 관리방안을 수립하여 농가소득 증대에 기여할 목적으로 수행하였다.

2. 연구개발의 필요성

현재 밤나무혹벌(*Dryocosmus kuriphilus*)의 발생지역은 중국, 일본, 한국, 미국이며, 최초 발생은 중국으로 추정된다. 중국의 하북성에서 자란 묘목이 일본에 반입되어 오카야마현 지방에서 1941년에 최초로 발생하였고, 전국으로 확산되어 밤나무 조림지에 심각한 피해를 주었다. 국내에서는 1959년 충북 제천군 송학면에서 최초로 확인되었고, 1964년 경기도 평택군과 경상북도 문경군 및 울진군을 연결하는 한계선 이북에 분포하다가 점차 경상남도, 전라남도로 확산되어 현재는 전 국토에 발생되었다. 이후 1980년대 초반부터 일부지역에서 내충성 품종으로 알려진 밤나무에도 발생이 확인되었고, 최근에는 남부지방의 밤나무 집단조림지에 발생하여 심각한 피해를 주고 있다. 그러나 본 해충은 밤나무의 눈(芽)이나 잎맥 내에 충영(insect gall)을 형성하고 그 속에서 생활하는 생태적인 특성 때문에 유기인계 등 여러 가지 살충제의 사용에도 불구하고 만족할 만한 방제효과를 얻지 못하고 오히려 유용천적의 감소 및 환경오염, 밀원식물에의 악영향 등 부작용을 초래하는 결과를 낳았다.

따라서 이러한 제약조건을 해소하고 효과적인 방제방법을 수립하기 위해서 해충의 개체군밀도를 조절하는 생물요인을 파악하고, 주요 생물요인에 대한 생태학적 기초연구는 물론 중요 기생벌에 대하여 유효성에 관한 검토가 필요하다. 현재까지 밤나무혹벌 및 기생성 천적에 대한 생태연구는 일부 한정된 지역에서 제한적으로 수행되었을 뿐 해충을 억제하는 생물요인의 전국적인 탐색, 기주 및 기생자의 생태, 주요 생물인자에 대한 기주밀도의 억제효과, 토착천적을 이용한 방제 방법 등 생물적 방제를 위한 종합적인 연구는 이루어지지 않았다. 따라서 농산 촌의 소득 증대와 주요 임산물인 밤 생산의 영속적인 공급을 위해서는 본 해충의 방제가 필수적이며 이를 위한

새로운 방제모델의 개발이 필요하다.

제 2 절 연구개발의 범위 및 연구수행체계

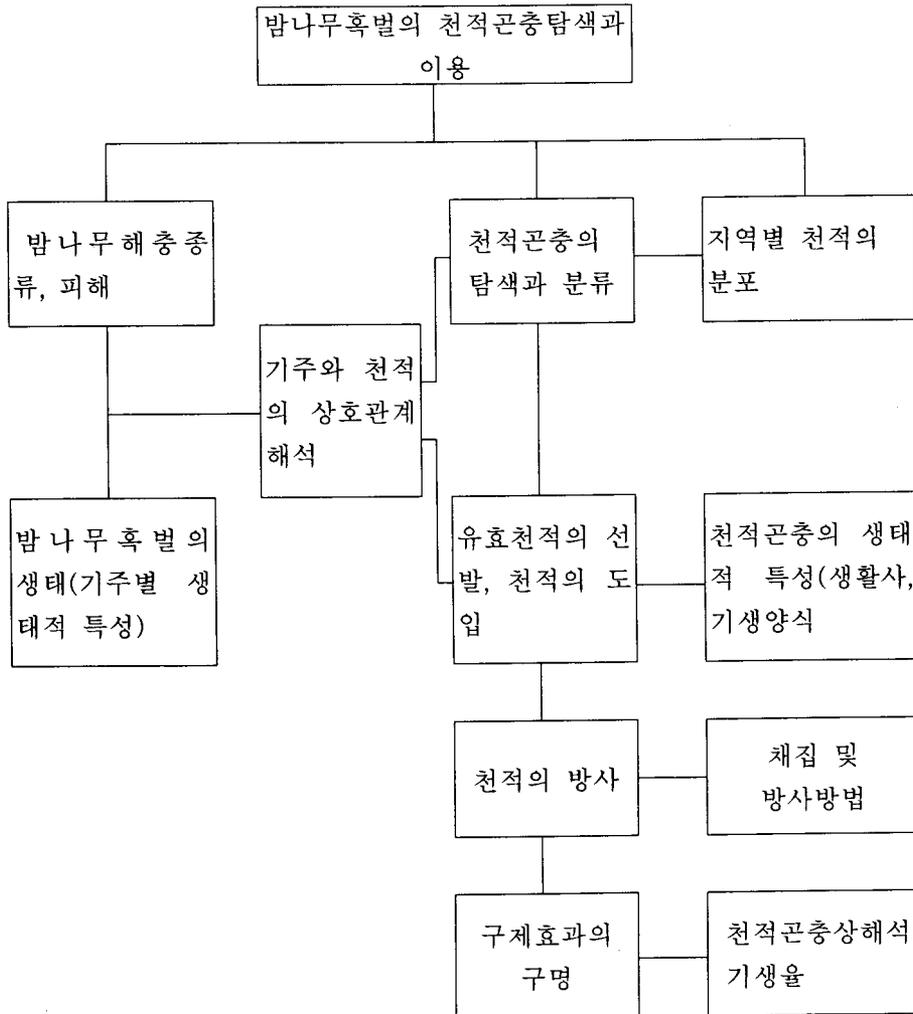
1. 연구개발의 범위

농산촌의 소득원으로서 중요한 위치를 차지하고 있는 밤나무 조림지의 생물피해(밤나무혹벌)에 대한 효과적인 관리방법을 개발하고 방제체계를 수립하는데 중점을 두고 수행하였다. 생물적 방제체계를 수립하기 위하여 우선 밤나무혹벌 피해가 확산되고 있는 충청남도, 전라남도, 경상남도, 일부지방에서 충영형성율을 조사하여 임목의 피해실태를 파악하였다. 경상남도 밤나무 조림지에서는 피해와 관련한 밤 종실 피해량을 추론하였고, 밤나무품종별 저항성을 해석하였다. 또한 각 지역별(중부, 남부)로 우화소장 등 생태적인 특성을 구명하였으며, 재래종과 내충성 품종에 기생하는 밤나무혹벌의 생태형을 검토하였다.

밤나무혹벌의 생물적 방제를 위해서는 기주의 밀도억제에 효과적인 생물인자를 구명하는 것이 무엇보다도 중요한 과제로서 이를 위하여 국내를 권역별로 나누어 피해지역 중심으로 천적군충을 탐색하였다. 내용으로는 국내에 서식하고 있는 기생성천적과 포식성천적의 종류와 지역별로 채집된 천적의 종 구성, 재래종과 내충성 품종 밤나무에 형성된 밤나무 충영으로부터 우화한 천적의 종류 조성의 차이에 대하여 구명하였다. 또한 생물적 방제를 위하여 이들 주요 생물인자를 활용하는데 필요한 형태적, 생태적인 특성의 파악이 중요하므로 밤나무혹벌 피해림에서 우점을 차지하고 있는 종을 선별하여 형태 및 각 조사지역별 생활환, 생활사 특성, 기생양식, 해충의 밀도억

제에 관여하는 요인 등에 대하여 구명하였다. 특히 우점 천적인 중국긴꼬리
좀벌에 대하여 지역별로 생태형의 존재여부를 해석하기 위하여 형태 및 생
태적 차이, 유전적 변이 등을 조사하였다. 또한 천적의 채집시기, 채집방법
및 기주와의 동조성을 강화하기 위한 충영의 저장방법 등을 구명하였으며
강원도 지방 및 경상남도 지방에서의 피해도별로 성충태를 방사하여 거리
별, 피해정도별 기생효과를 해명하였다. 한편 본 해충의 생물적 방제를 보강
하기 위하여 외국으로부터 천적을 도입하여 실내에서 생태특성을 조사하였
다.

2. 연구수행체계



제 2 장 밤나무혹벌의 생태 및 피해해석

제 1 절 서 설

밤나무(*Castanea crenata* S. et Z.)는 참나무과 밤나무속에 속하는 낙엽활엽교목으로 전국의 표고 100m~1,100m에 자생하고 지리적으로는 한국, 일본, 중국에 분포하며 보통 수고 15~20m, 흉고직경 1m까지 자란다(임업연, 1987). 우리나라의 재래종 밤나무는 밤나무계통(*Castanea crenata*) 14종과 약밤나무계통(*Castanea bungeana*) 5종으로 구분되며 고려시대부터 구황식량으로 식재를 권장한 기록이 있다(임업연구원, 2001). 밤생산량은 1970년대 중반이후 급속히 증가하여 1997년에는 약 13만톤에 달하기도 하였으나 최근에는 8~10만톤을 지속적으로 유지하고 있으며 이중 약 27%가 수출되고 있다. 2001년의 총생산량은 9만4천톤(생산액: 2,570억원)으로서 이 가운데 남부지역(전남, 경남)에서 60.9%가 생산되고 있는(산림청, 2002) 농산촌의 중요한 소득원이다. 그러나 근년 밤나무 집단조림지에는 밤나무혹벌, 밤바구미, 복숭아명나방 등 해충의 발생량이 계속 증가하여 종실 생산량에 영향을 미치고 있으며, 특히 밤나무혹벌 피해는 과거 내충성으로 분류되었던 밤나무 품종에서도 발생하기 시작하여 점차 확산되고 있는 실정이다.

밤나무혹벌(*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu)은 혹벌상과(Cynipoidea)에 속하며, 이 과에는 갈고리벌상과, 맵시벌상과, 호리벌상과, 줄벌상과 등 많은 포식기생자(parasitoids)가 포함되어 있다. 이와 같은 혹벌상과로부터 2차적으로 식식성(植食性)으로 진화한 것이 혹벌과(Cynipidae)이며, 혹벌과는 식물에 혹을 형성하고 유충이 혹의 조직속에서 생육하는 특수한 생활양식을 가지고 있다(Yasumatsu, 1951). 기주 수종의 대부분은 참나무류이며, 밤나무

혹별은 참나무류에 충영을 형성하는 혹별로부터 진화하여 밤나무속을 새로운 기주로 선택한 것으로 사료된다.

본 해충은 일본의 오카야마현 지방에서 1941년에 최초로 발생되었으며, 1951년 *Dryocosmus kuriphilus*로 기재되었다(Yasumatus, 1951). 이후 1948년 인접한 효고현, 히로시마현, 돗토리현으로 확산되었으며, 1962년 이후 일본 북단의 북해도에도 발생하게 되었다(館山 등, 1965). 일본 내의 발생원인으로는 중국의 河北省으로부터 밤나무혹별이 기생하고 있던 묘목의 반입에 의한 것으로 추정하고 있다. 이외에 1974년에는 미국의 조지아주에서도 밤나무혹별이 발생하여(Payne et al, 1975) 그 주변의 밤나무림으로 확산된 바 있다(Payne, 1978).

국내의 밤나무혹별 발생은 1959년 충북 제천군 송학면에서 최초로 확인되었고, 1964년 경기도 평택군과 경상북도 문경군 및 울진군을 연결하는 한계선 이북에 분포하다가 점차 경상남도, 전라남도로 확산되어 현재는 전 국토에 발생되었다(임업시험장, 1968). 국내의 발생원인은 중국으로부터 침입에 의한 것인지 국내 토착의 것이 확산되었는지는 확실하게 알 수 없으나 발생 및 확산시기로 미루어 일본으로부터 밤나무 묘목과 함께 국내로 유입되었을 가능성이 크다. 밤나무혹별은 정착 후 점차 분포지역을 확대하며, 밤나무 조림지에 심한 피해가 발생하므로 국내 외(한국과 일본)에서는 이에 대한 형태 및 생태, 천적의 종류에 관한 연구결과가 보고된 바 있다(福田 등, 1949; 日塔 등 1956; 野原, 1956; 安松, 1958; 田村, 1959, 1960a,b; Miyashita et al., 1965; Yasumatsu et.al.,1979; 趙 등, 1963; 朴 등, 1981). 그러나 국내에서 이루어진 연구는 일부지역에 국한하여 성충의 우화소장 및 산란, 유충 및 용의 발육 등, 생태적인 특성 일부가 구명되었을 뿐, 재래종 및 내충성 품종과 관련한 생태특성 및 생태형의 존재여부에 대한 검토는 전무한 실정이다.

따라서 생물적 방제에 필요한 기초자료를 제공할 목적으로 각 지역에 기

생하는 밤나무혹벌에 대한 형태적인 특성을 재 기재하였으며 성충의 우화소장, 산란특성, 유충의 발육과 생존율, 생활환 등을 구명하였다. 또한, 밤나무혹벌에 의한 임목피해와 관련하여 연차별 충영형성을 변동 및 피해율이 신초생장과 결실량에 미치는 영향을 조사하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 밤나무혹벌에 의한 피해실태

국내에 생육하는 재래종밤나무에 대한 밤나무혹벌의 피해정도를 조사하였고, 내충성 밤나무품종이 식재되어 있는 충청남도, 전라남도, 경상남도 지역에서 밤나무혹벌의 피해정도는 각 도별로 3개 시 군을 선정한 후 밤나무혹벌 발생목과 미발생목을 전수 조사하였다.

2. 내충성밤나무림의 연차별 피해율

연차별로 피해율 변동과정을 인지하기 위하여 경상남도 하동 북천1(2령급), 하동 북천2(1령급), 전라남도 광양 옥곡(3령급)지역의 3개소에 고정조사지를 선정하고, 연차별 밤나무혹벌의 충영형성을 변화추이를 조사하였으며, 인접지역으로의 피해확산 양상은 주요 도로변을 중심으로 달관조사하여 1/2,500도면에 표시하였다. 충영형성은 각 조사장소별로 5본의 공시목을 선택하여 수관 바깥쪽에 위치한 주신초(main shoot) 10개씩을 채취하였으며, 충영형성율(%)은 충영이 형성된 눈(bud)수를 전체조사 눈수로 나눈수의 백분율로 산출하였다.

3. 발육단계별 형태의 기재 및 유전적변이

가. 발육단계별 형태의 기재

경상남도 하동 북천의 내충성밤나무(筑波)와 충청남도 공주 및 강원도 춘천의 재래종 밤나무에 기생하는 밤나무혹벌의 알, 유충, 용을 경과시기별로 채집하여 형태적인 특징을 기재하였으며, 곤충사육병(플라스틱, Ø75×H84mm)에 조사 지역별로 수집한 충영을 넣고, 충영으로부터 이탈하는 성충을 채집하여 각 부위별 크기별 차이를 비교하였다.

나. 유전적변이

1) 공시 밤나무혹벌 채집지역

본 실험에 공시한 밤나무혹벌의 채집장소 및 품종은 Table 2-1과 같이 전라남도 광양, 나주, 경상남도 진주, 하동, 경상북도 경주, 강원도 춘천, 경기도 가평이었다.

Table 2-1. Collection records of *T. sinensis* and *D. kuriphilus*

Strain	Locality	Variety of <i>Castanea crenata</i>
A	Chonnam Gwangyang	Foreign
B	Kyongnam Hadong	Foreign
C	Kyongbuk Kyongju	Foreign
D	Kyongnam Jinju	Native
E	Chonnam Naju	Native
F	Kangwon Chunchon	Native
G	Kyonggi Gapyung	Native

2) Total DNA의 추출

밤나무혹벌의 용으로부터 Total DNA의 추출은 "Lifton" method of DNA

extraction (Haymer 등, 1992)를 변형하여 실시하였다. 즉, 용 5개체에 0.2ml의 homogenization buffer(100mM Tris, pH 9/ 50mM EDTA/ 0.5% SDS/ 0.2M sucrose)를 첨가하여 마쇄하고, 마쇄액 (0.2ml)에 4 μ l의 Protenase K(=40 μ g)를 첨가혼합하여 65 $^{\circ}$ C에서 10분간 처리한 후, 0.2ml의 2.4M K-acetate를 첨가 혼합 및 10,000rpm에서 5분간 원심에 의하여 상층액 0.35 ml을 얻었다. 상층액 중의 DNA는 2.5배 (0.875ml)의 99% ethanol 첨가 및 4 $^{\circ}$ C, 15,000rpm에서 10분간 원심에 의하여 침전시켰다. 침전상태의 DNA는 0.4ml의 TE buffer에 현탁하고, 동량(0.4ml)의 phenol-chloroform-isoamyl alcohol(25:24:1)를 첨가, 3분간 vortex 및 4 $^{\circ}$ C, 8,000rpm에서 5분간 원심에 의하여 유기용매용 성분을 제거하였으며, 1/10vol.의 3M Na-acetate (pH 5.2)와 0.75ml(2.5배 vol.)의 ethanol을 첨가, -70 $^{\circ}$ C에서 30~60분간 정치 및 4 $^{\circ}$ C, 15,000rpm에서 10분간 원심에 의하여 Total DNA를 침전시켰으며, 50 μ l TE buffer에 현탁하여 각 실험에 사용하였다. 한편 RNase 처리는 일반적인 방법으로 실시하였다. 즉, 50ul Total DNA에 1 μ l RNase A (Boehringer Mannheim) 1 μ g을 첨가하여 37 $^{\circ}$ C, 30분간 처리한 후 동량(50 μ l)의 phenol-chloroform-isoamylalcohol(25:24:1)를 첨가, 3분간 vortex 및 4 $^{\circ}$ C, 8,000rpm에서 5분간 원심에 의하여 상층액을 회수하였으며, 상층액(40 μ l)에 4 μ l(1/10vol.)의 3M Na-acetate(pH 5.2)와 0.1ml(2.5배 vol.)의 ethanol을 첨가하여 -70 $^{\circ}$ C에서 30~60분간 정치 및 4 $^{\circ}$ C, 15,000rpm에서 10분간 원심에 의하여 Total DNA를 침전시켰으며, TE 50 μ l에 현탁하여 각 실험 (RAPD)에 사용하였다.

가) PCR (Polymerase chain reaction) 조건 확립

밤나무혹벌의 유전적 변이 분석을 위한 RAPD (Random amplified polymorphic DNAs)를 실시하기에 앞서, 최적의 PCR 조건확립에 필요한 기

생자의 수에 따른 PCR 증폭산물의 비교, RNase 처리가 PCR에 미치는 영향, DNA의 농도가 PCR에 미치는 영향 및 Random Primer의 농도가 PCR에 미치는 영향 등에 관하여 분석하였다. 단, PCR 반응은 Minicycler (MJ research)를 사용하였으며, PCR cycling의 조건은 3min at 94°C, 1min at 94°C ~ 1min at 35°C ~ 1min at 72°C (43cycles), 5min at 72°C였다. PCR 증폭산물의 분석은 Mupid21 (COSMO BIO CO.)를 사용하여 1.5% agarose gel (TBE buffer)에서 50V, 30~60분간 전기영동에 의하여 분석하였다.

나) RAPD (Random amplified polymorphic DNAs)

밤나무혹벌 유전적 변이 분석을 위한 RAPD (Random amplified polymorphic DNAs)는 기 실험에서 확립한 조건에 따라 실시하였다. 즉, 앞서 언급한 바와 같이 "Lifton" method of DNA extraction 및 RNase 처리에 의하여 5마리의 용으로부터 얻은 total DNA 50 μ l 중 2 μ l를 PCR 반응액 (25 μ l)에 첨가하였으며, 반응액 중의 Primer (OPERON Tech. KIT B, OPB-07)의 농도는 10pM 이었다. PCR 반응액의 조성은 다음과 같다.

< PCR mixture (25 μ l/1 reaction) condition >

Total DNA	2.0 μ l
10x Taq pol. buffer	2.5 μ l
25 mM MgCl ₂ stock	2.5 μ l
10 mM stock dNTP	1.0 μ l
125 pM decamer primer (OPERON Tech. KIT B)	2.0 μ l
5 unit / μ l Taq pol. (Promega Co)	0.3 μ l
dd water	14.7 μ l

한편, RAPD에 사용한 Random Primer (OPERON Tech. KIT B) 10-mer

oligonucleotide의 염기서열은 Table 2-2에 표시한 바와 같다.

Table 2-2. Sequences of RAPD Primers (OPERON Tech. KIT B)

Primer No.	5' - 3' sequences
OPB-01	GTTTCGCTCC
03	CATCCCCCTG
04	GGACTGGAGT
06	TGCTCTGCC
07	GGTGACGCAG

4. 밤나무혹벌의 생태특성, 피해해석

가. 시험지 개황

밤나무혹벌의 생태적인 특성과 피해해석을 위하여 선정된 시험지의 개황은 Table 2-3, Figure 2-1과 같다. 강원도 춘천과 충청남도 공주지역은 내충성 품종에 피해가 발생되지 않은 곳으로서 주로 재래종에, 경상남도 하동과 광양지역은 재래종과 내충성 품종에 기생하는 밤나무혹벌의 생태적 차이를 조사하였다. 경상남도 하동군 북천 2지역에서는 밤나무혹벌에 의한 피해 정도를 해석하였다.

춘천과 공주지역에 식재된 재래종은 1960년대 이후 지속적으로 밤나무혹벌의 피해를 받은 감수성 품종으로서 방치되어 있으며, 하동 및 광양 등 남부지방에는 내충성 품종으로 혼재되어 있으나 그 가운데 축파가 풍산성으로 수세가 왕성하여 비교적 많이 재배되고 있다(임업연구원, 2001). 시험지 선정 당시 5지역의 밤나무혹벌 피해율은 40%~50%내외이었고, 하동과 광양

지역은 피해가 발생된지 몇 년 경과하지 않았으며, 천적기생율은 6.2%~9.7%로서 춘천과 공주지역에 비해 현저히 낮았다. 각 시험지별 최근 5년간(1997~2001)의 평균기온과 강수량은 춘천 11.3℃와 1,346.6mm, 공주(대전 관측소) 12.9℃와 1,565.5mm, 광양과 하동지역(진주 관측소) 13.5℃와 1,635.1mm 이었으며, 특히 하동과 광양지역에 있어서 밤나무혹벌 성충이 우화하는 시기(6월하순~7월상순)의 평균 풍속은 2.07m/sec, 최다풍향은 NNE(약 20°/360°)이었다(기상청, 2002).

Table 2-3. General description of the experimental stands

Location	Varieties	Aspect	Slope (degree)	Stand age (yrs)	% of Gall formation	% of Parasitism
Chunchon Dong-myeon	native	SW	10~15	30~40	53.5	25.8
Gongju Banpo	native	SE	10~15	20~30	39.2	32.7
Hadong Bukchon 1	Tsukuba	NE	10~15	17~25	41.5	8.3
Hadong Bukchon 2	Tsukuba	W	15~20	10~15	42.4	6.2
Gwangyang Okgok	Tsukuba	SW	15~20	20~25	54.6	9.7

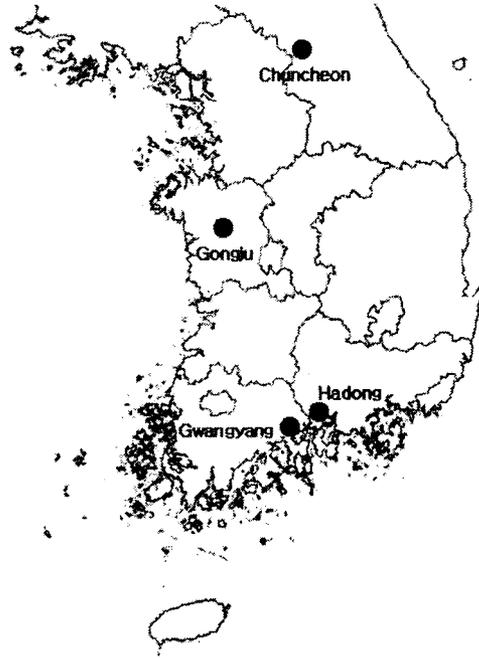


Figure 2-1. Location of study sites

나. 밤나무혹벌의 생태특성

1) 성충의 우화소장

각 지역의 시험지에서 밤나무혹벌 충영을 6월 중순부터 7일 간격으로 100 개체씩 채취하여 곤충사육병(플라스틱:Ø75×H84mm)에 넣고 매일 2시간 간격으로 충영으로부터 탈출하는 성충의 개체수를 조사하였다.

2) 내충성 검정

가) 밤나무 조림지 내의 품종별 산란 선호성

전국적으로 많이 보급된 밤나무 품종별 내충성을 검토하기 위하여 기주별 산란선호성을 비교 분석하였다. 8월 하순에 광양시험지에서 재배되고 있는 10품종(筑波, 有磨, 伊吹, 石鎚, 銀寄, 平寄, 玉光, 丹澤, 多鴨, 在來種)에서 남향부위의 10신초(결과모지)를 채취하였다. 품종별로 채집된 신초는 3등분(하부, 중부, 상부)하고 실체현미경하에서 동아(winter bud)를 절개하여 산란율(피산란동아수/조사동아수×100)과 동아당 평균산란수(전체산란수/피산란동아수)를 조사하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 먼저 산란동아의 분포, 산란한 난의 밀도분포 등에 대하여 이중분산분석(Two way ANOVA)을 실시하였다. 분산분석 결과 그룹들 간의 차이가 있는 것으로 나타나는 경우 Tukey's HSD 다중비교분석을 실시하여 그룹들간의 동질성을 비교하였다. 통계분석은 STATISTICA (StatSoft, 2001)을 이용하였다.

나) 풋트이식 품종별 산란선호성

밤나무혹벌 성충을 인공적으로 접종한 후 산란특성을 조사하였다. 풋트이식 품종은 9품종(筑波, 有磨, 伊吹, 石鎚, 銀寄, 平寄, 玉光, 丹澤, 多鴨)으로 60cm~90cm 크기의 유묘를 포트(Ø30cm×H30cm)에 심어 육성하고, 7월중에 남부지역 내충성품종에 기생한 밤나무혹벌 성충을 품종별로 신초당 3마리씩 접종하여 산란을 유도하였다. 8월중에 가지의 동아를 절개하여 산란된 동아와 건전동아수를 조사하였으며, 산란율을 산출하였고, 이듬해 5월에 각 품종별 충영형성율을 비교 조사하였다.

다) 유충의 발육과 충영의 크기변화

유충의 발육과정은 월동직전인 10월부터 익년 6월까지 1개월 간격으로 동
아내 유충의 체장변화를 충영의 크기와 관련하여 측정하였으며, 충영내의
개체수 변화를 조사하였다. 충영의 채집은 경남 하동지역의 축파재배지와
야산의 재래종에서 고정조사목을 3그루씩 선정하고, 각 조사목에서 임의로
50충영을 채집하였다. 채집충영의 크기 $\{(\text{장경}+\text{단경})/2\}$ 는 캘리퍼스를 이용하
여 측정하였으며, 이 가운데 30충영을 절개하여 충방내부에서 성장하는 밤
나무혹벌의 유충크기를 영상분석장치(Image-Pro Plus:Version 3.0)를 이용
하여 측정하였다.

라) 부화율, 유충사망율, 충영이탈율과 생활경과표 작성

하동 북천-2 시험지의 내충성 품종과 재래종의 충태별 사망률을 비교하였
다. 筑波와 재래종에서 9월중순에 100개의 동아를 채취하여 절개하고, 실제
현미경하에서 부화한 유충수와 미부화한 난수를 검경하여 난폐사율 $\{(\text{미부화}$
 $\text{난수}/(\text{부화유충수}+\text{미부화난수})\times 100\}$ 을 산출하였다. 그 후, 월동기간인 2월
과 월동후인 5월의 충영당 재충수를 조사하여 유충폐사율 $\{2\text{월}: (\text{충영당부화}$
 $\text{유충수}-2\text{월충영당재충수})/\text{충영당부화유충수}\times 100\}$, 5월: $\{(2\text{월 충영당재충수}$
 $-5\text{월충영당재충수})/2\text{월충영당재충수}\times 100\}$ 을 구하였으며, 우화가 완료된 시
기에는 충영을 절개하여 충영내에서 탈출하지 못한 성충의 비율 $\{100\text{충영당}$
 $\text{미탈출 성충수}/100\text{충영당 성충우화수}\times 100\}$ 을 조사하였다. 위 항에서 조사한
결과를 기초로 남부지방에서의 밤나무혹벌 생활 경과표를 작성하였다.

다. 밤나무혹벌 피해가 밤나무 신초생장 및 결실량에 미치는 영향

밤나무혹벌의 피해정도와 관련하여 신초의 생장량과 결실율을 분석하여

피해허용수준을 결정하고 밤나무혹벌 밀도관리의 기초자료를 제공하기 위하여 광양과 하동지역에서 3시험지를 선정하여 조사하였다. 밤의 결실량과 결실에 영향을 미치는 가지의 생장은 품종이나 수령에 따라 다르기 때문에 보다 명확한 결과를 도출하기 위하여 비교적 많이 식재되어 있고, 농가의 선호도가 높은 측과 단일품종으로 하였다.령급은 밤수확이 가능한 수령을 고려하여 3수준으로 구분하였다. 조사목은 수령이 20년 이상이면 밤나무의 노후화가 이루어지는 점을 감안하여 제 1수준은 6년생, 제 2수준은 13년생, 제 3수준은 21년생 수목을 선정하였다.

피해율은 조사 이전년도의 피해에 따른 결과모지 성장량을 예비조사하여 10%이하, 11~30%, 31~50%, 51~70%, 70%이상으로 기준을 정하였다. 신초성장량 및 착과율은 결과모지가 수관내부에서는 거의 발생되지 않기 때문에(임업연구원, 2001), 태양광선을 잘 받는 외부가지에서 령급별, 피해수준별로 약 50개의 결과모지를 대상으로 조사하였으며 수관부위별 피해율의 차이는 크지 않으나(趙, 1963), 방위와 수관고도 고려하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 밤나무혹벌의 피해실태

1999년 추기(9~10월)에 전국적으로 밤나무혹벌에 의한 밤나무의 피해실태를 조사하였다. 전국에 식재되어 있는 대부분의 재래종밤나무에 밤나무혹벌이 발생하고 있었으며, 지역에 따라 피해 받는 양상이 다소 차이가 있고, 고사목도 관찰되었다. 그러나 내충성 밤나무의 경우는 일부지방에 한정하여 발생하고 있었다.

밤나무혹벌이 1959년 충청북도 제천에서 발생한 후 전국으로 확산되어(임업시험장, 1968), 지역별 개체군밀도의 증감현상이 반복적으로 나타나고 있으며, 최근에는 본 종의 개체군이 증가하고 있는 시점으로 판단되었다.

특히 내충성 밤나무가 식재된 남부지방에서 개체군밀도의 증가와 분포확대를 고려하면 이미 본 종은 3~4년 전부터 이 지역에 발생하기 시작한 것으로 생각된다. 현재 밤나무혹벌이 발생하여 피해가 심한 지역은 전라남도 광양과 경상남도 하동, 진주와 산청 등 일부지역에 한정되었으며, 그 외 지역은 피해가 미약하거나 발생하지 않았다.

이에 내충성 밤나무 조림지의 피해실태를 자세히 파악하기 위하여 경상남도, 전라남도, 충청남도 지역의 내충성 밤나무 조림지를 선정하여 피해목을 전수 조사하였다. 그 결과는 Table 2-4와 같이, 충청남도 조사지역에서는 부여지방의 피해발생 본수율이 1.3%이었으며, 전라남도 조사지역은 2.1~66.7%로 광양지방이 높았고, 경상남도 조사지역은 17.6~60.6%로 하동 지방이 높았다.

전라남도 광양과 경상남도 하동 지역에 있어서 수령별 피해율은 Table

2-5와 같이 밤 수확량이 증가하기 시작하는 11~20년생 임분에서 피해율이 73.5%로 매우 높았으며, 10년생 이하에서는 40.7%로 유령목에서 상대적으로 피해가 낮게 나타났다.

Table 2-4. Damag rate(%) by *D. kuriphilus* according to main culture areas

Province	City and county	No. cultured tree*	No. damaged tree*	Rate(%) of damage
Chungnam	Gongju	1,352	-	-
	Buyeo	917	12	1.3
	Chongyang	280	-	-
	Total	2,898	12	0.4
Chonnam	Gwangyang	1,726	1,134	66.7
	Sunchon	1,158	24	2.1
	Gurye	795	95	11.9
	Total	3,703	1,253	33.8
Kyongnam	Hadong	1,990	1,206	60.6
	Hapchon	1,310	231	17.6
	Sanchong	649	150	23.1
	Total	7,171	2,015	28.1

* Unit: thousand

Chestnut tree: Tsukuba and Tanzawa

Table 2-5. Damage rate(%) by *D. kuriphilus* according to age of chestnut tree

Age of tree	No. cultured tree*	No. damaged tree*	Rate(%) of damage
less than 10	605	246	40.7
11~20	1,964	1,443	73.5
more than 20	1,147	651	56.8

* Unit: thousand

Chestnut tree: Tsukuba and Tanzawa

2. 연차별 밤나무혹벌의 밀도변동

1999년의 전국적인 밤나무혹벌 피해실태조사를 기초로 내충성 품종인 축파를 공시하여 하동 북천 사평리(1), 하동 북천 방화리(2), 광양 옥곡 수평리의 3개 고정조사지에서 연차별 밤나무혹벌의 충영형성을 변화추이를 조사한 결과는 Figure 2-2와 같다. 하동 북천 1, 2는 조사지 선정 당시인 1999년의 피해율 41.5%와 42.4%에서 연차별로 지속적으로 피해율이 증가하여 3년후인 2002년에는 62.0%와 72.4%에 달하였다. 광양 옥곡은 1999년의 피해율이 54.6%로 높았으나 연차별 변동폭이 크지 않았고, 2001년에는 2년 전과 비슷한 51.96%이었으며, 2002년도에 밤나무혹벌 피해의 누적적인 피해와 결과수령이 경과하여 별채하였다.

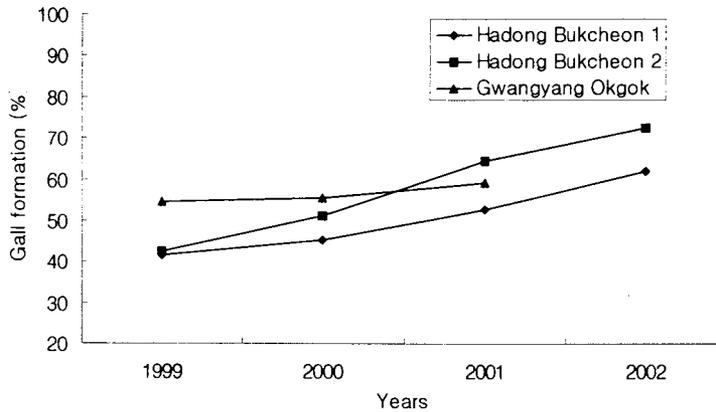


Figure 2-2. Annual changes of gall formation rate

Figure 2-3은 밤나무혹벌이 최초 발생한 지점으로부터 인접지역 밤나무조림지로 피해가 확산되는 양상을 주요 도로변을 중심으로 조사하여 도면화한 것이다. 1997년도에는 하동과 광양 일부지역에 발생하였으나 연차적으로 점점 주풍방향인 북 동쪽으로 확산되어 2001년도에는 하동, 광양, 산청의 대부분 지역과 구례, 진주, 함양, 합천의 일부지역까지 확산되었다. 1998년과 1999년도에 약 40km가 주풍방향으로 확산되었으며, 2000년과 2001년도에는 약 20km로 연도별 확산정도는 다소차이가 나타났다. 또한 밤나무혹벌의 피해가 점차 북 동쪽의 산악지대로 확산되면서 2002년도에는 크게 둔화되었으며, 남서방향으로는 거의 확산되지 않는 양상을 보이고 있다. 이는 1997년과 1998년도의 밤나무혹벌 성충우화시기에 풍속이 2.56m/sec와 2.75m/sec, 1999년과 2000년도의 풍속은 1.61m/sec와 1.66m/sec으로 다른데 원인이 있는 것으로 본 종의 확산은 풍속과 밀접한 관련 있는 것으로 판단되었다. 배제고(1962)는 본 해충은 바람의 방향과 풍속 및 산맥의 위치에 따라 전파되고, 日塔과 立花(1956)는 주풍방향으로 40~48km로 확대된다고 보고하였다.

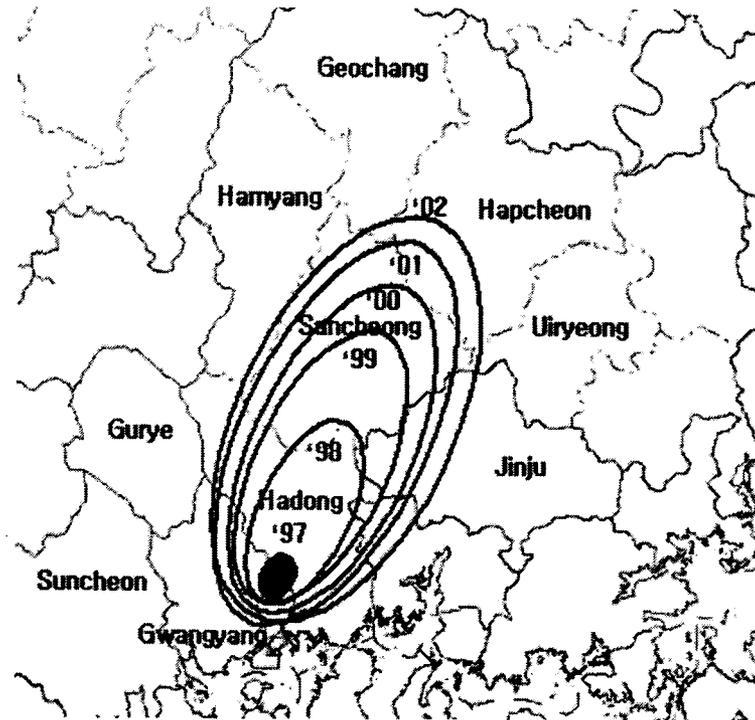


Figure 2-3. Spread pattern of *D. kuriphilus* on resistant chestnut varieties in the southern province of Korea

3. 발육단계별 형태의 기재 및 유전적변이

가. 발육단계별 형태의 기재

밤나무혹벌의 알, 유충, 용의 형태적 특징을 조사하였으며(Figure 2-4), 경

상남도 하동의 내충성 밤나무(축파)와 충청남도 공주 및 강원도 춘천지방에서 채집한 성충의 외부형태를 조사, 비교하였다(Figure 2-4, Table 2-6).

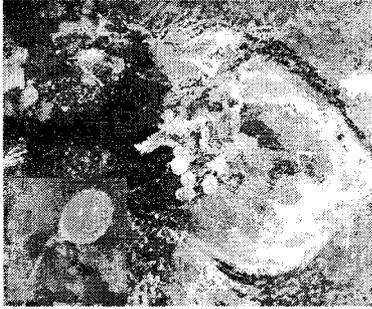
밤나무혹벌의 알은 장경 0.14mm~0.16mm, 단경 0.10mm~0.11mm이며, 유백색으로서 0.40mm~0.55mm의 알자루를 가지고 있다. 부화직후의 유충은 원형으로 직경 0.16mm내외이며, 투명하나 1개월이 지나면 채색이 되면서 동아속에 충방을 형성하기 시작한다. 노숙함에 따라 차차 머리에서 꼬리쪽으로 가늘어지며, 몸은 12마디이고, 입은 적갈색을 띤다. 용의 체장은 약 2.43mm이며, 처음에는 유백색을 띠나 우화시기가 가까워질수록 흑갈색을 띤다.

하동지역의 내충성 품종인 축파에 기생된 밤나무혹벌 성충의 체장 2.36 ± 0.03 mm, 두폭 0.69 ± 0.02 mm, 앞날개 길이 2.30 ± 0.08 mm로서 공주 및 춘천지역의 개체와 크기의 차이를 보이지 않아 Lee(1979)와 박 등(1981)이 저항성이 강한 품종에 기생하는 것은 저항성이 약한 품종에 기생하는 것보다 더 작다고 한 결과와는 차이가 있었다.

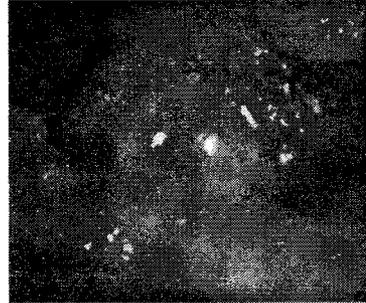
Table 2-6. Comparison of morphological size of *D. kuriphilus* between resistant and susceptible chestnut varieties in different province

Part	Hadong ^{*1}	Hadong ^{*2}	Gongju ^{*2}	Chunchon ^{*2}
Body length(mm)	2.36 ± 0.03	2.39 ± 0.20	2.34 ± 0.16	2.36 ± 0.08
Head width(mm)	0.69 ± 0.02	0.71 ± 0.05	0.68 ± 0.15	0.70 ± 0.15
Fore wing length(mm)	2.30 ± 0.08	2.31 ± 0.14	2.29 ± 0.04	2.28 ± 0.21

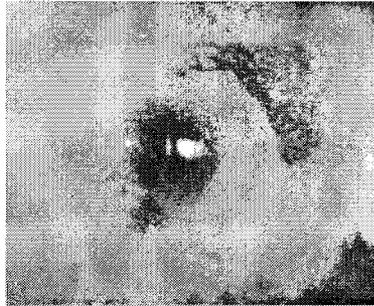
*1 Resistant(TSUKUBA), *2 Susceptible



Egg(Jul. 2001)



Larva-1(Aug. 2001)



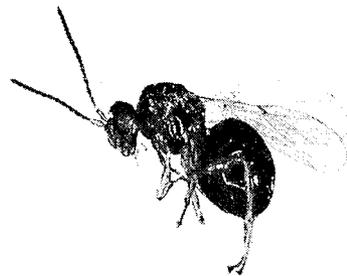
Larva-2(Sep. 2001)



Larva-3(May. 2002)



Pupa(Jun. 2002)



Adult(Jul. 2002)

Figure 2-4. Various stages of *D. kuriphilus*

나. 지역별 밤나무혹벌의 유전적변이

1) 각 요인이 PCR에 미치는 영향

가) DNA 농도가 PCR에 미치는 영향

“Lifton’ method of DNA extraction 및 RNase 처리에 의하여 얻은 Total DNA를 PCR 반응액(25 μ l)에 각각 1, 2, 3, 4 μ l를 첨가하여 PCR을 실시 (Random Primer : OPERON Tech. Kit B, OPB-07)한 결과 2 μ l의 DNA를 첨가하였을 때가 PCR 증폭산물의 농도가 가장 높았으며, 4 μ l에서는 증폭산물을 검출할 수 없었다(자료생략). 따라서 본 연구에서는 1~2 μ l의 total DNA를 RAPD 분석에 이용하였다.

나) RNase 처리가 PCR에 미치는 영향

Total DNA 및 Random Primer(OPERON Tech. Kit B, OPB-07)를 사용하여 RAPD를 실시하고, 1.5% agarose gel(TBE buffer)에서 50V 30분간 전기영동에 의해 분석한 결과 Total DNA를 RNase로 처리하였을 경우(Figure 2-4, lane3)가 처리하지 않았을 경우(fig. 1, lane4)보다 증폭산물의 농도가 높았다. 따라서, 본 연구에서는 Total DNA를 RNase A로 처리한 DNA 시료를 RAPD에 이용하였다.

다) 기생자의 수에 따른 PCR 증폭산물의 비교

밤나무혹벌 유충 2, 3, 4, 5 마리로부터, 언급한 바와 같은 방법으로 각각의 Total DNA를 추출한 다음, 동량(1 μ l)의 DNA 및 Primer(OPERON Tech. Kit B, OPB-07)를 사용하여 RAPD를 실시하고, 1.5% agarose gel(TBE buffer)에서 50V 30분간 전기영동에 의해 분석한 결과, 각기 다른

수의 유충으로부터 추출한 Total DNA간의 PCR 증폭산물(Figure 2-4, 2마리 lane 5, 3마리 lane 6, 4마리 lane 7, 5마리 lane 8)의 차이는 인정되지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 3~5마리로부터 추출한 DNA를 사용하였다.

라) Random Primer의 농도가 PCR에 미치는 영향

PCR시 최적의 Random Primer의 농도를 구명하기 위하여 PCR 반응액 중의 Random Primer(OPERON Tech. Kit B, OPB-07)의 농도가 각각 5, 10, 15 pM로 조정된 다음 PCR을 실시하고, 그 결과를 .5% agarose gel(TBE buffer)에서 50V 30분간 전기영동에 의해 분석한 결과, Figure 2-5의 lane 9(5pM), lane 10(10pM), lane 11(15pM)에서 보는 바와 같이 Random Primer가 10pM일 때 증폭산물의 농도가 가장 높았다. 따라서, 본 연구의 RAPD에서는 Random Primer의 농도를 10pM로 사용하였다

lane 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

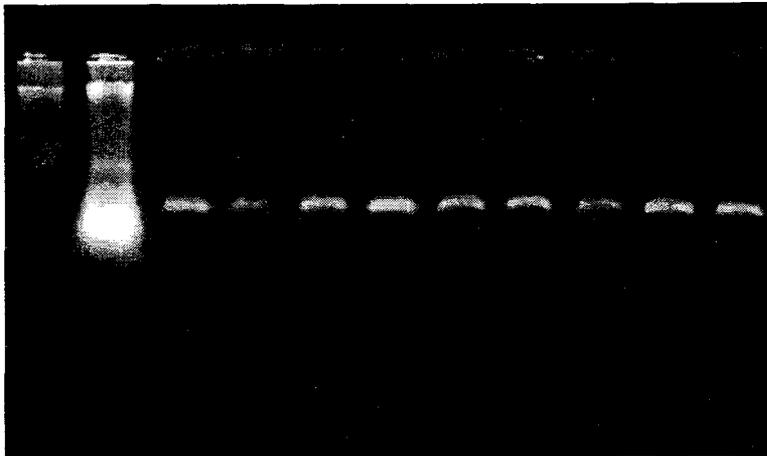


Figure 2-5. Effects of RNsae, numbers of larvae and concentration of Random Primer on PCR

- lane 1 : Treated total DNA with RNase.
- lane 2 : Non treated total DNA with RNase.
- lane 3 : PCR product from treated total DNA with RNase.
- lane 4 : PCR product from Non treated total DNA with RNase.
- lane 5 : PCR product from purification total DNA from 2 larvae.
- lane 6 : PCR product from purification total DNA from 3 larvae.
- lane 7 : PCR product from purification total DNA from 4 larvae.
- lane 8 : PCR product from purification total DNA from 5 larvae.
- lane 9 : PCR product using by 5pM Random Primer.
- lane 10 : PCR product using by 10pM Random Primer.
- lane 11 : PCR product using by 15pM Random Primer.

2) 밤나무혹벌의 RAPD에 의한 유전자변이분석

Random Primer OPB-01부터 순차적으로 RAPD를 실시한 후, 그 결과를 Mupid 21(COSMO BIO CO.)을 사용하여 1.5% agarose gel(TBE buffer)에서 50V 30분간 전기영동에 의해 분석한 결과, Figure 2-6, 7, 8, 9, 10에서 보는 바와 같이 지역별 및 밤나무 품종별 모든 공시주간의 RAPD에 차이가 없었다. 즉, 중국긴꼬리좀벌 분리주의 RAPD 결과와 마찬가지로 공시한 primer에 의한 RAPD 분석결과로는 모든 밤나무혹벌 분리주간의 유전적 변이를 발견할 수 없었다.

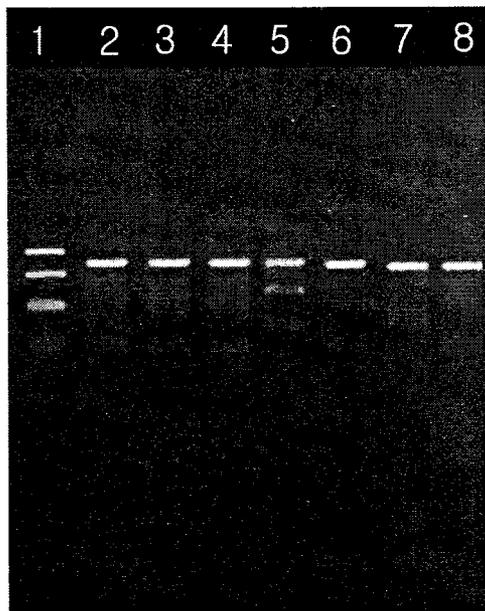


Figure 2-6. RAPD analysis using by separated by Operon Random Primer Kit B No. 1. Lane 2 to 8 represent the PCR products from Larvae of *D. kuriphilus* Lane 2. Michon Jinju Kyongnam(resistant), Lane 3. Hwajong Bukcheon Chonnam(resistant), Lane 4. Banghwa Bukchon Chonnam(resistant), Lane 5. Gongju Chungnam(native), Lane 6. Chonnam(native), Lane 7. Dongmyon Chunchon Kangwon(native), Lane 8. Gapyung Kyonggi(native). The tasted were treated with 50V on 1.5% agarose gel electrophoresis for 30 minutes

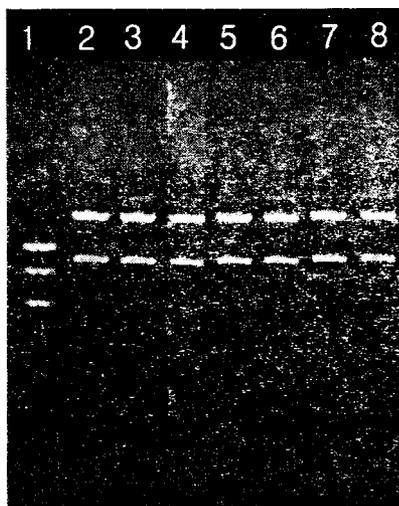


Figure 2-7. RAPD analysis using by separated by Operon Random Primer Kit B No. 3. Lane See figure 2-6

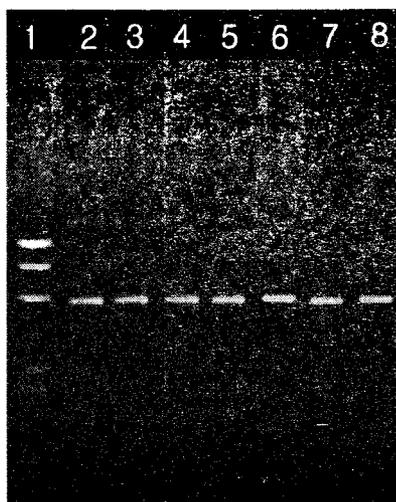


Figure 2-8. RAPD analysis using by separated by Operon Random Primer Kit B No. 4. Lane See figure 2-6

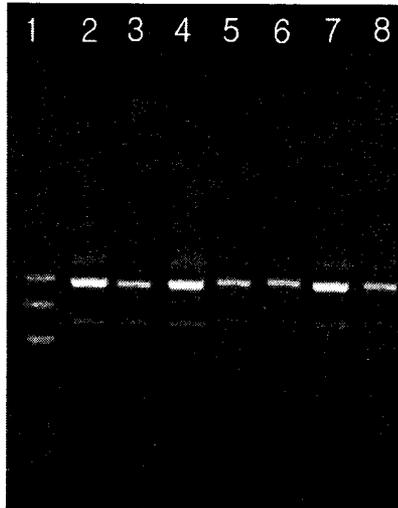


Figure 2-9. RAPD analysis using by separated by Operon Random Primer Kit B No. 6. Lane See figure 2-6

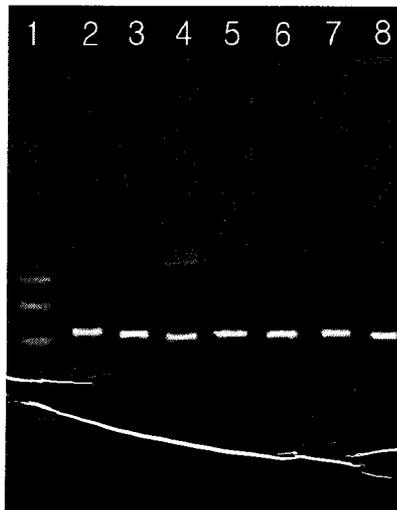


Figure 2-10. RAPD analysis using by separated by Operon Random Primer Kit B No. 7. Lane See figure 2-6

4. 밤나무혹벌의 생태특성, 피해해석

가. 생태학적 특성

경상남도 하동 북천의 저항성품종(筑波)과 하동, 공주, 춘천지역의 재래종에 기생된 밤나무혹벌을 대상으로 성충의 우화와 산란특성, 부화와 유충의 발육, 충태별 폐사율 등을 조사하였다.

1) 우화소장

각 시험지별로 6월부터 밤나무혹벌 충영을 채취하여 곤충사육병(플라스틱, $\text{Ø}75 \times \text{H}84\text{mm}$)에 넣고 매일 우화개체수를 조사한 결과는 Figure 2-11과 같다. 하동과 공주지역에서 내충성 및 재래종 밤나무에 기생한 밤나무혹벌은 6월 20일에 우화하기 시작하여 7월 15일에 종료하였으며, 최성기는 7월 5일로 유사한 패턴이었다. 그러나 내충성 밤나무의 충영으로부터 우화최성기까지 누적우화율이 50.6%인데 비하여, 재래종밤나무의 경우는 65.7%로 높게 나타났다. 춘천지역은 6월 25일에 우화하기 시작하여 7월 15일에 종료하였으며, 최성기는 7월 10일이었다. 우화초기는 개체수가 점차 완만하게 증가하는 추세를 보이다 최성기 이후 급격히 감소하였다.

朴 등(1981)은 내충성 품종에 기생하는 밤나무혹벌은 재래종에 기생하는 것에 비하여 우화최성기가 빠르다고 보고한 바 있으나, 본 조사에서는 기주 특성에 따른 우화 패턴의 차이는 나타나지 않았다. 田村(1960a,b)는 밤나무혹벌 성충우화시기는 충영의 크기와 숙기의 빠르고, 늦음 즉, 품종과는 무관하다고 하였고, 지역에 따른 차이를 보고한 바 있다. 본 조사에서도 지역에 따른 차이가 나타나 이는 기후적인 요인에 의한 것으로 판단된다.

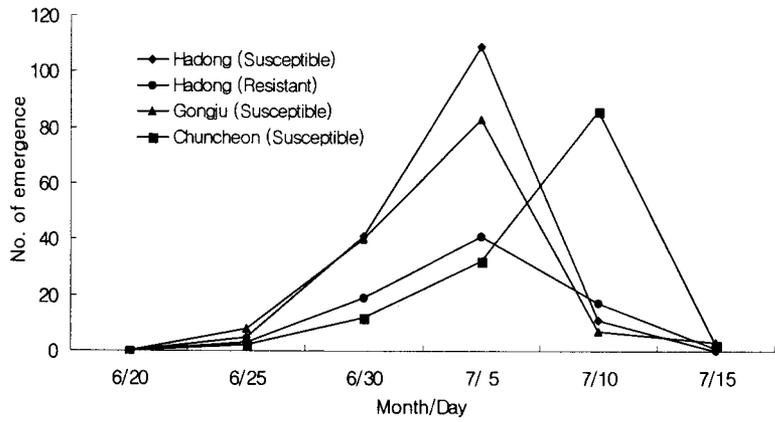


Figure 2-11. Comparison of adult emergence of *D. kuriphilus* in different province

한편 1일중 우화패턴을 조사한 결과는 Figure 2-12와 같이 오전 10시부터 오후 4시까지 대부분의 성충이 우화하고 최다 출현시각은 12시부터 14시 사이이었으며 이 시간에 약 60%가 우화하였다.

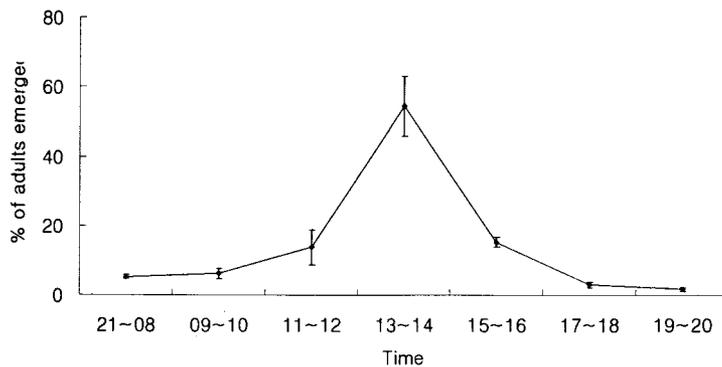


Figure 2-12. Daily rhythm of adult emergence in *D. kuriphilus* under field condition(Hadong, Tsukukba)

2) 산란 선호성

가) 밤나무조림지내에서의 품종별 산란특성

각 기주별 밤나무혹벌의 산란특성을 조사하기 위하여 전라남도 광양시협지에 식재된 10품종의 신초(결과모지)을 채취하여 산란특성을 조사하여 분석하였다(STATISTICA :StatSoft, 2001). 품종간 가지부위별 산란비교 및 동아당 산란수 등에 대하여 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과, 이들 모두 품종간 및 산란부위간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 각 품종간 유사성을 비교하기 위하여 Tukey's HSD 다중비교분석을 실시하였으며, 각 품종의 부위별 처리를 비교하기 위하여 95%유의수준 구간(Vertical bars denote 0.95 confidence intervals)을 표시하여 비교하였다.

· 품종별로 가지당 평균산란율을 비교한 결과는 Figure 2-12과 같이 多鵬과 石鎚가 가장 낮았으며, 재래종이 가장 높았다. 이외의 품종 대부분은 유사하였다.

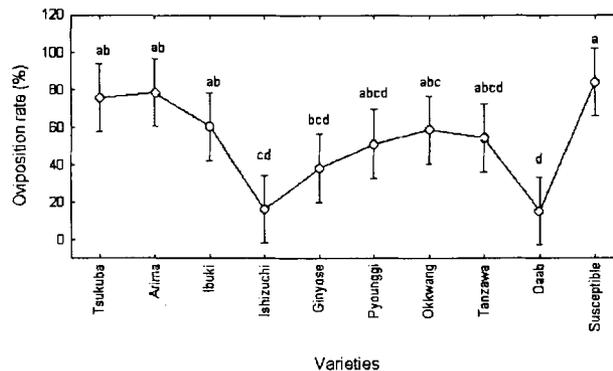


Figure 2-13. Rate of oviposited winter bud by *D. kuriphilus* of some chestnut varieties.

가지부위별 산란동아수를 비교한 결과는 Figure 2-14과 같이 조사한 품종 가운데 伊吹와 銀寄는 산란동아수가 가지의 중간부위에 많았으나 부위별로 유의차는 없었고, 그 외의 품종은 산란동아수가 가지 상 부위보다는 하 부위에 유의적으로 많았다. 加藤(2000)는 밤나무혹벌은 동아의 크기가 비교적 크고 건중량이 2mg이상의 동아를 주로 선택하여 산란하기 때문에 가지 하 부위의 눈에 산란빈도가 높다고 하였다. 한편 품종간 유사성에 대하여 부위별로 비교결과(Table 2-7), 하 부위에 분포하는 평균 산란 동아수는 多鴨, 石鎚, 銀寄가 낮고, 玉光, 筑波, 有磨이 높았으며 玉光과 多鴨은 현저한 차이가 나타났다. 중부의 경우는 품종간 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며, 상부의 산란 동아수는 石鎚, 平寄, 多鴨이 낮고 有磨가 높았으며 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

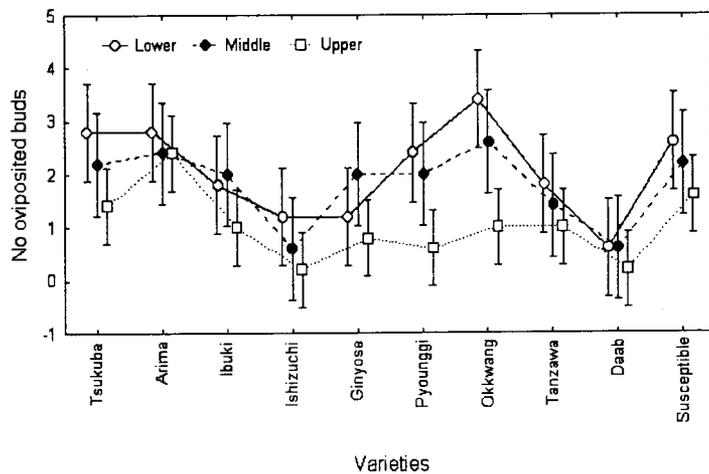


Figure 2-14. Number of eggs oviposited by *D. kuriphilus* on winter bud of shoot parts in some chestnut varieties.

Table 2-7. Comparison in oviposition of *D. kuriphilus* on winter bud of some chestnut varieties by Turkey's HSD analysis

Varieties	Lower	Middle	Upper
Tsukuba	ab	a	ab
Arima	abc	a	b
Ibuki	abc	a	ab
Ishizuchi	bc	a	a
Ginyose	bc	a	ab
Pyounggi	abc	a	a
Okkwang	a	a	ab
Tanzawa	abc	a	ab
Daap	bc	a	a
Susceptible	abc	a	ab

밤나무품종 및 가지부위에 따른 산란수의 차이를 조사한 결과는 Figure 2-15와 같다. 품종별 산란난수는 石鎚 및 多鴨에서 낮았으며 축파와 재래종에서 높았다. 또한 筑波, 平寄, 玉光, 및 在來種에서 가지 상 부위의 산란수가 낮았고, 하부에서 높았으나 그 외의 품종에서는 산란부위별 차이가 없는 것을 보여주고 있다. 한편 품종간 유사성을 검토한 결과 Table 2-8과 같이 하 부위에서 筑波와 多鴨, 중 부위에서는 石鎚, 多鴨과 在來種이 서로 구별되는 것으로 나타났고, 상 부위에서는 품종간 산란수의 차이는 없는 것으로 나타났다.

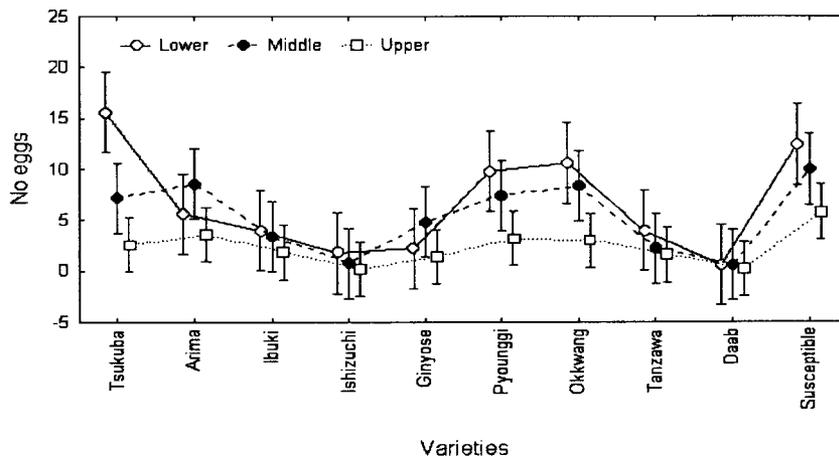


Figure 2-15. Distribution of egg oviposited by *D. kuriphilus* on shoot of some chestnut varieties.

Table 2-8. Comparison in number of egg oviposited by *D. kuriphilus* on shoot parts of some chestnut varieties by Tukey's HSD analysis

Varieties	Lower	Middle	Upper
Tsukuba	a	ab	a
Arima	bcd	ab	a
Ibuki	bcd	ab	a
Ishizuchi	cd	b	a
Ginyose	cd	ab	a
Pyounggi	abcd	ab	a
Okkwang	abcd	ab	a
Tanzawa	bcd	ab	a
Daap	d	b	a
Susceptible	ab	a	a

동아당 산란수를 조사한 결과는 Figure 2-16과 같이 품종간 차이가 나타났으며 石鎚 및 多鴨이 낮았다. 동아당 산란수의 부위별 유사성은 Table 2-9와 같이 가지 부위별로 石鎚 및 多鴨이 그의 품종과 구별되었다. 대부분의 품종에서 산란동아당 1개 이상의 산란난이 산란되어 다중산란되는 것을 보여주고 있다. 이상의 결과와 같이 산란동아수, 가지부위별 산란수, 동아당 산란수는 石鎚 및 多鴨에서 상대적으로 가장 낮은 값을 보여주고 있다. 이는 이들 품종이 밤나무혹벌의 피해를 적게 받았다는 것을 나타내 주고 있으나 그 원인이 동아의 크기가 큰 것을 선호하는 산란습성 때문인지(加藤 2000) 아니면 다른 요인에 의한 것인지는 확실치가 않다. 그러나, 시료채취 당시의 피해를조사(筑波, 丹澤, 玉光, 伊吹에만 피해가 있었음)에서 내충성이 강한 품종은 월동 중 유충의 대부분이 사망하여 충영이 발견되지 않았다.

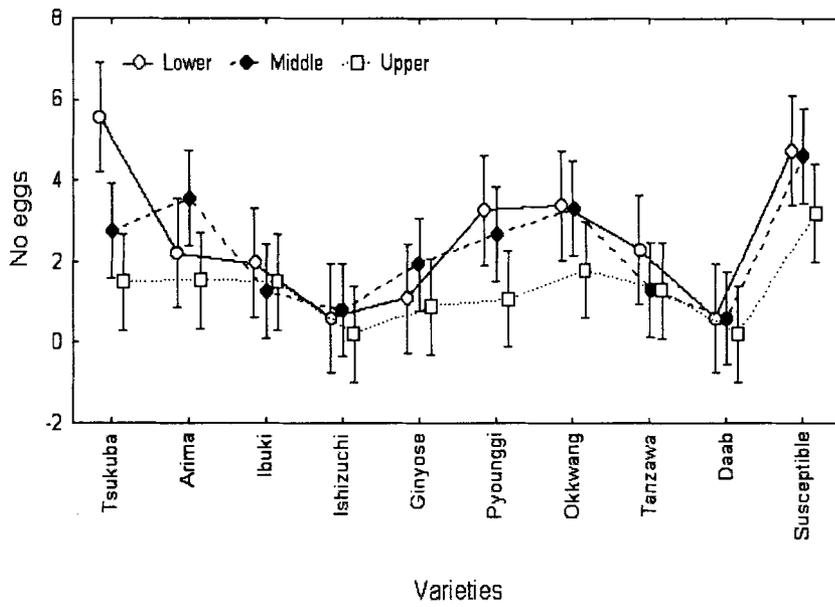


Figure 2-16. Distribution of egg oviposited by *D. kuriphilus* on each winter bud within shoot parts of some chestnut varieties

Table 2-9. Comparison in number of egg oviposited by *D. kuriphilus* on each winter bud within shoot parts of some chestnut varieties by Tukey's HSD analysis

Varieties	Lower	Middle	Upper
Tsukuba	a	abc	ab
Arima	bc	bc	ab
Ibuki	bc	ab	ab
Ishizuchi	c	a	a
Ginyose	c	abc	ab
Pyounggi	abc	abc	ab
Okkwang	abc	abc	ab
Tanzawa	bc	ab	ab
Daap	c	a	a
Susceptible	ab	c	b

나) 성충접종에 의한 산란시험

가)항에서 조사한 筑波 등 9품종에 대하여 6월 하순에 하동지역의 내충성 품종(筑波)에 기생한 밤나무혹벌을 1신초당 3마리씩 인공접종하고, 산란여부를 조사하였다. Table 2-10에서와 같이 모든 품종에 밤나무혹벌이 산란한 동아를 발견 할 수 있었으나 多鴨, 石鎚, 平寄의 신초에는 비교적 산란율이 적었다. 품종별 산란비율은 筑波가 63.6%로 가장 높았으며 丹澤 50.0%, 銀寄 40.7%, 玉光 40.5%의 순이었다. 그러나, 이듬해 봄의 筑波, 丹澤, 玉光에서 소수의 충영이 발견되었을 뿐 타 품종에서는 충영이 형성되지 않았다.

Table 2-10. Rate of oviposited winter buds by *D. kuriphilus* in some chestnut varieties

Varieties	No. of tested bud	No. of oviposition bud	Oviposition rate(%)
Tsukuba	33	21	63.6
Tanzawa	18	9	50.0
Ibuki	31	12	38.7
Pyounggi	24	6	25.0
Ginyose	27	11	40.7
Arima	28	9	32.1
Okkwang	42	17	40.5
Ishizuchi	23	6	26.1
Daap	36	7	19.4

다) 유충의 발육

월동전인 10월부터 월동후인 다음해 6월까지의 조사시기별 유충의 크기는 Figure 2-17과 같다. 알에서 부화한지 약 3개월이 지난 10월경에는 평균 0.25mm크기로 유충이 자란다. 그 후 밤나무 눈이 트이기 전까지는 발육속도가 느리지만 4월 이후 개엽이 이루어지고, 임목의 생리작용이 활발해지면서 급속도로 발육하여 용화한다. 내충성 품종과 감수성인 재래종 간의 차이는 나타나지 않았다. Table 2-11은 4월 이후 온도가 상승하고 충영이 크기 시작하면서 유충의 발육속도도 빨라짐을 나타내주고 있다. 4월 하순 이후 충영크기가 7mm이상으로 비대해 되면 그 이전에 비해 2배정도의 크기로 성장하였으나 2품종간의 차이는 없었다.

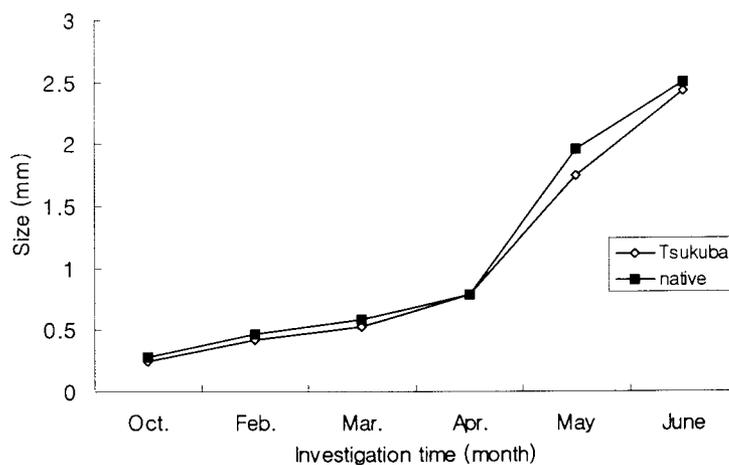


Figure 2-17. Developmental velocity of *D. kuriphilus* larva in field condition.

Table 2-11. Developmental size of *D. kuriphilus* larva within gall in Hadong, Kyongnam

varieties	10th Apr.		20th Apr.		30th Apr.		10th May	
	gall (mm)	larva (mm)						
Tsukuba	2.0	0.78	4.2	0.86	7.4	1.00	11.0	1.75
native	2.1	0.79	4.4	0.90	7.7	1.12	11.8	1.96

라) 충영내 재충수의 변화

경남 하동의 筑波와 재래종에 기생하는 밤나무혹벌의 시기별 충영내 유충 수를 조사한 결과는 Figure 2-18과 같다. 두 품종간에는 비슷한 변화양상을 보였다. 월동전인 10월의 충영당 재충수는 재래종 4.2마리, 筑波 3.7마리에서 월동후인 4월에는 재래종 2.5, 筑波 2.3마리로 각각 40.4%와 37.8% 감소하였으나 이듬해 6월에는 각 0.2마리와 0.4마리로 95.2%와 89.1%가 감소하였다. 이는 여러 가지 생물적, 기계적 요인이 작용하는 것으로서 앞으로 보다 상세한 조사가 요구된다.

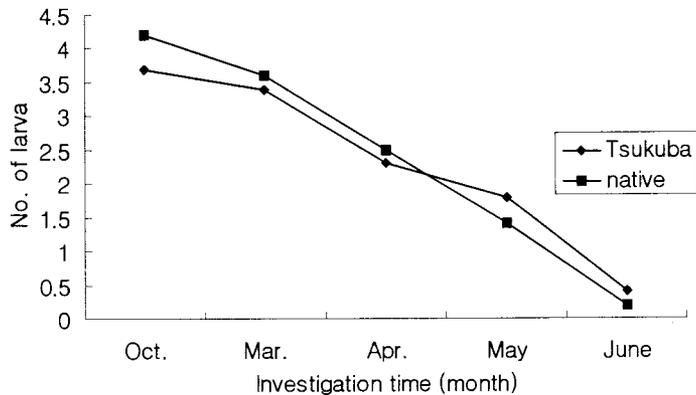


Figure 2-18. Number of *D. kuriphilus* larva within gall according to times.

마) 밤나무품종별 부화율, 유충사망율, 이탈율

밤나무 품종별 부화율, 유충사망율, 이탈율을 조사한 결과는 Table 2-12와 같다. 미부화율은 품종간 다소 차이는 있었으나 15.5%이하로 산란된 알은

대부분 부화하는 것으로 나타났다. 유충기의 사망률은 多鵬, 石鏈은 월동전에 100%이었으며, 筑波는 46.4%, 재래종은 65.9%이었다. 충영내에서 탈출하지 못하고 사망한 비율은 筑波품종이 12.4%로 재래종의 5.1%보다 높았다. 이와 같이 부화율 및 유충의 사망률은 재래종에 비해 多鵬, 石鏈에서 높아 강한 내충성 품종으로 파악되었다.

Table 2-12. Mortality of each stage in *D. kuriphilus* (2000.9~2001.7)

Varieties	Rate of no hatching(%)	Mortality (%)of Larva		Rate of no escape(%)
		pre-overwintering	post-overwintering	
native	1.3	14.1	51.8	5.1
Tsukuba	9.7	7.3	39.1	12.4
Ishizuchi	12.3	100	-	-
Daap	15.5	100	-	-

3) 생활환

밤나무혹벌의 생활환은 Table 2-13과 같다. 본 해충은 1년 1세대 발생하며 암컷 단위생식을 하고, 발생시기는 연도 및 지방에 따라 약간의 차이가 있으며, 유충상태로 벌레혹 내에서 생활하는 습성을 가지고 있다. 알 발생기간은 6월 중순부터 8월 중순까지이며, 부화한 유충은 눈 조직 내에서 월동한 후 충영이 팽대해지는 4월 이후 급격히 성장하여 5월 하순부터 7월 상순까지 용화하였다. 성충우화시기는 6월 중순부터 7월 하순까지이었다. 중부지방에서 趙와 李(1963) 및 朴 등(1981)이 조사한 결과에 비하여 약 10일정도가 빠르게 우화하는 것으로 파악되었다.

Table 2-13. Life history of *D. kuriphilus* in Hadong, Kyongnam

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun	Jul.	Agu.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Egg						○○	○○○	○○				
Larva	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○	○○	○○	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○
Pupa					●	●●●	●					
Adult						●●	●●					

나. 밤나무혹벌 피해가 밤나무 신초생장 및 결실량에 미치는 영향

밤나무종실은 당년에 자란 결과지에 착생하는데 이 신초지의 상태에 따라 수확량이 큰 차이를 보인다. 신초지의 길이생장은 보통 30cm가량 자라나 나무의 영양상태에 따라 5cm내외에서 길게는 1m이상까지 자라는 것으로 알려져 있다. 결실율을 좌우하는 신초지의 생장은 결과모지의 상태에 따라 크게 영향을 받으며, 결과모지가 크고 굵을수록 세력이 강한 신초지를 많이 발생시킨다(임업연구원, 2000). 수세가 약해지지 않고 결실하려면 20~40cm내외의 새가지가 성장하여야 한다. 또한, 신초생장량은 밤의 조기낙과에도 크게 영향을 미치는데 결과모지의 길이가 30cm이하이면 세력이 강한 것에 비해 15%내외, 결과지가 10~20cm로서 약지이면 약 30%정도의 조기낙과율이 증가하는 것으로 보고되고 있다(정 등, 1975). 밤나무혹벌은 밤나무 눈에 벌레혹을 형성 시켜 양분을 흡즙하므로 신초가 자라지 못하고 피해가 심하면 고사되어 밤 결실량에 크게 영향을 미친다.

따라서 본 조사에서는 밤나무혹벌의 피해가 밤나무 신초생장 및 결실량에 미치는 영향을 조사하여 경제적 피해허용수준을 밝힘으로서 생물적 방제의 기초자료로 제공코자하였다.

1) 길이생장에 미치는 영향

밤나무혹벌 피해율에 따른 각 등급별 밤나무 결과지와 결과모지의 길이생장은 Figure 2-19와 Figure 2-20과 같다. 피해율이 높을수록 결과지 길이생장이 짧았으며, 피해율이 10% 이하일 때 제 1, 2, 3수준으로 구분된 수령의 밤나무에서 평균 결과지의 길이는 각 35.9cm, 33.7cm, 27.9cm이었으며, 피해율이 70% 이상일 경우는 각 10.4cm, 10.8cm, 4.8cm이었다. 결과모지는 피해가 10%이하였을 때는 제 1, 2, 3수준으로 구분된 수령의 밤나무에서 평균 결과모지의 길이는 각 32.5cm, 32cm, 28.4cm이었으며, 피해가 70%이상일 경우는 각 5.2cm, 7.6cm, 3.6cm이었다. 또한, 동아의 착생수는 신초길이 10cm이하 6.0개, 11~20cm 9.7개, 21~30cm 13.3개, 30cm이상 15.8개로서 신초의 길이와 정비례하였으며 밤나무혹벌의 피해가 클수록(30%이상) 동아의 착생수도 더욱 감소됨을 알 수 있었다(Figure 2-21). 이와 같이 밤나무혹벌의 충영형성이 동아형성율의 저하를 가져옴으로서 당년의 엽면적량과 다음 년도의 신초의 수와 생장이 감소하여 광합성 생산량을 저해시키기 때문에 밤나무의 생장에 막대한 영향을 주는 것으로 판단된다.

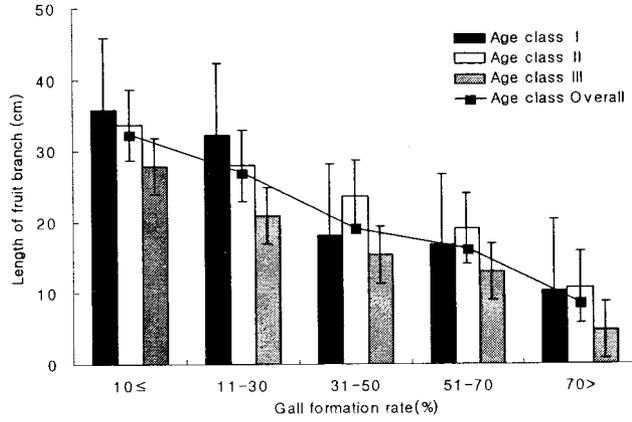


Figure 2-19. Straight growth of fruit branch according to gall formation rate of chestnut gall wasp

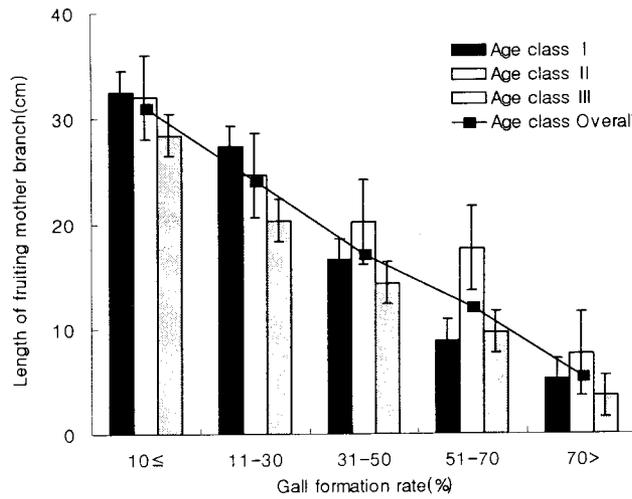


Figure 2-20. Straight growth of fruiting mother branch according to gall formation rate of chestnut gall wasp

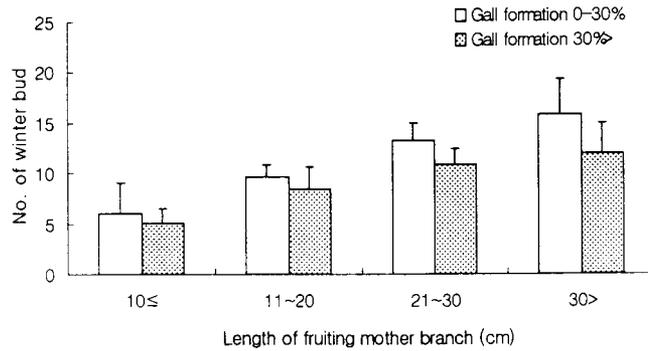


Figure 2-21. Number of winter bud according to length of fruiting mother branch.

2) 직경생장에 미치는 영향

밤나무혹벌 피해율에 따른 결과지 직경생장은 Figure 2-22와 같다. 피해율이 클수록 결과지 직경길이는 짧았다. 이는 각 조사지 및 등급과 무관하게 피해율이 높을수록 결과지의 직경이 작아지는 경향치를 보이는 것으로서 피해율이 10%인 경우에는 평균 5.6mm생장하였으나, 51~70% 수준에서는 1.3mm감소한 4.3mm생장하였으며, 70%이상에서는 3.2mm로 매우 세장한 결과지가 착생되었다.

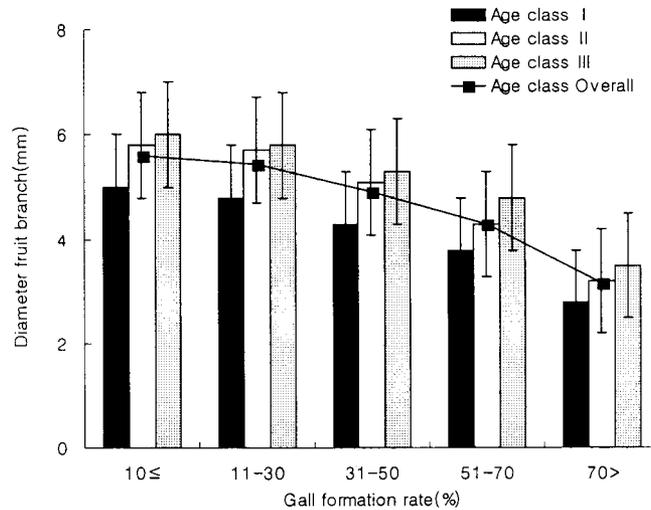


Figure 2-22. Diameter growth of fruit branch according to gall formation rate of chestnut gall wasp.

3) 결실량에 미치는 영향

밤나무혹벌 피해율별 착과수를 조사한 결과는 Figure 2-23과 같다. 피해가 10% 미만일 때 1령, 2령, 3령급 밤나무의 착과수는 각각 2.1개, 2.5개, 2.2개이었으나 피해가 50% 이상일 때는 밤의 착과수가 평균 0.7개 이하로서 착과가 거의 일어나지 않았다.

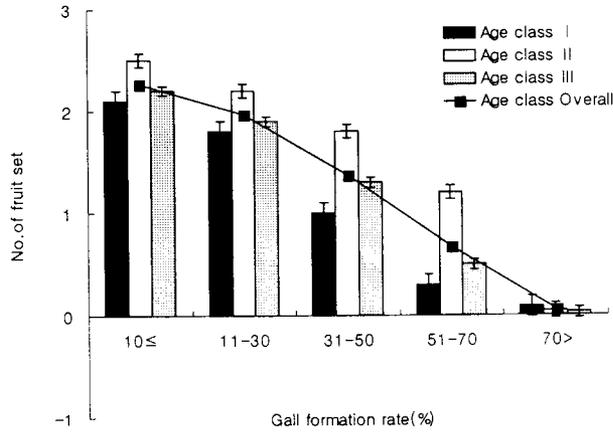


Figure 2-23. No. of fruit set per fruit branch according to gall formation rate of chestnut gall wasp.

4) 결과모지의 길이생장이 결과지생장에 미치는 영향

연차적인 누적피해를 알아보기 위하여 전년도에 성장한 결과모지가 다음년도 결과지 길이생장 및 직경생장에 미치는 영향을 조사한 결과는 Figure 2-24과 Figure 2-25과 같다. 전년도의 밤나무혹벌 피해에 의해 결과모지의 길이가 10cm 미만으로 성장량이 저조하였을 때, 다음 년도의 결과지 생장은 1령, 2령, 3령급 밤나무에서 각각 10.9cm, 10.4cm 10.8cm이었으나, 전년도에 피해가 작아 결과모지의 길이가 30cm 이상 자랐을 때는 각각 35.5cm, 36.9cm, 32.4cm로서 전년도의 피해가 다음 년도의 결과지 생장에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 결과지 직경도 같은 결과를 보여주었다. 전년도의 결과모지의 길이가 10cm 미만에서는 다음연도의 결과지직경이 평균 4.0mm이었으나, 30cm이상에서는 평균 5.6mm이었다.

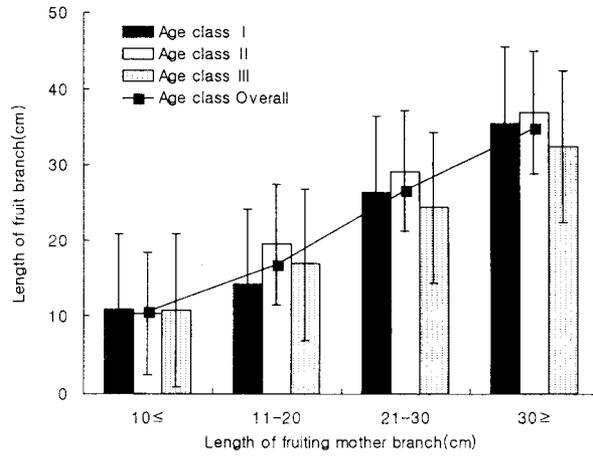


Figure 2-24. Straight growth of fruit branch according to fruiting mother branch

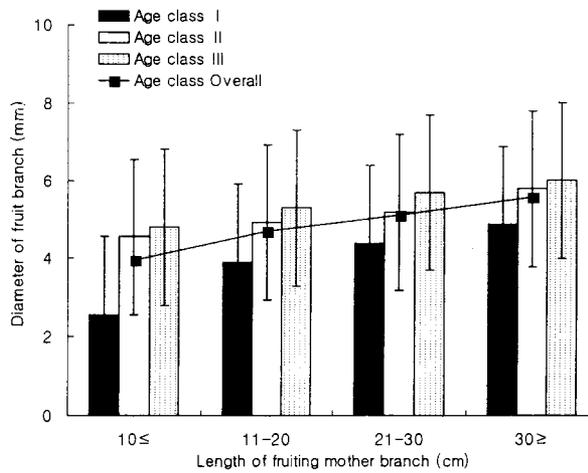


Figure 2-25. Diameter of fruit branch according to length of fruiting mother branch

제 3 장 밤나무혹벌 주요천적의 생태적특성

제 1 절 서 설

밤나무혹벌은 밤나무 자체를 고사시키는 것은 물론 종실생산량을 감소시키는 밤나무 재배관리에 중요한 해충의 하나로서 효과적인 방제법의 수립이 시급히 요구되고 있는 실정이다. 그러나 본 해충은 밤나무의 눈(芽)이나 엽맥 내에 충영(gall)을 형성하여 그 속에서 생활하는 생태학적 특성 때문에 농약침투가 곤란하므로 성충발생기간 동안에 한정하여 약제를 살포하였으나 효과적으로 구제하지 못하였고, 오히려 유용천적의 감소 및 환경오염문제 등 각종 부정적인 문제를 부각시키었다.

따라서 이러한 제약조건을 해소하고 효과적인 방제방법을 수립하기 위해서 해충의 개체군밀도를 조절하는 생물요인을 파악하고, 주요 생물요인에 대한 생태학적인 기초연구가 필요하다.

인접국인 일본, 중국 등에서는 본 해충의 생물적 방제를 위한 기초자료의 축적이 활발히 진행되고 있으며(Yasumatsu 1951, 安松 1958, Miyasida et al.1965, Yasumatsu et al. 1979, Kamijo 1982, Luo et al. 1987, Huang et al. 1988), 특히 일본의 경우, 밤나무혹벌의 저밀도 유지에 관여하고 있는 종으로 사료되는 중국긴꼬리좀벌을 중국으로부터 일본에 도입하여 현재 방제의 유효성에 대한 연구를 진행하고 있다(村上等 1977, Murakami 1981, 村上等 1983; 1985; 1987; 1989, 村上 1990; Murakami et al. 1995).

국내에서의 천적에 대한 연구는朴(1963)이 생물적 억제인자인 기생천적의 종류를 조사하여 기생벌 11종, 기생파리 1종을 보고하였으며, 高등(1966)와 Ko(1971)가 이들 천적 종류의 중간 기주에 대한 조사에서 참나무에 기생

하는 천적종류를 기록한 바 있다. 이후 김(1993)과 Murakami et al.(1995) 등은 한국 미 기록종인 중국긴꼬리좀벌(*Torymus sinensis*) 외 3종을 추기(追記)하였으며, 金(1998, 1999)은 중국긴꼬리좀벌의 우화소장 및 생태적인 특성 일부를 보고하였다.

전술한 것과 같이 국내에서는 현재까지 일부지역에 한정하여 천적종류를 파악하였고, 특정 종에 대한 생태일부가 보고되었을 뿐 생물적 방제를 위한 종합적인 천적 종류 및 생태적 제 특성에 관한 연구는 이루어지지 않았다. 이에 본 연구는 밤나무혹벌의 생물적 방제를 위한 종 고유의 특성은 물론 기주와 기생자간의 관계를 해명하는데 기초적인 자료를 제공하기 위하여 국내 각 지역에 분포하는 천적종류를 탐색하였으며, 이들 천적 가운데 우점종인 중국긴꼬리좀벌, 남색긴꼬리좀벌, 큰다리남색좀벌에 대한 발육단계별로 형태적 제 특징을 기재하였고, 성충의 수명, 산란습성, 성비 등 생태적 제 특성을 구명하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 지역별, 품종별 천적 곤충의 탐색

밤나무혹벌의 개체군 밀도억제에 효과적인 생물인자를 구명하기 위하여 천적곤충을 전국적으로 탐색할 필요가 있으며 동시에 지역별로 우점하는 종이 서로 다른 경우와, 기주와의 상호작용 기작이 차이가 나타날 가능성이 있으므로 밤나무혹벌의 발생지역을 권역별 (품종별)로 구분하여 조사하였고, 기생성 천적의 경우 시기별로 출현하는 종이 서로 다르므로 시기별로 구분하여 검토하였다.

가. 월동 후에 출현하는 천적곤충의 종 구성

천적곤충의 종 구성을 해명하기 위하여 10월~익년 3월에 갈색으로 변화한 충영(이하 갈색충영)을 채집하여 충영 내에 서식하는 천적곤충의 종류를 조사하였으며, 재래종밤나무 및 도입종 밤나무(내충성 밤나무)의 충영형성과 관련하여 천적종류에 따라 지역별로 구성비율에 차이가 있는지를 검토하였다.

갈색충영의 채집지역은 밤나무혹벌이 발생한 경상남도 진주, 하동, 전라남도 나주, 광양, 충청남도 공주, 경기도 양주, 가평 및 수원, 강원도의 춘천, 홍천 지역이었으며, 이들 조사지역 가운데 경상남도 하동 및 전라남도 광양 지방에서는 도입종 밤나무에, 그 외 지역에서는 재래종밤나무에 형성된 충영을 채집하였다. 매년 2월~3월에 재래종 밤나무의 피해목 5본으로부터 무작위로 300충영을, 도입종 밤나무로부터는 600충영을 채집하였다. 채집된 충

영은 우화상(Figure 3-1)에 넣어, 이를 실내 및 야외의 직사광선이 차단된 Cage내에 방치하여 우화하는 기생벌을 채집하여 종류별로 개체수를 기재하였다. 성충은 건조표본 혹은 액침표본으로 제작하였고, 기 분류된 표본 및 문헌을 참조하여 동정, 분류하였다. 분류하기 곤란한 종은 분류 전문가(일본, Kamijo박사)에게 의뢰하였다.

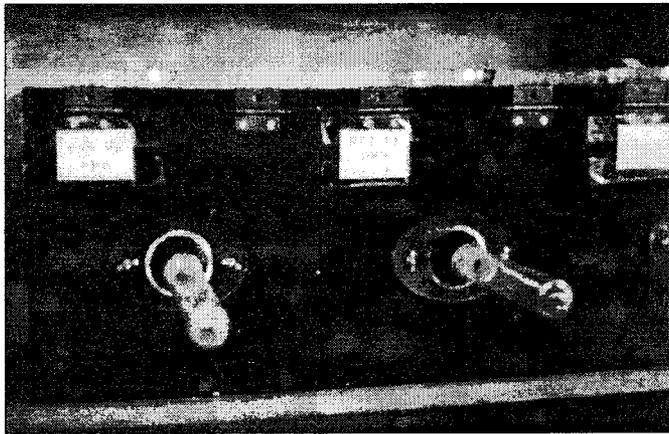


Figure 3-1. Emergence chamber of parasitoids

나. 6월~8월에 출현하는 천적곤충의 종구성

밤나무가지의 눈(芽)에 산란된 밤나무혹벌의 알은 부화하여 성장하지 않고 눈(芽)내에서 월동한 후 이듬해 4월부터 발육하기 시작하므로 조직이 부풀어 충영(gall, 녹색충영)이 형성된다. 이와 같이 당년에 형성된 충영을 채집 후 2일간 실내에서 건조하여 가 향과 동일한 방법에 의하여 기생벌의 종

류 및 개체수를 조사하였다. 재래종 밤나무에 형성된 충영의 채집지역은 강원 춘천, 전남 나주, 경남 진주이며, 도입종 밤나무에 형성된 충영의 채집지역은 경남 하동, 전남 광양이었다. 녹색충영의 경우 충영내부에 기생하는 기생벌이 모두 우화하기 이전에 부패해 버리기 때문에 재래종밤나무에 형성된 충영은 5월~8월 사이에 7회에 걸쳐 채집하여 조사하였으며, 도입종은 같은 기간내에 3회 채집하였다. 조사 충영수는 재래종밤나무 300개체, 도입종 밤나무 600개체이었다.

2. 주요 천적종(3종)의 형태 및 생활사

밤나무혹벌의 개체군 밀도조절에 관여하는 생물적 방제인자를 선정하고, 그 효과를 파악하기 위해 천적 종류의 탐색은 물론 종류별 형태적, 생태적인 특성 등, 기초적인 연구가 필요하므로 기생성 천적의 탐색결과 우점종으로 파악된 중국긴꼬리좀벌, 남색긴꼬리좀벌, 큰다리남색좀벌에 대한 형태 및 생활사 특성을 조사하였다. 특히 최 우점종인 중국긴꼬리좀벌의 경우 산란 행동 및 산란수, 용의 발육속도를 구명하였다.

가. 주요천적의 미성숙 stage 및 성충의 형태

강원도 춘천시 밤나무 조림지의 고정 조사목에서 12월부터 익년 3월까지 전년에 형성된 충영 및 5월~8월의 당년에 형성된 충영을 채집하였다.

해부현미경하에서 충영을 절개하고 충방(gall chamber)내의 밤나무혹벌 유충에 산란된 주요 기생성 천적의 알과 발육중인 유충 및 용을 수집한 후 해부현미경하에서 충체의 크기를 측정하였다. 유충은 Takagi(1970)의 방법을 응용하여 표본을 제작한 후 충체의 각 부분을 관찰 기록하였다.

나. 주요천적의 생활사 특성

1) 성충의 포란수 및 산란전기간

가) 포란수

난소 내의 알을 조사하기 위하여 우화직후의 암컷성충을 종별로 채집하여 10개의 사육용기(유리제품:직경 5cm, 길이 15cm)에 15~20마리씩 넣고, 봉밀 원액을 먹이로 공급하며 사육하였다. 충분한 공시개체를 확보하기 위하여 10일 동안 동일한 방법을 반복하였다. 각 기생벌은 우화 당일부터 12일까지 2일 간격으로 10개체를 선택하여 해부현미경하에서 복부를 해부하고 난소 내의 알 수를 검경하였다.

나) 산란전기간

산란전기간을 파악하기 위하여 종별로 10~12시에 우화한 암수개체를 채집하여 유리용기(직경 14cm, 길이 12cm)에 넣고 사육하며 2시간 동안 교미여부를 확인하였으며, 교미가 확인된 개체를 선별하여 시간(일)별로 당년에 형성된 건전한 충영에 방사한 뒤, 방사 후 24시간마다 충영을 절개하여 산란 여부를 확인하였다. 실험에 이용한 충영은 조사지에서 2월 중순~하순에 밤나무가지를 절취하여 실내에서 수삽 한 후 형성된 것과 야외의 밤나무가지에 형성된 것으로서 잎이 발육하기 이전에 망사를 씌워 사전에 기생벌이 산란하지 못하도록 조치한 것을 이용하였다.

충영이 5개 이상 형성된 밤나무가지를 절취하여 실내의 사육상(아크릴제작 20×20×29cm)내에 수삽(水插)한 후 기생벌종별로 1마리의 암컷을 방사하였다. 동일한 실험을 5반복하였고, 기생벌 성충의 먹이로 꿀 원액을 3일마다 새로이 공급하였으며, 기주인 충영은 매일 새로운 개체로 교환하였다.

2) 주요 천적의 성비 및 수명

가) 성비

강원도, 경기도, 충청남도, 전라남도, 경상남도의 밤나무집단 조림지(재래종 및 도입종)에서 2월중에 충영(300개)을 채집하여 실온(20℃~23℃)에 보관하며 우화 하는 기생벌의 종별 총 개체수를 조사하였으며, 우화성충은 실체현미경하에서 산란관의 유무(有無)를 관찰하여 암수(雌雄)를 판별하였다.

나) 생존기간

기생벌의 종별로 10시~11시 사이에 우화한 개체를 이용하여 성충의 수명을 조사하였다. 우화직후의 성충을 유리용기(직경2cm, 길이6.5cm)에 넣고 온도 15℃±1℃, 20℃±1℃, 25℃±1℃, 습도 65%±5%, 광주기 16L:8D의 항온항습 조건에서 사육하였다. 먹이조건은 4수준(벌꿀원액을 공급하며 조사한 개체, 기주인 밤나무혹벌이 형성한 충영을 공급하며 조사한 개체, 기주와 꿀원액을 공급한 개체, 먹이를 공급하지 않은 개체)으로 하였으며, 벌꿀의 공급은 원액을 노지(盧紙)에 묻혀 유리용기의 내벽에 붙여주는 방법으로 24시간마다 새로운 것으로 교체하였다.

3) 중국긴꼬리좀벌의 산란행동 및 산란수

실온에서 Figure 3-2와 같이 제작한 사육용기(아크릴제작 20cm×20cm×29cm)에 5~10개의 충영이 형성된 가지를 수삽하여 공시한 후, 춘천시 근교의 밤나무 조림지에서 채집한 밤나무혹벌의 충영으로부터 4월 15일 우화이후 교미를 종료하고 5일 경과한 암컷성충을 각 10개체씩 방사하여 기주탐색 행동을 관찰하는 한편, 충영이 3개 부착한 가지를 유리관(길이 20cm, 직경 3

cm)에 넣고 해부현미경하에서 산란과정을 관찰하였다.

각 행동단계에 걸리는 시간은 stop watch를 이용하였다. 가지에 형성된 밤나무혹벌의 충영 크기는 3.0~5.0mm와 6.0~8.0mm의 2수준으로 공시하였다. 산란행동을 관찰한 후에 충영을 해부현미경하에서 절개하여 충방벽이나 혹은 밤나무혹벌유충의 표피를 관찰하여 산란여부를 조사하였다.

중국긴꼬리좀벌의 산란수는 밤나무혹벌충영이 형성되는 시기인 4월~5월에 실험실 내에서 실시하였으며 조사방법은 다음과 같다. 충영이 형성된 가지(3개체의 충영부착)와 중국긴꼬리좀벌 암컷 1개체를 유리관(길이20cm, 직경5cm)에 넣고 24시간이 경과한 후 실체현미경하에서 해부하여 산란여부를 조사하였다.

중국긴꼬리좀벌의 암컷은 꿀물을 급여하며 사육한 개체 가운데 5일 경과한 既交尾 개체를 실험에 이용하였으며, 밤나무혹벌 충영은 기생벌이 산란하지 않은 건전한 개체를 구하기 위하여 야외로부터 밤나무가지를 채취하여 실내에 수삽하거나, 야외의 밤나무 가지에 충영이 형성되기 전에 망사를 씌우고 충영이 형성된 후에 채취하여 실내에서 수삽하였다(Figure 3-2). 실험에 사용된 성충의 식이물은 꿀물원액을 첨가한 노지를 유리용기 내벽에 붙이는 방법을 이용하였다.

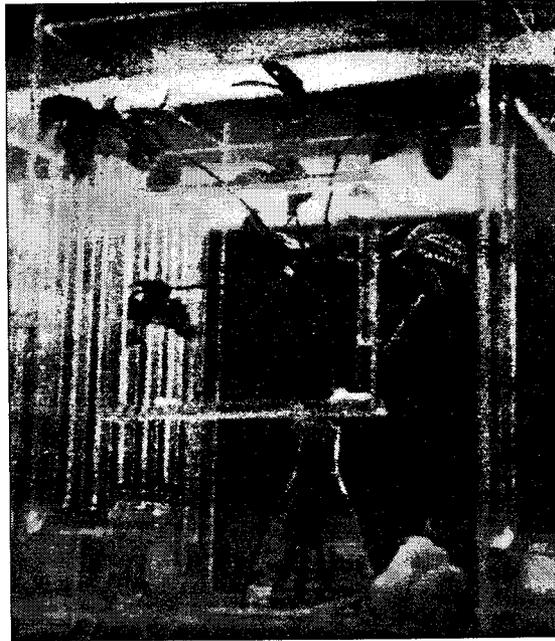


Figure 3-2. Rearing apparatus for egg laying
of *T. sinensis*

4) 중국긴꼬리좀벌 용(蛹)의 발육기간 및 속도

2001년 2~3월에 야의 밤나무 조림지에서 채집한 밤나무혹벌 충영을 실체 현미경하에서 절개하며 중국긴꼬리좀벌의 용을 선별하여 용화 초기의 개체 (겹눈이 유백색으로 용화 후 1~2일 경과한 개체)를 타원형의 젤라틴깍술 (길이 20mm, 직경 6.5mm)에 넣고 이를 온도조건 $16\pm 1^{\circ}\text{C}$, $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, $24\pm 1^{\circ}\text{C}$, $28\pm 1^{\circ}\text{C}$, 광주조건 14L:10D, 습도조건 $70\%\pm 5\%$ 의 항온항습기에 넣고 사육하

였다. 성충의 우화상황은 매일 일정한 시간에 실체현미경하에서 관찰하여 각 항온조건별로 중국긴꼬리좀벌 용의 발육기간을 기재하였다.

5) 지역별 주요천적의 우화소장

효과적인 생물적 방제를 위해서는 해당 해충의 밀도를 억제하는 우점 천적종의 발견과 더불어 기주와의 동조성에 대한 구명이 필요하다. 이를 위하여 지역별 주요천적(중국긴꼬리좀벌, 남색긴꼬리좀벌, 큰다리남색좀벌)의 우화소장을 조사하였다.

최근 밤나무혹벌이 발생한 경상남도 하동의 내충성품종 밤나무와 전라남도 나주, 충청남도 공주, 강원도 춘천지역의 재래종 밤나무를 중심으로 충영을 채집하였다. 충영의 채집시기는 각 조사지역의 야외조건에 따라 다소 다르나 우화하기 이전인 3월 이내에 하였으며, 피해목 10그룹에서 무작위로 200~300충영을 수집하였다. 채집된 충영은 우화상(Figure 3-1)에 넣고, 이를 야외의 직사광선이 차단된 철망 Cage 내에 방치한 후 충영에서 우화하는 주요 기생벌의 개체수를 24시간마다 조사하였다. 충영의 건조를 방지하기 위하여 2~3일에 1회 증류수를 살포하였다.

남색긴꼬리좀벌 및 큰다리남색좀벌의 경우 당년에 형성된 녹색충영(5월~8월)에서도 우화하므로 이를 야외에서 채집한 후에 우화상(갈색충영과 동일)에 넣고, 충영에서 우화하는 종별 개체수를 기록하였다. 녹색충영의 경우 채집직후 우화상에 넣으면 과습으로 인하여 부패하므로 사전에 충영을 음지에 건조시킨 후에 실험에 이용하였다.

또한 녹색충영은 1회 채집만으로는 충영 내에서 발육중인 모든 기생벌이 우화하지 못하므로 4월 이후 충영형성된 시기부터 충영이 완전히 발육하는 8월까지의 기간동안에 7일 간격으로 충영을 채집하였다. 한편 최우점종인

중국긴꼬리좀벌은 우화기간 중, 일일 우화패턴을 조사하기 위하여 온도조건 24℃, 광주조건 14L:10D, 습도조건 70%±5%의 항온항습기에 넣고 사육하였다. 성충은 우화개시부터 종료까지의 기간동안 매일 오전 10시~11시에 채집하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 밤나무혹벌의 천적

생물적 방제의 주요 생물인자를 선별하기 위하여 각 조사지역에서 밤나무혹벌의 천적을 탐색하였으며 그 결과는 Table 3-1과 같다. 기생벌은 *Torymus sinensis*, *Torymus beneficus*, *Torymus geranii*, *Torymus* sp. *Eupelmus urozonus*, *Eupelmus* sp. *Eurytoma brunniventris*, *Megastigmus nipponicus*, *Megastigmus maculipennis*, *Sycophila variegata*, *Reikosiella* sp., *Eurytoma setigera*, *Ormyrus flavitibialis*, *Ormyrus puntiger*, *Ormyrus pomaceus*로 15종이었으며 이외에 고치벌 1종, 기생파리 1종, 깡충좀벌, 좀벌, 금좀벌 등이 채집되었다.

동정된 기생벌 15종 가운데 *Eurytoma setigera*는 경기지방에 *Ormyrus flavitibialis*는 강원, 경기, 충남지방에 *Ormyrus pomaceus*와 *Reikosiella* sp는 강원지방에 *Eupelmus* sp. 경기지방에 *Torymus* sp.와 *Torymus beneficus*는 전남지방에 한정하여 분포하였다. 이외의 기생벌은 조사 전지역에서 확인되었다.

포식성천적은 충영을 가해하는 나방류 1종과 바구미 1종에 의하여 소수 사충되는 것이 관찰되었으며, 거미류 4종이 채집되었다. 바구미의 경우 충영

을 천공하여 내부의 유충을 포식하였으며, 그 밖의 거미류의 경우는 성충을 포식하는 것이 관찰되었다.

국내에서 밤나무혹벌의 천적종류는 박(1963)이 최초로 조사 보고하였으며, 기생파리 1종을 포함한 기생성천적 10종, 총 11종을 기록한 바 있다. 기록된 기생성 천적 가운데 *Ormyrus koreana*와 고치벌인 *Apanteles* sp. 는 본 조사에서 관찰되지 않았다. 이후 Kamijo (1982)는 수원과 인천에서 기생벌 *Torymus koresnus*를 기록하였으며, 김(1993)은 국내 미기록 4종(*Torymus sinensis* *Eurytoma setigera* *Eupelmus* sp. *Sycophila variegata*)을 새롭게 발견하여 국내의 밤나무혹벌의 천적으로 총 16종이 기록된 바 있다. 특히 김(1993)에 의하여 기록된 한국 미기록종 가운데 *Sycophila variegata*는 Ko (1971)가 참나무혹벌류로부터 채집하여 발표한 바 있다.

금회 조사결과 강원지방에서 기생성 천적인 *Reikosiella* sp.가, 전남지방에서 *Torymus beneficus*가 새롭게 발견되었으며, *Torymus* sp.의 경우 강원지역에 이어 전남지역에서도 발견되어 소수이지만 전국에 분포할 가능성이 있는 것으로 사료된다. 또한 *Torymus beneficus*가 전라남도 지방에서 발견되었는데 본 종은 주로 일본에 분포하는 종으로 박(1963)이 기재한 이후 발견되지 않았으나 금회 조사에 재발견되었다.

따라서 국내에 분포하는 밤나무혹벌 천적으로는 기생벌 15종, 기생성파리 1종, 포식성 천적 6종으로 총 24종으로 파악되었다. 이밖에 깡충좀벌과 Encyrtidae sp., 맵시벌과 Ichneumonidae sp. 고치벌과 Braconidae sp., 벼룩좀벌과 Eupelmidae sp.에 속하는 기생벌 각 1종이 채집되었으나 밤나무혹벌에 기생하는 천적인지 불분명하여 결과에서 제외하였다. 금후 본 기생벌에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Table 3-1. A list of natural enemies of *Dryocosmus kuriphilus* in Korea

Species	Korean name	Distribution					
		KW	KG	CCN	KB	KN	CN
<i>Eurytoma brunniventris</i> Ratzeburg	흑사리좀벌	+	+	+	+	+	+
<i>Eurytoma setigera</i> Mayr	-	-	+	-	-	-	-
<i>Megastigmus nipponicus</i> Yasumatsu et Kamijo	노란꼬리좀벌	+	+	+	+	+	+
<i>Megastigmus maculipennis</i> Yasumatsu et Kamijo	배잘록꼬리좀벌	+	+	+	+	+	+
<i>Ormyrus flavitibialis</i> Yasumatsu et Kamijo	노란다리남색좀벌	+	+	+	-	-	-
<i>Ormyrus punctiger</i> Westwood	큰다리남색좀벌	+	+	+	+	+	+
<i>Ormyrus pomaceus</i> Geoffroy		+	-	-	-	-	-
<i>Eupelmus urozonus</i> Dalman	노란꼬리벼룩좀벌	+	+	+	+	+	+
<i>Eupelmus</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-
<i>Sycophila variegata</i> (Curtis)	참나무흑사리좀벌	+	+	+	+	+	+
<i>Torymus sinensis</i> Yasumatsu et Kamijo	중국긴꼬리좀벌	+	+	+	+	+	+
<i>Torymus beneficus</i> Yasumatsu	밤색꼬리좀벌	-	-	-	-	-	+
<i>Torymus geranii</i> (Walker)	남색긴꼬리좀벌	+	+	+	+	+	+
<i>Torymus</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-
<i>Reikosiella</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-
<i>Apanteles</i> sp.	고치벌	+	+	-	-	-	-
Encyrtidae sp.	깡충좀벌류	+	-	-	-	-	-
Eulophidae sp.	좀벌류	+	-	-	-	-	-
Pteromalidae sp.	금좀벌류	+	-	-	-	-	-
Diptera sp.	파리	+	+	+	+	+	+
Lepdoptera sp.	나비목	-	-	-	-	-	+
Curculionidae sp.(<i>Curculio dentipes</i> (Roelofs))	바구미류	+	+	+	+	+	+
Thomisidae sp.	거미류	+	+	+	+	+	+
Agelenidae sp.	거미류	+	+	+	+	+	+
Argiopidae sp.	거미류	+	+	+	+	+	+
Salticidae sp.	거미류	+	+	+	+	+	+

KW : Kangwon, KG : Kyonggi, CCN : Chungnam, KB : Kyongbuk,

KN : Kyongnam, CN : Chonnam

가. 월동 후에 출현하는 기생성 천적곤충의 종구성

각 지역의 재래종 및 도입종 밤나무에서 11월부터 익년 3월까지의 기간에 충영을 채집하여 우화하는 기생벌의 종류별 개체수를 조사하였다. 재래종 밤나무로부터 갈색 충영을 채집하여 조사한 결과는 Table 3-2와 같다. 기생 천적 종류는 중국긴꼬리좀벌, 남색긴꼬리좀벌, 노란꼬리좀벌, 참나무혹사리좀벌, 큰다리남색좀벌, *Torymus* sp., *Eurytoma setigera*, *Eupelmus* sp. 8종이었다. 이 가운데 중국긴꼬리좀벌이 최우점종이었으며, 그 다음으로 많이 출현한 종이 남색긴꼬리좀벌 순이었다.

3년 조사결과 중국긴꼬리좀벌의 구성 비율은 경남지역(도입종)이 58.1%~75.3%로 가장 적었고, 경기지역(재래종)에서 72.5%~86.9%로 가장 많았으며, 년차 변동은 심하지 않았다. 이에 비하여 남색긴꼬리좀벌의 3년간 출현율은 경남지역이 2.0%~24.1%, 전남지역이 14.1%~16.2%로 다른 지역에 비하여 높았고, 지역에 따른 조사년도간 구성비율의 차이도 심하게 나타났다. 큰다리남색좀벌의 경우 강원지역에서 다소 많이 출현하였다.

또한 강원지역에서 6년간 조사한 결과는 Table 3-3과 같다. 이 역시 중국긴꼬리좀벌이 최우점 종이었으며 종의 구성비율은 각 조사 년도에 따라 69.6~82.6%이었고, 연도별로 큰 차이는 나타나지 않았다. 기생벌 가운데 큰다리남색좀벌은 다른 지역(Table 3-2)과 비교하여 구성비율이 다소 높았다. 따라서 국내의 재래종 및 도입종 밤나무에 형성된 충영 내에는 기생하는 기생벌류 가운데 중국긴꼬리좀벌의 기생밀도가 가장 높아 본 종이 밤나무혹벌의 밀도증감에 강하게 작용하고 있는 것으로 사료된다.

Table 3-2. Species composition of parasitoid adults emerging from *D. kuriphilus* galls formed at chestnut in the previous year

Parasitoids	No. of parasitoids emerged (%)														
	Kyongnam			Chonnam			Chungnam			Kyonggi			Kangwon		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002
<i>Torymus sinensis</i>	82 (58.1)	206 (75.3)	167 (68.2)	256 (76.2)	237 (75.2)	212 (73.1)	164 (76.3)	177 (71.7)	164 (67.8)	205 (86.9)	61 (80.3)	58 (72.5)	190 (78.2)	65 (80.2)	42 (65.6)
<i>Torymus geranii</i>	34 (24.1)	6 (2.0)	28 (11.4)	49 (14.6)	51 (16.2)	41 (14.1)	17 (7.9)	28 (11.4)	32 (13.2)	14 (5.9)	4 (5.3)	8 (10.0)	7 (2.9)	4 (4.9)	6 (9.4)
<i>Torymus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1.6)
<i>Eupelmus urozonus</i>	17 (12.1)	33 (11.9)	22 (9.0)	7 (2.1)	10 (3.2)	12 (9.6)	5 (2.3)	14 (5.6)	17 (7.0)	5 (2.1)	5 (6.6)	6 (7.5)	5 (2.0)	6 (7.4)	4 (6.3)
<i>Eupelmus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (1.3)	-	-	-
<i>Sycophila variegata</i>	3 (2.1)	6 (2.0)	8 (3.3)	6 (1.8)	6 (2.0)	8 (2.8)	8 (3.7)	19 (7.7)	21 (8.7)	7 (3.0)	6 (7.9)	4 (5.0)	8 (3.3)	6 (7.4)	5 (7.8)
<i>Ormyrus punctiger</i>	5 (3.6)	24 (8.8)	20 (8.2)	18 (5.4)	4 (1.2)	16 (5.5)	21 (9.8)	9 (3.6)	8 (3.3)	5 (2.1)	-	-	33 (13.6)	-	6 (9.4)
<i>Eurytoma setigera</i>	-	-	-	-	-	1 (0.3)	-	-	-	-	-	3 (3.8)	-	-	-

Table 3-3. Annual fluctuation of parasitoids emerged from *D. kuriphilus* galls formed at the native chestnut in the previous year

Parasitoids	No. of parasitoids emerged(%)							
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<i>Torymus sinensis</i>	134(72.4)	176(82.6)	235(77.8)	126(70.8)	133(69.6)	290(79.0)	34(81.8)	42(65.6)
<i>Torymus geranii</i>	24(10.5)	12(5.6)	12(4.0)	10(5.6)	11(5.8)	10(2.7)	2(4.8)	6(9.4)
<i>Sycophila variegata</i>	18(9.4)	15(7.1)	17(5.6)	15(8.4)	16(8.4)	12(3.3)	3(7.1)	5(7.8)
<i>Eupelmus urozonus</i>	15(7.9)	10(4.7)	11(3.6)	6(3.4)	7(3.7)	7(1.9)	3(7.1)	4(6.3)
<i>Ormyrus punctiger</i>	-	-	27(8.9)	21(11.8)	24(12.6)	48(13.1)	0(0)	6(9.4)

나. 5월~8월에 출현한 기생성 천적곤충의 종구성

전라남도 나주시, 경상남도 진주시, 강원도 춘천시 근교의 재래 밤나무 집단조림지에서 채집한 녹색충영으로부터 우화한 기생천적 종류는 Table 3-4와 같이 남색긴꼬리좀벌, 배잘록꼬리좀벌, 노란꼬리좀벌, 흑사리좀벌, 노란다리남색좀벌, 큰다리남색좀벌, 노란꼬리벼룩좀벌, *Sycophila variegata*, *Eurytoma setigera* 9종이었다. 이 가운데 최우점종은 남색긴꼬리좀벌이었으며, 그 다음이 배잘록꼬리좀벌 순이었다.

2000년, 2001년 각 지역의 기생벌 종별 구성비율은 전라남도 나주지역에서 남색긴꼬리좀벌의 구성비율이 각 47.5%, 44.9%이었고, 배잘록꼬리좀벌의 구성비율이 각 41.3%, 47.5%이었으며, 경상남도 진주지역에서는 남색긴꼬리좀벌의 구성비율이 각 33.3%, 29.2%이었고, 배잘록꼬리좀벌의 구성비율이 각 36.1%, 31.7%이었다. 강원도 춘천지역은 남색긴꼬리좀벌의 구성비율이 각 16.7%, 21.5%이었고, 배잘록꼬리좀벌의 구성비율이 각 44.2%, 49.6%이었

으며, 출현개체수의 연도별 차이가 나타났다. 지역별로는 남색긴꼬리좀벌의 경우 전라남도 나주에서, 배잘록꼬리좀벌은 강원도 춘천에서 다소 많이 출현하는 경향을 보였다.

Table 3-4. Species composition of parasitoids emerged from *D. kuriphilus* galls found at native chestnut varieties in the current year

Parasitoids name	No. of parasitoids emerged(%)					
	Chonnam Naju		Kyongnam Jinju		Kangwon Chunchon	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001
<i>Torymus geranii</i>	76(47.5)	53(44.9)	49(33.3)	47(29.2)	20(16.7)	26(21.5)
<i>Sycophila variegata</i>	1(0.6)	-	10(6.8)	9(5.6)	8(6.7)	5(4.1)
<i>Megastigmus maculipennis</i>	66(41.3)	56(47.5)	53(36.1)	51(31.7)	53(44.2)	60(49.6)
<i>Megastigmus nipponicus</i>	1(0.6)	2(1.7)	8(5.4)	10(6.2)	10(8.3)	6(5.0)
<i>Eurytoma bruniventris</i>	4(2.5)	4(3.4)	5(3.4)	11(6.8)	8(6.7)	5(4.1)
<i>Eurytoma setigera</i>	1(0.6)	-	4(2.7)	6(3.7)	5(4.2)	4(3.3)
<i>Ormyrus flavitibialis</i>	1(0.6)	-	6(4.1)	9(5.6)	4(3.3)	2(1.6)
<i>Ormyrus punctiger</i>	6(3.8)	1(0.8)	7(4.8)	10(6.2)	7(5.8)	8(6.6)
<i>Eupelmus urozonus</i>	4(2.5)	2(1.7)	5(3.4)	7(4.4)	5(4.2)	5(4.1)

한편 전라남도 광양시 및 경상남도 하동의 도입종 밤나무조림지에서 채집한 녹색충영에서 우화한 천적종은 Table 3-5와 같이 7종이었고, 재래종 밤나무림에서 발생되었던 *Eurytoma setigera*, *Ormyrus flavitibialis*는 채집되

지 않았다.

조사지역 모두 남색긴꼬리좀벌과 배잘록꼬리좀벌이 다수의 비율을 점하고 있었으나 남색긴꼬리좀벌의 구성비율은 33.8~50.0%로 우점하고 있었으며, 배잘록꼬리좀벌이 20.6~25.4%이었다. 조사시기별로 종 구성의 차이가 나타났는데 이는 2년간의 결과로 추론하기 곤란하며 금후 지속적인 검토가 필요할 것을 생각된다.

Table 3-5. Species composition of parasitoids emerged from *D. kuriphilus* galls formed at resistant chestnut varieties in the previous year

Parasitoids name	No. of parasitoids emerged (%)			
	Chonnam Gwangyang		Kyongnam Jinju	
	2001	2002	2001	2002
<i>Torymus geranii</i>	45(50.0)	25(35.2)	31(35.2)	23(33.8)
<i>Sycophila variegata</i>	2(2.2)	5(7.0)	12(13.6)	2(2.9)
<i>Megastigmus maculipennis</i>	21(23.3)	18(25.4)	22(25.0)	14(20.6)
<i>Megastigmus nipponicus</i>	2(2.2)	4(5.6)	5(5.7)	6(8.8)
<i>Eurytoma brunniventris</i>	5(5.6)	6(8.5)	8(9.1)	7(10.2)
<i>Ormyrus punctiger</i>	5(5.6)	5(7.0)	4(4.6)	5(7.4)
<i>Eupelmus urozonus</i>	10(11.1)	8(11.3)	6(6.8)	11(16.2)

2. 주요 기생벌의 형태 및 생활사

가. 중국긴꼬리좀벌의 형태 및 생활사

1) 발육단계별 형태의 기재

가) 알

밤나무혹벌의 유충체표위 혹은 충방 내에 산란된 알은 백색으로 장타원형이며, 크기는 길이 $0.43 \pm 0.05\text{mm}$, 폭 $0.13 \pm 0.01\text{mm}$ 로 끝 부분에는 卵柄(egg stalk)이 존재한다(Figure 3-3 A).

나) 유충

부화직후 유충의 몸체는 유백색으로 몸 표면에 털이 밀생되어 있고, 길이는 $0.49 \pm 0.02\text{mm}$ 폭 $0.22 \pm 0.02\text{mm}$ 이다. 이들 유충은 밤나무혹벌의 체외에 외부 기생하여 섭식, 발육한다. 성숙유충은 hymenopteriform (Clausen, 1940)형이고, 몸색은 담황색을 띠며, 길이는 $2.79 \pm 0.19\text{mm}$ 이다. 또한 짙은 갈색의 큰턱(mandible)은 명료하게 관찰되며, 길이는 $0.13 \pm 0.01\text{mm}$ 이다(Figure 3-3 B). 유충은 머리를 포함하여 14마디로 제 2마디부터 제 8마디까지 절간막은 짙은 갈색을 띠며 명료하고, 제3마디부터 11마디까지 9쌍의 기문이 관찰된다.

다) 용

피용의 형태로 용화하며, 용화초기의 눈(單眼 및 複眼)은 유백색을 띠나 시간이 경과하면서 등적색으로 변화하고, 체색은 날개 기부부터 흑색을 띠기 시작하여 완전 성숙하면 광택이 있는 흑색으로 변화한다. 용의 길이는 암컷이 $2.24 \pm 0.08\text{mm}$, 수컷이 $1.89 \pm 0.16\text{mm}$ 로 암컷이 수컷에 비하여 크다(Figure 3-3 C).

라) 성충

암컷충의 체장은 2.4mm, 산란관의 길이는 1.5mm이고, 수컷의 체장은 2.1mm이다. 체색은 청남색으로 광택을 띠고 있다. 복안과 단안은 적갈색이며, 측각은 13절이다(Figure 3-3D).

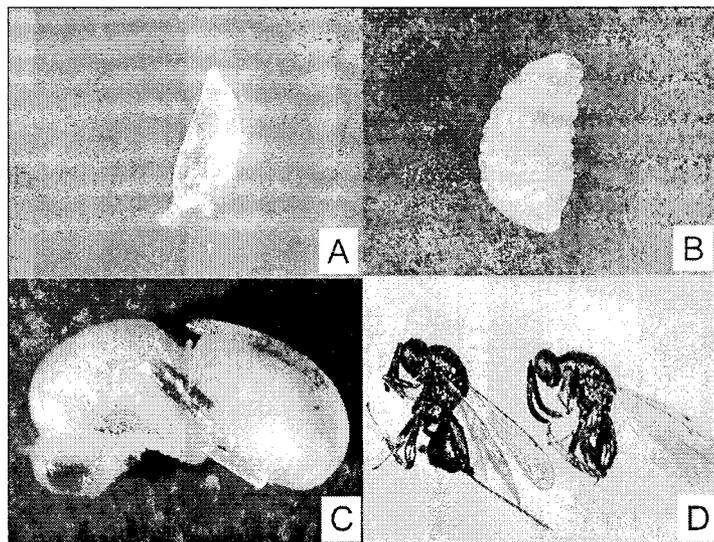


Figure 3-3. Various stages of *T. sinensis*

[A: egg, B: larva, C:pupa, female D:Adults, female(left), male(right)].

2) 성비 및 수명

가) 성비

밤나무 품종별(재래종, 도입종), 연도별 및 장소별로 중국긴꼬리좀벌의 성비를 조사한 결과는 Table 3-6과 같다. 재래종밤나무의 충영으로부터 우화한 중국긴꼬리좀벌의 암컷비율은 강원도 춘천이 49.1%~54.5%, 충남부여 49.6~53.2%로 암수의 차이는 나타나지 않았으나($p>0.05$, χ^2 -검정), 암컷비

율이 다소 높은 경향을 보였다. 경기 남양주 54.2~63.3%, 전남 나주 54.2~64.7%로 경기지방 및 전남지방에서는 암컷비율이 54.2%~63.3%, 54.2%~64.7%로 높게 나타났다($p < 0.05$, χ^2 -검정).

도입종밤나무(축파)의 충영에서 우화된 중국긴꼬리좀벌의 암컷비율은 경상남도 하동지방에서 42.3~48.2%이었고, 전라남도 광양지방이 41.3%~42.6%로 암컷비율보다 수컷비율이 높게 나타났다($p < 0.05$, χ^2 -검정). 각 조사지역의 연도별 암컷비율이 일정하지는 않았으나 차이가 크게 나타나지 않았다.

Flanders (1966)와 Sandlan (1979)는 기생천적의 성비는 환경조건이나 기주의 종류에 영향을 받는다고 보고하였고, 村上(1995)는 본 종의 성비를 조사하여 중국의 개체군은 암컷비율이 54%~63%이고, 일본에 방사한 개체군은 방사 이후 8년까지 암컷비율이 40%이하로 낮았으나 그 이후 개체군 밀도의 증가와 함께 암컷비율이 48%~66%로 증가하였다고 보고한 바 있다.

재래종밤나무림의 경우 중국긴꼬리좀벌의 암컷비율이 50% 이상인 것으로 미루어 오래 전부터 본 종이 정착하여 밀도의 증감이 반복되고 있는 것으로 사료되며, 도입종밤나무림의 경우 암컷비율이 50%이하로 수컷에 비하여 암컷이 유의적으로 낮아, 본종이 재래종 밤나무로부터 이동하여 정착하기 시작하는 초기 단계로 사료된다.

Table 3-6. Sex rate of *T. sinensis* established at the investigation site in the different chestnut orchards

Investigation site	Species	Female ratio (%)		
		2000	2001	2002
Kangwon Chunchon	Native	49.1	51.9	54.5
Kyonggi Namyangju	Native	62.4	54.2	63.3
Chungnam Buyeou	Native	49.9	52.1	53.2
Chungnam Naju	Native	59.7	54.2	64.7
Kyongnam Hadong	Foreigne	42.3	45.0	45.3
Chonnam Gwangyang	Foreigne	41.3	42.2	42.6

나) 수명

먹이종류 및 온도조건(15℃, 20℃, 25℃, 20℃~25℃)에 따른 중국긴꼬리좀벌의 성충수명을 조사한 결과는 Table 3-7과 같다. 수명은 각 항온조건과 먹이 종류에 영향을 받았으며 꿀 또는 꿀과 충영을 제공한 실험구가 먹이를 제공하지 않은 실험구에 비하여 수명이 길었다. 꿀 원액을 공급한 경우, 각 온도조건별 수명은 암컷보다 수컷이, 고온조건(25℃)에서 보다 저온조건(15℃)에서 길게 나타났으며, 15℃에서 암컷의 생존기간은 53.6일, 수컷이 46.7일이었다.

충영 및 꿀을 동시에 공급한 경우는 수컷이 18.2일, 암컷이 27.4일 생존하였으며 충영 만을 제공하였을 경우 각 6.3일, 6.7일 생존하였다. 먹이를 공급하지 않은 실험구에서는 저온에서 긴 경향이였으나 4일 이내에 모든 개체가 사망하였다.

Table 3-7. Adult longevity of *T. sinensis* under different temperatures and diets

Food	Temperature	Sex	No. of individuals examined	Longevity (days \pm SD)
Honey	15°C	♂	21	46.7 \pm 14.3b
		♀	20	53.6 \pm 12.5a
	20°C	♂	20	24.4 \pm 10.0c
		♀	20	41.0 \pm 11.3b
	25°C	♂	20	12.8 \pm 5.9d
		♀	20	20.5 \pm 6.4c
None	15°C	♂	28	3.1 \pm 0.7
		♀	26	3.5 \pm 0.9
	20°C	♂	26	1.5 \pm 0.5
		♀	26	2.3 \pm 0.7
	25°C	♂	26	1.3 \pm 0.3
		♀	25	1.8 \pm 0.7
Host(Gall)+ Honey	20°C ~ 25°C	♂	14	18.2 \pm 8.3
		♀	12	27.4 \pm 9.2
Host(Gall)	20°C ~ 25°C	♂	10	6.3 \pm 1.2
		♀	10	6.7 \pm 1.5

Mean in a column with the same letter(a,b,c)are not significantly different at 5% level

Piao and Moriya (1992)는 꿀 원액을 공급하며 중국긴꼬리좀벌의 생존기간을 조사한 결과, 야외조건하(4월)에서 암컷 45.4 \pm 8.1, 수컷 44.2 \pm 12.3일,

15℃와 25℃ 항온, 80%~85%RH, 16L-8D조건하에서의 기교미 암컷 성충의 생존기간이 각 43.0일과 15.1일, 수컷이 24.2일과 10.8일로 온도에 심하게 영향받는 것으로 보고한 바, 본 실험도 이와 유사하였다.

3) 산란전기간 및 포란수, 산란수

중국긴꼬리좀벌 성충은 우화직후 바로 교미하는 행동이 관찰되었고, 교미 시간은 15초~20초이었다. 교미 후 산란까지의 기간(산란전기간)은 Table 3-8과 같이 15℃에서 4.5일, 20℃에서 2.6일, 25℃에서 2.4일로 저온에서 길었고, 변온조건하에서는 3.2일이었다.

산란은 밤나무혹벌의 충영표면에 산란관을 찢어 넣고, 기주인 밤나무혹벌의 유충 체표면에 넣거나 충영 내부의 충방벽 내에 산란하며, 알이 부화하는데 5일~7일(20℃) 소요되는 것으로 관찰되었다.

난소소관은 3쌍이며, 각 개체별 난소소관 내의 성숙란 수는 다르게 관찰되었다. 우화직후 난소 내에 평균 6~7개의 성숙란(Figure 3-4)이 관찰되었으며, 이후 계속 증가하여 4일째에는 평균 22.4개로 피크에 달하였으나 이후 점차 감소하였으며, 우화 10일째에는 17.0개이었다.

이와 같은 난소내 알수의 변화 및 산란행동으로 미루어 본 종은 일령(日齡)이 경과함에 따라 성숙란수가 증가하는 소위 Flanders(1950)가 제기한 synovigenic 종으로 판단된다.

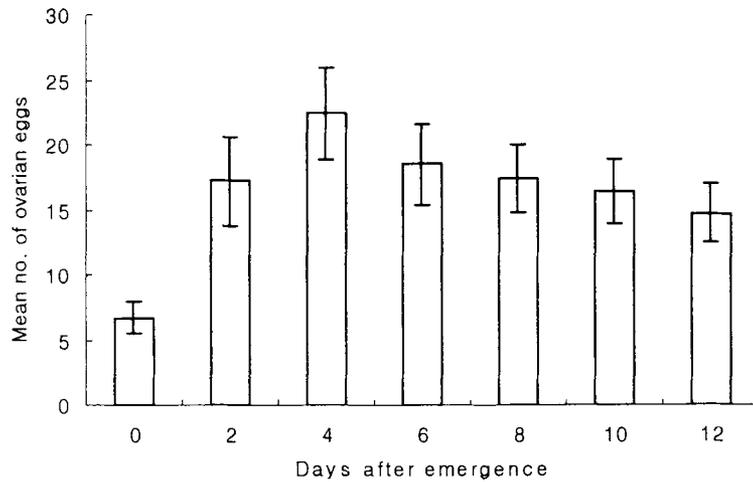


Figure 3-4. Average number of ovarian eggs of *T. sinensis* after emergence.

Vertical lines show the standard errors.

산란수는 20℃에서 64개체, 25℃에서 30.4개체로 20℃에 비하여 25℃에서 1/2정도로 감소되었다. 변온조건(20℃~25℃)하에서는 58.1개체이었다.

실험조건별 산란일수는 Figure 3-5와 같이 정온조건하인 20℃에서 27일, 25℃에서 18일, 변온조건하에서는 25일로, 20℃에서 가장 길었다. 일일 산란수는 산란초기에 많은 것으로 나타났으며, 20℃에서 최대 평균 산란수는 6.4개체이었다. 산란기간 내에 연속적으로 산란하는 경향을 보였다.

朴과 守屋(1992a,b)은 성충이 산란전기간을 경과한 후 연속적으로 산란하며, 총산란수는 자연조건하에서 71개체, 20℃에서는 89.6개체, 25℃에서 34.6개체이었다고 보고한 바 있다.

Table 3-8. Preoviposition periods and reproductive potential of *T. sinensis* under different temperature conditions.

Temperature	Preoviposition period (Days \pm SD)	Reproductive potential (Days \pm SD)
15 °C	4.5 \pm 2.4	-
20 °C	2.6 \pm 1.3	64.0 \pm 28.5
25 °C	2.4 \pm 1.6	30.4 \pm 14.8
20 °C ~25 °C	3.2 \pm 1.7	58.1 \pm 20.6

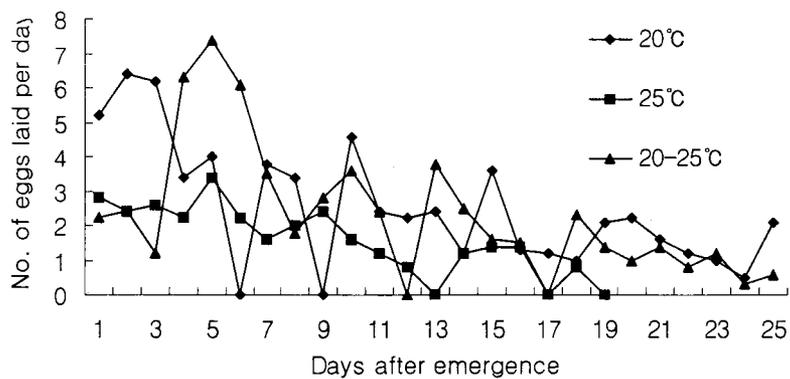


Figure 3-5. Daily oviposition of *T. sinensis*

4) 산란행동

중국긴꼬리좀벌이 우화한 후에 부분적인 기주탐색행동을 조사하였다. 우화 후 5일 경과된 既交尾의 성충 10개체를 밤나무혹벌의 충영크기별로 구분하여 방사하고 1시간 동안의 행동을 조사한 결과는 Figure 3-6과 Table 3-9와 같다.

성충은 충영을 조우하자마자 빈번히 충영표면에 천공을 시도하였으나 30분경과 이후부터는 천공행동이 현저히 감소하는 경향을 보였다. 3.0~5.0mm인 충영 위에서 활동한 시간이 14.1 ± 3.9 분, 충영 외의 장소에서 활동한 시간이 45.9 ± 3.9 분 소요되었고, 6.0~8.0mm인 경우는 각 13.2 ± 4.0 분과 46.8 ± 4.0 분 소요되어, 충영의 크기에 관계없이 직접 충영을 탐색하는 시간보다 충영 이외의 장소에서 활동하는 시간이 길었다. 또한 전체 조사시간 중 정지하여 있는 시간은 극히 짧았으며, 앞다리를 이용하여 머리부분을, 뒷다리를 이용하여 날개 및 산란엽을 청소하는 행동과 다리를 마찰하는 행동이 관찰되었다.

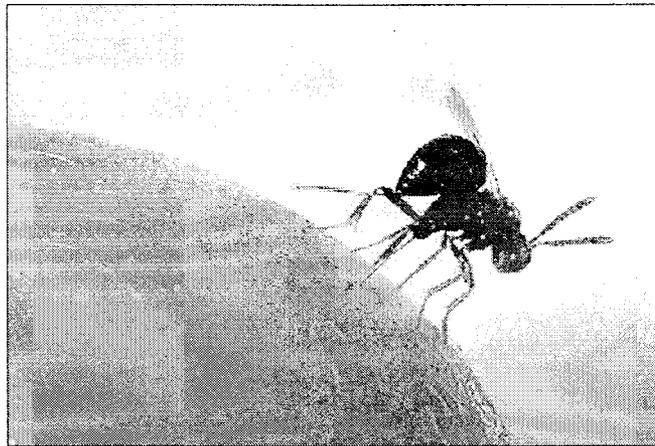


Figure 3-6. Egg laying of *T. sinensis*.

Table 3-9. Host searching of *T. sinensis* adult observed for 1 hour in experimental condition

No. of 5day-old parasitoid female	Size of gall	Active time within host (min)	Active time without host (min)
10 individuals	length 3.0~5.0mm	14.1±3.9(5.1~18.7)	45.9±3.9(41.3~54.9)
10 individuals	length 6.0~8.0mm	13.2±4.0(4.5~19.1)	46.8±4.0(40.9~55.5)

또한 기주를 발견하여 산란할 때까지의 소요시간을 조사한 결과는 Table 3-10과 같다. 본 조사의 경우 산란행동이 종료된 직후 충영을 실체현미경하에서 해부하여 산란여부를 파악하여 산란이 확인된 충영에 대한 성충의 행동결과만을 분석하였다.

암컷성충이 촉각을 이용하여 충영 표면을 연속적으로 두드리고, 몸체를 구부려 복부말단으로 충영 표면의 특정부분을 두드리는 행동에 소요한 시간은 충영 크기가 3.0~5.0mm에서 12.3±3.2초이었고, 6.0~8.0mm에서 15.6±4.7초이었다. 충영표면을 친공하고 산란하는데 소요한 시간은 각 385±25.7초와 459±31.24초이었고, 기주의 탐색을 시작하여 산란까지의 전체 소요시간은 각 402.3±31.5초, 474.4±36.7초이었다.

본 종의 Drumming & Tapping 행동시간은 충영의 크기에 따라 차이는 없었으나, Probing gall & Ovipositing 행동시간은 충영의 크기에 따라 차이가 나타났으며 충영이 큰 경우 현저하게 긴 시간이 소요되었다. Murakami and Tokuhisa (1985)는 같은 속의 *Torymus beneficus*의 경우 기주인 밤나무혹벌유충에 산란하는데 걸리는 시간이 820초라 보고하였으며, 본 종과 차이가 있었다.

충영크기별 천공회수 및 실현산란율을 조사한 결과, Table 3-11과 같이 3.0~5.0mm의 충영에 대한 암컷성충의 천공회수가 15.4 ± 5.6 회, 6.0~8.0mm의 충영에 대한 천공회수가 10.4 ± 4.5 회이었으며 산란실현충영수는 각 29%와 12%이었다. 암컷성충의 천공회수 및 산란실현충영수는 보다 작은 기주(충영)에서 많았다(t 검정, $p < 0.05$).

이 실험은 실내의 제한되고, 밀폐된 공간의 인위적 생식환경에서 이루어진 부분적인 성충의 행동패턴이므로 생물적 방제를 위한 효율성을 파악하기 위하여는 우화 후 기주에 도달하는 과정, 서식밀도와와의 관계 등을 추가로 검토할 필요가 있다.

Table 3-10. Require time of *T. sinensis* for oviposition

Gall size	Drumming & Tapping	Probing gall & Ovipositing	Total time (sec)
3.0~5.0mm	12.3 ± 3.2	385 ± 25.7	402.3 ± 31.5
6.0~8.0mm	15.6 ± 4.7	459 ± 31.2	474.4 ± 36.7

Table 3-11. Oviposition of *T. sinensis* according to gall size

Size of gall	No. of galls tested	No. of oviposition trace for 1 hr.	No. of gall oviposited (%)
3.0~5.0mm (length)	85	$15.4 \pm 5.6(13 \sim 22)$	29(34.1)
6.0~8.0mm (length)	73	$10.4 \pm 4.5(8 \sim 16)$	12(16.4)

5) 중국긴꼬리좀벌의 생활환

본 종의 생활환은 Table 3-12와 같이 년 1세대 경과하며, 노숙유충으로 월동하였다. 성충은 4월 초순에 출현하여 5월 초순에 종료하며, 우화직후 교미하여 2일~3일 후부터 산란을 시작하였다. 본 종은 밤나무혹벌의 유충 외부에 산란하는 외부기생포식자(ectoparasitoid)이었으며, 성충은 주로 충방(gall chamber)당 1개의 알을 산란하지만 중복하여 산란하는 경우 2~3개의 알이 관찰되는 충방도 있으며, 이 경우 경쟁에 의하여 1마리만이 우화하였다.

산란부터 부화까지의 기간은 3일 이내(20℃)인 것으로 관찰되었고, 부화 후 밤나무혹벌의 유충을 포식하며 성장하기 시작하며 3령을 경과하여 6월 하순에 거의 모든 개체가 노숙유충이 되었다. 유충은 익년 3월부터 충영 내에서 용화하였다.

Table 3-12. Life cycle of *T. sinensis*

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun	Jul.	Agu.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Egg				○○○	○							
Larva	○○○	○○○	○		○○○	○○○	○○○	○○○	○○○	○○○	○○○	○○○
Pupa			●●●●	●								
Adult				●●●●	●							

6) 중국긴꼬리좀벌 용의 발육과정

2001년 2~3월에 채집한 밤나무충영을 실체현미경하에서 절개 후 용을 분리하여, 용화초기의 개체를 타원형 캡슐(길이20.0mm, 직경6.5mm)에 넣고 16℃, 20℃, 24℃, 28℃의 항온, 70%의 상대습도, 16L:10D의 광주조건하에 사육한

결과는 Figure 3-9과 같다.

암컷 용의 발육기간은 16℃에서 18.5일, 28℃에 6.9일로 온도가 상승함에 따라 짧았다. 사육온도와 발육속도의 관계회귀식은 $Y=0.0077x - 0.0729$ 로 추정되었으며, 회귀식으로부터 산출한 발육한계온도는 9.5℃이었다.

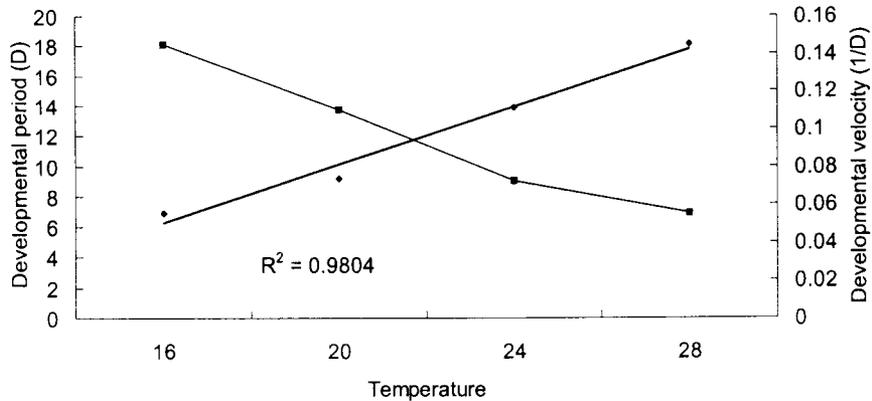


Figure 3-7. Effect of temperature on developmental velocity and period of *T. sienesis* pupa

나. 남색긴꼬리좀벌의 형태 및 생활사

1) 발육단계별 형태의 기재

가) 알

밤나무혹벌의 유충체표 혹은 충방 내에 산란된 알은 백색에 장타원형으로 상부의 폭이 하부에 비하여 넓으며, 卵柄(egg stalk)이 존재한다. 알의 길이는 $0.56 \pm 0.03\text{mm}$, 폭 $0.14 \pm 0.00\text{mm}$ 이다(Figure 3-8A).

나) 유충

유충은 백색이며 마디가 명료하고, 길이는 2.94 ± 0.18 mm로 머리를 포함하여 15절이다(Figure 3-8B).

다) 용

피용이며, 체색은 처음에는 백색이나 발육이 진행되면서 차츰 황색, 완전 성숙하면 흑색을 띤다. 암컷의 용 크기는 2.73 ± 0.09 mm, 수컷의 크기는 2.01 ± 0.18 mm로 암컷이 수컷에 비하여 크다(Figure 3-8C).

라) 성충

암컷충의 체장은 2.8mm, 산란관의 길이는 3.1mm이며, 수컷은 2.5mm이다. 두부는 청남색이며, 광택을 띠고 있다. 복안과 단안은 적갈색이고, 촉각은 12절로 갈색이다. 복부의 제1, 2절은 담황색이며, 다리의 밑마디는 남색, 그 외 마디는 담황색을 띠고, 날개는 투명하다(Figure 3-8D).

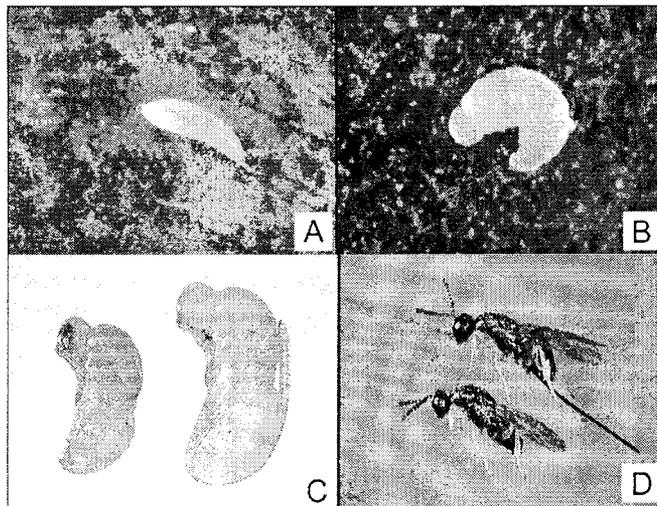


Figure 3-8. Various stages of *T. sinensis*
[A: egg, B: larva, C: pupa, female (right), male(left)
D: adult, female(up), male(down)]

2) 성비 및 수명

가) 성비

강원도 춘천, 전라남도 나주, 충청남도 부여의 재래종 밤나무와 경상남도 하동의 도입종 밤나무에 형성된 층영에서 우화한 월동세대 및 제 1 세대의 성비는 Table 3-13과 같다.

월동세대의 암컷비율은 재래종밤나무의 경우, 나주지방에서 59.7%로 현저히 높았으나(χ^2 -검정 $p < 0.05$), 그 외 지역에서는 차이가 나타나지 않았으며, 조사 연도별 차이도 없는 것으로 파악되었다. 도입종 밤나무림에서도 재래종 밤나무에서와 유사한 결과가 나타났다.

춘천지역의 재래종 밤나무림에서 제 1세대 암컷비율은 조사연도별로 차이가 나타나, 2000년, 2001년에 각 40.6%, 46.1%로 낮게 나타났으나(χ^2 -검정 $p < 0.05$), 그 외 지역에서는 성비의 차이가 나타나지 않았다. 그러나 도입종 밤나무의 경우는 64.2~69.6%로 수컷보다 현저히 높게 나타났다.

이는 본 종이 정착 후 경과기간의 장단에 의하여 영향을 받아 나타나는 결과로 생각되며 금후 생식과 관련한 상세한 검토가 필요하다.

Table 3-13. Sex rate of *T. geranii* established at the investigation site and the different chestnut orchards

Investigation site	Species	Female ratio (%)					
		2000		2001		2002	
		Mar.	Jul.	Mar.	Jul.	Mar.	Jul.
Kangwon Chunchon	Native	51.9	40.6	48.8	46.1	52.1	50.2
Chonnam Naju	Native	59.7	50.3	54.2	50.5	51.0	-
Chungnam Buyeou	Native	51.4	-	49.6	-	50.2	-
Kyongnam Hadong	Native	51.2	50.3	47.9	51.7	52.3	-
	Foreigne	48.2	69.6	45.3	64.2	51.2	66.1

나) 수명

먹이종류 및 온도(20℃, 25℃)에 따른 남색긴꼬리좀벌의 성충수명을 조사한 결과는 Table 3-14와 같다. 꿀 원액을 공급한 경우 20℃구에서의 암컷성충 수명은 42.8일로 가장 길었으며, 25℃구에서 26.5일이었고, 꿀과 원액을 공급한 경우 23.5일로 꿀물을 공급한 경우보다 오히려 수명이 짧았다.

기주(충영) 만을 공급한 경우 9.1일이었고, 먹이를 공급하지 않은 실험구에서 극히 짧았다. 전체적으로 본 종의 수명은 수컷보다 암컷이, 고온보다 저온에서 긴 경향을 보였다.

Table 3-14. Effects of food and temperature on the longevity of *T. geranii*

Food	Temperature	Sex	No. of individuals examined	Longevity (Days ± SD)
Honey	20℃	♂	20	27.5 ± 6.8
		♀	20	42.8 ± 9.8
	25℃	♂	20	20.4 ± 6.6
		♀	20	26.5 ± 11.0
Host (Gall)+Honey	20℃ ~ 25℃	♂	20	15.7 ± 6.5
		♀	20	23.5 ± 8.6
Host (Gall)	20℃ ~ 25℃	♂	20	7.0 ± 3.1
		♀	20	9.1 ± 3.5
None	20℃	♂	20	2.3 ± 0.5
		♀	20	3.3 ± 0.8
	25℃	♂	20	2.1 ± 0.4
		♀	20	2.0 ± 0.8

3) 산란전기장 및 포란수 및 산란수

남색긴꼬리좁벌 성충은 우화직후 바로 교미하는 행동이 관찰되었다. 산란 전기장은 Table 3-15과 같이 20℃에서 4.1일, 25℃에서 3.2일로 저온에서 길었다. 산란수는 20℃ 항온조건에서 22.3개체, 25℃에서 42.2개체 이었으며 산란기간중 초기에 다수 산란하는 경향을 보였다.

Table 3-15. Preoviposition periods and reproductive potential of *T. geranii* under different temperature.

Temperature	Preoviposition period (Days ± SD)	Reproductive potential (Days ± SD)
20℃	4.1 ± 1.2	22.3 ± 12.5
25℃	3.2 ± 1.7	42.2 ± 18.4

포란수는 Figure 3-9와 같이 우화직후 난소 내에 4.5개의 성숙란이 관찰되었으며, 4일째까지 계속 증가하여 평균 19.1개로 피크에 달하다가 이후 점차 감소하여 우화 12일 후에는 10.2개이었다. 이와 같은 난소내 알 수의 변화 및 산란습성 등으로 미루어 본 종은 synovigenic종으로 판단된다.

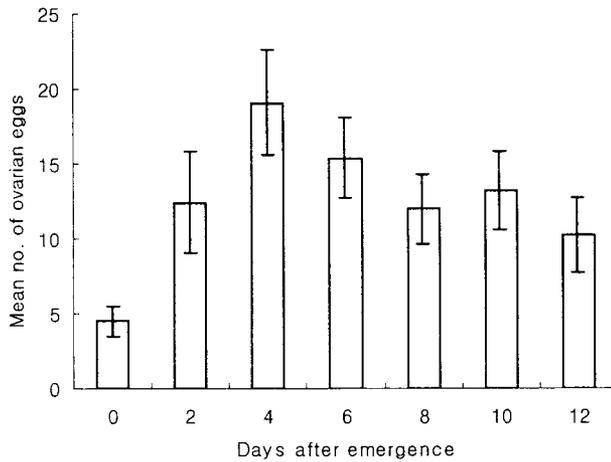


Figure 3-9. Average number of ovarian eggs of *T. geranii* after emergence
Vertical lines show the standard errors

4) 남색간꼬리좀벌의 생활환

생활환은 Table 3-16과 같다. 본 종은 밤나무혹벌의 외부포식기생자로서 3세대 경과하며, 노숙유충으로 월동하였다. 월동세대 성충발생기간은 5월 중순~6월 상순이었으며, 우화직후 교미하여 산란하였다. 제1세대 성충발생기간은 6월하순~7월상순, 제 2세대 성충발생기간은 8월상순~하순이었다.

성충은 충방(gall chamber)당 1개의 알을 산란하나 중복하여 산란하는 경우도 관찰되었다.

Table 3-16. Life cycle of *T. geranii*

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Agu.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Egg								○○○				
Larva	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○				○	○○○○	○○○○	○○○○	○○○○
Pupa				●●●	●							
Adult					●●●	●						
Egg					○	○○						
Larva						○○○○						
Pupa						●●●	●					
Adult						●	●●●					
Egg							○○○					
Larva							○○○	○				
Pupa							●	●●				
Adult								●●●				

다. 큰다리남색좀벌의 형태 및 생활사

1) 발육단계별 형태의 기재

가) 알

밤나무혹벌의 유충체표 혹은 충방 내에 산란된 알은 백색에 장타원형으로 남색긴꼬리좀벌과 반대로 하부의 폭이 상부에 비하여 넓으며 卵柄(egg stalk)이 존재하나 아주 작다. 알의 길이는 $0.48 \pm 0.02\text{mm}$, 폭 $0.13 \pm 0.00\text{mm}$ 이다 (Figure 3-10A).

나) 유충

유충은 백색으로 내부기관이 작용하면 회색으로 보이며, 마디는 명료하다. 노숙유충의 길이는 $2.53 \pm 0.15\text{mm}$ 이다(Figure 3-10B).

다) 용

부속지는 몸체에 부착하여 용화하며, 몸은 백색이나 발육하면 흑색을 띠며, 암컷의 용의 길이는 $2.03 \pm 0.12\text{mm}$, 수컷의 길이는 $1.83 \pm 0.10\text{mm}$ 로 암컷이 수컷에 비하여 크다(Figure 3-10C).

라) 성충

몸은 흑색을 띤 남색이고, 복안은 적갈색이며, 단안은 적황색이다. 암컷충의 몸길이는 $2.63 \pm 0.16\text{mm}$, 수컷은 $1.76 \pm 0.12\text{mm}$ 이다. 촉각은 12절로 적갈색, 다리는 담황색이며 날개는 투명하다(Figure 3-10D).

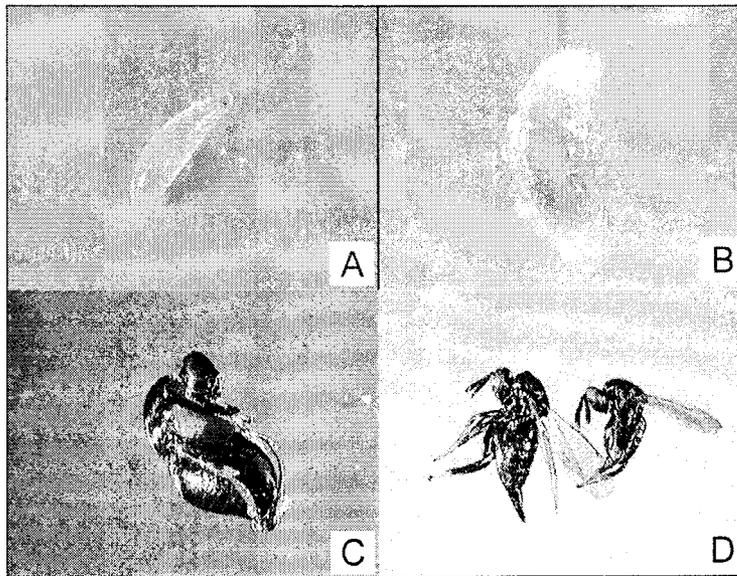


Figure 3-10. Various stages of *Ormyrus punctiger*

[A: egg, B: larva, C: pupa, D: adults, female(left), male(right)]

2) 성비 및 수명

가) 성비

성비를 조사한 결과는 Table 3-17과 같다. 갈색충영에서 우화된 성충의 성비는 나주지역을 제외한 모든 지역에서 암컷비율이 높으나 녹색충영에서 우화된 성충의 성비는 같은 것으로 나타났다.

Table 3-17. Sex rate of *O. punctiger* established at the investigation site and the different chestnut orchards

Investigation site	Varieties	Female ratio (%)			
		2000		2001	
		Mar.	Jul.	Mar.	Jul.
Kangwon Chunchon	Susceptible	73.4	46.4	64.5	47.8
Chonnam Naju	Susceptible	48.0	54.8	51.0	49.7
Chungnam Buyeou	Susceptible	59.0	-	51.3	-
Kyongnam Hadong	Resistant (TSUKABA)	55.6	50.0	53.1	51.7

나) 수명

먹이종류 및 온도(20℃, 25℃)에 따른 큰다리남색좀벌의 성충수명을 조사한 결과, Table 3-18과 같이 각 항온조건별 모두 꿀 원액을 공급한 실험에서 수명이 가장 길었으며, 먹이를 공급하지 않은 실험구에서는 극히 짧았다. 꿀 원액을 공급한 경우의 수명은 수컷보다 암컷이, 고온보다는 저온에서의 생존기간이 긴 경향을 보였다.

Table 3-18. Adult longevity of *O. punctiger* under different temperatures and diets

Food	Temperature	Sex	No. of individuals examined	Longevity (Days \pm SD)
Honey	20°C	♂	20	59.0 \pm 11.0
		♀	20	61.9 \pm 5.4
	25°C	♂	20	29.8 \pm 8.0
		♀	20	45.5 \pm 8.1
None	20°C	♂	20	2.6 \pm 0.6
		♀	20	3.1 \pm 0.8
	25°C	♂	20	2.3 \pm 0.4
		♀	20	1.9 \pm 0.8

3) 산란전기간 및 포란수

큰다리남색좀벌 성충은 우화직후 바로 교미하는 행동이 관찰되었다. 산란 전기간은 Table 3-19와 같이 20°C에서 6.5일, 25°C에서 4.6일로 저온에서 길었다.

Table 3-19. Preoviposition periods of *O. punctiger* under different temperature.

Temperature	Preoviposition period (Days \pm SD)
20°C	6.5 \pm 2.0
25°C	4.6 \pm 1.8

포란수는 Figure 3-11과 같이 우화직후 난소 내에는 5.2개의 성숙란이 관찰되었으며 이후 4일째까지 계속 증가하여 평균 12.3개로 피크에 달하다가 이후 점차 감소하여 우화 12일 후에는 8.0개이었다. 이와 같은 난소 내 알수의 변화 및 산란습성 등으로 미루어 본 종은 synovigenic종으로 판단된다.

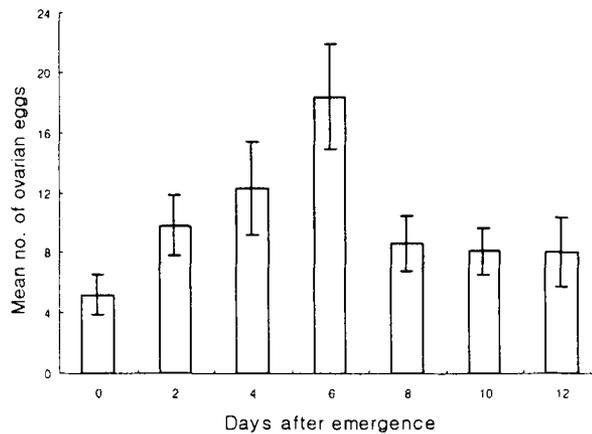


Figure 3-11. Average number of ovarian eggs of *O. punctiger* after emergence. Vertical lines show the standard errors

4) 큰다리남색좀벌의 생활환

생활환은 Table 3-20과 같다. 본 종은 밤나무혹벌의 외부포식기생자로서 년 2세대 경과하며 노숙유충으로 월동하였다. 제 1세대 성충발생기간은 5월 하순~6월 중순이었으며, 제 2세대 성충발생기간은 7월 초순~8월 중순이었다.

성충은 충방(gall chamber)에 주로 1개의 알을 산란하나 중복하여 산란하는 경우도 관찰되었다.

Table 3-20. Life history of *Ormyrus punctiger*

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun	Jul.	Agu.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Egg					○ ○○							
Larva						◎◎◎						
Pupa						●● ●						
Adult							●●● ●					
Egg							○○ ○○					
Larva	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎		◎ ◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎
Pupa					●●●							
Adult					● ●●							

3. 기생성 천적(3종)의 지역별 우화소장

밤나무혹벌의 밀도억제에 효과적인 생물인자를 탐색하기 위하여 우점하고 있는 3종의 기생성 천적(중국긴꼬리좀벌, 남색긴꼬리좀벌, 큰다리남색좀벌)의 지역별(경상남도 하동군, 전라남도 나주시, 강원도 춘천시) 우화소장을 조사하였다.

가. 중국긴꼬리좀벌의 우화소장

1) 중국긴꼬리좀벌의 우화패턴

밤나무혹벌 충영으로부터 중국긴꼬리좀벌이 우화하는 시각 및 개체수는 Table 3-21과 같이 06시에 우화하기 시작하여 18시에 종료하였으며, 오전 7시부터 오후 3시까지 일일 우화 총 개체수의 88.7%가 우화 하였다. 암조건 하에서 우화하는 개체는 발견되지 않았다.

Table 3-21. Hourly number of *T. sinensis* adults emerged from the galls

on three days

Time	No. of adults emerged/500 galls			
	April 21	April 22	April 23	Average (%)
07:00-08:59	12	6	11	16.0(16.8)
09:00-10:59	21	10	23	18.0(18.9)
11:00-12:59	37	25	20	27.3(28.6)
13:00-14:59	16	8	13	12.3(12.9)
15:00-16:59	10	9	14	11.0(11.5)
17:00-18:59	5	0	6	3.7(3.9)
19:00-20:59	0	1	0	0.3(0.4)
21:00-00:59	0	0	0	0(0)
01:00-04:59	0	0	0	0(0)
05:00-06:59	4	7	9	6.7(7.0)
Total	105	66	96	95.3(100)

2) 지역별 우화소장

강원도 춘천시, 경상남도 하동, 충청남도 공주지역에서 충영을 채집하여 지역별 우화소장을 조사한 결과는 Figure 3-12, 13, 14, 15와 같다.

강원도 춘천지역에서(Figure 3-12), 2000년 최초 우화일은 4월 17일, 종료일은 5월 4일이었으며, 최성기는 4월 21일부터 27일까지이었다. 2001년의 최초 우화일은 4월 20일, 종료일은 5월 6일이었으며, 최성기는 4월 22일부터 4월 26일이었다. 2002년 최초 우화일은 4월 14일, 종료일은 5월1일이었으며, 최성기는 4월21일부터 4월 24일이었다. 본 종의 최초 우화일은 조사년도에 따라서 약간의 차이가 나타났으나 우화 최성일은 4월 하순경으로 유사한 경향을 보였다.

충청남도 공주지역에서는(Figure 3-13), 2000년 우화최초일은 4월 18일, 종료일은 5월 2일이었고, 최성일은 4월 20일부터 4월 24일까지 이었다. 2001

년 최초 우화일은 4월 20일, 종료일은 5월 3일이었으며, 최성기간은 4월 22일부터 4월 27일이었다. 2002년에는 최초우화일이 4월 11일, 종료일은 5월 2일로 우화기간이 타 년도에 비하여 길었고, 우화최성기는 4월 19일 전후로 2000년 및 2001년도 결과와 다르게 나타났다.

경상남도 하동지역에서(Figure 3-14), 2000년 최초 우화일은 4월 3일이었으며, 종료일은 5월 1일이었다. 우화최성기는 4월 15일부터 4월 23일까지이었다. 2001년도 최초 우화일은 4월 3일, 종료일은 4월 26일이었으며 최성기는 4월 11일부터 4월 13일였다. 2002년 최초 우화일은 4월 2일, 종료일은 4월 18일이었고, 최성기는 4월 7일부터 4월 11일로, 최초우화일 및 우화최성기는 전년도와 유사하였으나 2000년 결과와 다르게 나타났다.

지역별 우화소장을 비교한 결과는 Figure 3-15와 같이 경남 하동지역이 충남 공주지역에 비하여 일주일, 강원 춘천지역에 비하여는 9일 빠르게 우화하였고, 2001년, 2002년 조사결과도 서식장소에 따라 우화시기가 비슷하게 변화하는 경향이 나타났다. 이는 기후조건에 영향을 받아 나타난 것으로 생각되며, 특히 우화 최성기의 차이는 적당량의 비가 내린 다음날 우화개체수가 증가하는 것이 관찰되는 점등으로 미루어 수분조건과도 관련이 있는 것으로 사료된다.

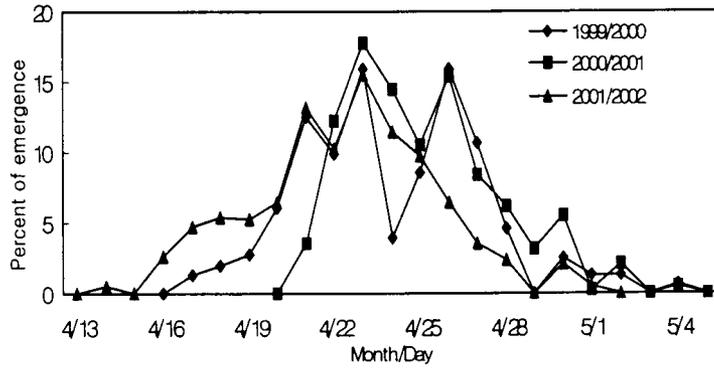


Figure 3-12. Seasonal fluctuation of *T. sinensis* adult emerged from *D. kuriphilus* galls collected in Chunchon, Kangwon.

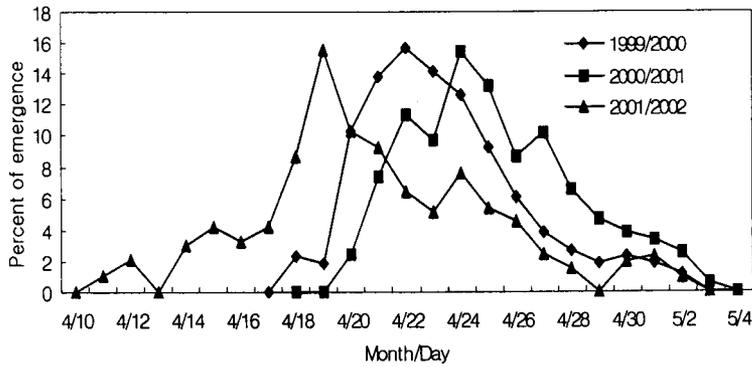


Figure 3-13. Seasonal fluctuation *T. sinensis* adult emerged from *D. kuriphilus* galls collected in Gongju, Chungnam.

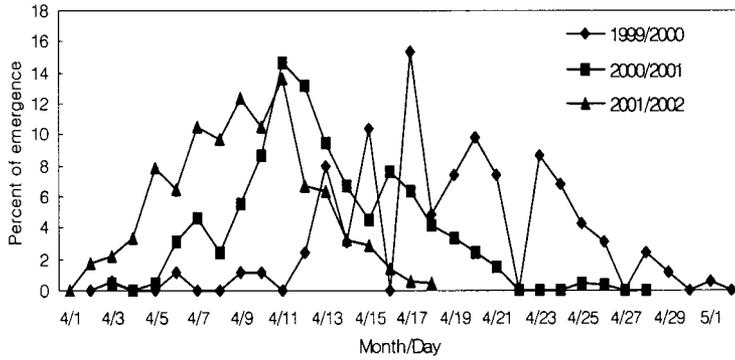


Figure 3-14. Seasonal fluctuation of *T. sinensis* adult emerged from *D. kuriphilus* galls collected in Hadong, Kyungnam.

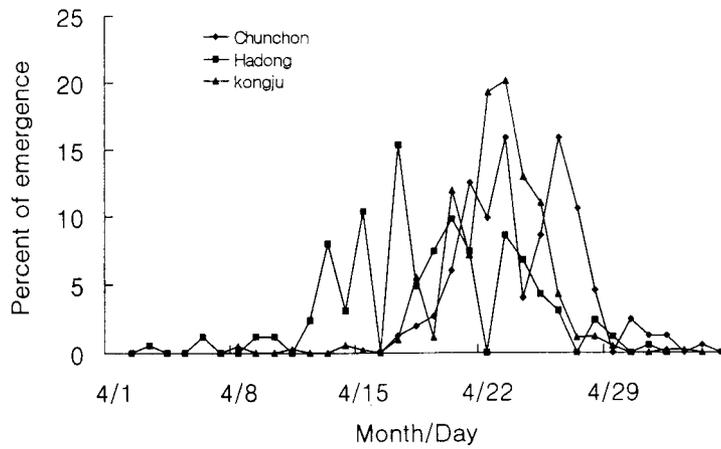


Figure 3-15. Seasonal fluctuation of *T. sinensis* adult emerged from *D. kuriphilus* galls collected in February, 2000.

나. 남색긴꼬리좀벌 및 큰다리남색좀벌의 우화소장

1) 남색긴꼬리좀벌의 우화소장

지역별 남색긴꼬리좀벌의 우화소장은 Figure 3-16, 17과 같다. 강원도 춘천지역에서 2000년 최초 우화일은 5월 20일이었고, 종료일은 7월 30일이었으며, 2001년 최초 우화일은 5월 25일, 종료일은 8월 5일이었다. 조사 년도 모두 2회의 피크기간이 현저하게 나타나 2세대를 경과하는 것으로 사료되며, 제1세대는 전년도 형성된 충영에 서식하고, 제 2세대는 이듬해 형성된 충영에 서식하는 것으로 사료된다.

경상남도 하동지역에서 2000년 최초 우화일은 5월 15일, 종료일은 8월 25일이었고, 2001년 최초 우화일은 5월 20일, 종료일은 8월 20일이었으며, 조사 년도 모두 3회 피크기간이 현저하게 나타났다.

따라서 남부지방에서는 3세대를 경과하는 것으로 파악되었으며, 제1세대는 전년도 형성된 충영에, 제2대 및 제3세대는 이듬해 형성된 충영에 서식하는 것으로 사료된다.

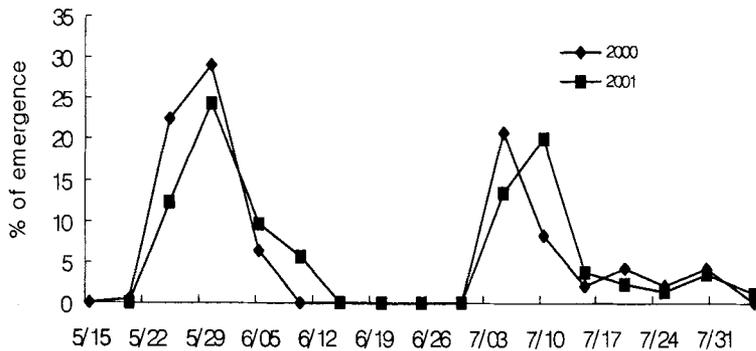


Figure 3-16. Seasonal fluctuation of *T. geranii* adult in Chuncheon, Kangwon.

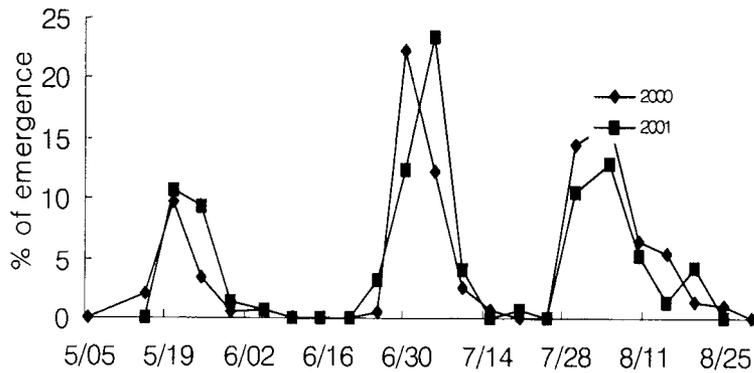


Figure 3-17. Seasonal fluctuation of *T. geranii* adult in Hadong, Kyongnam

2) 큰다리남색좀벌의 우화소장

큰다리남색좀벌의 우화소장은 Figure 3-18, 19와 같다. 강원도 춘천시와 전남 나주시 모두 성충이 우화패턴은 유사하였으며, 최초우화일 및 종료일은 2000년에 비하여 2001년에 다소 늦었다. 조사 년도 모두 월동세대(전년도 형성된 충영에서 성충 탈출)에서 현저하게 높게 나타났으나 이후세대의 우화 최성기는 명료하지 않았다. 본 종은 년 2세대 경과하는 것으로 사료된다.

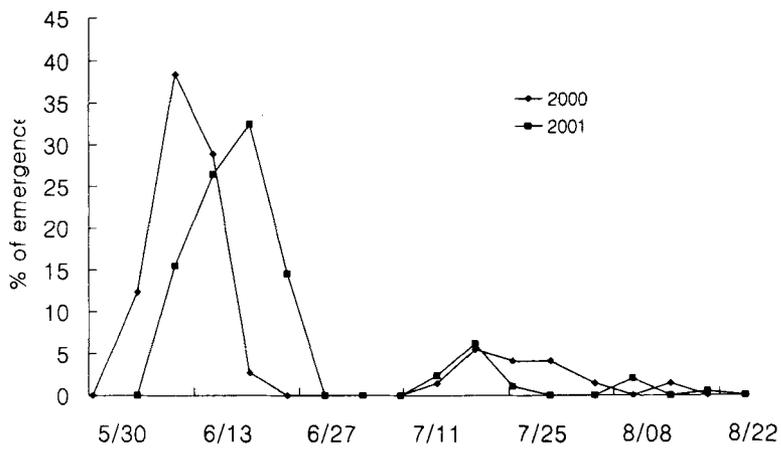


Figure 3-18. Seasonal fluctuation of *O. punctiger* adult in Chunchon Kangwon province

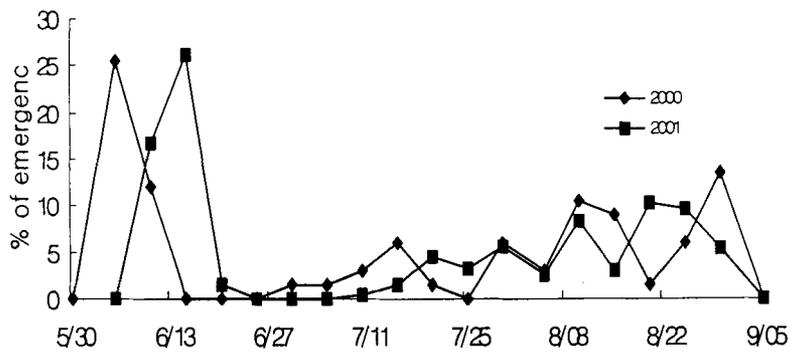


Figure 3-19. Seasonal fluctuation of *O. punctiger* adult in Naju, Chonnam province

제 4 장 밤나무혹벌의 생물적방제

제 1 절 서 설

밤나무혹벌의 피해방지를 위하여 각종 방제방법이 개발되었다. 일본에서는 피해에 강한 내충성 품종을 육종하는 연구가 수행되어 1947년부터 丹澤, 筑波, 石鎚 등을 보급하기 시작하였으나, 1960년도에 내충성 품종에도 밤나무혹벌이 기생하여 그 피해가 증가하였다(於保 등, 1970).

국내의 경우, 임업시험장에서 1963년부터 일본에서 내충성 품종을 도입하는 한편, 1966년부터 재래종 가운데 내충성 품종을 선발하여 대대적으로 보급하기 하였으나, 1975년경부터는 도입종인 축파, 단택, 은기, 유마 등에 밤나무혹벌이 기생하였다(朴 등, 1981). 이후 피해발생은 보고되지 않았으나, 최근에 남부지방의 내충성 품종에 발생하기 시작하여 점차 개체군 밀도가 증가하는 추세이며, 전라남도 광양, 경상남도 진주, 하동, 산청 등으로 확산되어 심각한 피해를 주고 있는 실정이다.

1950년 이후에 일본에서는 주로 유기염소계 농약을 이용한 방제법(白神, 1951. 田村, 1961. 行德, 1985)이 시도되었으나 구제효과가 낮았고, 이후 유기인계 살충제가 개발되어 적용되었으나, 역시 만족할 만한 성과를 거두지 못하였다. 국내에서도 우화기에 유기염소계 및 유기인계 농약을 수관살포하는 방법, 수간주입하는 방법(李 등, 1968), 월동유충기의 근부처리 방법 등을 시도하였으나(朴 등, 1980) 방제효과는 낮았다.

이와 같이 화학적 방제가 만족할 만한 성과를 얻지 못하는 것은 밤나무의 눈(芽)이나 엽맥 내에 벌레혹(insect gall)을 형성하고 그 속에서 생활하는 생태적인 특성 때문이며, 오히려 약제방제는 유용천적의 감소 및 환경오염,

밀원식물에서의 악영향 등 부작용을 초래하므로 비효율적이라 할 수 있다.

따라서 이러한 제약조건을 해소하고 보다 효과적인 방제방법을 수립하기 위하여 본 해충의 개체군밀도를 조절하는 생물요인을 이용하는 방제방법의 개발이 필요하다.

일본에서는 생물적 방제를 위하여 일부 생물요인의 탐색과, 주요 생물요인에 대한 생태학적 기초연구가 이루어졌으며, 중요 기생벌에 대하여 유효성 등이 검토된 바 있고, 특히 중국으로부터 천적을 도입하여 일본에 방사한 후 개체군밀도의 제어효과를 조사중이다(安松 1958, 村上 등 1977, Yasumatsu et al. 1979, Murakami 1981, 村上 등 1983; 1985; 1987; 1989, Luo et al. 1987, Huang et al. 1988, Moriya et al., 1992; 守屋, 1992; 村上 1990, Murakami and Gyoutoku, 1995; Murakami et al. 1995).

국내의 경우 밤나무혹벌의 생물적 억제인자인 기생천적의 종류와 이들 천적 종류의 중간기주를 조사하여 참나무에 형성된 충영 내에 기생하는 천적 종류를 기록하고, 한국 미기록종인 중국긴꼬리좀벌을 포함하여 3종을 추가 기재하였으나, 일부 생태학적인 특성을 구명하였을 뿐이다(박, 1963, 高 등, 1966, 김, 1993, 김, 1998, 김, 1999).

생물적 방제를 실현하기 위해서는 천적의 종류, 우점종에 대한 생태, 천적의 선발 및 기주와의 상호작용 등에 대한 종합적인 연구가 필요하므로 본 연구에서는 밤나무혹벌의 주요 기생성 천적의 형태학적 특성 및 생태학적 특성을 기초로 하여 기주의 개체군 밀도 조절에 관여하는 생물요인의 존재양식을 해명하였고, 해충과 천적간의 상호작용을 해명하여 해충의 개체군 밀도제어에 기여하는 정도를 파악하였다. 특히 생물적 방제 인자로 효과적일 것으로 생각되는 중국긴꼬리좀벌의 기주에 대한 동조(Synchronization)정도를 비교 검토하였다. 한국 내에 서식하는 중국긴꼬리좀벌은 중국원산의 것과 우화시기가 다른 생태형이며, 한국 내에 적어도 2가지의 서로 다른 생태

형이 존재함을 시사한 바 있으므로(村上, 1994), 이에 대한 검토를 병행하여 수행하였다. 또한 본 해충이 발생된 밤나무 조림지에 중국긴꼬리좀벌을 방사한 후 그 효과를 종합적으로 분석하여 생물적 방제 체계화 수립에 필요한 기초자료를 제공하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌과의 상호관계

가. 시험지의 개황

밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌과의 상호관계를 구명하기 위하여 강원도, 경상남도, 전라남도에서 지역별로 검토하였다. 밤나무 조림지는 3조사 지역 모두 산록부위에 조성된 임분을 선정하였다.

강원도 지역은 해발고 300~400m에 위치하고 있으며, 주로 재래종밤나무가 집단적으로 조성되었고, 인근에 도입종이 일부 식재된 지역을 선정하였다. 밤나무의 수령은 15~20년생, 수고는 10m이하로 이전부터 밤나무혹벌에 의한 피해가 발생된 지역이었다.

경상남도 지역은 해발고 100m내외에 위치하고 있으며, 내충성품종이 혼재하여 식재되어 있고, 밤나무수령은 17~25년생이었다. 밤나무혹벌은 1995년에 발생하여 점차 밀도가 증가하는 지역이었다.

전라남도 지역은 해발고 100~200m에 위치하고 있으며, 재래종 밤나무가 수십본 식재되어 있는 임분으로 수령은 20년생 내외이었다.

나. 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌의 동조성 검토

1) 밤나무혹벌 유충 및 충영의 발육과 중국긴꼬리좀벌의 산란

밤나무혹벌의 밀도억제의 효율성은 기주와 기생자간의 동조성의 정도에 따라 다르게 나타나므로 이를 구명하기 위하여 우선 기생자인 중국긴꼬리좀벌이 산란에 적합한 충영의 크기를 파악하였다. 실험에 사용할 기생되지 않은 충영을 구하기 위하여 밤나무의 눈이 개엽하기 전에 밤나무 가지에 망사 케이지(60mesh, 가로 50cm×세로 70cm)를 씌워 천적에 의한 기생을 방지하였다. 시기별(충영의 크기별)로 야외에서 절취한 밤나무가지와 우화한지 5일 경과한 성충을 사육상자(30cm×30cm×50cm)에 방사한 후, 사육상자를 24℃±1℃의 항온과 70%±5%의 항습 및 16L:8D 광조건의 환경조절장치 내에 넣고 조사하였다. 기생벌의 먹이로 벌꿀원액을 급여하였으며, 방사한지 3일 경과한 후에 충영을 절개하여 밤나무혹벌의 산란확인 및 유충의 발육을 관찰하였고, 밤나무혹벌의 유충과 충영의 크기를 측정하였다.

2) 지역별 충영발육과 중국긴꼬리좀벌의 우화소장

밤나무혹벌에 의하여 형성된 충영의 발육경과와 중국긴꼬리좀벌의 우화소장과 동조성(synchronization)을 조사하기 위하여 경남 하동군 북천면, 강원 춘천시 동면 소재의 밤나무림에서 3분의 고정 조사목(품종:축파)을 선정 후 3월부터 7월까지 5일 간격으로 같은 방향의 가지에서 임의로 50개의 충영을 채집하였고, 캘리퍼스를 이용하여 충영의 크기를 측정하였다. 중국긴꼬리좀벌의 우화소장 [500개의 충영을 3월에 채집하여 5개의 우화상(Figure 3-1)에 넣고 이를 직사광선이 차단되는 야외의 철망cage 내에 보관하며, 매일 11시~12시에 우화하는 개체수를 기록]은 생태 연구에서 조사된 결과를 이용하였다.

다. 천적종류별 기생율 변화

강원 춘천, 경남 하동에서 고정조사목 5본을 선정하고, 충영의 크기가 증대되어 육안으로 관찰가능한 시기인 5월 상순부터 성충이 충영에서 이탈하기 이전인 6월 하순까지 밤나무혹벌의 발육단계별(5월5일~5월15일, 5월21일~5월30일, 6월5일~6월15일)로 천적의 종별 기생개체수를 조사하였다. 각 조사 시기마다 임의로 50충영을 3회 채집하였으며, 실체현미경하에서 충영을 절개하여 충방 내부에 생육하고 있는 밤나무혹벌 및 기생벌의 개체수를 조사하였다. 기생율은 전체충방수와 중국긴꼬리좀벌과 기타 기생벌이 기생하고 있는 충방수의 백분율로 표시하였다.

라. 천적의 기생율과 밤나무혹벌 피해율

강원 춘천지역의 밤나무조림지에서 1998년부터 2002년까지의 피해율과 기생율을 조사하였다. 5월에 고정조사목 10그루로부터 임의로 200개의 충영을 채집한 후 실체현미경하에서 절개하여 기주 및 기생벌 유충의 형태적인 차이를 기초로 종별 개체수를 조사하였다. 천적의 기생율은 피기생기주수/충영내 기주총수(총충방수) $\times 100$ 으로 표시하였다. 밤나무혹벌의 피해율은 매년 4월 하순~5월 하순에 조사하였다. 20그루의 고정조사목에서 결과모지를 임의로 그루 당 20가지씩 채취하였으며 가지에 형성된 충영의 눈수(芽數)와 건전한 눈수(芽數)를 조사하였다. 밤나무혹벌에 의한 피해율은 충영이 형성된 눈수를 조사가지의 전체 눈수로 나눈수의 백분율로 표시하였다.

마. 중국긴꼬리좀벌의 생존율

중국긴꼬리좀벌의 유충기부터 성충우화까지의 기간동안 생존율을 조사하였다. 조사는 기생벌이 충영에 산란하여 알이 부화하여 발육하는 시기인 5월부터 8월까지의 기간과 노숙유충으로 월동하여 용화하는 익년 2월과 3월에 실시하였다. 각 조사지역에서 고정조사목을 선정하여 각 수목에서 100개의 충영을 매월 채집하였다. 충영은 해부현미경하에서 절개하여 밤나무혹벌의 유충과 용이 발육하고 있는 충방(Gall chamber), 중국긴꼬리좀벌이 발육하고 있는 충방, 기타기생벌(임의적이차기생벌)이 발육하고 있는 충방 및 자연폐사된 충방을 구별하여 각 요인별로 개체수를 기록하는 방법으로 생존정도를 추정하였다.

생존율은 최초로 조사한 전체 충방수에 중국긴꼬리좀벌이 기생하는 개체수를 100%생존으로 하여 각 조사일 충방 당 생존충수의 백분율로 표시하였다. 강원지역에서 2000년부터 2002년까지, 경남지방에서는 2001년부터 2002년까지 조사하였다.

바. 중국긴꼬리좀벌의 생존율에 영향을 미치는 2차기생벌 역효과

중국긴꼬리좀벌의 생존율에 미치는 2차기생벌의 영향을 조사하기 위하여 강원 춘천, 경남 하동, 전남 나주에서 고정조사목 5본을 선정하고, 밤나무혹벌이 발육을 시작하여 충영이 육안으로 관찰가능한 시기에 밤나무혹벌의 발육단계별(5월5일~5월15일, 5월21일~5월30일, 6월5일~6월 15일, 6월21일~6월30일)로 조사하였다. 각 조사시기 마다 임의로 50충영을 3회 채집하였으며, 충영을 실체현미경하에서 절개하여 충방에서 생육하는 기주 및 기생자의 개체수를 조사하였다. 중국긴꼬리좀벌 및 2차기생벌의 구분은 유충 및

용의 형태 및 우화한 성충에 의하여 식별하였다. 기생율은 중국긴꼬리좀벌과 기타 기생벌이 기생하고 있는 총방수를 전체 총방수로 나눈수의 백분율로 표시하였다.

또한 10월 이후 익년 3월까지의 기간동안 중국긴꼬리좀벌의 생존율에 미치는 이차기생벌(Hyperparasitoids: *Torymus geranii*, *Eurytoma brunniiventris*, *Eurytoma setigera*, *Sycophila variegata*, *Ormyrus punctiger*, *Ormyrus flavitibialis*, *Eupelmus urozonus*)의 종별 영향정도를 파악하기 위하여 고정조사목에서 충영을 임의 채집하여 우화상에 넣고 야외에 방치한 후 우화하는 성충의 개체를 수집하여 종별 개체수를 기록하였다.

사. 천적 종간의 기생양식

해충의 개체군밀도를 억제하는 유효한 인자를 선발하기 위해서는 생물인자(천적 종)사이의 기생양식을 파악하는 것이 중요하므로 다음 2가지 방법으로 조사하였다.

제 1 방법: 고정조사목을 선정한 후 시기별(4월-8월 및 9월-익년 3월)로 충영을 채집하여 절개하였고, 절개 후 밤나무혹벌에 기생중인 1차기생자 및 타종에 기생중인 고차기생벌의 형태를 연속적으로 영상분석장치에 저장하며 기생관계를 파악하였다.

제 2 방법: 밤나무충영이 형성되기 이전에 망사(60mesh)를 씌워 기생자에 의한 기생을 방지하고 충영이 형성된 이후에 *Torymus sinensis*, *Torymus geranii*, *Eupelmus urozonus*, *Ormyrus punctiger* 등 천적을 방사하여 밤나무혹벌에 대한 1차 기생여부를 파악하였다.

2. 중국긴꼬리좀벌의 생태형

내충성품종인 축파와 재래종에 발생하고 있는 밤나무혹벌의 개체군밀도 억제에 가장 효과적인 천적으로 선발된 중국긴꼬리좀벌에 대하여 지역별 생태종을 파악하기 위하여 형태, 우화소장, 유전적변이를 조사하여 그 차이를 비교하였다. 지역별 시험지의 개황은 1항 가와 같다.

가. 지역별 형태비교

경상남도 하동지역의 밤나무 조림지(축파)와 강원도 춘천지역의 자생지(재래종), 일본 쓰쿠바시의 밤나무(축파)에서 채집한 충영에서 우화한 성충의 외부형태크기를 컴퓨터영상분석기를 이용하여 측정 비교하였다.

나. 지역별 우화소장

각 조사지역별(Table 4-1)로 전년에 밤나무가지에 형성된 충영 500개체를 11월~익년2월에 채집하여 우화상(26×26×27cm)에 넣고 이를 야외 직사광선이 차단된 cage 내에 방치하였다. 3월이후 우화상내의 충영에서 탈출한 기생벌을 2일 간격으로 채집하여 종별 개체수를 조사하였다.

다. 중국긴꼬리좀벌의 유전자 변이분석

중국긴꼬리좀벌의 유전자변이 분석을 위한 시험지 및 방법은 밤나무혹벌의 유전자 변이분석과 동일하게 수행하였다.

Table 4-1. Data on sample galls of *D. kuriphilus* collected for investigation

Season of investigation	Collection of sample galls	
	Locality	Date
2000~2001	Kangwon Chunchon	Feb. 25. 2000
		Nov. 12. 2001
	Kyonggi Suwon	Feb. 15. 2000
		Nov. 10. 2001
	Kyongbuk Kyongju	Feb. 15. 2000
		Oct. 25. 2001
	Chungnam Gongju	Feb. 25. 2000
		Nov. 12. 2001
	Chonnam Gwangyang	Feb. 25. 2000
		Oct. 25. 2001
	Kyongnam Hadong	Feb. 18. 2000
		Nov. 15. 2001

3. 중국긴꼬리좀벌의 이용한 생물적 방제 검토

가. 천적의 채집시기

토착천적을 생물적방제에 이용하기 위하여는 효율적인 채집시기를 구명하여야 한다. 이를 위하여 야외 樹上 및 cage내에서의 채집시기별 생존율을 조사하였다. 樹上조사의 경우 밤나무로부터 2000년 12월, 2001년 1월, 2월, 3월에 50충영을 채집하여 충방에서 생육하고 있는 천적의 생존개체수를 조사하였다. Cage내 조사의 경우 2000년 12월에 1000충방을 채집하여 야외 cage내에 방치한 후 樹上조사시기와 동일한 시기 및 방법으로 조사하였다. 생존

율은 천적서식충방수를 전체충방수로 나눈수의 백분율로 산정하였다.

시기별 우화량을 조사하기 위하여 야외 밤나무로부터 2000년 12월, 2001년 1월, 2월, 3월에 200충영을 채집하여 야외 cage내에 방치한 후 충영에서 우화하는 개체수를 조사하였다.

나. 중국긴꼬리좀벌의 기생능력과 방사방법별 효과

생물적 방제의 효율성 제고를 위하여 합리적인 방사방법의 구명이 필요하므로 인위적으로 만든 공간과 밤나무 조림지에서의 기생벌의 기생능력을 검토하였으며, 방사방법별로 해충개체군의 밀도억제효과를 조사하였다. 본 기생벌의 방사방법에는 밤나무혹벌 충영에서 이탈한 성충을 수집하여 방사하는 방법과 성충이 이탈하기 이전의 충영을 방사하는 방법으로 구분할 수 있으므로 성충과 충영을 각 밤나무 조림지에 이식한 후, 기생율을 조사하여 효과를 추정하였다.

1) 중부지역에서의 중국긴꼬리좀벌의 방사효과 실험

가) 소규모 망실 내에서의 성충태 방사효과

강원도 춘천지역의 밤나무조림지(수령 5~20년생, 수고 4~6m, 밤나무혹벌의 평균 피해율 $37.9 \pm 6\%$)에서 고정조사목을 선정한 후 20개체 이상의 충영이 형성된 가지에 기존하여 서식하고 있는 천적이 산란하지 못하도록 망사(60 mesh)를 씌우고, 그 속에 중국긴꼬리좀벌 성충을 방사하였다. 방사에 사용한 중국긴꼬리좀벌은 충영 내에서 발육중인 밤나무혹벌의 유충시기와 동조하도록 충영으로부터의 성충이탈시기를 연장하였다. 이탈시기를 연장시키기 위하여 충영을 온도 10℃, 습도 70%로 조절한 곤충사육상 넣어 사육

하였다. 방사규모는 5그룹에서 각 2-3가지 선택하여 총 10가지에 망사(50cm × 70cm)를 씌운 후 각 망사 내에 교미를 종료한 7일령의 중국긴꼬리좀벌 2쌍 및 4쌍을 방사하였다. 성충의 생존시간(수명)을 연장하기 위하여 가지에 꿀물원액을 제공(천을 꿀물에 넣어 충분히 침투시킨 후 밤나무 가지에 감아서 제공함)하였다.

방사한 중국긴꼬리좀벌이 모두 사망한 후에 각 시험규모별로 형성된 모든 충영을 채집하여 충영을 절개한 후 충방 내부에 기생하는 천적의 종별 기생율을 비교 검토하였다.

나) 야외 독립된 밤나무에서 성충태 이식효과

경기도 가평지역의 독립된 밤나무 4그룹(수령 5~20년, 수고 3~4m)를 선정하여 중국긴꼬리좀벌의 성충을 방사하였다(Figure 4-1). 방사성충은 3월에 춘천근교에서 채집한 충영에서 우화한 개체를 이용하였으며 기주와의 동조성을 높이기 위하여 충영을 온도10℃, 습도70%로 조절한 사육장치에 넣어 사육하였다. 시험지에서 밤나무의 눈이 개엽하기 시작하여 충영이 육안으로 판별가능한 때에 저온에서 사육 중이던 충영을 24℃항온하에 넣어 우화시켰다. 각 임목 당 천적종별로 교미를 종료한 7일령의 성충 100두를 방사하였다.

생존시간(수명)을 연장하기 위하여 방사 대상목 3개소에 꿀물원액을 제공(천을 꿀물에 넣어 충분히 침투시킨 후 천을 밤나무가지에 감아서 제공함)하였다.

방사효과조사는 각 시험목별로 50개의 충영을 시기별로 채집하여 충영을 절개한 후, 충방에 기생하는 천적의 종별 기생율을 조사하였다. 조사는 방사 후 20일, 40일, 60일에 실시하였으며 인근의 방사하지 않은 밤나무 조림지에서 동일한 방법으로 기생율을 조사하여 방사임목과 비교 검토하였다.



Figure 4-1. Release of *T. sinensis* adults in Gapyung, Kyonggi

2) 남부지역에서의 중국긴꼬리좀벌의 방사효과 실험

가) 망실내에서의 충영태 이식 및 성충태 이식시험 효과

중국긴꼬리좀벌의 성충태 이식 및 충영태 이식효과를 정확하게 구명하기 위하여 경상남도 하동군 지역의 밤나무 조림지에서 축파 6본(높이 2~3m)을 선정하여 기존천적이 기생하지 못하도록 망사(60mesh)로 임목 전체를 씌웠다. 이후 2001년 4월 12일~15일에 강원지역과 충남 공주지역에서 채집한

충영에서 우화 한 7일령의 성충을 그루 당 100개체 방사하였다.

성충이 이탈하기 이전에 충영을 성충태 이식과 동일한 규모로 하여 그루 당 200개체 방사하였다. 밀원식물은 천적을 방사하는 시기에 개화하지 않으므로 자연으로부터 식이물 섭취가 어려운 점을 감안하여 밤나무줄기(결과과지)에 벌꿀이 침투된 천을 밤나무가지에 감아주었다.

효과조사를 위하여 각 시험목별로 50개의 충영을 시기별로 채집하여 충영을 절개한 후 충방 내부에 기생하는 천적의 종별 기생율을 조사하였으며, 시기는 방사 후 20일, 40일에 조사하여 방사 후 경과일별 기생율을 비교 검토하였다.

나) 밤나무 조림지에서의 성충태 이식효과

(1) 방사지의 개황

토착천적인 중국긴꼬리좀벌을 이용한 밤나무혹벌의 밀도억제효과를 검토하기 위하여 경상남도 진주 미천 및 하동 북천 지역의 밤나무 조림지에 시험지를 설정하였다. 선정된 밤나무 조림지는 해발고 100m내외에 조성된 밤나무 조림지 2지역을 선정하였다.

진주 미천 지역은 내충성 품종인 은기, 유마 등이 혼재하여 식재 되었으며 수령은 10~15년생이었다. 밤나무혹벌 발생년도는 1997년으로 추정되며, 밤나무 충영형성율은 20%이하로 피해가 「경」한 지역이었다.

하동 북천지역 역시 내충성 품종이 혼재하여 식재 되어 있으며 수령은 17~25년 생이었다. 밤나무혹벌은 1995년에 발생하여 점차 밀도가 증가하여 시험당시의 충영형성율은 53%~56%로 피해가 「심」한 지역이었다.

(2) 방사방법

경상남도 진양군 미천면 효자리 및 하동군 북천면 사평리 밤나무 집단조림지(축과 17~25년생)에서 3그룹(수고 3~4m)를 선정하여 중국긴꼬리좀벌의 성충을 방사하였다. 방사에 이용된 성충은 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 22.5%~32.7%인 경기도 양주군 내에서 충영을 채집하여 획득하였다. 천적성충의 우화시기와 기주와의 동조성을 높이기 위하여 채집한 충영은 항온항습기(온도10℃, 습도70%)에 넣고 우화시기를 연장시켰다. 이후 방사지에서 밤나무잎이 개엽하기 시작하여 충영을 육안으로 판별할 수 있는 시기(Figure 4-2), 즉 새롭게 형성된 충영의 길이가 3cm~7cm 되었을 때, 저온에서 사육중이던 이전 년도의 충영을 24℃ 항온 하로 옮겨 발육을 원활히 하였고, 주광성을 이용하여 성충을 채집하였다(Figure 4-25, 26). 각 임목 당 교미를 종료한 7일령의 성충 200두를 방사하였다. 증식효율을 증대시키는 한 방편으로 생존시간(수명)을 연장하기 위하여 방사 대상목 3개소에 중부지역과 같은 방법으로 꿀원액을 제공하였다



Figure 4-2. Release of *T. sinensis* adults in Hadong, Kyongnam

(3) 방사지점으로부터 거리별 기생율

경상남도 하동지방의 천적방사지에서 성충태를 이식한 지점(수목)으로부터 거리별로 중국긴꼬리좀벌의 기생율을 조사하였다. 조사수목은 방사지점으로부터 남향 및 북향으로 5m, 10m, 15m, 20m 간격으로 선정하였다. 방사 당년 9월에 기 선정된 수목으로부터 총영 100개를 채집하여 해부현미경하에서 절개하고, 총방내에 존재하는 중국긴꼬리좀벌의 기생개체수를 조사하였다. 중국긴꼬리좀벌은 유충의 형태적 특징(Figure 3-3)을 참고로 판단하였으며, 기생율은 중국긴꼬리좀벌개체수를 총 총방수로 나눈값의 백분율로 산정하였다.

(4) 방사지의 천적상의 변화

방사천적인 중국긴꼬리좀벌은 이에 기생하는 이차기생벌이 다수 종 존재하므로 방제효과를 제고시키기 위해서는 이차기생벌의 종류조성과 개체군 밀도변동과정의 해석이 필요하다. 이를 위한 기초조사로서 각 방사지역에서 3월에 총영을 채집하여 우화상(Figure 3-1)에 넣고 실온에 방치한 후 총영에서 우화하는 기생성천적의 종별 개체수를 매일 기록하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 밤나무혹벌과 최우점천적인 중국긴꼬리좀벌과의 상호관계

가. 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌과의 동조성(synchronization)검토

1) 밤나무혹벌 충영의 크기와 중국긴꼬리좀벌의 산란

충영의 크기와 중국긴꼬리좀벌의 산란관계를 조사한 결과는 Table 4-2와 같다. 항온조건에서 밤나무혹벌 충영의 크기가 3mm이하의 개체에서는 중국긴꼬리좀벌 성충의 산란행동이 관찰되지 않았고, 11mm이상의 개체에서는 산란을 위한 천공행동이 빈번히 관찰되었으나 실제로 산란하지는 않았다. 중국긴꼬리좀벌에 의하여 산란된 충영가운데 3.1~5.0mm크기의 충영(기주인 밤나무혹벌의 크기 1.12mm)이 10개체(전체 산란충영의 33.3%), 5.1~7.0mm의 충영(1.51mm)이 13개체(43%)로 대부분 상기한 충영의 크기에 산란하는 것으로 확인되었으며, 또한 야외조건 하에서 조사한 결과 역시 항온조건 하에서의 결과와 비슷하였으나 7.1~9.0mm크기에 산란한 충영이 18(20.9%)개체로 실내의 정온조건에서 보다 크기가 다소 큰 충영에 산란하는 경향을 보였다.

Table 4-2. Synchronization for oviposition period of *T. sinensis* with gall stages of *D. kuriphilus*

Gall size (mm)	<3.0	3.1~5.0	5.1~7.0	7.1~9.0	9.1~11.0	11.1~13.0	13.0>
Larva size*of <i>D. kuriphilus</i>	-	1.12±0.12	1.51±0.21	1.98±0.23	2.16±0.07	2.30±0.15	2.45±0.21
No. of gall parasited by <i>T. sinensis</i> (%) (constant temperature)	-	10(33.3)	13(43.3)	5(16.7)	2(6.7)	-	-
No. of gall parasited by <i>T. sinensis</i> (%) (natural condition)	-	12(14.0)	47(54.7)	18(20.9)	8(9.3)	1(1.2)	-

2) 지역별 충영의 발육

4월 경부터 밤나무가지의 눈(芽)이 개엽되기 시작하면서 밤나무혹벌에 의

하여 산란된 눈은 내부의 유충이 발육함에 따라 충영이 형성되고 비대해지기 시작한다. 이러한 과정은 같은 밤나무품종이라도 기후조건에 따라 차이가 있을 것으로 생각되어 각 조사지역에서 시기별로 충영을 채집하여 크기를 측정된 결과는 Figure 4-3, 4와 같다.

밤나무가지의 눈이 개엽하며 충영이 형성되기 시작하는 시기는 경상남도 하동지역의 제 1조사목이 4월 15일, 제 2조사목이 4월 10일 제 3조사목이 4월 15일이었고, 강원도 춘천지역의 제 1조사목이 4월 25일, 제 2, 3조사목이 4월 20일로 하동지역이 춘천지역보다 5~10일 빨랐다.

충영형성은 눈이 개엽하는 시기에 내부에 있는 밤나무혹벌 유충이 발육하면서 동시에 이루어지나 초기에는 육안으로 관찰이 불가능하였다. 충영이 형성되기 시작하면서 2~3일 후 충영의 표면관찰이 가능하여지고, 급격히 비대해지기 시작하였다. 5월 중순이후부터는 점차 비대해지는 속도가 둔화되다가 6월 중순이후부터는 크기의 변동 없이 목질화가 진행되어 더욱 견고하게 변화되었다. 그러나 초기의 비대성장은 경상남도 하동지역보다 강원도 춘천지역에서 보다 급격하게 진행되는 경향이 나타났다.

한편 시기별 충영크기의 평균치를 이용하여 각 조사지역에서의 충영형성 시기를 예측한 결과는 Figure 4-5와 같다. 경상남도 하동지방이 4월10일, 전라남도 나주지역이 4월 15일, 강원도 춘천지역이 4월 20일로 지역에 따라 다소 차이가 나타났다. 德久英二(1979)는 충영의 경시적변화를 4단계로 나누고 밤나무혹벌의 생물적 방제에 가장 유력한 *Torymus (Syntomaspis) sp.* 성충은 충영의 표면이 외부로 노출된 이후부터 산란을 개시한다고 기술하였으며, 산란시기와 산란대상충영의 존재시기의 동조성을 조사하여 밤나무에 따라 시기별 충영의 비대정도가 다르기 때문에 동조성이 일정하지 않다고 하였다.

본 조사에서 지역별, 조사목별로 충영의 형성 및 비대성장에 변이가 나타

난 것은 밤나무의 입지조건 및 국소 기후조건에 영향 받은 것으로 사료되며, 밤나무품종이 다른 경우는 이보다 심한 변이가 나타날 것으로 생각된다 따라서 천적을 이용하여 해충의 개체군 밀도억제효과를 높이려면 밤나무의 이 같은 성질을 고려하여 천적을 이식시기를 결정하여야 할 것이다.

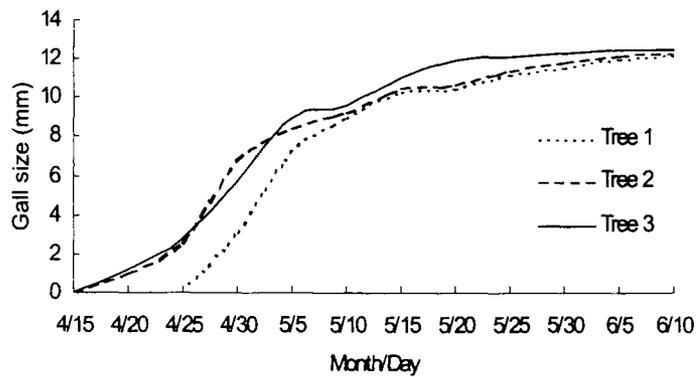


Figure 4-3. Development of *D. kuriphilus* galls in Chunchon, Kangwon province.

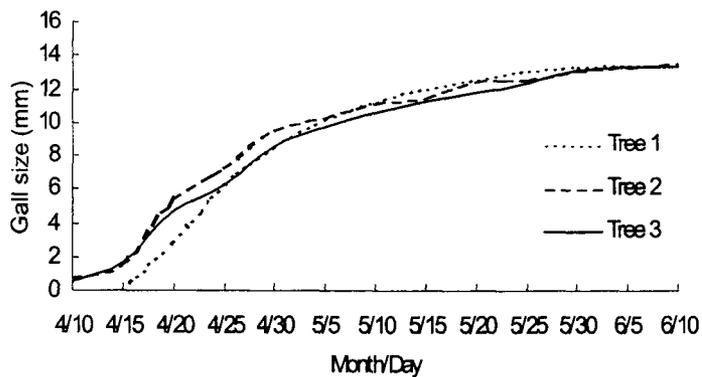


Figure 4-4. Development of *D. kuriphilus* galls in Hadong, Kyongnam province.

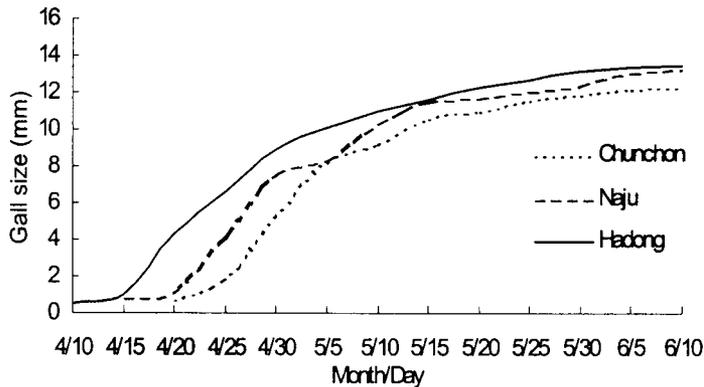


Figure 4-5. Development of *Dryocosmus kuriphilus* galls.

3) 지역별 밤나무혹벌충영의 크기변화와 중국긴꼬리좀벌의 우화소장비교

생물적 방제를 실행하는데 있어서 기주밀도의 억제하는 생물요인의 탐색과 함께 기주와 기생자간의 동조성(synchronization)이 무엇보다도 중요하다. 본 해충의 생물적 방제에 가장 효과적인 천적으로 사료되는 중국긴꼬리좀벌의 우화시기와 기주인 밤나무혹벌이 형성한 충영의 경시적 크기변화를 조사한 결과는 Figure 4-6, 7, 8, 9와 같다.

경상남도 지방의 경우, 2000년 기생천적인 중국긴꼬리좀벌 성충의 우화기간은 4월 3일부터 5월 1일까지이었다. 50% 누적우화일은 4월 19일이었으며 충영은 4월 20일 경에 기생벌이 산란가능한 크기(3.0mm)로 성장하였다(Figure 4-6).

2001년도 우화기간은 4월 3부터 4월 26일로 전년에 비하여 다소 짧았다. 50% 누적우화율은 4월 12일로 전년에 비하여 빨랐으며, 4월 16일경에 기생벌이 산란가능한 충영이 형성되기 시작하였다(Figure 4-7). 따라서 양년의

조사결과 경남지역에서는 기주가 존재하지 않는 시기(천적이 산란하기에 부적합한 시기)에 중국긴꼬리좀벌의 성충이 60~70%이상 우화하여 산란하지 못하고 사망하는 것으로 파악되었다. 단 먹이가 전혀 없는 조건하에서 2~3일 생존 가능하므로 충영이 형성되기 2~3일 이전에 우화한 소수의 개체는 산란에 성공할 것으로 생각된다.

강원지방의 경우, 2000년 기생천적인 중국긴꼬리좀벌 성충의 우화기간은 4월 17일부터 5월 5일까지이었다. 50% 누적우화일은 4월 23일이었으며, 충영은 4월 27일 경에 기생벌이 산란 가능한 크기(3.0mm)로 성장하였다(Figure 4-8).

2001년도 우화기간은 4월 21일부터 5월 4일로 전년에 비하여 늦게 우화하였다. 50% 누적우화일은 4월 24일로 전년과 비슷하였으며, 4월 29일경에 기생벌이 산란 가능한 충영이 형성되기 시작하였다. 강원도의 경우 기주가 존재하지 않는 시기에 우화한 개체비율은 89%로 이들 역시 대부분 산란하지 못하고 사망하는 것으로 파악되었다(Figure 4-9).

전남지방의 경우, 2000년 기생천적인 중국긴꼬리좀벌 성충의 우화기간은 4월 8일부터 5월 3일까지이었다. 50% 누적우화일은 4월 22일이었으며, 충영은 발육을 시작하여 4월 24일 경에 기생벌이 산란 가능한 크기(3.0mm)로 성장하였다. 기주가 존재하지 않는 시기에 우화한 개체비율은 80.4%로 이들 대부분은 산란하지 못하고 사망하는 것으로 파악되었다(Figure 4-10).

한편 2002년 충남 공주지역을 추가하여 4조사 지역에서 중국긴꼬리좀벌의 발생소장과 경남 하동 지역의 총 발육정도를 비교한 결과, Figure 4-11과 같이 전남 나주지역 및 경상남도 하동지역에서 중국긴꼬리좀벌 발생기간은 4월 상순부터 4월 하순까지 이었으며 총 출현개체수의 60~65%가 경남지역에서 밤나무에 충영이 형성되기 이전에 우화하였다.

강원도 춘천지역에서 중국긴꼬리좀벌의 발생기간은 4월21일부터 5월 4일

까지로 경남지역의 밤나무에 충영이 형성된 후에 성충이 출현하였고 충남 공주지역에서의 중국긴꼬리좀벌의 발생소장은 춘천지역보다 다소 빠르나 발생패턴은 유사하였다.

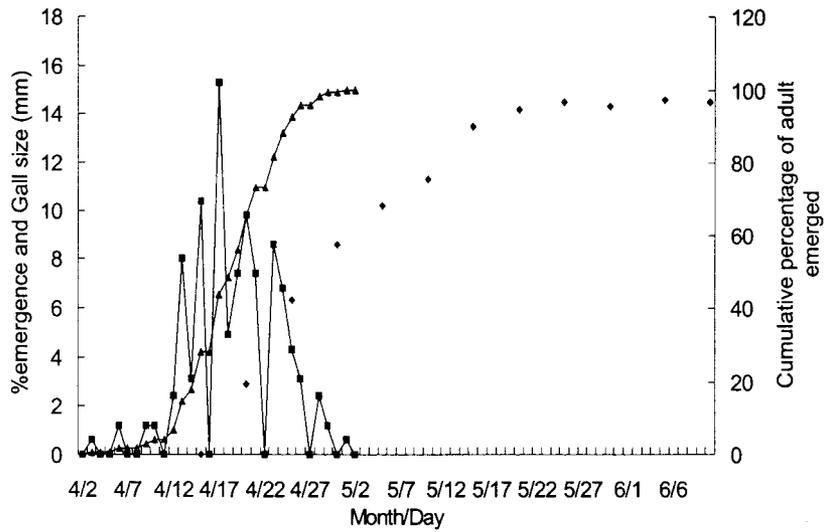


Figure 4-6. Relationship between development of *D. kuriphilus* galls and emergence trend of *T. sinensis* in Kyongnam 2000.

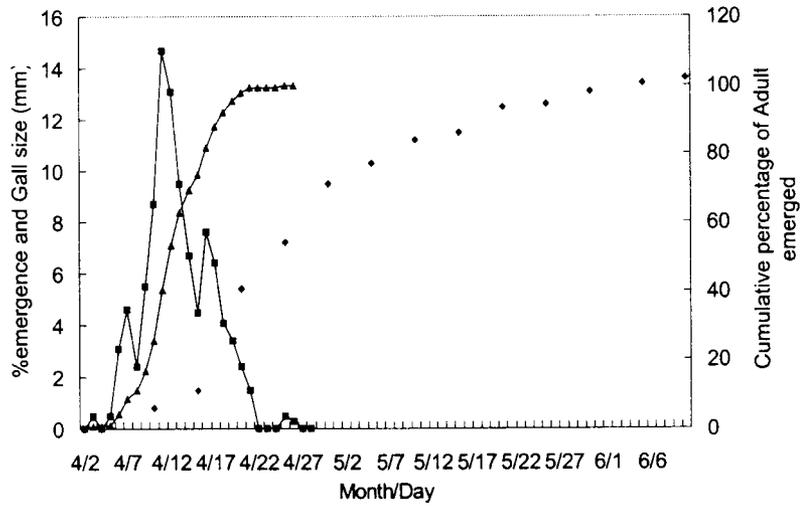


Figure 4-7. Relationship between development of *D. kuriphilus* galls and emergence trend of *T. sinensis* in Kyongnam, 2001.

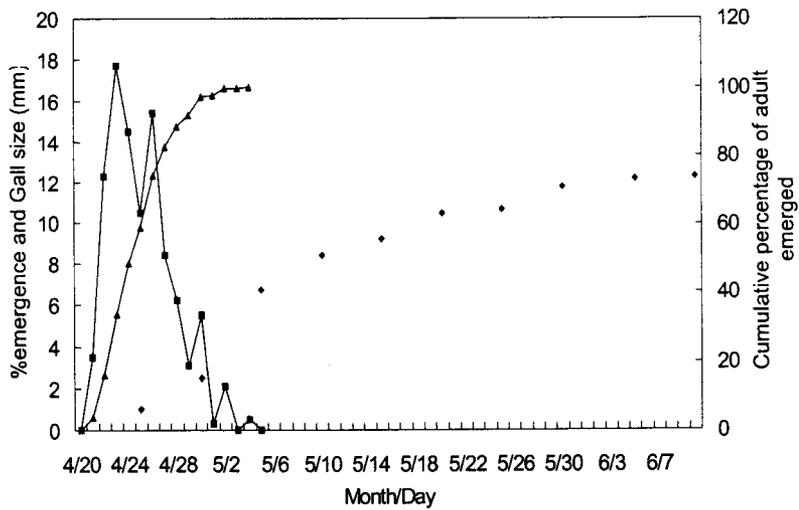


Figure 4-8. Relationship between development of *D. kuriphilus* galls and emergence trend of *T. sinensis* in Kangwon, 2000.

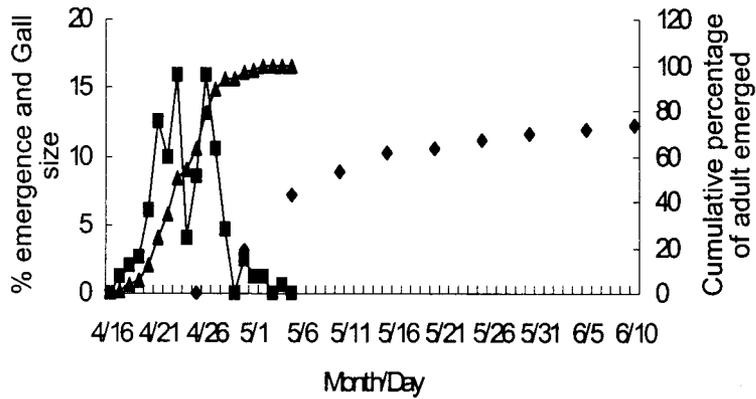


Figure 4-9. Relationship between development of *D. kuriphilus* galls and emergence trend of *T. sinensis* in Kangwon, 2001.

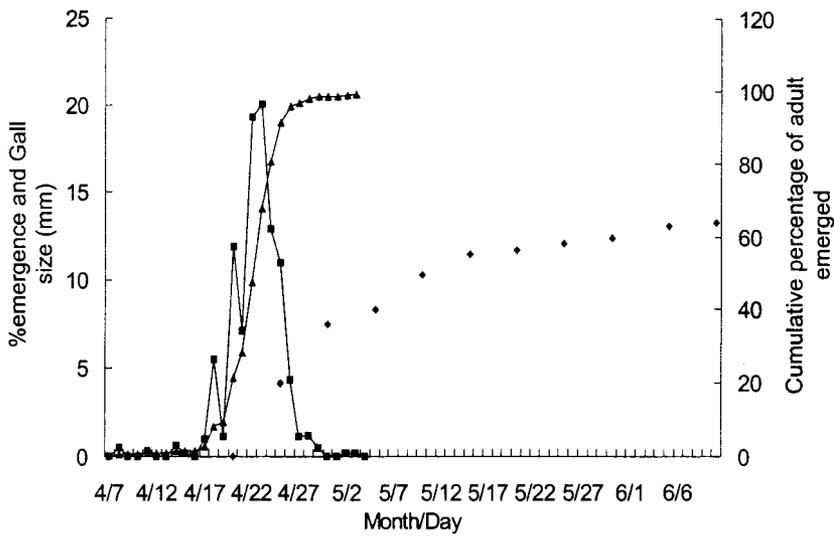


Figure 4-10. Relationship between development of *D. kuriphilus* galls and emergence trend of *T. sinensis* in Chonnam

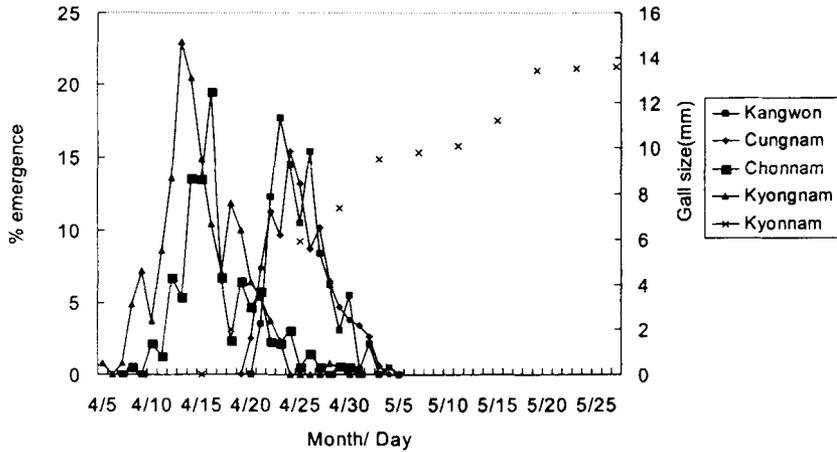


Figure 4-11. Relationship between development of *D. kuriphilus* galls and emergence trend of *T. sinensis*.

이상의 결과와 같이 조사지역, 년도에 따라 중국긴꼬리좀벌의 우화소장은 다소 다르게 나타났으며, 충영의 발육정도 역시 다르게 나타났다. 이는 조사 지역별 연도별 온도차이의 영향으로 사료된다. 그러나 동일지역에서의 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌 간 동조성의 차이는 있으나 중국긴꼬리좀벌이 산란가능한 시기보다 빠르게 우화하는 경향을 보였다.

Murakami (1981)는 *Torymus beneficus*와 *Torymus sinensis*의 우화소장을 조사하여 *Torymus beneficus*는 우화시기와 벌레혹의 형성기간이 완전히 일치하지 않으나 중국으로부터 도입한 *Torymus sinensis*는 기주와의 동조함을 보고한 후 이에 대한 생물적 방제를 시도한 바 있다.

국내에서의 경우는 상기한 조사결과와 같이 경상도 지역의 충영 발육시기 (중국긴꼬리좀벌이 산란에 적합한 밤나무혹벌의 유충 출현시기)와 강원도

지역의 중국긴꼬리좀벌의 우화소장 간에 동조성이 가장 강한 것으로 나타나므로(Figure 4-12, 13) 강원 영서지역의 중국긴꼬리좀벌 개체군을 경상남도 하동 및 전라남도 광양지역의 밤나무혹벌 피해지에 이식하여 생물적 방제를 모색하는 것이 가장 효과적일 것으로 파악되었다.

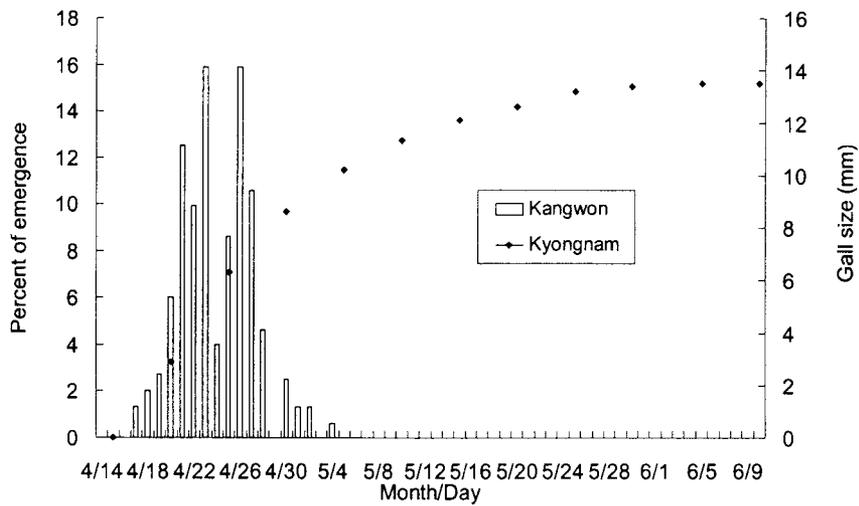


Figure 4-12. Relationship between development of *D. kuriphilus* (Kyongnam) and emergence trend of *T. sinensis* (Kangwon), 2000.

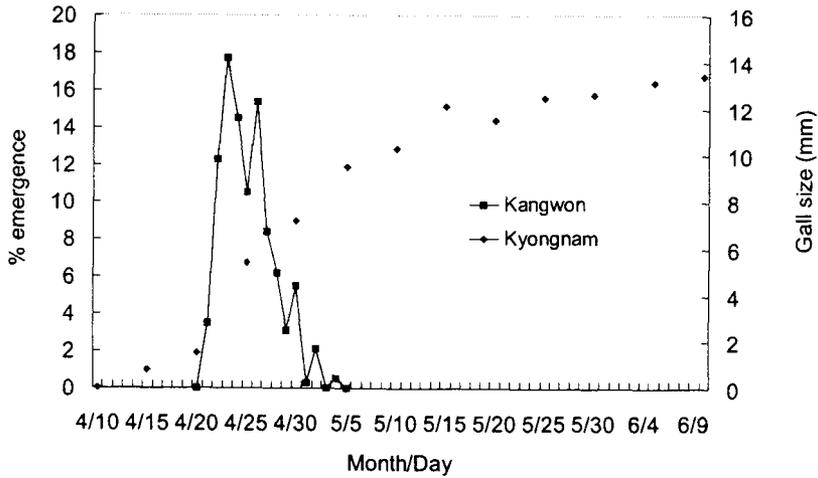


Figure 4-13. Relationship between development of *D. kuriphilus* (Kyongnam) and emergence trend of *T. sinensis* (Kangwon), 2001.

나. 중국긴꼬리좀벌의 생존율

강원도 춘천지역에서 2000년부터 2002년까지 충영 내에 기생하는 중국긴꼬리좀벌의 개체수 변화를 시기별로 조사하여 생존율을 산정한 결과는 Figure 4-14와 같다. 단 최초 조사일의 결과를 100% 생존으로 하여 계산하였다.

강원도 춘천지역에서 3세대에 대하여 조사한 생존율은 5월 이후 점차 낮아지는 경향이었으며, 충영이 갈색으로 변화하기 시작하는 8월 하순의 생존율은 각 57.6%, 49.0%, 66.9%로 이 기간동안에 40%~50%가 사망하는 것으로 파악되었다. 이후 익년 3월의 생존율은 51.6%, 18.0%, 39.8%로 월동기를

경과하는 동안에 1999~2000년에는 10%이하의 낮은 사망률이 나타난데 비하여 2000~2001년에는 30%, 2001~2002년에는 27%로 높게 나타났다.

경상남도 하동지역에서 조사한 결과는 Figure 4-15와 같이 8월 하순까지의 생존율이 각 50.2%, 51.9%이었고 이 기간동안에 각 세대 모두 50%전후로 사망하였다. 이후 월동기를 경과한 3월 하순의 생존율은 각 31.4%, 35.8%로서 월동기간 동안 15%~19%가 사망하였다.

본 기생벌의 경우 밤나무혹벌 충영 내에서 발육하는 생태적 특성 때문에 기상요인에 의한 영향은 다른 해충에 비하여 낮을 것으로 생각된다. 따라서 5월부터 8월까지 사망률이 높은 원인은 이 시기에 2차 기생벌의 활동이 활발하여 충방 내에 서식개체수가 증가하는 현상이 관찰되는 점으로 미루어 가장 중요한 사망요인으로 작용하고 있다고 판단된다.

村上등(1991)은 중국으로부터 중국긴꼬리좀벌을 도입하여 방사한 밤나무 조림지에서 본 종의 사망과정을 조사하여 이듬해 3월까지의 생존율이 11.8%이었다고 보고하였으며, 6월부터 9월 기간중의 높은 사망은 주로 이차 기생에 의한 사망이라 하여 본 조사결과와 유사하였다. 그러나 전체적인 생존율은 일본보다 국내에서 높았는데 이는 기후적인 차이에 의한 결과로 사료된다. 그 이유로 9월 이후에 이차 기생벌의 활동이 약화되고 월동 기간 중 1차기생벌은 임의적 이차기생벌의 영향을 받지 않으므로 이 시기에는 기후요인에 의하여 영향받을 가능성이 크기 때문이다. Luo et al. (1987)은 본 종의 사망율을 조사하여 실외의 낮은 온도가 사망에 영향을 미치는 것으로 보고한 바 있다.

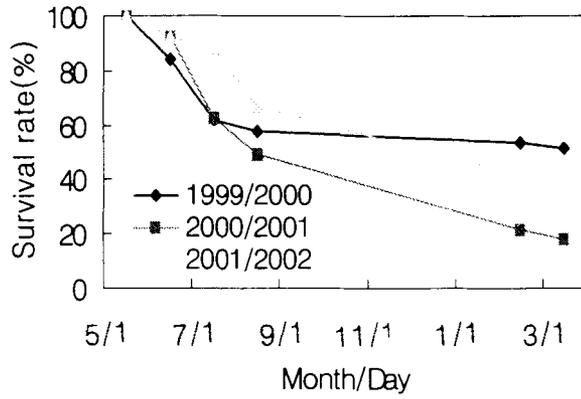


Figure 4-14. Survival curves of *T. sinensis* for three generation in Kangwon.

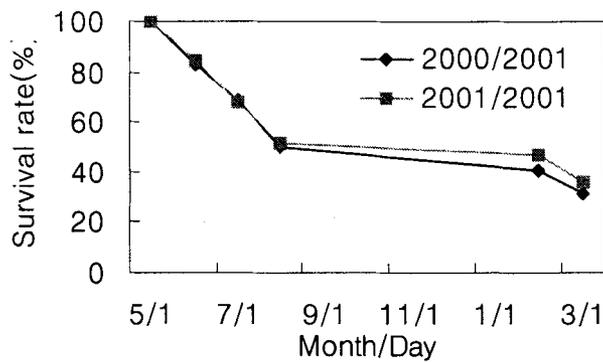


Figure 4-15. Survival curves of *T. sinensis* for two generations in Kyongnam.

다. 천적종류별 기생율 변화(4월~6월)

중국긴꼬리좀벌은 4월~8월 사이에 사망률이 높게 나타나 이 시기의 사망 원인을 파악하기 위하여 천적의 종류별 기생율의 변화과정을 조사하였다. 각 조사장소에서 시기별로 선정된 고정조사목 3그루로부터 50충영씩 3반복하여 150개의 충영을 절개한 후 내부의 충방에서 생육하는 기주 및 기생자의 개체수를 조사한 결과는 Table 4-3, 4와 같다.

강원도 춘천지역에서 중국긴꼬리좀벌의 기생율(Table 4-3)은 2000년도에 밤나무혹벌 유령유충기에 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 71.2%로 가장 높게 나타났으며, 시간이 경과하면서 65.8%, 44.7%로 감소하였다. 2001년도는 밤나무혹벌 유충기에 중국긴꼬리좀벌의 기생율차이는 나타나지 않았으나, 용기에서 성충우화기에는 감소하였다. 2002년도는 시기별로 중국긴꼬리좀벌 기생율의 차이는 나타나지 않았다. 또한 2000년에 비하여 2001, 2002년의 기생율이 현저하게 감소하였는데, 이는 2000년도 천적의 영향으로 2001, 2002년에 시험지의 충영형성율이 5%이하로 급격히 감소한데 기인한 것으로 판단된다.

경상남도 하동지역의 기생율은 2001년에 비하여 2002년도의 기생율이 다소 증가하였으나 강원지역에 비하여 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 현저하게 낮게 나타났으며 시기별로 점차 감소하였다.

Table 4-3. Parasitism trend of *T. sinensis* collected from *D. kuriphilus* galls in chestnut orchards, Kangwon and Kyongnam

Province	Year	Parasitism (%)		
		5.5~5.15	5.21~5.30	6.5~6.15
Kangwon	2000	71.2±7.9 ^a	65.8±6.4 ^b	44.7±5.3 ^c
	2001	36.9±5.2 ^a	28.7±3.5 ^a	17.8±3.0 ^b
	2002	32.4±4.7 ^a	29.8±4.2 ^a	28.5±4.5 ^a
Kyongnam	2001	14.3±4.6 ^a	13.5±3.8 ^b	10.4±4.2 ^b
	2002	19.8±3.0 ^a	17.5±5.1 ^a	9.7±3.4 ^b

Developmental stage *D. kuriphilus*; May 5~15: immature larva, May 21~30: full grown larva, Jun 5~15: pupa,

Mean in a column with the same letter(a,b,c)are not significantly different at 5% level

한편 임의적 이차기생벌의 기생율의 변화(Table 4-4)는 강원도 춘천지방의 경우 2000년도에 높았으나 2001년도, 2002년도는 급격히 낮았다. 이는 이 지역에서 밤나무혹벌의 밀도가 급격히 낮아진데 영향을 받은 것으로 사료되며, 기주밀도의 급격한 저하는 천적의 역할과 관련하여 검토가 필요하다. 반면 경상남도 하동지방의 경우 조사 년도별 기생율의 변동이 적었다. 또한 양 지역 모두 시기별 기생율은 다소 변화하였으나 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 4-4. Parasitism trend of Hyperparasitoids collected from *D. kuriphilus* galls in chestnut orchards, Kangwon and Kyongnam.

Province	Year	Parasitism (%)		
		5.5~5.15	5.21~5.30	6.5~6.15
Kangwon	2000	22.8±4.2	30.3±5.1	20.5±4.6
	2001	2.3±1.0	6.3±2.2	9.4±2.3
	2002	5.6±3.4	3.7±2.0	5.2±2.4
Kyongnam	2001	12.5±3.0	15.8±2.6	12.6±3.5
	2002	10.7±3.2	12.4±3.2	17.1±3.0

Developmental stage of *D. kuriphilus*; immature larva(May 5~15), full growth larva(May 21~30), pupa(Jun 5~15)

중국긴꼬리좀벌 및 임의적 이차기생자의 기생율에 대한 결과에서와 같이 중국긴꼬리좀벌은 지역에 따라 다소 차이는 있으나 시간이 경과하면서 감소하는 경향이 나타난 이유는 강원지역, 경남지역에서 임의적 이차기생벌의 기생율이 시기별로 변화하는 것으로 미루어 이들 기생벌이 1차기생벌의 밀도증감에 관여하여 나타난 결과로 생각된다. 금후 임의적 이차기생벌이 중국긴꼬리좀벌 및 기주인 밤나무혹벌 가운데 어느 것을 기주로 선택하는가 하는 선택비율에 대한 상세한 조사가 필요하다.

라. 중국긴꼬리좁벌의 생존율에 영향을 미치는 임의적 이차기생벌 역효과(10월~3월)

10월부터 익년 3월에 중국긴꼬리좁벌에 미치는 임의적 이차기생벌의 영향을 강원도 및 경상남도 지역에서 조사한 결과는 Table 4-5, 6과 같다.

경상남도 조사지역의 경우 중국긴꼬리좁벌은 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 4종의 임의적 이차기생벌(기생양식항참조) 가운데 2000년과 2001년은 큰다리남색좁벌의 기생율이 높았고, 노란꼬리벼룩좁벌의 기생율이 낮았다. 일차기생벌인 중국긴꼬리좁벌에 미치는 영향, 즉 임의적 이차기생벌의 추정 기생율은 2000년에 30.1%, 2001년에 21.0%이었다.

강원도 지역의 경우도 중국긴꼬리좁벌의 우화개체수는 2000년에 비하여 감소하였다. 이는 밤나무혹벌에 의한 피해율이 급격히 감소한데 원인이 있는 것으로 파악되었다. 4종의 임의적 이차기생벌 가운데 2000년은 큰다리남색좁벌의 기생율이 높았으나 2001년은 경상남도 지역과 다르게 남색긴꼬리좁벌이 높았다. 일차기생벌인 중국긴꼬리좁벌에 미치는 영향, 즉 중복기생자의 추정 기생율은 2000년에 20.8%, 2001년에 22.1%이었다.

Table 4-5. Number of parasitoids which emerged from galls collected on March 2000 and 2001 from an experimental chestnut orchard in Kyongnam.

Parasitoids	No. of parasitoids emerging per 100 galls	
	2000	2001
Primary parasitoids		
<i>Torymus sinensis</i>	22.2	48.3
Total	22.2	48.3
Hyperparasitoids		
<i>Torymus geranii</i>	1.8	1.7
<i>Sycophila variegata</i>	2.7	2.0
<i>Ormyrus punctiger</i>	4.0	8.0
<i>Eupelmus urozonus</i>	1.2	1.2
Total	9.7	12.9
Estimated % parasitism of <i>T. sinensis</i> by whole hyperparasitoids	30.4	21.0

Table 4-6. Number of parasitoids which emerged from galls collected on March 2000 and 2001 from an experimental chestnut orchard in Kangwon.

Parasitoids	No. of parasitoids emerging per 100 galls	
	2000	2001
Primary parasitoids		
<i>Torymus sinensis</i>	63.5	42.7
Total	63.5	42.7
Hyperparasitoids		
<i>Torymus geranii</i>	4.5	5.5
<i>Sycophila variegata</i>	3.4	2.0
<i>Ormyrus punctiger</i>	6.4	3.0
<i>Eupelmus urozonus</i>	2.4	1.6
Total	16.7	12.1
Estimated % parasitism of <i>T. sinensis</i> by whole hyperparasitoids	20.8	22.1

따라서 임의적 이차기생벌의 추정기생율은 우화된 이차기생벌이 모두 중국긴꼬리좀벌에 기생하고 있다는 가정 하에 조사한 결과로 과대치 일 가능성이 있다고는 하나 강원도, 경상남도(방사지역)에서 5월부터 이듬해 3월까지 중국긴꼬리좀벌에 수회 기생이 가능하므로 밀도증가를 억제하는 중요한 요인의 하나로 판단된다.

마. 밤나무혹벌 피해율과 기생율 변화

강원도 조사지역에서 밤나무혹벌에 의한 밤나무의 피해율 및 중국긴꼬리좀벌과 기타 기생벌의 기생율을 5년 간에 걸쳐 조사한 결과는 Table 4-7과 같다.

밤나무혹벌의 피해율은 1998년에는 26.4%이던 것이 1999년에 35.4%, 2000년에 34.2%로 증가하였으나 2001년 5.4%, 2002에는 1.0%로 급격히 감소하였다. 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 1998년에 53.5%, 1999년에 65.7%, 2000년에 71.2%로 증가하는 경향이었으나, 2001년에 36.9%, 2002년에 32.4%로 감소하였다. *Torymus geranii*, *Sycophila variegata*, *Eupelmus urozonus*의 기생율 합은 1998~2000년에는 년차적으로 11.6%, 19.7%, 22.8%로 증가하였으나, 2001년 2.3%, 2002년에 5.6%로 급감하였다. 전체 기생율 역시 2000년에 94.0%까지 증가하였으나 이후 급감하는 경향을 보였다. 전체적으로 밤나무혹벌에 대한 기생벌의 년차별 기생율은 중국긴꼬리좀벌이 높았으며, 타종의 기생율은 22.8%미만으로 나타나 중국긴꼬리좀벌에 의한 밀도제어 효과가 높은 것으로 파악되었다. 피해율이 급격히 감소되면서 1차기생벌 및 이차기생벌의 기생율이 감소되었는데 이는 기주의 탐색능력과 관련이 있는 것으로 사료된다.

Table 4-7. Percentage of gall chamber parasitized by parasitoids and gall-formed bud by *D. kuriphilus*

Year	Percentage of gall chamber parasitized			Percentage of gall-formed bud
	<i>T. sinensis</i>	Others*	Total	
1998	53.5 ± 25.8	11.6 ± 5.1	65.1 ± 26.9b	26.4 ± 9.5a
1999	65.7 ± 20.1	19.7 ± 6.8	85.4 ± 20.6a	35.4 ± 10.8a
2000	71.2 ± 24.6	22.8 ± 6.7	94.0 ± 28.9a	34.2 ± 11.5a
2001	36.9 ± 12.4	2.3 ± 2.2	37.8 ± 16.3c	5.4 ± 4.2b
2002	32.4 ± 15.6	5.6 ± 4.2	38.0 ± 15.4c	1.0 ± 0.8b

*Others: *Torymus geranii*, *Sycophila variegata*, *Eupelmus urozonus*

Mean in a column with the same letter(a,b,c)are not significantly different at 5% level

바. 밤나무혹벌 기생천적류의 기생양식

천적류의 기생양식은 밤나무혹벌의 충영을 채집하여 충방 내부에 기생하는 기생벌을 종류별로 화상분석기에 기록하는 방법과 해부현미경하에서 절개하여 관찰하는 방법을 이용하여 조사하였다. 밤나무혹벌 및 중국긴꼬리좀벌과 이에 대응하는 그 외 천적의 상호 기생양식을 조사한 결과는 Figure 4-16과 같다. *Megastigmus*속에 속하는 노란꼬리좀벌(*Megastigmus nipponicus*), 배잘록꼬리좀벌(*Megastigmus maculipennis*)은 밤나무혹벌의 유충에 기생하는 것으로 파악되었고, 밤나무혹벌 뿐만 아니라 참나무류에

기생하는 흑벌류에도 기생하는 것으로 확인되었다. 또한 이들은 타종의 기생자에 기생하는 개체는 관찰되지 않아 고차기생을 하지 않는 다포식 기생자로 생각되며, 밤나무흑벌에 기생하는 기생벌 가운데 출현빈도가 다소 많음에도 불구하고 발생소장 이외에 생활사는 밝혀지지 않았다.

*Torymus*속의 남색긴꼬리좀벌(*Torymus geranii*)의 경우 다양한 기주로부터 우화가 확인된 중으로 전년에 형성된 갈색충영에서는 5월, 당년에 형성된 녹색충영에서는 6월 및 8월에 우화하였다. 특히 본 종의 경우 발생 세대수가 3회로 조사되어 세대 발육속도가 다른 기생벌 보다 빠른 것으로 사료되며 발생개체수도 비교적 많았지만, 밤나무흑벌 유충은 물론 2, 3세대는 다른 기생벌에 고차 기생하는 것으로 확인되어 밤나무흑벌의 밀도조절에 마이너스 효과가 있을 것으로 생각된다.

*Ormyrus*속의 큰다리남색좀벌(*Ormyrus punctiger*)과 노란다리남색좀벌(*O. flavitibialis*)은 밤나무흑벌 및 참나무류에 형성된 충영으로부터 우화하였으며, 제 1세대는 밤나무흑벌에 기생하였다. 제2세대(월동세대)는 *T. sinensis*의 종령유충에 기생하여 발육하며 이듬해 4~5월에 우화하는 것을 확인하였다.

*Eupelmus*속의 노란꼬리벼룩좀벌(*Eupelmus urozonus*)은 다른 기생벌에 기생하였으나 밤나무흑벌에는 기생하지 않는 것으로 관찰되었으며, 주로 밤나무 및 참나무의 충영 내에 기생하는 다른 기생벌에 기생하는 것으로 파악되었다.

이상의 결과를 종합하여 *Torymus sinensis*, *Megastigmus nipponicus*, *Megastigmus maculipennis*는 밤나무흑벌 만을 기주로 하여 기생하며, 산란 발육하는 것이 확인 되었고, 그 외의 *Torymus geranii*, *Ormyrus punctiger*, *Sycophila variegata*, *Eurytoma brunniventris*는 밤나무흑벌은 물론 타종기생벌을 기주로 하여 산란, 발육하는 임의적 이차기생벌

(facultative hyperparasitoid)로, *Eupelmus urozonus*는 일차기생벌과 이차기생벌에 고차기생하는 종으로 파악되었다.

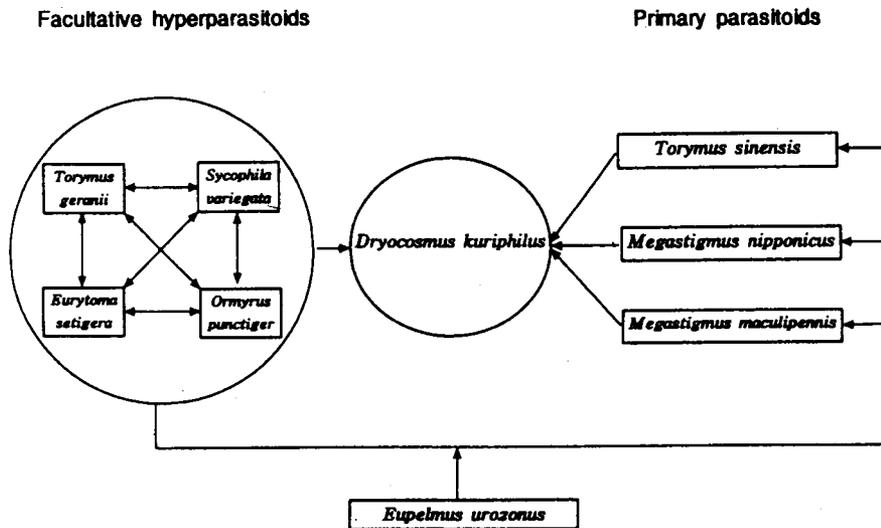


Figure 4-16. Schematic diagram of relation between *D. kuriphilus* and *T. sinensis*

2. 중국긴꼬리좀벌의 생태형

가. 중국긴꼬리좀벌의 형태비교

각 조사지역에 위치한 밤나무 조림지에서 2000년 12월~2001년 3월에 충영을 채집하여 충영에서 이탈한 50개체의 성충에 대하여 부위별 크기를 측정 한 결과는 Table 4-8과 같이 전라남도 나주개체군의 수컷 성충체 길이

및 산란관의 길이가 다소 긴 것으로 나타났으나 지역별 차이는 없었다.

Table 4-8. Size of pupa and adult of *T. sinensis* at each investigated site

Investigated site	Size of female (mm)			
	length of body	width of head	length of wing	length of ovicliuctor
Chunchon, Kangwon(native)	2.39 ± 0.16	0.63 ± 0.03	2.24 ± 0.17	1.54 ± 0.18
Naju, Chonnam(native)	2.33 ± 0.13	0.63 ± 0.05	2.37 ± 0.15	1.73 ± 0.12
Hadong, Kyongnam(resistant)	2.54 ± 0.17	0.66 ± 0.05	2.60 ± 0.15	0.69 ± 0.16
Tsukuba, Japan(resistant)	2.33 ± 0.13	0.63 ± 0.05	2.37 ± 0.15	1.73 ± 0.12

Investigated site	Size of male (mm)		
	length of body	width of head	length of wing
Chunchon, Kangwon(native)	2.07 ± 0.14	0.58 ± 0.04	2.16 ± 0.14
Naju, Chonnam(native)	2.11 ± 0.20	0.73 ± 0.03	2.46 ± 0.13
Hadong, Kyongnam(resistant)	2.24 ± 0.18	0.64 ± 0.04	2.46 ± 0.12
Tsukuba, Japan(resistant)	2.11 ± 0.20	0.73 ± 0.03	2.46 ± 0.13

Investigated site	Size of pupa (mm)	
	length of male	length of female
Chunchon, Kangwon(native)	1.79 ± 0.18	2.06 ± 0.25
Naju, Chonnam(native)	1.80 ± 0.13	2.04 ± 0.20
Hadong, Kyongnam(resistant)	1.73 ± 0.11	1.99 ± 0.16

나. 지역별 중국긴꼬리좀벌의 우화소장비교

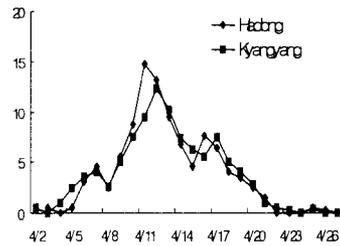
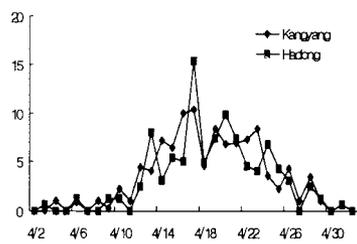
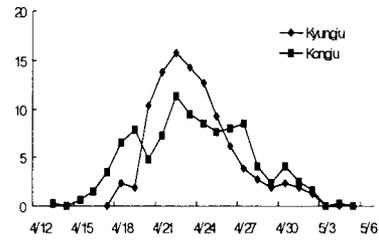
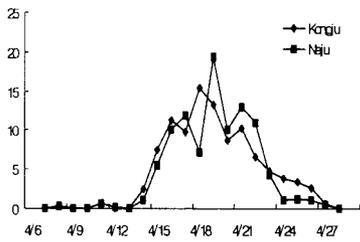
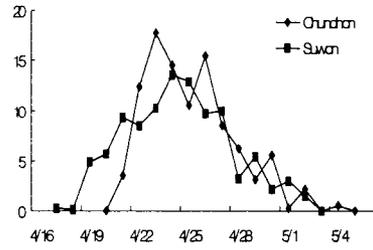
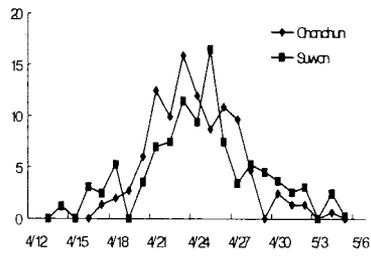
2000년 2월 하순에 밤나무혹벌 충영을 채집하여 중국긴꼬리좀벌의 우화소장을 조사하여 비교한 결과는 Figure 4-17과 같다.

전라남도 광양 과 경상남도 하동 개체군의 우화기간은 4월 상순~5월 상순이었으며, 50% 누적우화일은 4월 18일, 19일이었다. 경상북도 경주와 충청남도 공주 개체군의 우화기간은 4월 중순~5월 상순이었으며, 50% 누적우화일은 4월 21일, 22일이었다. 경기도 수원과 강원도 춘천 개체군의 우화기간은 4월 중순~5월 상순이었으며, 50% 누적우화일은 4월 23일, 25일이었다.

2001년 10~11월에 충영을 채집하여 춘천에서 사육하며 중국긴꼬리좀벌의 우화소장을 조사하였다. 남부지방인 경상남도 하동 및 전라남도 광양 개체군에서는 각 4월 2일과 3일에 우화를 시작하였으며, 50% 누적우화일은 4월 13일경이었다.

충청남도 공주와 전라남도 나주개체군에서는 각 4월 14일과 4월 9일에 우화를 시작하였으며, 50% 누적우화일은 4월 18-19일이었다. 강원도 춘천과 경기도 수원 개체군에서는 각 4월 21일, 4월 17일에 우화를 시작하였으며, 50% 누적우화일은 4월 25일, 26일이었다.

이와 같이 지역별, 시기별로 조사한 우화소장 모두 북부지방에 비하여 남부지방이 다소 빠르고, 우화기간의 차이가 크지 않은 점등으로 미루어 본종의 우화소장은 기후구배에 적응하여 나타난 결과이지 지리적인 생태형이라고 판단하기는 어려운 것으로 사료된다.



2000

2001

Figure 4-17. Comparison of the adult emergence in each of the local *Torymus sinensis* population in 2000 and 2001

다. 중국긴꼬리좀벌의 RAPD에 의한 유전자변이 분석

Random Primer의 농도가 PCR에 미치는 영향은 밤나무혹벌과 같았으며, Random Primer를 OPB-01부터 순차적으로 사용하여 RAPD를 실시한 후, 그 결과를 Mupid21 (COSMO BIO CO.)를 사용하여 1.5% agarose gel (TBE buffer)에서 50V 30~60분간 전기영동에 의하여 분석한 결과, Figure 4-18, 19, 20, 21, 22에서 보는 바와 같이 지역별 및 밤나무 품종별 모든 공시 분리주 간의 RAPD에 차이가 없었다. 즉, 공시한 primer에 의한 RAPD 분석의 결과로는 모든 중국긴꼬리좀벌 간의 유전적 변이를 발견할 수 없었다. 따라서, 보다 RAPD 분석 이상의 상세한 유전적 변이 분석을 위해서는 16s rRNA와 같이 특성 유전자 영역의 염기서열 분석과 같은 해석을 실시할 필요가 있을 것으로 판단된다.



Figure 4-18. RAPD analysis using by separated by Operon Random Primer Kit B No. 1. Lane 2 to 8 represent the PCR products from Larvae of *T. sinensis*. Lane 2. Okgok Gwangyang Chonnam(resistant), Lane 3. Chukpa Jinju Kyongnam(resistant), Lane 4. Kyungju Kyongbuk(resistant), Lane 5. Jinju Kyongnam(native), Lane 6. Sanpo Naju Chonnam(native), Lane 7. Dongmyon Chunchon Kangwon(native), Lane 8. Gapyung Kyonggi(native). The tasted were treated with 50V on 1.5% agarose gel electrophoresis for 30 minutes.

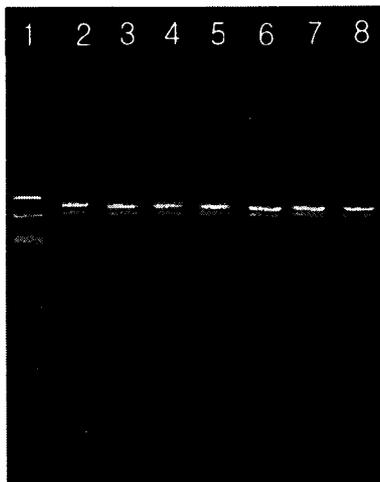


Figure 4-19. RAPD analysis using by separated by Operon Random
Pmer Kit B No. 3. Lane : figure 4-18

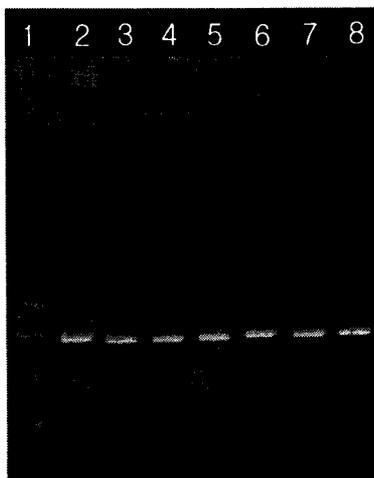


Figure 4-20. RAPD analysis using by separated by Operon Random
Primer Kit B No. 4. Lane : See figure 4-18

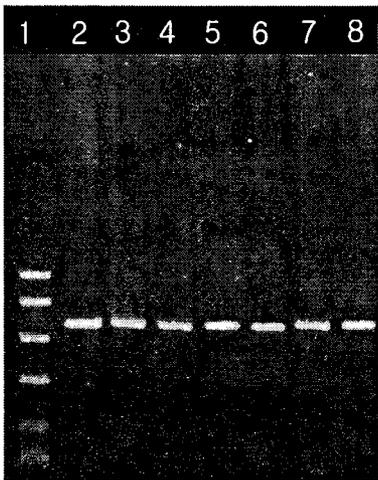


Figure 4-21. RAPD analysis using by separated by Operon Random Primer Kit B No. 6. Lane : See figure 4-18

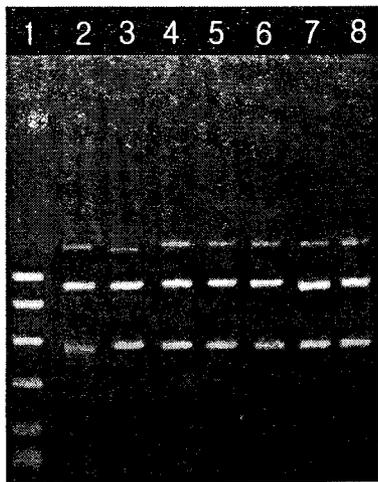


Figure 4-22. RAPD analysis using by separated by Operon Random Primer Kit B No. 1. Lane : See figure 4-18

3. 토착천적 중국긴꼬리좀벌을 이용한 생물적방제의 검토

가. 채집시기의 선정 및 수집방법

1) 토착천적 *T. sinensis*의 채집시기의 결정

방사에 이용할 다수의 천적을 획득하기 위하여 충영의 채집시기별 생존율을 조사하여 합리적인 채집시기를 결정하였다. Figure 4-23와 같이 樹上 및 야외 cage내에서의 생존율은 2월까지 동일하였으나 2월 중순 이후는 밤나무 수상에서 채집한 충영에서 생존율이 다소 높았다.

또한 시기별로 충영을 채집하여 야외 cage내에 방치한 후 우화한 개체수를 조사한 결과는 Figure 4-24와 같이 11월, 12월에 채집한 충영보다 1월, 2월, 3월에 채집한 충영에서 우화한 개체수가 많았다.

따라서 본 기생벌을 이용하기 위한 충영의 채집시기는 월동후기(1월~3월)가 적합할 것으로 생각되며, 충영을 채집하여 장기간 실내에 저장하는 형태보다는 기주와의 동조성을 고려하여 2월 하순에 채집하는 것이 효율적이라 판단된다.

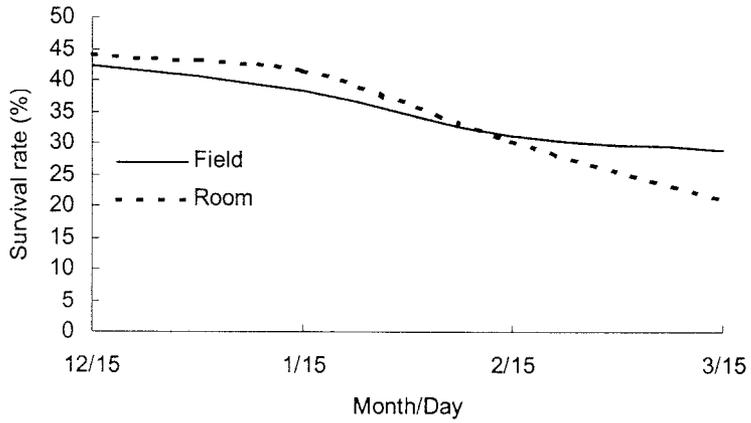


Figure 4-23. Survival curves of *T. sinensis* in two experimental sites

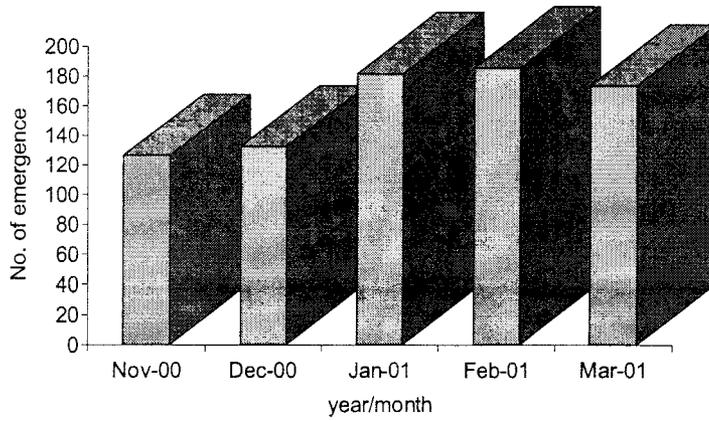


Figure 4-24. Number of emergence of *T. sinensis* adult at different collection time

2) 기생벌의 수집방법

밤나무충영으로부터 기생벌을 대량으로 수집하기 위하여 사육상을 제작하였다(Figure 4-25, 26). 본종의 성충은 정의 주광성이 강하므로 성충 수집통 이외의 사육상 내로는 빛이 통과하지 못하도록 하여야한다. 밤나무혹벌과의 동조성을 위해서는 발육을 촉진하거나 억제할 필요가 있으므로 항온항습기의 사용이 불가피하다. 이를 고려하여 사육상자의 크기는 다소 조정이 가능하다.

대량수집을 위해서는 항온항습실 이용도 바람직하며 기생벌의 수집관병은 기존의 솔잎혹파리기생벌 수집용기를 대용하여도 무방할 것으로 사료된다.

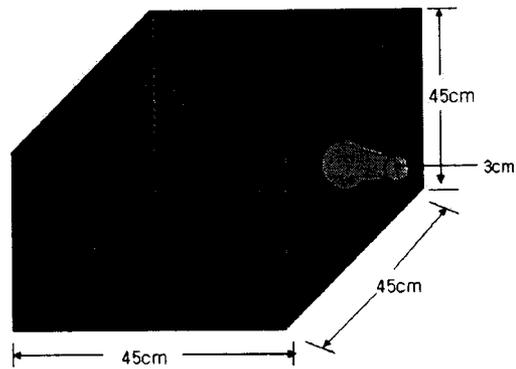


Figure 4-25. Emergence chamber of *T. sinensis*

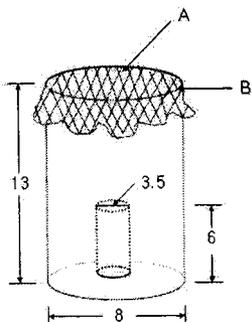


Figure 4-26. Collection implement

A : fine mesh nylon screen

B : rubber band

나. 중국긴꼬리좀벌의 방사방법별 구제효과

1) 중부지역에서의 방사효과 시험

가) 소규모 망실 내에서의 성충태 방사효과

중국긴꼬리좀벌의 기생능력을 파악하기 위하여 망실 내에서 기생율을 조사하였다. 밤나무 조림지에서 충영이 5.0mm~7.0mm로 형성되었을 때, 망사를 씌운 후 망실 내에 중국긴꼬리좀벌을 방사하여 기생율을 조사한 결과는 Table 4-9와 같다.

암수 2쌍을 방사한 실험개체군의 조사 총 총방수는 58.5개체이었으며, 중국긴꼬리좀벌에 기생당한 총방수는 35.6개체로 기생율은 60.9%이었다. 한편 암수 4쌍을 방사한 경우 총 총방수는 60.4개체이었으며, 기생당한 총방수는 37.4개체이었고, 기생율은 61.9%이었다. 방사 개체수와 관계없이 기생율이 비슷한 것은 산란행동을 고려하지 않은 제한된 공간이 원인으로 생각된다. 그러나 인공적으로 접종한 후 기생율이 60%를 상회하는 것은 밤나무혹벌의 밀도 증감에 중국긴꼬리좀벌이 강하게 영향하고 있다는 점을 시사하고 있다.

Table 4-9. Parasitism(%) on experimental population of *D. kuriphilus*

No. of <i>T. sinensis</i> adults released	No. of average galls per one branch	Total gall chambers	Gall chambers parasited by <i>T. sinensis</i>	Parasitism(%)
Two pair	21.0±5.0	58.5±7.5	35.6±3.7	60.9±12.6
Four pair	20.5±6.3	60.4±8.6	37.4±4.0	61.9± 8.5

나) 야외 독립된 밤나무에서 성충태 방사효과

독립된 밤나무(5~20년생의 재래종 외) 4그룹(수고 3~4m)를 선정하여 중국긴꼬리좀벌 100두를 방사하고 일정기간이 경과된 후의 기생율 및 임목당 충영형성 정도를 파악한 결과는 Table 4-10과 같다.

2001년 중국긴꼬리좀벌 방사목의 방사 20일 후 기생율은 52.2%이었고, 미방사목의 기생율은 35.2%로서 방사목이 미방사목에 비하여 기생율이 17%로 높았다(t-검정 $p < 0.05$). 방사목, 미방사목 모두 40일, 60일 경과 후에는 점차 기생율이 저하하였으며, 임의적 이차기생벌의 기생율은 다소 증가하였다.

2002년의 방사목기생율은 61.3%로 2001년에 비하여 다소 증가한데 비하여 미방사목은 2001년과 차이가 나타나지 않았으며(t-검정, $p > 0.05$), 방사목은 미방사목에 비하여 25.1% 높아 방사목의 경우 시간이 경과하면서 기생벌의 밀도가 증가하였다. 임의적 이차기생벌의 증감현상은 2001년과 비슷한 경향을 보였다.

한편 밤나무혹벌에 의한 밤나무의 충영형성율은 방사목의 경우 37.9%에서 6.7%로, 미방목에서는 36.9%에서 14.5%로 감소하여 미방사목보다는 방사목에서의 감소비율이 현저하였다.

Table 4-10. Parasitism in gall after the release of *T. sinensis*

Year	Investigation time after release	No. of galls tested	Parasitism of <i>T. sinensis</i> in release trees (%)		Rate of gall formation in release trees (%)	Parasitism of <i>T. sinensis</i> in non-release trees (%)		Rate of gall formation in non-release trees (%)
			T. s	other species		T. s	other species	
2001	20th May	50	52.2±9.4	3.5±0.6	37.9±3.4	35.2±6.2	2.5±0.7	36.9±5.1
	20th June	50	35.5±5.2	7.8±2.1		20.8±3.4	7.4±3.2	
	20th July	50	32.4±4.8	11.4±3.5		16.4±5.7	10.2±4.2	
2002	20th May	50	61.3±10.3	4.2±2.5	6.7%±2.4	40.2±7.3	3.3±1.2	14.5±4.2
	20th June	50	45.6±8.4	8.4±3.0		22.4±6.8	9.4±3.4	
	20th July	50	34.2±5.4	15.6±5.2		13.5±6.4	16.5±8.2	

2년간의 조사결과로는 중국긴꼬리좀벌에 의한 문제해충의 밀도억제효과를 논하기는 어려운 측면이 있으나 천적방사 후에 나타난 기생율의 증가현상은 본 기생벌을 이용한 방제가능성을 시사하고 있다.

2) 남부지역에서의 방사효과 시험

가) 망실 내에서의 충영태 이식 및 성충태 방사효과

중국긴꼬리좀벌의 성충태 및 충영태 이식효과를 명확히 구명하기 위하여 천적의 이식방법별 기생율을 조사한 결과는 Table 4-11, 12와 같다.

7일령의 성충태를 이식하고 20일이 경과한 후에 망실내의 충영을 채집하여 천적종류별 기생율을 조사한 결과(Table 4-11), 강원 개체군을 이용하여 방사한 시험구의 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 38.1%, 충남 개체군은 28.4%,

방사하지 않은 시험구는 3.7%로 충남 개체군에 비하여 강원 개체군을 방사한 경우 기생율이 10% 높게 나타났으며, 방사하지 않은 시험구에 비하여는 34.4% 높게 나타났다. 본 실험은 망실 내에서 수행하였으므로 타 기생벌이 기생할 수 없으나 타기생벌의 기생율은 0.1%로 나타났는데, 이는 망사에 접촉한 충영에 타 기생벌이 산란하였기 때문일 것으로 생각된다.

방사후 40일 경과되어 망실을 제거한 후에 천적의 종류별 기생율을 조사한 결과, 강원 개체군에서 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 35.3%, 충남 개체군 27.8%으로 망실제거전에 비하여 약간 감소하였고, 타기생벌의 기생율은 각 4.5%, 6.4%로 증가하였다.

이와 같이 타 기생벌의 기생율이 증가함에도 불구하고 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 급격히 감소하지 않은 것은 타 기생벌이 중국긴꼬리좀벌 뿐만 아니라 밤나무혹벌에도 기생하는 임의적 이차기생벌이기 때문으로 사료되므로 금후 1차기생성인 중국긴꼬리좀벌과 임의적 이차기생벌간의 기생기작에 대한 연구가 필요하다.

Table 4-11. Parasitism(%) after releasing adults of *T. sinensis* in an experimental orchard of Kyongnam Prefecture.

Collection area of <i>T. sinensis</i>	Experimental condition (Date of gall collection)	Paratism of <i>T. sinensis</i> (%)	Paratism of other parasitoids (%)
Release of <i>T. sinensis</i> collected in Chunchon, Kangwon	before removing nylon screen (20 days later after release)	38.1±3.4	0.1±0.2
	after removing nylon screen (40 days later after release)	35.3±4.1	4.5±1.3
Release of <i>T. sinensis</i> collected in Gongju, Chungnam	before removing nylon screen (20 days later after release)	28.1±4.6	0.1±0.1
	after removing nylon screen (40 days later after release)	27.8±5.4	6.4±2.5
Control	5th May	3.7±3.2	0.3±0.2
	25th May	2.9±3.4	3.4±2.0

한편 충영을 이식하고 20일 경과한 후에 망실내의 충영을 채집, 천적종류별 기생율을 조사한 결과(Table 4-12), 강원 개체군을 이용하여 방사한 시험구의 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 17.3%, 충남 개체군은 23.5%, 망실을 제거한 후에 각 16.8%, 20.5%로 충남 개체군의 기생율이 다소 높게 나타났으나 기생율의 차이는 없었다. 그러나 양 지역 모두 방사하지 않은 시험구 보다는 기생율이 현저하게 높았다.

기타 종의 기생율은 망실제거 전, 강원도 개체군에서 2.5%, 충남 개체군에서 3.6%이었고, 망실제거 후 각 5.4%, 8.2%로 망실제거 후에 다소 증가하는

것으로 파악되었다.

이와 같이 성충태 이식과는 다르게 충남 개체군에서 기생율이 높게 나타난 것은 충청내 중국긴꼬리좀벌의 생존율 및 우화시기의 차이 등에 영향받은 것으로 생각되며, 조사시기별로 기생율의 차이가 나타나지 않은 것은 성충태 이식시험과 같이 임의적 이차기생벌이기 때문으로 사료된다.

Table 4-12. Parasitism(%) of *T. sinensis* after releasing galls containing *T. sinensis* in an experimental orchard of Kyongnam Prefecture

Collection area of <i>T. sinensis</i>	Experimental condition (Date of gall collection)	Paratism of <i>T. sinensis</i> (%)	Paratism of other parasitoids (%)
Release of <i>T. sinensis</i> collected in Chunchon, Kangwon	before removing nylon screen (20 days later after release)	17.3±4.2	2.5±0.2
	after removing nylon screen (40 days later after release)	16.8±5.2	5.4±2.0
Release of <i>T. sinensis</i> collected in Gongju, Chungnam	before removing nylon screen (20 days later after release)	23.5±4.6	3.6±1.8
	after removing nylon screen (40 days later after release)	20.5±4.9	8.2±4.1
Control	5th May	3.7±3.2	0.3±0.2
	25th May	2.9±3.4	3.4±2.0

나) 야외 밤나무 조림지에서 성충태 이식효과

경상남도 하동군 북천면 사평리 및 진양군 미천면 효자리 밤나무조림지에서 중국긴꼬리좀벌 성충을 시험목당 각 200마리 방사하여 기생율의 변화 과정을 해석하였다.

하동군 북천면의 방사시험지에서 조사한 결과는 Figure 4-27과 같다. 천적이식지에서 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 2000년에 34.6%, 2001년 40.0%, 2002년 46.8%로 점차 증가하였으며, 중국긴꼬리좀벌 이외의 천적종의 기생율은 연도별로 각 21.0%, 20.8%, 16.9%이었다. 천적을 이식하지 않은 지역의 기생율은 2000년에 23.6%, 2001년 28.4%, 2002년 28.5%, 이외의 천적종의 기생율은 연도별로 각 14.9%, 15.7%, 16.%이었다.

중국긴꼬리좀벌의 경우, 이식 이전의 평균기생율이 8.7%이었던 것이 이식 당년의 기생율은 34.6%로, 25.9% 상승하여 급격히 기생율이 증가하는 현상을 보였으나, 이후는 각 40.0%, 46.8%로 증가하여 3.4%, 6.8%정도 상승하여 증가현상이 둔화되는 경향이 나타났다. 그 외 기타 기생벌의 기생율은 천적이식지와 미이식지 모두 유사하였으며, 연도별 차이는 없었다.

전체 기생율은 이식지역이 연도별로 각 55.6%, 58.3%, 62.3%로 점차 증가하였고, 미이식지역이 23.6%, 28.4%, 27.8%로 년차별로 유의적인 차이는 없었다.

진주시 미천면의 방사지역에서 조사한 결과는 Figure 4-28과 같다. 천적이식지에서 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 방사전에 6.5%이던 지역이 방사당년에는 18.7%로 급격히 증가하였으며, 2001년에 22.3%, 2002년 27.5%로 점차 증가하였으나 이후는 하동지역과 유사하게 증가현상이 둔화되었다. 그 외 기생벌의 기생율은 12.5%이하로 하동지역에 비하여 현저히 낮았고, 연도별 차이는 하동지역과 유사한 패턴이었다. 천적을 이식하지 않은 시험지의 중국긴꼬리좀벌 기생율은 2000년에 5.4%, 2001년 8.5%, 2002년 11.3%로 점차 증가하였으나 방사지역에 비하여 1/2로 낮았다.

밤나무혹벌의 충영형성율은 하동지역의 경우 Figure 4-29와 같이 천적방사 시험지에서 연도별로 각 53.6%, 35.1%, 28.9%로 점차 감소하였으며, 방사하지 않은 시험지에서는 55.2%, 45.3%, 40.6%로 크게 변화하지 않았다.

진주지역의 경우 Figure 4-30과 같이 천적방사시험지에서 연도별로 각 15.4%, 12.3%, 4.5%로 감소하였으며, 방사하지 않은 시험지에서는 19.6%, 21.8%, 18.5%로 변화하지 않았다.

이와 같이 중국긴꼬리좀벌을 방사한 지역의 기생율이 방사하지 않은 지역에 비하여 높게 나타나고, 충영형성율이 감소하는 것은 본종을 이용한 생물적 방제 가능성을 시사하는 것으로 사료되며, 특히 본 종의 방사와 관련하여 이차기생벌이 급격히 증가하거나 감소하는 경향이 나타나지 않아 이에 대한 영향은 적을 것으로 판단되었다. 단 방사당년에 급격히 밀도억제효과가 나타나나 이후 둔화되는 현상에 대하여는 3년간의 결과로 추론하기 어렵기 때문에 금후 방사지역에 대하여 년차별로 계속하여 조사할 필요가 있다.

또한 충영형성율(피해율)이 높은 하동시험지에 비하여 충영형성율이 낮은 진주시험지에서 기생율이 높고 충영형성율이 낮게 나타났는데 이는 기주의 밀도에 관련한 기생벌의 기생효과가 다르게 나타날 수 있다는 가능성을 시사하는 것으로 금후 밀도 의존적인 요인에 대한 검토가 필요하다.

일본에서는 중국에서 도입한 중국긴꼬리좀벌을 쓰꾸바시의 밤나무 조림지에 방사한 결과, 방사 당년의 100충영 당 천적개체수가 3.1마리이던 것이 방사 3년후에 10배에 달하여 방사후 3년내에 급속히 증가하였고, 이후 1990년에는 30배에 달하였다고 보고하였으며(Moriya et al., 1992; 守屋, 1992), 구마모토현의 밤나무 조림지에 방사한 결과는 방사이후 개체수의 증가는 미약하였으며, 방사 11년후부터 증가하였으나 방사 14년후에도 쓰꾸바시에서의 방사 2년의 결과와 비슷하였다. 이와 같이 현저한 차이는 기상적인 조건, 방사방법의 문제, 토착천적종의 영향 등일 것으로 추론하였다(村上, 1990).

국내의 경우 밤나무혹벌과 동조하는 시기를 고려하여 중부지방의 개체군을 방사하였고, 방사당년의 기생율이 급격히 증가하였으나 이후 둔화되는 경향이 나타난 바, 금후 천적의 개체군밀도 변화과정에 대한 지속적인 관찰

이 필요할 것으로 사료된다.

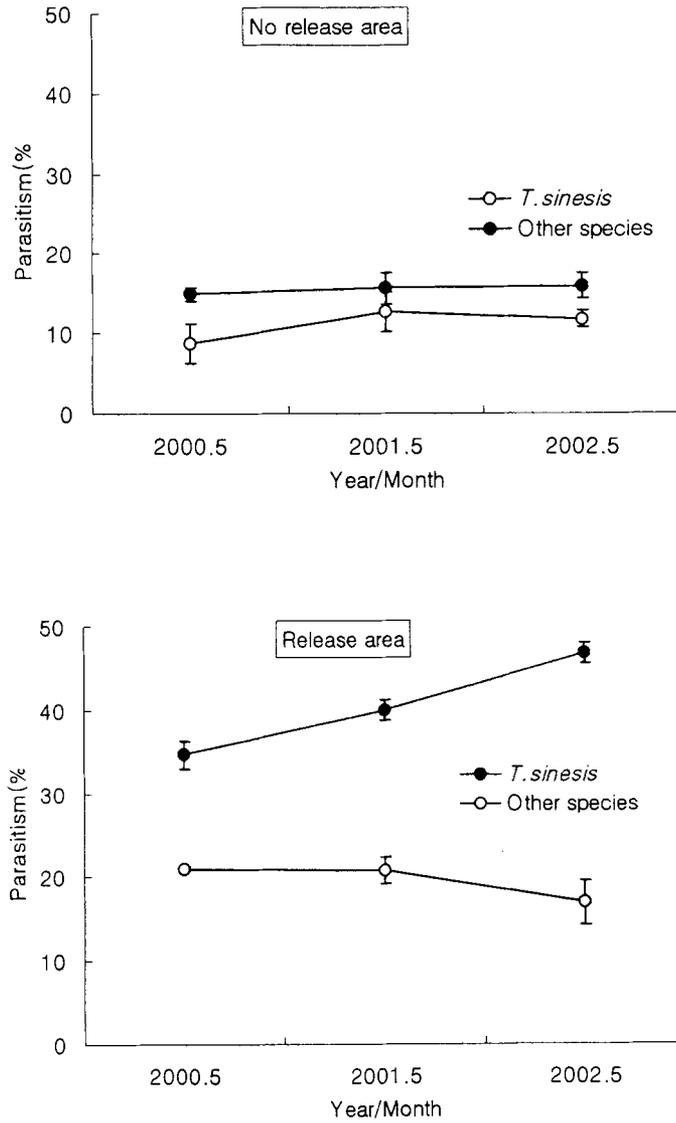


Figure 4-27. Annual fluctuations of percent parasitism at chestnut orchard in Hadong pref. after release of *T. sinensis*

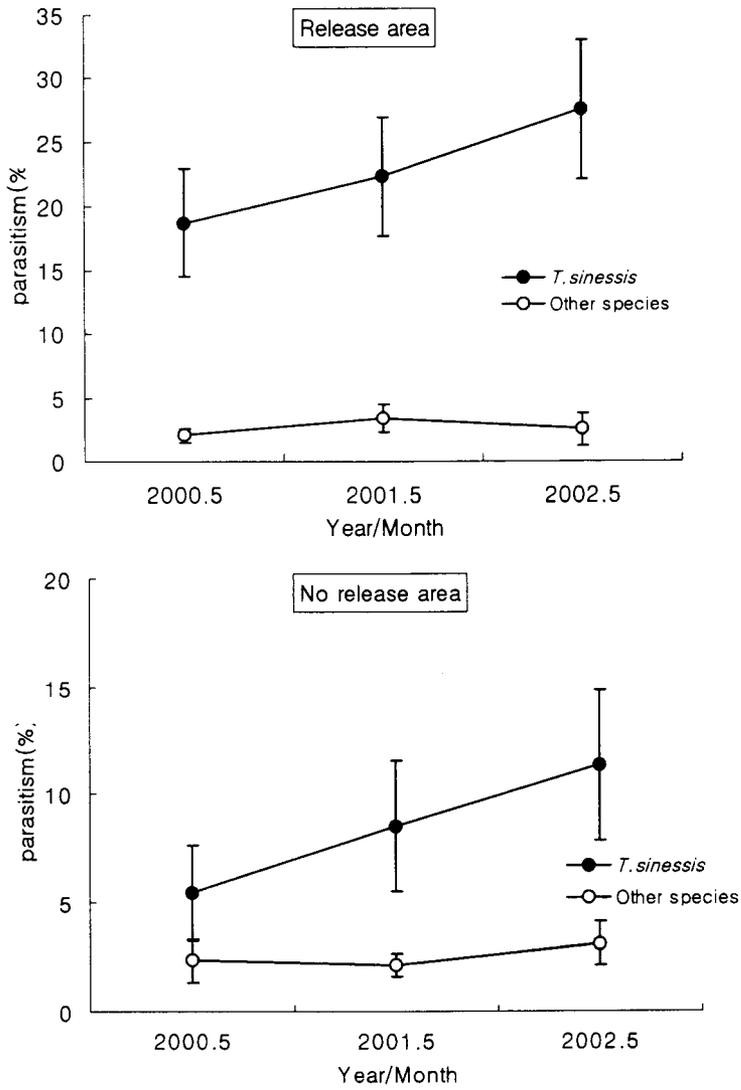


Figure 4-28. Annual fluctuations of percent parasitism at chestnut orchard in Jinju pref. after release of *T. sinensis*

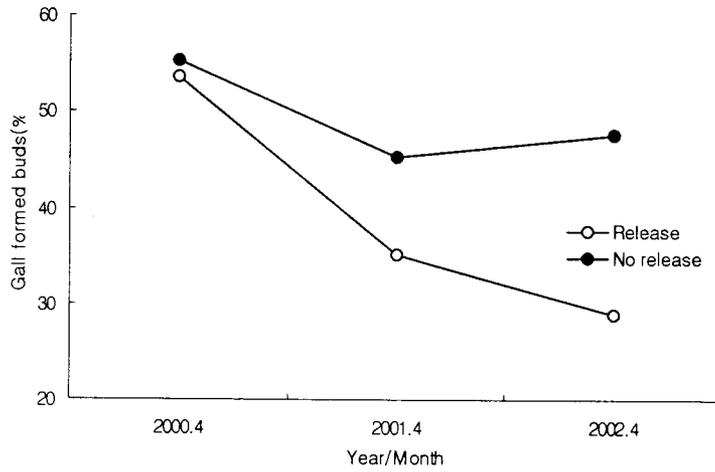


Figure 4-29. Annual fluctuations of rate of gall formed buds at chestnut in Hadong pref. after release of *T. sinensis*

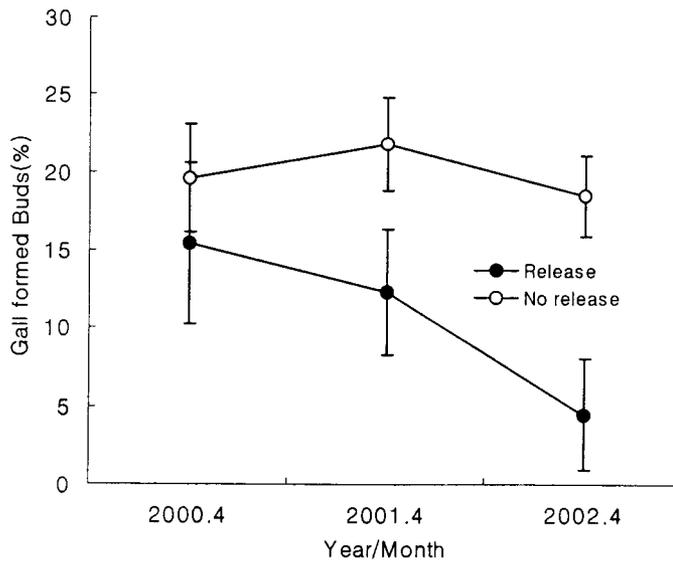


Figure 4-30. Annual fluctuations of rate of gall formed buds at chestnut in Jinju pref. after release of *T. sinensis*

다) 중국긴꼬리좀벌 이식지의 천적종별 기생율의 시기별 변화

중국긴꼬리좀벌의 방사 전, 후에 천적의 기생율을 조사한 결과는 Table 4-13과 같다. 강원도에서 중국긴꼬리좀벌 개체군을 채집하여 경상남도 하동 지역에 방사한 경우, 방사하기 전인 2000년의 기생율은 기주인 밤나무혹벌이 유령유충기에 21.3%, 종령유충기에 15.6%, 용 및 성충우화 이전에 9.4%이었으며, 기타 이차기생벌은 용 및 성충우화이전에 13.7%로 가장 높았다.

방사한 이후 2001년, 2002년의 기생율은 밤나무혹벌이 유령유충기에 55.5%와 55.7%, 종령유충기에 54.9%, 64.7% 용 및 성충우화이전에 39.7%, 50.8%이었으며, 기타 임의적 이차기생벌은 용 및 성충우화이전에 17.4%, 11.0%로 높았다.

Table 4-13. Parasitism(%) of *T. sinensis* and Hyperparasitoids collected from *D. kuriphilus* galls in parasitoids released areas

	Year	Species of parasitoids	Parasited rate (%)		
			5.5~5.15	5.21~5.30	6.5~6.15
before release	2000	<i>Torymus sinensis</i>	21.3	15.6	9.4
		Hyperparasitoids	4.0	3.5	13.7
after release	2001	<i>Torymus sinensis</i>	55.5	54.9	39.7
		Hyperparasitoids	4.5	3.0	17.4
	2002	<i>Torymus sinensis</i>	55.7	64.7	50.8
		Hyperparasitoids	3.0	4.7	11.0

Developmental stage *D. kuriphilus*; May 5~15:immature larva, May 21~30; full growth larva, Jun 5~15:pupa

라) 방사지의 주요 기생성천적의 종구성

중국긴꼬리좀벌을 방사한 후에 주요 천적종류별 종 구성비를 조사한 결과는 Table 4-14와 같이 중국긴꼬리좀벌이 상대적으로 많이 출현하였으며, 그 외 기생벌의 구성비는 년차별로 차이가 나타났으나 상대적으로 낮았다.

Table 4-14. Composition of species and kinds of natural enemy in the release area of parasitoids(Hadong, Kyongnam)

Species	Composition (%)		
	Feb. 2000	Feb. 2001	Feb. 2002
<i>Torymus sinensis</i> * ¹	38.0	75.3	74.5
<i>Torymus geranii</i>	24.1	2.0	5.4
<i>Eupelmus urozonus</i>	14.3	11.9	10.2
<i>Sycophila variegata</i>	5.2	2.0	3.8
<i>Ormyrus punctiger</i>	18.4	8.8	6.1

*¹: releasing time (late Apr. 2000)

마) 천적이식지점으로부터 거리별 기생율

이식지점으로부터 거리별에 따른 중국긴꼬리좀벌의 기생율을 조사한 결과는 Figure 4-31과 같다. 이식지점으로부터 10m까지는 그 유효성을 인정할 수 있었으나 15m이상에서는 큰 변화가 없었다. 그러나, 본 조사는 생물적 방제 체계화수립에 있어서 ha당 적정방사수 결정을 위한 기초자료를 얻기 위한 것으로서 추후 연차별 확산속도 등에 대한 보다 상세한 조사가 이루어야 할 것으로 판단된다.

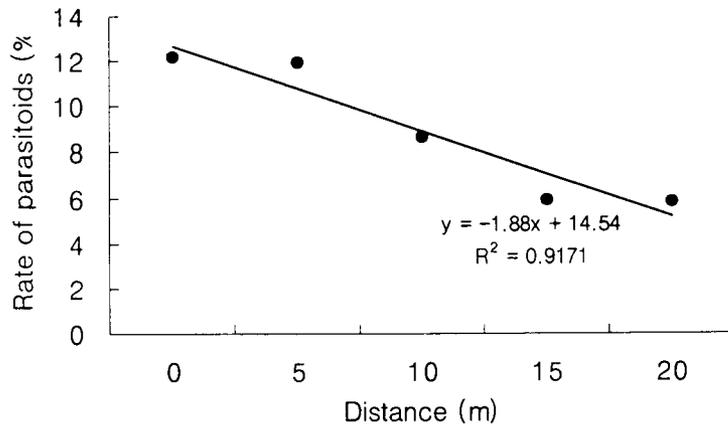


Figure 4-31. Change in rate of parasitoids according to the release distance.

4. 도입천적을 이용한 생물적방제 검토

가. 도입천적의 생태특성

1) 중국긴꼬리좀벌의 우화소장

일본에서 채집한 밤나무혹벌충영(2월 19일~23일 채집)을 분양 받아 우화상(나무제품, 25×25×25cm)에 넣고 이를 야외의 직사광선이 차단된 철망 cage내에 보관하고 우화개체수를 조사한 결과는 Figure 4-32와 같다.

수컷성충의 우화기간은 4월 18일부터 5월 2일까지였으며, 암컷성충의 우화기간은 4월21일부터 5월 2일까지로 암컷의 우화기간이 수컷에 비하여 다소 짧았다. 수컷성충의 누적출현율은 4월 22일이었고, 암컷은 4월 24일로 2~3일정도 늦게 출현하였다.

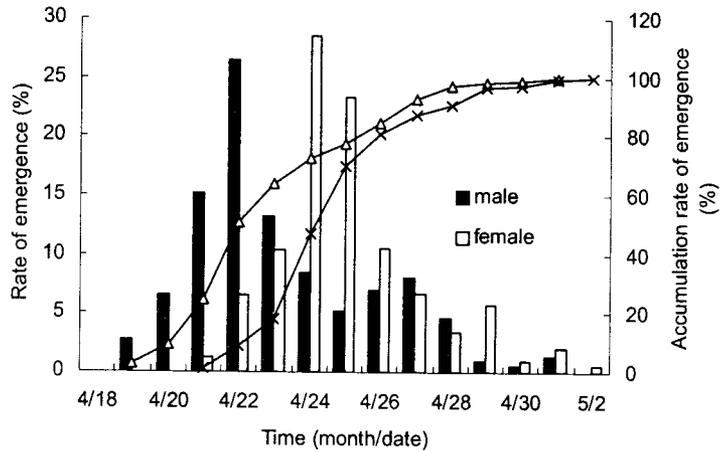


Figure 4-32. Emergence of *T. sinensis* (Tsukuba, Japan)

2) 산란

야외 망실내에 형성된 밤나무혹벌 충영을 사육상자(국내조사와 동일한 방법)에 넣고 기생벌 암수 한쌍(5반복)을 방사하고, 24시간 후에 충영을 절개하여 산란 개체수를 조사한 결과는 Table 4-15와 같이 실온조건하서 54개 체이었다.

Table 4-15. Number of oviposition of *T. sinensis*

Experimental condition	No. of galls examined	Range of oviposition	Total No. of oviposition
room temperature (15~24℃)	5	42~81	54.0±13.1

3) 성비 및 수명

일본 이바라키현 스꾸바시 밤나무 조림지에서 채집한 충영으로부터 우화

한 암수성충의 개체수를 조사하고, 성비수명을 조사한 결과는 Table 4-16과 같다. 우화한 총 개체가운데 암컷비율은 51.5%로 성비는 1:1로 판단되며, 수명은 15~25℃범위에서 온도가 높아질수록 짧게 나타났다.

Table 4-16. Adult longevity of *T. sinensis* collected in Japan under different temperatures and diets

Food	Temperature (°C)	Sex	No. of individuals examined	Longevity (days ± SD)
Honey	15°C	♂	10	22.3 ± 9.4
		♀	8	40.2 ± 15.1
	20°C	♂	11	16.3 ± 7.8
		♀	10	16.7 ± 6.1
	25°C	♂	10	10.4 ± 5.6
		♀	9	16.7 ± 5.2

나. 도입천적의 이용과 관련한 문제점

본 연구에서는 도입천적을 이용하여 생물적 방제의 가능성을 모색하고자 일본에서 천적을 도입하여 이에 대한 생태를 검토하고 방사할 계획을 수립하였다. 그러나 천적의 도입단계에서 외국의 천적도입 및 이용업무를 담당하고 있는 한국식물검역소로부터 본 연구와 관련하여 “국외에서 반입된 밤나무혹벌 천적은 2중창이 설치된 실내에서 사육하여야하며 증영으로부터 우화한 기생천적 중 가운데 유효 종으로 사료되는 *Torymus sinensis*의 경우, 성충을 포집하여 야외에 방사하되 방사시 외부로 이탈되는 일이 없도록 망

사내에서 실험을 수행하여야 하고, 또한 *Torymus sinensis* 종을 제외한 타 종류는 포집하여 소각해야한다” 라는 내용을 전달받았으며, 도입충영으로부터 시험에 필요한 천적종(*T. sinensis*)만 수집하고 잔재물은 타 곤충의 국내 유입을 방지하기 위하여 6월 7일 식물검역소 관리담당자의 입회하에 살충처리 후 소각 폐기하였다.

따라서 도입천적의 성충태이식은 망실내에서 제한적으로 수행하여야 하므로 도입천적에 의한 이식효과, 즉 천적의 기생율을 구명하기 곤란하고 방사후의 천적 곤충상의 변화과정에 대한 검토 또한 실행하지 못하였다. 금후 유력천적의 도입에 관한 새로운 규정의 제정이 필요할 것으로 사료된다.

5. 생물적방제 수행체계

연구결과를 기초로 하여 밤나무혹벌의 개체군밀도를 억제하는 생물요인으로 중국긴꼬리좀벌(*Torymus sinensis*)을 선정하였으며, 중국긴꼬리좀벌의 생태적 특성 및 방제효과를 분석하여 생물적 방제방법을 체계화하였다.

가. 중국긴꼬리좀벌의 채집

1) 채집지역의 선정

연구결과 재래종밤나무와 도입종 밤나무(각 조사지역별)에 서식하는 밤나무혹벌 및 중국긴꼬리좀벌간에는 형태적, 우화소장간, 유전자간에 현저한 차이가 없는 것으로 구명되어 종별 생태형은 존재하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 각 지역에 서식하는 중국긴꼬리좀벌을 다른 지역에 전략적으로 이식하여도 그 지역에서의 정착 및 증식이 가능할 것으로 판단된다. 한편 생물인자에 의한 구제효과를 높이기 위해서는 기주 및 기생자의 동조성이 중요

한데 이를 검토한 결과는 강원도 및 경기도의 천적의 우화소장과 경상남도 및 전라남도의 밤나무혹벌의 우화소장과 동조성이 강하였다. 현재 밤나무를 집단적으로 재배하고 있는 경상남도 및 전라남도 지역은 밤나무혹벌이 심하게 발생되고 있고, 분포가 확대되고 있으므로 이들 지역에는 주로 강원도 영서지역이나 경기도 지역에 기생하는 중국긴꼬리좀벌을 수집하여 방사하는 것이 유효할 것으로 생각된다.

2) 채집장소의 선정

강원도 영서지역과 경기도 지역에 밤나무혹벌의 천적종류의 종 구성을 보면 중국긴꼬리좀벌이 가장 높아 피해율이 30%에서 기생율이 60%이상으로 조사되어 우선 밤나무혹벌의 피해율이 가급적 높은 장소를 선정하여 밤나무 5본 이상을 선정, 무작위로 100충영을 수집, 충영을 절개하여 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 50%이상이면 충영수집지역으로 선정한다. 가급적 한 장소에서 대량으로 수집하는 것을 피하고 여러장소를 택하여 수집하도록 한다.

3) 충영의 수집시기

충영을 수집하여 실내 및 야외의 cage내에서 보관하며, 생존율을 조사한 결과는 야외 cage내에서 다소 높게 나타났고, 충영의 채집시기별 우화개체수를 조사한 결과는 11월과 12월보다는 1~3월 사이에 채집한 충영에서 우화한 개체수가 많았다. 따라서 충영의 수집시기는 기주와 동조성을 위하여 기생자의 조절이 가능한 시기, 즉 밤나무혹벌과의 동조성을 위하여 충영수집 후 중국긴꼬리좀벌의 용 발육속도조절이 가능한 2월에 채집하는 것이 효율적이다.

나. 중국긴꼬리좀벌의 사육(밤나무혹벌 충영의 보관)

2월에 수집한 밤나무혹벌 충영을 야외 cage내에 우화상(Figure 4-25)당 1만개씩 넣고 사육한다(충영은 우화상부피의 1/3차지). 야외의 온도가 높은 경우에는 용의 발육한계온도(8.9℃) 이하로 조절된 환경조절장치내에 넣어 보관한다. 이후 방사지역의 밤나무혹벌 발육을 관찰하며, 이에 동조할 수 있도록 용기간의 적산온도를 고려(16℃: 18일, 20℃: 15일, 24℃: 10일)하여 사육온도를 선택한다. 사육시 습도는 70%~80%를 유지하고, 광주기는 16L: 8D로 한다. 충영이 건조하면 사망률이 증가하므로 증류수를 적당히 살포한다.

다. 방사용 성충의 수집

밤나무 충영으로부터 기생벌을 대량으로 수집하기 위하여 주광성을 이용하여 채집하도록 고안된 우화상을 이용한다. 기주와의 동조성을 높이기 위하여 항온항습기의 사용이 불가피하므로 우화상의 크기는 이를 고려하여 제작한다. 성충수집을 위해서는 기존의 솔잎혹파리 천적을 수집하기 위하여 제작된 용기도 이용 가능하다. 중국긴꼬리좀벌은 낮에 우화하며 7시부터 15시 사이에 일일 우화 총 개체수의 85% 이상이 우화하는 것을 고려하여 일일 2~3회 수집한다.

라. 방사용 성충의 보관

채집된 성충은 수집기내에 보관하며 이때 채집된 성충은 수집기당 100~150마리를 넣고, 식이물로는 꿀물원액을 제공한다. 수집기는 성충의 수명 및 방사시기를 고려하여 15℃~20℃에 저장한다. 저장기간은 산란전기간을 고

려하여 10일정도로 한다.

마. 성충의 방사

1) 성충의 방사시기

중국긴꼬리좀벌의 성충은 밤나무혹벌의 눈이 개엽하여 충영크기가 3cm~7cm를 선호하므로 방사할 지역을 선정하여 밤나무 피해가지들 시기별로 채취, 충영의 크기를 관찰하여 방사시기를 결정한다.

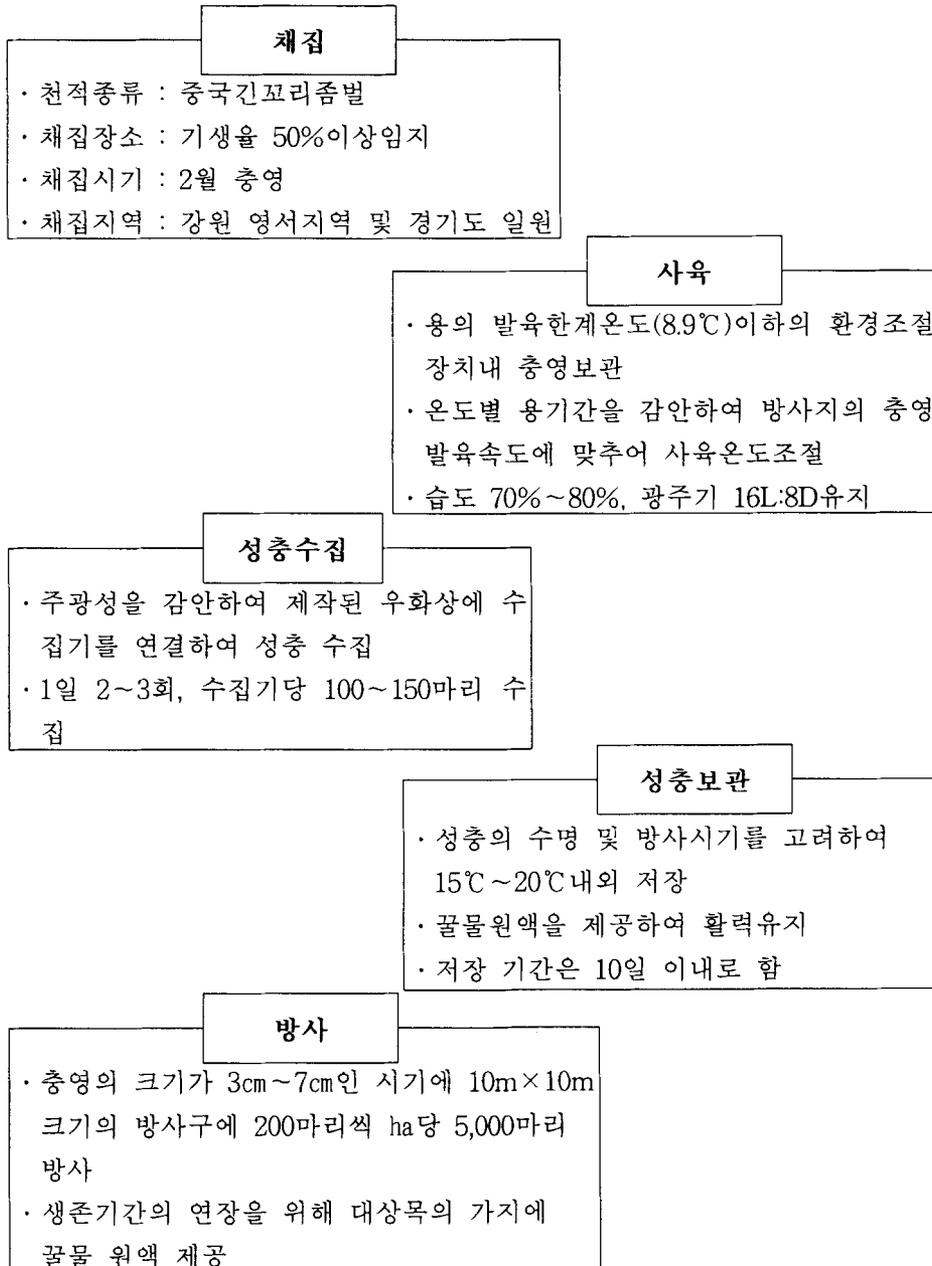
2) 성충의 방사방법

아이스박스를 이용하여 저온을 유지하며 방사할 지역으로 운반한다. 방사 성충수는 10m×10m의 크기에 200마리씩 ha당 5000마리를 방사한다. 생존시간(수명)을 연장하기 위하여 방사 대상목에 꿀물원액을 제공(천을 꿀물에 넣어 충분히 침투시킨 후 천을 밤나무가지에 감아서 제공함)한다.

바. 효과분석

방사효과조사를 위해서 방사지 및 미방사지에서 밤나무 3그룹을 선정하여 시험목별로 50개의 충영을 방사 30일후에 채집하여 충영을 절개한 후, 충방 내부에 기생하는 천적의 종별 기생율을 조사 비교한다.

사. 생물적방제 추진체계



제 5 장 결 론

1. 밤나무혹벌의 생태, 피해실태 및 저항성품종

가. 밤나무혹벌에 의한 피해의 실태

현재 국내 전국적인 밤재배 면적은 약 47천ha이며 재배농가수는 28천여 가구에 달하는 농가의 중요한 소득원이다. 그러나 최근 밤나무혹벌의 피해가 증가하여 밤 생산량을 저하시키는 것은 물론이고 밤나무자체를 고사시키고 있다. 밤나무혹벌에 의한 피해는 1959년에 재래종밤나무에 최초 발생하여 전국으로 확산되었으며, 현재까지 지역별로 개체군밀도의 증감현상이 반복적으로 나타나고 있고, 개체군밀도는 최근 증가하는 시점이다. 내충성 밤나무에는 1980년대 중반부터 발생하기 시작하였으며, 일부지방에 국한되었던 것이 현재 전라남도의 광양 및 경상남도의 하동지역에 확산 발생하여 피해율도 점차 심화되어 각 66.7% 및 60.6%에 달하였다. 피해를 받고 있는 밤나무 품종은 주로 단택, 축과, 은기 등이며, 수령이 높은 개체(11~20년생 73.5%)가 낮은 개체(10년생이하 40.7%)에 비해 피해가 심하였고, 피해의 확산은 성충우화기에 주풍방향과 밀접한 관련이 있었다.

재래종의 경우 중부지방의 피해율은 감소하였으나 남부지방은 전년과 유사하였다. 금후 지역별 피해율증감에 관한 자료를 축적하는 한편 특히 남부지역의 내충성품종이 식재된 임지는 피해율과 천적의 작용에 대한 상세한 연구가 필요하다.

나. 밤나무혹벌의 생태형검토 및 저항성품종

생물적방제 가능성을 모색하기 위하여 지역별 우화소장 및 유전자변이를 조사하여 생태형의 존재여부를 검토하였다. 우화소장은 경상남도 하동과 충청남도 공주지역(내충성 밤나무)에서 6월 20일~7월 15일, 최성기 7월 5일, 강원도 춘천지역(재래종 밤나무)에서 6월 25일~7월 15일, 최성기 7월 10일이었고, 조사지역별(Table 2-1)로 OPB-(01~07)primer에 의한 RAPD 분석에서 유전적 변이의 차이가 나타나지 않아 지역별, 품종별 생태형이 존재하지 않는 것으로 파악되었다. 밤나무림내 가지에 동아산란 특성 및 풋트이식묘에 성충을 접종하여 품종별 산란선호성을 검토한 결과 石鎚 및 多鵬품종이 산란수가 가장 적었고, 부화하지만 유충기에 모든 개체가 사망하여 내충성이 강한 품종으로 파악되었다.

다. 밤나무혹벌 피해가 밤나무 신초생장 및 결실량에 미치는 영향

밤나무혹벌의 피해도에 따른 생장 및 결실량은 밤나무의 령급에 따라 다소 차이가 나타났으며, 1령급의 충영형성을 10%미만의 가지에서 결과지의 평균 길이생장과 직경생장은 각 32.5cm와 5.6mm, 충영형성을 70%이상 가지에서는 각 5.2cm와 3.2mm이었으며, 충영형성율이 30%이하에서는 2.1~2.2개로 차이가 없었으며, 50%이상일 때는 밤의 착과수가 평균 0.3개이하로서 거의 착과되지 않아 적어도 충영형성율이 30%이하로 유지되도록 밤나무 조림지를 관리하는 것이 요구된다.

2. 밤나무혹벌의 천적탐색 및 생태적 특성

가. 밤나무혹벌의 천적곤충의 분류 및 종구성

밤나무혹벌의 생물적 방제에 효과적인 생물인자를 구명하는 것이 무엇보다도 중요한 과제로서 이를 위하여 기생성천적 곤충이 탐색되었다. 국내의 각 조사지역에서 채집된 밤나무혹벌의 천적(天敵)으로부터 우화한 기생천적의 종류는 *Torymus sinensis*, *Torymus beneficus*, *Torymus geranii*, *Torymus* sp. *Eupelmus urozonus*, *Eupelmus* sp. *Eurytoma brunniventris*, *Megastigmus nipponicus*, *Megastigmus maculipennis*, *Sycophila variegata*, *Reikosiella* sp., *Eurytoma setigera*, *Ormyrus flavitibialis*, *Ormyrus punctiger*, *Ormyrus pomaceus*로 15종이었으며, 미동정 기생벌, 기생파리등 총 20종을 확인하였고, 포식성천적으로 나방류 1종, 바구미류 1종, 거미류 4종을 확인하였다. 이 가운데 미동정의 기생벌은 천적내에 빈 천방을 이용하여 생활하고 있던 갑충이나 나방의 유충이나 용의 기생자인 것으로 파악되었으며, 포식성천적은 밤나무혹벌 뿐만 아니라 타 곤충을 포식하는 협식성이거나 광식성 포식자로 파악되었다.

이들 기생벌은 당년에 형성된 천적 및 월동후 이듬해에 우화하는 종류로 분류할 수 있으며, 당년에 형성된 천적에서 우화한 종류는 *Torymus geranii* (Walker), *Sycophila variegata*(Curtis), *Megastigmus nipponicus* Yasumatsu et Kamijo, *Megastigmus maculipennis* Yasumatsu et Kamijo, *Eurytoma brunniventris* Ratzeburg, *Eurytoma setigera* Mayr, *Ormyrus flavitibialis* Yasumatsu et Kamijo, *Ormyrus punctiger* Westwood, *Eupelmus urozonus* Dalman 이었다. 최우점종은 남색긴꼬리좀벌 및 배잘록꼬리좀벌이었으나 지역(재래종과 도입종)에 따라 다소 차이가 나타났고, 그

밖의 종 구성비율은 비슷한 것으로 나타났다. 월동 후 이듬해에 충영에서 우화한 종류는 *Torymus sinensis*, *Torymus beneficus*, *Torymus geranii*, *Torymus* sp., *Eupelmus urozonus*, *Sycophila variegata*, *Eurytoma setigera*, *Eupelmus* sp., *Ormyrus punctiger* 이었다. 최우점종은 *Torymus sinensis*이었으며, 재래종 밤나무에 비하여 도입종 밤나무에서 구성비율이 낮게 나타났고, 도입종 밤나무림에서도 장소별로 큰 차이를 보였다. 또한 그 외 일부 종은 조사지역에 따라 한정하여 출현하였으며, 종류별 구성비율의 차이는 나타나지 않았다.

나. 중국긴꼬리좀벌, 남색긴꼬리좀벌, 큰다리남색좀벌의 생태특성

밤나무혹벌의 생물적 방제를 위해서는 개체군밀도억제에 효과적인 생물인자의 선정이 필요하다. 이를 위하여 본 해충에 기생하는 천적종류 가운데 우점하고 있는 3종의 기생성천적에 대하여 발육단계별로 형태적인 특성을 새롭게 기재하였으며, 생태학적인 연구의 기초를 제공하였다.

3종 모두 밤나무혹벌의 유충을 공격하는 외부기생자였으며, 충영내의 충방내에 다수의 알이 관찰되었다. 이는 중복산란에 의한 것으로 단독기생성천적으로 파악되었다. 이들 천적들은 양성생식종이었으며, 중국긴꼬리좀벌의 경우 재래종 밤나무에서 안정된 개체군의 성비는 암컷의 비율이 높았고, 도입종 밤나무의 불안정한 개체군의 성비는 수컷의 비율이 다소 높게 나타났다. 그 외 2종의 천적의 성비는 암수 같은 것으로 파악되었다. 수명은 20°C의 항온하에서 꿀물원액을 제공하며 사육하였을 경우 중국긴꼬리벌의 암컷이 평균 41.0일, 남색긴꼬리좀벌이 42.8일, 큰다리남색좀벌이 61.9일이었고, 식이물을 제공하지 않았을 경우 3종 모두 평균 3.3일이내에 폐사하였다. 산란전기간 및 산란수는 20°C에서 중국긴꼬리좀벌이 각 2.6일, 64.0개체, 남색

긴꼬리좀벌이 각 4.1일, 22.3개체, 큰다리남색좀벌의 산란전기간이 6.5일이었다. 중국긴꼬리좀벌은 년 1회, 남색긴꼬리좀벌은 년 3회, 큰다리남색좀벌은 년 2회발생하였으며, 모든 종은 노숙유충으로 월동하였다. 이밖에 중국긴꼬리좀벌의 용의 발육한계온도는 9.5℃이었고, 일부 산란행동을 조사하였다.

중국긴꼬리좀벌의 성충은 주로 오전중에 많았으며(전체우화개체수의 64%), 우화소장은 4월 중순부터 5월 상순까지이었다. 경상남도 하동지역이 충청남도 공주지역보다 7일, 강원도 춘천지역에 비하여 9일 빠르게 우화하였다. 남색긴꼬리좀벌의 우화소장은 전년에 형성된 충영에서 5월 하순부터 6월 하순까지, 당년에 형성된 충영에서 7월 상순부터 7월 하순까지이었고, 큰다리남색좀벌은 전년에 형성된 충영에서 5월 상순부터 6월 상순까지, 당년에 형성된 충영에서 6월 중순부터 7월 중순까지, 7월 하순에서 8월 중순까지이었다.

다. 기생양식

상기 종별 발육단계별 형태적 특징을 이용하여 종의 상호 기생관계의 구명이 가능하였으며, 기생양식은 밤나무혹벌에만 기생하는 종으로는 *Torymus sinensis* 은 밤나무혹벌 유충에, *Megastigmus*속에 속하는 노란꼬리좀벌(*M. nipponicus*), 배갈록꼬리좀벌(*M. maculipennis*)은 밤나무혹벌의 유충 및 타종의 혹벌류에도 기생하는 것으로 확인되었고, 그 외 *Torymus*아속의 남색긴꼬리좀벌(*T. geranii*) *Ormyrus*속의 큰다리남색좀벌(*O. punctiger*)과 노란다리남색좀벌(*O. flavitibialis*), *Sycophila variegata*, *Eurytoma bruniventris*는 밤나무혹벌은 물론 타종기생벌을 기주로 하여 산란 발육하는 임의적 이차식기생벌(facultative hyperparasitoid)로 파악되었다. 이는 해충의 밀도제어에 기여하는 측면과 1차기생벌의 밀도를 제어하는

측면을 동시에 가지므로 기생벌을 이식하여 방제효과를 높이는 전략적 방사의 경우 1차 기생벌만을 이용하는 것이 효율적일 것으로 판단되었다.

3. 밤나무혹벌의 생물적 방제

밤나무혹벌의 개체군밀도를 억제하는데 유효한 기생성천적으로 중국긴꼬리좀벌을 선정하여 이에 대한 생물적 방제 가능성을 모색하였다

가. 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌의 상호관계

1) 밤나무혹벌과 중국긴꼬리좀벌의 동조성 검토

밤나무가 개엽하여 충영이 형성되기 시작하는 시기는 경상남도 하동지역과 강원도 춘천지역간에 8~10일의 차이가 나타났으며, 동일 지역의 밤나무 개체목에 따른 충영형성시기 및 충영의 비대생장도 경상남도 하동지역의 것보다 강원도 춘천지역의 것에서 급격히 진행되었다. 중국긴꼬리좀벌은 주로 5.0~7.0mm의 충영(밤나무혹벌의 유충크기 1.0~1.5mm)에 주로 산란하는 것으로 파악되었다.

본 기생벌은 밤나무혹벌의 충영이 형성되지 않은 시기에 우화하는 경향이 나타났다. 경상남도 하동지역에서는 전체 우화개체수의 50%이상이 동조하지 못하고 사망하였으며, 강원도의 경우 85%이상이 동조하지 못하고 사망하여 동일지역에서 기주와 기생자간의 동조성은 낮은 것으로 파악되었다. 이는 밤나무조림지에 밀원식물이 존재하지 않는 시기이므로 자연으로부터 식이물 획득이 어렵기 때문으로 수명이 짧아 산란 가능한 크기의 충영이 형성되기 이전에 우화한 개체는 기주와 동조하지 못하고 사망하는 것을 의미한다. 그러나 경상도 지역의 충영발육시기(중국긴꼬리좀벌이 산란에 적합한

밤나무혹벌의 유충 출현시기)와 강원도 지역의 중국긴꼬리좀벌의 우화소장간에 동조성이 강한 것으로 나타나므로 생물적 방제를 위해서 강원 영서지역의 중국긴꼬리좀벌 개체군을 경남지역의 밤나무혹벌피해지에 이식하여 생물적 방제를 모색하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단되었다.

2) 중국긴꼬리좀벌의 생존율, 천적의 기생율과 피해율

가) 생존율

강원도 춘천지역에서 3세대에 대하여 조사한 생존율은 5월 이후 점차 감소하여 8월 하순에 49.0%~66.9%로 이 기간동안에 40%~50%가 사망하는 것으로 파악되었다. 이후 익년 3월의 생존율은 18%~51.6%로 월동기간 동안에 10%~30%가 사망하였다.

경상남도 하동지역에서 2세대에 대하여 조사한 생존율은 8월 하순에 각 50.2%, 51.9%이었고, 이 기간동안에 50%전후로 사망하였다. 이후 3월 하순의 생존율은 각 31.4%, 35.8%로서 월동기간 동안에 15%~19%가 사망하였다. 사망원인은 본 기생벌의 생태특성을 고려할 때 기상요인보다는 이차기생벌에 의한 것으로 생각된다. 타 기생벌에 비하여 사망률이 낮은 것은 본 종의 개체군밀도가 단기간에 급격히 증가할 가능성이 높은 것을 의미하므로 본 종은 해충의 밀도억제효율이 높을 것으로 판단된다.

나) 기생율

강원도 춘천지역에서 밤나무혹벌에 대한 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 년도별(2000년, 2001년, 2002년)로 각 71.2%, 36.9%, 32.4%로 심한 차이가 나타났다. 중국긴꼬리좀벌을 제외한 기타 천적의 기생율은 2.3%~30.3%이었다. 경상남도 하동지역에서 전체 기생율은 24.6%, 27.4%, 32.1%이었으며, 그 외 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 21.3%, 24.5%, 27.3%이었다. 그 외 기생천적의

기생율은 3.0~17.4%이었다. 조사시기에 따라 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 감소하였는데 이는 이차기생벌의 역효과로 판단되었으며, 일차기생벌에 대한 이차기생벌의 추정기생율은 경상남도 하동지역이 30.0~33.3%, 강원도 춘천지역이 11.1~21.3%로 경상남도 지역이 강원도 지역보다 역효과가 높은 것으로 파악되었다. 따라서 생물적 방제를 위하여 전략적 방사를 할 경우 이차기생벌이 포함되는 충영태이식 보다는 성충만을 채집하여 이식하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

다) 밤나무혹벌 피해율과 기생율

강원도 춘천지방에서 1998년부터 2002년까지의 기간동안에 밤나무혹벌에 대한 피해율과 기생율의 관계를 검토하였다. 조사년도별로 피해율은 각 26.4%, 35.4%, 34.2%, 5.4%, 1.0%로서 2000년 이후 급격히 감소한 반면에 중국긴꼬리좀벌의 기생율은 1998년부터 2000년까지는 각 53.5%, 65.7%, 71.2%로 증가하였고, 이후 2001년에 36.9%, 2002년에 32.4%로 감소하였다. 임의적 2차기생벌의 기생율 합 또한 연차적으로 증가하여 2000년에는 22.8%로 증가하였으나 2001년 2.3%, 2002년에 5.6%로 급감하였다. 이러한 피해율과 기생율의 결과만으로 기생벌에 의한 방제효과를 판단하기는 곤란하나 기생율이 연차적으로 증가함에 따라 밤나무혹벌의 피해율은 감소하는 경향이 나타난 점, 기생벌 가운데 중국긴꼬리좀벌의 기생율이 가장 높고 년차 변동 폭이 크게 나타난 점 등으로 미루어 본 종이 밤나무혹벌의 밀도변동에 영향을 미치는 생물요인 가운데 가장 효과적인 종으로 사료된다.

나. 중국긴꼬리좀벌의 생태형

재래종 밤나무 및 도입종(내충성) 밤나무에 서식하는 중국긴꼬리좀벌 사

이에 생태형을 분석하여 생물적 방제의 기초자료로 활용하고자 형태학적인 특성, 우화소장, 유전적 변이를 검토하였다. 지역에 따라 형태학적인 특성은 나타나지 않았으며, 지역별 우화시기를 고려하여 2월에 채집한 충영의 우화소장과 전년도 10~11월채집한 충영의 우화소장 모두 북부지방에 비하여 남부지방이 다소 빠르고, 우화기간의 차이가 크지 않아 기후구배에 적응하여 나타난 결과일 뿐, 지리적인 생태형은 아닌 것으로 파악되었다. 더욱이 공시한 primer에 의한 RAPD 분석결과도 지역별 밤나무 품종별 중국긴꼬리좀벌 분리주 간에는 유전적 변이의 차이가 없었다. 금후 RAPD 분석 이상의 상세한 유전적 변이 분석을 위해서는 16s rRNA와 같이 특성 유전자 영역의 염기서열 분석과 같은 해석을 실시할 필요가 있을 것으로 판단되며, 금회 조사한 결과를 종합하면 각 지역에 서식하는 중국긴꼬리좀벌은 동일한 형질의 종으로 판단된다.

다. 중국긴꼬리좀벌의 방사 및 구제효과

2월에 樹上에서 채집한 충영에서 우화하는 개체수가 가장 많았고, 야외 cage내에서 사육하는 방법이 생존율이 가장 높았으므로 이 기간중에 방사에 이용할 개체를 수집하여 야외 cage내에 사육하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 기생벌을 대량으로 수집하기 위하여 주광성을 응용한 사육상(Figure 4-25, 26)을 제작하였다.

강원도 춘천지역에서 밤나무혹벌 충영이 형성된 가지에 망사를 씌운 후 중국긴꼬리좀벌 성충을 방사한 실험 개체군의 기생율은 60.9%이상이었다. 2000년과 2001년에 밤나무 조립지(독립수)의 기생율은 방사목에서 각 52.2%, 61.3%, 미방사목에서 35.3%, 40.2%로 방사목이 미방사목에 비하여 높게 나타났고, 익년의 충영형성율도 방사목에서 미방사목에 비하여 1/2로

감소하였다.

강원 및 충남 지역의 중국긴꼬리좀 개체군을 경상남도 하동지역의 밤나무 (망사로 나무전체를 씹음)로 이식하여 기생율을 파악하였다. 강원 개체군을 성충태로 이식하여 조사한 기생율은 방사목이 38.1%, 미방사목이 3.7%, 충청태로 이식하여 조사한 기생율은 17.3%, 미방사목은 3.4%로 두 가지 방법 모두 미방사목에 비하여 방사목의 기생율이 높게 나타나 충청태이식보다 성충태로 이식하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 또한 밤나무혹벌의 피해율이 서로 다른 밤나무 조림지에 중국긴꼬리좀벌의 성충을 방사한 결과 미방사지역보다 방사지역의 기생율이 방사 당년 현저하게 증가하였으나 시간이 경과하면서 증가율이 둔화되었다. 단 방사 당년에 급격히 밀도억제효과가 나타나나 이후 둔화되는 현상에 대하여는 3년간의 결과로 추론하기 어렵기 때문에 금후 방사지역에 대하여 년차별로 계속하여 조사할 필요가 있다. 중국긴꼬리좀벌을 방사한 후에 임의적 이차기생자의 증감현상은 나타나지 않아 이에 대한 영향은 적을 것으로 생각되나 지역에 따라 개체군밀도가 변화하므로 금후 이차기생자의 변동과정에 대한 검토가 필요하다. 또한 충영형성율(피해율)이 높은 하동시험지에 비하여 충영형성율이 낮은 진주시험지에서 기생율이 높게 나타났는데 이는 기주의 밀도에 관련한 기생벌의 기생효과가 다르게 나타날 수 있다는 가능성을 시사하는 것으로 금후 밀도의존적인 작용에 대한 해석이 필요하다. 본 연구에서 구명된 내용을 종합적으로 검토한 결과, 밤나무혹벌의 방제를 위하여 중국긴꼬리좀벌의 이용이 가능할 것으로 판단된다.

제 6 장 인용문헌

- 배재고등학교. 1962. 밤나무혹벌의 생태와 방제에 관한 연구. pp.79.
- Clausen, C. P. 1940. Entomophagous Insects. 688pp.
- 趙道衍, 李相玉. 1963. 밤나무혹벌의 생태와被害調査. 植物保護. 2: 47-54.
- David S. Haymer, Donald O. Mcinnis and Loretta Arcangeli. 1992.
Genetic variation between strains of the Mediterranean fruit fly,
Ceratitis capitata, detected by DNA fingerprinting. Genome. 35: 528p.
- 徳久英二. 1979. クリタマバチのコール形成期とクリマモリオナガコバチの
活動期の同調性. 九病蟲研會報 25: 150-153.
- 徳久英二. 1981. クリタマバチの實現産卵數について. 九病蟲研會報 27:
154-156.
- 福田仁郎, 奥代重敬. 1949. クリタマバチについて. 應用昆蟲. 6(1): 18.
- Flanders, S.E. 1956. The mechanism of sex ratio regulation in the
Hymenoptera. Ins. Soc. 3: 325-334.
- 산림청. 2002. 임업통계연보 제32호. pp.407.
- 임업시험장. 1968. 산림병충해발생예찰조사보고서. 69pp.
- 임업연구원. 1987. 한국수목도감. pp.496.
- 임업연구원. 2001. 밤나무 재배관리기술. pp. 366.
- Huang, J.,Y. Liao. 1988. Studies of the natural enemies of chestnut gall
wasp in China. Scientia silvae sinicae. 24(2): 162-169.(in Chinese)
- 정인구, 박승걸. 1975. 밤보속·다수확을 위한 밤나무 비배관리. 사단법인 가
리연구회. pp. 293.
- 加藤一隆. 2000. クリタマバチにおける繁殖生態とその次世代生産に關わる要
因, 名古屋大學森林科學研究 第19号: 146-196.

- 加藤一隆・肘井直樹. 1989. 自生クリに寄生するクリタマバチの個体群動態 (I). 日林論 100: 571-572.
- Kamijo, K. 1982. Two new species of *Torymus* (Hymenoptera, Torymidae) reared from *Dryocosmus Kuriphilus* (Hymenoptera, Cynipidae) in China and Korea. Kontyu. 50(4): 505-510.
- 上條一昭・館 和夫. 1975. 北海道におけるクリタマバチの分布と被害の経過. 北海道林試報 13: 27-35.
- 김종국. 1993. 밤나무혹벌의 천적종류와 발생소장. 한국응용곤충학회지. 32(3): 285-290.
- 金鍾國. 1998. 밤나무혹벌의 寄生天敵에 관한 研究. 한국임학회지. 87(3): 475-482.
- 김종국. 1999. 밤나무혹벌의 기생천적 *Torymus sinensis*에 관한 생태학적 연구. 한국응용곤충학회지. 38(2): 85-91.
- 小野泰正. 1967. クリタマバチ *Dryocosmus kuriphilus* YASUMATSUについての生態學的研究とくに虫こぶ内の個体數について(第1報). 宮城農短大學術報 14: 22-28.
- Ko, Je Ho. 1971. Notes on *Eudecatoma variegata* Curtis (Hymenoptera: Eurytomidae) as a parasite of the gall wasps(Cynipidae) in Korea. Kor. J. Entomol. 1(1): 25-26.
- 高濟鎬, 金永洛, 1966. 밤나무혹벌 寄生蜂에 관한 研究. 中間寄主의 조사. 농사시험장연구보고. 9(2): 21-28.
- 行德 裕・上村道雄. 1985. クリタマバチの生態及び生物的防除 1. 熊本縣におけるクリタマバチの被害及び寄生蜂寄生狀況. 九病虫研會報 31: 213-215.
- Lee, K. R. 1979. Comparative investigation of new ecospecies of the Chestnut Gall Wasp(*Dryocosmus Kuriphilus* Yasumatsu).

- F.R.I.-79-18-PATH & ENT: 1-45.
- 이상옥, 김영락. 1968. 밤나무혹벌의 약제방제시험. 임업시험장연구보고서. 135- 150.
- Luo, Y., J. Huang, D. Liao. 1987. Studies on the distribution and biology of *Torymus sinensis* Kamijo. J. Bei. for. Univ. 9(1): 47-56. (in Chinese)
- 前田正孝・佐藤末吉. 1978. クリタマバチの生態に関する研究. 抵抗性品種に對する寄生について. 宮城園試研報 2: 53-75.
- Miyashita, K. Itô, Y., K. Nakamura, M. Nakamura and M. Kondo. 1965. Population dynamics of the chestnut gall-wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera, Cynipidae) III. Five year observation on population fluctuations. Jap. J. Appl. Entomol. Zool. 9: 42-52.
- 守屋成一. 1992a. 天敵利用によるクリタマバチの防除. 農耕と園藝 47(5): 210-212.
- 守屋成一. 1992b. 天敵による果樹害虫の防除. チュウゴクオナガコバチの活躍. 落葉果樹 45(11): 28-30.
- Moriya, S., K. Inoue, M. Shiga and M. Mabuchi (1992) Interspecific relationship between an introduced parasitoid, *Torymus sinensis* Kamijo, as a biological control agent of the chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, and an endemic parasitoid, *T. beneficus* Yasumatsu et Kamijo. Acta Phytopathol. Entomol. Hungar. 27: 479-483.
- Murakami, Y. 1981. The parasitoids of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera : Cynipidae) in Japan and the introduction of a promising natural enemy from China (Hymenoptera: Chalcidodea). J. Fac. Agr. Kyushu Univ. 25(4): 167-174.

- 村上陽三. 1994. 韓國及び對馬のチュウゴクオナガコバチ. 植物防疫 48: 262-264.
- 村上陽三, 梅谷獻二, 於保言彦. 1977. クリタマバチ寄生蜂の中國大陸からの豫備的導入放飼試験. 應動昆. 21: 197-203.
- 村上陽三・行徳 裕. 1995. クリタマバチ輸入天敵チュウゴクオナガコバチの放飼實驗(6)熊本縣におけるチュウゴクオナガコバチの増價傾向. 九病虫研會報 41: 110-113.
- Murakami, Y., N. Ohkubo, S. Moriya, Y. Gyoutoku, C.H. Kim, J.K. Kim. 1995. Parasitoids of *Dryocosmus Kuriphilus* (Hymenoptera: Cynipidae) in South Korea with Particular Reference to Ecologically Different Types of *Torymus* (*Syntomaspis*) *sinensis* (Hymenoptera: Torymidae). Appl. Entomol. Zool. 30(2): 277-284.
- 村上陽三, 清田洋次. 1983. クリタマバチ輸入天敵チュウゴクオナガユバチの放飼實驗.(1)熊本縣 における放飼實驗. 九州病害蟲研究會報. 29: 155-157.
- 村上陽三, 上村道雄, 行徳裕. 1985. クリタマバチ導入天敵チュウゴクオナガコバチの放飼實驗. (2)熊本縣における實驗の確認. 九州病蟲害研究會報. 31: 216-219.
- 村上陽三・上村道雄・行徳 裕. 1987. クリタマバチ導入天敵チュウゴクオナガユバチの放飼實驗.(3)剪定枝處理法改善の効果.九州病害蟲研究會報. 33:195-198.
- 村上陽三, 上村道雄, 行徳裕, 清田洋次. 1989. クリタマバチ輸入天敵チュウゴクオナガコバチの放飼實驗. (4)放飼後6年間の経過. 九州病害蟲研究會報. 35: 134-137.
- 村上陽三. 1990. 九州におけるチュウゴクオナガコバチの放飼と定着. 植物防疫. 44(9): 29-32.

- 村上陽三. 1995. 天敵農藥(1). トーメン農藥ガイド(77): 19-21.
- Murakami, Y., H. B. Ao and C. H. Chang (1980) Natural enemies of the chestnut gall wasp in Hopei Province, China (Hymenoptera: Chalcidoidea). *Appl. Entomol. Zool.* 15: 184-186.
- 村上陽三・行徳 裕. 1991. クリタマバチ輸入天敵テウゴクオナガコバチの放飼實驗(5)二次寄生による *Torymus* spp. の死亡. 九病虫研會報 37: 194-197.
- Murakami, Y. and Y. Gyoutoku. 1995. A delayed increase in the population of an imported parasitoid, *Torymus* (*Syntomaspis*) *sinensis* (Hymenoptera: Torymidae) in Kumamoto, south western Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 30: 215-224.
- Murakami, Y. and E. Tokuhisa. 1985. Behavioural sequences of oviposition and hostfeeding of *Torymus* (*Syntomaspis*) *beneficus* Yasumatsu et Kamijo (Hymenoptera: Torymidae), a native parasitoid of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae). *Appl. Entomol. Zool.* 20: 43-49.
- 於保信彦・志村勳. 1970. クリタマバチの研究経過と最近の被害をぐる諸問題. 植物防疫. 24: 421-427.
- 奥代重敬. 1956. クリタマバチに對するクリ品種の抵抗性に關する研究 (第2報). 東海近畿農試研報園藝部 3: 85-94.
- 박세욱, 1963. 밤나무혹벌천적에 관한 연구 (제1보). 농림부 삼림국 보호과 간행물. 13pp.
- 박지두, 이상욱, 박기남, 고제호 1981. 내충성 밤나무를 가해하는 밤나무혹벌의 생태와 피해. 임시연보. 28: 197-205.
- Payne, J. A. 1978. Oriental chestnut gall Wasp: new nut pest in North America. *Proc. Amer. Chestnut Symp. W. Virginia Univ.* Jan. 4-5,

- 1978: 86-88.
- Payne, J. A., A. S. Menke and P. M. Schroeder. 1975. *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu(Hymenoptera: Cynipidae). an oriental chestnut gall wasp in North America. USDA Coop. Econ. Ins. Rpt. 25(49/52): 903-905.
- Piao, C. S. and S. Moriya. 1992. Longevity and Oviposition of *Torymus sinensis* Kamijo and Two Strains of *T. beneficus* Yasumatsu et Kamijo(Hymenoptera: Torymidae). Jap. J. Appl. Ent. Zool. 36(2): 113-118.
- 박지두, 이상옥. 1980. 신계통 밤나무혹벌 방제에 관한 연구. 임업시험장연구보고서. 763-781.
- 박지두, 이상옥, 박기남, 고재호. 1981. 내충성밤나무를 가해하는 밤나무혹벌의 생태와 피해. 임업시험장연구보고. 28: 197-205.
- 朴春樹・守屋成一. 1992a. チュウコクオナガコバチの卵巢發育と卵の發育速度及びクリマモリオナガコバチ2系統の卵巢發育. 果樹試報 22: 79-89.
- 朴春樹・守屋成一. 1992b. チュウコクオナガコバチとクリマモリオナガコバチ成蟲の生存期間と産卵數. 応動昆 36: 113-118.
- Sandlan, K. 1979. Sex ratio regulation in *Coccygomimus turionella* Linnaeus (Hymenoptera, Ichneumonidae) and its ecological implications. Ecol. Entomol. 4: 365-378.
- 白神處雄. 1951. クリタマバチおよびその防除. 農業及園藝. 26: 167-170.
- 日塔正後, 立花觀二. 1956. クリタマバチの分散に及ぼす風の影響. 林試研報. 83: 89-97.
- Takagi, S. 1970. A new method for making balsam mounts of small insects. Shokubutsu Boeki 24(9): 393-396.

- 田村正人. 1959. クリタマバチ *Dryocosmus kuriphilus*に関する研究(第1報).
幼蟲の生長課程に関する形態學的 觀察. 東京農業大學農學集報. 5: 4-12.
- 田村正人. 1960a. クリタマバチ *Dryocosmus kuriphilus*に関する研究(第2報).
生活史について. 東京農業大學農學集報 6(1): 13-26.
- 田村正人. 1960b. クリタマバチ *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsuに関する
研究(第1報)幼蟲の生長過程に関する形態學的觀察.東京農大農學集報 5(4):
5-12, 1圖版
- 田村正人. 1961. クリタマバチ *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu に関する
研究 (第6報)羽化消長の地域的差異について (その1). 東京農大農學集報
7(1): 20-29.
- 野原啓吾. 1956. クリタマバチの産卵能力に関する研究. 九大農學藝誌. 15(4):
441-446.
- 安松京三. 1954. クリタマバチの天敵について. 森林防疫ニュース(32):10.
- 安松京三. 1955. クリタマバチの寄生蜂の研究—現在までの研究經過. 森林防疫
ニュース 4: 100-102.
- 安松京三. 1957. クリタマバチの天敵利用等についての注意. 森林防疫
ニュース 6: 83.
- Yasumatsu, K. 1951. A new *Dryocosmus* injurious to chestnut trees in
Japan(Hym.: Cynipidae). Mushi. 22: 89-92.
- 安松京三. 1958. クリタマバチ天敵の分布と放飼に関する研究. 農林省應用試
験研究報告. 35-59.
- Yasumatsu, K. & K. Kamijo. 1979. Chalcidaid parasites of *Dryocosmus*
Kuriphilus Yasuatsu(Cynipidae) in Japan with description of five new
species(Hymenoptera). Esakia. 14: 93-111.