

316038-3

보안 과제( ), 일반 과제(✓) / 공개( ), 비공개( )발간등록번호( )  
농생명산업기술개발 사업 제3차 연도 최종 보고서

발간등록번호

11-1543000-002620-01

# 신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발 최종보고서

2019.02.14.

주관연구기관 / 전남대학교  
협동연구기관 / (주)다목에코텍

2019

신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발 최종보고서

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

농림축산식품부  
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

<제출문>

# 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발”(개발기간 : 2016.05.19 ~ 2018.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019 . 02 . 14 .

주관연구기관명 : 전남대학교 산학협력단 (대표자) 김재국 (인)

협동연구기관명 : (주)다목에코텍 (대표자) 이준길 (인)

주관연구책임자 : 김익수

제1세부연구책임자 : 김익수

제2세부연구책임자 : 손형일

제3세부연구책임자 : 조용훈

협동연구책임자 : 이준길

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의  
합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	316038-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2016-05-19 ~ 2018-12-31	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연구사업명	단 위 사 업				
	사 업 명	농생명산업기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발			
	세부 과제명	1. 유해성 말벌 유인제 및 포획기 효능검정 및 유인제 표준화 연구(제1세부 및 주관, 전남대 김익수) 2. 무인항공기 기반 등검은말벌집 탐색 시스템 개발(제2세부, 전남대 손형일) 3. 등검은말벌에 의한 농가 피해실태 조사(제3세부과제, 전남대 조용훈) 4. 등검은말벌 유인 및 포획에 효율적인 포획 시스템 개발 및 제품화(제1협동, (주)다목에코텍 이준길)			
연구책임자	김익수	해당단계 참여연구원 수	총: 40명 내부: 40명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부:300,000천원 민간:100,000천원 계:400,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 46명 내부: 46명 외부: 0명	총 연구개발비	정부:800,000천원 민간:148,400천원 계: 948,400천원
연구기관명 및 소속부서명	전남대학교		참여기업명 (주)다목에코텍		
국제공동연구	상대국명:		상대국 연구기관명:		
위탁연구	연구기관명:		연구책임자:		
※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	해당 없음				

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 장비	기술요 약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	SCI(E) 2 비SCI 1 DOI: 10.1080/23802359.2017.1285211 DOI: 10.1111/1748-5967.12218 DOI: 10.3390/electronics7090162	출원 7 등록 2 10-2016-0156805(출원) 10-2016-0180878(출원) 10-2016-0180878(등록) 10-2017-0132850(출원) 10-2017-0138338(출원) 10-2017-0138338(등록) 10-2018-0074310(출원) 10-2018-0117923(출원) 10-2018-0154365(출원)							3  (KACC 92225P) (NCBI KX950825) (NCBI KY091645)		

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

1. 기존 시판 유인제보다 1차 개발 유인제의 유인력이 유의하게 높았음
2. 주요 유인물질인 3-methylbutanol을 생산하는 *Bacillus jeotgali* BV-1을 최초 분리하였고 이를 최적 대량배양 조건 확립후 특허출원함
3. 1차 개발 유인제와 개발된 BV-1의 등검은말벌 유인 효능 검정 결과 경제성 측면에서 BV-1 유인제 또한 우수하다고 판단됨
4. 신규 개발 포획기의 경우 기타 곤충들의 포획이 크게 감소하였고, 대형 및 그물망 포획기는 유인 지속성, 경제성 등에서 매우 효율적임
5. 초소형 센서의 수신신호강도를 통해 등검은말벌의 상대적 위치와 방향을 추정할 수 있는 위치추정 알고리즘, 상용 지도서비스와 연계하여 등검은말벌의 위치를 표시할 수 있는 지도작성 알고리즘, 자율 무인항공기 기반 추적 시스템이 통합된 등검은말벌집 탐색 시스템을 개발함. 이 시스템을 기반으로 야외 환경에서 초소형 센서를 추적할 수 있음을 확인함
6. 양봉농가를 대상으로 등검은말벌에 의한 피해양상을 설문조사기법을 이용하여 3년간 조사하였으며, 그 결과는 사단법인 한국양봉협회에 정책건의 함
7. 말벌 유입시 동정 및 계수 DB를 사용자의 핸드폰에서 푸쉬 알림하도록 베타 버전 조기감지 개발함
8. 3년 연구결과를 바탕으로 등검은말벌 종합관리 매뉴얼 제작함

보고서 면수

198 페이지

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 등검은말벌에 의한 농가 피해실태 조사               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 양봉장 주위 환경, 시기별, 지역별 발생 및 피해상태 조사</li> </ul> </li> <li>○ 등검은말벌 및 유해성 말벌 특이적 유인제 레시피 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생물유래 조추출물 활용 유인제 후보군 선별 및 레시피 개발</li> <li>- 유해성 말벌류 조기 방제 및 연속 방제가 가능한 말벌 특이적 유인제 대량 생산</li> <li>- 유인제의 유인효율 분석을 통한 우수 유인제 선별</li> <li>- 유인제 조성에 따른 유인제 성분 분석 및 유인제 성분 표준화</li> <li>- 등검은말벌의 생물, 생태학적 특성 조사</li> </ul> </li> <li>○ 간편 고효율 말벌 수거 장치 부착 포획기 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 꿀벌의 탈출은 용이하지만 등검은말벌은 탈출 할 수 없는 포획유인병 고안</li> <li>- 기존 포획기보다 3배 이상의 유입량이 증가된 유인구 고안</li> <li>- 유인병 내 살아있는 말벌로부터의 안전성을 높인 탈출 방지판 고안</li> <li>- 쉽고 간편한 수거를 위한 유인 말벌 자연 사멸 구역 고안</li> <li>- 포획장치의 포획효율성 시험을 통한 현장 즉시 투입 가능 포획장치 개발</li> </ul> </li> <li>○ 말벌 침입시 경보 장치에 의한 조기감지법 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 물체감지 센서에 의한 감지 후 경보발령 방식</li> </ul> </li> <li>○ 무인항공기 기반 등검은말벌집 탐색 시스템 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 초소형 센서 활용 등검은말벌 추적 장치 연구</li> <li>- 무인항공기 기반 등검은말벌 추적(tracking) 시스템 개발</li> <li>- 무인항공기 SLAM 기반 등검은말벌 위치추정(localization) 알고리즘 개발</li> <li>- 무인항공기 SLAM 기반 등검은말벌집 지도작성(mapping) 알고리즘 개발</li> </ul> </li> <li>○ 등검은말벌 종합관리 매뉴얼 제작               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구성과의 집약 및 등검은말벌 대처를 위한 종합관리 매뉴얼 제작</li> </ul> </li> </ul>				
<p>연구개발성과</p>	<p>&lt;핵심성과&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ (사업화지표) 특허출원 7건, 특허등록 2(+1)건, 기술이전 5건, 제품화 3건, 매출액 1.33억원(사업화 3건), 및 고용창출 3명</li> <li>○ (연구기반지표) SCI급 2편, KCI급 1편, 학술발표 15건, 수상실적 3건</li> <li>○ 인력양성(학사 2명, 석사 5명, 박사 2명, 기타 1명) 10명 양성, 교육지도 3건, 홍보 전시 10건, 기타활용(단행본발간) 1건, 기타(생물자원) 3건</li> </ul> <p>&lt;전략성과&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정책제안 2건(신종 해외 유입 유해성 말벌 「등검은말벌」의 조기방제 홍보 및 협조 요청 및 해외 유입 유해성 말벌 「등검은말벌」에 의한 양봉농가 피해 실태 조사결과 공유, 정책건의 및 활용 협조 요청)</li> </ul>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 생태학적 측면               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 외래종에 대한 효율적 대처방안 마련 및 이를 통한 노하우는 타 외래종의 극복방안으로 활용</li> <li>- 친환경적인 방안으로 지속적 이용 가능</li> </ul> </li> <li>○ 경제적·산업적 측면               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 포획효과가 배가된 말벌 유인제와 포획기 개발을 통한 양봉농가보호 및 농가 수익 증대</li> <li>- 과수 농가의 말벌 유인 포획에 따른 과일 상품성 증대와 수확량 증대</li> <li>- 무인항공기 기반의 등검은말벌집 탐색 시스템 개발을 통한 신규 시장 창출</li> </ul> </li> <li>○ 사회적 측면               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 등검은말벌 및 국내 발생 말벌에 대한 국민불안 정서 해소</li> </ul> </li> </ul>				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>등검은말벌</p>	<p>유인제</p>	<p>말벌집 탐색장치</p>	<p>포획기</p>	<p>외래종 말벌</p>
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p><i>Vespa velutina</i></p>	<p>attractants</p>	<p>tracking apparatus</p>	<p>traps</p>	<p>invasive wasp</p>

<본문목차>

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 .....	1
2. 연구수행 내용 및 결과 .....	3
가. 1년차 연구수행 내용 및 결과 .....	3
(가) 제1세부 연구수행 내용 및 결과 .....	3
(나) 제2세부 연구수행 내용 및 결과 .....	15
(다) 제3세부 연구수행 내용 및 결과 .....	26
(라) 제1협동 연구수행 내용 및 결과 .....	31
나. 2년차 연구수행 내용 및 결과 .....	50
(가) 제1세부 연구수행 내용 및 결과 .....	50
(나) 제2세부 연구수행 내용 및 결과 .....	77
(다) 제3세부 연구수행 내용 및 결과 .....	89
(라) 제1협동 연구수행 내용 및 결과 .....	104
다. 3년차 연구수행 내용 및 결과 .....	138
(가) 제1세부 연구수행 내용 및 결과 .....	138
(나) 제2세부 연구수행 내용 및 결과 .....	149
(다) 제3세부 연구수행 내용 및 결과 .....	157
(라) 제1협동 연구수행 내용 및 결과 .....	175
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	195
4. 연구결과의 활용 계획 등 .....	196
붙임. 참고 문헌 .....	198

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1-1. 연구개발 목적

구분	내용
최종목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신종 해외유입종인 등검은말벌을 포함한 유해성 말벌 피해에 대응할 수 있는 1) 말벌 유인제 및 고효율 포획기 개발, 2) 무인항공기 기반 등검은말벌집 탐색 시스템 개발 및 3) 말벌 침입시 조기감지 경보장치 개발</li> </ul>
문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한-베트남 FTA 체결로 인한 천연꿀 수입개방으로 우리나라 양봉산업은 심각한 위협에 처함</li> <li>• 또한, 외래종 등검은말벌에 의한 피해로 양봉산업의 안정적 지속은 예측 불가함</li> <li>• 따라서 등검은말벌의 피해 저감을 위한 특단의 노력이 절실함 실정임</li> </ul>
대안	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 등검은말벌에 의한 피해 저감을 위한 국내외 연구동향을 요약해 보면 1) Nest destruction, 2) Individual trapping, 3) 유인트랩, 4) 여왕벌 포획, 5) 생물학적 방제 등이 소개되고 있는 정도임</li> </ul>
기술/제품 개요	<p>             등검은말벌 유인제    등검은말벌 포획기    등검은말벌집 탐색시스템    유해성 말벌류 조기감지장치         </p> <p> <b>신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발</b> </p> <p>             등검은말벌 종합관리매뉴얼         </p>
세부 연구 목표	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 등검은말벌에 의한 농가 피해실태 조사(시기별, 지역별 발생 및 피해상태 조사)</li> <li>2) 등검은말벌 유인에 최적화된 유인제 및 유해성 말벌 포획용 간편 고효율 포획기 개발</li> <li>3) 무인항공기 기반 등검은말벌집 탐색 시스템 개발</li> <li>4) 유해성 말벌로부터 봉군을 보호하기 위한 조기 감지 및 경고 알림이 가능한 유해성 말벌류 감지장치 개발</li> <li>5) 등검은말벌 종합관리 매뉴얼 작성</li> </ol>
도전성 /창의성 /차별성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도전성: 등검은말벌의 생물·생태학적 특성을 고려한 현장 적용 실험 및 연구개발과정의 피드백을 통해 기존 시판되고 있는 유인제와 포획장치에 보다 향상된 제품을 생산하고자 함</li> <li>• 창의성: 무인항공기를 이용한 말벌집 탐색방안은 대상 해충의 위치추정 및 지도작성을 통해 근원적 문제를 해결할 수 있으며, 이러한 연구는 기존 말벌류 방제법으로 시도된 바 없는 새로운 접근임</li> <li>• 차별성 : 개발 유인제의 표준화를 통해 상품성을 고려한 제품을 개발하여 기존 시판제품과 차별성을 확보하고자 함</li> </ul>
기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술적: 해충의 생물·생태학적 기초연구 자료를 제품화에 접목시켜 기존 기술에 대한 보완을 통해 기존 기술을 개선시킬 수 있으며, 무인항공기를 이용한 추적</li> </ul>

	<p>시스템은 말벌뿐만 아니라 다양한 소형의 곤충과 동물들의 서식지 등 정밀한 생태 특성연구에도 활용 가능함. 또한, 본 연구의 핵심 기술들은 유해성 말벌뿐만 아니라 이상기후현상으로 대발생하는 다른 해충 방제 연구의 선진 모델이 될 것으로 전망함</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 경제적·산업적: 말벌류에 대한 방제를 통해 양봉농가를 보호할 수 있으며, 이로 인해 꿀 생산을 포함한 양봉산업의 안정성이 지속될 것으로 전망됨. 또한, 무인항공기 기반의 등검은말벌집 탐색 시스템 개발은 최근 각광을 받고 있는 드론으로 명명되는 무인항공기를 활용한 신개념 산업으로 새로운 산업 창출이 기대됨</li> <li>• 사회적: 도심 내 말벌류의 감소는 궁극적으로 시민들의 안전성을 높이고, 소방서의 말벌 제거 서비스 출동과 말벌로 인한 문화재 훼손이 급감할 것으로 기대됨</li> </ul>
--	---



## 2. 연구수행 내용 및 결과

### 가. 1년차 연구수행 내용 및 결과

#### (가) 제1세부 연구수행 내용 및 결과(유해성 말벌 유인제 및 포획기 효능검정 및 유인제 표준화 연구, 전남대 김익수, 전남대 김인선)

##### 1) 등검은말벌 및 유해성 말벌 특이적 1차 유인제 효능 검정

###### ① 포획기 설치 장소선정을 위한 예비효능검정 시험

- 국내외적으로 등검은말벌의 방제를 위하여 유인제, 포획기, 꿀벌 개체군의 격리, 생물적 방제(세균 및 원생생물, 곤충병원성세균, 병원성곰팡이 및 응애), 하모닉 레이더를 이용한 말벌집 탐색 등 많은 방제 방안이 보고됨(Rose et al., 1999; Kim et al., 2006; Jung et al., 2007; Maher and Thiery, 2010; Couto et al., 2014; Milanesio et al., 2016). 그 중 등검은말벌 유인제에 관한 연구는 최근 프랑스에서는 등검은말벌을 효과적으로 유인할 수 있는 물질을 탐색하기 위해 벌집구성물(화분, 꿀, 꿀벌 왁스, 프로폴리스 등), 먹이원(물고기, 고기 등), 페로몬 등 자연에서 확보할 수 있는 물질과 geraniol,  $\beta$ -ocimene, p-xylene 등의 화학 물질의 유인 효과에 대해 Choice test를 통한 결과를 보고한 바 있음(Couto et al., 2014; Wen et al., 2017). 자연에서 확보할 수 있는 물질 중 화분과 꿀, 화학 물질에서는 geraniol 성분이 상대적으로 우수한 효과가 있었으나, 등검은말벌을 cage (60 × 60 × 60 cm, 22°C의 온도환경) 내에 가두어 실험하였기 때문에 실질적인 야외 환경에서도 동일한 효과를 거둘 수 있을지에 대한 추가적인 연구가 필요해 보이는 실정임
- 예비 효능검정 시험 : 7월부터 8월 말까지 담양 및 곡성에서 각각 2개 양봉농가에 포획기를 설치하여 총 4곳에 10회씩 예비 효능검정 시험을 수행하였음
- 포획기 설치 장소 : 제1세부인 (주)다목에코텍과 제2협동인 (사)한국양봉협회의 안내로 2015년 등검은말벌에 의한 피해가 심했던 양봉장을 탐색하여 최종 담양 및 곡성, 각 두 양봉장을 선정함(그림 1)

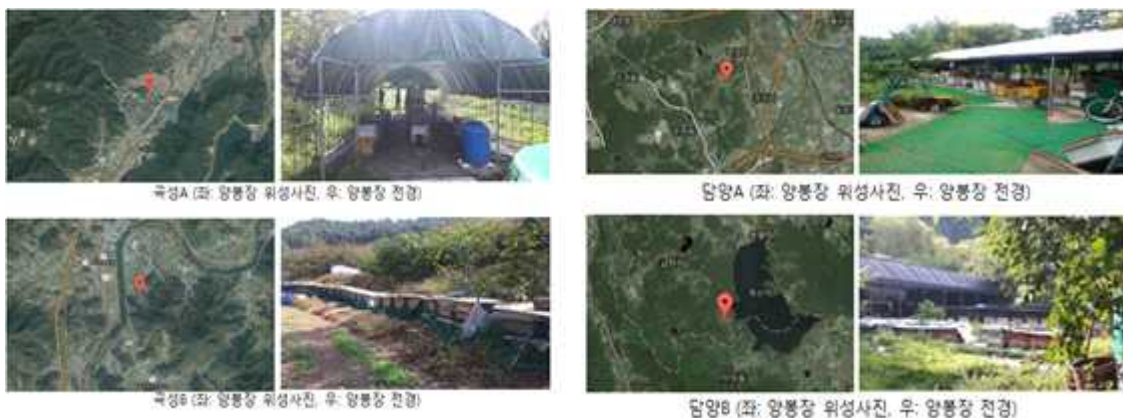


그림 1. 조사장소. 곡성A: 곡성군 곡성읍, 곡성B: 곡성군 공북리, 담양A: 담양군 고서면 원강리, 담양B: 담양군 학선리

- 유인제 투입 및 포획기 설치 : 현재 판매 1위 업체인 (주)다목에코텍의 유인제와 포획기를 구입하여(그림 2) 각 양봉장에 2대씩 설치함(그림 3). 설치된 포획기에 시판 유인제 200mL 씩 투입함



그림 2. 시판중인 말벌 포획기



그림 3. 시판중인 말벌 포획기 설치 모습

- 관찰주기 : 7월 ~ 8월 동안 4일 ~ 7일 간격으로 등검은말벌의 누적 포획량을 관찰함
- 설치 포획기 : 기존 시판 포획기의 유인병에 있는 꿀벌탈출용 구멍은 장수말벌의 포획을 고려하여 설계되어 있어 상대적으로 크기가 작은 등검은말벌의 탈출이 용이하였음. 그러므로 제1협동에서는 유인병의 꿀벌 탈출 구멍의 크기를 등검은말벌의 크기를 고려하여 새롭게 제작된 유인병을 장착한 포획기로 실험을 수행하였음(새로 개발된 유인병은 현재 시판중임)
- 포획 개체 비교 : 설치한 포획기로부터 포획된 개체들을 비교한 결과, 크게 벌목(말벌류, 꿀벌), 파리목, 나비목, 딱정벌레목 등 다양한 분류군의 곤충이 포획됨을 확인함. 그 중 등검은말벌이 포함된 *Vespa* 속은 총 6종이 포획됨을 확인하였고, 정확한 종 동정을 위하여 표본제작 후 형태형질을 비교한 결과 등검은말벌, 장수말벌, 쯤말벌, 꼬마장수말벌, 말벌, 털보말벌로 동정하였음(그림 4)



그림 4. 말벌표본제작

- 등검은말벌 포획 개체수 비교 : 등검은말벌은 2016년 7월 초 ~ 8월 중순까지는 소수개체만이 포획되었으나 8월 20일 이후부터 급격하게 포획량이 증가하였음. 포획기 설치 지역별 포획 개체수를 비교한 결과, 4개 설치장소 중 담양B 지역에서 가장 많은 개체수가 포획됨을 확인함(그림 5)

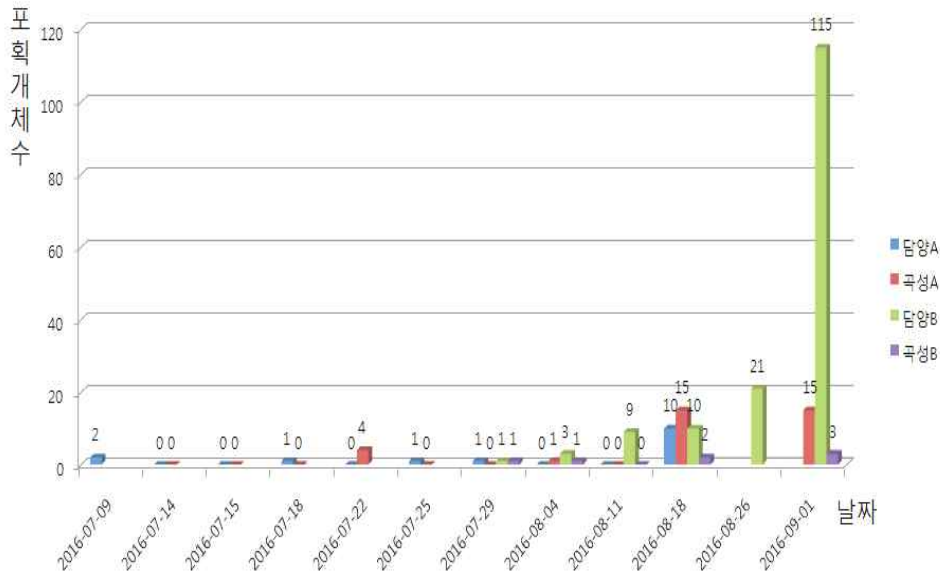


그림 5. 2016년 7~8월 등검은말벌 포획량

- 7월부터 답양A, 곡성A양봉장에서 등검은말벌을 포획하였으며 7월말부터 답양B, 곡성B 양봉장까지 합하여 포획. 8월 말부터 본실험을 위해 답양A는 제외하고 나머지 양봉장에서 실험 진행

② 시판 유인제 대비 1차 개발 유인제와 비교시험을 통한 개발 유인제 효능 검정

- 유인제 : 기존 장수말벌 포획을 위한 시판 유인제와 어성초의 성분이 부가 함유된 제1협동(주, 다목에코텍) 개발 1차 유인제에 대해 등검은말벌 포획량 비교함
- 포획 개체 중 동정을 위한 DNA바코드 분석 결과 : 포획된 등검은말벌 바코드 658 bp 분석결과 한 개의 haplotype으로 전 세계 염기서열의 데이터베이스인 GenBank에 등록되어 있는 등검은말벌의 염기서열과 100% 일치함. 이외에 꼬마장수말벌, 말벌, 장수말벌, 털보말벌, 쯤말벌은 NCBI에 등록되어 있는 658 bp의 바코드 염기서열 비교 결과 1~2 bp 차이로 최대 99% 일치하였음(그림 6)



그림 6. DNA barcode 실험을 통한 종확인

- 포획기 설치 : 예비 실험에서 4개 양봉장 중 세 곳의 양봉장(곡성A, 곡성B, 담양B)을 본 실험을 위한 장소로 선정함(그림 7). 시판 유인제와 1차 개발 유인제를 기존 시판중인 포획기에 200mL씩 투입 후 약 1~1.5m 높이로 1~5m 간격이내, 양봉장 주변에 3쌍씩 설치 후 9월부터 11월까지 약 7일 간격으로 관찰함(그림 8). 유인제 교체시 시판 유인제와 1차 유인제의 설치 위치를 교체함. 또한 매 관찰시 새 포획기와 유인제로 교체함



그림 7. 곡성B에 설치된 포획기 3쌍중 한쌍



그림 8. 2016년 10월 15일 곡성A 포획기 중 1대

- 수거한 포획기로부터 포획개체 분류 : 분리시킨 개체들은 전남대학교 곤충 분자계통분류 및 생태학 실험실의 -70°C 냉동고에서 사멸시킨 후 모든 개체들을 분류함. 동정시 훼손된 개체들(말벌, 나비목, 꿀벌 등)은 배부분을 동정하여 포획 개체수를 측정함(그림 9). 포획된 등검은말벌 중 수벌은 배마디 끝이 일벌과 달리 침이 없는 형태적 차이를 이용하여 분류 후 개체수를 계산함(그림 10)

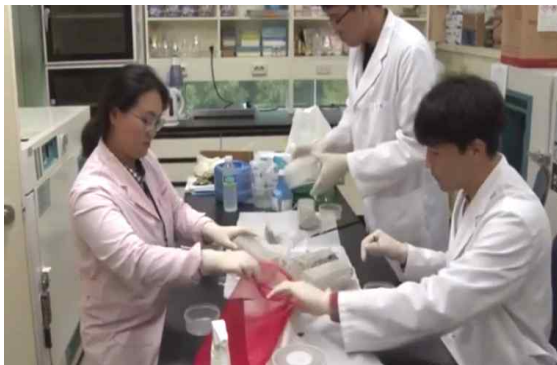


그림 9. 포획된 곤충 분류작업



일벌

수벌

그림 10. 등검은말벌의 암수 차이

- 데이터 분석 : 포획된 말벌속에서 등검은말벌의 포획비율, 유인제에 따른 등검은말벌의 포획비율, 포획기 설치 시기별 등검은말벌 개체수 변동 동향 및 수벌의 비율을 계산하고, SPSS21 통계프로그램을 이용하여 기존 시판 유인제와 1차 유인제의 포획력 차이여부를 검증함
- 총 포획개체 비교 : 시판 유인제 및 1차 개발 유인제 실험을 통해 누적된 포획량을 비교하였음. 포획된 곤충 전체의 비교시 등검은말벌의 비율이 가장 높았음. *Vespa* 속내 종간 개체수를 비교해 보았을 때 털보말벌 < 꼬마장수말벌 < 말벌 < 좀말벌 < 장수말벌 < 등검은말벌 순으로 포획이 많이 됨
- 포획기 설치 시기별 포획량 비교 결과: 시판 유인제 및 1차 개발 유인제 실험을 통해 누적된 포획량을 비교한 결과, 등검은말벌은 9월초부터 개체수가 점차적으로 증가하여 10월초

에 가장 많은 개체가 포획되었고 이후 점차 감소함을 확인함(그림 11)

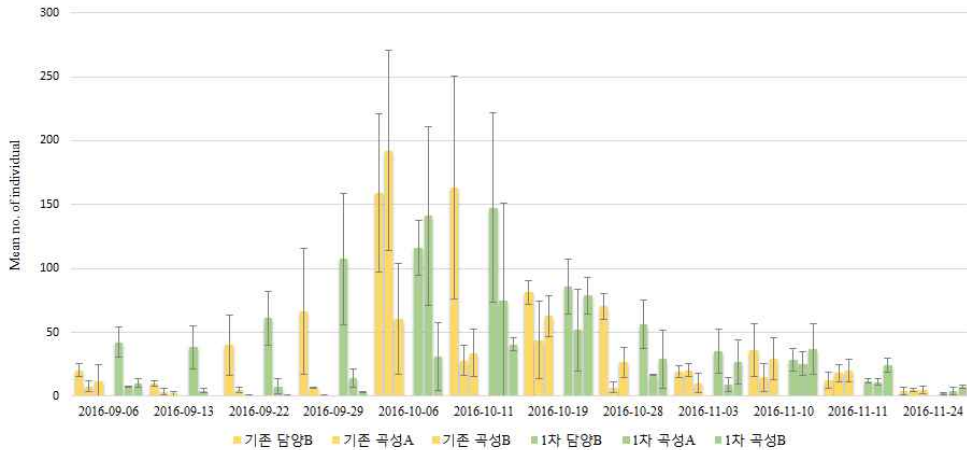


그림 11. 포획기 설치 시기에 따른 유인제 & 지역별 등검은말벌 포획수

- 포획기 설치 지역별 포획량 비교 : 시판 유인제 및 1차 개발 유인제 실험을 통해 누적된 지역별 포획량을 비교한 결과, 곡성B<곡성A<담양B 순으로 많은 개체가 포획됨을 확인함(그림 12). 지역간 유인제에 따른 차이를 확인하기 위하여 ANOVA 분석을 수행한 결과, 유의확률 0.688로서 지역 간 유인제별 등검은말벌의 포획량 차이는 크게 차이가 없는 것으로 확인됨
- 시기별 포획량 비교 : 시기별(월별) 등검은말벌 총 포획량의 차이를 확인하기 위하여 ANOVA 분석을 수행한 결과, 9월 6일 ~ 9월 29일까지는 등검은말벌 총 포획량은 통계적으로 차이가 없으나, 10월의 포획량은 큰 차이가 있었음( $P < 0.005$ ). 그리고 10월 6일, 11일의 차이는 유의확률 0.171로 통계적으로 큰 차이는 없었음

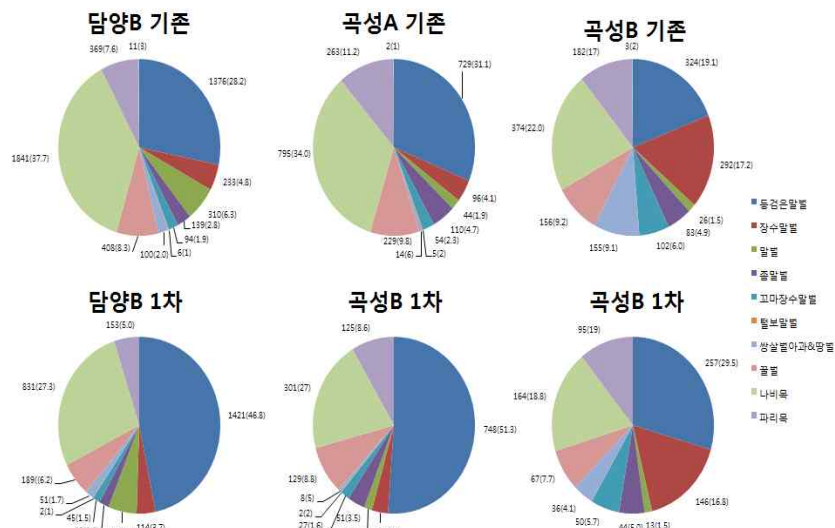


그림 12. 조사 기간동안 포획된 곤충 개체수(비율%)

- 유인제별 포획량 비교 : 등검은말벌 총 포획비율을 유인제간 비교시 기존 유인제보다 1차 유인제가 다른 종들에 비해 등검은말벌의 포획 비율이 월등히 높은 것을 확인함(그림 12). 담양B 지역에서는 1차 유인제가 통계적으로 유의한 정도로 더 포획이 잘되는 것이 검증됨 ( $P < 0.05$ ). 그러나 곡성A와 곡성B에서는 유의확률이 각각 0.230, 0.989로 포획 개체수는

1차 유인제가 높았으나 유의성이 없는 것으로 검증됨(표 1). 특히 등검은말벌이 가장 많이 포획된 10월 6일에 포획된 모든 등검은말벌 개체는 시판 유인제를 투입한 포획기에 집중되면서 1차 유인제와 시판 유인제의 포획력 유의성을 크게 낮춤(아마 지나치게 많이 포획 될 때는 시판 대비 1차 유인제의 차이가 크게 없는 것으로 추측됨)

- 1차 유인제에 등검은말벌 이외의 곤충 포획이 감소한 결과는 정확하게 알 수 없으나, 휘발 성분의 차이가 포획된 곤충들에게 큰 영향을 주었을 것으로 예상됨.

표 1. 날짜별 기존 유인제 대비 1차 유인제의 등검은말벌 포획 비율(%)

	09-07	09-13	09-22	09-29	10-06	10-11	10-19	10-28	11-03	11-10	11-17	11-24
담양B-1	53.70	75.00	39.45	79.76	37.27	67.44	48.54	47.52	73.61	24.05	65.00	12.50
담양B-2	70.00	79.07	72.73	53.33		45.19	60.56	53.17	42.86	57.69	54.17	40.00
담양B-3	76.56	82.61	71.79	53.23	37.86	30.53	43.71	30.36	70.00	57.81	34.48	60.00
곡성A-1	72.73	40.00		53.33	44.88	83.60	52.98	60.71	33.33	56.25	30.77	60.00
곡성A-2	41.18	60.00	63.16	65.00	42.56	60.00	55.93	85.00	13.64	66.67	32.43	
곡성A-3	41.18		76.92	78.57	38.17	37.50	55.74	69.57	40.74	74.07	57.69	28.57
곡성B-1					11.11	63.79	43.75	29.82	74.19	49.47	58.00	70.00
곡성B-2	63.64				26.43	41.49	64.34	45.45	85.71	40.00	62.07	42.86
곡성B-3	27.78				46.55	64.79	59.12	71.43	63.89	72.06	46.30	69.23

-빈칸은 개체수가 지나치게 적거나 포획기 파손으로 인해 data를 제거함  
 -비율(%) = 1차유인제에 포획된 등검은말벌 개체수/총 등검은말벌 포획 개체수

- 포획된 등검은말벌의 일벌, 수벌 구성비 비교 : 전체 포획기를 통해 포획된 수벌의 개체수는 11월 3일, 10일이 67마리로 가장 많은 개체수를 보였지만 일벌의 포획된 비율을 보았을 때 11월 3일에 수벌의 비율이 가장 높았음(표 2). 이는 등검은말벌의 교배 및 여왕벌의 분산 시기는 숫벌의 개체수가 증가하는 10월 중순 ~ 11월 초 정도로 추정됨

표 2. 등검은말벌 수벌 포획 개체수(포획비율)

Sex	September				October				November			
	6	13	22	29	6	11	19	28	3	10	17	24
Workers and queens	296 (98.3)	171 (99.4)	336 (98.2)	589 (99.0)	2099 (99.9)	1441 (98.5)	1162 (95.9)	580 (94.0)	297 (81.6)	447 (87.0)	271 (91.9)	72 (91.7)
Male	5 (1.7)	1 (0.6)	6 (1.8)	6 (1.0)	2 (0.1)	22 (1.5)	50 (4.1)	37 (6.0)	67 (18.4)	67 (13.0)	24 (8.1)	6 (8.3)

### ③ 등검은말벌 Nest 해체

- 제 1협동의 요청에 따라 9월 20일에 획득한 등검은말벌 nest에 대해 추후 연구방향 설정을 위해 해체 함
- 등검은말벌 nest 해체 결과, nest의 크기는 대략 직경 35 ~ 40cm임을 확인함. 다섯 개의 소반 중 두 번째 소반의 실측값이 897개 cell로 가장 많았으며, Latter's 공식에 대입하여 비교해본 결과 예측값이 실측값보다 평균 36(± 23.2)개 다소 많았음(표 3; Latter, 1935)
- 전반적으로 파손된 첫 번째 소반을 제외하고 알과 유충이 번데기보다 많은점과 알~유충기간 그리고 번데기 기간을 고려할 때 상당히 오랜기간 등검은말벌 성충이 출현할 것으로 예측됨

표 3. 9월 20일 채집한 등검은말벌집 해체 결과

Comb	알	유충	번데기	총 cell	장축의 cell	장축공식에 대입한 cell의 총 개수
5th	60	53	0	191	15	176
4th	219	226	57	709	30	690
3rd	219	297	154	879	33	833
2nd	269	203	52	897	33	833
1st (파손)	?	?	?	?	?	?

④ 꼬마장수말벌 완전 미토콘드리아 유전체 분석

- 장수말벌(Chen et al., 2016)의 미토콘드리아 유전체와 종 확인 연구의 일환으로 본 연구에서 분석된 꼬마장수말벌의 유전체 특성을 비교·분석하였고, 2017년 SCI-E급 저널인 Entomological Research에 투고하여 출판됨(Entomological Research 47호 129-136페이지)

2) 등검은말벌 후보 유인물질 DB화

① 등검은말벌 유인물질 표준품 분석

- 등검은말벌은 유인제에 함유되어 있는 휘발성 물질을 통해 먹이원의 존재를 탐색할 것으로 추측하였으며, 이에 잠재적 후보 유인물질을 문헌조사를 통해 도출한 다음 GC/MS 분석을 수행하여 DB를 구축함. 후보 유인물질을 0.005-0.001% 농도로 물에 희석하여 조제한 다음 그림 13과 같이 PS/DVD fiber를 이용하여 1시간 동안 고상미세추출(solid phase micro extraction, SPME) 방법으로 추출한 후 head space법으로 GC/MS 분석함
- GC/MS는 Shimadzu QP-2010를 사용하였으며 column은 DB-5 MS(60 m x 0.25 mm i.d., 0.25 µm thickness)를 이용함. GC 분석조건은 칼럼 온도는 60°C, 주입구 온도는 250°C, 그리고 샘플링 시간은 0.5 분이었음. GC 칼럼 온도는 승온조건으로 초기 60°C에서 2분간 유지한 후 250°C까지 10분 동안 승온하였고, MS 분석조건은 ion source 200°C, interface 200°C, solvent cut 2.0 분, scan speed 1250, scan range 50-400 m/z 조건으로 실험을 진행하였음. 문헌조사를 통해 도출된 유인물질은 상기와 같은 방법으로 SPME 법 및 GC/MS 분석조건을 확립함(그림 14)

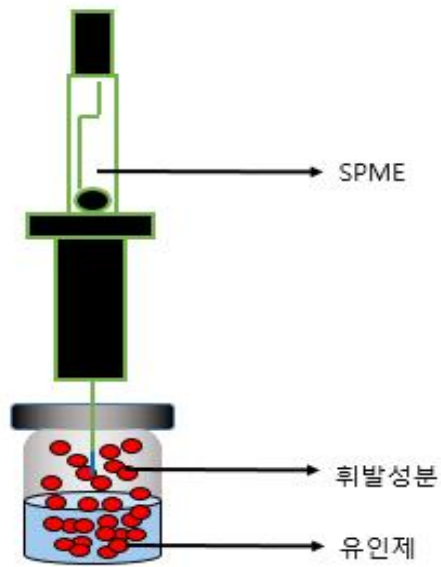


그림 13. SPME 추출장치

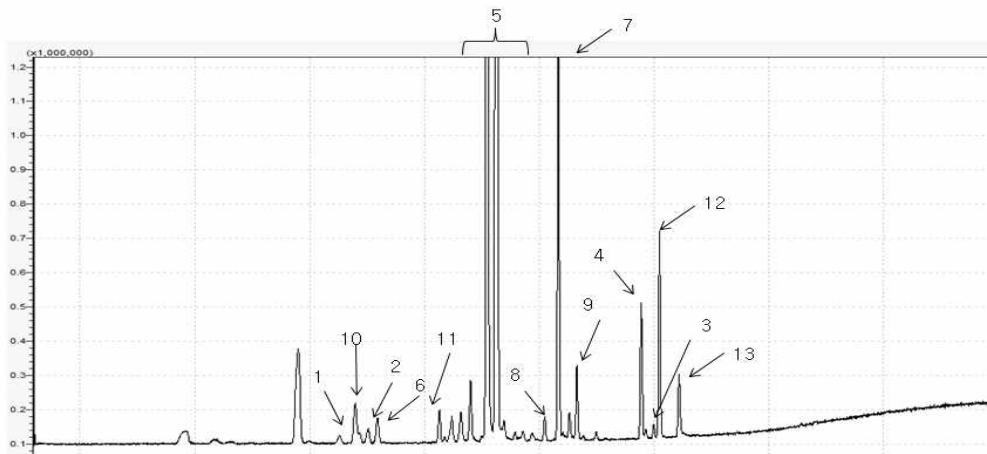


그림 14. 등검은말벌 대상 후보 유인물질의 GC/MS 분석

② 등검은말벌 후보 유인물질 분석 결과 DB

- GC/MS 분석결과를 토대로 등검은말벌 후보 유인물질의 DB를 작성함(표 4)



표 4. 등검은말벌 후보 유인물질 DB

Peak	성분명	분자량	머무름 시간	참고문헌
1	isopentyl acetate	130.18	10.9	Boch R, Shearer DA
2	2-heptanone	114.18	11.3	Shearer DA, Boch R
3	geraniol	154.24	17.3	Boch R, Shearer Da
4	citral	152.23	17.2, 17.6	Winston ML
5	$\beta$ -ocimene (E,Z mixture)	136.23	14.0, 15.4	Maisonnasse A 등
6	Heptanal	114.18	11.5	Varlet V 등
7	(E)-2-nonenal	140.22	15.9	Varlet V 등
8	(E,E)-2,4-octadienal	124.18	15.1	Varlet V 등
9	(E,Z)-2,6-nonadienal	138.20	15.8	Selli 등
10	P-xylene	106.16	11.2	Varlet V 등
11	1-octen-3-ol	128.21	12.8	Agila A, Barringer S
12	4-ethyloctanoic acid	172.26	18.0	Rota V, Schieberle P
13	(E,E)-2,4-decadienal	152.23	18.2	Christlbauer M, Schieberle P

3) 시판 및 식물체 함유 후보 유인제 휘발성 성분 분석 및 DB화

- 제 1협동기관에서 제공한 시판 유인제와 식물성 기반 말벌 유인제 후보군 중 등검은말벌 유인력의 차이를 보이는 세 가지의 후보군을 대상으로 상기와 같이 GC/MS 분석을 수행하여 DB를 작성함(그림 15, 표 5)

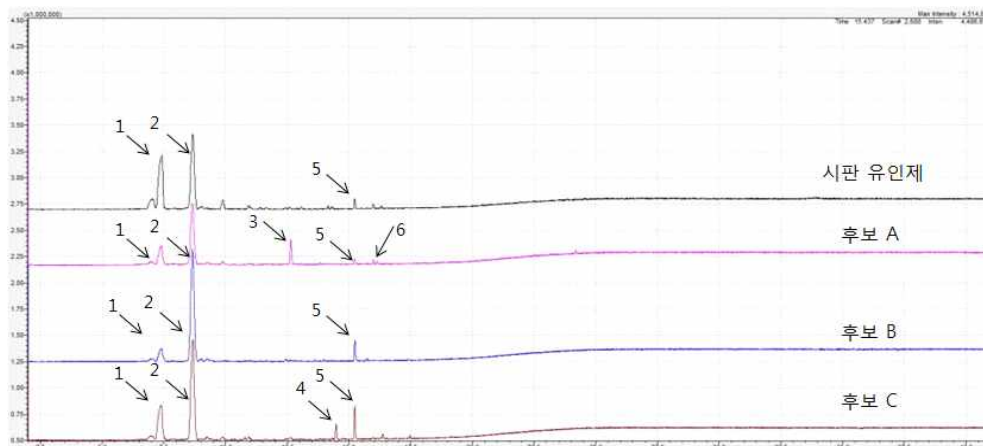


그림 15. 시판 및 식물성 후보 유인제의 GC/MS 분석

표 5. 시판 유인제 및 식물성 후보 유인제의 휘발성 성분 DB

Peak	성분명	머무름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>5</sup> )			
			시판 유인제	후보 A	후보 B	후보 C
1	ethyl acetate	7.4	5.7	2.2	1.6	3.4
2	3-methylbutanol	8.4	7.4	6.7	12.1	9.4
3	benzaldehyde	12.6	-	3.0	-	-
4	acetophenone	14.4	-	-	-	1.5
5	2-phenylethanol	15.2	1.2	0.9	2.7	3.2
6	diethyl succinate	15.9	-	0.8	-	-

4) 시판 및 식물체 함유 후보 유인제 교차시험

- 등검은말벌 유인력 결과 대비 유인제 주요 휘발성 성분을 비교하여 상관관계를 분석함. 시판 및 식물성 후보 유인제의 휘발성 성분 중 등검은말벌 유인물질로 예상되는 성분은 ethyl acetate, 3-methylbutanol, acetophenone, 2-phenylethanol 등 이었고 benzaldehyde, diethyl succinate는 등검은말벌 유인력이 가장 낮은 후보 A에서만 검출되었기 때문에 관찰대상 성분으로 적합하지 않다고 판단되었음(표 6)

표 6. 시판 및 후보 유인제의 등검은말벌 유인력과 주요 휘발성 성분

유인제	개체수 <sup>1)</sup>	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>5</sup> )			
		ethyl acetate	3-methylbutanol	acetophenone	2-phenylethanol
시판 유인제	19	5.7±0.5	7.4±0.3	-	1.2±0.02
후보 A	4	2.2±0.2	6.7±0.9	-	0.9±0.2
후보 B	23	1.6±0.1	12.1±1.2	-	2.7±0.5
후보 C	42	3.4±0.3	9.4±0.8	1.5±0.1	3.2±0.4

<sup>1)</sup>제 1협동에서 제공한 등검은말벌 유인 결과

- GC/MS 분석결과를 토대로 주성분 분석(principal component analysis, PCA)을 수행한 결과 등검은말벌 유인력이 높은 후보 B와 C가 유사한 그룹으로 분석되었으며 이들 후보제제의 지표성분은 3-methylbutanol, 2-phenylethanol과 acetophenone 등 이었음(그림 16). 상기와 같은 결과로 최종적으로 후보 C를 식물성 기반 1차 개발 유인제를 선발함

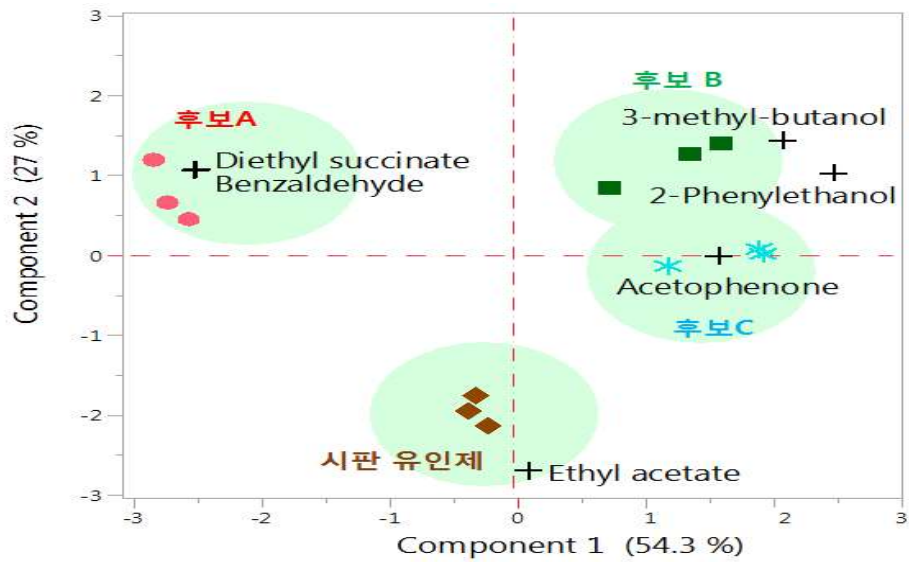


그림 16. 시판 및 후보 유인제의 PCA 분석

5) 1차 개발 유인제와 시판 유인제의 비교

- 1차 개발 유인제와 시판 유인제를 상기와 같은 방법으로 SPME법으로 추출한 후 GC/MS 분석하고 유인력 및 휘발성 성분을 비교함(그림 17, 표 7). [표 7]를 고려할 때 1차 개발 유인제는 시판 유인제에 비해 등검은말벌 유인력이 약 48.8% 증가하였으며, 1차 개발 유인제의 주요 성분은 등검은말벌 유인력과 상관관계가 있는 것으로 조사된 휘발성 물질인 3-methylbutanol, 2-phenylethanol, acetophenone 등이 주요 지표성분으로 분석되었음

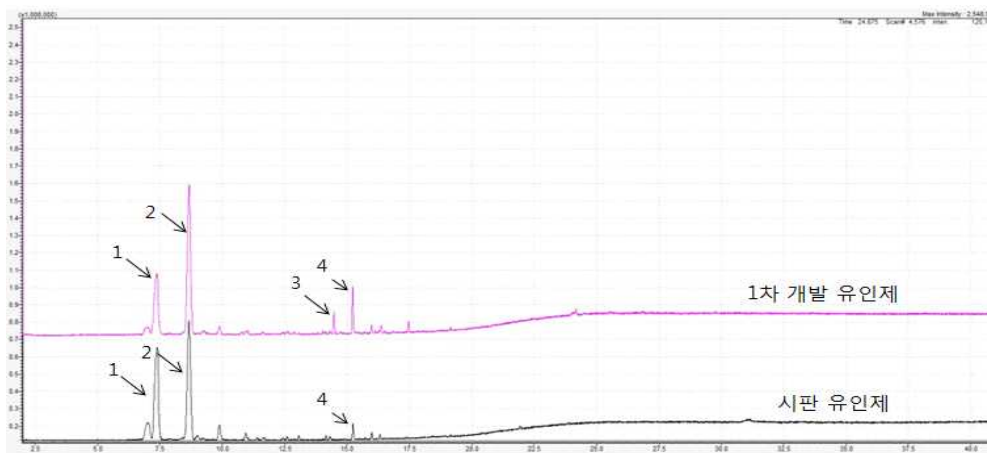


그림 17. 1차 개발 유인제와 시판유인제의 GC/MS 분석

표 7. 1차 개발 유인제와 시판유인제의 등검은말벌 개체수와 휘발성 성분

유인제	개체수 <sup>1)</sup>	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>5</sup> )			
		ethyl acetate	3-methylbutanol	acetophenone	2-phenylethanol
1차 개발 유인제	180	3.6±0.3	8.4±0.4	1.5±0.1	2.9±0.2
시판 유인제	121	5.7±0.5	7.4±0.3	-	1.2±0.02

<sup>1)</sup>제 1세부에서 평가한 등검은말벌 유인 결과

○ 제1세부 1년차 연구 결과 요약

- 기존 시판 유인제와 1차 유인제의 등검은말벌 포획 효능 검정 결과 1차 유인제의 포획률이 통계적으로 더 높게 나타났으며, 11월 초에 가장 많은 숫벌 개체수가 포획된 것으로 보아 11월 초가 등검은말벌의 교배 및 여왕벌의 분산 시기로 추정됨
- 시판중인 기존 유인제와 이번 연구를 통해 새롭게 개발된 (주)다목에코텍의 1차 개발 유인제의 등검은말벌 유인 효능 검정 결과 1차 개발 유인제가 통계적으로 유의하게 등검은말벌이 더 많이 포획되며 우수함을 보였으며, 유인 효능검정을 위해 지속적인 실험으로 등검은말벌의 시기별 발생양상, 지역별 발생양상, 말벌 포획비율 등 등검은말벌에 대한 생태정보를 축적함
- 등검은말벌을 유인하는 휘발성 물질을 효과적으로 분석하기 위한 고상미세추출법(SPME)과 GC/MS 분석 조건을 정립하였으며 (주)다목에코텍의 식물성 기반 1차 개발 유인제의 주요 지표성분으로 3-methylbutanol, 2-phenylethanol, acetophenone 등이 분석되었음
- 2건의 홍보 및 전시 성과 달성함(2016년 9월 6일 KBS 9시뉴스에서 “등검은말벌 습격, 토종 꿀벌떼죽음” 주제로 등검은말벌로 인한 양봉농가의 피해실태와 주관연구 책임자(전남대학교 김익수)의 인터뷰 내용이 보도됨)(2016년 9월 6일KBS 시사현장 맥 프로그램에서 “외래종 실태 보고서” 주제로 외래종 등검은말벌에 대한 피해현장과 외래종 피해 최소화를 위한 방안에 대한 주관연구 책임자(전남대학교 김익수)의 인터뷰 내용이 보도됨)
- 2건의 학술발표 성과 달성함(2016년 유전학회 및 한국양봉학회에서 ‘Complete Mitochondrial Genome of the Black-tailed Hornet, *Vespa ducalis* (Hymenoptera: Vespidae): Genomic comparisons in Vespoidea’란 주제로 포스터 발표)

## (나) 제2세부 연구수행 내용 및 결과(무인항공기 기반 등검은말벌집 탐색 시스템 개발, 전남대 손형일)

### 1) 등검은말벌 추적 장치 연구

#### ① 야생동물 등의 위치추적에 사용되는 기존 방법 조사

- 기존 야생동물 추적(Tracking)에는 하모닉 레이더(Harmonic Radar), RFID (Radio - Frequency Identification) 기반의 시스템이 주로 사용되고 있고, 하모닉 레이더와 RFID 시스템 모두 송신기, 즉 센서(Sensor)가 작고 가벼워 야생동물이나 곤충 등의 행동에 제약을 가하지 않아 위치를 추적하기 용이함
- 하모닉 레이더 방식은 센서에 배터리가 내장되어 있어, 통신거리가 매우 길고 비교적 정확한 위치정보를 사용자가 받을 수 있음. 하모닉 레이더 시스템은 통신거리가 매우 길어 곤충이나 새, 야생동물의 이동경로를 파악할 때 주로 사용되고 있음
- RFID 방식은 극소형 센서 정보를 저장하고 안테나를 달아 무선으로 데이터를 송신하는 장치이며, RFID 센서는 용도에 따라 크기와 무게가 매우 다양하고 비교적 저렴한 가격으로 구매할 수 있어 여러 가지 연구에 사용되고 있음
- 위치추적에는 주로 RFID 수신기를 특정 범위에 설치하여 범위 안에서 행동하는 곤충이나 동물들의 위치를 파악하는 용도로 사용됨

#### ② RFID, 하모닉 레이더 등 기존 초소형 위치추적 센서 등의 사양 등 조사

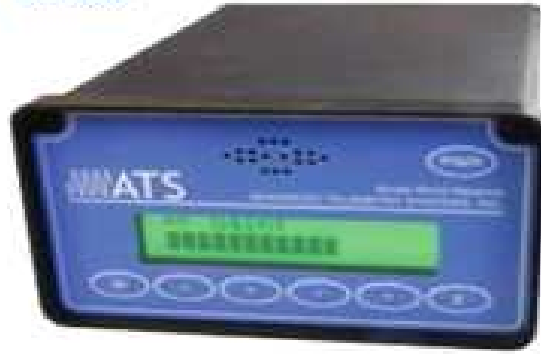
- 하모닉 레이더 방식은 센서의 크기가 작은 것부터 큰 것까지 다양하고, 센서에 배터리가 내장되어 있어 통신거리가 매우 김
- 센서는 목적에 따라 배터리의 수명, 무게, 크기 등이 매우 다양하고, 다음은 하모닉 레이더의 센서 중 말벌이 부착하여 비행할 수 있는 무게를 가진 종류를 나타냄(그림 18)

Series A2405 Models			LB-2X		
Model	Weight	Battery Life	Model	Weight	Battery Life
A2412	0.2g	9~22 days	LB-2X	0.22g	3~7 days
A2414	0.3g	18~45 days	LB-2X	0.27g	8~15 days
A2426	0.65g	28~68 days	LB-2X	0.31g	13~22 days

그림 18. 하모닉 레이더 센서

- 위 센서들의 배터리 수명은 말벌집을 추적하는데 부족함이 없으며 무게 또한 가벼워 연구에 사용 가능한 센서들이며, 위 센서의 위치정보를 수신할 수 있는 수신기는 [그림 19]와 같음

## R410



**Weight : 750g**

**Size : 10.6cm×16.5cm×6.5cm**

그림 19. 하모닉 레이더 수신기

- R410 수신기는 4개의 AA건전지로 작동하여 같은 주파수를 가진 센서의 위치정보를 수신할 수 있으며, 본 수신기는 5 Element Folding Tagi 안테나를 달아 센서와 통신함(그림 20)

## 5 Element Folding Tagi



**Weight : 850g**

**Size : 10.6cm×16.5cm×6.5cm**

그림 20. 하모닉 레이더 안테나

- 센서의 위치정보를 받는 정확한 방법과 수신기와 드론의 통신 방법을 조사함
- RFID 시스템은 센서가 작고 가벼워 작은 야생동물이나 곤충들의 위치를 추적하는 데에 적합하고 수신기와 센서의 가격이 저렴함
- RFID는 센서에 배터리가 내장되어있는 능동형(Active)과 따로 배터리가 필요하지 않은 수동형(Passive)으로 나뉘고 능동형 센서에는 배터리가 내장되어 있어 안테나가 따로 필요하지 않고 통신거리 또한 매우 김
- 다음 표는 크기가 작고 무게가 가벼운 RFID 센서들을 조사함(그림 21)






Name	Weight (g)	Range (meters)	Picture
XERAFY DASH-ON XS	0.44	2	
XERAFY PICO-ON PLUS RFID TAG	1.4	3	
XERAFY DOT-IN XS RFID TAG	0.34	1.5	
ALIEN G RFID WHITE WET INLAY	1	6	
XERAFY DASH XXS AUTOCLAVABLE RFID TAG	0.12	0.9	

그림 21. 작은 크기의 RFID 센서

- 이 RFID 센서들은 크기가 작고 가벼운 수동형 센서들이며 UHF의 주파수를 가지고 있고 수동형 센서들 중 UHF 주파수의 센서와 수신기들이 가장 통신거리가 길어 본 연구에 적합하다 생각하고 중점적으로 조사하였음
- 다음은 RFID 센서와 통신할 RFID 수신기이며, 주파수 별로 나누어 정리하였음
- 125kHz 와 134.3kHz(Low Frequency) 주파수의 수신기는 인식범위가 수 cm 이하이며, 주로 IC카트(스마트카드), 무선근접카드로 쓰이고 본 주파수는 통신거리가 너무 짧아 본 연구에 적합하지 않음(그림 22)

#### D901A-34



Read range : 3~10cm  
Size : 11.6cm×7.6cm×1.8cm  
Weight : 400g

#### 003A-26



Read range : 3~10cm  
Size : 8cm×4.8cm×1.8cm  
Weight : 300g

그림 22. 125kHz, 134.3kHz(Low Frequency) Passive 수신기

- 13.56MHz (High Frequency) 주파수의 수신기는 인식거리가 60cm 미만으로 매우 짧고, 주로 스마트카드, 도서관리, FA 재고관리에 쓰이고 이 주파수 또한 통신거리가 너무 짧아 연구에 적합하지 않음(그림 23)

### SM100-RF



Read range : ~5cm  
Size : 10cm×3.5cm×3cm  
Weight : 90g

### ACR122U-A9



Read range : ~10cm  
Size : 10cm×6.5cm×1.3cm  
Weight : 70g

그림 23. 13.56MHz(High Frequency) Passive 수신기

- 860~960MHz(Ultra High Frequency) 주파수의 수신기는 인식거리가 1~25m 정도 되며, 데이터 전송속도가 빨라 주로 유동/물류 관리에 쓰이고 있음. 이 주파수의 수신기는 수동형이기 때문에 센서에 따로 배터리가 내장되어 있지 않아 센서의 크기가 작고 가벼움에도 불구하고 통신거리가 수십미터로 길기 때문에 본 연구에서 사용하기 가장 적합함(그림 24)

### INDY Impini R2000 UHF RFID reader module



Read range : Up to ~35m  
Size : 18cm×13cm×2.5cm  
Weight : 115g

### UHF UltraLong Range RFID Reader DL6950



Read range : Up to 25~30m  
Size : 18.6cm×16cm×5cm  
Weight : 900g

그림 24. 860~960MHz(Ultra High Frequency) Passive 수신기

- 433MHz 주파수의 수신기는 능동형(Active)이어서 통신거리가 150m 정도로 매우 길고 주로 사물의 위치를 추적, 관리하는데 쓰임. 이 수신기들은 통신거리가 매우 길고 센서의 위치를 추적할 수 있어 연구에서 사용하기 적당해 보이지만 센서가 능동형이라 크기가 최소 3\*3(cm)로 말벌에 달기엔 매우 크고 무거워 연구에서 사용 불가능함(그림 25)



### 433 MHz Active GPRS Dry Contact RFID Reader



Read range : Up to ~150m  
Size : 12.5cm×8cm×3cm  
Weight : 200g

### UHF 433 MHz Active RFID Reader with RS232



Read range : Up to 150m  
Size : 10.5cm×5.8cm×2.8cm  
Weight : 118g

그림 25. 433MHz Active 수신기

- 2.45GHz 주파수의 수신기 또한 능동형(Active)이어서 통신거리가 최대 200m로 광범위함. 주로 주차관리나 고속도로 통행료 징수 시스템에 쓰이고 있고 433MHz 주파수의 수신기들과 같은 이유로 본 연구에서 사용 불가능함(그림 26)

### 2.45 GHz Gain Adjustable Active RFID Reader



Read range : Up to ~100m  
Size : 12.6cm×10.4cm×2.8cm  
Weight : 800g

### DL9130



Read range : Up to 200m  
Size : 22.5cm×22.5cm×10cm  
Weight : 2.8kg

그림 26. 2.45GHz Active 수신기

- 위에서 설명한 것과 같이 본 연구에서는 860~960 MHz(UHF) 주파수대의 RFID 송수신기를 선정하였음. 본 주파수의 수신기는 수동형이기 때문에 센서에 따로 배터리가 내장되어 있지 않아 센서의 크기가 작고 가벼움에도 불구하고 통신거리가 수십미터로 길기 때문에 본 연구에서 사용하기 가장 적합하기 때문에 이 주파수대의 센서와 수신기를 조사하여 실험에 사용가능한 것을 선정하였음

## 2) 초소형 센서 활용 등검은말벌 추적 장치 개발

### ① 실험을 통한 등검은말벌의 크기, 무게 등에 적합한 초소형 센서 선정

- 말벌에 부착할 센서 조사에 있어 중요한 것은 말벌에 부착했을 때 말벌의 행동에 영향을 주지 않는 무게와 크기이고 말벌의 행동에 영향을 주지 않도록 말벌에 센서를 부착하는 방식과 무게에 대해 여러 실험을 진행하였음

- 접착제를 이용한 방법은 접착물질이 말벌의 날개에 달라붙게 되어 직접적으로 말벌에 부착하는 방식이 아니라 실을 고리형식으로 말벌에 태그 하고 그 실에 센서를 부착하는 방식을 위주로 연구를 수행함
- 말벌이 실제로 부착했을 때 비행하는데 무리가 없는 센서 무게를 조사하기 위해 다양한 무게의 실험군을 만들어 직접 말벌에 부착해 좀 더 정확한 데이터를 얻기 위한 실험을 수행하였음
- 실제말벌에 부착한 다양한 무게의 실험군으로 0.1g, 0.13g, 0.15g, 0.2g, 0.25g의 무게를 철사로 만들어 각각 두 번씩 등검은말벌에 달아 비행가능 여부를 실험하였음(그림 27)

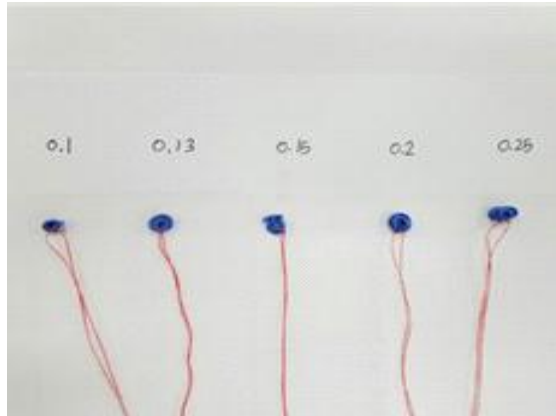


그림 27. 실험에 사용한 여러 가지 무게의 실험군

- 0.1~0.2g의 무게를 매달고는 수월하게 비행에 성공했으나 0.25g의 무게는 비행하기 전 몇 번 지면에 떨어지는 등 한번에 수월하게 비행에 성공하지는 못했고, 차후 실험군의 무게를 조금 더 구체화 해 정확한 등검은말벌에 달기 적합한 센서의 무게를 구매함
- 다음 사진은 실험군을 실제 등검은말벌에 부착하여 비행실험한 결과 0.20g 까지 등검은말벌이 정상적인 비행을 하였음(그림 28, 표 8)



그림 28. 실험군을 등검은말벌에 부착한 모습

표 8. 등검은말벌의 비행실험 결과

무게	0.10g	0.13g	0.15g	0.20g	0.25g
비행결과	○	○	○	○	△

② 선정된 초소형 센서의 송신장치를 등검은말벌에 태그하여 다양한 환경에서 수신 신호 강도, 정확도 등의 실험 수행

- 말벌의 무게와 곤충의 힘을 고려해, RFID 센서 중 무게가 적은 센서를 선정하였고, 선정된 센서는 0.34g이며 약 6mm 정도의 크기, 860~960MHz의 주파수이며 수동형(Passive) 센서임(그림 29)

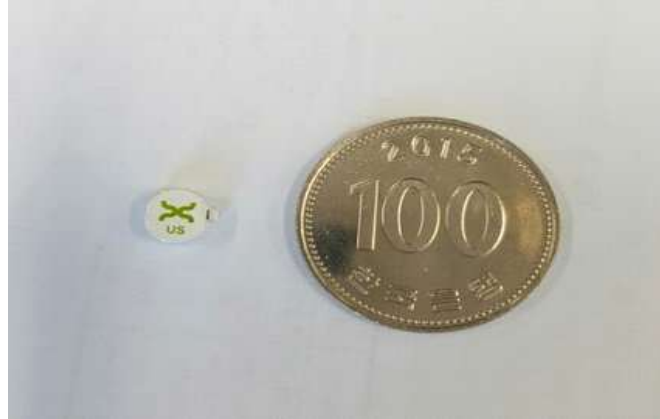


그림 29. 선정된 RFID 센서

- 아래는 [그림 30]은 센서를 실제 등검은말벌에 부착한 사진이며 순간접착제를 이용하여 등검은말벌의 등과 배 뒤에 부착하였지만, 순간접착제가 날개를 손상시켜 등검은말벌이 정상적인 비행을 하지 못하였다고 판단함. 이에 실에 센서를 부착하여 등검은말벌에 실을 묶고 추가 실험을 진행함(그림 30, 31)



그림 30. 등검은말벌의 등, 배 뒤에 센서를 부착한 모습



그림 31. 센서에 실을 부착한 모습

- 실을 말벌에 매달아 총 5번의 실험을 진행함. 날개의 손상여부와 상관없이 5번 모두 비행에 실패하였고 0.34g의 무게는 등검은말벌이 부착하여 비행불가능 한 것으로 확인하였음
- 등검은말벌이 부착하여 비행가능한 무게를 실험을 통해 확인했으므로 다른 적합한 무게의 센서를 조사함
- 이 센서의 정보를 받을 수신기는 드론의 가반하중을 고려가 무게가 가벼워야 하며, 통신거리가 수십미터 정도로 길어야 하며 실험에 사용 가능한 송수신기의 주파수대는 860 ~ 960MHz 이므로, 그 주파수대 수신기를 중점적으로 조사하였음

③ 등검은말벌 추적 장치의 데이터 분석 SW 개발

- 실험에 사용될 드론은 3DR solo 이며 이 드론의 가반하중은 약 800g 이며 통신거리를 늘리기 위해 안테나도 드론에 부착해야 하기 때문에 최대한 무게가 적은 수신기 위주로 조사하였음(그림 32)



그림 32. 실험에 사용될 무인항공기 : 3DR solo

- 다음은 통신거리와 무게를 고려해 선정한 수신기의 무게는 115g으로 드론에 부착하기 매우 적합하며(그림 33), 수신기와 드론의 통신방법은 3DR solo에 연결된 Accessory bay의 micro usb 포트와 수신기의 RS232포트를 케이블로 연결하여 통신함(그림 34)

INDY Impinj R2000 UHF RFID reader module



Read range : Up to ~35m  
Size : 18cm×13cm×2.5cm  
Weight : 115g

그림 33. 실험에 사용될 수신장치



그림 34. RFID 수신기와 드론의 연결 방법

- 다음과 같이 RFID 수신기 Software를 사용해 RFID 센서의 정보를 수신하는데 성공하였음 (그림 35, 그림 36)

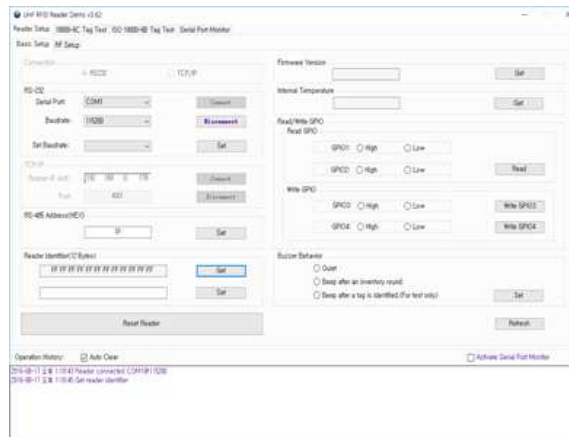


그림 35. 수신기 PC와 연결

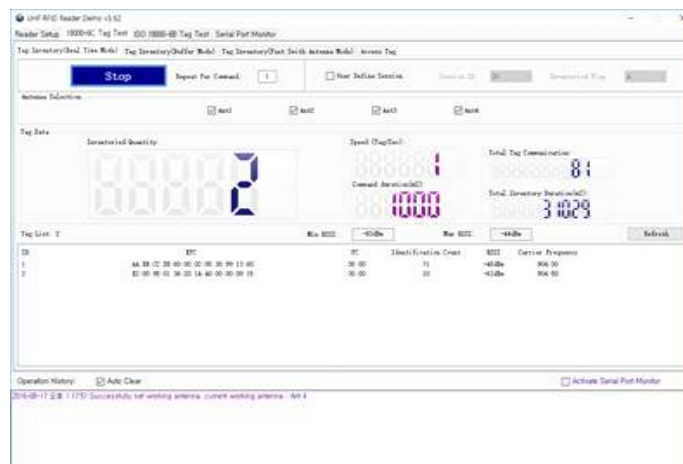


그림 36. RFID 센서 인식 확인

#### ④ RFID 방식의 센서 위치추적 방법

- 기존 RFID 시스템은 몇 개의 고정된 수신기가 벽에 부착되어 있어야 위치추적이 가능한데, 이때 여러 개의 수신기가 센서의 위치를 인식할 수 있는 범위를 형성하게 됨. 다수의 수신기가 센서의 위치를 파악할 수 있는 통신 범위를 형성하고 통신범위에 센서가 들어오면 수신기는 센서가 통신 범위 안에 있다는 것을 인식하게 됨
- 본 연구에서 수신기는 무인항공기 즉 드론에 탑재하게 되어, 야외에서 움직이는 드론에서는 수신기의 정확한 위치를 알지 못하는 문제가 발생함. 이 문제를 해결하기 위해 드론에 탑재된 수신기와 드론과 연결을 통해 드론의 GPS 정보를 이용해서 수신기의 위치를 파악하고자 함. 드론과 수신기의 연결방식은 위에서 언급한 것과 같이 RS232 인터페이스를 이용해 연결 함
- RFID 시스템에서 수신기는 AOA방식을 이용해서 센서의 위치정보를 파악하게 됨. RFID는 active, passive 방식의 두가지 방식의 센서가 존재하는데, 모두 AOA 방식을 이용해서 센서의 위치 정보를 알아 낼 수 있음
- AOA방식이란 각도와 거리를 이용해 수신기가 센서의 위치를 알아내는 방법으로, AOA방식은 최소 두 개의 수신기가 필요하고, 다수의 수신기는 통신범위를 형성하고 각각의 위치정보

를 갖고 있는 상태이고 수신범위 안으로 들어오게 되면 수신기는 센서와의 거리와 각도를 이용하여 센서의 위치정보를 파악하게 됨(그림 37)

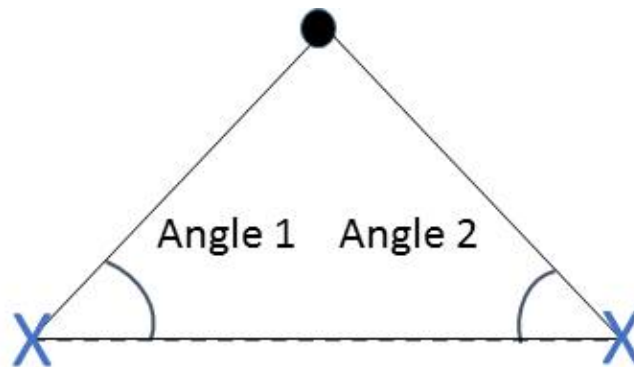


그림 37. AOA 방식

- 다른 방식으로 세 개의 수신기, 한 점을 센서의 위치라고 했을 때 이동하는 물체의 좌표를  $(x, y)$  세 개의 수신기의 위치를 각각  $(X_1, Y_1)$   $(X_2, Y_2)$   $(X_3, Y_3)$  라고 했을 때 센서와의 거리를  $(d_1, d_2, d_3)$  라고 했을 때 이 값들은 피타고라스 식으로 거리를 파악 할 수 있음(그림 38)

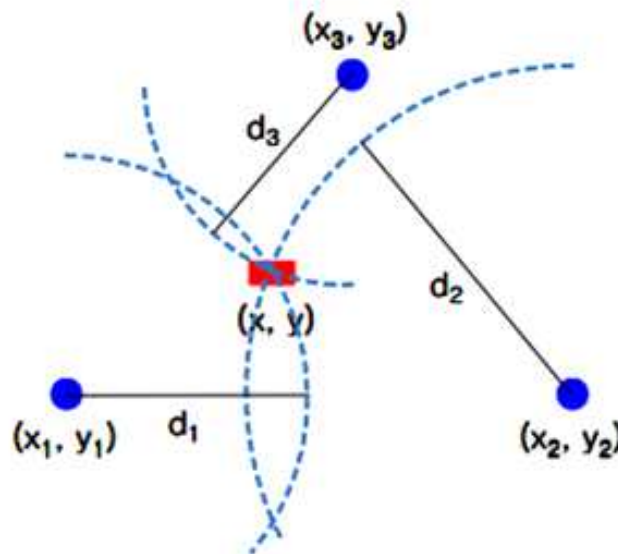


그림 38. 센서의 거리 측정 방법

○ 제2세부 1년차 연구 결과 요약

- 야생동물의 위치추적에 사용되는 기존의 방법들을 조사하였으며, 그 방법을 기반으로 등검은말벌 추적에 위한 초소형 위치추적 센서의 사양을 조사하였음. 또한 등검은말벌이 비행할 수 있는 무게를 파악하기 위해 가반하중 실험을 수행하였으며, 그 결과 0.20g이하의 센서가 필요함. 조사된 초소형 위치추적 센서 중에서 0.20g이하의 무게를 가진 센서를 선정하였고, 무인 항공기에 수신장치를 탑재하고 데이터 분석 SW를 개발하여 등검은말벌의 비행 및 신호강도 측정을 위한 실험을 진행함
- 1건의 특허 출원 성과 달성함(2016년, 무인 항공기를 이용한 말벌집 탐색 시스템, 전남대학교)

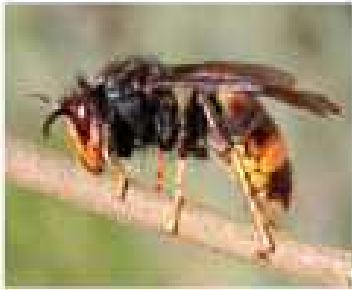
산학협력단, 대한민국, 10-2016-0156805)

(다) 제3세부 연구수행 내용 및 결과(등검은말벌에 의한 농가 피해실태 조사, (사)한국양봉협회 전정우)

1) 등검은말벌에 의한 농가 피해실태 조사 설문지 개발

① 주·객관적 답변이 용이한 20문항의 설문내용 개발 및 현실에 맞는 설문 내용 유무 파악함 (그림 39)

**등검은말벌 발생 피해실태 조사**



- 형태 특징 : 더듬이와 큰턱은 노란색, 가슴등판과 머리 뒷부분은 검은색이다. 복부 등판 첫째마디의 가장자리는 노란색을 띠며 선 모양이고, 둘째마디, 셋째마디 가장자리는 주황색, 넷째마디는 넓은 띠 모양의 옅한 주황색, 다섯째, 여섯째 마디는 황갈색을 띤다.

**< 등검은말벌 발생 피해실태 설문조사 >**

성 명 :	전화번호 :	소 속 :	지회	지부
주 소 :				

- 양봉장 위치는 어디 입니까? (행정구역상 시/군 단위까지)
- 양봉장 사육군수는 어느 정도입니까?  
①50군 이하 ②100군 이하 ③200군 이하 ④300군 이하 ⑤500군 이하 ⑥500군 이상
- 양봉 경력은 어떻게 되십니까?  
①1년 이하 ②1~3년 이하 ③3~5년 이하 ④5~10년 이하 ⑤10~20년 이하 ⑥20년 이상
- 양봉장 주변 환경 유형 어떻습니까? (다수선택 가능)  
①연못 ②저수지 ③호수 ④계곡 ⑤농수로 ⑥하천 ⑦주택가 ⑧산지숲 ⑨산기슭 ⑩도시공원 ⑪과수원 ⑫축사시설 ⑬비닐하우스 ⑭해안및갯벌 ⑮기타
- 등검은말벌이 양봉장에 최초 출현한 시기는 언제부터 출현하였습니까?(해당년도)  
①2012년 이전 ②2012년 ③2013년 ④2014년 ⑤2015년 ⑥2016년 ⑦미출현



6. 금년(2016년)에 등검은말벌이 양봉장에 출현하였습니까?  
①예 ②아니오
7. 금년(2016년)에 등검은말벌이 양봉장에 몇 월부터 출현하였습니까?  
①3월 ②4월 ③5월 ④6월 ⑤7월 ⑥8월
8. 등검은말벌이 출현하였다면 가장 많이 관찰되는 시기는 언제입니까?  
①3월 ②4월 ③5월 ④6월 ⑤7월 ⑥8월
9. 등검은말벌이 가장 많이 관찰되는 시기에 한 시간당 몇 마리 정도 출현합니까?  
①10마리 ②30마리 ③50마리 ④100마리 ⑤150마리 ⑥150마리 이상
10. 전년도에 비하여 등검은말벌 출현이 어느 정도입니까?  
①많다( %) ②적다( %)
11. 전년도에 등검은말벌 방제를 하였습니까?  
①예 ②아니오
12. 봄철(3~5월 중) 등검은말벌 방제를 하였습니까?  
①예 ②아니오
13. 등검은말벌을 방제하기 위하여 사용하는 방법은 무엇입니까?
14. 등검은말벌 외에 다른 말벌이 양봉장에 출현하였습니까?  
①예 ②아니오
15. 다른 말벌이 양봉장에 출현하였다면 어느 말벌 종류입니까?
16. 금년도 등검은말벌 출현으로 농가 피해는 어느 정도입니까?  
①생산량( ) ②봉군손실( ) ③기타( )
17. 금년도 등검은말벌 출현으로 농가 피해는 전년도에 비하여 어느 정도입니까?  
①생산량( ) ②봉군손실( ) ③기타( )
18. 직접적인 농가 피해 외에 간접적인 피해는 무엇이며, 어느 정도입니까?
19. 봄철 등검은말벌 방제 필요성이 있습니까?  
①있다 ②없다
20. 등검은말벌 방제중 가장 효과적인 방법이라 생각하는 방제법은 무엇입니까?

설문 작성해 주셔서 감사합니다.

그림 39. 등검은말벌 발생 피해실태 조사 설문지

## 2) 등검은말벌에 의한 농가 피해실태 조사

### ① 협회 조직을 통한 피해 실태 조사 실시

- 설문 응답자 양봉장 위치 및 규모 : 응답자 대부분 남부지역(경남, 경북, 전북, 전남)에 양봉장이 위치하고 있으며 중부지역(충남, 충북, 강원, 경기)에서도 다수 등검은말벌 출현에 대하여 응답을 하였음. 응답자 대부분 10년 이상의 전업농이며 양봉장은 주로 산지, 숲에 독립적으로 운영하는 형태를 취하고 있음(그림 40)

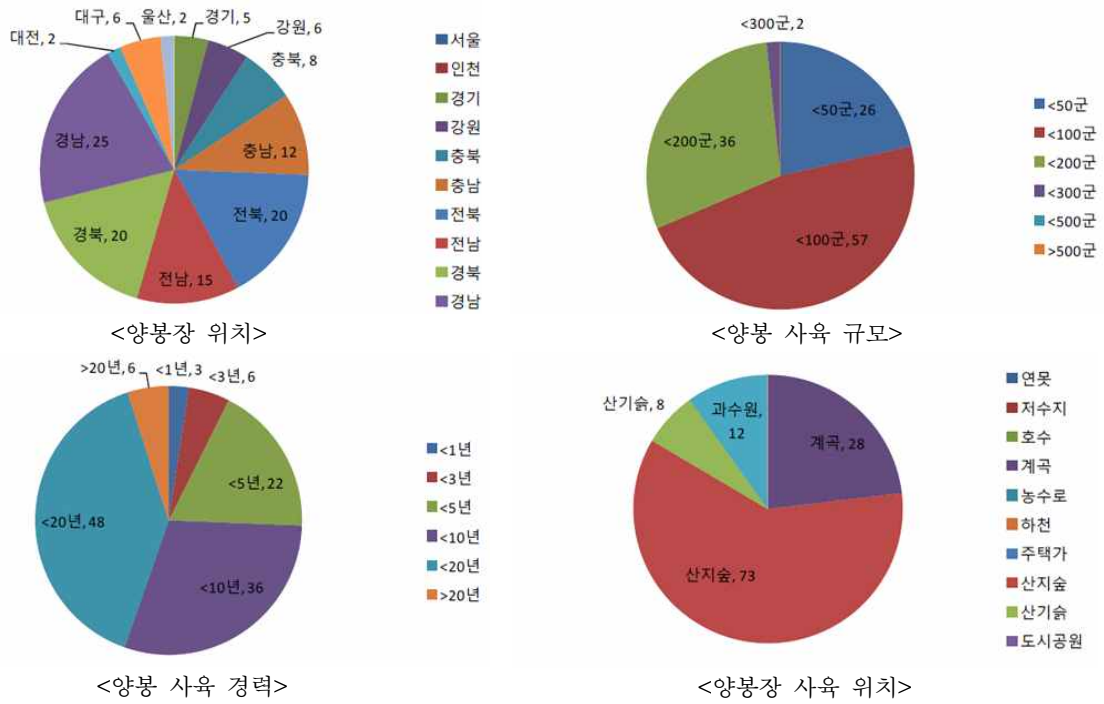


그림 40. 양봉장 위치 및 규모 조사

- 등검은말벌은 2012년 이전부터 출현하여 2013년 확산 속도가 증가한 것으로 2016년에는 경기도 및 강원도에서도 출현하였음(그림 41, 42)

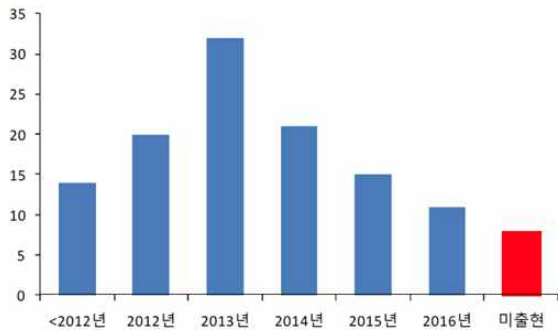


그림 41. 등검은말벌 최초 출현 시기

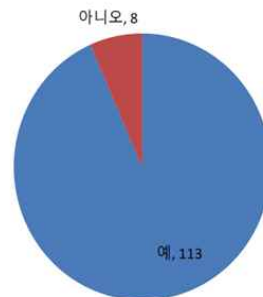


그림 42. 등검은말벌 출현 유무

- 등검은말벌은 4월경부터 출현하여 7~8월 최대 출현하였음(그림 43, 44, 45, 46)
- 전년대비 등검은말벌 출현 빈도가 대부분 많아졌다고 하였으며 피해를 최소화하기 위해 농가 스스로 등검은말벌 방제에 노력하고 있음

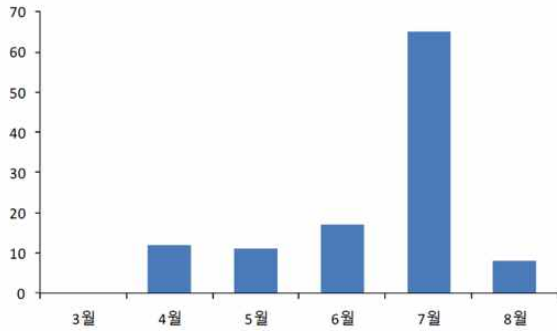


그림 43. 2016년 등검은말벌 출현 시기

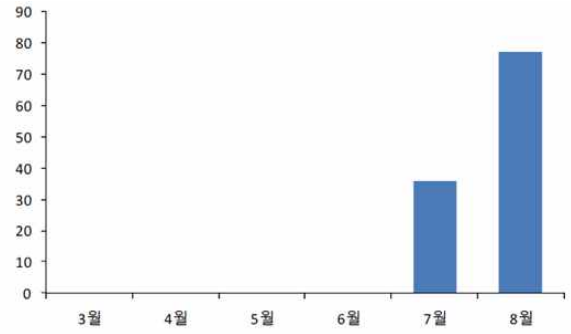


그림 44. 2016년 등검은말벌 최대 출현 시기

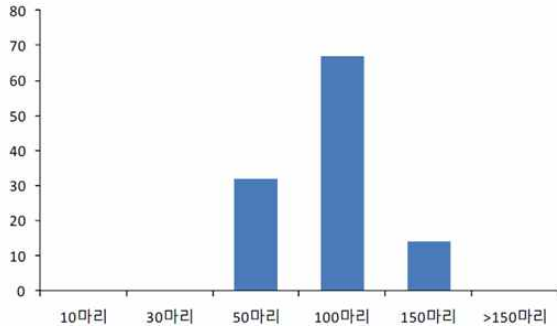


그림 45. 2016년 등검은말벌 출현 마리수(시간당)



그림 46. 전년대비 등검은말벌 출현 빈도

- 방제 방법으로 대부분 포도액, 막걸리와 사양액(설탕물)을 혼합하여 발효시킨 유인제로 방제하고 있으며 일부 농가에서 등검은말벌을 산 채로 잡아 농약을 도포하여 방제하기도 함(그림 47, 48, 49, 50)

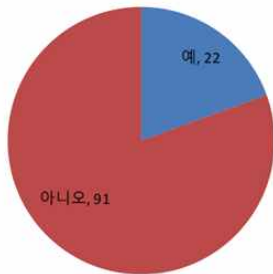


그림 47. 전년도 등검은말벌 방제유무

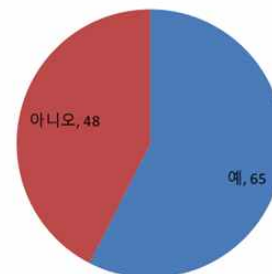


그림 48. 2016년 봄철 등검은말벌 방제유무



그림 49. 등검은말벌 방제방법

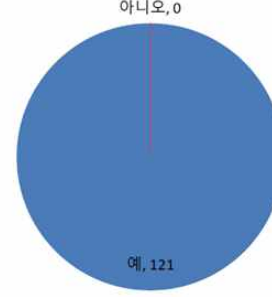


그림 50. 등검은말벌 외 타 말벌류 출현 유무

- 등검은말벌 출현에 의한 2016년도 농가 생산량 및 봉군 피해는 대부분 15% 정도 피해를 입

었으며 전년대비 생산량은 25%, 봉군 피해는 15% 정도 피해를 입었음(그림 51, 52)

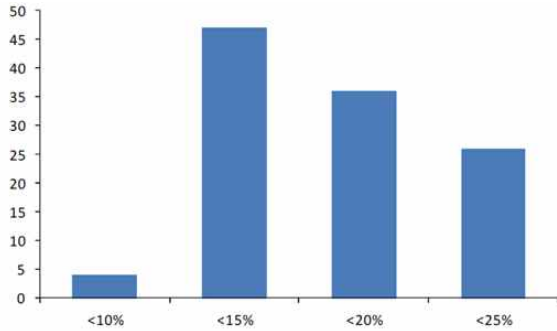


그림 51. 2016년도 생산량 피해

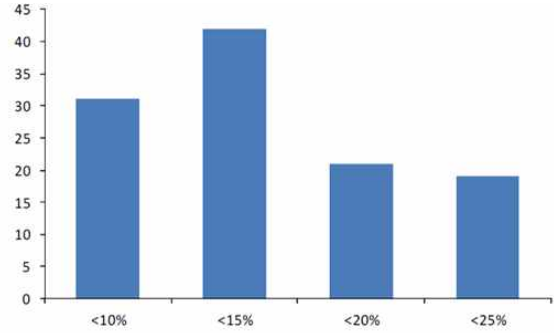


그림 52. 2016년도 봉군 피해

- 전년대비 생산량 피해가 높은 것은 금년 벌꿀 생산량이 예년에 비하여 40~50% 생산량 감소하였기에 상대적으로 더욱 피해가 커진 것으로 사료됨(그림 53, 54)

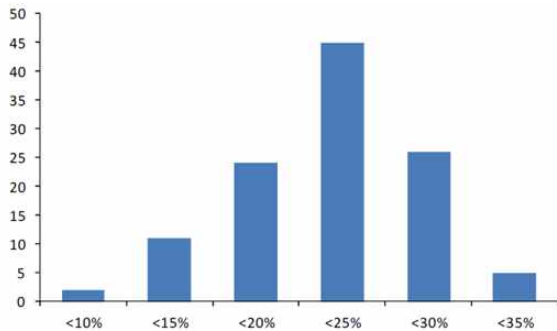


그림 53. 전년대비 생산량 피해

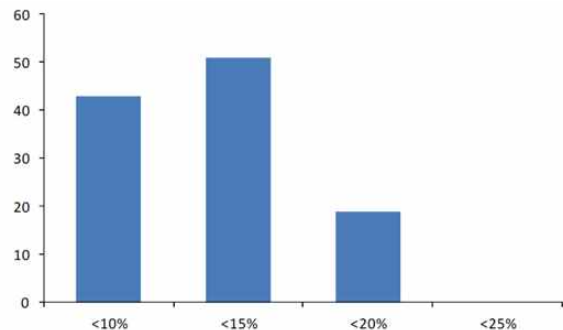


그림 54. 전년대비 봉군 피해

- 대부분 농가들이 유인제를 만들어 등검은말벌을 방제하지만 매일 물리적으로 방제하는 작업 증가와 이로 인한 스트레스 피해를 호소하였으며 이를 해소할 수 있는 효과적인 유인제과 트랩 개발을 요구하고 있음(그림 55, 56)

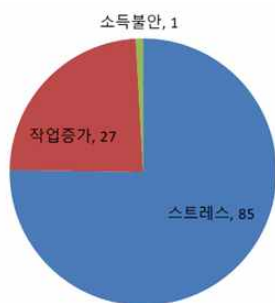


그림 55. 농가 간접적 피해

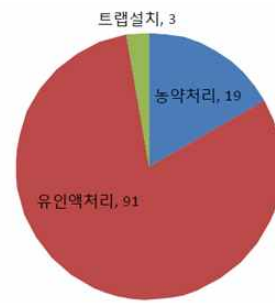


그림 56. 농가 선호 등검은말벌 방제법

○ 제3세부 1년차 연구 결과 요약

- 양봉농가를 대상으로 등검은말벌 피해조사를 설문조사 기법을 활용하여 수행하였음. 양봉농가는 등검은말벌에 의해 전년(2015년)대비 생산량은 25%, 봉군 피해는 15% 정도 피해를 입은 것으로 나타났음. 현재 사용하고 있는 등검은말벌 방제법은 유인액처리가 80%를 차지하고 있었음

(라) 제1협동 연구수행 내용 및 결과(말벌 유인제 및 고효율 포획기 개발 및 말벌 침입시 조기감지 경보장치 개발, (주)다목에코텍 이준길)

1) 등검은말벌의 생물·생태학적 특성 연구

① 등검은말벌 사육을 위한 샘플 확보

- 사업장 소재지인 순천시 주암면 사무소 이장단 및 자율방범대를 통한 꾸준한 제보를 통해 조사 지역 선정 및 관찰 샘플 확보
- 2016년 6월부터 말벌집 제보를 받기 시작, 등검은말벌집의 첫 제보는 7월 말부터였음
- 2016년 8월 1일 사육을 위한 이전이 용이한 등검은말벌집 제보를 받음
- 장소 : 전남 순천시 주암면 동주로 2119 근처 큰길 가로수 약 2.5~7M
- 주암 IC에서 주암면 소재지로 들어오는 길로 통행량이 꾸준히 있는 열악한 조건이었으며 벌집 크기는 축구공 정도(그림 57)
- 2016년 8월 2일~3일 일기 예보 상 강수확률이 있어서 관찰, 이틀간 강수량 약 12mm



그림 57. (위에서부터 좌측순으로) Nest 샘플 발견 장소의 위성사진, 근처 전경, 관찰을 위한 경고문구

② 등검은말벌 사육장으로 샘플 이동

- 등검은말벌 사육을 위한 샘플 발견 후 사육장 이전 작업 및 환경 조성을 통해 생물·생태학적 특성을 집중 조사 관찰 연구하기 위한 제반 환경을 조성함
- 등검은말벌 사육 샘플 사육장 이전 작업 진행 : 8월 4일 안정된 활동을 확인한 후 9월 5일 저녁 완벽하게 어둠이 형성되고 활동이 급감되었을 때 비닐봉지로 밀봉한 후 가지째로 등검은말벌집 확보(그림 58)
- 해충 방호복을 입고 그 위에 비옷 두 겹을 입음, 코팅된 목장갑 2개를 끼고 그 위에 고무장갑을 착용
- 화물차로 저속으로 사육장까지 약 3km 가량 이동



그림 58. 방호복을 입은 모습, Nest 이전을 위한 집중 관찰, 화물차로 저속으로 이동하는 모습

- 사육장의 감나무에 확보한 샘플을 원래의 각도와 최대한 흡사하게 고정시킨 후 비닐봉지 제거(그림 59)



그림 59. 감나무에 샘플을 고정시키고 비닐봉지를 제거하는 모습

③ 등검은말벌 사육장 위치 및 사육 환경 조성

- 사육장 위치 : 전남 순천시 주암면 주암호길 62-72 다목에코텍 본사 일대 감나무 밭 약 80평
- 인근의 농민, 벌초객, 등산객 등의 안전을 위하여 플래카드 및 안전선을 만들
- 근처에 계곡과 약수터가 있고 배산임수의 지형이라 바람이 많지 않은 지형이며 동남향임 (그림 60)



그림 60. (위에서부터 좌측순으로) 사육장 위성사진, 사육장 전경, 사육장의 경고 문구 부착 사진, 사육장 안의 등검은말벌집 사진

- 관찰 시야의 안전거리를 확보하기 위해 가지 치기 작업, 지속적으로 인공수액(유인제) 공급하였고(그림 61), 신규 등검은말벌집 안정 및 세력정착을 위하여 장수말벌, 꼬마장수말벌 등 상위 포식벌을 일주일간 물리적으로 포획함. 포획기를 사용하면 등검은말벌이 들어와 장수말벌에게 죽임을 당하기 때문에 사용하지 않고 잠자리채와 핀셋으로 포획(그림 62)



그림 61. (위 2컷) 사육장 가지치기 작업 사진, (아래 2컷) 사육장에서의 인공 수액터 사진



그림 62. (좌측부터) 잠자리채를 이용한 포식벌 포획, 핀셋을 이용한 포식벌 포획, 포획한 말벌을 알콜에 담아 놓은 사진

- 기존 서식지의 잔여벌은 약 15마리 내외로 일벌의 큰 손실 없이 이전 된 것으로 판단
- 2016년 8월 8일 비락과 약 13mm의 강수와 잘못된 각도로 인해 활동이 저조하였으나 8월 9일 각도 조절 이후 이틀 후인 8월 11일 벌집이 확장되고 일벌이 활발하게 활동하는 것을 관찰함
- 아래 사진 설명 : 노란색 동그라미 부분이 기존 집 색깔과 다르므로 이 지역에서 집 소재를 물어오는 것이 확인 된 것이며, 이틀 사이에 세 부분으로 나뉘어 있던 부분이 네 부분으로 확장된 것을 관찰할 수 있음(그림 63) 발견 당시 개체의 크기는 축구공 크기(지름 약 22~25cm)였으나 이전 2개월 이후 충분한 수액 공급에도 불구하고 개체의 크기에 큰 변화가 관찰되지 않았음. 그 이유로 기존 Nest의 균형과 각도가 달려짐으로 인해 여왕벌이 산란에 스트레스를 받았고, 일벌들이 기존에 활동하는 환경과 달라 적응하고 세를 확장시키는데 많은 어려움이 있었던 것으로 추정됨



그림 63. (좌측) Nest 발견 위치 전경, (우측) 벌집이 추가로 지어짐을 확인하는 사진



- 수벌 및 차기 여왕벌이 생산되어 짝짓기가 이루어졌으며 서리가 시작되는 무렵인 11월 초에 월동한 것으로 추정함
- 서식처, 월동처, 번식 조사 및 2차년도 과제에서 보다 세력이 강한 Nest를 관찰하기 위해 월동 환경을 제한하여 집중 관찰하기 위한 사육장 제반 시설(간이 비닐하우스 온실)을 구축하였음

④ 등검은말벌 Nest 해체를 통한 개체군 동향 조사

- 등검은말벌 Nest 확보한 후 해체하여 유충, 일벌, 수벌, 여왕벌의 개체수를 조사하였으며 이를 통한 말벌집 내 구성비 조사 및 개체군 동향을 파악함
- 2016년 8월 28일 제보를 받고 관찰 후 29일 6시 경 채취(너무 높기 때문에 야간 작업 불가)
- 전라남도 순천시 주암면 주암초등학교 내 약 13M 높이에 지어진 등검은말벌집을 크레인을 타고 채취(그림 64)



그림 64. 크레인을 타고 Nest을 나무에서 제거하여 확보하는 사진

- 냉동실에 급냉한 후 다음날(30일) 해체
- 줄자, 노기스 등을 이용하여 크기를 측정하고, Nest에서 유충, 번데기를 분리하여 계수
- 외경 가로 직경 20.65cm, 외경 세로 직경 20.58cm 육안으로는 정원형이 아니나 수치적으로는 원형에 가까운 형태임(그림 65)



그림 65. Nest의 직경 지름 등을 측정 하는 사진

- 상단 소반부터 1단 직경 20.03cm, 2단 19.34cm 3단 08.03cm, 4단 2.34cm
- 단과 단 사이의 거리 2.53cm(그림 66)

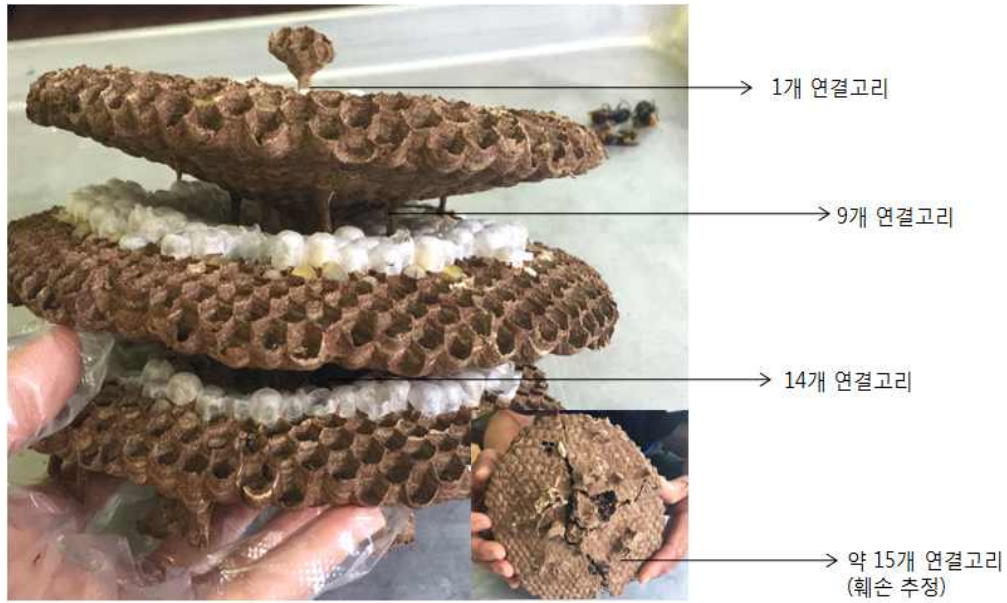


그림 66. Nest 내부 단과 단 사이의 연결고리 사진

- 알의 크기가 장수말벌에 비해 상대적으로 너무 작아 알에서 유충으로 변화하는 과정을 관찰하기가 매우 어려움
- 중심축을 중심으로 발산되어 있으며 가운데를 기점으로 알을 낳는 사이클로 추정됨(그림 67)

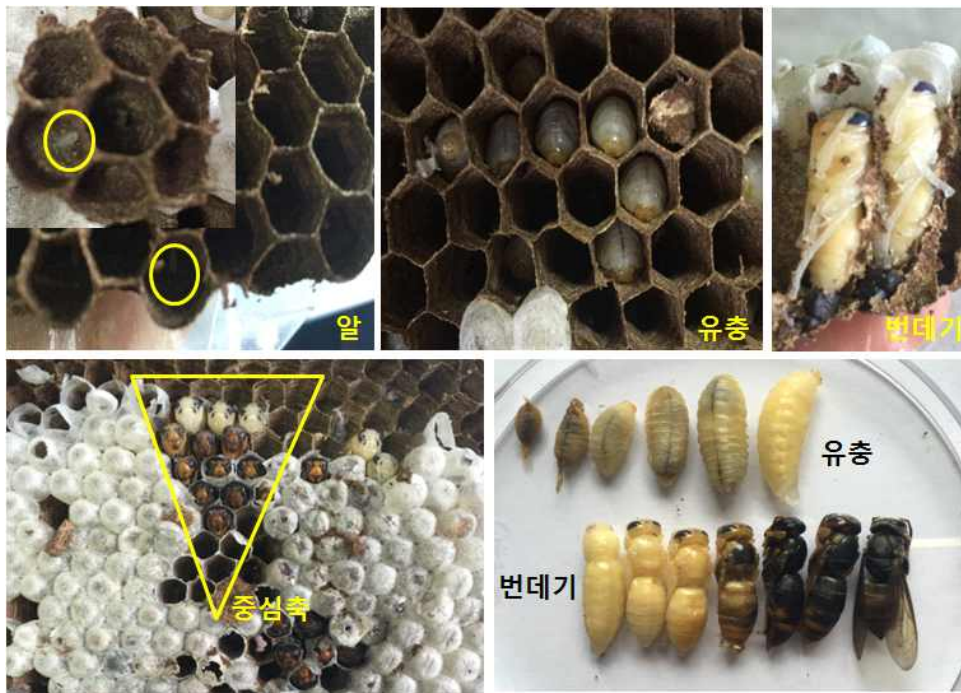


그림 67. Nest 안의 알, 유충, 번데기 사진

- 번데기 직적은 유충의 길이는 평균 2.36mm, 우화직전 번데기의 길이는 평균 2.25mm임 (그림 68)



그림 68. 번데기 직전 유충과 우화직전 번데기의 길이 측정 사진

- 벌집 개수 대비 비율은 알 40.42%, 유충은 11.69%, 번데기 37.13%임(표 9, 그림 69)

표 9. Nest의 구성비율 산출 근거 표

	1단	2단	3단	4단	합계
벌집	약530	약 452	약 379	7	약1368
알	약198	약145	약210	7	약553
유충	32	46	82	0	160
번데기	250	224	34	0	508
성충		약 222			약222



그림 69. Nest 전체의 유충, 번데기, 성충 사진

2) 등검은말벌 및 유해성 말벌 특이적 유인제 레시피 1차 개발

① 등검은말벌 특이적 식물성 유래 조추출물 탐색 및 1차 후보 유인제 제조

- 선행연구에서 검증된 유해성 말벌 유인제 제조 후 이를 바탕으로 한 등검은말벌 특이적 식물성 유래 조추출물 탐색 및 1차 후보 유인제 제조(그림 70, 71, 표 10)



그림 70. 유인제 제조 과정 사진 1



그림 71. 유인제 제조 과정 사진 2

표 10. 등검은말벌 유인제 제조용 재료 및 설탕물의 비율 표

분류	품명	중량(kg)	설탕물 중량(L)	재료와 설탕물 비율
목본류	참나무	9	90	1:10
초본류	어성초	7	70	1:10
과일류	포도	14	140	1:10
	매실	20	160	1:08
	복숭아	21	168	1:08
해조류	톳	11	110	1:10
	(건)미역	0.5	10	1:20
	(검)다시마	0.6	12	1:20
건어물류	(건)멸치	1.5	30	1:20
	(건)뱀포리	1.5	30	1:20
	(건)새우	1.5	30	1:20
어류	갈치	6	60	1:10
	고등어	9.5	95	1:10
	오징어	7.5	75	1:10
	돼지고기	7	70	1:10
참고	물과 설탕의 비율 = 약 1.5:1			

② 제조된 후보 유인제별 예비 유인력 측정 실험

- 페트리디쉬에 각 후보 유인제를 5 ~ 10ml을 넣고 5~15분간 실험함
- 가장 월등한 목본류 1종, 초본류 1종, 과일류 1종, 해조류 1종 선발을 위한 실험(그림 72)
- 가장 월등한 목본류 1종, 초본류 1종 선발, 과일류 및 해조류의 가장 월등한 1종 추가하여 선발함(그림 73)



그림 72. 식물성 유인제 7종의 간편 유인력 측정 실험 사진    그림 73. 각 분류별로 상위 1종을 추출하기 위한 실험 준비 사진

- 페트리디쉬 간편 실험의 경우 유인제가 소량(5~10ml)으로 유인효과가 미비하므로 유인제의 양을 늘리면서 등검은말벌이 빠지거나 날개가 젖지 않으며 지속적인 계수가 필요하지 않는 간편 실험 장치 고안함(그림 74)



그림 74. 등검은말벌 식물성 유인제 예비 유인력 1차 측정 실험을 위한 간편 포획기 제작 및 실험 수행

- 등검은말벌이 가장 안정적으로 유인제를 섭취할 수 있는 실험 환경 및 간편 실험 장치를 고안하여 예비 유인력 측정 실험을 수행하여 가장 월등한 목분류, 초분류, 과일류, 해조류에서 각 1종(참나무, 어성초, 포도, 다시마 총 4종)을 선발함(표 11)

표11. 등검은말벌 식물성 유인제 예비 유인력 측정 실험 결과

반복	참나무	포도	매실	복숭아	어성초	툇	다시마	미역
1	11	0	2	1	5	1	8	1
2	9	2	6	2	21	4	14	1
3	6	9	8	1	16	3	1	5
합계	26	11	16	4	42	8	23	7
10분 평균	8.67	3.67	5.33	1.33	14	2.67	7.67	2.33
순위	2	5	4	8	1	6	3	7

- 예비 실험을 통한 선별 결과와 제1세부의 휘발성 물질 분석 실험 및 결과가 일치하는 경향을 보임
- 예비 실험을 통한 우수, 보통, 미흡으로 선정된 결과가 제1세부의 휘발성 물질 분석 및 실험 결과가 어성초 28.5%, 참나무 21.8%, 다시마 17.3%, 복숭아 3.0%로 일치하는 경향을 Duncan-test 분석법을 통해 확인함(표 12)

표12. 등검은말벌 식물성 유인제 예비 유인력 측정 실험 결과

시료	유인력 평균 (%)	표준편차
참나무 <sup>a, b, 1)</sup>	21.8	14.0
포도 <sup>b, c</sup>	7.3	9.8
매실 <sup>b, c</sup>	11.1	4.8
복숭아 <sup>c</sup>	3.0	0.8
어성초 <sup>a</sup>	28.5	9.9
톳 <sup>b, c</sup>	5.5	1.8
다시마 <sup>a, b, c</sup>	17.3	13.8
미역 <sup>b, c</sup>	5.1	4.5

<sup>1)</sup>Duncan-test:  $P < 0.05$

③ 예비 유인력 측정결과 기준 1차 유인제 선정

- 높은 효율을 보이는 실험군 배합하여 시판 트랩을 사용하여 각 후보 유인제당 300ml을 넣고 온도에 따른 활동성에 기반하여 30분 ~ 2시간 유인 실험 계수
- 최종적으로 시판 장수말벌 유인 포획기를 사용하여 유인제 500ml를 넣고 3시간 동안 실험 후 계수(그림 75)





그림 75. 유인력 측정 실험을 통해 선발된 유인제의 조합 실험 사진

- 예비 유인력 측정 실험을 통해 선발된 총 4종과 유인력의 정도에 따라 선발된 유인제 4종 중 조합 실험 중 기존 대비 다소 향상된 유인제를 배합함

### 3) 간편 고효율 말벌 수거 장치 부착 포획기 개발

- ① 꿀벌의 탈출은 가능하나 등검은말벌의 탈출은 불가능하도록 유인병 천공의 최적화된 크기 연구 후 시작품 제작
  - 선행연구를 통한 천공구를 전문 업체에 의뢰하여 3D 디자인 모델링을 통해 도안을 확인한 후 3D 프린터를 이용하여 시작품을 출력
  - 실험 후 개선 사항 반영을 의뢰하여 3D 프린터를 이용하여 시작품을 출력
  - 등검은말벌의 몸체 사이즈 분류 연구를 통하여 기존 6.4mm의 유인병 천공구를 5.8mm로 축소하였으나 꿀벌이 빠져나가지 못하는 애로사항을 개선하기 위해 최종적으로 6.0mm로 유인병의 천공구를 개선함(그림 76)
  - 꿀벌이 천공구를 통해 탈출이 용이하도록 돌출된 턱을 설계하였으나 그 효과가 미비하여 턱의 높이를 올려 탈출 효율을 높임(그림 77)

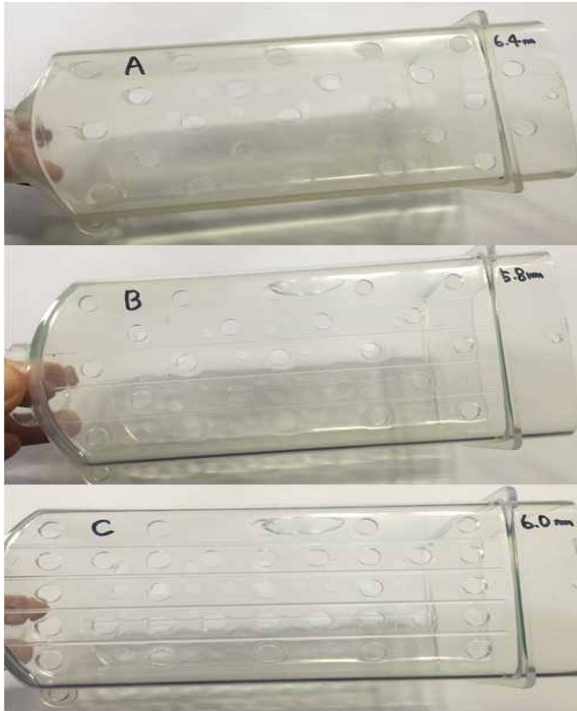


그림 76. 1, 2차에 걸쳐 최종적으로 제작된 탈출방지 유인병 시제품의 사진

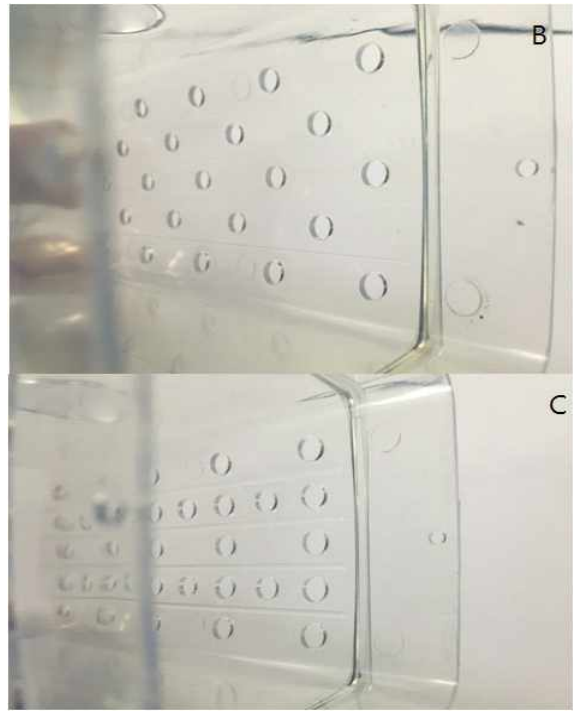


그림 77. 1 시작품을 개선한 2차 시작품의 천공구 및 탈출 디딤턱 상세 사진

② 총 3개의 유인구를 가진 포획 장치 설계 및 시작품 제작

- 생태특성에 기반하여 기존 포획기 상부에만 유인 가능했던 통로에 유인물질을 탑재, 용기를 추가 설계하고 좌우 채집통에도 통로 및 유인물질 탑재 용기를 추가 설계하여 유인 능력이 향상된 총 3개의 유인구를 가진 포획 장치 설계 및 시작품 제작함(그림 78)



그림 78. 1,2차에 걸쳐 최종적으로 제작된 유인물질 탑재가 추가된 시제품의 사진

- 추가 실험을 통하여 유인을 위한 발향성이 높은 마개를 선별하고, 유인구의 각도를 세부적

으로 조정하여 탈출하지 못하도록 심화된 연구를 진행(그림 79)



그림 79. 1,2차에 걸쳐 연구중인 유인구 추가를 위한 최적의 발향 마개와 유입 각도 시제품의 사진

③ 1차 개발 포획 장치 예비 포획력 측정

- 3D 프린터를 이용하여 출력한 샘플 트랩과 기존 트랩에 유인제 300ml을 넣고 온도에 따른 활동성에 기반하여 30분~2시간 유인 실험 및 계수(그림 80)



그림80. 1차 개발 포획 장치 예비 포획력 측정 실험 사진

- 등검은말벌의 탈출이 개선되고 유인구가 추가된 1차 개발 포획 장치의 예비 포획력 측정 결과 향상된 포획 능력을 확인함
- 중앙에만 유인제가 있었던 기존 시판 포획기와 달리 개선된 포획기는 좌우 유인병에 발향 물질을 탑재할 수 있어서 유인력이 향상될 뿐만 아니라 천공구의 크기를 꿀벌의 탈출은 가능하면서도 등검은말벌 탈출 방지에 최적화되어 있어 유입된 등검은말벌 포획률이 향상됨
- 포획 실험 중 관찰하면서 기존 포획기에 유인된 대부분의 등검은말벌이 천공구를 통해 탈출하는 것을 관찰하였음, 효과적인 포획을 위하여 유인력 향상을 위한 발향 공간 확대와 동시에 유입된 등검은말벌이 탈출하지 못하도록 막는 두 가지 기술이 시너지 효과를 내어 결과값의 차이가 큰 것으로 고찰함(표 13)

표13. 1, 2차에 걸쳐 최종적으로 제작된 장치를 장착한 포획 실험 결과

반복	기존 포획기	개선 포획기
1	4	25
2	6	18
3	7	23
4	10	26
5	6	24
합계	33	116
평균	6.6	23.2

#### 4) 말벌침입시의 조기감지 경보장치 개발

##### ① 등검은말벌 조기감지에 적합한 물체감지센서 탐색 및 활용 가능성 조사

- 센서, 중앙처리장치, 알람장치의 효율적인 구성과 안정적으로 전원을 공급할 수 있는 배터리 전원장치 및 태양광 전원 장치를 탐색
- 다양한 센서 탐색 후 적용 가능한 센서 예비 선정함
- 센서 선정 기준 : 외부의 자극을 감지하는 부분으로 빛, 소리, 열 등의 신호를 기반으로 함. 감지해야하는 대상이 말벌로 일반적인 센서의 감지 대상보다는 작은 경향이 있음. 이를 고려하여 적절한 감지 센서를 선정함
- 중앙처리장치 고려 사항 : 센서에서 들어온 정보를 바탕으로 말벌의 유입여부를 판단해야 함. 포획기 내부로 유인되는 대상 중에서 말벌을 분류할 수 있는 방법을 고려 해야 함. 실제 포획기로는 말벌뿐 아니라 꿀벌, 나방류, 파리와 같은 다른 곤충들도 유인될 수 있음
- 알람 장치 방법안 : 중앙처리장치의 연산결과를 바탕으로 사용자에게 말벌 유입 여부를 전달. 알람의 방법은 사이렌과 같은 소리를 통한 알람, 통신을 이용한 알람, 램프의 점등 등의 방법
- 태양광 전원장치 고려 사항(시스템의 전원을 공급하는 장치) : 일반적으로 가정용 전기를 이용하는 방법도 있으나, 불가능한 지역도 사용이 가능하도록 태양광을 이용하여 전원을 공급
- 감지센서 종류 : 감지센서는 일반적으로 적외선, 초음파, 빛 등의 발산신호를 이용하여 반사, 차단 등의 기법을 이용하여 물체의 유무, 거리 등을 측정할 수 있음
- 광 화이버센서 : 포토센서의 절대 조건인 렌즈를 제거한 앰프에 광 화이버 케이블을 조합

한 센서로서, 빠른 응답속도와 마크와 같은 초소형 물체의 유, 무를 검출하는 용도로 사용. 특히 광 화이버 케이블의 유연한 성질을 이용하여 공간이 좁은 곳에서도 자유롭게 설치하여 사용할 수 있으며, 고온에서도 사용할 수 있음(그림 81)



그림 81. 광화이버 센서 대표 사진



그림 82. 근접 센서 대표 사진

- 근접센서 : 정전용량형 근접센서 CR 시리즈는, 철, 금속, 플라스틱, 물, 돌, 분체 등 유전율을 갖고 있는 물체를 검출할 수 있는 근접센서로, 레벨 및 위치제어에 다방면으로 쓰임. 또한 감도조정 볼륨 내장으로 검출거리의 조절이 용이하여, 사용자 환경에 따라 폭넓은 적용이 가능(그림 82)



그림 83. 에어리어 센서 대표 사진



그림 84. 포토 센서 대표 사진



그림 85. 적외선 센서 대표 사진

- 에어리어센서 : 센서의 조합을 통해 면적 혹은 일정 라인을 통과하는 사물을 인지(그림 83)

- 포토센서(광센서) : 빛 자체 또는 빛에 포함되는 정보를 전기신호로 변환하여 감지하는 소자. 감지가 비접촉, 비파괴, 고속도, 주변에 잡음의 영향을 주지 않음(그림 84)
- 적외선 센서 : 적외선을 이용해 온도, 압력, 방사선의 세기 등의 물리량이나 화학량을 감지하여 신호처리가 가능한 전기량으로 변환하는 장치. 기계가 적외선을 발산하여 차단되는 것을 감지하는 것과 주변의 적외선을 검출하는 두 종류(그림 85)
- 센서, 중앙처리장치, 알람장치의 효율적인 구성과 안정적으로 전원을 공급할 수 있는 배터리 전원장치 및 태양광 전원 장치를 탐색 연구 중이며 다양한 센서 탐색 후 에이리어 센서 및 근접센서를 기반으로 한 경보장치 구성을 연구 중임(그림 86)

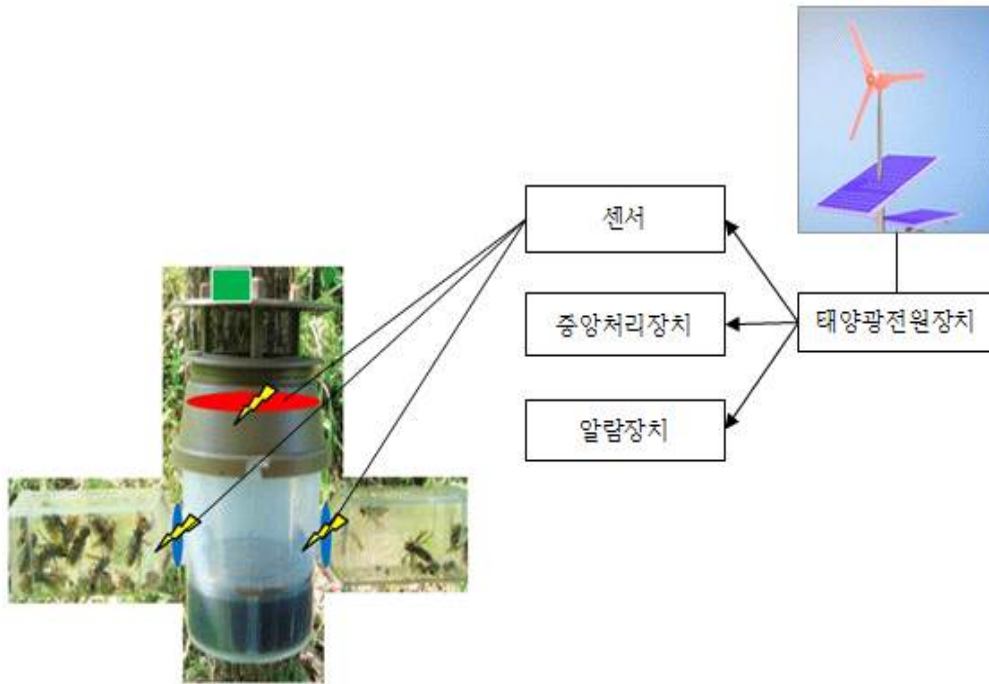


그림 86. 조기감지 경보장치의 개념도

#### ○ 제1협동 1년차 연구 결과 요약

- 등검은말벌의 생물·생태학적 특성을 연구하기 위하여 등검은말벌 집 샘플을 확보하여 이전 사육을 연구한 결과, 등검은말벌 사육의 가능성을 확인할 수 있었고, Nest 해체를 통한 개체군 동향을 조사한 결과 등검은말벌 집은 주로 10M이상의 높은 나무에 위치하고 있었으나 국내 토종 말벌의 생활사와 비슷한 형태를 가지고 있음을 확인할 수 있었음
- 목분류, 초분류, 과일류 등의 등검은말벌 특이적 식물성 유래 조추출물을 탐색하여 1차 후보 유인제를 제조하여 예비 비교 실험을 통해 시판 유인제보다 유인 포획 효과가 향상된 1차 시료를 제 1세부에 전달하였고, 예비 실험에 따른 유인 포집 결과는 제 1세부의 GC 분석 물질 함량과 일치하는 경향을 확인할 수 있었음
- 기존 장수말벌을 타겟으로 고안된 제1협동의 시판 포획기의 문제점을 개선하여 꿀벌의 탈출은 가능하나 등검은말벌의 탈출은 불가능하도록 포획기의 유인병 천공을 등검은말벌 포획에 최적화된 크기를 실험 연구 하여 6mm로 최적화하여 제 1세부에 전달함. 또한 총 3개의 유인구를 가진 포획 장치를 설계하여 시작품으로 제작하여 예비 포획력을 측정하여 탈출 방지와 유인력 향상의 시너지 효과를 갖춘 포획기를 개발 연구함

- 등검은말벌 조기감지장치를 개발하기 위해 효율적인 감지 센서 및 활용 가능성을 광범위하게 조사하여 리스트업 하였음
- 1건의 특허출원 성과 달성함(2016년, 해충 포획기, 주식회사 다목에코텍, 대한민국, 10-2016-0180878)
- 1건의 정책활용 성과 달성함(2016년, (주)다목에코텍에서 (사)한국양봉협회로 신종 해외 유입 유해성 말벌 「등검은말벌」의 조기방제 홍보 및 협조 요청함)
- 1건의 교육 및 컨설팅 성과 달성함(2016년, ‘안전한 벌집제거 현장대응 방안 마련 전문회의’ 주제로 벌집제거 출동대원을 대상으로 하는 효과적인 벌집제거 방안 교육함)
- 2건의 인력양성 성과 달성함(학사, 이진실, (주)다목에코텍 해충생태연구팀으로 소속되어 신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발 연구 전반에 투입됨)(기타, 이종현, (주)다목에코텍에 소속되어 포획기 3D 설계 및 시제품 제작 업무 담당)
- 2건의 전시회 참가 성과 달성함(2016년, 우수 농산물 테크 페어에서 ‘해충유입포획제’ 전시 및 홍보)(2016년, 친환경 표준 재배기술 개발 심포지엄에서 ‘장수말벌포획기’ 전시 및 홍보)

## 나. 2년차 연구수행 내용 및 결과

### (가) 제1세부 연구수행 내용 및 결과(유해성 말벌 유인제 및 포획기 효능검정 및 유인제 표준화 연구, 전남대 김익수, 전남대 김인선)

#### 1) 기존 포획기 대비 1차 개발된 시판 포획기와 비교시험을 통한 개발 포획기 효능 검정

##### ① 봄철 국내 유해성 말벌 출현 현황 및 등검은말벌 여왕벌 발생양상 조사 및 제1협동(㈜다목에코텍) 및 시판중인 XX사의 말벌포획기의 말벌 포획개체 수 비교

- 포획기 설치 장소 : 1년차 때 등검은말벌이 많이 포획되었던 담양 두 곳 및 곡성 양봉장 인근 야산 3곳을 선정함(그림 87)



그림 87. 검은말벌이 다수 출현했던 양봉장 인근 야산 위치 및 포획기 설치 사진  
(곡성A : 곡성군 곡성읍, 담양A, B : 담양군 학선리)

- 2017년 2월 중순(15일)부터 5월 말까지 1 ~ 2주 간격으로 곡성 및 담양 야산 3곳에 본 연구를 통해 개발된 1차 유인제를 장착한 (주)다목에코텍의 2016년도 시판 포획기와 XX사의 포획기를 설치 후 2016년도 시판중인 XX사의 포획기에 대한 비교 및 등검은말벌 여왕벌 발생현황에 대하여 조사함(그림 88)



그림 88. (주)다목에코텍의 2016년도 시판 포획기(우)와 XX사의 포획기(좌) 설치 사진



- 유인제 투입 및 포획기 설치 : (주)다목에코텍의 기존 포획기와 새로 출시된 XX사의 말벌 포획기를 구입하였고 1년차에 개발된 (주)다목에코텍의 1차 유인제를 이용하여 각 야산에 각 포획기를 1대씩 설치함. 설치된 포획기에 1차 유인제 200ml씩 투입함
- 말벌류 출현 시기 조사 결과, 4월 12일 등검은말벌이 가장 먼저 출현한 이후 4월 20일 말벌, 5월 4일 장수말벌, 쯤말벌, 털보말벌, 5월 24일 꼬마장수말벌 순으로 출현함을 확인함 (그림 89)

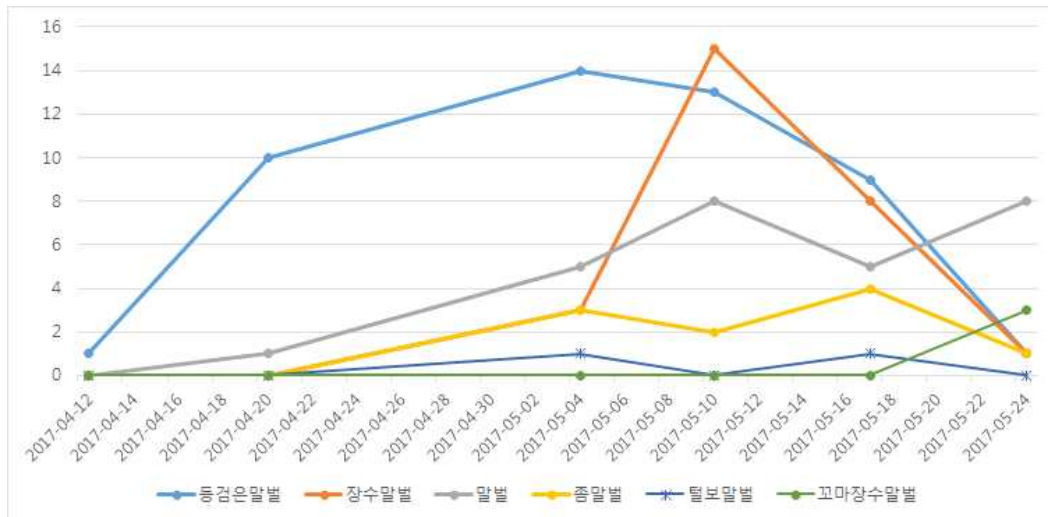


그림 89. 2~5월 말벌류 출현 현황

- 등검은말벌 여왕벌의 발생양상을 조사한 결과, 4월 12일 첫 여왕벌이 출현함. 이후 4월 20일 포획된 10개체의 등검은말벌 중 7개체가 여왕벌임을 확인함
- 여왕벌 구분은 해부학적 특성을 이용하여 수란관내 알의 유무를 비교 분석하여 일벌과 여왕벌 개체를 구분하였음(그림 90)



좌 : 일벌, 우 : 여왕벌



좌 : 일벌, 우 : 여왕벌



여왕벌



해부를 통한 여왕벌 확인



일벌

그림 90. 등검은말벌 일벌과 여왕벌 해부사진

- 전반적으로 5월 4일 가장 많은 등검은말벌 개체수가 포획되었고 일벌과 여왕벌이 동시 발

생함, 이후 부터는 등검은말벌 여왕벌과 일벌의 개체수는 서서히 감소 하였으며, 5월 10일 이후부터 포획된 개체들은 여왕벌이 아닌 일벌임을 확인함

- 추가적으로 제1협동, (주)다목에코텍의 2016년도 시판 말벌 포획기와 XX사의 말벌 포획기의 말벌류 포획량을 비교한 결과, 전체 말벌류 포획량(81:36) 및 등검은말벌 포획량(30:18)에서 (주)다목에코텍의 시판 포획기가 대략 두 배 혹은 그 이상의 차이로 등검은말벌 포획력이 우수한 것으로 판단됨(그림 91, 92)

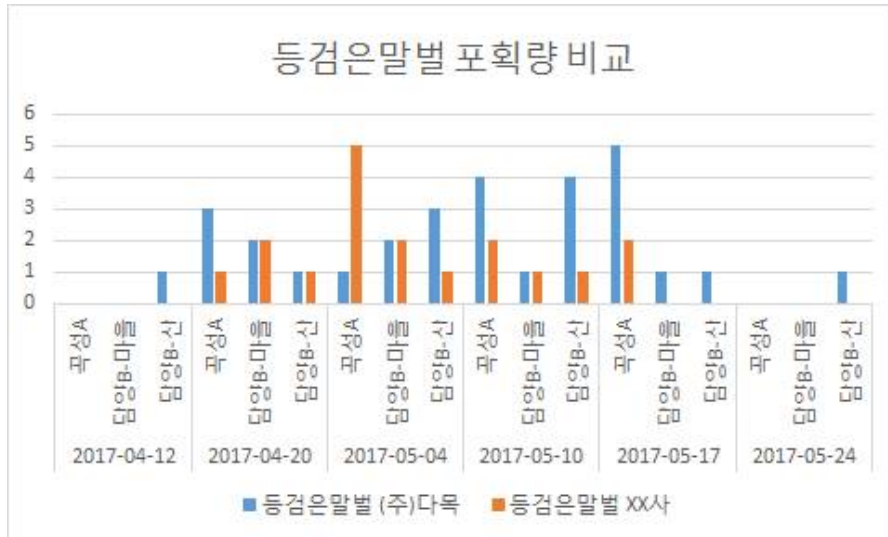


그림 91. 등검은말벌 포획량 비교

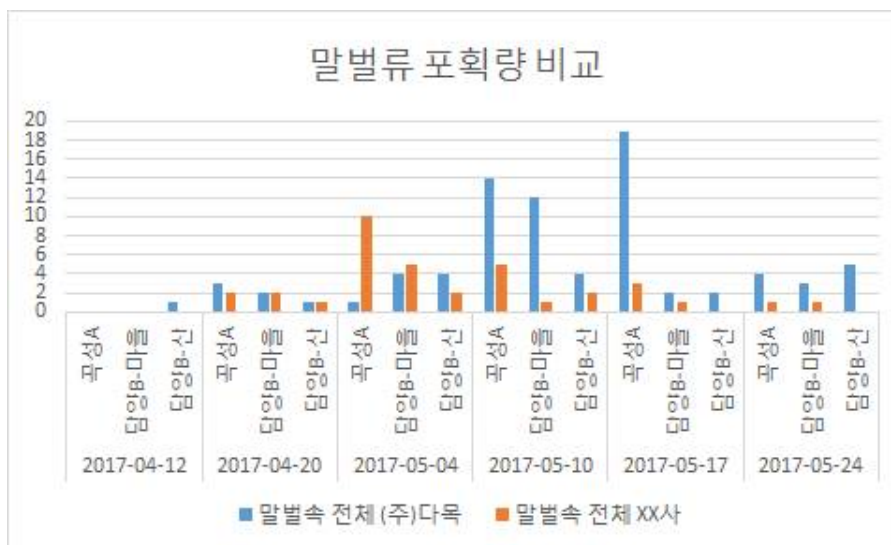


그림 92. 말벌류 포획량 비교

② 등검은말벌 전국 출현 양상 확인을 위한 조사

- 2017년 10월 12~14일에 강원, 경기, 충남, 경남, 경북 지역 양봉장과 방문하여 등검은말벌 발생 양상을 조사함(그림 93, 94)

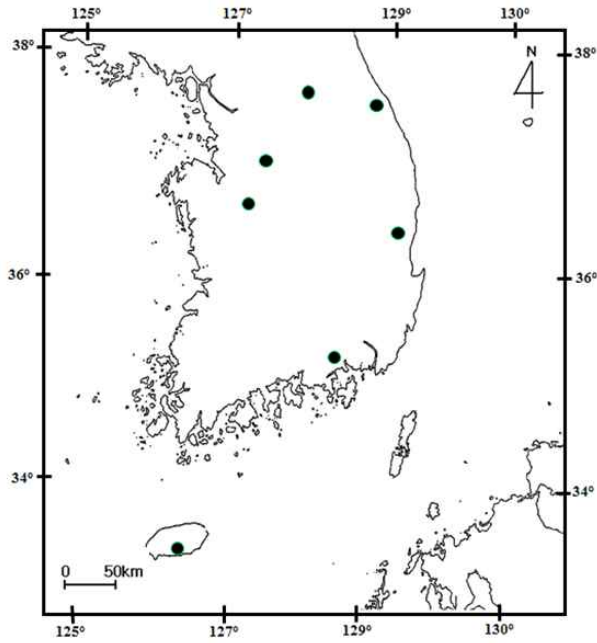


그림 93. 전국 채집 지역



그림 94. 채집 지역 양봉장 사진(제주도 제외)

- 제주도의 경우 2017년 10월 20~21일에 제주도 애월 지역의 양봉장, 한라산 주변에 각각 기존 시판중인 포획기를 2대씩 설치하였음(그림 95)



제주도 애월읍



제주도 한라산

그림 95. 제주도 양봉장 및 한라산에서 포획기 설치 사진

- 출현 양상 조사는 내륙지역의 경우 각 양봉장에서 약 30분동안 등검은말벌의 출현 개체수를 조사함. 그리고 각 양봉장 사장님들의 의견을 종합적으로 검토함
- 경남 지역에서 9월부터 10월 10일까지 파리채로 방제시 하루 1000마리 이상 출현됨. 그러나 조사당일인 10월 12일부터 기온이 크게 감소하여 등검은말벌의 개체수가 크게 감소하여 활동하는 등검은말벌은 4개체를 관찰함
- 10월 12일, 충남 지역에서 낮은 기온과 폭우로 인해 등검은말벌의 활동은 볼 수 없었음. 양봉장 농가 의견에 의하면 9월~10월 초까지 하루 100개체 이상씩 등검은말벌을 포획한다고 함
- 10월 13일, 강원도 강릉지역에서 활동하는 등검은말벌은 한 마리도 보지 못했으나 양봉장 농가 의견에 의하면 10월부터 보이는 등검은말벌을 모두 포획 했을 때 총 6개체를 포획함. 8~9월부터 등검은말벌이 가끔 보이긴 하나 방제가 필요 없을 정도로 타격을 입히지는 않음

- 10월 13일, 강원도 춘천 지역에서는 활동하는 등검은말벌은 한 마리도 보지 못하였으며, 양봉장 농가 또한 등검은말벌을 한 개체도 보지 못함
- 10월 13일, 경기 평택 지역에서 활동하는 등검은말벌은 10개체 정도 확인함. 양봉장 농가의 의견으로 9~10월 초 하루 평균 100개체 정도 포획함
- 10월 14일, 충남 천안 지역에서 활동하는 등검은말벌은 10개체 정도 확인함. 양봉장 농가의 의견으로 9~10월 초 하루 평균 100개체 이상 포획함
- 10월 20~21일, 제주도 지역에서는 황말벌만 발견되었고 등검은말벌은 발견되지 않았으며, 제주도 양봉장 농가들도 등검은말벌을 한 마리도 보지 못함
- 이러한 결과는 아직 확산중에 있으나 중부지방의 기온이 남부지방보다 낮기 때문에 확산속도가 더딘 것으로 판단되며, 아열대성인 등검은말벌 개체군이 중부지방으로 이동할수록 낮은 기온으로 인해 환경에 적응하기 어려울 것으로 생각됨

### ③ 제1협동 개발 시판 1차 포획기 효능 검정

- 기존 판매되고 있는 포획기는 말벌포획능력이 우수하나 꿀벌과 나비목 곤충이 다수 포획되는 문제가 있었음. 1년차 연구과정에서 농가의 의견을 청취한 결과 꿀벌 포획을 획기적으로 저감 할 수 있는 포획기 개발을 요청한 바 있었고, 나비목의 경우의 연구과제 선정 당시 저감 방안에 대해 심사위원의 지적이 있었음. 이를 해결하기 위해 제1협동에서 유해성 말벌류에 더 특이적인 포획기를 개발하여 꿀벌과 나비목 포획을 감소시키고 말벌 포획력을 향상시키고자 하였음
- 8월부터 10월 중순까지 담양 및 곡성에서 각각 시중 판매되고 있는 포획기(기존 포획기, 그림 8)와 제1협동 개발 1차 시판 포획기(1차 포획기, 그림 9)를 양봉농가에 3쌍씩 설치하여 총 3곳에 효능검정 실험을 수행하였음. 이에 도출된 실험결과에 따라 총 3회의 추가 개발이 이루어 졌음(ver. 1 ~ ver. 4). 실험결과는 도출되는 대로 제1협동에 피드백함
- 유인제 : 지난 1년차 결과로 등검은말벌 포획능력이 더 우수한 어성초의 성분이 부가 함유된 제1협동(주, 다목에코텍) 개발 1차 유인제를 이용하여 등검은말벌, 꿀벌, 나비목 포획량 비교함
- 포획기 : 지난 1년차 data를 볼 때 2016년도 시판 포획기는 꿀벌과 기타 곤충들이 들어와 큰 문제가 있었음. 이를 해결하기 위해 2016년도 시판 포획기를 변형한 1차 포획기를 제작하여 실험
- 포획기 설치 : 8월 14일부터 주1~2회 작년 등검은말벌이 다수 발생했던 3개 양봉장(곡성A, 곡성B, 담양B)을 본 실험을 위한 장소로 선정함. 그러나 양봉장 관리가 소홀했던 곡성A에서 말벌로 인해 꿀벌이 전멸하여 양봉을 포기함. 따라서 9월 11일부터 곡성A의 포획기를 철수하였고 등검은말벌이 다수 발생했던 담양(담양C) 인근 새로운 양봉장에 포획기를 설치함(그림 96)



그림 96. 포획기 설치 장소

- 1차 개발 유인제를 2016년도 시판 포획기에 200mL씩 투입 후 약 1~1.5m 높이로 1~5m 간격이내, 양봉장 주변에 3쌍씩 설치 후 9월부터 5일 ~ 7일 간격으로 관찰함. 유인제 교체 시 기존 포획기와 1차 포획기의 설치 위치를 교체함. 또한 매 관찰시 새 포획기와 유인제로 교체함
- 수거한 포획기로부터 포획개체 분리 : 곤충 채집시 사용되는 에틸아세테이트를 이용하여 야외에서 죽이고 전남대학교로 이동 후 -70°C 냉동고에 30분 이상 냉동하여 모든 개체를 완전히 죽인 후 분류 및 개체수를 측정하였음
- 수거한 포획기로부터 포획개체 분류 : 분리시킨 개체들은 전남대학교 곤충 분자계통분류 및 생태학 실험실의 -70°C 냉동고에서 사멸시킨 모든 개체들을 분류함. 동정시 훼손된 개체들(말벌, 나비목, 꿀벌 등)은 배부분을 동정하여 포획 개체수를 측정함. 포획된 등검은말벌 중 수벌은 배마디 끝이 일벌과 달리 침이 없는 형태적 차이를 이용하여 분류 후 개체수를 계수함
- 1차 포획기(ver. 1) 개발 내용(그림 97, 98)
  - A. 상단부 : 나비목 곤충 및 대형 곤충이 들어가지 않도록 출입구의 크기를 축소시킴
  - B. 하단부 : 유입된 꿀벌이 탈출 할 수 있는 타원형의 구멍 6개와 유인제에 빠져 죽지 않도록 걸림판을 설치함
  - C. 호롱불 심지 : 유입된 꿀벌 및 말벌류 등이 유인제를 직접 흡입하지 못하게 접근을 차단시키기 위함
  - D. 유인병 : 꿀벌 탈출구가 원형에서 타원형으로 변경되었고 말벌이 유입될 수 있는 출입구 제작함

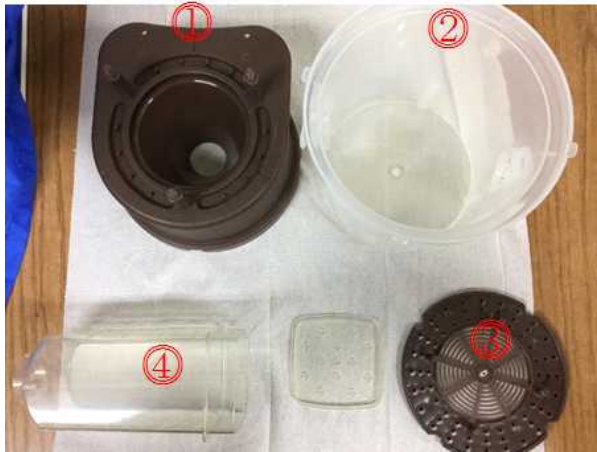


그림 97. 기존 포획기

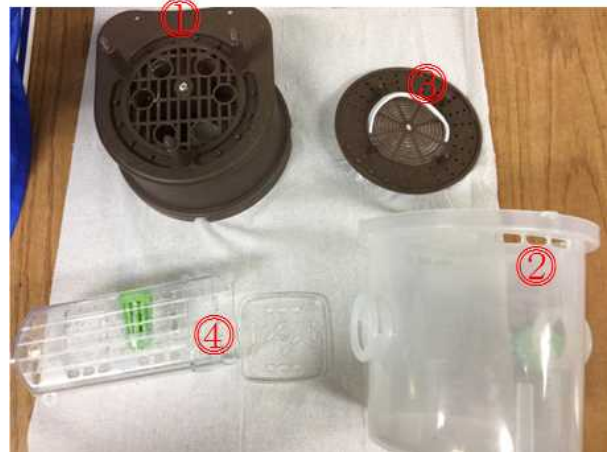


그림 98. 1차 포획기(ver. 1) 구성품

- 포획 개체 비교 : 설치한 포획기로부터 나비목과 꿀벌 포획량을 비교한 결과, 조사 시기에 따라 일부 차이가 있었으나 새롭게 개량한 1차 포획기(ver. 1)에서 이들 포획량이 많이 감소하였음. 특히 나비목의 경우 기존 포획기와 1차 포획기를 비교한 결과, 총 포획된 개체수가 1166:78 (대략 15배 비율) 개체 차이를 보여 매우 큰 폭으로 감소되었음을 확인하였음 (그림 99). 반면, 등검은말벌의 경우 2016년도 시판 포획기가 더 포획력이 높았음(그림 100)

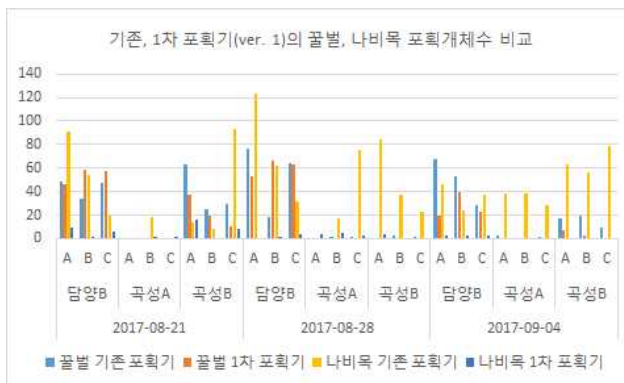


그림 99. 기존 포획기와 1차 포획기(ver. 1)의 꿀벌, 나비목 포획 개체수 비교

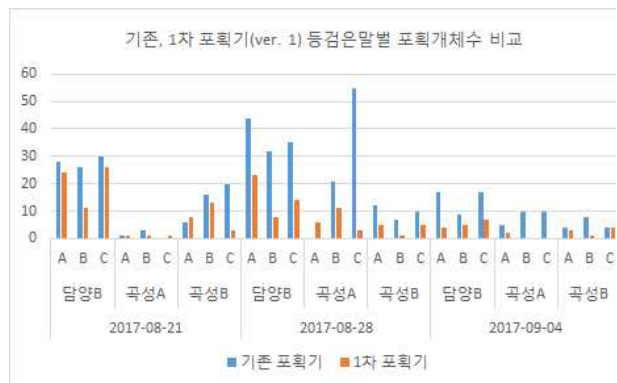


그림 100. 기존 포획기와 1차 포획기(ver. 1)의 등검은말벌 포획 개체수 비교

- 이상의 결과를 바탕으로 1차 포획기(ver. 1)의 말벌 포획력을 향상시키기 위해 제 1협동에 포획 결과를 피드백함. 이에 1차 포획기의 ver. 2를 제작하여 다시 포획력 실험을 수행함
- 1차 포획기(ver. 2) 개발 내용(그림 101)
  - A. 상단부 : 1차 포획기 상단부의 각 기둥 4곳에 유인제를 묻힌 거즈로 감아 말벌이 더 유인될 수 있도록 함
  - 유인병 : 유인병 윗 부분에 유인제를 묻힌 솜을 넣을 수 있게 구멍을 개조하였고 옆 부분으로 말벌이 유입될 수 있도록 출입구를 제작함



그림 101. 1차 포획기(ver. 2) 상단부와 유인병

- 포획 개체 비교 : 1차 포획기(ver. 2)와 기존 시판 포획기의 등검은말벌, 꿀벌 및 나비목 포획량을 비교한 결과, 꿀벌과 나비목 개체들은 기존 포획기에 비해 포획력이 여전히 감소하였지만(그림 102), 등검은말벌의 포획량이 여전히 낮음을 확인함(그림 103)

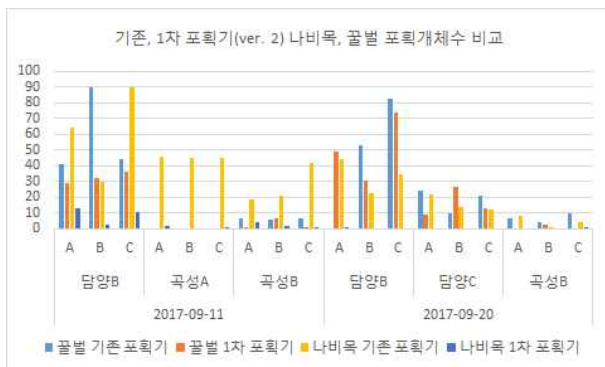


그림 102. 기존 포획기와 1차 포획기(ver. 2)의 꿀벌, 나비목 포획 개체수 비교

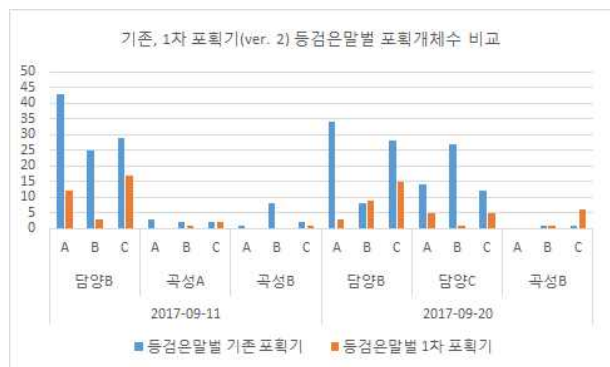


그림 103. 기존 포획기와 1차 포획기(ver. 2)의 등검은말벌 포획 개체수 비교

- 이에 따라 1차 포획기(ver. 2)의 말벌 포획력을 향상 위해 제1협동에 포획 결과를 피드백함. 이에 1차 포획기 ver. 3을 제작하여 다시 포획력 실험을 수행함
- 1차 포획기(ver. 3) 개발 내용(그림 104)



그림 104. 1차 포획기(ver. 3)의 하단부

A. 하단부 : 포획기 하단부에 말벌이 들어갈 수 있는 2개의 유인 구멍 설치

- 포획 개체 비교 : 1차 포획기(ver. 3)를 기존 포획기와 포획된 등검은말벌, 꿀벌, 나비목 포획량을 비교한 결과, 꿀벌과 나비목은 기존 포획기에 비해 꾸준히 포획력이 감소하였으나 (그림 105), 등검은말벌의 포획 개체수는 1차 포획기(ver. 2)에 비해 많이 향상 되었으나 여전히 포획력은 기존 포획기에 비해 향상되지 못함(그림 106)

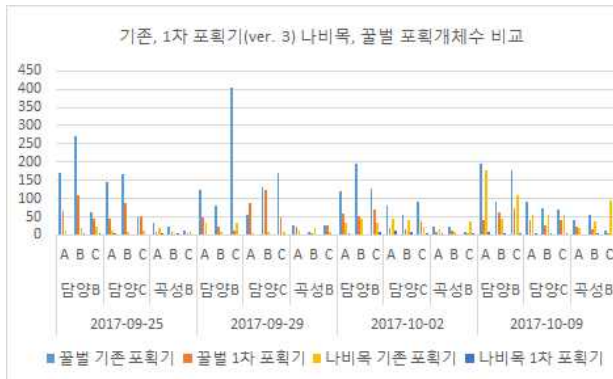


그림 105. 기존 포획기와 1차 포획기(ver. 3)의 꿀벌, 나비목 포획 개체수 비교

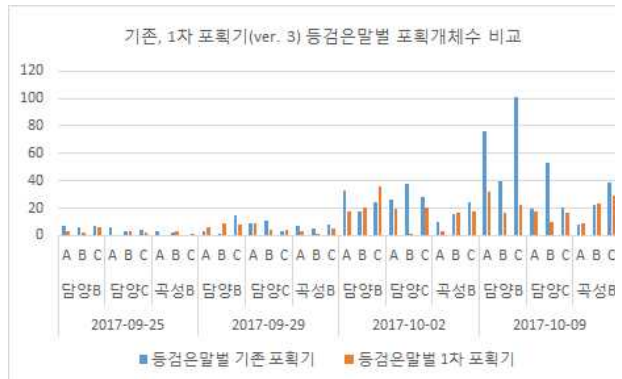


그림 106. 기존 포획기와 1차 포획기(ver. 3)의 등검은말벌 포획 개체수 비교

- 1차 포획기(ver. 3)의 말벌 포획력을 향상시키기 위해 제 1협동에 포획 결과를 피드백함. 이에 1차 포획기 ver. 4를 제작하여 다시 포획력 실험을 수행함
- 1차 포획기(ver. 4) 개발 내용(그림 107)

A. 1차 포획기의 상단부를 기존 포획기 상단부로 교체함





1차 포획기 ver. 1~3 상단부



1차 포획기 ver. 4 상단부

그림 107. 1차 포획기 ver. 4 상단부

- 포획 개체 비교 : 1차 포획기(ver. 4)를 기존 포획기와 포획된 등검은말벌, 꿀벌, 나비목 포획량을 비교한 결과, 꿀벌과 나비목 포획량은 감소하였으나(그림 108), 여전히 등검은말벌 포획력은 향상 못하여 큰 효과를 나타내지 못함(그림 109)

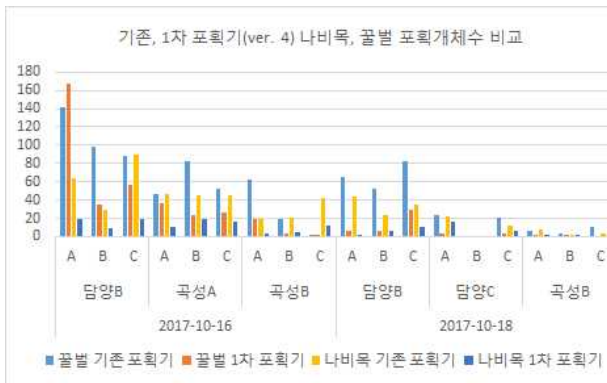


그림 108. 기존 포획기와 1차 포획기(ver. 4)의 꿀벌, 나비목 포획 개체수 비교

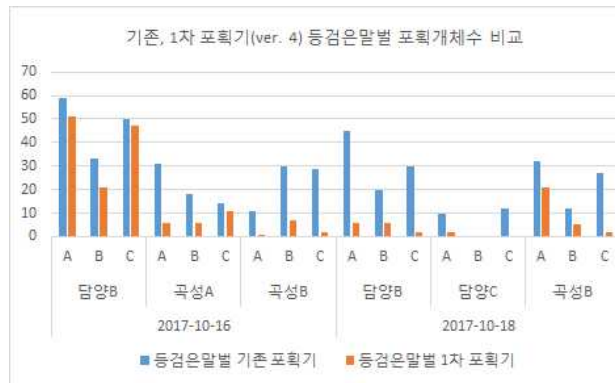


그림 109. 기존 포획기와 1차 포획기(ver. 4)의 등검은말벌 포획 개체수 비교

- 이러한 결과를 토대로 등검은말벌의 생태 특성(집단성, 출현시기 등) 및 양봉농가의 의견(편리성, 꿀벌 탈출 성공률, 기타 곤충 포획력 감소 등) 등을 고려하여 3차년도에 제1협동에서 새로운 형태의 2차 개발 포획기를 개발하기로 결정함. 그러나 더 큰 문제는 2017년도 경상도 지역 및 전라도 양봉농가의 의견을 청취해보면 등검은말벌 발생이 너무 크게 증가하여 현 소형 포획기 형태로는 등검은말벌의 피해 감소에 크게 기여 할 수 없다고 주장함. 또한, 현 농가의 등검은말벌 제거 방법으로 포획기가 제 2순위 방제방법(1순위 잠자리채: 제 3세부 과제연구 결과) 임을 고려 할 때 포획기에 대한 획기적인 개선이 필요한 실정임. 이에 제 1협동은 차년도 연구를 위해 준비해온 대형 포획기의 초기 version을 조기 완성하여 기존 소형 포획기에 비해 당연히 높은 포획력이 있음을 확인하였고 이 결과에 대해 본 세부과제에서 예비적 검정을 수행하였음

④ 기존포획기와 초기 version의 2차 대형 포획기의 효능 테스트

- 기존 포획기와 농가의 의견 및 (주)다목에코텍의 기술 및 정보를 바탕으로 제작한 2차 대형 포획기를 순천인근 야산과 양봉장에 각각 설치하여 등검은말벌 포획량을 비교함(그림 110)



그림 110. 야산 및 양봉장 인근에 설치한 기존(왼쪽 및 오른쪽), 2차 대형포획기 설치 사진(오른쪽 및 왼쪽)

- 기존 포획기: 포획기 사용 매뉴얼에 맞추어 포획기 내에 시판 유인제 400ml를 넣음
- 2차 대형 포획기: 내부에 2L 이상의 시판 유인제와 추가성분(4-5가지)(추후 ‘복합유인제’라 명명함)을 넣고 2차 포획기를 설치함(그림 111)



그림 111. 2차 대형 포획기 설치 사진

- 이를 반영하여 앞서 언급한 바와 같이 제 1협동인 (주)다목에코텍에서 대형화된 포획기의 초기 version을 제작하였고, 2016년도 초기의 시판 포획기와 비교실험 해본 결과 2016년도 시판 포획기에 등검은말벌이 2~3마리 포획될 때 2차 대형 포획기에서는 최소 10마리 이상의 등검은말벌의 포획되었으며 2차 실험결과, 시판 포획기가 20마리정도 일 때 대형 포획기의 초기 version은 120마리정도(살아있는 상태이고 내부의 하단 부위가 보이지 않아 정

확한 계수가 현재는 어려우며 이는 차후 개선 예정임)가 포획되어 압도적인 차이로 2차 대형 포획기가 우수함을 간략실험 결과 확인하였음(그림 112, 113)



그림 112. 개발중인 2차 포획기



그림 113. 10월20일 하루동안 말벌을 포획한 대형 포획기 상황

- 그러나 2차 대형 포획기에 포획된 말벌을 제대로 수를 셀 수 없어 수치적으로 말벌 포획수를 나타낼수 없는 문제점과 안전하게 말벌을 처리하는 방안이 아직 모색되지 않았고 가장 중요한 문제인 어떤 유인제들을 어떠한 비율로 했을 때 가장 효과가 좋은지는 차년도에 구명하고자 하였음
- 따라서 다음해 안정적으로 말벌을 처리하여 포획된 말벌의 수를 제대로 셀 수 있는 방안과 어떠한 유인제들을 어떤 비율로 하였을 때 가장 이상적인 효과가 나타나는지에 대한 조사가 필요함

2) 등검은말벌 및 유해성 말벌 특이적 2차 유인제 효능 검정

- ① 1년차 등검은말벌 우수 유인제인 어성초 성분이 함유된 1차 유인제와 1차 유인제와 동물성 성분을 포함하여 제작한 2차 개발 유인제의 효능 테스트
  - 유인제 : 지난 1년차 결과를 바탕으로 등검은말벌 포획능력이 더 우수한 어성초의 성분이 부가 함유된 제1협동(주, 다목에코텍) 개발 1차 유인제에 1차 유인제에 더하여 동물성 성분(등검은말벌)을 침치시켜 개발한 2차 유인제에 대해 등검은말벌, 꿀벌, 나비목 포획량 비교함
  - 포획기 : 전년도에 비해 등검은말벌의 발생수가 감소한 상황에서 등검은말벌을 최대한 포획한 결과끼리 비교하기 위해 7 ~ 9월 포획 결과를 비교한 후 기존 포획기가 등검은말벌 포획능력이 더 우수하다고 판단되어 기존 포획기를 사용함
  - 포획기 설치 : 당해년도 7~9월 등검은말벌이 다수 발생하고 있는 담양지역의 새로운 양봉장(담양D)은 10월 2일부터, 포획기 실험이 종료된 3개의 기존 양봉장(곡성A, 곡성B, 담양B)은 10월 16일부터 포획기를 설치함(그림 114)



그림 114. 포획기 설치 장소 및 담양D 지역 사진

- 1차 유인제와 2차 개발 유인제를 기존 시판중인 포획기에 200mL 씩 투입 후 약 1~1.5m 높이로 1~5m 간격이내, 양봉장 주변에 3쌍씩 설치함. 유인제 교체시 시판 유인제와 1차 유인제의 설치 위치를 교체함. 또한 매 관찰시 새 포획기와 유인제로 교체함
- 수거한 포획기로부터 포획개체 분리 : 곤충 채집시 사용되는 에틸아세테이트를 이용하여 야외에서 죽인 후 전남대학교로 이동 후  $-70^{\circ}\text{C}$  냉동고에 30분 이상 냉동하여 모든 개체를 완전히 죽인 후 분류 및 개체수를 측정하였음
- 수거한 포획기로부터 포획개체 분류 : 분리한 개체들은 전남대학교 곤충 분자계통분류 및 생태 실험실의  $-70^{\circ}\text{C}$  냉동고에서 사멸시킨 모든 개체들을 분류함. 동정시 훼손된 개체들(말벌, 나비목, 꿀벌 등)은 배부분을 동정하여 포획 개체수를 측정함. 포획된 등검은말벌 중 수벌은 배마디 끝이 일벌과 달리 침이 없는 형태적 차이를 이용하여 분류 후 개체수를 계산함
- 2차 유인제와 1차 유인제의 등검은말벌 총 포획량을 비교해본 결과, 두 유인제 간 큰 차이를 나타내지 못함. 2차 유인제는 꿀벌과 나비목 곤충들의 포획량 중 꿀벌 포획량이 다소 감소함을 보였으나, 1차 유인제에 비해 2차 유인제의 포획량이 크게 감소하지 않아 큰 차이가 없음을 확인함(표 14)

표 14. 1, 2차 유인제에 대한 등검은말벌, 꿀벌, 나비목의 포획력 비교

날짜	지역	번호	등검은말벌		꿀벌		나비목	
			1차유인제	2차유인제	1차유인제	2차유인제	1차유인제	2차유인제
2017-10-09	담양D	1	25	20	34	131	32	36
		2	68	33	62	102	40	66
		3	(파손)	(31)	(파손)	(154)	(파손)	(6)
2017-10-16	담양B	1	22	59	49	45	22	23
		2	51	37	129	135	14	30
		3	13	14	77	53	5	10
2017-10-20	담양B	1	7	9	57	41	40	11
		2	12	10	76	30	34	11
		3	29	20	52	25	31	22
	담양C	1	4	8	36	21	25	16
		2	12	7	72	19	23	19
		3	7	11	13	38	26	21
	담양D	1	18	35	76	46	31	34
		2	12	21	187	58	30	33
		3	11	9	79	59	5	10
곡성B	1	6	26	1	10	3	9	
	2	22	7	0	0	0	8	
	3	15	6	1	0	9	11	
총포획개체수			334	332 (363)	1001	813 (967)	370	370 (376)

### 3) 등검은말벌의 완전 미토콘드리아 유전체 분석

#### ① 등검은말벌 완전 미토콘드리아 유전체 분석

- 포획된 등검은말벌을 포함, 말벌류의 바코드 분석과정에서 각 말벌류 종간 미토콘드리아 유전체의 차이를 확인함으로써 말벌간 보다 정확한 유전적 차이를 이해하기 위하여 일차적으로 등검은말벌의 완전 미토콘드리아 유전체를 분석함. 담양군에서 채집한 등검은말벌 개체의 DNA를 추출 후 여러번의 PCR을 통해 완전 미토콘드리아 유전체를 분석함
- 장수말벌(Chen et al., 2016)과 꼬마장수말벌(Kim et al., 2017a)의 미토콘드리아 유전체와 종 확인 연구의 일환으로 본 연구에서 분석된 등검은말벌의 유전체 특성을 비교, 분석하였고, *Vespa* 속의 미토콘드리아 유전체 정보를 추적 및 Genbank에 등록된 *Vespoidea* 내에 7종을 비교 분석함(그림 115)

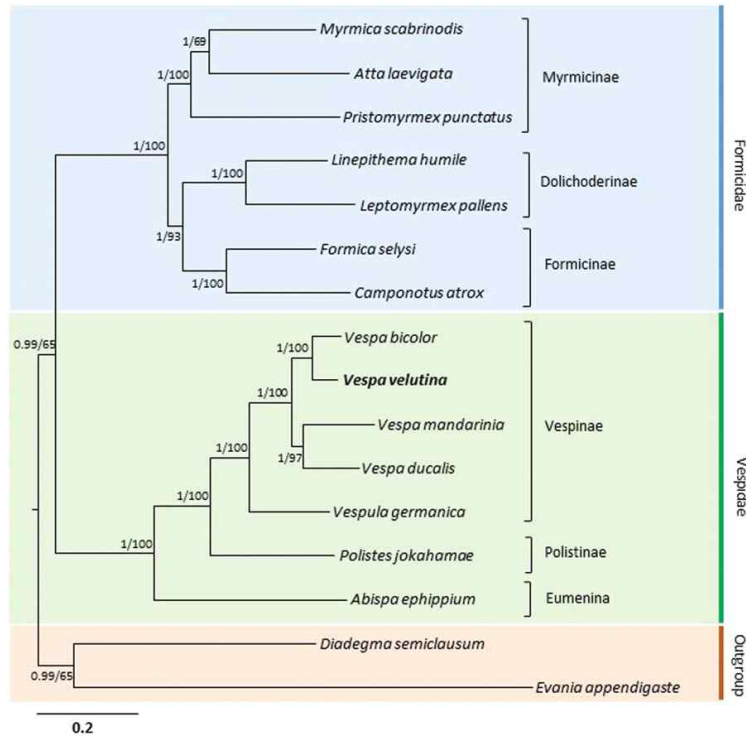


그림 115. 등검은말벌을 포함한 Vespoidea 내 7종 계통도

- 그 결과, *Vespa* 속의 종들은 BI, ML 분석에서 각각 1, 100의 강력한 노드 수치로 단계통을 형성하였으며, 등검은말벌(*V. velutina*)와 *Vespa bicolor*이 각 1, 100의 강력한 노드 수치로 하나의 그룹을 형성하였고, 장수말벌(*V. mandarinia*)와 꼬마장수말벌(*V. ducalis*)은 각 1, 97의 높은 노드 수치로 하나의 그룹을 형성하여 말벌속에서 등검은말벌은 장수말벌과 꼬마장수말벌과 유전적으로 큰 차이가 있음을 나타내었음(Kim et al., 2017b)

#### 4) 동물성 고체 후보 유인제 휘발성분 분석 및 DB화

##### ① 동물성 고체 후보 유인제 휘발성 물질 분석 및 DB화

- 동물성 고체 유인제 후보군 중 등검은말벌 유인력의 차이를 보이는 세 가지의 후보군을 대상으로 GC/MS 분석을 수행하고 DB를 작성하였음(그림 116, 표 15). 분석 결과 다양한 성분과 더불어 땅벌을 유인하는 휘발성 물질로 보고된 3-methylbutanol이 검출되었으며 특히 제 1협동기관의 연구에서 말벌 유인효능이 우수하다고 조사된 후보 C에서 3-methylbutanol이 가장 높게 검출되었음. 이러한 결과는 3-methylbutanol과 말벌 유인효능은 깊은 연관성이 있다는 것을 간접적으로 의미함

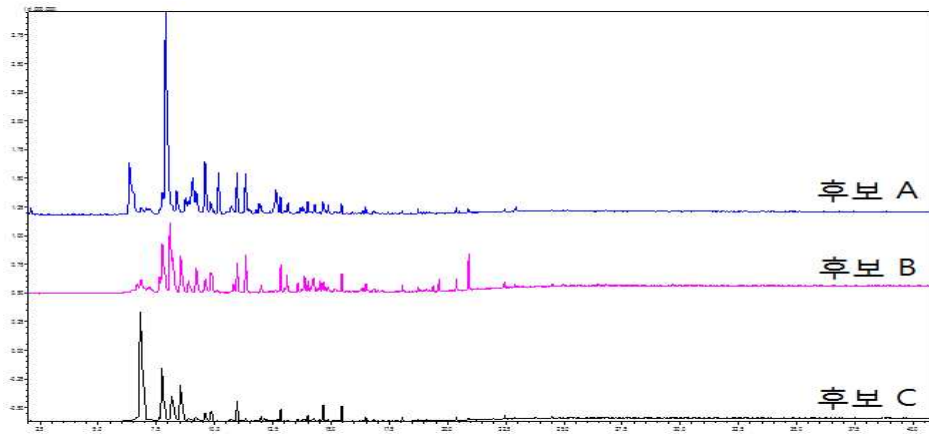


그림 116. 동물성 고체 후보 유인제의 GC/MS 분석

표 15. 동물성 고체 후보 유인제 휘발성 성분 DB

성분명	머무름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )		
		후보 A	후보 B	후보 C
trimethylamine	6.32	1.16±0.04	-	-
carbon disulfide	6.81	-	-	1.64±0.22
butanal	7.62	-	0.15±0.01	-
1-penten-3-ol	7.89	4.62±0.21	-	-
3-pentanone	8.08	-	0.59±0.05	-
1-propene,3-(methylthio)	8.14	-	-	0.36±0.06
3-methylbutanol	8.53	-	0.38±0.03	0.61±0.02
2-penten-1-ol	9.06	0.82±0.02	-	-
hexanal	9.58	1.18±0.03	-	-
2-methyl-2-pentenal	10.16	0.93±0.02	-	-
styrene	11.34	-	0.28±0.08	-
1,5-octadien-3-ol	12.64	0.56±0.02	-	-
octanal	13.16	0.31±0.02	-	-
terbutol	20.91	-	0.31±0.05	-

② 동물성 고체 후보 유인제 휘발성 물질의 통계분석

- 동물성 고체 후보 유인제의 GC/MS 분석 결과를 주요성분을 기준으로 PCA분석을 수행함 (그림 117). 제 1 협동기관의 연구결과 고체 후보 유인제의 유인효능은 후보 C가 가장 높았으며 다음으로 후보 B와 A순이었음. 주요 유인성분인 3-methylbutanol과 등검은말벌의 유인효능이 높은 후보 C가 가장 가까운 상관성이 있게 분류되었으며 후보 B는 후보 C와 유사한 연관성을 보인 반면 유인효능이 가장 낮은 후보 A는 3-methylbutanol과 정반대의 상관성을 보였음. 이러한 결과는 등검은말벌을 유인하는 성분으로 3-methylbutanol이 깊은 연관성이 있다는 것을 의미함

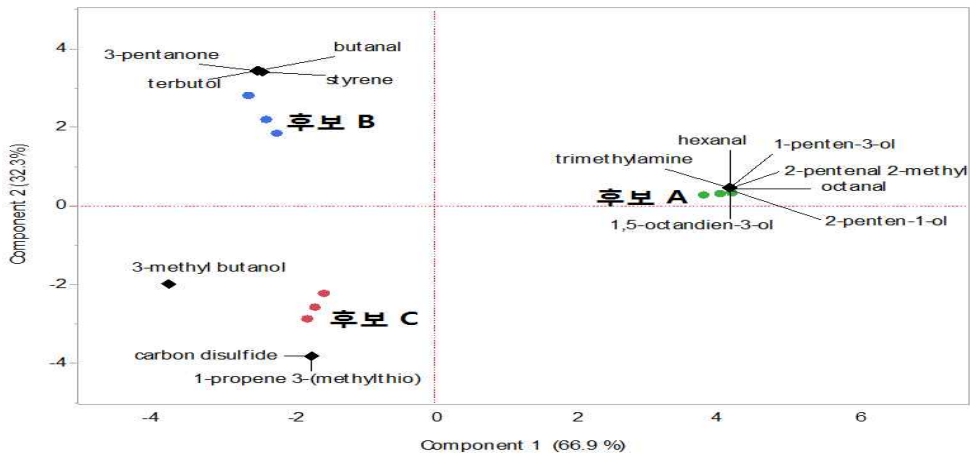


그림 117. 동물성 고체 후보 유인제의 PCA 분석

### 5) 동물성액체 1차 후보 유인제 휘발성분 분석 및 DB화

- 동물성 액체 1차 후보 유인제는 등검은말벌 유인력의 차이를 보이는 세 가지의 후보군을 대상으로 분석하였으며 고체 유인제와 달리 다양한 성분이 검출됨(그림 118, 표 16). 주요 유인물질로 예상되는 3-methylbutanol은 후보 B, A, C순으로 높게 검출되었으며 이는 1차 개발 유인제와 유사하거나 낮은 수준이었음

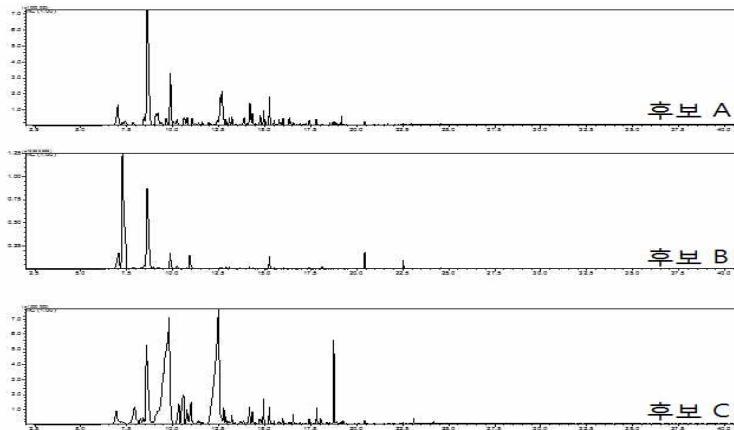


그림 118. 동물성 액체 1차 후보 유인제 GC/MS 분석



표 16. 동물성 액체 1차 후보 유인제 휘발성 성분 DB

성분명	머무름시간	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )		
		후보 A	후보 B	후보 C
acetic acid	7.02	1.33±0.02	1.83±0.02	0.95±0.03
ethyl acetate	7.21	-	12.34±0.18	-
propanoic acid	7.93	-	-	1.17±0.01
ethyl propionate	8.24	-	0.21±0.02	0.44±0.01
methyl benzoylformate	8.43	0.47±0.06	0.44±0.01	-
3-methylbutanol	8.56	7.42±0.09	8.67±0.06	5.34±0.06
1-pentanol	9.06	-	0.15±0.01	-
hexanal	9.64	0.45±.03	-	-
butanoic acid	9.81	-	-	6.73±0.30
methyl dimethoxyacetate	9.85	-	0.18±0.02	-
1,1-dimethoxy 2-propanol	9.87	3.20±0.05	1.71±0.01	-
2-furanmethanediol dipropionate	10.24	0.40±0.01	0.38±0.01	-
3-methylbutanoic acid	10.33	-	-	1.31±0.05
2-methylbutanoic acid	10.57	-	-	1.93±0.07
gamma ethoxy butyrolactone	10.60	0.48±0.03	-	-
1-hexanol	10.76	-	0.18±0.01	0.89±0.08
2-propyl malonic acid	10.78	0.53±0.01	-	-
Isoamyl acetate	10.91	-	0.96±0.43	-
pentanoic acid	11.00	0.83±0.00	-	1.40±0.06
2-heptenal	12.41	0.30±0.02	-	-
hexanoic acid	12.48	2.11±0.05	-	-
heptanoic acid	12.49	1.71±0.05	-	-
4-methylpentanoic acid	12.49	-	-	7.31±0.29
1-heptanol	12.58	-	0.19±0.01	-
1-octen-3-ol	12.78	0.42±0.03	-	-
ethyl hexanoate	13.07	0.42±0.05	0.15±0.06	-
octanal	13.23	0.51±0.05	-	0.48±0.11
2-ethyl-1-hexanol	13.64	-	0.17±0.02	0.21±0.01
1,3-hexadiene,3-ethyl-2-methyl	13.89	0.44±0.05	-	-
ethyl-2-hydroxycaproate	14.18	-	0.22±0.01	1.00±0.13
6-methyl-1-heptanol	14.19	1.24±0.14	-	-
1-octanol	14.32	0.70±0.06	-	-
octyl formate	14.33	-	-	0.70±0.12
2-octenal	14.34	-	0.19±0.01	-
butanoic acid, 2,2-dimethyl-	14.78	0.63±0.04	-	-
nonanal	14.93	0.91±0.06	-	1.25±0.33
2-Phenylethanol	15.25	1.79±0.04	1.40±0.07	0.87±0.24
octanoic acid	15.78	0.39±0.01	-	-
Diethyl succinate	16.00	0.48±0.02	0.17±0.00	-
octanoic acid ethyl ester	16.33	0.40±0.08	-	-
decanal	16.54	0.28±0.05	-	0.56±0.10
acetic acid 2-phenylethyl ester	17.41	-	0.212±0.00	-
ethyl nonanoate	17.80	0.38±0.04	-	-
2-undecanone	17.83	-	-	0.85±0.19
undecanal	18.04	-	-	0.38±0.05
ethyl 3-phenylpropanoate	18.75	-	-	4.38±0.89
ethyl decanoate	19.17	0.60±0.03	-	-

6) 동물성액체 2차 후보 유인제 1의 휘발성 물질 분석 및 DB화

① 동물성 액체 2차 후보 유인제 1의 휘발성 물질 분석 및 DB화

- 제 1협동기관에서 유인효능을 개선시키기 위해 1차 개발 유인제에 등검은말벌 기반 시료를

첨가하여 2차 후보 유인제 1을 새롭게 제조하였으며, SPME법으로 추출한 후 GC/MS 분석함(그림 119, 표 17)

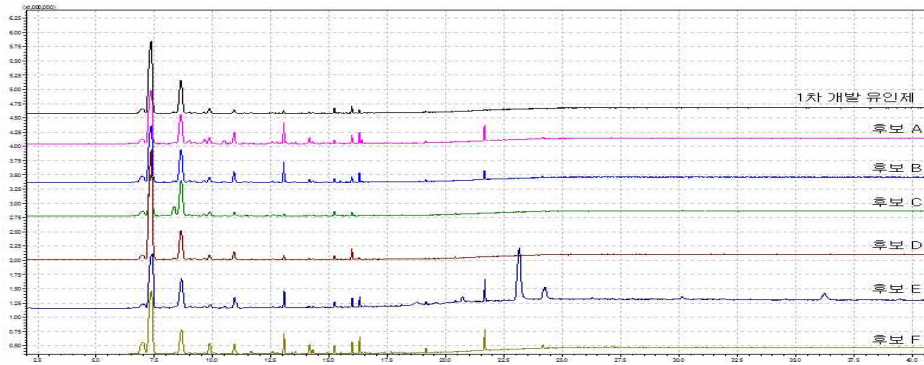


그림 119. 동물성 액체 2차 후보 유인제 1의 GC/MS 분석

표 17. 동물성 액체 2차 후보 유인제 1의 휘발성 성분 DB

성분명	머무름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 ( peak area x 10 <sup>6</sup> )						
		1차개발 유인제	후보 A	후보 B	후보 C	후보 D	후보 E	후보 F
methyl formate	7.0	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.0	1.3 ± 0.1	1.0 ± 0.0	0.9 ± 0.0	0.9 ± 0.0	2.2 ± 0.2
ethyl acetate	7.3	13.8 ± 0.9	9.4 ± 0.3	10.0 ± 0.3	7.6 ± 0.1	19.1 ± 0.8	10.3 ± 0.8	10.7 ± 0.7
ethyl propionate	8.3	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.0	1.9 ± 0.1	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.0
3-methylbutanol	8.6	6.5 ± 0.4	5.3 ± 0.1	5.7 ± 0.3	6.6 ± 0.4	5.5 ± 0.2	5.5 ± 0.0	4.4 ± 0.2
ethyl isobutyrate	9.0	0.4 ± 0.0	0.7 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.6 ± 0.1	0.4 ± 0.0
isobutyl acetate	9.2	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.0
ethyl butanoate	9.6	0.4 ± 0.0	0.8 ± 0.2	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.4 ± 0.1
1,1-dimethoxy-2-propanol	9.8	1.1 ± 0.1	1.3 ± 0.0	1.1 ± 0.0	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.0	0.9 ± 0.0	2.1 ± 0.1
ethyl isovalerate	10.4	-	0.7 ± 0.2	0.4 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.4 ± 0.0
1-hexanol	10.7	-	0.4 ± 0.0	-	-	0.2 ± 0.2	-	-
isopentyl acetate	10.9	1.0 ± 0.2	1.7 ± 0.6	1.8 ± 0.6	0.9 ± 0.2	2.0 ± 0.9	2.2 ± 0.5	1.9 ± 0.4
methylbutanoate	12.5	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.6 ± 0.0	0.6 ± 0.1
ethyl hexanoate	13.0	0.9 ± 0.2	2.9 ± 0.9	3.1 ± 1.2	0.7 ± 0.2	1.4 ± 0.9	3.3 ± 0.3	3.7 ± 0.9
ethyl heptanoate	14.7	-	0.4 ± 0.1	-	0.3 ± 0.1	-	-	0.5 ± 0.1
2-phenylethanol	15.2	1.3 ± 0.1	0.9 ± 0.0	0.9 ± 0.0	1.0 ± 0.1	0.9 ± 0.1	1.3 ± 0.2	1.6 ± 0.1
butanoic acid	15.9	1.6 ± 0.2	1.6 ± 0.1	1.2 ± 0.1	0.9 ± 0.1	2.4 ± 0.3	1.9 ± 0.3	2.2 ± 0.2
ethyl octanoate	16.2	0.9 ± 0.1	2.0 ± 0.3	1.8 ± 0.3	0.4 ± 0.1	0.6 ± 0.5	2.0 ± 0.3	1.8 ± 0.3
dodecane	16.3	-	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.0	-	0.5 ± 0.0	0.4 ± 0.0	3.1 ± 0.3
ethyl decanoate	19.1	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.0	0.6 ± 0.0	-	-	1.1 ± 0.3	1.2 ± 0.1
ethyl dodecanoate	21.6	-	3.6 ± 0.2	2.2 ± 0.2	-	0.8 ± 0.1	4.7 ± 1.5	4.2 ± 0.4
ethyl hexadecanoate	24.1	-	1.5 ± 0.1	1.3 ± 0.0	-	-	2.5 ± 1.2	1.7 ± 0.1

② 동물성 액체 2차 후보 유인제 1의 휘발성분의 통계 분석

- 동물성 액체 2차 후보 유인제 1의 GC/MS 결과를 토대로 PCA 분석을 수행한 결과, 주요 유인성분인 3-methylbutanol에 대해 1차 개발 유인제와 동물성 액체 2차 후보 C가 상관성이 있는 것으로 분류되었으며. 제 1 협동기관에서는 제시한 등검은말벌 유인 결과 후보 C가 1차 개발 유인제보다 유인효능이 유사하거나 높았으며 주요 유인성분인 3-methylbutanol도 1차 개발 유인제와 후보 C가 유사한 수준으로 검출되었음. 다른 후보 유인제 후보 A, B, D, E, F는 유인제 후보 C 또는 1차 개발 유인제 대비 주요 유인성분 외에 다양한 휘발성 성분이 검출됨(그림 120). 이러한 결과는 말벌 유인제는 주요 유인성분은 높은 함량이 필요하며 더불어 다른 휘발성분이 단순하고 낮은 함량으로 제조될 필요가 있다는 의미함

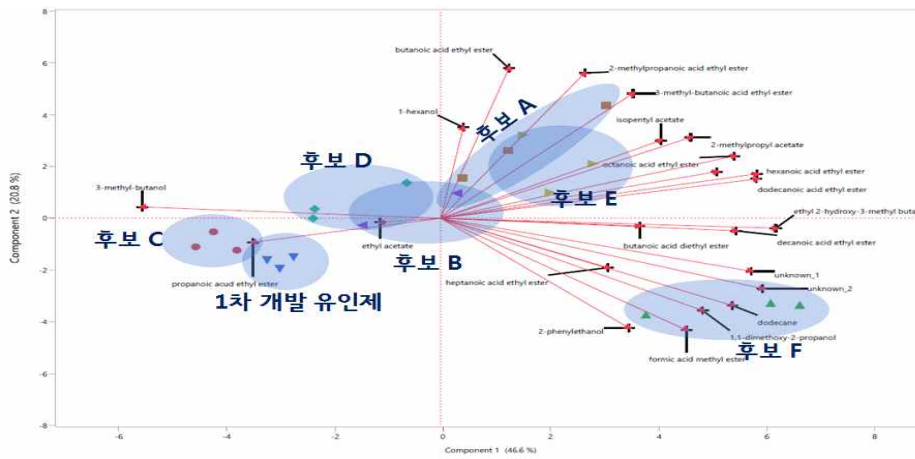


그림 120. 동물성 액체 2차 후보 유인제 1의 PCA 분석

7) 동물성액체 2차 후보 유인제 2의 휘발성분 분석 및 DB화

- 동물성 액체 2차 후보 유인제 1의 유인효능 시험에서 유인효능이 개선된 결과를 참조하여 말벌의 생체 또는 사체 시료를 첨가하여 제조한 2차 후보 유인제 2를 SPME법으로 추출한 후 GC/MS 분석함(그림 121, 표 18). 주요 유인물질인 3-methylbutanol은 유인제 후보 A, B, C, D 모두에서 1차 개발 유인제와 동일한 수준으로 검출되었음. 제 1 협동기관의 연구결과를 보면 후보 유인제 후보 A, B, C는 1차 개발 유인제와 유사한 유인효능이 있는 것으로 나타냄

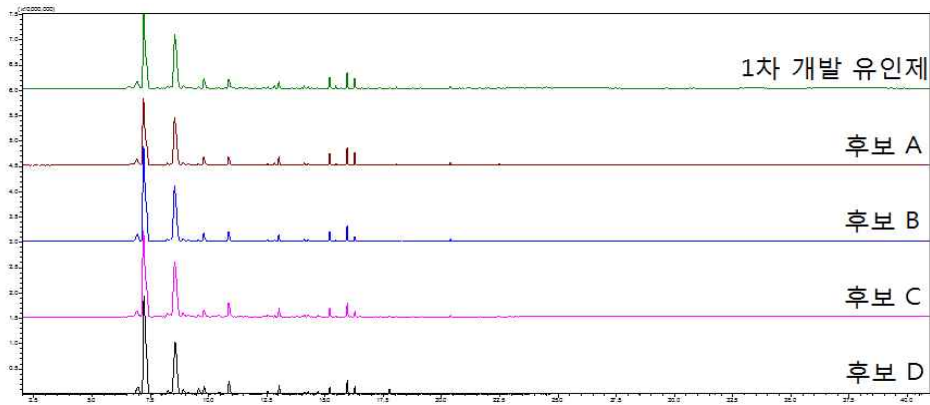


그림 121. 동물성 액체 2차 후보 유인제 2의 GC/MS 분석

표 18. 동물성 액체 2차 후보 유인제 2의 휘발성 성분 DB

성분명	머무름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )				
		1차개발유인제	후보 A	후보 B	후보 C	후보 D
urea	6.9	1.16±0.39	1.28±0.11	1.50±0.02	1.20±0.06	1.47±0.06
ethyl acetate	7.2	14.16±1.20	13.88±2.94	18.55±0.32	16.74±1.61	17.74±1.62
ethyl propionate	8.2	-	-	0.50±0.02	0.76±0.06	0.69±0.05
3-methylbutanol	8.6	10.00±0.66	9.57±0.59	10.86±0.07	10.93±0.31	10.02±0.36
ethyl butyrate	9.6	-	-	-	-	0.95±0.17
ethyl-3-methylbutanoate	10.5	-	-	-	-	0.15±0.22
isoamyl acetate	10.9	-	1.06±0.52	1.44±0.44	2.05±0.63	1.72±0.57
1-heptanol	12.5	-	-	-	-	0.67±0.03
ethyl hexanoate	13.0	-	-	0.90±0.41	1.11±0.53	1.13±0.54
ethyl-2-hydroxycaproate	14.1	-	0.55±0.03	0.49±0.03	0.45±0.01	0.54±0.01
2-phenylethanol	15.2	2.05±0.10	2.33±0.07	1.95±0.11	1.79±0.05	1.55±0.08
diethyl succinate	16.0	2.84±0.10	3.39±0.12	2.96±0.16	2.68±0.09	2.95±0.12
ethyl octanoate	16.3	-	-	0.58±0.36	0.61±0.37	0.94±0.51
ethyl nonanoate	17.8	-	-	-	-	0.73±0.29

#### 8) 말벌 유인성 물질 생산 미생물 유인제

- 제 1협동기관에서 관례적으로 수행해 온 말벌 유인제 제조는 1 톤 크기의 플라스틱 통에 지하수는 1/2 정도 채워 넣고 백설탕과 흑설탕을 적절하게 혼합하여 30-50%(w/v) 함량 수준이 되게 첨가한 다음 식물성 유인 재료를 침지하여 1-2년 동안 정치배양을 통해 수행함. 제 1 협동기관에 따르면 정치배양 동안 배양액에서 가스가 발생하면서 일반적으로 발효식품에서 경험할 수 있는 냄새가 발생한다고 하였으며, 이를 통해 지하수에 존재하는 미생물이 설탕을 발효하면서 유인제를 생성하는 것으로 판단하였음. 이에 유인제 생성에 관여하는 미생물을 분리한 후 분리된 미생물을 상기의 설탕배지에 배양하여 배양액의 휘발성 성분을 분석하고 실내 및 노지에서 말벌 유인효능을 시험함

#### ① 미생물의 분리 및 동정

- 말벌 유인용 제조용액의 TSA(trypticase soy agar) 배지에서 희석평판 배양하여 단일 균을 선발하였으며 선발된 균주는 TSB(trypticase soy broth) 배지에서 37°C, 150 rpm 조

건으로 24시간 동안 진탕배양 하였음. 육안으로 관찰하였을 때 배양액에서 휘발성 기포가 발생하는 미생물을 선정하였으며 선정된 균주를 대상으로 등검은말벌에 대한 유인효능 시험을 수행한 후 유인효능이 우수한 균주를 최종 선발함. 분리된 균주는 16S rRNA 염기서열을 기준으로 동정되었으며 젓갈 발효균 *Bacillus jeotgali* YKJ-10 균주(이하 'YKJ-10')와 유전자가 100% 유사하였으며 이를 *Bacillus jeotgali* BV-1(이하 'BV-1')로 명명함(그림 122)

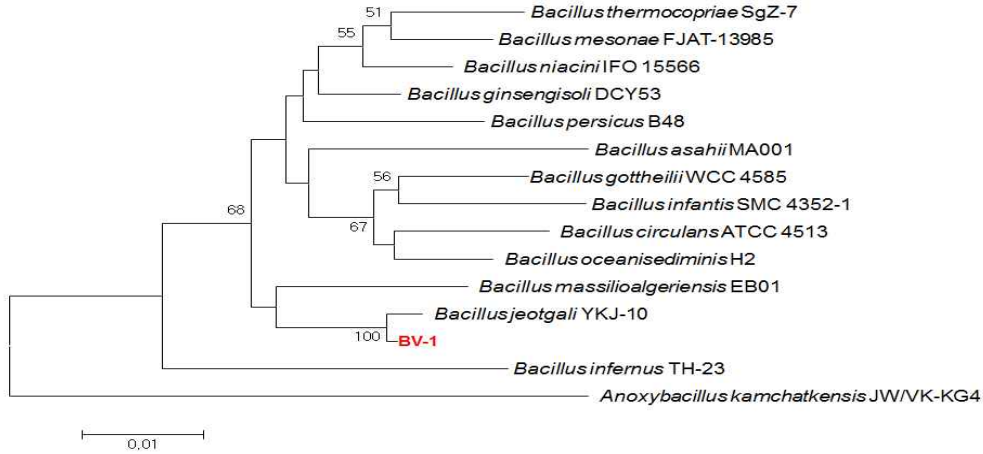


그림 122. 균주의 계통학적 분류표

- BV-1 균주는 YKJ-10 균주와 유전자 분석을 기초로 비교할 때 계통학적 분류상에서는 유사하였으나, 분리된 미생물은 휘발성 대사물질에 해당하는 다양한 피크가 검출된 반면에 YKJ-10 균주에서는 휘발성 대사물질의 피크가 관찰되지 않아 휘발성 대사물질을 생산하지 못한다는 것을 의미함(그림 123, 표 19).

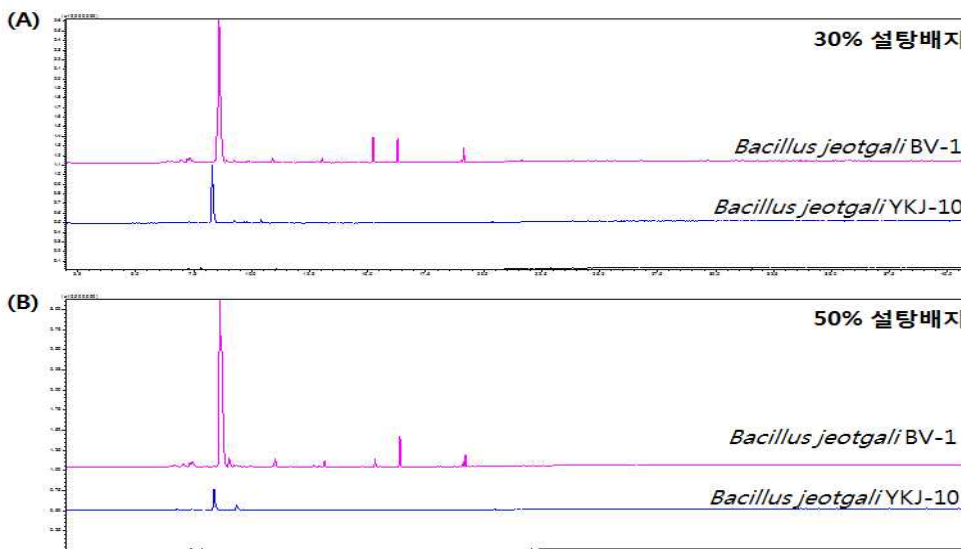


그림 123. 분리균(BV-1)과 표준균주(YKJ-10) 간의 GC/MS 분석.  
(A) 30% 설탕배지, (B) 50% 설탕배지

표 19. 분리균(BV-1)과 표준균주(YKJ-10) 간의 휘발성 성분 DB

성분명	머무 름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )			
		30% 설탕배지		50% 설탕배지	
		<i>B. jeogali</i> BV-1	<i>B. jeogali</i> YKJ-10	<i>B. jeogali</i> BV-1	<i>B. jeogali</i> YKJ-10
2-amino-1,3-propanediol	7.0	-	-	0.46±0.01	-
ethyl acetate	7.2	0.39±0.10	-	0.65±0.04	-
3-methylbutanol	8.5	12.91±2.90	-	16.21±0.08	-
3-methylbutyl acetate	10.8	0.56±0.01	-	-	-
ethyl hexanoate	13.0	0.59±0.05	-	0.86±0.21	-
2-phenylethanol	15.2	2.44±0.22	-	0.99±0.07	-
ethyl octanoate	16.3	3.11±0.05	-	4.54±1.65	-
ethyl 9 decanoate	19.0	0.43±0.07	-	0.85±0.22	-
ethyl decanoate	19.1	1.89±0.54	-	1.95±0.66	-

② 최적배지 조사

- 1차 개발 유인제 제조 시에 사용한 배지를 기반으로 30%(g/v) 혹은 50%(g/v) 설탕을 탄소원으로 함유한 최소무기염류 배지를 사용하였음. 이 때 설탕은 흑설탕과 백설탕의 비율을 다르게 하여 조사하였으며 최소무기염류 배지의 조성은 리터당 1.0 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2.0 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.4 g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.4 g MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O이었으며 리터당 미량원소 용액 0.2%(v/v)로 구성함. 미량원소 용액은 리터당 0.1 g Al(OH)<sub>3</sub>, 0.05 g SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, 0.05 g KI, 0.05 g LiCl, 0.08 g MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, 0.05 g H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0.1 g ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0.1 g CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.1 g NiSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.05 g BaCl<sub>2</sub>, 0.05 g (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>7</sub>·4H<sub>2</sub>O, 0.08 g FeSO<sub>4</sub> 이었음
- 상기와 같은 배지조건에서 분리균 BV-1을 배양한 다음 배양액 중 휘발성 물질을 GC/MS 분석하여 휘발성 성분의 DB를 작성하였음(표 20, 21). 분석결과 주요 유인성 물질인 3-methylbutanol이 검출되었으며, 이의 함량을 정성적으로 판단할 때 50% 설탕 배양액에서 높았음. 특히, 흑설탕과 백설탕을 2:1(g/g) 비율로 혼합한 배지에서 높은 검출을 보임. 이에 미생물 배양액을 이용한 말별 유인 효능시험은 BV-1을 흑설탕과 백설탕을 2:1 비율로 혼합한 30%와 50% 배지에서 수행함

표 20. 설탕 30% 배지에서 배양한 BV-1의 휘발성 성분 DB

성분명	머무름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )			
		흑1:백1	흑2:백1	흑3:백1	흑4:백1
2-methyl propanol	7.4	0.92±0.02	0.94±0.03	0.93±0.02	0.88±0.02
3-methylbutanol	8.7	11.68±0.26	13.21±0.13	13.18±0.03	12.32±0.16
3-methylbutyl acetate	11.0	2.34±0.18	2.58±0.22	2.55±0.22	2.75±0.30
ethyl hexanoate	13.1	2.86±0.47	3.04±0.42	3.63±0.53	2.78±0.47
2-phenylethanol	15.3	1.15±0.12	2.10±0.09	3.12±0.24	1.71±0.03
ethyl octanoate	16.4	3.54±3.24	3.95±3.77	1.34±0.29	6.73±3.72
ethyl 9 decanoate	19.1	0.26±0.05	0.41±0.07	0.61±0.05	0.53±0.06
ethyl decanoate	19.2	5.93±1.90	6.74±2.29	7.94±1.77	5.48±1.30
ethyl dodecanoate	21.7	0.86±0.18	1.20±0.40	1.66±0.35	0.82±0.09

표 21. 설탕 50% 배지에서 배양한 BV-1의 휘발성 성분 DB

성분명	머무름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )			
		흑1:백1	흑2:백1	흑3:백1	흑4:백1
2-methyl propanol	7.4	1.11±0.06	0.35±0.01	1.15±0.05	0.49±0.01
3-methylbutanol	8.7	16.31±0.49	16.32±0.08	13.15±0.16	13.59±0.28
ethyl butyric acid	9.6	0.21±0.02	-	0.27±0.02	-
3-methylbutanoic acid	10.0	-	0.16±0.00	-	0.14±0.00
2-methylbutanoic acid	10.2	-	0.29±0.05	-	0.14±0.00
3-methylpentanol	10.4	-	0.12±0.00	-	-
3-methylbutyl acetate	11.0	1.58±0.27	0.21±0.01	1.45±0.81	0.15±0.03
ethyl hexanoate	13.1	2.09±0.53	0.51±0.05	2.36±0.63	0.34±0.07
2-phenylethanol	15.3	1.82±0.07	4.76±0.08	1.27±0.14	4.11±0.35
ethyl octanoate	16.4	7.32±2.47	1.30±0.16	7.64±2.89	1.20±0.38
ethyl 9 decanoate	19.1	0.68±0.12	0.20±0.02	0.69±0.14	0.26±0.07
ethyl decanoate	19.2	3.78±1.17	0.95±0.15	3.76±1.31	1.04±0.38
ethyl dodecanoate	21.7	0.75±0.14	0.29±0.05	0.83±0.13	0.44±0.14

### ③ 등검은말벌 유인력 시험

#### A. BV-1 배양액의 유인 효능 시험

- 제 1협동기관의 도움을 받아 분리된 BV-1 미생물의 배양액을 이용하여 말벌 유인효능 시험을 수행함. 시험에 사용한 시료는 30% 설탕배지, 30% 설탕 BV-1 배양액, 50% 설탕배지, 50% 설탕 BV-1 배양액이었으며 이들을 plate에 12 mL씩 분주하였음. Plate 끼리의 간격은 약 가로 18 cm, 세로 9.5 cm, 대각선 20 cm이었으며 2시간 동안 노출 후 유인된 말벌 수를 조사함
- 효능시험 결과 등검은말벌은 먼저 50% 배지에서 배양하여 얻은 BV-1 배양액으로 유인되어 배양액을 먹이로 소모하였으며, 50% 배양액이 소모된 후 다시 30% 배양액으로 유인됨

(그림 124). 이러한 결과는 상기 [표 20과 21]에서 제시한 바와 같이 말벌이 주요 유인성분인 3-methylbutanol의 함량이 높은 50% 배양액으로 먼저 유인된다는 것을 의미하였음



그림 124. 분리균 BV-1 배양액의 말벌 유인 시험

#### B. BV-1 배양액의 유인 포획 시험

- 제 1협동기관에서 개발된 말벌 포획기에 상기와 같은 시료 500 mL를 넣고 말벌이 발생하는 지역에 비치한 다음 일정 시간 동안 유인된 말벌의 수를 조사함. 시험은 3반복으로 진행하였으며 포획기 간의 간격을 70 cm이었고 말벌의 유인포획은 오전 10시부터 오후 6시까지 진행함. 유인제를 포획기에 포함하여 말벌을 유인 포획한 결과 그림 125와 같이 유인 포획 효능은 50% 배지가 30% 배지보다 높았음

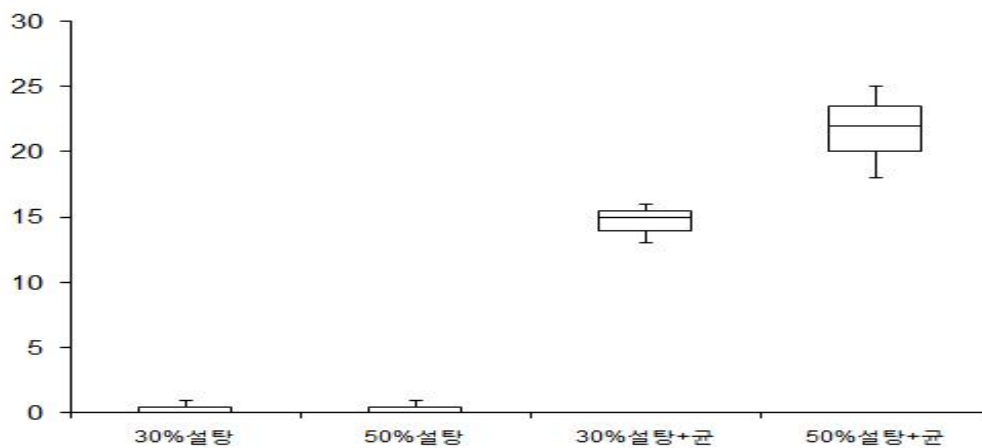


그림 125. 분리균 BV-1 배양액의 말벌 유인 포획효능

- 상기의 결과를 통해, 제 1협동에서 전례적으로 제조한 유인제에서 발효미생물 BV-1을 분리함. 분리균을 설탕배지에 배양하여 유인성 물질을 생산할 수 있었으며, 배양액을 이용하여 말벌을 유인하고 포획함. 이에 *Bacillus jeotagli* BV-1는 농업 부산물 발효액에서 분리된 것으로 자연 유래 미생물이기 때문에 BV-1을 이용한 등검은말벌 유인제는 국내 환경에 적용하는데 용이한 점이 많으며, 균주 자체를 사용하는데 있어서 검역의 문제가 전혀 없는 장점이 있기에 2018년 6월 27일 바실러스 젓갈리 BV-1 균주의 배양액을 포함하는 유해생



○ 제1세부 2년차 연구 결과 요약

- 2월 중순부터 5월말 까지 봄철 전라남도(담양 및 곡성 한정) 발생 유해성 말벌류의 출현양상을 조사한 결과, 2~3월에는 출현하지 않고, 4월 중순(12일)에 최초 말벌류가 출현하였으며, 이중 등검은말벌이 타 말벌류에 비해 약 7~8일 일찍, 가장 먼저 출현함을 확인함. 그리고 현재 등검은말벌 분포 조사 결과, 국내에서 제주도를 제외한 거의 모든 내륙지역에 확산 및 분포 하고 있으나 남부지방보다 중부지방으로 갈수록 등검은말벌 개체수가 크게 감소함을 확인함
- 1차 포획기 효능 검정 결과, 유인병의 꿀벌 탈출구를 원형에서 타원형으로 변경하였을 때 (1차 포획기, ver. 1~4) 꿀벌과 나비목 곤충들의 포획량이 크게 감소하여 효과가 있었음을 알 수 있었음. 반면, 등검은말벌의 포획력을 높이기 위하여 유인구 늘리기, 기둥에 유인제 묻힌 거즈 추가 설치 등 여러 방법을 시도해보았으나, 큰 효과를 도출하지 못하였음
- 2017년도 경상도 지역 및 전라도 양봉농가의 의견을 청취해보면 등검은말벌 발생이 너무 크게 증가하여 현 소형 포획기 형태로는 등검은말벌의 피해 감소에 크게 기여 할 수 없다고 주장함. 이에 제 1협동은 차년도 연구를 위해 준비해온 대형 포획기의 초기 version을 조기 완성하여 기존 소형 포획기에 비해 당연히 높은 포획력이 있음을 확인하였고 이 결과에 대해 본 세부과제에서 예비적 검정을 수행함
- 2차 유인제의 경우 본 실험에서는 등검은말벌의 포획량이 크게 향상되지 않았음. 실제 양봉장에서 수행한 실험은 간단한 실험 환경과 비교해볼 때 주변 여러 환경적 요소들로 인해 다양한 변수가 결과에 반영될 수 있다고 판단됨. 이러한 결과의 차이를 극복하기 위하여 더 많은 반복수 실험이 필요할 것으로 판단됨
- 식물성 기반 1차 개발 유인제와 동물성 기반 고체 및 액체 후보 유인제들의 휘발성 물질 DB와 PCA분석을 비교한 결과 다양한 휘발성분을 생산하는 것보다 주요 유인물질인 3-methylbutanol을 많이 생산하면서 이 유인성분의 휘발성을 개선시키는 다른 휘발성분을 단순하게 생산하는 방향으로 진행되어야 할 것으로 사료됨
- 1건의 비SCI급, 1건의 SCI급 논문 성과 달성함. 등검은말벌의 완전 미토콘드리아 유전체 분석관련 논문이 비SCI급 저널에 출판됨{2017년, 제목 : Complete mitochondrial genome of the yellow-legged Asian hornet, *Vespa velutina nigrithorax* (Hymenoptera: Vespidae), 학술지명 : Mitochondrial DNA part B, Vol. 2, No.1, 국외기타논문집, 비SCI급, doi:10.1080/23802359.2017.1285211}. 1차년도(2016년) 연구되었던 꼬마장수말벌의 완전 미토콘드리아 유전체 분석관련 논문이 SCI급 저널에 출판됨{2017년, 제목 : Complete mitochondrial genome of the black-tailed hornet, *Vespa ducalis* (Hymenoptera: Vespidae): Genomic comparisons in Vespoidea, 학술지명 : Entomological Research, Vol. 47, No.2, 국외전문학술지, SCI급, doi:10.1111/1748-5967.12218}
- 2건의 기타(생명자원) 성과 달성함. 등검은말벌의 완전 미토콘드리아 유전체 정보를 국제 유전자 정보 데이터베이스인 NCBI에 생물자원으로 등록하였고(2017년, 등검은말벌 미토콘드리아 유전체 정보, 2017년 3월 3일 등록, 등록번호 : KY091645), 꼬마장수말벌의 완전

미토콘드리아 유전체 정보를 국제 유전자 정보 데이터베이스인 NCBI에 생물자원으로 등록함(2017년, 꼬마장수말벌 미토콘드리아 유전체 정보, 2017년 3월 6일 등록, 등록번호 : KX950825)

- 1건의 학술발표 성과 달성함. 2017년도 한국응용곤충학회에서 'Complete Mitochondrial Genomes of *Vespa velutina nigrithorax* and *V. ducalis*' 란 주제로 포스터 발표
- 2건 인력양성 성과 달성함(2017년, 임다정, 전남대학교 제 1세부로 소속되어 신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발 연구에 투입되고 있으며 2017년 석사학위 획득)(2017년, 정준성, 전남대학교 제 1세부로 소속되어 신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발 연구에 투입되고 있으며 2017년 학사학위 획득)
- 1건의 기술실시(이전) 성과 달성함(2018년, '등검은말벌에 대한 유인성 대사물질을 생산하는 *Bacillus jeotgali* BV-1과 이를 이용한 등검은말벌 제어 기술(10-2018-0074310)' 특허 출원 기술 실시)

## (나) 제2세부 연구수행 내용 및 결과(무인항공기 기반 등검은말벌 추적 시스템 개발, 전남대 손형일)

### 1) 무인항공기 기반 등검은말벌 추적 시스템 개발

#### ① 초소형 센서의 수신장치를 무인항공기에 탑재하기 위한 지그 설계 및 제작

- 무인항공기와 추적시스템의 실측 외형 이용하여 연결 지그를 설계함
- 추적시스템은 무인항공기에 비행명령을 내릴 Raspberry Pi, RF 송신기의 신호를 감지하는 RF 수신기, RF 수신기에 연결할 Yagi 안테나, 시스템 전원공급장치로 구성함
- 추적시스템의 각 요소들을 Onshape를 이용해 schematic 3D 모델로 제작함
- 다음 그림과 같이 추적시스템의 각 요소들을 무인항공기의 적절한 위치에 배치하고 각 요소들과 무인항공기를 연결하는 지그 3D 모델을 Onshape를 이용해 설계함(그림 126)

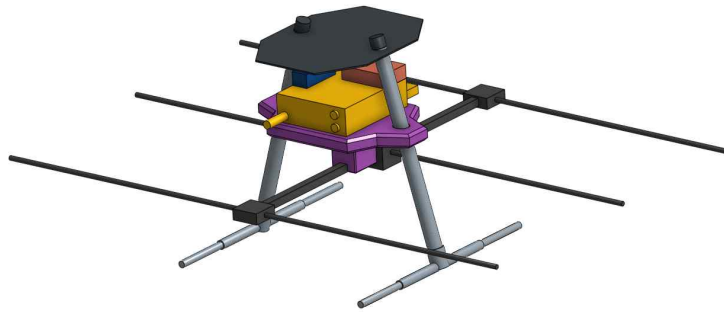


그림 126. 무인항공기 하부 및 안테나 3D 모델

- 사용 대상 무인항공기인 Tarot T18 무인항공기의 8개 로터와 모터, 상부 튜브 및 기타 부품을 제외한 다리 부분만 3D 모델로 제작하였고, 추적시스템의 각 요소들을 3D 모델로 제작하여 배치하고 이들을 무인항공기와 고정하는 지그를 설계하였음(그림 127)

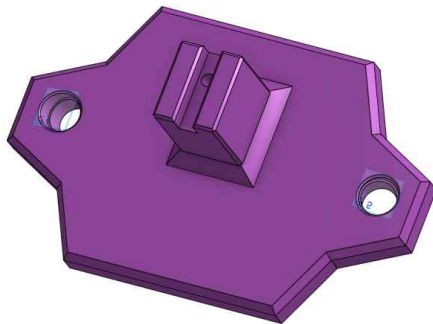


그림 127. 설계된 안테나 고정용 지그

- 무인항공기와 지그, 추적시스템을 체결할 때 볼트를 이용할 경우 무게 증가가 우려되어 강력한 폼 양면테이프를 이용하여 지그에 추적시스템을 부착하고, 무인항공기의 다리에 고무링을 이용하여 지그를 고정하였음. 각 운동량이 큰 안테나의 경우만 볼트를 이용해 지그와 체결함

② 무인항공기의 초소형 센서 수신장치와 등검은말벌집 탐색 시스템간의 통신 SW 개발

- 무인항공기의 비행 컴퓨터에 목표 위치를 전달하기 위해선 Raspberry Pi 또는 기타 Linux를 탑재한 소형 컴퓨터를 이용하여 무인항공기의 위치제어를 개발함(그림 128)

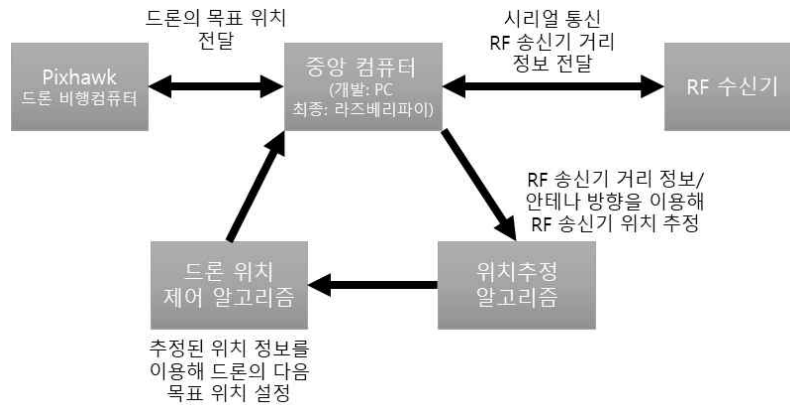


그림 128. 하드웨어 간의 정보 이동 개념도

- 무인항공기 위치제어기는 무인항공기 비행 컴퓨터와 시리얼 통신으로 연결되며 RF 수신기가 획득한 RF 송신기 정보로부터 말벌 위치를 추정해야 하므로 RF 수신기와 시리얼 통신으로 연결됨
- 무인항공기 위치제어기와 RF 수신기 간 시리얼 통신 SW (Windows - Python 기반)를 개발함
- RF 수신기가 송신기의 신호를 디지털로 출력하는 주기 (1 Hz)에 맞춰 무인항공기 위치제어기에서 RF 수신기의 정보를 멀티 스레딩을 이용하여 읽어 들임(RF 송신기의 펄스 주기 변화에 따라 통신 주기 변경 가능함)
- 전달받은 RF 수신기의 정보를 파일 형태로 저장가능하며, 추후 Linux 버전으로 변경함
- 무인항공기 위치제어기와 무인항공기 비행 컴퓨터 Pixhawk 간 시리얼 통신 SW (Ubuntu [Linux] - C++ 기반)를 개발함
- 무인항공기 위치제어기가 추정한 RF 송신기 위치를 무인항공기 비행 컴퓨터로 전송해야 무인항공기가 해당 위치로 이동할 수 있으므로, 아래 그림과 같이 무인항공기 위치제어기가 탑재한 Linux 기반 통신 SW를 개발하였음(그림 129)

```

106 def SerCom():
107     global CommFlag, data_save_ser
108     # repeat until the end command comes
109     while CommFlag:
110         temp = np.zeros((2,1))
111
112         comm_data = 'R'
113         # Writing character 'R' to get data from receiver
114         comm.write(comm_data.encode())
115
116         # Receive data
117         received = comm.read(4)
118
119         # Time information
120         temp[0,0] = time.clock()
121
122         # String to integer
123         pick_val = int(received[3])
124         temp[1,0] = pick_val
125
126         # Save data
127         data_save_ser = np.append(data_save_ser, temp, axis=1)
128         print(pick_val)
129
130         time.sleep(0.5)
131
132     comm.close()
133     print("Serial communication closed")
134
135
    
```

그림 129. 통신 프로그램 개발환경 및 코드 (C++)

- Pixhawk의 경우 2 Hz 이상의 주기로 위치 정보를 전달해야 Pixhawk가 offboard 모드를 유지하므로, Linux의 Shell script를 이용하여 최소 2 Hz 이상의 주기로 위치 정보를 무인항공기 비행 컴퓨터로 전송하는 통신 SW 개발하였음

## 2) 무인항공기 SLAM 기반 등검은말벌 위치추정 알고리즘 개발

### ① Particle filter 알고리즘을 활용한 등검은말벌 위치추정 알고리즘 개발

- 기존 연구에서 사용되는 Particle filter 알고리즘을 조사하였음
- Particle filter는 Gaussian이 아닌 임의의 분포를 다루기 위한 접근 방법으로, Localization에 주로 사용되는 알고리즘임
- Monte Carlo 방법을 이용한 Particle filter 알고리즘을 구현하였으며, 시뮬레이션을 통해 위치 추정 성능을 검증함

### ② EKF (extended Kalman filter)을 활용한 등검은말벌 위치추정 정확도 향상 기술 개발

- EKF는 상태를 추정하기 위해 가장 흔히 사용되는 방법으로, input에 의한 prediction 단계와 observation을 이용한 correction의 두 단계로 구성됨
- 노이즈가 평균이 0인 Gaussian 분포로 가정하고 모델을 비선형 함수로 확장하였으며, 등검은말벌 위치추정 정확도를 향상시키기 위해 알고리즘을 보완하였음

### ③ 개발된 위치추정 알고리즘을 활용한 시스템 개발

- 시스템 개발을 위해 최종적으로 사용된 구성은 다음과 같음
- RF센서는 다음과 같음. 1)실제 실험용: 무게는 약 0.2g으로 수신 거리는 최대 80m, 배터리 수명은 9~22일, 가격은 약 290,000원. 2)알고리즘 개발 및 검증을 위한 연구용: 무게는 약 3.2g으로 수신 거리는 최대 80m, 배터리 수명은 약 288일, 가격은 약 190,000원. 각 센서에 대한 그림은 다음과 같음(그림 130)



그림 130. 실험에 사용된 센서: (좌)실험용 (우)연구용

- 무인항공기의 가반하중과 수신거리 등을 고려하여 선정된 신호 수신 장치는 다음과 같음. 1)RF 리더기: 무게는 약 1kg으로 수신 거리는 최대 80m. 2)Yagi 안테나: 무게는 약 700g으로 드론의 가반하중에 적합함(그림 131)

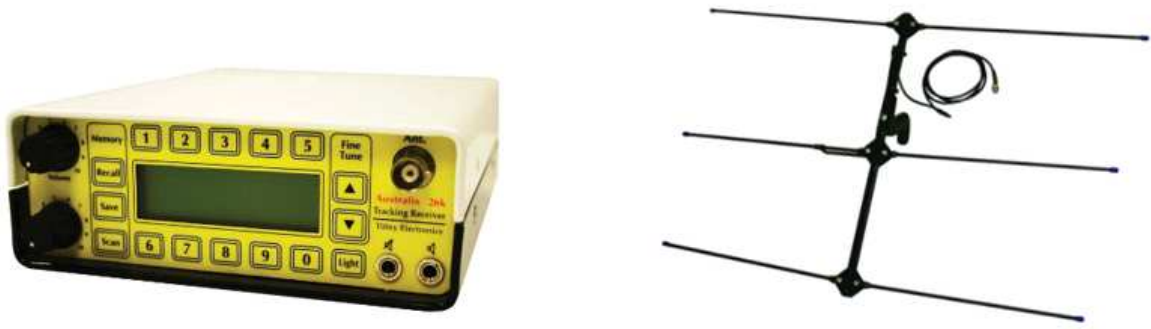


그림 131. 실험에 사용된 수신 장치: (좌)리더기 (우)야기안테나

- RF 센서와 수신기의 통신 Software는 아래 그림과 같으며, 데이터 송수신을 통해 센서의 수신 신호 강도를 측정 및 저장이 가능함(그림 132)

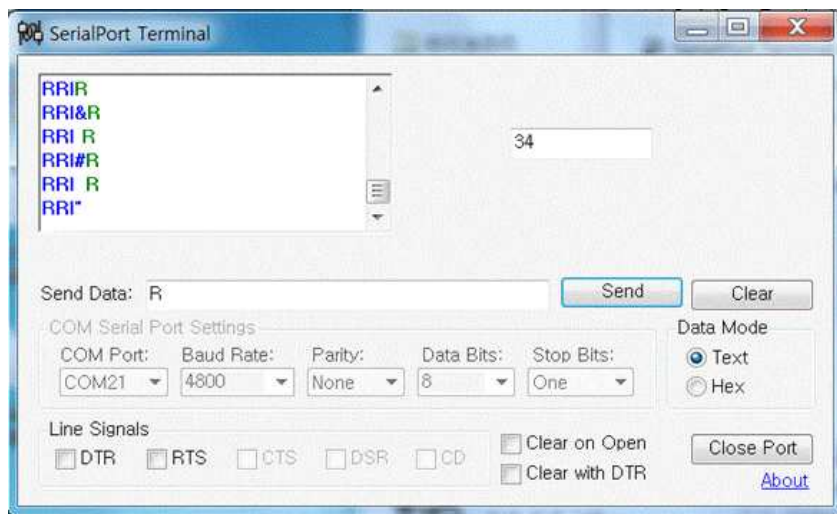


그림 132. RF 소프트웨어

- 수신기와 안테나의 무게를 고려해 가반하중이 충분한 무인항공기를 직접 제작하였음. 본 무인항공기는 Pixhawk를 기반으로 한 Tarot사의 옥토크터로 크기가 약 1.2m × 1.2m로 가반하중은 약 4kg이며, 제작한 무인항공기는 아래 그림과 같음(그림 133)



그림 133. 자체 제작한 추적용 무인항공기

- 시스템을 개발하기 위한 셋업환경과 실험환경은 다음과 같음. 1) VHF 송신기를 특정 지점에 위치 시킴 (삼각대를 이용해 지면에서 약 1 m 정도 거리). 2) Yagi 안테나의 element가 이루는 평면이 지면과 평행하도록 조절함. 3) Yagi 안테나의 최대 수신 감도 방향을 0도로 지정함. 4) 약 20초 동안 DAQ system을 이용하여 VHF 수신기의 오디오 신호 측정 및 저장함. 시스템과 실험에 대한 그림은 아래와 같음(그림 134, 135)

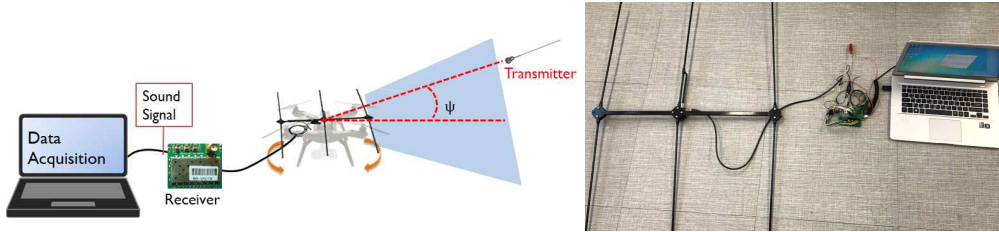


그림 134. 데이터 수집 실험 개념도 및 실제 시스템



그림 135. 실제 실험 환경

- 위 시스템에서 거리 25 m까지 1~10 m는 1 m 간격으로 측정 후 11~25 m는 5 m 간격으로 측정. 안테나 방향을 0, 90, 180, 270°의 네 가지로 변경하면서 신호 변화를 측정함
- 수신기의 음향 신호를 10 kHz sampling rate로 측정하였으며, 측정된 음향 신호 분석/필터 처리 및 음향 신호의 최대 RMS 값을 계산하였음 (20 m 이후 측정된 신호는 미약하여 분석 제외)
- RF 송/수신기는 다음 그림과 같이 송신기와 수신기 사이 거리가 멀어질수록 수신기에서 출력하는 음향 신호 세기가 감소하는 것을 확인하였음(그림 136). 이는 RF 송신기에서 발생시킨 전파가 공간을 진행할 때 진행 거리의 제곱에 반비례하기 때문임

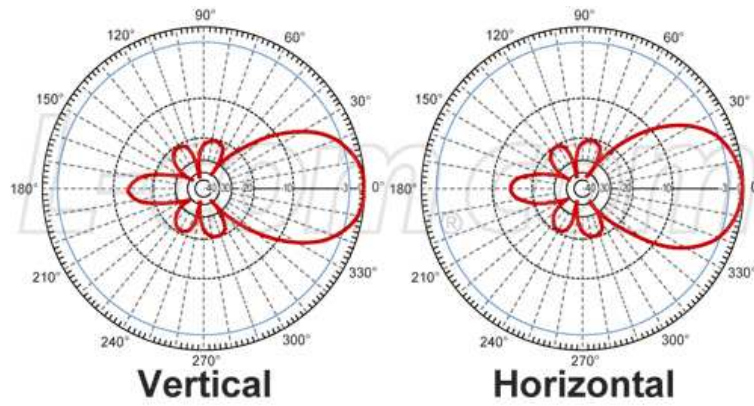


그림 136. Yagi 안테나의 방향에 따른 수신 특성 그래프

- 추가적으로 수신기에 연결된 Yagi 안테나는 빔(beam)과 송신기 사이의 방향에 따라 송신된 전파의 gain이 바뀌는 특성이 존재하는 것을 확인함
- 이러한 RF송/수신기와 안테나의 특성을 이용하여 안테나의 방향과 수신기의 출력 신호를 통해 송신기의 위치추정이 가능함
- 위치추정을 알고리즘을 활용한 시스템을 개발하기 전 아래 그림과 같이 송신기 거리와 안테나 방향에 따른 수신기 출력 신호 데이터 추가적으로 수집하였음(그림 137)

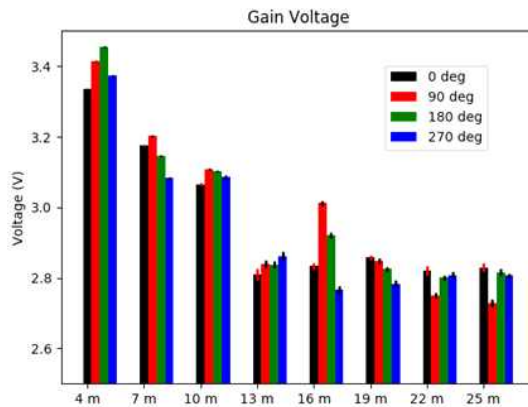


그림 137. 거리와 방향에 따른 수신된 전압 값의 변화(실내)

- Titley scientific Australis 26K 수신기와 RF 송신기를 사용하여 수신기 출력을 일정하게 유지하는 수신기 gain(거리가 멀어질수록 gain 증가 - gain 조절 전압 감소)을 획득함
- 실내 실험으로 건물 내부 격벽과 장애물 및 각종 외부전파발생원으로 인해 약 13 m 까지만 특성이 두드러지게 나타나며 안테나 방향에 따른 출력 변화가 이론과 다르게 나타나는 것을 확인하였음
- 실외 추가 실험을 통해 새로운 데이터를 획득하였음(그림 138)



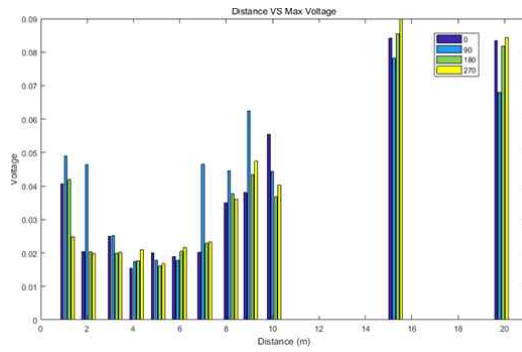


그림 138. 거리와 방향에 따른 수신된 전압 값의 변화(실외)

- 외부 실험 시 사용한 장비는 Neotics VHF 수신기와 Marshall RT Plus 송신기 사용하였으며, 이는 주파수 대역이 Tetiley scientific 고성능 수신기와 상이하여 고성능 수신기 사용 불가로 저성능 수신기로 임시 사용하였음
- 외부 실험은 공터에서 행해졌으나 주변 고층 건물, 외부전파발생원 및 저성능 수신기의 한계로 특정거리(5 m)를 기준으로 신호의 세기와 거리와의 관계가 반전되는 현상이 관측되었음
- 무인항공기가 말벌과 충분한 거리를 유지해야하므로 5m 이후의 결과를 활용하였으며, VHF 송수신기의 경우 기존 송수신기보다 신호에 노이즈가 큰 실험 결과를 확인하였다. 이는 필터를 통해 후처리하여 결과분석에 사용됨(그림 139)

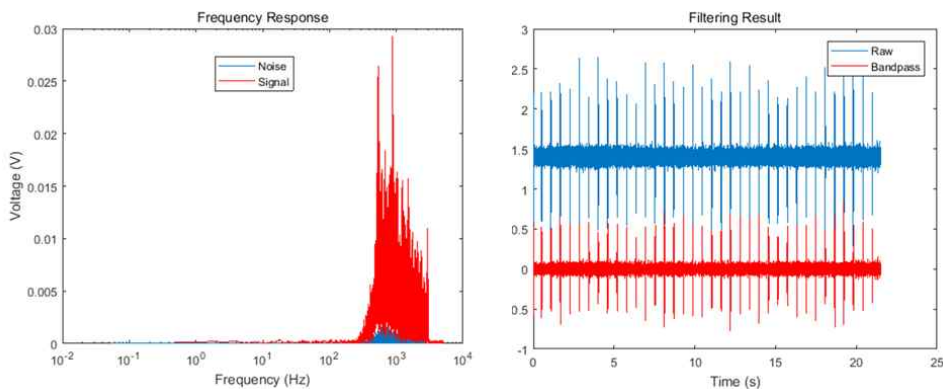


그림 139. Raw 신호의 값과 필터 처리 된 신호

- 추후 기존 송수신기를 통해 고층 건물이 없는 장소에서 재실험을 진행함
- 본 실험을 통해 거리와 방향에 따른 수신된 신호 변화를 측정하였으며, 실험 결과 야기안테나와 송신기의 각도가 0%일 때 가장 좋은 결과를 보임. 이는 야기안테나의 방사패턴이 방향성을 갖기 때문임(그림 140)

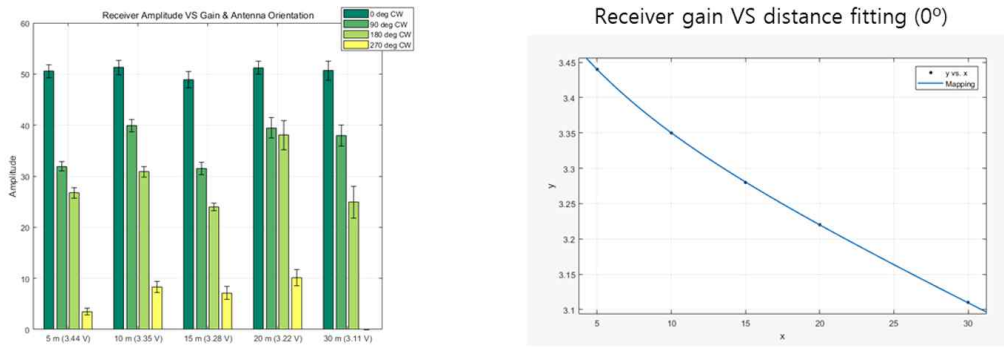


그림 140. 거리와 방향에 따른 수신 신호 강도

- 수집한 데이터를 이용한 위치추정 알고리즘은 추적시스템의 불확정성을 반영하기 위해 Gaussian Mixture Model (GMM)과 Regression (GMR)을 이용해 stochastic하게 알고리즘을 보완하였음
- 단일 안테나로는 대상의 위치, 즉 방향까지 정확하게 측정하는 것이 어렵기 때문에 3차 년도에 다중 안테나를 이용하여 위치 정확도를 향상시킬 알고리즘의 개발을 계획함
- 부가적으로, 이미 알고 있는 등검은말벌집의 위치(추적 최종단계에서 발견 또는 신고 접수)에 무인항공기를 보내어 방제 작업을 수행할 수 있는 개념도를 제시함
- 개념도는 다음과 같음. 1) 스마트폰의 지도 등을 이용하여 말벌집의 위치 정보를 무인항공기에 전송. 2) 해당 위치로 무인항공기가 이동하여 장애물 등을 회피하여 말벌집 상부에 위치 한 후 약통의 살충제를 방사하여 방제 작업을 수행함(등검은말벌집은 주로 높은 곳에 위치하여 사다리차가 필요하지만 숲속은 접근이 용이하지 않고, 사람이 직접 방제하는 경우 위험이 따름)(그림 141)



그림 141. 무인항공기를 이용하는 등검은말벌집 방제 개념도

#### ④ 실내외 환경에서 개발된 위치추정 알고리즘 검증

- 알고리즘을 검증하기 위해 추정된 말벌(RF 송신기) 위치를 추적하는 무인항공기 제어 기술을 개발함
- 등검은말벌을 추적하기 위한 무인항공기의 제어 기술은 다음과 같음. 1)이동중인 무인항공기

를 정지시켜 진행방향에서 송신기의 신호 세기를 측정함. 2)무인항공기를 제자리에서 일정한 각도로 회전시켜 신호 세기를 측정함. 3)신호 세기 측정결과, 세기가 가장 큰 방향을 송신기가 위치해 있는 방향으로 간주하여 추적용 무인항공기를 해당 방향으로 전진함(그림 142)

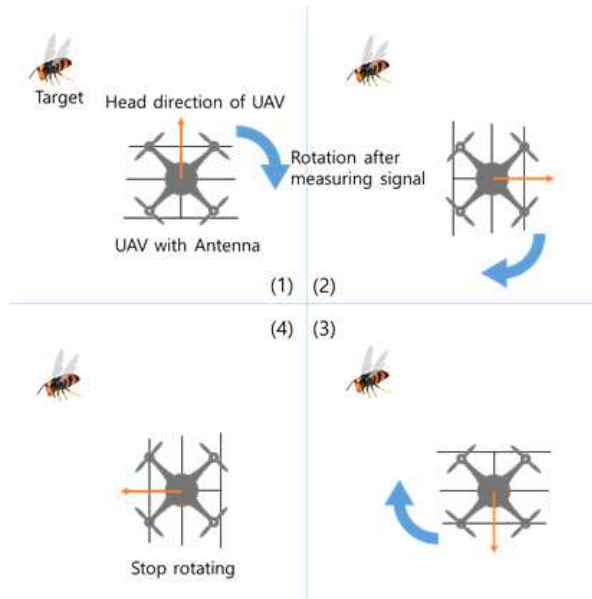


그림 142. 단일 드론을 이용한 등검은말벌 추적 방법

- 다음 그림과 같이 Robot Operating System (ROS)와 Gazebo를 이용하여 무인항공기를 가상 환경 상에서 제어할 수 있도록 하는 시뮬레이션 환경을 구축하였음(그림 143)



그림 143. 구현된 시뮬레이터 모습

- 구축된 시뮬레이션 환경을 이용하여 추정된 RF 송신기의 위치로 무인항공기를 이동하는 제어 기술을 구현하였으며, 아래 그림과 같이 문제없이 무인항공기가 제어되는 것을 확인함(그림 144)

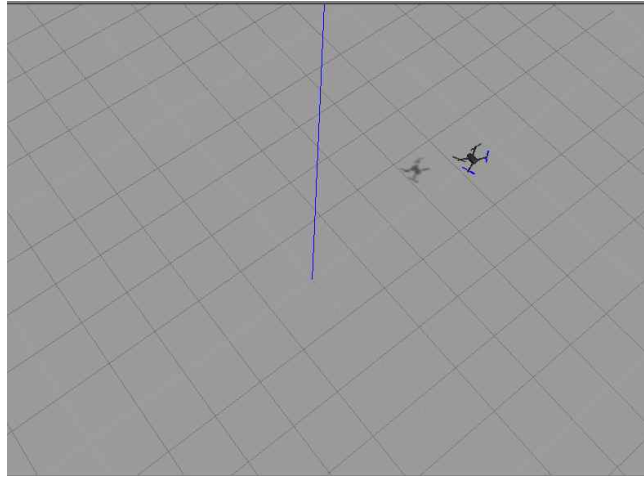


그림 144. 무인항공기 제어 기술의 시뮬레이션

- ROS와 Pixhawk 간의 통신을 위해 mavlink & mavros를 이용하여 ROS를 통해 생성된 무인항공기 위치 update를 Pixhawk로 전달함
- 추정된 말벌(RF 송신기) 위치를 추적하는 무인항공기 제어 기술을 검증함
- 다음 그림과 같이 말벌을 대신하여 소형 무인항공기에 RF 송신기를 부착해 추적용 무인항공기가 소형 무인항공기를 추적하는 방식으로 사전 실험과 알고리즘 검증을 진행함(그림 145)



그림 145. 두 대의 무인항공기를 이용하는 추적 검증 실험 개념도

- 해당 실험에서 등검은말벌을 대신하는 소형 무인항공기는 사람에 의한 원경조종 되었으며, 추적 무인항공기는 Pixhawk Offboard 모드를 통해 위치를 제어함
- 두 무인항공기의 고도(높이)는 동일하게 설정하였으며. 추적 무인항공기와 RF 수신기 사이 통신을 통해 추정된 RF 송신기 위치를 update하여 추적 무인항공기가 송신기 위치로 스스로 이동할 수 있도록 제어됨
- RF 수신기의 음향 신호를 이용해 수신기의 거리를 계산함
- 본 실험에서 송수신기 모델을 반영하기 위해 야기안테나의 방사패션을 계산하였으며, Fourier series로 fitting하여 모델링하고 시뮬레이션 구현하였음(그림 146)

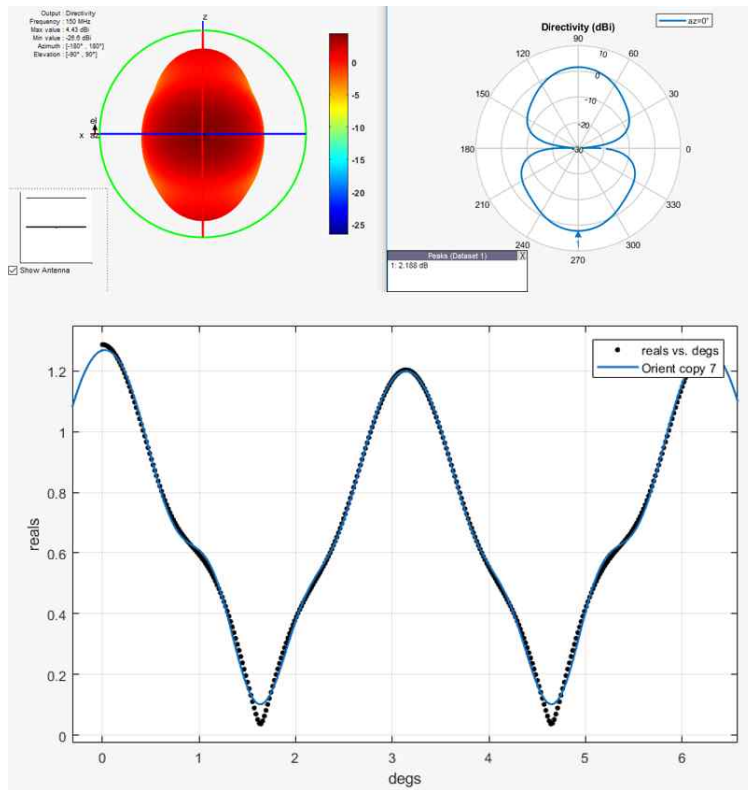


그림 146. 실험을 위해 계산된 야기안테나 모델

- 개발된 시뮬레이터와 모델링된 야기안테나 및 송수신기를 통합하여 소형 무인항공기를 추적하는 실험을 진행하였음. 본 실험에서 단일 무인항공기와 단일 송수신기를 사용하였으며, 송신기가 실제 센서와 같이 1Hz로 신호를 발생함
- 실험 결과 소형 무인항공기가 멀어지면 추적 무인항공기가 자율 비행으로 두 무인항공기 사이의 거리를 감소하는 것을 확인하였음. 아래 그림은 실험결과에 따른 그래프를 나타낸 것으로 추적용 무인항공기와 등검은말벌용 무인항공기의 위치, 두 무인항공기간의 상대거리를 나타냄(그림 147)

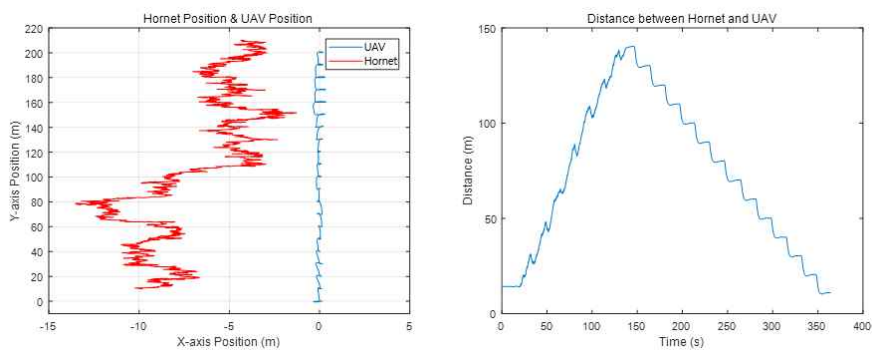


그림 147. 단일 드론과 단일 송수신기를 사용한 실험결과

○ 제2세부 2년차 연구 결과 요약

- 초소형 센서의 수신장치와 안테나를 무인항공기에 보다 안정적으로 탑재하기 위한 지그를 설

계하였으며, 수신장치와 등검은말벌 탐색 시스템간의 통신 SW를 개발하였음. 추가적으로 무인항공기의 위치 제어를 위해 Companion Computer를 탑재하고 통신 SW에 제어기를 추가 보완하였음. 안테나와 수신장치로부터 받는 수신신호강도를 통해서 SLAM기반 등검은말벌 위치추정 알고리즘을 개발하였고 개발된 알고리즘을 검증하기 위해 실제 야외 환경에서 실험을 진행하였음. 본 실험을 통해 야기안테나의 방사 패턴, 거리와 방향에 따른 수신신호강도 등을 모델링하였으며 등검은말벌을 추적할 수 있는 방안을 모색함. 개발된 위치추정 알고리즘과 추적시스템을 시뮬레이터 상에 구현하여 다양한 실험을 통해 그 성능을 검증하였음

- 1건의 특허출원 성과 달성함(2017년, 로봇의 엔드 이펙터, 손형일·박성준·박상수, 대한민국, 10-2017-0132850)
- 3건의 학술발표 성과 달성함(2017년, 한국곤충학회 심포지움 및 춘계 학술발표에서 '*Vespa velutina* tracking system using autonomous UAV for searching vespiary'란 주제로 학술 발표함)(2017년, 2017 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence에서 'Report on Work in Progress of Small Insect'란 주제로 학술 발표함)(2017년, 한국농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2017년 추계 공동학술대회에서 '무인항공기를 이용한 등검은말벌집 탐색 시스템'로 학술발표함)

(다) 제3세부 연구수행 내용 및 결과(등검은말벌에 의한 농가 피해실태 조사, 전남대 조용훈)

- 1) 전국 15개 도및 광역시 단위별로 30농가를 선정하여 등검은말벌 발생 빈도 및 잦은 시기별, 지역별로 등검은말벌의 발생 빈도 조사
  - ① 선정된 450농가 대상으로 양봉장 환경,사육군수, 피해군수 등의 설문조사를 통해 농가 피해 실태 조사(그림 148, 149)

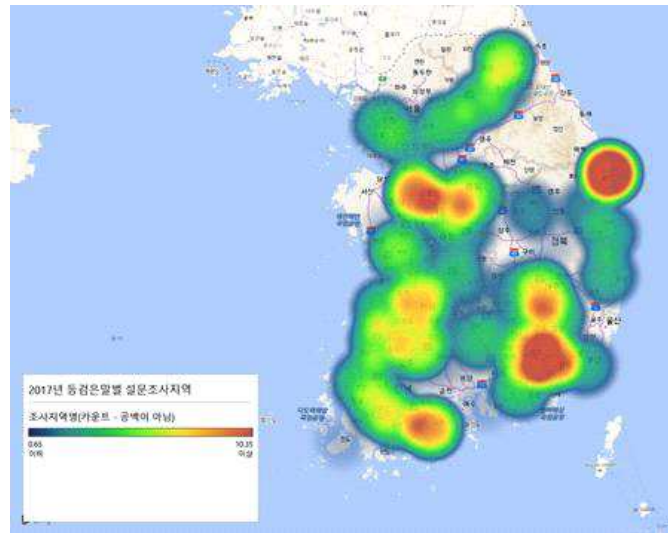


그림 148. 등검은말벌 설문조사지역

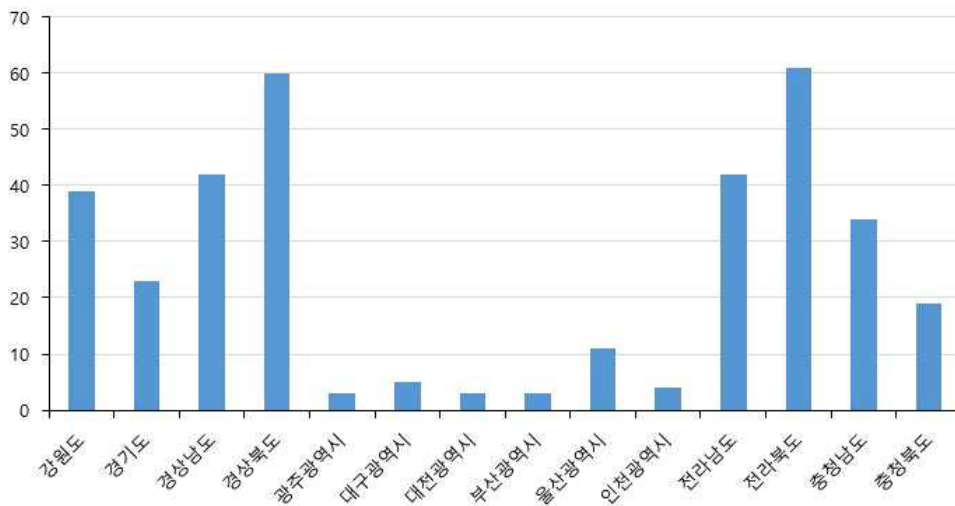


그림 149. 등검은말벌 설문조사지역

- 설문에 응답한 양봉인들은 대부분 3년 이상 장기간 양봉장을 운영하고 있었음을 확인하였으며, 양봉장 주변 환경은 대부분 산간지역이었음(그림 150, 151)

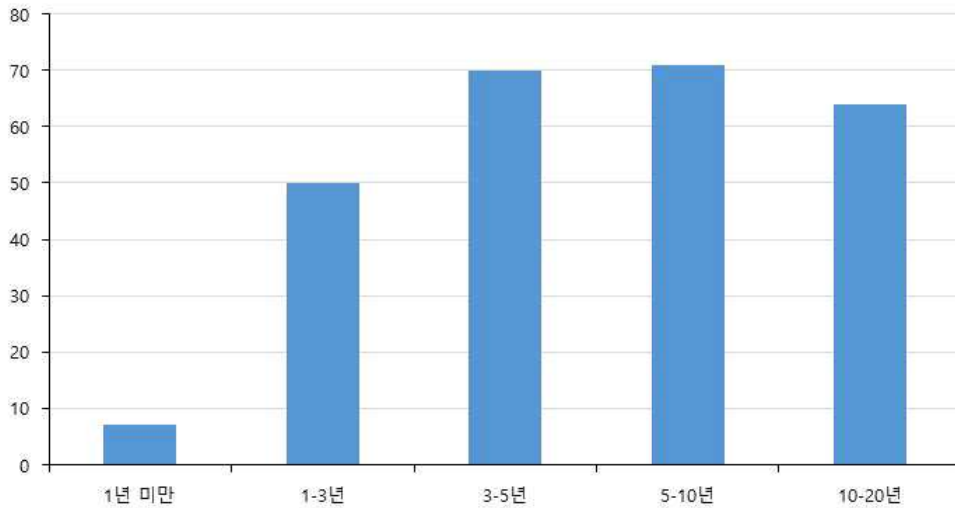


그림 150. 양봉경력

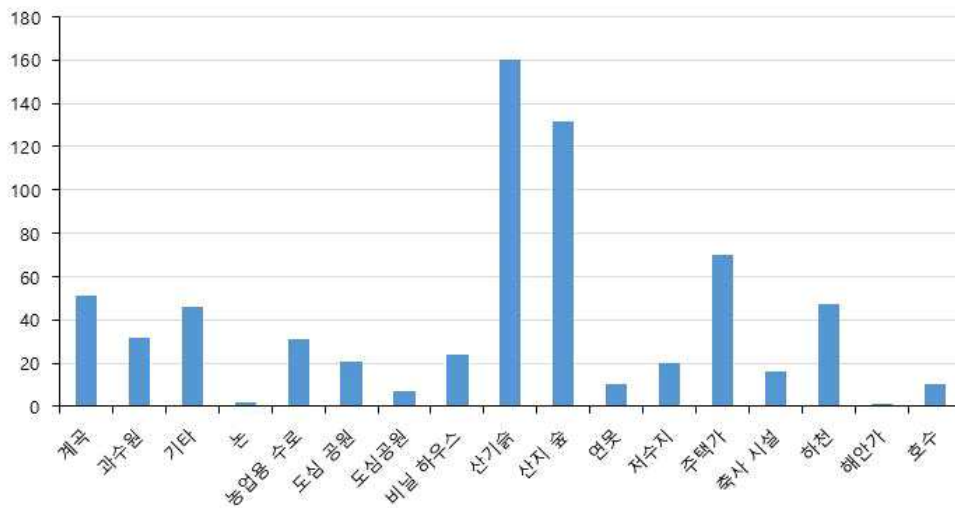


그림 151. 양봉장 주변 환경

- 응답자의 꿀벌사육군수를 조사한 결과 50~100군 사이의 꿀벌사육군수를 유지하는 양봉인들이 가장 많은 응답을 하였음. 또한 100군을 기준으로 100군 이하 사육농가는 경기, 충청, 전라남 북도 및 경상남북도에 분포하고 있었으며, 100군 이상 사육농가는 전국적으로 고르게 분포하고 있었음(그림 152, 153, 154)



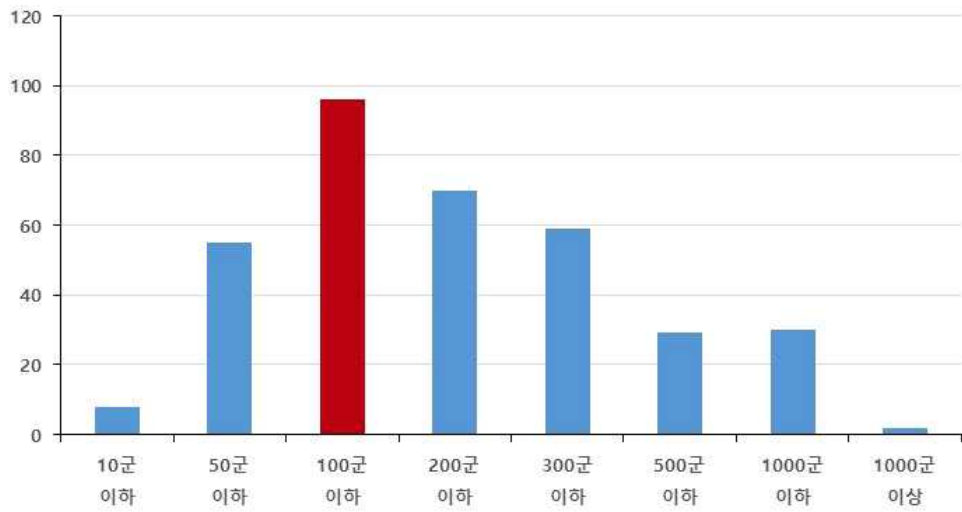


그림 152. 사육군수 분포

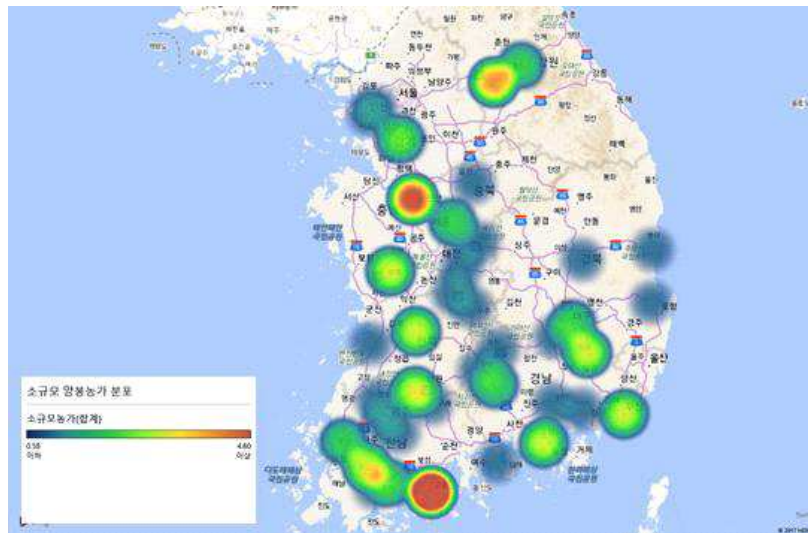


그림 153. 100군 이하 소규모 양봉농가

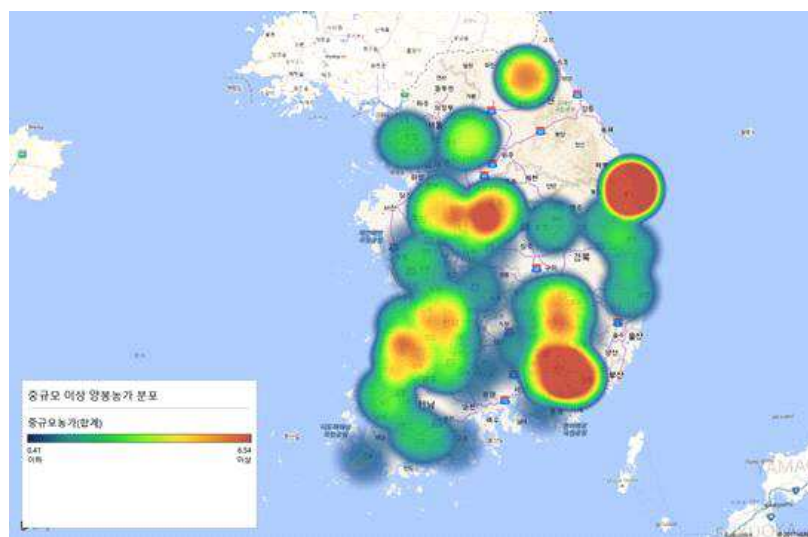


그림 154. 100군 이상 중,대규모 양봉농가

- 등검은말벌의 최초출현시기는 지역별로 차이가 났으며, 최초 부산, 경기지역에서 최초 출현하여 전국적으로 확산되는 양상을 확인함. 2017년에는 경기 북부 및 강원도 일부 지역에서 최초 발견을 확인함(그림 155)

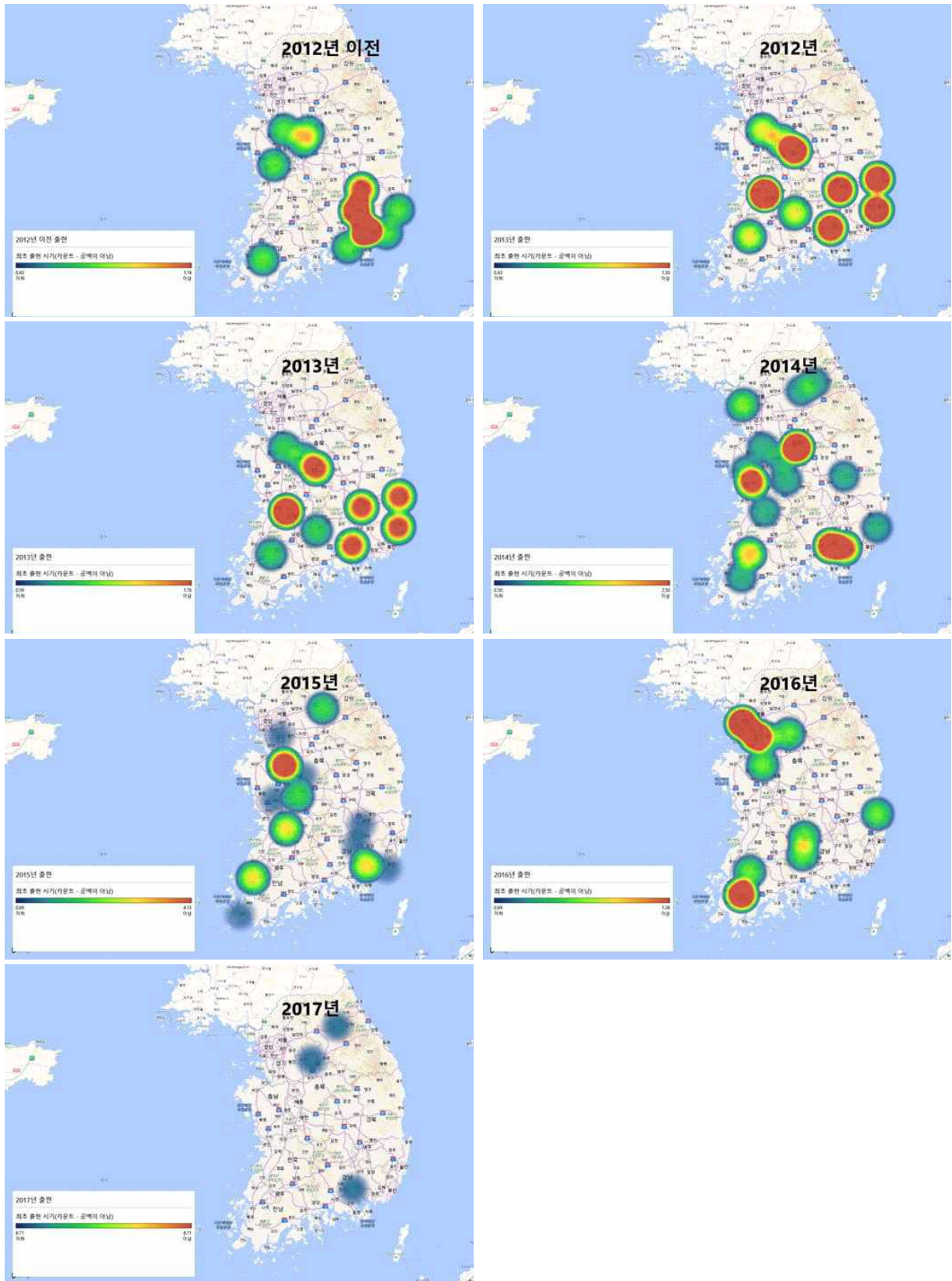


그림 155. 양봉농가가 인식하고 있는 년도별 등검은말벌 최초 출현 시기

- 등검은말별의 출현조사 결과 등검은말별 2017년도에 전년 대비 8월 및 9월에 큰 폭으로 발생이 증가하였음을 확인할 수 있었음. 또한 전국적으로 등검은말별의 출현이 증가하였다는 것을 확인함(그림 156, 157, 158)

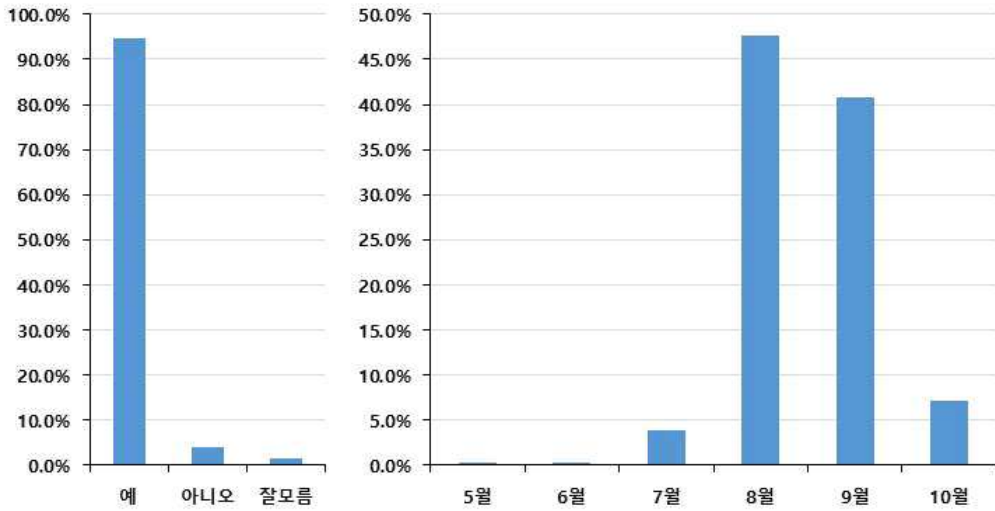


그림 156. 등검은말별 출현유무(좌) 및 전년대비 증감(우) 조사결과

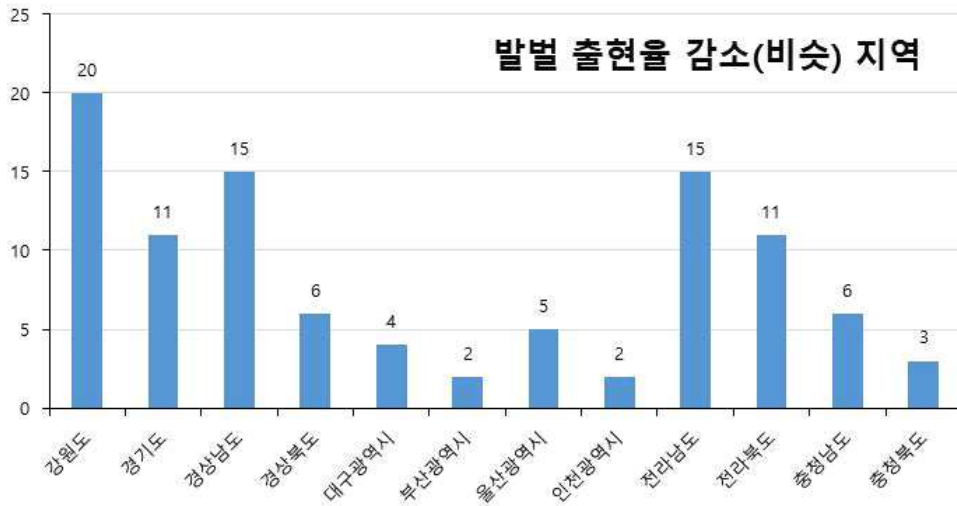


그림 157. 등검은말별 출현 감소(비슷한) 지역

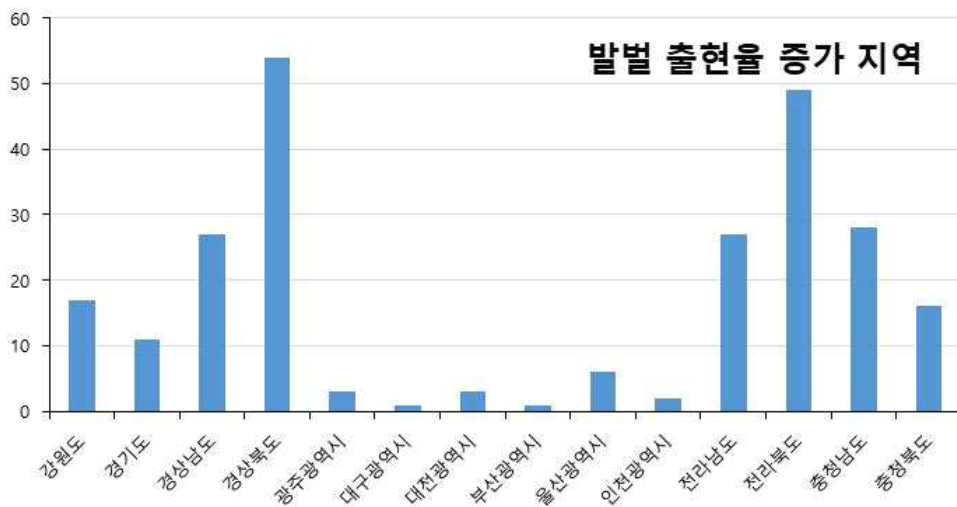


그림 158. 등검은말별 출현 증가 지역

- 등검은말벌 최초출현시기 조사결과 극히 소수의 응답자만이 2월 -3월 사이에 최초 발견하였다고 답하였으며, 대다수 인원이 4월 - 8월 사이에 최초 발견하였다고 응답하여, 조기감지시스템의 구축이 매우 시급한 실정임을 확인함(그림 159)

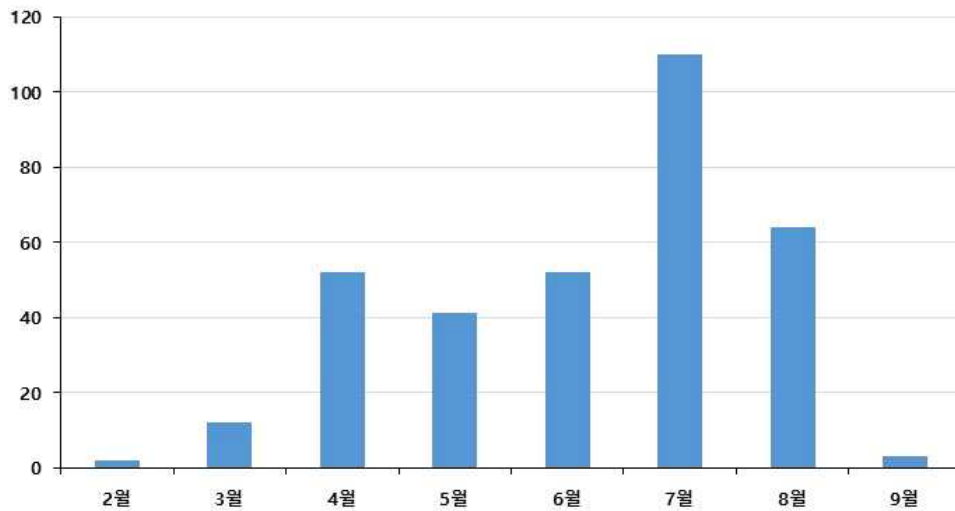


그림 159. 등검은말벌 최초 출현시기 조사결과

- 등검은말벌이 가장 많이 출현한 시기를 조사한 결과 8월-9월 사이에 가장 많이 출현하였다고 응답함(그림 160, 161)

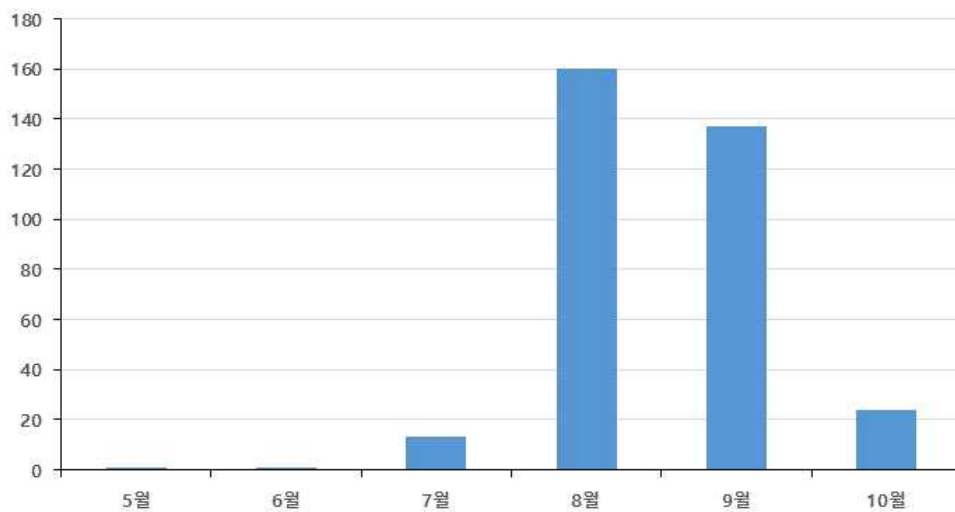


그림 160. 등검은말벌이 가장 많이 출현한 시기 조사결과

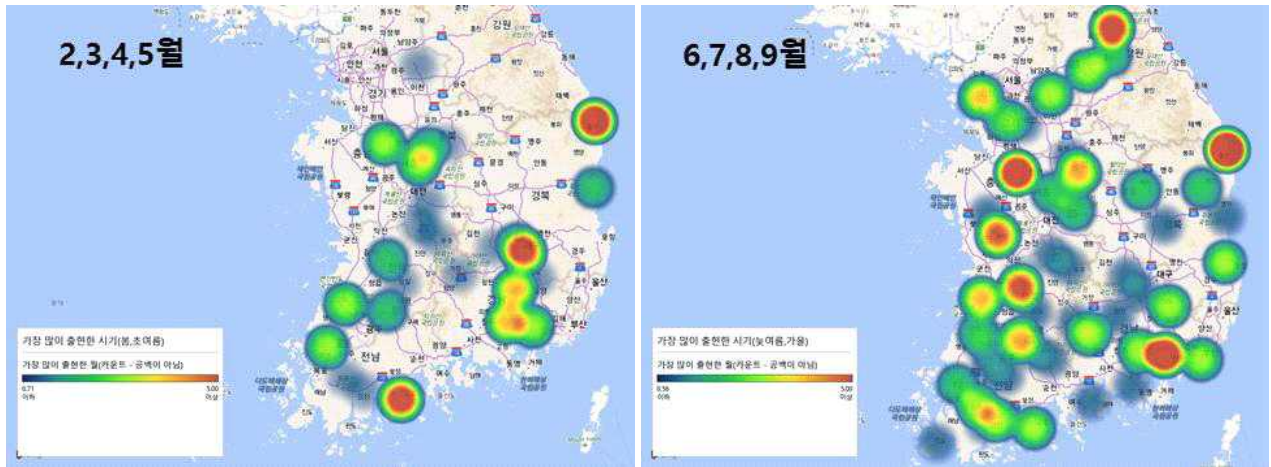


그림 161. 등검은말벌 출현 시기별 분포 조사결과

- 지역별로 등검은말벌이 가장 많이 관찰되는 시기에 시간당 관찰되는 등검은말벌의 수를 조사한 결과 시간당 약 150여 마리가 출현하는 것으로 조사되었으며, 지역별로는 전라도와 경상도에서 출현빈도가 높은 것으로 조사됨(그림 162, 163, 164, 165, 166)

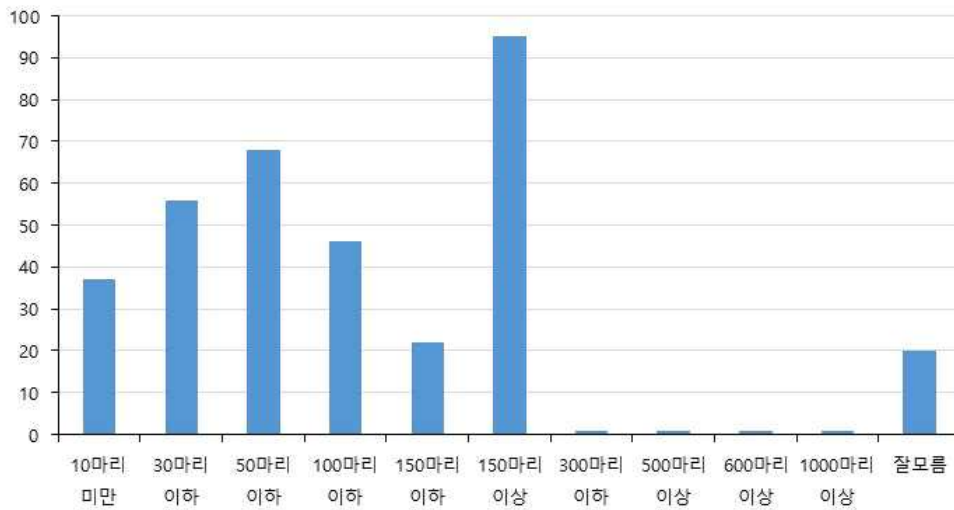


그림 162. 시간당 관찰되는 등검은말벌 최대 수 (1)

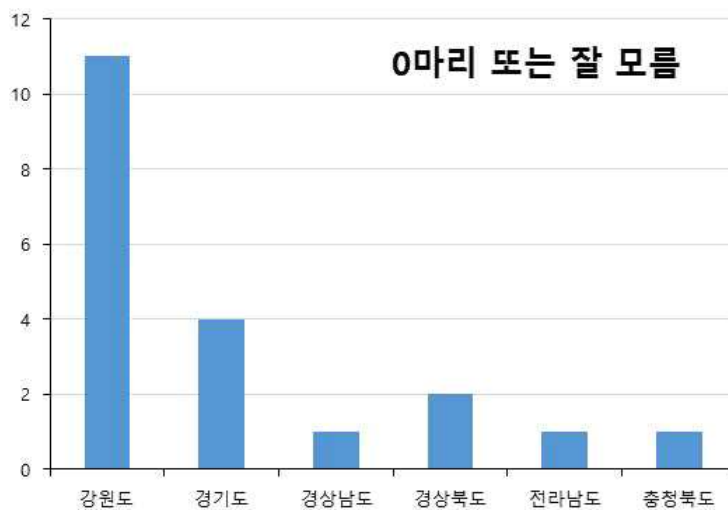


그림 163. 시간당 관찰되는 등검은말벌 최대 수 (2)

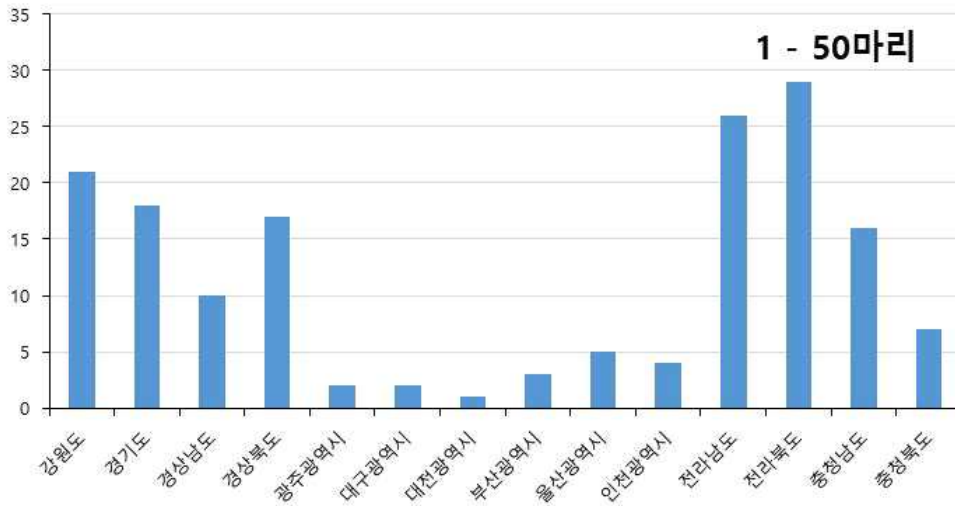


그림 164. 시간당 관찰되는 등검은말벌 최대 수 (3)

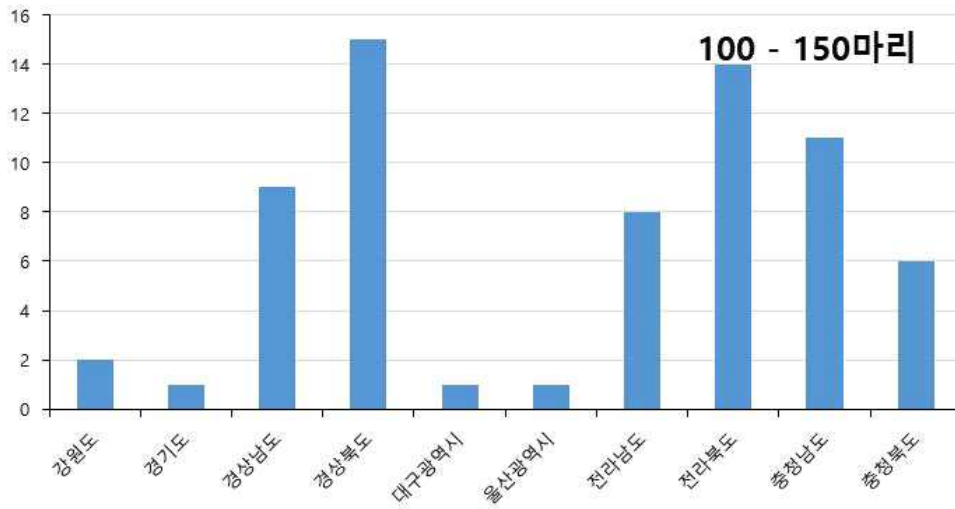


그림 165. 시간당 관찰되는 등검은말벌 최대 수 (4)

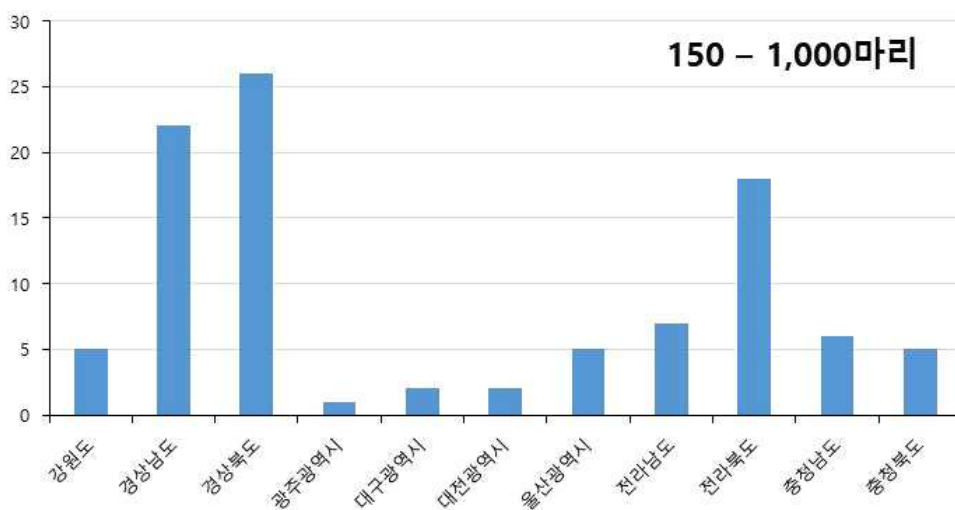


그림 166. 시간당 관찰되는 등검은말벌 최대 수 (5)





그림 169. 등검은말벌에 의한 양봉농가의 질적피해 조사결과(워드클라우드 분석)



그림 170. 등검은말벌에 의한 양봉농가의 양적피해 조사결과 (워드클라우드 분석)

- 현재 등검은말벌 방제를 위해 사용하는 방법은 유인포획기의 사용과 직접포획방법을 사용하고 있었으며, 가장 효과적이라고 생각되는 방법은 직접적으로 말벌집을 찾아 없애는 것이 가장 좋은 방법이라고 대답함(그림 171, 172, 173)



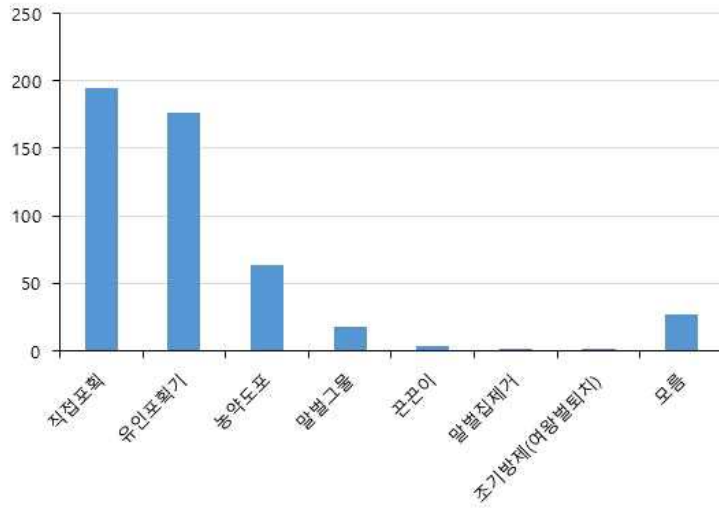


그림 171. 등검은말벌 포획방법별 조사결과



그림 172. 등검은말벌 포획방법별 조사결과(워드클라우드 분석)



그림 173. 양봉농가가 생각하는 최고의 등검은말벌 방제법 (워드클라우드 분석)

2) 선정된 450농가 대상 설문지 코딩작업을 통해 시기별, 지역별로 등검은말별 발생 빈도 및 농가 피해실태 DB 구축

① 설문조사 결과 database 구축

- 온라인 설문조사 결과를 엑셀을 이용하여 database화 하였음(그림 174)

A	B	C	D	E	F	G
1	타원스탬프	사용자 이름	이메일 주소를 적어주세요(이름+성)	1-1. 양봉장 위치는 어디신가요? (광역시 또는 도)	1-2. 설문응답 지역명	2. 양봉장 사육수는 어느 정도입니까?
2	2017/08/29 9:53:23 오전 GMT+9	kyhjh@naver.com		경상남도	충청시 신속물 산란리	3000 이하
3	2017/08/29 10:09:22 오전 GMT+9	antjkg@naver.com		경상남도	경상남도 고성군 마암면 삼곡리 699-6번지	3000 이하
4	2017/08/29 10:27:09 오전 GMT+9	jd8579@hanmail.net		전라남도	여주시 신기동	5000 이하
5	2017/08/29 10:36:08 오전 GMT+9	sys50@korea.com		경상남도	경남 산청군 단성면	1000 이하
6	2017/08/29 10:44:45 오전 GMT+9	happy@naver.com		경기도	과천시 갈매동	500 이하
7	2017/08/29 11:50:04 오전 GMT+9	ldc2577@hanmail.net		전라남도	나주시 봉황면	5000 이하
8	2017/08/29 11:29:29 오후 GMT+9	grmi007@naver.com		전라남도	고흥군 대서면	1000 이하
9	2017/08/29 1:20:14 오후 GMT+9	grmi007@naver.com		전라남도	고흥군 대서면	1000 이하
10	2017/08/29 1:20:51 오후 GMT+9	grmi007@naver.com		전라남도	고흥군 대서면	1000 이하
11	2017/08/29 1:22:14 오후 GMT+9	grmi007@naver.com		전라남도	고흥군 대서면	1000 이하
12	2017/08/29 1:23:12 오후 GMT+9	grmi007@naver.com		전라남도	고흥군 대서면	1000 이하
13	2017/08/29 2:42:43 오후 GMT+9	os271@daum.net		경기도	여주시면리	5000 이하
14	2017/08/29 8:02:32 오후 GMT+9	lhy4522@hanmail.net		전라남도	장흥군 휴산면 경신리 250	5000 이하
15	2017/08/29 10:29:24 오후 GMT+9	92471102@hanmail.net		전라북도	송탄군 송탄면 반월 1길 25	5000 이하
16	2017/08/29 10:57:55 오후 GMT+9	pari@naver.com		부산광역시	부산기양동일명면	5000 이하
17	2017/08/29 11:50:19 오후 GMT+9	sys8425@hanmail.net		경상남도	거창군 거북면	5000 이하
18	2017/08/29 5:50:22 오후 GMT+9	ljsung01@hanmail.net		대전광역시	대전 대유동 일동	1000 이하
19	2017/08/29 9:28:37 오전 GMT+9	33112602@hanmail.net		충청남도	홍성시 홍성읍 안영동	1000 이하
20	2017/08/31 10:53:48 오전 GMT+9	fjgmj@naver.com		경상남도	김해시대동면	5000 이하
21	2017/08/31 11:03:18 오전 GMT+9	kmp21@daum.com		경상남도	함안군 칠곡면 장단리	5000 이하
22	2017/08/31 11:25:28 오전 GMT+9	kwk11129@gmail.com		충청북도	충주시 옥천구 복산면	2000 이하
23	2017/08/31 6:03:52 오후 GMT+9	basie@hanmail.net		충청남도	공주시 용궁동 복전리	1000 이하
24	2017/09/01 6:10:14 오후 GMT+9	lhy2301@hanmail.net		충청북도	충북청주시흥덕구신정동99	2000 이하
25	2017/09/01 7:57:16 오후 GMT+9	akska101@daum.net		대구광역시	대구시 동구 봉우동	2000 이하
26	2017/09/05 10:41:03 오전 GMT+9	kimsungjun@nmsn.com		전라남도	해운군 도암면 대초길	5000 이하
27	2017/09/06 7:01:15 오전 GMT+9	gusundong@hanmail.net		전라북도	남원시 사하면 구물길 38-3	1000 이하
28	2017/09/08 12:55:42 오후 GMT+9	agja@hanmail.net		전라남도	여주시 소하리	5000 이하
29	2017/09/08 4:09:25 오후 GMT+9			대구광역시	달성군 다사읍	1000 이하
30	2017/09/08 5:03:39 오후 GMT+9			경상남도	상정군 신곡면	1000 이하
31	2017/09/08 7:24:46 오후 GMT+9	leek0529@naver.com		경상남도	경상남도 함안군 범수면 강주리	5000 이하
32	2017/09/08 7:29:02 오후 GMT+9	GoodFarmhoney@gmail.com		전라북도	김제시 관산면 정동리33	10000 이하
33	2017/09/08 7:46:59 오후 GMT+9	ohygg@naver.com		충청남도	당진시 신남부동	5000 이하
34	2017/09/08 9:18:08 오후 GMT+9			전라남도	영암군 신곡면 이곡동	10000 이하
35	2017/09/08 10:58:00 오후 GMT+9			경상남도	3000 이하	
36	2017/09/09 8:59:08 오전 GMT+9	helloman7788@naver.com		경상북도	경북 청도군 안국길 87-93(동석리 1619)	5000 이하
37	2017/09/09 12:19:29 오후 GMT+9			전라북도	나주시 삼평동 놀이길11	10000 이하
38	2017/09/09 3:38:26 오후 GMT+9			경기도	여주시 용동면 당진리	1000 이하
39	2017/09/09 7:35:00 오후 GMT+9	suju3967@daum.net		전라남도	고흥군 고흥읍 초서2길19	5000 이하
40	2017/09/10 1:00:50 오후 GMT+9	hkkim9578@hanmail.net		경상북도	경북 영덕군 양학동 화전리1	2000 이하
41	2017/09/14 6:13:06 오전 GMT+9	wool613@hanmail.net		전라북도	정읍시 관천동	1000 이하

그림 174. 온라인 설문조사 결과 database화

- 구글 DOCS 설문지 프로그램을 활용한 온라인 설문조사 database 구축(그림 175, 176, 177) (<https://docs.google.com/forms/d/1xdBIRezKTh9uOtAOVBtm9bzbVH4wdHMgnm9ajFTcm3w/edit?usp=sharing>)

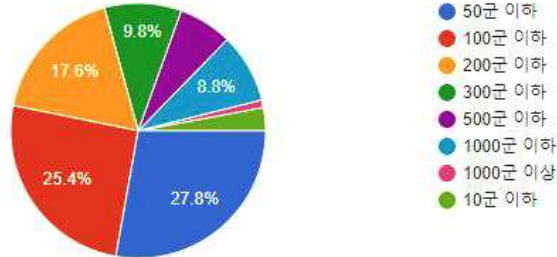


그림 175. 구글 DOCS 설문지 프로그램을 활용한 온라인 설문조사 database화

## 양봉가 피해 조사

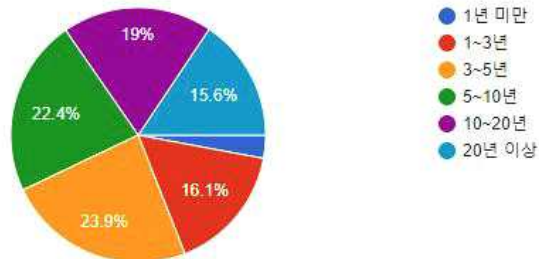
### 2. 양봉장 사육군수는 어느 정도입니까?

응답 205개



### 3. 양봉 경력은 어떻게 되십니까?

응답 205개



### 4. 양봉장 주변 환경 유형 어떻습니까? (다수선택 가능)

응답 205개

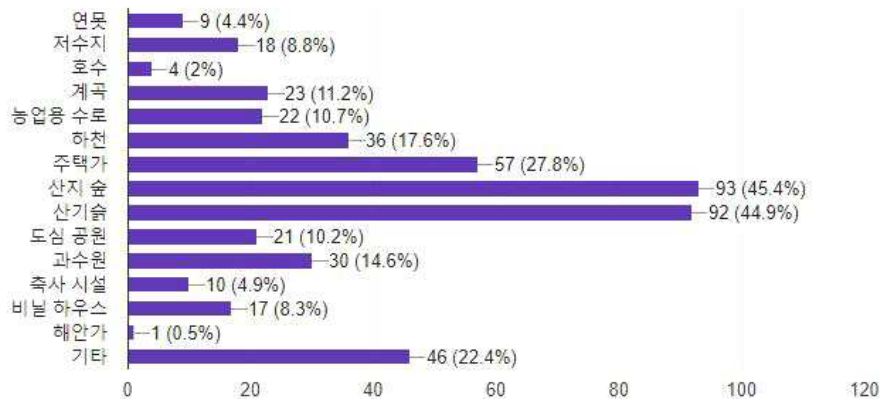
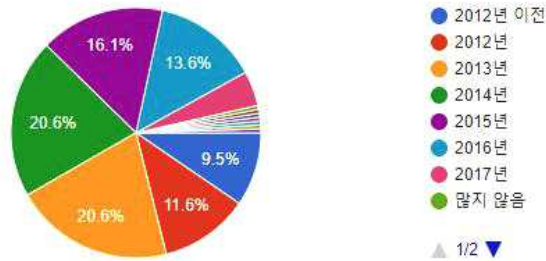


그림 176. 구글 DOCS 설문지 프로그램을 활용한 온라인 설문조사 database화

## 양봉가 피해 조사

5. 등검은말벌이 양봉장에 최초 출현한 시기는 언제부터 출현하였습니까?

응답 199개



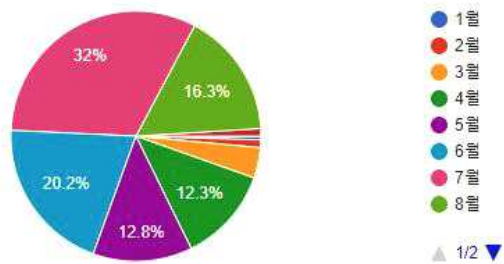
6. 금년(2017년)에 등검은말벌이 양봉장에 출현하였습니까?

응답 198개



7. 금년(2017년)에 등검은말벌이 양봉장에 몇 월부터 출현하였습니까?

응답 203개



8. 등검은말벌이 출현하였다면 가장 많이 관찰되는 시기는 언제입니까?

응답 203개

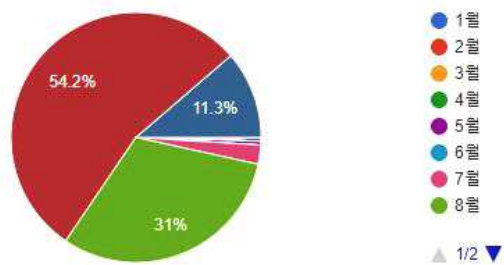


그림 177. 구글 DOCS 설문지 프로그램을 활용한 온라인 설문조사 database화

○ 제3세부 2년차 연구 결과 요약

- 등검은말벌에 의한 양봉농가 피해양상을 설문조사 기법을 활용하여 조사한 결과 등검은말벌 발생이 지속적으로 증가하여 전국적으로 피해를 주는 것으로 나타났음. 피해규모는 연평균 농가별 약 100-300만원 수준이며, 질적 피해요인으로는 피로누적이 가장 높은 것으로 응답하였음. 주로 사용하고 있는 등검은말벌 방제법은 직접포획, 유인포획기 및 농약도포 등을 사용하고 있었으며, 농가가 인식하는 가장 효과적인 방법은 말벌집을 찾아 없애는 방법이라고 응답하였음
- 1건의 학술발표 성과 달성함(2017년, 한국곤충학회 심포지움 및 추계 학술연구발표에서 '해외 유입 유해성 등검은말벌에 의한 양봉농가의 피해현황 조사결과'란 주제로 학술발표함)

(라) 제1협동 연구수행 내용 및 결과(말벌 유인제 및 고효율 포획기 개발 및 말벌 침입시 조기감지 경보장치 개발, (주)다목에코텍 이준길)

1) 등검은말벌의 생물·생태학적 특성 연구

① “실내 사육 환경”에서의 1차 개체군 월별 생태 현황 파악 시도

- 여왕벌 월동 이후 전영소기 및 단독영소기(2월 말~최대 4월 중순)에는 벌집(Nest)이 육아방 7개로 구성되어 탁구공보다 작은 크기이기 때문에 유인포획기를 통해 여왕벌을 포획하는 것 외에는 자연환경에서의 생태 관찰이 실질적으로 불가능함
- 뿐만 아니라, 분업기(4월 중순~10월)에는 본격적으로 가지에 나뭇잎이 우거지는 시기이므로 벌집(Nest)이 축구공 이상의 크기로 커지는 시기(빠를 경우 7월 중순) 이전에는 고성능 망원경, 고성능 줌 카메라 등을 사용할지라도 생태 관찰이 실질적으로 불가능함
- 실제로 9월 말~10월 초에 벌집 제보를 받고 현장에 나가더라도 그 벌집을 육안으로 나무에서 쉽게 찾아내기는 힘들고, 고성능 망원경 및 고성능 줌 카메라를 이용해서 그 위치를 찾아낼 수 있음
- 이러한 자연환경에서의 생태 관찰 한계를 극복하고자 실내 사육 환경을 조성하여 자연환경에서 번데기 상태로 존재하는 숫벌과 차기 여왕벌이 있는 벌집(Nest)를 실내로 이전시킴(2016년 11월 초)
- 실내 사육장 위치 : 전남 순천시 주암면 주암호길 62-72, 다목에코텍 본사 진입 입구
- 실내 사육장 면적 : 약 25평
- 실내 사육장 환경 : 등검은말벌 탈출을 방지하고 관찰자의 안전을 위하여 2중 출입구를 설계함, 월동 이후 등검은말벌집(Nest) 조소가 시작되면 행동반경을 자유롭게 하기 위해 천장에 개폐 장치를 설계함, 인공 수액을 주기적으로 충분히 공급하고 내부를 자연환경과 유사하게 나무와 놓고 낙엽을 두껍게 설치함(그림 178)



그림 178. 사육장 전경과 입구, 천장 개폐 장치

- 1차 관찰 개체군 이전 작업 : 자연 환경에서 번데기 상태로 존재하는 숫벌과 차기 여왕벌

이 있는 벌집(Nest)을 포크레인을 타고 가지채로 실내로 이전(작년 11월 초)시켜 월동 전후를 관찰함(그림 179)



그림 179. 포크레인을 이용하여 벌집을 이전하는 현장

- 실내 사육장 내에서 2월 중순~2월 말에 월동 후 깨어난 여왕벌의 활동이 관찰 됨. 충분한 인공수액 공급에도 불구하고 실내 환경에서 벌집(Nes)을 조성하는 모습은 관찰되지 않음. 결국 사멸한 여왕벌의 사체만이 바닥에서 발견됨(그림 180)



그림 180. 등검은말벌 실내 사육장에 이전된 벌집에서 월동한 후 사멸한 여왕벌

② “실내 사육 환경”에서의 2차 개체군 월별 생태 현황 파악 시도

- 2차 관찰 개체군 이전 작업 : 7월 초 발견한 등검은말벌집(Nest)을 가지채로 실내로 이전시켜 조소력을 육안 관찰함(그림 181)



그림 181. 7월초 주암댐 인근에서 발견된 등검은말벌집과 이전 작업 현장

- 등검은말벌집을 실내 사육장으로 이전하였으나 이동 시 균열로 인해 벌집이 해체됨. 총 2 단으로 구성된 벌집은 대부분이 번데기 고치방으로 일벌 대량생산을 통한 활동 전성기를 준비하고 있었던 것으로 관찰 됨(그림 182, 183)
- 자연환경에서의 먹이활동을 통해 원활한 단백질이 공급 되어야 함으로 실내 사육장의 천장을 개방하였는데 여왕벌이 해체된 벌집을 버리고 다른 장소로 이탈하는 바람에 추가적인 생태 관찰 연구가 이뤄지지 못함



그림 182. 등검은말벌 실내 사육장에 이전된 후 균열로 인하여 해체된 벌집(Nest)





그림 183. 7월 중순 대부분이 변태기 고치방으로 구성된 벌집 세부

③ “실제 양봉 환경”에서의 생활사 및 월별 생태 현황 파악

- 3월 초부터 4월 말까지 시판 포획기와 유인제를 이용하여 조기방제를 시행함
- 6월 초부터 간간히 관찰되는 등검은말벌은 실험 수행을 위하여 방제하지 않았음(동이 트는 새벽 이른 시간이 아니면 한낮에는 말벌을 관찰하기 힘들, 실제로 대부분의 농가에서는 관리를 소홀히 할 경우 관찰이 어려움)
- 7월 중순부터 소문 앞을 지키는 등검은말벌의 개체가 2개 군집(Nest) 이상으로 육안 관찰되면서 시판 포획기와 유인제를 이용하여 시기에 따라 4~8개를 사용하여 본격 방제를 시작함(그림 184, 185)



그림 184. 소문 앞에서 사냥을 대기하던 중 다른 군집 개체와 싸움을 벌이는 등검은말벌



그림 185. 본사 양봉장에 설치된 포획기 일부

- 봉장의 최대 강균인 계상 2개체를 중심으로 본 과제에서 수행하고자 계획하였던 각종 동물성 유인제 및 고체 시료 등을 다양하게 실험함
- 원활한 유인제 및 포획기 실증 실험을 위하여 1차년도 연구는 등검은말벌 최소 밀도를 확보하기 위해 야외 인공 사육 환경에서 수행되었음. 주기적으로 인공 수액을 공급하고, 상위 포식자인 장수말벌, 꼬마장수말벌, 좀말벌을 주기적으로 제거하여 환경을 등검은말벌 최소 밀도를 유지함(그림 186)



그림 186. 1차년도 연구에서 조성된 인공 사육 환경

- 그러나 제1협동의 이러한 인공 사육 환경에서의 실험 결과는 제1세부의 실제 양봉 환경에서의 검증 결과와 다소 차이가 발생하였음. 이러한 실험 결과 차이를 최소화 시키고 농가의 애로사항을 직접 체험하고 연구에 반영하고자 2차년도 연구는 실제 양봉 환경과 동일한 여건으로 실험 환경을 조성하여 각종 연구를 수행하였음(그림 187)



그림 187. 연구를 위해 본사에 조성한 양봉장 전경

- 실제 양봉 환경에서 3월 초부터 4월 말까지 시판 포획기와 유인제를 이용하여 조기방제를 시행하여 약 40여 마리의 여왕벌을 채집하였음
- 조기방제 이후 4월 말부터 5월 중순까지는 등검은말벌이 관찰되지 않았음
- 6월 초부터 간간히 관찰되는 등검은말벌은 실험 수행을 위하여 방제하지 않았음. 포획기 내로 포획 될 경우 확인만 하고 방생함
- 이후 7월 중순부터 출현 빈도가 급증하여 봉군 1개당 약 1~2마리의 등검은말벌이 소문에서 꿀벌을 사냥하는 것이 관찰 됨(이는 제3세부의 등검은말벌 첫 출현 시기와 가장 많이 관찰되는 시기의 설문 결과와 일치함)
- 그러나 등검은말벌이 포획기에 전혀 포획되지 않고 오직 꿀벌만을 사냥하는 양상이 관찰 됨. 2차년도 유인제 예비 실험을 진행해야 되지만 등검은말벌 출현 밀도가 높아졌음에도 불구하고 유인제가 들어있는 포획기 내로 유인되지 않아 실험이 불가능한 상황이 8월 초까지 계속 됨
- 본사 양봉장에 비해 등검은말벌의 출현이 빠르고 밀도가 높다는 여러 지역의 제보를 받아 '남해'의 한 양봉장에서 유인제 실험을 진행하였음. 한 봉군에 평균 3마리의 등검은말벌이 소문 앞에서 사냥을 대기하며 싸우고 있었으므로 이 봉장 주변에는 최소 3개 이상의 등검은말벌집(Nest)가 존재하는 것으로 추측 됨. 이미 많은 등검은말벌을 잠자리채로 잡아서 발로 밟아 죽인 사체가 양봉장 바닥에 가득 깔렸음. 그러나 등검은말벌의 높은 밀도에도 불구하고 여전히 유인제에는 전혀 반응하지 않고 오직 꿀벌만 사냥하는 양상이 본사에서와 동일하게 관찰 됨(그림 188, 189, 190, 191, 192)



그림 188. 잠자리채로 포획하여 죽인 등검은말벌 사체



그림 189. 남해 봉장의 꿀벌을 사냥 중인 등검은 말벌



그림 190. 남해 봉장에서 진행한 예비 테스트



그림 191. 남해 봉장의 꿀벌 사냥을 대기 중인 등검은말벌



그림 192. 남해 봉장에서 진행한 예비 테스트

- 실제 이 시기에는 본사의 포획기 판매가 급증하는 시기인데 구매자들의 등검은말벌의 높은

출현 양상에도 불구하고 포획기에 유인 되지 않는다는 문의 전화가 작년부터 급증함(제3세부의 설문 결과에 따르면 작년에 비해 2배 이상 등검은말벌이 증가함)

- 1차년도 인공 사육 환경은 유인제(탄수화물, 당분)의 위치를 지속적으로 학습시켜 탄수화물 또는 당분의 공급을 명령받은 등검은말벌이 유인제에 반응을 보였으므로 유인제 실험이 원활하게 진행되었음. 그러나 2차년도 실제 양봉 환경에서는 꿀벌이 왕성하게 활동하고 있어 꿀벌 가슴살(단백질)을 명령 받은 등검은말벌은 오직 단백질에만 반응하는 것을 동물성 고체 생물 시료 간이 실험을 통해서 증명함(그림 193, 194, 195)



그림 193. 동물성 고체 생물시료 간이 실험



그림 194. 동물성 고체 생물 시료(갈치)에 반응을 보이는 등검은말벌



그림 195. 더이상 소문 앞에서 꿀벌을 사냥하지 않고 동물성 고체 생물 시료를 절단 가공하는 등검은말벌

- 장수말벌은 소문 앞에 사냥을 왔더라도 참나무 기반 유인제가 있으면 이에 높은 관심을 보이고 사냥을 중단하고 유인제에 반응하여 포획되지만 등검은말벌은 봉군내에서 사회적으로 분화된 정도가 보다 명확하여 명령받은 내용에만 충실하게 행동하는 것으로 추측됨. 이에 실제 양봉 환경에서 등검은말벌이 창궐하는 7~8월에는 탄수화물이 주성분인 유인제 뿐만 아니라 농가에서 쉽게 구할 수 있는 단백질이 주성분인 동물성 기반 고체 유인제의 병행이 더 효과적인 유인책(단, 수분이 없이 딱딱한 육포 형태일 경우는 유인이 되지 않음)임과 동시에 꿀벌의 감소를 막을 수 있는 방법이라고 사료 됨
- 추가적으로 시기에 따라 유동적으로 동물성 유인 생물을 탑재뿐만 아니라 다양한 유인 인자(탄수화물, 단백질, 그 외 등검은말벌 선호 및 반응 물질)를 탑재시킬 수 있는 포획기로

기존 설계를 변형한다면 단독 유인제의 유인 포획 한계를 극복하고 포획기와의 시너지효과를 일으킬 수 있을 것으로 기대하고 대형 포획기를 개발하였음

- 말벌 성충은 곤충을 사냥하여 가공한 단백질을 직접 먹지 않고 유충에게 나눠 먹인 후, 성충은 유충이 분비하는 배설물을 먹이로 받아먹는 것으로 알려져 있음. 이에 등검은말벌을 포획한 후 몸통에 농약을 묻혀 날려 보냄으로써 등검은말벌집(Nest) 내부에 영향을 미치는 착농약환송법에 단백질 시료를 적용한다면 직접 등검은말벌을 잡아서 농약을 묻히는 농민의 노동력을 감소시키면서 효과적인 방제 방법이 될 수 있을 것으로 사료됨

④ “자연생태계”에서의 생활사 및 월별 생태 현황 파악

- 고성능 망원경과 줌카메라를 이용한 상시 관찰을 통하여 발견한 등검은말벌집(Nest)을 사다리, 포크레인, 크레인을 이용하여 직접 올라가 채집하였음(그림196, 197, 198)



그림 196. 제보 및 상시 관찰을 통하여 발견한 등검은말벌집(Nest)



그림 197. 크레인(최대 50M)을 이용하여 등검은말벌집을 채집하는 전경



그림 198. 등검은말벌집을 채집하는 상세 사진 모음

- 채집한 등검은말벌집을 고강도 비닐을 사용하여 이중으로 밀봉한 뒤 -20도 냉동실에 약 24시간 동안 보관하여 등검은말벌 성충 및 유충을 사멸시킨 뒤 해체하여 관찰함(그림 199, 200)



그림 199. 채집한 등검은말벌집을 밀봉하는 과정



그림 200. 성충 및 유충을 사멸시킨 등검은말벌집을 해체하여 관찰하는 과정

- 자연 생태계에서 여왕벌 월동 이후 전영소기 및 단독영소기(2월 말~최대 4월 중순)의 벌집(Nest) 조소력 및 개체군 조사 한계를 극복하고자 실내 사육장을 조성하고 실내 환경에서의 생태 현황 파악을 시도함
- 이 결과 등검은말벌은 행동반경이 제한된 장소(사방이 막힌 곳)에서는 서식하지 않는 것으로 관찰 됨. 실제로 다른 말벌과는 달리 처마 밑 또는 건물 내부에서 벌집이 발견되지 않는 것으로 보아 높고 개방된 장소를 집짓기 장소로 선호하는 것으로 판단 됨
- 또한 7월 중순에 1개체, 9월 중순에 5개체의 벌집(Nest)을 확보하여 분해한 결과와 실제로



양봉 환경(=사실상 등검은말벌이 사냥하는 주요 장소이므로 자연생태계)에서의 여러 가지 실험들을 수행 및 관찰해본 결과 다음과 같은 생활사에 따른 그 시기가 특징을 파악함(표 22)

표 22. 등검은말벌의 생활사 및 먹이 활동

	시기	주여 필요 먹이 성분	특이사항
전 영소기	2월 말 ~ 3월 초	탄수화물	조기방제 시기
단독 영소기	3월 중순 ~ 4월 초	탄수화물	조기방제 시기
공동 영소기	4월 말 ~ 5월 초	탄수화물	
		5 ~ 6월 탄수화물	
분업기	5월 중순 ~ 10월 초	7 ~ 8월 * 단백질, 봉장출현 9 ~ 10월 단백질, 탄수화물	전성기 7월 말 ~ 9월 초
생식봉 생산기	10월 중순 ~ 11월 초	단백질, 탄수화물	
월동기	11월 중순	탄수화물	

⑤ 등검은말벌 천적 조사

- 양봉장의 등검은말벌과 자연환경에서의 등검은말벌을 육안 관찰하고 논문 및 도서를 통하여 문헌 조사를 실시함
- 외역중인 말벌의 성충을 잡아먹는 포식자 : 주로 조류로 알려져 있으며 때가치는 털보말벌, 쯤말벌, 말벌 등을 사냥하는 것으로 알려져 있음. 중형 이상의 새는 말벌의 포식자가 될 수 있으나 구체적으로 어떤 새들이 말벌을 잡아먹는지 알려진바 없음. 말벌 종류 중 가장 크고 위험한 장수말벌도 새들이 사냥할 수 있는지도 거의 확인되지 않음. 장수말벌이 곤충뿐만 아니라 다른 말벌들에게도 가장 무서운 포식자로 사실상 먹이 피라미드 최상부에 위치하는 최고의 포식자라고 보는 것이 타당함
- Nest를 습격하여 성충 및 새끼를 잡아먹는 말벌 포식자 :- 쌍살벌, 땅벌, 말벌 등을 등지체 공격하여 새끼와 성충을 포식하는 포유동물로는 여러 종류의 곰, 오소리, 너구리, 두더지 등이 알려져 있음. 그러나 우리나라에서의 포식동물과 피식 말벌류의 구체적인 관계는 연구되지 않고 있음. 말벌 포식자로 잘 알려져 있는 벌매(*Pernis apiporus*)는 우리나라에서는 이따금 통과하는 나그네새이므로 이들이 말벌이나 땅벌 등의 등지를 약탈하는 모습을 관찰하기는 어려움
- 곤충 중에는 개미가 주된 포식자임. 말벌과 곤충은 복부에서 분비되는 화학물질을 벌집의 꼭지 등에 수시로 발라서 개미의 출입을 막음. 그러나 여왕벌 단독 영소기에 장시간 외출하거나 여왕벌이 사망하는 등의 사유로 방어 물질이 사라지면 곧바로 개미의 침입을 받음
- 말벌 종류의 벌집을 공격하는 최대 천적은 상대적으로 체구가 큰 말벌 종류임. 특히 장수말벌은 거의 모든 종류의 말벌과 곤충의 등지를 습격하고, 꼬마장수말벌은 쌍살벌 등지를 전문적으로 약탈하는 습성으로 잘 알려져 있음
- 말벌 Nest 내로 침입 또는 잠입하여 유충이나 번데기에 기생하는 생물 :- 벌의 체내 기생

곤충, 벌집 내 기생곤충 등은 다수가 알려져 있음. 쌍살벌 종류는 육아방이 노출되므로 새끼들이 포식 및 기생당하기 쉬운데 특히 맵시벌 종류에 의한 피해가 가장 큰 편임. 땅벌과 말벌의 경우는 등지가 외피로 보호되므로 쌍살벌에 비하면 상대적으로 기생생물의 침입이 어려운 편임. 그러나 완전히 자유로운 것이 아니며 약 10여종의 기생식물이 알려져 있음

- 말벌 성충의 체내에 기생하는 생물 : 말벌과 곤충의 성충에 기생하는 동물로는 부채벌레목 (Strepsiptera)의 일부 곤충, 벌붙이파리과(Conopidae)의 일부 곤충, 그리고 선충 등이 대표적임
- 등검은말벌의 천적 : 등검은말벌 역시 말벌과에 속하므로 위 4가지 모든 경우의 천적이 존재할 가능성이 있음. 그러나 등검은말벌의 경우 포획기 내에 이미 포획된 제한된 환경에서 장수말벌에게 공격당하여 죽는 것이 관찰되나, 자연 환경에서는 이미 우점종으로 자리 잡아 장수말벌의 포식대상이 된다 하더라도 이로 인해 사라지는 개체가 매우 적을 것으로 예상되며 장수말벌의 등검은말벌집 집단 공격 또한 개체수 차이로 인해 사실상 불가능 할 것으로 예상됨. 또한 등검은말벌집은 높이가 매우 높아 포유동물의 공격이 불가능하며, Nest 해체를 통해 총 6개체를 관찰한 결과 개미의 공격이나, Nest 내에서 유충이나 번데기에 기생하는 생물은 관찰되지 않았음. 등검은말벌의 성충에 기생하는 생물은 아니지만 병원균(곰팡이, 바이러스 등)으로 육안 관찰 되었던 등검은말벌을 전자현미경을 통해 관찰한 결과 병원균이 아니라 화분(꽃가루)의 일종으로 관찰되었음(그림 201)



그림 201. 병원균에 의한 병증으로 의심된 등검은말벌 성충

- 결론적으로 등검은말벌 천적의 존재 가능성은 여전히 있지만, 생태 연구를 통하여 직접 관찰된 바 없으며 천적을 활용한 방제는 사실상 불가능하다고 판단 됨

## 2) 등검은말벌 및 유해성 말벌 특이적 유인제 레시피 2차 개발

### ① 등검은말벌 특이적 동물성 유인 물질 탐색 및 제조

- 2012년 이후 토종 우점종이었던 장수말벌을 제치고 경남 지역에서부터 67% 이상으로 압도적 우점종이 된 등검은말벌은 꿀벌 성충을 단독 포식하는 생태 특성을 가짐
- 6월 상순부터 10월 하순경까지만 단독 포식 양상을 보이는데 이 시기에는 장수말벌 포획에 특화된 식물성 유인제 기반의 기존 포획기에는 유인률이 매우 저조함
- 소문 앞에서 꿀벌을 사냥한 후 근처 나뭇가지 등에 앉아 꿀벌 가슴(몸통)의 외피를 벗기고 살만을 발라내어 귀소 함. 선행 연구로 꿀벌 가슴살은 발라내어 냄새를 맡아본 결과 다소 비릿한 냄새가 남

- 이러한 생태 특성에 기반하여 동물성 물질 예비 후보군을 7종(건어물류 3종-멸치, 뒤포리, 새우, 어류 3종-갈치, 고등어, 오징어, 육류 3종-돼지고기)을 탐색함
- 시판 유인제의 설탕물 기반 제조 노하우를 기반으로 설탕물 기반 침출 방법으로 유인제를 제조함(그림 202)



그림 202. 설탕물 기반 유인제 제조

② 영상분석 장치를 이용한 간편 테스트

- 카메라를 이용하여 지정하는 시간 동안의 녹화 및 사진 촬영이 가능한 영상분석 장치를 고안함. 고안된 장치는 인터넷을 통해 실시간으로 PC 및 스마트폰을 이용하여 실험 상황을 모니터링 할 수 있음(그림 203, 204, 205, 206)

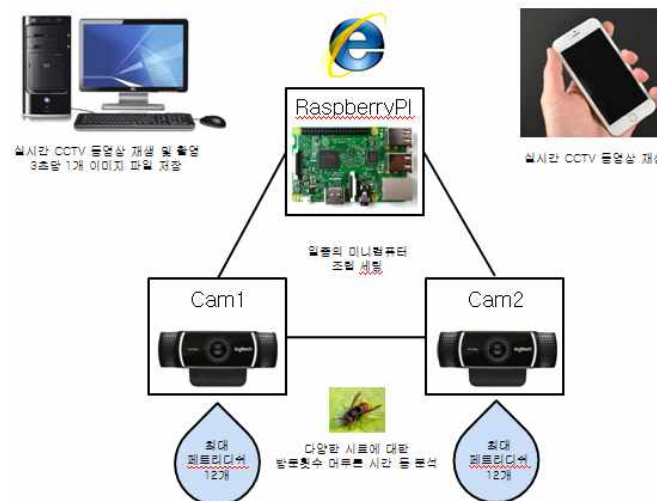


그림 203. 영상분석장치 모식도



그림 204. 영상분석장치를 이용한 실제 유인제 실험

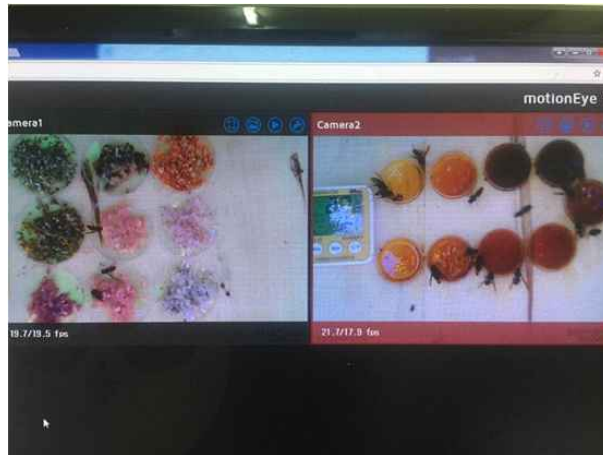


그림 205. 영상분석장치를 이용한 실제 실험상황 PC 모니터링



그림 206. 영상분석장치를 이용한 실제 실험상황 PC 모니터링

- 영상분석장치를 통해 3초에 한 장씩 찍힌 사진을 20장을 한 장으로 모아서(1분에 1장) 각 시료(페트리디쉬) 주변의 등검은말벌 개체를 육안으로 계수함(그림 207)



사진 1장 이미지



사진 50장을 합친 이미지

그림 207. 영상분석장치 등검은말벌 분석 및 카운팅 설계 과정에서의 샘플 사진

- 최소 100set 이상의 이미지를 구성하여 평균 9개의 시료 중 계수된 개체 수가 많은 순으

로 추가점을 부여하여 유인 효능 순위를 통계화함

- 추가적으로 액이 소진 되는 순서를 반영하여 결과의 참고 값으로 이용함(유인제 근처에 머무르는 시간과 액을 섭취하는 시간의 동시 비교)

③ 동물성 액체 1차 유인제(동물성 7종) 실험

- 영상분석장치를 이용하여 등검은말벌의 밀도에 따라 최소 1시간 30분(이미지 100set), 최대 3시간(이미지 200set)를 기준으로 페트리디쉬에 10ml의 유인제를 부어놓고 머무르는 개체 수 및 액 소진 시간을 통계 분석 함(그림 208)



그림 208. 영상분석장치를 이용하여 분석한 동물성 액체 1차 유인제 유인 효능 실험 이미지

- 설탕물 기반 침출 방법으로 제조한 총 7종의 조추출물의 유인제(동물성 액체 1차 유인제)를 영상분석 장치를 이용한 간편 테스트한 결과, 기존 유인제보다 낮은 유인효능을 보였지만 각 유인제별로 통계적으로 유의한 유인 반응이 육안 관찰 및 통계 분석 되었음(그림 209, 표 9)

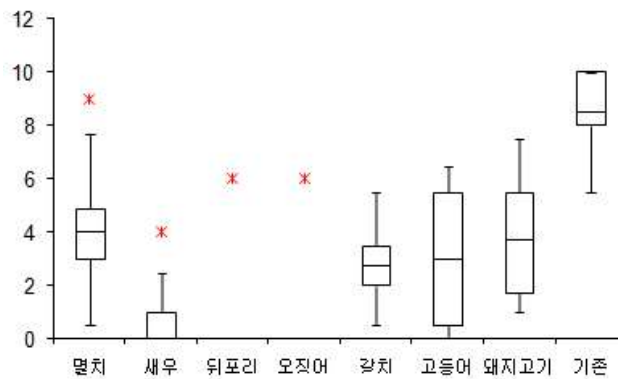


그림 209. 설탕물 기반 침출 방법으로 제조한 총 7종의 조추출물의 유인제의 영상분석 장치를 이용한 테스트

- 설탕물 기반 침출 방법으로 제조한 총 7종의 조추출물의 유인제(동물성 액체 1차 유인제)를 제1세부에 GC/MS 분석 의뢰하였음

④ 동물성 고체 유인제 교차 실험

- 영상분석장치를 이용하여 최소 1시간 30분(이미지 100set), 최대 3시간(이미지 200set)를 기준으로 페트리디쉬에 약 20g의 동물성 고체 유인제를 배치하고 머무르는 개체 수 및 액소진 시간을 통계 분석 함(그림 210, 211)



그림 210. 영상분석장치를 이용하여 분석한 동물성 고체 유인제 유인 효능 실험 이미지의 일부 1



그림 211. 영상분석장치를 이용하여 분석한 동물성 고체 유인제 유인 효능 실험 이미지의 일부 2

- 제1세부의 의견을 반영하여 동물성 액체 1차 유인제가 설탕물 기반이었으므로, 기존 유인제에 비해 향상된 효능이 검증된 1차유인제 기반으로 동물성 액체 2차 유인제를 제조하였음. 동물성 고체 유인제 실험에서 높은 효능을 보인 돼지고기, 닭포리, 멸치를 선별하여 멸균육수, 덩어리, 분쇄 방법으로 제조한 후 실온에 14일간 숙성 시킨 후, 영상분석장치를 이용한 동일한 방법으로 간편 테스트를 진행함(그림 212, 213)



그림 212. 1차 유인제 침지 전 가공한 돼지고기 멸균 육수, 닭포리 덩어리, 멸치 분쇄 순



그림 213. 1차 유인제 침지 전 용기에 담긴 시료(좌)와 숙성 후 실험을 준비하는 과정(우)

- 설탕물 기반 침출 방법으로 제조한 총 7종의 조추출물의 유인제(동물성 액체 1차 유인제)가 기존보다 낮은 유인 효능을 보이는 양상과 더불어 등검은말벌이 가장 왕성하게 활동하

는 7~8월에 유인제에 반응하지 않는 생태 특성을 고려하여 총 7종의 동물성 고체 유인제(생물 시료)에 육류 2종을 추가하여 영상분석 장치를 이용하여 간편 테스트하였음. 그 결과 돼지고기와 닭고기에서 가장 높은 유인 효능이 육안 관찰 및 통계 분석 되었음(그림 214, 표 10)

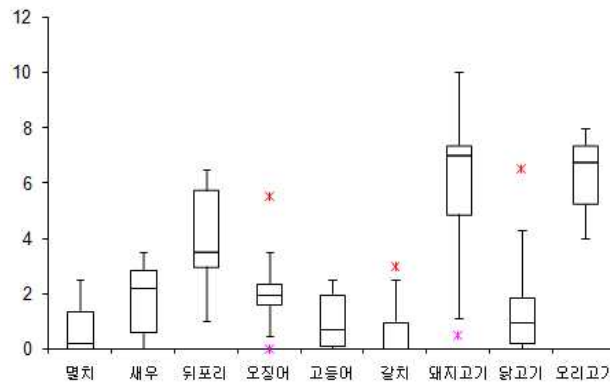


그림 214. 동물성 고체 유인 시료의 영상분석 장치를 이용한 간편 테스트 결과

- 총 7종의 동물성 고체 유인제(생물 시료, 계획 외로 추가 실험한 닭고기, 오리고기 제외)를 제1세부에 GC/MS 분석 의뢰하였음

#### ⑤ 동물성 액체 2차 유인제

- 1차년도 식물성 기반 유인제가 기존 시판 유인제보다 높은 유인 효능을 보이는 것이 제1세부를 통해 증명되었으므로 1차년도 식물성 유인제 기반 침출 방법으로 동물성 고체 유인 시료 중 유인 효능 상위 3종(돼지고기, 뽕포리, 멸치)을 멸균 육수, 덩어리, 분쇄 방법으로 추가 제조 후 영상분석 장치를 이용한 간편 테스트를 진행함
- 그러나 등검은말벌 최소 유인 개체수가 확보되지 않을 만큼 기피 반응이 일어나 실험이 진행되지 않아 영상 결과 분석을 진행하지 않음. 유인제에 부패가 진행되어 이로 인한 기피 반응인 것으로 추측 됨(그림 215)



그림 215. 식물성 유인제 기반 침출 방법으로 제조된 유인제의 부패 양상

- 동물성 액체 1차 유인제(설탕물 기반)는 1년 이상 상온 숙성된 데 비해, 동물성 액체 2차 유인제(식물성 유인제 기반)는 2주간 상온 숙성됨. 이는 유인제의 기반 성분의 차이가 아니라 부패 과정의 진행 및 종료의 차이라고 추측됨



⑥ 등검은말벌 부산물 및 핵심 물질(3-methylbutanol) 기반 실험

- 채집한 등검은말벌집에서 유충(a), 번데기(b), 성충(c)을 선별하고, 추가로 유충과 번데기를 짓이겨 기존 시판 유인제 침지하여 14일간 실온 숙성 한 후 유인 효능을 테스트 함(그림 216)

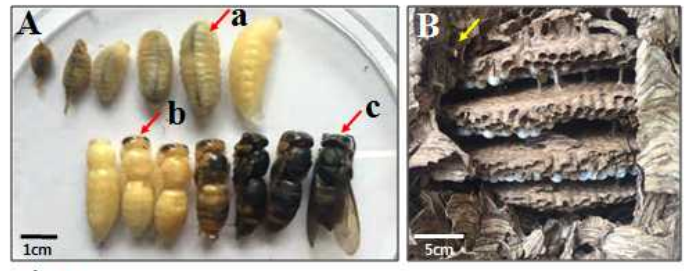


Fig. 1.



그림 216. 등검은말벌 부산물 침지 시료

- 1차년도 실험에 사용하였던 간편 포획기(곤충 사육 상자를 개조) 내부에 페트리디쉬를 넣고 총 10ml의 시료를 넣고 10분 간 내부로 유인 포획된 등검은말벌 개체 수를 계수함(5반복)(그림 217)

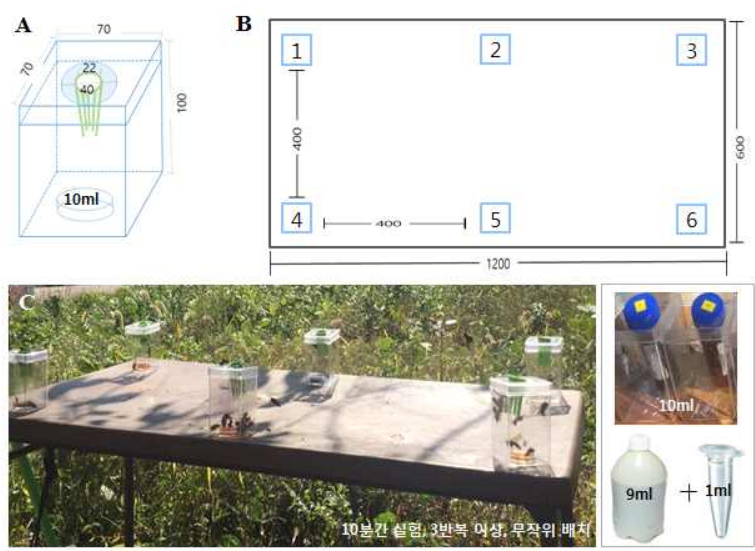


그림 217. 등검은말벌 부산물 기반 유인효능 검증 실험 방법

- 유인제 기반 침출 방법으로 등검은말벌 부산물 6종을 기반으로 유인제를 제조하여 유인 테스트를 진행함
- 성충 침지에서 가장 높은 유인 효능을 보였고, 벌집(Nest)침지에서 두 번째로 높은 유인 효능을 보임. 나머지 시료는 시판유인제(Control)에 비해 낮은 유인 효능을 보임(그림 218)

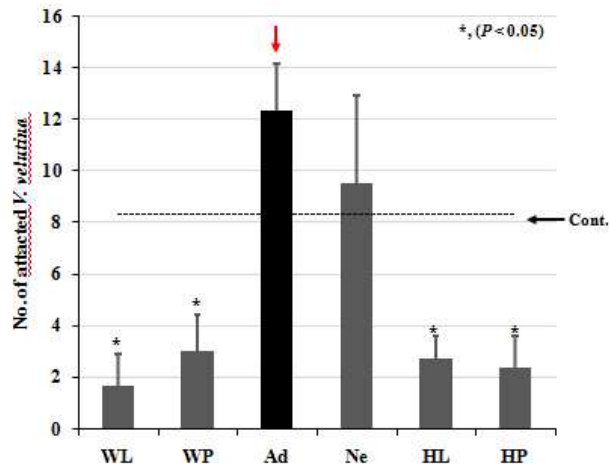


그림 218. 등검은말벌의 유충, 번데기, 성충, 벌집(Nest), 유충 짓이김, 번데기 짓이김 유인제의 유인 결과

- 등검은말벌 부산물 기반 6종 유인제를 제1세부에 GC/MS 분석 의뢰함
- 등검은말벌 부산물 중 가장 높은 유인 효율을 보인 ‘성충 침지’와 성충 침지의 핵심 물질인 ‘3-methylbutanol’(단독 화학물질)을 ‘1차 유인제(Control)’를 시판 포획기를 이용한 정식테스로 유인 효능을 비교 실험한 결과, 말벌 침지 유인제가 1차 유인제보다 통계적으로 유의한 다소 높은 유인 효능을 보임(그림 219, 표 23)

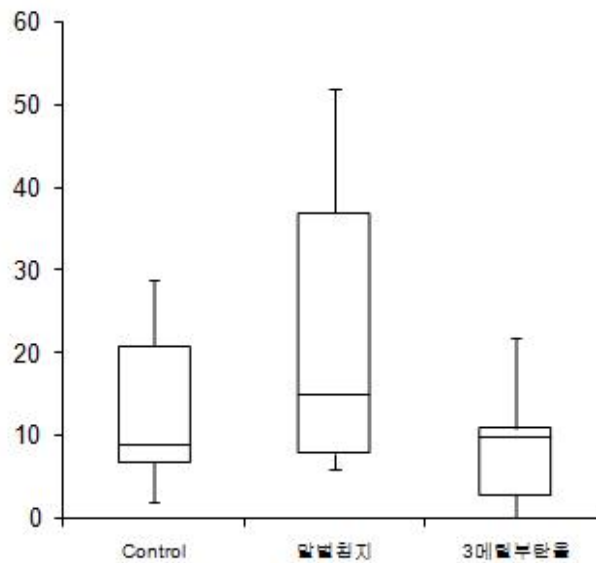


그림 219. 3-methylbutanol 기반 유인 효능 테스트 결과

표 23. 3-methylbutanol 기반 유인 효능 테스트 결과

조건	Control	말벌침지	3-methylbutanol
Min.	2	6	0
Q1	7	8	3
Median	9	15	10
Q3	21	37	11
Max	29	52	22
IQR	14	29	8
Upper Outliers	0	0	0
Lower Outliers	0	0	0

- 3-methylbutanol 단일 화학 물질은 유인제에 혼합되지 않고 기름막으로 분리되는 양상을 보임. 이에 초반에는 유인 효율이 매우 낮다가 일정시간이 지나 휘발성 물질이 공기 중으로 확산되고 나면 1차년도 유인제만 남아 있게 됨으로 후반으로 갈 수록 포획량이 증가하면서 1차년도 유인제와 비슷한 유인 효능을 보이게 됨(그림 220)



그림 220. 3-methylbutanol 단일 화학 물질이 유인제에 혼합되지 않고 기름막으로 분리되는 양상

⑦ BV-1 배양액 유인 효능 비교 실험

- 총 4종(A. 30% 설탕, B. 50% 설탕, C. 30% 설탕+균 D. 50% 설탕+균) 시료의 유인 효능을 분석하기 위하여 영상분석장치를 이용한 간편테스트와 시판 포획기를 이용한 정식테스트를 진행하였음
- 제1세부에서 기존 시판 유인제, 1차년도 개발 유인제를 기반으로 미생물을 분석한 결과 유인 핵심 물질(3-methylbutanol)을 배출할 것으로 추정되는 BV-1 균이 배양된 배양액을 전달 받아 시판 포획기를 이용한 정식 테스트를 진행함(표 24)

표 24. BV-1 배양액의 유인 효능 실험 결과

조건	30%설탕	50%설탕	30%설탕 + 균	50%설탕+균
Min.	0	0	13	18
Q1	0	0	14	20
Median	0	0	15	22
Q3	0.5	0.5	15.5	23.5
Max	1	1	16	25
IQR	0.5	0.5	1.5	3.5
Upper Outliers	0	0	0	0
Lower Outliers	0	0	0	0

- BV-1 배양액은 기존 시판 유인제와 비슷한 냄새가 났으며 병이 팽창되는 것, 즉, 가스가 발생하는 양상이 기존 시판 유인제와 비슷하게 관찰되었으며, 실험 후 세척 과정에서 균으로 추정되는 침전물이 남아 있는 것을 관찰함(그림 221)



그림 221. BV-1 배양액의 가스 발생 양상(좌)과 30% 설탕과 50% 설탕에서의 침전물 차이(우)

### 3) 간편 고효율 말벌 수거 장치 부착 포획기 개발

#### ① 1차 유인 포획 장치 설계 및 모형 시작품 업그레이드

- 1년차에 개선된 1차 포획장치에 제1세부의 유인 효과 검증 과정에서 제시된 의견을 적극 수렴하여 추가적으로 업그레이드 된 여러 버전의 시작품을 제작하여 전달함
- 1차 유인 포획 장치에 대한 제1세부 검증 결과에 대한 제1협동의 의견 : 제1협동은 1차년도 예비 실험을 원활한 실험 진행을 위하여 의도적으로 등검은말벌 밀도를 높이기 위한 인공 수액터가 구비된 실험장에서 수행하였음. 이 실험장의 등검은말벌은 이미 시판 유인제의 위치와 냄새 및 맛을 학습되어 있었으므로 개선된 유입구 증가와 유인 물질 탑재구의 증가는 인공수액터보다 강한 자극으로 작용하여 결과적으로 유인 포획량의 증가로 나타난 것으로 사료됨
- 이를 1차년도 연구 종료 단계에서 자각한 제1협동은 이러한 환경적 요소를 배제하기 위하여 2차년도 연구 및 예비 실험은 인공수액터가 아닌 실제 양봉환경을 조성하여 진행하였음
- 또한 유인제 탑재량이 제한되어 있는 소형 유인 포획 장치에서의 유인 장치 및 유입 장치 추가 연구는 실효성이 없기에 대형 유인 포획 장치 개발에 접목이 필요하다고 사료 됨
- 제1협동의 예비 실험 결과가 제1세부의 검증에서 재연되지 않는 않지만, 농가에서 등검은말벌로 인한 피해를 감소시키기 위한 대책과 관리 편의성 증대를 위해 적극적으로 요청한 1) 등검은말벌 탈출율 감소, 2) 꿀벌 탈출율 증가, 3) 나방 유입률 감소, 4) 유인제의 경제성 증가 요구를 1차년도 연구를 통해 해결하였음

#### ② 2차 유인 포획 장치 설계 및 모형 시제품 제작 1

- 제1세부와의 협업을 통해 변경된 설계를 3D 프린터 이용하여 변형하거나, 자사 판매 제품을 개조하여 시작품을 수정 보완 함
- 2차년도 계획이었던 탈출방지판, 자연 사멸 장치가 삽입 설계가 반영된 소형 2차 유인 포획 장치를 고안하여 시작품을 제작함(그림 222)



그림 222. 탈출방지판, 자연 사멸 장치가 삽입 설계된 소형 2차 유인 포획장치

- 그러나 앞서 생태 연구에서 포획기의 대형화 필요성을 강조한 바에 따라 1차년도 계획이었던 등검은말벌 탈출을 감소, 꿀벌 탈출을 증가를 위한 천공구 개선, 유인 장치 및 유입 장치 추가뿐만 아니라 2차년도 계획인 탈출방지판, 자연 사멸 장치가 삽입 설계가 반영된 대형 2차 유인 포획 장치를 목적을 다양화하여 시작품을 제작함

③ 2차 유인 포획 장치 설계 및 모형 시제품 제작 2: 생태 특성을 고려한 대형포획기1

- 유인제 탑재를 대량화함과 동시에 지속적인 발향 및 확산이 가능하도록 분수형 자동 펌프를 핵심 기술로 한 대형포획기 시작품 1안을 제작하였으나, 앞서 언급한 등검은말벌의 생태 특성으로 인하여 유인제의 양을 대량화하는 것만으로는 유인 효과가 향상되지 않는다는 것을 확인 함(그림 223)



그림 223. 지속적인 유인제 발향 및 확산이 가능한 대형포획기 시작품 1안

- ④ 2차 유인 포획 장치 설계 및 모형 시제품 제작 2: 생태 특성을 고려한 대형포획기2 제작
- 등검은말벌의 양봉장 출현이 해가 거듭됨에 따라 증가함으로 기존의 소형 포획기에 가득 포획된 등검은말벌을 제거하고 유인제를 보충하는 것은 매우 번거로워 많은 노동력을 요함과 동시에 등검은말벌의 공격을 받을 수 있는 위험을 감수해야함. 이에 자동 사멸 기능이 추가된 대형 포획기의 개발이 절실함
  - 단백질 공급 명령을 받은 등검은말벌이 일정시간 등검은말벌집(Nest)로 돌아오지 않으면(잠자리채 등으로 제거할 시) 계속적으로 새로운 등검은말벌이 대체적으로 명령받은 양봉통 소문 앞에 출현하는 생태적 특성을 바탕으로 간헐적으로 고압 전류를 방출하는 대형포획기 시제품 2안을 제작함
  - 110V 전류가 흐르고 있을 경우 내부에 유인제 및 동물성 고체 시료가 있더라도 마치 전류를 감지하고 들어오지 않는 것처럼 내부로의 진입을 하지 않음. 그러나 전류가 흐르지 않을 경우 내부로 유입되는데 이때 전류를 흐르게 하여 감전사 시키는 원리임
  - 등검은말벌의 탈출이 불가능하고 전기 충격으로 인해 자연 사멸 되는 이점이 있지만, 전기를 사용해야 하고 고압 전류가 흐르기 때문에 낙엽 등으로 인한 화재 위험이 높다는 단점이 있음. 또한 포획된 개체의 페로몬 발산으로 인한 지속적 유인이 되지 않아 비효율적이므로 다른 방법의 유인 트랩을 고안하기로 함(그림 224)



그림 224. 간헐적 고압 전류 방출로 인한 전기 충격식 대형포획기 시제품 2안

- ⑤ 2차 유인 포획 장치 설계 및 모형 시제품 제작 2: 생태 특성을 고려한 대형포획기3
- 제3세부의 연구결과에 따르면 양봉 농가의 등검은말벌 방제 방법 1순위는 기존 시판 포획기 임. 그러나 등검은말벌의 생태 특성에 따라 등검은말벌의 전성기이자 농가 피해가 극심한 7~8월에는 유인제 단일 물질에 대한 반응이 낮기 때문에 기존 포획기의 단일 유인제만으로는 유인 포획을 통한 방제에 한계가 있음
  - 이를 해결하고자 다양한 유인인자를 시기에 따라 다르게 탑재할 수 있는 대형포획기 3안을 고안 함(그림 225)



그림 225. 다양한 유인인자 탑재가 가능한 대형포획기 시제품 3안

- 제1세부와 협업하여 대형 포획기 3안의 효능을 테스트 하여 기존 소형 포획기보다 높은 유인 효능을 보임을 확인하였으나 자연사멸장치 개발 및 시제품 제작중이라 이에 대한 효능은 3차년도에 테스트 하고자 함
- 대형포획기 3안에 대한 특허 출원을 완료함. 농가의 요청에 따라 최대한 빠른 시일 내에 연구 개발을 마치고 보급하여 등검은말벌 피해에 대응하고자 함

#### 4) 말벌침입시 조기감지 경보장치 개발

##### ① 촬영장비 설계

- 말벌이 들어올 수 있는 최적 크기의 입구 설계하였고, 유인제 발향을 위한 냄새 확산구와 유인제 수납함
- 말벌 동작감지를 위한 카메라모듈 위치 설정, 직사광선 영향을 줄이기 위해 열반사성 재질 사용, 유인제 수납 및 내부 청소가 용이하도록 개폐문 설치함
- 3D CAD 프로그램을 이용하여 설계 한 후, 아크릴 가공 업체에 조각을 주문한 후, 절단된 조각들을 직접 조립하며 시제품을 수정 보완 함(그림 226)

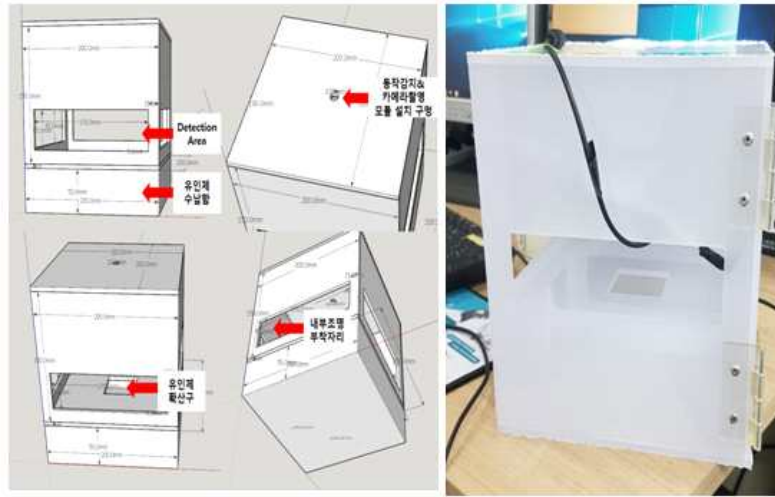


그림 226. 조기감지장치의 촬영 장비 3D 설계도 및 Detection arear가 포함된 시작품

## ② 촬영 모듈 설계 및 조립

- 등검은말벌 조기감지장치 개념도 및 시제품 제작(그림 227)



그림 227. 조기감지장치의 영상처리 시스템 모듈 개념도 및 조립된 시작품

- PIR sensor: 곤충이 발산하는 체외적외선 감지를 통해 Cage 내부로 곤충이 들어옴을 감지
- Raspberry pi 3: PIR sensor의 동작감지 신호를 인식 후 RPI camera 촬영 제어 및 micro Secure Digital card에 촬영정보 및 이미지 저장 제어
- RPI camera module V2: CSI 인터페이스, Sony IMX219 image sensor를 이용하여 최대 3280 x 2464 pixel(8백만 화소) 정지 화상 촬영
- 5V Power supply: 상기 설명된 부품에 전력 공급
- 등검은말벌 조기감지장치 시제품을 이용한 등검은말벌 촬영이미지(그림 228)



그림 228. 조기감지장치 시작품을 통해 촬영한 실제 촬영 결과



③ 말별 감지 및 촬영 제어 프로그램 설계

- 편집프로그램 NOTEPAD++ 이용하였고, 사용언어는 Python3, 사용모듈은 Rpi.GPIO, picamera, time으로 함
- 등검은말별 조기감지장치의 최적이미지 확보를 위한 동작 알고리즘 및 코드 작성(그림 229)

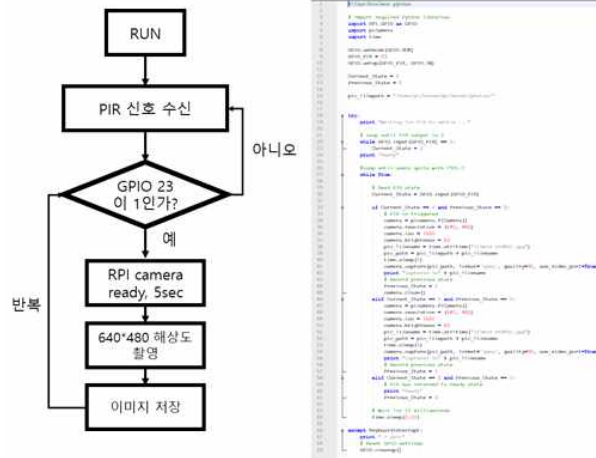


그림 229. 조기감지장치의 파이썬을 이용한 알고리즘 및 편집 프로그램

- 이미지 셋트에서 Custom training set를 json 방식으로 구축할 수 있게 제공하고 있음
- 예측과 테스트를 공동으로 수행하므로 후처리 단계가 필요하지 않으며, 시퀀스 생성 시 반복적인 LSTM 레이어를 사용하였음
- 혼잡 한 상황(군중, 군집)에서 특정 이미지를 획득하는데 최적화 되어 있음
- 테스트 샘플(카페 CCTV 이미지)에서 사람 얼굴을 획득하는데 90%의 정확도를 나타냄
- 등검은말별을 특이적으로 인식하여 사용자에게 알림 신호를 보내기 위한 알고리즘 구축(그림 230, 231, 232)

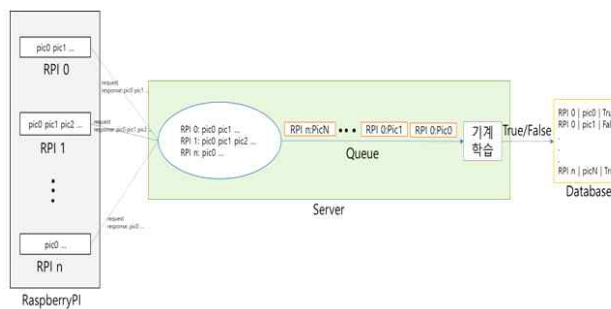


그림 230. 말별 인식 시스템 구축을 위한 알고리즘

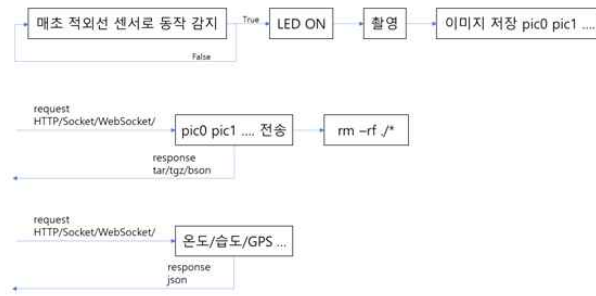


그림 231. 클라이언트 : RPI MODULE



그림 232. 서버: Ryzen1600/16g ram/gtx1080

- ④ 말벌 인식 시스템 학습을 위한 Data set 구축 (적정 물체감지센서 적용 및 현장 검증)
- 학습, 딥러닝 프로그램인 Resnet Version Tensorbox을 이용하여 등검은말벌 인식을 위한 이미지 학습 수행함
  - Tensorbox를 학습 모델로 사용함(그림 233, 234, 235)

## End-to-end people detection in crowded scenes

Russell Stewart<sup>1</sup> Mykhaylo Andriluka<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Science, Stanford University, USA

<sup>2</sup>Max Planck Institute for Informatics, Saarbrücken, Germany  
{stewart, andriluk}@stanford.edu



Figure 1: Initial over-complete set of detections of OverFeat (a) and output of post-processing (b). Note the failure to detect the third person in the center. Detection results obtained with our method (c).



Figure 6: Example detection results obtained with OverFeat-GoogLeNet (top row) and our approach (bottom row). We show each model's output at 90% precision. See the text for a description and the supplemental material for a video<sup>2</sup> of our model's output.



Figure 7: Example failure cases of our method.

그림 233. Tensorbox의 얼굴 인식 예시

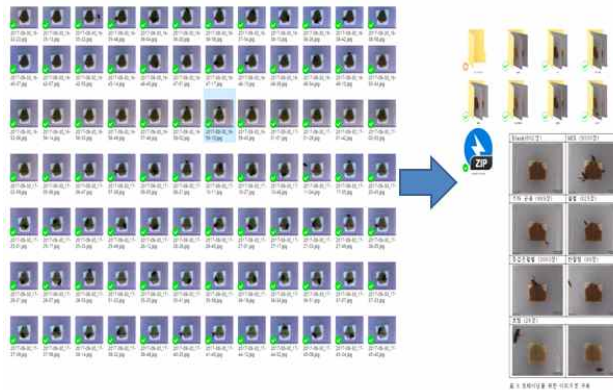


그림 234. Training을 위한 데이터셋 구축

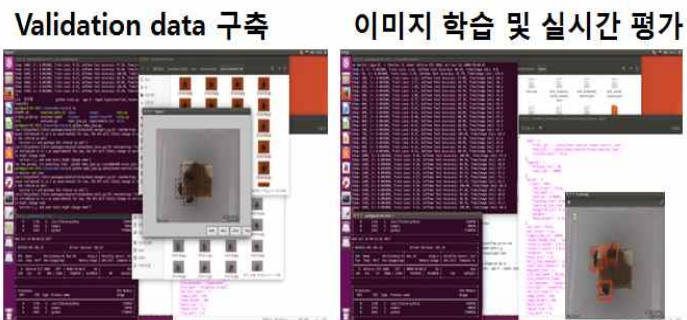


그림 235. Resnet version Tensorbox

- Tensorboard를 이용하여 학습된 이미지의 결과 및 시각화를 평가함(그림 224)

## Tensorboard

You can visualize the progress of your experiments during training using Tensorboard.

```
$ cd /path/to/tensorbox
$ tensorboard --logdir output
$ # (optional, start an ssh tunnel if not experimenting locally)
$ ssh myserver -H -L localhost:6006:localhost:6006
$ # open localhost:6006 in your browser
```

For example, the following is a screenshot of a Tensorboard comparing two different experiments with learning rate decays that kick in at different points. The learning rate drops in half at 60k iterations for the green experiment and 300k iterations for red experiment.

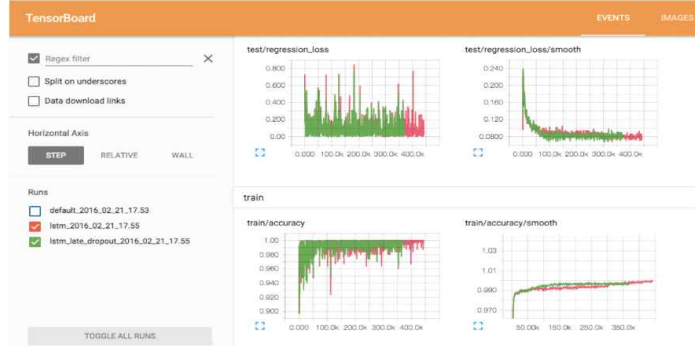


그림 236. Tensorboard를 이용한 학습 결과 및 시각과 평가

- Tensorboard를 이용한 등검은말별 분류에 대한 학습결과 시각화 및 평가결과 촬영된 이 이미지에서 등검은말별 등 유입된 곤충을 정확히 인식하는 것을 확인함(그림 237, 238)

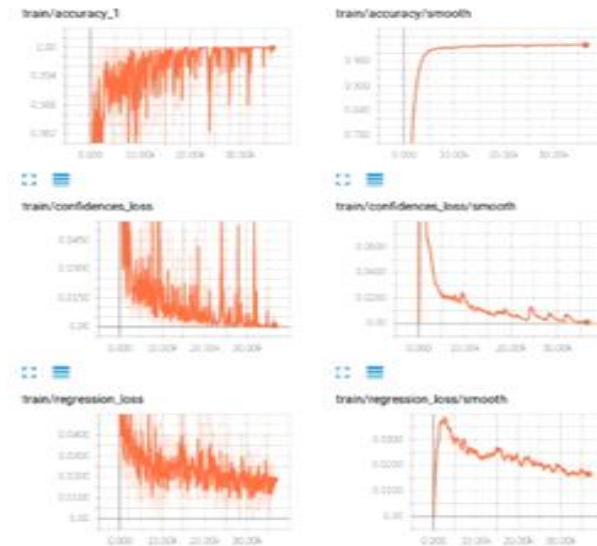


그림 237. Tensorboard를 이용한 학습 평가 결과 유입된 곤충의 인식률이 96% 이상

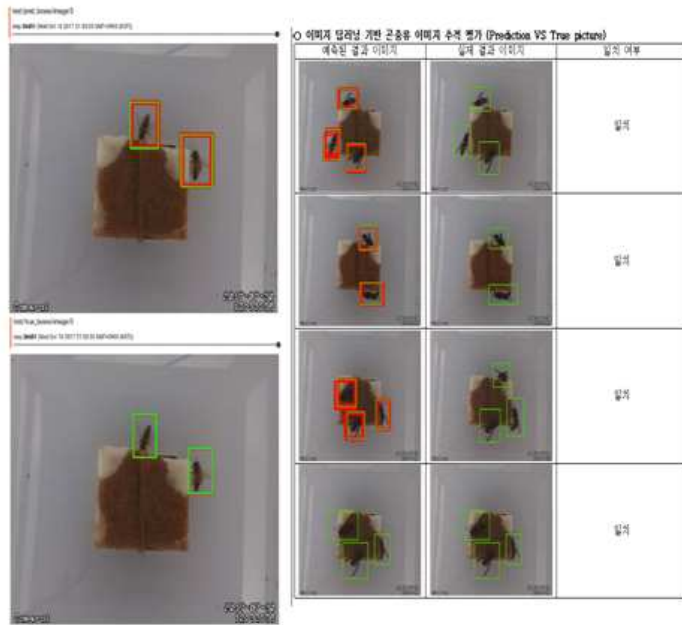


그림 238. TEST vs TRUE 비교결과

- 말벌 인식 시스템 성능 향상을 위한 대량 학습 data set 구축
- 아무것도 찍히지 않은 사진 602장, 여러 곤충이 섞인 사진 9330장, 벌류 이외의 곤충 668장, 꿀벌 825장, 등검은말벌만 찍힌 사진 3000장(그림 239, 240)

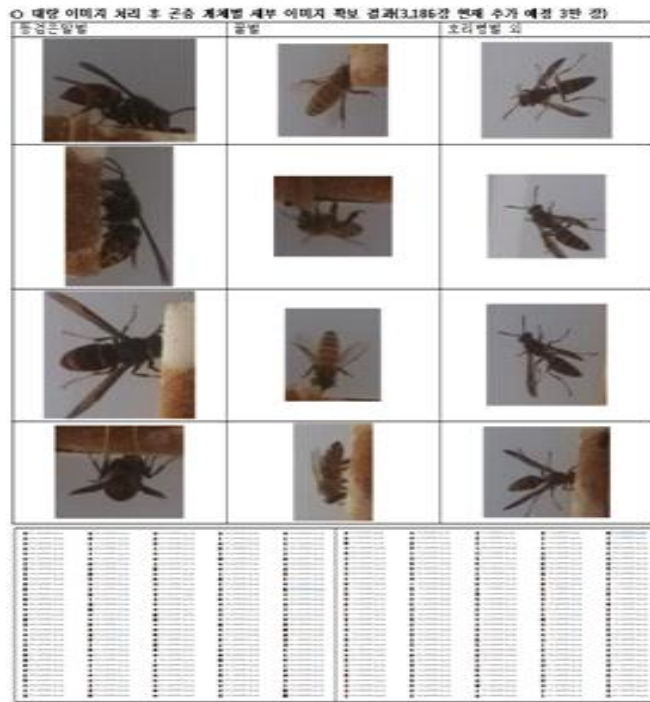


그림 239. 대량 이미지 처리 후 곤충 디테일 이미지 획득



그림 240. 종 분류 학습 데이터셋 구축

○ 제1협동 2년차 연구 결과 요약

- 등검은말벌의 생물·생태학적 특성을 연구하기 위하여 실내 사육 환경, 실제 양봉 환경, 자연생태계에서의 예서의 개체군 생태 현황 파악을 시도하였음. 등검은말벌 특이적 동물성 유인제를 탐색 및 제조하였으나 유인제 형태로는 유인 포획 효율이 저조 하였으나 동물성 단백질 고체시료 중 높은 선호도를 돼지고기, 오징어 등의 물질을 선별하였음. 이에 탄수화물(당)과 단백질(꿀벌)을 선호하는 시기가 명확히 구별되는 것을 실험적으로 파악함
- 등검은말벌의 생태에 따른 월별 사냥 습성을 고려하여 다양한 형태의 유인 포획기를 개발 후 실험을 통하여 대형 포획기를 확정함. 이와 같은 개발 과정을 통하여 등검은말벌 유입을 실시간 모니터링 함과 동시에 유입을 감지하여 사진을 촬영하고 이를 분류 동정 및 계수하여 등검은말벌의 발생 현황을 DB화하는 영상 분석 장치 및 SW를 개발하여 최종 보완 중에 있음
- 50,000,000원의 매출액 성과 달성함(등검은말벌 유인 포획 포획 효과가 개선된 기존 포획기 변형 제품을 제 1세부에 전달하였으며 이 연구결과를 통하여 매출 50,000,000원을 달성함)
- 2건의 특허등록 성과 달성함(2016년, 해충 포획기, 주식회사 다목에코텍, 대한민국, 10-2016-0180878)(2016년, 꿀벌통을 이용한 말벌 포획기, 주식회사 다목에코텍, 대한민국, 10-2017-0138338)
- 1건의 특허출원 성과 달성함(2016년, 꿀벌통을 이용한 말벌 포획기, 주식회사 다목에코텍, 대한민국, 10-2017-0138338)
- 4건의 전시회 참가 성과 달성함(2017년, 2017 상주국제농업기계박람회에서 '해충포획기'

전시 및 홍보)(2017년, 제42차 전국 양봉인의 날&벌꿀축제에서 '해충포획기' 전시 및 홍보)(2017년, 대전국제 농업기술전에서 '해충포획기' 전시 및 홍보)(2017년, 2017 김제농업 기계박람회에서 '해충포획기' 전시 및 홍보)

## 다. 3년차 연구수행 내용 및 결과

### (가) 제1세부 연구수행 내용 및 결과(유해성 말벌 유인제 및 포획기 효능검정 및 유인제 표준화 연구, 전남대 김익수, 전남대 김인선)

#### 1) 2차 개발 포획기 복합유인제 효능 검정

##### ① BV1 유인제와 1차 유인제의 포획력 검정

- 기존 판매되고 있는 유인제는 말벌 유인 능력이 우수하나 유인제 생산을 위해 발효 등의 과정으로 인한 시간적으로 긴 제조 공정이 필요하며, 고비용 등으로 인해 높은 가격으로 판매되고 있음. 이에 기존 유인제에서 말벌을 유인하는 물질을 만들어내는 BV 미생물 (*Bacillus jeotgali* BV-1)을 이용하여 BV1 말벌 유인제를 단기간, 저비용으로 생산할 수 있는 방법을 개발 하였고, BV1 유인제와 등검은말벌의 포획력이 우수하였던 1차 유인제에 대한 포획력 검정 실험을 진행함 (제 1세부의 유인성분 분석결과 참조)
- 2018년 7월부터 9월 초까지 담양 3개소 양봉장에서 시중 판매되고 제1협동 개발 1차 시판 포획기를 양봉농가에 3쌍씩 설치하여 총 3곳에 효능검정 실험을 수행하였음.
- 유인제 : 지난 1년차 결과로 등검은말벌 포획능력이 더 우수한 어성초 성분이 부가 함유된 제1협동(주, 다목에코텍) 개발 1차 유인제와 이번 연구를 통해 저비용, 단기간에 생산할 수 있게 개발된 BV1 유인제를 이용하여 등검은말벌, 꿀벌 및 나비목 포획량 비교함
- 포획기 : 지난 1년차 결과에 따라 2016년도 시판 포획기는 꿀벌과 기타 곤충들의 포획으로 큰 문제가 있었음. 이를 해결하기 위해 2016년도 시판 포획기는 1차 포획기를 변형 제작하여 실험함
- 각 유인제를 시판 포획기에 200mL씩 투입 후 약 1~1.5m 높이로 1~5m 간격이내, 양봉장 주변에 3쌍씩 설치 후 약 7일 간격으로 관찰함. 유인제 교체시 각 유인제의 위치를 번갈아가며 새 유인제로 교체함(그림 241)



그림 241. 담양 3개 지역 포획기 설치 사진

- 포획개체 비교 : 담양1 지역만 통계적으로 유의하게 1차 유인제의 포획률이 1.34배 많이 포획되었고( $P = 0.026$ ), 이외의 지역들은 통계적으로 유의하지 않지만 1차 유인제가 다소 포획력이 높았음. 각 지역과 관계없이 data를 통합하여 유인력을 검정한 결과 통계학으로



유의하게 1차 유인제의 포획률이 평균적으로 1.23배 더 많이 포획됨( $P = 0.033$ )(그림 242, 표 25). 1차 유인제가 다소 높은 포획력을 보이거나 재료 단가와 시간 등 경제적 효율을 고려가 필요가 대두됨

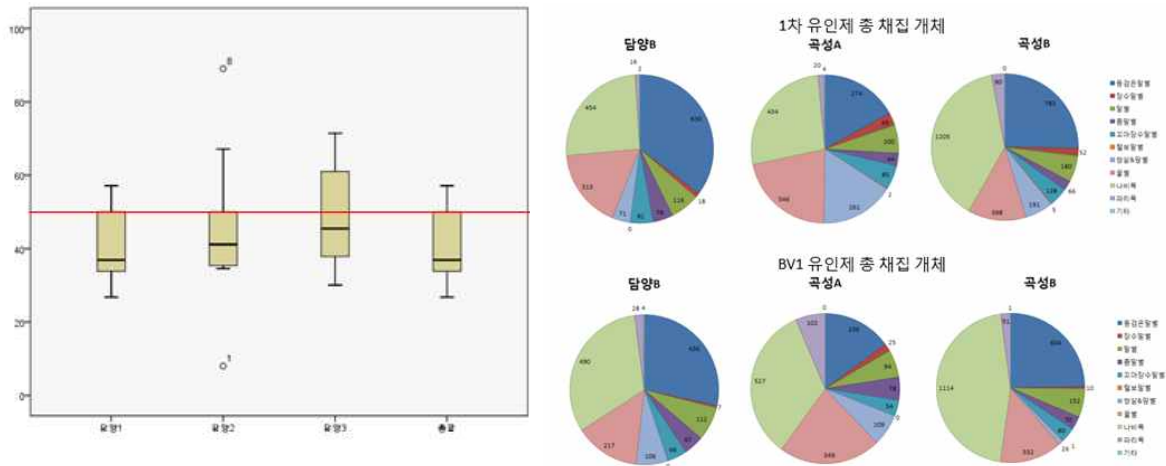


그림 242. 1차 및 BV1 유인제 포획력 검정 결과 및 총 포획개체 비교 결과

표 25. 1차 및 BV1 유인제 포획력 검정 결과

	반복수	평균	표준편차	유의 확률	t값
담양1	13	42.8	10.3	0.026	-2.531
담양2	10	45.2	21.5	0.496	-0.709
담양3	14	46.1	13.0	0.280	-1.127
총합	37	44.7	14.6	0.033	-2.215

② 2차 개발 포획기 복합 유인제 효능 검정 및 시제품(복합유인제 및 포획기) 현장 적용 시험 - 2018년 9월 초부터 11월까지 담양 3개소 양봉장과 경남지역 1개소 양봉장에서 제1협동 개발 대형 포획기(본 실험에서는 대형 포획기를 축소시킨 동일 디자인의 중형 포획기를 사용)를 양봉농가에 2대(1쌍) 설치하여 총 4곳에 효능검정 실험을 수행하였음(그림 243)



그림 243. 대형 포획기 구조 및 사진

- 유인제 : 복합 유인제(BV1 유인제 700mL + 1차 개발 유인제 700mL + 폐소비 400g)와 1

차 개발 유인제 1,400mL를 각 대형 포획기에 넣고 비교 실험함

- 포획기 : 2년차의 대형 포획기에서 현대의 편의성을 고려한 일정비율 축소형 버전의 포획기를 새로 제작하였음. 내부에는 여러 종류 및 다수의 유인제를 탑재할 수 있으며, 포획된 개체들은 상단 측면에 포획 될 수 있게 특수 제작하였음. 설치는 약 1 ~ 3m 간격이내, 양봉장 주변에 설치 후 약 7일 간격으로 관찰함. 유인제 교체시 각 유인제의 위치를 번갈아가며 설치하였고 새 유인제로 교체함(그림 244)



그림 244. 각 지역 대형 포획기 설치 사진(좌측부터 담양1, 담양2, 담양3, 경남 지역)

- 포획개체 비교 : 지역내 1쌍의 포획기 설치로 인해 반복수가 부족하여 모든 지역을 통합하여 결과값을 산출함. 그 결과 1차 유인제가 1.06배 높은 포획율을 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았음( $P = 0.728$ ). 결론적으로 1차 유인제와 복합 유인제는 큰 차이가 없으며(그림 245, 표 26), 유인제의 경제성을 고려 할 때 복합 유인제를 사용하는 것이 보다 효율적일 것으로 예상됨

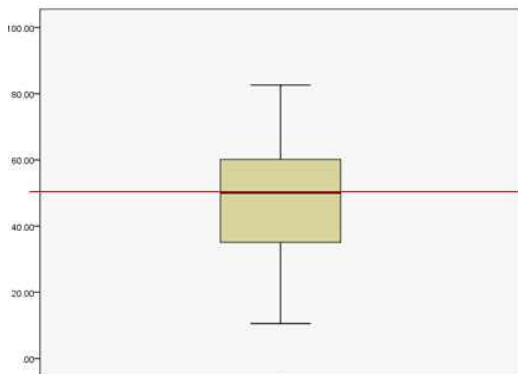


그림 245. 복합 유인제 및 1차 유인제 등검은말별 포획 검정 결과

표 26. 복합 유인제 및 1차 유인제 등검은말별 포획 검정 결과

	반복수	평균	표준편차	유의확률	t값
총합	21	48.53	19.04	0.728	-0.352

## 2) 현장배양 배양조건 조사

- 휘발성 성분을 생산하는 BV-1 균주를 대량으로 배양하여 농가 보급이 용이하기 위해 현장 배양 조건을 확립하고자함. 상기와 같은 실험실 조건에서 도출된 최적배지인 50% 설탕배지를 기반으로 현장의 편의성을 제공하기 위해 배지의 성분을 최소화하고 배지 멸균 유무에 따라 BV-1 균주가 생산하는 휘발성 물질을 GC/MS 분석하여 휘발성 성분의 DB를 작성하였음

### ① 배양 배지별 휘발성 물질 분석 및 DB화

- 실험실 조건에서 도출된 최적배지인 50% 설탕배지에 함유된 배지의 성분을 최소화하여 BV-1 균주 성장하면서 생산하는 휘발성 물질을 비교함. 최적배지에 포함되어 있는 최소무기염류(MSM)배지 성분에서 미량원소를 제외한 배지, 최소무기염류 배지성분을 모두 제외한 총 3가지 배지를 사용하여 비교하였음. 또한 현장에서 완전한 멸균 상태에서 균을 배양할 수 없는 점을 감안하며 배지 멸균 유무에 따라 BV-1 균주가 생산하는 휘발성 물질을 GC/MS 분석하여 휘발성 성분의 DB를 각각 비교함(표 27). 이 때 제 1협동기관에서 사용한 지하수를 사용하였음
- 배지 성분을 최소화하여 지하수에 흑설탕과 백설탕을 2:1(g/g) 비율로 혼합한 50% 설탕배지와 실험실 조건에서의 최적배지에 BV-1 균주를 배양하였을 때의 휘발성 성분 DB를 비교하면 주요 유인물질인 3-methylbutanol이 비교적 낮은 수치로 검출되었으며 다른 기타 성분들이 검출되었음. 따라서 상기에서 언급한 바와 같이 등검은말벌의 유인력을 향상시키기 위해서는 유사한 수준으로 3-methylbutanol을 많이 생산하면서 다른 휘발성 성분을 단순하게 생산하는 방향으로 진행되기 때문에 배양 성분을 추가해야 된다고 사료되었고, 멸균의 유무에 따른 차이는 크게 나타나지 않았음

표 27. 배양 배지에 따른 배양된 BV-1의 휘발성 성분 DB

성분명	머무 름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )					
		증류수+MSM+BV-1		지하수+MSM+BV-1		지하수+BV-1	
		멸균	비멸균	멸균	비멸균	멸균	비멸균
urea	7.0	0.46±0.03	0.38±0.03	0.42±0.02	0.24±0.02	-	-
ethyl acetate	7.3	0.74±0.02	0.79±0.02	0.61±0.03	0.93±0.01	-	0.73±0.02
3-methylbutanol	8.6	19.11±0.42	13.88±0.21	15.32±0.40	16.26±0.30	10.29±1.36	13.72±0.05
3-methylbutyl acetate	10.9	-	-	-	-	-	0.28±0.07
ethyl hexanoate	13.1	0.85±0.27	0.80±0.31	0.97±0.28	1.50±0.36	0.56±0.16	0.83±0.29
2-methoxyphenol	14.8	-	1.24±0.04	-	-	-	0.22±0.01
2-phenylethanol	15.2	1.35±0.04	0.18±0.01	1.21±0.10	1.27±0.02	0.74±0.03	1.02±0.01
octanoic acid	15.8	-	0.18±0.01	-	-	0.17±0.01	0.23±0.00
ethyl octanoate	16.3	3.54±1.30	2.33±1.14	5.17±2.17	6.48±2.31	2.14±1.03	2.41±1.20
decanoic acid	18.7	-	-	-	-	0.24±0.03	0.34±0.01
ethyl 9 decanoate	19.1	0.70±0.08	0.55±0.15	0.98±0.19	0.96±0.13	0.17±0.03	-
ethyl decanoate	19.2	1.42±0.20	0.82±0.22	2.48±0.76	4.30±1.16	1.45±0.59	1.70±0.87
ethyl dodecanoate	21.7	-	-	0.42±0.05	1.13±0.03	-	0.40±0.06

② 복합비료 함량별 휘발성 물질 분석 및 DB화

- 상기와 같은 결과에서 도출된 바와 같이 BV-1 균주가 주요 유인물질을 많이 생산하기 위해 (주)팜한농에서 판매하고 있는 복합비료인 ‘파워21’을 이용하여 영양분과 편의성을 높임. 또한 멸균 유무에 따른 휘발성 물질과 복합비료의 함량 별 휘발성 물질을 GC/MS 분석하여 휘발성 성분의 DB를 작성함(표 28, 29). 흑설탕과 백설탕을 2:1(g/g) 비율로 혼합한 50% 설탕배지에 복합비료를 0.5, 1, 1.5, 2% 첨가하고 멸균 유무에 따라 BV-1를 배양하여 비교함. 이 때 사용된 복합비료인 ‘파워21’은 질산, 인산, 칼리가 21-17-17로 함유되어 있는 제품이었으며 제 1협동기관에서 사용한 지하수를 사용하였음

- 복합비료를 사용하여 BV-1균주를 배양할 경우 실험실 조건에서의 최적배지와 비교하였을 때 비교적 간단한 물질이 생산됨. 또한 주요 유인물질인 3-methylbutanol을 기준으로 복합비료 함량이 높아질수록 많이 생산되었으며 비멸균했을 때 더 많은 함량으로 검출되었음

표 28. 멸균 복합비료 첨가 배지에서 배양된 BV-1의 휘발성 성분 DB

성분명	머무름 시간	휘발성 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )				
		MSM +BV-1	비료 0.5% +BV-1	비료 1.0% +BV-1	비료 1.5% +BV-1	비료 2.0% +BV-1
ethyl acetate	7.2	1.28±0.02	1.21±0.01	1.10±0.03	1.13±0.08	1.36±0.10
2-methylpropanol	7.4	1.48±0.03	-	1.48±0.06	1.42±0.12	1.47±0.25
3-methylbutanol	8.6	23.69±0.47	12.63±0.12	15.68±0.26	17.97±0.47	19.00±1.57
ethyl hexanoate	13.1	2.57±0.58	-	-	-	-
2-phenylethanol	15.2	3.36±0.54	1.20±0.02	2.21±0.15	3.39±0.18	4.31±0.20
ethyl octanoate	16.3	8.81±3.35	4.10±2.00	3.50±1.69	3.11±1.74	2.17±1.06
ethyl 9-decanoate	19.0	1.05±0.25	-	-	0.72±0.22	-
ethyl decanoate	19.1	4.02±1.56	1.65±0.49	-	1.30±0.49	1.31±0.39

표 29. 비멸균 복합비료 첨가 배지에서 배양된 BV-1의 휘발성 성분 DB

성분명	머무름 시간	휘발성 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )				
		MSM +BV-1	비료 5 g +BV-1	비료 10 g +BV-1	비료 15 g +BV-1	비료 20 g +BV-1
ethyl acetate	7.2	1.28±0.02	1.37±0.02	1.38±0.06	1.38±0.04	1.53±0.02
2-methylpropanol	7.4	1.48±0.03	1.69±0.03	1.79±0.07	1.77±0.02	1.889±0.029
3-methylbutanol	8.6	23.69±0.47	12.25±0.17	14.96±0.18	17.41±0.14	21.34±0.05
ethyl hexanoate	13.1	2.57±0.58	0.93±0.72	0.75±0.24	0.71±0.24	0.70±0.17
2-phenylethanol	15.2	3.36±0.54	1.02±0.02	1.18±0.03	1.57±0.25	2.84±0.24
ethyl octanoate	16.3	8.81±3.35	4.92±2.22	3.93±1.87	3.98±1.94	2.74±1.43
ethyl 9-decanoate	19.0	1.05±0.25	-	-	0.70±0.15	-
ethyl decanoate	19.1	4.02±1.56	2.53±0.83	1.21±0.32	2.07±0.72	2.16±0.96

### ③ 대량 배양시간별 휘발성 물질 분석 및 DB화

- 제 1협동기관에서 상기의 결과를 바탕으로 BV-1 균주를 현장에서 비멸균 상태로 배양하였으며 배양 시간별로 휘발성 물질을 GC/MS 분석하여 휘발성 성분의 DB를 작성함(표 30). 7일, 9일, 11일, 13일, 15일 동안 배양하여 얻은 BV-1 균주의 배양액에서 검출된 각각의 성분 별 유의차 분석을 한 결과 유의차가 없었으며 최적 배양시간은 7일이 적합하다고 판단함

표 30. 배양시간 별 BV-1의 휘발성 성분 DB

성분명	머무름시간	휘발성 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )				
		7일	9일	11일	13일	15일
ethyl acetate	7.3	13.94±0.65 a	14.42±1.28 a	13.34±2.16 a	14.37±0.28 a	13.14±0.63 a
3-methylbutanol	8.6	17.93±0.35 a	17.09±0.39 a	17.33±0.54 a	17.61±0.29 a	18.13±0.15 a
3-methylbutyl acetate	10.9	16.36±2.47 a	17.74±6.40 a	17.20±5.19 a	13.30±5.34 a	12.58±4.51 a
ethyl hexanoate	13.1	3.07±0.74 a	3.27±1.80 a	4.45±1.89 a	4.41±2.52 a	4.90±2.69 a
ethyl octanoate	16.3	29.68±7.39 a	26.65±16.71 a	31.77±14.86 a	24.47±15.47 a	27.68±16.30 a
ethyl 9 decanoate	19.1	15.44±2.99 a	12.91±6.57 a	12.65±4.67 a	9.50±4.19 a	11.68±5.34 a
ethyl decanoate	19.2	7.92±1.88 a	5.70±3.28 a	6.39±2.39 a	5.32±2.72 a	7.02±3.69 a

- 종합적으로, BV-1의 현장배양을 위해 흑설탕과 백설탕을 2:1(g/g) 비율로 혼합한 50% 설탕배지에 질산, 인산, 칼리가 21-17-17로 함유되어 있는 복합비료를 사용하여 배지 성분을 최소화하였으며 주요 유인물질인 3-methylbutanol을 기준으로 최적 배양조건을 확립함

### 3) 미생물 배양액 유인제 성분 표준화

- 제 1협동기관의 도움을 받아 BV-1 균주를 현장에서 대량 배양하여 미생물 배양액 유인제의 표준화 연구를 수행함. 유인제의 개봉상태와 저장 상태에 따른 휘발성 성분의 변화를 조사하였음

#### ① 경시적 분석에 따른 유효성분 평가

- 미생물 배양액 유인제의 개봉 상태에 따른 시간대 별로 BV-1 균주가 생산하는 휘발성 성분을 평가함. 대량 배양된 BV-1 균주 1L를 가로 31 cm × 세로 22 cm 통에 넣은 후 야외에서 보관하였으며 주요 유인물질인 3-methylbutanol을 기준으로 검출되지 않을 때까지 조사하였음
- 완전 개봉된 상태에서는 2018년 7월 31일부터 8월 3일까지 조사하였으며 이 때 평균기온은 33.2°C이었음. 개봉 72시간 후까지 3-methylbutanol이 1.0×10<sup>6</sup> 이상 분석됨(그림 246, 표 31). 조사 기간 동안 유인제에서 기포가 발생하는 것이 관찰 되었으며 유인제가 증발되어 걸쭉해지는 것을 관찰함
- 부분 개봉된 상태에서는 가로 2 cm × 세로 2 cm 정도를 남겨두고 랩으로 완전 밀봉하였고 2018년 8월 3일부터 10일까지 조사함. 이 때 평균기온은 33.5°C이었음. 개봉 168시간 후까지 3-methylbutanol이 3.0×10<sup>6</sup> 이상 분석되었으며 이는 완전 개봉된 상태에서보다 오래 휘발성 성분이 유지됨이 확인되었으며 평균 7일까지 유인성분이 유효하다고 판단함(그림 247, 표 32).



그림 246. 완전히 개봉된 상태에서 경시적 유효성분 평가



그림 247. 부분 개봉된 상태에서 경시적 유효성분 평가

표 31. 완전히 개봉된 상태에서 경시적 유효성분 DB

성분명	머무름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 ( peak area x 10 <sup>6</sup> )									
		0H	1H	2H	4H	6H	8H	12H	24H	48H	72H
ethyl acetate	7.3	9.41±1.47	7.45±1.77	5.62±1.62	4.30±0.72	3.14±0.48	2.20±0.34	1.24±0.20	-	-	-
3-methylbutanol	8.6	15.92±2.19	17.73±1.42	16.17±1.98	14.37±0.91	11.95±0.68	9.81±0.72	6.74±0.46	4.87±0.84	1.91±0.64	1.14±0.13
3-methylbutyl acetate	10.9	8.78±1.31	4.82±2.91	3.72±2.29	3.10±0.50	2.10±0.34	1.33±0.25	0.71±0.10	-	-	-
ethyl hexanoate	13.1	1.08±0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-phenylethanol	15.2	3.40±0.65	3.96±0.48	4.43±0.34	5.00±0.27	5.13±0.31	4.55±0.13	4.59±0.28	4.60±0.13	3.90±0.24	4.12±0.43
ethyl octanoate	16.3	2.33±0.62	2.10±1.08	2.31±1.05	2.57±0.23	2.27±0.11	1.90±0.10	1.14±0.10	0.88±0.06	-	-
ethyl decanoate	19.2	1.00±0.25	0.91±0.66	1.13±0.83	1.42±0.28	1.53±0.21	1.41±0.21	0.72±0.06	-	-	-

표 32. 부분 개봉된 상태에서 경시적 유효성분 DB

성분명	머무름 시간	유인성분 GC/MS 분석결과 ( peak area x 10 <sup>6</sup> )												
		0H	1H	2H	4H	6H	8H	12H	24H	48H	72H	96H	120H	168H
ethyl acetate	7.3	10.97±0.24	9.57±0.62	5.75±1.77	6.74±1.27	4.92±0.17	3.42±0.20	1.81±0.18	0.61±0.09	-	-	-	-	-
3-methylbutanol	8.6	16.19±0.08	16.56±0.33	14.58±1.41	18.85±0.26	18.12±0.16	17.44±0.02	15.82±0.45	12.04±0.97	5.63±1.30	3.24±0.47	2.24±0.02	3.25±0.57	3.25±0.66
3-methylbutyl acetate	10.9	7.77±0.21	6.78±0.47	2.27±2.12	4.06±1.10	3.23±0.22	2.21±0.13	1.16±0.11	-	-	-	-	-	-
ethyl hexanoate	13.1	0.81±0.01	0.69±0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-phenylethanol	15.2	2.64±0.16	2.60±0.13	2.63±0.29	3.31±0.36	3.40±0.21	3.62±0.33	3.31±0.05	4.0±0.33	4.78±0.31	4.20±0.53	3.58±0.05	4.32±0.59	3.45±0.76
ethyl octanoate	16.3	1.60±0.09	1.48±0.12	0.68±0.55	1.80±0.28	1.88±0.05	2.11±0.11	2.17±0.08	2.22±0.11	1.72±0.30	0.98±0.22	0.65±0.26	2.27±0.36	1.63±0.67
phenethylalcohol	17.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.01±5.30
ethyl decanoate	19.2	0.67±0.07	0.55±0.03	-	0.67±0.09	0.64±0.06	0.73±0.06	0.87±0.07	1.08±0.13	-	-	-	1.85±0.53	0.97±0.27

② 보관방법에 따른 유효성분 평가

- 미생물 배양액 유인제를 4°C 냉장보관하여 주차별로 BV-1 균주가 생산하는 휘발성 성분을 평가함. 유인제를 conical tube에 각각 50 mL씩 분취 후 parafilm으로 입구를 감아 완전히 밀봉하여 보관하고 주차별로 4 mL vial에 1 mL 씩 분취하여 휘발성 물질을 GC/MS 분석하여 휘발성 성분의 DB를 작성함(표 33). 그 결과 주요 유인성분인 3-methylbutanol을 기준으로 20주차까지 안정된 상태로 보관이 가능하였음. 이에 미생물 배양액 유인제를 냉장보관하여 유통할 경우 안전하다고 판단함

표 33. 냉장보관 시간4°C 저장 상태에 따른 유효성분 DB

성분명	머무름 시간	휘발성 GC/MS 분석결과 (peak area x 10 <sup>6</sup> )						
		0주차	2주차	4주차	8주차	12주차	16주차	20주차
ethyl acetate	7.3	8.69±4.62	9.12±2.07	11.13±0.59	11.25±0.52	7.61±0.31	13.61±0.34	18.45±4.66
3-methylbutanol	8.6	20.19±4.70	21.16±0.57	19.80±0.10	16.02±0.09	10.56±0.20	18.05±0.08	22.98±0.77
3-methylbutyl acetate	10.9	9.62±2.24	4.14±4.07	6.39±0.25	3.71±0.66	2.17±0.28	2.71±0.46	0.83±0.38
ethyl hexanoate	13.1	-	-	0.72±0.04	0.56±0.09	-	-	-
2-phenylethanol	14.8	4.80±0.60	3.19±0.35	3.33±0.37	2.20±0.17	1.18±0.20	1.84±0.11	2.59±0.20
ethyl octanoate	16.3	2.38±0.24	-	1.45±0.10	1.32±0.19	0.99±0.18	1.16±0.12	1.15±0.70
methyl 2-hydroxybenzoate	16.6	-	-	1.40±0.15	1.42±0.08	0.91±0.11	1.60±0.02	2.12±0.44

3) 등검은말벌 종합관리 콘텐츠 작성 및 매뉴얼 제작

- 지난 3년간 연구결과를 바탕으로 등검은말벌의 분포와 발생 현황, 생태, 방제 현황, 방제법 등 등검은말벌 종합관리 매뉴얼을 제작함(ISBN: 978-89-93809-47-3). 주요 내용으로 등검은말벌은 전남, 경남 지방에 가장 많이 출현하고 많은 피해를 입히고 있으며, 주로 8 ~ 9월에 피해가 가장 크고 이를 방제하기 위한 방법으로 포충망, 잠자리채, 배드민턴 채 등을 이용하여 직접 살충하는 직접 포살법과 유인 트랩과 유인제를 이용한 유인 트랩 포획법, 양봉장 근처의 말벌집을 직접 제거하는 말벌집 제거법, 말벌에 농약을 묻혀 날리는 착농약 환송법, 말벌로부터 꿀벌을 보호하는 그물망 설치법, 끈끈이를 이용한 포획법 등이 있으며, 현재 국내에서 개발중인 그물망+포획기 혼합 방제법과 유인먹이+살충제를 이용한 방제법, 스마트 양봉 시스템, 무인항공기를 이용한 말벌집 탐색 시스템 개발에 대해 서술되어 있음 (그림 248)



그림 248. 등검은말벌 종합관리 매뉴얼



○ 제1세부 3년차 연구 결과

- 종합적으로, 2차 개발 포획기 복합 유인제 효능 검정 결과, 순수하게 1차 유인제가 복합 유인제보다 1.06배 더 많이 포획되었으나, 통계적으로 유의성이 없고 표준편차가 높아 1차 유인제와 복합 유인제는 큰 차이가 없는 것으로 판단됨. 즉 유인제의 경제성을 고려 할 때 1차 유인제만 단독으로 사용하는 것 보다는 두 유인제를 각각 포획기에 넣어주는 것이 효과적임
- 본 연구를 통해 *Bacillus jeotgail* BV-1의 현장 대량배양 최적조건을 확립하고 표준화 연구를 수행함. 대량배양한 BV-1이 생산하는 휘발성분은 주요 유인물질인 3-methylbutanol을 기준으로 평균 7일까지 유인성분이 유효하였으며 4°C 냉장보관하였을 때 20주차까지 안정된 상태로 보관이 가능하였음
- 1건의 특허 출원 성과 달성함. 제 1협동에서 전례적으로 제조한 유인제에서 발효미생물 BV-1을 분리함. 분리균을 설탕배지에 배양하여 유인성 물질을 생산할 수 있었으며, 배양액을 이용하여 말벌을 유인하고 포획함. 이에 *Bacillus jeotagli* BV-1는 농업 부산물 발효액에서 분리된 것으로 자연 유래 미생물이기 때문에 BV-1을 이용한 등검은말벌 유인제는 국내 환경에 적용하는데 용이한 점이 많으며, 균주 자체를 사용하는데 있어서 검역의 문제가 전혀 없는 장점이 있기에 2018년 6월 27일 바실러스 젓갈리 BV-1 균주의 배양액을 포함하는 유해생물 유인용 조성물 및 그의 제조 방법으로 특허 출원(10-2018-0074310)하였음
- 6건의 학술발표 성과 달성함(2018년, 응용곤충학회에서 Efficacy Test of New Attractant for the Yellow-legged Hornet, *Vespa velutina* (Hymenoptera: Vespidae)'란 주제로 포스터 발표함)(2018년, 응용곤충학회에서 'Genetic variation of the yellow-legged hornet, *Vespa velutina nigrithorax* (Hymenoptera: Vespidae), based on mitochondrial DNA sequences'란 주제로 포스터 발표함)(2018년, 한국양봉학회에서 '신규 말벌 유인제의 등검은말벌(*Vespa velutina*) 포획 효능 검정'란 주제로 포스터 발표함)(2018년, 한국곤충학회에서 'Genetic variation of the yellow-legged hornet, *Vespa velutina nigrithorax* (Hymenoptera: Vespidae), based on mitochondrial DNA sequences'란 주제로 구두 발표)(2018년, 한국농약과학회에서 'Determination of Microbial Volatile Compounds Attractive to Invasive Hornet *Vespa velutina*'란 주제로 포스터 발표함)(2018년, 한국환경농학회에서 'Microbial Attraction of Invasive Hornet *Vespa velutina*'란 주제로 포스터 발표함)
- 2건의 수상실적 성과 달성함(2018년, 한국응용곤충학회에서 포스터발표부분 우수 발표상 수상)((사)한국농약과학회에서 포스터발표부분 우수 발표상 수상)
- 1건의 기타(생물자원) 성과 달성함. BV-1균주는 YKJ-10 균주에서는 아직까지 보고된 바가 없는 등검은말벌 유인 휘발성 대사물질을 생산하는 신규한 미생물임을 확인하고, 국립농업과학원 농업유전자원센터에 생물자원으로 기탁함(2018년 3월 6일 등록, 기탁번호 : KACC 92225P)
- 1건의 기타(간행물 발행) 성과 달성함. 지난 3년동안의 각 세부 및 협동 연구 결과를 바탕으로 등검은말벌 종합관리 매뉴얼 (ISBN: 978-89-93809-47-3) 제작함
- 1건 교육 및 컨설팅 성과 달성함(2018년, 양봉협회, 양봉농가, 농업기술센터 등 대상으로 '[등검은말벌 최소화 방안] 워크숍' 개최)
- 4건 인력양성 성과 달성함(2018년, 양시영, 전남대학교 제 1세부로 소속되어 신종 해외유

입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발 연구 전반에 투입되고 있으며 2018년 박사학위 획득)(2018년, 양시영, 전남대학교 제 1세부로 소속되어 신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발 연구 전반에 투입되고 있으며 2018년 (주)팜한농 작물보호연구센터 선임연구원으로 입사)(2018년, 김종석, 전남대학교 제 1세부로 소속되어 신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발 연구 전반에 투입되고 있으며 2018년 석사학위 획득)(2018년, 이정은, 전남대학교 제 1세부로 소속되어 신종 해외유입 유해성 말벌 피해 최소화 기술 개발 연구 전반에 투입되고 있으며 2018년 석사학위 획득)

## (나) 제2세부 연구수행 내용 및 결과(무인항공기 기반 등검은말벌 추적 시스템 개발, 전남대 손형일)

### 1) 무인항공기 SLAM 기반 등검은말벌집 지도작성 알고리즘 개발

#### ① SLAM 기술을 활용하여 등검은말벌의 추정위치 누적을 통한 실시간 등검은말벌집 지도작성 알고리즘 개발

- 동시간 위치추정 및 지도작성을 위해 추적 무인항공기의 상태를 이용한 SLAM 알고리즘을 개발하고 측정된 신호를 통해 추정된 등검은말벌과 등검은말벌집의 위치를 지도상에 표시하기 위해 C++언어 사용한 Linux 계열 프로그램을 개발하였음. 이를 시뮬레이션을 통한 등검은말벌집 지도작성 알고리즘을 검증하였음(그림 249)

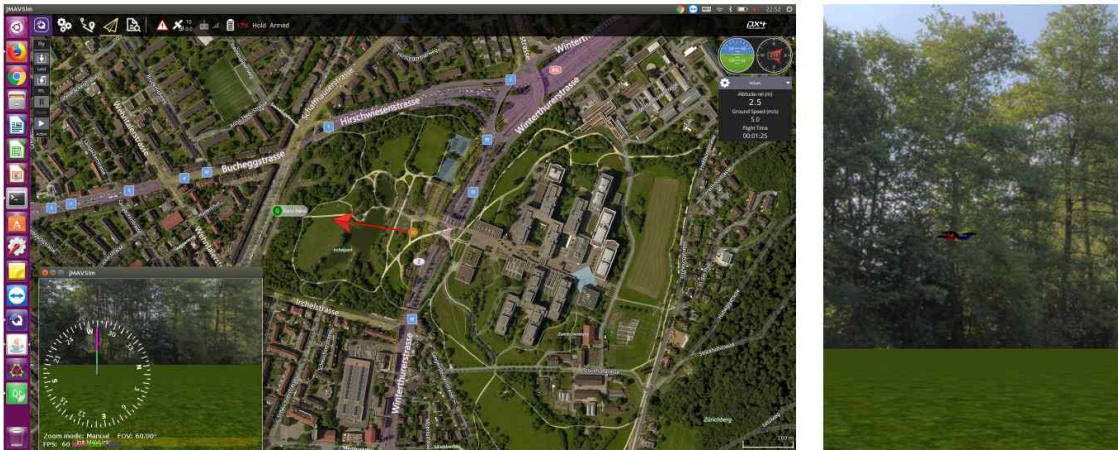


그림 249. 시뮬레이션 기반 지도작성 프로그램

- 지도작성 알고리즘은 다음과 같은 처리과정을 통함. 1) 안테나를 통한 신호 세기 측정. 2) 추정 알고리즘을 통한 등검은말벌의 상대 거리와 방향을 추정. 3) 추적용 무인항공기를 기반으로 추정 위치를 GPS 데이터로 좌표 변환함. 4) 해당 위치를 지도에 작성함. 5) 시간에 따른 등검은말벌의 위치를 기반으로 등검은말벌집의 위치를 추정함. 6) 추정된 등검은말벌집의 위치를 지도에 작성함

#### ② 작성된 등검은말벌집의 지도와 구글맵 등의 상업용 지도서비스와의 연계 SW 개발

- Google Maps와 등검은말벌집 탐색 시스템의 통합 프로그램 개발함
- Qt와 QGgroundCtornol을 사용하여 GUI (Graphic User Inteface) 프로그램을 개발하였음 (그림 250, 251)

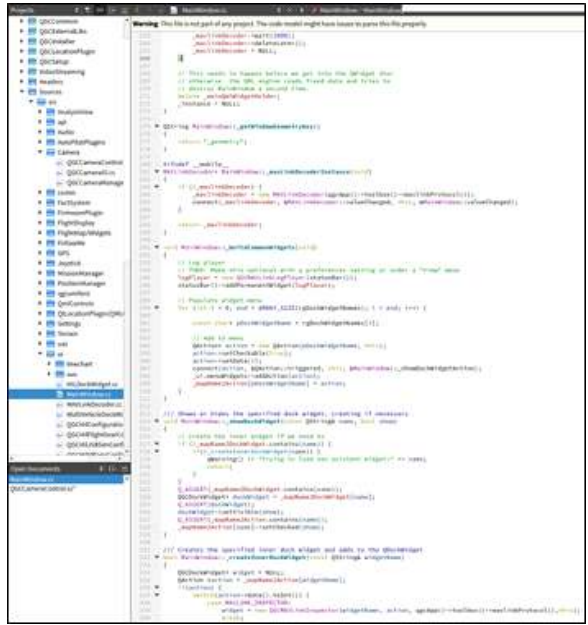


그림 250. Qt를 이용한 프로그래밍 환경

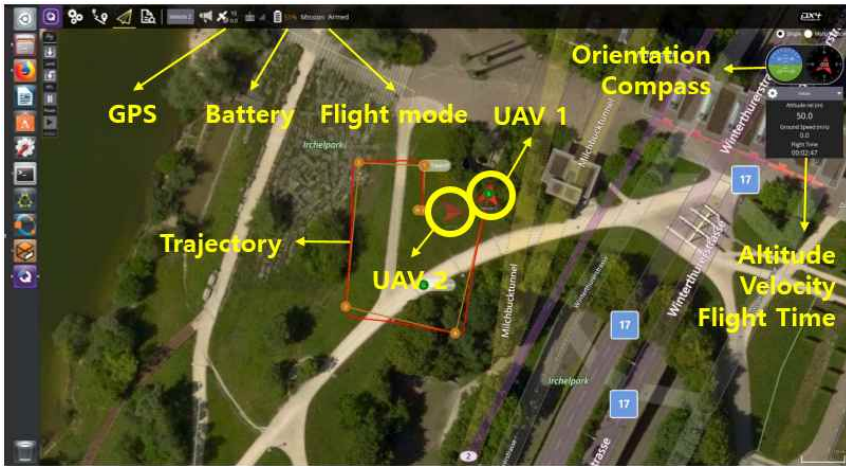


그림 251. GUI기반 지도작성 프로그램

- 본 프로그램에 추적 무인항공기의 위치, 고도, 배터리 등 다양한 정보가 표시 가능함
- 추적용 무인항공기뿐만 아니라 방제용 무인항공기 등 군집 로봇 시스템의 구성 및 제어가 가능함

③ 무인항공기 추적 성능 개선

- 다중 안테나를 서로 다른 방향을 향하도록 추가하여 RF 송신기 방향을 상대적으로 정확하고 빠르게 추정하는 알고리즘을 개발함
- 추가적으로 삼각측량 방식을 사용하여 다중 무인항공기와 수신기를 이용하여 RF 송신기의 위치를 3차원 좌표로 추정하여 위치 정확도를 향상시키는 방법을 고안함(삼각측량에는 최소 3대의 드론이 필요하며, 만약 4대 이상의 드론을 이용할 경우 다른 드론의 송신기로 noise가 관측되어도 강건하게 위치 추정 가능함)(그림 240)

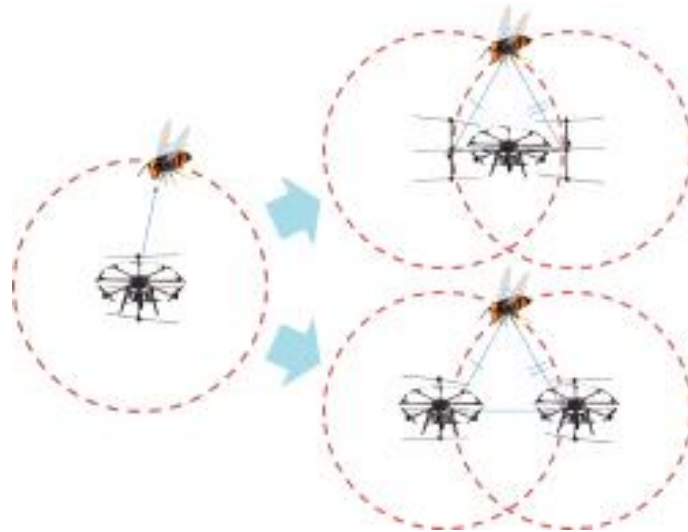


그림 252. 무인항공기의 추적 성능 개선방안

- 기존 단일 안테나의 경우 송신기 방향을 알기 위해선 무인항공기를 회전시키며 다수의 샘플을 모아 분석이 필요했지만, 다수의 안테나를 이용한 알고리즘의 경우 무인항공기에 장착된 안테나가 서로 다른 방향을 향하도록 탑재하여 RF 송신기의 방향을 상대적으로 정확하고 빠르게 추정하는 것을 확인함
- 아래 [그림 253]에서는 4개의 송수신기를 부착한 단일 드론을 기반으로 실험한 결과를 나타내며, 그래프에서 알 수 있듯이, 추적 성능이 매우 향상된 것을 확인할 수 있음

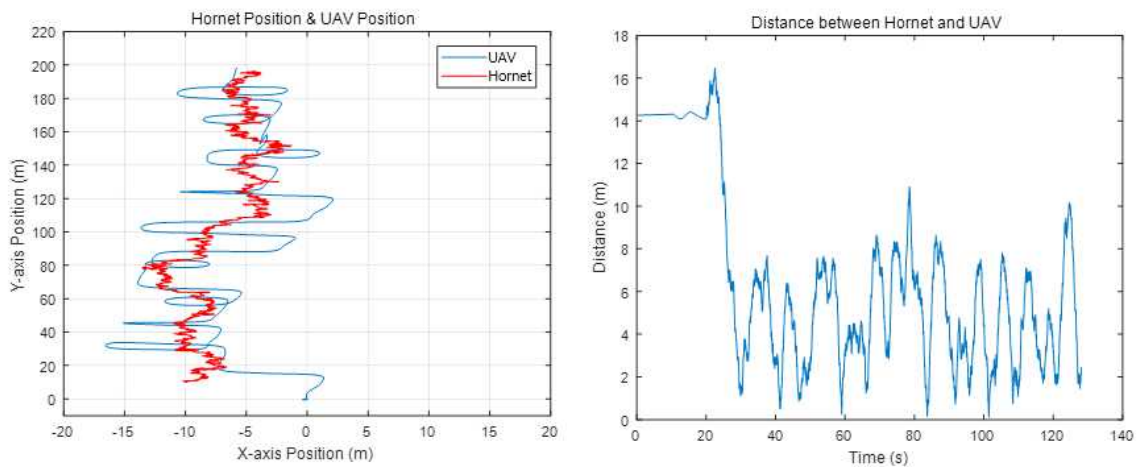


그림 253. 단일 드론과 멀티 송수신기를 사용한 실험결과

- 하지만 실제 시스템 개발에 있어, 4대의 송수신기를 부착하기 위해서는 매우 큰 무인항공기가 필요하므로 실질적으로 구현하기에는 어려움이 발생함
- 따라서 최적의 방법은 군집드론 시스템을 이용하는 방법으로, 아래와 같이 최소 3개의 무인항공기와 수신기를 이용하면 삼각측량법을 통해 더 정확하게 등검은말벌을 추적할 수 있음(그림 254)

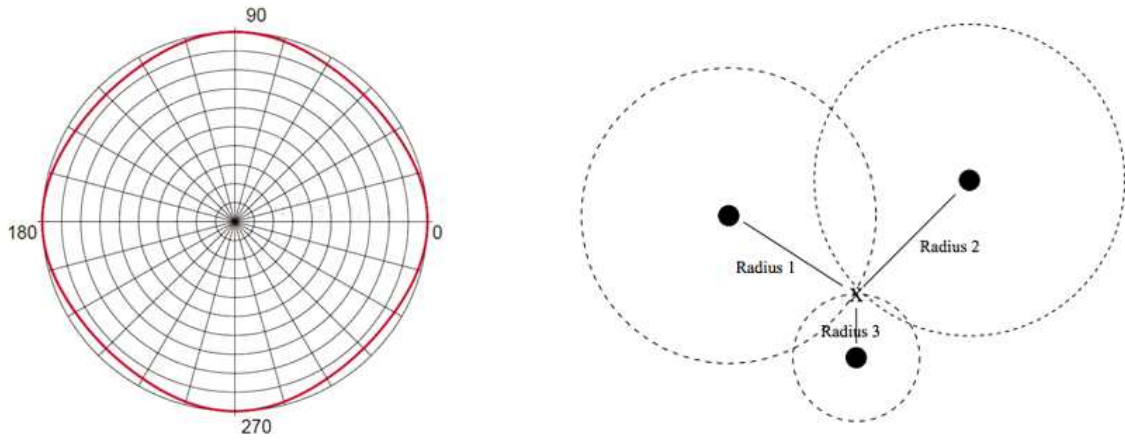


그림 254. 다중 수신기를 이용한 삼각측량법

- 추후 연구에서는 위에서 설명한 것과 같이 군집드론 기반의 추적시스템이 연구된다면, 더 우수한 등검은말벌집 탐색시스템이 개발될 것으로 판단됨

2) 등검은말벌집 탐색 시스템 통합 및 현장실증

① 등검은말벌 추적 시스템, 등검은말벌 위치추정 알고리즘, 등검은말벌집 지도작성 알고리즘이 통합된 등검은말벌집 탐색 시스템 개발

- 추적 시스템과 위치추정 알고리즘, 지도작성 알고리즘을 통합한 통합시스템을 개발하였으며, 시스템의 개념도와 구조는 다음 사진들과 같음(그림 255, 256)

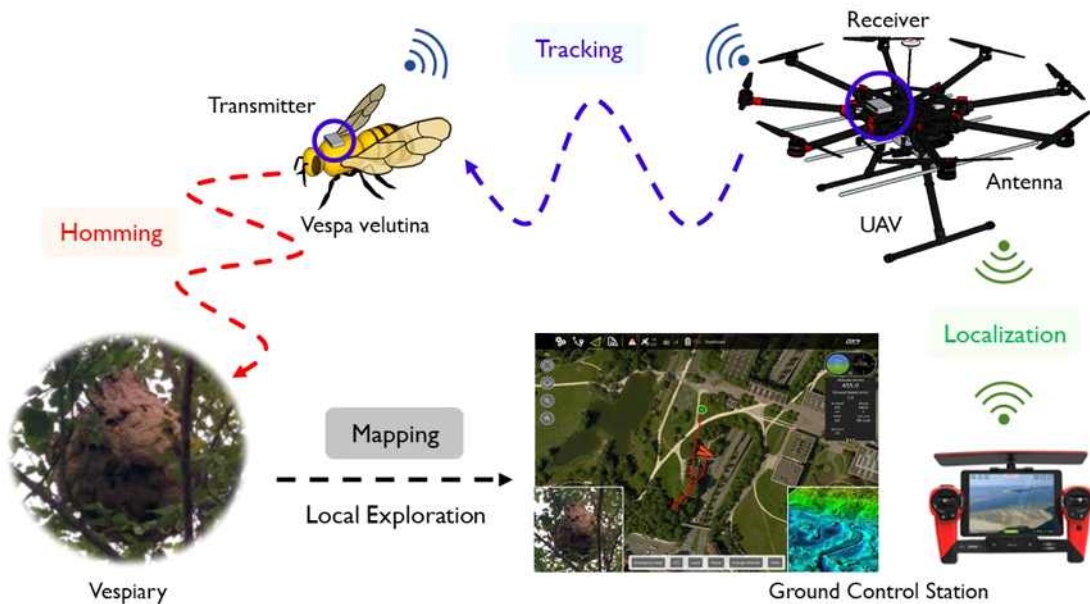


그림 255. 무인항공기 기반 등검은말벌집 탐색시스템 개념도

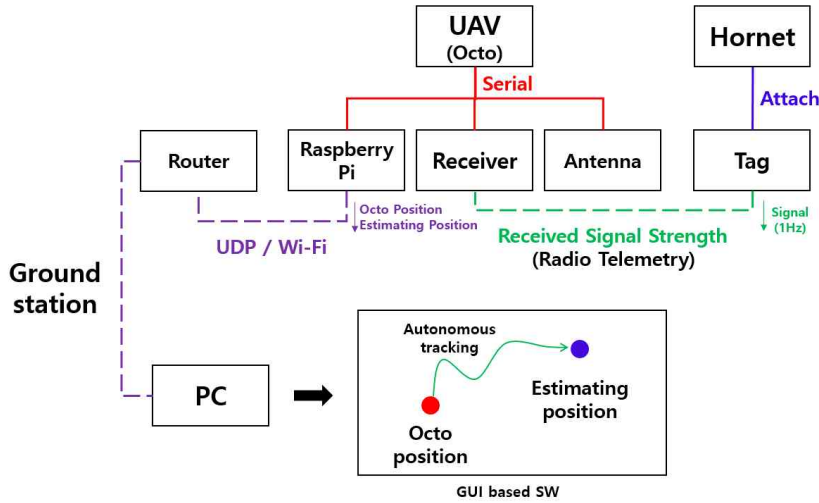


그림 256. 등검은말벌집 탐색시스템의 구조

- 시스템을 통합하기 위해 C++기반의 ROS 프로그램을 개발하였음. 아래 사진은 ROS 프로그램을 통해 무인항공기의 상태와 수신기의 신호강도의 데이터를 수집한 화면임(그림 257)

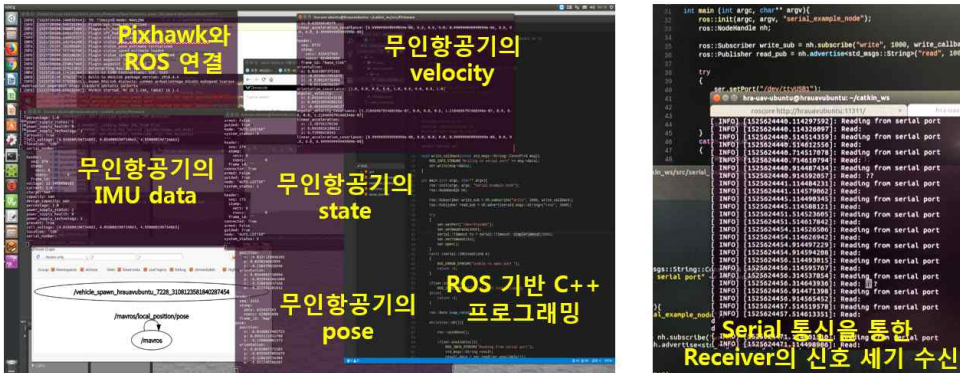


그림 257. 통합시스템을 위한 ROS 프로그램

- 통합시스템의 통신방법은 아래 그림과 같으며, 기본적으로 ROS 프로그램에서 topic과 service, action을 기반으로 데이터를 주고받음(그림 258)

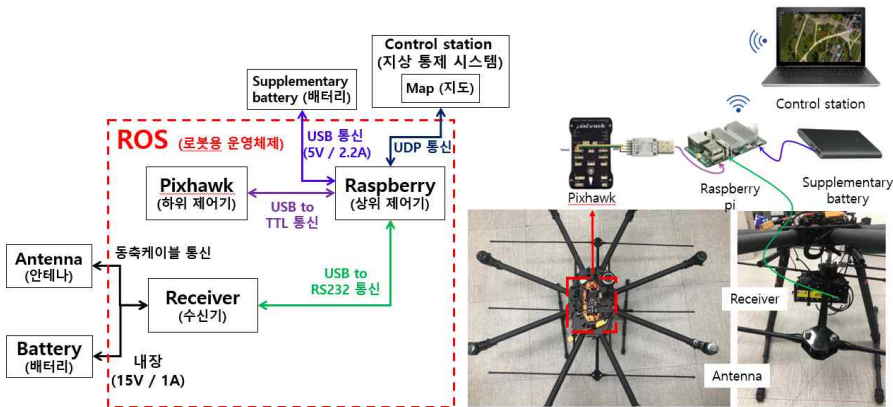


그림 258. ROS기반의 통합시스템과 추적용 무인항공기

- 이를 야외 실험을 통해서 통합시스템의 성능 검증을 진행하였음

② 다양한 야외환경에서의 개발된 등검은말벌집 탐색 시스템 현장 실증

- 현장 실증 전 통합 시스템과 알고리즘을 검증하기 위해 다양한 조건에서 시뮬레이션을 진행함
- 안테나 모델링 : 방향성을 갖는 야기안테나로 인한 안정성 문제를 확인하기 위해 등검은말벌이 날아가는 방향을 변화하면서 시뮬레이션을 진행하였음(그림 259)

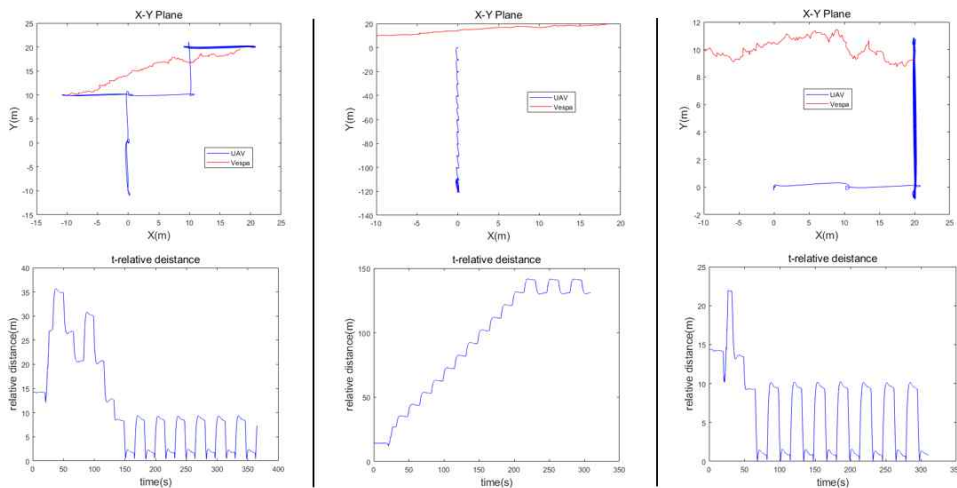


그림 259. 실험 결과: (상)XY평면상의 위치 (파란색은 추적용 무인항공기, 빨간색은 등검은말벌의 위치)  
(하)시간에 따른 상대거리

- 실험결과에서 안테나의 방향성과 등검은말벌의 이동방향이 일치하였을 때 문제없이 추적할 수 있음을 확인하였음. 반면에 방향이 다를 경우 무인항공기와 등검은말벌의 상대거리가 증가하는 것을 확인하였고, 이는 야기안테나의 방향성으로 인한 문제점으로 추후 군집 무인항공기 시스템으로 충분히 해결 가능함
- 두 대의 무인항공기를 이용하여 야외 환경에서 현장 실증을 수행하였으며, 실험을 통해 estimation과 tracking의 성능을 검사하였음
- 실험 방법은 다음과 같음. 1)작업자에 의해 소형 무인항공기는 원격제어 됨. 2)추적 알고리즘을 통해 추적용 무인항공기는 자율적으로 비행함. 3)추적용 무인항공기가 회전을 하면서 안테나로부터 추정된 소형 무인항공기의 위치가 출력됨. 4)소형 무인항공기의 위치와 추정된 위치, 위치 오차가 GUI통해 출력됨. 5)소형 무인항공기의 추정된 위치로부터 추적용 무인항공기가 이동해야할 가상의 위치가 계산되며, 추적용 무인항공기는 자율적으로 해당 위치로 비행함. 현장 실증에 대한 개념도는 아래 그림에 나타내었음(그림 260)



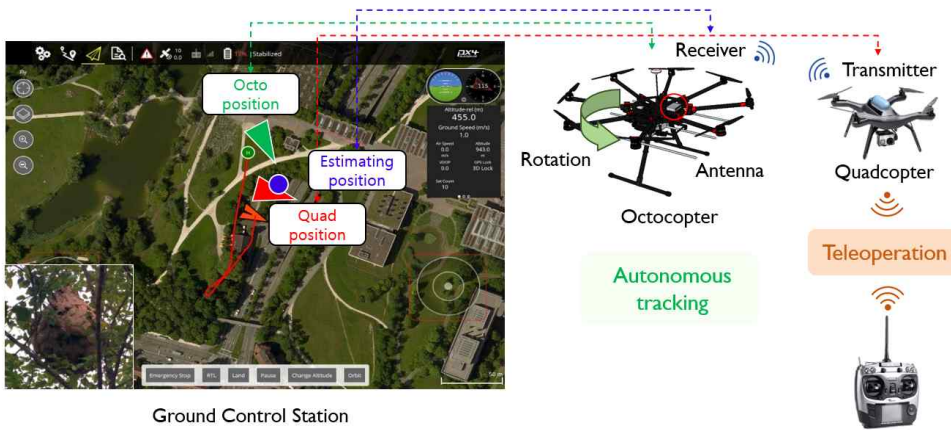


그림 260. 두 대의 무인항공기를 이용한 현장 실증

- 본 현장 실증 실험은 등검은말벌을 소형 무인항공기로 대체했지만, 동일한 통합시스템과 소형의 송신기센서를 사용함으로써 동일한 결과를 보일 수 있음. 다만, 소형 무인항공기 시스템으로 인한 송신기 센서에 신호 간섭 영향은 발생할 수 있음
- 위 실험을 통해 통합시스템의 성능 검증과 개선을 진행함(그림 261)



그림 261. 현장 실증을 통한 실험 결과: (파란색)소형 무인항공기의 위치 (빨간색)추적용 무인항공기의 위치

- 실험 결과 추적용 무인항공기가 소형 무인항공기를 문제없이 추적할 수 있음을 확인하였음
- 야외 실험에서 지상국과 무인항공기간의 통신세기가 미약하여, dipole를 패치안테나로 교체하였으며 추가적인 지그를 설계함
- 다양한 실험 데이터를 획득하기 위하여 야외 환경에서 추가 실험을 진행하였음(그림 262)



그림 262. 야외 환경에서 실험 모습

### 3) 등검은말벌 종합관리 매뉴얼 콘텐츠 작성

#### ① 연구결과에 대한 등검은말벌 종합관리 매뉴얼 콘텐츠 작성

- 3년간의 연구결과에 대한 등검은말벌 종합관리 매뉴얼 콘텐츠를 작성함
- 전반적인 등검은말벌집 탐색 시스템과 하드웨어 및 소프트웨어에 관한 콘텐츠를 작성하였음
- 무인항공기 기반 등검은말벌집 탐색 시스템의 활용 방향에 대한 콘텐츠를 작성함

#### ○ 제2세부 3년차 연구 결과 요약

- SLAM 기술을 활용하여 등검은말벌과 등검은말벌 집의 추정 위치를 지도에 작성할 수 있는 알고리즘을 개발하였음. 지도작성 알고리즘은 구글맵의 상업용 지도서비스와 연계하였으며 등검은말벌의 추정 위치뿐만 아니라 무인항공기의 위치, 고도, 배터리 등 다양한 정보가 표시 가능한 인터페이스를 구축하였음. 추가적으로 등검은말벌의 추적 성능을 향상시키기 위해 군집 무인항공기를 이용한 위치추정 알고리즘을 개발하였으며 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였음. 궁극적으로 무인항공기 기반 등검은말벌 추적 시스템 개발을 위해 기존에 연구되었던 등검은말벌 추적 시스템, 등검은말벌 위치추정 알고리즘, 등검은말벌집 지도작성 알고리즘을 통합한 등검은말벌집 탐색 시스템을 개발하였으며, 야외 환경에서 다양한 실험을 통해 데이터를 획득하였음. 실험 결과, 오차 범위 내에서 무인항공기가 초소형 센서를 추적할 수 있음을 확인하였고, 본 시스템과 관련된 내용을 매뉴얼 콘텐츠로 작성함
- 1건의 SCI 논문 성과 달성함(Chanyoung Ju and Hyoung Il Son. “Multiple UAV Systems for Agricultural Applications: Control, Implementation, and Evaluation.” Electronics, vol. 7, no. 9: 162, pp. 1-19, 2018)
- 1건의 학술발표 성과 달성함(2018년, Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery에서 ‘Autonomous Unmanned Aerial Vehicle based Active Tracking and Mapping System of Small Insect’란 주제로 학술 발표함)
- 1건의 수상실적 성과 달성함(2018년, 서울대에서 한국농업기계학회에 ‘무인항공기 기반 소형 곤충 능동 Tracking 및 Mapping 시스템’ 주제로 발표 참가하여 우수상을 수상함)

(다) 제3세부 연구수행 내용 및 결과(등검은말벌에 의한 농가 피해실태 조사, 전남대 조용훈)

1) 등검은말벌의 시기별, 지역별 발생 빈도 추적 조사 및 농가 피해 실태 추적 조사

- 설문 응답자 양봉자 위치 및 규모: 응답자는 제주도를 제외한 대부분 지역에 고르게 분포하고 있으며, 순천, 남원, 담양, 전주, 공주, 함평, 그리고 고창에서 가장 많은 응답을 하였음(그림 263)

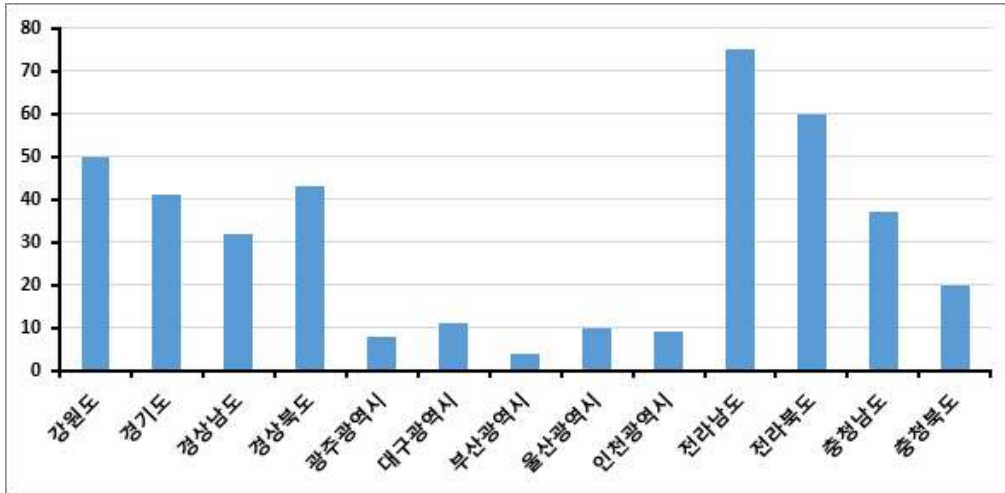


그림 263. 2018년 등검은말벌 설문조사지역

- 설문에 응답한 양봉인들은 대부분 3년 이상 장기간 양봉장을 운영하고 있었음을 확인하였으며, 양봉장 주변 환경은 대부분 산간지역이었음(그림 264, 265)

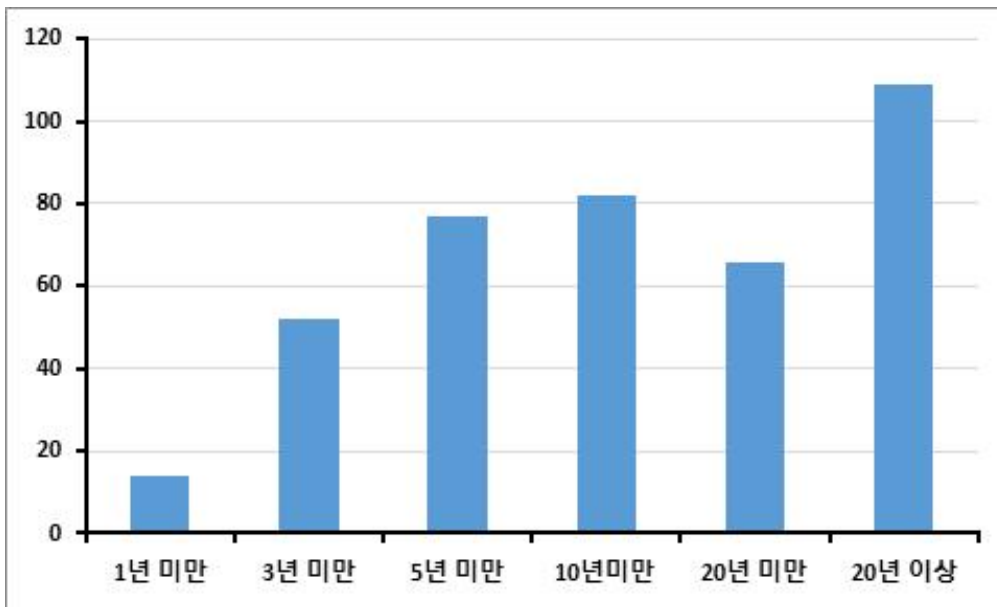


그림 264. 2018년 응답자의 양봉경력

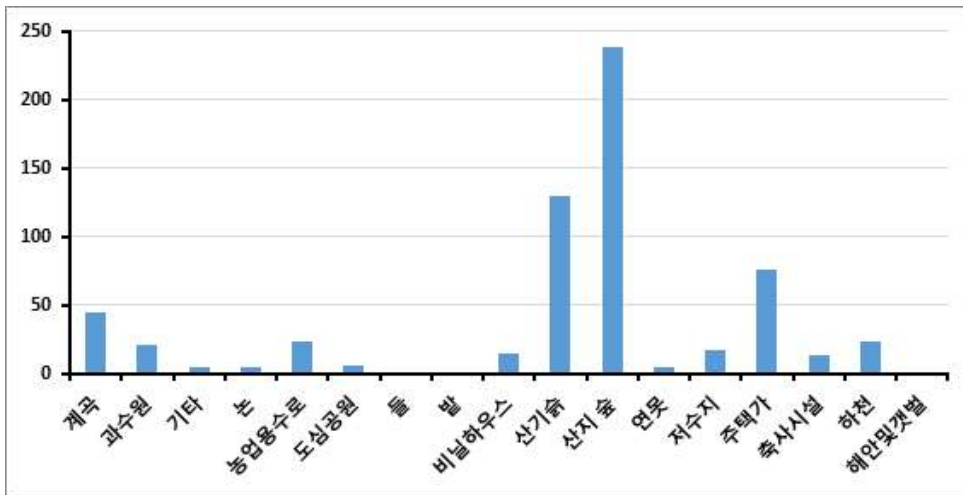


그림 265. 2018년 응답자의 양봉장 주변 환경

- 응답자의 꿀벌사육군수를 조사한 결과 50~200군 사이의 꿀벌사육군수를 유지하는 양봉인들이 가장 많은 응답을 하였음. 또한 100군을 기준으로 100군 이하 사육농가는 광주, 전남지역에 분포하고 있었으며, 100군 이상 사육농가 역시 광주, 전남지역을 중심으로 전국적으로 고르게 분포하고 있었음(그림 266, 267, 268)

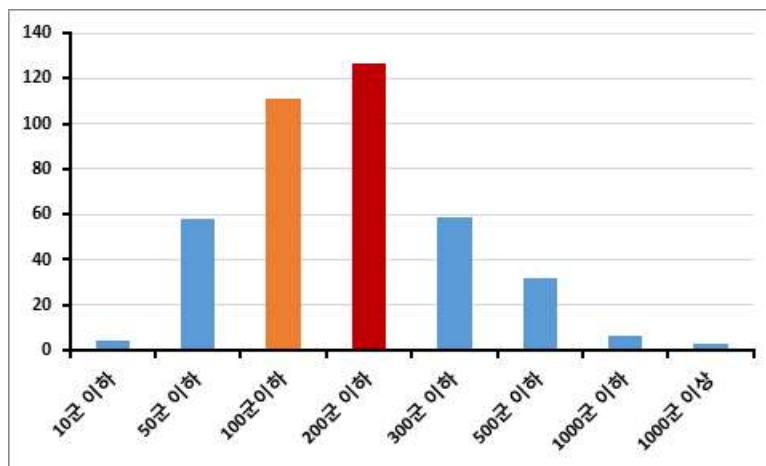


그림 266. 2018년 응답자의 양봉 사육군수 분포

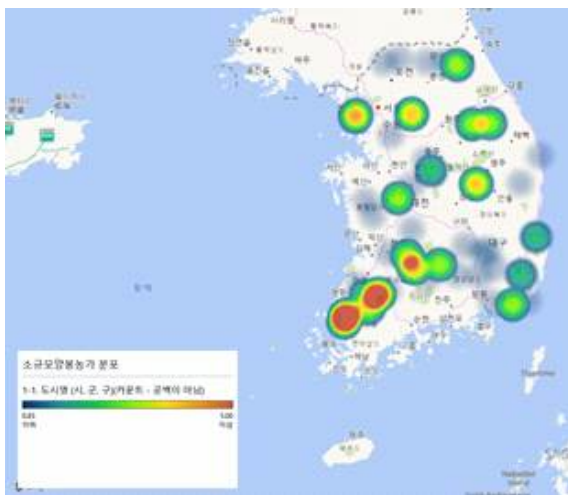


그림 267. 100군 이하 소규모 양봉농가 분포

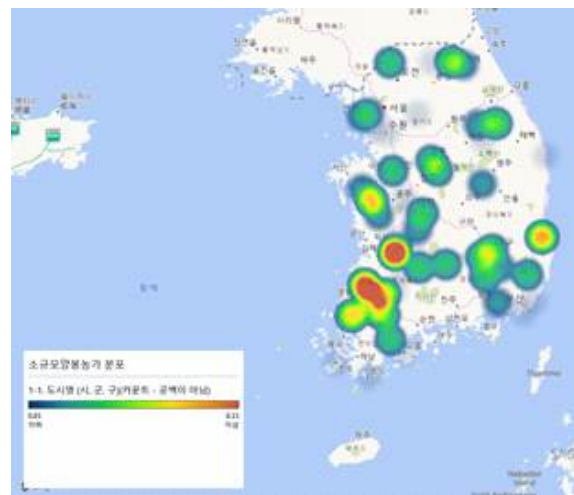


그림 268. 100군 이상 중, 대규모 양봉농가 분포

- 등검은말벌의 최초출현시기는 지역별로 차이가 낮으며, 전국적으로 확산되는 양상을 확인함 (그림 269)

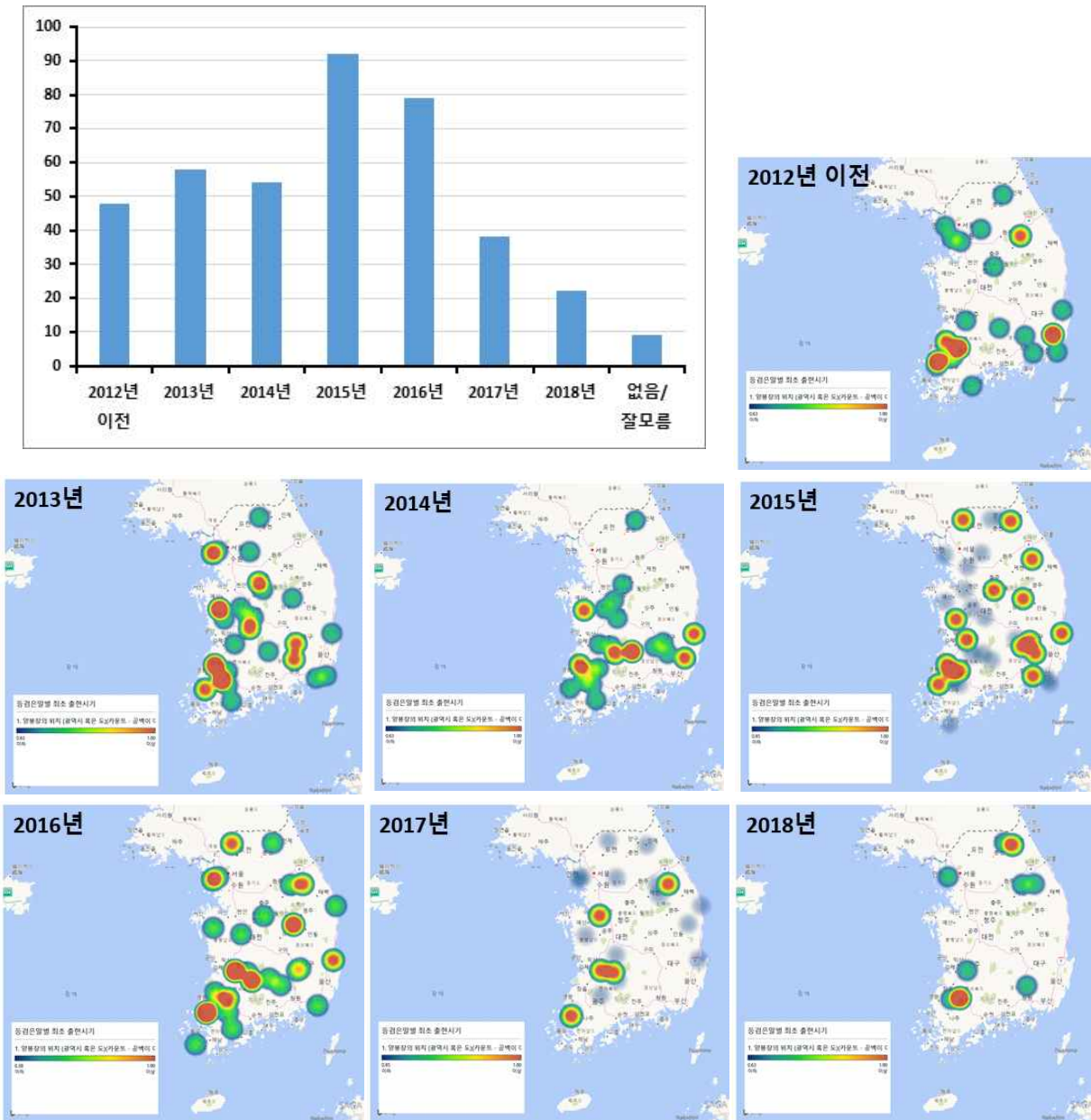


그림 269. 양봉농가가 인식하는 년도별/지역별 등검은말벌 최초 출현 시기

- 등검은말벌의 출현조사 결과 등검은말벌 2018년도에 전년 대비 증가하였다고 응답한 농가 수가 감소 또는 비슷하다고 응답한 수보다 높음을 알 수 있었음. 다만, 2017년도에 비해 증가폭이 크지는 않은 것으로 나타났음. 지역별로는 전라남도지역의 출현이 가장 많이 증가한 것으로 나타났음(그림 270, 271)

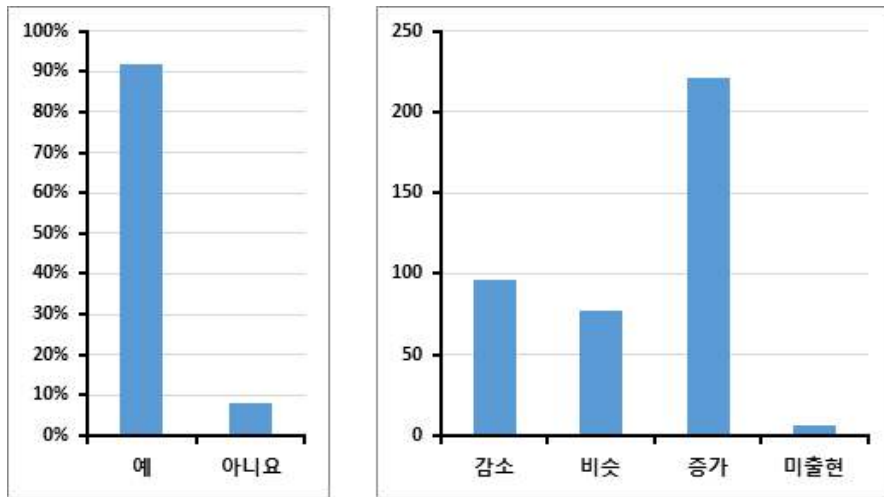


그림 270. 2018년도 등검은말별 출현유무(좌) 및 전년대비 증감(우) 조사결과

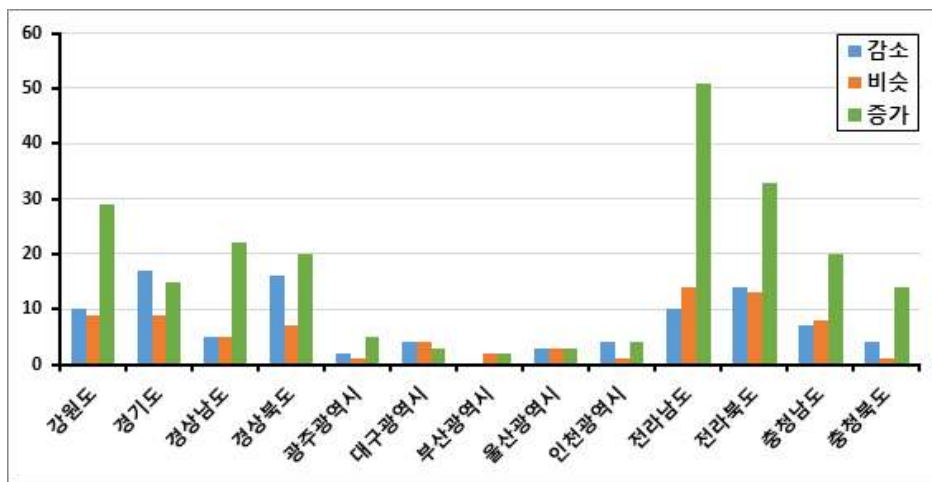


그림 271. 지역별 등검은말별 출현 증감 현황

- 등검은말별 최초출현시기 조사결과 극히 소수의 응답자만이 2월 - 3월 사이에 최초 발견하였다고 답하였으며, 대다수 인원이 4월 -8월 사이에 최초 발견하였다고 응답하여, 조기감지시스템의 구축이 매우 시급한 실정임을 확인함(그림 272)

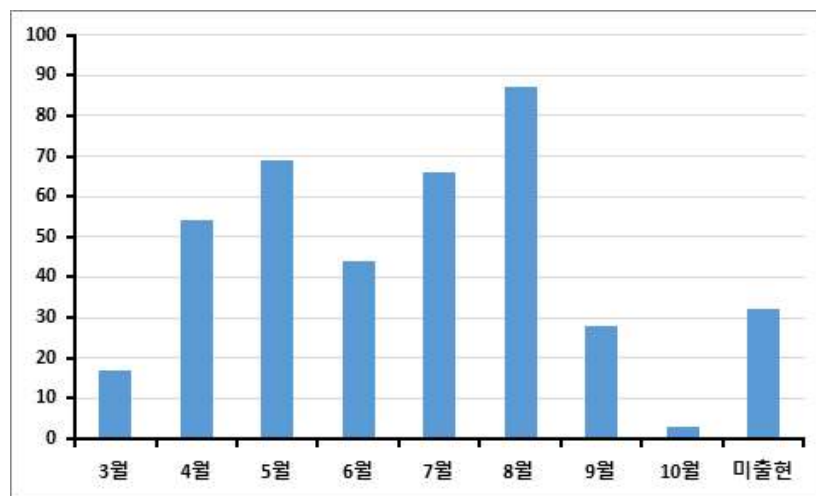


그림 272. 등검은말별 최초 출현시기 조사결과

- 등검은말벌이 가장 많이 출현한 시기를 조사한 결과 8월 - 9월 사이에 가장 많이 출현하였고 응답하였으며, 이는 2017년도 결과와 동일함(그림 273)

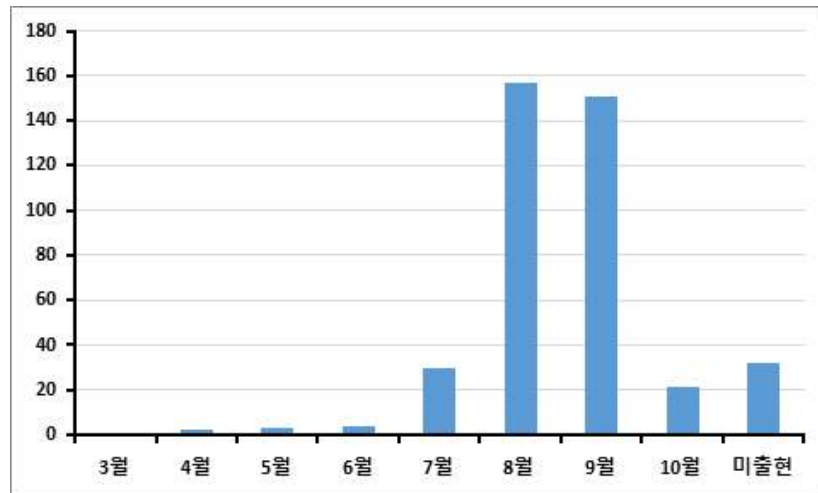


그림 273. 등검은말벌이 가장 많이 출현한 시기 조사결과

- 지역별로 등검은말벌이 가장 많이 관찰되는 시기에 시간당 관찰되는 등검은말벌의 수를 조사한 결과 시간당 약 60여 마리가 출현하는 것으로 조사됨(그림 274)

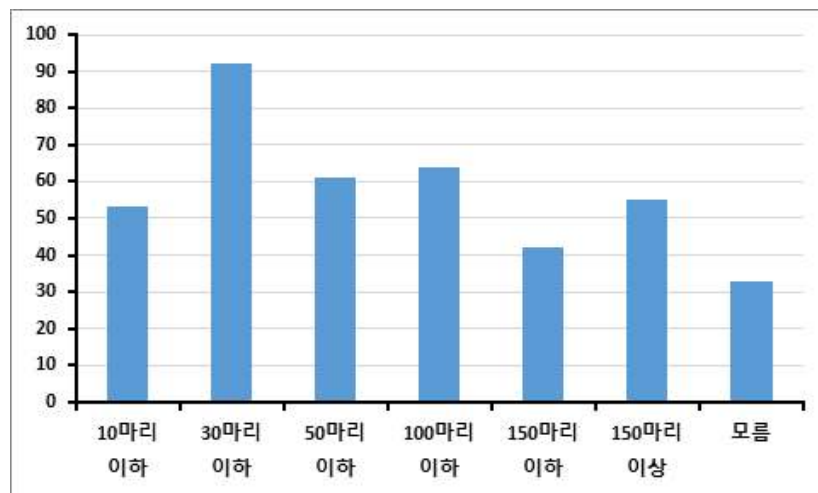


그림 274. 시간당 관찰되는 등검은말벌 최대 수

- 등검은말벌의 방제여부를 조사한 결과 약 67% 이상의 양봉인이 2017년도에 등검은말벌 방제를 한 것으로 나타났으며, 약 50%의 양봉인이 등검은말벌에 대한 봄철방제를 수행한 것으로 나타남(그림 275)

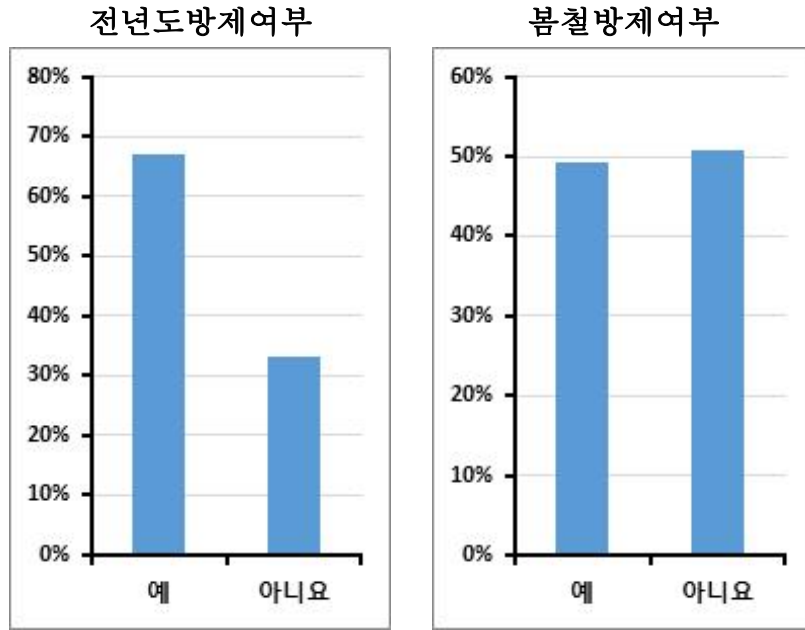


그림 275. 등검은말벌 방제여부

- 등검은말벌 외에 다른 말벌의 출현여부를 조사한 결과 장수말벌이 가장 많이 출현하는 것으로 나타남(그림 276)

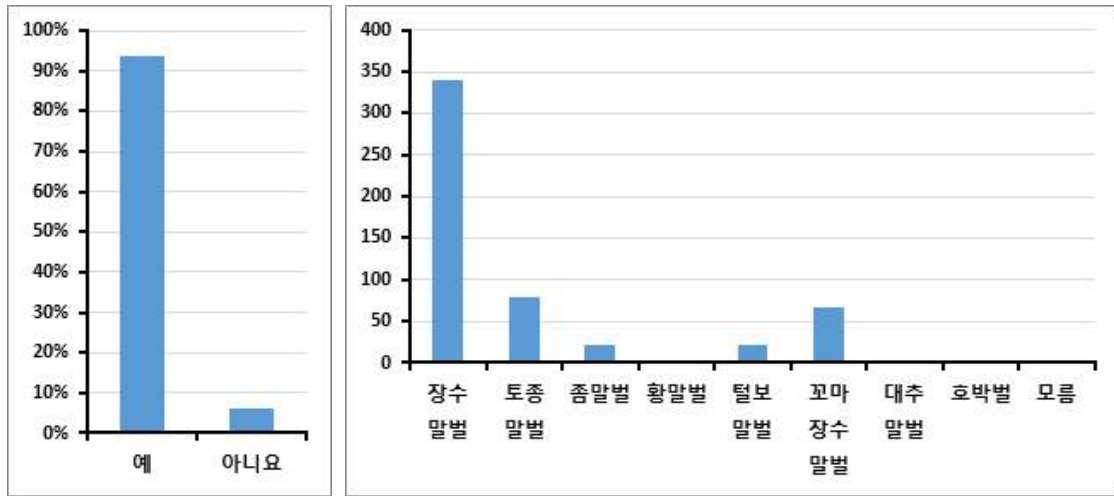


그림 276. 등검은말벌 외 타 말벌의 출현여부 조사결과

- 농가피해 규모는 질적으로 피로누적과 봉군피해가 가장 높은 것으로 나타났으며, 양적피해로는 100-300만원 정도로 나타남(그림 277)



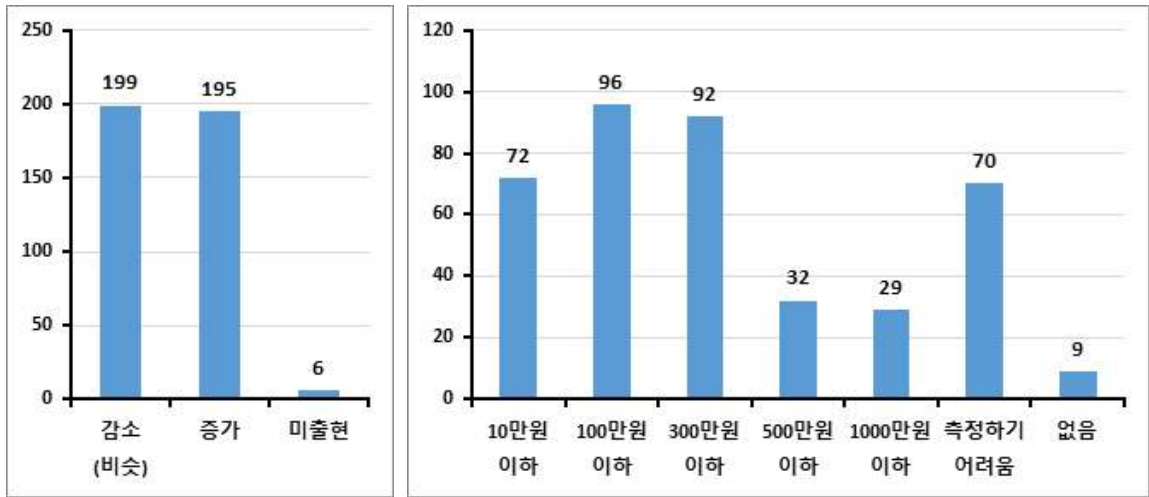


그림 277. 등검은말벌에 의한 양봉농가 피해현황

- 현재 등검은말벌 방제를 위해 사용하는 방법은 유인포획기의 사용과 직접포획방법을 사용하고 있었으며, 가장 효과적이라고 생각되는 방법 역시 유인포획기의 사용과 직접포획방법을 사용하는 것이 가장 좋은 방법이라고 대답함(그림 278, 279)

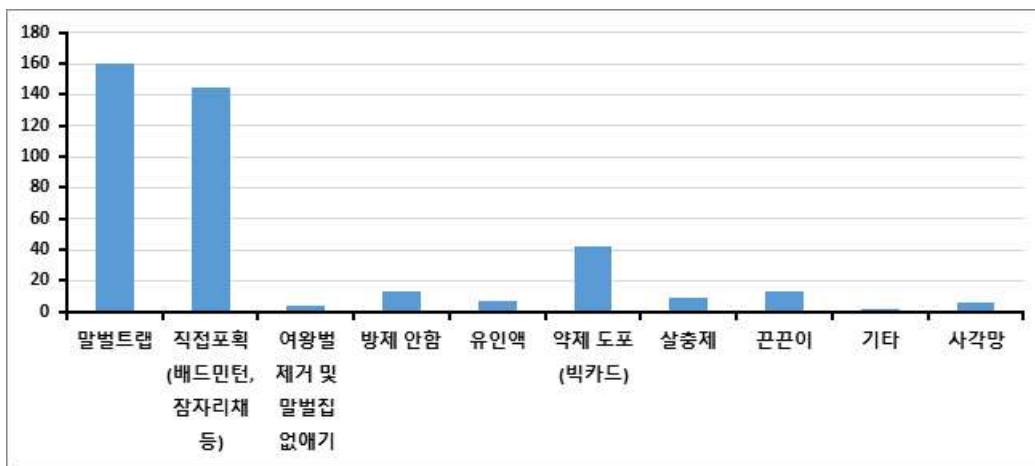


그림 278. 등검은말벌 포획방법별 조사결과

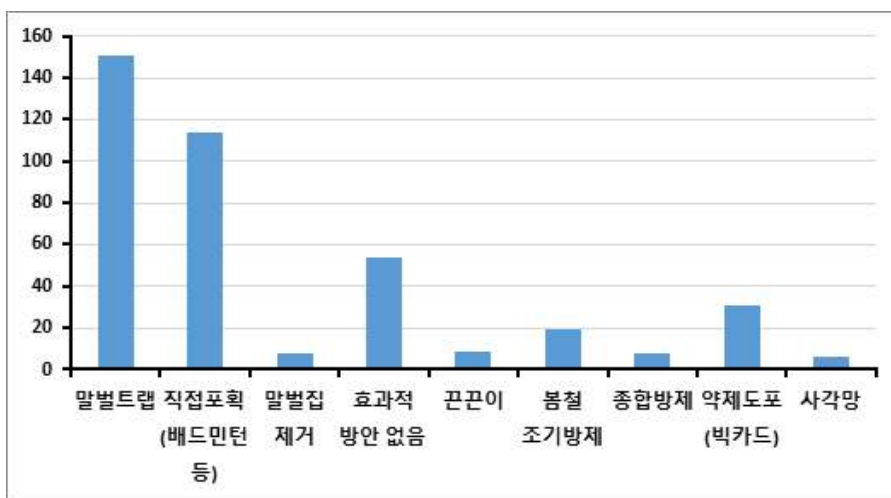


그림 279. 양봉농가가 생각하는 최고의 등검은말벌 방제법

## 2) 등검은말벌 발생 및 피해실태 데이터 베이스 구축

- 선정된 450농가 대상 설문지 코딩작업을 통해 시기별, 지역별로 등검은말벌 발생 빈도 및 농가 피해실태DB 구축(그림 280)

그림 280. 온라인 설문조사 결과 database화

- 구글 DOCS 설문지 프로그램을 활용한 온라인 설문조사 database 구축(그림 281, 282, 283) ([https://docs.google.com/forms/d/19hyZcqndzlsXzjYn4EB-gf\\_ljBkbgIIz9VgGHm6rd04/edit](https://docs.google.com/forms/d/19hyZcqndzlsXzjYn4EB-gf_ljBkbgIIz9VgGHm6rd04/edit))

### 1. 양봉장의 위치 (광역시 혹은 도)

응답 400개

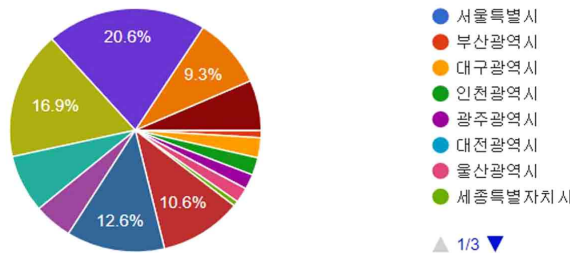
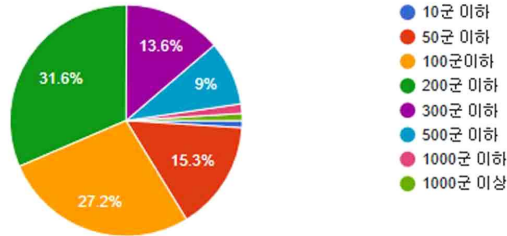


그림 281. 구글 DOCS 설문지 프로그램을 활용한 온라인 설문조사 database화

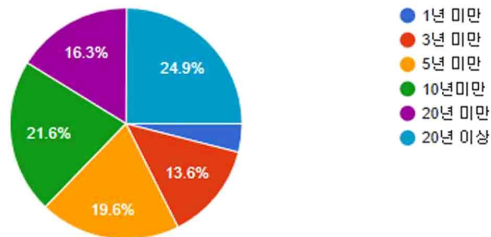
2. 양봉장 사육군수는 어느 정도입니까?

응답 400개



3. 양봉 경력은 몇년입니까?

응답 400개



4. 양봉장의 주변환경은 어떻습니까? (다중 선택)

응답 400개

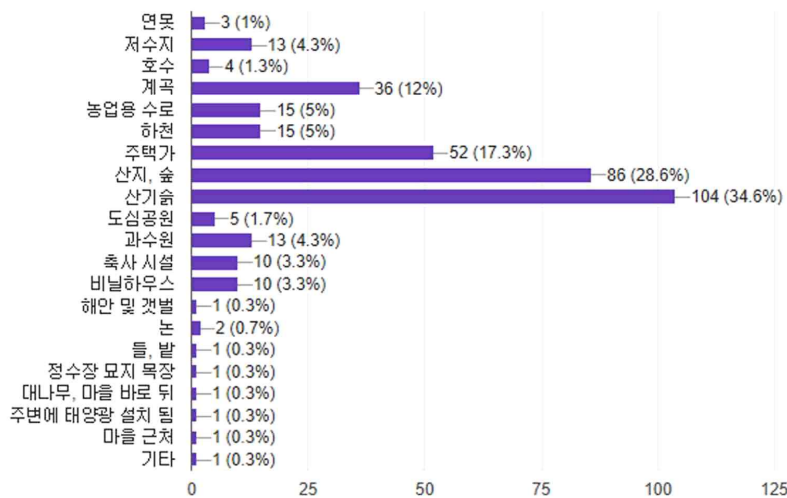
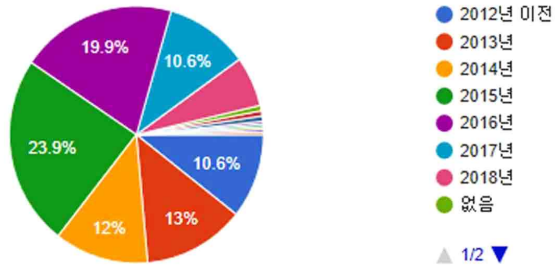


그림 282. 구글 DOCS 설문지 프로그램을 활용한 온라인 설문조사 database화

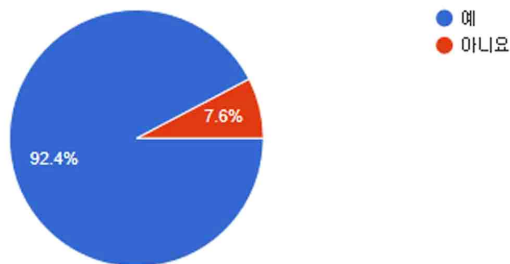
5. 등검은말벌의 최초 출연 년도는 언제 입니까?

응답 400개



6. 금년(2018년)에 등검은말벌이 출현하였습니까?

응답 400개



7. 금년(2018년)에 등검은말벌이 몇월에 처음 출현하였습니까?

응답 400개

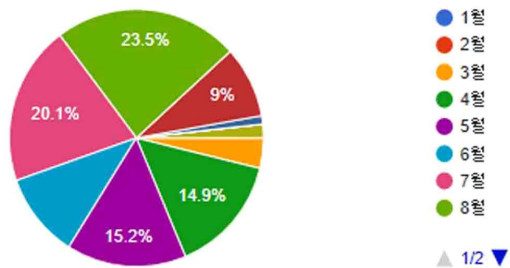


그림 283. 구글 DOCS 설문지 프로그램을 활용한 온라인 설문조사 database화

3) 등검은말벌 발생 및 피해실태 추이변화 분석

① 설문에 응답한 양봉농가의 위치 및 규모

- 제주도를 제외한 경기도, 강원도, 충청도, 전라도, 경상도 및 기타 광역시에 위치한 양봉농가를 대상으로 조사함
- 주로 전라도와 경상도에 위치한 양봉농가에서 많은 응답률을 확인함(그림 284)
- 대부분 대략 3년 이상 장기간 양봉장을 운영하고 있는 양봉인들을 대상으로 함(그림 285)
- 양봉장 주변 환경은 대부분 산간지역으로 확인됨(그림 286)
- 응답자의 꿀벌사육군수를 조사한 결과, 50~200봉군 정도의 꿀벌사육군수를 유지하는 양봉인들이 가장 많았음(그림 287)

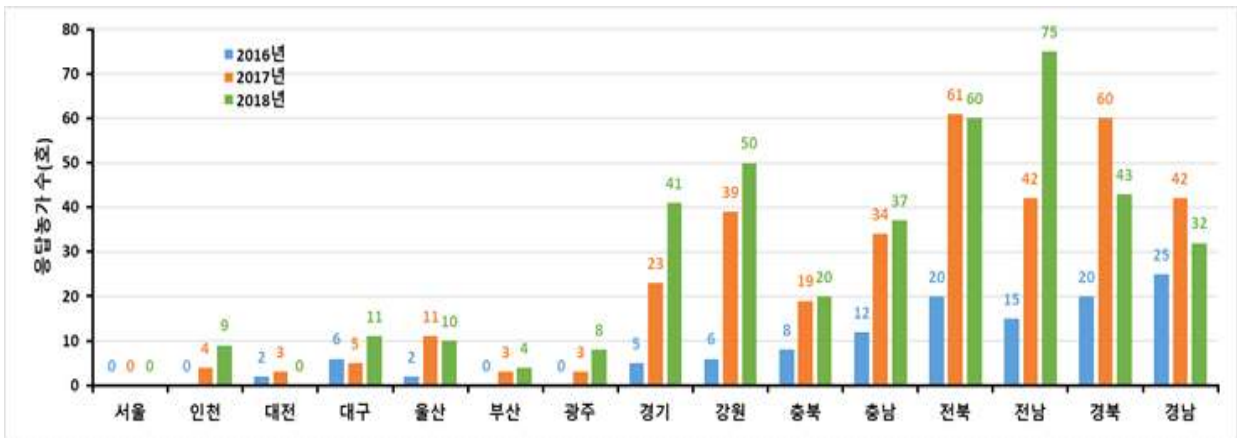


그림 284. 등검은말벌 설문조사지역

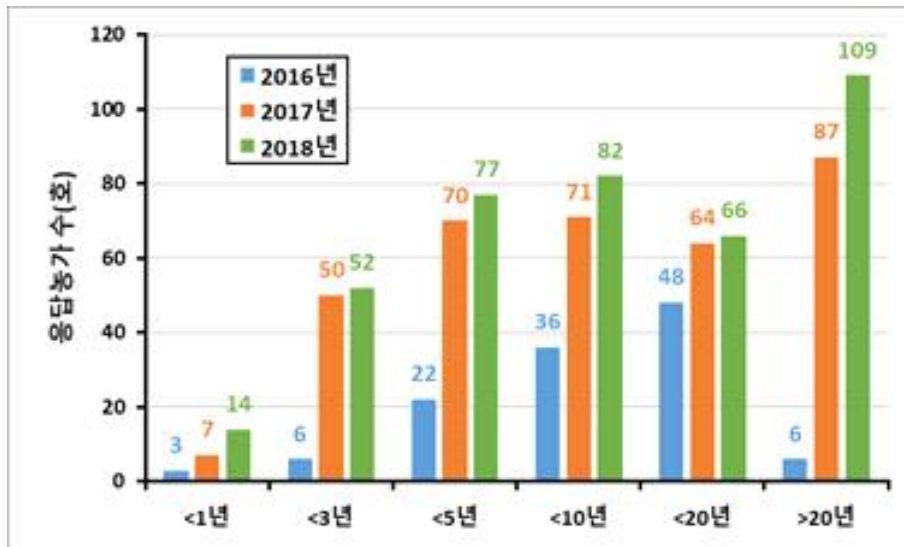


그림 285. 양봉경력

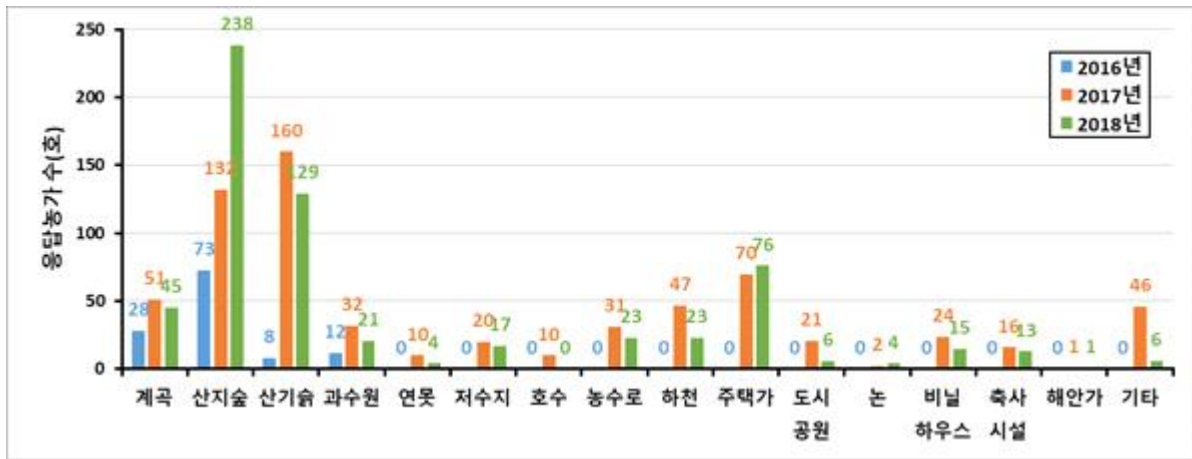


그림 286. 양봉장 주변 환경

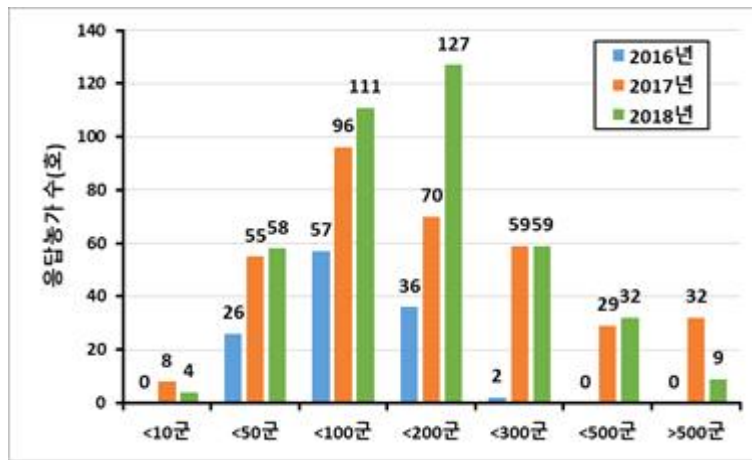


그림 287. 꿀벌사육군수 비교

② 양봉농가가 인식하고 있는 등검은말벌 최초 출현 연도

- 2012년 이전까지는 주로 부산, 전남지역에서 최초 출현하였다는 응답자가 많았음
- 이후 세 지역 외에도 더 많은 지역에서 최초 출현하였다는 응답자가 연도별로 증가함을 확인할 수 있었음
- 또한, 2015 ~ 2016년에는 경기 북부 및 강원도 일부 지역의 등검은말벌 출현이 크게 늘어났음
- 이를 통하여 등검은말벌은 부산, 경기 및 전남 지역에서 2012년 이전부터 출현한 이후 급속한 확장을 통해 경기 북부 및 강원도 일부 지역까지 단 기간(최소 5년, 2012 ~ 2017년)에 걸쳐 확산되었음을 확인할 수 있었음(그림 288)

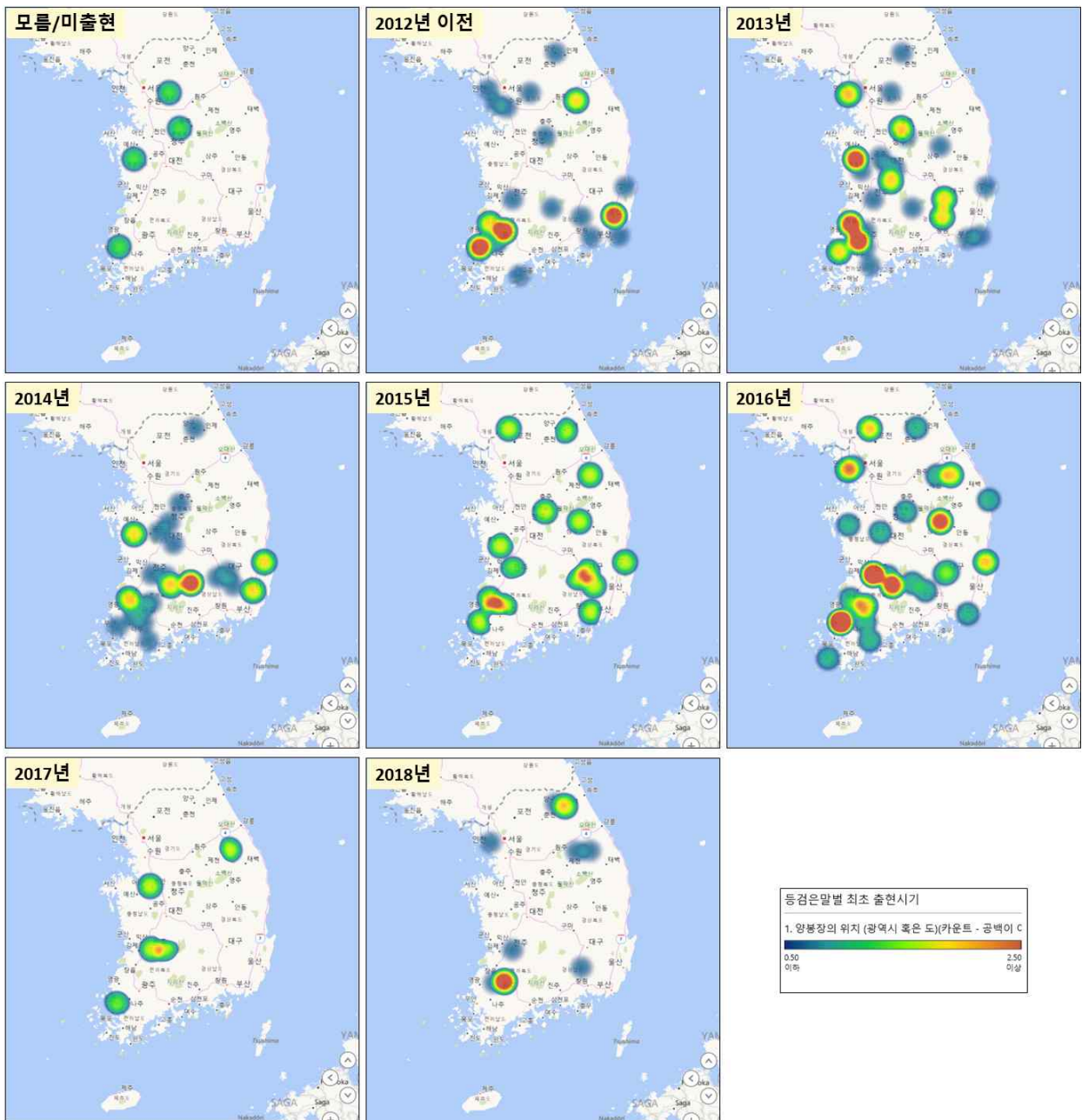


그림 288. 양봉농가에서 인식하고 있는 지역별 등검은말벌 최초 출현시기

③ 양봉농가가 인식하고 있는 등검은말벌의 월별 최초 출현 시기

- 2016년부터 2018년까지 등검은말벌의 월별 최초 출현 시기를 조사한 결과, 소수의 응답자만이 2 ~ 3월 사이에 최초 출현한다고 답하였으며, 대다수 인원이 4 ~ 8월 사이에 최초 발견하였다고 응답함(그림 289)

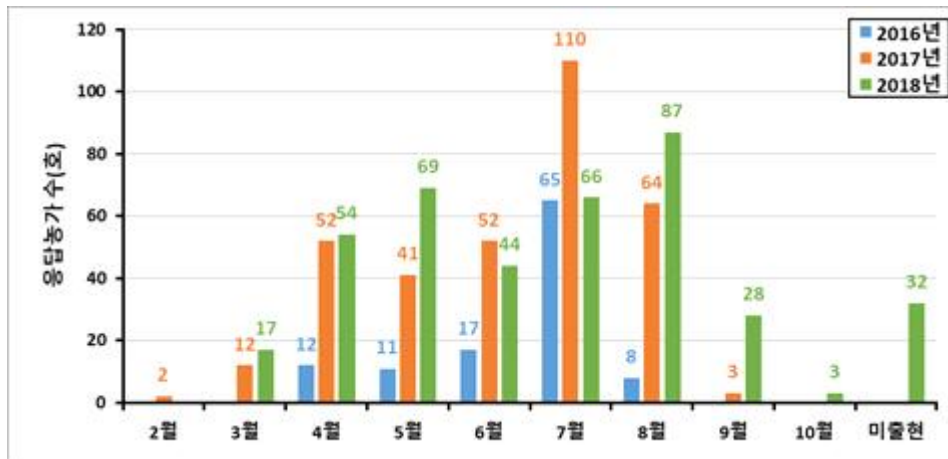


그림 289. 등검은말벌 최초 출현시기 조사결과

- 그 중 7월에 등검은말벌이 최초 출현한다고 인식하고 있는 양봉농가가 가장 많은 가운데, 2015년부터 2018년까지의 합산 경향과 2018년 경향이 동일함을 미루어 보아 대다수의 양봉농가가 인식하고 있는 등검은말벌의 최초 출현 시기와 여왕벌이 출현(2 ~ 3월)하는 시기는 다소 차이가 있음을 확인함
- 이러한 결과는 양봉농가에서는 등검은말벌의 개체 수가 증가한 시점을 최초 출현 시기로 인식하고 있음을 시사함. 또한 월별 등검은말벌의 발생 개체수에 따른 차이로 볼 수 있으며, 다른 한편으로는 등검은말벌의 일반적인 생활사 및 생태학적 특성에 대한 정보 부족에서 기인된 결과로 사료됨
- 추후 등검은말벌에 대한 피해 최소화를 위하여 양봉농가를 대상으로 지속적인 교육을 통해 등검은말벌 방제방안을 마련할 수 있는 정보를 제공할 수 있는 기회가 필요한 것으로 판단됨 (그림 290, 291, 292)

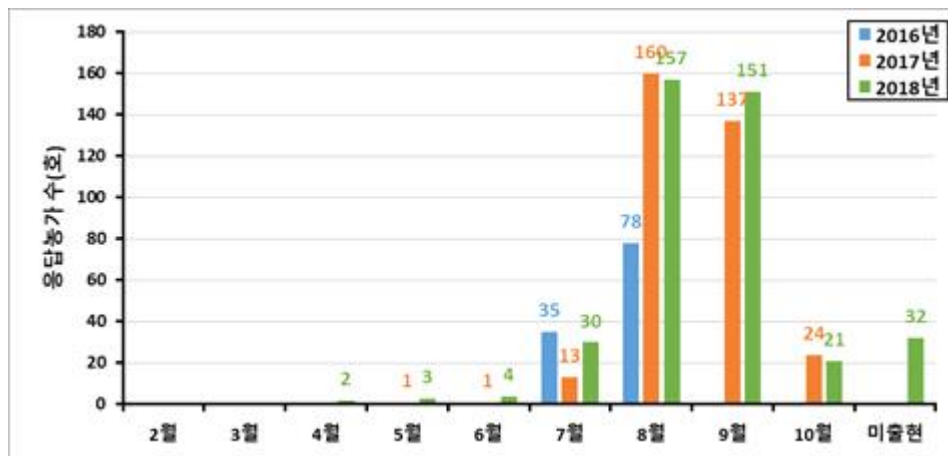


그림 290. 등검은말벌이 가장 많이 출현한 시기 조사결과



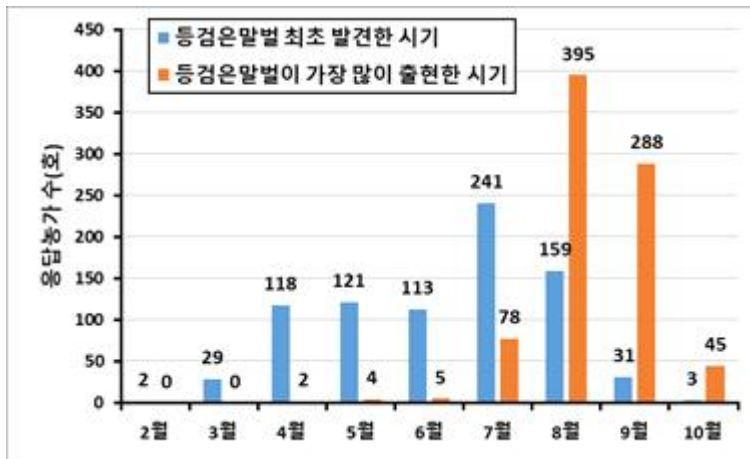


그림 291. 등검은말벌 출현 시기 조사결과(2016-2018)

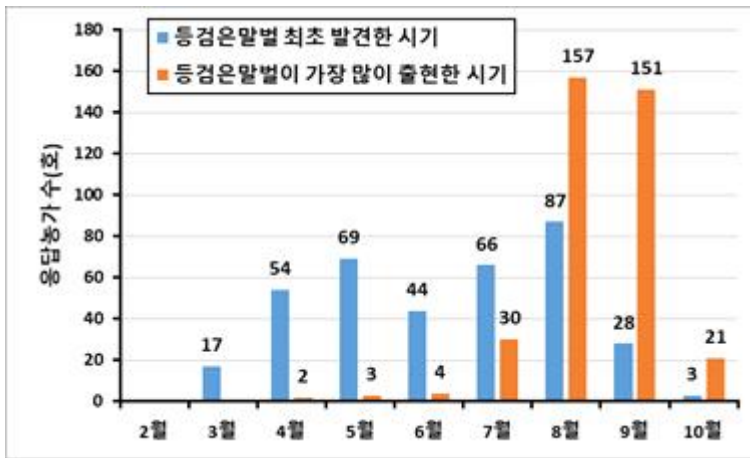


그림 292. 등검은말벌 출현 시기 조사결과(2018)

④ 지역별 등검은말벌 출현양상

- 지역별 등검은말벌 출현양상을 조사한 결과, 전라도 지역의 출현빈도가 가장 높았으며, 그 다음으로 경상도, 충청도 순으로 나타남(그림 293)

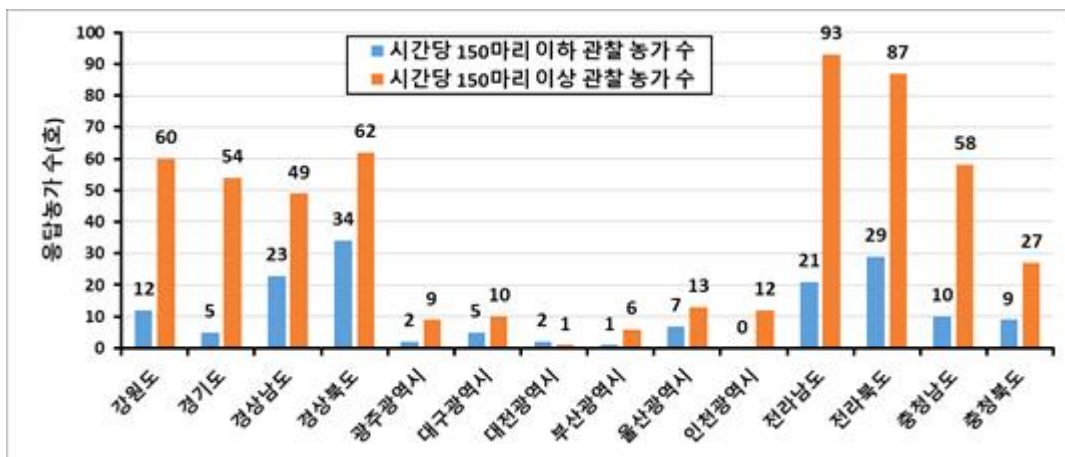


그림 293. 지역별 등검은말벌 출현양상

⑤ 등검은말벌 외 다른 말벌의 출현여부

- 등검은말벌 외 다른 말벌의 출현여부를 조사한 결과, 90% 이상의 응답자가 등검은말벌 외 다

른 종류의 말벌이 출현하였으며, 그 가운데 장수말벌이 가장 많이 출현한다고 응답함(그림 294)

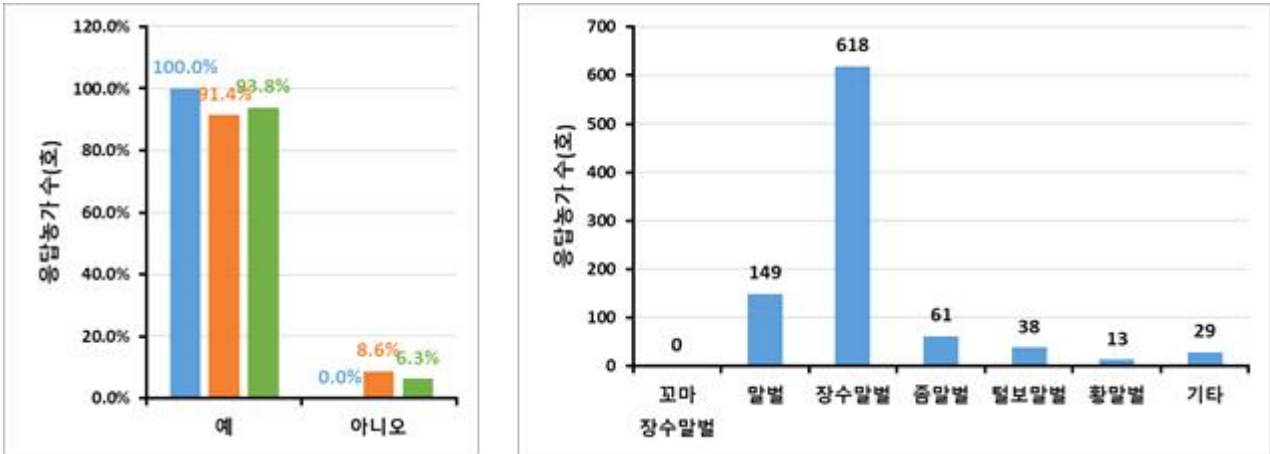


그림 294. 타 말벌 출현 유무(좌), 출현 말벌 종류(2017-2018, 우)

⑥ 등검은말벌에 의한 농가피해 규모

- 등검은말벌에 의한 농가피해 규모 조사결과, 질적으로 피로누적과 봉군피해를 꼽았으며, 양적 피해로는 100 ~ 300만원 정도의 손실액으로 평가한 응답자가 가장 많았음(그림 295)

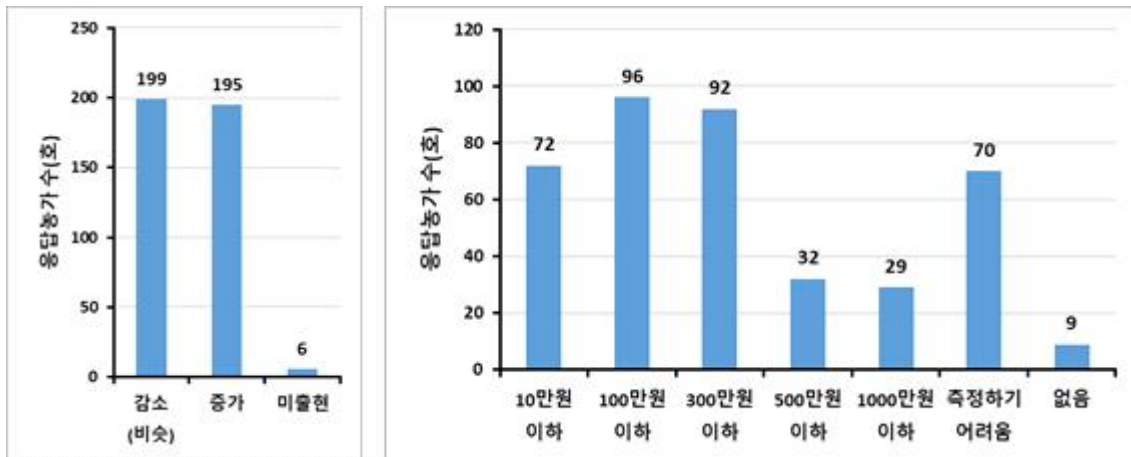


그림 295. 전년대비 피해 증감 여부(2018, 좌), 등검은말벌에 의한 양봉농가 피해액(2018, 우)

⑦ 양봉농가에서의 등검은말벌 방제 여부

- 등검은말벌의 방제 여부를 조사한 결과, 약 70% 이상의 양봉인이 2017년도에 등검은말벌을 방제한 것으로 확인되었고 약 50%의 양봉인이 등검은말벌에 대한 봄철방제를 수행한 것으로 나타남(그림 296)

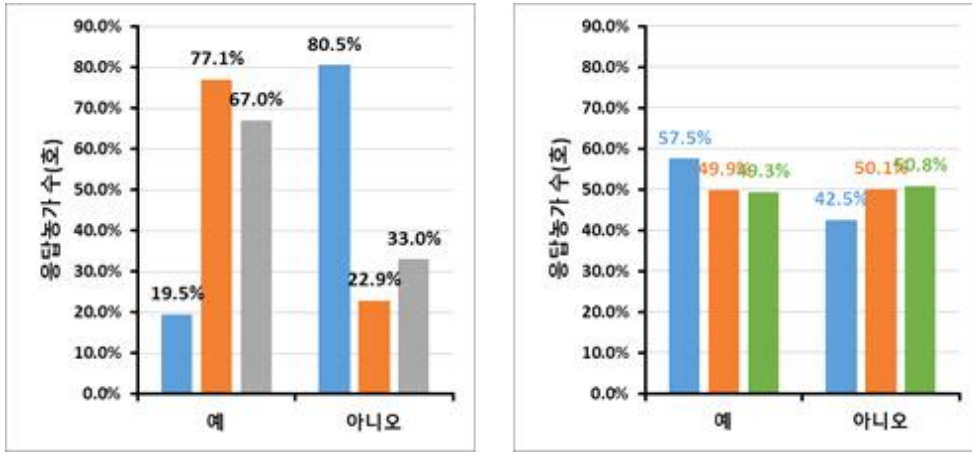


그림 296. 2017년도 방제 여부(좌), 봄철 방제 여부(우)

⑧ 양봉농가의 등검은말벌 주요 방제 방안

- 현재 양봉농가에서 등검은말벌 방제를 위해 주로 사용하는 방법은 유인포획기 사용과 직접포획 방법을 사용한 응답자가 가장 많았으며, 그 다음으로 농약 처리를 가장 많이 사용하고 있음을 확인함(그림 297)
- 또한, 워드클라우드 분석 결과, 유인포획기 사용, 직접포획 및 말벌집 제거를 가장 효과적인 방제법이라고 인식하고 있음을 확인함(그림 298)



그림 297. 등검은말벌 포획방법별 조사결과



그림 298. 양봉농가가 생각하는 최고의 등검은말벌 방제법 (워드클라우드 분석)

○ 제3세부 3년차 연구 결과 요약

- 2015년부터 2018년까지 3년간 870명의 양봉인을 대상으로 양봉농가가 인식하는 등검은말벌의 출현 및 피해양상 조사함. 현 시점에서 등검은말벌은 강원도 일부지역을 제외한 전국에 분포하고 있으며, 지속적으로 피해가 증가하고 있음을 재확인함. 등검은말벌 외에 다른 말벌의 양봉농가 출현여부를 조사한 결과, 장수말벌이 가장 많이 출현하는 것으로 나타나 말벌류에 의한 양봉농가를 보호하기 위해서는 특정 종에 대한 방제 외에도 장수말벌과 같은 타 말벌류도 함께 방제할 수 있는 방안을 마련해야할 것으로 판단됨
- 양봉농가에서 등검은말벌을 대상으로 사용하고 있는 주요 방제법으로는 유인포획기 사용과 직접포획이었으며, 그 다음으로 농약 처리를 가장 많이 사용하고 있음을 확인함. 그러나 농약 처리의 경우 그 효과가 불분명하고, 주변 봉장으로 이동할 경우 추가 농약 피해가 발생할 수 있으며, 이로 인해 피해가 생태계 전체로 확산 할 우려가 있으므로 대체 방안이 필요한 실정임
- 설문조사 결과 농가 현장과 양봉인 사이에 가장 큰 인식 차이가 드러난 부분은 최초 출현 시기로 대다수의 양봉농가에서는 초봄 등검은말벌 여왕벌의 출현 시기가 아닌 4 - 8월, 특히 7월에 최초 출현한다는 응답자가 가장 많아, 등검은말벌의 최초 출현 시기를 정확히 인지하지 못하고 있는 실정임
- 이러한 결과는 양봉농가에서는 등검은말벌의 개체 수가 증가한 시점을 최초 출현 시기로 인식하고 있음을 시사하며, 다른 한편으로는 등검은말벌의 일반적인 생활사 및 생태학적 특성에 대한 정보 부족에서 기인된 결과로 사료됨
- 추후 등검은말벌에 대한 피해 최소화를 위하여 양봉농가를 대상으로 지속적인 교류를 통해 피해 양상에 대한 인식을 제고할 필요가 있으며, 등검은말벌 방제법을 적시적소에 사용할 수 있도록 다양한 생태학적 지식 및 정보를 제공할 수 있는 기회가 필요한 것으로 판단됨
- 1건의 정책활용 성과 달성함. 본 연구결과를 교육 및 홍보자료로 활용하기 위하여 2018년 12월 사단법인 한국양봉협회를 통해 “해외 유입 유해성 말벌 「등검은말벌」에 의한 양봉농가 피해 실태 조사결과 공유, 정책 건의 및 활용 협조”의 제목으로 정책건의를 수행하였음

(라) 제1협동 연구수행 내용 및 결과(말벌 유인제 및 고효율 포획기 개발 및 말벌 침입시 조기감지 경보장치 개발, (주)다목에코텍 이준길)

1) 등검은말벌의 생물·생태학적 특성 연구 : 조기방제 및 연중 종합 방제법 고안

① 조기 방제 시기 및 방법 연구(여왕벌 출현 시기, 월별 일벌 출현 현황 조사)

- 국내에 서식하고 있는 토종말벌의 차기 여왕벌은 숫벌과 짝짓기를 마치고 11월 초 ~ 2월 말까지 동면하고, 날이 따뜻해지기 시작하면 동면에서 깨어나 군집을 짓는 생활사를 가지고 있다고 알려짐(그림 299)



그림 299 . 종합적인 등검은말벌 생활사 모식도

- 등검은말벌의 생활사도 이와 비슷할 것으로 추정되나 생활사를 보다 정확하게 파악할 수 있다면 여왕벌들의 출현 시기를 예측하여 조기 방제를 실시함으로써 양봉 농가에서 등검은말벌 피해를 대비 할 수 있을 것이라고 예상
- 본사 일대(전남 순천시 주암면)에서 서식하는 등검은말벌을 대상으로 첫 여왕벌 출현시기와 첫 일벌 출현 시기를 알아보기 위하여 2018년 2월 22일 부터 과수 및 활엽수가 있는 밭, 학교인근의 묘지, 활엽수 군락의 산 총 3 곳을 지정하여 본사에서 판매 중인 말벌포획기를 설치(그림 300)



그림 300. 등검은말벌 여왕벌 출현 시기를 확인하기 위한 포획기를 설치한 장소

- 유인제는 최대 볼륨인 700ml를 넣어주고 1주일에 한 번씩 방문하여 개체 카운트 및 휘발된 만큼 유인제를 추가 해주는 작업을 진행하였음(그림 301)



그림 301 . 밭, 산, 묘지 말벌포획기 설치

- 등검은말벌은 외형만으로 일벌과 여왕벌의 구별이 힘들기 때문에 포획한 등검은말벌을 수거해서 일벌이 첫 출현하는 시기까지 해부 과정을 통하여 여왕벌과 일벌을 분류하는 조사 방법을 진행하였음(그림 302)



그림 302. 여왕벌에서 분리한 알과 일벌의 내장기관

- 2018년 2월 22일에 첫 설치를 시작하여 실험을 진행하였으나 3월 22일 까지 말벌이 포획되는 것을 확인 할 수 없었음
- 3월 29일에 묘지에서 첫 등검은말벌이 채집되었으며, 이후 4월 12일 밭에서 첫 채집이 되었음(그림 303)

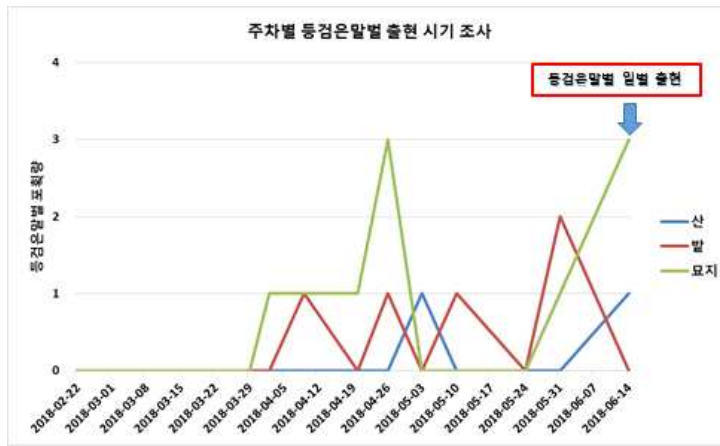


그림 303. 주차별 등검은말벌 출현 시기 조사 결과 그래프

- 묘지와 밭에서 매주 포획이 되는 것을 확인 할 수 있었고, 산 지역은 5월 3일에 첫 채집이 된 것을 확인 할 수 있었음
- 포획된 등검은말벌을 해부한 결과 내장기관 부분에 알이 있는 것을 확인 함
- 6월 14일 묘지 지역에서 채집한 3마리의 등검은말벌 중 한 마리가 알이 없는 일벌임을 확인 함
- 6월에 첫 등검은말벌의 일벌이 채집되어 진 것으로 보아 기존에 연구 되어진 life cycle이 전남 순천시에도 적용이 된다고 볼 수 있음
- 조기 방제에 대해 알고 있는 농가에서는 3월 초에 여왕벌만을 유인 포획하면 된다고 생각 하지만 여왕벌 출현을 기점으로 해서 개체수가 많지 않은 최초로 출현하는 일벌의 개체 수 부터 지속적으로 방제하는 것이 전성기인 여름철 피해를 줄이는데 중요하다고 판단 됨

② 공격 시 선호 높이 조사

- 국내에서 양봉을 하는 양봉농가에 방문하여 봉군이 설치되어 있는 것을 보았을 때 단상 기준으로 대부분 바닥 또는 약 30cm이하의 높이에서 양봉을 진행(그림 304)



그림 304 국내 양봉농가의 일반적인 봉군 설치 방법

- 이러한 낮은 곳에 봉군을 설치하는 이유는 벌통의 뚜껑을 열어서 봉군을 관리하기 편하기 때문에 낮은 곳에 설치 함
- 하지만 말벌류들이 바닥면 또는 낮은 지형에서 벌통으로 접근하는 것에 어려움이 없어 피해가 계속해서 증가하는 것이 아닐까 라는 예상을 함

- 해당 연구 대상 말벌인 등검은말벌이 어떤 높이에서 공격 선호도가 높은가에 대한 연구를 진행함
- (주)다목에코텍에서 사육하고 있는 벌통 9개를 선정하여 높이 30cm 플라스틱 상자를 30cm, 60cm, 90cm 세가지 높이 조건으로 설치하고, 설치한 플라스틱 상자 위에 벌통을 조건 당 3통씩 설치(그림 305)



그림 305. 높이별 공격 빈도를 보기위한 실험 조건

- 09:00부터 18:00 까지 정각 마다 봉군 입구 부분에 꿀벌을 사냥하기 위해 방문한 등검은 말벌이 3초 동안 머무는 것이 확인 된 개체를 계수함(그림 306)



그림 306. 높이별 실험 진행 중 꿀벌을 공격하는 등검은말벌

- 90cm, 60cm, 30cm 높이 조건으로 5회 반복 후 30cm, 90cm, 60cm 조건으로 자리를 변경하여 3회 반복을 진행
- 실험 중 장수말벌이 발생시 등검은말벌이 장수말벌을 피해 달아날 수 있기 때문에 포충망을 이용해 장수말벌만을 포획하여 제거
- 총 8반복 진행한 실험 데이터를 종합하여 보았을 때 60cm 조건이 등검은말벌이 가장 많이 방문하여 꿀벌들을 사냥해가는 것을 확인 할 수 있고 그 다음 30cm 조건이 많은 공격을 받았으며, 3가지 조건 중 가장 적게 공격을 받은 조건은 90cm라는 결과가 나옴(그림 307)



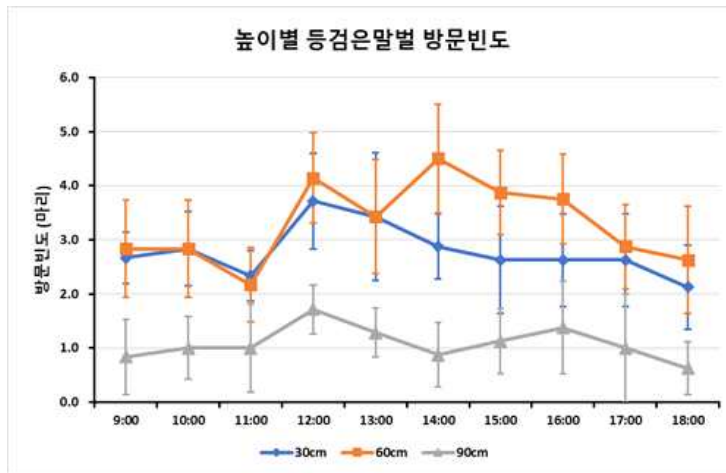


그림 307. 높이별 등검은말벌 방문빈도

- 실제로 관찰을 진행했을 때 90cm에서 등검은말벌이 꿀벌을 사냥하기 위해 계속해서 정지 비행을 하고 있는데 이때 꿀벌의 방어 태세가 완강할 경우 너무 장시간 높은 위치에서 정지 비행하는 것이 힘들어 점차 내려가는 모습을 관찰 할 수 있었음
- 위에서 언급한 이유로 90cm의 높이에서 가장 낮은 방문 빈도가 나온 것이라 예상
- 하지만 실제 양봉에 적용하기에는 90cm는 벌통을 관리하기에 너무 높은 위치로 공격 빈도가 적더라도 농가에 적용시키기에는 다소 어려움이 있음

### ③ 집단 공격(사냥) 대처법 연구

- 등검은말벌의 분업기이자 최고 전성기인 7월 말~9월 초까지는 단백질 최대 수급 시기로 등검은말벌의 봉장 출현 및 꿀벌 사냥이 빈도가 증가 되며 장수말벌의 집단 공격과는 다른 의미에서의 집단 공격이 이 시기에 이루어 짐
- 군집이 다른 등검은말벌 개체의 경우 봉장 소문 앞에서 영역 다툼이 일어나기도 하나 평균적으로 3~4마리 이상의 등검은말벌이 소문 앞에서 정지비행을 하고 있다 꿀벌을 빠르게 사냥해 감. 이 경로를 차단하기 위하여 다양한 동물성 액체, 고체 시료 등의 다양한 실험을 시도함
- 2년차 동물성 액체 시료의 경우 그 효과가 미비하였으며, 동물성 고체 시료의 경우 유인 경로가 변경되는 것을 관찰하였으나, 1시간에 오징어 1마리 또는 돼지고기 반근 등의 시료가 필요하였으므로 이를 산업화하는 것이 불가능할 것으로 판단 됨
- 이에 등검은말벌의 꿀벌 및 단백질 선호성 사냥 방식이라는 생태 특성에 기반하여 이를 역 이용하는 유인 포획 장치를 개발함. 자세한 내용은 유인 포획기 개발에서 서술

## 2) 등검은말벌 및 유해성 말벌 특이적 유인제 레시피 개발 : 표준화된 유인제 시제품 제작 및 완성

### ① 유인제 용량별 유인 포획량 확인 및 유인제 증발량 실험

- 현재 양봉농가에서 말벌을 포획하는 가장 많이 사용하고 효과를 보고 있는 포획 방법은 유인제를 이용한 포획법임
- (주)다목에코텍에서 판매중인 유인 포획장치는 최대 700ml를 넣어 사용하는 것이 메뉴얼로 잡혀있음

- 하지만 용량을 적게 넣었을 경우에도 포획이 어느 정도 효과가 있는 것을 관찰함
- 유인제 용량별 유인 포획량을 확인하고 유인제 용량별 증발량을 통해 더 효율적인 유인제 사용에 대한 매뉴얼을 작성하고자 실험을 진행함
- 본사 실험양봉장에서 30m정도 떨어진 곳에 말벌 포획기를 설치하고 5가지 조건별로 유인제를 넣어줌 [조건 : 100ml, 200ml, 300ml, 700ml, 700ml(그늘)](그림 308)



그림 308 유인제 용량별 포획률 실험 셋팅

- 설치 후 일주일에 한번 말벌포획량과 유인제 증발량을 확인함 (총 4회 반복)
- 총 4회 반복 실험결과 말벌류는 말벌, 장수말벌, 꼬마장수말벌, 등검은말벌이 포획
- 유인제 용량별 포획량 결과를 보았을 때 전체 적인 말벌류 포획량이 700ml 그늘 조건에서 가장 높은 포획량을 보여주고 있음(그림 309)

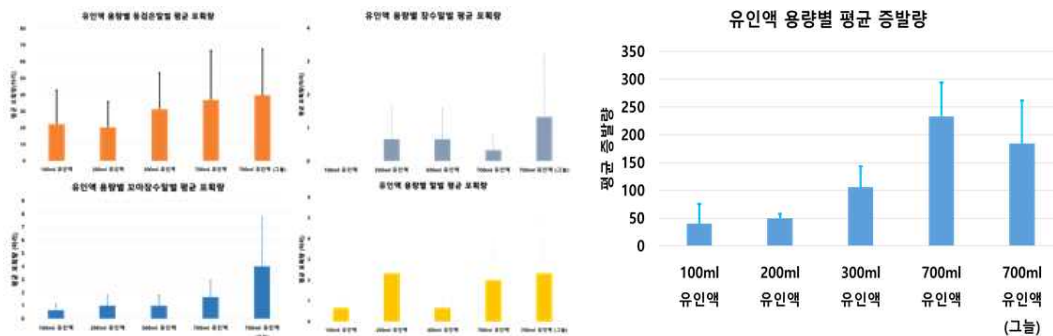


그림 309. 유인제 용량별 말벌류 평균 포획량 결과

- 유인제 용량별 평균 증발량 실험 결과는 700ml 유인제에서 가장 많은 유인제 증발량을 볼 수 있었음
- 유인제 증발량은 전체적으로 용량이 많을수록 증발량이 많은 결과를 보여줌(그림 310)

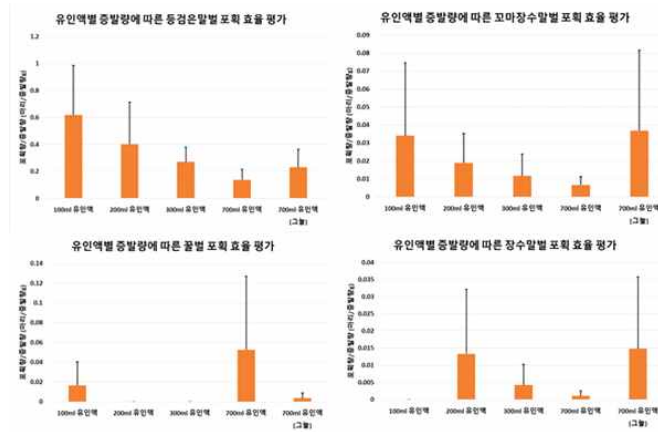


그림 310. 유인제 증발량에 따른 말벌류 포획효율 평가

- 단순 용량별 평균 포획량의 결과를 보았을 때 700ml(그늘)에서 가장 많은 개체가 포획됨
- 반복수 부족과 야외 환경에 대한 변수로 인해 통계적 유의성은 없었으나 본사의 판매 매뉴얼과 같이 그늘 조건에서 유인제를 수시로 가득 보충해주는 것이 유인제 휘발량을 유지시켜 가장 좋은 유인 포획률을 보이는 것으로 판단됨

② 제 1세부와의 협업을 통한 대량생산에 적합한 “표준화 연구 1”

- 제 1세부의 실험실 환경에서의 표준화 결과를 바탕으로 BV1 유인제 대량 배양 표준화를 위하여 배양기를 설계하여 제작함(그림 311)

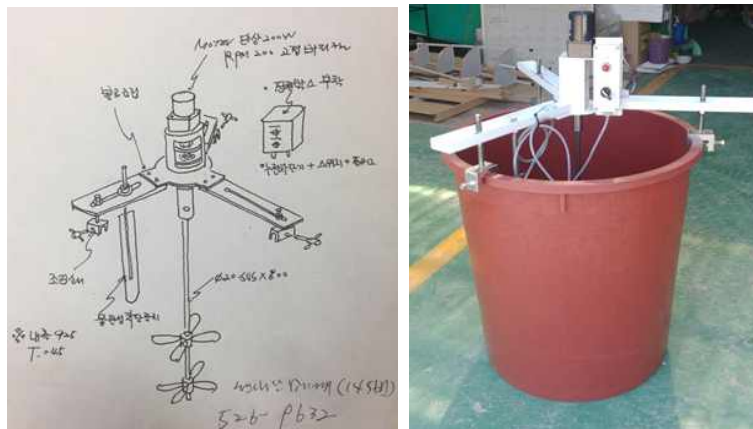


그림 311. 대형 배양기 도면 및 배양기 제작

- 미생물 배양을 위해 특수 설계 및 제작한 대형 배양기는 고정 RPM 200으로 맞춰 특수 제작하여 배양을 진행할 때 미생물이 빠른 속도에 의해 세포가 터지거나 죽지 않도록 저속으로 돌게 제작
- 200L 배양조에 전체 볼륨의 50% 농도로 흑설탕, 백설탕 (2:1 비율), 비료 3%, 균 1%를 넣어 대량 배양 실험 실행(표 34, 그림 312)
- 2일 간격으로 15시에 배양액 시료를 채취해 제 1세부에 GC분석 의뢰

표 34. BV1 200L 대량 배양 조건

	비율	조건
용량		200L
볼륨	100%	200L
흑설탕	50%	66.7kg
백설탕		33.3kg
비료	3%	6kg
균	1%	2L



그림 312. BV1 대량배양 조건에 맞춰 배양 진행

③ 제 1세부와의 협업을 통한 대량생산에 적합한 “유인성능 실험”

- 제 1세부에서 전달받은 결과를 반영해 배양한 BV1 배양액과 1차 유인제 그리고 폐소비를 준비해 개별 유인 효능과 혼합하여 사용했을 때 어떤 방식이 더 효과가 높은 성능을 보여주는지 실험을 진행하였음
- 총 7가지의 조건에 대해 실험 계획함(1차, BV1, 빈소비, 1차+BV1, 1차+빈소비, BV1+빈소비, 1차+BV1+빈소비). 계획된 조건을 실험하기 위해 말별포획기와 유인제를 담은 50ml 컵을 준비함(그림 313)



그림 313. 포획기 및 유인제 담은 용기

- 2018년 9월 4일 첫 실험을 진행하기 위해 준비된 용기에 유인제 200ml를 넣어주고 빈소비가 들어가는 조건의 경우 소비에서 빈소비를 뜯어내 40g 경단을 만들어 넣어줌(예: 1차 컵 두 개(100ml)+BV1 컵두개(100ml)+빈소비(40g))(그림 314)



그림 314. 포획기 실험장소 설치 및 포획기 내부 셋팅 (왼쪽 - 1차 + BV1, 오른쪽 - 1차 + 빈소비)

- 7가지 조건을 셋팅한 후에 1m 간격을 두고 포획기를 설치를 진행하였으며, 설치가 끝난 후 3일에 한 번 말벌 포획량을 확인하였음(총 3회 반복실험)(그림 315)



그림 315. 실험 진행 3일 후 포획된 말벌류 분류

- 포획량 확인 방법은 직접 포획기를 수거하여 포획기 양쪽에 수거기 그리고 내부로 빠져서 죽은 모든 말벌류를 수거하여 직접 종 분류를 진행
- 실험결과 등검은말벌의 포획량은 1차+빈소비에서 가장많은 양의 등검은말벌이 포획되었으며 다음으로 1차+BV1+빈소비, 1차+BV1, 1차 순서로 많은 포획된 것을 확인(그림 316)

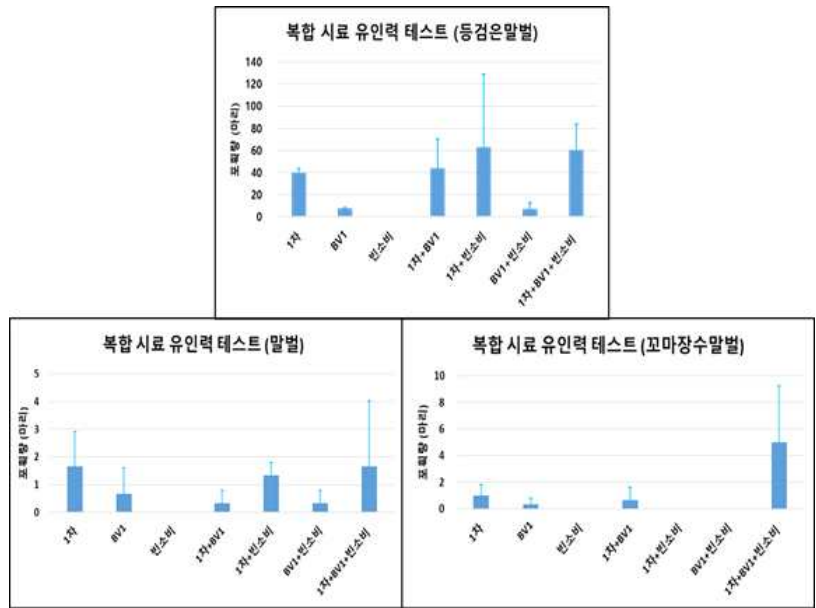


그림 316. 종합시료 유인력 실험 결과

- 그 외 말벌과 꼬마장수말벌은 1차+BV1+빈소비 조건에서 많은 포획결과를 보여줌
- 다른 말벌종류가 포획률이 저조한 이유는 시기 조건과 등검은말벌의 세력우세로 인해 포획이 저조한 것으로 예상
- 제 1세부에서 검증실험을 진행 할 수 있도록 본 실험 결과를 전달

3) 간편 고효율 말벌 수거 장치 부착 포획기 개발 : 중형 포획기 및 대형 포획기 포획기 시제품 제작 및 완성

① 중형 포획기 제작 및 실증 실험

- 제 1협동에서 제작한 대형포획기를 실증 실험하기 위해서 각 지역으로 포획기를 들고 다니면서 실험하기에 어려움이 있다는 제 1세부의 건의사항을 듣고 대형 포획기와 동일한 형태에서 크기만 축소한 중형포획기를 제작
- 하단부 벌통은 기존 벌통의 크기가 크기 때문에 시중에 교육용으로 판매되고 있는 소형벌통을 구입하여 말벌류들이 포획 될 수 있는 유인구를 뚫어 하단부를 제작(그림 317)



그림 317. 중형포획기 하단부에 말벌 유인구 가공

- 하단부와 결합할 위쪽 포획장치는 10T 두께의 투명아크릴로 포획장치 부분과 자동사멸 장치를 만들고 중심부위에 꿀벌이 탈출 할 수 있는 지름 5mm 의 구멍을 여러 개 뚫어 줌(그림 318)



그림 318. 중형포획기 상단부 제작

- 그리고 불투명아크릴로 벌통과 결합하는 결합부위와 포획기의 뚜껑 부분을 만들어 결합
- 이렇게 만들어진 중형포획기를 제 1세부에 전달하기 전에 실제로 중형포획기에 포획이 되는지를 확인하기 위해 (주)다목에코텍 양봉장 인근에서 중형포획기 포획률 검증 실험을 진행 (그림 319)



그림 319. 중형포획기 포획률 실험진행

- 실험은 중형포획기 하단에 사양기를 넣고 사양기에 현재 (주)다목에코텍에서 판매중인 유인제 700ml를 넣고 실험을 진행
- 설치 후 3일 동안 방치하고 자동사멸기와 포획기 하단부에 포획된 말벌의 종류와 개체수를 확인 하여 카운트
- 총 3회 반복 실험을 진행 하였으며 포획된 말벌의 종류는 등검은말벌, 말벌, 꼬마장수말벌이 포획되었으며, 등검은말벌이 45개체로 가장 많이 포획됨(그림 320). 포획이 잘 되는 것을 확인하고 제 1세부에 포획기를 추가 제작하여 전달함

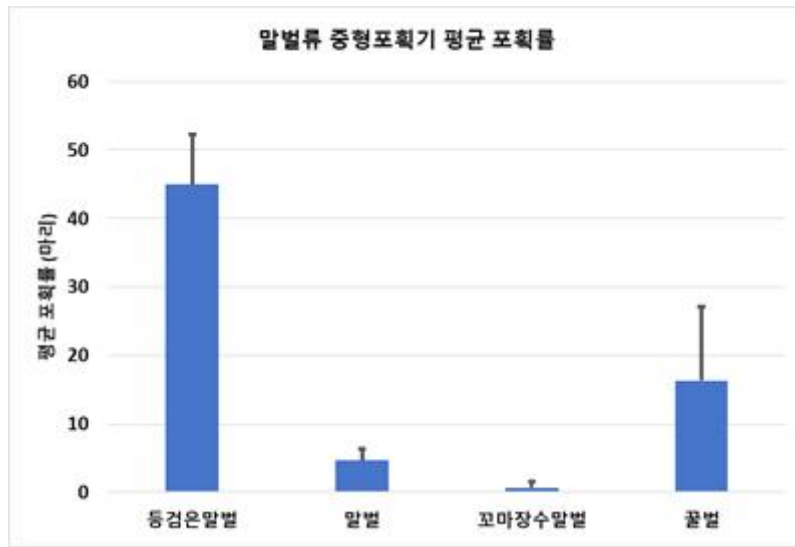


그림 320. 말벌류 중형포획기 평균 포획률

② 그물망 대형 포획기(양봉 일체형 종합 포획기) 시제품 제작 및 필드 실험

- 기존 소형, 중형 포획기의 경우 등검은말벌 봉군 내에서 탄수화물(당)을 선호하는 시기에만 효율이 있고, 단백질을 선호하는 시기에는 다소 유인 효율이 저하 되는 문제점이 있었음
- 위와 같은 기존 포획기들의 문제점을 인지하고 생태적 특성으로 기반으로 사냥 습성을 역이용하여 유인 포획하여 유인 효율을 높인 포획기를 개발함
- 2년차에 제작된 대형포획기는 빈벌통에 결합하여 유인 포획하는 장치였다면 새로 개발한 대형 그물망 말벌포획기는 실제 벌이 들어있는 양봉통에 지지대를 설치하고 옆으로 대형포획기와 자동사멸장치가 결합하는 종합포획 시스템으로 개발됨(그림 321)

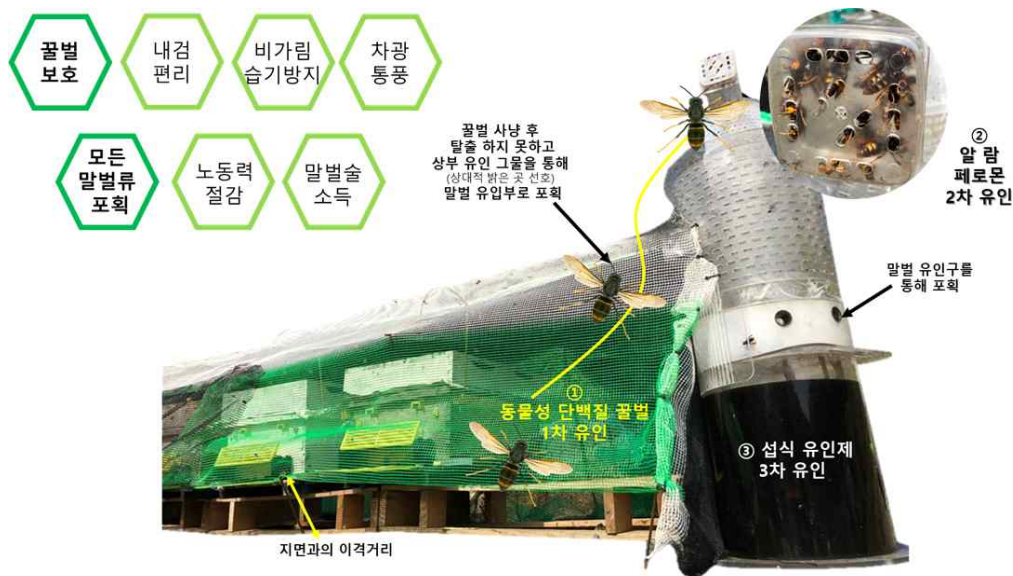


그림 321. 말벌유인포획기가 구비된 양봉관리시스템

- 그물망 대형 포획기의 세부 구조 및 포획 원리는 아래와 같음(그림 322)



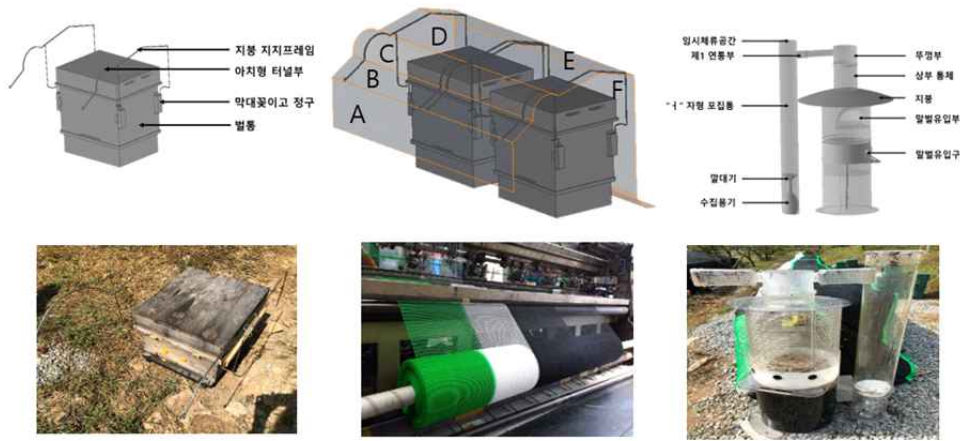


그림 322. 그물망 대형 말벌 포획기 세부 구성도

- 포획시스템의 구조는 벌통에 막대꽃이 고정구를 벌통의 4모서리 부분에 설치하여 지붕지지 프레임을 설치해주고 3색 그물망을 설치. 그물의 3색은 녹색, 흰색, 검은색으로 이루어져 있으며, 녹색부분은 꿀벌의 스트레스 방지와 말벌이 유도되어 들어올 때 거부감이 없는 색으로 선정, 중간 흰색 부위는 말벌이 사냥에 성공하고 밝고 높은 곳으로 올라가려는 습성을 이용해 다른 부위보다 밝은 색상을 선정하여 위쪽으로 올라올 수 있도록 유도길을 선정
- 마지막으로 검은색 부분은 기존에 양봉 시설에 복잡한 차양막 시스템을 간소화하기 위해 만들어 졌으며 또한 검은 천부분에 비가림막을 개별 설치가능하게 시스템을 구상함
- 그물망 양 끝에 결합되는 말벌 유인 포획장치는 꿀벌을 잡으러 온 말벌을 1차적으로 그물망 속에서 포획하고 2차로 포획기 하단부에 유인제를 넣어 유인포획 3차로 포획된 말벌들의 페로몬으로 인해 유인되어 포획되는 시스템을 가지고 있음
- 기존에 대형포획기보다 1단계 더 추가된 포획시스템으로 포획률이 증대되고, 또한 포획기 옆면에 부착되는 자동사멸장치는 포획된 말벌들이 높은 위치로 이동하는 습성을 접목시켜 최상단부로 올라온 말벌이 사멸장치가 있는 양옆으로 이동해 비행하다 지쳐 아래쪽에 있는 물 또는 술에 빠져 죽게하는 말벌 안전 제거장치가 부착함
- 말벌유인포획기가 구비된 양봉관리 시스템은 말벌의 포획뿐 아니라 여러 기술이 복합되어 있으며, 비가림막, 차광통풍으로 인한 온도 조절 기능, 이런 복합적 기능 덕분에 노동력 감소로 인해 인건비 절감과 꿀 생산량 증가로 소득이 증가 할 수 있을 것이라 기대됨
- 그물망 말벌포획기의 실제 기능실험은 말벌의 출현시기가 마지막 시기였기 때문에 포획 효율에 대해 통계적 유의성을 가진 정확한 실험을 진행하지 못하여 내년 말벌이 출현하는 시기에 정확한 실험을 추가 진행하여 수치화 시키려함
- 그러나 말벌 군집 성숙기 이후에 실험을 진행했음에도 등검은말벌 뿐만 아니라 다른 말벌 종까지 포획이 되는 것을 확인
- 기존 대비 높은 포획 능력을 가진 그물망 대형 포획기는 양봉농가에 이슈가 되어 YTN과 YTN 사이언스에 촬영되어 뉴스에 보도(그림 323)



그림 323. 실제 그물망 말벌포획기 설치 전경 및 YTN 뉴스 보도

- YTN 보도 후 제 43차 전국 양봉인의 날 및 벌꿀 축제에서 그물망 대형 말벌포획기를 홍보 및 기술 설명을 진행하였고(그림 324), 2019년 전국 양봉농가 시범 보조 사업을 추진 중에 있음



그림 324. 제 43회 양봉인의 날에 그물망 포획기 홍보 및 기술 설명

- 기업 자체 자산 투자로 금형 제작 중이며 대량 생산 체제를 구축 중임
- ③ 그물망 대형 포획기(양봉 일체형 종합 포획기) 대량 생산 및 수출을 위한 보완 특허 출원
- 그물망 포획기의 시장 경쟁력을 확보하기 위하여 말벌 포획 기능과 더불어 비가림, 통풍, 내검 편리 등의 기능을 접목시켜 개발하였음
  - 그러나 이는 단상 양봉통에서 설치 가능한 단점이 있어 소비자 선택의 폭을 넓히기 위하여 계상 및 해외 규격에도 사용가능하도록 프레임 탈부착 방식을 개선하고, 망의 크기 등을 조절한 특허를 추가 출원하였음(그림 325)

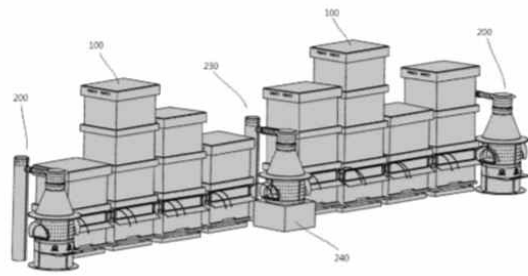


그림 325. 말벌유인포획기가 구비된 양봉관리시스템

- 기업 자체 자산 투자로 금형 제작 중이며 대량 생산 체제를 구축 중임
- 4) 말벌침입시의 조기감지법 개발 : 시작품 제작 및 성능 검증

① 시제품 제작 및 성능검증 실험

- 말벌 조기감지장치는 설치된 장소에서 등검은말벌을 포함한 국내 7종의 말벌의 유인 포획 상황 발생 현황을 실시간으로 모니터링이 가능하며, 유인 포획된 개체의 촬영 이미지를 기반으로 분류 동정 및 계수되어 DB화하는 영상분석 기록 장치임(그림 326)



**유인 포획 발생 현황 모니터링 IoT 장치(HW)**  
 1) 말벌 유인 포획 2) 감지 및 촬영 3) 서버로 자료 전송

**분류 및 동정 후 방제 매뉴얼 전송 어플(SW)**  
 4) 서버에서 분류 및 동정 5) 최종 분석 데이터 제공

그림 326. 조기감지장치 개념도

- 유인제가 탑재된 모니터링 HW에 말벌 유입 시 라즈베리파이의 카메라 모듈을 통해 비디오 기록, 또는 동작 감지 촬영됨. 촬영된 이미지는 랜선으로 연결된 네트워크 서버에 사진을 보내고 서버에서는 개발된 SW를 통하여 어떤 말벌이 어떠한 환경 조건에서 언제 발생하였는지에 대한 최종 분석 데이터를 안드로이드 기반 어플리케이션을 통하여 푸쉬 가능하게 제작
- 단순 촬영만 가능했던 1,2년차의 프로토타입 HW를 3D 프린터 및 아크릴을 이용하여 포집부 및 비가림막을 추가 구현한 프로토타입으로 제작하였음(그림 327)



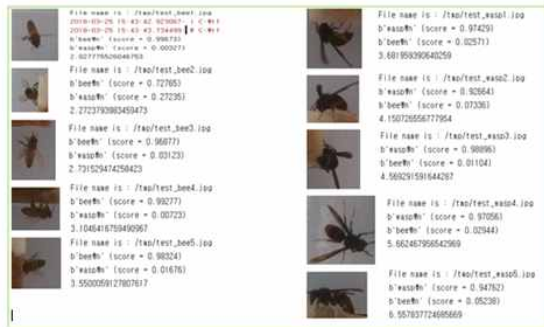
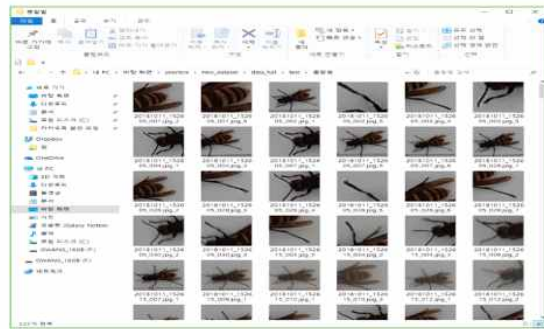
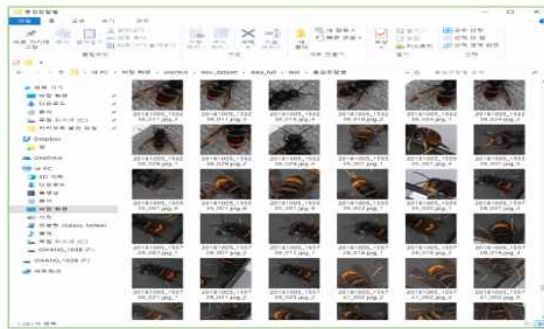
1차 프로토타입  
카메라 모듈 작동 구현



2차 프로토타입  
말벌 포집부 구현

그림 327. 1차, 2차 HW 프로토타입 구현

- 프로토타입 하드웨어에서 촬영된 이미지를 인식하여 사용자에게 알림 신호를 보내기 위한 알고리즘 구축하고 딥러닝 프로그램의 일종인 텐서플로우를 기반으로 한 텐서박스 프로그램을 활용하여 등검은말벌 인식을 위한 이미지 학습 수행하였음(그림 328)



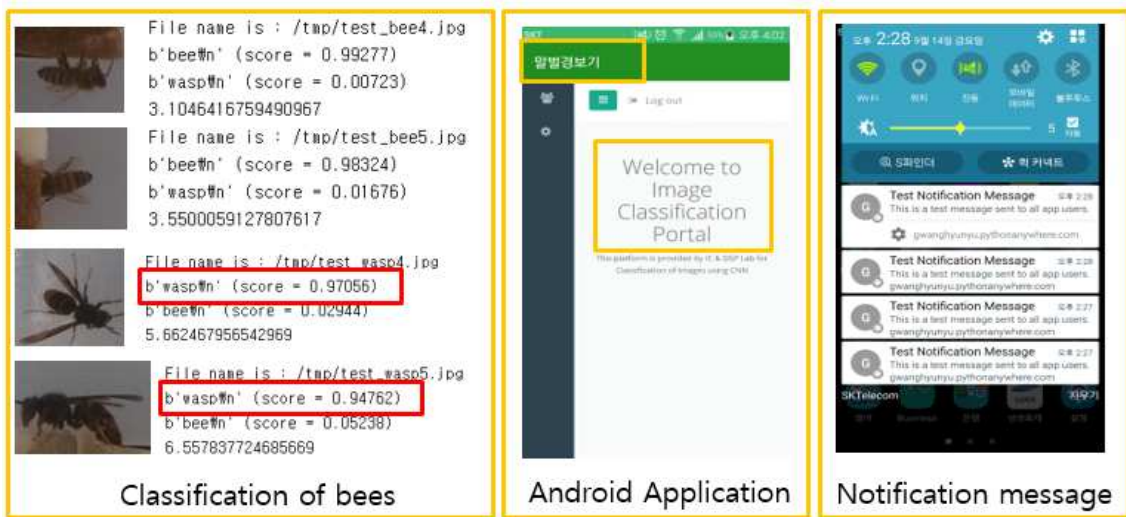
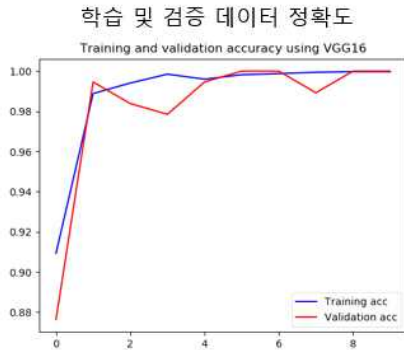


그림 328. SW 제작 및 성능 검증 실험

- 서버를 통해 분류 동정된 최종 분석 데이터를 안드로이드 기반 어플리케이션을 통하여 푸쉬 가능하게 오류 수정 및 반복 검증 실험 함

② 감지 오차 범위 조정

- Tensorboard를 이용한 학습 평가 결과 국내 말벌 7종, 꿀벌 1종 총 8종을 분류 동정 정확도 96% 이상으로 분류 동정 가능하였음
- 감지 오차 범위를 조정하기 위하여 ImageNet 전이 학습 기반의 변형된 VGG16 모델을 사용하여 학습데이터의 정확도를 99.2%, 검증데이터 정확도를 98.9%, 실험데이터 정확도를 98.9%로 향상시킴(그림 329)



학습데이터 정확도	99.2 %
검증데이터 정확도	98.9 %
실험데이터 정확도	98.8 %

이미지넷(ImageNet) 전이학습 기반의 변형된 VGG16 모델 사용

그림 329. 학습 과정 및 데이터 정확도 향상

### ③ 상용화 방안 마련

- 현재 시제품은 라즈베리파이를 기반으로 카메라 모듈, 인터넷 랜선 모듈, 동작센서, GPS 센서 등이 복잡하게 전자회로로 얹혀 있는 상태임. 이를 상용화 및 제품화하기 위해서는 별도의 PCB 제작이 필요할 것임(그림 330)

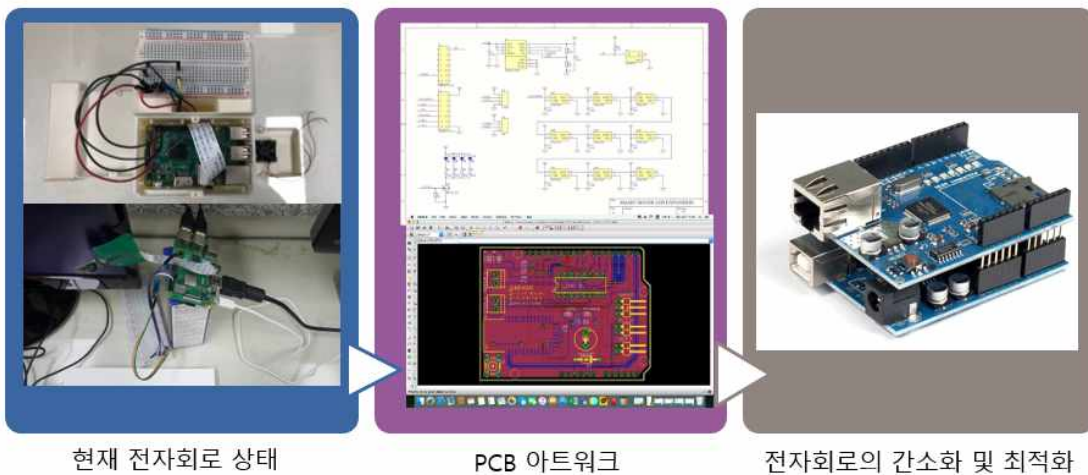


그림 330. 상용화를 위한 전자 회로의 간소화 과정 도식

- 또한 HW의 내구성에 대한 검증 실험 및 실험 결과를 바탕으로 HW의 방수, 방열, 방충 등의 내구성 있는 디자인으로 변경이 필요할 것임
- 무엇보다 가장 핵심적으로 해결해야하는 문제는 현재 랜선을 이용하여 이미지를 서버로 송

수신하는 통신 모듈을 이동통신망을 이용하여 가능하게 하는 것임. 이는 기술적인 어려움 보다는 유료 이동통신망을 이용하는 경제적 상용화의 어려움이 수반 됨

- 따라서 농가에 보급하여 등검은말벌의 출현 시기 및 발생 양상을 조사하여 알림을 주는 시스템 보다는, 연구기관 공공기관 등에서 전국적으로 일정한 인터넷 연결이 용이하며 생태적으로 연구 가치가 있는 구역을 선정한 후 외래해충 발생 현황 감시 종합 DB를 구축하고, 이를 종합 서버에서 관독하여 전체 양봉 농가 및 관계자들에게 국가 재난문자처럼 안내해주는 상용화 방안이 필요할 것으로 사료 됨

#### ○ 제1협동 3년차 연구 결과 요약

- 등검은말벌 조기 방제 및 연중 종합 방제법을 고안하기 위하여 여왕벌 출현 시기 및 일벌 출현 현황, 공격시 선호 높이 조사, 집단공격대처법 등을 연구하였음. 제1세부와의 협업을 통하여 대량생산에 적합한 BV1 표준화 연구를 통하여 대량 생산 체제를 구축하였음. 등검은말벌의 시기 별 사냥 특성에 기반하여 중형 포획기, 대형 포획기, 그물망 대형 포획기 등을 연구 개발하고 현장에서 실증 실험을 거친 후 특허 출원함. 등검은말벌 유입시 분류 동정 및 계수 DB를 사용자의 안드로이드 핸드폰에서 푸쉬 알림을 받아 볼 수 있도록 감지 경로 베타 버전을 고안하였으며, 시작품을 사용 환경에서 성능 검증하였음
- 1건 특허등록 성과 달성함(2018년, 꿀벌통을 이용한 말벌 포획기, (주)다목에코텍, 대한민국, 10-2017-0138338)
- 2건 특허출원 성과 달성함(2018년, 말벌유인포획기가 구비된 양봉관리시스템, (주)다목에코텍, 대한민국, 10-2018-0117923)(2018년, 말벌유인포획기가 구비된 양봉장, (주)다목에코텍, 대한민국, 10-2018-0154365)
- 4건의 기술실시(이전) 성과 달성함(2018년, '해충 포획기(특허등록번호 10-1765576-0000)' 특허등록 기술 실시)(2018년, '꿀벌통을 이용한 말벌 포획기(특허등록번호 10-1822029-0000)' 특허등록 기술 실시)(2018년, '말벌유인포획기가 구비된 양봉장 (특허출원번호 10-2018-0154365)' 특허출원 기술 실시)(2018년, '말벌유인포획기가 구비된 양봉관리시스템(특허출원번호 10-2018-0117923)' 특허출원 기술 실시)
- 3건 고용창출 성과 달성함(정직원 3명 고용함)
- 82,546,000원 매출액(2건) 성과 달성함(2018년, 2017 다목 친환경 말벌 유인제, 4,820,000원)(2018년, 2017 다목 친환경 말벌 포획기, 75,726,000원)
- 1건 인력양성 성과 달성함(2018년, 조준호, 2018년 2월 1일부로 (주)다목에코텍의 연구원으로 입사함)
- 1건 교육 및 컨설팅 성과 달성함(2017년, 119 생활안전분야 현장대원 특별교육함)
- 2건 홍보실적 성과 달성함(2018년 10월 8일 YTN에서 등검은말벌을 유인해 잡는 일체형 장비가 산학 합동 연구로 개발한 포획기를 방송함)(2018년 10월 12일 축산일보에서 등검은말벌을 유인해 잡는 일체형 장비가 산학 합동 연구로 개발한 포획기를 기사화함)
- 1건 학술발표 성과 달성함(2018년, 한국응용곤충학회에서 'Development of trapping system for *Vespa velutina* and commercialization'란 주제로 학술발표함)

- 사업화 성과

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2			
	소요예산(백만원)	200			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		1.33	4	8	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	75 (산정불가, 임의추정)	85 (산정불가, 임의추정)	95 (산정불가, 임의추정)
국외		0	0	0	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		단상 그물망 대형 포획기 사업화 계획 계상 그물망 대형 포획기 사업화 계획			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	1.33	3	5	
	수 출	0	1	3	

- 사업화 계획 및 매출 실적

항목	세부항목		성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	1.33억원
			향후 3년간 매출	3억원
		관련제품	개발후 현재까지	-
			향후 3년간 매출	-
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 75% (산정불가, 임의추정) 국외 : 0%
			향후 3년간 매출	국내 : 85% (산정불가, 임의추정) 국외 : 10% (산정불가, 임의추정)
		관련제품	개발후 현재까지	-
			향후 3년간 매출	-
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		- 산정불가
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		- 산정불가



### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 3-1. 목표

성과목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화2					기술 인증	학술성과			교육지 도	인력양 성	정책 활용·홍보		기타	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술 료	제품 화	매출액	수출 액	고용 창출	투자 유치		논문		학술 발표			수상 실적	정책 활용		홍보 전시
												SCI	비 SCI							
최종목표	3	3		1		2	1(억원)		2			3	1	2		3	4	2	1	
1년차 목표	1	1														1		1		
2년차 목표	2	1				1						1		1		1	1			
3년차 목표		1		1		1						1	1	1		1	2	1	1	
종료1년년도									1			1					1			
종료1년년도									1											
종료1년년도							1													

#### 3-2. 목표 달성여부

성과목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화2					기술 인증	학술성과			교육지 도	인력양 성	정책 활용·홍보		기타	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술 료	제품 화	매출액	수출 액	고용 창출	투자 유치		논문		학술 발표			수상 실적	정책 활용		홍보 전시
												SCI	비 SCI							
최종목표	3	3		1		2	1(억원)		2			3	1	2		3	4	2	1	
1년차 목표	1	1														1		1		
2년차 목표	2	1				1						1		1		1	1			
3년차 목표		1		1		1						1	1	1		1	2	1	1	
종료1년년도									1			1					1			
종료1년년도									1											
종료1년년도							1													
최종 실적	7	2 (1)		5		3	1.33 (억원)		3			2	1	15	3	3	10	2	10	4
달성율(%)	233	67 (100)		500		150	133		150			67	100	750	300	100	250	100	1000	400
목표 달성유무	유	무		유		유	유		유			유	유	유		유	유	유	유	

#### 3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 특허 등록시 6개월 이상의 시간이 소요됨. 현재 특허 등록 1건 진행중에 있으며(무인 항공기를 이용한 말벌집 탐색 시스템), 등록 완료시 FRIS에 반영 예정임

#### 4. 연구결과의 활용 계획 등

##### ① 활용분야

- 추후 개발된 말벌 관련 유인, 포획 제품의 현장점검 기술에 적용 가능하고, 이를 통한 제품 고도화에 기여 할 수 있음. 또한 등검은말벌 장기간 모니터링을 통해 축적된 노하우는 추후 확산 패턴, 기본적인 생태정보 축적 등 개체군 변동성의 조사 방안에 대한 정책제안이 가능함
- 양봉학회, 양봉박람회 등 양봉농가를 대상으로 교육하는 프로그램이 있을 경우 ‘등검은말벌 종합관리 매뉴얼’을 통해 등검은말벌 관련 교육 및 강의 자료로 사용 될 수 있음
- 유해성 말벌 유인제 후보군 및 표준품의 휘발성 물질을 효과적으로 분석하기 위해 고상미세추출(SPME)법을 활용하여 GC/MS분석을 수행하여 효과적으로 분석하였으며 검출되는 물질과 유인력을 비교하여 유인제 성분 DB를 제시함. 말벌 유인물질에 대한 연구는 외국의 문헌에서 소개되고 있지만 우리나라의 경우 유인소재(참나무 수액, 막걸리 등)에 따른 유인력만을 제시하고 있는 상황임. 이에, 본 연구는 말벌 유인효능 개선을 위한 유인제 개발을 과학적으로 수행할 수 있는 자료로 응용할 수 있는 우수한 연구라고 판단됨. 본 연구에서 분리한 미생물 *Bacillus jeotgali* BV-1 균주는 등검은말벌에 대한 유인성 대사물질을 생산하는 자연 유래 미생물로 국내 환경에 적용하는데 용이한 점이 많으며, 균주 자체를 사용하는데 있어 검역의 문제가 전혀 없는 장점을 가지고 있음. 또한 대량 생산할 수 있도록 배양 조건을 확립하여 단기간, 저비용으로 유인제를 대량 생산 및 표준화가 가능함. 등검은말벌 뿐만 아니라 여러 말벌류도 BV1 유인제의 3-methyl-1-butanol 성분에 반응하기 때문에 국내 발생하는 유해성 말벌류 포획에 보다 효과적일 것으로 판단됨(Ono et al., 2003). 이에 2018년 6월 27일 특허 출원을 하였으며 제1협동기관인 (주)다목적코텍에 노하우 기술이전하였고 농업기술센터에 BV1 유인제 생산(미생물 배양)을 대량 생산하여 농가 보급이 원활하도록 활용방안을 강구할 예정임
- 무인항공기를 이용한 등검은말벌 탐색 시스템 : 기존에 사용되던 차량 기반의 추적시스템 또는 사람이 직접 추적하는 방법보다 공중(항공)을 통하여 등검은말벌을 추적하기 때문에 더 효과적일 것으로 판단 됨. 또한 초소형 센서를 부착하고 추가적인 전원공급이 없이 곤충을 추적할 수 있기 때문에, 유해성곤충 뿐만 아니라 여러 소형 곤충 및 동물의 추적 및 관리에 용이해 생태계 관리에 큰 기여를 할 것으로 기대됨
- 등검은말벌 탐색 시스템은 약 700만원으로, 일반 양봉 업자에 부담될 수 있는 가격임. 또한 시스템을 운용/제어하기에 기술적 어려움이 발생할 수 있으므로 지방자치단체(농업기술센터)나 양봉 협회의 지부 단위에 보급되어야 함. 이에 탐색 시스템이 전국적으로 활용될 수 있으며, 유지·보수·관리에 더욱 적합함. 따라서 등검은말벌을 더욱 효율적으로 탐색할 수 있으며, 더 나아가 야생동물이나 유해성곤충의 피해를 최소화하는데 활용할 수 있음
- 양봉농가를 대상으로 하는 등검은말벌 피해에 대한 조사가 이루어지지 않은 현 시점에서 설문 조사 기법을 활용한 양봉농가의 등검은말벌 피해조사결과는 유용한 교육자료로 활용 가능할 것으로 기대됨. 본 연구결과를 교육 및 홍보자료로 활용하기 위하여 사단법인 한국양봉협회를 대상으로 정책건의를 시행하였음
- 등검은말벌 조기감지장치 : 여왕벌 월동 후 활동 개시 시기인 3월 초에 발생하는 등검은말벌의 지역별 위치별 발생 양상을 실시간 모니터링 및 DB화하여 전국 동시 방제를 가능성을 모색하고 함. 발생하는 말벌 개체의 분류 동정 및 계수가 가능하여 생태계의 우점 비율 등을 통계적인 수치로 제시할 수 있을 것으로 사료 됨. 또한 본 감지 및 분류 동정 장치는 AI 시스템을

기반으로 하여 다른 외래 해충의 모니터링에도 응용 가능할 것으로 기대 됨

### ② 추가 연구의 필요성

- 지속적 모니터링 연구 : 등검은말벌의 뛰어난 적응력은 양봉장 외 산림, 도시근교, 과수원, 공원, 학교 등 다양한 환경에서도 적응이 가능하며, 현재 도시에서도 다수 발생하고 있는 상황임. 이에 등검은말벌의 전국적인 모니터링과 기본적인 발생생태 조사가 필요함
- 동물성 유인제 개발 : 등검은말벌은 계절에 따라 탄수화물(당)을 먹는 시기와 단백질을 먹는 시기가 나누어짐(Monceau and Bonnard, 2013). 이에 탄수화물(당)을 이용한 유인제는 현 연구를 통해 개발됨. 그러나 등검은말벌이 단백질을 먹는 시기에는 등검은말벌이 많이 포획되지 않는 문제가 있음. 이에 돼지고기, 오징어 등 육류 및 건어물 등을 이용하여 단백질 유인제의 연구가 필요할 것으로 생각됨
- 스마트 양봉을 위한 종합방제 시스템의 DB 연구 : 등검은말벌로 인하여 일벌이 지속적으로 감소하게 되면 여왕벌이 과도한 스트레스를 받아 봉군이 자연적으로 소실되는 것으로 알려져 있으나, 어느 정도의 봉군 규모에서 몇 마리의 등검은말벌이 몇 마리의 꿀벌을 사냥해 갔을 때 산란 및 꿀 생산량에 어떠한 악영향을 미치는가에 대해서는 수치화 된 자료가 없음. 스마트 양봉의 사업화 가능성을 모색하기 위하여 각 개체군 별 규모 파악과 말벌로 인한 피해가 수치화 된 생태 연구가 필요함. 이를 기반으로 등검은말벌 종합방제 시스템은 스마트 양봉의 핵심적인 DB로 활용될 수 있을 것으로 생각됨
- 군집 무인항공기를 이용한 등검은말벌 탐색 시스템 개발 : 단일 무인항공기를 이용하여도 등검은말벌의 위치 추정이 가능하지만, 추적하기까지의 시간, 정확도 부분을 고려하였을 때 군집 무인항공기를 이용한 기술은 추가 연구가 필요할 것으로 생각됨. 또한 추가적인 전원공급이 불가능한 초소형센서를 이용하므로 배터리의 수명이 1~2주 정도로 짧은 교체주기를 가지기 때문에 센서의 개발에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 보임
- 딥러닝을 이용한 등검은말벌집 탐색 시스템 개발 : 본 과제에서 개발된 등검은말벌집 탐색 시스템은 양봉장에 방문한 등검은말벌에 센서를 부착하여 추적하는 시스템임. 하지만 다수의 등검은말벌집이 존재할 수 있으며, 산림이나 도심 내에서 기존의 방법으로 탐색하기 어려운 등검은말벌집이 존재함. 따라서 무인항공기에 부착된 카메라와 딥러닝 기술을 이용한 등검은말벌집 탐색 시스템 개발에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각됨

### ③ 기업화 추진방안

- 미생물기반 말벌 유인제 대량 생산 기술 보급
- 기타 곤충의 포획을 방지하기 위해 제1협동기관에서 타이머로 입구가 자동으로 닫히고, 열리는 “탈출 방지 장치(특허 제 10-0894397)”를 이용하여 야간에는 포획기의 입구가 자동으로 닫힘으로써 이는 야간에 활동하는 곤충류의 포획을 대폭 감소할 수 있을것으로 예상됨. 그러나 단가 상승의 문제가 있어, 저비용 자동계폐장치 상용화 고안중

## 붙임. 참고문헌

- Agila A, Barringer S (2013) Effect of adulteration versus storage on volatiles in unifloral honeys from different floral sources and locations. *J Food Sci* 78: 184-191
- Boch R, Shearer Da (1962) Identification of Geraniol as the Active Component in the Nassenoff Pheromone of the Honey Bee. *Nature* 194: 704-706
- Boch R, Shearer DA (1962) Identification of Iso-Amyl Acetate as an Active Component in the Sting Pheromone of the Honey Bee. *Nature* 195: 1018-1020
- Chen PY, Wei SJ, Liu JX (2016) The mitochondrial genome of the *Vespa mandarinia* Smith (Hymenoptera: Vespidae: Vespinae) and a phylogenetic analysis of the Vespoidea. *Mitochondrial DNA Part A* 27: 4414-4415
- Christlbauer M, Schieberle P (2011) Evaluation of the Key Aroma Compounds in Beef and Pork Vegetable Gravies a la Chef by Stable Isotope Dilution Assays and Aroma Recombination Experiments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 13122-13130
- Couto A, Monceau K, Bonnard O, Thiery D, Sandoz JC (2014) Olfactory attraction of the hornet *Vespa velutina* to honeybee colony odors and pheromones. *PLOS ONE* 9: e115943
- Jung C, Kang MS, Kim DW, Lee HS (2007) Vespidae wasps (Hymenoptera) occurring around apiaries in Andong, Korea. *Korea Journal of Apiculture* 22: 53-62
- Kim JS, Jeogn JS, Jeong SY, Kim MJ, Kim I (2017a) Complete mitochondrial genome of the black-tailed hornet, *Vespa ducalis* (Hymenoptera: Vespidae): Genomic comparisons in Vespoidea: Complete mitochondrial genome of *Vespa ducalis*. *Entomological Research* 47(2): 129-136
- Kim JS, Jeong JS, Kim I (2017b) Complete mitochondrial genome of the yellow legged Asian hornet, *Vespa velutina nigrithorax* (Hymenoptera: Vespidae). *Mitochondrial DNA Part B* 2(1): 82-84
- Kim YS, Lee MY, Lee ML, Nam SH (2006) Development of natural luring liquid against the wasps inflicting honey bees. *Korean Journal of Apiculture* 21: 37-42
- Maher N, Thiery D (2010) Comparison of trap design against the yellow-legged hornet *Vespa velutina*. Apimondia (Presentation material)
- Maisonnasse A, Lenoir J-C, Beslay D, Crauser D, Le Conte Y (2010) E- $\beta$ -Ocimene, a Volatile Brood Pheromone Involved in Social Regulation in the Honey Bee Colony (*Apis mellifera*). *PLOS ONE* 5: e13531
- Monceau K, Bonnard O (2013) *Vespa velutina*: a new invasive predator of honeybees in Europe. *Journal of Pest Science* 87(1): 1-16
- Ono M, Terabe H, Hori H, Sasaki M (2003) Insect signalling: components of giant hornet alarm pheromone. *Nature* 424(6949): 637-638
- Rose EAF, Harris RJ, Glare TR (1999) Possible pathogens of social wasps

- (Hymenoptera: Vespidae) and their potential as biological control agents. New Zealand Journal of Zoology 26: 179-190
- Rota V, Schieberle P (2005) Changes in Key Odorants of Sheep Meat Induced by Cooking. In Food Lipids 920: 73-83
- Selli S, Rannou C, Prost C, Robin J, Serot T (2006) Characterization of Aroma-Active Compounds in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Eliciting an Off-Odor. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54: 9496-9502
- Shearer Da, Boch R (1965) 2-Heptanone in the mandibular gland secretion of the honeybee. Nature 205: 530-530
- Varlet V, Knockaert C, Prost C, Sérot T (2006) Comparison of odor-active volatile compounds of fresh and smoked salmon. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48: 4851-4857
- Winston ML (1987) The biology of the Honeybee. Harvard University press