

발 간 등 록 번 호

11-1543000-004531-01

양봉산업의 생태환경 변화와 정책 대응방안 연구

2023. 12.



농림축산식품부

국가농림기상센터
National Center for Agro Meteorology

제 출 문

농림축산식품부장관 귀하

본 보고서를 「양봉산업의 생태환경 변화와 정책 대응방안 연구」의 최종보고서로 제출합니다.

2023년 12월

수 행 기 관 : (재)국가농림기상센터

연구책임자 : 이 승 재

연 구 원 : 남 재 철

이 병 렬

김 수 현

이 승 민

김 경 수

박 형 준

백 주 열

심 지 언

목 차

I. 연구의 배경 및 필요성	1
II. 연구 목적	4
III. 연구 내용	5
(1) 기후변화가 자연환경과 날씨, 기온 등에 미치는 영향 분석	5
(2) 기존 연구결과 등을 바탕으로 기후변화(온난화, 이상기후 등)로 인한 양봉 생리·생태에 미치는 영향 분석	22
(3) 이상기후, 환경변화로 인한 꿀벌 피해 해외 사례 조사	29
(4) 국내 양봉 피해와 기후변화의 상관관계 분석	44
(5) 기후변화로 인한 양봉 피해의 판단기준 연구	50
(6) 생태환경 변화에 따른 양봉산업 정책 방향 제시	58
IV. 결론 및 제언	71
참고문헌	75
부록 A 월동시기 기온 변화 분석	78
부록 B 기후변화와 벌 검색 관심도	82

I. 연구의 배경 및 필요성

- 최근 국내에서 월동꿀벌피해 사례가 증가하고 있으며, 그 원인 중의 하나로 봄철 저온 및 냉해, 겨울철 이상고온 지속 등기후변화에 의한 영향이라는 주장이 지속 제기
- 기후(환경)변화가 양봉 생태 및 폐사에 미치는 영향과 인과관계를 분석하여 향후 대응방안 마련 필요



<전체 양봉농가 중 65% 꿀벌 폐사 피해 보고 축산업 중에서도 가장 영세한 양봉업의 위기

(매일경제, <https://www.mk.co.kr/news/economy/10708101>)>

- 정부에서 발표한 <양봉산업 5개년 종합계획>에는 기후변화 및 이상기상 대응 방안, 이상기온에 따른 꿀벌 관련 연구개발, 기상 및 개화 정보 제공 등을 포함하고 있음

① **(밀원확충 및 채밀기간 확대)** 산림청은 밀원 자원 확충을 위해 노령림·경제림을 벌목갱신할 때 헝가리산 아까시나무 등의 밀원을 매년 3,000ha를 식재하여 면적을 확대하고, 연중(3월~10월) 채밀할 수 있는 다층형* 복합 밀원 숲을 조성하여 채밀 기간 [현 4개월(4월~7월)]을 2배로 늘리며, 밀원수 전문인력 및 전담 부서 신설을 추진해 나갈 계획이다.

* (조성 1~2년, 하층) 초본류, (2~5년, 중층) 관목류, (8~10년 이후, 상층) 교목류

② **(병해충 관리강화 및 우수 품종 개발·보급)** 농촌진흥청은 부저병·백목병등 질병별 특이물질 탐지 디지털 감지기를 이용하여 꿀벌 질병 예찰과 방제용 약제 자동 살포 등 첨단기술을 기반으로 조기 예찰·방제 등 사전 예방체계 구축한다. 농림축산검역본부는 현장 확진 도구 확대, 개발, 보급으로 1시간 내 질병 현장 확진 구현하고, 웹기반 꿀벌 질병 상담 관리시스템(신속진단처방시스템) 이용하여 스마트폰으로 사진, 동영상 또는 텍스트정보 등으로 질병상담을 하는 등 신속 질병 대응체계 구축하여 소모성 질병 발생을 차단한다. 농식품부는 양봉농가에 꿀벌 방제약품(7,430백만원/년) 및 지자체(동물위생 시험소)에 꿀벌 질병 진단 도구 보급(670백만원/년) 등을 지속 지원해 질병피해를 최소화해 나가는 한편, 순계자원 활용, 분자유전 육종 등으로 신품종 3개를 추가 개발하여, 벌꿀 생산성을 현재 13.7kg/봉군에서 '26년 30kg/봉군(↑119%)까지 높이고 질병 저항성, 수밀력 등이 우수한 품종을 5%까지 농가에 보급하는 등 생산성 제고를 농촌진흥청과 함께 추진한다.

③ **(사양관리 신기술 개발·보급 및 인력육성)** 농촌진흥청은 기후변화에 대응하여 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI)을 기반으로 분봉·무왕군예측 및 발육 이상증세 조기 확인 등 사양관리 신기술을 개발하고 농업인 대상 생산 기술, 정책·경영 교육 프로그램 개발·운영 등 농가 교육을 강화하여 현장에 신기술을 보급한다. 양봉산업 전후방 분야에 종사 중인 인력이 전문성을 갖출 수 있도록 지역별 전문인력양성 기관 지정 확대하고 전문교육 체계 구축한다. 또한 미래 산업을 위한 청년 양봉인 육성을 위해 양봉 관리 전문성 향상 기술지원과 농업기술실용화재단 등과 연계하여 창업을 지원하여 산업에 필요한 인력을 육성해 나갈 계획이다.

④ **(연구개발 강화)** 농촌진흥청 및 농림축산검역본부는 양봉 산물 기능성 소재 발굴 및 질병·중독물질 노출 여부를 확인할 수 있는 바이오마커개발 등 기초연구, 양봉 산물 성분·생리활성 플랫폼 구축, 산업적 활용에 필요한 원료 표준화 및 품질관리기준 설정 등 산업화 지원, 이상기온에 따른 신종 꿀벌 질병 진단 및 제어 기술 개발 등 연구개발에 연간 74억 원 규모 투입하여 산업 발전을 뒷받침한다.

⑤ **(농가 경영안정 지원)** 농식품부는 농촌진흥청과 함께 로열젤리 생산 자동화와 수벌 번데기 표준화 대량 생산기술을 개발해 이상기상에 대응한 소득제고 모델을 보급하고, 노동력을 절감할 수 있는 장비와 인공지능(AI) 활용 디지털 기기 등 첨단기술기반의 시설현대화를 지원하여 생산성을 제고하고 미래 여건 변화에 사전 대비해 나간다. 또한 업계의 벌꿀 비축 여력을 확장시켜 민간에서 자율적으로 수급 조절을 담당토록 지원하고 양봉 산물의 기능성 부각과 신규 제품 홍보, 국민 요리 경연대회 개최 등 수요 확대를 추진한다.

⑥ **(산업발전기반 확충)** 농촌진흥청은 정보통신기술(ICT)-지피에스(GPS) 기반 종합정보시스템을 구축하고 기상청·산림청 협업을 통해 농가경영에 필요한 정보를 제공하는 앱을 개발·운영하여 이동 농가 분산 유도 및 기상·개화 정보 제공 등을 통해 채밀기에 특정지역의 양봉농가가 편중되어 생산량이 떨어지는 현상을 방지하여 안정적인 벌꿀 생산을 지원하는 동시에 병해충 발생 현황 및 역학조사 등과 연계하여 질병관리에도 활용토록할 계획이다.

또한 농식품부는 평년 벌꿀 생산량 10%(2천 톤)를 업계에서 비축할 수 있도록 비축 여력을 확장시켜 민간에서 자율적으로 수급 조절을 담당토록 지원하고 양봉 산물의 기능성* 부각 등을 통해 수요 확대 등을 추진해 나갈 계획이다.

* 벌꿀의 항균 및 항산화 기능, 밤꿀과 마누카꿀의 성분 비교 등

II. 연구 목적

(1) 기후변화가 자연환경과 날씨, 기온 등에 미치는 영향 분석

- 국내 평균 기온 및 이상기후(봄철 저온·냉해, 겨울철 이상고온 등) 발생 빈도 분석(5~10년)
- 자연환경(개화시기 등) 변화에 따른 벌꿀 생산량 분석

(2) 기존 연구 결과 등을 바탕으로 기후변화(온난화, 이상기후 등)로 인한 양봉 생리·생태에 미치는 영향 분석

(3) 이상기후, 환경변화로 인한 꿀벌 피해해외사례 조사

- 미국·EU 등 CCD 발생 사례 (원인, 대응방안 등) 및 연구결과 등 조사

(4) 국내양봉 피해와 기후변화의 상관관계 분석

- 국내 양봉 생태 환경(연도별 기상 및 이상기후 발생 빈도 등)과 양봉피해(월동 꿀벌 폐사, CCD 등)와의 상관관계 분석

(5) 기후변화로 인한 양봉 피해의 판단기준 연구

- 학술적 수치, 데이터 등의 판단기준 연구

(6) 생태환경 변화에 따른 양봉산업 정책 방향 제시

Ⅲ. 연구 내용

(1) 기후변화가 자연환경과 날씨, 기온 등에 미치는 영향 분석

○ 국내 평균기온 및 이상기후(봄철 저온·냉해, 겨울철 이상고온 등) 발생 빈도 분석

- 지난 109년간 연평균 최고, 평균, 최저기온의 평균과 변화

(출처: 『우리나라 109년(1912년~2020년) 기후변화 분석 보고서』)

- 지난 109년간 연평균 기온은 매 10년당 0.20℃ 상승
- 연평균 일 최고·최저 기온은 매 10년당 각각 0.13℃, 0.24℃ 상승

<우리나라 109년간 연평균 최고, 평균, 최저기온의 평균과 변화 (1912~2020년)>

구 분	장기 기후변화			최근 기후변화	
	평균(109년)	변화경향(/10년)	최근 30년 - 과거 30년	최근 30년 - 지난 30년	최근 10년 - 최근 30년
평균기온 (℃)	12.8	+0.20*	+1.6 12.1 → 13.7	+0.3 13.4→13.7	+0.2 13.7→13.9
최고기온 (℃)	17.5	+0.13*	+1.1 17.1 → 18.2	+0.2 18.0→18.2	+0.1 18.2→18.3
최저기온 (℃)	8.9	+0.24*	+1.9 8.0 → 9.9	+0.3 9.6→9.9	+0.2 9.9→10.1

- 최근 기후변화의 최근 30년 연평균 기온은 지난 30년에 비해 0.3℃ 상승했고, 최고기온과 최저기온은 각각 0.2℃, 0.3℃ 상승
- 최고기온의 상승추세가 가장 작고, 평균기온과 최저기온의 상승추세가 비슷함
- 최근 10년 연평균 기온은 최근 30년에 비해 0.2℃ 상승했고, 최고기온과 최저기온은 각각 0.1℃, 0.2℃ 상승
- 위 표는 우리나라의 전반적인 장기 기후변화와 최근 기후변화가 모두 +의 방향을 보이며, 이는 인체의 평균온도가 상승하는 것과 비견되어 평균온도가 상승하면 기상변동성이 커지고 국지성과 극한성을 더욱 띠게 됨

- 온난화 상황에서는 극한 기후들의 출현 빈도가 증가하며, 기온 자체가 이상값이나 극값을 띠는 것도 중요한 점이지만, 기온의 변화 속도가 빠르게 나타나 갑작스러운 기온의 증가나 감소 등의 급변적인 국면이 발생하므로, 지표면 생태계에 크고 작은 영향을 미칠 수 있음
- 최근 5년 봄철과 겨울철의 이상저온 및 이상고온 발생 빈도 분석
 - 최근 5년 봄철과 겨울철 남한에 발생한 이상저온과 이상고온에 대해 분석 수행
 - 기상 자료는 기상청 종관기상관측(ASOS)와 방재기상관측(AWS) 전국 645지점 자료임
 - 종관기상관측은 종관규모(synoptic scale)의 날씨를 파악하기 위하여 정해진 시각에 모든 관측소에서 같은 시각에 실시하는 지상관측을 말함. 종관규모는 일기도에 표현되어 있는 보통의 고기압이나 저기압의 공간적 크기 및 수명을 말하며, 주로 매일의 날씨 현상을 뜻함
 - 방재기상관측은 지진·태풍·홍수·가뭄 등 기상현상에 따른 자연재해를 막기 위해 실시하는 지상관측을 말함. 관측 공백 해소 및 국지적인 기상현상을 파악하기 위하여 전국에 자동기상관측장비를 설치하여 자동으로 관측함
 - 최근 5년간 각 월별 관측 자료를 정규분포로 만든 후, 이승재 등 (2022)와 하경자 등 (2004)을 참고하여, 기상청에서 정의하는 이상저온과 이상고온 기준인 10%ile과 90%ile을 준 이상저온, 준 이상고온 임계값으로 하였고, 더욱 엄격한 $\pm 2\sigma$ (2.5 및 97.5%ile)를 이상저온, 이상고온 임계값으로 사용하여, 최근 5년간 월별 빈도 분석을 수행함

-종관기상관측(ASOS) -방재기상관측(AWS) -농업기상관측(AAOS) -복합기상관측 -공공기관 기상관측 -개발관측 -황사관측(PM10) -낙뢰관측	자료형태 분, 시간(배정시), 일, 월, 연	제공기간 1904년~(지점별, 요소별 다름)
해양 + 고층 + 항공 + 세계기상전문(GTS) +	제공지점 103개 *원하는 지점이 없는 경우, 방재기상관측(AWS) 메뉴 이용	제공요소 기온, 강수, 바람, 기압, 습도, 일사, 일조, 눈, 구름, 시정, 지면상태, 지면·초상온도, 일기현상, 증발량, 현상번호
기상위성 레이더 기상예보 수치모델 기후 응용기상 지진화산 날씨 이슈별 데이터 역사기후 메타데이터 품질정보	유의사항 -1회 조회 가능 최대 기간: 분 1일, 시간 1년, 일 10년, 월·연 제한 없음(장기간 자료는 '파일셋 조회' 메뉴 이용) -시간/분 자료에 대해 관측값의 정상 여부를 판단하는 품질검사 플래그(QC FLAG) 정보 제공 * 제공 요소: 기온, 습도, 기압, 지면온도, 풍향, 풍속, 일조 / 플래그 종류(의미): 0(정상), 1(오류), 9(결측) -전일 자료는 당일 10시 이후 확인 가능	
	비고 -10분 또는 1시간 최대강수량은 최대강수량이 나타난 시작 시간으로, (-) 표기가 있는 경우 전날을 뜻함 -강수량은 겨울철(11월~익년 3월) 3시간 간격으로 제공	
	지침 요소별 관측방법이나 자료 산출방식에 대한 상세 설명은 => [지상기상관측지침] 참조	

자료 파일셋 캘린더 OPEN-API

■ 검색조건

• 자료형태: 일 자료 • 기간: 20230724 ~ 20230823

• 지점: 지도로 선택

전체

강원특별자치도

경기도

경상남도

경상북도

광주광역시

대구광역시

대전광역시

부산광역시

서울특별시

세종특별자치시

울산광역시

인천광역시

전체

기온

평균기온

최저기온

최저기온 시간

최고기온

최고기온 시각

강수

강수 계속시간

10분 최대 강수량

10분 최대강수량 시각

1시간 최대강수량

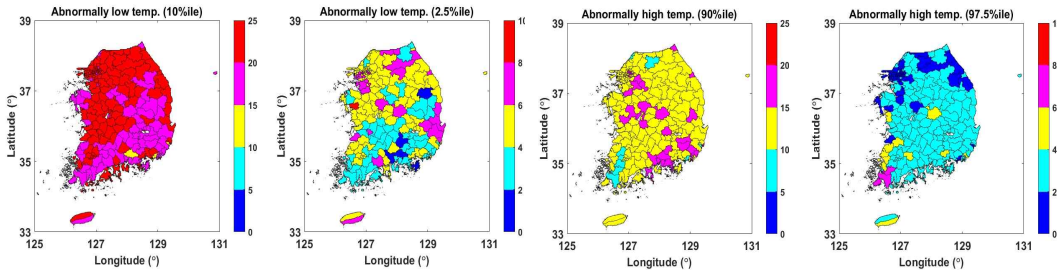
1시간 최대 강수량 시각

> 조회

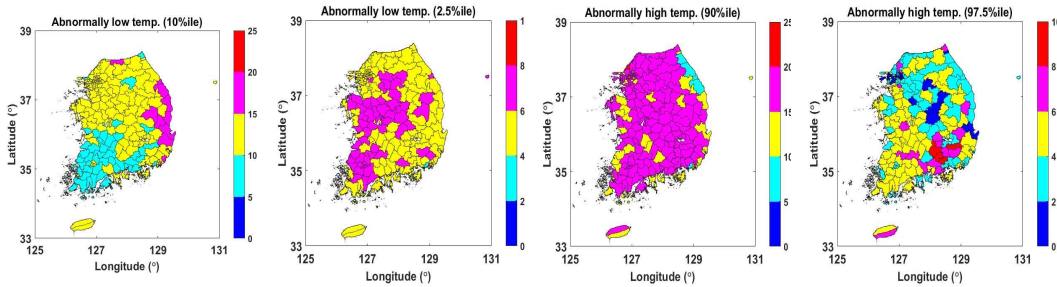
CSV Excel

<기상자료개방포털 및 자료 다운로드 화면>

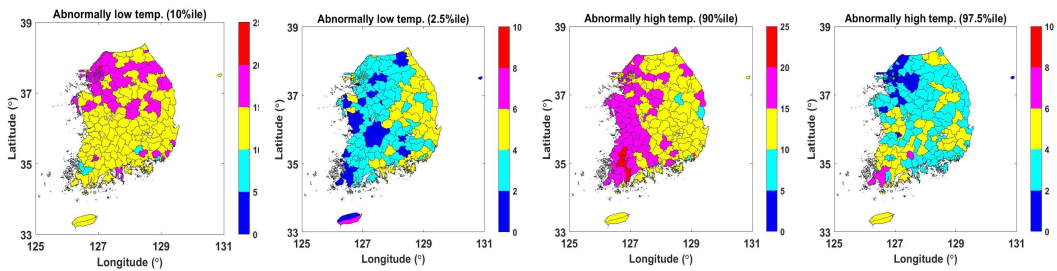
- 최근 5년 겨울철 이상저온 및 이상고온 발생
 - 겨울철 준 이상저온은 12월에 전국적으로 15~25회 발생하였으며, 1월에는 동해안 지역을 제외한 대부분 지역에서 횡수가 줄었고, 2월에는 남한의 북쪽 지역이 다른 지역보다 많이 발생함
 - 겨울철 이상저온은 12월에 남한의 북쪽 지역이 남쪽 지역보다 발생 횡수가 많았지만, 1월에는 남한의 남쪽 지역과 내륙 지역에서 6~8회로 많이 발생하였으며, 2월에는 동해안 지역이 다른 지역보다 많이 발생함
 - 겨울철 준 이상고온은 초봄에는 전국적으로 10~15회 발생하였지만, 시간이 갈수록 전국에서 발생 횡수가 증가하였고 늦봄에는 남한의 서쪽 지역이 동쪽 지역보다 많이 발생함
 - 겨울철 이상고온은 남한의 남쪽 지역이 다른 지역보다 많이 발생하였고, 전라남도 해남군, 영암군, 진도군은 12월과 2월에 6~8회로 가장 많이 발생함



<최근 5년 12월 이상기온 발생 빈도>



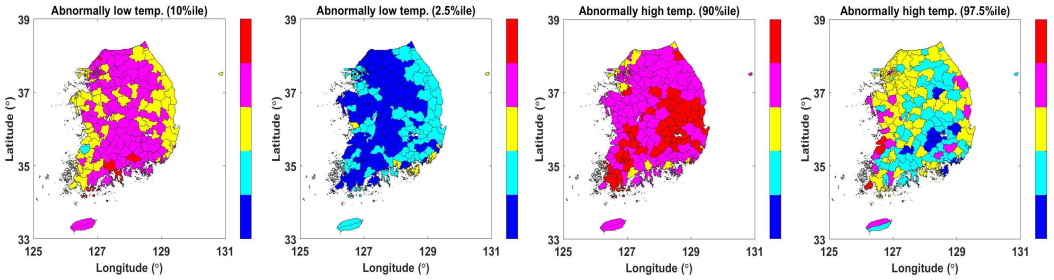
<최근 5년 1월 이상기온 발생 빈도>



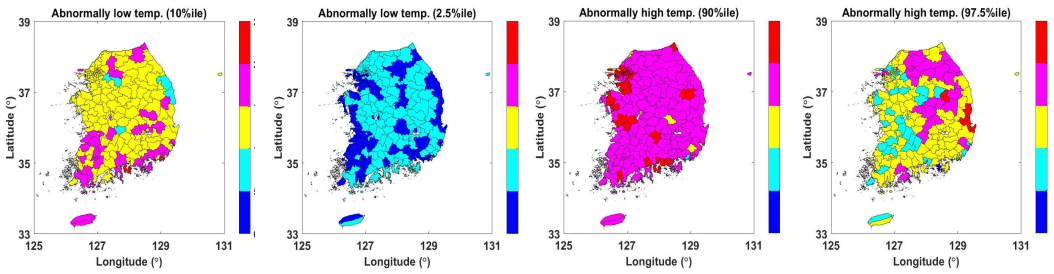
<최근 5년 2월 이상기온 발생 빈도>

- 최근 5년 봄철 이상저온 및 이상고온 발생
 - 봄철 준 이상저온은 초봄에 전국적으로 10~25회 발생하였으며, 4월에는 10~15회가 주로 발생했으며, 5월에는 다시 15~25회로 증가함
 - 봄철 이상저온은 초봄에는 동해안 지역에서 많이 발생하였지만, 늦봄으로 갈수록 내륙 지역에서 많이 발생함
 - 봄철 준 이상고온은 초봄에 전국적으로 15~25회까지 발생하였지만, 늦봄으로 갈수록 발생 빈도가 감소함

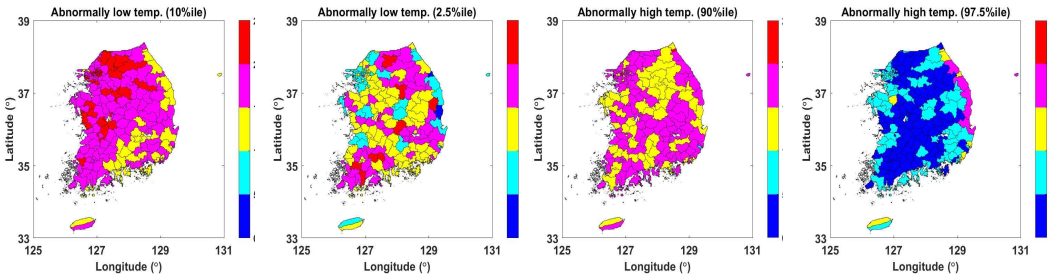
- 봄철 이상고온은 초봄에는 2~6회가 주로 발생하였지만, 4월에는 4~8회로 발생 횟수가 증가하였고, 5월에는 동해안 일부 지역을 제외하고 발생 횟수가 감소함



<최근 5년 3월 이상기온 발생 빈도>



<최근 5년 4월 이상기온 발생 빈도>

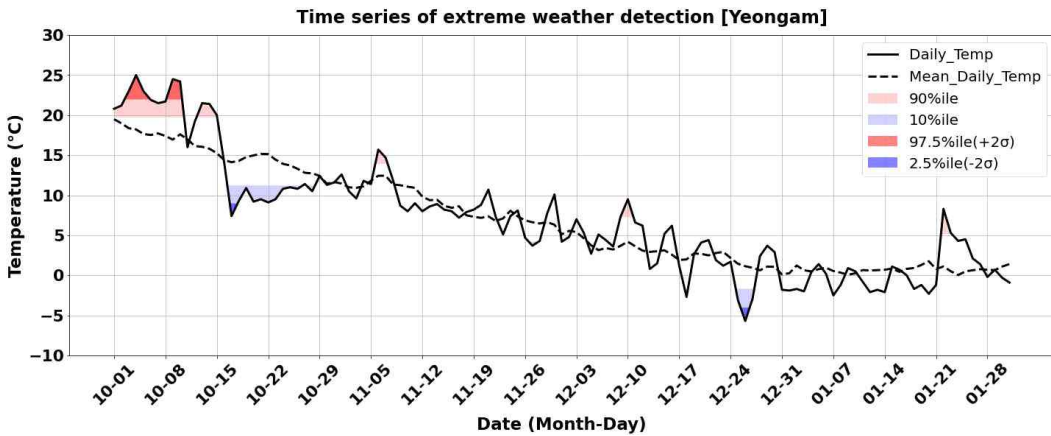


<최근 5년 5월 이상기온 발생 빈도>

- 월동기간 분석

- 박보선 등 (2013)은 디지털 센서를 이용한 겨울철 양봉꿀벌(*Apis mellifera*) 봉군 월동 종료시기분석을 통해 10월~2월까지 월동시기로 분류하고, 김경문 등(2021)은 월동(11~2월), 봄 벌 깨우기(1~2월), 혹서기(7~8월), 월동 준비(10~11월)로 분류함

- 겨울철과 봄철은 물론, 월동봉구 형성시기인 가을철의 양봉 관련 기온분석도 중요함. 이승재 등 (2022)은 최근 2021년~2022년 꿀벌의 집단폐사와 대량실종을 기온변동성과 관련시켜 가을철인 10월달에 대해 분석하였으며, 2021년 10월의 경우 이상고온과 이상저온이 연이어 발생하여 역대 가장 급변적 기온을 보임을 보였고, 겨울철에도 이상고온이 일어나, 꿀벌의 생태와 활동에 불리한 조건이었음을 보였음



<전남 영암 지역의 2021년 10월부터 2022년 1월까지 일 평균기온의 기후분석. 진한 빨강/진한 파랑은 이상고온/이상저온을, 연한 빨강/연한 파랑은 준 이상고온/준 이상저온을 표시함 (이승재 등, 2022)>

- 월동 기간을 10~2월(5개월)로 정해서, 이 5개월(10월~3월)의 평균적인 거동에 대해서는 부록 A에 수록하였음.
- 지역별 최근 1년과 5년(2018~2023년)의 기온 차이를 보면 강원도 강릉시, 전라남도 해남군 등 일부 지역은 평균 기온, 평균 최저기온, 평균 최고기온 모두 최근 1년이 최근 5년보다 0~0.5°C 높게 나타남
- 지역별 최근 1년과 10년(2018~2023년) 기온 차이를 보면 평균 최대기온은 남한의 남쪽과 동해안, 수도권 일부 지역에서 최근 10년보다 0.5~1.0°C 높게 나타난 것으로 분석되었음

○ 자연환경(개화시기) 변화에 따른 벌꿀 생산량 분석

- 사계절이 뚜렷하며 온대 및 냉대 기후를 보이는 한국은 계절별 다양한 꽃의 개화로 생산되는 꿀 역시 다양함(류장발, 2003)
- 국내 밀원수로는 동백나무, 유채, 호박, 다래덩굴, 해바라기, 아까시나무, 유채, 헛개나무, 밤나무, 피나무, 때죽나무 등이 있고 이 중 아까시 벌꿀이 국내 벌꿀 총생산량의 약 70%를 차지하며 농가 소득의 큰 비중을 차지하고 있음(Lew, 1992; Park et al., 2020)
- 이러한 상황에서 전체 벌꿀 생산량을 집계하려면 전체 농가를 조사하는 방식을 사용해야 하지만, 현실적으로 힘든 부분이 많아 간접적으로 추정자료를 사용함
- 벌꿀 생산량과 기후 변화 영향을 평가하는데, 있어 가장 어려운 일 중 하나는 개별 농가 조사를 통해 벌꿀 생산량 데이터를 얻는 것임 (Gajardo-Rojas et al. 2022)
- 칠레와 같이 전체 벌꿀 생산량의 70%를 수출하여 판매액을 통해 어느 정도 집계 가능한 경우를 제외하고는 벌꿀 생산량을 정확하게 파악하는 것은 힘들
- 본 연구에서는 국내의 벌꿀 생산량을 조사하기 위해 양봉농협, 농식품부, 식약처의 통계자료를 활용하였음

○ 벌꿀 생산액 및 생산지수

- 농식품부 주요 통계자료 상에서 벌꿀 생산액은 19년도에 5,620억 원을 기록하여 전년도인 18년에는 2,597억 원보다 116% 증가한 액수를 기록함
- 이후 20년에는 1,392억 원으로 74% 감소, 21년에는 3900억 원으로 다시 280% 증가한 액수를 기록함

(단위: 10억원)

종 목	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
한우	2,839.3	3,263.0	3,506.2	4,025.5	4,440.9	4,811.0	4,438.8	4,826.1	5,400.6	5,724.6	6,899.0
육우	213.4	210.0	176.1	259.7	266.8	246.0	224.9	265.8	252.3	267.6	333.0
젖소	-19.0	76.7	59.4	50.6	30.6	48.3	34.5	61.8	67.4	78.6	58.2
돼지	4,544.6	5,348.2	5,009.5	6,615.1	6,967.1	6,756.5	7,338.0	7,118.5	6,392.4	7,177.5	8,478.5
염소	75.4	64.4	79.3	95.8	75.8	67.2	79.7	59.5	124.4	152.6	177.5
사슴	27.7	16.1	22.4	20.5	18.7	22.5	22.0	21.9	11.8	23.2	15.9
토끼	13.3	10.2	10.5	9.5	9.6	7.1	5.1	5.0	4.8	4.5	4.1
닭	2,186.0	2,090.0	2,171.2	2,023.8	1,909.5	1,998.6	2,376.7	2,259.0	2,102.6	2,027.0	2,274.3
오리	1,396.6	1,045.1	1,005.7	1,057.5	814.0	912.1	874.7	1,326.9	1,269.1	813.4	1,206.0
2) 축산물	3,713.7	3,898.8	4,192.4	4,623.7	4,592.6	4,360.4	4,728.3	3,786.1	4,247.7	4,078.3	5,128.3
계란	1,559.9	1,366.2	1,639.4	1,807.2	1,836.9	1,707.2	2,100.4	1,277.5	1,410.5	1,633.8	2,470.4
오리알	18.5	18.1	15.2	12.4	11.7	11.1	11.0	12.1	10.7	11.4	9.6
매추리알	56.4	51.1	51.7	53.8	56.5	67.3	76.0	70.5	73.5	59.7	58.8
우유	1,651.7	2,011.8	2,074.2	2,338.0	2,285.1	2,175.1	2,128.0	2,131.4	2,151.9	2,196.0	2,160.5
별곡	362.9	403.9	368.2	369.2	356.7	352.7	371.1	259.7	562.0	139.2	390.0
녹용	64.3	47.7	43.7	43.2	45.8	47.0	41.8	34.9	39.2	38.2	39.0
나. 양잠업	50.5	71.1	79.4	92.7	86.0	68.8	54.8	50.8	50.2	18.7	18.0
양잠산물	11.7	18.3	15.9	14.7	12.8	10.6	9.2	8.1	9.9	8.3	8.3
오더	38.8	52.8	63.6	78.0	73.2	58.2	45.7	42.7	40.3	10.4	9.6

자료: 농림업생산액 및 생산지수(정보통계정책담당관)

주: 1) 생산액 = 품목별 연간생산량 × 연평균 농가판매가격

주: 2) 통계청의 일부 과실(복숭아, 포도, 감귤, 자두, 단감, 뽕은감) 생산량 변경 공표(미과수면적 제외)에 따라 생산량 영향을 받는 과거(09~14년) 해당 품목 및 유별(농림업, 농업, 재배업, 과실) 생산액 재산출 보정

<농식품부 주요통계 : 농림업 생산액(농림축산식품부, 2022)>

- 벌꿀 생산지수도 벌꿀 생산액과 유사한 경향을 나타냄
- 18년에 47.3을 기록하였으나, 19년도에는 109.9를 나타내어 132% 증가하였음
- 20년도에는 24.8을 기록하여 79% 감소, 21년도에는 77을 기록하여 310% 증가하였음

자료: 농림업생산액 및 생산지수(정보통계정책담당관)

주: 품목별 생산지수 = $\frac{\text{해당년도생산량} \times \text{기준년도농가판매가격}}{\text{기준년도생산량} \times \text{기준년도농가판매가격}} \times 100$

종 목	가중치	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
젖소	0.9	22.6	120.3	94.2	114.7	89.3	96.0	82.5	98.8	97.2	107.6	96.6
돼지	139.9	56.3	97.4	99.5	97.7	99.1	103.2	104.1	112.2	109.6	111.8	114.2
염소	1.6	111.2	106.8	122.4	105.9	96.7	97.3	134.1	111.6	233.1	286.0	256.0
사슴	0.4	245.5	119.4	150.4	117.1	91.6	91.3	84.1	88.1	40.1	74.3	52.8
토끼	0.2	216.0	165.6	158.5	100.3	100.7	99.1	72.0	70.7	67.2	59.1	54.5
닭	40.8	90.3	94.6	90.9	98.5	100.0	101.5	111.6	117.3	118.5	117.5	118.5
오리	19.1	136.7	133.4	117.7	98.0	88.8	113.3	103.4	112.9	118.1	107.0	90.9
2) 축산물	93.4	90.9	95.1	94.8	99.2	102.1	98.7	90.4	91.3	98.9	93.4	93.4
계란	36.8	79.3	83.6	87.0	91.0	101.7	107.3	86.0	95.0	100.6	102.3	95.1
오리알	0.2	157.9	154.8	129.8	105.6	99.8	94.6	93.7	103.7	91.2	97.1	82.1
매추리알	1.2	108.0	97.8	87.3	90.8	95.5	113.7	128.3	122.7	127.8	104.0	103.9
우유	46.8	88.3	98.2	97.3	103.0	100.8	96.2	95.7	94.9	95.3	97.2	94.6
별곡	7.4	154.1	128.6	117.3	117.6	113.6	68.9	72.1	47.3	109.9	24.8	77.0
녹용	0.9	141.3	112.3	102.6	95.4	100.9	103.7	90.9	73.3	91.5	87.7	85.3
나. 양잠업	1.7	95.7	93.4	95.6	110.1	102.9	87.0	75.9	67.0	64.0	23.6	22.3
양잠산물	0.3	111.8	141.5	106.9	114.3	103.9	81.7	67.6	41.9	61.1	50.6	49.9
오더	1.4	92.8	84.7	93.6	109.4	102.7	88.0	77.5	71.6	64.5	18.7	17.3

<농식품부 주요통계 : 농림업 생산지수(농림축산식품부, 2022)>

○ 꿀벌 개체 수 자료

- 농식품부 주요통계의 기타가축사육현황 자료를 활용
- 꿀벌의 농장 수 및 사육 마릿수 자료는 연말에 조사하기 때문에 이미 월동을 위한 봉군의 축소 및 합병이 이루어진 상태임
- 연말에 조사한 꿀벌 현황과 실제 채집활동한 꿀벌 현황은 다소 차이가 있지만, 대략적인 추이를 확인가능 함
- 18년에 2,592,197마리에서 19년에 2,744,141마리로 약 5.8%증가하고 20년에는 전년도에 비해 2.5%감소, 21년에는 2,690,023마리로 약 1% 증가하였음
- 비율에서는 차이가 있지만, 벌꿀 생산액의 추이와 유사한 경향을 보임

(3) 기타가축 사육현황

가축 사육현황

		18.12월말(A)		19.12월말(B)		20.12월말(A)		21.12월말(B)	
		농장 수	사육마릿수	농장 수	사육마릿수	농장 수	사육마릿수	농장 수	사육마릿수
		호	마리	호	마리	호	마리	호	마리
마	필	2,150	27,243	2,156	27,246	2,183	26,525	2,286	26,868
염	소	14,664	542,744	14,769	572,305	12,809	507,991	10,982	443,094
면	양	87	2,743	95	1,976	73	2,315	77	2,410
사	슴	1,732	26,672	1,588	26,120	1,313	23,730	1,205	23,063
토	끼	2,973	69,375	2,535	57,084	2,113	48,399	1,890	46,008
	개	881,075	1,733,625	1,241,996	2,049,688	35,567	479,750	15,426	509,123
오	리	527	8,996,536	486	8,637,050	449	7,928,810	379	6,752,058
철	면 조	688	4,713	580	2,631	575	2,972	475	3,669
거	위	865	4,834	838	4,399	934	5,161	894	4,803
매	추 리	112	17,824,965	116	15,514,478	107	14,286,195	111	15,449,737
꿀	벌	26,487	2,592,197	29,026	2,744,141	27,532	2,679,842	27,583	2,690,023
관	상 조	408	54,246	367	47,616	319	39,411	302	47,870
타	조	68	1,060	82	1,048	77	1,194	78	1,150
오	소 리	34	3,397	38	3,825	32	1,975	27	1,775
	평	254	177,815	232	172,440	217	177,932	170	145,312
지	령 이	146	1,072,813	180	721,569	168	591,497	154	636,012

<2018~2021년 꿀벌 사육 현황(농림축산식품부, 2020; 농림축산식품부, 2022)>

○ 벌꿀 구매자료

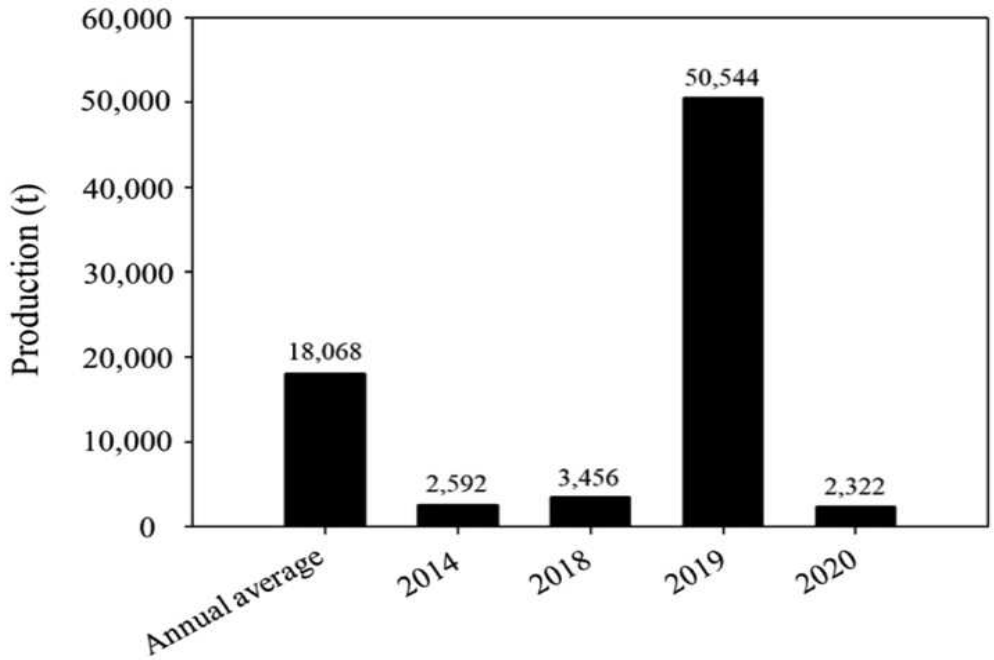
- 한국양봉농협에 문의하여 양봉농협 구매물량 자료를 요청함
- 벌꿀의 구매자료는 벌꿀 생산량은 아니지만, 시세 안정을 위한 구매물량을 나타내는 것으로 전체 벌꿀 생산량을 대변할 수 있을 것으로 판단
- 양봉농협의 구매 물량은 18년도엔 521톤이지만 19년도에는 2,299톤으로 약 341% 증가하였으나, 20년도에는 133톤으로 94% 감소하였음
- 21년도와 22년도는 큰 폭으로 증가했으며 각각 전년도에 비해 370%, 430% 증가한 물량을 구매하였음
- 이는 구매 특성상 당해 연도에 물량이 극심하게 감소했다기보다는, 전년도 구매물량이 압도적으로 많아 가격이 안정화된 것이 원인일 수 있음

<2018~2022년 양봉농협 구매 물량 자료(한국양봉농협제공)>

(단위 : 톤)

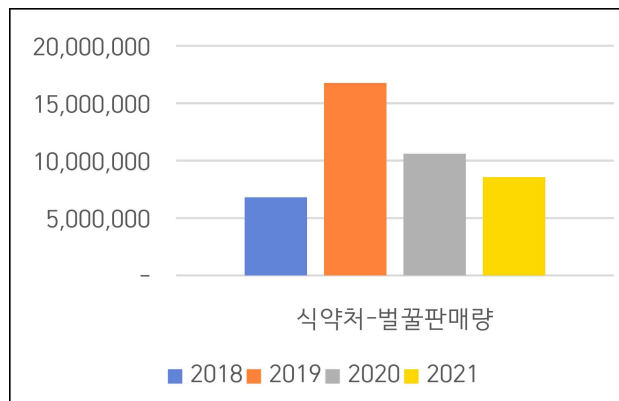
연도 밀원	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	합계
아카시아	521	2,299	133	493	2,123	5,569
야생화	635	394	267	143	655	2,094
밤	139	153	49	26	102	469
합 계	1,295	2,846	449	662	2,880	8,132

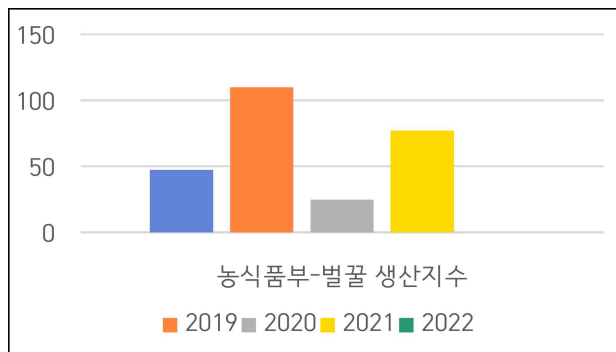
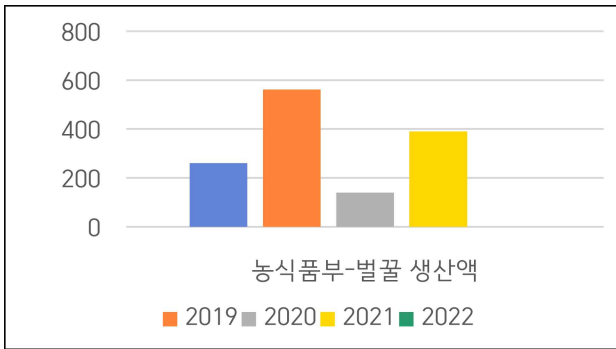
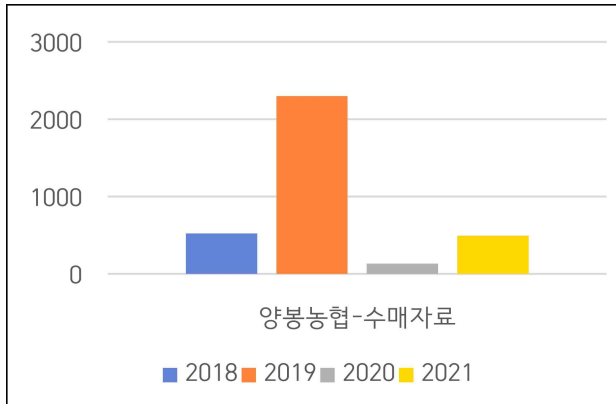
- 농진청에서 수행한 선행연구에서는 일부 농가를 대상으로 조사 및 구매현황 자료를 기반으로 국내 벌꿀 총생산량을 추정할 사례가 있음

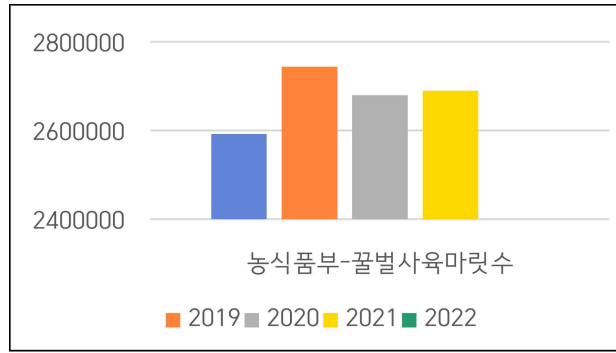


<국내 아까시나무 벌꿀 총 생산량 (김경문 등 2021)>

- 해당 연구에서는 19년도 국내 총 벌꿀 생산량이 50,544톤으로 18년, 20년에 비해 1,500% 이상의 생산량을 기록하고 있음
- 벌꿀 판매량, 수매자료, 생산액, 생산지수, 꿀벌사육마릿수의 연간 변동을 도시하면 아래와 같음. 전반적으로 2019년에 상승하고 그 전과 후에는 줄어드는 패턴을 보임







<벌꿀 판매량, 수매자료, 생산액, 생산지수, 꿀벌 사육마릿수의 연간 변화 그래프>

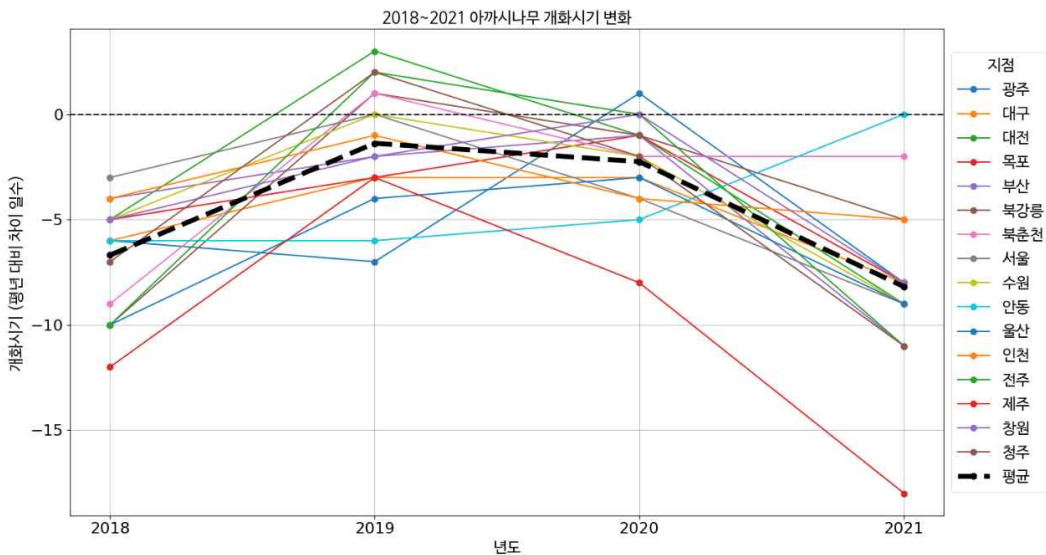
○ 밀원 개화 시기 자료

- 벌꿀 생산량 분석에 있어서 꿀벌 최적 활동 시간과 더불어 가장 중요한 요소 중 하나는 밀원식물의 개화 시기임

지점 번호	관측소	아까시나무 발아			아까시나무 꽃 폼		
		평년값	극 값		평년값	극 값	
			최초일	최종일		최초일	최종일
90	속 초	04. 21	1981.04.08	1971.05.08	05. 16	1989.05.01	1996.05.25
95	철 원	05. 01	1989.04.17	2010.05.18	05. 17	2006.05.07	2010.05.30
98	동두천	04. 27	2002.04.15	2013.05.17	05. 13	2014.05.01	2000.05.25
100	대관령	-	-	-	-	-	-
101	춘 천	04. 23	1990.04.10	2014.05.04	05. 14	2002.05.05	1996.05.21
102	백령도	04. 28	2002.04.18	2011.05.25	05. 22	2003.05.10	2011.06.09
105	강 릉	04. 19	2002.04.02	1991.05.12	05. 10	1998.04.30	1947.05.24
106	동 해	04. 23	2002.04.03	2000.05.11	05. 11	1998.04.28	1995.05.21
108	서 울	04. 19	1992.03.27	2011.05.12	05. 12	1974.04.24	1957.05.25
112	인 천	04. 22	1954.04.03	1947.05.23	05. 16	1940.04.26	1936.06.01
114	원 주	04. 17	1982.04.04	2014.05.03	05. 11	1986.04.11	1980.05.24
115	울릉도	04. 27	1981.04.11	2001.05.15	05. 17	1963.04.10	1975.05.30
119	수 원	04. 16	2010.03.30	2011.05.19	05. 14	1998.04.28	1974.05.26
121	영 월	04. 23	1995.04.14	2013.05.10	05. 13	1998.05.02	1996.05.23
127	충 주	04. 17	1990.04.08	2013.05.02	05. 12	2001.05.01	1979.05.26

<주요 밀원식물의 개화시기 자료(기상청, 2016)>

- 기상청 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/>)에서는 계절의 빠르고 늦음의 지역적인 차이를 확인하기 위해 주요 밀원식물들의 계절 관측을 수행하고 있음
- 코스모스, 진달래, 매화, 개나리와 같은 초본식물과 벚나무, 배나무, 복숭아, 아까시나무, 단풍나무, 은행나무와 같은 목본식물들의 개화 시기도 관측함
- 본 연구에서는 벌꿀 생산량과의 비교를 위해, 벌꿀 생산에 가장 많은 부분을 차지하는 아까시나무의 개화 시기 자료를 대상으로 분석함
- 기상청 계절 관측 자료를 이용해 2018~2020년 아까시나무의 개화 시기 자료 수집 (다른 밀원수는 생산량 자료가 구분되어 있지 않음)
- 2019년의 벌꿀 생산량이 높은 수치를 기록한 가운데, 2019년의 개화 시기에서 보이는 특징은 대부분 지역에서 평년 대비 5일~15일 정도 늦은 경향을 보임 (백령도, 부산은 개화 시기가 빨라짐)
- 특히 2018년과 2020년, 2021년과 비교했을 때, 개화 시기가 10일 이상 늦은 경향을 보임



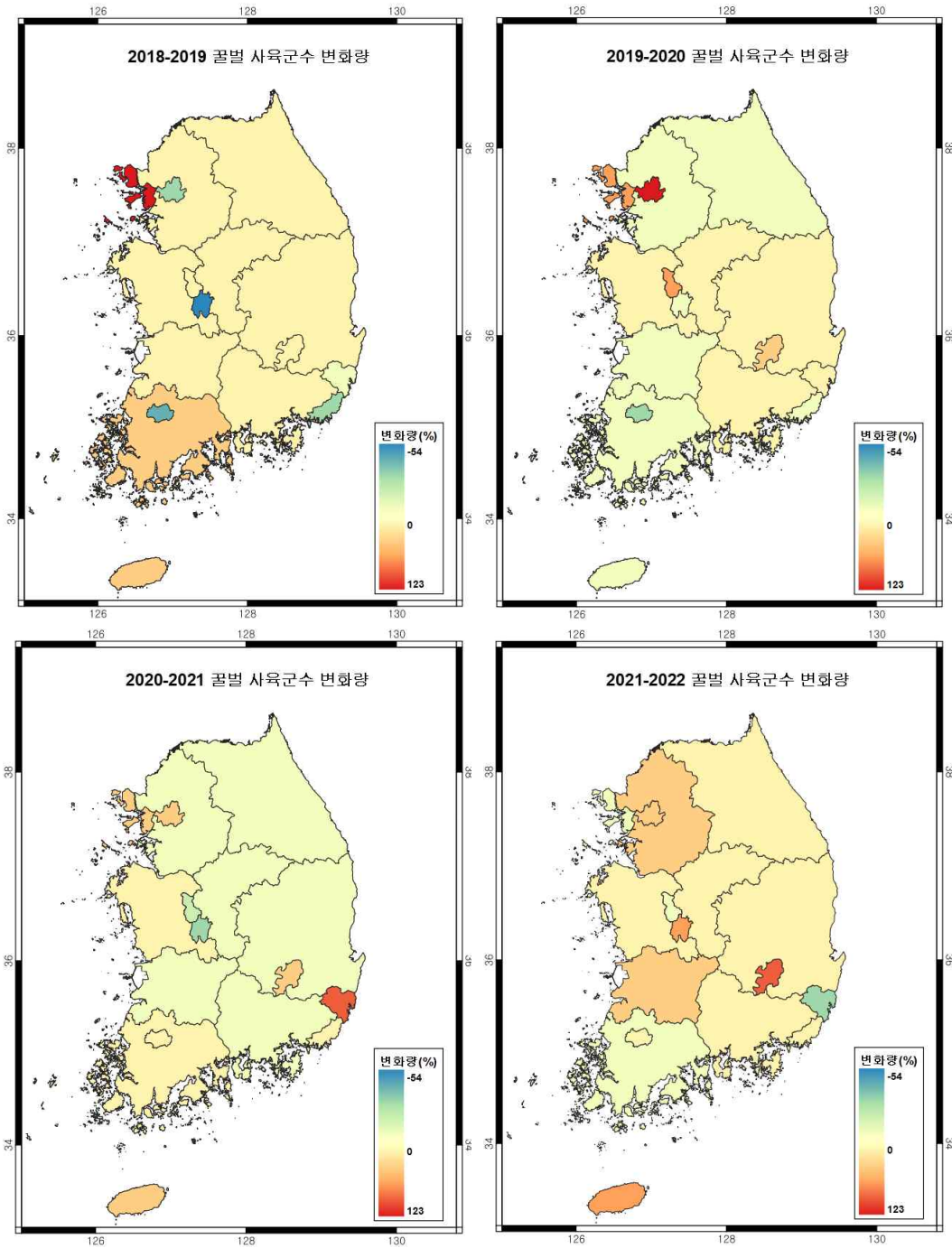
<기상청 2018~2021년 계절관측자료에서 나타난 지역별 개화 시기의 연변화 (점선은 전체 평균)>

○ 벌꿀 생산량과의 비교

- 벌꿀 생산량 관련 자료들은 2018년에 비해 2019년에 전반적으로 증가한 것으로 나타남
- 이후 2020년, 2021년은 감소 추세로 나타남
- 벌꿀 생산량의 자료가 간접적으로 집계된 수치인 만큼 속단할 수는 없으나, 개화 시기가 늦어진 연도에 벌꿀 생산량 자료들의 수치가 상승한 것이 보여짐
- 개화 시기가 늦어지면(빨라지면) 벌꿀 생산량이 증가(감소)하는 이유는 다양하게 해석될 수 있겠으나, 꿀 생산이 원활하게 되려면 꽃이 필 때 땅의 온도도 같이 올라오면서 따뜻함이 유지되어야 하는데, 이른 개화는 따뜻한 땅 온도가 뒷받침되지 않아 심한 일교차로 인해 꽃눈 동사 등의 문제가 발생함 (출처 : 농업인신문, <https://www.nongupin.co.kr>)
- 그러나, 이러한 해석은 2020년에서 2021년까지 개화시기에는 적용이 곤란하므로, 모든 것을 기후변화(개화시기)로 설명하는 것은 불가능하며, 기온 외에 강수량과 같은 다른 원인이 작용했는지, 다른 인위적인 요인이 있었는지 면밀 분석이 필요함

○ 꿀벌 사육 군수 변화추세

- 농림축산식품부 2018~2022년 기타 가축 통계자료를 바탕으로 꿀벌 사육 군수 변화추세를 지역별로 분석함



<2018~2022년 꿀벌 사육 군수 변화추세>

- 2018-2019년은 벌꿀 생산액을 비롯한 생산량 자료들이 증가한 가운데, 꿀벌 사육 군수도 전반적으로 증가한 결과를 보임
- 2019-2020년과 2020-2021년은 벌꿀 생산량 자료들이 감소 추세에 있으며, 지역별로 꿀벌 사육 군수 변화추세가 달랐음
- 2021-2022년은 세종, 울산, 전남지역을 제외한 모든 지역에서 꿀벌 사육 군수가 증가하는 경향을 보임
- 개화 시기 자료는 2019년에만 전국적으로 개화 시기가 늦어지는 경향을 보였고 나머지는 그에 비해 개화 시기가 빨랐는데, 꿀벌 사육 군수는 이와 달리 지역별 일정한 추세를 보이지 않았으므로 상관성을 찾기 힘듦

(2) 기존 연구결과 등을 바탕으로 기후변화(온난화, 이상기후 등)로 인한 양봉 생리·생태에 미치는 영향 분석

- 꿀벌의 생태와 생리는 온도에 대하여 민감하며 기온 변화에 따라 그 활동이 크게 좌우됨
 - 꿀벌의 과냉각 점, 발육정지 온도, 늦가을 월동봉구형성 온도, 월동봉구내부 온도, 여왕벌의 산란 온도, 꿀벌의 먹이활동 및 자유 비행 가능 온도 등에 대하여 기준 온도와 범위가 알려져 있음
 - 꿀벌의 치사 온도는 48~50℃로 알려져 있음 (Baker, 2020). 이는 말벌의 치사 온도보다 더 높는데 꿀벌이 말벌을 공격할 때 뭉쳐서 열을 발생시켜 죽임으로써 알 수 있음
 - 온도는 꿀벌의 수명에도 영향을 미침. Lee et al. (2015)의 연구에 의하면, 저온에서는 능동적인 운동 열 발생, 고온에서는 체내 단백질 변성 등으로 35℃가 꿀벌 생존에 최적온도임
 - 양봉꿀벌은 날기 위해서는 35℃의 내부 체온이 필요하며, 이 온도는 알을 낳는 데 최적의 온도이기도 함. 비행 근육의 온도를 조절하는 행동 및 생리학적 메커니즘으로 인하여 30℃ 이상의 기온 범위에서 먹이를 찾을 수 있음 (Human et al., 2006)
 - 벌집에 온도가 높아지면 일벌이 물을 모아와서 물방울을 뿌려서 온도를 낮춤 (Human et al., 2006). 먹이 채집을 위한 최적의 공기 온도는 22~25℃이며, 7~10℃ 미만의 꿀벌은 움직이지 않으며 38℃ 이상에서는 활동이 느리고 장기간 최대 50℃의 온도를 견딤 (Bernd, 1979)
 - 주변 온도가 12~36℃ 사이에서 변하는 동안에도 33~33.5℃ 범위의 체온을 유지하며 여름 동안 더운 날씨에 둥지 밖에 모여 날개를 부채질하여 둥지에서 과도한 열과 습기를 제거하고 벌집 온도를 낮춤 (Jones and Oldroyd, 2007)
- 국내외 연구자와 정부 관계자들은 꿀벌의 폐사 혹은 실종에 대해서 병해충, 질병, 화학약제를 주요 요인으로 꼽고 있으며, 근래에는 꿀벌에 미치는 기후변화 영향도 활발하게 분석되고 있으며 기후변화도 부가 요인으로 등장하고 있음(Watanabe, 2008; Steinhauer et al., 2014; 정철의, 2015, 2022; 이승재 등, 2022)

- Switanek et al. (2017)에서는 2009년~2014년 오스트리아에서 월별 기후 변수와 꿀벌의 겨울철 사망률의 통계적 상관관계를 조사. 해당 연구에서는 연구 기간 총 4,983명의 양봉인이 참여하였고, 전체 벌통 중 꿀벌이 대량 손실된 벌통의 수를 백분율로 계산함. 연구 결과로 꿀벌이 사망한 직전 달에서 기온이 상대적으로 더 따뜻했을 경우, 그 다음 달에 꿀벌의 개체 수가 줄어드는 경향을 보였다고 말함. 특히 겨울의 막바지 2월달에 급작스럽게 낮은 기온이 발생했을 때 꿀벌의 사망률이 증가했다고 분석함
- Becsi et al. (2021)은 기후변화와 꿀벌 사망의 상관관계를 조사하기 위해 2011년~2020년 오스트리아에서 수집된 26만여 개의 벌통에서 수집된 데이터를 사용함. 꿀벌의 손실은 여왕벌에게 문제가 생긴 경우, 꿀벌 사망 (시체), 실종(빈 벌통)에 관한 사례를 집계하여 데이터로 사용함. 연구 결과, 꿀벌의 사망과 높은 상관관계를 지닌 기후 영향은 극한의 한파, 온화한 겨울 날씨 (1월~2월 5°C 이상) 순으로 나타남
- Flores et al. (2019)는 지중해 지역에서 기후변화가 꿀벌에 미칠 수 있는 영향을 조사하기 위해 기온, 강수와 벌통의 무게 간 상관관계를 통해 연구를 수행하였고, Van Esch et al. (2020)은 2월~3월에 발생한 서리일수가 겨울철 꿀벌 사망률과 상관성이 높다는 연구를 수행함. 해당 연구는 여름이 길어지는 ‘over-summer’ 라는 현상이 발생할 때 꿀벌들이 식량 비축만 하고 채집활동을 하지 않아 겨울철 꿀벌 실종이 발생할 가능성이 높아질 수 있다고 지적함
- 특히 꿀벌의 사망률과 기후변화와의 상관성 조사 해외 논문 Switanek et al. (2017)은 국내에서도 벤치마킹해 볼 만한 연구라고 여겨짐. 이 연구에서는 2009년~2014년 동안 오스트리아 꿀벌 사망률 데이터를 분석하여, 오스트리아 전 지역 내의 꿀벌의 겨울철 사망률과 월별 기후 변수를 통계적 분석을 이용해 관계성을 밝힘



Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate



Matthew Switanek ^{a,*}, Karl Crailsheim ^b, Heimo Truhetz ^a, Robert Brodschneider ^b

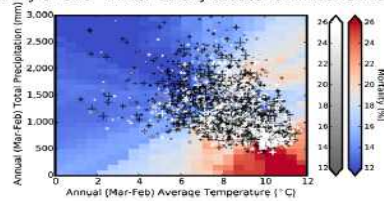
^a University of Graz, Wegerer Center for Climate and Global Change, Brandhofgasse 5, 8010 Graz, Austria
^b University of Graz, Institute of Zoology, Universitätsplatz 2, 8010 Graz, Austria

HIGHLIGHTS

- Climate variability in Austria was found to influence over winter colony losses.
- Warmer and drier regions often accompanied higher mortality rates.
- A statistical model using climate inputs improved colony loss prediction.

GRAPHICAL ABSTRACT

Sensitivity of Over Winter Colony Losses to Annual Climate



ARTICLE INFO

Article history:
 Received 26 August 2016
 Received in revised form 23 November 2016
 Accepted 24 November 2016
 Available online 2 December 2016

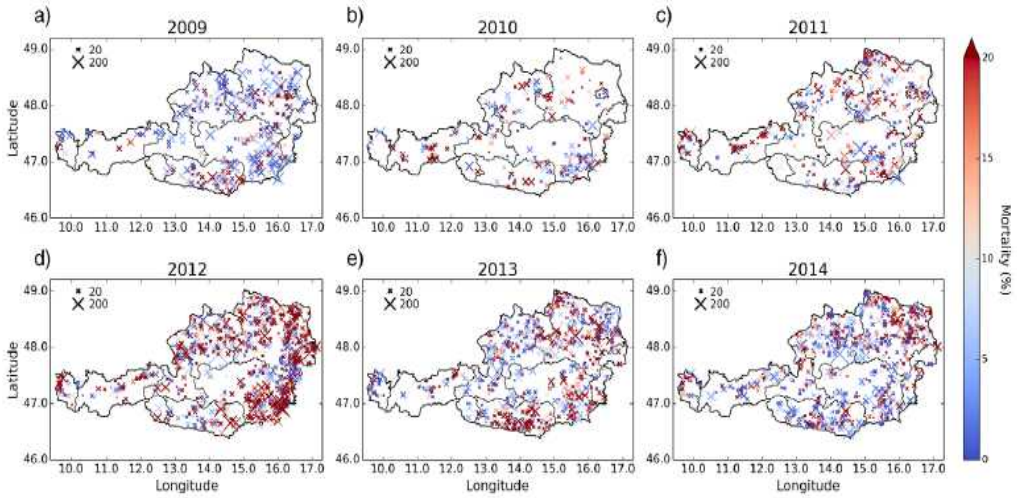
Editor: D. Barcelo

Keywords:
Apis mellifera
 Weather
 Climate variability
 Climate change
 Mortality rates

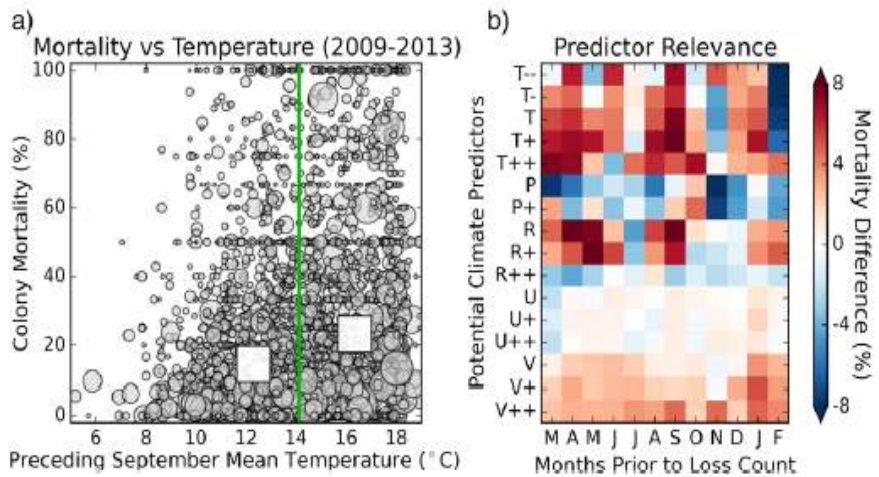
ABSTRACT

Insect pollinators are essential to global food production. For this reason, it is alarming that honey bee (*Apis mellifera*) populations across the world have recently seen increased rates of mortality. These changes in colony mortality are often ascribed to one or more factors including parasites, diseases, pesticides, nutrition, habitat dynamics, weather and/or climate. However, the effect of climate on colony mortality has never been demonstrated. Therefore, in this study, we focus on longer-term weather conditions and/or climate's influence on honey bee winter mortality rates across Austria. Statistical correlations between monthly climate variables and winter mortality rates were investigated. Our results indicate that warmer and drier weather conditions in the preceding year were accompanied by increased winter mortality. We subsequently built a statistical model to predict colony mortality using temperature and precipitation data as predictors. Our model reduces the mean absolute error between predicted and observed colony mortalities by 9% and is statistically significant at the 99.9% confidence level. This is the first study to show clear evidence of a link between climate variability and honey bee winter mortality.

<Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honeybee winter mortality in a temperate climate (Switanek et al., 2017)>

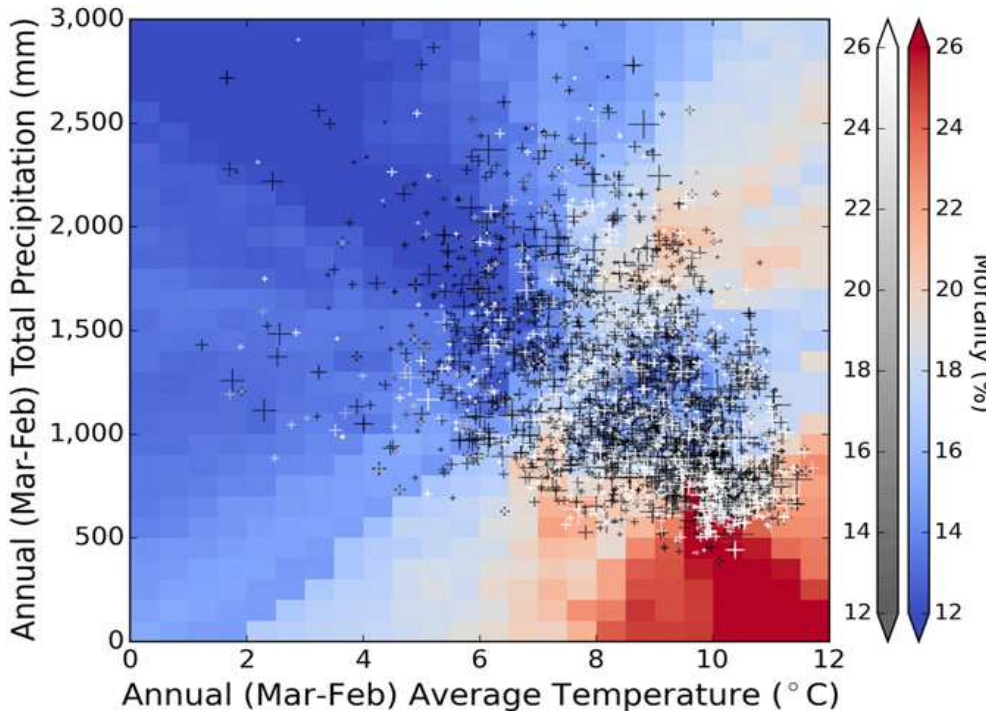


<2009년~2014년 오스트리아 꿀벌 사망률 데이터(Switaneck et al., 2017). x는 양봉업자들 위치이며 관찰된 군집의 겨울철 사망률을 색깔로 표시한 것임>



<꿀벌 사망률과 기온 간의 분석결과 (Switaneck et al., 2017). a) 9월에 이전 평균온도와 비교하여 표시된 농가별 겨울 사망률을 보여주며, 원은 농가별 월동하는 군집의 수를 나타냄. 흰색 사각형은 군집 수와 군집사망률 데이터의 두(녹색선으로 분할) 가중 평균이며, x축을 따라 나타남. b) 기후 변수(온도(T), 강수량(P), 복사(R), 풍속(U) 및 자오선(남유럽풍) 풍속(V)은 월 최소, 평균 최소, 평균 최대 및 월 최대)와 월에 대한 사망률의 차이를 나타냄. 색깔은 각각 기후 예측 변수와 겨울 군락 사망률 사이에 양/음의 상관관계를 표시함>

- KNN 모델(K-Nearest Neighbor Model)을 이용하여 2009년부터 2013년까지의 데이터를 사용하여 2014년 사망률을 예측함
 - 양봉업자의 총수(4,983명) 중 2009~2013년에는 3,960명 존재
 - 예측변수는 겨울 군락 손실을 계산하기 전 12개월 동안 양봉업자의 위치에 해당하는 평균온도와 강수량 합계를 대상으로 함
 - 이를 위해 행렬 A의 각 열에 대한 평균과 표준 편차를 먼저 구한 다음 행렬 A의 각 열에 대해 평균을 빼고 이전 단계에서 표준 편차로 나눔으로써, 결과적으로 기후데이터는 2014년을 제외한 연도와 관련하여 시간과 공간에 걸쳐 정규화됨
 - 사망률은 손실된 군체 수로 계산되며, 예시 양봉가에 해당하는 평균온도와 강수량 합계가 존재
 - 6월 강수량과 7월 기온(각각 매우 밝은 파란색과 빨간색으로 표시됨)보다 3월 강수량과 9월 기온(각각 어두운 파란색과 빨간색으로 표시됨)을 더 크게 가중치를 부여
 - 결과적으로, 24개의 기후 예측 변수를 각각이 봉군 사망률에 미치는 영향 또는 관련성에 따라 가중치를 부여



<양봉업자의 2009~2014년 연평균 기온 및 강수량 값. (Switanek et al., 2017).

+기호는 양봉가의 관측된 기후 값에 따라 위치하며 회색 막대는 겨울 사망률을 나타냄. 파랑색에서 빨강색으로 표시된 막대는 기후에 대한 모델링된 사망률 민감도를 의미. 색상이 표시된 셀은 연간 온도와 강수량을 예측변수로 사용하여 실행되는 KNN모델을 통해 산출됨. 연평균 기후가 꿀벌 사망률과 어떻게 관련이 있는지에 대해 더 일반적인 개요를 보이며, 연평균적으로 온난하고 건조한 기후일 때, 꿀벌 사망률이 증가함을 나타냄>

- 이 논문을 벤치마킹하여 국내에 적용하되, 국내에는 밀원이 북쪽에 많고, 고정양봉과 이동양봉의 비율이 약 7:3 정도이며, 봉군 밀도가 다른 점 등을 추가로 고려해야 함
- 기후변화는 꿀벌 사망에 치명적인 영향을 미치는 꿀벌응애(*Varroa destructor*) 나 병해충에 의한 피해에도 영향을 미침 (Rosenkranz et al., 2010)
 - 정철의(2015)는 미래기후 자료와 꿀벌응애 개체군 동태를 모의 연구하여 꿀벌응애의 영향이 향후 더욱 커질 것이라는 점을 시사함
 - Hosni et al. (2022)는 꿀벌부채명나방(*Galleria mellonella*)에 의한 병해충 피해와 기후 예측 시나리오 간의 상관관계 분석을 통해 꿀벌의 서식지에 점점 더 많은 꿀벌부채명나방도 서식할 수 있다는 점을 나타냄



<꿀벌 실종이 발생한 벌통 (경향신문
<https://m.khan.co.kr/environment/environment-general/article/202203310600031>)>



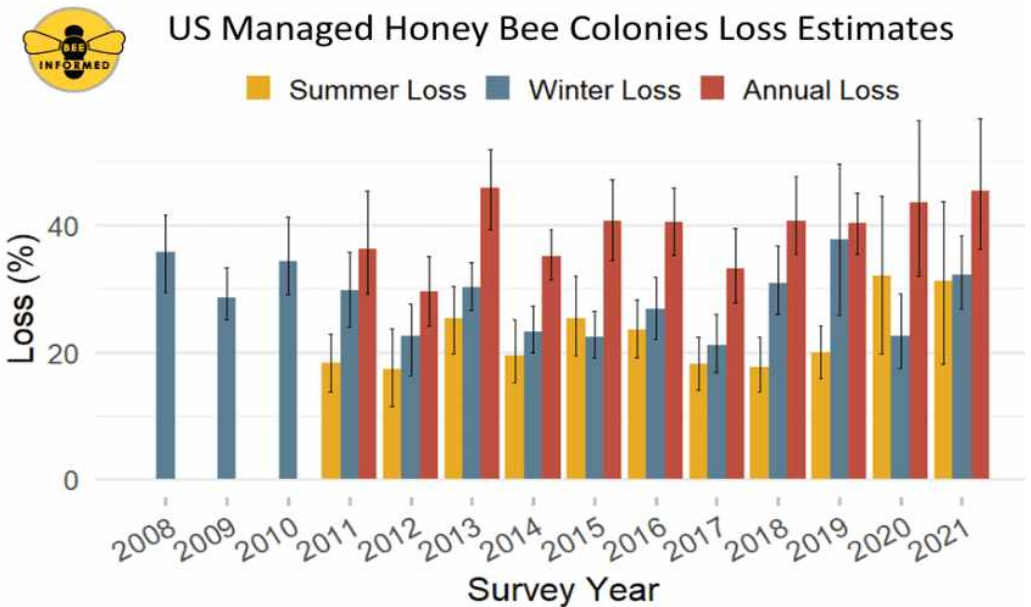
<양봉 현장 (경향신문
<https://m.khan.co.kr/environment/environment-general/article/202203310600031>)>

(3) 이상기후, 환경변화로 인한 꿀벌 피해 해외사례 조사

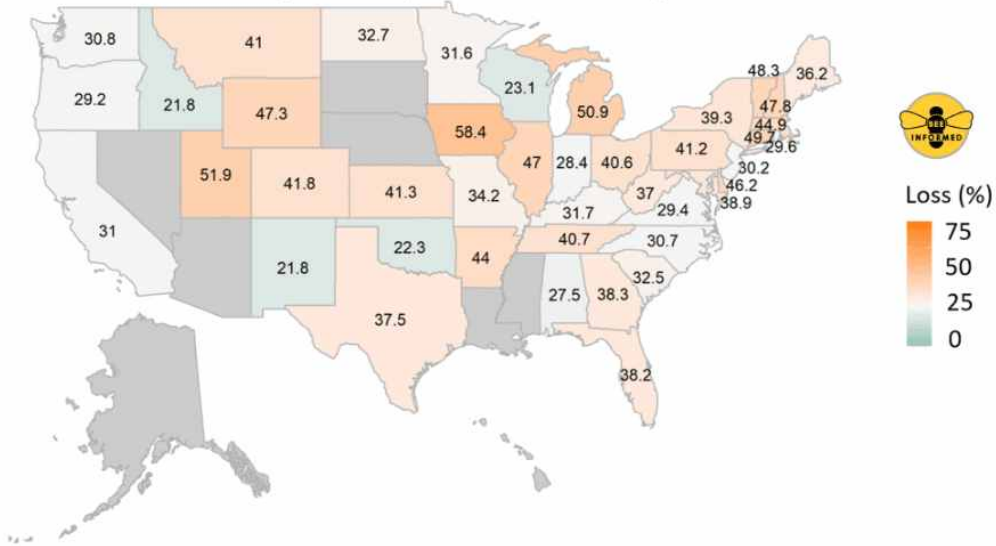
○ 미국(USA)

● 미국 꿀벌 손실 현황

- 미국 메릴랜드대학교와 오번대학교 공동 조사에 따르면 2023년 4월 1일 까지 지난 1년간 미국 내에서 폐사한 꿀벌 비중은 48%에 달함. (메릴랜드 대학교와 오번대학교는 2006년부터 꿀벌들이 벌집째로 폐사하는 균집붕괴현상 (CCD) 추이를 분석해오고 있음)
- 2023년 기준 꿀벌의 12년간 연평균 폐사율은 39.6%이고, 해당 기간에 가장 높은 폐사율을 기록한 기간은 2020~2021년의 50.8%임



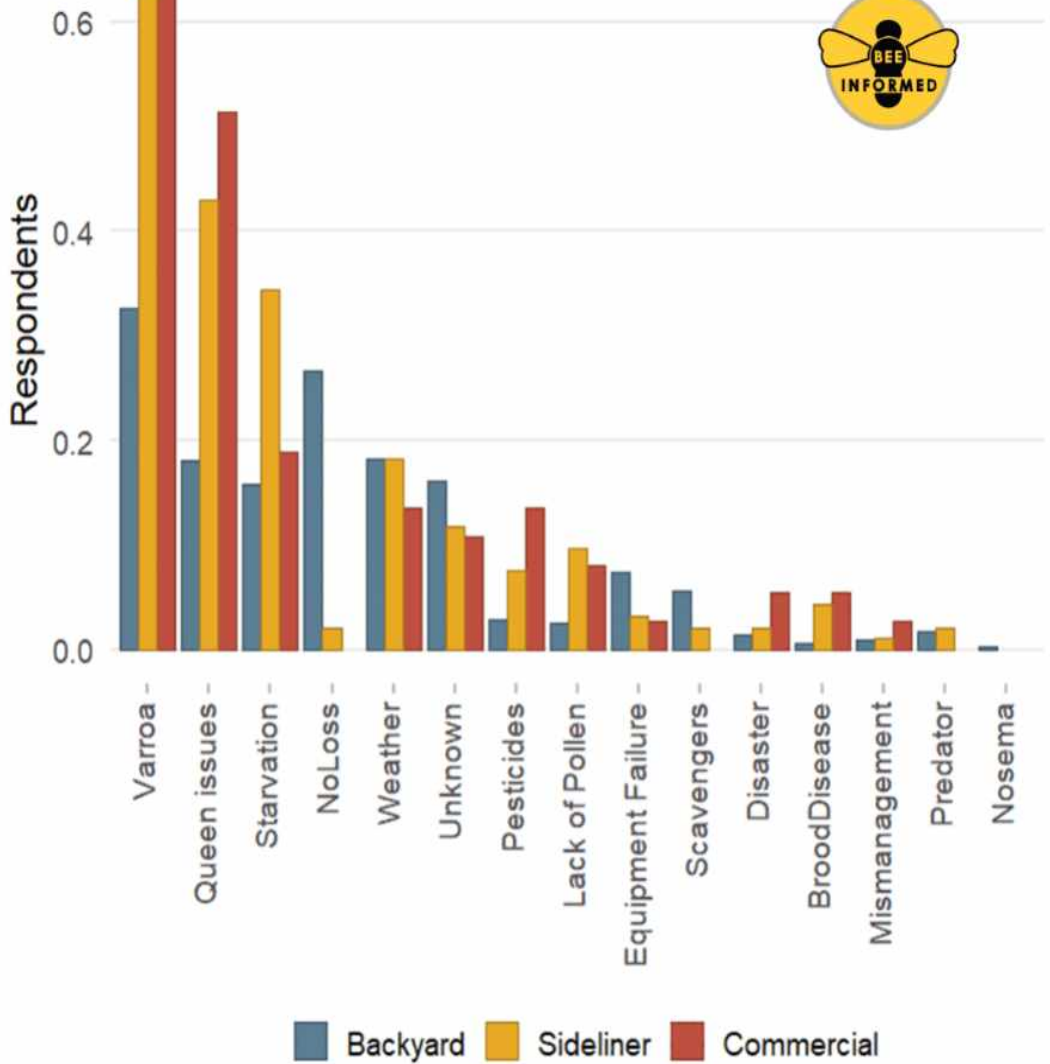
2020-2021 Managed Honey Bee Winter Colony Loss Rates



<미국에서 2020-2021년 겨울에 관리되는 꿀벌의 손실율 추이와 지역 분포. 출처: <https://beeinformed.org/2021/06/21/united-states-honey-bee-colony-losses-2020-2021-preliminary-results/>>

- 미국 꿀벌 손실 주요원인

- 2020년 10월 ~ 2021년 4월 기간 동안 양봉업 종사자 (뒤뜰양봉 : Backyard, 부업양봉 : Sideline, 상업양봉 : Commercial) 3,217명을 대상으로 꿀벌손실 주요 원인에 대한 설문을 실시한 결과 Varroa 응애, 여왕벌 문제, 기아(굶주림)이 주요 원인으로 나타나고, 이어서 날씨, 농약(살충제), 화분 부족, 장비 고장, 질병, 천적, Nosema 등이 따름



<출처 : <https://beeinformed.org/2021/06/21/united-states-honey-bee-colony-losses-2020-2021-preliminary-results>>

- 미국의 꿀벌 손실 관련 입법 및 정책 현황

- 농업법(2018년 기준, 1933년 제정되어 약 5년 주기로 개정됐음)

가축, 꿀벌 및 양식 어류 긴급 지원 프로그램(ELAP ; Emergency Assistance for Live stock, Honey Bees, and Farm-raised Fish)

- ㉠ 농무부 장관이 결정한 바에 따라 질병, 산불, 기상재해 등으로 인한 손실에 대해 재정지원

- ㉡ 꿀벌의 경우 15일 후에 피해 발생이 확실한 경우 재해지원 신청이 가능하고 지원금 신청은 피해 발생 다음 연도 1월 30일까지 가능

- ㉢ 2018년까지 지원금 한도는 12만 5천 달러였으나, 2019년부터는 지원금 한도 없음

- 꿀벌 등 꽃가루 매개동물 보호를 위한 국가전략(오바마 정부)

- ㉠ 주요내용

- ㉡ 10년 내 꿀벌의 월동 사망률을 15% 미만으로 떨어뜨리는 것을 목표로 함

- ㉢ 2020년까지 왕나비의 동부지역 개체 수 2.25억 마리까지 증대

- ㉣ 향후 5년 동안 꽃가루 전달 곤충 서식지 면적 7백만 에이커 복구·강화

- ㉣ 4대 전략

- ㉡ 꽃가루 전달 곤충 감소 현상을 이해하고, 회복시키기 위한 연구 계획

- ㉢ 꽃가루 전달 곤충 공공교육과 지원

- ㉣ 공공·민간 파트너십

- ㉤ 꽃가루 전달 곤충 서식지 확장과 개선

○ 유럽(Europe)

- 꿀벌 손실에 영향을 미치는 위험분석
 - 유럽 OPERA 연구소의 보고서(Bee health in Europe-Facts & figures, 2010)에 의하면, 기생 응애인 꿀벌응애(V. destructor)가 유럽 꿀벌 손실의 주요 원인인 것으로 파악하고 있음
 - 이 외에도 다양한 질병, 기생충, 양봉관리 방식, 기후, 여왕벌의 건강, 영양 상태 등과 같이 다양한 요인들이 꿀벌 손실에 영향을 미치는 것으로 파악함
 - 많은 논문의 저자들에 의해 살충제가 꿀벌 손실의 잠재적인 기여 요인으로 알려져 있으나, 살충제의 오남용 때문에 발생하는 우발적 중독을 제외하고, 구체적인 증거가 밝혀진 조사 및 연구는 거의 없음

Country	N. op.	N. col. Oct. sum	N. col. Oct. median (interquartile range)	Mean winter loss % (95% CI)
Austria	575	18,141	15 (8-35)	9.3 (7.8-10.7)
Belgium	225	2,546	9 (5-15)	18.0 (13.4-22.6)
Denmark	419	9,056	10 (5-21)	7.5 (5.7-9.3)
Germany	3,715	49,696	9 (5-15)	10.4 (9.6-11.2)
Ireland	29	276	5 (3-14)	21.7 (15.1-28.3)
Italy	263	22,214	22 (10-50)	6.3 (6.9-25.8)
Netherlands	1,193	10,678	4 (3-8)	21.7 (18.5-24.9)
Norway	395	13,008	16 (8-34)	7.1 (5.6-8.7)
Poland	346	15,901	30 (15-60)	11.5 (8.3-14.7)
Sweden	564	7,354	6 (3-12)	14.6 (12.0-17.3)
Switzerland	342	5,301	12 (7-20)	9.1 (7.5-10.8)
UK	1,405	18,081	4 (2-8)	16.0 (13.4-18.6)
Total data set	9,471	172,252	8 (4-16)	12.3 (10.9-13.7)

<2008~2009년 유럽의 각 국가별 겨울철 봉군손실(N.op.=활동 중인 봉군수, N.col.Oct.=2008년 10월 1일 기준 생존한 봉군수)(출처 : Zee et al.(2012)>

- 꿀벌 생존에 영향을 미칠 수 있는 요인의 순위는 다음과 같음
 - 미국의 CCD 발생으로 감소한 꿀벌 개체 수와 같이 유사한 꿀벌 개체의 감소는 유럽에서 관찰되지 않았음
 - 양봉가들이 양봉장에서 해충을 제거하는 데 도움을 줄 수 있는 화합물이 없거나 부족하고, 해충과 같은 질병이 집단적 발생했을 때 대한 지원이 거의 없음
 - 농업 활동을 하는 행위자들(예: 농부와 양봉가)과 과학적(연구적) 및 규제적 역할을 수행하는 사람들(연구기관, 행정기관) 사이의 의사소통이 부족함

- 현대농업과 양봉업 종사자 사이에 제한된 의사소통으로 인해 발생하는 불신을 해소하기 위해서는 연구 또는 규제 기관의 편향된 위험 관리 방식을 벗어나 지금보다 더 진보된 지식과 기술을 기반으로 하는 양봉업 관리가 요구됨

- EU에서 꿀벌 손실 관련 입법 현황

- EU에서는 PPP(Plant Protection Products, 작물 보호 제품)를 사용할 경우, 꿀벌과 같은 수분 매개곤충에 대한 영향평가를 법적으로 실시하도록 하였고 주요 내용은 다음과 같음

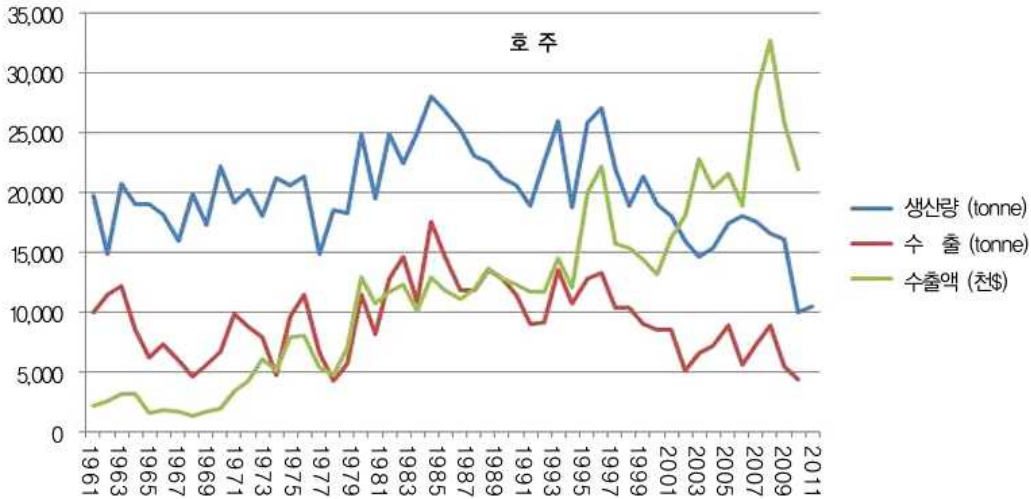
- ㉠ 꿀벌 및 야생벌이 제공하는 수분 보호
- ㉡ 벌꿀 및 기타 벌집 생산물 보호
- ㉢ 수분매개자의 생물다양성 보호(주로 야생벌)

- 새로운 규정 1107/2009*(<https://www.legislation.gov.uk/eur/2009/1107>)에는 꿀벌이 노출될 수 있는 모든 살충제에 대해 꿀벌 (Apis mellifera) 위험 평가를 수행해야 한다는 요구 사항이 포함되어 있음

- 호주(Australia)

- 호주 벌꿀 생산량 및 벌꿀 생산 감소 요인

- 호주의 양봉산업에서의 봉군 수는 1960년대 30만군에서 2000년대 50~60만군으로 약 2배 정도 성장하였고, 벌꿀은 2만톤에서 3만톤으로 봉군의 생산성은 50kg정도로 파악됨
- 벌꿀 생산량이 1990년대 정점을 찍은 후 지속적으로 감소하였음. 특히 2000년대 들어서는 생산량 감소폭이 더욱 커져 2012년 기준 생산량은 10,500톤으로 최대 생산기의 30% 정도밖에 되지 않게 되었음(그림 참조)
- 생산량 감소의 가장 큰 원인으로는 기상변화로 인한 가뭄의 지속을 원인으로 보고 있으며, 호주는 최근 수년간에 걸친 지속적인 가뭄으로 인해 농업생산에서의 물관리 뿐만 아니라 양봉산업에도 큰 영향을 미치고 있음



<호주의 벌꿀 생산량, 수출량 및 수출액의 변동 (FAO stat, 2014)>

● 호주의 정책

- 호주는 1822년 서양종꿀벌이 도입된 이후 꿀벌의 정착이 쉽게 이루어졌는데, 그 이유로는 토착식물의 광범위한 분포와 호주의 우점식물인 유칼립투스 나무로 인한 영향이 큼
- 국유림 및 사유림의 식물자원에서부터 화분과 화밀이 생산되어 각 주마다 다른 기후환경에 따라 식물상이 다양하게 분포하기 때문에 산림, 농경지 등 다양한 곳을 통해 벌꿀이 수집되고 있음
- 호주 정부는 산림지역과 수목의 지속적인 보존관리를 위한 법적인 제도를 정비하고 있고, 벌채 개간을 제한하는 등의 법안이 만들어져 있음

○ 뉴질랜드

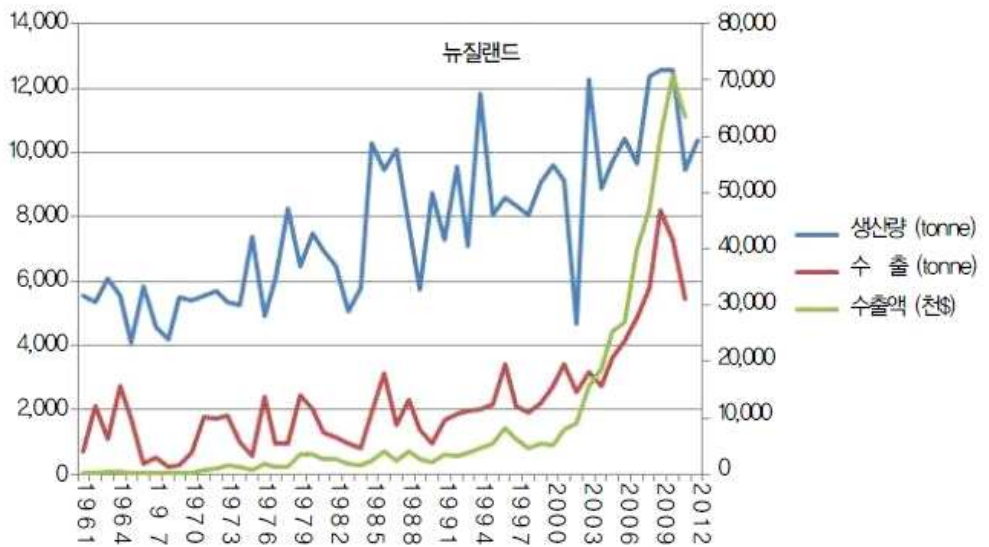
● 뉴질랜드 양봉산업 개요 및 병해충 대응

- 뉴질랜드의 양봉은 1980년대 20만군 수준에서 45만군 정도로 약 2.2배 증가하였고, 벌꿀의 생산량 또한 7천톤에서 1.7만톤으로 2.5배 가량 증가함
- 봉군당 생산성은 20~40kg 정도 되며, 상업 양봉가들은 100kg 가까이 생산하고 있음

- 뉴질랜드에서는 1999년까지 양봉산업에서 가장 중요한 해충인 꿀벌응애가 발생하지 않았으나 2000년도 꿀벌응애가 침입한 이후로 꿀벌응애 방제 프로그램을 적극적으로 실시하고 있음

• 뉴질랜드 양봉 정책

- 뉴질랜드에서 벌꿀 생산기간 동안에는 법적으로 꿀벌응애 방제 등을 위해 화학약품 처리를 할 수 없고, 항생제 또한 못 쓰게 되어 있음
- 양봉업을 하고 하는 사람들은 양봉업 등록을 통해 고유번호를 부여받고, 양봉장의 위치도 위성좌표를 측정하여 등록해야 함
- 병해충 여부에 대해 무작위로 불시검사를 받고, 수출시에는 별도의 품질관리를 받아야 함



<뉴질랜드의 벌꿀 생산량, 수출량 및 수출액의 변동 (FAO stat, 2014)>

○ 해외 논문 및 보고서별 꿀벌감소 원인 분석 결과

• 꿀벌 감소 유형별 주요 원인

- 1997년도 부터 현재까지의 해외논문 및 보고서 등 74건을 검색하여 꿀벌감소에 영향을 미치는 원인에 대해 유형을 나누어 정리하였음
- 꿀벌 감소의 주요 유형으로는 해충 및 질병, 양봉관리 관행, 살충제, 기후변화, 유전자변형 작물재배, 환경오염, 외래종 도입, 토지이용 및 관리로 나눌 수 있음
- 총 74건의 자료 중 해충 및 질병 22건, 기존 양봉관리 관행 13건, 살충제 11건, 기후변화 9건, 유전자 변형 작물재배 7건, 외래종 도입 4건, 토지이용 및 관리 2건 순으로 빈도가 높게 나타났음

<꿀벌감소 원인 관련 논문 및 보고서 집계>

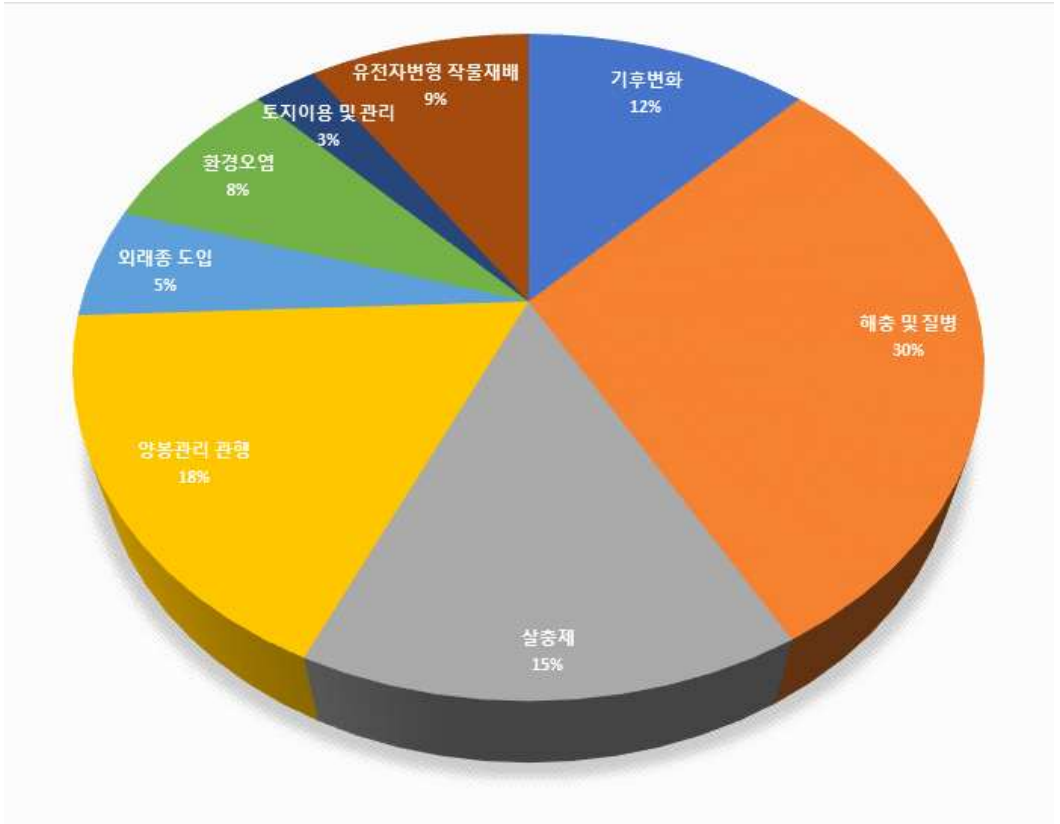
꿀벌 감소 원인	논문 및 보고서
기후 변화 (9건)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memmott, J.; Craze, P.G.;Waser, N.M.; Price, M.V. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. <i>Ecol. Lett.</i> 2007, 10, 710-717. 2. Thomson, J.D. Flowering phenology, fruiting success and progressive deterioration of pollination in an early-flowering geophyte. <i>Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.</i> 2010, 365, 3187-3199. 3. VanEngelsdorp, D.; Speybroeck, N.; Evans, J.D.; Kim Nguyen, B.; Mullin, C.; Frazier, M.; Frazier, J.; Cox-Foster, D.; Chen, Y.; Tarpy, D.R.; et al. Weighing risk factors associated with bee colony collapse disorder by classification and regression tree analysis. <i>J. Econ. Entomol.</i> 2010, 103, 1517-1523. 4. Petanidou, T.; Kallimanis, A.S.; Sgardelis, S.P.; Mazaris, A.D.; Pantis, J.D.;Waser, N.M. Variable flowering phenology and pollinator use in a community suggest future phenological mismatch. <i>Acta Oecologica</i> 2014, 59, 104-111. 5. Wang, Q.; Xu, X.; Zhu, X.; Chen, L.; Zhou, S.; Huang, Z.Y.; Zhou, B. Low-Temperature Stress during Capped Brood Stage Increases Pupal Mortality, Misorientation and Adult Mortality in Honey Bees. <i>PLoS ONE</i> 2016, 11, e0154547. 6. Switanek, M., Crailsheim, K., Truhetz, H., & Brodschneider, R.. Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. <i>Science of the Total Environment</i>, 2017, 579, 1581-1587. 7. Nürnberger, F.; Härtel, S.; Stean-Dewenter, I. The influence of temperature and photoperiod on the timing of brood onset in hibernating honey bee colonies. <i>PeerJ</i> 2018, 6, e4801 8. Flores, J. M., Gil-Lebrero, S., Gámiz, V., Rodríguez, M. I., Ortiz, M. A., & Quiles, F. J.. Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. <i>Science of the Total Environment</i>, 2019, 653, 1111-1119.

	<p>9. Becsi, B., Formayer, H., & Brodschneider, R. A biophysical approach to assess weather impacts on honey bee colony winter mortality. <i>Royal Society open science</i>, 2021, 8(9), 210618.</p>
<p>해충 (응애) 및 질병 (22건)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ellis, J.D.; Hepburn, H.R. An ecological digest of the small hive beetle (<i>Aethina tumida</i>), a symbiont in honey bee colonies (<i>Apis mellifera</i>). <i>Insectes Sociaux</i> 2006, 53, 8-19. 2. Waghchoure-Camphor, E.S.; Martin, S.J. Population changes of <i>Tropilaelaps clareae</i> mites in <i>Apis mellifera</i> colonies in Pakistan. <i>J. Apic. Res.</i> 2009, 48, 46-49. 3. De Miranda, J.R.; Cordoni, G.; Budge, G. The acute bee paralysis virus-Kashmir bee virus-Israeli acute paralysis virus complex. <i>J. Invertebr. Pathol.</i> 2010, 103, S30-S47 4. Vejsnaes, F.; Neilsen, S.L.; Kryger, P. Factors involved in the recent increase in colony losses in Denmark. <i>J. Apic. Res.</i> 2010, 49, 109-110 5. Rosenkranz, P., Aumeier, P., & Ziegelmann, B. Biology and control of <i>Varroa destructor</i>. <i>Journal of invertebrate pathology</i>, 2010, 103, S96-S11 6. Garrido-Bail n, E.; Bartolome, C.; Prieto, L.; Botias, C.; Martinez-Salvador, A.; Meana, A.; Martin-Hernández, R.; Higes, M. The prevalence of <i>Acarapis woodi</i> in Spanish honey bee (<i>Apis mellifera</i>) colonies. <i>Exp. Parasitol.</i> 2012, 132, 530-536. 7. Toplak, I.; Jamnikar Ciglenc, U.; Aronstein, K.; Gregorc, A. Chronic bee paralysis virus and <i>Nosema ceranae</i> experimental co-infection of winter honey bee workers (<i>Apis mellifera</i> L.). <i>Viruses</i> 2013, 5, 2282-2297. 8. Mustafa, S.G.; Spiewok, S.; Duncan, M.; Spooner-Hart, R.; Rosenkranz, P. Susceptibility of small honey bee colonies to invasion by the small hive beetle, <i>Aethina tumida</i> (Coleoptera, Nitidulidae). <i>J. Appl. Entomol.</i> 2014, 138, 547-550. 9. Bernier, M.; Fournier, V.; Eccles, L.; Giovenazzo, P. Control of <i>Aethina tumida</i> (Coleoptera: Nitidulidae) using in-hive traps. <i>Can. Entomol.</i> 2015, 147, 97-108. 10. Clermont, A.; Pasquali, M.; Eickermann, M.; Kraus, F.; Homann, L.; Beyer, M. Virus status, varroa levels and survival of 20 managed honey bee colonies monitored in Luxembourg between summer 2011 and spring 2013. <i>J. Apic. Sci.</i> 2015, 59, 59-73. 11. Roberts, J.; Anderson, D.; Tay, W. Multiple host shifts by the emerging honeybee parasite, <i>Varroa jacobsoni</i>. <i>Mol. Ecol.</i> 2015, 24, 2379-2391. 12. Motus, K.; Raie, A.; Orro, T.; Chauzat, M.-P.; Viltrop, A. Epidemiology, risk factors and varroa mite control in the Estonian honey bee population. <i>J. Apic. Res.</i> 2016, 55, 396-412. 13. Neumann, P.; Pettis, J.S.; Schäfer, M.O. Quo vadis <i>Aethina tumida</i>? Biology and control of small hive beetles. <i>Apidologie</i> 2016, 47, 427-466. 14. Sarwar, M. Fungal diseases of honey bees (Hymenoptera: Apidae) that induce considerable losses to colonies and protocol for treatment. <i>Int. J. Zool. Stud.</i> 2016, 1, 8-13. 15. Chemurot, M.; De Smet, L.; Brunain, M.; De Rycke, R.; de Graaf, D.C. <i>Nosema neumanni</i> n. sp. (Microsporidia, Nosematidae), a new microsporidian parasite of honeybees, <i>Apis mellifera</i> in Uganda. <i>Eur. J. Protistol.</i> 2017, 61, 13-19. 16. Spurny, R.; Pridal, A.; Pělková, L.; Kiem, H.K.T.; de Miranda, J.R.; Plevka, P. Virion structure of black queen cell virus, a common honeybee pathogen. <i>J. Virol.</i> 2017, 91, e02100-16. 17. Neumann, P.; Spiewok, S.; Pettis, J.; Radlo, S.E.; Spooner-Hart, R.; Hepburn, R. Differences in absconding between African and European honeybee subspecies facilitate invasion success of small hive beetles. <i>Apidologie</i> 2018, 49, 527-537.

	<ol style="list-style-type: none"> 18. Huang, Q.; Lopez, D.; Evans, J.D. Shared and unique microbes between Small hive beetles (<i>Aethina tumida</i>) and their honey bee hosts. <i>Microbiol. Open</i> 2019, 8, e899. 19. Li, J.; Wang, T.; Evans, J.D.; Rose, R.; Zhao, Y.; Li, Z.; Li, J.; Huang, S.; Heerman, M.; Rodriguez-Garcia, C.; et al. The phylogeny and pathogenesis of Sacbrood virus (SBV) infection in European honey bees, <i>Apis mellifera</i>. <i>Viruses</i> 2019, 11, 61. 20. Posada-Florez, F.; Childers, A.K.; Heerman, M.C.; Egekwu, N.I.; Cook, S.C.; Chen, Y.; Evans, J.D.; Ryabov, E.V. Deformed wing virus type A, a major honey bee pathogen, is vectored by the mite <i>Varroa destructor</i> in a non-propagative manner. <i>Sci. Rep.</i> 2019, 9, 12445. 21. Schäfer, M.O.; Cardaio, I.; Cilia, G.; Cornelissen, B.; Crailsheim, K.; Formato, G.; Lawrence, A.K.; Le Conte, Y.; Mutinelli, F.; Nanetti, A.; et al. How to slow the global spread of small hive beetles, <i>Aethina tumida</i>. <i>Biol. Invasions</i> 2019, 21, 1451–1459. 22. Hosni, E. M., Al-Khalaf, A. A., Nasser, M. G., Abou-Shaara, H. F., & Radwan, M. H. . Modeling the potential global distribution of honeybee pest, <i>Galleria mellonella</i> under changing climate. <i>Insects</i>, 2022, 13(5), 484.
<p>살충제 (11건)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomizawa, M.; Casida, J.E. Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors. <i>Annu. Rev. Entomol.</i> 2003, 48, 339–364. 2. Jeschke, P.; Nauen, R.; Schindler, M.; Elbert, A. Overview of the status and global strategy for neonicotinoids. <i>J. Agric. Food Chem.</i> 2011, 59, 2897–2908. 3. Van der Sluijs, J.P.; Simon-Delso, N.; Goulson, D.; Maxim, L.; Bonmatin, J.M.; Belzunces, L.P. Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services. <i>Curr. Opin. Environ. Sustain.</i> 2013, 5, 293–305. 4. Sanchez-Bayo, F.; Goka, K. Pesticide residues and bees—a risk assessment. <i>PLoS ONE</i> 2014, 9, e94482. 5. Simon-Delso, N.; Amaralrogers, V.; Belzunces, L.P.; Bonmatin, J.M.; Chagnon, M.; Downs, C.A.; Furlan, L.; Gibbons, D.W.; Giorio, C.; Girolami, V.; et al. Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): Trends, uses, mode of action and metabolites. <i>Environ. Sci. Pollut. Res.</i> 2015, 22, 5–34. 6. Moritz, R.F.; Erler, S. Lost colonies found in a data mine: Global honey trade but not pests or pesticides as a major cause of regional honeybee colony declines. <i>Agric. Ecosyst. Environ.</i> 2016, 216, 44–50. 7. Slowinska, M.; Nynca, J.; Wilde, J.; Bałk, B.; Siuda, M.; Ciereszko, A. Total antioxidant capacity of honey bee hemolymph in relation to age and exposure to pesticides, and comparison to antioxidant capacity of seminal plasma. <i>Apidologie</i> 2016, 47, 227–236. 8. Wilde, J.; Frańczek, R.J.; Siuda, M.; Bałk, B.; Hatjina, F.; Miszczak, A. The influence of sublethal doses of imidacloprid on protein content and proteolytic activity in honey bees (<i>Apis mellifera</i> L.). <i>J. Apic. Res.</i> 2016, 55, 212–220. 9. Ciereszko, A.; Wilde, J.; Dietrich, G.J.; Siuda, M.; Bałk, B.; Judycka, S.; Karol, H. Sperm parameters of honeybee drone exposed to imidacloprid. <i>Apidologie</i> 2017, 48, 211–222. 10. Hladik, M.L.; Main, A.R.; Goulson, D. Environmental Risks and Challenges Associated with Neonicotinoid Insecticides. <i>Environ. Sci. Technol.</i> 2018, 52, 3329–3335. 11. Lushchak, V.I.; Matviishyn, T.M.; Husak, V.V.; Storey, J.M.; Storey, K.B. Pesticide toxicity: A mechanistic approach. <i>EXCLI J.</i> 2018, 17, 1101.

<p>기존 양봉 관리 관행 (13건)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fewell, J.H.; Winston, M.L. Colony state and regulation of pollen foraging in the honey bee, <i>Apis mellifera</i> L. <i>Behav. Ecol. Sociobiol.</i> 1992, 30, 387-393. 2. London-Shafir, I.; Shafir, S.; Eisikowitch, D. Amygdalin in almond nectar and pollen-facts and possible roles. <i>Plant Syst. Evol.</i> 2003, 238, 87-95. 3. Groh, C.; Tautz, J.; Rössler, W. Synaptic organization in the adult honey bee brain is influenced by brood-temperature control during pupal development. <i>Proc. Natl. Acad. Sci. USA</i> 2004, 101, 4268-4273. 4. Jones, J.C.; Helliwell, P.; Beekman, M.; Maleszka, R.; Oldroyd, B.P. The effects of rearing temperature on developmental stability and learning and memory in the honey bee, <i>Apis mellifera</i>. <i>J. Comp. Physiol. A. Neuroethol. Sens. Neural. Behav. Physiol.</i> 2005, 191, 1121-1129. 5. Oldroyd, B.P. What's killing American honey bees? <i>PLoS Biol.</i> 2007, 5, e168. 6. van Engelsdorp, D.; Evans, J.D.; Donovan, L.; Mullin, C.; Frazier, M.; Frazier, J.; Tarpy, D.R.; Hayes, J.; Pettis, J.S. Entombed pollen: A new condition in honey bee colonies associated with increased risk of colony mortality. <i>J. Invertebr. Pathol.</i> 2009, 101, 147-149. 7. Homan, G.D.; Chen, Y. Nutrition, immunity and viral infections in honey bees. <i>Curr. Opin. Insect. Sci.</i> 2015, 10, 170-176. 8. United Nations Environment Programme (UNEP). <i>UNEP Emerging Issues: Global Honey Bee Colony Disorder and Other Threats to Insect Pollinators</i> 2010. p. 16. Available online: http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Global_Bee_Colony_Disorder_and_Threats_insect_pollinators.pdf (accessed on 29 May 2016). 9. Jacques, A.; Laurent, M.; ÉPILOBEE Consortium; Ribière-Chabert, M.; Saussac, M.; Bougeard, S.; Budge, G.E.; Hendrikx, P.; Chauzat, M.-P. A pan-European epidemiological study reveals honey bee colony survival depends on beekeeper education and disease control. <i>PLoS ONE</i> 2017, 12, e0172591. 10. Capri, E.; Marchis, A. <i>Bee Health in Europe: Facts and Figures 2013. Compendium of the Latest Information on Bee Health in Europe</i>; OPERA Research Centre, Università Cattolica del Sacro Cuore: Milan, Italy, 2013; p. 64. 131. Johnson, R.; Corn, M.L. <i>Bee Health: The Role of Pesticides</i>. Congressional Research Service (CRS) 2015. Reports for Congress. p. 47. Available online: http://fas.org/sgp/crs/misc/R43900.pdf (accessed on 26 June 2017). 11. DeGrandi-Homan, G.; Gage, S.L.; Corby-Harris, V.; Carroll, M.; Chambers, M.; Graham, H.; deJong, E.W.; Hidalgo, G.; Calle, S.; Azzouz-Olden, F.; et al. Connecting the nutrient composition of seasonal pollens with changing nutritional needs of honey bee (<i>Apis mellifera</i> L.) colonies. <i>J. Insect Physiol.</i> 2018, 109, 114-124. 12. Schierow, L.-J.; Johnson, R.; Corn, M.L. <i>Bee Health: The Role of Pesticides</i>, Congressional Research Service (CRS) 2012, Reports for Congress. p. 26. Available online: https://www.fas.org/sgp/crs/misc/R42855.pdf (accessed on 28 April 2018). 13. Watkins de Jong, E.; DeGrandi-Homan, G.; Chen, Y.; Graham, H.; Ziolkowski, N. Effects of diets containing different concentrations of pollen and pollen substitutes on physiology, <i>Nosema</i> burden, and virus titers in the honey bee (<i>Apis mellifera</i> L.). <i>Apidologie</i> 2019, 50, 845-858.
<p>외래종 도입 (4건)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kenis, M.; Auger-Rozenberg, M.A.; Roques, A.; Timms, L.; Pérez, C.; Cock, M.J.; Settele, J.; Augustin, S.; Lopez-Vaamonde, C. Ecological effects of invasive alien insects. <i>Biol. Invasions</i> 2009, 11, 21-45 2. Moritz, R.F.; Haddad, N.; Bataineh, A.; Shalmon, B.; Hefetz, A. Invasion of the dwarf honeybee <i>Apis florea</i> into the near East. <i>Biol. Invasions</i>

	<p>2010, 12, 1093-1099.</p> <p>3. Brittain, C.; Williams, N.; Kremen, C.; Klein, A.M. Synergistic effects of non-Apis bees and honey bees for pollination services. <i>Proc. Royal Soc. B</i> 2013, 280, 20122767</p> <p>4. Laurino, D.; Liroy, S.; Carisio, L.; Manino, A.; Porporato, M. <i>Vespa velutina</i>: An Alien Driver of Honey Bee Colony Losses. <i>Diversity</i> 2020, 12, 5.</p>
환경 오염 (6건)	<p>1. Sovik, E.; Perry, C.J.; LaMora, A.; Barron, A.B.; Ben-Shahar, Y. Negative impact of manganese on honeybee foraging. <i>Biol. Lett.</i> 2015, 11, 201409</p> <p>2. Barganska, Z.; Slebioda, M.; Namiesnik, J. Honey bees and their products: Bioindicators of environmental contamination. <i>Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.</i> 2016, 46, 235-248.</p> <p>3. Nikolic, T.V.; Kojic D.; Orcic, S.; Batinic, D.; Vukašnovic, E.; Blagojevic, D.P.; Purac, J. The impact of sublethal concentrations of Cu, Pb and Cd on honey bee redox status, superoxide dismutase and catalase in laboratory conditions. <i>Chemosphere</i> 2016, 164, 98-105.</p> <p>4. Skorbił owicz, E.; Skorbił owicz, M.; Ciesluk, I. Bees as bioindicators of environmental pollution with metals in an urban area. <i>J. Ecol. Eng.</i> 2018, 19, 229-234.</p> <p>5. Goretti, E.; Pallottini, M.; Rossi, R.; La Porta, G.; Gardi, T.; Goga, B.C.; Elia, A.C.; Galletti, M.; Moroni, B.; Petroselli, C.; et al. Heavy metal bioaccumulation in honey bee matrix, an indicator to assess the contamination level in terrestrial environments. <i>Environ. Pollut.</i> 2020, 256, 113388.</p> <p>6. Lazor, P.; Tomaš, J.; Toth, T.; Toth, J.; Čeryova, S. Monitoring of air pollution and atmospheric deposition of heavy metals by analysis of honey. <i>J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.</i> 2020, 9, 522-533.</p>
토지 이용 및 관리 (2건)	<p>1. IPBES. The Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production; Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V.L., Ngo, H.T., Eds.; Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: Bonn, Germany, 2016; p. 552.</p> <p>2. Durant, J.L.; Otto, C.R. Feeling the sting? Addressing land-use changes can mitigate bee declines. <i>Land Use Policy</i> 2019, 87, 104005. [</p>
유전자 변형 작물 (GMO) 재배 (7건)	<p>1. Fearing, P.L.; Brown, D.; Vlachos, D.; Meghji, M.; Privalle, L. Quantitative analysis of CryIA(b) expression in Bt maize plants, tissues, and silage and stability of expression over successive generation. <i>Mol. Breed.</i> 1997, 3, 169-176.</p> <p>2. Ramirez-Romero, R.; Desneux, N.; Decourtye, A.; Chaol, A.; Pham-Del gue, M.H. Does Cry1Ab protein affect learning performances of the honey bee <i>Apis mellifera</i> L. (Hymenoptera, Apidae)? <i>Ecotoxicol. Environ. Saf.</i> 2008, 70, 327-333.</p> <p>3. Johnson, R.M.; Ellis, M.D.; Mullin, C.A.; Frazier, M. Pesticides and honey bee toxicity—USA. <i>Apidologie</i> 2010, 41, 312-331.</p> <p>4. Arpaia, S.; De Cristofaro, A.; Guerrieri, E.; Bossi, S.; Cellini, F.; Di Leo, G.M.; Germinara, G.S.; Iodice, L.; Maei, M.E.; Petrozza, A.; et al. Foraging activity of bumblebees (<i>Bombus terrestris</i> L.) on Bt-expressing eggplants. <i>Arthropod-Plant Interact.</i> 2011, 5, 255-261.</p> <p>5. Paula, D.P.; Andow, D.A.; Timbo, R.V.; Sujii, E.R.; Pires, C.S.; Fontes, E.M. Uptake and transfer of a Bt toxin by a Lepidoptera to its eggs and effects on its offspring. <i>PLoS ONE</i> 2014, 9, e95422.</p> <p>6. Johnson, R.M. Honey Bee Toxicology. <i>Annu. Rev. Entomol.</i> 2015, 60, 415-434.</p> <p>7. USDA-Biotech Crop Data. Adoption of Genetically Engineered Crops in the U.S. 2009. Available online: http://www.ers.usda.gov/Data/BiotechCrops/#2009-7-1 (accessed on 19 February 2018).</p>



<꿀벌 감소에 영향을 미치는 주요 유형별 원인 비율.
1997년부터 현재까지의 논문 등을 조사한 결과임>

(4) 국내 양봉 피해와 기후변화의 상관관계 분석

- 국내 양봉 생태환경(연도별 기상 및 이상기후 발생 빈도 등)과 양봉 피해(월동 꿀벌 폐사, CCD 등)와의 상관관계 분석
 - 기후데이터와 양봉 피해 데이터와의 상관관계 분석
 - 각 데이터들의 값과 평균과의 차이를 표준편차의 배수로 표현, 배수의 절대값 크기를 이상기후 정도의 척도로 삼음
 - 양봉 피해 데이터의 단위 기간(ex : 1년 단위, 1달 단위)과 맞춰 기후데이터 정리
 - 한국양봉협회에서 제공한 농가 설문조사를 통한 권역별 봉군 피해율 데이터로 사용
 - 농식품부에서 제공하는 기타가축통계자료를 사용하여 지역별 꿀벌 사육군수 변화에 따른 증감율을 피해율 데이터로 사용
 - 피어슨 상관계수와 유의도 계산으로 상관관계 유효성 검증

<AWS 자료 예시(출처: 농진청)>

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	농업기상(농진청)										
2	농업기상(농진청)데이터										
3			기온	습도	풍향	평균풍속	일 순간 최대풍속	강수량	일조시간	토양수분	
4	도명	지점명	(℃)	(%)		(m/s)	(m/s)	(mm)	(HH:MM)	(%)	
5										현재	전년
6	충청남도	계룡시 두마면	14.7	59.8	정온	0.3	2.7 (09:10)	0	1:37	22.4	26.7
7	충청남도	공주시 우성면	15.5	45.5	북	2.6	9.1 (08:40)	0	2:11	20.7	16.5
8	충청남도	금산군 금성면	13.3	52.1	서남서	0.5	2.0 (10:00)	0	2:49	-	27.5
9	충청남도	논산시 광석면	16.3	44.7	서	0.7	3.5 (10:00)	0	1:46	-	-
10	충청남도	당진시 당진읍	15.4	47.8	동	0.8	3.1 (09:30)	0	1:32	-	-
11	충청남도	보령시 주교면	14.6	34.4	-	0	0.3 (06:50)	0	1:04	18.2	25.6
12	충청남도	부여군 규암면	14.3	48.9	정온	0.2	1.7 (09:40)	0	1:35	-	35.2
13	충청남도	아산시 매향읍	15.3	42	동북동	0.8	4.1 (10:00)	0	1:49	-	-
14	충청남도	예산군 신암면	12.7	46.2	-	0	1.6 (00:40)	0	1:53	20.6	29.6
15	충청남도	천안시 목천읍	15	40	동	0.4	2.7 (10:00)	0	-	10.1	19.9
16	충청남도	천안시 성환읍	14.3	44.5	-	0	2.4 (09:40)	0	-	50	50
17	충청남도	천안시 직산읍	15.8	41.8	-	0	2.6 (10:00)	0	-	-	-
18	충청남도	청양군 청양읍	12.2	45.9	동남동	0.6	1.8 (09:50)	0	0:53	18.8	25
19	충청남도	태안군 태안읍	15	35.9	동	0.6	3.9 (08:30)	0	-	5	10.8
20	충청남도	홍성군 홍성읍	14.6	37.5	-	0	0.7 (09:10)	0	0:27	-	32.2

○ 데이터 수집 및 정리

• 기상청 종관기상관측(ASOS)자료 수집

- 대상기간 : 2021년10월~익년 2월, 2022년10월~익년 2월(5개월, 꿀벌 월동기간)
- 기상변수: 권역별, 월별 일일 평균 기온의 분산, 표준편차를 5개월 평균한 값
- 종속변수 : 22~23 월동 봉군 소멸 피해 현황, 피해율(%) 데이터, 일일 평균 기온의 변동하는 정도(분산, 표준편차)와 월동 후 봉군 피해율 사이의 상관관계가 존재하는지를 검증하는 목적

<권역별 봉군 피해율 데이터(출처: 한국양봉협회)>

지회	2022년 피해율	2023년 피해율
경기	55.30%	55.70%
강원	55.40%	49.70%
충북	57.10%	59.50%
충남	50.80%	54.00%
전북	65.00%	51.40%
전남	51.40%	59.80%
경북	70.50%	-
경남	51.60%	75.00%
제주	44.00%	-
서울	62.20%	62.20%
부산	58.80%	66.00%
대구	53.10%	70.90%
인천	58.40%	77.70%
광주	55.10%	64.10%
대전	66.80%	69.90%
울산	45.70%	-
합계	57.10%	61.40%

<농식품부 기타가축통계 지역별 사육군수 변화율>

월 사육군수	2018.12	2019.12	2020.12	2021.12	2022.12	18to19	19to20	20to21	21to22
지역									
서울 특별시	8,464	5,737	3,239	2,735	2,360	-32%	-44%	-16%	-14%
부산 광역시	11,281	7,865	8,011	7,239	7,020	-30%	2%	-10%	-3%
대구 광역시	53,737	55,115	48,906	42,754	27,539	3%	-11%	-13%	-36%
인천 광역시	6,948	15,482	11,966	10,290	10,436	123%	-23%	-14%	1%
광주 광역시	54,842	34,771	43,990	19,517	17,905	-37%	27%	-56%	-8%
대전 광역시	37,307	17,149	18,945	25,047	17,979	-54%	10%	32%	-28%
울산 광역시	36,881	34,587	33,919	22,687	29,455	-6%	-2%	-33%	30%
경기도	227,951	236,330	253,043	255,811	223,992	4%	7%	1%	-12%
강원도	167,138	185,138	192,170	194,420	180,750	11%	4%	1%	-7%
충청북도	250,848	267,285	258,861	266,817	255,994	7%	-3%	3%	-4%
충청남도	276,469	283,671	268,570	263,272	250,307	3%	-5%	-2%	-5%
전라북도	274,308	286,279	286,616	291,663	255,232	4%	0%	2%	-12%
전라남도	229,414	277,904	285,038	277,584	297,931	21%	3%	-3%	7%
경상북도	538,615	594,158	536,547	562,349	506,795	10%	-10%	5%	-10%
경상남도	329,678	345,835	337,047	361,888	349,992	5%	-3%	7%	-3%
제주특별 자치도	72,449	80,389	80,803	71,790	56,216	11%	1%	-11%	-22%
세종특별 자치시	15,868	16,446	12,171	14,160	14,800	4%	-26%	16%	5%

< ASOS 권역별관측지점 수 (출처: 기상청) >

경 기	강 원	충 북	충 남	전 북	전 남	경 북	경 남	제 주	서 울	부 산	대 구	인 천	광 주	대 전	울 산	합계
5	15	6	6	10	16	14	14	5	2	1	2	3	1	1	1	103

○ 데이터 간 상관관계 분석

• Pearson(피어슨)

- 상관 분석에서 기본적으로 사용되는 피어슨상관계수
- 연속형 변수의 상관관계 측정

• Kendall(켄달)- 켄달상관 계수 τ

- 변수값 대신 순위로 바뀌어서 이용하는 상관계수(예: 학교등급, 졸업학위)
- 샘플사이즈가 적거나, 데이터의 동률이 많을 때 유용
- 양봉 피해 DB의 피해량에 대한 정확한 기준이 미비한 상태로 집계된 데이터이므로, 추세만을 반영하는 Kendall 상관계수를 함께 계산

• 유의수준에 대한 해석

- 상관계수가 0.8 보다 크거나 같으면, 강한 상관관계
- 상관계수가 0.6 보다 크거나 같고 0.8 보다 작으면, 상관 있음
- 상관계수가 0.4 보다 크거나 같고 0.6 보다 작으면, 약한 상관 있음
- 상관계수가 0.4 보다 작거나 같으면, 거의 상관 없음

○ 상관도 검정

- 유의 확률(p-value)이 0.1(10%percentile) 이하인 경우 상관관계가 있는 것으로 판단
- 양방향 검정(상관계수가 0과 다른지 검정), 우측 검정(상관계수가 0보다 큰지 검정), 좌측 검정(상관계수가 0보다 작은지 검정)

○ 상관도 1차 검정 결과

- 피어슨, 켄달 상관계수는 모든 검정에서 유의하지 않은 것으로 나타남
 - 유의 확률값이 모두 0.1보다 크게 나타남
 - 월동 기간에 해당하는 일일 평균 기온의 분산, 표준편차는 봉군 피해율과 상관관계가 나타나지 않음

설명수	종속변수	피어슨 상관계수	켄달 상관계수	피어슨도 유의도	켄달 유의 확률	피어슨 우측 검정	켄달 우측 검정	피어슨 좌측 검정	켄달 좌측 검정
분산	봉군 피해율	-0.04	0.00	0.85	0.99	0.57	0.52	0.43	0.49
표준 편차	봉군 피해율	-0.03	-0.02	0.87	0.90	0.57	0.57	0.43	0.45

○ 상관도 2차 검정 결과

- 지점별 시간당 기온을 일일 기온으로 평균한 후, 권역별 일일 기온값으로 거듭 평균한 값의 월별 분산값을 구하는 거듭 평균 방식으로 인한 스무딩 효과를 줄이기 위해, 기존의 계산순서를 바꿔서 지점별 일일 기온의 월별 분산값을 먼저 계산 후 권역별로 평균한 분산값을 계산하여 검정하였음
- 1차 검증결과와 마찬가지로 모든 검정에서 유의하지 않은 것으로 나타남

설명수	종속변수	피어슨 상관계수	켄달 상관계수	피어슨 양측 검정	켄달 양측 검정	피어슨 우측 검정	켄달 우측 검정	피어슨 좌측 검정	켄달 좌측 검정
분산	봉군 피해율	-0.05	-0.02	0.79	0.87	0.60	0.58	0.40	0.43
표준 편차	봉군 피해율	-0.05	-0.06	0.81	0.64	0.60	0.69	0.40	0.32

○ 농식품부 기타가축 통계자료를 이용한 상관도 검정 결과

- 기타 가축 통계자료의 ‘꿀벌 사육 군수’ 자료를 기반으로 산출된 22년 봉군 피해율과, 앞서 계산된 권역별 월동 기간 기온 분산, 표준편차와의 상관관계를 검정함
- 마찬가지로 모든 검정에서 유의하지 않은 것으로 나타남

설명수	종속변수	피어슨 상관계수	켄달 상관계수	피어슨 양측 검정	켄달 양측 검정	피어슨 우측 검정	켄달 우측 검정	피어슨 좌측 검정	켄달 좌측 검정
분산	봉군 피해율	-0.09	-0.13	0.75	0.51	0.63	0.77	0.37	0.25
표준 편차	봉군 피해율	-0.05	-0.08	0.85	0.69	0.58	0.69	0.42	0.35

- 이상과 같이, 현존하는 국내 기후데이터와 양봉 피해 및 기타가축 통계자료를 이용하여 상관성을 분석한 결과, 상관도에 있어서 통계적 유의성이 없는 것으로 나타남
- 한국양봉협회의 권역별 봉군 피해율 상관계수보다 기타가축통계를 통한 피해율 상관계수가 높아 자료의 신뢰도가 양봉협회보다 높은 것으로 사료됨
- 그러나 국내 양봉 피해 데이터가 분석하기에 그 양이 시공간적으로 매우 충분하지 못하고, 객관성 또한 보완의 여지가 크기 때문에, 향후 양봉 피해의 정확한 산정이 이루어져야 하며, 그 결과 및 데이터를 이용하여 다시 분석이 이루어질 필요가 있음
- 또한, 신뢰도 높은 피해 DB가 구축이 되었을 때, ASOS 보다 더 분해능이 높은 방재기상관측망(AWS) 자료를 이용하여 국지적인 상관 분석을 수행할 필요가 있음

(5) 기후변화로 인한 양봉 피해의 판단기준 연구

○ 이상기온 현상

- 이상고온 또는 이상저온을 판단하는 기준은 각 기관별로 다양한 기준을 사용함
- 국내 연구 이승재 등 (2022)에서는 기상청과 기후 변동에 관한 정부 간 패널(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 정의하는 이상저온과 이상고온의 기준인 10%ile와 90%ile 그리고 매우 엄격한 $\pm 2.0\sigma$ (2.5 및 97.5%ile)를 기준(Ha et al., 2004)으로 사용하여 유의미한 분석을 이행한 바 있음. 이 때, 10%ile와 90%ile를 ‘준 이상기온’ 이라고 정의하여 각각의 문턱값을 넘는 경우 ‘준 이상저온’ 과 ‘준 이상고온’ 으로 정의하였고, 더욱 엄격한 문턱값을 보이는 $\pm 2.0\sigma$ 의 경우 ‘이상저온’ 과 ‘이상고온’ 으로 정의하였음

<세계 주요 기관에서 사용하고 있는 극한 기온에 대한 정의들 (이승재 등, 2022)>

Agency	Definition
KMA	10%ile or 90%ile
IPCC	10%ile or 90%ile
WMO	Occurs once in 20 years
BOM	1, 3%ile or 97, 99%ile
UK Met office	Updating the max or min value
Meteo-France	20%ile or 80%ile
JMA	Outside of $\pm 1.83\sigma$

○ 기후변화에 의한 기온변동성 정보를 이용한 양봉 피해 추정

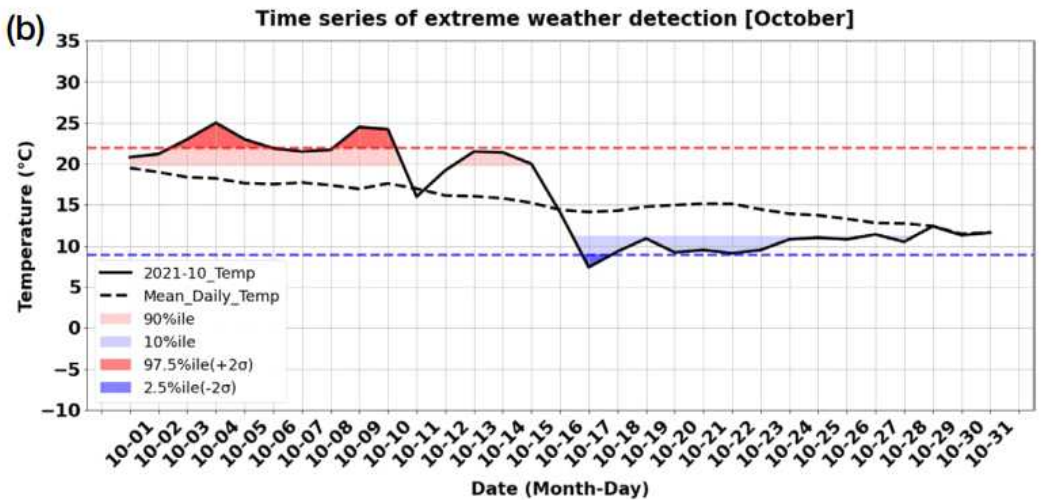
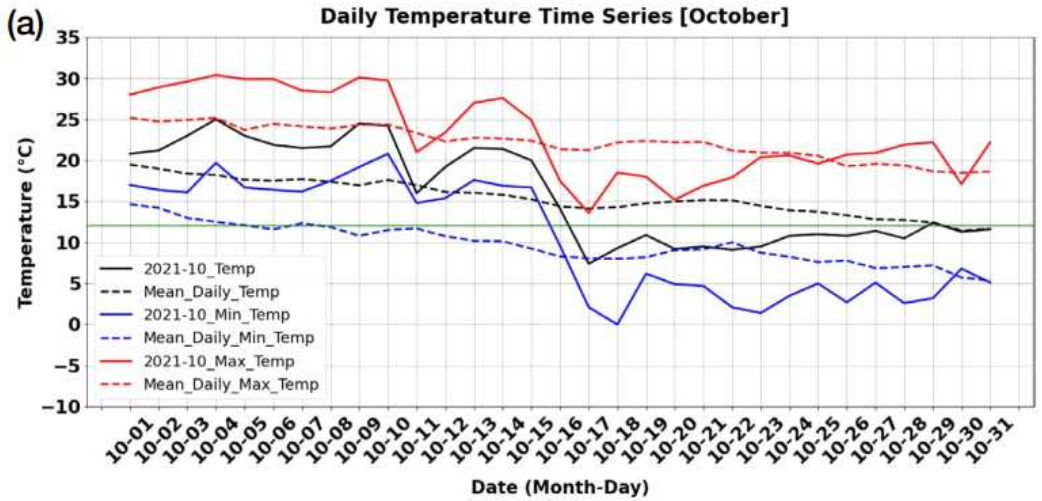
- 이승재 등 (2022)은 직접 또는 간접적으로 활용 가능한 꿀벌 생리 생태 관련 주요 온도들을 다음과 같이 언급하였으며, 기후변화로 인해 이러한 온도들의 변동이 꿀벌의 집단폐사와 대량실종 등 생태 현상에 어떻게 영향을 줄 수 있는지를 처음으로 연구함
- 꿀벌의 과냉각점은 영하 8°C (Qin et al., 2019; Muhammad and Jung, 2021), 최저 활동 온도는 6~7°C (Southwick and Heldmaier, 1987; Eskov and Tobojev, 2011)

- 늦가을 월동봉구 형성을 위한 온도는 10~14℃로 3일 이상 내려가는 경우임 (Southwick and Heldmaier, 1987; Stabentheiner et al., 2010)
- 월동봉구의 내부 온도는 육아하지 않을 경우엔 20~25℃ (Winston, 1987), 육아를 할 때에는 35℃ (Stabentheiner et al., 2010)
- 월동봉구 외벽 온도는 6~7℃ (Eskov and Toboev, 2011), 월동봉구 내 산란이 일어날 수 있는 조건은 월동봉구 형성 후 외부 온도가 12℃ 이상 3일 이상 지속될 때 (Winston, 1987)
- 꿀벌의 최저, 최적, 최고 지속비행가능 외부 온도는 각각 11~12℃ (Southwick and Heldmaier, 1987), 20~25℃ (Southwick and Mugaas, 1971; Seely and Visscher, 1985), 35~38℃ (Southwick and Moritz, 1987)
- 최저 비행가능 외부 온도는 5~6℃(가령, 이른 봄 배설비행 등 짧은 거리) (Winston, 1987), 외부 온도가 10℃는 되어야 지속적 비행을 위한 가슴 온도(28℃) 유지 가능
- 2021년 10월(월동봉구 형성시기) 및 겨울철 기온변동성의 특이성 분석
 - 월동을 위한 겨울벌 생산은 추분인 9월 23일부터 10월 23일까지 1달 동안 일어남. 이 시기에 낮 시간 온도가 12℃ 이하로 떨어지면 겨울벌 생산에 차질이 발생함. 그 이유는 10월에 기온이 12℃ 이하로 떨어지면 꿀벌이 먹이활동을 못하고, 꽃가루 수집 등이 어려워지며, 내부에서는 여왕벌을 중심으로 에워싸는 보온 활동을 해야 하므로, 여왕벌의 산란이 제한되기 때문임
 - 11월부터는 낮 시간 온도가 12℃ 이상이 3일 이상씩 있으면(특히 12월 초) 월동봉군에서 산란이 시작되어, 겨울벌의 수명이 단축됨. 그 이유는 겨울벌은 생리적으로 여름벌(=활동벌=육아벌)과 달리 수명이 150일 정도로 길며 육아를 하지 않는데, 12월 초 고온 현상으로 육아를 시작하면 체내 호르몬 구성, 생리가 달라져, 수명이 40여 일로 줄어들기 때문임
- 정철의와 배윤환 (2022)은 꿀벌 생태 관련 기온 기준값들은 아래와 정리하였으며, 기온 이외에 바람, 습도, 강수에 대한 기준값들도 점차적으로 국내에 맞게 수집 및 확정해 나가야 함

<꿀벌 활동들을 제한하는 기온 범위들 (정철의 배운환, 2022)>

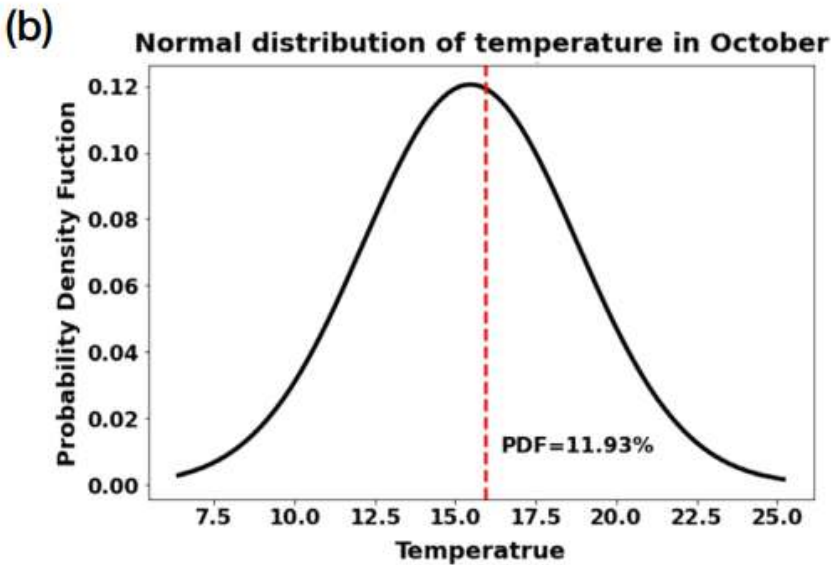
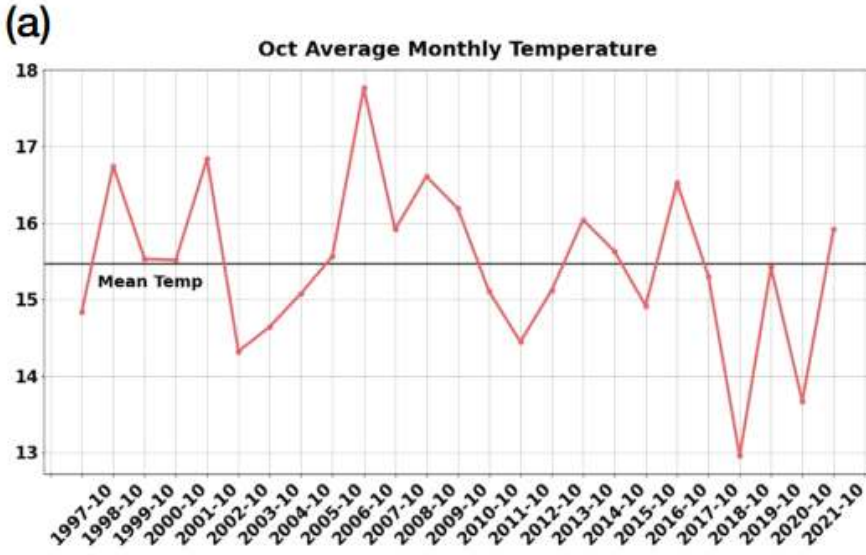
Activity	Temperature (°C)	Reference
Lower active threshold	6~7	Southwick and Heldmaier, 1987; Eskov and Toboev, 2022
Optimum brood area	35	Winston, 1987; Tautz, 2008; Yi and Jung, 2010
Fanning	35~36	Winston, 1987
Short flight	5~6	Winston, 1987
Lower foraging threshold	11~12	Southwick and Heldmaier, 1987
Flight muscle activation	10	Esch, 1988
Optimum foraging	20~25	Southwick and Mugaas, 1971; Seely and Visscher, 1985
Upper foraging threshold	35~38	Southwick and Moritz, 1987
Winter clustering	10~14	Southwick and Heldmaier, 1987; Stabentheiner <i>et al.</i> , 2010
Core of winter cluster without brood	20~25	Winston, 1987
Core of winter cluster with brood	35	Stabentheiner <i>et al.</i> , 2010
Mantle of winter cluster	6~7	Eskov and Toboev, 2022
Winter oviposition	12	Winston, 1987
Supercooling point	~8	Qin <i>et al.</i> , 2019; Muhammad and Jung, 2021

- 이승재 등 (2022)은 이러한 기온변동성의 정보를 인간이 아닌 꿀벌의 생태 관점에서 바라보고, 12°C 기온선(아래 그림에서 녹색선)을 분석 시에 꿀벌 피해 기준 온도로 활용하여 분석하였음
- 다음 그림에 따르면, 2021년 10월의 영암 지역 일 평균 시계열(a)에서 붉은색은 일 최고기온, 검은색은 일 평균기온 그리고 푸른색은 일 최저기온을 의미하며 실선은 2021년 영암의 일 기온 자료, 파선은 2021년을 제외한 일 기온 자료의 평균을 의미함. 그림을 살펴보면 영암 지역에서 2021년 10월 초순 다른 연도보다 높은 기온을 보임을 확인할 수 있음. 이러한 경향을 일 최저, 최고기온 그리고 일 평균기온 모두에서 기록하고 있음. 또한 2021년 10월 중순 초입에 기온이 하강하며 일 최고기온과 일 평균기온이 평년값에 근접하지만 최저기온의 경우 평년 대비 높은 기온을 기록하였음. 특히 영암 지역에서는 2021년 10월 10일 이후에 기온 감소 시그널이 나타나기 시작하여 10월 15일 이후 기온이 급격하게 하강하는 모습을 보임. 이때 일 평균기온을 기준으로 15일 약 20°C에서 17일 약 8°C로 기온이 12°C가 냉각됨을 보였고, 10일에 나타난 고온 현상과 비교하자면 최고기온의 경우 약 17°C 급강하, 최저기온의 경우 약 21°C의 급강하가 나타났으며 심지어 빙점에 도달하였음. 이는 꿀벌의 월동봉구 형성에 매우 불리한 영향을 주었을 것으로 분석되며 급감을 보인 기온은 이후 시간이 지남에 따라 회복되는 모습을 보이며 10월 말 평년과 유사해짐



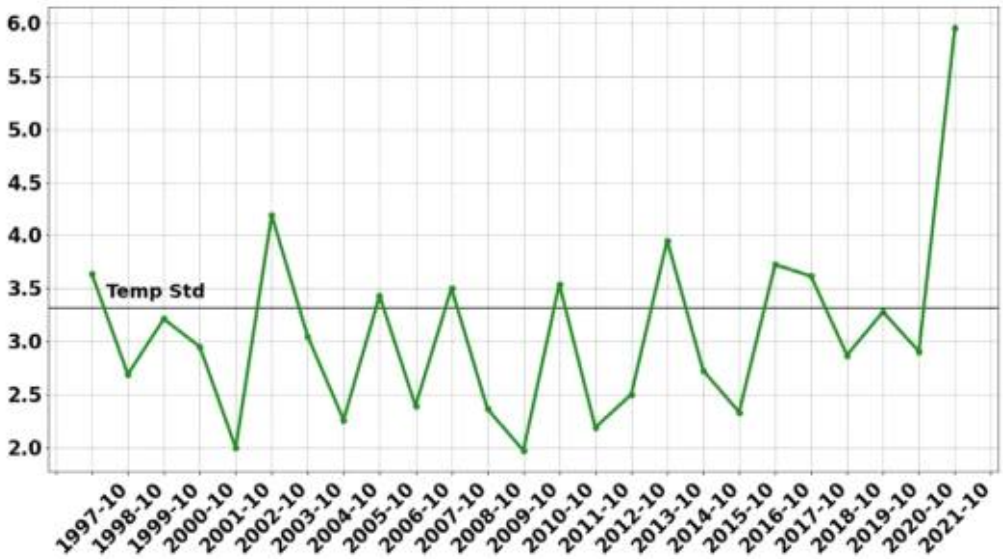
<꿀벌 월동봉구 형성 기준온도인 12°C를 배경으로, 2021년 가을(10월)의 기온 변동성 분석 (이승재 등, 2022)>

- 아래 그림은 영암 지역의 1997년부터 2021년까지 연별 10월 월 평균기온을 보여줌. 그림을 살펴보면 월 평균기온의 평년값은 약 15.5°C로 나타나고 2021년 10월의 경우 평년보다 약간 높은 16°C에 근접한 월 평균기온을 보였음. 이와 마찬가지로 영암 지역의 10월 월 평균기온의 정규분포를 살펴보면 2021년 10월의 월 평균기온이 정규분포의 중심을 기준으로 오른쪽에 분포하고 확률 밀도 함수가 약 12%임을 확인할 수 있음. 이러한 결과는 2021년 10월에 나타난 월 평균기온 값이 평년보다 조금 따뜻하고 기후학적으로도 큰 특징이 없음을 보여줌



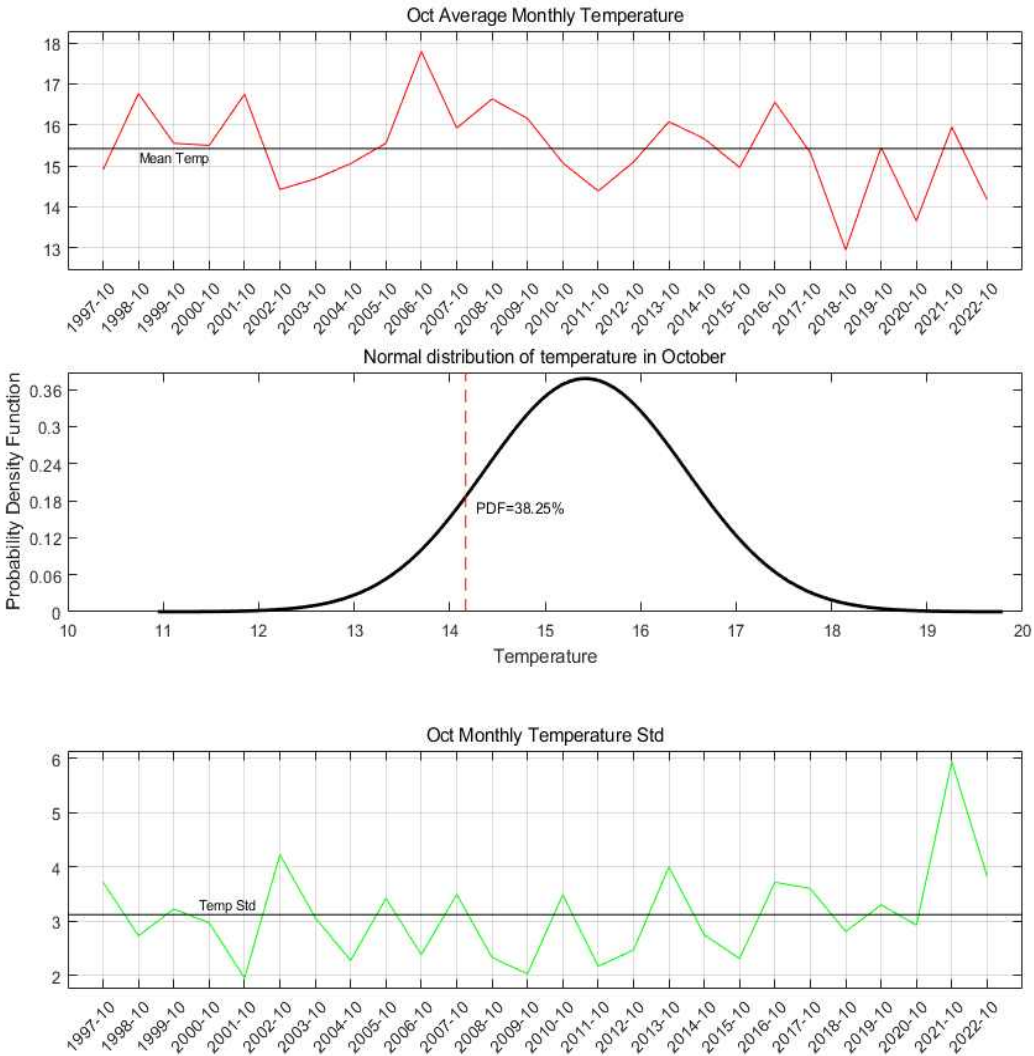
<연도별 월동봉구 형성월(10월)의 평균 기온 변화 추이 분석 (이승재 등, 2022)>

- 그러나, 연별 10월의 일 평균기온으로 계산된 표준편차 시계열을 살펴보면 영암 지역에서 평년 표준편차는 약 3.4°C로 나타났음. 하지만 2021년 10월의 표준편차를 살펴보면 약 6.0°C로 나타나 2021년 10월 영암 지역의 표준편차가 평년보다 약 1.8배 큼에 따라 일 평균기온의 변동성이 매우 컸음을 보여줌. 이러한 결과는 2021년 10월 영암 지역에서 평년과 다른 일 기온의 변동성에 의해 꿀벌의 월동봉구에 영향을 미칠 가능성이 존재함을 시사함



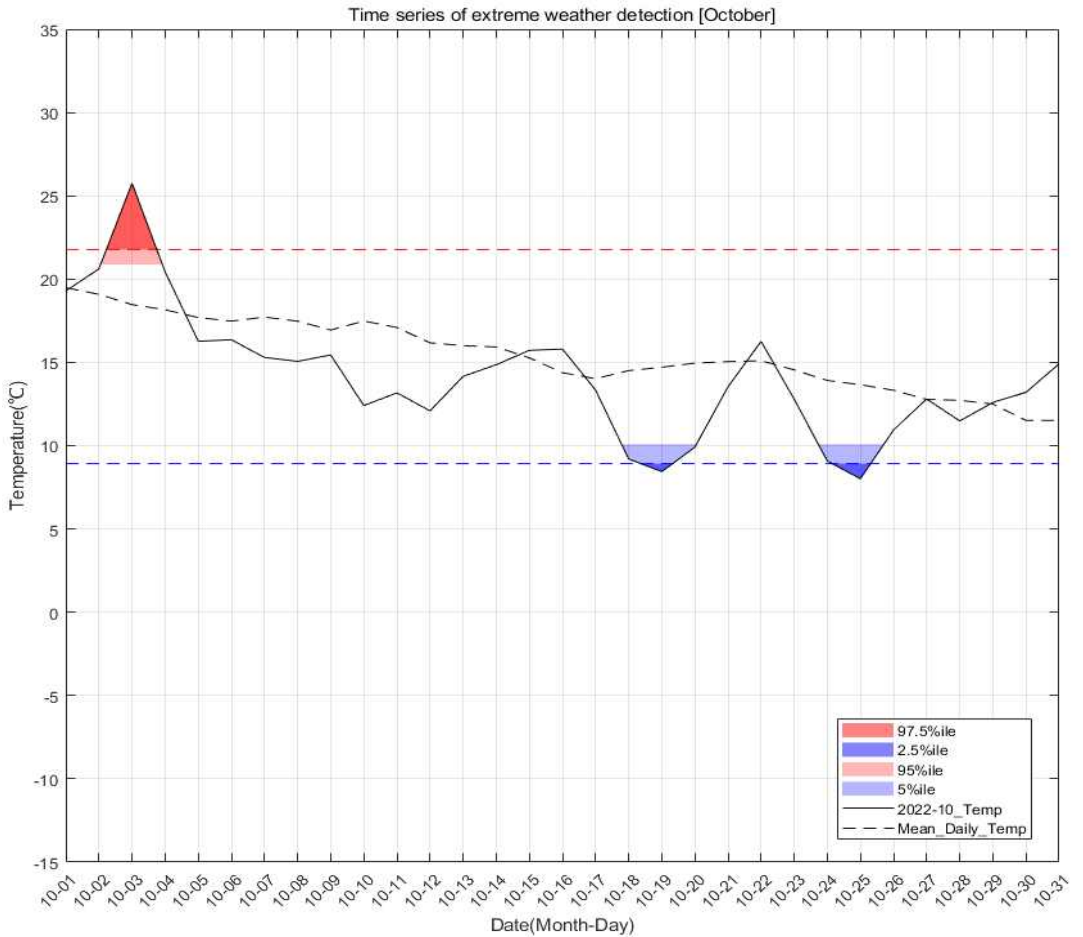
<연도별 월동봉구 형성월(10월)의 기온 표준편차 변화 추이 분석 (이승재 등, 2022)>

- 이러한 꿀벌 생태에 대한 기온 기준값들을 이용하여, 최근 2022년을 추가적으로 분석한 결과는 다음과 같음
 - 아래의 그림은 영암지역 1997년~2022년 연별 10월 일일평균기온, 1997년~2022년 연별 10월 월평균기온의 정규분포, 1997년~2022년 연별 10월 일일평균기온의 표준편차를 시각화한 그래프임
 - 10월의 경우 약 15.5도의 평균기온을 보이며, 2021년에 변동성이 가장 심했고, 2022년에는 줄어든 모습을 보임



<위에서부터 영암지역 1997년~2022년 연별 10월 일일평균기온, 1997년~2022년 연도별 10월 월평균기온의 정규분포, 1997년~2022년 연별 10월 일일평균기온의 표준편차 시계열 그래프>

- 다음 그림은 2022년 10월 영암지역 일일평균기온의 각각 95%, 97.5% 백분위수 극한기온을 시각화한 시계열 그래프임
- 변동성이 가장 심했던 2021년 10월과 비교해 볼 때, 2022년 10월은 초반의 이상고온과 중반 이후의 이상저온이 나타나는 패턴은 다소 유사했음. 그러나 이상고온의 지속 기간이 상대적으로 짧았고, 이상고온에 이어 곧바로 이상저온으로 이어지지 않아 기온의 급락 기울기도 상대적으로 약했음



<2022년 10월 영암지역 일일평균기온의 극한기온탐지 시계열 그래프>

- 이상에서 보인 바와 같이, 기후변화로 인한 양봉 피해를 판단하기 위하여 기온의 경우 먼저 월 평균값의 연도별 변화를 보면서 대략적인 패턴과 추세 및 정규분포 상에서의 위치를 파악할 수 있음. 그 다음 단계로, 해당 월 내에서 일 값(일 최고, 최저, 평균값)들의 표준편차의 연도별 변화를 보면서 IPCC와 기상청의 극한 기온 기준(10%ile, 90%ile)을 이용하여 (준)이상 고온/저온의 발생을 파악할 수 있고, 이것을 꿀벌의 활동 제한 기온 범위 기준 값들과 연관 지어 분석함으로써 양봉피해 가능성을 가늠할 수 있음. 기온 외에 강수, 바람, 습도 등에 대해서도 양봉기상통계 분석 역량을 지속적으로 배양해 나가야 함

(6) 생태환경 변화에 따른 양봉산업 정책 방향 제시

1) 기존에 제시된 정책 방향 및 내용들

○ 농림축산식품부 『양봉산업 5개년 종합계획』

『양봉산업 5개년 종합계획』

- ① 밀원 확충 및 채밀 기간 확대
- ② 병해충 관리강화 및 우수 품종 개발·보급
- ③ 사양관리 신기술 개발·보급 및 인력육성
- ④ 연구개발 강화
- ⑤ 농가 경영안정 지원

○ 그린피스 『벌의 위기와 보호정책 제안』

『벌의 위기와 보호정책 제안』

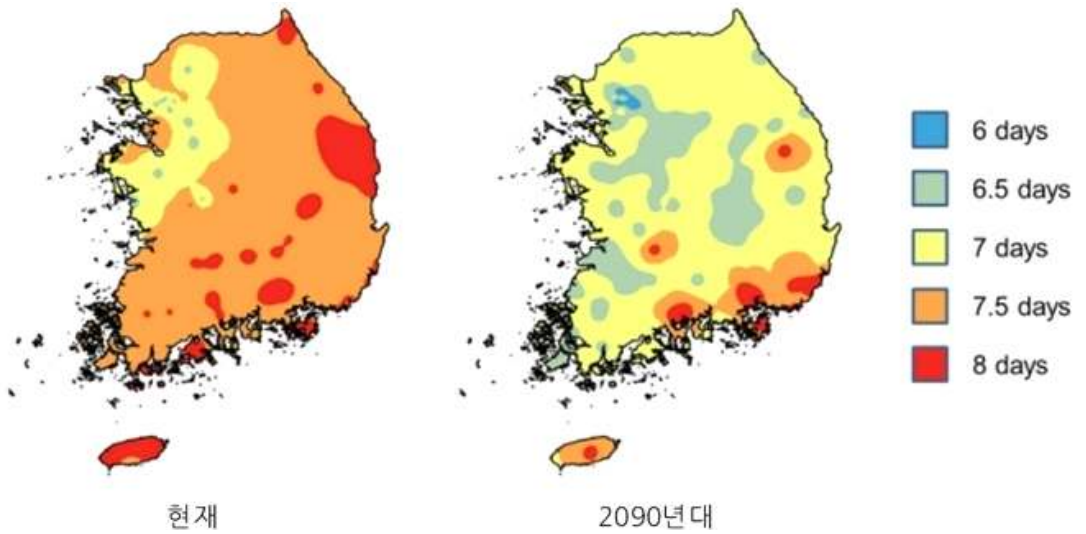
- ① 국내 밀원면적 최소 30만ha 이상 확보
- ② 국유림과 공유림 내 다양한 밀원 확대
- ③ 사유림 내 생태계 서비스 제공 조립의 직접 지불 확대
- ④ 생활권 화분매개 서식처 확대
- ⑤ 국무총리 산하 위원회 설립

○ 꿀벌 피해 예방 및 대책 마련을 위해 이상기후 대응, 밀원식물 조성, 살충제 사용감소, 질병 예방 및 치료 지원 등을 추진

○ 밀원식물 조성 및 관리를 위해 밀원식물 종류 및 분포조사, 밀원식물 조성 지원 등을 추진

● 농촌진흥청에서는 지역별 아까시나무 개화기간이 점점 짧아짐에 따라 밀원 식물 조성 및 관리가 요구됨

● 선행연구에 따르면 꿀벌 개체 수 감소 원인은 바이러스, 응애, 농약, 기후 변화로 꼽고 있어 주변 환경에 따라 취약할 수 있음



<지역별 아까시나무 개화기간 분포 예측 결과> (출처: 농촌진흥청, 2021)

<농작물 수분에 있어 꿀벌 기여도(IPBES, 2016)>

작물	화분의 곤충의존도	화분곤충 중 꿀벌 비율
사과	100	90
아몬드	100	100
양파	100	90
브로콜리	100	90
당근	100	90
해바라기	100	90
캐달로프 멜론	80	90
기타 과일 및 견과류	10~90	10~90
기타 채소 및 멜론류	70~100	10~90

(단위 : %)

<꿀벌 개체 수 감소 원인(Calderone, 2012)>

바이러스	벌 애벌레 감염, 벌 돌연사로 알려진 군집붕괴현상 유발
농약	벌 신경계 이상 유발
기후변화	벌의 산란 방해, 겨울철 집단 폐사유도
말벌	벌 집단 폐사 원인
응애	벌의 피를 빨아 먹음

- 양봉 교육 및 기술지원을 위해 양봉 학교 운영, 양봉 관련 정보 제공, 양봉 기술 연구개발(R&D) 등을 추진
- 특히 일부 농작물 수분에 있어 꿀벌의 기여도는 90% 이상으로 밀원식물 조성 지원을 통해 양봉산업을 보호해야 할 필요가 있음



<2023년 광진구 도시양봉학교교육 모습 (출처 : 시정일보)>



<양봉 전문가 교육(출처:서울특별시 농업기술센터)>

- 국민 건강 및 정서 안정 치유를 위한 양봉 바이오산업 혁신밸리를 조성하여 국민의 상처를 어루만지는 농업, 치유농업으로 활용
- 양봉 바이오산업 혁신밸리 관련된 활동을 이용하여 국민의 신체, 정서, 심리, 인지, 사회 등의 건강을 도모하는 산업으로 유도

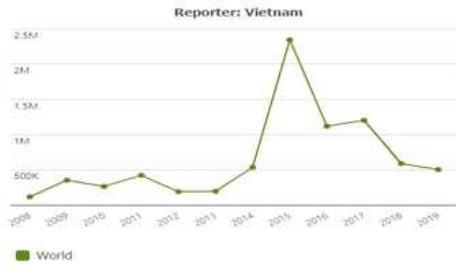


<치유농업으로서의 양봉 바이오 혁신밸리(출처: 서울시 농업기술센터)>

- 양봉산업의 수출 진출 지원을 위해 해외 전시회 참가, 해외 시장 개척 지원 등을 추진



양봉 연구소 세미나 개최



’08- ’19 베트남 꿀 수출액 현황

출처: vcn.mard.gov, nhpcaudautu, trendeconomy

<베트남 양봉 연구소 세미나 개최 및 베트남 꿀 수출액 현황(출처: 농식품수출정보)>

- 꿀벌의 생태적 가치에 대한 인식 제고를 위해 꿀벌 교육 및 홍보, 꿀벌 관련 연구개발(R&D) 등을 추진



<인공지능을 통한 사양관리(출처: AI타임스)>



<태양광 스마트벌통(출처: 이투뉴스)>

- 꿀벌 감소(피해)의 원인은 과도한 약제를 사용한 것이 원인으로 의심함 (우건석, 2008)
- 꿀벌 감소(피해)의 원인은 바이러스, 해충(응애), 농약 살포, 전자파, 기후변화 등이 복합적으로 작용한 것으로 추측 (윤호우, 2008; 부록 B)

● 불안한 생태환경

19세기 이후 지구상의 인구증가는 더 넓은 농경지를 필요하게 되어 농산물 증수가 최대의 목표가 되었습니다. 더 많이 먹거리를 생산해야 된다는 압박은 병·해충의 방제를 위해 농약과 비료의 사용이 늘어날 수밖에 없었습니다. 많이 생산해야 하는 목표가 환경의 질을 훼손시킨 것입니다. 벌들의 탈출현상도 나빠진 벌통 내부 환경에서 원인을 찾아나서야 합니다. 예를 들겠습니다. 2004년 2월 전남 진도에서 겨울을 보냈던 C씨의 봉군 200여 통에서 알 수 없는 일벌의 실종현상을 확인하였는데 원인은 보온판 제작에 사용한 본드 때문이었습니다. 우리가 느끼지 못한 소량의 화학물질이 벌에게는 치명적으로 작용하여 일벌 모두 도망간 좋은 예가 되었습니다. 좁은 소상안에 방제용 약제가 넘쳐난다면 벌들의 탈출은 일어나기 마련입니다. 그래서 CCD의 원인이 여러 가지로 추정되고 있지만 과도한 약제를 사용한 것을 원인으로 의심하게 되었습니다.

<꿀벌의 탈출은 왜 일어나는가? >
(우건석, 2008)

로 가져가는 것은 주업이지만, 온몸에 뒤집어쓴 꽃가루로 다른 꽃에다 가루받이를 해주는 것은 부업이라고 할 수 있다. 꿀벌의 부업으로 지구의 식물은 열매를 맺는 셈이다. 사과, 배, 딸기 같은 달콤한 과일뿐 아니라 벼와 보리 같은 곡식도 꿀벌의 꽃가루 채취로 열매를 맺는다. 윤병수 교수는 “만약 꿀벌이 줄어들다면 죽정이 열매가 많이 열린다”며 “농작물의 감소가 바로 코앞에 닥친 현실이 될 수 있다”고 말했다.

기후변화가 꿀벌 감소 원인일 수도

‘꿀벌의 부업’(가루받이)은 최근 꿀벌을 키우는 양봉업자들에게 ‘꿀벌의 주업’(꿀과 꽃가루 채취)에 못지않게 수입을 올려준다. 딸기나 토마토 등을 키우는 비닐하우스에 벌통을 빌려주거나 파는 것이다. 꿀벌이 딸기꽃과 토마토 꽃을 부지런히 오가면서 딸기·토마토와 같은 맛있는 과일의 작 열리게 해준다. 어떤 여그 경과는

미국과 유럽의 꿀벌 연구자들은 꿀벌이 사라지는 CCD 현상에 대해 연구하고 있지만 아직까지 이렇다 할 원인을 발견하지 못했다. 바이러스, 꿀벌에게 해로운 해충인 응애, 농약 살포, 전자파, 기후 변화 등이 꿀벌을 사라지게 하는 원인이 아닐까 추측하고 있다. 지난해 사이언스지에서는 CCD 현상의 원인이 이스라엘급성마비 바이러스(IAPV)로 추정된다는 논문이 발표했다. 날씨가 갑자기 따뜻해지거나 이상해지는 기후 변화 때문에 꿀벌이 사라지고 있다는 분석도 있다. 최용수 연구사는 “꿀벌은 여왕벌 한 마리에 일벌 수만 마리가 모여 사는 사회를 구성한다”며 “기온 변화로 꽃이 피는 시기라든지, 장소가 바뀌면서 사회 질서가 무너지는 경우가 발생할 수 있다”고 설명했다. 기후 변화가 꿀벌이 사라지는 복합적인 원인 중 하나일 수 있다는 것이다.

어떤 이유에서인지는 정확히 모르지만, 지금 미국에서는 꿀벌이 지구의 도요자지 안고 있다

<동물들의 눈으로 본 생태변화 (윤호우, 2008)>

2) 본 연구팀의 자체 수행한 선행연구 내용 (이승재 등, 2022)

- 꿀벌 피해지역과 그렇지 않은 지역을 테스트 베드로 분류하고, 실험군과 비교군을 설정하여, 매년 정례적으로 기후변화와 양봉의 관계 연구를 수행 (이 때, 피해 DB의 종류에 관계 없이 공통적으로 나타나는 피해지역과 안전지역을 활용)
- 기후와 꿀벌 생태 관련 연구를 지역별로 정교화하여, 전남 평지 지역 외에 다른 지역들에 대하여 차별화된 분석 시행 (가령, 전남 평지, 제주도 지역, 강원 산지 등 지역별로 접근)
- 기온 변수 외에, 습도, 바람 등 다양한 기상 변수들에 대하여, 또 다른 계절에 대하여, 꿀벌 생태 및 기능에 대하여, 정기적 영향 평가
- 밀원수, 꿀벌응애, 농약, 바이러스, 전자기파 등 다른 기작들과 기후변화 요인을 접목시킨 종합적 이해와 분석 체계 가동. 이를 위해 이 분야들 전문가들로 구성된 위원회의 정기 운영 필요 (가령, 농약에 노출이 누적된 꿀벌은 면역력과 체력이 저하되어서, 작은 기온 변동에도 견디지 못하고 취약해질 수 있음)
- 농림지원에 특화된 고해상도 수치모델의 구축 및 운영(Lee et al., 2016)을 통해 피해 발생 지역의 기온변화 예측가능성을 제고
- 이를 기반으로 양봉업자 및 양봉 작업을 위한 맞춤형 기상 정보 개발
- 꿀벌 기상에 특화된 예측 및 조치 안내 서비스의 구현

3) 본 과제 진행 중 수행한 자문회의

- 이승환 서울대학교 농업생명과학대학 교수 (2023. 8)
 - 우리나라도 꿀벌 집단폐사 문제가 심각한데, 미국은 CCD가 이미 이슈화되었고, 지금 세계적 이슈가 되어 있으며, 원인을 밝히는 작업을 진행 중임
 - 미국의 경우, 원인을 한 가지로 말하고 있지는 않고, 꿀벌의 스트레스를 증가시키는 방향으로 종합적으로 진행이 되고 있다고 봄
 - 꿀벌의 집단면역체계가 여러 요인에 의해서 약화. 가령, 질병, 응애, 설비재, 농약, 살충제, 내성 강화, 기후변화(이상기상), 좁은 나라에서 이동양봉(인위적 요인으로 벌들에게 좋지 않음), 전자파 등
 - 기후변화는 1) 꿀벌 자체에 영향을 주고, 2) 밀원식물에 영향을 줌. 우리나라는 밀원식물로서 아카시나무 의존도가 높고, 화밀분비량의

변동성이 큼. 따라서, 자연식품(천연식품)을 못 먹고 인공설탕물, 인공화분(단백질)을 먹게 되는 문제가 발생함. 기후변화에 응애는 진화하는데 약은 그대로니, 내성에 문제 발생할 소지 있음

- 꿀벌에 특화된 기상/기후 정보 생산 및 고도화가 필요하고 (월동 기상, 계절 기상, 밀원지역 기상, 양봉지역 기상예측), 밀원식물에 대한 영향을 예측하여 화밀분비량 및 꿀 생산량 예측 필요
- 기상을 상수로 놓고 꿀벌을 연구하고 있는데, 기상이 변수가 된 지금, 기상 전문가가 이 분야에 필요(가령, 24절기가 점점 맞지 않음)

○ 이병렬 (전) WMO 농업기상위원회위원장 (2023. 9)

- 계절 관측에 초점을 맞춰, 꽃의 개화 시기와 벌들의 활동시기 간 불일치를 줄일 수 있도록 기상예측 시스템을 보완
- 객관적인 꿀벌기상 및 양봉기상 정보 제공을 위해서는 고해상도 수치예보 시스템 및 고해상도 기후변화 시나리오 기반의 접근법이 바람직함
- 아래의 기 발표된 제안 내용에 기후변화에 대비하는 내용을 보완하는 것이 바람직함

『벌의 보호정책 제안』

- ① 국내 밀원면적 최소 24만ha 이상 확보
- ② 국유림과 공유림 내 다양한 밀원 확대
- ③ 양봉 바이오 치유산업 혁신밸리조성
- ④ 양봉산업피해 보전과 산림 밀원림확보를 위한 지원 근거 마련 (‘양봉직불제’와 ‘밀원림직불제’)
- ⑤ 국무총리 산하 위원회 설립
- ⑥ 생활권 화분매개 서식처 확대

○ 정철의 국립안동대학교 교수, (현) 한국양봉학회장 (2023. 11)

- 양봉산업의 기후변화가 양봉산업에 미치는 영향들

- 밀원식물 개화기에 변화를 야기

㉔ 일부는 빨리 피고 일부는 늦게 피게 되는 경우: 꿀벌 활동기와 불일치 가능성이 발생해서, 이로 인한 양봉산업의 생산성이 저하됨

㉕ 전국 동시개화 현상 발생하는 경우: 대부분 봄철 개화는 봄철의 온도 누적에 의해 이루어지는데, 봄철 온난화는 빠른 속도의 온도 누적으로 인한 동시개화 가능성을 높임 ==> 양봉가의 이동양봉 시간 부족으로 인해 순차적 채밀이 어려워짐 ==> 벌꿀 생산량 감소

- 양봉 관리의 어려움을 증가시킴

- 꿀벌 활동기간 증가로 인한 사양관리 기간 증가로 경영 재료비(먹이 등), 인건비 등 경영비 상승, 늦가을 따뜻한 기온으로 인한 겨울벌 생산 시기 지연, 겨울벌의 노동 증가 우려 ==> 월동 자격군 생성 어려움, 월동기 기상변동성이 심해질 경우 월동 실패 가능성 증가

- 병해충 측면에서는 꿀벌 기생성 응애의 활동 기간을 증가시킴. 기생성 응애류는 꿀벌 애벌레 방에서 번식하는 바, 번식 기회의 증가로 인한 해충 부담 증가함. 이로 인한 약제방제 등 방제 횟수 증가는 약제 저항성 발달 가능성 증대 ==> 방제 여건 악화, 꿀벌 피해 증가 우려

- 아열대성 해충(가시응애) 발생 여건 증가: 국내 꿀벌 기생성 응애류는 꿀벌응애와 가시응애가 있는데, 가시응애의 상대적 위험도 증가. 꿀벌응애는 온대지역 원산이고, 가시응애는 아열대 원산으로 겨울철 기온이 온난할 경우 폭발적 대발생 위험이 존재. 최근 전세계적으로도 가시응애 비상령이 내려질 만큼 가시응애 중요성이 커지고 있음. 즉 양봉농가는 원투펀치에 대비해야 하는 상황

- 가을철 말벌 집단 성장 가능성: 국내 토착 9종의 말벌(장수말벌이 대표)이 있고 아열대 원산 등검은말벌이 2003년 국내 침입함. 가을철 말벌류는 꿀벌의 주요 포식자로서 겨울벌의 상당 부분을 포식함. 이로 인해 월동집단의 크기가 작아질 경우, 집단 폐사 가능성이 높아짐

- 아열대성 해충(등검은말벌) 발생 여건 호전: 국내 침입한 등검은말벌은 전국적으로 분포하고 있으나, 강원지역 등 상대적으로 온도적합성이 낮은 지역에서 개체군 밀도가 높지 않은 편임. 그러나 기후온난화 등으로 전국적으로 밀도 형성이 가능해질 경우, 말벌에 의한 피해는 가중

- 양봉산업 발전을 위한 정부의 기후변화 대응 방안
 - 기후변화 적응형 양봉관리 연구 개발
 - 꿀벌의 육종: 우리나라 기후에 맞는 지역 꿀벌집단 도입 또는 육종. 화분매개용 등 특화 분야
 - 병해충 관리: 계절적응형 병해충 관리 모델 개발 및 개선
 - 사양관리: 기후적응형 사양관리 체계 개발
 - 양봉환경, 양봉사 등 기반시설 등 개선을 통한 기후영향 저감
 - 양봉산업 연관 재난관리 시스템의 개선
 - 농작물재해보험 등과 적절한 연계, 보상범위 재정리 등 필요
 - 기후변화 적응형 밀원자원 도입
 - 산림밀원: 내화성, 경제수종, 특용수종으로 변경, 산림밀원 조성에 대한 인센티브(예, 밀원수직불제 등) 확대, 지역거점 산림밀원단지 조성 등
 - 농작물밀원: 경관작물 중심의 밀원 확대, 농경지 화분매개식처 확대 및 친환경마을조성 사업 등에 반영
 - 도시 밀원: 도시 녹지 공간의 밀원 확대. 특히 토착자원 중심의 밀원 확대. 인공먹이 등 양분관리
 - 농작물과 산림의 화분매개 생태계 서비스 강화 지원
 - 밀원자원에 따른 전국적 적정 봉군밀도 조절 시스템 구성
 - 양봉산업 자료 (DB) 구축 및 정도 개선
 - 객관적 자료 확보 방안 연구
 - 등록 요건 개선 (현재 전(밭)을 대상으로 등록 가능케 되어 있지만, 산림지역에 양봉장을 개설 가능케 하여 유연성 강화



<본 과제 연구책임자의 사회로 실시된 서울대학교 관악캠퍼스 2023년 11월 30일 전문가 자문회의 장면. 한국양봉학회장 안동대학교 정철의 교수와 서울대학교 남재철 초빙교수 등이 참석하였음>



<본 과제 연구책임자의 사회로 실시된 서울대학교 수원캠퍼스 2023년 8월 31일에 개최된 기후변화와 생태계 관련 농림기상 워크숍 장면 (이병렬 전 WMO 농업기상위원회 의장, 김광수 서울대학교 농작물 전공 교수 등이 참석함)>

IV. 결론 및 제언

- 꿀벌의 감소는 화학 약제 사용 등 양봉 활동에 있어서 인위적인 부주의나 비과학적 조치로 인해 꿀벌의 관리에 실패한 것이 주원인으로 미국, 유럽 등 해외 및 국내에서 분석되었음. 이에 더하여, 최근에는 지구온난화 및 지역기후 변동성 심화 등 기후변화에 의한 요인도 많은 관심과 주목을 받고 있음
- 우리나라의 전반적인 장기 기후변화와 최근 10년 기후변화가 기온의 측면에서 모두 +의 방향을 보여, 기후가 비교적 안정적이었던 과거에 비해 전지구 온난화에 따른 기상변동성(표준편차)이 국지성을 띠면서 크게 나타날 수 있고, 이는 꿀벌 자체 및 활동에 영향을 줄 뿐만 아니라 꿀벌의 먹이가 되는 밀원 식물의 개화시작과 종료에 영향을 주며, 꿀벌의 생체 호르몬이나 활동 주기와 조화되지 않고 불규칙하며 특이할 수 있음
- 벌꿀 생산에 가장 많은 부분을 차지하는 아까시나무의 개화시기에 대한 기상청 자료를 식약처의 벌꿀판매량, 양봉농협의 수매자료, 농식품부의 벌꿀생산액 및 벌꿀생산지수와 비교했을 때, 정성적으로 다소 간의 상관성이 나타났음. 개화시기가 빨라지면(늦어지면) 벌꿀 생산량이 감소(증가)하는 이유는 다양하게 해석될 수 있겠으나, 꿀 생산이 원활하게 되려면 꽃이 필 때 땅의 온도도 함께 상승하면서 전체적으로 따뜻함을 유지해 줘야 하는데, 이른 개화는 따뜻한 땅 온도가 뒷받침되지 않기 때문에, 심한 일교차로 인하여 꽃눈이 얼어 죽는 동사 등의 문제가 발생할 수 있음. 그러나 개화시기 만으로는 설명이 안 되는 해가 존재하므로, 기상 요인과 상관성이 약하거나 없는 경우가 존재함
- 도(province) 단위의 양봉협회 피해율 DB와 기상청 종관기상관측를 이용하여 분석하였을 때에, 기온과 꿀벌 피해가 통계적으로 유의미한 상관관계는 없는 것으로 나타났음. 그러나, 양봉협회 피해율 DB 자료가 시공간적으로 매우 성긴 자료이고, 다년치 자료가 없으며, 객관성이 결여된 부분이 있어서, 분석에 한계가 존재하였음. 객관적이고 정확한 양봉피해 DB가 마련되면, 가령 오스트리아 지역의 연구 Switanek et al. (2017)과 같이 기온 외에 강수 등 다른 변수에 대한 분석도 꿀벌과 관련하여 향후 심층적이고도 실증적으로 이루어져야 함

- 양봉피해 조사 시기나 대상이 조사기관별로 다르고, 피해 조사 방법론이 국내에 정립되어 있지 않기 때문에, 주관적인 답변이나 불충분한 수치들이 많아서, 자료 이용 및 결과 분석에 한계가 있음. 피해 양봉지역과 정상 양봉지역의 구분이 되어야 하고, 이에 대한 분석이 비교적으로 이루어져야 함
- 지구온난화가 더욱 심해질 것으로 대부분의 기후학자들은 전망하므로, 지금 당장 지속적이고 전국적인 꿀벌 피해가 없다고 하더라도, 경각심을 가지고 이를 대비하기 위하여 양봉지역과 밀원지역 맞춤형 기상기후정보서비스(기상변동성 예측, 개화예측, 화밀분비량예측)를 연구 개발하고 고도화 해 나가서, 양봉업자들이 꿀벌 관리를 위한 과학적 의사결정에 활용하도록 지원할 필요가 있음
- 기존에 제시되어 있는 양봉산업의 정책 제언 사항은 다음과 같음
 - 밀원 확충 및 채밀기간 확대
 - 국내 밀원면적 최소 20~30만ha 이상 확보
 - 국유림과 공유림의 다양한 밀원 확대
 - 생활권 화분매개 서식처 확대
 - 사유림 내 생태계 서비스 제공 조림의 직접 지불 확대
 - 양봉산업 피해 보전과 산림 밀원림확보를 위한 지원 근거 마련 (‘양봉직불제’와 ‘밀원림직불제’)
 - 병해충 관리강화 및 우수 품종 개발·보급
 - 사양관리 신기술 개발·보급 및 인력육성 - 선진국의 양봉기술 전수, 해외전시회 참가
 - 연구개발 강화
 - 기상요인과 꿀벌 생리/생태 연구 및 스마트 양봉 시스템 적용 방안 연구
 - 봉군 생리/생태 이상 지표 탐색 및 이상기후 대응 관리기술
 - 밀원단지 조성 모델 구축 및 생산성 최적화 기술개발
 - 화분매개곤충 및 식물 데이터 베이스 구축
 - 기후변화 대응 생태계서비스 취약성 평가
 - 밀원수 개화 모델 개발을 위한 고해상도 농림기상 수치예보 정보 개발

- 취약성 분석 및 밀원수 적지 판정 모델 개발을 위한 기상예측정보 개발
- 농가 경영안정 지원
- 정부(국무총리) 산하 위원회 설립
 - 양봉산업의 특성상 환경부, 국토부, 행안부, 산자부 등이 모두 연관되어 있음

○ 이러한 기존 양봉산업 정책에 보완적으로 조화되도록 기후변화 및 이로 인한 기상변동성을 고려하는 방향으로 아래 내용을 제안함

- 첫째, 변온동물로서 기상에 따라 체온이 변하고 외부 활동을 바꾸는 꿀벌과 양봉 지역에 특화된 농림기상 정보 생산 정례화 및 상시 모니터링 체계를 구축해 나가야 함
- 둘째, 매년, 매월 단위 및 수시로, 기상 변동성 및 꿀벌 생태 관련 기온 뿐만 아니라, 바람, 습도, 강수 등 다양한 기상학적 임계치들(가령, 정철의 배운환 (2022)이 제시한 기온 임계치)과 양봉 현황(피해) 간 상호 관계를 추적하고 분석(가령, 이승재 등 (2022))해야 하며, 이를 위해서는 농림기상통계 전문인력 또는 업무협약을 맺은 기관이 시, 군, 지자체에 확보될 필요가 있음
- 셋째, 국가 또는 사회적으로 양봉 관련 이슈가 대두될 때 기후변화 요인 및 기상변동성의 상대적 기여도를 측정 및 제시해야 함. 아울러 장마와 같은 여름철 우기와 집중오후, 강풍과 태풍, 폭염, 서리, 적설, 우박 등 위험기상과의 연관성도 연구가 필요함
- 넷째, 여러 종류의 피해 DB에서 공통적으로 나타나는 피해지역(실험군, 위험군)과 안전지역(비교군)을 선정, 발표, 지원, 지속적 관리해야 함
- 다섯째, 농작물 밀원(야생화 포함)과 산림 밀원의 재분류, 조성, 확대와 도시 녹지 공간에 토착자원 중심의 도시 밀원 확대해 나가야 함
- 여섯째, 밀원 지역 및 양봉 지역에 특화된 고해상도 농림기상 수치예보 생산 시스템 구축, 검증, 개선, 피드백으로 이루어진 환류 체계를 구성해야 함
- 일곱째, 곤충학-농림기상학-ICT 등과 같이 다학제적 과학 연구 기반의 꿀벌 계절기상 (월동기상), 화밀분비량, 꿀 생산량 예측 개발 및 농작물과 산림의 화분매개 생태계 서비스 강화를 위한 지원을 해야 함
- 여덟째, 꿀벌 생태, 밀원식물, 개화 시기 등에 대한 기상예측 서비스 콘텐츠 다양화 및 검증을 통한 고도화를 지속해 나가야 함

- 아홉째, 고정양봉가 및 이동양봉가를 위한 양봉기상 관측 및 예측정보 알림 서비스 제공 등 권역별 또는 전국 단위 수요자 맞춤형 의사결정 지원체계를 계속 개발해야 함
- 열째, 기후전망과 연계된 지역 꿀벌집단 도입 또는 육종에 장기적인 투자를 해야 함
- 열한째, 기후변화 적응형 병해충 관리, 사양 관리, 양봉사 관리 등 제반 양봉 관리 연구 개발이 필요함
- 열두째, 내화성, 경제수종, 특용수종으로 변경, 산림밀원 조성에 대한 인센티브 확대, 농작물재해보험 등과 적절한 연계, 보상범위 재정리 등 양봉산업 연관 재난관리 시스템의 개선이 이루어지도록 검토가 필요함

참고문헌

1. 기상청, 2016, 계절관측지침 전문
2. 김경문, 이만영, 최용수, 강은진, 박희근, 박보선, Frunze Olga, 김주경, 한상미, 우순옥, 김세건, 김효영, 김성국, 김동원. 2021. 아카시아 벌꿀의 연간 생산량 현황과 환경 요인 분석. *Journal of Apiculture*. 36(1):11-16.
3. 농림축산식품부, 2020, 농림축산식품 주요통계
4. 농림축산식품부, 2022, 농림축산식품 주요통계
5. 류장발. 우리나라의 밀원식물에 대한 고찰. *Journal of Apiculture*. 18(1):5-22.
6. 우건석. 2008. 꿀벌의 탈출은 왜 일어나는가?. *양봉협회보*. 329:24-27
7. 윤호우. 2008. “동물들의 눈으로 본 생태변화” 꿀벌들이 벌집을 떠나고 있다. *양봉협회보*. 331:48-51
8. 이승재, 김수현, 이재용, 강정혁, 이승민, 박형준, 남재철, 정철의, 2022: 꿀벌의 월동 폐사와 실종에 대한 기온 변동성의 영향, *Journal of Apiculture*. 37(3):331-347
9. 정철의. 2015. 미래 기후 환경에서 꿀벌응애 개체군 동태 모의연구. *Journal of Apiculture*. 30(4):349-358
10. 정철의. 2022. 환경친화적 식량생산을 위한 꿀벌의 다원적 가치. *식품과학과 산업*. 55(2):166-175.
11. 정철의, 배윤환, 2022. 겨울 세대 일벌의 생산 시기와 환경 분석: 월동폐사 문제 고찰, *Journal of Apiculture*. 37(3):265-274
12. 하경자, 하은호, 류철상, 전은희. 2004: 1909년 이후의 우리나라 4대 도시의 기온 경향과 극한 기후. *한국기상학회지*. 40(1):1-16
13. Baker, M. 2020. Murder Hornets vs. Honeybees: A Swarm of Bees Can Cook Invaders Alive. *The New York Times*. 4.
14. Calderone NW. Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: trend analysis of aggregate data for the period 1992-2009. *PLoS One*. 2012;7(5):e37235.
15. Flores, J. M., Gil-Lebrero, S., Gámiz, V., Rodríguez, M. I., Ortiz, M. A. and Quiles, F. J. 2019. Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. *Science of the Total Environment*. 653, 1111-1119.
16. Gajardo-Rojas, M., Muñoz, A. A., Barichivich, J., Klock-Barría, K., Gayo, E. M., Fontúrbel, F. E., Olea, M., Lucas, C. M. and Veas, C. 2022. Declining

- honey production and beekeeper adaptation to climate change in Chile. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 46(5):737-756.
17. Heinrich, B. 1979. Keeping a cool head: honeybee thermoregulation. *Science*. 205(4412), 1269-1271.
 18. Hosni, E. M., Al-Khalaf, A. A., Nasser, M. G., Abou-Shaara, H. F. and Radwan, M. H. . Modeling the potential global distribution of honeybee pest, *Galleria mellonella* under changing climate. *Insects*. 2022, 13(5), 484.
 19. Human, H., S. W. Nicolson and V. Dietemann. 2006. Do honey-bees, *Apis mellifera scutellata*, regulate humidity in their nest. *Naturwissenschaften*. 93: 397-401.
 20. IPBES. 2016. Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production
 21. Jones, J. C., Nanork, P. and Oldroyd, B. P. 2007. The role of genetic diversity in nest cooling in a wild honey bee, *Apis florea*. *Journal of Comparative Physiology A*. 193:159-165.
 22. KMA. 2020: Korean Climate Change Assessment Report 2020. ISBN 978-89-954715-8-6. 42pp.
 23. Lee, M. L., G. H. Byoun, M. Y. Lee, Y. S. Choi and H. K. Kim. 2015. The Effect of Temperature, Yellow Sand, and Acid Rain on Life Span and Nosema Infection Rate in Honeybees, *Apis mellifera* L. *Korean Journal of Apiculture*. 30(4): 269-274.
 24. Lew, Y. S. 1992. A study on Robinia pseudoacacia and beekeeping industry in Korea. *Korean Journal of Apiculture*. 7(1): 78-94
 25. Park, B., Y. S. Choi, E. J. Kang, H. Park, F. Olga and D. Kim. 2020. Analysis of royal jelly production status against establishment of smart farm system in Korea. *JKITS*. 15(5): 845-853
 26. P. D. Valz, 2007: A Tremendously Simplified Derivation of the Variance of Kendall's *T*, Department of Statistical and Actuarial Sciences, University of Western Ontario
 27. Rosenkranz, P., Aumeier, P. and Ziegelmann, B. 2010. Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of invertebrate pathology*. 103:96-111
 28. Steinhauer, N.A., Rennich, K., Wilson, M., Caron, D., Lengerich, E., Pettis, J., Rose, R., Skinner, J., Tarpy, D., Wilkes, J., vanEngelsdorp, D. and for the Bee Informed Partnership 2014. A national survey of managed honey bee 2012-2013 annual colony losses in the USA: results from the Bee

- Informed Partnership, *Journal of Apicultural Research*. 53:1:1-18
29. Switanek, M., Crailsheim, K., Truhetz, H. and Brodschneider, R. 2017. Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. *Science of the Total Environment*. 579:1581-1587.
 30. Van Esch, L., J. L. De Kok, L. Janssen, B. Buelens, L. De Smet, D. C. de Graaf and G. Engelen. 2020. Multivariate landscape analysis of honey bee winter mortality in Wallonia, Belgium. *Environ. Model. Assess.* 25(3): 441-452.
 31. Watanabe, M. E. 2008. Colony collapse disorder: many suspects, no smoking gun. *Bioscience*. 58(5):384-388.

부록 A. 월동시기 기온 변화 분석

○ 국내 월동시기(10월~2월) 평균 기온 분석 (최근 1, 5, 10년)

● 월동 시기 분류

- 박보선 등 (2013)은 디지털 센서를 이용한 겨울철 양봉꿀벌 (*Apis mellifera*)봉군 월동 종료시기 분석을 통해 10월~2월까지 월동시기로 분류하였고, 김경문 등 (2021)은 월동(11~2월), 봄 별 깨우기(1~2월), 혹서기(7~8월), 월동 준비(10~11월)로 분류하였음. 두 논문을 참고하여 월동기간을 10월~2월 (5개월)로 정함

● 자료 수집

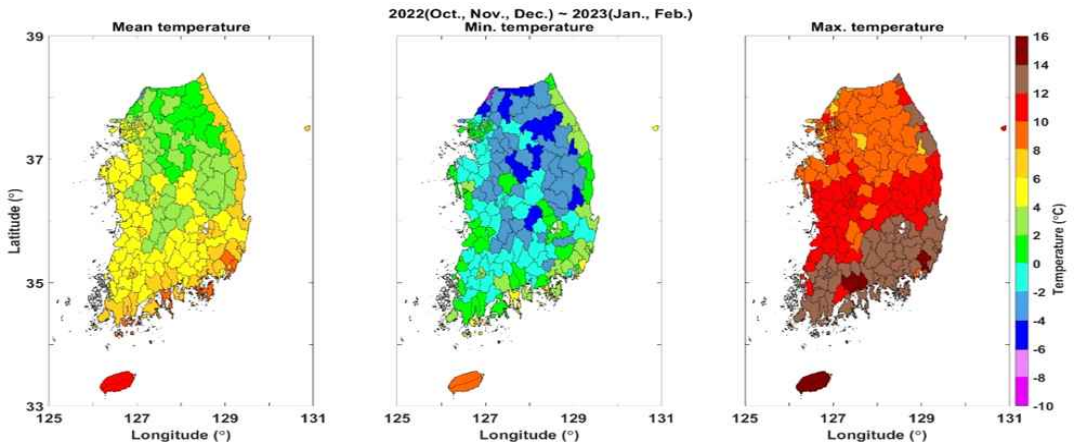
- 기상 자료: 기상청 종관기상관측(ASOS)와 방재기상관측(AWS)가 설치된 전국 645지점

● 분석 방법

- 2013년 10월~2023년 2월 자료를 이용하여 월동기간의 평균 기온, 평균 최고기온, 평균 최저기온을 1년, 5년, 10년에 대해서 지역별로 온도 분포를 분석함
- 2013년 10월~2023년 2월까지 평균 기온, 평균 최고기온, 평균 최저기온과 1년, 5년, 10년의 평균값의 차이를 이용하여 지역별로 기온의 아노말리를 분석함

○ 최근 1년(2022~2023) 기온 분포

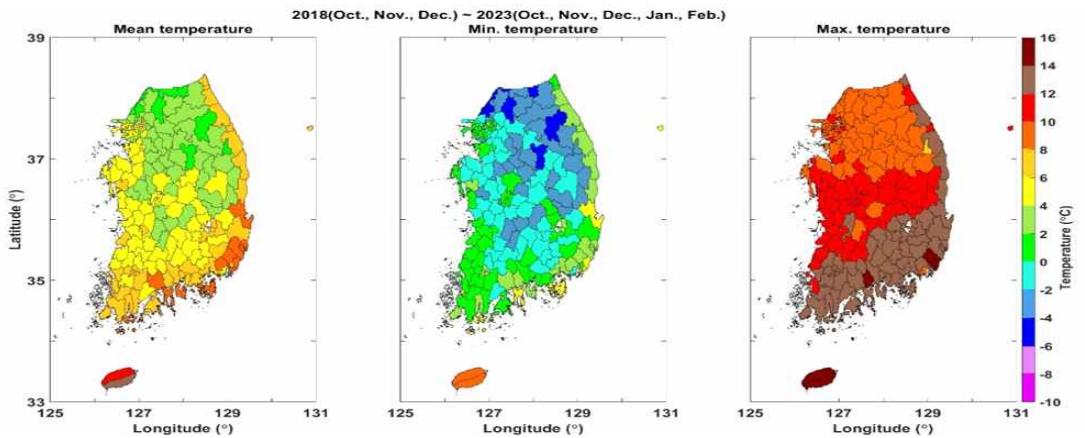
- 최근 1년간 평균 기온은 제주도가 가장 높게(10~12℃) 나타났고, 남해안과 동해안 지역(4~8℃)이 내륙 지역(0~2℃)보다 높게 나타남
- 평균 최저기온도 제주도가 가장 높게(8~10℃) 나타났으며, 평균 기온과 마찬가지로 해안지역과 수도권 일부지역(-2~6℃)이 내륙지역 (-10~0℃)보다 높게 나타남
- 평균 최고기온은 제주도와 남해안 지역에서 14~16℃로 가장 높게 나타났고, 남해안과 동해안 일부 지역(12~16℃)이 내륙 지역(2~12℃)보다 높게 나타남



<2022년~2023년 월동시기 기온 분포>

○ 지역별 최근 5년(2018~2023년) 기온 분포

- 최근 5년간 월동시기에 제주도의 평균 기온이 10~14℃로 가장 높았으며, 해안 지역(6~10℃)이 내륙 지역(0~6℃)보다 높게 나타남
- 평균 최저기온과 평균 최고기온도 평균 기온과 마찬가지로 제주도와 해안 지역이 내륙 지역보다 높은 기온이 나타남

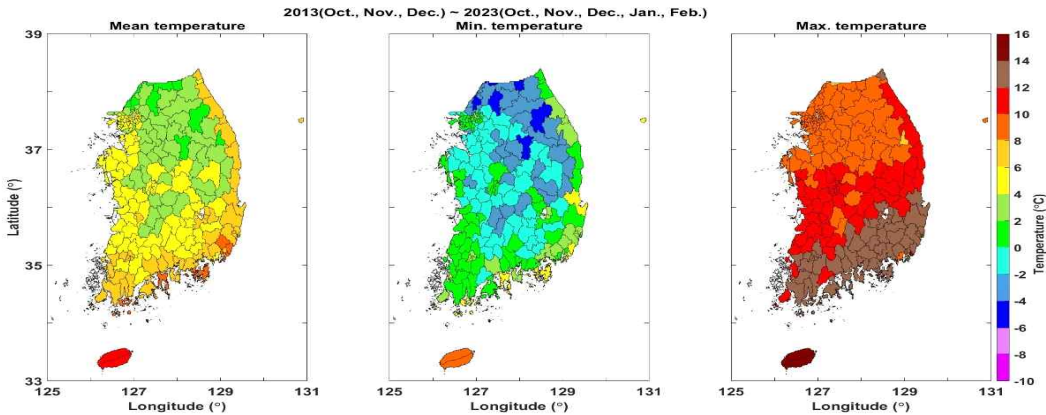


<2018년~2023년 월동시기 기온 분포>

○ 지역별 최근 10년(2013~2023년) 기온 분포

- 최근 10년간 월동시기에 평균 기온은 제주도가 10~12℃로 가장 높게 나타났으며, 남해안과 동해안 지역(6~10℃)이 내륙 지역(0~6℃) 보다 높게 나타남

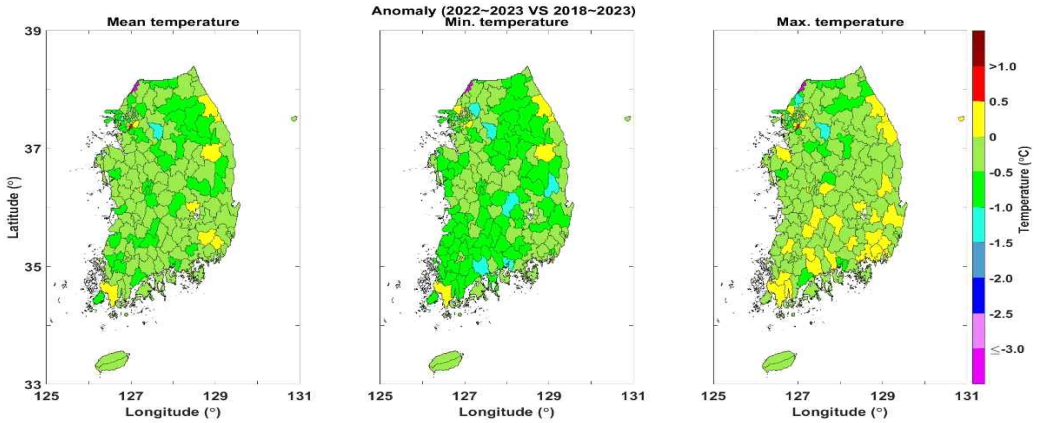
- 평균 최저기온 역시 제주도가 8~10℃로 가장 높게 나타났으며, 남해안과 동해안, 수도권 일부 지역(0~6℃)이 다른 지역(-6~0℃)보다 높게 나타남
- 평균 최고기온은 제주도가 14~16℃로 가장 높게 나타났으며 전라남도과 경상남도가 12~14℃로 다른 지역보다 높게 나타남



<2013년~2023년 월동시기 기온 분포>

○ 지역별 최근 1년과 5년(2018~2023)의 기온 차이

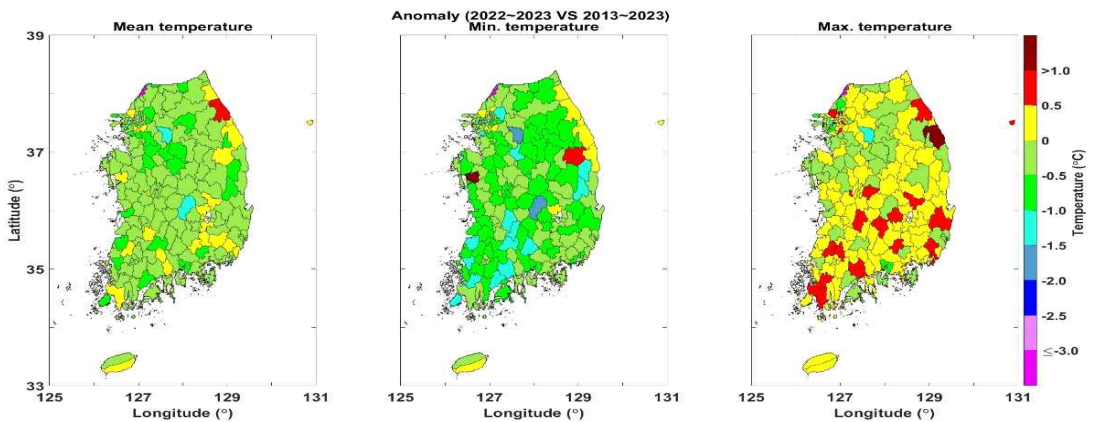
- 대부분 지역에서 최근 1년의 평균 기온, 평균 최저기온, 평균 최고기온이 최근 5년 월동기간보다 기온이 낮게 나타남
- 수도권 일부 지역에서 최근 1년 평균 기온과 평균 최고기온이 최근 5년보다 0.5~1.0℃ 낮게 나타남
- 강원도 강릉시, 전라남도 해남군 등 일부 지역은 평균 기온, 평균 최저기온, 평균 최고기온 모두 최근 1년이 최근 5년보다 0~0.5℃ 높게 나타남



<최근 1년과 5년 간 기온 아노말리>

○ 지역별 최근 1년과 10년(2013~2023)의 기온 차이

- 제주도 남부와 일부 지역에서 최근 1년 월동시기가 최근 10년 월동시기보다 평균 기온이 높게 나타났지만, 대부분 지역에서 최근 10년 월동시기보다 평균 기온은 낮음
- 평균 최저기온은 대부분 지역에서 최근 10년 보다 낮았으며, 동해안과 수도권 일부, 제주도 남쪽 지역은 최근 10년보다 높았고, 이중 충청남도 홍성(갈색)이 가장 높았고, 다음으로 경상북도 봉화(붉은색) 지역이 높게 나타남
- 평균 최대기온은 남한의 남쪽과 동해안, 수도권 일부 지역에서 최근 10년보다 0.5~1.0℃ 높게 나타남



<최근 1년과 10년 간 기온 아노말리>

부록 B. 기후변화와 벌 검색 관심도

○ 구글 트렌드를 통한 키워드 검색

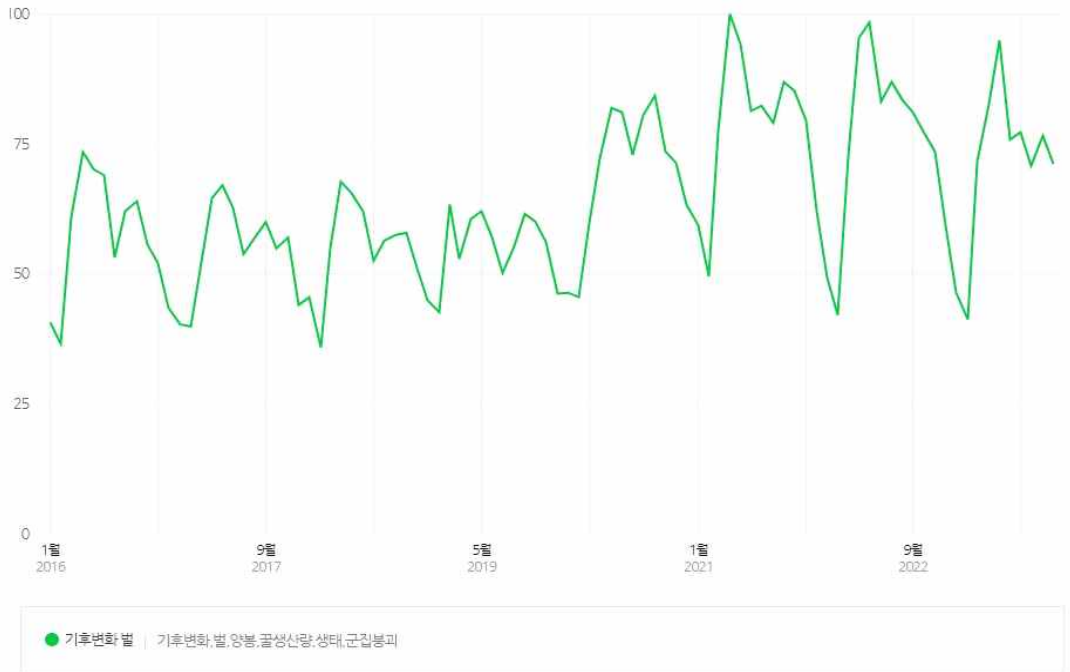
- 2004년 부터 2023년 11월까지 구글 트렌드 (<https://trends.google.co.kr/>)를 통해 ‘bee, climate change’ 를 키워드로 하여 검색 분석을 실시하였음
- 키워드 검색결과 해당 키워드(bee, climate change)에 대한 관심도는 2004년부터 2008년까지 증가하다 2009년부터 2013년까지 정체되었고, 2014년을 기점으로 현재까지 증가하는 추세에 있음



<구글(Google) 트렌드를 통한 키워드 검색 결과 (<https://trends..google.co.kr/>)>

○ 네이버 트렌드를 통한 키워드 검색

- 2016년 1월 부터 2023년 11월까지 네이버 트렌드(<https://datalab.naver.com>)를 통해 ‘기후변화, 벌’ 을 키워드로 하여 검색 분석을 실시하였음
- 키워드 검색결과 해당 키워드(기후변화, 벌)에 대한 검색 빈도수는 2020년을 기준으로 증가하는 추세에 있음



<네이버(Naver) 트렌드를 통한 키워드 검색 결과 (<https://datalab.naver.com>)>