

벌의 위기와 보호 정책 제안



GREENPEACE

CONTENTS

머리말
Fact Sheet
Executive Summary

1	꿀벌의 중요성과 가치	40
	1.1 꿀벌의 중요성	40
14	꿀벌의 분포, 분류, 특징	41
15	양봉꿀벌과 재래꿀벌	
17	꿀벌의 사회성과 생활사	
	1.2 꿀벌의 가치	
19	양봉산물 종류별 생산량, 경제적 가치	
19	양봉꿀벌과 재래꿀벌의 농가 수 증가와 벌꿀 생산량 변동	
20	화분매개 가치	
2	꿀벌의 위기 요인	
	2.1 꿀벌이 직면한 위기	
24	복합적 요인으로 인한 꿀벌 집단 폐사	
25	국내 월동 폐사	
25	해외 월동 폐사	
	2.2 기후변화	
25	양봉 계절 불일치	
27	동시 개화	
27	이상 기온	
	2.3 밀원의 생물다양성 감소	
28	국내 주요 밀원	
30	주요 밀원식물 비교	
32	아까시나무의 감소	
	2.4 영양	
32	화밀	
32	화분	
34	화분의 부족이 꿀벌에게 미치는 영향	
	2.5 생물다양성 감소	
34	유전적 다양성의 부족	
35	야생벌 감소	
	2.6 질병	
36	미국부저병 (American Foulbrood)	
36	유럽부저병 (European Foulbrood)	
36	낭충봉아부패바이러스 (SBV)	
	2.7 꿀벌 해충	
37	꿀벌응애 (Varroa destructor)	
38	중국가시응애 (Tropilaelaps mercedesae)	
38	꿀벌부채명나방 (Galleria mellonella)	
39	작은벌집밀빠진벌레 (Aethina tumida)	
39	말벌류 (Vespa spp.)	
	2.8 농약에 의한 환경 오염	
	생태 환경 영향	
	농약	
	살충제와 꿀벌 독성	
3	주요 국가별 정책	
	3.1 해외 국가	
44	미국 Federal Pollinator Health Task Force & Federal Pollinator Partners	
44	영국 국가 화분매개체 전략 The National Pollinator Strategy	
45	유럽 연합 EU Pollinators Initiative - New Deal for Pollinators	
	3.2 국내 정책	
45	전국 밀원 숲 면적 확대	
46	꿀벌의 친환경 관리	
	결론	
4	제언 사항	
49	4.1 국내 밀원면적 최소 30만ha 되어야	
49	4.2 국유림과 공유림의 다양한 밀원 확대	
51	4.3 사유림 내 생태계 서비스 제공 조림의 직접 지불 확대	
52	4.4 생활권 화분매개 서식처 확대	
55	4.5 국무총리 산하 위원회 설립	



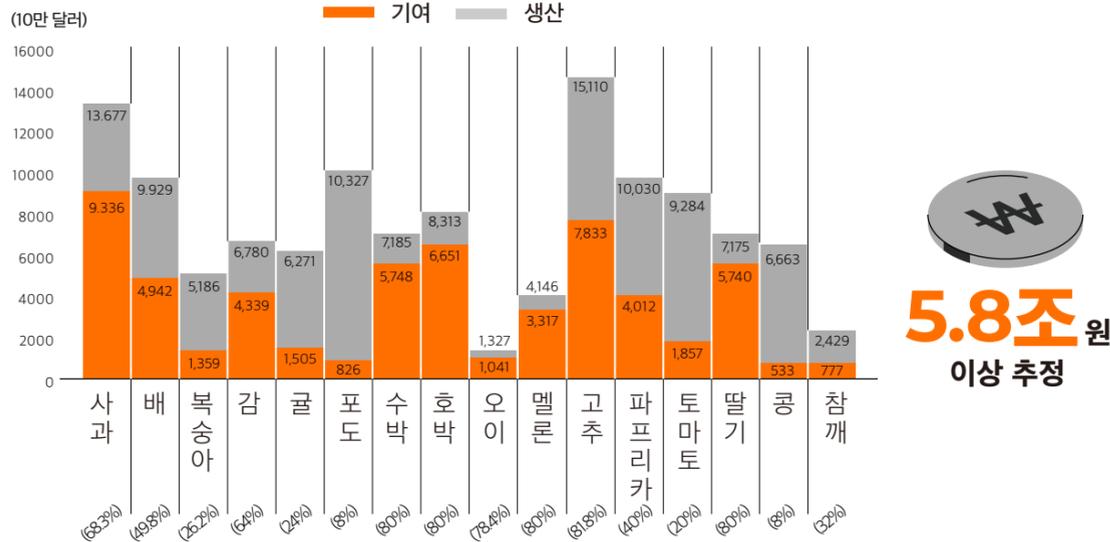
꿀벌&야생벌 Fact Sheet

화분매개 가치와 피해상황

IPBES 및 FAO 화분 매개 추정 가치



국내 꿀벌 화분매개 추정 가치



국내외 꿀벌과 야생벌의 피해 규모

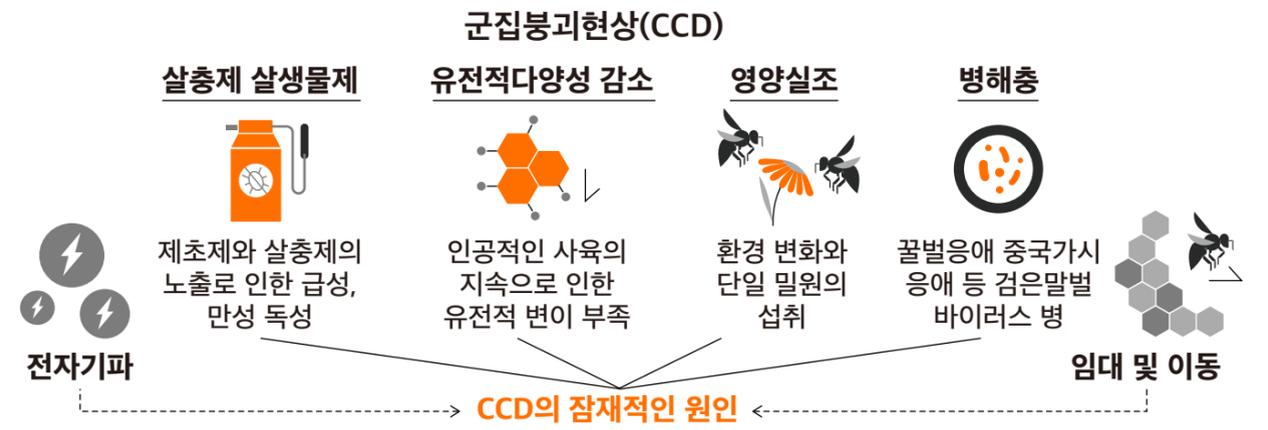


화분매개자 감소로



꿀벌과 야생벌 위기 원인

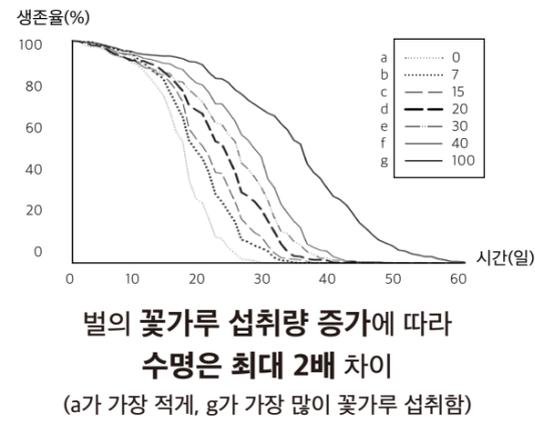
꿀벌군집붕괴현상(CCD)란? 한 가지 원인이 아닌 복합적인 원인으로 벌통이 비어지는 현상



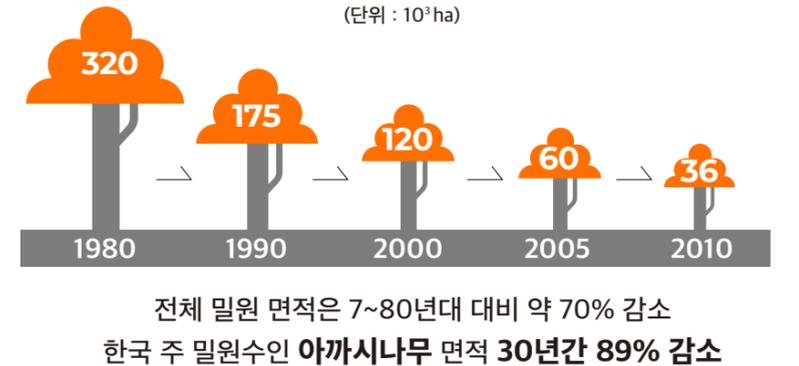
기후변화로 인한 피해 양상



밀원식물 감소 먹이가 되는 꽃과 나무인 밀원식물의 면적이 줄어들고 있음



아까시나무 분포면적



머리말

“고양이가 늘어나면 꽃이 늘어난다. 모두가 잘 알듯이, 고양이는 쥐를 잡아먹는다. 쥐는 무리를 지어 땅벌이 땅속에 지은 벌집을 습격한다. 벌은 들판에 핀 꽃송이를 오가며 꽃들의 수정 매개체 역할을 한다. 따라서 고양이의 개체수가 늘어난다면 더 많은 쥐가 고양이에게 잡아 먹히고, 쥐의 개체수가 줄어들면 벌집이 습격당하는 횟수가 줄어든다. 이는 곧 땅벌의 개체수 증가로 이어져, 더 많은 꽃이 수정하는 데 성공한다. 고로 고양이가 늘어나면 꽃이 늘어난다.”

위 내용은 찰스 다윈의 <종의 기원>에 나오는 이야기입니다. 고양이와 꽃 사이에도 수많은 동식물 간의 유기적인 관계망이 연결되어 있으며, 이러한 관계가 곧 생태계를 구성하는 것임을 설명하고 있습니다.

영국 왕립지리학회는 지구상 반드시 필요한 생물 5종 중 하나로 꿀벌을 꼽았습니다. 꿀벌로 대표되는 화분매개자가 없다면 총매화(곤충으로 수정되는 꽃)는 번식할 수 없어, 그 종을 유지할 수 없기 때문입니다. 벌을 비롯한 곤충이 가루받이(수분)시키는 식물은 유채, 자운영, 토끼풀 등 공원에서 흔히 볼 수 있는 꽃 외에도, 사과, 호박, 수박, 옥수수 등 각종 채소와 과일도 포함됩니다. UN 식량농업기구(FAO)는 전 세계 90%의 식량을 차지하는 100대 농작물 중 71종이 벌의 수분 매개에 의존하는 것으로 추정하고 있습니다. 쌀을 위주로 생산하는 우리나라의 농작물 중 17.8%도 꿀벌의 화분매개가 없으면 그 생산량이 크게 떨어지게 됩니다.

이러한 벌이 사라지고 있습니다. 미국과 유럽 등지에서 2000년대 중반부터 시작된 꿀벌군집 붕괴현상 (Colony Collapse Disorder, CCD)을 시작으로, 전 세계적인 꿀벌 실종 현상이 보고되기 시작했습니다. 심지어 하버드 대학교는 최근 화분매개자의 감소로 매년 약 40만 명이 영양실조로 사망한다는 충격적인 연구 결과를 발표하기에 이르렀습니다.

벌의 실종은 다른 나라가 아닌 한국에서도 일어나고 있습니다. 2022년 초에는 무려 약 78억 마리의 꿀벌이 사라졌으며, 9~11월 사이에는 약 50만 개의 벌통(벌통 1개당 2만 마리 추산 시 약 100억 마리)이 텅텅 비워지는 일이 벌어졌습니다. 야생벌은 더욱 위험한 것으로 추정합니다. 기후변화뿐만 아니라 서식지 파괴, 농약 피해, 질병 전파와 천적 침입 등의 영향으로 한국의 야생벌 밀도는 지난 20년간 지속적으로 감소하고 있습니다.

2023년 봄은 안타깝게도 유난히 빠르게 핀 벚꽃과 동시다발적인 산불로 시작되었습니다. 산속에서 벌의 먹이가 되는 나무와 꽃인 밀원식물을 오가며 필수 영양분을 섭취해야 할 벌이, 한해의 시작부터 험난한 환경을 맞이한 것입니다. 위기에 빠진 꿀벌과 야생벌을 살리기 위해서는 벌이 건강히 살 수 있는 환경이 필수적입니다. 이를 위해서는 국가 정책적인 노력이 필요합니다. 그린피스와 안동대학교 산학협력단이 함께 준비한 이번 보고서가, 정부 관계자 여러분이 더욱 실효성 있는 정책을 수립하는 데 참고가 되기를 바랍니다. 또한 시민 여러분께도 벌의 위기를 알릴 기회가 되기를 바랍니다.

Executive Summary

벌의 가치

벌은 가장 중요한 화분매개곤충이다. 화분매개곤충은 다양한 농작물의 꽃가루를 옮겨 종자 형성과 과실 생산을 유도한다. 농작물 생산에 있어 꿀벌을 비롯한 화분매개자가 기여하는 경제적 가치가 전 세계적으로 연간 약 2,350~5,770억 달러, 국내 꿀벌의 화분매개 경제적 가치는 5.8조 원 이상으로 추정된다. 국내에서 화분매개에 의존하는 농작물의 생산량은 약 270만 톤으로 전체 농작물 생산량의 약 17.8%를 차지하고 있다. 그리고 화분매개곤충의 의존도가 높은 아열대 작목의 종류와 면적이 증가하여 화분매개곤충의 중요성이 증가하고 있다. 그런 이유로, 꿀벌은 유엔의 지속가능개발목표(SDGs)의 17개 항목 중 11개 항목에 영향을 미치고 있다.

벌의 현황과 위기

전 세계에는 약 12만 종의 벌목 곤충이 존재한다. 이 중 양봉산업에 활용될 수 있는 꿀벌류는 전 세계 7개 종이 있으며, 국내에는 양봉꿀벌(*Apis mellifera*)과 재래꿀벌(*Apis cerana*)이 있다.

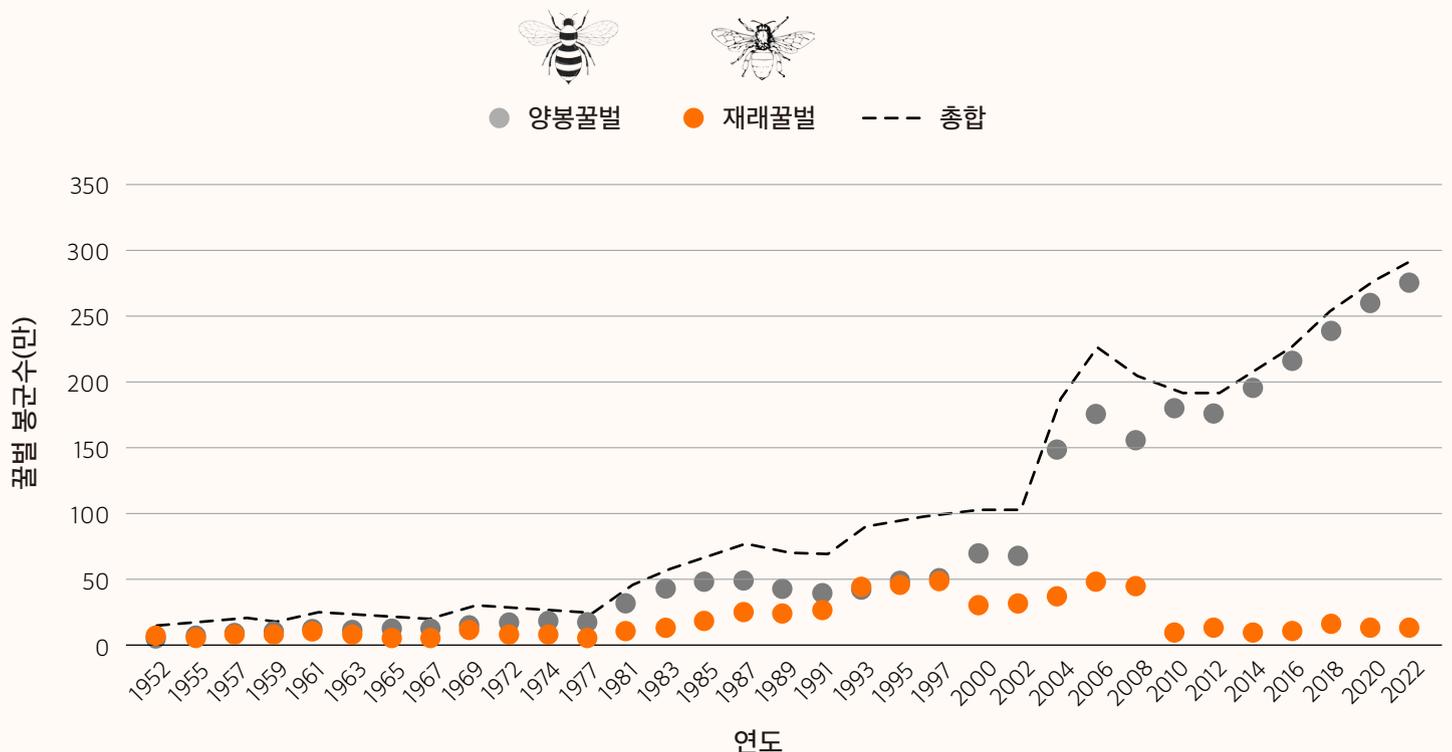


그림 1. 우리나라의 양봉꿀벌(회색 점)과 재래꿀벌(주황 점)의 봉군수 변화

양봉꿀벌



© Greenpeace / Fred Dott

그림 2. 양봉꿀벌 (*Apis mellifera*)

양봉꿀벌이 우리나라에 처음 들어온 시기는 명확하지 않지만 1900년대 초반으로 추정된다. 조선 말기 고종 때 독일의 선교사가 일본을 거쳐 우리나라에 가지고 들어와서 양봉 기술을 전파하였다는 설과 독일에서 유학하고 귀국하는 길에 양봉꿀벌을 가지고 들어왔다는 설이 유력하다. 양봉꿀벌은 재래꿀벌에 비해 채밀력(벌이 꿀을 채취하는 능력)이 우수하고 관리가 용이해, 대한민국 양봉산업을 대표하는 우세종으로 자리 잡았다.

그러나 최근 양봉꿀벌의 집단 실종 사건이 벌어지고 있다. 2021년 겨울, 78억 마리의 꿀벌이 흔적도 없이 사라지는 꿀벌군집붕괴현상(Colony Collapse Disorder, CCD)이 벌어진 것이다. 이러한 피해 규모는 계속 커지는 것으로 보인다. 2022년 9~11월 사이에만 100억 마리의 꿀벌이 사라진 데 이어, 2023년 초 약 140억 마리의 꿀벌이 사라진 것으로 추정되기 때문이다. 기후변화, 응애 등 다양한 이유로 꿀벌이 사라지며, 양봉 산업의 명맥이 송두리째 흔들리고 있다.

재래꿀벌



© 안동대학교 이관희

그림 3. 재래꿀벌 (*Apis cerana*)

고구려 건국 초기에 꿀벌이 인도로부터 중국을 거쳐 우리나라에 들어왔다는 기록이 있는 것으로 보아, 재래꿀벌은 한반도에 오랫동안 자리 잡은 것으로 보인다. 몸의 길이, 앞날개, 혀 길이 등 신체 크기가 전반적으로 양봉꿀벌보다 작다. 온순하고 집단의 구성이 작지만, 말벌이 재래꿀벌을 공격하는 경우 말벌을 둘러싸 공 모양을 형성한 후, 열을 올려 방어하는 행동을 보이기도 한다. 하지만 불리한 환경을 접하면 벌집을 버리고 도망가는 습성이 있어, 양봉꿀벌에 비해 꿀벌 생산이 상대적으로 어렵다.

이러한 특성으로 인해, 재래꿀벌의 봉군 수는 양봉꿀벌이 적극적으로 양봉산업에 사용되는 1970년대 이후 꾸준히 감소하기 시작했다. 그리고 2009년, 낭충봉아부패병의 발생으로 전국의 재래꿀벌은 멸종 위기에 처했다. 2009년에 42만 군에 다다랐던 재래꿀벌은 2016년 1만 군으로 줄었다. 약 98%의 재래꿀벌이 사라진 셈이다. 이후 낭충봉아부패병에 강한 개량종을 개발하는 등 다양한 노력을 투입한 결과, 재래꿀벌은 3~10만 군 수준으로 회복했다.

야생 토종식물의 수분은 아직 재래꿀벌에 많이 의존하고 있다.¹ 특히 토종 식물 중에는 돌베나무처럼 양봉꿀벌에 수분을 맡겼다가 결실률이 크게 떨어지는 품목이 많다. 즉 재래꿀벌의 종속은 생태계 보존을 위해 반드시 이루어져야 한다.

야생벌



© Nadja Baumgartner

그림 4. 야생 속 뒤영벌(*Bombus pratorum*)

꿀벌보다도 화분매개 능력이 더욱 뛰어난 것으로 알려진 야생벌 역시 커다란 위기에 빠졌다. 아르헨티나 국립과학기술연구위원회(CONICET)이 세계생물다양성정보기구(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)의 관찰 기록을 분석한 결과, 2006년과 2015년 사이에 발견된 전 세계 야생벌의 종 수는 1990년대에 비해 약 25%나 줄어들었다.² 한국의 경우 야생벌에 관한 구체적인 자료가 많지 않지만, 수많은 시민과학자의 관찰 내용을 분석하면 약 20년간 지속적으로 감소한 것으로 파악된다. 또한 국립생태원, 국립농업과학원 등이 조사한 바에 따르면, 기후변화에 따라 국내 야생벌들의 서식지가 북쪽으로 이동할 수 있음이 확인되었다.³

벌은 왜 사라지는가?



© Fred Dott / Greenpeace

그림 5. 새끼 여왕벌을 보살피는 일벌들

꿀벌은 단 한 가지 이유로 사라지지 않는다. 일례로 유럽 10개 국가에서 2018년 네오니코티노이드계 살충제 일부의 이용을 금지한 이후에도 꿀벌 군집붕괴현상은 오늘날에도 반복되고 있다. 네오니코티노이드계 살충제가 벌에게 치명적인 영향을 미친다는 사실이 규명되었음에도, 그 외 다른 원인으로 벌이 계속 사라지는 것이다. 수많은 과학자들은 기후변화와 그로 인한 생태 엷박자 현상, 밀원수 부족으로 인한 영양 실조, 살충제 및 기생충 등 서로 다른 요소들이 복합적으로 작용한 결과, 벌이 생존하기 어려운 환경이 된 것으로 분석한다.

밀원 공급 부족과 월동 실패의 주 요인, 기후변화

기후변화는 꿀벌의 생활사를 혼란에 빠뜨린다.

꿀벌은 통상적으로 꽃이 피는 3월이 가까워지면 월동을 마치고 봄철을 준비한다. 일벌 성충으로 우화한 후 18일 내외부터 벌은 먼 곳으로 비행했다가 돌아오는 길을 기억할 능력을 지닌 '외역봉'이 되어, 매실나무와 동백나무에서 피어난 꽃이나 유채꽃, 자운영 등 다양한 종류의 밀원식물을 찾아 평균 2Km 반경 안에서 먹이활동을 한다. 다람쥐가 도토리를 입 안에 저장하듯, 꿀벌은 혀를 내밀어 꽃 속의 꿀을 빨아 꿀위(꿀주머니) 안에 저장한다. 꿀위속에 저장된 꽃꿀은 꿀벌의 침샘과 하인두샘에서 분비된 효소로 벌꿀로 변하는 '전화' 과정을 거친다. 이때 꿀벌은 꽃꿀을 빨아 먹기 위해 꽃의 수술 위에 몸을 올려놓는데, 이 수술의 꽃가루가 다리와 배에 묻고 덩어리가 저, 꿀벌에게 귀중한 단백질원인 화분이 된다. 꿀위에는 꽃꿀을, 다리와 배에는 꽃가루를 묻힌 꿀벌은 벌통으로 돌아온다. 벌통 속에서 벌 방을 청소하거나 유충을 보살피던 '내역봉'은 소중한 자원을 가져온 외역봉을 반갑게 맞이한다. 내역봉은 외역봉이 가져온 화밀과 화분을 벌집 내에 저장하고, 유충과 어린 성충에게 화분을 먹인다. 불임 계약을 맺은 일벌과 달리, 평생 번식을 도맡은 여왕벌은 하루 평균 2,000개의 알을 산란하며 겨울 동안 사라진 벌의 개체 수를 다시 늘린다.

그림 6. 이탈리아 롬바르디아 지역의 벌통 속에서 살충제로 죽은 벌 사체

그러나 기후변화로 인해 피어난 꽃을 찾기 어려운 상황이 찾아왔다. 최근 지구의 온도가 단 지난 100년동안 0.6°C가 오르며, 벌이 동면에서 깨어나기 전에 꽃이 이미 피었다 지는 일이 벌어졌다. 우리나라의 봄꽃 개화일은 과거 1950~2010년대 (약 60년간) 대비 약 3~9일이나 빨라졌다. 이는 양봉인의 관리를 받지 못하는 야생벌에게는 치명적인 일이다. 야생벌이 꽃이 일찍 피어나는 때에 맞추어 동면에서 스스로 일어날 가능성이 적기 때문이다. 또한 피어난 꽃도 이상기후로 인해 기존보다 더 빨리 꽃이 떨어져, 꿀벌도 무리가 살아남는 데 필요한 화분과 화밀을 채집할 시간이 줄어들고 있다. 특히 우리나라를 대표하는 밀원수인 아까시나무의 경우, 꽃이 피어났는데도 꽃꿀 분비가 되지 않는 경우도 발생하고 있다. 21세기 후반에는 무려 23~27일이나 더 빨라질 것으로 보이기에, 4월은 벌에게도 가장 잔인한 계절이 될 가능성이 농후하다.

기후변화는 가을과 겨울에도 혹독한 시련을 내린다. 벌은 주로 9월 말 한해의 마지막 잡화꿀을 채집하고 동면 준비에 들어간다. 벌은 외부 기온에 민감한 변온동물로, 추운 겨울 속 영하의 온도에서 생존할 수 없다. 따라서 한 해 동안 튼튼히 만들어 놓은 벌통 안에서 따뜻하게 몸을 녹이며 활동량을 줄여야 한다. 이렇게 노력해도 지난 수십 년간 평균 월동 폐사율은 약 20% 내외이었다. 그러나 이 시기에 태어나는 일벌은 무려 150일이나 살 수 있다고 한다. 여름철에 태어나는 일벌의 수명이 약 30일 내외인 점을 고려하면 무려 5배나 오랫동안 사는 것이다.

이러한 벌의 월동 전략이 최근 수포로 돌아가고 있다. 가을과 겨울이 평년보다 따뜻해지자, 동면에 들어가지 못한 벌이 밖으로 나가는 일이 발생한다. 최근에는 여왕벌이 겨울 사이에 알을 낳은 흔적마저 발견되고 있다. 봄이 온 줄로 착각한 여왕벌이 알을 낳고, 알에서 부화한 유충에게 먹일 먹이를 채집하기 위해 일벌이 야외 활동을 한 것으로 추정된다. 최근 유럽 꿀벌의 월동 폐사율은 30~35%까지 올랐으며, 한국의 꿀벌 폐사율 역시 2023년 초 기준 약 60%를 넘어, 자연적인 수준을 훨씬 상회하고 있다.



© Greenpeace / Matteo Federici

기후변화로 희귀해진 꽃, 영양 부족으로 이어져

여러 요인 중에서도, 벌의 먹이가 되는 꽃과 나무인 밀원식물의 부족은 우리나라 벌 이슈 중 가장 시급한 문제로 평가된다.

벌은 다양한 종류의 밀원식물 속 화분과 화밀로부터 각각 탄수화물과 단백질 섭취해 건강을 유지한다. 반면 충분한 영양분을 공급받지 못하면, 꿀벌은 영양 스트레스를 받아 성장 둔화, 수명 단축, 생식 능력 저하를 비롯한 피해를 입는다. 또한 월동기에 충분한 양의 탄수화물을 비축하지 못하면 꿀벌 봉군은 기아 상태에 빠진다. 특히 영양 스트레스를 받은 벌은 면역력이 약해져 살충제, 기생충, 바이러스 등 외부 요인에 더욱 취약해진다.

그러나 밀원식물이 지난 수십 년간 빠르게 감소하고 있다. 농림축산식품부가 2022년 6월 발표한 양봉산업 5개년 종합계획에 인용된 국립산림과학원 자료에 따르면, 대한민국 전체 밀원 면적은 1970~80년대 대비 약 70% (47.8만ha → 14.6만ha)가 감소했다. 여의도 면적(290ha)의 약 1,145배, 제주도 면적(184,900ha)의 약 1.8배에 해당하는 밀원 면적이 사라진 것이다. 우리나라에서 생산되는 천연꿀의 70%가 의존하는 아까시나무의 경우, 1980년대까지 약 320,000ha가 조림되었으나 현재 36,000ha밖에 존재하지 않는 것으로 추정된다.

아까시나무를 비롯한 밀원식물의 수난은 여기서 그치지 않는다. 기후변화로 인한 이상기후 현상이 갈수록 심해져, 밀원자원의 감소 속도가 더욱 빨라질 수 있다. 2019년과 2020년 천연꿀 생산량은 잦은 강우 및 저온 현상으로 인해 평년 대비 12.9~19.1%로 급감했다. 또한 기후변화로 건조해진 산림에서 산불이 잦아지고 있다. 2022년에 발생한 산불 건수는 756건으로, 전년 대비 2배 이상 늘었으며, 2023년 1월 1일부터 3월 5일까지 이미 평년 수준인 127건보다 약 1.5배나 더 많은 194건의 산불이 발생했다.⁴

밀원자원이 이토록 빠르게 줄어드는 한편, 꿀벌의 사육봉군 밀도는 전 세계 1위를 기록하고 있어 문제는 더욱 커지고 있다. 미국보다 약 80배 높은 사육봉군 밀도 속에서, 한국의 벌은 줄어드는 먹이를 두고 서로 치열하게 경쟁하는 상황이 벌어진 것이다. 이러한 상황 속에서 벌이 충분한 영양분을 확보할 가능성은 현저히 줄어든다.

무게가 약 100mg 정도가 되는 꿀벌 일벌이 탄생하려면 애벌레 기간에 125-145mg 정도의 꽃가루가 필요하다. 이러한 꽃가루는 특히 어린 성충의 근육, 분비샘 등의 발달, 유충 먹이(로열젤리) 생산에 필수적이다. 로열젤리는 단백질이 풍부한 먹이로 여왕벌의 유충이나 성체에 공급되고, 일벌 유충도 72시간 동안 공급받는다. 따라서 봉세가 확장되는 시기에 화분의 수요는 급증한다. 이 시기에 화분을 충분히 섭취한 벌은 최장 60일이나 생존하는 반면, 그렇지 못한 벌은 최저 30일밖에 생존하지 못한다. 수명이 무려 2배나 차이 나는 것이다.

기후변화로 인한 생활사 혼란과 영양 부족에 허덕이는 벌에게, 외부 요인은 더욱 치명적이게 작용한다. 산성비, 황사, 농약을 비롯한 환경오염 문제와 더불어, 꿀벌의 기생충인 꿀벌응애와 중국가시응애를 통해 전파되는 각종 질병, 말벌을 비롯한 외래종의 급증 등 다양한 외부요인이 벌을 벼랑 끝으로 내몰고 있다.

100년 걸리는 밀원면적 회복, 속도를 높여야

한국 정부 역시 밀원자원을 늘리려 노력하고 있다. 최근 산림청은 매년 3,800ha의 밀원을 조성하고 있다고 밝혔다. 또한 꿀벌이 연중(3~10월) 채밀할 수 있는 다층형 복합 밀원 숲을 조성해 연중 3~4개월(4~7월)에 불과한 채밀 기간을 2배인 7~8개월로 늘리기 위한 전담 부서의 신설도 추진한다고 밝혔다.

그러나 이 노력이 충분하다고 평가하기에는 무리가 있다. 지난 50년간 감소한 밀원 면적은 30만ha가 넘는다. 또한 국내에 있는 250만 군 이상의 양봉꿀벌과 재래꿀벌, 야생벌 등이 살기 위해서는 최소 30만ha의 밀원 면적이 필요한 것으로 추정된다. 현재 밀원면적은 임상도를 기준으로 153,381ha로 집계된다. 현 속도대로면 필요량까진 약 40년, 이전 수준으로 돌이키는 데 약 100년이 넘는 시간이 걸리는 것이다.

오늘날 벌 문제를 해결하기 위해서는 보다 적극적인 정책이 필요하다. 그에 따라 아래와 같이 제언한다.

제언 1. 국내 밀원면적 최소 30만ha 되어야

국내 꿀벌 생태계의 안정적인 조성을 위해서는 최소한 30만ha 이상의 밀원 수 재배 면적을 확보해야 한다. 주요 밀원의 벌꿀 생산 잠재력은 평균적으로 1ha 당 300kg 정도다. 한 마리의 꿀벌이 태어나기 위해서는 대개 300mg 이상의 꿀과 130mg 이상의 꽃가루가 먹이로 필요하다. 일벌이 된 이후 소비도 만만찮다. 벌통 하나에 2만 마리 꿀벌이 살고 있고, 이들의 수명이 1.5개월 정도가 되니, 연중 벌통 하나에서 생산되는 꿀벌이 15만 마리 정도가 된다. 이 꿀벌들이 소모하는 꿀은 약 60kg 정도가 되기에, 250만 군 이상의 양봉꿀벌과 3~10만 군의 재래꿀벌, 야생벌 등을 감안하면 최소 30만ha의 밀원식물이 필요하다.

제언 2. 국유림과 공유림 내 다양한 밀원 조성

30만ha의 밀원수림을 빠르게 조성하기 위해서는, 국토 이용계획과 조림과 산림 관리 계획의 일부를 수정해야 한다. 특히 전국적으로 기후, 지역경관 등의 환경이 각각 다르기에, 지자체가 주도적으로 지역 특화형 밀원수를 심고 보급한다면 현 상황을 크게 개선할 수 있다. 다만 밀원면적의 넓이뿐 아닌 밀원식물의 종류를 다채롭게 구성해, 다양한 벌이 연중 내내 꿀을 구할 수 있도록 조성해야 한다.

제언 3. 사유림 내 생태계 서비스 제공 조림의 직접 지불 확대

기존에 있는 '임업·산림 공익기능 증진을 위한 직접지불제도 운영에 관한 법률'에 밀원식물의 조림과 보호 육성에 관한 조항을 명시할 필요가 있다. 화분매개자 부양을 위한 수종 선택, 토착 밀원 자원의 보호 육성을 통한 생태환경 보전 등에는 임가의 많은 노력과 비용을 수반하게 된다. 따라서 이들의 자발적 참여를 유도할 수 있는 밀원직접지불제 형태의 제도적 지원을 검토해야 한다. 또한 밀원 조림이 산주뿐 아닌 농가에도 큰 도움이 될 수 있다는 사실을 적극 알려야 한다.

제언 4. 생활권 화분매개 서식처 확대

오늘날 대한민국 인구의 90%는 도시에서 살고 있다. 그러나 다수의 전문가는 한국의 도시공원 정책은 양적 확대에만 치중해 왔을 뿐, 공원 내 시설 등 질적 향상에는 큰 관심이 없었다고 평가한다. 따라서 생태계 기능을 강화해 지속가능성과 생물다양성을 제고하는 도시공원 녹지 정책이 필요하다. 특히 도심지 공원이나 주거단지, 도로, 강가 등 부지에 조경 및 환경 미화 사업을 진행하는 데 있어 밀원식물이 포함된 화단을 반드시 확보하는 등 생태계 기능을 강화하는 계획을 수립해야 한다. 해외에서도 도심 속 공원, 화단부터 건물 지붕, 버스정류장 등 다양한 장소를 활용해 화분매개 서식처를 조성하는 사례가 늘고 있다.

제언 5. 국무총리 산하 위원회 설립

농업 생태계뿐만 아니라 생태 보호구역, 도심 등 다양한 장소에 밀원수를 공급하고, 야생벌 서식지의 확보 및 살충제 영향 검토 강화 등 벌이 건강하게 살 수

있는 환경을 조성하기 위해서는 농식품부만의 노력으로는 부족하다. 가축 산업을 관장하는 농식품부만의 노력으로는 한계가 있기 때문이다. 벌을 비롯한 수분매개체가 건강하게 살 수 있는 환경을 조성하기 위해선 환경부, 국토교통부, 산림청 등 다수의 부처가 함께 협업해야 한다. 이를 위해서는 미국의 '수분 매개체 파트너'(Federal Pollinator Partners), 유럽 연합의 '수분매개체를 위한 뉴딜 정책 (EU Pollinators Initiative - New Deal for Pollinators)' 등과 같이 한국정부도 국무총리 산하의 '꿀벌 살리기 위원회'의 설립을 검토해야 한다.

꿀벌의 위기는 단순한 양봉산업의 위기가 아니다. 화분매개의 부족으로 인한 농업 생산량 저하는 식량 위기를 일으키고, 빈부 양극화와 영양공급의 불량으로 이어져 대한민국 시민들의 건강과 복지 문제로 직결된다. 무엇보다도 자연 생태계 내 '수분매개자'라는 역할을 하는 생물들이 사라진다면, 생태계 내 연쇄 붕괴 현상이 촉발되어 인류의 생존마저 위협하는 멸종의 길로 나아가게 된다.

꿀벌의 집단 폐사는 기후변화로 인한 현상 중 하나다. 올해 초 환경부가 발간한 보고서에 따르면, 대한민국은 전 세계 평균보다 더 빠른 온난화 속도를 보인다. 지난 109년간(1912~2020년) 대한민국의 연평균 기온은 약 1.6°C 상승하여 전 세계 평균인 1.09°C 상승보다 빨랐다.⁵ 돌이킬 수 없는 수준에 미치지 전, 보다 적극적인 기후위기 대응 활동이 절실하다.



© Greenpeace / Juraj Rizman

그림 7. 정원에 핀 꽃에서 화분매개하는 벌

벌의 위기와 보호 정책 제안

꿀벌의 중요성과 가치

1

2
꿀벌의 위기 요인

3
주요 국가별 정책

4
제언 사항



1.1 꿀벌의 중요성

꿀벌의 분포, 분류, 특징

꿀벌은 벌 목(Hymenoptera)-꿀벌 과(Apidae)-꿀벌 속(Apis)에 속하는 곤충으로 완전변태(알-유충-번데기-성충)하는 생활형을 가진다. 세계적으로 벌목 곤충은 12만여 종이 기록되어 있다. 그중 꿀벌은 밀랍을 이용하여 영속적인 동지를 만들고 그곳에 먹이원인 꿀과 꽃가루를 모아 저장하면서, 세대가 중첩하는 진사회성을 가지는 곤충이다. 꿀벌은 전 세계적으로 7종, 44아종 이상이 보고되었다. 7종의 꿀벌은 형태적 특징(몸 크기, 날개 길이, 날개 시맥 구조 등)과 생태적 요소(봉군 형성 과정, 위치 및 모양, 벌집 및 벌 방 배치 등)로 구분될 수 있다.

형태적 특징 중 크기에 따라 작은 꿀벌, 큰 꿀벌, 일반 꿀벌로 구분할 수 있는데 작은 꿀벌에는 동남아시아 지역에 자생하는 길이 10mm 내외의 숲속작은꿀벌(*Apis florea*)과 검정작은꿀벌(*Apis andreniformis*)이 이 그룹에 속한다. 주로 나뭇가지나 잡목에 작은 벌집을 만들고, 벌침의 크기도 작아서 사람의 피부를 뚫지 못한다. 큰 꿀벌에 속하는 동남아시아 숲속큰꿀벌(*Apis dorsata*)은 큰 나뭇가지나 절벽에 여러 장의 벌집을 만들어 생활한다. 작은 꿀벌보다 약 2배 더 큰 몸집만큼 벌침과 독도 강해, 쓰이면 치사할 수도 있다. 마지막으로 통에 집을 짓는 양봉꿀벌(*Apis mellifera*)과 재래꿀벌(*Apis cerana*), 인도네시아 보르네오 섬에 분포하는 붉은꿀벌(*Apis koschevnikovi*)과 섬꿀벌(*Apis nigrocincta*)등이 일반 꿀벌에 속한다.

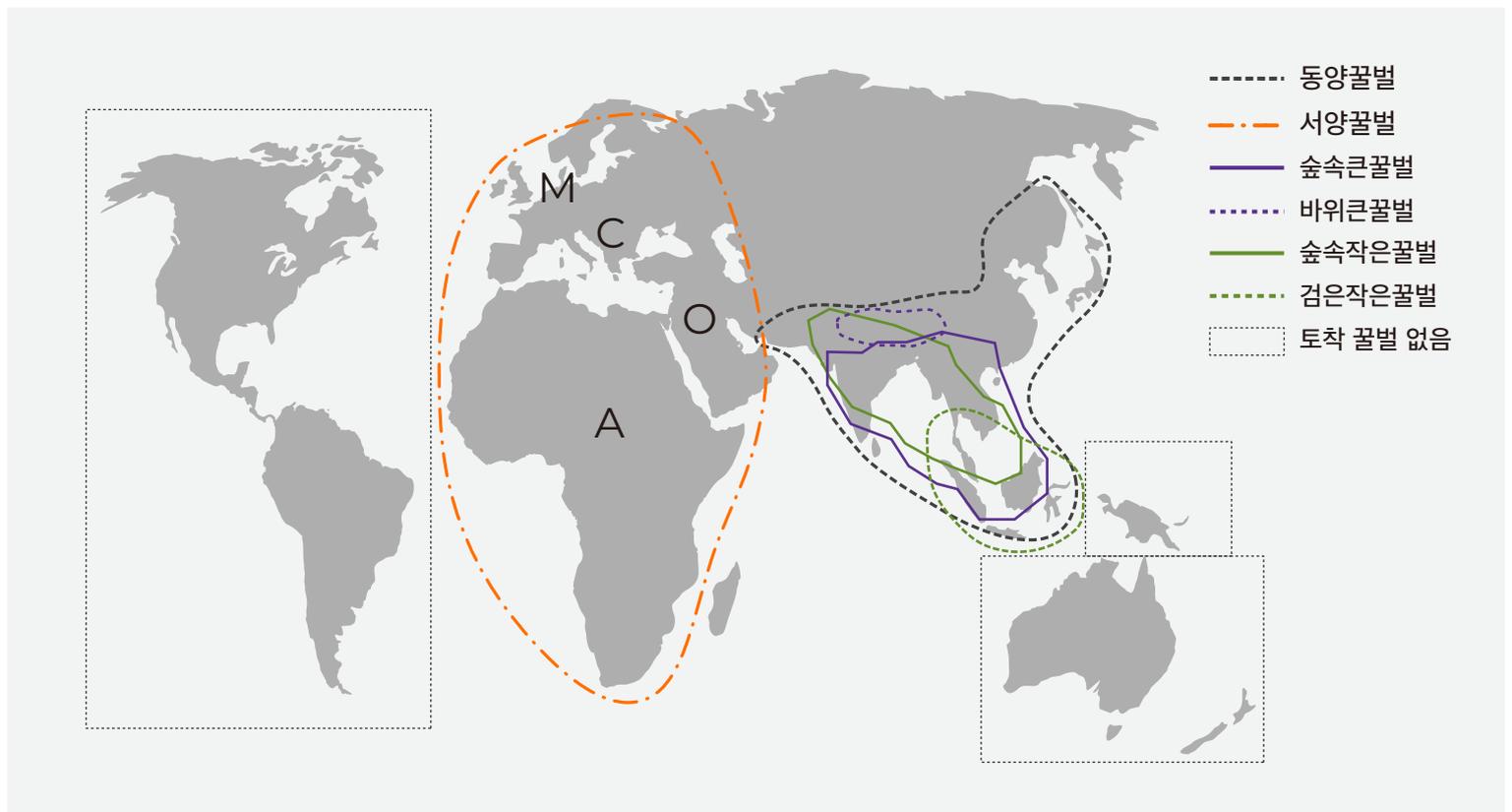


그림 8. 꿀벌 종별 자연적 분포 영역⁶

양봉꿀벌과 재래꿀벌

7개의 꿀벌 종 중 국내에는 양봉꿀벌(*Apis mellifera*)과 재래꿀벌(*Apis cerana*) 2종이 분포하고 있다.

양봉꿀벌은 모든 유전자가 밝혀진 곤충 중 하나로 동아프리카에서 유래했으며, 이후 한 무리가 유럽과 아프리카 대륙으로 분포를 넓힌 것으로 추정한다. 양봉꿀벌은 색상, 행동 습성, 혀 길이, 시맥(날개돋이를 할 때 체액이 흘러 들어가는 통로), 털 등에 따라 다양한 지역 아종으로 구분된다. 이러한 특성 중 양봉산업에 더 유리한 계통을 선별하기 위해, 선발육종 및 교배육종들이 이루어진다.

인도-인도차이나반도에서 온 재래꿀벌은 아시아 여러 나라(한국, 일본, 중국 등)에 분포하고 있다. 성질이 온순하지만 집단의 구성이 작다. 후계 여왕벌 양성에 소극적이며 불리한 환경을 접하면 벌집을 버리고 도망가는 습성이 있다. 그렇기에 벌꿀을 생산하는 면에서 불리한 점이 있다.

양봉꿀벌과 재래꿀벌은 발육 기간, 벌집 내 벌 방, 형태학적 특징, 행동 습성 및 저항성 등 다양한 차이가 있다. 발육 기간의 경우 일벌, 수벌, 여왕벌 모두 양봉꿀벌이 길다. 양봉꿀벌은 재래꿀벌보다 체장(몸의 길이), 앞날개, 혀 길이가 길며, 벌 방의 직경도 더 크다. 봉군 내 온도 및 습도 조절을 위해 환풍을 할 경우 꿀벌의 머리 방향이 다르고 청소 행동의 강도도 달라 기생 해충 및 질병의 저항성이 다르다.

	양봉꿀벌	재래꿀벌
일벌(일)	21	19
수벌(일)	24	22-3
여왕벌(일)	16	15
벌방직경(mm)	5.2	4.6
수벌방 봉개 구멍	없다	있다
체색	노랑(집단적 차이 존재)	대체로 검정
체장(mm)	12.5	10.6
앞날개 길이(mm)	8-9.7	7.4-9
주맥지수	1.65-2.95	3.1-5.1
뒷날개 시맥 구조	Y형	H형
뒷날개 고리(개)	22	19
혀 길이(mm)	6.49	5.33
환풍 머리 방향	내부	외부
청소행동	낮음(집단적 차이 존재)	높음
꿀벌응애 저항성	낮음	높음
부저병 저항성	낮음	높음

표 1. 양봉꿀벌과 재래꿀벌의 발육 기간, 벌방, 형태학적 특징, 행동 습성 및 저항성 차이

양봉꿀벌 (*Apis mellifera*)

양봉꿀벌은 1900년대 초반에 도입된 것으로 추정되는 해외종으로, 우리나라에서 정확히 언제 처음으로 들어와 양봉이 시작되었는지는 명확하지 않다. 조선 말기 고종 때 독일의 선교사가 일본을 거쳐 우리나라에 가지고 들어와 양봉 기술을 전파하였다는 설과 독일에서 유학하고 귀국하는 길에 꿀벌을 가지고 들어왔다는 설이 제시되고 있다.

양봉꿀벌은 오늘날 대한민국 양봉산업의 주종을 이루고 있다. 동식물은 자원이 무한하고 천적이 없는 이상적인 상황에서 개체군이 무한정 성장하는데, 실제 환경에서는 환경수용력(한 서식지에서 증가할 수 있는 개체수의 한계)이 있기에 무한히 성장할 수 없다. 어느 시점부터 환경수용력에 가까워질수록 변화율이 낮아지고 결국 0으로 수렴하게 된다. 양봉꿀벌이 도입된 이후 양봉농가와 봉군 수가 지속적으로 증가하고 있으며, 환경수용력에 접근하고 있다.

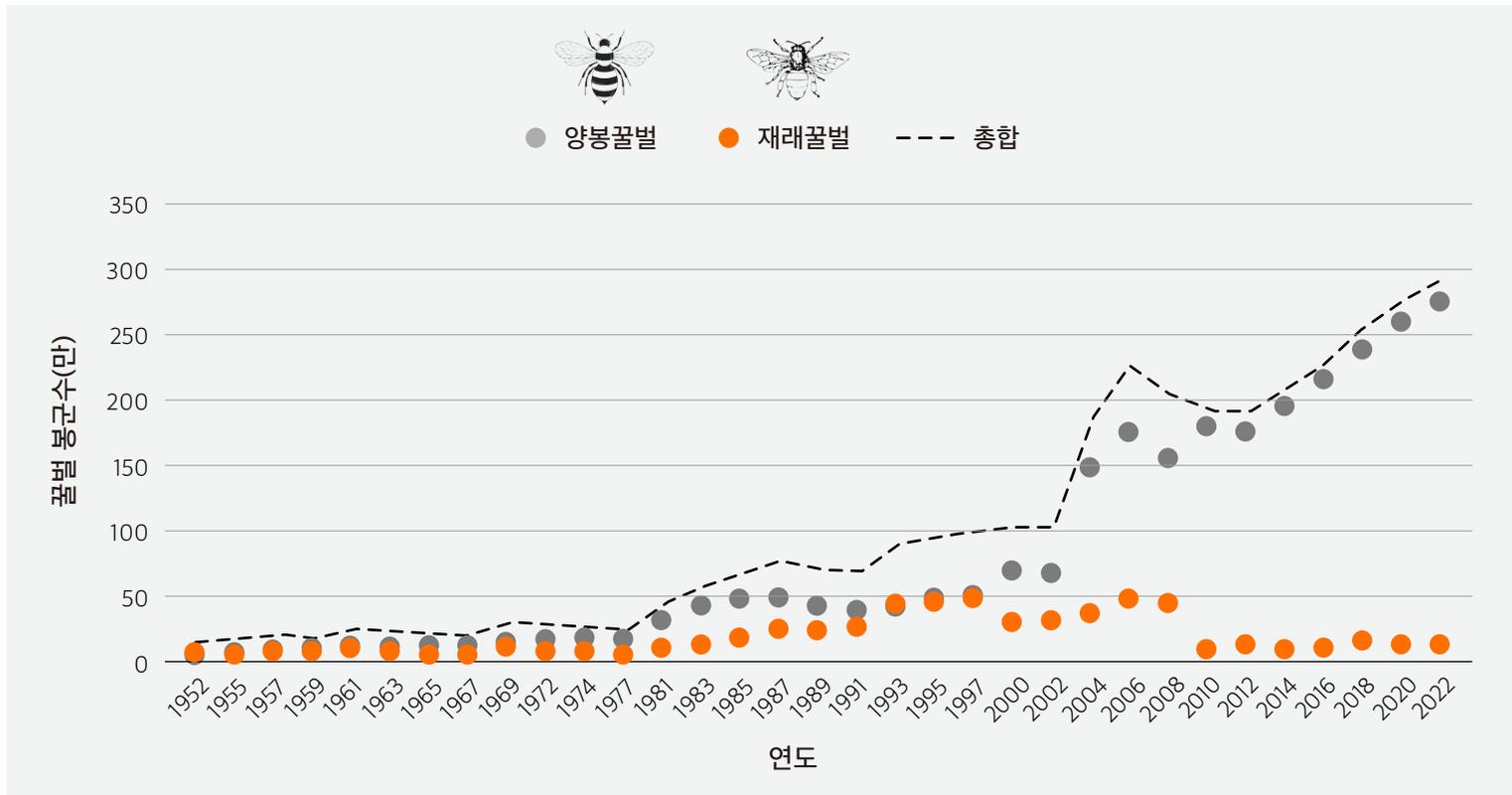


그림 9. 우리나라의 양봉꿀벌 (회색 점)과 재래꿀벌(주황 점)의 봉군 수 변화⁷

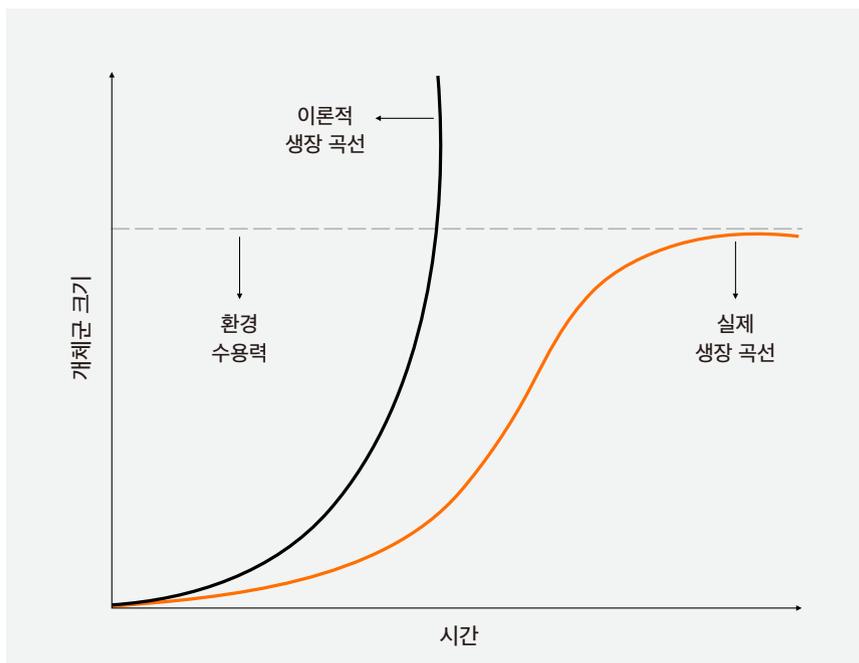


그림 10. 대수함수적 개체군 성장 이론에 따르면, 우리나라 양봉 꿀벌 봉군수는 수용능력에 근접해 있음을 추정할 수 있다.

재래꿀벌 (Apis cerana)

고구려 동명성왕 시대에 재래꿀벌이 인도로부터 중국을 거쳐 우리나라에 들어왔다는 기록을 볼 때 삼국시대에 이미 양봉이 성행했음을 추측할 수 있다. 1980년대까지 10만군 이하로 사육되다가 2000년대 초반 40만군 까지 증가하였다. 그러나 2009년 낭충봉아부패병의 여파로 그 개체수가 급감했다. 이후 증식과 폐사를 반복하며 10만군 수준을 유지하다가, 2018년 농촌진흥청이 질병저항성 재래꿀벌 품종을 개발, 보급하는 등의 노력으로 점차 회복하고 있다.

양봉꿀벌과 달리, 재래꿀벌은 집단밀원에서 단일 식물의 벌꿀을 대량으로 집중 생산하기가 어려워, 양봉산업에 있어 상대적으로 불리하다. 그러나 재래꿀벌은 오랫동안 우리나라 환경에 적합하게 적응해 왔으며, 다양한 초본류 및 목본류의 밀원을 방문하는 경향이 있기에 넓은 범위의 화분매개 기능을 수행한다. 또한 작은 무리의 꽃 피는 식물이나 양봉꿀벌이 즐겨 방문하지 않는 꽃에서도 활동을 하기 때문에 농작물과 과수뿐 아니라 임산업의 화분매개자로서의 가치도 뛰어나다.

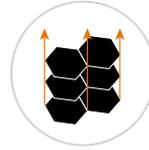
꿀벌의 사회성과 생활사

꿀벌은 다른 사회성 벌류나 곤충들과는 다른 행동적 특징을 가지고 있다. 야생벌 중에서도 뒤영벌류, 침 없는 벌(stingless bee) 등 일부 사회성을 보이는 종들이 있으나 그 형태는 꿀벌에 비해서 원시적이다. 동물 사회성의 기본 요건 3가지는 생식(노동)의 분화, 동지에서의 공동 육아와 세대 중첩이다. 꿀벌의 일벌 불임(일벌은 번식하지 않는) 계약은 사회성을 획득하는 기본 요건 중에서도 가장 원초적인 합의이다. 이를 유지하기 위해 여왕벌이 건강한 상태로 봉군을 통제하며 산란을 충분히 해야 하고, 일벌은 여왕벌의 통제에 따라 산란하지 않고 여왕벌의 안녕과 산란을 도와 봉군 유지 활동을 하는 것이다.

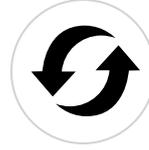
다른 벌들과 구분되는 꿀벌의 행동적 특징



의사소통을 위한 벌춤



꿀벌이 스스로 생산한 수직구조의 벌집 조성



벌방의 재활용



늙은 어미 여왕벌에 의한 새로운 봉군 형성(분봉)



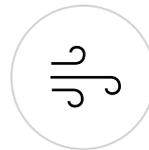
분봉 시 일벌의 걸집을 통한 봉군 온도 조절



여러 번에 걸친 소량 급식을 통한 먹이 생산/제공의 경제성



여왕벌의 다중 교미



환풍과 수분 증발을 통한 벌집 내부 온습도 조절

꿀벌 봉군은 장수하는 어미(여왕벌)와 수만의 암컷(일벌)과 소수의 수컷(수벌)으로 구성된다. 여왕벌은 봉군의 번영을 위해 필요한 알을 낳는 중대한 임무를 수행하므로 항상 존재해야 한다. 그러나 여왕벌이 노쇠하거나 망실 또는 분봉(새로운 서식지를 찾아 떠남)을 하게 되면 새로운 여왕벌을 양성할 필요가 생긴다. 여왕벌 양성의 책무는 일벌에게 있는데 여왕벌이 될 유충이 자랄 수 있는 방(왕대, Queen's cell)을 만들어 여왕으로 자랄 수 있도록 양육한다.

여왕벌의 양성 조건에 따라 자연왕대, 비상(변성)왕대, 인공왕대로 나뉘고 자연왕대는 분봉왕대와 갱신왕대로 구분된다. 왕대란 새 여왕벌을 키우기 위해 만들어지는 벌집의 방을 의미하며, 이 왕대가 만들어지고 여왕 유충이 있으면, 발육 기간 내내 일벌들이 로열젤리를 먹이로 제공하여 발육을 돕는다. 여왕벌이 새로 우화(번데기가 날개 있는 성충이 됨)하여 교미를 하기전인 상태를 처녀왕이라 부르는데, 처녀왕은 출방 후 5~7일이 지나면 주로 수벌집합소(수벌이 모여 있는 집합 공간)를 찾아가 교미비행을 한다. 통상 10여 마리의 수벌과 교미를 한 여왕벌은 봉군으로 돌아와 난소 발육을 마무리하고 산란을 시작한다. 여왕벌은 하루 평균 2,000개 이상, 생애 총 약 100~150만 개의 알을 산란한다. 여왕벌의 평균 수명은 3~4년으로 오래 사는 경우에 8년까지 생존하며, 적정 산란기는 약 2년이다. 교미한 여왕벌이 산란한 수정란에서는 일벌(암컷)이 우화하게 된다.

일벌은 생리적 연령에 따라 노동이 나뉜다. 일벌의 노동은 봉군 내부의 다양한 일을 담당하는 내역(집안일)과 먹이활동과 같은 외부의 활동을 주로 하는 외역(밖일)으로 구분된다. 출방 초기에는 소방(꿀벌의 집) 청소, 봉개 작업(유충이 번데기로 넘어갈 때 벌방의 뚜껑을 막아주는 일)을 한다. 출방 5일 정도부터는 일벌의 하인두샘과 큰턱샘이 발달해, 유충을 양육하거나 여왕물질의 전파 작업을 한다. 이후 밀랍샘에서 분비되는 왁스를 이용하여 집을 짓고 외역봉이 수집해온 꽃꿀과 꽃가루를 저장하거나 벌통 내부 동료의 시체를 치우는 일 등을 하게 된다. 우화 후 약 3주가 되면 소문(벌들이 드나드는 문) 근처에서 환기 및 문지기 일을 통해 외부와 접촉을 하다가 먹이 수집활동을 시작하게 된다. 여름철 일벌의 수명은 우화 후 약 30일 내외이지만 겨울철 일벌 수명은 약 150일로 환경으로 인한 생리적인 차이로 수명이 달라진다.

수벌은 여왕이 수벌방에 산란한 미수정란이나 여왕이 망실된 봉군에서 출현한 산란성 일벌의 알에서 생산된다. 수벌의 발육기간은 약 24일로 꿀벌 집단에서 먹이 수집 활동이나 방어 활동에 참여하지 않는다. 오직 처녀왕과 교미하는 것이 유일한 활동이다. 수벌의 비행 활동은 어린 수벌에 의한 정찰비행과 성적으로 성숙해진 수벌의 교미비행, 그리고 배설을 위한 배설비행으로 나뉜다. 첫 비행은 우화 후 7~10일경 이루어진다. 12일 전후로 교미비행을 시작하고 끝낸 후, 생식기가 탈장되어 사망하게 된다.

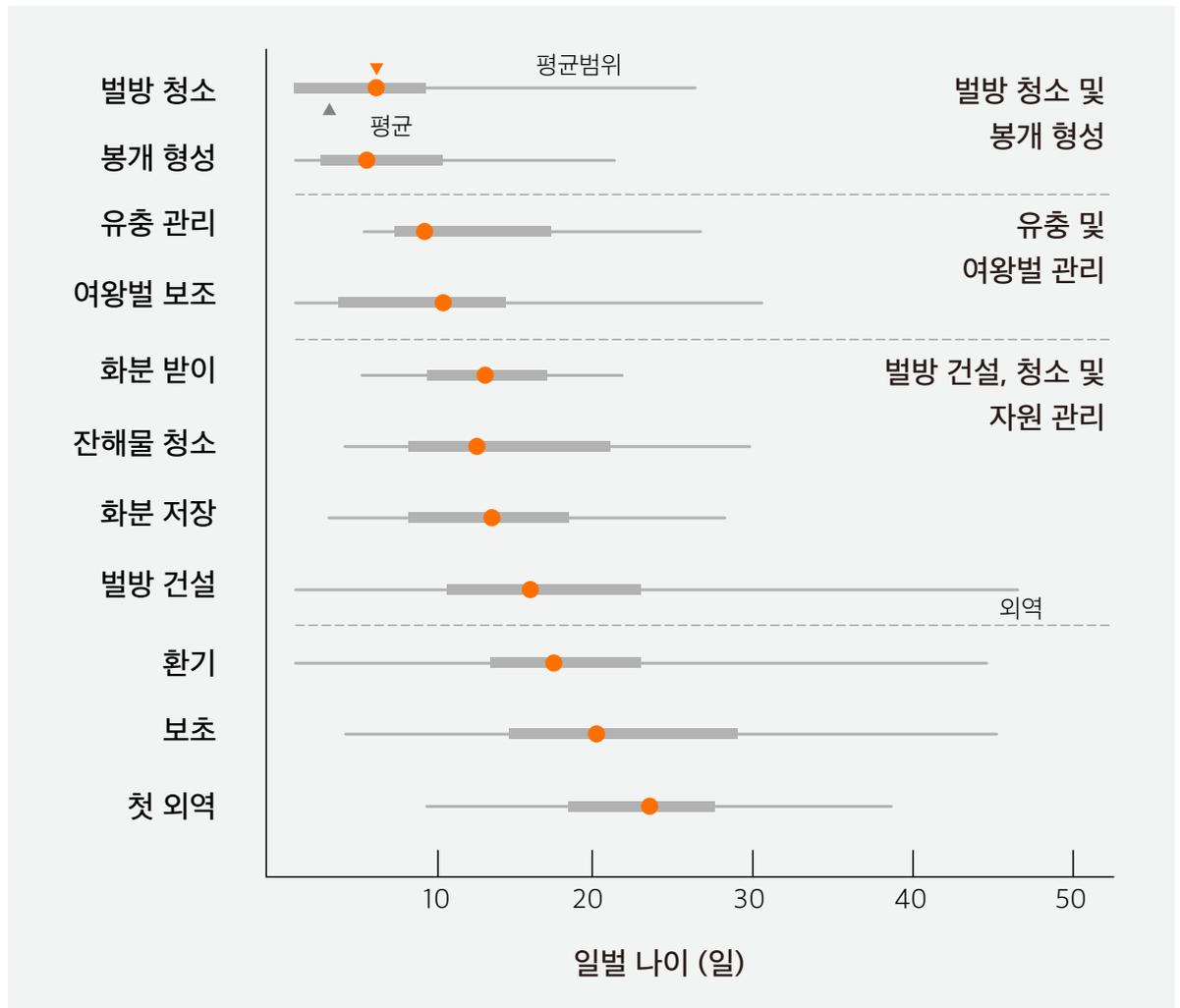


그림 11. 일벌의 연령(일)에 따른 노동 분화

1.2 꿀벌의 가치

양봉산물 종류별 생산량, 경제적 가치

꿀벌은 벌꿀을 포함한 다양한 양봉산물을 생산하여 양봉농가에 경제적 이익을, 작물에 화분매개를 통해 농민의 경제적 이익을 제공한다. 벌꿀 뿐만이 아닌 로열젤리, 프로폴리스, 화분 등의 양봉산물도 중요한 식량 자원이며, 식의약 산업 분야 등에서 각종 원료와 소재로 활용된다. 국내 양봉산업은 지속적으로 성장하고 있는 중요한 산업으로 2015년 4,256억 원에서 2017년 5,527억 원, 2020년 6,000억 원으로 증가하였다.⁸⁾

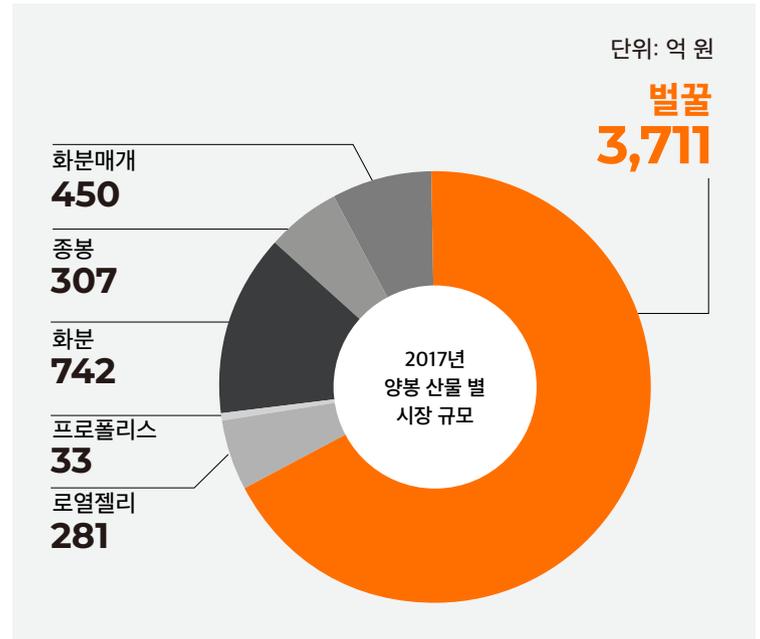


그림 12. 2017년 양봉산물별 시장규모

양봉꿀벌과 재래꿀벌의 농가 수 증가와 벌꿀 생산량 변동

국내 양봉꿀벌 사육 가구 수는 2000년 기준 20,000가구 이상이었으나 2~3년 후 25,000가구 이상으로 급격히 증가하였다. 2010년 초반까지 10년간 5,000여 가구 정도가 감소하였다. 이후 2018년에 25,000가구로 다시 회복하여 2020년까지 유지되는 경향을 보였다.

국내 재래꿀벌 사육 가구수는 2000년에 17,000가구 이상으로 양봉꿀벌과 대등한 수준이었으나 2009년을 기준으로 급격한 하락세를 보이며 2012년 이후 현재까지 5,000가구 수준을 유지하고 있다. 벌꿀 생산량의 경우, 2000년대 들어서 25,000톤 수준으로 안정기를 보이다가 2015년 이후 대흉년과 풍년 등 큰 폭의 변동을 보인다. 이는 양봉꿀벌 사육 밀도가 26.7봉군/km²으로 매우 높고, 유밀기 강수나 추위 등 이상기상 현상으로 인한 영향으로 파악된다.

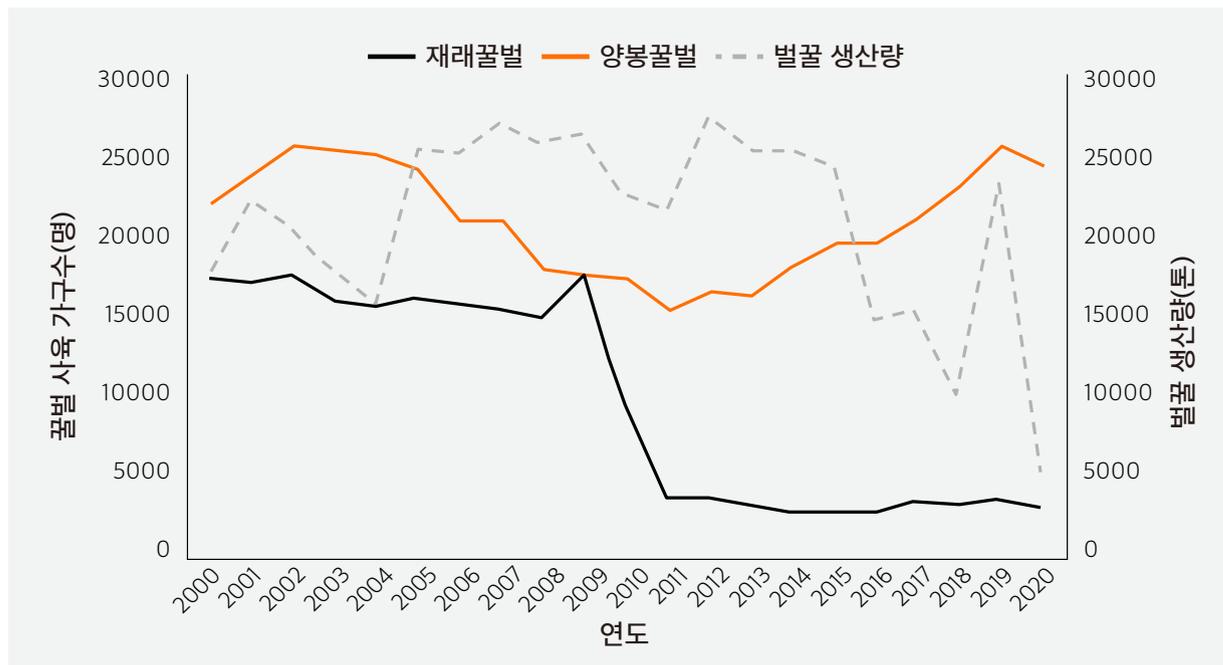


그림 13. 국내 2000-2020년 양봉꿀벌, 재래꿀벌 사육 가구수 및 벌꿀 생산량

화분매개 가치

영국 왕립지리학회가 지구상 꼭 필요한 생물 5종 중 하나로 꿀벌을 꼽을 만큼⁹, 꿀벌은 가장 중요한 화분매개곤충이다. 화분매개곤충은 다양한 농작물들의 꽃가루를 옮겨 종자 형성과 과실 생산을 유도한다. 유엔 식량농업기구(Food and Agriculture Organization, FAO)에 따르면 전 세계 개화 식물의 87%가 곤충에 의해 수분을 한다. 또한 전 세계 식량

90%를 차지하는 100대 농작물 중 70% 이상이 꿀벌의 화분매개에 의존하며 식량안보에 크게 영향을 미친다. 농작물 생산에 있어 화분매개자가 기여하는 경제적 가치가 전 세계적으로 연간 약 2,350~5,770억 달러¹⁰ 국내 꿀벌은 5.8~6조원 이상으로¹¹ 추정된다. 하버드 대학교는 화분매개체의 감소로 매년 약 40만 명이 영양실조로 사망한다는 연구 결과를¹² 발표하기도 하였고, 화분매개곤충의 의존도가 높은 아열대 작목의 종류와 면적이 증가하여 화분매개곤충의 중요성이 증가하고 있다.

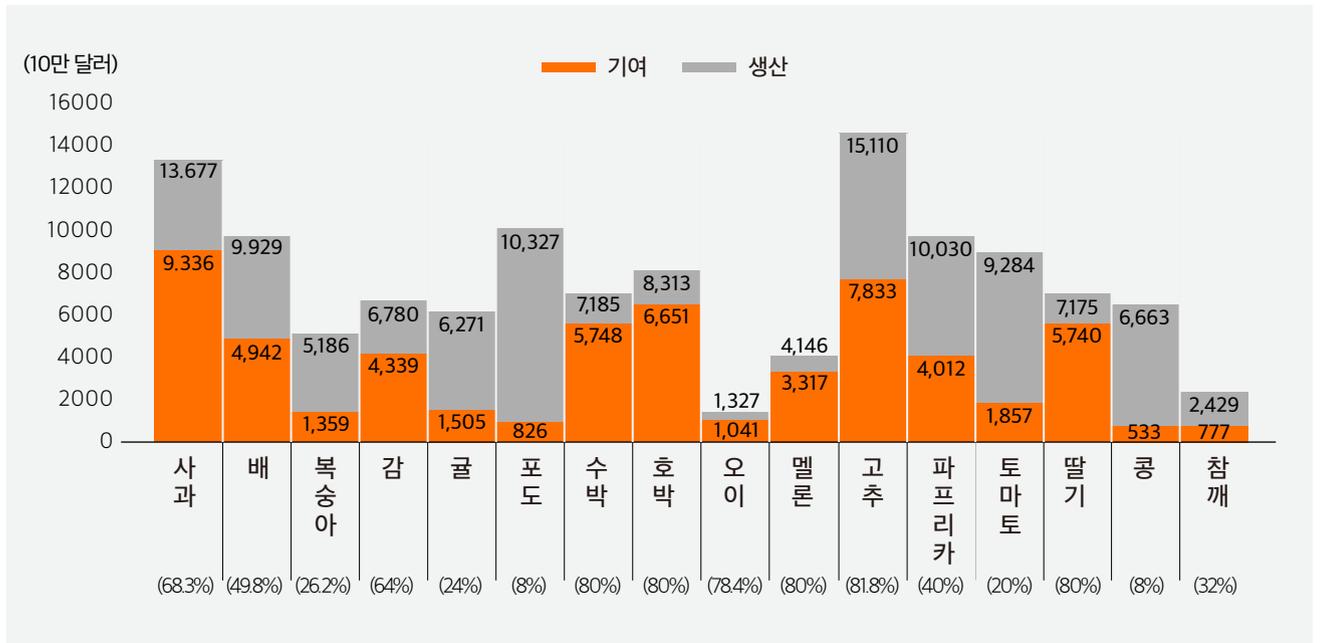


그림 14. 국내 꿀벌 화분매개 추정 가치¹³

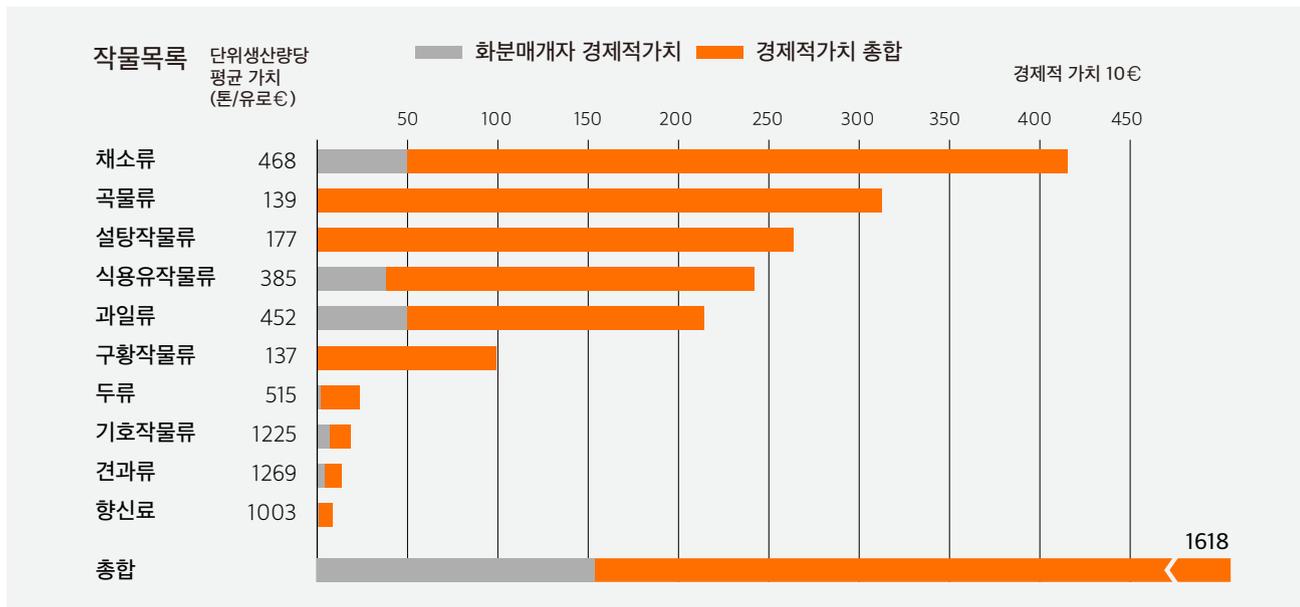


그림 15. 작물생산에 대한 화분매개 서비스 가치평가¹⁴

2015년 제70차 UN 총회에서는 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals: SDGs)라는 17개의 목표와 169개의 세부목표를 제시하였다. 그중 11개의 목표가 꿀벌과 화분매개와 연관되어 있다. UN은 특히 2번 목표인 '기아 해소, 식량안보와 지속가능한 농업발전'을 달성하기 위해 2030년까지 농업 생산량과 여성, 원주민, 소농 등 소규모 식량

생산자들의 수익을 2배로 늘리고, 지속가능한 식량 생산 시스템을 보장하기 위해 생태계를 유지할 것이라 밝혔다. 또한 15번 목표인 '땅 위 생명'에서는 산림생태계 보전과 생물다양성 보호를 목표로 진행된다. 2번과 15번을 포함한 유엔의 11개 목표는 앞서 언급한 벌의 화분매개 가치가 없다면 달성할 수 없는 목표이다.

1 모든 형태의 빈곤 종결

2 기아 해소, 식량안보와 지속가능한 농업 발전

3 건강 보장과 모든 연령대 인구의 복지 증진

4 양질의 포괄적인 교육 제공과 평생 학습 기회 제공

5 성평등 달성과 모든 여성과 여아의 역량 강화

6 물과 위생의 보장 및 지속가능한 관리

7 적정 가격의 지속가능한 에너지 제공

8 지속가능한 경제 성장 및 양질의 일자리와 고용 보장

9 사회기반시설 구축, 지속가능한 산업화 증진

10 국가 내, 국가 간의 불평등 해소

11 안전하고 복원력 있는 지속가능한 도시와 인간 거주

12 지속가능한 소비와 생산 패턴 보장

13 기후변화에 대한 영향 방지와 긴급 조치

14 해양, 바다, 해양 자원의 지속가능한 보전 노력

15 육지 생태계 보전과 삼림 보전, 사막화 방지, 생물 다양성 유지

16 평화적, 포괄적 사회 증진, 모두가 접근 가능한 사법, 행정 제도

17 이행 수단 강화와 기업 및 의회, 국가 간의 글로벌 파트너십

지속가능한 발전 목표
17가지

그림 16. 지속가능한 발전 목표 17가지¹⁵



© Greenpeace / Bernd Lauter

그림 17. 독일 바이어
본사 앞, 그린피스 액티비스트의
손에 담긴 죽은 벌 사체



그림 18. 꿀벌응애로
죽은 벌 사체

© Greenpeace / Richard Lutzbauer

벌의 위기와 보호 정책 제안

꿀벌의 위기 요인



1
꿀벌의 중요성과 가치

2

3
주요 국가별 정책

4
제언 사항

2.1 꿀벌이 직면한 위기

복합적 요인으로 인한 꿀벌 집단 폐사

꿀벌이 흔적도 없이 사라지는 꿀벌군집붕괴현상(Colony Collapse Disorder: CCD)은 양봉 업계를 비롯한 농업계의 가장 큰 이슈 중 하나로, 2006년 가을 미국 플로리다의 이동양봉꾼이 처음 발견했다. 이 현상의 원인은 꿀벌의 내외부 기생충, 질병, 화학 약제의 남용, 환경 스트레스, 꿀벌의 사료 주입 및 영양 결핍, 장거리 꿀벌 집단의 이동, 무분별한 봉군 또는 여왕벌의 수입, 그리고 최근 일련의 기후변화 등 다양한 요인이 지목되었다. 지난 수년간의 집중적인 연구 결과, 특정 요인에 의한 봉군 행동장애 보다는 다양한 요인들이 복합적으로 연관되어 나타나는 현상으로 귀결되고 있다. 이러한 피해 규모는 계속 커지고 있다. 2022년 초 국내 78억 마리의 꿀벌이 사라진 데 이어, 같은 해 9~11월 사이에만 100억 마리의 꿀벌이 사라진 것으로 확인되었다.¹⁶ 2023년 초, 한국양봉협회 소속 농가의 벌통 153만7270개 중 61.4%인 94만4000개의 꿀벌이 폐사한 것으로 집계되었다.¹⁷

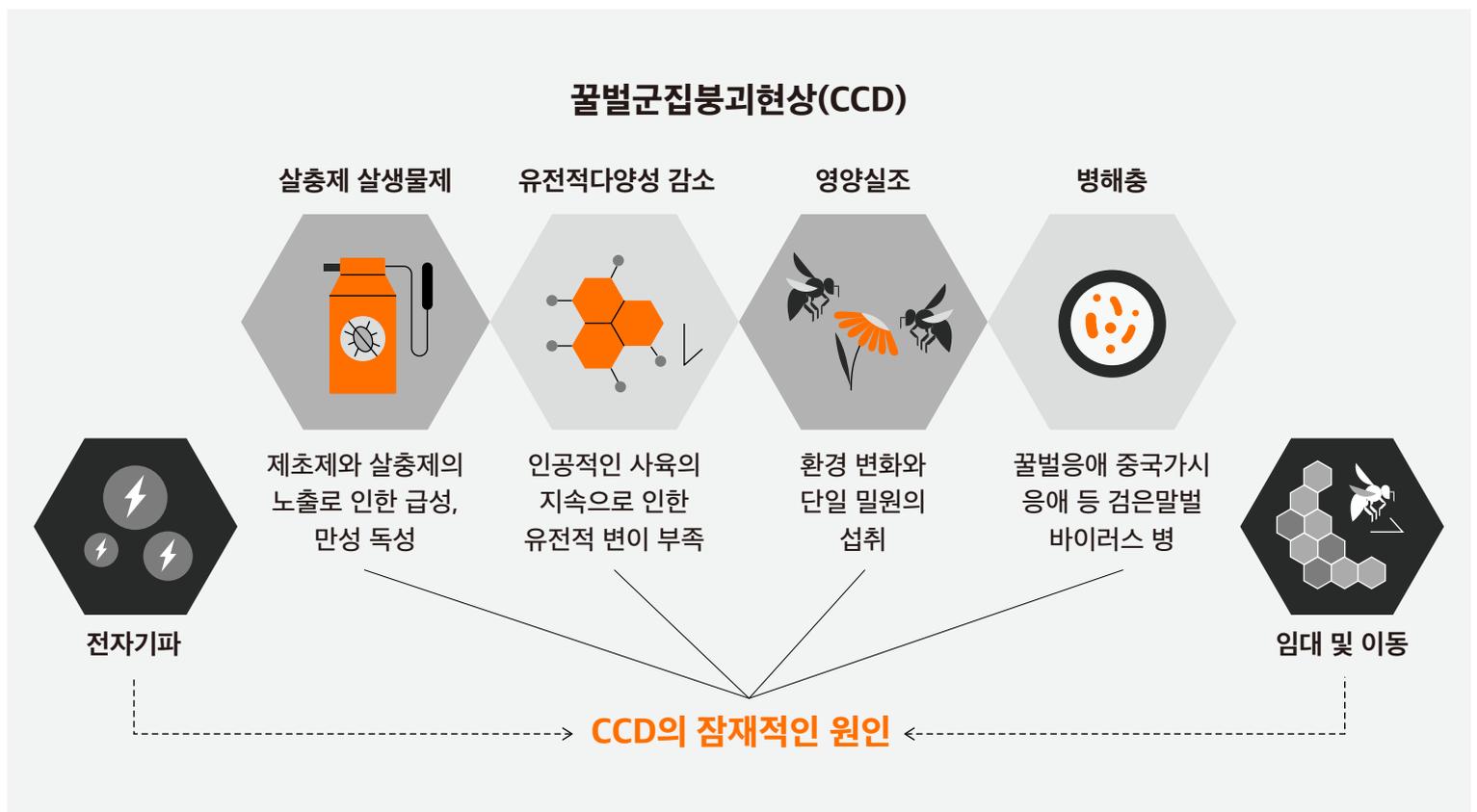


그림 19. 꿀벌군집붕괴현상(CCD) 발생 원인

국내 월동 폐사

지난 20년간 연도별 국내 양봉꿀벌 군수는 2000년 100만 군을 기록, 2005년 170만 군까지 증가했다. 이후 2011년까지 성장세가 정체된 후 2020년까지 250만 군까지 증가했다. 그 당시까지 유럽 및 미국과는 달리 꿀벌군집붕괴현상(Colony collapse disorder; CCD)에 의한 영향은 크지 않은 것으로 생각되었다. 그러나 2015년 이후 벌꿀 생산의 변동성이 커지고, 2021년 봄의 기상이변으로 인한 강수량의 증가로 꿀벌 생산이 극심히 줄어들었다. 이후 겨울철 월동 폐사 및 소실 사건이 반복되면서 봉군 약화와 벌꿀 생산 감소의 악순환이 이어졌고, 2022년부터는 봉군의 꿀벌 성충이 사라지는 현상이 발생했다. 해남에서 최초로 보고된 꿀벌의 집단 실종 사례 이후, 전국적으로 이러한 문제가 보고된 것이다. 2022년 3월까지 지역별 양봉 농가 꿀벌 피해는 경북 47.7%, 전남 43.2%, 전북 31.4%에 이른다.¹⁸ 2021년과 2022년의 꿀벌 월동 폐사율은 각각 35%, 43%로 꿀벌 월동 실패율이 증가하고 있다.¹⁹

해외 월동 폐사

CCD는 2006년 10월 미국에서 최초로 관찰된 이후 캐나다, 유럽, 브라질 남부 열대 지역 및 아시아 등지에서도 유사한 증상이 나타났다. 미국 워싱턴에서 2015년 조사된 CCD에 의한 꿀벌 개체 손실의 연구에 따르면 2014~2015년 연간 42.1%의 손실이 발생하였다. 전 세계적으로 2012년 가을과 2013년 여름 사이에 꿀벌 겨울 손실률이 3.5%(리투아니아)에서 최대 33.6%(벨기에)에 이르렀으며 7개국(벨기에, 덴마크, 에스토니아, 핀란드, 스웨덴 라트비아 및 영국)이 15% 기준을 초과한 폐사율을 보였다. 아시아의 경우, 중동 지역에서 최대 85%의 꿀벌 손실률이 보고되었고, 일본에서도 25%의 양봉가에서 꿀벌의 급성 폐사가 나타났다.

2.2 기후변화

양봉 계절 불일치

기후변화의 영향으로, 2010년대 이후 한반도의 기온 상승이 두드러지고 있다. 이산화탄소 농도와 온도의 증가로 한랭성 식물들의 수평적·수직적 분포가 변하는 등 식물 패턴의 변화 현상이 보고되고 있다.

구체적인 예로 사과를 들 수 있다. 사과는 꿀벌이 화분매개하는 대표적인 과일 중 하나로, 4월부터 10월까지의 평균기온이 15~22°C인 환경에 적합하다. 특히 세계적으로 유명한 사과 주산지의 연평균 기온은 13.5~18.5°C 범위에 있다.^{20, 21} 이런 사과의 국내 주요 재배지가 북상하고 있다. 과거에는 대구, 충남 예산, 경북 안동 등이 대표적인 사과 재배지였으나, 최근 기후변화의 영향으로 강원도 고랭지가 사과 재배의 적지가 되었다.²² 한반도의 연평균 기온이 지난 100여 년(1912~2017년) 동안 10년마다 0.18°C씩 오르자, 기존 사과 주산지는 사과를 기르기 너무 더운 환경이 되었고, 과거 고랭지 배추의 주산지는 사과를 기르기 알맞은 환경이 된 것이다.

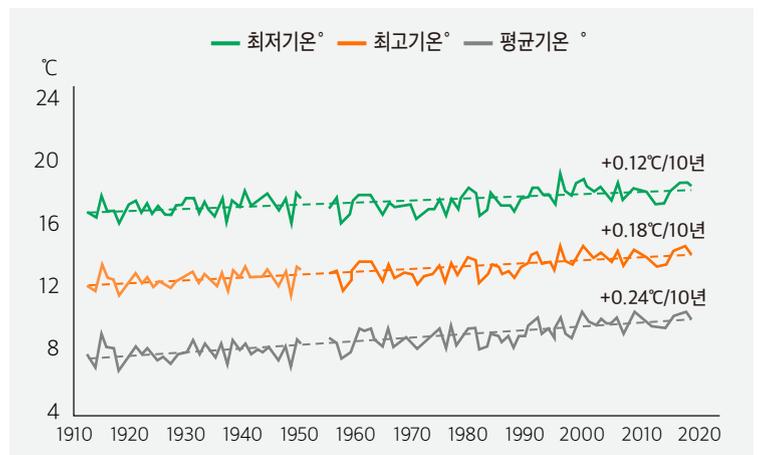


그림 20. 지난 100년간 국내 평균 최고기온, 최저기온, 평균기온의 변화 경향

이러한 식물 생태의 변화는 일차적으로 화분매개자-식물 간의 시간적(계절 발생)·공간적 불일치(분포 변화) 현상을 유발한다. 이 현상은 앞서 언급한 사과의 예로 설명할 수 있다. 올해 3월 평균 기온이 평년보다 높아져 사과 등 과일나무의 꽃 피는 시기가 빨라지고 있다. 꽃이 피었을 때 벌이 아직 활동을 시작하지 않는다면, 이는 '시간적 불일치'라고 언급할 수 있다. 또한 기후변화로 사과 재배지는 북상하지만, 땅 속에 집을 짓는 야생벌들은 북상하지 못한다면 이는 '공간적 불일치'로 설명할 수 있다.

또한 생리적 반응 특성에 따라 형태적 불일치(구기 및 화서 구조) 및 인지 불일치(선호성, 식물 휘발 물질 등)를 유발할 수 있다. 최근 제주와 남부지역 중심으로 재배되던 감귤나무가 전북지역까지 올라왔으며²³, 대표적인

열대성 과일인 패션프루트나 구아바도 국내에서 재배되기 시작했다.²⁴ 과실수 이외 다른 식물도 기후변화의 영향으로 식생이 불가능해지거나 새로운 종으로 대체될 경우, 기존의 벌이 새 식물에서 화분매개를 성공할 가능성이 작아진다. 벌의 화분매개는 꿀벌의 혀 길이와 꽃의 화관 길이 및 화서 구조가 서로 잘 맞아야 가능하기 때문이다. 식생이 변경됨에 따라 채밀이 불가능한 경우, 앞서 언급한 '형태적 불일치'가 일어나는 것이다. 또한 기존의 식물이 내뿜던 향이 아닌 다른 향인 경우, 혹은 최근 양봉인 사이에서 언급된 바대로 아까시나무의 꽃에서 향기가 나지 않아 벌이 꽃을 못 찾는 일이 벌어질 경우²⁵, 이는 인지 불일치 현상으로 볼 수 있다.

이러한 식물과 화분매개자 불일치는 꿀벌과 야생벌에게 치명적인 영향을 끼친다. 벌은 밀원식물의 화밀과 화분에서 각각 탄수화물과 단백질을 공급받아 면역력을 강화하기 때문이다.

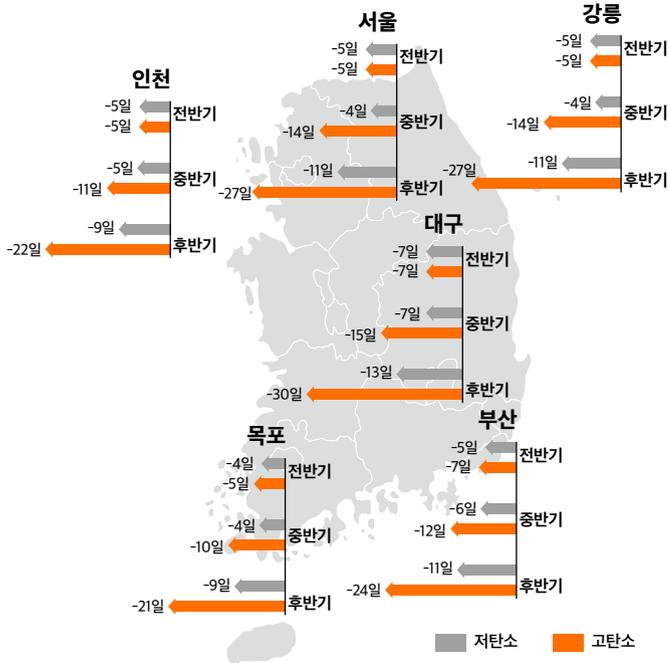
- 공간적 불일치: 기후변화로 인해 국내 기존 식물상의 분포 변화와 꿀벌의 분포 변화가 어긋나 발생
- 시기적 불일치: 기후변화로 인한 식물의 개화시기가 변하는 등 식물의 개화시기가 꿀벌의 활동시기와 일치하지 않아 발생
- 형태적 불일치: 꽃의 화관 길이, 화서 구조 등의 형태 변화로 혀 길이 등 꿀벌의 형태와 맞지 않아 발생
- 인지적 불일치: 식물이 벌을 유인하기 위해 발생시키는 물질(꽃 향기 및 화밀 생산 물질 등)이 꿀벌이 선택하는 밀원의 수종과 불일치해 발생한다.



그림 21. 기온 상승에 따른 식물-화분매개자 불일치 시나리오²⁶

동시 개화

진달래는 개나리보다 늦게 개화하는 것이 일반적이거나 2080년 이후에는 개나리와 진달래가 동시 개화하거나, 진달래가 더 빨리 개화할 것으로 예상된다. 또한, 봄꽃 개화일은 과거 1950~2010년대(약 60년간) 대비 약 3~9일 당겨진 것에 비해 향후 약 60년 이후 2080년에는 23~27일 앞당겨 질 것으로 보여²⁷, 개화시기 변화속도가 과거보다 빨라질 것으로 나타났다.



추가로 남쪽에서부터 서서히 오던 봄이 남부지방, 중부지방 가리지 않고 한 번에 찾아오면서 전국적으로 봄이 빨라지는 기후 현상이 나타난다. 최대 밀원식물인 아까시나무가 개화하는 5월에 최대한 많은 양의 꿀을 확보하는 것이 중요한데, 아까시나무의 개화기간 또한 10~15일 정도로 짧아졌다. 더욱이 전국적인 개화가 2~3일 차이로 동시다발적으로 진행되며 개화 기간도 짧아지면서 대체할 밀원수가 필요한 상황이다.

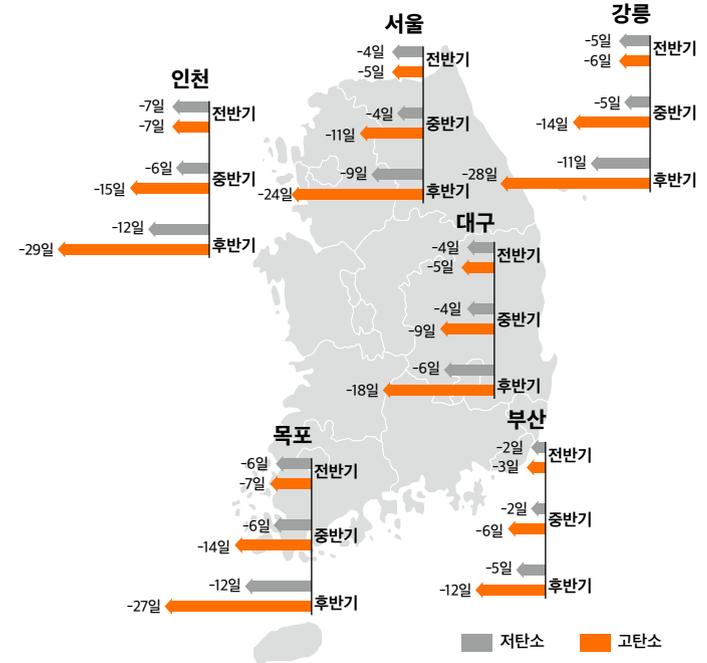


그림 22. 기후변화 시나리오에 따른 관측 지점별 벚꽃 및 개나리의 개화시기 전망²⁸

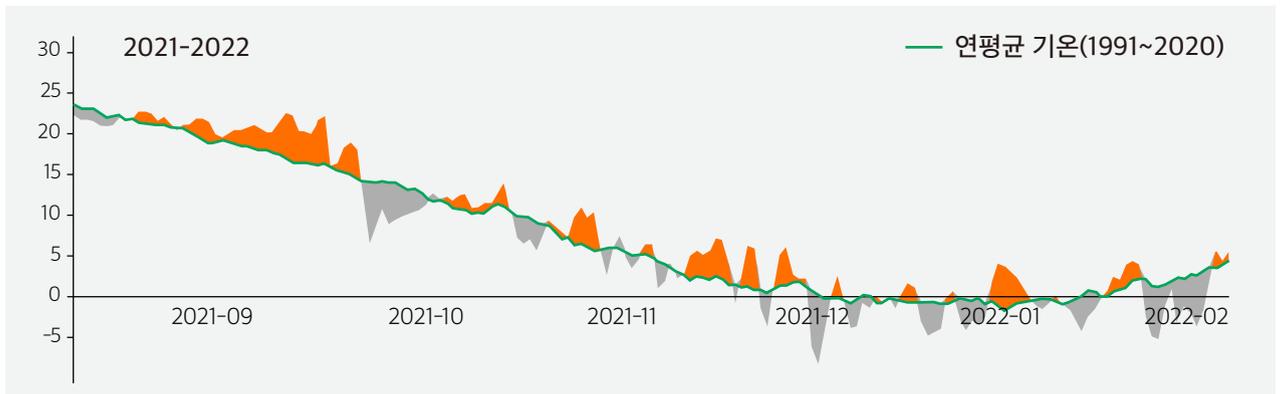
이상 기온

기후변화 현상 중에서도 겨울철 온난화 및 이상 기상 현상의 빈도 증가는 월동기를 보내는 꿀벌의 생존에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 꿀벌이 월동 준비를 시작하고 월동하는 9월에서 2월까지의 일평균 기온(2021~2022년)과 평년기온(1991~2020년)을 비교해 보면 이를 확인할 수 있다. 2021년의 경우, 10월 초순까지 기온이 비정상적으로 높았다가 10월 중순에 갑자기 평균 기온이 10°C 이상 떨어졌다. 급격한 온도 변화로, 월동 준비를 하던 꿀벌에 혼선을 주었다. 이후 12월 24일까지 평년에 비해 기온이 높아

지는 현상이 다시 벌어져, 꿀벌은 월동에 제대로 들어가지 못했고, 바로 다음 날인 25일 평균기온이 영하 10°C로 급격히 떨어지면서 많은 꿀벌들이 폐사했다. 다음 해 겨울에도 상황은 반복되었다. 2022년 12월과 2023년 1월 온난화와 함께 갑자기 찾아온 1월 말 강추위가 꿀벌 생존에 치명적 영향을 끼친 것으로 추정된다.

최근 월동이 끝난 벌통 안에서 여왕벌이 겨울 내 알을 난 흔적이 발견되는 제보도 잇따르고 있다. 이는 급격한 온도 변화에 벌의 생활사가 혼선을 일으킨 결과로 분석된다.

그림 23. 2021-2022년 우리나라 일평균 기온의 변동성과 꿀벌의 월동



2.3 밀원의 생물다양성 감소

국내 주요 밀원

밀원식물은 화밀(nectar)과 화분(pollen)을 생산하여 꿀벌에게 먹이를 제공하기에 꿀벌과 야생벌의 봉군 세력 유지 및 관리에 중요한 역할을 한다. 지구상의 35만여 종의 식물 중 현화식물(생식 기관인 꽃이 있고 열매를

맺으며, 서로 번식하는 고등 식물)은 25만 종이며, 국내 4,600여 종의 식물 중 250여 종이 밀원으로 활용 가능하다. 우리나라에서는 2020년 「양봉산업의 육성 및 지원에 관한 법률(이하 양봉산업법)」이 시행되었으며 해당 법률은 밀원자원 지속적 확대를 위한 육성·보급(제3조), 밀원식물의 조성 및 보급, 관리 방안에 관한 종합계획의 수립(제5조), 밀원식물의 선발 및 품종 개량 연구(제9조)에 대해 명시하고 있다. 또한 밀원식물은 목본류, 초본류로 나누어 볼 수 있으며 초본 15종, 목본 25종과 그 밖에 양봉산업 육성을 위해 조성할 필요가 있는 종으로 명시하여 국내 밀원자원 조성을 장려하고 있다. 그러나 세부적인 계획이 없고 지자체에 자율적으로 심도록 규정되어 있어, 실효성이 부족하다는 평가를 받고 있다.

	목	과	속	종 (학명)	일반명
목본 (25종)	장미목	장미과	벚나무속	<i>Prunus mume</i>	매실나무
	차나무목	차나무과	동백나무속	<i>Camellia japonica</i>	동백나무
	장미목	장미과	벚나무속	<i>Prunus serrulata</i>	벚나무
	층층나무목	층층나무과	층층나무속	<i>Cornus controversa</i>	층층나무
	장미목	장미과	마가목속	<i>Sorbus commixta</i>	마가목
	감나무목	때죽나무과	때죽나무속	<i>Styrax japonicus</i>	때죽나무
	콩목	콩과	아까시나무속	<i>Robinia pseudoacacia</i>	아까시나무
	참나무목	참나무과	밤나무속	<i>Castanea crenata</i>	밤나무
	무환자나무목	칠엽수과	칠엽수속	<i>Aesculus turbinata</i>	칠엽수
	현삼목	현삼과	오동나무속	<i>Paulownia coreana</i>	오동나무
	무환자나무목	웃나무과	웃나무속	<i>Toxicodendron vernicifluum</i>	웃나무
	현삼목	물푸레나무과	쥐똥나무속	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	쥐똥나무
	층층나무목	층층나무과	층층나무속	<i>Cornus kousa</i>	산딸나무
	무환자나무목	운향과	황벽나무속	<i>Phellodendron amurense</i>	황벽나무
	무환자나무목	멀구슬나무과	참죽나무속	<i>Cedrela sinensis</i>	참죽나무
	미나리목	두릅나무과	황칠나무속	<i>Dendropanax morbiferus</i>	황칠나무
	무환자나무목	무환자나무과	모감주나무속	<i>Koelreuteria paniculata</i>	모감주나무
	미나리목	두릅과	음나무속	<i>Kalopanax septemlobus</i>	음나무
	무환자나무목	운향과	쉬나무속	<i>Evodia daniellii</i>	쉬나무
	아욱목	피나무과	피나무속	<i>Tilia amurensis</i>	피나무
무환자나무목	웃나무과	붉나무속	<i>Rhus chinensis</i>	붉나무	
무환자나무목	운향과	초피나무속	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	산초나무	
갈매나무목	갈매나무과	헛개나무속	<i>Hovenia dulcis</i>	헛개나무	
목련목	목련과	백합나무속	<i>Liriodendron tulipifera</i>	백합나무	
미나리목	두릅나무과	두릅나무속	<i>Aralia elata</i>	두릅나무	
초본 (15종)	풍접초목	십자화과	배추속	<i>Brassica napus</i>	유채
	콩목	콩과	황기속	<i>Astragalus sinicu</i>	자운영
	콩목	콩과	나비나물속	<i>Vicia villosa</i>	헤어리베치
	마디풀목	마디풀과	메밀속	<i>Fagopyrum esculentum</i>	메밀
	국화목	국화과	엉겅퀴속	<i>Cirsium japonicum</i>	엉겅퀴
	콩목	콩과	토끼풀속	<i>Trifolium repens</i>	토끼풀
	양귀비목	양귀비과	양귀비속	<i>Papaver rhoea</i>	개양귀비
	꿀풀목	꿀풀과	꿀풀속	<i>Prunella asiatica</i>	꿀풀
	초롱꽃목	초롱꽃과	도라지속	<i>Platycodon grandiflorum</i>	도라지
	사초목	화분과	옥수수속	<i>Zea mays</i>	옥수수
	질경이목	질경이과	질경이속	<i>Plantago asiatica</i>	질경이
	현삼목	참깨과	참깨속	<i>Sesamum indicum</i>	참깨
	제비꽃목	박과	호박속	<i>Cucurbita moschata</i>	호박
	꿀풀목	꿀풀과	들깨속	<i>Perilla frutescens</i>	들깨
	국화목	국화과	해바라기속	<i>Helianthus annuus</i>	해바라기

표 2. 양봉산업법 내 밀원식물 범위

월/순	3	4	5	6	7	8	9	10	
	초중하	초중하	초중하	초중하	초중하	초중하	초중하	초중하	
부 본	매실나무	■							
	동백나무		■						
	벚나무		■						
	층층나무			■					
	마가목			■					
	때죽나무			■					
	아까시나무			■					
	밤나무			■					
	칠엽수			■					
	오동나무			■					
	율나무			■					
	쥐똥나무			■					
	산딸나무			■					
	항벽나무			■					
	참죽나무				■				
	황칠나무				■				
	모감주나무				■				
	음나무					■			
	쉬나무						■		
	피나무						■		
붉나무						■			
산초나무						■			
헛개나무							■		
초 본	유채	■							
	자운영		■						
	헤어리베치			■					
	메밀				■		■		
	영경취				■				
	토끼풀				■				
	개양귀비			■					
	꿀풀				■				
	도라지				■				
	옥수수				■				
	질경이				■				
	참깨				■				
	호박				■				
	들깨						■		
해바라기						■			

표 3. 밀원식물
별 개화시기

한국에는 250여 종의 식물이 밀원으로 활용될 수 있어, 벌을 비롯한 화분 매개체가 연중 내내 다양한 밀원식물로부터 필수 영양분을 공급받을 수 있다. 그러나 한국의 밀원식물 대다수가 아까시나무에 집중되어 있어, 아까시나무의 개화 시기가 아닌 기간에는 꿀벌이 설당을 주로 먹고 산다. 꿀벌의 경우 양봉인이 주는 설당을 먹고 살게 되는데, 이 설당에는 탄수화물과 단백질이 없다. 결국 필수 영양분을 충분히 공급받지 못해 영양 스트레스에 빠지게 되며 수명이 줄어드는 결과로 이어진다. 그나마 아까시나무의 면적도 빠르게 줄어들고 있어 밀원식물이 부족한 상황이 벌어지고 있다.

아까시나무가 아닌 다른 밀원식물의 현 상황도 녹록지 않다. 피나무류(Tilia spp.)는 온대, 아한대식물로 밀원식물 및 가로수로서 그 역할을 다하고 있는 수종이다. 그러나 강원도 평창군과 홍천군의 경계에 있는 운두령(해발 1,000m)의 피나무군락과 각 사찰에 심겨져 있는 피나무류의 거목을 제외하고는 큰 나무를 찾아보기 어렵다. 음나무류(Kalopanax spp.)도 등산목이나 인가부근에 심겨져 있는 것을 제외하고는 큰 나무를 찾기 힘들다. 표 7처럼 밀원식물의 개화시기의 연속성이 보인다 하더라도 전국적으로 고르게 분포하고 있는 것이 아니므로 밀원식물의 증식이 필요하다.²⁹

주요 밀원식물 비교

개화 최성기 하루 동안 꿀벌이 어떠한 꽃을 가장 많이 찾는지를 확인한 결과(방화수 조사), 산사나무, 찰피나무, 가시오갈피나무가 아까시나무만큼의 방화수를 나타냈으며, 헛개나무와 쉬나무의 방화수는 아까시나무보다 4배 더 많았다. 주요 밀원수종들의 1일 평균 화밀 분비량을 비교한 결과, 대부분 수종이 아까시나무보다 1.5~2배 더 많은 화밀 분비량을 나타냈으며, 찰피나무의 경우 9배 더 많은 화밀이 분비되는 것으로 조사되었다.

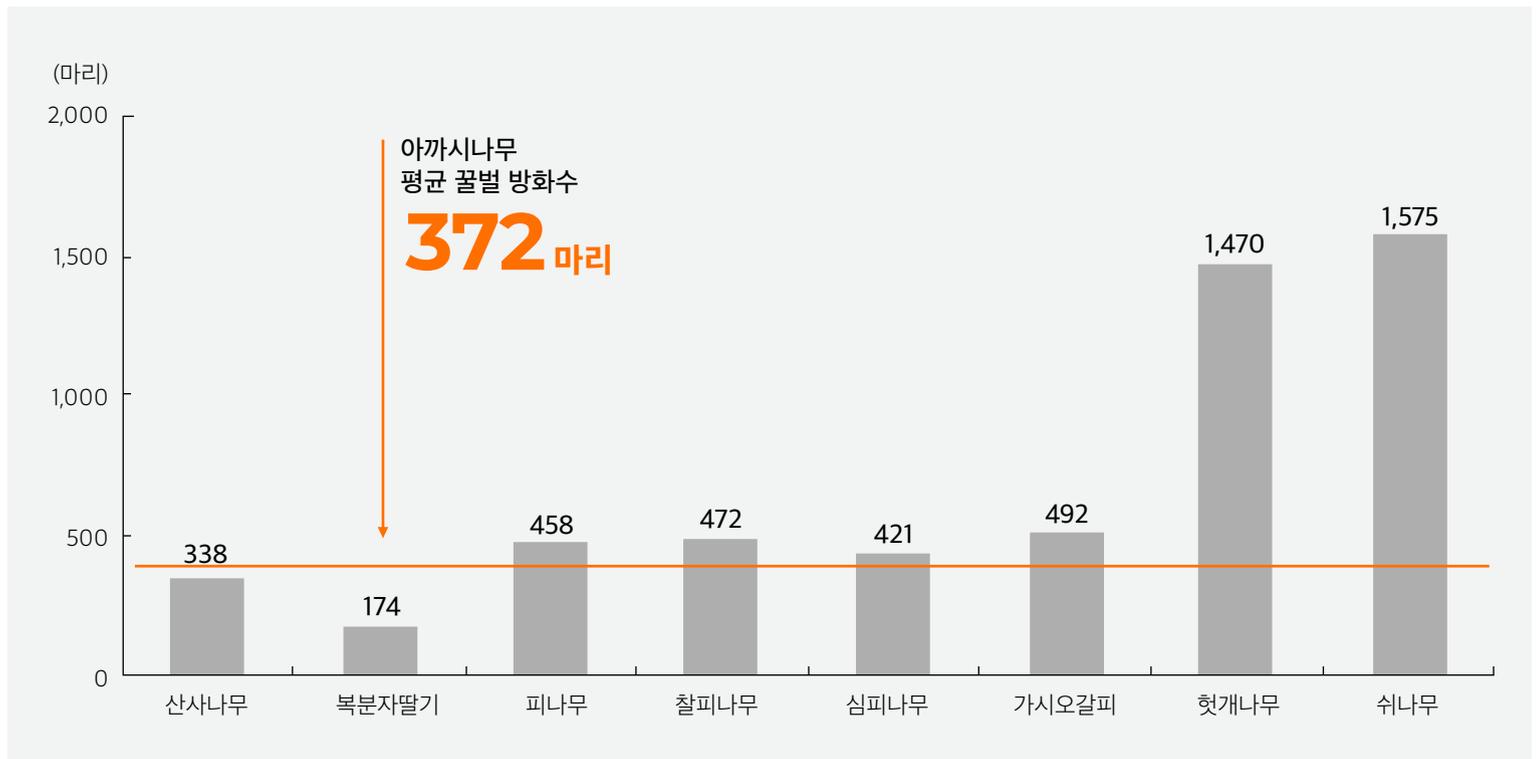
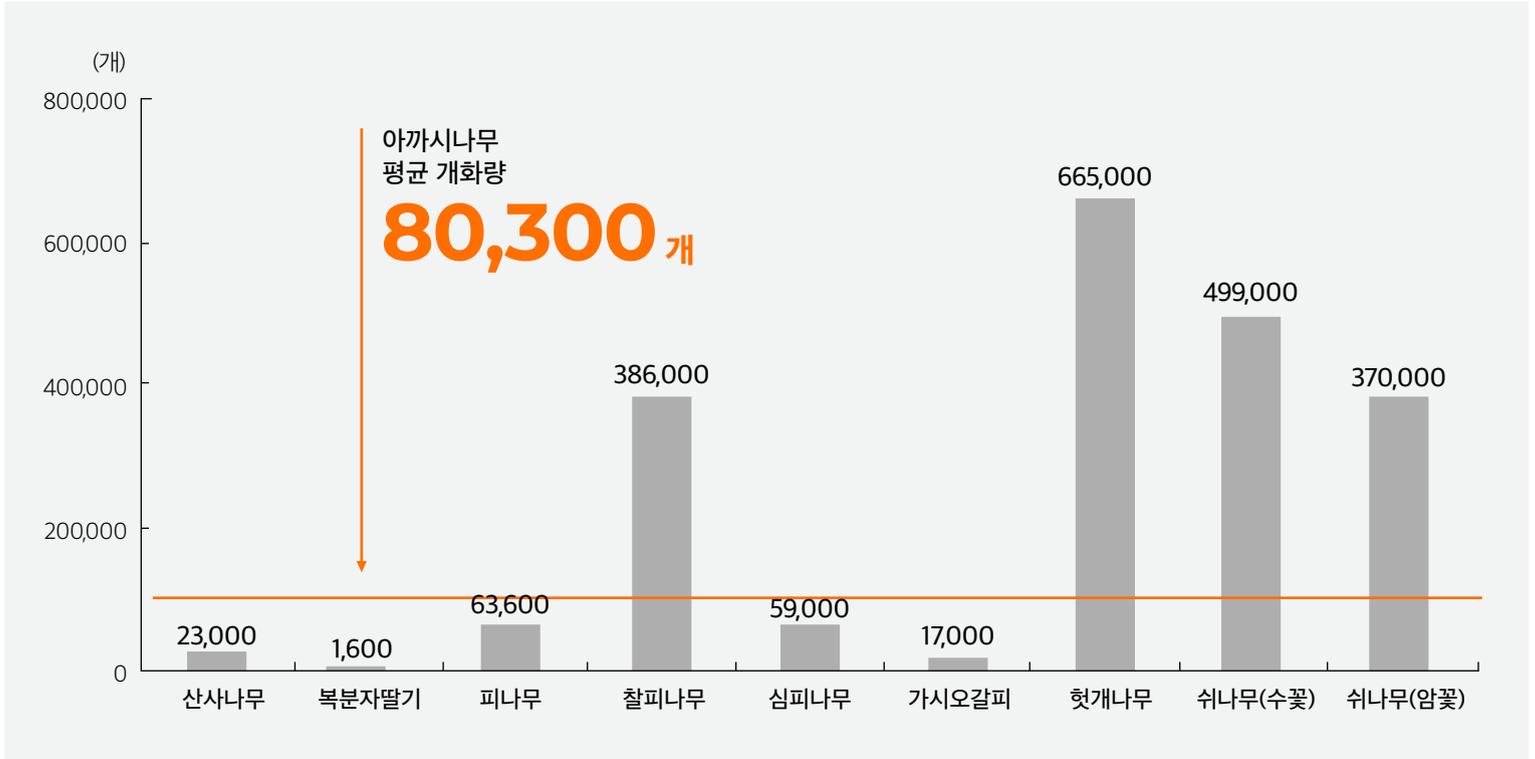
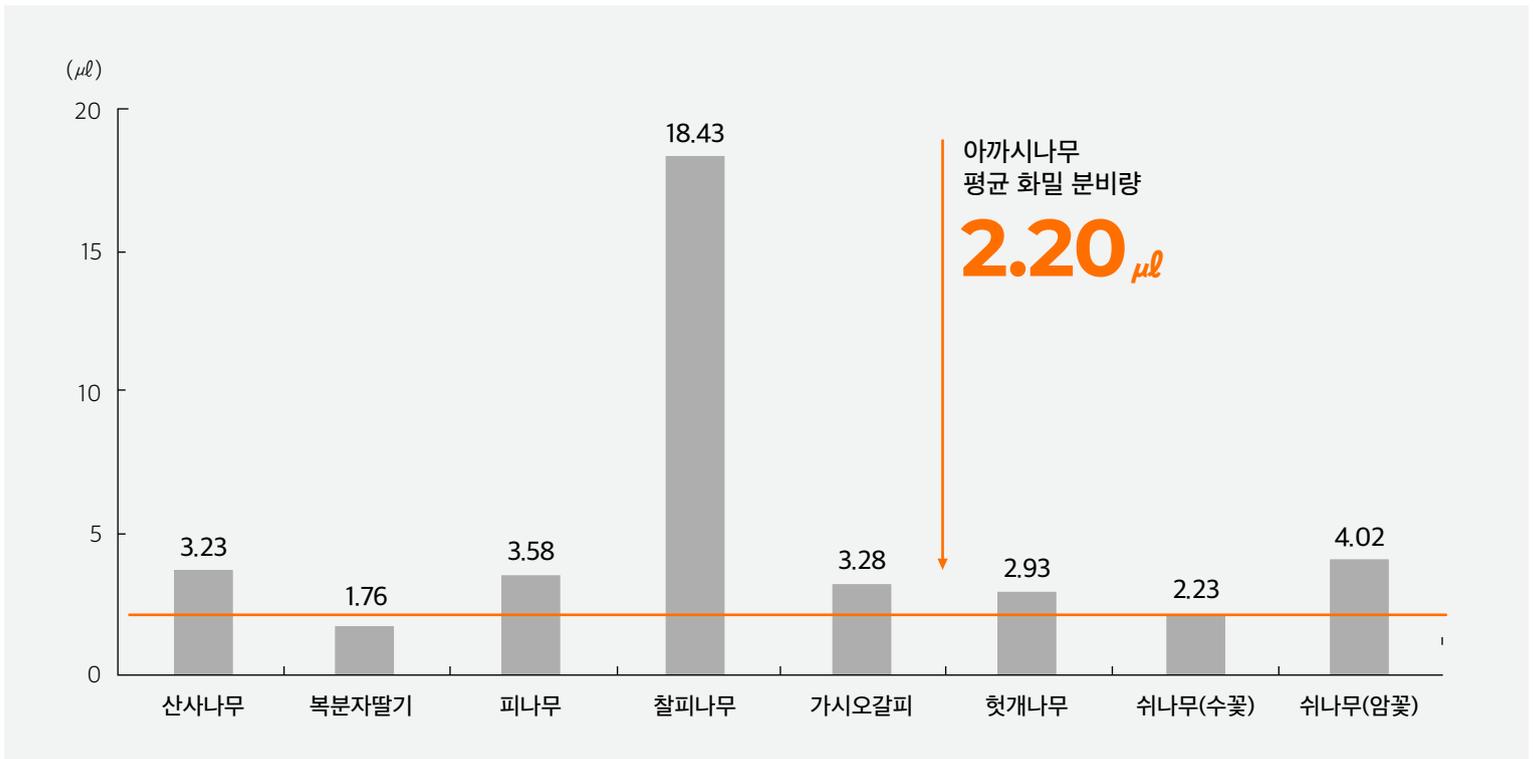


그림 24. 주요 밀원수종의 일 평균 꿀벌 방화수 비교³⁰

주요 밀원수종의 개화량, 개화 기간 및 화밀 분비 특성을 우리나라의 주요 밀원수종인 아까시나무와 비교했으나, 각 수종의 개화 기간에 차이가 있기 때문에 각 특성에서 아까시나무보다 높은 수치를 나타낸 수종이 아까시나무를 대체할 수 있는 밀원이라고 단정할 수는 없다. 그러나 각 수종이 개화하는 시기에는 해당 수종이 가장 우수한 밀원으로 활용될 수 있을 것이다. 이러한 수종 간 개화 시기의 차이를 활용하면 4~9월까지 꿀벌에게 연속적으로 밀원식물을 공급하는 것이 가능할 것이다.

그림 25. 주요 밀원수종의 본당 평균 개화량 비교³¹그림 26. 주요 밀원수종의 일 평균 화밀 분비량 비교³²

아까시나무의 감소

현재 우리나라의 주요 밀원은 지역에 따라 차이는 있으나 유채, 밤나무, 피나무, 때죽나무, 아까시나무이다. 하지만 아까시나무를 제외한 종들은 일부 지역에 국한되어 생산량이 적으며 벌꿀 생산량 70% 이상을 아까시나무에 의존한다.

아까시나무는 치산녹화기(성장 일변도의 정책에서 선회하여 도농 간 균형을 맞추기 위해 농촌개발운동을 펼친 시기)인 1980년대까지 약 320,000ha가 조림되었으나 현재는 36,000ha밖에 존재하지 않는 것으로 추정된다.³³

아까시나무가 줄어든 원인은 첫 번째 원인은 관리 부족으로 추정된다. 수명이 40년 정도인 아까시나무가 주로 치산녹화기인 1980년대에 심어지고 오늘날 그 수명이 다한 것이다. 또한 국내 아까시나무 숲은 제대로 된 관리를 받은 적이 없어 흰가루병, 탄저병 등의 각종 질병에 취약하다. 여기에 더해 기후변화의 영향으로 생장 환경이 변하고 토양 환경이 악화된 것도 주요 원인으로 추정된다.

두번째는 거둬지는 전염병이다. 1999년부터 발생한 아까시나무의 황화현상은 2003~2005년 전국 규모로 확산되었다. 또한 2004~2005년에는 아까시나무 잎혹파리와 흰가루병을 비롯한 병해충, 이상기온 피해가 이어지면서 아카시아꿀 작황이 흉작을 거듭하고 있다.

밀원수의 감소는 아까시나무뿐만이 아니다. 농림축산식품부가 발표한 양봉산업 5개년 종합계획에 따르면, 대한민국 전체 밀원 면적은 1970~80년대 대비 47.8만ha에서 14.6만ha로 약 70%가 감소했는데 이는 여의도면적(290ha)의 약 1,145배, 제주도 면적(184,900ha)의 약 1.8배에 해당하는 밀원 면적이 사라진 것이다.

아까시나무를 비롯한 전체 밀원식물의 감소세는 아직 꺾일 기미가 보이지 않는다. 기후변화로 잦아진 산불이 전체 밀원식물을 감소시켜 꿀벌 생태를 위협하고 있다. 2022년의 경우, 3~4월에 393건의 산불이 발생했다. 이는 2021년 발생한 196건보다 2배가량 많았다.³⁴

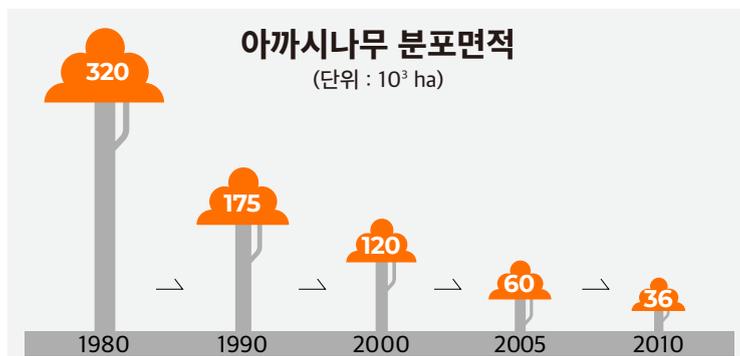


그림 27. 아까시나무 분포면적 감소³⁵

2.4 영양

꿀벌은 종속영양생물로서, 대부분의 영양분을 식물의 꽃에서 꽃가루와 꽃꿀의 형태로 수집하여 확보한다. 또는 식물체에 기생하는 진딧물 등의 흡즙성 곤충이 배설하는 감로, 꽃 밖에 잎자루 등 화외밀선에서 분비되는 감로 등을 모아서 섭식하기도 한다.

화밀

일벌은 꽃을 방문하여 밀선(단물이 분비되는 샘. 꽃 안에서 분비되는 단물을 화밀이라 하며, 잎자루나 잎끝에서 분비되는 것을 식물성 감로라 부름)에서 분비되는 화밀(꽃꿀)을 모아서 봉군 내부의 벌방으로 가져간다. 이후 이 화밀을 벌꿀로 가공한 후 밀랍으로 만든 벌방 뚜껑을 닫아서 저장해 오랫동안 보관한다. 꽃꿀이 벌꿀로 변하는 과정을 '전화'라고 한다. 꽃꿀이 꿀위(꿀주머니, 일벌의 몸에는 꽃꿀을 담아 나르는 특별한 위가 있으며, 이를 '꿀위'라고 부름)에 담길 때 이미 하인두샘에서 분비되는 전분분해효소, 전화효소(이당류를 단당류로 분해), 포도당 산화효소 등에 의해 전화가 시작된다. 이후 꿀벌에 의해 추가적인 전화와 건조과정이 이루어지면서 수분 함량 40~60% 내외의 꽃꿀이 수분함량 18%이하의 벌꿀로 가공된다. 꽃꿀은 탄수화물이 주성분(50~80%)이며, 주요 당분은 자당, 포도당, 과당이고 기타 당으로 a-methyl glucoside, maltose, trehalose, melezitose 등이 있다.

화분

꽃가루는 형태적으로도 화학적으로도 매우 복잡한 구조를 가지는 식물의 수컷 배우체로서, 꽃의 수술 끝의 꽃밥 속에서 분비된다. 영양학적으로는 매우 좋은 단백질과 지질의 공급원이다. 아미노산을 포함한 단백질이 6~28%, 지방산 <5%, 스테롤 0.5%가 포함되어 있고 기타 탄수화물(당), 비타민, 미네랄, 효소, 조효소 등이 있다. 10mg 정도가 되는 꿀벌 일벌이 탄생하려면 애벌레 기간동안 125~145mg의 화분이 필요하며 그 안에는 30mg의 단백질이 포함되어 있다. 화분은 꿀벌의 주 단백질 공급원으로 유충과 어린 성충의 먹이로 활용된다. 특히 로열젤리 생산에 필수적이며, 어린 성충의 근육, 분비샘 발달에도 영향을 미친다. 따라서 봉세가 확장되는 시기에 화분의 수요는 급증한다.

아미노산	유채	도토리	다래	꿀벌 요구량 ^d	사람 요구량 ^e
발린 ^a	6.0	6.1	7.1	4.0	3.9
아이소류신 ^a	5.2	6.1	6.6	4.0	3.0
류신 ^a	8.2	10.1	10.2	4.5	5.9
라이신 ^a	6.5	4.7	6.1	3.0	4.5
트레오닌 ^a	5.3	6.1	2.1	3.0	2.3
페닐알라닌 ^a	5.2	1.4	6.1	2.5	3.8 ^b
아르기닌 ^a	8.0	7.4	7.7	3.0	-
메티오닌 ^a	2.4	-	-	1.5	-
히스티딘 ^a	5.0	2.7	3.1	1.5	1.5
티로신 ^c	3.7	4.1	3.1		
아스파르트산	8.1	10.8	13.8		
글루탐산	12.8	14.2	11.2		
세린	6.5	6.1	5.6		
글라이신	5.5	6.1	6.1		
알라닌	6.5	7.4	7.1		
시스테인	0.6	2.0	0.5		
시스테인	4.7	4.7	3.6		

표 4. 꿀벌이 모아온 유채, 도토리, 다래 화분의 아미노산 구성 비와 꿀벌과 사람의 요구량 비교³⁶

a. 필수 아미노산을 대표하는 아르기닌은 성인에게 필수 아미노산이 아님.

b. 이 값은 총 페닐알라닌 및 티로신에 요구됨.

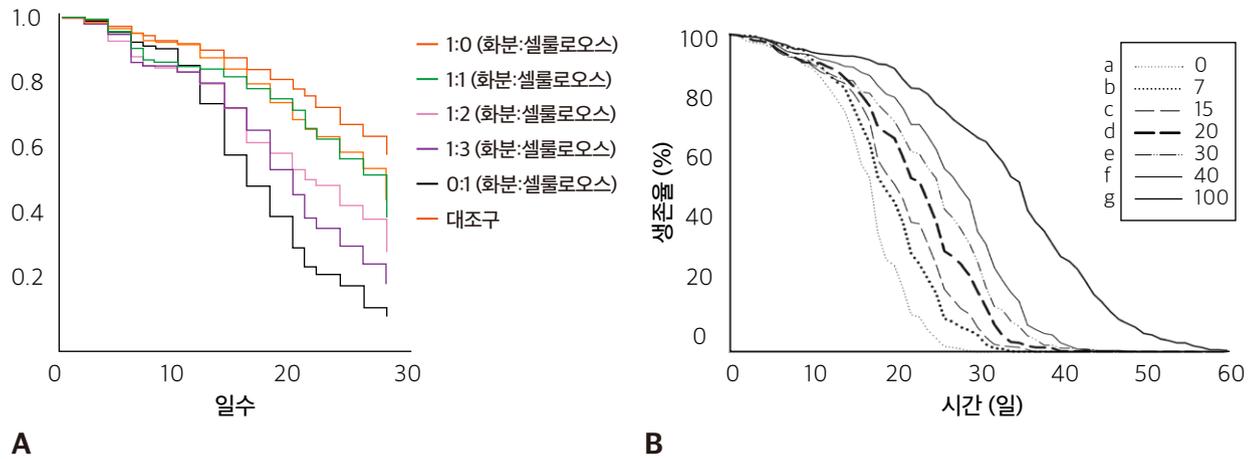
c. 티로신은 조건부로 필수 아미노산임.

d. 최소요구량은 DeGroot(1953)에서 참고하였음.

e. 사람 영양 요구량: WHO/FAO/UNU, 2007

국내 꿀벌이 가장 많이 접하게 되는 화분으로 도토리화분과 다래화분이 있다. 도토리화분은 상수리나무와 등참나무류의 화분을 칭하며 4~5월에 집중 생산돼 꿀벌에게 매우 중요한 먹이자원이 된다. 꿀벌은 타액과 꿀 등을 섞어 저장한 후 일정 정도가 지나서 이용하는데, 이때 화분은 변화가 생긴다. 화분에는 꿀벌 발육에 필요한 최소요구량보다 더 많은 양의 필수 아미노산이 들어 있다. 만약 특정한 필수 아미노산이 부족할 경우 꿀벌은 더 많은 화분을 섭취하여 건강을 유지하게 된다. 그러나 함량비가 과도하게 차이가 나면 꿀벌의 섭취 활동 자체가 제한을 받기 때문에 정상적인 꿀벌의 성장은 물론 봉군 활동이 불가하게 된다. 따라서 꽃가루의 양과 질은 꿀벌 영양 대사에 매우 중요한 요소가 된다.

그림 28. A. 다른 농도의 꽃가루를 먹인 *Nosema ceranae*에 감염된 벌들의 생존률³⁷ B. 꽃가루의 양(중량 %)에 따라 60일 동안 살아남은 일벌의 생존률³⁸



꿀벌의 수명과 질병에 대한 면역 능력은 섭취한 단백질 공급원에 따라 큰 차이를 보인다. 또한 다양한 꽃가루를 섭취했을 때 꿀벌은 더 건강하다. 일벌의 수명은 이용할 수 있는 화분의 양에 크게 의존했다. 화분이 많을수록 오래 살았고, 꽃가루의 소비가 10% 감소하면 꿀벌 수명이 평균 2~3일 감소하여 일벌의 수명이 화분의 양에 크게 의존하는 것을 나타낸다.

화분의 부족이 꿀벌에게 미치는 영향

먹이자원 부족과 같은 여러 가지 환경적 제약으로 인해 충분한 양과 질의 영양분을 공급받지 못할 경우, 꿀벌은 스트레스를 받게 된다. 이는 성장 둔화, 수명 단축, 생식 능력 저하와 같은 결과를 초래한다. 월동기에 충분한 양의 탄수화물(꿀)을 비축하지 못하면 봉군은 기아 상태에 노출될 가능성이 크며, 이는 다른 요인들과 상호작용을 일으키며 월동기 봉군 폐사의 주요 원인이 되기도 한다.

먹이 부족뿐만 아니라 단조로운 식단(monotonous diet)으로 인한 영양 불균형도 꿀벌 군집에 영향을 줄 수 있다. 현재 농업계에서 단일 작물을 재배하는 추세는 꿀벌에게 단조로운 식단을 제공하는 원인이 된다. 이는 곧 꿀벌 군집에 영양 불균형을 일으키는 결과로 이어진다. 꿀벌 일벌은 하루 동안 약 3.4~4.3mg의 화분을 소비해, 생존에 필수적인 단백질을 공급받는다. 이를 위해 한 봉군은 연간 15~60kg의 화분을 수집한다. 꿀벌에게 부족한 화분, 또는 영양가 낮은 화분이 제공되면 알의 사육이 감소하고, 일벌의 수명이 단축된다. 이는 결과적으로 봉군의 생산성에 영향을 미치며, 특히 장마철에 화분이 부족하면 봉군이 감소하거나 붕괴할 수 있다.

2.5 생물다양성 감소

유전적 다양성의 부족

유전적 다양성이란 종 내의 유전자 변이를 말하는 것으로, 같은 종 내의 여러 집단을 의미하거나 한 집단 내 개체들 사이의 유전적 변이를 의미한다. 여기서 다양한 종류의 유전자를 확보하는 것은 한 생물 집단의 생존 능력을 높여준다. 변화하는 환경 속에서 예상치 못한 위협이 벌어질 경우, 이를 극복하는 데 도움이 될 유전자를 가질 가능성이 높기 때문이다. 무성생식 방식으로 재배하는 감자는 동일한 유전자를 지닌 채 널리 경작된다. 따라서 한번 전염병이 돌면 종자의 존속이 위태로울 만큼 큰 피해를 본다. 실제로 1845~1852년, 아일랜드에서 발생한 감자꽃마름병은 대기근으로 이어져, 수많은 사람이 굶어 죽는 무시무시한 결과로 이어졌다.³⁹

이러한 특성은 벌에게도 마찬가지다. 꿀벌의 여왕은 여러 수벌과 교미를 진행하여 다음 세대를 준비한다. 이 여왕벌이 여러 수컷과 교미를 하는 것은 자손의 생존력을 높여준다. 봉군의 생존을 위협하는 외부요인에 대응할, 다양한 종류의 유전자를 후대에 물려줄 수 있기 때문이다. 이는 봉군 내 유전적 다양성을 높여, 봉군 강건성에 큰 기여를 한다는 점도 밝혀지고 있다.⁴⁰

꿀벌의 지나친 선발 육종은 유전적 다양성의 감소로 이어질 수 있다. 미국 과학자 모임인 American Chemical Society에서 실험 결과, 대표적인 살충제 중 하나인 네오니코티노이드는 꿀벌의 미토콘드리아 DNA를 파괴하기에 CCD의 한 요인으로 추정된다고 밝혔으며⁴¹, 선발 육종의

목표가 특정한 목적에 맞는 유전자만을 선발할 경우, 다른 위협에는 취약할 가능성이 높은 벌이 탄생할 수 있다. 특히 낭충봉아부패병, 꿀벌응애와 같은 병해충에 대한 감수성이 증가할 수 있다. 이러한 유전적 다양성 감소는 병해충으로 인한 스트레스 수준을 높이고 결국 다양한 복합요인과 함께 꿀벌군집붕괴현상을 유발할 수 있다.

야생벌 감소

화분매개 곤충의 다양성이 전 세계적으로 전례 없는 속도로 감소하고 있다. 북반구를 중심으로 보고되는 이 다양성의 쇠퇴 원인은 서식지 파괴, 농약, 질병 전파, 침입 천적 등 다양한 요인들이 꼽히고 있으며 기후변화 역시 그 요인 중 하나로 추정되고 있다.

식물은 꽃에서 꿀을 분비하여 곤충을 유인하고, 유인된 곤충은 꽃꿀과 화분을 얻는다. 식물은 이 과정으로 화분을 옮겨 수정하기에, 식물과 곤충은 서로 공생하며 진화를 할 수 있었다. 이 관계는 식물의 구조와 곤충의 신체적 형태가 서로 잘 맞아야 지속될 수 있다. 벌의 경우, 양봉꿀벌과 재래꿀벌, 뒤영벌을 비롯한 야생벌들은 서로 다른 신체적 형태를 가지고 있다. 그러한 이유로, 딸기의 화분매개에는 토종벌과 서양꿀벌 같은 꿀벌 종이 적합하고, 토마토 꽃에는 뒤영벌이 효과적이다.

따라서 야생벌의 역할을 꿀벌로 완전히 대체할 수 없다. 그럼에도 불구하고 야생벌은 최근 빠르게 줄고 있다. 세계생물다양성정보기구(GBIF)가 1990년부터 2015년까지 박물관·대학·시민 과학자들의 자료를 수집·분석한 결과 2006~2015년 확인된 벌의 종(種)은 1990년대보다 25%가량 감소했다. 환경 전문 매체 '원어스(One Earth)'가 2만 종의 벌을 분석한 결과 꼬마꽃벌과(Halictid) 벌의 종류는 1990년대보다 약 17%가 감소했으며, 털보애꽃벌과(Melittidae) 종은 같은 기간 41% 넘게 줄었다.

전 세계적으로 야생벌이 감소하는 원인 중 하나로 기후변화가 있다. 최근 지구의 온도가 단 200여 년 만에 1.09°C가 오르며, 벌이 동면을 깨기 전에 꽃이 이미 피었다 지는 일이 반복되기 시작했다. 최근 봄꽃 개화일은 과거 1950~2010년대(약 60년간) 대비 약 3~9일이나 빨라졌다. 이는 양봉인의 관리를 받지 못하는 야생벌에게는 치명적인 일이다. 야생벌이 꽃이 일찍 피어나는 때에 맞추어 동면에서 스스로 일어날 가능성이 적기 때문이다. 또한 기후변화에 대응하는 야생벌의 분포 변화를 파악하기 위해 모니터링한 결과 대부분의 야생벌의 서식지가 점차 북쪽으로 이동할 것으로 예측되었다.⁴²

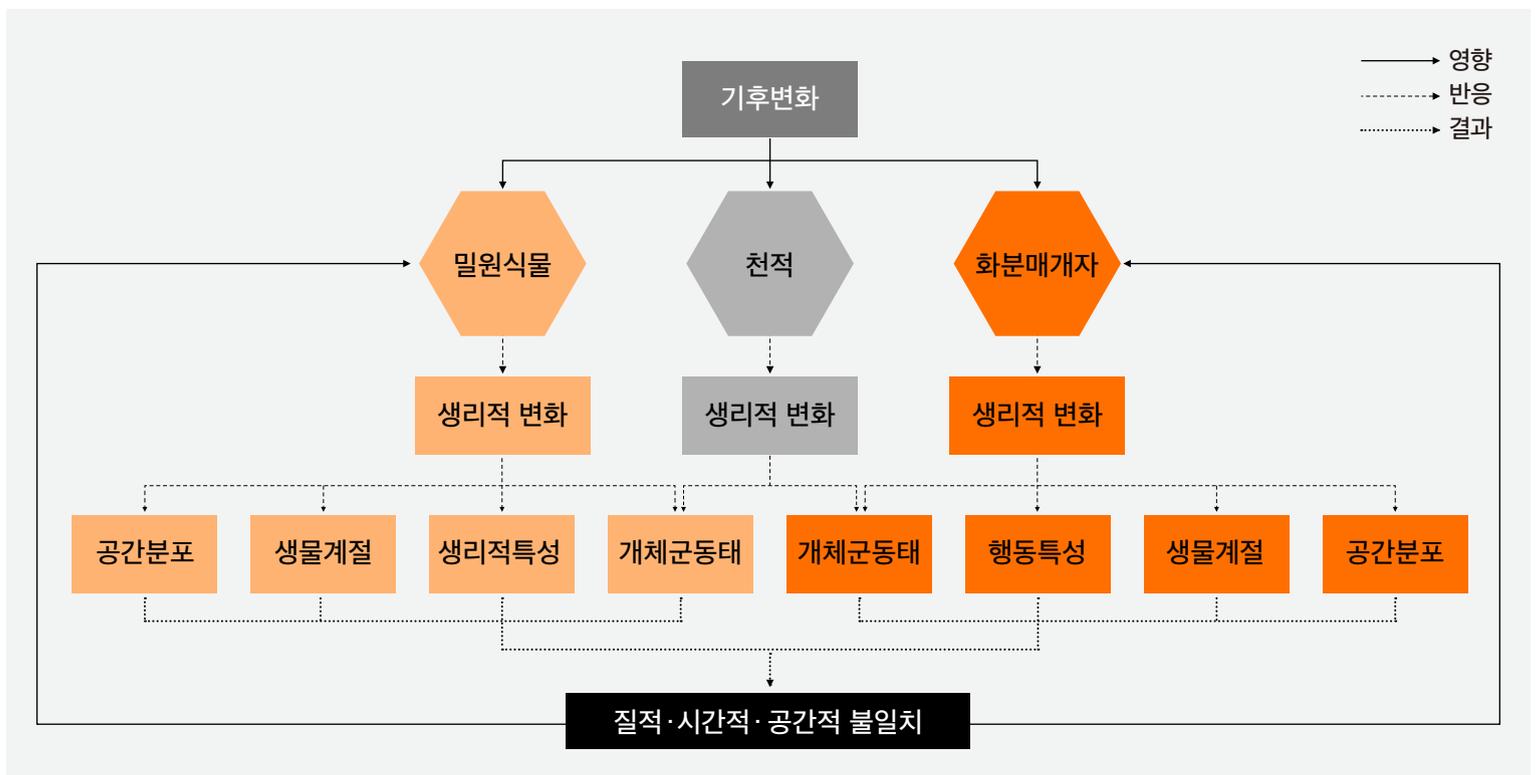


그림 29. 기후변화에 따른 식물, 천적, 화분매개자의 영향과 이로 인한 식물-화분매개자 네트워크 약화 시나리오

2.6 질병

국내에서 꿀벌의 질병으로 지정된 것은 15종으로 세균병 2종, 진균병 3종, 바이러스병 10종이다. 이중 미국부저병과 유럽부저병은 제3종 가축 전염병, 낭충봉아부패병은 제2종 가축 전염병으로 지정되어 관리되고 있다.

구분	질병명	학명	비고
세균	미국부저병	Paenibacillus larvae	제3종 가축 전염병
	유럽부저병	Bacillus alvei	
진균	석고병	Aspergillus flavus	
	백묵병	Ascospaera apis	
	노제마병	Nosema apis	
바이러스	낭충봉아부패병	Sacbrood virus	제2종 가축 전염병
	날개불구바이러스	Deformed wing virus	
	검은여왕벌방바이러스	Black queen cell virus	
	카슈미르바이러스	Kashmir bee virus	
	급성벌마비바이러스	Acute bee paralysis virus	
	만성벌마비바이러스	Chronic bee paralysis virus	
	이스라엘급성마비 바이러스	Israel acute paralysis virus	

표 5. 국내 꿀벌 질병 목록⁴³

*세균병 2종(막이 없는 소기관을 가진 원핵생물), 진균병 3종(막이 있는 소기관과 세포벽을 가진 진핵생물), 바이러스병 10종(유전물질과 단백질로 이루어진 병원체)

미국부저병 (American Foulbrood)

미국은 물론 전 세계에 널리 분포하는 질병으로, 방제가 매우 어려워 발생 시 피해가 크다. 우리나라에서는 법정 동물 전염병으로 구분되어 있어 국가에서 병 발생을 모니터링하고 관리할 수 있게 되어 있다. 그러나 현실적으로 양봉농가에서 스스로 관리하는 실정이다.

미국부저병의 병원체는 Paenibacillus larvae로, 그람음성(세균의 중요한 분류 방법인 그람염색법에 음성인 결과를 보이는 세균. 그람 음성균의 세포벽의 두께는 10nm 정도로 매우 얇다)⁴⁴의 간균(막대기 형태, 2.5~5 μm)으로 편모의 운동성이 높아 전염이 잘 된다. 항생제에 내성이 발달하였을 뿐 아니라, 생존하기 어려운 환경에 처하면 내생포자(세포 안에서 포자화 과정을 거쳐 생성되는 독특한 형태의 휴면 세포)로 전환할 수 있기에

장기간 생존이 가능하다. 병원균의 포자는 유충의 입을 통해 침입한 후 중장(소화기관)에서 영양 세포로 발아하여 증식하며, 혈액을 통해 온몸에 퍼져 유충을 죽음에 이르게 한다. 유충에 먹이를 주는 일벌에 의해, 그리고 일벌 간 접촉에 의해 전파된다. 오염된 양봉 기구, 꿀 등 양봉 산물 및 도봉(꽃에서 꿀을 따지 않고 남의 벌통에서 꿀을 훔쳐 오는 꿀벌) 등에 의해서도 전파될 수 있다.

유럽부저병 (European Foulbrood)

유럽부저병은 봄-초여름 약균(벌통의 벌 수가 15,000마리 정도로 약한 봉군)에서 주로 발생한다. 병원균은 Melissococcus pluton으로 그람양성(그람음성보다 세포벽이 두껍다)의 구간균(원형 형태, 0.5-1.0 μm)으로, 운동성이 없고 내생포자를 만들지 못한다. 감염되면 어린 유충이 유백색에서 황갈색으로 그리고 점차 갈색으로 변한다. 구부러진 유충의 몸이 C자 형으로 퍼진다. 감염된 봉군에서 생선 썩는 냄새가 나고, 아교와 같은 점착성이 있는 미국부저병과 달리 사체에 점착성이 없다.



그림 30, 31. 미국부저병의 증상(상)과 유럽부저병의 증상(하)

낭충봉아부패바이러스 (SBV)

낭충봉아부패병은 양봉꿀벌에서 흔하게 발병하는 바이러스성 질병이다. 감염 초기에는 감염된 2~3개의 벌방 봉개(애벌레가 자라 번데기가 되어 덮은 뚜껑)의 표면이 일벌에 의하여 구멍이 나며, 그 안에는 병에 걸려 죽은 흑갈색의 유충 시체가 발견된다. 부패한 유충의 체액은 점성이 없으며 부패하고 마른 조각은 일벌에 의하여 제거된다. 국내에서는 2009년 9월

평창에서 최초 진단된 이래로 한때 전체 사육군수의 98%가 줄어드는 등 국내 재래꿀벌 농가에 괴멸적인 피해를 입혔다. 현재까지 이 질병에 대한 치료 방법 및 예방 약제는 없으며 감염된 봉군은 전량 소각처리 하여 추가 감염원으로 작용하지 않도록 해야 한다.

2.7 꿀벌 해충

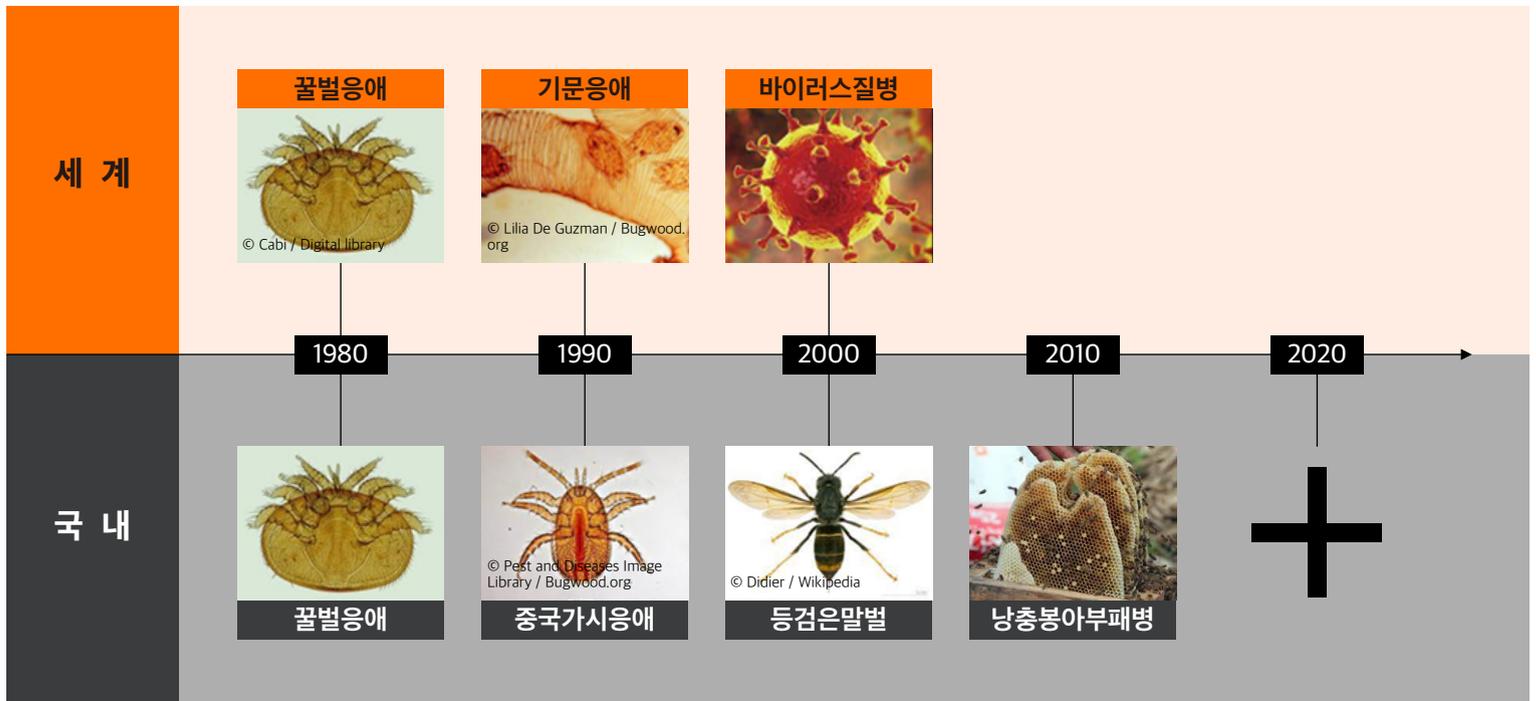


그림 32. 해외와 국내의 꿀벌에 대한 시대별 주요 위기 병해충

꿀벌응애 (Varroa destructor)



꿀벌응애는 화밀과 화분을 모으러 나온 벌의 몸에 달라붙어 벌통 안으로 침투하는 기생충이다. 현재 전 세계적으로 문제를 일으키고 있는 꿀벌응애는 대부분 Korean haplotype으로 보고하였다. 국내에서는 1950년 마산에서 처음 발견된 것으로 기록되었으며 1968년 전국적으로 확산 후 피해 규모가 점차 커지고 있다. 7~8월에 개체군 밀도가 가장 높아져, 꿀벌 개체수도 해당 시기에 약 30~50% 정도 감소하는 것으로 추정된다. 7월 이후부터는 2개월간 꿀벌응애 개체군은 지수함수적으로 증가하며, 전체 꿀벌의 10% 정도가 감염될 때 꿀벌 집단은 급격히 쇠퇴한다. 한국에서는 통상 한 벌통의 3~5%가 꿀벌 응애에 감염되었을 경우 방제를 시작한다.

그림 33. 꿀벌응애 (Varroa destructor), (CABI Compendium)

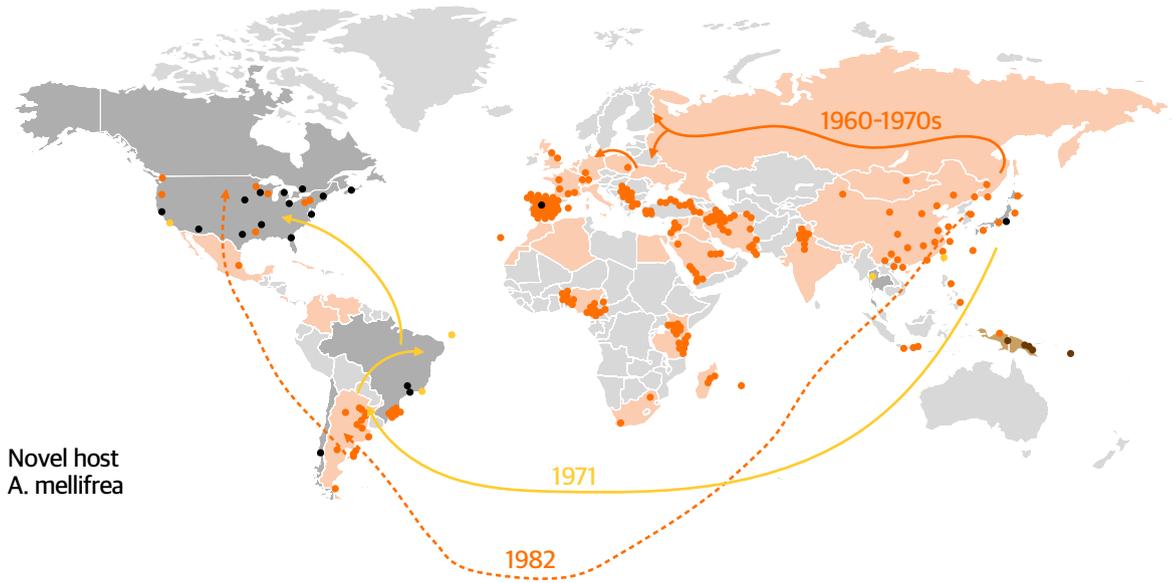


그림 34. 꿀벌응애 (Varroa spp.)의 유전적 유사도를 추적하여 표현한 이동양상⁴⁵

중국가시응애 (Tropilaelaps mercedesae)

중국가시응애는 1992년 2월 중국에서 2,720통의 벌통이 수입되는 과정에서 국내로 처음 유입된 것으로 추정되며, 4월 제주도 성산읍과 애월읍에서 처음 발견되었다. 11월 전남 무안 등지에서 목격된 이후, 1994년 남한 전 지역에 전파된 것으로 알려졌다. 중국가시응애로 인한 피해는 꿀벌응애와 함께 누적되고 있으나, 꿀벌응애에 비하여 그 밀도는 상대적으로 낮게 유지되고 있다. 국립농업과학원과 식물검역소가 전국 35개 양봉장의 번데기방에 기생하는 가을철(10월) 응애류의 밀도를 2005년 조사 결과, 꿀벌응애는 번데기 100개당 18.4마리(0~117마리), 중국가시응애는 1.7마리(0~32마리)가 있는 것으로 보고되었다.⁴⁶ 그러나 중국가시응애의 피해 사례가 간헐적으로 나타나는 만큼, 기후변화로 인한 두 종의 발생 빈도, 중국가시응애의 대발생 가능성에 관한 연구, 두 종과 꿀벌 사이의 관계에 대한 연구도 필요할 것이다.



그림 35. 중국가시응애(Tropilaelaps mercedesae)

꿀벌부채명나방 (Galleria mellonella)

이 해충은 소총나방 혹은 소총으로도 불리는데, 나비목 명나방과에 속하는 큰꿀벌부채명나방(Galleria mellonella, greater wax moth) 또는 작은 꿀벌부채명나방(Achroia grisella, lesser wax moth)의 애벌레를 칭한다. 소총은 일차적으로 소비를 섭취하며, 꿀벌 유충의 표피나 화분을 먹으며 성장한다. 소총이 나타난 소비는 재사용이 불가능하다. 이들은 주로 방치된 소비나 벌통에서 주로 발견되며, 밀도가 높은 양봉장에서는 건강한 봉군에서도 발견된다. 이들을 예방하기 위해서는 사용하지 않는 소비를 저온 창고에 저장하고 해충의 유충은 발견 즉시 제거해야 한다.



그림 36, 37. 꿀벌부채명나방(Galleria mellonella) 성충(상)과 유충에 의한 소비피해(하)⁴⁷

작은벌집밀빠진벌레 (Aethina tumida)

작은벌집밀빠진벌레는 아프리카 사하라사막 이남이 원산지인 생물이나, 1998년 미국 플로리다에서 처음 발견되면서 주목받게 되었다. 작은벌집 밀빠진벌레는 벌통 내 화분이나 꿀에 직접 알을 낳고, 이 알에서 부화된 유충이 화분과 꿀을 먹는다. 유충이 먹은 화분과 꿀은 발효가 진행되어 꿀벌이 먹을 수 없게 돼, 봉군이 약해진다. 또한 이 유충이 꿀벌의 알을 직접 죽이기도 한다.⁴⁸ 현재까지 작은벌집밀빠진벌레는 열대 또는 아열대에서 분포하는 것으로 인식되었으나, 이제는 온대 기후대에서도 서식할 수 있음이 확인되었다. 현재 미국의 거의 전 지역 분포한다.



그림 38, 39. 작은벌집밀빠진벌레(Aethina tumida)(좌)와 피해(우)

말벌류 (Vespa spp.)

우리나라 양봉장에 주로 나타나는 말벌류 중 가장 큰 말벌은 장수말벌(V. mandarina)이며, 꼬마장수말벌(V. ducalis), 좀말벌(Vespa analis), 말벌(V. crabro flavofasciata), 검정말벌(V. dybowskii), 털보말벌(V. simillima simillima), 황말벌(V. simillima xanthothorax), 그리고 등검은말벌(V. velutina nigrothorax)이 차례대로 그 뒤를 잇는다. 황말벌은 제주도 등 남부지방에서만 나타나며, 등검은말벌은 2003년에 중국 상해 남부지역 산여왕벌이 부산항을 통해 국내로 침입한 것을 시작으로 전국적으로 나타나고 있다. 이들 말벌류는 군집 생활을 하며 다른 곤충류를 먹이로 사냥하는데, 곤충 중에서도 비교적 사냥하기 쉬운 꿀벌이 군집생활을 하기에 말벌류의 주 먹이가 된다. 말벌류 중에서도 등검은말벌은 꿀벌을 먹이로 선호하고 개체수가 다른 토종말벌류보다 많아 양봉농가에 큰 피해를 주고 있다.

등검은말벌은 다른 말벌류와는 달리 다리가 노랑고, 가슴 등판과 머리 뒤쪽이 완전히 흑색이다. 또한 머리는 대부분 검은색이다. 두순, 안테나의 아랫부분, 큰 턱은 노란색이다. 더듬이는 기부의 앞쪽만 노란색이고 나머지는 검은색이다. 가슴 등판의 대부분이 검은색이며, 일부 약한 선모양의 붉은색이 있기도 하다. 복부 등판의 첫째 마디의 가장자리는 노란색의 선 모양, 둘째 마디는 좀 더 넓은 띠에 진한 오렌지색을, 셋째 마디는 절반 이상이 적황색이다. 넷째 복부 등판은 오렌지색, 5~6번째는 진한 황갈색을 가진다. 또한 다리가 전체적으로 노란색을 띠어 '노란다리말벌' (yellow-legged hornet)이란 이름으로도 불린다. 몸의 크기는 22~35mm 정도이다.

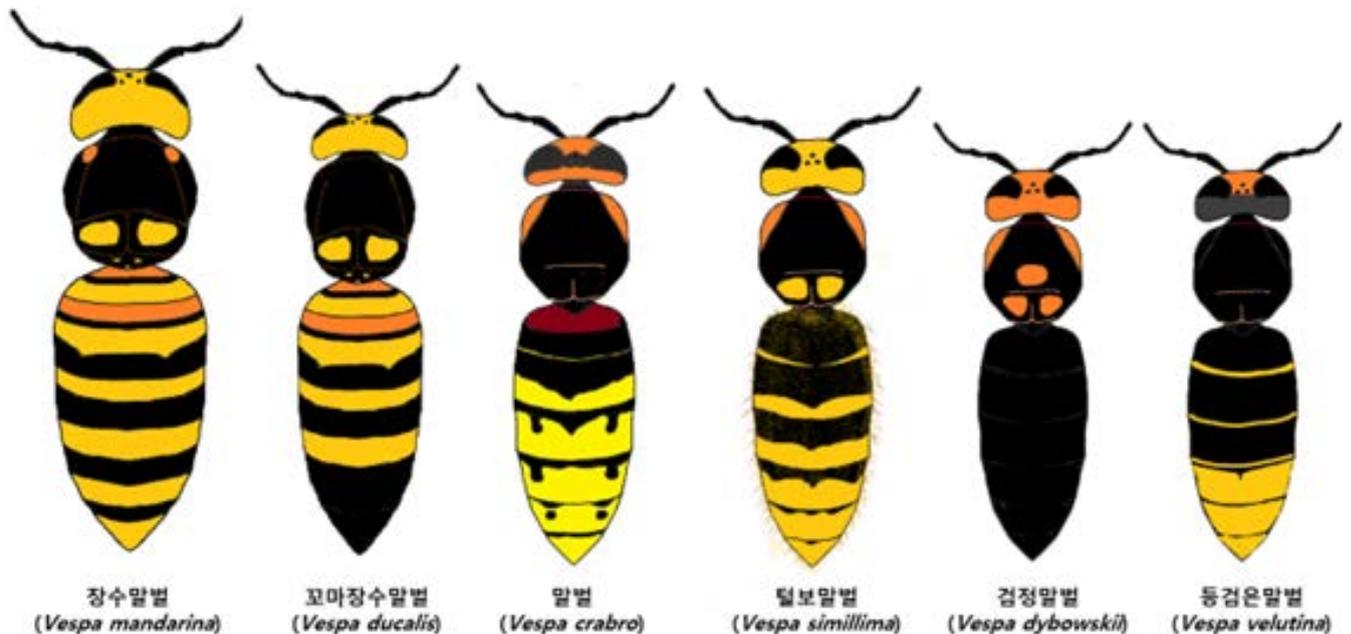


그림 40. 국내 서식 말벌류

2.8 농약에 의한 환경 오염

생태 환경 영향

화학 농약은 접촉한 생물뿐 아니라 토양이나 하천 등에 잔류하며 주변 환경을 오염시킨다. 살포된 화학 농약은 중국에 토양으로 도달해 여러 형태의 화합물로 잔류하게 된다. 농약이 본래 화합물 형태로 잔류하는 경우, 지렁이 같은 토양 생물과 토양 미생물 군집에 큰 악영향을 끼치게 된다. 그뿐만 아니라 후작물(그루갈이를 할 때에 뒤에 재배하는 농작물)에 흡수되어 약해(농약 살포의 부작용)를 일으키거나 작물 내 잔류로 인체로 흡수될 수 있다. 빗물이나 관개수 등에 씻겨간 농약은 하천, 지하수, 호수, 바다로 흘러가 잔류한다. 수계 잔류농약은 음용수를 통하여 사람을 비롯한 동식물에 영향을 미칠 수 있으므로, 국제 보건기구와 수 많은 국가가 음용수에 대한 잔류기준을 설정하고 있다.

시기	주요 개발 살충, 살균, 제초제
18세기	비소, 미네랄 오일, 제충국, 담배, 비누, 원유
19세기	석유유황합제, 비산납, rotenone, Paris Green (비소와 구리 성분의 살충제), 보르도액
1940	유기염소계 살충제(DDT, chlordane, BHC, adrin, dieldrin, endrin, heptachlor) 디카복시마이드계 살균제(captan) 페녹시계 제초제 (2,4-D, 2,4,5-T)
1950	카바메이트계 살충제 (cabaryl), 유기인계 살충제 (parathion, TEPP 등), 살균제 (mancozeb, benomyl) 제초제 (paraquat, atazine, alachlor)
1970-80	합성 피레스로이드계 살충제 살균제(Triazole계, Anilide계) 제초제 (glyphosate, sulfonylureas-요소계)
1990이후	네오니코티노이드 살충제 (fipronil, imidacloprid 등) 생물농약 살충제(Bt)와 곤충생장조절제 (Insect Growth regulator) 살균제(Strobilurin계)

표 6. 국내 꿀벌 질병 목록

농약

농약 중 일부 살충제는 꿀벌에 치명적이다. 특히 유기인계 등의 살충제는 꿀벌 독성이 심하고 잔류가 길다. 다행히도 이러한 살충제는 시장에서 점차 사라지고 있다. 또한 방제 대상 종만 선택적으로 방제할 수 있으며, 잔류기간이 짧은 전문 약제 개발의 추세로 변하고 있다. 그러나 농약 및 살충제로 인한 피해 사례는 지속적으로 늘고 있다. 국내 연구진이 양봉농가를 대상으로 2010년부터 3년간 조사를 한 결과, 살충제로 인한 꿀벌피해를 경험한 양봉농가는 72%에 달했으며, 그 중 58%의 양봉농가는 살충제 피해가 매년 늘어난다고 밝혔다.⁴⁹

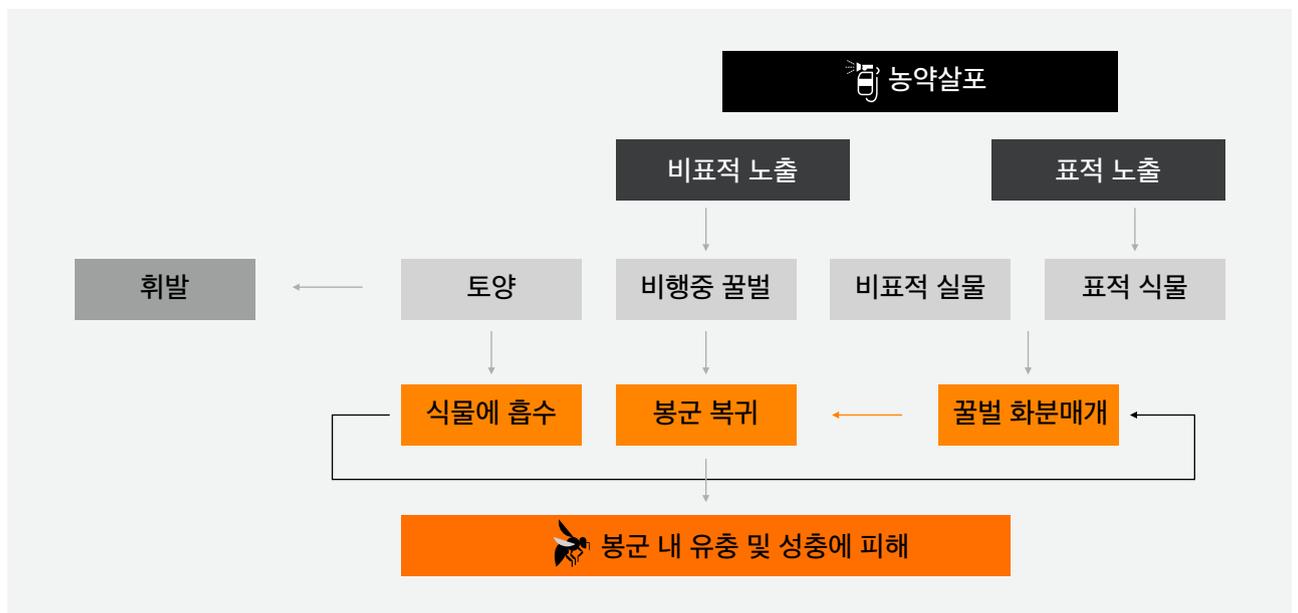
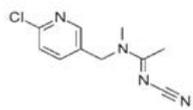


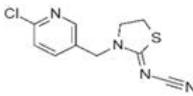
그림 41. 꿀벌에 대한 농약의 노출 경로⁵⁰

꿀벌에 피해를 주는 농약 중 가장 대표적인 사례가 네오니코티노이드 계열 농약이다. 1990년대 본격적으로 사용된 네오니코티노이드 계열 농약은 곤충 신경 연접의 니코틴성 아세틸콜린 수용체에 결합해 과흥분을 유발하고 치사시키는 기작을 가졌다. 무색무취의 형태에 수용성과 침투이 행성이 높다. 과거에는 식물에만 살포하거나 종자에 도포해 이용하면 약제가 식물체를 통해 이동하기에, 환경 위해가 적다고 알려졌다. 그러나 2006년 미국에서 대량의 꿀벌군집붕괴현상(CCD)이 벌어지면서, 미국 환경보호청은 네오니코티노이드 농약을 원인 중 하나로 지목했다. 네오니코티노이드 살충제 중 이미다클로프리드, 티아메톡삼, 클로티아니딘 등은 꿀벌에 강한 고독성을 띠어, 적은 양만으로도 치명적이다. 아세타미프리와 티아클로프리드는 저독성 약제로 평가되나, 최근 꿀벌 후각 반응과 학습 능력을 저하시켜 벌의 외역 활동에 영향을 주는 것으로 보고되었다. 특히 옥수수 등 대단위 면적에 종자 도포 작물을 파종할 때 위해성이 크다. 우리나라는 종자도포 작물이 많지 않기 때문에 피해가 상대적으로 낮게 나타난다. 그러나 살포 역시 벌에게는 치명적이다.

Cyano-substituted neonicotinoid

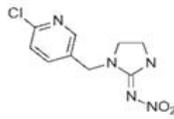


Acetamiprid

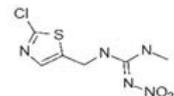


Thiacloprid

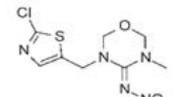
Nitro-substituted neonicotinoid



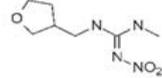
Imidacloprid



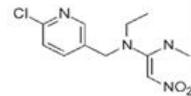
Clothianidin



Thiamethoxam



Dinotefuran



Nitenpyram

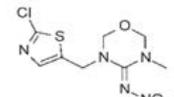


그림 42. 네오니코티노이드계 살충제 화학구조

유럽에서도 2013년부터 네오니코티노이드 약제 3종을 한시적으로 금지하고 위해성 평가를 실시하였다. 국제환경단체 그린피스는 영국 엑스터 대학교, 서섹스 대학교 등 다수의 전문가와 함께 2013년 1월 유럽 내 주로 사용되는 네오니코티노이드 농약 7종이 꿀벌에게 미치는 영향을 분석한 보고서 'Bees in Decline'을 발간하기도 했다. 그 결과 2018년 네오니코티노이드 3종(이미다클로프리드, 티아메톡삼, 클로티아니딘)의 실외 사용을 전면 금지했고, 미국 캘리포니아주는 2022년부터 해당 계열 살충제 57개 제품의 사용을 금지하였다.

국내에서도 네오니코티노이드계 살충제는 과수와 원예작물은 물론 수도작 물에도 광범위하게 사용되고 있다. 단, 이미다 클로프리드, 클로티아니딘, 티아메톡삼, 디노테퓨란 4종의 농약은 꽃이 완전히 질 때까지는 사용을 금지하고 있으며, 지속적인 모니터링을 시행하고 있다. 산림청에서도 항공방제

에 사용해 왔던 티아클로프리드의 꿀벌 등 생태계 위해성에 대한 우려로 인해 2023년 2월 소나무재선충병 항공방제를 중단하기로 결정했다. 향후 장기적이고 현실적 조건에서 꾸준한 영향 평가가 이루어져야 할 것이다.



그림 43. 농약으로 인해 허를 내밀고 죽은 벌의 모습

살충제와 꿀벌 독성

유기염소계 살충제(DDT)는 1939년 밀러(P.Muller)에 의해 살충 효능이 밝혀지며 전쟁터와 농업에서 살충제로 활용되었다. 곤충의 아세틸콜린에 스트라제(AChE)를 저해해 신경을 마비시킨다. 살충력이 뛰어나면서 사람에게 접촉해도 당장 부작용이 나타나지 않아 획기적인 살충제로 주목받았다. 1962년, 레이첼 카슨(R. carson)이 "침묵의 봄"을 발간하며 DDT의 부작용으로 심각한 잔류 문제와 생물농축을 통한 생태계 교란이 제시되면서 사용 금지되었다.

그 이후에도 다양한 살충제가 개발되어 화분매개체를 위협했다.

유기인계 살충제는 인(P)을 중심으로 산소나 황을 결합시켜 만든 화합물로, 아세틸콜린을 특이적으로 분해해 신경전달을 정지시키는 광범위 고독성인 살충제이다. 분해가 쉬우나 사람과 가축에 대한 독성이 강한 약제가 많다.

피레스로이드계 살충제는 제충국의 살충 성분을 합성해 만들어 낸 물질이다. 신경전달 과정의 나트륨 통로에 영향을 주어 과흥분을 통한 기절효과(knockdown)가 나타난다. 피레스로이드계는 인축(사람과 가축)에 대한 독성이 낮아 유기인계와 비교해 안전한 살충제로 주목받았다. 살충력이 높으나 빛에 약하고 잔효성이 낮기 때문에 주로 건물 안에 서식하는 위생해충(흡혈 등으로 병을 전염시키는 곤충)과 저곡해충(쌀을 비롯한 곡물류에 해를 끼치는 곤충) 방제용으로 사용되었다.

곤충 성장 조절제(Insect Growth Regulator, IGR)의 종류는 곤충 호르몬 유사체 또는 곤충 특이적 탈피과정을 저해하는 키틴합성 저해제 등이 있다. 곤충에 특이적이기 때문에 인축 독성은 낮으나, 꿀벌 등 비표적 곤충에게 영향을 줄 수 있다. IGR은 여왕벌의 난소에 작용하여 부화율을 감소시키고, 노출된 일벌의 학습 및 외역 능력에 영향을 주며, 유충의 탈피에 문제를 일으킨다는 연구결과 또한 보고되었다.⁵¹

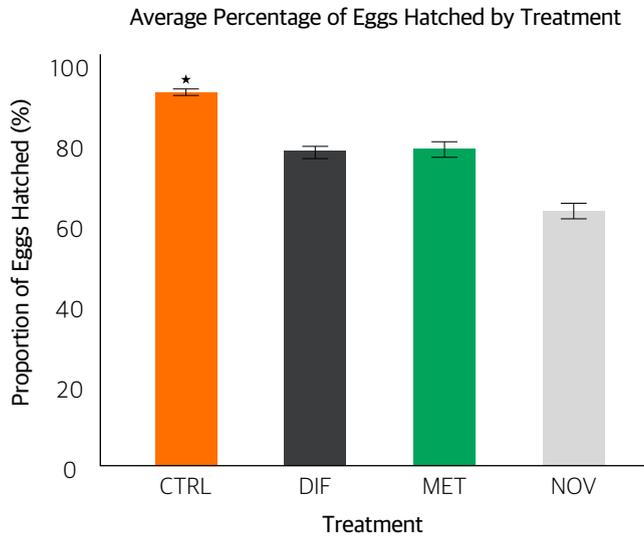


그림 44. 곤충 성장 조절제인 디플루벤주론, 메티옥시페노자이드, 노발루론 처리에 따른 꿀벌의 부화율

1
꿀벌의 중요성과 가치

2
꿀벌의 위기 요인

벌의 위기와 보호 정책 제언

주요 국가별 정책

3

4
제언 사항

3.1 주요 국가별 정책

미국

Federal Pollinator Health Task Force & Federal Pollinator Partners

미국 오바마 대통령은 꿀벌을 비롯한 화분매개체 감소를 막기 위해, 2014년 Federal Pollinator Health Task Force의 설립을 지시하는 각서를 작성했다. 미정부는 이 내용을 바탕으로 농무부와 환경부가 공동 의장으로, 국토부와 교통부, 국방부 등 14개 부처가 위원으로 구성된 임시위원회를 조직했다. 이후, 해당 조직은 농무부의 주도 아래 Federal Pollinator Partners 이란 이름으로 현재까지 운영되고 있다.

Federal Pollinator Partners에는 미국 농무부 산하 12개 기관과 7개 내외의 부처가 소속되어 있다. 농무부 산하 기관들은 지속가능한 양봉 산업의 관리를 위해 매월 꿀 생산량과 해충, 질병 등의 유입을 모니터링하고 해당 정보들을 대중에게 공개하고 있다. 산하 기관 중에는 기후 허브(USDA Climate Hub)가 있어, 허리케인 등 이상기후에 양봉인이 대처해야 할 가이드라인을 전파하고 있으며, 기후변화와 물순환, 농업 시스템 등에 대한 교육 프로그램을 운영하고 있다.

농업 서비스국(FSA)는 환경 관련 직접지불제인 '보전휴경프로그램'(Conservation Reserve Program)을 운영한다.⁵² 이 제도는 토양침식이 우려되는 토지에서 휴경하거나 꿀벌에게 필요한 밀원수를 심거나 서식지를 보전하는 등의 활동을 할 경우, 정부가 지대에 상당한 금액을 당사자에게 지불한다.⁵³ 또한 기존의 미국 법안으로 보상되지 않는 가축 피해를 구제하기 위한 ELAP(Emergency Assistance for Livestock, Honey Bees, and Farm-raised Fish) 프로그램을 운영하고 있다.⁵⁴ 이 프로그램의 대상 산업은 가축, 꿀벌, 양식업으로 군집붕괴현상도 이 프로그램으로 보상받을 수 있다. 피해 농가는 군집붕괴현상의 5가지 증상 중 적어도 3가지의 직접적인 증거를 제공해야 하며, 평소 농가가 꿀벌 군집을 성실히 관리했다는 근거를 제시해야 한다.⁵⁵

Federal Pollinator Partners에 소속된 타 부처 중에는 에너지부, 교통부, 국립공원관리청, 내무부, 환경부, 미국 어류 및 야생동물관리국, 지질조사국 등이 있으며, North America Pollinator Protection Campaign 및 Xerces Society 등 시민 단체도 있다. 각 정부 부처는 담당하는 업무 분야 별 화분매개체를 위한 정책 또는 연구를 수행하고 있다. 환경부는 화분매개체에 치명적인 영향을 미치는 농약 및 살충제의 성분 연구를 진행하고 있으며, 내무부는 식물 빛 복원 프로그램에

따라 2억 4,500만 에이커의 토지에 지역 별 토종 밀원수를 심고 있다.⁵⁶ 에너지 부의 경우 화분매개체 서식지를 포함한 영농형 태양광 사업을 연구하고 있으며, 교통부 내 미연방고속도로관리국은 Xerces Society와 함께 도로와 인도 등에 밀원수를 심는 프로젝트를 진행하고 있다.⁵⁷

한편, 상기 기관 중 일부 직원들은 화분매개체를 위한 익명의 사이트를 개설하기도 했다. 트럼프가 대통령이었던 기간에 미 정부가 꿀벌 관련 예산을 감축하고 살충제 관련 제한 조치를 취소하려 하자, 국립공원관리청, 환경부 등 정부 부처 직원들이 '대안 국립공원관리청' 사이트를 설립하고 화분매개체 보호 활동을 펼쳤다. 이들은 사이트를 통해 트럼프 정권이 80여 개의 환경 관련 법안을 취소한 것에 격분하여, 해당 법안들의 필요성을 대중에게 알리고 이를 다시 적용하는 것을 목표로 활동한다고 밝혔다.⁵⁸

영국 국가 화분매개체 전략

The National Pollinator Strategy

영국 식품농무부는 2014년부터 10년간 운영되는 국가 화분매개체 전략(The National Pollinator Strategy)을 발표했다.⁵⁹ 영국 식품농무부는 이 전략 수행을 위해 Pollinator Advisory Steering Group을 구성했으며, 오늘날 이 그룹에는 영국 양봉인 협회(Bee Farmers Association) 뿐 아닌 동식물건강청(The Animal and Plant Health Agency), 환경부(Environment Agency), 국방부(Ministry of Defence), 재판부(Ministry of Justice) 등 각 정부 부처와 내셔널 트러스트, 벅라이프를 비롯한 시민단체도 포함되어 있다. 영국 식품농무부는 해당 그룹의 소통을 도맡으며, UK PoMS(UK Pollinator Monitoring Scheme)로부터 받은 데이터를 토대로 꿀벌 서식지를 늘리고 벌에게 위협적인 살충제 사용 제한 조치를 취했다.⁶⁰

UK PoMS는 the UK Centre for Ecology & Hydrology(UKCEH)와 Joint Nature Conservation Committee(JNCC)가 공동으로 운영하는 시민 관찰 플랫폼이다. 2017년 시작된 이 플랫폼을 통해, 일반 영국 시민들은 정원이나 초원에서 특정 식물을 관찰하며 벌의 방문 횟수와 해당 종을 기록할 수 있다. 시민들이 기록한 자료는 움직이는 시각화 차트로 열람할 수 있다.⁶¹

또한 영국 식품농무부는 시민들을 대상으로 Bees' Needs Campaign을 펼치며, 화분매개체를 위한 "5 Simple Actions"을 알리고 있다.⁶² 이 액션에는 ▲꽃과 관목, 나무를 더 많이 기를 것 ▲정원이 야생적으로 자라게 놔둘 것 ▲풀을 적게 자를 것 ▲곤충의 집이나 동면 장소를 방해하지 말 것 ▲살충제를 써야 할 때는 주의할 것이 포함되어 있다. 이 활동과 더불어 화분매개체를 보호하기 위한 획기적인 활동을 한 시민에게는 'Bees' Needs Champion' 상을 수여한다. 이 캠페인의 일환으로, 대중에게 화분매개체의 가치를 보다 많이 알리기 위해 매년 7월 중순 Bees' Needs Week를 개최한다.

유럽 연합

EU Pollinators Initiative - New Deal for Pollinators

2018년, 유럽 연합 위원회는 벌을 비롯한 화분매개체 보호를 위해 EU Pollinators Initiative를 설립했다.⁶³ 이 위원회는 1) 화분매개체의 감소 상황과 그 원인, 결과에 대한 지식을 늘리고 2) 화분매개체 감소 원인을 막고 3) 사회 전반에 위기의식을 전파하고 더 많은 협력 활동을 끌어내기 위해 설립되었다.

이 계획에 따라, International Union for Conservation of Nature(IUCN)과 유럽환경연구소가 유럽 내 국가 별 화분매개체 현황을 분석, 보고하고⁶⁴ 유럽 10개국은 벌을 해치는 네오니코티노이드의 이용을 제한하기에 이르렀다.

그러나 2018년 계획에도 불구하고 화분매개체의 감소가 지속되었다. 2023년, 유럽 연합 위원회는 화분매개체를 보호하기 위해서는 “중대한 도전”이 필요하다고 2018년 계획을 크게 개정했다.⁶⁵ 화분매개체를 위한 ‘New Deal’ 정책이라고도⁶⁶ 밝힌 이 계획은 2030년까지 화분매개체의 감소세를 역전시키기 위해, 1) 화분매개체의 감소 상황과 그 원인, 결과에 대한 지식을 늘리고, 2) 화분매개체 보호를 강화하고 감소 원인을 막으며, 3) 사회 전반의 전략적 계획과 협력을 촉진하는 것으로 목표를 수정했다. 이 목표를 달성하기 위해, 유럽 연합 위원회는 아래의 실행 계획을 수립했다.

1. **화분매개체 종과 서식지 보전** - 유럽 연합은 1992년 도입된 ‘자연 서식지와 야생 동식물의 보존’ 법안⁶⁷ 아래 작성된 ‘서식지 지침’에 따라 구분된 서식지뿐 아닌 추가적인 화분매개체 서식지를 확보할 것이다. 이를 위해 화분매개체를 위한 생태 통로 네트워크의 청사진을 마련하는 ‘Buzz Line’ 계획을 실행한다. 또한 도심 내 화분매개체 서식지를 확보하기 위한 새로운 활동도 개시한다.
2. **농경지에서의 화분매개체 서식지 복구** - 유럽 대부분의 토지가 농지인만큼, 화분매개체 친화적인 농업을 위한 공동 농업 정책(Common Agricultural Policy)을 강화한다.
3. **살충제 허가 절차 강화** - 살충제 이용으로 인한 화분매개체 피해를 줄인다. 이를 위해 살충제 허가 절차를 강화한다.
4. **기후변화, 외래종 침입 및 빛 공해 등 기타 요소에 적극 대응한다.**

유럽 연합은 이 계획의 성공을 위해 3가지 사항을 당부했다. 첫째, 국가별 정부 부처 간 협업을 크게 늘릴 것. 둘째, 화분매개체 모니터링과 연구를 강화해 보다 강력한 시스템을 구축하는 것. 셋째, 양봉인뿐 아닌 과학자, 시민, 농부, 기업 등 화분매개체에 관련된 모든 이해관계자가 함께 관련 활동에 참여하도록 하는 것이다.

3.2 국내 정책

전국 밀원 숲 면적 확대

농식품부는 작년 7월, 농가 경영 안정과 산업발전기반 확충을 위해 양봉산업 5개년 종합계획을 발표했다. 이 계획에는 헝가리산 아까시나무 등 밀원을 매년 3,000ha씩 심고, 꿀벌의 연중(3~10월) 채밀이 가능한 다층형 복합 밀원숲 조성 방안 등이 포함되었다. 또한 현행 한해 3~4개월(4~7월)에 불과한 채밀 기간을 2배인 7~8개월로 늘리기 위해 밀원수 전문 인력과 전담 부서 신설도 추진하겠다고 밝혔다.⁶⁸ 최근 산림청은 매년 3,800ha의 밀원을 조성하고 있다고 밝혔다.⁶⁹

충청남도도 2018년 수립한 ‘밀원숲 조성 사업’을 토대로 2022년 말까지 5년 동안 총 3379.9ha의 밀원숲을 조성했다. 연도별 조성 면적은 2018년 547.3ha, 2019년 575.9ha, 2020년 798.7ha, 2021년 756ha, 2022년 702ha 등이다. 식재 밀원수는 아까시나무, 백합나무, 헛개나무 등 20여종 848만 9,000그루다.⁷⁰ 전체 면적의 71%가 산림인 경상북도도 다양한 조림 사업을 추진해 산주 소득을 증대시키고 탄소흡수원 확충에 나섰다. 특히 공유림과 유휴지 등에 윗나무, 헛개나무 등을 1,100ha에 달하는 다층형 복합 밀원숲으로 조성하는 데 79억 원을 투입한다고 밝혔다.⁷¹

표 7. 연도별 지역특화 밀원수림 조성 현황

조성연도	기관별		사업명	사업량			
	광역	기초		계획		실적	
				면적	본수	면적	본수
총계				1573	400.1	1202.1	2939.2
소계			2개소	30	10.6	40	95
2018	전북	무주	향로산 밀원수 특화림	15	5.3	25	50
	전남	화순	청풍 특화림	15	5.3	15	45
소계			3개소	45	24.8	45.2	118.8
2019	전북	무주	향로산 밀원수 특화림	20	7	20.2	11.8
	전남	화순	청풍특화림	5	1.8	5	15
	경남	양산	원동(밀원수) 특화숲 조성	20	16	20	92
소계			5개소	311	108.6	362.9	909.6
2020	충북	제천	아까시 밀원숲 특화단지 조성	10	3.5	10	50
	충남	도청 등	밀원수 특화림	200	69.7	541.5	585.3
	전북	무주	향로산 밀원수 특화림	10	3.5	6	2.1
	전남	장흥	정남진권푸른숲 조성	86	30.1	6	2.1
	전남	화순	청풍특화림	5	1.8	5	15
소계			7개소	349	121.2	419.9	984.8
2021	강원	도청 등	밀원수특화림 조성	58	20.3	64.1	179.9
	강원	평창	옻나무특화림 조성	40	14	70.6	168.8
	충북	제천	아까사 밀원숲 특화단지 조성	10	3.5	11.7	53.5
	충남	도청	밀원수 특화림	200	69	202	445.9
	전북	무주	향로산 밀원수 특화림	6	2.1	6	2.2
	전남	장흥	정남진권 푸른 숲 조성	30	10.5	60	120
	경남	산청	산청 밀원수림 조성	5	1.8	5.5	14.5
소계			8개소	385	134.9	334.1	831
2022	강원	도청 등	밀원수 특화림 조성	70	24.5	60.4	169.9
	강원	평창	옻나무 특화림 조성	40	14	41	123
	충북	제천	아까시 밀원숲 특화단지 조성	10	3.5	15.9	63.6
	충남	도청	밀원수 특화림	200	70	151.8	348.6
	전북	무주	밀원수특화림 조성	5	1.8	5	6.8
	전남	화순	꿀벌 특화림 조성	20	7	20	60
	경북	상주	밀원수 특화숲 조성	15	5.3	15	21.6
	경남	하동	하동 밀원 특화림	25	8.8	25	37.5
소계			10개소	453			
2023	강원	도청	밀원수 특화림 (10개 시군)	73			
	강원	평창	옻나무 특화림	40			
	충북	도청	산림 밀원단지 (11개 시군)	40			
	충남	도청	밀원수 특화림 (15개 시군)	200			
	전남	화순	화순꿀벌 특화림	20			
	전남	광양	밀원숲	10			
	전남	장흥	꿀벌 특화숲	20			
	전남	함평	꿀벌특화림	15			
	경북	상주	밀원수특화숲	20			
경남	하동	하동 밀원 특화림 (하동)	15				

꿀벌의 친환경 관리

꿀벌은 다양한 환경에 노출되어 있는 꽃을 방문하고 꽃꿀과 꽃가루를 모아 벌통 안에 저장하며 집단을 양육하고 성장하기 때문에, 환경의 파수꾼이라 불린다. 꿀벌 벌통 밖 환경도 중요하지만, 벌통 안의 환경 역시 매우 중요하다. 벌통에는 꿀, 애벌레 등 많은 자원이 집중되어 있기 때문에 많은 병원균과 해충의 공격 대상이 된다. 이러한 병해충에 대하여 양봉가들이 적극적으로 보호해야 한다.

유럽, 호주, 뉴질랜드는 항생제 사용을 전면 금지하고, 친환경 관리 방법을 통한 철저한 사육관리, 사전 예방조치를 강조하여 청정한 꿀 생산을

유도하고 있다. 한국 정부 역시 2019년 축산위생관리를 강화하기 위해 전국 양봉농가들의 항생제와 살충제 사용을 자제하고 환경 친화적 꿀벌 관리 방안을 꾸준히 연구 개발을 지원하고 있다. 일부 '유기양봉 인증제 도입'을 통해 유기농 벌꿀 및 양봉산물의 생산을 시도하고 있으나, 현실적이지 못하다는 평가를 받고 있다.

특히 이 제도는 벌통 위치 제한을 위해 유기양봉 인증제는 '오염 및 오염 우려가 있는 지역 반경 3km내에는 벌통을 놓을 수 없다'고 명시하고 있는데, 이 3km 이내라는 기준이 국내 현실에 맞지 않기 때문이다. 또한 한국 밀원식물의 면적이 줄어들고 있을 뿐 아니라 그 수종이 아까시나무에 집중되어 있어, 현실적으로 '유기인증에 적합한 먹이 제공'의 기준을 달성하기가 어렵다.



© Greenpeace

그림 45. 그리스에서 2014년 개최한 'Bee-Festival'의 모습, 1,300명 이상이 참가했다



© Greenpeace / Bogusz Bilewski

그림 46. 폴란드에서 개최한 'Bee-Festival'의 모습, 1,000명의 액티비스트가 참가했다

1
꿀벌의 중요성과 가치

2
꿀벌의 위기 요인

3
주요 국가별 정책

벌의 위기와 보호 정책 제안

제언 사항

4



한국 정부도 꿀벌 문제를 해결하기 위해 밀원 면적을 확대하기 위한 정책을 펼치고 있다. 그러나 현재 벌어지는 집단 폐사와 밀원수 부족 문제를 고려한다면, 보다 적극적인 정책이 필요하다. 이에 다음과 같이 제언한다.

4.1 국내 밀원면적 최소 30만ha 되어야

국내 꿀벌 생태계의 안정적인 조성을 위해서는 최소한 30만ha 이상의 밀원수 면적을 확보해야 한다. 통상적으로 1ha의 밀원 면적에서 약 300kg의 꿀이 생산될 수 있다. 꽃을 찾는 꿀벌들과 500여 종의 야생벌을 고려하면 연 9만 톤의 천연꿀이 필요하기에 최소 30만ha 이상의 밀원면적이 필요하다.

최근 우리나라 양봉꿀벌의 봉군 수는 250만 군을 상회한다. 재래꿀벌을 포함하면 더 많아진다. 한 마리의 꿀벌이 태어나기 위해서는 대개 300mg 이상의 꿀과 130mg 이상의 꽃가루가 먹이로 필요하다. 또한 일벌이 된 이후 소비도 만만찮다. 벌통 하나에 2만 마리 꿀벌이 살고 있고, 이들의 수명이 1.5개월 정도가 되니, 연중 벌통 하나에서 나오는 꿀벌이 15만 마리 정도가 된다. 이 꿀벌들이 연간 소모하는 꿀은 약 60kg 정도다. 250만 군 이상의 꿀벌이 연간 소모하는 꿀의 약 50%를 밀원식물로 확보하기 위해서는 약 75,000톤의 천연꿀이 필요하다. 이 정도의 천연꿀을 생산하기 위해서는 1ha당 약 300kg 이상을 생산하는 다양한 밀원식물이 최소 25만ha를 차지해야 한다. 여기에 재래꿀벌과 야생벌 등을 감안하면 최소 30만ha의 밀원식물이 필요한 셈이다.

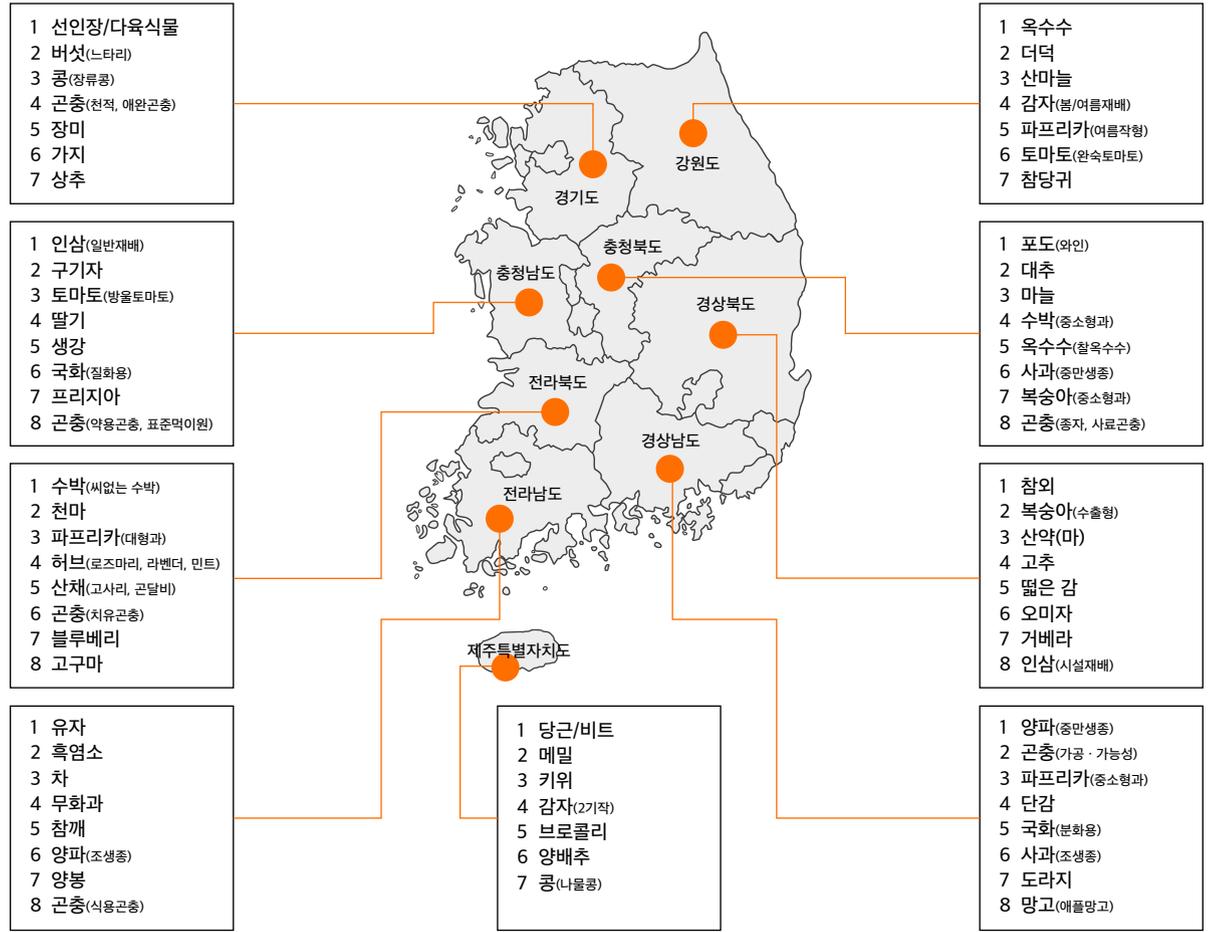
최근 산림청의 발표에 따르면, 우리나라 밀원수림의 면적은 임상도를 기준으로 153,381ha로 집계된다.⁷² 지금 추세로 밀원을 늘린다면, 약 40년 후에야 30만ha의 밀원을 확보하게 된다. 밀원식물은 꿀벌 등 화분매개자의 공익적 생태계 서비스를 강화하고 생물다양성을 증진할 뿐 아니라, 탄소 흡수를 함으로써 기후위기에 대응할 수 있기에, 밀원식물의 확대는 매우 시급한 국가 정책 사안 중 하나이다.

4.2 국유림과 공유림의 다양한 밀원 확대

우리나라 산림 면적은 2020년 말 기준 약 629만ha로 전 국토의 63%를 차지하고 있다. 이중 국유림의 면적은 약 26%에 해당하는 163만ha에 달한다. 산림청이 지난 2017년부터 2021년간 국유림에서 조림한 면적은 평균 3,815ha이며, 밀원수림은 이 중 3.9%에 해당하는 150ha를 심고 있다.⁷³

30만ha의 밀원수림을 빠르게 조성하기 위해서는, 국토 이용계획과 조림과 산림 관리 계획의 일부를 수정해야 한다. 특히 전국적으로 기후, 지역경관 등의 환경이 각각 다르기에, 지자체가 주도적으로 지역 특화형 밀원수를 심고 보급한다면 현 상황을 크게 개선할 수 있다. 다만 밀원면적의 넓이뿐 아닌 밀원식물의 종류를 다채롭게 구성해, 다양한 벌이 연중 내내 꿀을 구할 수 있도록 조성해야 한다.

그림 47. 국가 집중 육성 지역 특화 작목, 지역 특화형 밀원수 보급의 예⁷⁴



우리나라의 경우 치산녹화기인 1980년대에 아까시나무를 주로 심어 버린 결과, 꿀벌을 비롯한 수분매개체가 연중 내내 충분한 채밀을 하기 어려운 환경이 조성되었다. 특히 재래꿀벌은 허가 짧아 아까시나무에서의 채밀이 어려워 양봉꿀벌보다도 훨씬 더 험난한 위기에 처해있다.

이러한 문제는 다양한 종류의 밀원식물을 조성한다면 해결될 수 있다.

최근 재래꿀벌과 양봉꿀벌을 함께 치는 양봉장에서 수확한 꿀에서 밀원 식물의 DNA를 연구한 결과, 주변 농작물과 야생화 56개 속의 식물 DNA가 나왔는데, 이 가운데 73%는 각 꿀벌 종이 배타적으로 찾은 종류였다. 두 꿀벌이 함께 이용해 먹이경쟁이 일어날 수 있는 식물은 27%에 지나지 않았다. 따라서, 다양한 종류의 밀원식물이 조성된다면, 꿀벌 뿐 아닌 야생벌이 모두 함께 공존할 수 있어, 생물다양성 보존 기능이 강화된다. 다양한 벌들이 서로 공존할 수 있는 것이다.⁷⁵

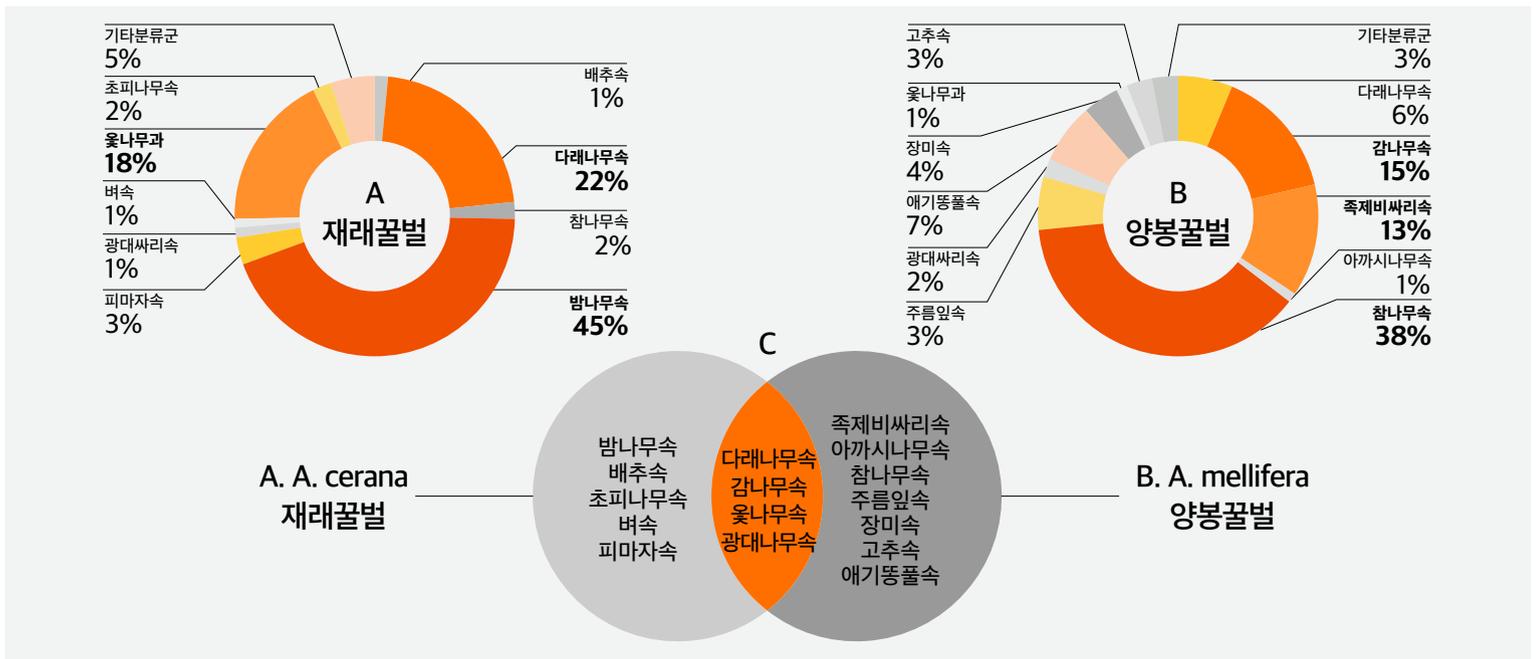


그림 48. 꿀 속 DNA 분석을 통해 밝혀낸 두 종 꿀벌의 주요 밀원 분포. 공통 밀원과 배타적 밀원

양봉꿀벌뿐 아닌 재래꿀벌과 야생벌 등 다양한 종류의 수분매개체가 밀원을 접할 수 있도록, 밀원식물의 종류를 다채롭게 구성하는 것은 필수다. 아까시나무가 아닌 다른 나무를 제2의 대표 밀원수로 지정하고 해당 종만 전국에 70% 이상 조림한다면, 아까시나무의 실수를 다시 반복하는 결과로 이어진다.

4.3 사유림 내 생태계 서비스 제공 조림의 직접 지불 확대

우리나라 산림면적의 66%는 사유림이다. 절반을 넘는 만큼 사유림에서의 밀원면적 증대는 필수적이지만 정부가 강제할 수 없어 자발적인 조림에 의존하고 있다. 산림청에서는 경제림 조성의 약 10% 내외의 면적에 밀원수림을 조성할 수 있도록 사업계획을 시달하고 있으나, 아쉽게도 목재생산 목적의 밀원수만 적극 식재되고 있다.

이러한 상황을 개선하기 위해선 기존의 '임업·산림 공익기능 증진을 위한 직접지불제도 운영에 관한 법률'에 밀원식물의 조림과 보호육성에 관한 조항을 명시할 필요가 있다. 미국도 환경 관련 직접지불제인 미국에서도 이와 유사한 보전휴경프로그램을 운영해, 밀원수를 심거나 서식지를 보전하는 등의 활동을 할 경우, 정부가 지대에 상당한 금액을 당사자에게 지불하고 있다. 밀원식물 식재 및 단지 조성과 더불어 화분매개자 부양을 위한 수종 선택, 토착 밀원자원의 보호 육성을 통한 생태환경 보전, 토양과 수자원 보호, 경관과 문화 보전 활동 등은 공익적 기능이 매우 큰 데 반해 임가의 많은 노력과 비용을 수반하게 된다. 따라서 이들의 자발적 참여를 유도할 수 있는 밀원직접지불제 형태의 제도적 지원이 필요하다. 또한 밀원식물이 농가에도 큰 도움이 된다는 사실을 적극 알려야 한다.

생태계 서비스 지불제 (Payment for Ecosystem Services, PES)

생태계 서비스 지불제는 지역 주민이 생태계 서비스 유지 및 증진을 위한 활동에 참여하고 이에 대하여 적절한 보상을 받는 계약이 이루어지는 제도다. 생태계 서비스는 생물다양성법 제2조에 따라 다음과 같은 항목에 해당하는 혜택을 말한다. 첫째, 식량, 수자원, 목재 등 유형적 생산물을 제공하는 공급 서비스. 둘째, 대기 정화, 탄소 흡수, 기후 조절, 재해 방지 등의 환경조절 서비스. 셋째, 생태 관광·아름답고 쾌적한 경관·휴양 등의 문화 서비스. 넷째, 토양 형성, 서식지 제공, 물질 순환 등 자연을 유지하는 서비스를 포함한다.

구분	가이드라인상 활동 유형	법령상 활동 유형	생태계 서비스 증진효과
1	휴경	휴경	지지 서비스 ⁷⁹
2	친환경 작물 경작	친환경 작물 경작	
3	벼 미수확	야생동물 먹이 제공	
4	쉼터 조성 관리		
5	벗짚 존치		
6	보리 재배		
7	습지 조성·관리	습지 조성·관리	
8	생태 웅덩이 조성·관리	생태 웅덩이 조성·관리	
9	숲(지역 자생수종) 조성·관리	야생생물 서식지 조성·관리	
10	관목 덩굴 조성·관리		
11	초지 조성·관리		
12	멸종위기종 서식지 조성·관리		
13	하천환경 정화	하천 정화	조절 서비스
14	수변식생대 조성·관리	하천 식생대 조성	
15	기후변화대응숲 조성·관리	식생군락 조성·관리	
16	저류지 조성·관리	저류지 조성·관리	
17	나대지 조성·관리		
18	경관숲 조성·관리	경관숲 조성·관리	
19	생태탐방로 조성·관리	산책로 조성·관리	문화 서비스
20	생태탐방로 조성·관리	자연경과 조망점 조성·관리	
21	생태계 교란종 제거	자연자산 유지·관리	
22	생태계 보전 관리 활동		

표 8. 생태계서비스 지불제 내용

토착밀원직불제

현재 산림청의 임상도에 따르면, 우리나라 산림 속 대다수의 나무들은 소나무, 상수리나무, 신갈나무 등 주요 수목만 국한되어 있다. 그러나 우리나라는 삼한사온의 좋은 기후와 적당한 강수량 덕분에 식물상이 다양하고 계절별로 서로 다른 꽃이 연속되어 피는데, 이 중 우수한 밀원식물이 많다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 밀원수는 대부분 아까시나무에 집중되어 있다. 특히 허의 길이가 짧은 재래꿀벌은 아까시나무에서 꿀을 채취할 수 없어 그 피해가 더욱 크다. 재래꿀벌이 화밀과 화분을 섭취할 수 있는 토착

밀원식물의 증량이 필요한 시점이다.

따라서 토착밀원식물을 심을 경우 이에 보상하는 제도가 도입된다면 현 상황에 큰 도움이 될 수 있다. 밀원식물의 종 다양성이 제고되어야 하는 시점이다. 토착 밀원식물 중에는 때죽나무와 쪽동백나무, 괴불나무, 헛개나무, 피나무, 음나무, 쉬나무, 황벽나무 등 화밀 분비량이 좋고 개화시기가 서로 다르기에, 토착식물만으로도 한 지역에서 연중 꿀 수확이 가능한 환경을 조성할 수 있다. 그 밖에도 지역에 따라 산벚나무, 돌배나무, 모감주나무, 쉬나무, 이나무, 소태나무 등은 조경수로서도 우수하다.



그림 49. 경상북도 안동시의 유채꽃밭

농업 생태계 밀원 확대 방안

농업 생태계에서의 밀원을 확대하기 위해서는 경관보전직불제의 도입과 더불어, 밀원의 확대가 농업 경제에도 도움이 된다는 점을 널리 알릴 필요가 있다.

경관보전직불제는 지역별 특색있는 경관작물을 재배하여 농촌 경관을 아름답게 가꾸고 공익적 기능을 증진함으로써 도농 교류 및 지역 경제의 활성화를 도모하고자 하는 것이다.⁷⁶ 또한 경관작물을 심을 경우, 야생 화분매개자들에게 서식처를 제공한다면 화분매개자의 밀도를 높여 지역 농업 생산성에 기여할 수 있다. 경관 작물로는 산시호, 왜당귀, 방풍, 당근, 꿀풀, 들깨풀, 박하, 꽃향유, 메밀, 과꽃, 금잔화, 구절초, 수레국화, 백일홍, 뽕뽕지, 기생초, 천수국, 만수국 등이 있다.

또한 농업 생태계 내에 꿀벌 및 화분매개자 서식처를 조성하고 관리한다면, 벌을 보호할 수 있을 뿐 아니라 농업 생산성에도 크게 기여할 수 있다. 과수원 내 빈 공간을 밀원식물로 피복(지표면에 존재하는 물질 및 분포사항)하면 꿀벌을 포함한 여러 화분매개곤충을 유인할 수 있으며, 과수 개화기 전후로 이를 먹이자원으로 이용할 수 있다.

사과 과수원에서 밀원식물이 피복된 경우, 그렇지 않은 과수원보다 많은 화분매개자가 존재하며 크고 정형과율이 높은 사과가 생산된다. 과수원뿐만 아니라 인근지역에 대규모 화분매개 서식처를 조성해도 넓은 범위 내 여러 과수원의 농산물 품질 향상을 이끌 수 있다. 화분매개 서식처에 가까운

사과 과수원은 더 많은 화분매개자 활동이 관찰되고 이는 고품질 사과 비율의 증가로 이어진다. 이밖에 해충에 대한 천적의 서식처 기능을 수행해 해충의 밀도를 억제할 수 있다. 생태 집약화로 인한 천적의 증가는 화학살충제의 사용을 감소시키고 이는 지속 농업 모형으로의 전환을 도울 수 있다.

안동대학교 식물외학과 연구팀이 지난 3년간 화분매개 서식처와 과수원간의 관계를 연구한 결과⁷⁷ 과수원이 화분매개 서식처와 더 가까울수록 화분매개곤충의 개체수가 더 높게 나타나며, 꿀벌 화분매개 활동도 더욱 활발하게 이뤄진 것을 확인했다. 또한 과수원의 초기 결실률이 올라가, 사과 열매가 더 크고 건강하게 자라 과실의 품질도 향상되는 것을 확인했다.

4.4 생활권 화분매개 서식처 확대

생활권 화분매개 서식처 확대

오늘날 대한민국 인구의 90%는 도시에서 살고 있다.⁷⁸ 그러나 다수의 전문가들은 한국의 도시공원 정책은 양적 확대에만 치중해 왔을 뿐, 공원 내 시설 등 질적 향상에는 큰 관심이 없었다고 평가한다.⁷⁹ 따라서 생태계 기능을 강화해 지속가능성과 생물다양성을 제고하는 도시공원 녹지 정책이 필요하다. 특히 도심지 공원이나 주거단지, 도로, 강가 등 부지에 조경 및 환경 미화 사업을 진행하는 데 있어 밀원식물이 포함된 화단을 반드시 확보하는 등 생태계 기능을 강화하는 계획을 수립해야 한다.

화분매개 서식처는 SNAP(Shelter, Nectar, Alternative foods and Pollen; 피난처, 꿀꿀, 꽃가루, 대체먹이)을 제공할 수 있는 공간으로써, 화분매개자들의 부양과 성장을 도와준다. 강가의 꽃밭이나 꽃길 조성, 꽃 피는 식물군락의 형성 및 자연형 정원, 자투리 정원 등의 조성 등이 그 예다.

이러한 공간에 충분한 화밀·화분을 제공할 수 있는 밀원식물을 선택해 심는다면, 도심 속 작은 공간만으로도 벌에게 필요한 먹이와 서식처를 제공할 수 있다. 도심 속 공원에는 풍부한 밀원자원을 제공하고 꽃에 의한 심미성을 부여해 줄 수 있는 야카시나무, 피나무 등이 식재 되어야 한다. 여유 공간이 넓지 않은 베란다, 옥상 및 자투리 공간에는 초본과 식물을 심는 것이 바람직하다.

수목류는 조림이나 식재를 하고 5~10년 정도 자라 꽃을 피우기에 어린 나무 관리 등에 있어 세심한 주의와 인내가 필요하다. 이후 숲으로 성장하면 비교적 세세한 관리를 하지 않더라도 지속가능한 숲이 조성된다. 반면 초본류 밀원의 경우, 파종(씨앗을 뿌려 심는 활동) 이후 2달 내외에 꽃을 피우기 때문에 빠른 성과를 볼 수 있지만, 그 이후 주기적으로 분갈이를 하는 등 토양과 파종 등에 있어 추가적인 관리가 필요하다.



© Patrick Hacker / inaturalist

1 | 산시호 | *Bupleurum falcatum*



© Mary Ellen Harte / Bugwood.org

2 | 왜당귀 | *Ligusticum acutilobum*



© Urgamal Magsar / inaturalist

3 | 방풍 | *Ledebouriella seseloides*



© Eleftherios Katsillis / inaturalist

4 | 당근 | *Daucus carota*



© Alpsdake / Wikimedia Commons

5 | 꿀풀 | *Prunella vulgaris*



© 王錦堯 (Ong Jin Yao) / inaturalist

6 | 들깨풀 | *Mosla punctulata*



© Irina Butorina / inaturalist

7 | 박하 | *Mentha arvensis*



© Bastus917 / inaturalist

8 | 꽃향유 | *Elsholtzia splendens*



© Valentin Hamon / inaturalist

9 | 메밀 | *Fagopyrum esculentum*



© Emőke Dénes / inaturalist

10 | 과꽃 | *Callistephus chinensis*



© Ishaip / inaturalist

11 | 금잔화 | *Calendula arvensis*



© Gennadiy Okatov / inaturalist

12 | 구절초 | *Chrysanthemum zawadskii*



© Kai-Philipp Schablewski / inaturalist

13 | 수레국화 | *Centaurea cyanus*

© Thomas Tam / inaturalist

14 | 백일홍 | *Zinnia elegans*

© Betsypaints / inaturalist

15 | 뚱딴지 | *Rudbeckia bicolor*

© Ves / inaturalist

16 | 기생초 | *Coreopsis tinctoria*

© askhilesh / inaturalist

17 | 천수국 | *Tagetes erecta*

© Emad / inaturalist

18 | 만수국 | *Tagetes patula*

표 9. 밀원자원으로 활용할 수 있는 초본과 식물

해외에서도 도심 속 공원, 건물 지붕, 버스정류장 등 다양한 장소를 화분매개 서식처로 조성하는 사례가 늘고 있다. 도시 속 꿀벌 정원 사업은 지난 2018년 네덜란드에서 처음 시작됐다. 네덜란드 위트레흐트에는 300개가 넘는 버스정류장 정원이 있다. 버스정류장에 꿀벌을 위한 정원을 조성한 결과, 최근 몇 년 동안 꿀벌의 개체 수가 더 이상 줄어들지 않는 것으로 나타났다. 버스정류장 옥상정원은 부수적 효과도 있다. 여름철 버스정류장의 폭염을 식혀주고 흘러내리는 빗물을 흡수할 뿐 아니라 공기도 맑게 해준다.⁸⁰



그림 50. 버스정류장 지붕에 조성된 화분매개자 서식처

4.5 국무총리 산하 위원회 설립

상기 언급한 제언 사항들은 한 부처만의 노력만으로는 달성하기 어렵다. 국·공유림의 밀원수 조성 및 수분매개체 서식지를 조성하기 위해서는 산림청뿐 아닌 환경부도 함께 고민할 필요가 있다. 도심지와 도로 주변 등에 연관된 프로젝트를 진행하기 위해서는 국토교통부와의 협업도 필요하다. 벌이 사라지는 이유에는 밀원수 부족뿐 아닌 살충제, 기후변화 등 다양한 요인이 있으므로, 벌이 건강하게 살 수 있는 환경을 조성하기 위해서는 다방면의 검토가 필요하다. 미국과 영국, 유럽 연합 등 주요 선진국들이 단일 부처가 아닌 다부처, 다국가 간의 협업으로 수분매개체 보호에 나선 것도 같은 이유이다.

한국에서 꿀벌은 소, 돼지 등과 같은 가축으로 분류되어 있다. 이에 따라 꿀벌 문제도 가축 산업의 유지와 증진을 위해 해결해야 할 과제 중 하나로만 고려되고 있다. 이러한 시각으로는 꿀벌 문제를 해결할 수 없다. 현 보고서를 통해 전하는 꿀벌의 문제는 특정 단체의 관리 부족 등으로 일어나는 것이 아닌, 기후변화와 인간의 개발 행위로 촉발된 것이기 때문이다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서는 꿀벌뿐 아닌 야생벌도 모두 건강하게 살 수 있는 환경을 조성해야 한다.

꿀벌의 위기는 단순한 양봉산업의 위기가 아니다. 화분매개의 부족으로 인한 농업 생산량 저하는 식량 위기를 일으키고, 빈부 양극화와 영양공급의 불량으로 이어져 대한민국 시민들의 건강과 복지 문제로 직결된다. 무엇보다도 자연 생태계 내 '수분매개자'라는 역할을 하는 생물들이 사라진다면, 생태계 내 연쇄 붕괴 현상이 촉발되어 인류의 생존마저 위협하는 멸종의 길로 나아가게 된다. 벌은 식량안보와 생태계 위기에 따른 미래세대의 생존에 직결된 문제이기에, 한국 정부 역시 농림부, 국토부, 환경부, 기상청 등이 관여하는 '벌 살리기 위원회'를 설립할 필요가 있다.



© Mitja Kopal / Greenpeace

그림 51. 꿀벌과 꽃사진

참고문헌

- Morandin, L.A., & Kremen, C. (2012). Bee preference for native versus exotic plants in restored agricultural hedgerows. *Restoration Ecology*, 21(1): p.26-32. DOI: 10.1111/j.1526-100x.2012.00876.x
- Zattara, E.E., & Aizen, M.A. (2021). Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness. *One Earth*, 4(1): p.114-123. DOI: 10.1016/j.oneear.2020.12.005
- 유동수, 권오창, 신만석, 김정규, & 이상훈. (2022). 전국 야생 벌목 분포에 대한 기후요인 영향 연구. 『한국환경생태학회지』, 36(3): p.303-317. DOI: 10.13047/KJEE.2022.36.3.303
- 행정안전부. (2023, March 8). 2023년 산불방지 대국민 담화문. Available at: https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type010/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_000000000008&nttId=99125#none Accessed (May 6, 2023)
- 환경부. (2023). 대한민국 기후변화 적응 보고서. p.7. Available at: http://me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?sessionId=2xEqSv6uSQucMXKOCeK49Icf.mehome2?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=92&orgCd=&condition.deleteYn=N&seq=8071 Accessed (May 6, 2023)
- Dogantzis, K.A. et al. (2021). Thrive out of Asia and the adaptive radiation of the western honey bee. *Science Advances*, 7(49). DOI: 10.1126/sciadv.abj2151 Accessed (May 6, 2023)
- 농림축산식품부. (2021). 기타가축통계. Available at: <https://kass.mafra.go.kr/newkass/kas/sti/sti/orgConfmStats.do> Accessed (May 6, 2023)
- 박보선, 최용수, 강은진, 박희근, 올라프런제, & 김동원. (2020). 스마트팜 시스템 구축을 위한 로열젤리 생산 현황 분석. 『한국지식정보기술학회 논문지』, 15(5): p.845-853. DOI: 10.34163/jkits.2020.15.5.026
- Science Times. (2019, July 9). Bees Declared To Be The Most Important Living Being On Earth. Available at: <https://www.sciencetimes.com/articles/23245/20190709/bees-are-the-most-important-living-being-on-earth.htm> Accessed (May 6, 2023)
- IPBES. (2016). The assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services on pollinators, pollination and food production. Secretariat of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services, p.552. Available at: https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/pdf/individual_chapters_pollination_20170305.pdf Accessed (May 6, 2023)
- Jung, C., & Shin, J.H. (2022). Evaluation of Crop Production Increase through Insect Pollination Service in Korean Agriculture. *Korean Journal of Applied Entomology*, 61(1): p. 229-238. DOI: 10.5656/KSAE.2022.02.0.007
- Smith, M.R. et al. (2022). Pollinator deficits, food consumption, and consequences for human health: A modeling study. *Environmental Health Perspectives*, 130(12). DOI: 10.1289/ehp10947
- Jung, C., & Shin, J.H. (2022). Evaluation of Crop Production Increase through Insect Pollination Service in Korean Agriculture. *Korean Journal of Applied Entomology*, 61(1): p. 229-238. DOI: 10.5656/KSAE.2022.02.0.007
- Gallai, N. et al. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3): p.810-821. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.014
- United Nations. (2022). Sustainable development goals report 2022. Department of Economic and Social Affairs (DESA). ISBN: 978-92-1-101448-8
- KBS NEWS. (2023, March 9). 지난 가을 꿀벌 100억 마리 실종...원인은? Available at: <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=7611133> Accessed (May 8, 2023)
- 한겨레. (2023, April 24). 벌 141억마리 떼죽음...꿀 다 떨어진 4월. Available at: https://www.hani.co.kr/arti/area/area_general/1089079.htm Accessed (May 6, 2023)
- 머니투데이. (2022, April 30). "이런적 처음"...한국에서 15% 넘는 꿀벌 '떼죽음', 왜? Available at: <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2022042913145560397> Accessed (May 6, 2023)
- Lee, S.J., Kim, S.H., Lee, J., Kang, J.H., Lee, S.M., Park, H.J., Nam, J., & Jung, C. (2022). Impact of ambient temperature variability on the overwintering failure of honeybees in South Korea. *Journal of Apiculture*, 37(3): p.331-347. DOI: 10.17519/apiculture.2022.09.37.3.331
- Oh, S.D., J.M. Park, & D.G. Choi, (2004) Tree growth. Fruit tree physiology in relation to temperature. S.D. Oh (Eds.), Gilmogm Press, Seoul, Korea, p.192-255. (In Korean)
- Sagong, D.H., Kweon, H.J., Park, M.Y., Song, Y.Y., Ryu, S.H., Kim, M.J., Choi, K.H., & Yoon, T.M. (2013). Impacts of urban high temperature events on physiology of Apple Trees: A case study of 'fuji'/m.9 apple trees in Daegu, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 15(3): p.130-144. DOI: 10.5532/kjafm.2013.15.3.130
- 매일경제. (2021, October 28). 사과하면 대구였는데...이젠 `강원도 사과`가 최상품. Available at: <https://www.mk.co.kr/news/economy/10077591> Accessed (May 8, 2023)
- KBS. (2022, April 25). '기후변화'로 바뀐 '과수나무' 미래 지도는? Available at: <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5447670> Accessed (May 8, 2023)
- MBC. (2018, September 25). 국산이 된 파파야, 구아바...50년 뒤 한반도는 아열대? Available at: https://imnews.imbc.com/replay/2018/nwdesk/article/4845392_30181.html Accessed (May 8, 2023)
- 중앙일보. (2023, March 9). "꿀벌 집단폐사, 응애 탓 말라" 양봉 농민들 분노의 삭발 왜. Available at: <https://www.joongang.co.kr/article/25145959> Accessed (May 8, 2023)
- Gérard, M., Vanderplanck, M., Wood, T., & Michez, D. (2020). Global warming and plant-pollinator mismatches. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4(1): p.77-86. DOI: 10.1042/etls20190139
- 기상청. (2022, March 17). 온실가스 감축 없으면, 21세기 후반 봄꽃 2월에 필 수도. Available at: <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156499741> Accessed (May 8, 2023)
- 기상청. (2022, March 17). 온실가스 감축 없으면, 21세기 후반 봄꽃 2월에 필 수도. Available at: <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156499741> Accessed (May 8, 2023)
- 홍성천. (2002). 임업 정책과 밀원식물의 미래. 『한국양봉학회』. Available at: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE00987735> Accessed (May 8, 2023)
- 한진규. (2010). 주요 밀원수종의 화밀 생산량 비교분석. 『산림과학정보』, 335: p.6-7. Available at: <http://know.nifos.go.kr/book/search/DetailView.ax?&cid=154747> Accessed (May 8, 2023)
- 한진규. (2010). 주요 밀원수종의 화밀 생산량 비교분석. 『산림과학정보』, 335: p.6-7. Available at: <http://know.nifos.go.kr/book/search/DetailView.ax?&cid=154747> Accessed (May 8, 2023)
- 한진규. (2010). 주요 밀원수종의 화밀 생산량 비교분석. 『산림과학정보』, 335: p.6-7. Available at: <http://know.nifos.go.kr/book/search/DetailView.ax?&cid=154747> Accessed (May 8, 2023)
- 박용구. (2009). 본 협 아까시나무 국가(산림정책) 보호수 지정 건의. 『한국양봉학회보』, 329: p.20-21. Available at: <https://koreascience.or.kr/article/JAKO200857154855194.pdf> Accessed (May 6, 2023)
- 산림청. (2023). 2022년 산불통계연보. Available at: https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1309 Accessed (May 6, 2023)
- 농촌진흥청. (2022, June 10). 농촌진흥청, 꿀벌 보호 위해 관계부처 연구역량 총집결. Available at: <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156511292> Accessed (May 8, 2023)

36. Ghosh, S., & Jung, C. (2017). Nutritional value of bee-collected pollens of Hardy Kiwi, *Actinidia arguta* (actinidiaceae) and oak, *Quercus* sp. (Fagaceae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(1): p.245-251. DOI: 10.1016/j.aspen.2017.01.009
37. Jack, C.J., Uppala, S.S., Lucas, H.M., & Sagili, R.R. (2016). Effects of pollen dilution on infection of nosema ceranae in honey bees. *Journal of Insect Physiology*, 87: p.12-19. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2016.01.004
38. Di Pasquale, G. et al. (2016). Variations in the availability of pollen resources affect Honey Bee Health. *PLOS ONE*, 11(9). DOI: 10.1371/journal.pone.0162818
39. 그린피스 서울사무소. (2021). 기후위기 식량보고서. Available at: <https://www.greenpeace.org/korea/report/20153/report-impacts-of-climate-change-on-living-creatures/> Accessed (May 8, 2023)
40. Tarpy, D.R., vanEngelsdorp, D., & Pettis, J.S. (2013). Genetic diversity affects colony survivorship in commercial honey bee colonies. *Naturwissenschaften*, 100(8): p.723-728. DOI: 10.1007/s00114-013-1065-y
41. Lu, C., Chang, C., Lemos, B., Zhang, Q., & MacIntosh, D. (2020). Mitochondrial dysfunction: A plausible pathway for Honeybee Colony collapse disorder (CCD). *Environmental Science & Technology Letters*, 7(4): p.254-258. DOI: 10.1021/acs.estlett.0c00070
42. 유동수, 권오창, 신만석, 김정규, & 이상훈. (2022). 전국 야생 벌목 분포에 대한 기후요인 영향 연구. 『한국환경생태학회지』, 36(3): p.303-317. DOI: 10.13047/KJEE.2022.36.3.303
43. 농림축산검역본부. “꿀벌질병진단 - 검사항목”. Available at: https://www.qia.go.kr/anp/rchStatus/study_hbee_insp.jsp Accessed (May 8, 2023)
44. 정년기. (2012). 꿀벌의 질병(세균편). 『대한수의사회지』, 48(9): p.556-571. Available at: <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO201251348012187&dbt=NART> Accessed (May 8, 2023)
45. Traynor, K.S. et al. (2020). *Varroa destructor*: A complex parasite, crippling honey bees worldwide. *Trends in Parasitology*, 36(7): p.592-606. DOI: 10.1016/j.pt.2020.04.004
- 일부 자료 추가
46. 이명렬 외. (2005). 가을철 꿀벌(*Apis mellifera* L.) 번데기에 기생하는 꿀벌응애(*Varroa destructor* Anderson & Trueman)와 중국가시응애(*Tropilaelaps clarea* Delfinado and Baker)의 밀도 분포. 『한국양봉학회』, 20(2): p.103-108. Available at: <https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE00954684> Accessed (May 8, 2023)
47. Biochemtech. “The greater wax moth / *Galleria mellonella*”. Available at: <https://biochemtech.eu/products/the-greater-wax-moth-galleria-mellonella> Accessed (May 8, 2023)
48. 조윤상. (2017). 꿀벌 해충, 작은벌집떡정벌레(*Aethina tumida*) 예방 및 관리. 『대한수의사회지』, 53(6): p.390-396. Available at: <https://koreascience.or.kr/article/JAKO201767038474565.pdf> Accessed (May 8, 2023)
49. 김동원, & 정철의. (2013). 꿀벌의 농약 피해에 대한 양봉농가와 사과농가의 인식 비교. 『한국양봉학회』, 28(1), p.33-38. DOI: <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=NART69879623&SITE=CLICK> Accessed (May 8, 2023)
50. OECD. (2014). 농약 사용에 따른 꿀벌 피해를 줄일 OECD의 해법은? Available at: https://overseas.mofa.go.kr/oecd-ko/brd/m_20809/view.do?seq=1087241&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&multi_itm_seq=0&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&company_cd=&company_nm= Accessed (May 8, 2023)
51. Fine, J.D. (2020). Evaluation and comparison of the effects of three insect growth regulators on honey bee queen oviposition and egg eclosion. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 111142. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111142
52. U.S. Department of Agriculture. “Conservation Reserve Program”. Available at: <https://www.fsa.usda.gov/programs-and-services/conservation-programs/conservation-reserve-program/> Accessed (May 8, 2023)
53. 한국농촌경제연구원. (2005). 미국 환경보전직불제 실시동향. Available at: <https://repository.krei.re.kr/handle/2018.oak/18362> Accessed (May 8, 2023)
54. U.S. Department of Agriculture. “Emergency Assistance for Livestock, Honey Bees, and Farm-raised Fish (ELAP) 프로그램”. Available at: <https://www.fsa.usda.gov/programs-and-services/disaster-assistance-program/emergency-assist-for-livestock-honey-bees-fish/index> Accessed (May 8, 2023)
55. U.S. Department of Agriculture. “USDA ELAP Factsheet”. Available at: <https://www.fsa.usda.gov/Assets/USDA-FSA-Public/usdfiles/FactSheets/elap-honeybee-fact-sheet.pdf> Accessed (May 8, 2023)
56. U.S. Department of Interior. “Plant Conservation & Restoration Program”. Available at: <https://www.blm.gov/programs/natural-resources/native-plant-communities> Accessed (May 8, 2023)
57. U.S. Department of Transportation. “Environmental Review Toolkit”. Available at: https://www.environment.fhwa.dot.gov/env_topics/ecosystems/pollinators.aspx Accessed (May 8, 2023)
58. Alt National Park Service. “The Alt National Park Service movement”. Available at: <https://altnps.org/> Accessed (May 8, 2023)
59. UK Department for Environment Food and Rural affairs. (2014). 국가 화분매개체 전략(The National Pollinator Strategy). Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/794706/national-pollinator-strategy.pdf Accessed (May 8, 2023)
60. UK Pollinator Monitoring Scheme. “UK Pollinator Monitoring Scheme”. Available at: <https://ukpoms.org.uk/> Accessed (May 8, 2023)
61. UK Pollinator Monitoring Scheme. “Insect groups visiting PoMS target flowers”. Available at: <https://ukpoms.org.uk/flower-charts> Accessed (May 8, 2023)
62. UK Department for Environment Food and Rural affairs. “Bees’ Needs Campaign” Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/bees-needs/bees-needs-campaign> Accessed (May 8, 2023)
63. EU. (2018). EU Pollinators Initiative. Available at: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1528213737113&uri=CELEX:52018SC0302R\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1528213737113&uri=CELEX:52018SC0302R(01)) Accessed (May 8, 2023)
64. IEEP. (2019). EU POLLINATORS INITIATIVE – A review of Member States actions to tackle the decline of wild pollinators. Available at: <https://wikis.ec.europa.eu/download/attachments/14751054/France.pdf?version=1&modificationDate=1587460368358&api=v2> Accessed (May 8, 2023)
65. EU. (2018). Revision of the EU Pollinators Initiative A new deal for pollinators. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2023%3A35%3AFIN&qid=1674555285177> Accessed (May 8, 2023)
66. EU. (2023). Press remarks by Commissioner Virginijus Sinkevičius on the Revision of the EU Pollinators Initiative – A new deal for pollinators. Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/speech_23_348 Accessed (May 8, 2023)
67. EU. (1992). Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31992L0043> Accessed (May 8, 2023)
68. 농림축산식품부. (2022, June 8). 「양봉산업 5개년 종합계획」수립.추진. Available at: <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156510497> Accessed (May 8, 2023)
69. 산림청. (2023, April 20). 산림청 국회토론회 자료집.
70. 충청남도. (2022, December 27). 축구장 4700개 크기 ‘꿀벌 먹이 숲’ 조성.

Available at: http://www.chungnam.go.kr:8100/cnnet/board.do?mnu_url=/integratedBoardView.do&board_seq=424475&field03=in&cdate=20221227&mnu_cd=CNNMENU02362&searchCnd=0&srtdate=20221227&enddate=20221228&pageNo=2&pageGNo=0&showSplitNo=10&code=600 Accessed (May 8, 2023)

71. 경상북도. (2023, February 2). 산림에서 소득 창출하고 공기 정화는 보너스 ~. Available at: https://inseri.gb.go.kr/Main/page.do?mnu_uid=6792&dept_code=&dept_name=&BD_CODE=bbs_bodo&bdName=&cmd=2&Start=40&B_NUM=276378601&B_STEP=276378600&B_LEVEL=0&key=0&word=&p1=0&p2=0&V_NUM=5571&tbbcode1=bbs_bodo Accessed (May 8, 2023)
72. 산림청. (2023, April 20). 산림청 국회토론회 자료집.
73. 산림청. (2022). 산림입업통계연보. Available at: <https://kfss.forest.go.kr/stat/ptl/fyb/frstyYrBookList.do?curMenu=9854> Accessed (May 8, 2023)
74. 농촌진흥청. (2019, July 11). 농촌진흥청, 지역특화작목법으로 국가균형발전 이끈다. Available at: http://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=view&prgId=day_farmprmninfoEntry&dataNo=100000756686 Accessed (May 8, 2023)
75. Mohamadzade Namin, S., Kim, M., Son, M., & Jung, C. (2022). Honey DNA metabarcoding revealed foraging resource partitioning between Korean native and introduced honey bees (hymenoptera: Apidae). *Scientific Reports*, 12(1). DOI: 10.1038/s41598-022-18465-5
76. 한국농촌경제연구원. (2005). 농촌경관 보전을 위한 정책 동향과 시사점. Available at: <https://repository.krei.re.kr/handle/2018.oak/18394> Accessed (May 8, 2023)
77. 손민웅, & 정철의. (2021). 사과원 피복 초생의 개화가 화분매개자 네트워크와 사과 생산에 미치는 영향. 『한국응용곤충학회지』, 60(1): p.115-122. DOI: 10.5656/KSAE.2021.02.0.007
78. 국토교통부. (2022). 도시계획현황. Available at: https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtIPageDetail.do?idx_cd=1200 Accessed (May 6, 2023)
79. 한국건설신문. (2021, August 25). [조경특집] ‘실 틈’ 없는 도시, 공원의 재정비가 시급하다. Available at: <http://www.conslove.co.kr/news/articleView.html?idxno=70102> Accessed (May 6, 2023)
80. 한겨레. (2022, September 25). 유럽 버스정류장에 ‘꿀벌정원’ 바람…꿀벌 지키고 관리도 쉽다. Available at: <https://www.hani.co.kr/arti/science/future/1059978.html> Accessed (May 8, 2023)



그린피스 동아시아 서울사무소

서울시 용산구 한강대로 257 청룡빌딩 6층(우 04322)

T +82 2 3144 1994 F +82 2 6455 1995

www.greenpeace.org/korea

문의 press.kr@greenpeace.org

저자

안동대학교 식물학과

정철의 교수

연구원 : 강용락, 오현아, 박성빈, 홍동의, 권순호

그린피스

최태영 생물다양성 캠페이너

최혜원 리서처

도움을 주신 분들

홍보 : 김나영

디자인 : 두솔비, 앤들핀 스튜디오

편집도움 : 차윤탁, Chris Ng

발간 : 2023년 5월

GREENPEACE