



## 바람의 유무가 재래꿀벌 (*Apis cerana*)의 먹이섭취에 미치는 영향

오대근<sup>1,2</sup>, 최진혁<sup>1</sup>, 김나현<sup>1</sup>, 김동원<sup>2</sup>, 김길원<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>인천대학교 생명과학과 행동생태실험실, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부 양봉생태과

### Effect of the Presence or Absence of Wind on Food Intake of Eastern Honeybees, *Apis cerana*

Daegeun Oh<sup>1,2</sup>, Jin Hyeok Choi<sup>1</sup>, Na Hyeon Kim<sup>1</sup>, Dongwon Kim<sup>2</sup> and Kil Won Kim<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Animal Behavior & Ecology Laboratory, Incheon National University, Incheon 22012, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

#### Abstract

Climate change affects worker bees foraging activity which permit them to collect flower nectar and pollen. This study was an experimental approach to find out how the presence and strength of wind amongst other weather factors affects the feeding behavior of the honeybee (*Apis cerana*). The frequency of visits by worker bees, time of food intake, and food intake were measured by blowing wind of different intensities to the artificial food source. The experimental design was such that, the wind did not blow while the bees were flying, and the wind only affected them when they approached the artificial food source. As a result, the time of food intake at a wind speed of 0~3 m/s did not differ significantly. However, food intake time was significantly longer in the food source with strong wind of 4.5 m/s than in the food source without wind ( $P \leq 0.001$ ). Food source without wind was preferred over food source with wind, resulting in a high visiting rate of worker bees. There was no statistically significant difference in food intake, but on average, about 6 mg more was consumed in the presence of a wind speed of 4.5 m/s. These results show that the wind speed, which is the microclimatic condition of the food source, can influence the decision-making of the worker bee individual.

#### Keywords

Honey bee, *Apis cerana*, Wind velocity, Foraging, Climate condition

### 서론

기후변화로 인해 최근 20년 동안 계절주기가 변화하여, 꽃들의 개화시기에 영향을 주었다(Kwon, 2005). 이는 꿀벌이 먹이원으로 사용하는 밀원수의 개화시기, 개화기간, 꽃꿀의 양, 화분량 등에 영향을 미쳐 복합적으로 꿀벌의 방화활동에 영향을 줄 수 있다(Lundie, 1925; Corbet, 1990). Kim *et al.* (2021)의 연구에서는 온도, 강수량, 풍속 등의 기후요소가 아까시나무의 꽃의 개화기간을 변화시켜 벌꿀 생산량에 영향을 미친다고 보고하였다. 우리나라의

경우 20세기에 평균기온이 1.5°C 이상 상승하여 전 지구적 온난화 추세보다 높은 상황이다(기상연구소, 2004). 또한 이상기후의 발생으로 2014년 이후 벌꿀 생산량은 감소세를 보이고 있으며, 사육 봉군수가 증가하였음에도 불구하고 밀원수 감소와 병충해에 의하여 벌꿀 생산량이 감소하였다(이 등, 2019). 2018년에는 개화 전 고온 현상과 저온 현상에 의해 아까시나무의 꽃송이가 줄어들어 벌꿀 생산량이 전년 대비 51.9%가 감소하였다(이 등, 2019). 이러한 연구 결과들은 기후변화가 양봉산물 생산량 감소와 꿀벌 개체수 감소에도 영향을 줄 수 있다는 것을 시사한다. 기후

변화는 꿀벌 먹이활동에 큰 영향을 줄 것으로 보이며, 향후 꿀벌의 생존과 양봉산물 생산 효율성에 위협이 될 것으로 보인다(Hemalatha *et al.*, 2018).

기후변화 요인 중 기온변화가 가장 주목받고 있지만, 바람도 중요한 요인 중 하나이다. 꿀벌에게 있어 바람은 비행 능력에 영향을 미치기 때문에 중요한 기후요인 중 하나이다(Szabo, 1980). Kim *et al.* (2015)의 연구에서 우리나라는 현재에 비해 미래에는 평균 풍속은 약해지지만, 풍속의 극값은 증가한다는 결과와 Lee *et al.* (2011)의 동태평양의 엘리노 발생이 한반도의 겨울철과 여름철의 풍속을 증가시킨다는 연구 결과는 한반도의 바람세가 점점 강해질 수 있다는 것을 시사한다. 이러한 연구들은 바람세가 꿀벌에게 미치는 영향에 대한 연구의 필요성을 제시한다. 바람이 꿀벌에게 미치는 영향에 대한 연구는 주로 해외에서 양봉꿀벌(*Apis mellifera*)로 연구되었으며, ‘바람세기에 의한 꿀벌의 꽃 방문율 변화’, ‘바람이 꽃을 진동시켜 먹이원 방문을 저해하는 간접적 영향’, ‘바람이 꿀벌의 비행에 미치는 직접적인 영향’을 평가하는 등의 연구가 진행되었다(Hennessy *et al.*, 2020, 2021). 우리나라에서는 바람에 따른 양봉꿀벌의 채밀량 변화를 연구하여, 2.02 m/s의 바람이 부는 곳보다 2.44 m/s의 바람이 부는 곳의 벌통의 채밀량이 약 17% 더 높다고 하였다(Kang and Lee, 2018). 다양한 기후요소가 복합적으로 꿀벌에게 주는 영향이 아닌, 바람 한 요소가 꿀벌에게 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 것으로 보인다(Reddy *et al.*, 2012, 2015; Hemalatha *et al.*, 2018). 본 연구는 방화활동을 하는 꿀벌의 행동에 바람세가 어떤 영향을 주는지 재래꿀벌을 통해 알아보고자 하였다.

재래꿀벌(*Apis cerana*)은 2000년 이상 오랜 기간 우리나라에서 서식해 왔다(Jung, 2014). 재래꿀벌이 생산한 꿀은 양봉꿀벌의 꿀과는 차별화되어 높은 가격에 판매되고 있다(Jung, 2014). 생산물뿐만 아니라 식물 화분매개에서도 중요한 역할을 한다. 재래꿀벌은 양봉꿀벌과 수분활동을 하는 식물의 종류에서 차이를 보이는데, 일본과 인도에서는 재래꿀벌이 양봉꿀벌보다 자생 식물에 더 많이 방문한다고 하였다(Reddy *et al.*, 2015; Tatsuno and Osawa, 2016). 또한 양봉꿀벌은 넓은 영역의 꽃밭을 이용하는 데 적응하였고, 재래꿀벌의 경우 작고 산발적으로 핀 꽃의 꿀을 채집하는 데 적응되었다(Chen, 2001). 이러한 차이는 꽃의 채도와 밝기, 꽃꿀 농도에 따른 선호성과(Tatsuno and Osawa, 2016), 재래꿀벌이 더 이른 시간 및 낮은 온도

에서 먹이활동을 하는 것에서 비롯된 것으로 보인다(Tan, 2012). 따라서 재래꿀벌은 우리나라 자생 식물들의 수정에 중요한 영향을 줄 수 있다는 것이 시사되며, 자연생태계에서 중요한 생태적 지위를 차지함을 알 수 있다. 하지만 양봉꿀벌에 비하여 사육하는 봉군수가 적고, 국내에서 보다 작은 시장이 형성되어 있다. 다양한 이유로 재래꿀벌에 대한 연구는 비교적 적게 수행되고 있어, 재래꿀벌에 대한 생태적 데이터가 부족한 것으로 판단되어 재래꿀벌을 연구종으로 설정하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 곤충

연구 대상종은 재래꿀벌(*Apis cerana*)을 선정하였다. 인천대학교 캠퍼스에 위치한 야외 꿀벌 사육장(위도: 37°22'33"N, 경도: 126°38'03"E)에서 사육 중인 재래꿀벌 봉군 중 각 소비판에 일벌들로 빈틈없이 착봉(소비판 1장에 약 2,200마리의 일벌)되어 있는 군세가 강하고 여왕벌이 확인된 봉군을 실험에 사용하였다. 봉군의 사육에는 41×45×39 cm (가로·세로·높이)의 개량벌통에 39.5×27×3.2 cm (가로·세로·두께)인 소비판을 사용하였다. 영상분석의 효율을 높이기 위하여 5매였던 소비를 3매(일벌: 약 6,600마리)로 축소하여 실험에 사용하였다. 벌통은 벌들의 안정을 위하여 실험 장소인 온실로 이동하기 2일 전에 소문을 닫고, 야간 시간대에 실험을 진행할 온실로 벌통에 충격이 가해지지 않도록 이동시켰다. 풍속에 따른 먹이섭취량 변화의 실험에는 야외 사육장에서 사육 중인 봉군 중 여왕벌이 있고, 강한 군세를 갖고 있는 봉군을 선정하여, 외역벌을 사용하였다.

### 2. 실험 장소

바람을 통제할 수 있는 온실(16.5×6.5×4.5 m, 가로·세로·높이)을 사용하였다. 온실 안에는 실험에 사용된 벌들이 온실 유리에 부딪혀 불필요하게 사망하는 것을 방지하기 위하여 온실 내부에 직육면체 망사 스크린(12×2.5×4 m)을 설치하였다. 실험은 망사 스크린 내부에서 진행하였다. 온실 환경은 에어컨을 활용하여 온도와 습도가 과하게 올라가는 것을 방지하였다(온도: 29~40°C, 습도: 51~80%).

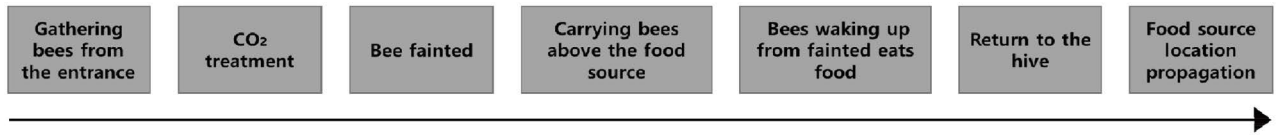


Fig. 1. Traing methods to make worker bees aware of the location of artificial food source.

### 3. 먹이 인지 훈련

실험 시작 2일 전, 일벌들이 먹이원에서 자발적으로 섭취할 수 있도록 먹이원 인지 훈련을 시켰다. 꿀벌들이 선호하는 색인 노란색(Barazani *et al.*, 2019) 설탕물 급여기 (반투명 파란색 용기에 노란색의 발판으로 구성)를 사용하여 벌통과 7.6m 떨어진 지점의 테이블 위(바닥에서 1m 높이)에 먹이원을 위치시키고, 설탕물(물: 설탕=1:1)을 넣어 주었다. 훈련은 벌통에서 나오는 일벌 30마리를 포충망으로 채집하여 CO<sub>2</sub>로 마취시켜 먹이원의 발판에 올려두고, 일벌의 입이 설탕물에 닿게 하여 설탕물을 섭취하게 하였다. 일벌들이 깨어나 먹이원의 설탕물을 섭취한 후 벌통으로 돌아가 먹이원의 위치를 봉군의 다른 일벌들에게 전달함으로써 인공먹이원 위치 훈련이 이뤄진다(Giurfa, 2007; Choi, 2015). 훈련은 2일간 하루에 한 번씩 총 60마리의 일벌을 훈련에 사용하였다.

### 4. 풍속에 따른 먹이원 방문빈도와 섭취시간

풍속에 따른 먹이원 방문빈도와 먹이섭취시간을 측정하기 위하여, 3가지 바람 조건을 먹이원에 설정하였다. 바람 조건은 여름에 실험을 진행하였기에 한국의 1975년부터 2020년까지의 평균 여름철 풍속인 1.6~2.03 m/s를 참조하여(기상청-종합기후변화감시정보), 0 m/s(바람 없음), 여름철 평균 풍속설정인 2 m/s(1.92~2.18 m/s), 평균보다 조금 강한 풍속설정인 3 m/s(2.82~3.04 m/s)로 설정하였다. 선풍기(Ningbo Cetus Ellectric Appliance Co, 선풍기, 모델명: CZ-S1113)를 바람원으로 사용하여 바람원과 인공먹이원, 벌통이 수직선상에 위치하게 배열하고, 먹이원으로 바람이 향하게 하였다. 풍속측정기(Digital Anemometer840003, SPER SCIENTIFIC, Taiwan)로 바람세기를 측정하였고, 바람원의 풍속설정과 바람원과 먹이원의 거리를 달리하여 원하는 풍속 값으로 설정하였다. 먹이원과 벌통 위치는 먹이원 인지 훈련과 동일하게 7.6 m로 설정하였다. 캠코더(SONY, HANDYCAM, HDR-CX

380)를 사용하여 먹이원에 방문한 꿀벌들이 먹이를 먹는 모습을 촬영해 먹이원 방문빈도와 먹이섭취시간을 측정하였다. 바람 조건별로 하루를 배정하여 총 3일간 실험을 진행하였다. 영상 촬영은 일벌들이 활동하는 시간대인 12:00~14:00까지 두 시간 동안 진행하였다. 온·습도계(Humidity & Thermometer, CEM DT-615)를 먹이원 옆에 설치하여 온·습도를 기록하였다.

실험시간 동안 온·습도는 10분 간격으로 측정하였다. 바람없는 실험군은 평균 온도는 31.5±1.00°C, 최고온도 33.4°C, 최저온도 29.9°C, 평균 상대습도 75±3.2%, 최고 상대습도 80%, 최저 상대습도 70%로 측정되었다. 2 m/s 풍속 실험군은 평균 온도 37.6±0.81°C, 최고온도 38.6°C, 최저온도 36.2°C로 측정되었다. 또한 평균 상대습도 53±1.7%, 최고 상대습도 56%, 최저 상대습도 51%로 측정되었다. 3 m/s 풍속의 실험군은 평균 온도 33.7±1.21°C, 최고온도 34.7°C, 최저온도 31.3°C로 측정되었고, 평균 상대습도 60±3.3%, 최고 상대습도 67%, 최저 상대습도 57%로 측정되었다.

### 5. 풍속에 따른 먹이원 선택 및 섭취시간

일벌이 바람세기 조건이 다른 2가지 먹이원 중 하나를 선택할 수 있도록 설계하였다. 2개의 먹이원에 각각 0 m/s(바람 없음)과 4.5 m/s의 풍속 조건을 설정하였다. 풍속 설정은 재래꿀벌이 먹이를 가지고 바람을 거슬러 날지 못한다고 알려진 4.16 m/s에서 먹이원에만 바람세기를 적용하였기 때문에 조금 더 강한 4.5 m/s를 설정하였다(Reddy, 2015). 실험 전 먹이원 인지 훈련을 1일 차에 60마리, 2일 차에 20마리의 일벌들에게 진행하였다. 훈련시킨 일벌들은 먹이원에 재방문하는지 확인하기 위하여 가슴 등면에 마킹팬으로 점을 찍어 표시하였다. 먹이원과 봉군의 위치는 선행 실험과 동등하게 진행하였다. 실험은 하루 동안 진행되었으며, 12:00~18:00까지 총 6시간 동안 진행되었다. 바람세기에 의한 먹이원 선택이 아닌, 먹이 위치에 따른 특성이나 다른 영향으로 인한 먹이원 선택의 오

류를 줄이기 위하여 처리 후 0~3시간 동안(12:00~15:00)과 처리 후 3~6시간(15:00~18:00)으로 나누어 풍속설정을 서로 교체하였다. 처리 후 0~3시간 동안은 왼쪽 먹이원에 4.5 m/s의 풍속을 주었고, 오른쪽 먹이원에는 바람을 주지 않았다. 처리 후 3~6시간에서는 서로 바람세기를 바꾸어 주었다. 선행된 실험과 동일한 세팅으로 촬영 장비와 온·습도계를 설치하였고, 일벌들이 먹이섭취 중 다른 벌들에게 영향을 받아 날아 올랐다가 재섭취하는 것까지 확인하기 위해 전 실험보다 촬영 범위를 넓게 하여 촬영하였다. 영상을 통해 먹이원에 대한 방문빈도를 측정하여 먹이원에 대한 선호성을 평가하였고, 섭취시간을 측정하여 비교하였다. 온도와 상대습도는 12:00부터 18:00까지 매시간 측정하였다. 실험 시작 후 첫 3시간 동안의 평균 온도는  $31.3 \pm 0.64^\circ\text{C}$ , 평균 상대습도  $45.6 \pm 2.28\%$ 로 측정되었다. 다음의 3시간 동안의 평균 온도는  $29.8 \pm 0.75^\circ\text{C}$ , 평균 상대습도  $51.0 \pm 3.45\%$ 로 측정되었다.

### 6. 풍속에 따른 먹이섭취량 변화

바람 조건별 일벌의 정량적인 먹이섭취량을 측정하기 위하여 2가지 바람 조건을 설정하여 먹이섭취량을 측정하였다. 바람세기는 ‘풍속에 따른 먹이원 선택 및 섭취시간’ 실험과 동일한 4.5 m/s와 0 m/s (바람 없음)로 설정하였다. 방화활동을 나오는 일벌을 봉군 입구에서 포충망으로 채집하여 각 바람 설정당 32마리의 일벌을 이용하였다. 실험 도중 먹이를 섭취한 일벌들이 날아가는 것을 방지하기 위하여 아크릴 사각통로(100×60×60 cm, 가로·세로·높이)를 제작하여 안쪽에 먹이원을 설치하였다. 통로 안에 온·습도계를 설치하여 온·습도를 측정하였다. 인공먹이원은 지름 20 cm의 플라스틱 접시 위에 벌들이 디딜 수 있는 발판을 올려두고 설탕물(설탕:물=1:1)을 공급하였다. 먹이원에서 먹이를 섭취하는 일벌을 촬영하도록 캠코더를 설치하여 진행하였다. 실험을 시작하기 전에 각각 일벌들은 페트리디쉬에 넣어 얼음으로 마취시킨 후(Siede et

al., 2012), 개체 식별을 위하여 마킹팬을 이용하여 4가지 색(흰색, 녹색, 파란색, 빨간색)으로 등에 점을 찍어 표시하였다. 일벌을 얼음을 사용하여 마취한 이유는 사전 테스트에서 CO<sub>2</sub>로 마취시킨 일벌보다 얼음으로 마취시킨 일벌이 더 빨리 마취에서 빨리 깨어나기 때문에 일벌들의 먹이섭취에 영향을 덜 줄 것으로 판단하여 얼음으로 마취를 하여 실험을 진행하였다. 일벌들이 기절에서 깨어나기 전 전자저울(PAG214C, Max Cap: 210 g, Readability: 0.0001 g, OHAUS CORPORATION)을 사용하여 먹이섭취 전 무게를 측정하였다. 측정이 끝난 일벌들은 각 바람 설정하의 먹이원 발판 위로 옮겨져, 기절에서 깨어나면 먹이를 섭취하도록 하였다. 일벌들이 먹이를 섭취하고 먹이원을 이탈하면 다시 채집하여 CO<sub>2</sub>로 빠르게 기절시켜 먹이섭취 후 무게를 측정하였다(Iino et al., 2020). 개체당 ‘섭취 후 무게-섭취 전 무게’로 먹이섭취량을 측정하였다. 실험은 바람 조건당 하루씩 분배하여 오후 3시부터 6시까지 진행하였다. 각 실험에 사용된 일벌들은 같은 봉군에서 채집하였고, 같은 개체를 중복 사용하지 않았다. 실험중 온도는  $25.1 \pm 0.25^\circ\text{C}$ , 습도는  $64 \pm 2\%$ 로 유지되었다.

### 7. 데이터 통계

데이터는 IBM SPSS statistics 26과 SigmaPlot 12.5를 사용하여 통계 처리하였으며, 그래프는 SigmaPlot 12.5를 사용하였다. 정규성을 띠지 않는 3가지 데이터 간 통계적 차이를 알아보기 위하여 Kruskal-Wallis test를 사용하였고, 정규성을 띠는 3가지 데이터 간 통계적 차이를 알아보기 위하여 One-way ANOVA test를 사용하였다. 2가지 데이터 사이의 통계적 차이를 알아보기 위하여 정규성을 보이는 데이터는 t-test를, 정규성이 없는 데이터는 Mann-Whitney U test를 사용하여 데이터를 분석하였다. 온도를 제외하고 섭취시간과 바람세기의 상관관계를 분석하기 위하여 편상관관계분석(Partial correlation analysis)과 공분산분석(ANCOVA)을 사용하였다.

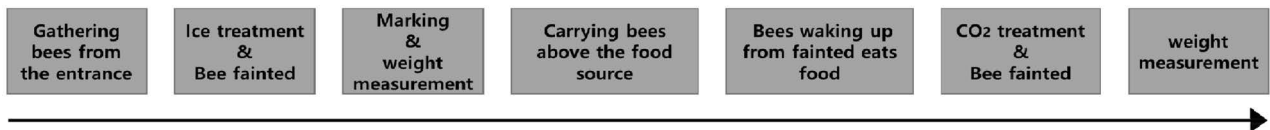


Fig. 2. An experimental method to find out whether the food intake of worker bees changes according to the presence or absence of wind toward the food source.

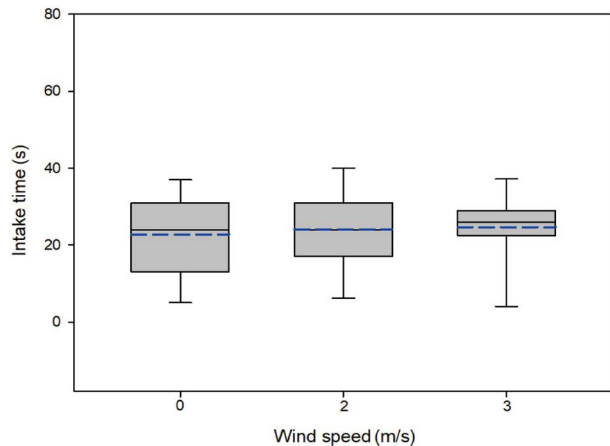
## 결 과

### 1. 풍속에 따른 먹이원 방문빈도와 섭취시간

각 3가지 바람 조건에서의 결과, 0 m/s (바람 없음) 대조군과, 2 m/s의 바람 실험군, 3 m/s의 바람 실험군의 순서로 각각 151마리, 230마리, 53마리의 일벌이 먹이원에 방문하여 먹이를 섭취하였다. 일벌들의 먹이섭취시간 평균은 순서대로 22.7±11.35초, 24.1±11.27초, 24.6±12.46초로 측정되었다. 각 그룹의 중앙값은 24초, 24초, 26초로 측정되었다. 각 조건별 실험에서 측정된 온도 간에 유의한 차이를 보였다(One-way ANOVA,  $F(2) = 118.341$ ,  $P < 0.05$ ). 각 실험별 온도에서 유의한 차이가 발생하여 공분산분석(ANCOVA)을 통하여 온도를 제외한 풍속과 먹이섭취시간의 차이를 검정한 결과 바람속도에 따른 섭취시간에서 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 3). 온도를 영향을 제외하여 편상관계분석(Partial correlation analysis)을 한 결과 또한 유의한 차이를 보이지 않았다( $r(431) = 0.034$ ,  $P = 0.480$ ).

### 2. 풍속에 따른 먹이원 선택 및 섭취시간

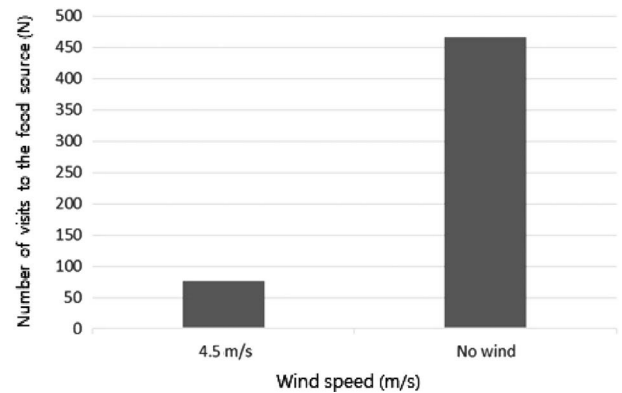
전체 6시간 동안의 바람이 없는 먹이원 그룹과 4.5 m/s의 바람 먹이원 그룹을 나누면 바람이 없는 먹이원에는 466마리가 방문했으며, 바람이 있는 먹이원에서는 77마리가 방문하였다. 바람이 없는 먹이원의 총 방문율 중 85.8%를 차지하였고, 바람이 있는 먹이원은 총 방문율 중 14.2%



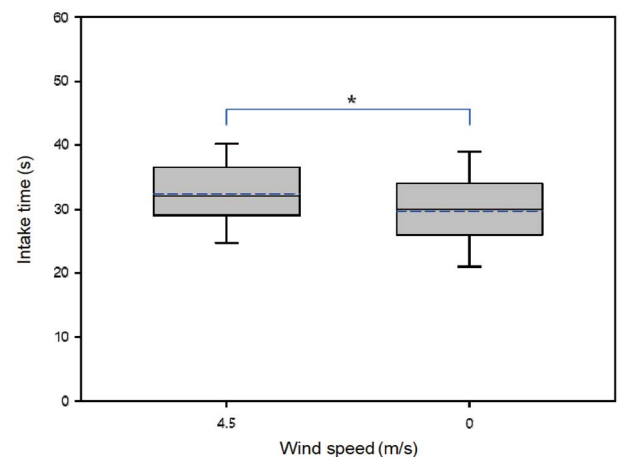
**Fig. 3.** Food intake time according to group of 3 wind speed. The blue dotted line marks the mean. x-axis: Group according to wind speed blowing on artificial food source, y-axis: The time the worker bees ingested food from an artificial food source.

를 차지하였다(Fig. 4). 실험 시작 후 0~3시간 동안에 4.5 m/s의 바람세기의 먹이원에는 총 8마리의 일벌이 방문하였으며, 바람이 없는 먹이원에는 총 257마리의 일벌이 방문하였다. 실험 시작 후 3~6시간 동안에 4.5 m/s의 바람세기의 먹이원에는 69마리가 방문하였으며, 바람이 없는 먹이원에는 209마리가 방문하였다.

바람이 없는 먹이원에서의 섭취시간 평균은 29.7±7.23초이고 중앙값은 30초로 측정되었다. 4.5 m/s의 먹이원에서의 섭취시간 평균은 32.4±6.23초, 중앙값은 32초로 측정되었다. 두 그룹 간 일벌의 먹이섭취시간은 유의미한 차이가 있었다(Mann-Whitney U test,  $U = 13181$ ,  $P \leq 0.001$ ) (Fig. 5).



**Fig. 4.** Frequency of visits by worker bees to artificial food sources with different wind speed. x-axis: Group according to wind speed blowing on artificial food source. y-axis: Frequency of visits by worker bees to artificial food sources.



**Fig. 5.** Food intake time under two wind conditions. Food intake time for the total time (0~6 hours), \*: Indicates that there is a significant difference between the two groups.



**Table 1.** Comparison of food intake of worker bees in artificial food sources according to wind speed conditions

	Body mass (mg)		Intake amount (mg)
	Before	After	
4.5 m/s (N = 32)	61.3 ± 6.1	91.6 ± 14.7	30.4 ± 15.6
No wind (N = 32)	65.0 ± 9.6	89.0 ± 19.9	24.0 ± 18.9
P-value*	0.131	0.298	0.08

Before: Worker bees weight before ingestion

After: Worker bees weight after ingestion

Intake amount: Weight of food eaten by worker bees

\*: Value of the Mann-Whitney Rank sum Test comparing between the wind condition

### 3. 풍속에 따른 먹이섭취량 변화

4.5 m/s의 바람세기와 바람이 없는 곳에서 일벌의 먹이 섭취량 측정 결과, 4.5 m/s 실험군(N=32)의 섭취 전 꿀벌 몸무게의 평균은 61.3 ± 6.1 mg, 먹이섭취 후 몸무게는 91.6 ± 14.7 mg, 설탕물 섭취량은 30.4 ± 15.6 mg으로 측정되었다(Table 1). 바람 없이 먹이를 섭취한 대조군(N=32)의 섭취 전 무게는 평균 65.0 ± 9.6 mg, 섭취 후 무게 평균은 89.0 ± 19.9 mg, 설탕물 섭취량은 24.0 ± 18.9 mg으로 측정되었다. 두 그룹 사이의 먹이섭취 전 무게는 유의미한 차이가 없었다. 두 그룹 사이의 먹이섭취 후 무게 또한 유의미한 차이가 없었다. 두 그룹 간 먹이섭취량에서도 유의미한 차이는 보이지 않았다(Mann-Whitney Rank sum test, P=0.08)(Table 1).

## 고 찰

### 1. 풍속에 따른 먹이원 방문빈도와 섭취시간

일벌들은 바람세기가 3 m/s일 때, 그 이하의 바람세기 조건보다 절반 이하의 먹이원 방문율을 보여주었다. 이 결과는 Hennessy *et al.* (2021)의 2.5~3.5 m/s의 바람세기일 때 양봉꿀벌의 경우 먹이원 방문빈도가 줄어든다는 연구와 일치한다. 바람이 강해질수록 먹이섭취시간의 평균값은 조금씩 증가하였지만, 이 증가 범위는 각 바람 조건 사이에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 바람이 강해질수록 봉군으로의 복귀를 위하여 적은 먹이를 섭취할 것이라고 예상하였지만, 바람세기에 따라 먹이섭취시간의 유의한 차이는 볼 수 없었다. 하지만 먹이섭취량을 직접 측정한 것이 아니라 먹이섭취시간을 측정한 것이기에 바람세기가 먹이섭취

량에 대해 영향을 주지 않는다고 판단하기는 어렵다.

### 2. 풍속에 따른 먹이원 선택 및 섭취시간

먹이원에 방문하는 일벌의 수는 바람이 없는 대조군보다 바람세기가 4.5 m/s인 실험군에서 더 적게 방문하였다. 이 결과는 Hennessy *et al.* (2021)의 양봉꿀벌에서 바람이 강하게 불 때 먹이원에 방문하는 일벌의 수가 감소한다는 결과와 일치하였다. 하지만 처리 후 0~3시간보다 처리 후 3~6시간에서 두 바람 조건 먹이원에 대한 방문율의 차이가 줄어든 것을 볼 수 있다. 이 결과는 처리 후 0~3시간 동안 이미 먹이원의 위치를 인지한 일벌들이 처리 후 3~6시간에 바람이 없었던 곳의 위치를 인지하여 바람이 생기더라도 계속 먹이원을 이용한 것으로 판단된다. 이는 바람이 강하면 경험없는 일벌은 먹이원에 대한 방문율이 줄고, 경험이 있는 일벌은 유지된다는 Ifantidis (2014)의 결과와 일치한다. 총 먹이원의 방문율 차이를 보면 바람이 있는 먹이원에는 14.2%, 바람이 없는 먹이원에는 85.8%의 일벌들이 방문하여 큰 차이를 보였다. 이러한 결과는 일벌이 바람이 없는 곳에 있는 먹이원을 선호할 수 있다는 것을 보여준다.

전체 6시간 동안의 데이터를 비교하였을 때 4.5 m/s의 바람 조건 먹이원과 바람이 없는 먹이원 사이에서 섭취량의 유의미한 차이가 발생하였다. 바람 없음, 2 m/s의 풍속, 3 m/s의 풍속에서의 먹이섭취시간에서는 유의한 차이가 나지 않았지만, 바람이 없는 실험군과 바람세기를 좀 더 높여 4.5 m/s의 풍속 실험군 사이의 먹이섭취시간에서는 유의한 차이를 보였으며, 바람세기가 강한 쪽에서 더 오래 먹이를 섭취하였다. 이런 유의한 차이는 보다 강한 바람을 설정해 준 것에서 비롯되었다고 추정된다. 이 결과 또한 Hennessy *et al.* (2021)의 먹이원에서의 머문시간(Handling Time)이 바람이 강할수록 증가한다는 양봉꿀벌을 사용한 연구 결과와 일치한다. Hennessy *et al.* (2021)은 바람이 강할수록 일벌들이 날아오르기 전에 이륙을 주저함으로써 먹이원에서 머무는 시간이 길어진다고 하였다. 본 연구의 결과는 바람이 비교적 강할 때 먹이원에 더 오래 머문다고 할 수 있지만, 먹이원에 머무는 시간에 먹이섭취시간과 먹이섭취 전까지 탐색시간, 그리고 먹이를 먹은 후 다시 날아가기까지 걸리는 시간이 포함되어 있으므로 실제로 섭취량이 차이가 있는지 확정 짓기는 어렵다. 양봉꿀벌을 이용하여 바람에 의한 먹이원 방문율 차이를 실험한 논문

서는 방문한 꽃에서의 이륙 주저함, 즉 먹이섭취 후 꽃을 떠나기까지 걸리는 시간도 측정하였는데, 바람의 세기와 양의 상관관계가 있다고 하였다(Hennessy *et al.*, 2020). 본 실험은 먹이섭취시간을 세분하지 않고, 먹이원에 도착해서 떠날 때까지의 시간을 측정하여 기록한 것이기 때문에 실험군과 대조군 사이의 먹이섭취시간 차이가 섭취량의 차이라고 단정하기 어렵다. 하지만 강한 바람이 일벌이 먹이원에서 보내는 시간을 증가시킨다는 것을 보여준다. 재래꿀벌 일벌의 경우 양봉꿀벌보다 몸집이 작아 강한 바람이 부는 환경에서 바람의 영향에 더 크게 영향을 받을 수 있을 것이라 생각된다.

### 3. 풍속에 따른 먹이섭취량 변화

바람이 없는 대조군과 4.5 m/s의 바람세기의 실험군 사이에서 먹이섭취량의 유의한 차이는 보이지 않았다. 하지만 P값이 0.08이었기 때문에 N값을 더 늘려 실험을 진행한다면 바람세기에 따라 먹이섭취량에 차이가 나타날 수 있을 것으로 생각된다. 실제 일벌들이 방화활동에서 겪을 수 있는 다양한 바람세기 조건을 통하여 일벌들의 먹이섭취량을 측정한다면 바람이 먹이섭취량에 미치는 영향을 보다 정확히 알 수 있을 것으로 판단된다.

전체적인 실험 결과를 볼 때, 바람이 불면 일벌이 먹이원에 머무는 시간이 증가하였다. 직접적인 먹이섭취량은 유의한 차이는 아니었지만 4.5 m/s의 바람이 부는 실험군의 일벌들이 평균 6 mg 정도 더 섭취하였다. 이 결과들은 바람세기가 재래꿀벌 일벌의 먹이활동에 영향을 미칠 수 있다는 것을 보여준다. 인공먹이원의 경우 일벌개체가 마음껏 섭취할 수 있는 풍부한 먹이가 공급되지만, 꽃꿀의 경우는 그렇지 못할 것이다. 일벌은 강한 바람 조건으로 인해 보다 많은 양의 먹이를 섭취하기 위해서는 더 많은 수의 꽃을 방문해야 할 것이고 이것은 일벌의 활동량을 증가시켜 일벌의 건강에 부정적인 영향을 줄 것으로 판단된다. 또한 꿀벌은 바람이 강하게 부는 먹이원보다 바람이 적거나 없는 먹이원에 대한 선호도가 높다는 것을 보여주었다. 이는 먹이원에 바람이 강하게 불면 꿀벌은 그 먹이원의 먹이를 이용하는 것보다 바람이 불지 않는 곳의 먹이원을 더 선호할 수 있음을 보여준다. 먹이원이 있는 곳에 바람이 강하게 분다면 일벌은 더 많은 거리를 날아다니며 바람이 없는 곳의 먹이원을 찾아야 할 것이며 이 또한 일벌의 활동량을 증가시켜 일벌개체의 피로를 증가시켜 전

체적인 먹이활동에 악영향을 미칠 것으로 판단된다. 처음 가설은 바람의 세기가 강하면 먹이의 무게로 인해 강한 바람에서 꿀벌이 몸을 가누지 못할 것으로 판단하여, 바람이 강하면 먹이를 적게 섭취하여 봉군으로 돌아갈 것으로 생각하였다. 하지만 결과는 반대로 바람이 강할수록 먹이섭취시간이 길어지는 것으로 나타났다. 재래꿀벌의 먹이활동에 바람의 영향을 연구한 다른 논문에서는 3.33 m/s 정도의 바람은 꿀벌의 비행에 영향을 주며, 4.16 m/s의 바람에서는 꿀벌이 먹이를 가지고 바람을 거슬러 날아가지 못한다고 하였다(Reddy, 2015). 우리의 연구에서는 바람이 먹이원에만 불고 있었기 때문에 꿀벌이 날아서 봉군으로 돌아가기까지의 비행에는 영향을 주지 않았다. 이러한 이유로 기존 예상한 가설과 반대의 결과가 나온 것일 수 있다고 사료된다. 우리의 결과는 먹이원에서만 바람세기를 경험시킨 것과 먹이원에서 머문시간만 측정하였다는 점에서 일벌에게 바람의 세기가 어떻게 영향을 주었는지에 대해 판단하는 것에는 한계가 존재한다. 따라서 바람세기가 일벌에게 미치는 영향을 더 명확하게 알아보기 위해서는 일벌이 먹이원까지 날아가는 데 경험하는 바람세기를 달리하여 먹이섭취시간과 먹이섭취량을 측정한다면 바람이 일벌에게 미치는 영향을 더 명확하게 알 수 있을 것으로 판단된다. 추후 실험에서는 바람 터널을 이용하여 다양한 바람세기로 실험을 설계한다면 바람의 세기가 방화활동을 하는 일벌에게 어떠한 영향을 주어 일벌 군체에까지 영향을 미칠 수 있는지에 대한 보다 많은 증거를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

## 적 요

기후변화로 인한 기상 변화는 꿀과 꽃가루를 수집하는 꿀벌의 방화활동에 영향을 미치고 있다. 본 연구는 기상요인 중 바람의 유무와 세기가 재래꿀벌(*Apis cerana*)의 먹이섭취 행동에 어떠한 영향을 주는지를 알아보기 위한 실험적 접근이다. 인공먹이원에 각각 다른 세기의 바람을 불게 하여 일벌의 방문빈도와 먹이섭취시간, 먹이섭취량을 측정하였다. 꿀벌이 비행하는 동안에는 바람의 영향이 없었고, 인공먹이원에 접근했을 때 바람의 영향을 받도록 설계하였다. 실험 결과 0~3 m/s의 바람세기에서 먹이섭취시간은 유의미한 차이가 없었다. 하지만 4.5 m/s의 강한 바람이 부는 먹이원에서는 바람이 없는 먹이원보다 먹이섭취

시간이 유의하게 길었다. 바람이 없는 먹이원을 바람이 있는 먹이원보다 더 선호하여 높은 방문율을 보였다. 먹이섭취량은 통계적 유의한 차이는 보이지 않았지만, 4.5 m/s의 바람이 있는 상태에서 평균적으로 약 6 mg 더 많이 섭취하였다. 이 결과는 먹이원 미소 기후조건인 바람의 세기가 일벌 개체의 의사결정에 영향을 미칠 수 있다는 것을 보여준다.

## 감사의 글

이 논문은 인천대학교 2017년도 자체 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 인용 문헌

- 기상연구소. 2004. 기후변화협약 대응 지역기후 시나리오 산출기술타발(III). 기상연구소 연구보고서 MR040C03, 510.
- 이정민, 김용렬, 김창호, 우성휘. 2019. 양봉산업의 위기와 시사점. 한국농촌경제연구원. KREI 농정포커스. 제178호
- Barazani, O., T. Erez, A. Ogran, N. Hanin, M. Barzilai, A. Dag and S. Shafir. 2019. Natural variation in flower color and scent in populations of *Eruca sativa* (Brassicaceae) affects pollination behavior of honey bees. *J. Insect Sci.* 19(3): 6.
- Chen, S. L. 2001. The apicultural science in China. China Agriculture Press, Beijing, 1-16.
- Choi, M. 2015. Experimental studies on the out-nest activities according to the climatic changes in the asiatic honey bee, *Apis cerana* and the western honey bee, *Apis mellifera*. Graduate School of Incheon University. 1-61.
- Corbet, S. A. 1990. Pollination and the weather. *Isr. J. Plant Sci.* 39(1-2): 13-30.
- Giurfa, M. 2007. Behavioral and neural analysis of associative learning in the honeybee: a taste from the magic well. *J. Comp. Physiol. A* 193(8): 801-824.
- Hennessy, G., C. Harris, C. Eaton, P. Wright, E. Jackson, D. Goulson and F. F. Ratnieks. 2020. Gone with the wind: effects of wind on honey bee visit rate and foraging behaviour. *Anim. Behav.* 161: 23-31.
- Hennessy, G., C. Harris, L. Pirot, A. Lefter, D. Goulson and F. L. Ratnieks. 2021. Wind slows play: increasing wind speed reduces flower visiting rate in honey bees. *Anim. Behav.* 178: 87-93.
- Hemalatha, D., J. Jayaraj, M. Murugan, T. N. Balamohan, N. Senthil, C. Chinniah and K. Suresh. 2018. Foraging performance of Indian honey bee *Apis cerana indica* (F.), during winter in Madurai district of Tamil Nadu, India. *J. Entomol. Zool. Stud.* 6(3): 224-227.
- Iino, S., Y. Shiota, M. Nishimura, S. Asada, M. Ono and T. Kubo. 2020. Neural activity mapping of bumble bee (*Bombus ignitus*) brains during foraging flight using immediate early genes. *Sci. Rep.* 10(1): 1-13.
- Ifantidis, M. D. 2014. Wind intensity influence exclusively on inexperienced foragers' arrival rates at a feeder and other communication anomalies in *Apis mellifera* L. *The Beekeepers Quarterly* 118(49).
- Jung, C. 2014. A note on the early publication of beekeeping of western honeybee, *Apis mellifera* in Korea: Yangbong Yoji (Abriss Bienenzucht) by P. Canisius Kugelgen. *J. Apic.* 29(1): 73-77.
- Kang, C. and H. Lee. 2018. A study on the effect of wind speed on the production of honey. *J. Apic.* 33(1): 63-70.
- Kim, J., G. Kim, C. S. Jin, D. K. Lee and D. Cha. 2015. A study on future change in surface wind over the Korean peninsula based on a regional climate change scenario. *J. Clim. Res.* 10(4): 329-340.
- Kim, K., M. Lee, Y. S. Choi, E. J. Kang, H. G. Park, B. Park, O. Frunze, J. Kim, S. M. Han, S. O. Woo, S. G. Kim, H. Y. Kim, S. K. Kim and D. Kim. 2021. Status and Environmental factors of the annual production of acacia honey from the false acacia. *J. Apic.* 36(1): 11-16.
- Kwon, W. 2005. Current status and perspectives of climate change sciences. *Asia Pac. J. Atmos. Sci.* 41(2-1): 325-336.
- Lee, S., H. W. Lee, D. H. Kim, M. J. Kim and H. G. Kim. 2011. Analytic study on the variation of regional wind resources associated with the change of El Niño/La Niña intensity. *Jour. Korean Earth Science Society* 32(2): 180-189.
- Lundie, A. E. 1925. The Flight activities of the honeybee. Washington, D.C: U.S. Department of Agriculture, 1328: 44.
- Reddy, P. R., A. Verghese and V. V. Rajan. 2012. Potential impact of climate change on honeybees (*Apis* spp.) and their pollination services. *Pest Manage. Hortic. Ecosyst.* 118(2): 121-127.
- Reddy, P. R., T. Rashmi and A. Verghese. 2015. Foraging activity of Indian honey bee *Apis cerana*, in relation to ambient climate variables under tropical conditions. *J. Environ. Biol.* 36: 577-581.
- Siede, R., M. D. Meixner and R. Buchler. 2012. Comparison of transcriptional changes of immune genes to experimental challenge in the honey bee (*Apis mellifera*). *J. Apic. Res.* 51(4): 320-328.
- Szado, T. I. 1980. Effect of weather factors on honeybee flight activity and colony weight gain. *J. Apic. Res.* 19(3): 164-171.
- Tan, K., S. Yang, Z. W. Wang, S. E. Radloff and B. P. Oldroyd. 2012. Differences in foraging and broodnest temperature in the honey bees *Apis cerana* and *A. mellifera*. *Apidologie* 43(6): 618-623.
- Tatsuno, M. and N. Osawa. 2016. Flower visitation patterns of the coexisting honey bees *Apis cerana japonica* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Entomol. Sci.* 19(3): 255-267.