



디지털 센서를 이용한 겨울철 양봉꿀벌(*Apis mellifera*) 봉군 월동 종료 시기 분석

박보선, 김경문, 김주경, 김동원, 최용수, 이만영, 강은진*

농촌진흥청 국립농업과학원 양봉생태과

Analysis of Termination Timing of Over-wintering in Honey Bee (*Apis mellifera*) using Digital Sensors

Bo-Sun Park, Gyeongmoon Kim, Ju-gyeong Kim, Dongwon Kim, Yong-Soo Choi, Man-Young Lee and Eun-Jin Kang*

Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wan-ju 55365, Republic Korea

Abstract

This study was carried out to establish basic data for smart beekeeping. It was set a temperature sensor inside the hive to monitor the over-wintering period and termination on bees. There were confirmed that, despite the change in external temperature, the temperature was maintained above 31°C in the center of the hive. As a result of monitoring the temperature sensor at the center of the hive, it was confirmed that the temperature inside the hive started to change from the end of October, and dropped to 6°C around next February 3. As of February 9, it was confirmed that the temperature was maintained up to 30°C. Despite the sharp drop in the outside temperature between February 15 and 18, the temperature inside the peak dropped to 26°C, but it did not return to the temperature it was before February 8. This means that the activity of bees was reconfirmed, and it was judged that the overwintering was over.

Keywords

Smart beekeeping, Honeybees, Over-wintering, Temperature sensor

서론

양봉꿀벌(*Apis mellifera*)은 남극대륙(Antarctica)을 제외한 전 세계에 분포하는 종으로(Mortensen *et al.*, 2013), 이들 중, 온대지역에 분포하는 꿀벌에게 겨울 동안의 생존은 가장 큰 과제이다. 대부분의 변온동물은 다양한 형태의 휴면기작을 가지고 있으나(Körtner and Geiser, 2000), 꿀벌은 완전하게 휴면하지 않고 월동기간 동안 생존하도록 적응된 곤충이다(Winston, 1991; Mehmet *et al.*, 2015).

꿀벌 봉군 내부의 온도 유지는 꿀벌에게 매우 중요한 요인으로 알려져 있다(Kleinhenz *et al.*, 2003). 월동 기간 중 꿀벌은 봉구를 형성하고, 저장된 먹이를 먹으며 근육

대사열을 발생시킴으로 봉군의 온도를 유지시킨다(Lee *et al.*, 2001). 외부 온도가 18°C가 되면 봉구가 형성되며, 14°C가 되면 봉구 외곽은 더욱 단단해지고 온도가 내려갈수록 봉구의 크기는 작아진다(Yi and Jung, 2010). 월동기간 동안의 급격한 온도 변화는 봉구의 팽창과 수축의 반복을 야기해 저장된 먹이의 소모가 많아지게 되고, 봉구가 심하게 밀집될 경우 먹이가 저장된 저밀권과 떨어져 꿀벌은 굶어 죽게 된다(Lee, 2008). 이러한 피해를 줄이기 위해 국내 양봉가들은 보온 덮개와 비닐, 천막 등을 이용하여 월동포장을 하고 있다(Lee *et al.*, 2001). 겨울철 꿀벌의 월동이 종료 되면 산란과 육아를 위해 봉군 내부의 온도는 30~35°C를 유지하게 된다(Yi and Jung, 2010).

2015년 호박벌의 북방한계선 및 남방한계선이 110년에 걸쳐 달라지고 있다는 보고는 기후변화로 인해 생태계가 변화하고 있음을 시사하고 있다(Jeremy *et al.*, 2015). 기후변화의 일환으로 변화하고 있는 겨울 기온은 이미 많은 생명체의 생활사를 변화시켰다. 이러한 환경 변화와 생활사의 불일치는 꿀벌의 심각한 체력 손실로 이어질 수 있으며(Schenk *et al.*, 2018; Nümberger *et al.*, 2018), 꿀벌의 생태에도 영향을 줄 수 있음을 의미한다.

국내에서도 급격한 기후변화로 인해 양봉농가가 피해를 받고 있다. 국내 벌꿀 생산량이 2014년 이후 감소세를 보이고 있는데, 기후변화가 생산량 감소의 원인으로 보고된 바 있다. 특히 2018년과 2020년 천연 벌꿀 생산량은 평년(1975년~현재) 대비 각각 19.1%, 12.9% 수준으로 급감한 사례가 있다(Kim *et al.*, 2021). 2018년의 경우, 아까시 나무 꽃의 개화 전 고온현상으로 전체적 꽃송이의 숫자가 평년의 40%밖에 되지 않았으며 벌꿀의 생산량이 급격히 감소한 것으로 판단하고 있다(Lee *et al.*, 2019).

이처럼 기후변화는 꿀벌과 양봉산업에 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있다. 따라서 온대기후와 겨울철이 존재하는 우리나라의 경우 월동을 종료하는 시기가 매우 중요하다. 월동에서 깨어난 꿀벌들은 산란과 육아를 시작, 봉군의 세력을 키우고, 양봉가들은 봄철 벌 사양관리를 통해 유밀기를 대비하게 된다. 개화 전 이른 산란은 먹이 부족이나 꿀벌응애와 같은 해충의 발생 가능성을 증가시킨다. 반면에, 산란이 너무 늦었을 경우 개화기에 맞춰 꿀벌의 먹이활동이 어려워지기 때문에(Nümberger *et al.*, 2018) 적절한 시기에 월동 종료가 이루어져야 한다. 그러나 양봉농가들은 12월 말부터 2월 말 사이에 인위적 개입을 통해 봄벌 증식을 시작하며, 일부 남부지역에서는 월동과정을 거치지 않는 농가도 존재한다. 꿀벌 월동에 관한 과학적 기반이 필요한 대목이다. 그러나 우리나라에서 꿀벌의 월동 생태 및 월동 종료 시기에 관한 연구는 부족한 실정이다.

최근 들어 양봉업에서는 ICT (Information and Communication Technology)를 활용한 스마트양봉의 필요성이 지속적으로 요구되는 반면, 양봉업에서 스마트팜 기술 적용은 현재 미비한 수준이다(Park *et al.*, 2020). 꿀벌 집단의 온도 항상성 유지는 집단 생존 및 번영에 필수적인 요소로 ICT를 이용한 꿀벌 봉군 내 환경 모니터링을 통해 봉군의 건강상태를 확인할 수 있으며(Tautz, 2008; Stabentheiner *et al.*, 2010; Yi and Jung, 2010; Kim and Jung 2015), 봉군 내·외부의 정보를 제공하여 양봉가의 봉군 관리 의사결정

에도 영향을 미칠 수 있다(Kim and Jung, 2015).

본 연구는 디지털 센서를 이용한 봉군 내부 온도 변화 측정을 위한 최적의 센서 설치 위치를 평가하였으며, 꿀벌 봉군 내부 온도와 생태적 변화를 모니터링하였다. 또한 확보된 자료를 바탕으로 사양중 꿀벌의 월동 종료 시점을 분석하여 기후변화에 따른 월동 시기 변화에 대한 기반자료를 마련하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시험 봉군

국립농업과학원 양봉생태과 꿀벌육종장에서 사육 중인 양봉꿀벌(*Apis mellifera*) 봉군을 실험군으로 사용하였다. 실험 봉군은 총 5개 봉군으로, 사양 및 화분 급이 조건을 동일하게 조성하였다. 꿀벌의 월동 시기 이전(8월 11일~10월 27일)에는 주 1회 내검을 실시하였다. 월동 중(10월 21일~2월 20일)에는 보온덮개로 입구를 제외한 부분을 감싸주었으며, 벌통 내부에 스티로폼 보온재를 두 장씩 넣어 주었다. 또한 벌통 바닥의 보온을 위하여 바닥에 스티로폼을 깔고 벌통을 올려놓는 등 농가에서 관행적으로 사용되는 방법으로 월동 조건을 조성하였다.

2. 봉군 내부 온도측정 센서 설치

봉군 내부 온도 측정을 위해 이용한 센서(BO-H100, Aosong Electronics, China, $-40\sim 80^{\circ}\text{C}(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$)는 꿀벌 사양에 사용되는 소초광(45×23.5 cm)에 고정시켜 사용하였으며, 소초광 하나에 총 9개의 센서를 부착하였다. 센서의 위치는 Fig. 1과 같이 일정한 간격으로 설치하여, 꿀벌 봉군의 온도 감지에 가장 적합한 위치를 찾고자 하였다.



Fig. 1. Temperature sensor installed in the empty comb.

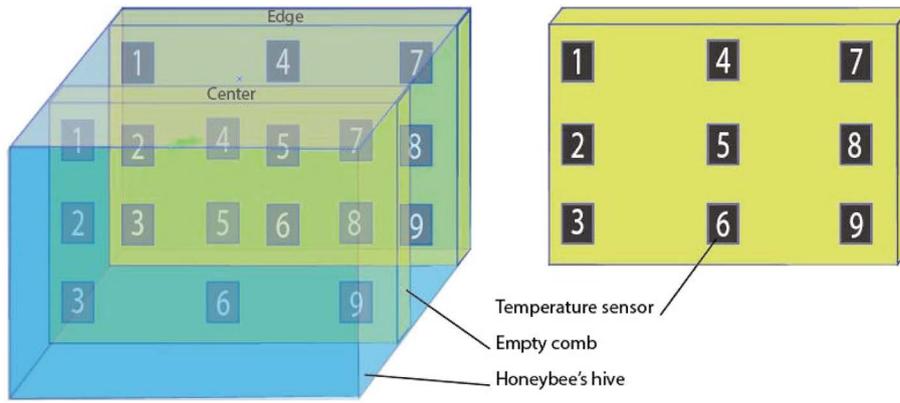


Fig. 2. Installation of sensors to monitor the temperature inside bee hive.

3. 꿀벌 봉군 내·외부의 온도 모니터링

온도측정 센서를 이용한 데이터의 수집은 (주)비온팜에서 관리하는 소프트웨어를 이용하여 실시간으로 이루어졌다. 봉군 내·외부 온도 모니터링은 2020년 8월 11일부터 2021년 4월 18일까지 24시간을 30분 간격으로 측정하였다. 외부 온도를 측정하기 위하여 국립농업과학원에 위치한 실험양봉장 내에 백엽상(150 cm, BO-H100, Aosong Electronics, China, $-40\sim 80^{\circ}\text{C}(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$)을 설치하였으며, 벌통의 내부온도를 측정하기 위하여 9개의 센서가 달린 소초광을 벌통의 중심부와 가장자리 부분에 각각 하나씩 총 2개를 설치하였다(Fig. 2).

4. 자료 분석

외부 온도에 따른 벌통 내부 센서 위치별 온도 차이는 One-way ANOVA test를 이용하였으며, Tukey HSD ($p < 0.05$)를 이용하여 평균간 유의성을 검정하였다(SAS 9.4 Inc., 2008). 월동기간 내 벌통 외부 온도와 내부 온도에 대한 관계는 상관분석(Correlation, Excel 2016)을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 외부 온도변화에 따른 센서 위치별 벌통 내부 온도변화

꿀벌의 월동 전 활동 기간(2020년 9월 18일~2020년 11월 18일) 중에 외부 온도가 가장 높았을 때(Maximum; 9

월 24일; 27°C)와 가장 낮았을 때(Minimum; 10월 16일; 15.5°C), 그리고 중간값(Median; 9월 22일; 23.2°C)일 때의 온도 센서 위치별 봉군 내부 온도의 변화를 비교하였다(Fig. 3). 봉군 내부 온도는 정오(12:00)를 기준으로 측정하였으며, 외부 온도는 내부와 동일하게 백엽상에서 정오에 측정된 데이터를 이용하였다. 벌통 가장자리에 설치된 센서로부터 측정된 벌통 내부 온도는 외부 측정 온도와 비교했을 때 모든 위치에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Fig. 3B). 벌통 중심부에 설치한 센서 중 소비 정중앙에 설치된 5번 센서로부터 수집된 벌통 내부 온도는 외부 온도별로 각각 $33.9 \pm 0.8^{\circ}\text{C}(\text{Max})$, $33.8 \pm 0.2^{\circ}\text{C}(\text{Min})$, $33.5^{\circ}\text{C} \pm 0.9^{\circ}\text{C}(\text{Med})$ 였다(Fig. 3A). 평균 $33^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 내로 외부 온도와 관계없이 봉군 내부 온도가 일정하게 유지가 되는 것을 확인하였다. 반면 소비의 가운데 지점에서 멀어질수록 외부 온도의 변화에 따라 봉군 내부 온도가 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 외부기온이 가장 높은 시점, 가장 낮은 시점, 중간인 시점에 측정된 외부 온도의 각 센서 위치별 온도차를 통계분석한 결과, 내부 온도의 차는 5번과 6번의 센서를 제외하고 유의한 차이가 나타나는 것을 확인하였다(1번: ANOVA, $df=2, 12, f=20.37, p=0.0001$, 2번: ANOVA, $df=2, 12, f=6.54, p=0.011$, 3번: ANOVA, $df=2, 12, f=6.49, p=0.012$, 4번: ANOVA, $df=2, 12, f=7.48, p=0.008$, 5번: ANOVA, $df=2, 12, f=0.32, p=0.73$, 6번: ANOVA, $df=2, 12, f=2.26, p=0.147$, 7번: $df=2, 11, f=7.40, p=0.009$, 8번: ANOVA, $df=2, 12, f=4.17, p=0.04$, 9번: ANOVA, $df=2, 12, f=4.58, p=0.03$; Fig. 3A).

소비의 가운데 부분에 위치한 5번과 6번 센서로부터 수

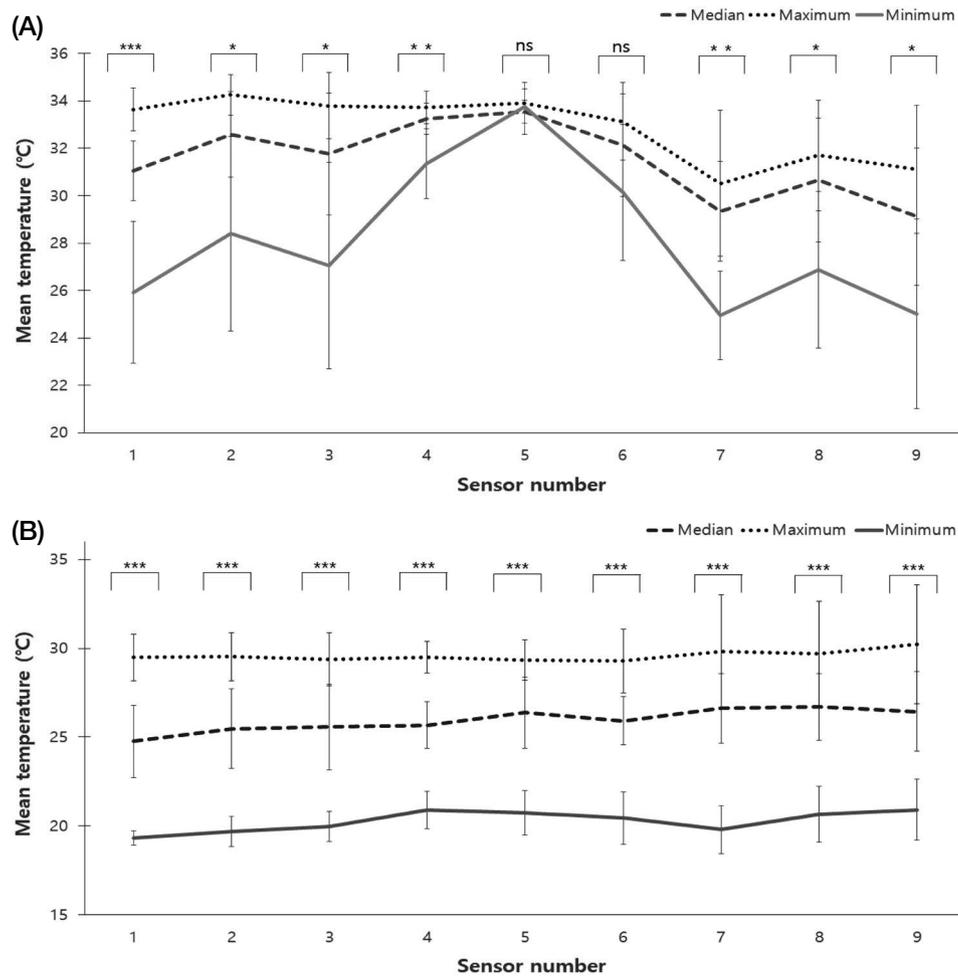


Fig. 3. Comparison of changes in internal temperature by sensor location (A: Center comb, B: Edge comb) according to external temperature. The graphs comparing the highest (Maximum), median (Median), and lowest (Minimum) external temperature during the investigation period, with the smallest temperature difference at sensor No. 5 of center comb) (ANOVA, ns: non significant, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$).

집한 온도 데이터는 외부의 온도가 변화함에도 불구하고 내부 온도의 변화는 유의한 차이를 통계적으로 차이가 나지 않았다. 이는 Jones (2005) 등이 꿀벌 봉군 육아권의 온도가 34~35°C로 유지함을 보고한 결과와 일치하였으며, 소비 정중앙은 꿀벌 봉군의 육아권으로 항상성을 유지함에 따라서 나타나는 결과라고 추측할 수 있다.

국내에서는 Kim and Jung (2015)에 의해서 꿀벌 봉군 내 온도 데이터 로거 설계 및 구현에 관한 연구가 수행되었다. 실험에서는 온도 센서의 위치가 봉군 가장자리였기 때문에, 외부 온도에 영향을 많이 받은 것으로 나타났으며, 데이터 로거 설계를 목적으로 한 실험이었기 때문에 일주일 이내의 기간 동안 모니터링을 한 결과를 볼 수 있었다. 또한, Yi and Jung (2010)은 늦여름 서양종 꿀벌의 봉

군 내부와 외부의 온도를 비교하고, 벌통 내부 온도가 평균 35±0.4°C로 매우 안정되어 있음을 보고하였다.

국외에서는 Gil-Lebrero *et al.* (2017)가 꿀벌 봉군 모니터링을 위한 센서 개발 실험을 진행하였고, 봉군 내 센서를 봉판 가운데, 봉판 주변 꿀이나 화분이 들어 있는 위치, 먹이장에 각각 설치하여 온도측정을 실시하였다. 실험 결과, 봉판 가운데에 설치한 센서에서 34~35°C의 온도가 안정적으로 유지되는 것으로 나타났다. 다만, 해당 실험이 수행된 기간이 해바라기 개화시기에 맞추어 약 한 달간 수행되었기 때문에 겨울철 및 꿀벌의 월동 시기 꿀벌 봉군 모니터링 결과를 종합하여, 꿀벌 봉군의 내부 온도를 보다 정확하게 모니터링하기 위해서는 온도 센서가 외부 온도의 영향을 가장 적게 받는 소비 중앙에 위치해야 할

것으로 판단된다.

2. 꿀벌 봉군 내 온도 모니터링

꿀벌 봉군의 온도 모니터링에 적합한 5번 센서를 기준으로 벌통 내부와 외부를 비교해 보았다. 측정 데이터는 2020년 8월 11일부터 2021년 4월 18일까지 매일 오후 2시(14:00)에 수집된 데이터를 사용하였다. 그 결과, 10월 중순까지는 외부 온도가 점차적으로 감소함에도 불구하고 봉군 내 온도는 35°C 내외를 유지하는 모습을 보였다. 10월 20일 이후에는 봉군 내 온도가 유지되지 못하고 외부 온도의 변화폭에 비례하여 온도가 감소하는 모습을 확인하였다. 10월 말경부터 이듬해 2월 초까지 외부 온도의 영향을 받아 최소 10.55°C까지 내려가는 것을 확인하였다. 2월 8일 이후에는 다시 온도가 30°C 근처까지 올라가서 35°C 내외로 점차적으로 증가하는 모습을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 국내 연구에서는 꿀벌의 월동현상에 대하여 실내 실험과 같은 제한된 실험만 수행되어 왔다(Lee *et al.*, 2001). 본 실험을 통하여, 꿀벌의 월동현상을 관측하였다고 판단하였으며, 꿀벌의 월동기간에는 외부 기온이 꿀벌 봉군 내의 온도에 영향을 줄 수 있음을 알 수 있었다.

최근 양봉산업에서 ICT 기술을 도입한 봉군 내·외 활동을 자동 예찰 및 감시하는 체계를 확립하고 봉군관리 효율을 늘리는 기술들이 개발되고 있다(Gil-Lebrero *et al.*, 2017; Sampangi and Sampalli, 2017; Debauche *et al.*, 2018; Dineva and Atanasova, 2018; Son *et al.*, 2019). 꿀벌

은 봉세가 극히 취약해지거나 문제가 발생했을 경우, 온도의 항상성이 유지되기 어렵다고 보고된 바 있다(Lee *et al.*, 2008; Zacepines, 2012; Kim and Jung, 2015). 또한 온도는 꿀벌의 면역체계에 영향을 미치며(Butolo *et al.*, 2021), 발육기간 동안 온도의 변화에 따라 비행, 채집 등 행동능력에 차이가 나타나는 것으로 보고된 바 있다(Becher *et al.*, 2009). 본 실험의 결과, 벌통의 가운데 지점의 온도 모니터링을 통하여 꿀벌의 활동 및 건강상태를 지속적으로 모니터링할 수 있는 기술의 기반이 될 수 있을 것이라고 판단된다.

3. 꿀벌 봉군 월동 종료 시기 분석

꿀벌의 월동이 진행 중인 2021년 2월 1일부터 20일간의 온도 변화를 모니터링하였다. 봉군 내부 온도는 오후 2시(14:00)를 기점으로 측정하였으며, 외부 온도는 내부와 동일한 시간의 백엽상 데이터를 이용하였다. 그 결과, 2월 1일부터 2월 7일까지 15°C 안팎을 이루던 봉군이 2월 8일이 되면서 27°C 이상 급격하게 올라가기 시작하는 것을 확인하였다. 또한, 2월 9일 이후에는 봉군 내부의 온도가 30°C에 다다르게 되었으며, 이후 28°C와 32°C 사이를 유지하는 모습이 관찰되었다. 봉군 내부 온도가 급격하게 상승하기 시작한 2월 8일의 외부 기온은 4.5°C로, 내부 온도가 상승하기 전인 2월 7일 10.6°C보다 낮았으나, 외부 온과 관계 없이 봉군 내부 온도가 급격히 올라감을 확인하였다. 외부 기온이 2월 8일 이후에 4.5°C에서 점차 올라

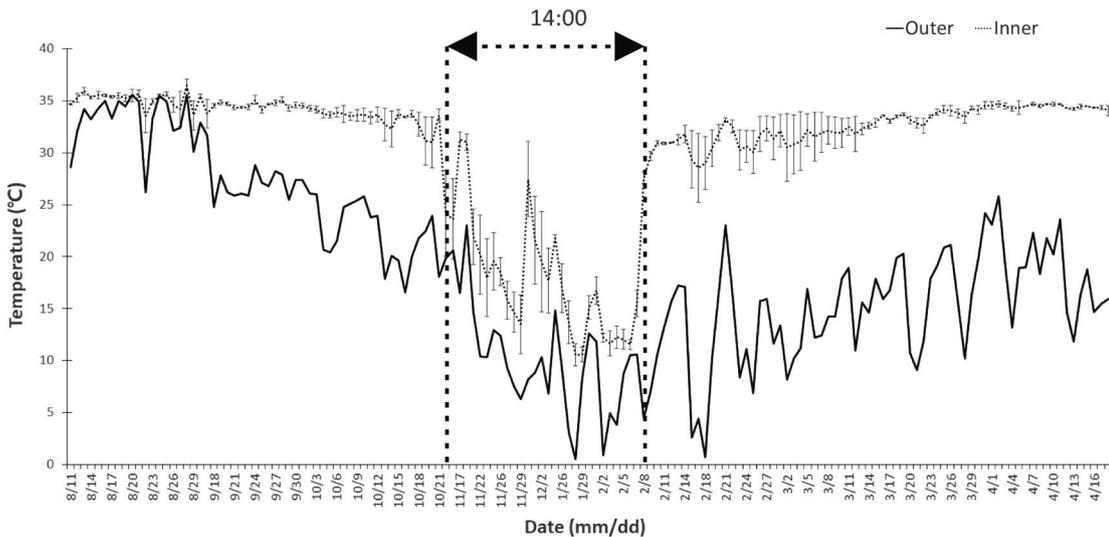


Fig. 4. The result of monitoring the temperature difference between the inside and outside of the hive (monitoring was measured at 14:00 every day from Aug. 11, 2020 to Apr. 14, 2021. Sensor No. 5 inside the hive was measured).

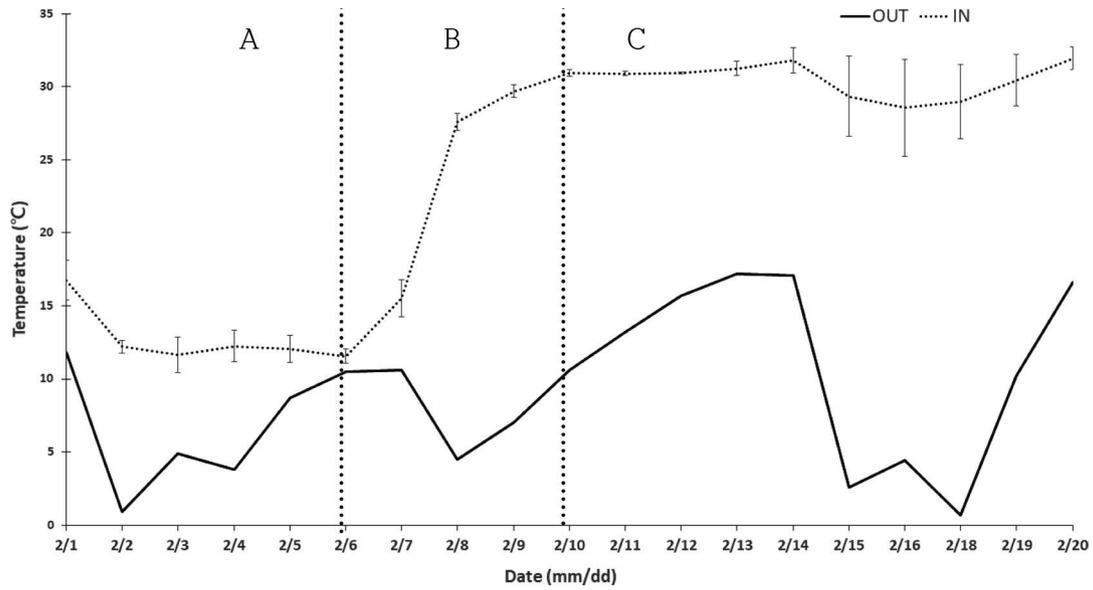


Fig. 5. Comparison of internal temperature during the hibernating of bees (monitoring was measured at 14:00 every day from Feb. 1, 2021 to Feb. 20, 2021. Sensor No. 5 inside the hive was measured).

가기 시작하여 2월 14일에 17°C까지 올라가다가 2월 15일에 2.5°C로 급격하게 떨어져 2월 18일에는 0.7°C를 기록하였다. 2월 15일에서 18일 사이에 온도가 급격히 떨어짐에도 불구하고 봉군 내부의 온도는 26°C까지 떨어지지는 하였지만, 2월 8일 이전의 온도로는 돌아가지 않았다 (Fig. 5).

2월 1일부터 20일까지의 봉군 내부 온도를 각각 상승하기 전(A: 2월 1일~5일), 상승시작 시점(B: 2월 6일~9일)에 대한 외부 기온과 봉군 내부 온도와의 관계는 상관관계를 이용하여 분석하였다(Fig. 6). 그 결과, 월동 중으로 보이는 2월 1일부터 5일까지는 상관계수(r)는 0.501이며, 결정계수(R^2)는 0.251이었다. 두 값에 대한 상관계수의 유의성은 통계적으로 유의하였다($t_{(4)}=1.158, p<0.005$). 월동 종료 시점으로 판단되는 2월 6일부터 9일까지는 상관계수(r)는 0.883이며, 결정계수(R^2)는 0.779였다. 두 값에 대한 상관계수의 유의성은 통계적으로 유의하였다($t_{(2)}=0.117, p<0.05$). 2월 1일부터 5일까지는 외부 온도와 내부 온도 간 정상관하는 것으로 나타났으나, 2월 6일부터 9일까지는 부상관하는 것으로 나타났다. 이는 외부의 온도 이외의 요인이 작용한 것으로, 꿀벌의 활동이 2월 6일을 시작으로 재개되어 나타난 현상이라고 판단된다.

월동 초기 꿀벌은 겨울철 외기 온도가 14°C 이하가 되면 봉구를 형성하여 휴면상태로 돌입하게 되어(Lee *et al.*, 2001), 봉구 중심은 21°C로 유지하고 봉구 밖은 14°C로

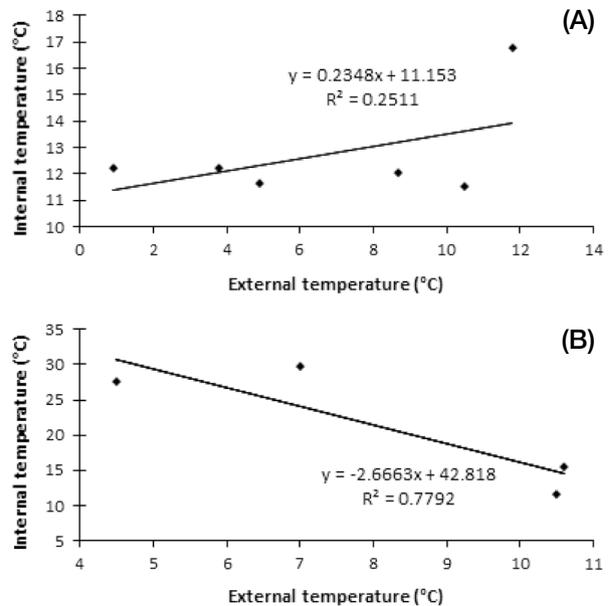


Fig. 6. Relationship between external temperature and internal temperature in the correlation analysis (A: Feb, 1 to 5, $F=1.34, df=1, 4, p<0.005$, B: Feb, 6 to 9, $F=7.06, df=1, 2, p<0.05$).

유지한다(Lee, 2008). 본 실험 결과 이른 봄 외부 온도가 5°C 이하로 떨어짐에도 불구하고(Fig. 6) 꿀벌의 내부 온도가 25~30°C 안팎을 유지하면서 활동을 하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 2월 8일경 봉군 내 온도가 급격하게 증가하면서 꿀벌의 활동이 시작하게 되었기 때문에 이후 저하된 온도에 의해 꿀벌이 다시 휴면상태로 돌입하지 않

음을 의미한다. 또한, 2월 7일경 외부 온도가 10°C에서 2월 8일 5°C 안팎으로 떨어짐에도 불구하고 봉구 내부의 온도는 꿀벌의 활동이 가능한 온도로 급격하게 올라가는 것은 꿀벌의 월동시기의 활동 종료의 요인이 외부 온도뿐만 아니라 다른 요인들의 존재 가능성도 제시하는 부분이다. 국외에서는 월동 중 꿀벌의 육아 활동이 온도나 광주기와 같은 기후조건에 매우 민감하다는 연구가 수행된 바 있다(Nümberger *et al.*, 2018). 하지만 실외 실험이 아닌, 챔버에서의 인위적인 실험이었고, 자연상태에서 꿀벌은 월동 시 육아활동을 하지 않기 때문에 꿀벌 생태에 적용하는 데 어려움이 있었다. 본 연구 결과를 통해 자연 월동 조건에서의 꿀벌의 내부 온도를 모니터링하고 꿀벌 생태를 관찰함으로써, 월동 시 꿀벌의 생태 연구에 기반 자료로 활용될 것이라고 기대한다.

적 요

본 연구는 꿀벌의 벌통 내부에 온도 센서를 설치하여 꿀벌의 월동 시기 및 월동 종료 시기를 모니터링하여 스마트양봉의 기반 자료를 구축하고자 수행되었다. 외부 온도 변화에도 불구하고 벌통 가운데 부분에서는 31°C 이상을 유지하는 것을 확인하여, 꿀벌 봉군 및 봉구의 온도 관찰에는 벌통 중심부에 온도 센서를 설치하는 것이 적합하다는 사실을 알 수 있었다. 벌통 중심부의 온도 센서를 모니터링 한 결과, 벌통 내부 온도는 20년 10월 말부터 변화하기 시작하여, 21년 2월 3일경에는 6°C까지 떨어지는 것을 확인하였다. 떨어진 온도는 2월 7일부터 증가하기 시작하여, 2월 9일이 되면서 30°C까지 오르게 되고 이후 온도가 유지되는 것을 확인하였다. 2월 15일에서 18일 사이에 외부 온도가 급격히 떨어짐에도 불구하고 봉군 내부의 온도는 26°C까지 떨어지기는 하였지만, 2월 8일 이전의 온도로는 돌아가지 않았다. 이는 꿀벌 활동이 재개되었다는 것을 의미하며, 월동이 종료되었다고 판단하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구과제 PJ014762의 연구비로 지원된 결과이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

인용문헌

- 이성배. 2008. 사양관리 꿀벌의 월별 관리 요령 - 1월의 양봉관리. *The Korean Beekeeping Bulletin*. 23-31.
- 이정민, 김용렬, 김창호, 우성휘. 2019. 양봉산업의 위기와 시사점. *한국농촌경제연구원*. pp. 24.
- Becher, M. A., H. Scharpenberg and R. F. A. Moritz. 2009. Pupal developmental temperature and behavioral specialization of honeybee workers (*Apis mellifera* L.). *J. Comp. Physiol. A*. 195: 673-679.
- Butolo, N. P., P. Azevedo, L. D. Alencar, O. Malaspina and R. C. F. Nocelli. 2021. Impact of low temperatures on the immune system of honeybees. *J. Therm. Biol.* 101: 1-7.
- Debauche, O., M. El Moulat, S. Mahmoudi, S. Boukraa, P. Manneback and F. Lebeau. 2018. Web monitoring of bee health for researchers and beekeepers based on the internet of things. *Procedia. Comput. Sci.* 130: 991-998.
- Dineva, K. and T. Atanasova. 2018. OSEMN Process for working over data acquired by IOT devices mounted in Beehives. *Curr. Trends Nat. Sci.* 7(13): 47-53.
- Gil-Lebrero, S., F. J. Quiles-Latorre, M. Ortiz-López, V. Sánchez-Ruiz, V. Gámiz-López and J. J. Luna-Rodríguez. 2017. Honey bee colonies remote monitoring system. *Sensors (Basel)* 17(1): 55.
- Jeremy, T. K., P. Alana, G. Paul, P. Laurence, G. P. Simon, M. R. Stuart, R. Pierre, S. Oliver, R. C. Sheila, L. R. Leif, L. W. David, F. G. Lawrence, S. S. Derek and P. Alberto. 2015. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science* 349(6244): 177-180.
- Jones, J. C., P. Helliwell, M. Beekman, R. Maleszka and B. P. Oldroyd. 2005. The effects of rearing temperature on developmental stability and learning and memory in the honey bee, *Apis mellifera*. *J. Comp. Physiol. A*. 191: 1121-1129.
- Kim, B. S. and C. Jung. 2015. Design and implementation of cloud based realtimetemperature and humidity monitoring system of Honey bee colony. *Korean J. Apic.* 30(4): 263-26.
- Kim, K., M. Y. Lee, Y. S. Choi, E. J. Kang, H. G. Park, B. S. Park, F. Olga, J. G. 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 (*Robinia pseudo-acacia*) in South Korea. *Korean J. Apic.* 36(1): 11-16.
- Kleinhenz, M., B. Bujok, S. Fuchs and J. Tautz. 2003. Hot bees in empty brood nest cells: heating from within. *J. Exp. Biol.* 206: 4217-4231.
- Körtner, G. and F. Geiser. 2000. The temporal organization of daily torpor and hibernation: circadian and circannual rhythms. *Chronobiol. Int.* 17(2): 103-128.
- Lee, D. R., J. W. Lee, S. K. Lee and K. S. Choi. 2001. In-

- door-wintering for the honeybee colonies of *Apis mellifera* in Yeongju area. Agric. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ. 19: 39-43.
- Lee, M. Y., M. L. Lee, Y. S. Kim, S. W. Kang and K. G. Lee. 2008. Temperature in honeybee colonies during summer and standardization of rearing houses in apiary. Korean J. Apic. 23: 7-12.
- Mehmet, A. D., F. Maryann and M. G. Christina. 2015. Overwintering honey bees: biology and management. Curr. Opin. Insect Sci. 10: 185-193.
- Mortensen, A. N., D. R. Schmehl and J. Ellis. 2013. European honey bee. Entomology and nematology department, University of Florida. Retrieved 1 september 2018.
- Nümberger, F., S. Härtel and I. Steffan-Dawenter. 2018. The influence of temperature and photoperiod on the timing of brood onset in hibernation honey bee colonies. PeerJ. 6(e4801): 1-18.
- Park, B. S., Y. S. Choi, E. J. Kang, H. G. Park, F. Olga and D. W. Kim. 2020. Analysis of Royal jelly production against establishment of smart farm system in Korea. JKITS 15(5): 845-853.
- Sampangi, R. V. and S. Sampalli. 2017. HiveSec: security in resource-constrained wireless networks inspired by bee hives and bee swarms. Int. J. Inf. Secur. 16: 417-433.
- Schenk, M., J. Krauss and A. Holzschuh. 2018. Desynchronizations in bee-plant interactions cause severe fitness losses in solitary bees. J. Anim. Ecol. 87(1): 139-149.
- Son, J. D., S. H. Lim, D. I. Kim, G. Han, R. Ilyasov, U. Yunusbaev and H. W. Kwon. 2019. Automatic Bee-counting system with dual infrared sensor based on ICT. Korean J. Apic. 34(1): 47-55.
- Stabentheiner, A., H. Kovac and R. Brodschneider. 2010. Honeybee colony thermoregulation regulatory mechanisms and contribution of individuals in dependence on age, location and thermal Stress. PLoS ONE 5(1): E8967.
- Tautz, J. 2008. The buzz about bees. Biology of a superorganism. Springer. p. 284.
- Winston, M. L. 1991. The biology of the Honey Bee. Harvard University Press. pp. 294.
- Yi, H. B. and C. Jung. 2010. Colony temperature regulation by the European honeybee (*Apis mellifera* L.) in late summer in temperate region. Korean J. Apic. 25(1): 7.
- Zacepins, A. 2012. Application of bee hive temperature measurements for recognition of bee colony state. International conference on applied information and communications technologies. Jelgava, Latvia, 216-221.