

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.5.867>

JCCT 2023-9-105

여왕벌 사운드 패턴 분석에 대한 연구

Study on Analysis of Queen Bee Sound Patterns

김준호*, 한욱**

Kim Joon Ho*, Han Wook**

요약 최근 급격한 기후변화로 인해 꿀벌의 생태계에 많은 문제가 발생하고 있다. 꿀벌의 개체 수 감소, 개화기의 변화로 인한 양봉 농가의 채밀에 막대한 영향을 주고 있다. 벌통안의 벌집을 육안으로 지속적 관찰이 불가능하기 때문에, 벌집안의 상태에 대하여 대부분 경험에 의한 지식에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 IoT 기술을 접목한 스마트 양봉에 대한 관심이 집중되고 있다. 특히, 양봉에서 가장 중요한 부분 중에 하나인 분봉과 관련하여, 여왕벌의 사운드로 분봉시기를 알 수 있다는 것을 경험적으로 알고는 있지만, 이를 체계적으로 데이터로 분석하는 방법은 전무한 현실이다. 단순히 여왕벌의 사운드를 녹음해서 분석하면 될 수 있을 것 이라고 생각할 수 있지만, 벌통 주변의 다양한 소음 문제, 지속적으로 녹음이 불가능하다는 문제 등 여러가지 문제점을 해결하지 못하고 있다. 본 논문은 여왕벌 사운드를 실시간 클라우드 시스템에 기록하여 사운드 패턴을 분석할 수 있는 시스템 개발에 대한 연구이다. 실시간으로 입력되는 벌통의 아날로그 사운드를 다채널로 입력받아 디지털로 변환한 후 여왕벌 사운드 주파수 대역에서 지속적으로 출력되는 사운드 패턴을 발견하게 되었다. 클라우드 시스템 접속하면 벌통 주변의 사운드와 벌통 내부의 온도/습도, 무게, 내부 이동량 데이터 등을 모니터링 할 수 있도록 했다. 본 논문에서 개발된 시스템으로 여왕벌의 사운드 패턴을 분석하고 벌통 내부의 상황을 알 수 있게 되었다, 이를 통해 꿀벌의 분봉 시기를 예측하거나 분봉 시기를 조절할 수 있는 정보를 제공할 수 있을 것이다.

주요어 : 꿀벌, 여왕벌 사운드, 분봉, IoT

Abstract Recently, many problems are occurring in the bee ecosystem due to rapid climate change. The decline in the bee population and changes in the flowering period are having a huge impact on the harvest of bee-keepers. Since it is impossible to continuously observe the beehives in the hive with the naked eye, most people rely on knowledge based on experience about the state of the hive. Therefore, interest is focused on smart beekeeping incorporating IoT technology. In particular, with regard to swarming, which is one of the most important parts of beekeeping, we know empirically that the swarming time can be determined by the sound of the queen bee, but there is no way to systematically analyze this with data. You may think that it can be done by simply recording the sound of the queen bee and analyzing it, but it does not solve various problems such as various noise issues around the hive and the inability to continuously record. In this study, we developed a system that records queen bee sounds in a real-time cloud system and analyzes sound patterns. After receiving real-time analog sound from the hive through multiple channels and converting it to digital, a sound pattern that was continuously output in the queen bee sound frequency band was discovered. By accessing the cloud system, you can monitor sounds around the hive, temperature/humidity inside the hive, weight, and internal movement data. The system developed in this study made it possible to analyze the sound patterns of the queen bee and learn about the situation inside the hive. Through this, it will be possible to predict the swarming period of bees or provide information to control the swarming period.

Key words : Honeybee, Queen Bee Sound, Beehive devide, IoT

*정회원, 동서울대학교 전기공학과 (제1저자)

**정회원, (주)한창테크노 (참여저자)

접수일: 2023년 8월 13일, 수정완료일: 2023년 8월 30일

게재확정일: 2023년 9월 5일

Received: August 13, 2023 / Revised: August 30, 2023

Accepted: September 5, 2023

*Corresponding Author: heglerkim@du.ac.kr

Dept. of Electrical Engineering, Dongseoul Univ, Korea

I. 서론

최근 다양한 스마트 센서가 개발되고 이를 활용한 기술이 적용된 스마트 팜 기술이 인공지능과 융합되면서 지속적으로 확장되고 있다. IoT 기술은 실시간으로 농장에 대한 정보를 취득할 수 있게 해준다[1]. 특히, 양봉 분야에서는 육안으로 관찰하기 어려운 벌통 내부의 상황을 관찰하기 위해 스마트 IoT 기술을 적극적으로 도입하고 있다. 벌통안의 꿀벌의 개체 수 파악을 위한 꿀벌 출입 계수, 내부 이동량 특정 시스템을 구현하기도 하고 [2][3][4][5], 영상 촬영 및 적외선 센서를 통해 꿀벌을 모니터링하기 위한 연구를 진행하기도 하며 [6], 벌통 내부의 온도 측정을 통해 봉군의 상황을 예측하기도 하고[7][8], 음향 측정 및 주파수 측정을 통해 벌들의 상태 및 벌통 주변의 상황을 모니터링 하는 방법, 말벌 사운드를 패턴으로 말벌 침입을 막기 위한 벌통의 소문을 개폐하는 장치를 개발하기도 한다 [9][10][11][12]. 또한, 양봉 관리 및 분봉 발생 탐지를 위해 온/습도, 사운드, 무게 센서를 탑재한 벌통을 개발하고 이를 통해 기록된 데이터를 LSTM 알고리즘과 같은 AI 기술을 적용하는 시도를 하기도 한다.[13] 이렇게 다양한 시도를 하는 이유는 예전에는 벌통 내·외부를 실시간으로 관찰하기가 힘들었기 때문에, 벌통 내·외부의 데이터를 취득하여 분석하고 이를 실제 양봉 농가에 적용하기가 매우 힘들었기 때문이다. 이러한 이유로 양봉에 대한 부분은 양봉 농가의 경험적 지식에 의존할 수밖에 없었다.

특히, 양봉 농가에서 가장 중요한 부분 중에 하나인 분봉과 관련해서 데이터에 근거한 분봉시기를 예측하는데 있어서 벌통 내부의 온/습도변화, 벌통의 무게, 여왕벌의 사운드가 중요한 지표가 됨에도 불구하고, 이를 전체적으로 검증하는 시스템이 전무하다시피 한 실정이다. 위에서 언급한 스마트 양봉과 관련된 연구들 중에는 벌통 내부의 온/습도 변화, 무게 변화 등을 단편적으로 측정할 수 있게 되었으나, 여왕벌의 사운드 관련해서는 여러 가지 문제점을 해결해야만 하는 상황이다. 여왕벌 사운드를 녹음을 통해 패턴을 분석하는 방법은 장기간 녹음에 따르는 레코더의 전원공급 부분, 데이터 용량의 문제, 그리고 녹음을 했다고 해도 누군가는 녹음된 파일을 청취하면서 분석해야하는 현실적인 문제에 봉착하게 된다. 본 연구에서는 기존 말벌 사운드 패

턴을 분석하여 벌통 소문을 자동으로 개폐하는 시스템을 연구하던 중 말벌의 사운드가 특정한 패턴을 가지고 있다는 사실에 주목했다[10]. 여왕벌 사운드에도 특정한 패턴을 발견할 수 있다면, 이를 통해서 분봉시기를 예측하는 알람 시스템을 개발 할 수 있을 것이다.

따라서, 본 논문에서는 기존 여왕벌 사운드 녹음 방식을 실시간으로 모니터링이 가능하고 이를 통해 여왕벌의 사운드 패턴을 분석할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다. 여왕벌의 사운드 패턴을 분석하여 벌통 내부의 상황을 알 수 있게 된다면, 이를 통해 꿀벌의 분봉 시기를 예측하거나 분봉 시기를 조절할 수 있는 정보를 제공할 수 있을 것이다.

II. 본론

2.1 여왕벌 사운드 녹음을 위한 장치 개발

첫 번째로 진행했던 여왕벌 사운드 녹음을 위한 장치는 그림1과 같다. 벌통에 사운드를 포집할 수 있는 마이크 장치를 설치하고 사운드를 증폭할 수 있는 AMP 모듈을 개발하여 설치했다.



그림 1. 여왕벌 사운드 녹음 장치
Figure 1. Queen bee sound recording device

전 방향 사운드를 포집할 수 있는 4ch Spatial Mic를 설치하고 효과적으로 여왕벌 사운드를 포집할 수 있는 기구를 개발하여 설치했으나 아래와 같은 문제점이 도출되었다.

- 1) 고가의 마이크를 설치해야 한다는 점
- 2) SD 카드에 저장해야하는데, 저장 공간의 부족과 백업이 어렵다는 점, 따라서 지속적으로 레코딩 하기가 불가능하다는 점
- 3) 녹음된 파일에서 여왕벌 사운드만 분리해내기 어렵다는 점

4) 아날로그 파일을 주파수 변환을 한다고 해도 연속적으로 표시하기 어렵기 때문에 사운드의 패턴을 분석하기 어렵다는 점

위의 문제점을 해결해야만 실시간으로 수집되는 여왕벌의 사운드를 모니터링 할 수 있다는 결론에 도달했다.

2.2 여왕벌 사운드 실시간 모니터링을 위한 DSP 모듈 개발

여왕벌 사운드를 분석하기 위해서는 사운드를 직접 녹음해서 분석하는 방법이 아니라 실시간으로 표시될 수 있는 형태로 되어야만 한다. 그러기 위해서는 아날로그 사운드를 디지털로 변환 할 수 있는 DSP 모듈이 필요하다. 디지털 변환이 가능하다면 이를 통해 사운드를 그래프로 표현 할 수 있기 때문이다.

첫 번째 DSP 모듈은 300Hz 이하 주파수를 필터링 할 수 있는 1ch DSP 모듈을 개발하여 벌통에 장착을 해서 사운드를 측정했다. 그림 2는 여왕벌 사운드를 디지털 신호로 변환 할 수 있는 1ch DSP 모듈이다.



그림 2. 1ch Mic DSP 모듈 개발
Figure 2. 1ch Mic DSP module development

그림 2의 모듈을 실제 양봉농가의 벌통에 설치하여 여왕벌 사운드를 디지털 신호로 변환하는 것은 문제가 없었지만, 사운드의 주파수 스펙트럼이 넓게 분포함을 알 수 있었으며, 이러한 사운드의 특성 때문에 사운드의 패턴을 분석하기 어렵다는 결론에 도달했다. 또한, 1ch 안에 다양한 잡음이 섞여서 들어오기 때문에 어떤 패턴이 여왕벌 사운드의 패턴인지 인지하기 어렵다는 문제점도 도출되었다.

2.3 여왕벌 사운드 실시간 모니터링을 위한 다채널 DSP 모듈 개발

두 번째 DSP 모듈은 1ch DSP 모듈의 문제점을 해결하기 위하여 6개의 채널로 분리해서 사운드를 측정할 수 있도록 개발했다. 그림 3은 6ch로 사운드를 측정할 수 있는 마이크 시스템이며, 그림 4는 입력되는 채널의 사운드를 디지털 신호로 변환할 수 있는 멀티채널 DSP 모듈이다.



그림 3. 6ch Mic 모듈 개발
Figure 3. 6ch Mic module development



그림 4. 멀티채널 DSP 모듈 개발
Figure 4. Multi-channel DSP module development

그림 4와 같이 채널별로 세팅된 마이크 모듈을 DSP 모듈에 연결하여 벌통 내부에서 사운드를 측정 할 수 있도록 개발했다. DSP 모듈에는 시간 동기화를 위한 타이머 모듈과 SD 카드 저장소를 탑재하여 사운드 디지털 신호를 로컬에서 저장 할 수 있도록 개발했다.

표 1은 채널별 주파수의 범위이다. 사운드의 패턴을 분석하기 위해 표 1처럼 주파수 채널을 분리하고 마지막 채널은 개방형 채널로 모든 사운드를 입력 받을 수 있도록 설계했다.

표 1. 6ch 주파수 대역
Table 1. 6ch frequency band

채널명	1ch	2ch	3ch	4ch	5ch	6ch
주파수 범위	~200 Hz	200~500Hz	500~1,000 Hz	1,000~2,000 Hz	2,000 Hz~	개방형 채널

2.4 여왕벌 사운드 패턴 분석을 위한 시스템 구성 및 알고리즘 개발

그림 5는 여왕벌 사운드 패턴을 분석과 벌통 내부의 온/습도 및 무게 측정, 그리고 벌통 내부의 입/출입 데이터 측정을 위한 시스템 구성도 이다.

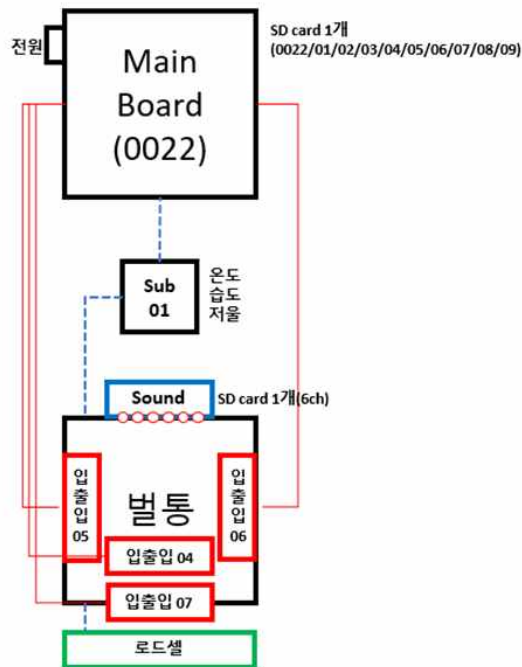


그림 5. 여왕벌 사운드 패턴 분석을 위한 시스템 구성도
Figure 5. System configuration diagram for queen bee sound pattern analysis

실시간으로 입력되는 벌통 내부의 아날로그 사운드 신호를 8bit 디지털 신호로 변환 후 데이터용량을 최소화

화하기 위해 HEXA 코드로 저장한다. 저장할 때 초당 20회, 0~255 레벨로 6채널을 동시에 SD 카드에 저장하도록 했다. 각 채널에 초당 20회씩 저장된 데이터를 dot로 변환 후 그래프로 출력할 수 있다. 이렇게 하면 사운드의 진폭의 변화를 알 수 있게 된다. 이 진폭과 주기의 변화로 사운드 패턴을 그림 6과 같이 분석 할 수 있다.

```

Address 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 a b c d e f Dump
00000000 30 30 30 30 30 30 81 7e 10 34 73 0a 00 00 0d 0a 000000...6s?...
00000010 30 30 30 30 30 30 5e 5a e7 e1 ff 30 00 00 0d 0a 000000...2학?...
00000020 30 30 30 30 30 30 0e 01 26 30 13 00 00 0d 0a 000000...-0....
00000030 30 30 30 30 30 30 00 09 01 00 c9 04 00 00 0d 0a 000000...?....
00000040 30 30 30 30 30 30 00 06 67 84 b5 04 00 00 0d 0a 000000...g...
00000050 30 30 30 30 30 30 81 79 07 31 ff 30 00 00 0d 0a 000000...y-1?...
00000060 30 30 30 30 30 30 05 00 11 26 4f 00 00 00 0d 0a 000000...?....
00000070 30 30 30 30 30 30 00 00 00 00 b0 00 00 00 0d 0a 000000...?....
00000080 30 30 30 30 30 30 01 00 73 ec c0 00 00 00 0d 0a 000000...s...
00000090 30 30 30 30 30 30 80 72 fe 25 ea 25 00 00 0d 0a 000000...??...
000000a0 30 30 30 30 30 30 00 00 10 10 c0 00 00 00 0d 0a 000000...?....
000000b0 30 30 30 30 30 30 00 09 01 00 a0 04 00 00 0d 0a 000000...?....
000000c0 30 30 30 30 30 30 10 04 04 45 e5 04 00 00 0d 0a 000000...H...
000000d0 30 30 30 30 30 30 77 ff 00 11 00 24 00 00 0d 0a 000000...p?...
000000e0 30 30 30 30 30 30 00 00 04 02 02 b0 00 00 0d 0a 000000...?....
000000f0 30 30 30 30 30 30 00 00 00 00 00 00 00 0d 0a 000000...?....
00000100 30 30 30 30 30 30 26 1a 30 ff e2 00 00 00 0d 0a 000000......
00000110 30 30 30 30 30 30 76 e7 e4 00 c3 00 00 00 0d 0a 000000...vg?...
00000120 30 30 30 30 30 30 00 00 00 00 a7 00 00 00 0d 0a 000000...?....
00000130 30 30 30 30 30 30 00 00 00 00 00 00 00 0d 0a 000000...?....
    
```

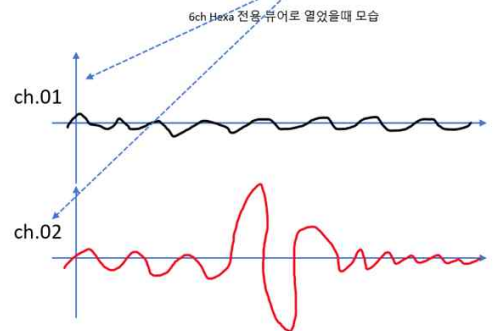
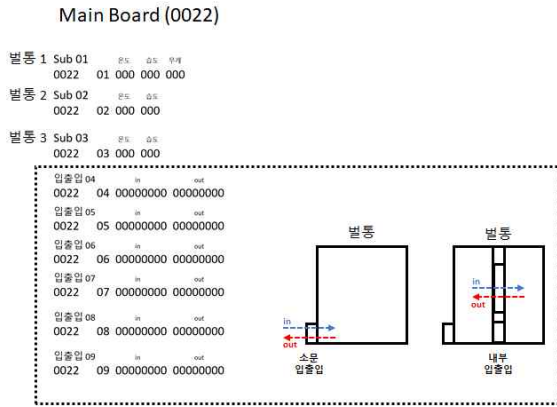


그림 6. 여왕벌 사운드 패턴 분석을 위한 알고리즘
Figure 6. Algorithm for queen bee sound pattern analysis

2.5 벌통 사운드 데이터의 구조

그림 7은 벌통 사운드를 개발된 알고리즘에 의해 저장되는 데이터의 구조이다. 메인보드에서는 서브보드에서 입력받는 벌통 내부의 온/습도, 무게, 내부 이동량 데이터를 취합하여 저장하고, 사운드 데이터는 DSP 모듈을 거쳐서 HEXA 코드로 저장된다.



Sound Board – 6ch Hexa 파일형태로 저장됨

구분자	구분자
41	30 33 38 30 15 4B 6C 0D 0A 41 30 33 38 30
42	15 4B 6C 0D 0A / 41 30 33 38 30 15 4B 6C 0D
43	0A 41 30 33 38 30 15 4B 6C 0D 0A 41 30 33
44	38 30 15 4B 6C 0D 0A 41 30 33 38 30 15 4B 6C
45	0D 0A

그림 7. 스마트 양봉 시스템의 데이터 구조
 Figure 7. Data structure of smart beekeeping system

III. 실험 및 결과

3.1 여왕벌 사운드 패턴 분석을 위한 테스트베드 구축

시스템 구성도에 따라 개발된 하드웨어와 사운드 패턴 분석 알고리즘이 장착된 벌통을 국립농업과학원 양봉장과 양봉농가에 테스트베드를 구축했다. 구축된 테스트베드는 벌통 내부의 사운드와 온/습도, 무게, 내부 이동량을 측정할 수 있다. 국립농업과학원에는 자체 개발한 스마트 양봉 시스템 3식을 설치했으며, 양봉농가에는 스마트 양봉 시스템 2식을 설치했다. 초기 버전은 SD 카드에 양봉 데이터를 기록할 수 있도록 했으며, 저장된 데이터는 백업을 받아서 저장된 데이터를 분석할 수 있는 로컬 S/W를 개발하여 알고리즘을 수정했다.

그림 8은 국립농업과학원의 테스트베드이며, 그림 9은 양봉농가에 설치한 테스트베드이다. 각각의 장소에 구축된 테스트베드는 피드백을 거쳐서 사운드 모듈, 이동량 측정보드에 대한 요청사항을 적용 개선했다.



그림 8. 국립농업과학원 스마트 양봉 테스트베드
 Figure 8. National Institute of Agricultural Sciences Smart Beekeeping Testbed

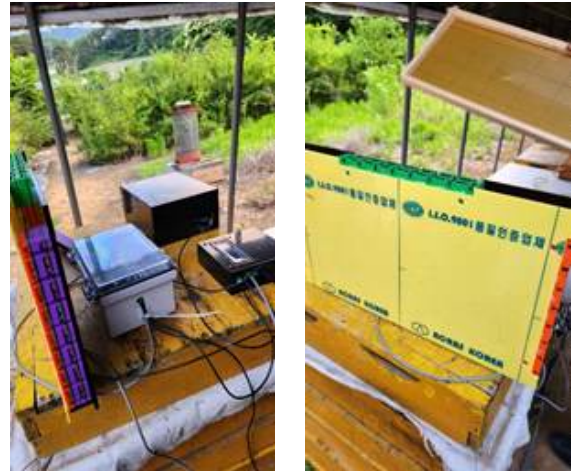


그림 9. 국립농업과학원 스마트 양봉 테스트베드
 Figure 9. Beekeeping Farm Smart Beekeeping Testbed

3.2 여왕벌 사운드 및 벌통 데이터 분석을 위한 로컬 S/W 개발

테스트베드에서 SD카드에 저장된 데이터를 분석하기 위한 Windows S/W를 개발했다. 이 소프트웨어는 테스트베드에서 저장된 데이터를 분석하여 하드웨어 및 알고리즘을 수정하기 위해 임시로 개발된 버전이다. 로컬에서 테스트하면서 하드웨어와 알고리즘 수정을 완료한 후 최종적으로 클라우드 서버에서 동작할 수 있도록 할 예정이다. 그림 10은 각각의 테스트베드의 SD 카드에 저장된 데이터를 분석한 화면이다. 실제 데이터가 그래프 형태로 출력됨을 알 수 있었다. 모니

터링을 쉽게 할 수 있도록 데이터 화면을 구성했다.

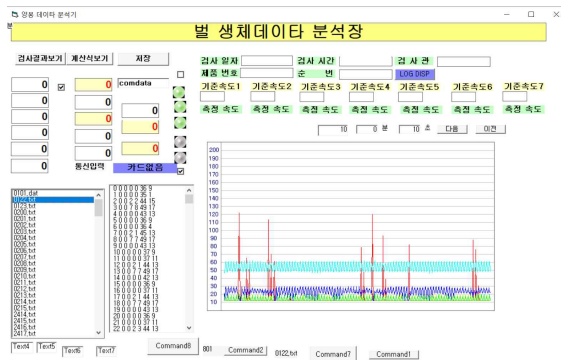


그림 10. 벌통 사운드 분석 소프트웨어
Figure 10. Beehive sound analysis software

최초 개발 버전에서 텍스트 파일을 읽은 후 그래프로 표시하는데 문제가 없음을 확인 한 후 실시간으로 입력되는 사운드를 그래프로 표시할 수 있도록 시스템을 개선했다.

3.3 여왕벌 사운드 및 데이터 분석을 위한 클라우드 시스템 개발

그림 11은 여왕벌 사운드를 실시간으로 분석하기 위한 클라우드 시스템의 구성도이다.

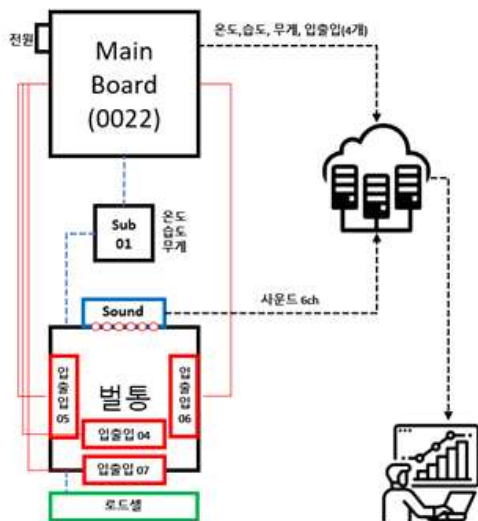


그림 11. 여왕벌 사운드 패턴 분석을 위한 클라우드 시스템 구성도
Figure 11. Cloud System configuration diagram for queen bee sound pattern analysis

로컬에서 SD카드에 기록된 사운드와 벌통 내부의 데이터는 실시간 분석이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 실시간 모니터링을 위해서는 벌통에서 인터넷망을 통해 클라우드 서버로 전송되어야 하며, 전송된 데이터는 웹 또는 앱으로 표시되어야 한다. 이를 위해서 그림 11과 같은 시스템 구성도에 의한 클라우드 시스템을 개발해야 한다.

메인보드, 사운드 모듈의 MAC Address를 기반으로 각각의 벌통에서 입력되는 데이터를 실시간 그래프로 표시하는 웹 프로그램을 개발 했다.

웹 프로그램에서는 15초 간격으로 사운드 데이터를 그래프로 출력되고 사운드 데이터 외에 벌통 내부의 온/습도, 무게, 이동량 데이터를 그래프로 표시할 수 있다.

이렇게 시스템을 개발하고 실제 여왕벌 사운드를 입력했을 때 그림 12와 같은 패턴이 반복적으로 출력되는 것을 확인 할 수 있었다.

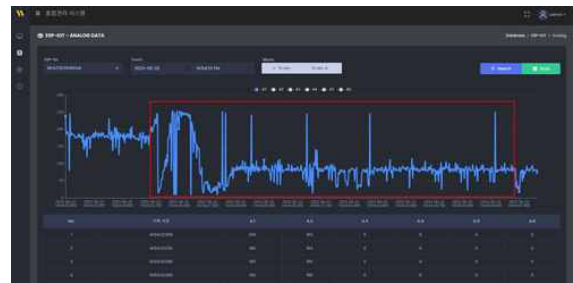


그림 12. 여왕벌 사운드 패턴
Figure 12. Queen bee sound pattern

실제 설치된 스마트 벌통에서 그림 12와 같은 패턴이 발견된 경우에 벌통 내부에 있는 여왕벌이 소리를 내는 것이라고 볼 수 있다. 반복적으로 출력되는 패턴의 디지털 데이터를 표준화 하여 실시간으로 입력되는 사운드 데이터의 값이 표준화된 데이터와 유사하게 매칭 된다면 스마트폰 등으로 알람을 띄워줄 수 있을 것이다. 이것은 여왕벌의 사운드 패턴 분석을 통해 벌통의 분봉시기가 도래했다는 것을 알 수 있는 지표로 활용 될 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 벌통 내부에서 여왕벌 사운드를 디지털 신호로 전환하여 이를 기반으로 모니터 및 분석할 수 있는 시스템 개발에 대한 내용이다. 여왕벌의 사운

드를 녹음하여 분석하는 기존 방법과는 다르게 여왕벌 사운드를 채널별로 취득한 후 이를 디지털 신호로 변환하고 그래프로 표시하여 여왕벌 사운드의 패턴을 분석할 수 있도록 했다. 여왕벌 사운드 패턴 분석은 분봉시기를 예측할 수 있는 중요한 지표로 활용이 가능하다. 여왕벌 사운드 패턴과 벌통 내부를 모니터링 할 수 있는 다양한 센터 데이터의 변화를 함께 모니터링 함으로써 분봉하기 전/후의 벌통내부 상황을 예측할 수 있을 것이다. 이를 통해 분봉시기를 예측할 수 있다.

본 논문의 결과물은 단순히 양봉 농가의 경험과 관찰력에 의존해왔던 기존 방식과 차별화된 IoT 기술을 접목하여 양봉 농가에서 벌통의 내검 없이 효과적으로 분봉 시기를 예측하고 조절할 수 있을 것이다. 이것은 양봉 농가의 수익 증대에 많은 도움이 될 것으로 기대한다. 그리고 본 논문에서 적용된 여왕벌 사운드 분석 방법은 다양한 곤충의 사운드 분석 방법에도 적용이 가능하다.

References

- [1] Ahmed. Mateen and Zhu. Qingsheng. "IoT based real time agriculture farming," International Journal of Advanced Smart Convergence, Vol.8, No.4, pp. 16-25, 2019. <https://doi.org/10.7236/IJAS.C.2019.8.4.16>
- [2] Min-Jeong Kim, et al. "Implementation of a Honeybee Counting System Using IR Sensors," In: Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences. Korea Institute of Communication Sciences, pp. 1519-1520, 2021.
- [3] Deok Son Jae, Soho Lim, Dong-In Kim, Giyoun, Rustem Ilyasov, Ural Yunusbaev, and Hyung Wook Kwon. "Automatic Bee-Counting System with Dual Infrared Sensor based on ICT," In: Journal of Apiculture, The Apicultural Society of Korea, pp. 47-55, 2019. <https://doi.org/10.17519/apiculture.2019.04.34.1.47>
- [4] Kim Joon Ho, Seo Hee, Han Wook, and Chung Wonki, "A study on the honeycomb entry and exit counting system for measuring the amount of movement of honeybees inside the beehive," The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 7, No. 4, pp.857-862, 2021. <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2021.7.4.857>
- [5] Kim Joon Ho, Han Wook, Chung Wonki, Mo, Changyeon, Han, Xiongzhe and Kim, Subae "A Study on the System for measuring the Activity of Honeybees inside and outside the Beehive," International Journal of Advanced Culture Technology (IJACT), Vol. 10, No. 4, pp.511-517, 2022. <https://doi.org/10.17703/IJACT.2022.10.4.511>
- [6] Jae Deok Son, Soho Lim, Dong-In Kim, Giyoun Han, Rustem Ilyasov, Ural Yunusbaev and Hyung Wook Kwon, "Automatic Bee-Counting System with Dual Infrared Sensor based on ICT", Journal of Apiculture, 34(1), pp. 47-55, 2019. <https://doi.org/10.17519/apiculture.2019.04.34.1.47>
- [7] Jeong, C. H., M. J. Kim, J. S. Ryu and B. J. Choi. "Implementation of the honeybee monitoring system using object recognition," in Proc. KICS Conf, pp. 806-807, 2021.
- [8] Hyung Joo Yoon, et al. "The Effect of Temperature Treatment on the Production of Worker or Queen Bumblebees," Journal of Apiculture, The Apicultural Society of Korea, pp. 283-287, 2008. <https://doi.org/10.17519/apiculture.2018.11.33.4.283>
- [9] Geon Kim, HanSoo Kim, Dong-Guk Paeng, and Yoon-Kyu Lim. "Acoustic Measurements of Wasp (*Vespa simillima xanthoptera* Cameron) and Honeybees with their Frequency Characteristics," Journal of Apiculture, The Apicultural Society of Korea, pp. 7-13, 2019. <https://doi.org/10.17519/apiculture.2019.04.34.1.7>
- [10] Kim Joon Ho, Han Wook, and Chung Wonki, "A study on the Beehive Door Opening and Closing System using a Hornet Sound Analysis," International Journal of Advanced Culture Technology International Journal of Advanced Culture Technology (IJACT), Vol. 10, No. 3, pp.393-396, 2022. <https://doi.org/10.17703/IJACT.2022.10.3.393>
- [11] Mi-Suk Oh. "Study on the Environment-friendly Control of the *Vespa Mandarina*, 1. Group attack prevention by plant cultivation in front of beehives," Journal of Apiculture, Vol.22, No.1, pp.101-108, 2007.
- [12] Byung soon Kim, Seongmin Jeong, Goeun Kim, and Chuleui Jung. "Early Alert System of Vespa Attack to Honeybee Hive: Prototype Design and Testing in the Laboratory Condition," journal of Apiculture, Vol.32, No.3, pp.191-198, 2017. <http://doi.org/10.17519/apiculture.2017.09.32.3.191>

- [13]Ki-Hyeon Kwon, Jin-Su Kim, and Hyung-Bong Lee." Forecast of Bee Swarming using Data Fusion and LSTM," Journal of Digital Contents Society, Vol. 20, No. 1, pp.1-6, 2019. <http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2019.20.1.1>

※ 본 논문은 '농촌진흥청 농업과학기술 기초
기반 구축' 연구개발과제로 지원받아 진행
된 연구결과입니다.
과제번호 : PJ015826022021