



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

꿀벌 생육환경 정밀 모니터링을 위한
실시간 데이터 처리 시스템 연구

濟州大學校 大學院

에너지應用시스템學部 電子工學專攻

吳 昇 昊

2018 年 2 月

꿀벌 생육환경 정밀 모니터링을 위한 실시간 데이터 처리 시스템 연구

指導教授 都 良 會

吳 昇 昊

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2017 年 12 月

吳昇昊의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ①

委 員 _____ ①

委 員 _____ ①

濟州大學校 大學院

2017 年 12 月

A Study on Real-time Data Processing System
for Precise Monitoring of Beekeeping Environment

Seung-Ho Oh
(Supervised by professor Yang-Hoi Doh)

A Thesis submitted in partial fulfillment
of the requirement for the degree of
Master of Science

Major of Electronic Engineering
Faculty of Applied Energy System
Graduate School
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2017. 12.

목차

LIST OF FIGURERS	ii
LIST OF TABLES	iv
Abstract	v
제 1 장 서론	1
제 2 장 관련연구	3
2.1 국내·외 기술의 연구현황	3
2.2 꼴벌의 생육환경 분석	5
2.3 데이터 정밀도 향상을 위한 연구	7
제 3 장 꼴벌 생육환경 모니터링 시스템 모델 설계 및 구축	12
3.1 꼴벌 생육환경 모니터링 시스템 모델	12
3.2 꼴벌 생육환경 모니터링 시스템 세부 구성 및 설계	18
3.3 꼴벌 생육환경 모니터링 시스템 구축 및 실험	27
제 4 장 수집 데이터 정밀도 향상을 위한 연구	30
4.1 기존 데이터 분석	30
4.2 누락 데이터 분석	32
4.3 데이터 보정 결과분석	37
제 5 장 데이터 처리 방안이 개선된 모니터링 시스템 설계	38
5.1 데이터 처리 방안 개선의 필요성	38
5.2 기존 시스템에서 데이터 누락 처리 방안	38
5.3 데이터 유효성을 판단하는 알고리즘	39
제 6 장 결론	43
참고문헌	44

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Examples of Smart Technology in Agriculture	3
Fig. 2. Beekeeping Status in Korea	4
Fig. 3. Compare of Original function $f(x)$ and Estimated function	10
Fig. 4. Selected Temperature and Humidity Sensor	13
Fig. 5. Formula of Temperature and Humidity Sensor	13
Fig. 6. Selected Weight Sensor	14
Fig. 7. Selected CO ₂ Sensor	14
Fig. 8. Selected Noise Sensor	15
Fig. 9. Beekeeping Monitoring System Model	16
Fig. 10. Block Diagram of Beekeeping Monitoring System	17
Fig. 11. MCU Circuit Diagram	19
Fig. 12. Power Circuit Diagram of Sensor Board	19
Fig. 13. Communication Circuit Diagram	20
Fig. 14. Sensor Interface Circuit Diagram	20
Fig. 15. Sensor Board Panel Layout	21
Fig. 16. Processed Panel Material, Assembled Sensor Board Panel	22
Fig. 17. Installation Panel	22
Fig. 18. Block Diagram of Communication Board	23
Fig. 19. Block Diagram of Server Section	25
Fig. 20. Block Diagram of Interface Section	26
Fig. 21. Beehive with Sensor Board, Installed Communication Board	27
Fig. 22. Monitoring Result	28
Fig. 23. Measurement Result During the Setup Period	28
Fig. 24. Data Loss	29
Fig. 25. Environmental Factors Measured Inside the Beehive	30
Fig. 26. Measurement Result Graph for One Factor	31
Fig. 27. Graph Showing Average value	31
Fig. 28. Original Data	32

Fig. 29. Data Loss	33
Fig. 30. Using Newton Interpolation Method	34
Fig. 31. Compare of Original Data and Newton Interpolation Data	34
Fig. 32. Using Lagrange Interpolation Method	35
Fig. 33. Compare of Original Data and Lagrange Interpolation Data	35
Fig. 34. Using Spline Interpolation Method	36
Fig. 35. Compare of Original Data and Spline Interpolation Data	36
Fig. 36. Compare of Original Data and Interpolation Data	37
Fig. 37. Solution of Data Loss	39
Fig. 38. System Algorithm with Interpolation Method	39
Fig. 39. Data Interpolation 1 time	40
Fig. 40. Data Interpolation 2 time	41
Fig. 41. Stop Interpolation	41

LIST OF TABLES

Table 1. Examples	9
Table 2. Table Specification	23
Table 3. Table of tb_sensing_data	24
Table 4. Table of tb_sensing_hive	24
Table 5. Table of tb_sensing_site	24
Table 6. Table of tb_sensing_sensor	25
Table 7. Original Data Table	33
Table 8. Data Loss Table	33

Abstract

The precision apiculture based on ubiquitous sensor network technology is a system that can collect the within-hive environment controlled by honey bees. After analyzed the elements of within-hive environmental factors necessary for the beekeeping and selected appropriate sensors, we developed a sensor board which is installed inside the beehive through this sensor and collects the signal data of growth environment. The Signal data collected from various sensor boards in each beehives is transmitted to the communication board through a wireless communication network capable of 1: N communication. The communication board converts the collected data into a data table optimized for DB storage and transmits it to the server through the TCP / IP communication protocol. The server stores the transferred data in the DB and provides a web server based user interface for processing the DB access request of users. By connecting to the bee-portal site, the user can monitor the within-hive environment with personal computer or smart-phone.

However, sensor board or communication board may fail due to various reasons such as rain, wind, lightning, insect or animal attack. For this reason, data transfer from the communication board to the server fails. And some data can be lost. To solve the problem of data loss, we applied several interpolation methods to the data loss. We have simulated interpolation of data loss in the most interpolated way. As a result, interpolation of data loss is completed. Furthermore, we apply this result to a real-time bee monitoring system and apply it to interpolate data loss.

제 1 장 서론

고령화 및 이농으로 인한 농촌지역의 인구감소는 노동력의 저하로 이어지고 결국 농업 생산성이 줄어드는 원인이 된다. 때문에 적은 노동력으로 농업생산성을 증대시키고 농업생산품의 고품질화, 고부가가치화 등을 위해 지능화된 농장, 스마트 팜 등의 기술이 개발되고 있는 추세이다[1]. 이러한 기술은 농업에 IoT(Internet of Things), USN(Ubiquitous Sensor Network), RFID(Radio Frequency Identification)와 같은 첨단기술을 융합하고, 생육환경을 센서를 통해 실시간으로 측정하여 원격으로 정보를 제공하는 환경모니터링 시스템, 농작업 패턴을 분석하여 관수주기, 온도조절과 같이 재배법 개선방안을 제시하는 방향으로 연구가 진행되고 있다[2]. 해외의 경우 이스라엘 파이토크사의 무선실물 생장 모니터링 시스템, 미국의 캘리포니아 주 식물원 실·내외 환경 관리 시스템과 같이 생산품의 고품질화에 목적을 둔 환경 모니터링 시스템이 있으며 일본의 낙농 생산이력 추적 관리 시스템, 프랑스 쇠고기 이력 추적 시스템과 같이 생산품의 안전성·상품성을 높이기 위한 유통정보 추적 시스템 등이 있다[3]. 국내의 경우 농촌진흥청의 온실 내 수직형 식물재배시스템, 세종시를 대상으로 진행한 SK의 지능형 비닐하우스 관리시스템 등이 있다[4].

이와 같이 농업에 첨단기술이 융합된 영역은 채소, 과수, 화훼와 같은 작물부터 닭, 소, 돼지와 같은 축산업까지 범위를 넓혀가고 있는 중이다. 그러나 양봉산업에 한해서는 구체적으로 적용된 시스템이 없어 양봉업자들이 직접 내부를 검사 하거나 경험에 의한 양봉경영을 운용하는 실정이다[5]. 양봉산업의 핵심인 꿀벌은 꿀·프로폴리스와 같은 양봉산물의 생산, 아몬드·사과·양파와 같은 농작물의 수분작용을 돕는 등 매우 중요한 역할을 하는데 최근에는 봉군붕괴현상(CCD; Colony Collapse Disorder; 꿀벌실종)과 더불어 세균성 부저병, 노제마, 응애와 같은 꿀벌질병 등의 요인으로 꿀벌의 감소가 발생하고 있으며 이로 인해 양봉산물의 품질이 저하되어 양봉업계가 위축되어 있는 상태이다[6].

이런 상황을 극복하기 위해 꿀벌질병의 진단과 치료에 대한 연구, 질병의 발병

억제를 위한 꿀벌 생육환경조절에 대한 연구 등 다양한 연구가 이루어지고 있다 [7,8]. 최근에는 꿀벌의 이상증세에 빠르게 대처하기 위해 벌통 내 생육환경을 실시간으로 모니터링하기 위한 시스템이 개발되는 추세이다. 이는 꿀벌의 생육환경을 실시간으로 파악하여 벌통의 관리를 효율적으로 할 수 있고 생산성 저하의 원인이 되는 환경요인의 갑작스런 변화에 대응할 수 있게 되므로 양봉산물의 고품질화, 생산성 향상에 도움을 줄 수 있을 것이다[9].

본 연구는 꿀벌의 생육환경 조절 및 꿀벌 상태 확인을 위해 실시간으로 벌통의 내·외부 환경을 모니터링 할 수 있는 실시간 양봉 모니터링 시스템을 개발하기 위하여 수행하였다. 이 시스템을 통해 벌통으로부터 꿀벌의 생육환경을 실시간으로 모니터링 할 수가 있고, 이를 통해 꿀벌의 질병감시, 제품품질, 생산성 향상 등에 중요한 역할을 하는 데이터를 수집할 수 있다.

한편, 데이터 수집과정 중 센서의 손상, 외부 요인에 의해 데이터 수집이 누락되거나, 잘못된 데이터가 수집되는 경우가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 손실된 데이터가 발생할 경우 손실이 일어나기 전까지의 데이터를 바탕으로 보간법을 이용하여 손실이 일어난 데이터 구간을 보간하는 방안과 사용자에게 손실에 대한 알림 메시지를 전달하는 방안에 대해 연구하였고 이를 바탕으로 알고리즘을 설계하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 국내·외 첨단기술 융합산업과 현재 양봉업의 현황과 같이 양봉 모니터링 시스템을 설계하기 위한 관련연구에 대하여 설명하고, 3장에서는 양봉 모니터링 시스템을 설계하기 위한 구체적인 모델을 제시하고 이를 구축한 다음 벌통 내부의 생육환경 데이터가 정상적으로 수집되는지에 대한 실험을 하였다. 4장에서는 실시간으로 수집되는 데이터의 정밀도 향상을 위해 보간법을 바탕으로 양봉 모니터링 시스템 실험을 진행하여 얻은 양봉데이터에 적용하였으며 5장에서는 데이터 처리 방안이 개선된 모니터링 시스템을 설계하였고 6장에서 결론을 맺는다.

제 2 장 관련연구

2.1 국내·외 기술의 연구현황

첨단기술이 산업분야 전반에 적용되면서 스마트 홈서비스, 스마트 헬스케어, 스마트 그리드와 같은 융합기술을 만들어내고 있다. 이는 제조, 자동차, 문화 분야를 넘어서 농업분야에도 적용되어 지능화된 농장, 스마트 팜 등의 융합기술을 만들어 내고 있다. 농업에 첨단기술이 적용된 기술들을 살펴보면 일본에서는 농업과 관련된 환경정보, 생체정보 등을 수집하고 사용자의 판단정보를 분석하여 대상 식물의 생육환경을 최적으로 맞춰주는 시스템인 Smartagri 시스템이 대표적이다[10]. 네덜란드에서는 토마토, 파프리카, 오이 3가지 농산물에 집중하여 빛, 이산화탄소, 습도, 온도 4가지의 기후요인을 모니터링하고 제어하는 Priva사의 통합 환경 제어시스템이 있다. 그리고 국내에는 SKT와 유라이크코리아가 협력 제작한 가축의 체온 변화를 실시간으로 모니터링 하여 질병예방, 품질관리를 할 수 있는 IoT 기반 가축 관리 서비스인 라이브케어 등이 있다.

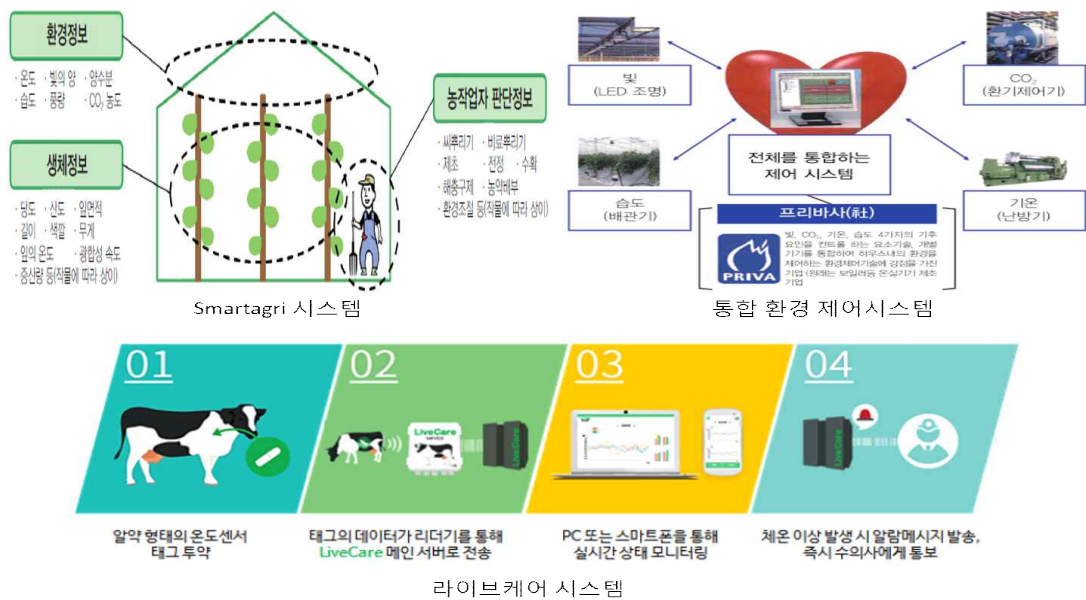


Fig. 1. Examples of Smart Technology in Agriculture

그러나 꿀벌의 생육환경조절에 대한 첨단기술 적용 기술들은 개념에 그치거나 단순히 센서를 이용하여 모니터링만 하는 상황이다[11,12]. 영국에는 Arnia에서 제작한 벌통 내 꿀벌의 상태, 온·습도와 같은 기초적인 데이터를 수집하여 모니터링 할 수 있는 Remote Hive Monitoring 시스템이 있다. 이 시스템은 컴퓨터나 스마트폰을 이용하여 사용자가 로그인하면 자신의 벌통 내 생육 상태와 주간날씨를 간단히 볼 수 있으며 벌통 그림의 아이콘을 클릭하면 상세정보도 확인이 가능하나 모니터링 결과에 대해서는 사용자가 분석해야 한다는 단점이 있다. 미국에는 Bee Smart Technologies에서 제작한 꿀의 채밀시기를 예측할 수 있는 시스템이 있다. 이 시스템은 Hihive라는 벌통 전용 무게 측정 장비를 이용하여 15분마다 무게의 변화를 측정하고 무게변화를 모니터링 할 수 있게 제작되었으나 순간적으로 급격히 변하는 구간에 대한 해석이 힘들다는 단점이 있다.

국내 양봉농가에서는 벌통 내부를 확인하기 위해서 직접내검을 실시하거나 꿀벌질병 억제를 위해 항생제를 과도하게 사용하는 등 양봉업자의 경험에 의한 관리가 이루어지고 있어 노동력이 소요될 뿐 아니라 체계적인 운영이 힘들어 실시간으로 벌통의 내·외부 환경을 모니터링 할 수 있는 시스템이 필요한 실정이다 [13].



Fig. 2. Beekeeping Status in Korea

2.2 꿀벌의 생육환경 분석

꿀벌은 무리를 이루어 생육을 하고 꿀벌 스스로 생육조건을 제어하려고 하는 습성이 있다. 이에 대한 간단한 예로, 여름철 기온이 올라가 벌통 내부 온도가 올라갈 때 꿀벌은 날개 짓을 하여 온도를 일정 수준으로 유지하려고 하고, 온도와 습도를 조절하기 위해 벌통의 틈을 프로폴리스로 막기도 한다. 따라서 벌통 내부의 생육환경을 수집하기 위해서는 꿀벌의 생육에 영향을 미치지 않도록 해야 한다. 또한 꿀벌은 동면, 활동개시, 육아, 분봉, 채밀활동 등의 단계별 생육활동과 질병감염, 해충의 침입, 봉군의 강군도에 따라 여러 가지 생육환경이 달라지게 된다[14]. 이러한 현상을 분석하기 위해 벌통 내의 온도, 습도, 소음정도, 벌통의 무게변화 및 CO₂ 등의 생육환경 요소를 수집해야 한다.

(1) 온도

꿀벌은 비행근육을 이용하여 발열이 가능하며 관찰한 바에 의하면 최대 30분 동안 방 뚜껑에 밀착하여 방을 가열한다. 이때 측정되는 체온은 거의 43℃ 이상이다. 또한 비슷한 방법으로 하절기에는 날개의 선풍을 이용하여 방의 온도를 낮춰준다. 이러한 원리로 벌들은 내부 온도를 조절하는데 온도가 너무 높게 올라가는 경우 여왕벌은 산란을 중지하여 개체 수 유지에 관한 문제가 발생하거나 환기가 잘 되지 않아 질식하는 문제에 직면하게 된다. 따라서 온도는 이러한 위험요인을 판단할 수 있는 요인이 된다[15].

(2) 습도

일반적으로 상대습도는 온도와 반비례하며 온도가 최저일 때 최고습도가 나타나는 경향을 보인다. 이러한 습도는 질병의 발생과 연관이 깊으며 하절기에 환기가 잘 이뤄지지 않으면 진균성 감염병인 백목병을 비롯한 만병의 원인이 된다. 또한 습도는 유밀기에 수집한 많은 양의 탄수화물(넥타) 식량을 건조시키는 과정에서 습도의 상승이 이루어지므로 습도는 온도와 더불어 벌통 내부 환경의 검사에 중요한 요인이 된다.

(3) 벌통의 무게

벌통의 무게는 봉군의 세력파악, 채밀의 정도를 가늠하는데 유용한 정보를 제공할 것이다. 일반적으로 봉군의 세력파악과 채밀시기를 예측하는 것은 양봉업자의 경험이나 직접내검을 통해서 이뤄진다. 하지만 직접내검하지 않더라도 벌통 무게의 변화추이를 파악할 수 있다면 채밀시기를 예측하기 쉽게 되므로 생산성에 직접적인 영향을 줄 것이며 무게의 변화를 통해 생육활동의 정도를 가늠하여 봉군의 세력도 짐작 할 수 있게 된다.

(4) 이산화탄소

사람을 비롯하여 동물은 대사과정에서 이산화탄소를 생성하여 호흡으로 배출한다. 꿀벌 역시 이산화탄소를 배출하며 벌통 내부의 이산화탄소 농도는 대부분이 꿀벌의 호흡에 의한 농도이다. Nagy & Stallone(1976)[16]에 의하면 외기의 낮은 온도가 봉구내부의 CO₂의 농도를 상승시켜주는 요인이라 하여, CO₂ 농도와 생육온도간의 밀접한 관계가 있음을 시사하였다. 따라서 비교적 공기의 흐름이 정제되어 있는 벌통 내부의 이산화탄소 농도는 봉군의 밀도를 추정하는 유효한 지표가 되며 이는 봉군세력의 간접적인 판단에도 유효한 요인이 된다.

(5) 소음

꿀벌의 날개짓은 비행, 벌통 내 온도의 상승, 넥타의 건조, 의사소통에서 많이 사용하는데 이때의 진동은 사람이 감지 가능한 가청 주파수 대역이라고 한다. 특히 분봉이나 외부해충의 침입과 같이 무언가에 경계하는 상황이 오면 그 소음은 상당히 증가하게 된다. 따라서 소음센서를 이용하여 측정하게 되면 벌들의 상태를 간접적으로 파악하여 대처할 수 있다.

2.3 데이터 정밀도 향상을 위한 연구

전기를 사용하는 전자부품은 정전, 낙뢰 기타 등의 이유로 그 동작이 정지될 수 있다. 또한 무선 통신을 사용하여 데이터를 송수신 하는 경우에도 패킷손실, 통신 가능 거리의 한계와 같은 이유로 데이터가 누락되고 있다. 누락된 데이터를 보정하기 위한 방법으로 보간법, 필터를 이용한 예측법 등을 활용할 수 있다[17]. 그러나 본 연구에서는 실시간으로 시스템에 즉시 보정을 하기 위한 방법으로 보간법에 대해 연구를 수행하였다.

2.3.1 보간법

보간법은 어떤 자료가 주어졌을 때 주어진 자료들 사이의 모르는 값을 예측·추정하는 방법으로 예를 들면 Table 1과 같은 자료가 주어졌을 때 주어진 x 의 값 {0, 2, 4, 7, 10, 12}과 대응되는 y 의 값 {20, 20, 12, 7, 6, 6} 이외의 주어지지 않은 값 $x=1.5$ 에서의 y 의 값을 알고 싶을 때 사용하는 방법이다. 이와 같은 보간법을 사용하기 위해서는 우선 주어진 자료를 모두 지나는 추정함수를 구해야 하며 추정함수를 구하면 알고자 하는 값을 대입하는 것으로 추정 값을 구할 수 있다 [18]. 보간법에도 여러 종류가 있는데 뉴턴 보간법, 라그랑주 보간법, 스플라인이 있다.

Table 1. Examples

x	0	2	4	7	10	12
y	20	20	12	7	6	6

(1) 뉴턴 보간법

뉴턴 보간법은 자주 사용되는 보간법이며 추정함수 $f_n(x)$ 를 정의 하고 각 계수를 구하는 방법으로 주어진 자료가 (n+1)개 일 때 사용 가능하다.

$$f_n(x) = b_0 + b_1(x-x_0) + b_2(x-x_0)(x-x_1) + \dots + b_n(x-x_0)(x-x_1)(\dots)(x-x_{n-1}) \quad (2-1)$$

$$b_0 = f(x_0) \quad (2-2)$$

$$b_1 = f(x_1, x_0) \quad (2-3)$$

$$b_2 = f(x_2, x_1, x_0) \quad (2-4)$$

$$b_n = f(x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0) \quad (2-5)$$

$$f_n(x) = f(x_0) + f(x_1, x_0)(x-x_0) + f(x_2, x_1, x_0)(x-x_0)(x-x_1) + \dots + f(x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0)(x-x_0)(x-x_1)(\dots)(x-x_{n-1}) \quad (2-6)$$

식 (2-1)에 주어진 자료 (n+1)개를 대입하면 각각의 계수 b_0 부터 b_n 까지 식 (2-2), (2-3), (2-4)으로 나타 낼 수 있으며 이를 추정함수에 적용하여 정리한 n 차 다항식의 추정함수는 식 (2-6)과 같다. 이때 각 계수의 $f(x_n)$ 을 구하는 방법은 식 (2-7), (2-8), (2-9)와 같다.

$$f(x_i, x_j) = \frac{f(x_i) - f(x_j)}{x_i - x_j} \quad (2-7)$$

$$f(x_i, x_j, x_k) = \frac{f(x_i, x_j) - f(x_j, x_k)}{x_i - x_k} \quad (2-8)$$

$$f(x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0) = \frac{f(x_n, x_{n-1}, \dots, x_2, x_1) - f(x_n, x_{n-2}, \dots, x_1, x_0)}{x_n - x_0} \quad (2-9)$$

이런 뉴턴 보간법의 가장 큰 특징은 주어진 데이터 외에 데이터가 추가되어도 적은 추가 계산으로 추정함수를 구할 수 있다는 장점이 있다.

(2) 라그랑주 보간법

제차분 계산을 하지 않도록 뉴턴 다항식을 간단하게 다시 공식화한 보간법으로 추정함수의 계수를 구하는 공식이 뉴턴에 비해 간단하다.

$$f_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x)f(x_i) \quad (2-10)$$

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{x-x_j}{x_i-x_j} \quad (2-11)$$

식 (2-10)에 주어진 자료 (n+1)개를 대입하면 계수 $L_i(x)$ 를 구할 수 있는데 이때 $L_i(x)$ 는 식 (2-11)에서처럼 조건 $j=i$ 를 제외한 $j=0$ 부터 n 까지의 일반항을 곱해서 구할 수 있다. 예를 들어 3개의 데이터 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 가 주어지면 $n=2$ 이므로 식 (2-12)와 같은 추정함수를 얻을 수 있으며 계수 $L_i(x)$ 까지 정리하면 식 (2-13)과 같이 추정함수를 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} f_2(x) &= \sum_{i=0}^2 L_i(x)f(x_i) \quad (2-12) \\ &= L_0(x)f(x_0) + L_1(x)f(x_1) + L_2(x)f(x_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2(x) &= \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq 0}}^3 \frac{x-x_j}{x_i-x_j} f(x_0) + \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq 1}}^3 \frac{x-x_j}{x_i-x_j} f(x_1) + \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq 2}}^3 \frac{x-x_j}{x_i-x_j} f(x_2) \quad (2-13) \\ &= \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)} f(x_0) + \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)} f(x_1) \\ &\quad + \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)} f(x_2) \end{aligned}$$

이런 라그랑주 보간법은 앞서 말했듯이 추정함수의 계수인 $L_i(x)$ 를 구하는 계산이 간단하지만 주어진 자료가 늘어하면 각각의 계수 $L_i(x)$ 를 처음부터 다시 계산해야 하므로 계산시간도 늘어한다는 단점이 있다.

(3) 스플라인 보간법

스플라인 보간법은 앞서 설명한 두 개의 보간법 뉴턴 보간법과 라그랑주 보간법의 단점을 보완하기 위한 보간법으로 급격한 불연속 구간을 표현하기 위해 여러개의 데이터를 하나의 추정함수로 표현하는 것이 아니라 주어진 데이터 사이를 각 구간으로 설정하고 구간별 추정함수를 구하는 보간법이다. Fig. 3은 기존 함수 $f(x)$ 와 보간법을 이용하여 보간한 그래프를 비교한 그림이다[17]. Fig. 3을 보면 (a), (b)와 같은 경우는 뉴턴 보간법과 라그랑주 보간법을 사용하면 약간의 오차는 발생하지만 추정함수로 표현이 가능하나 (c)와 같이 자료의 개수가 많아지면 뉴턴 보간법과 라그랑주 보간법을 사용할 경우 원래의 함수를 표현하지 못하고 있다. 반면 스플라인 보간법을 사용할 경우 (d)와 같이 자료의 개수가 많아져도 급격한 불연속 구간을 표현할 수 있으며 원래함수와 유사하게 추정함수를 표현할 수 있다.

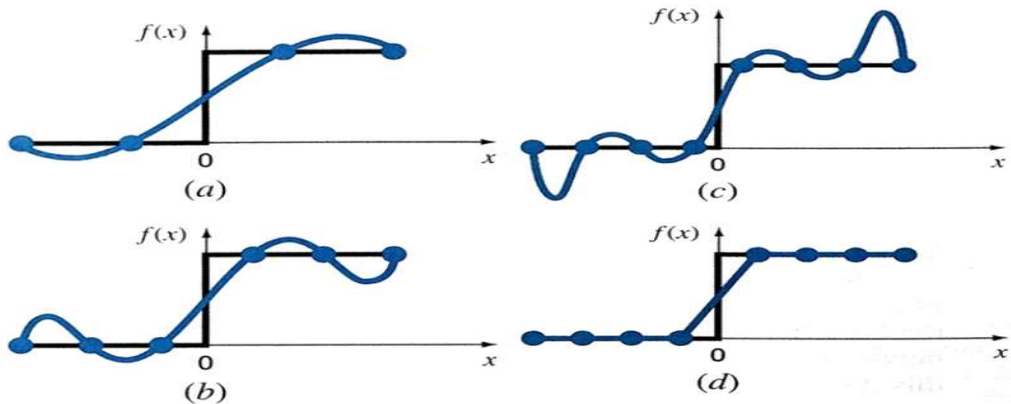


Fig. 3. Compare of Original function $f(x)$ and Estimated function

이러한 스플라인 보간법은 각 구간별 스플라인 함수 $s_i(x)$ 를 구하고 원하는 값이 존재하는 구간의 스플라인 함수에 x 를 대입하면 값을 구할 수 있으며 스플라인 함수의 각 계수를 구하는 식은 식 (2-15)부터 (2-19)에 나와 있다.

$$s_i(x) = f_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3 \quad (2-14)$$

$$f_i = a_i \quad (2-15)$$

$$h_i = x_{i+1} - x_i \quad (2-16)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ h_1 & 2(h_1+h_2) & h_2 & 0 \\ 0 & h_2 & 2(h_2+h_3) & h_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3(f[x_3, x_2] - f[x_2, x_1]) \\ 3(f[x_4, x_3] - f[x_3, x_2]) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2-17)$$

$$b_i = \frac{f_{i+1} - f_i}{h_i} - \frac{h_i}{3}(2c_i + c_{i+1}) \quad (2-18)$$

$$d_i = \frac{c_{i+1} - c_i}{3h_i} \quad (2-19)$$

제 3 장 양봉 모니터링 시스템 모델 설계 및 구축

3.1 양봉 모니터링 시스템 모델

3.1.1 스마트 양봉 필요성

꿀벌은 양봉산물을 생산하는 역할을 함과 동시에 농작물의 수분활동에 주도적으로 관여하고 있다. 하지만 최근 봉군붕괴현상으로 불리는 현상이 미국에서 시작되어 유럽 등지에서 꿀벌 감소에 결정적인 원인이 되었고, 국내에서도 다양한 꿀벌질병이 문제가 되고 있는 상황이다. 이에 따라 꿀벌질병 정밀진단법과 치료제 개발에 대한 중요성이 부각되어 꾸준한 연구와 투자가 이루어지고 있는 상황이다. 그러나 일선 양봉현장에서는 발병억제를 위한 환경조절이나 병적 징후를 모니터링 할 수 있는 장비나 이를 통해 꿀벌 질병을 제어할 수 있는 체계는 없는 실정이다. 그러므로 본 논문에서는 꿀벌의 질병감시를 통한 조기 대응 체계를 제시할 수 있도록 꿀벌 벌통 내부의 환경인자들(온도, 습도, 무게, CO₂, 소음 등)을 센서를 통해 실시간으로 측정하고, 특정한 상황이 발생하였을 때 알림을 통해 이를 양봉농가에 통보하여 신속한 대응을 할 수 있도록 양봉 모니터링 시스템을 설계하였다.

3.1.2 꿀벌 생육에 필요한 환경 요소

(1) 온습도 환경 요소와 센서

온도와 습도 환경변수는 꿀벌의 생육환경에 중요한 영향을 미칠 것으로 판단되며, 그 데이터는 타 센서 값의 기준 보정 값으로도 사용될 수 있다. 양봉 모니터링 시스템에서 사용하기 위해 선정된 센서는 다음 Fig. 4와 같다.

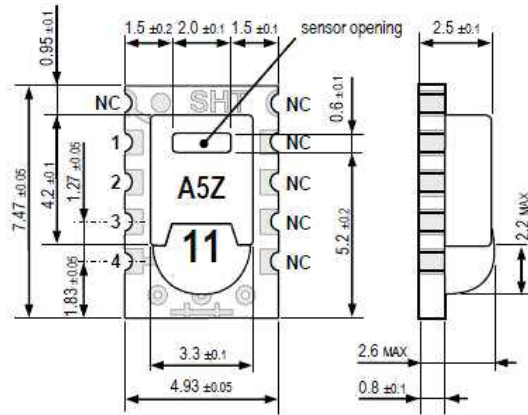
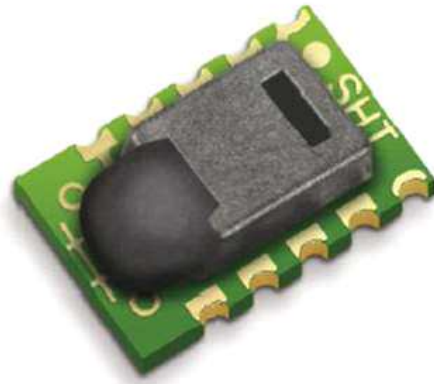


Fig. 4 Selected Temperature and Humidity Sensor

양봉 모니터링 시스템에서 최종으로 선정된 온습도 센서는 센시리온社의 SHT-11 센서다. 이 센서는 측정 오차가 작고, 측정 오차를 무시할 수 있는 I2C(Inter Integrated Circuit) 통신 방식을 사용한다. MCU는 센서 내부의 보정값과 측정값을 읽어 계산식을 통해 온도 및 습도값을 도출 한다. Fig. 5는 센서 제작 회사에서 제공하는 계산식의 일부이다.

$$RH_{true} = (T_{\circ C} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

SO _{RH}	t ₁	t ₂
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Fig. 5 Formula of Temperature and Humidity Sensor

(2) 벌통 무게 환경 요소와 센서

무게 환경 요소는 꿀벌의 성장과정에서 꿀의 수확 및 먹이의 소모 여부, 봉군의 세력 등을 가늠하는 측정변화량으로 사용된다. 무게센서는 load cell 센서 (AND, 한국)를 선정하였다. 센서의 외형은 Fig. 6과 같고 센서의 핵심인 load cell은 중앙에 설치된다.



Fig. 6 Selected Weight Sensor

(3) 이산화탄소 환경 요소와 센서

벌통에서 측정되는 이산화탄소 환경 요소는 꿀벌의 호흡에 의해 발생하는 것 뿐만 아니라 병해충의 부패과정에서 생성되는 것도 포함되어 있어 이를 실시간으로 측정하여 꿀벌 생육정보로 사용될 수 있다. 양봉 모니터링 시스템에서는 COZIR wide range CO₂ sensor (SST Sensing, UK)를 사용하였다(Fig. 7). 선정된 이산화탄소 센서는 UART통신 인터페이스를 통하여 측정값을 읽어 들인다.

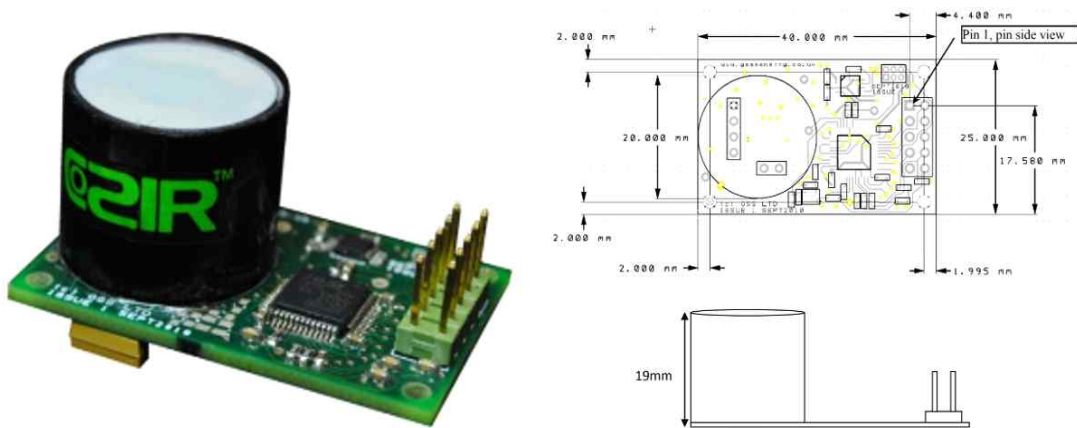


Fig. 7. Selected CO₂ Sensor

(4) 소음 환경 요소와 센서

소음 환경 요소는 외부 해충의 접근이나 기타 여러 가지 상황에서 대한 꿀벌들의 반응에 의해 발생하는 소음을 측정하여 간접적으로 그 행동원인을 측정 및 판단하기 위한 요소로 사용된다. 소음센서는 Grove - Loudness 센서(seeed studio, 중국)를 채택하였다(Fig. 8).



Item	Min	Typical	Max	Unit
Voltage	3.5	5.0	10	VDC
Working Frequency	50	-	20,000	HZ
Sensitivity	-48	-	66	dB
Signal-to-noise Ratio	>58			dB
Output Signal range	Digital Signal (0-1023)			/

Fig. 8 Selected Noise Sensor

3.1.3 양봉 모니터링 시스템 모델 설계

USN 기반의 양봉 모니터링 시스템은 벌통 내부에 설치된 센서로부터 수집된 데이터를 무선 통신 기술을 통해 서버에 저장하고, 사용자는 서버에 접속하여 벌통의 생육환경을 원격으로 파악 가능한 시스템이다. 본 연구에서는 USN 기술을 벌통에 접목하고 DB에 저장하여 활용함으로써, 벌통의 생육환경요소가 꿀벌에 미치는 영향을 바탕으로 더 효율적으로 꿀벌 생육환경을 관리하기 위해 각종 센서와 USN 기술을 이용해서 최적의 꿀벌 생육환경을 유지함과 동시에 이를 위한 노동력 및 노동시간과 그 비용을 절약하기 위해 다음과 같은 양봉 모니터링 시스템 모델을 설계하였다.

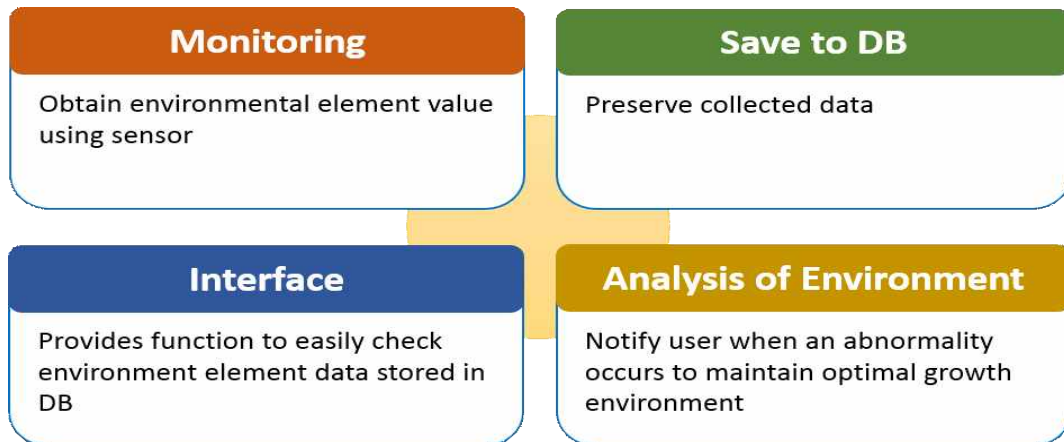


Fig. 9. Beekeeping Monitoring System Model

Fig. 9는 양봉 모니터링 시스템 모델을 나타내고 이는 4개 부분으로 구성된다. 첫째는 모니터링이다. 벌통 내부의 꿀벌의 환경 요소 정보를 획득하기 위한 USN 기반 설계를 필요로 하고, 센서를 통해 환경요소(온도, 습도, 무게, CO₂, 소음) 값을 획득한다. 둘째 DB관리이다. 모니터링을 통해 수집된 데이터를 안전하고 신뢰성 있게 보존하기 위해서는 DB 서버가 필요하다. 셋째는 인터페이스이다. DB에 저장된 환경요소 데이터를 사용자가 쉽게 확인하고 필요한 데이터를 찾아볼 수 있는 기능을 제공 한다. 넷째 생육환경 분석 프로그램이다. 최적의 꿀벌 생육상태를 유지하기 위해 벌통에 이상신호가 발생하였을 시 이를 사용자에게 즉시 통보하여 신속하고 적절한 조치를 취하여야 한다. 이와 별도로 양봉 모니터링 시스템은 센서를 사용한 데이터 수집 시 물리적 센서로부터 추출된 데이터의 실제 데이터와의 오차율을 $\pm 5\%$ 이내로 하며, 인터페이스를 통하지 않아도 현장에서 LCD 혹은 LED 표시장치를 통해 명확하게 확인할 수 있어야한다. 그리고 양봉 환경의 특성상 전기설비가 없이 배터리를 통한 전원공급이 될 경우를 고려하여 저전력으로 동작할 수 있도록 설계해야 한다. 이를 바탕으로 설계한 양봉 모니터링 시스템의 전체 구조도는 Fig. 10에 나타나 있다.

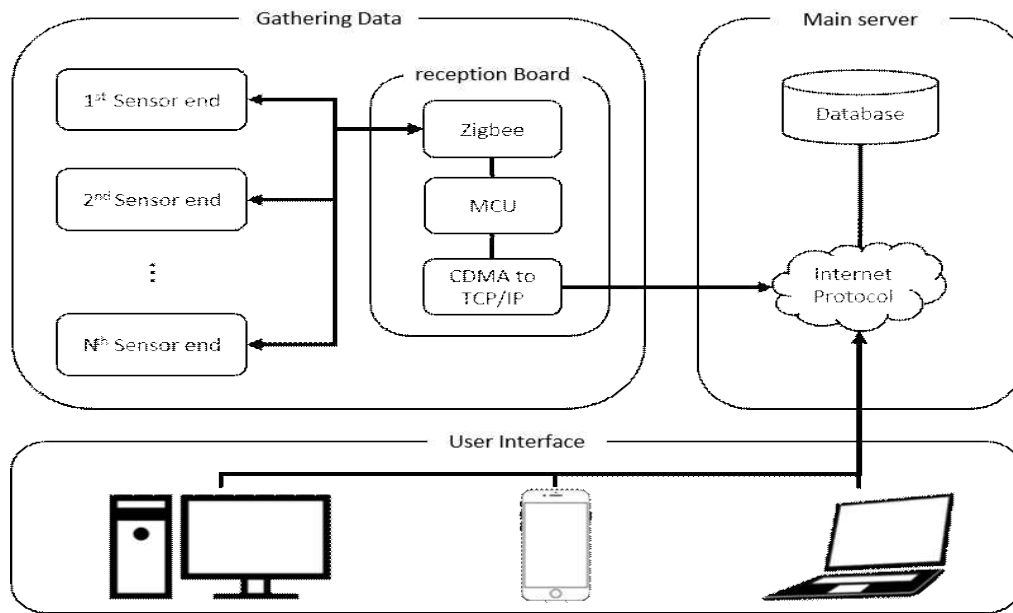


Fig. 10. Block Diagram of Beekeeping Monitoring System

각종 센서들이 측정한 환경요소 데이터가 데이터 수집 장치를 통하여 수집되고, 데이터 수집 장치는 이를 TCP/IP 통신 프로토콜을 통해 서버의 DB에 저장한다. 사용자는 인터페이스를 거쳐 TCP/IP 통신 프로토콜을 통해 서버의 DB에 접속하여 사용자가 원하는 작업을 수행하거나 필요한 처리를 수행할 수 있다. 즉, 양봉 모니터링 시스템은 꿀벌의 생육환경을 측정하기 위한 센서 기능과 측정된 데이터를 서버로 전송하는 통신 기능을 포함한 데이터 수집부, 데이터 수집부에서 TCP/IP 통신 프로토콜을 통해 전송되는 데이터를 DB에 저장하는 서버부, 사용자가 서버의 DB에 접속하여 수집된 데이터를 확인할 수 있는 사용자 인터페이스 부로 구성된다. 특히 서버부에서는 DB로 전달되어 저장되는 값 중에서 이상신호가 포착되면 사용자에게 즉시 알람을 보내주는 알람모듈을 포함한다.

3.2 양봉 모니터링 시스템 세부 구성 및 설계

3.2.1 데이터 수집부

데이터 수집부는 센서의 전원공급 및 제어를 담당하는 센서보드와 수집된 데이터를 서버부로 전송하는 통신보드로 구성된다. 센서보드와 통신보드가 분리된 이유는 별통 내부에 위치해야 하는 센서보드의 특성상 공간상의 제약 문제를 해결함과 동시에 다수의 센서보드와 하나의 통신보드를 통한 N:1 통신방법을 사용하여 효율적인 데이터 전송 및 비용절감을 위함이다.

센서보드에는 센서를 제어하기 위한 MCU와 센서의 전원공급을 위한 전원공급장치를 포함하고 있으며 통신보드와의 N:1 무선통신을 위한 ZigBee 송신 모듈로 구성된다. 통신보드는 여러 개의 센서보드에서 수집된 데이터를 ZigBee 기술을 사용한 무선통신을 통해 수신 받고, 다시 TCP/IP 통신 프로토콜을 사용하여 서버부로 송신한다.

(1) 데이터 수집을 위한 센서보드

센서보드는 센서에 대한 전원공급 및 ZigBee 무선통신모듈에 대한 전원공급을 고려하여 12V 단일전원을 사용하기 위한 전원 회로로 설계하였다. 전원부 발열에 의한 꿀벌 생활환경에 대한 영향과 온도 센서 측정값에 대한 영향을 최소화하기 위하여 발열이 심한 전원부품은 최대한 배제하였고, 온도센서와의 적당한 공간적 이격을 두었다. 검토 및 선정이 완료된 센서는 온습도센서 (SHT-11), 이산화탄소센서 (COZIR-WX5), 음량소리센서 (TE02281PSEN)를 기본 구성으로 하고, 무게 센서는 별통 하단에 위치해야 함으로 인해 센서보드와 포트를 통해 연결되도록 하였다. 또한 센서를 통해 수집된 데이터는 먼저 ZigBee 모듈을 통해 무선통신을 통해 통신보드로 전송되도록 하였다. MCU는 아날로그 센서의 ADC, ZigBee 모듈 및 시리얼통신 타입 센서 호환을 위한 UART, 온습도 센서의 2-wire Serial Interface 통신을 위한 GPIO 등의 구성을 연결할 수 있도록 ATmega128 MCU를 사용하였다.

센서보드는 소형화 보다는 센서 간 간섭이 최소화 하도록 넓은 면적에 분산

배치하였으며, 향후 센서가 추가될 수 있도록 여유 공간을 두었다. 시스템에서 사용한 센서보드 회로도는 Fig. 11부터 Fig. 14까지 나타나 있다.

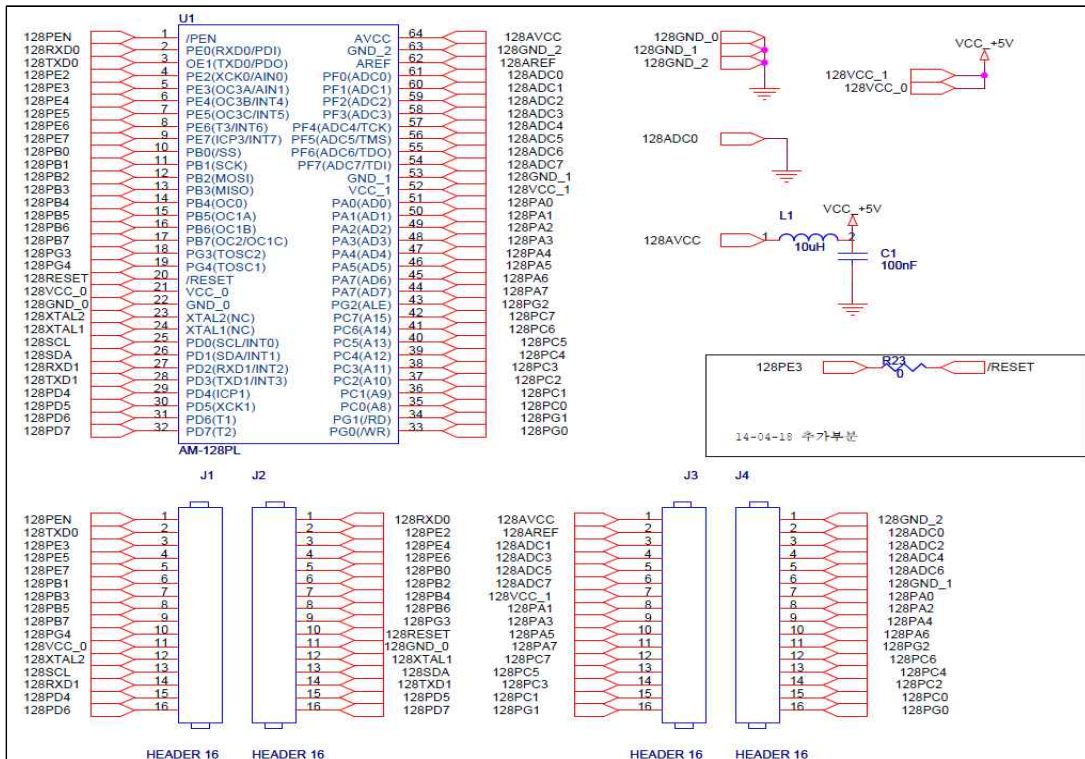


Fig. 11. MCU Circuit Diagram

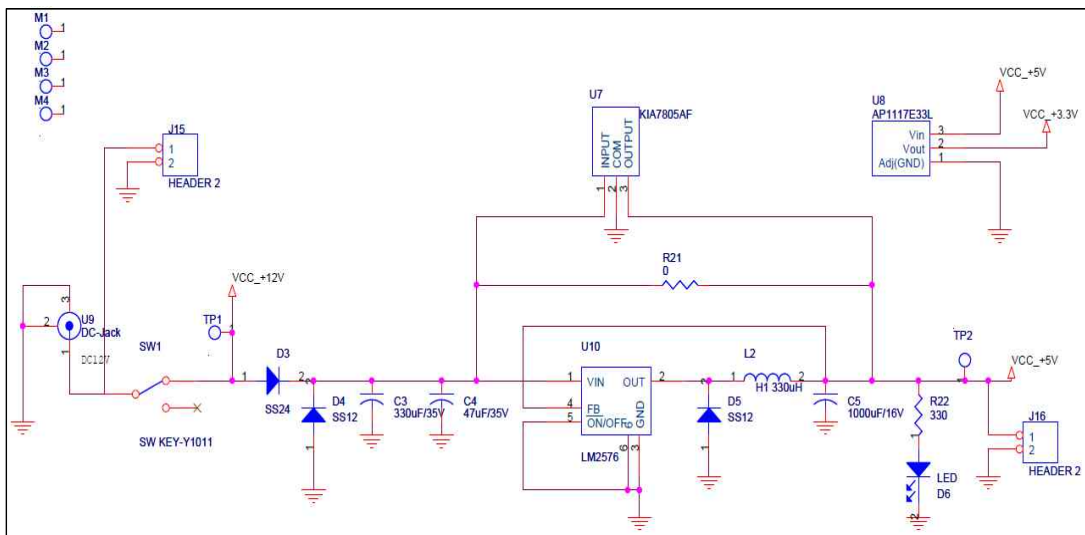


Fig. 12. Power Circuit Diagram of Sensor Board

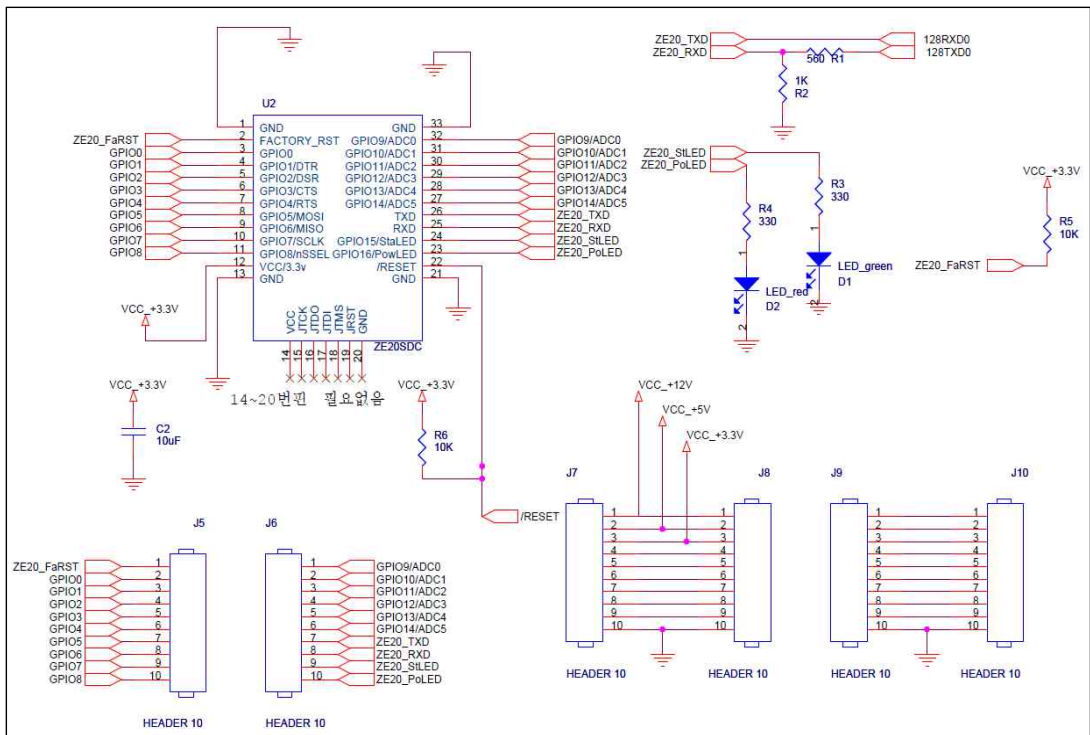


Fig. 13. Communication Circuit Diagram

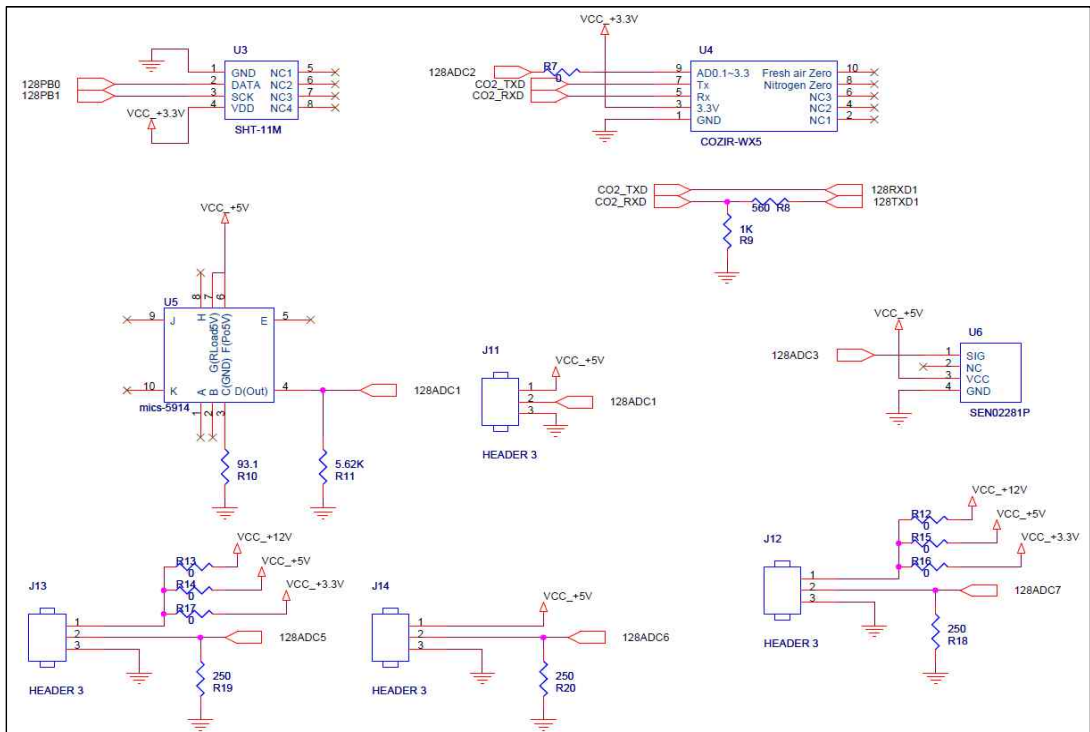


Fig. 14. Sensor Interface Circuit Diagram

별통 내부 생육환경 정보 수집을 위해서는 센서보드가 별통 안쪽에 설치되어야 하므로 센서보드의 별통 내부 설치를 위한 설치 판넬도 개발하였다. 센서보드를 보호함과 동시에 별통 내부에 손쉽게 설치할 수 있어야 하기 때문에 최종적인 센서보드는 별통에 설치되는 소비와 동일한 크기와 모양을 가진다. 이에 따른 센서보드 판넬 설계도면은 다음 Fig. 15와 같다.

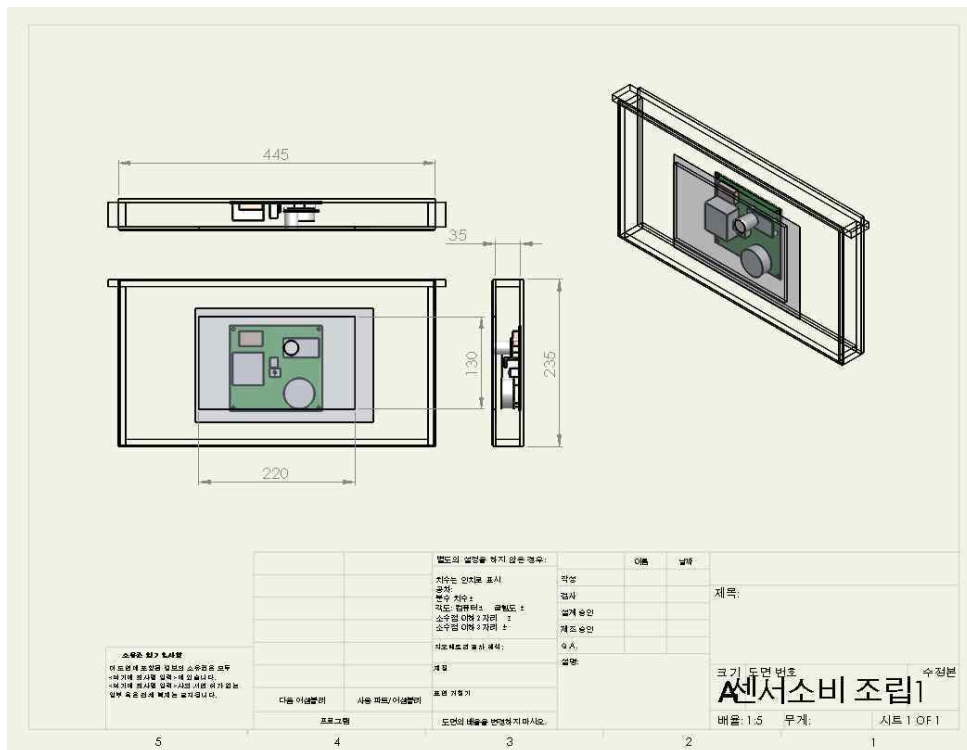


Fig. 15. Sensor Board Panel Layout

센서보드 설치 판넬은 센서보드에 탑재된 센서를 보호해 줌은 물론, 별통 내부 설치가 용이하도록 설계하였다. 본 연구에서의 센서보드 설치 판넬은 별통 내부 설치의 편의성을 위해 별통 내부 소비와 같은 형태로 외형을 설계하였으며, 센서보드 전면에는 망을 설치하여 꿀벌의 접근을 방지하였고 제작한 센서보드 설치 판넬의 모습은 Fig. 16과 같다.

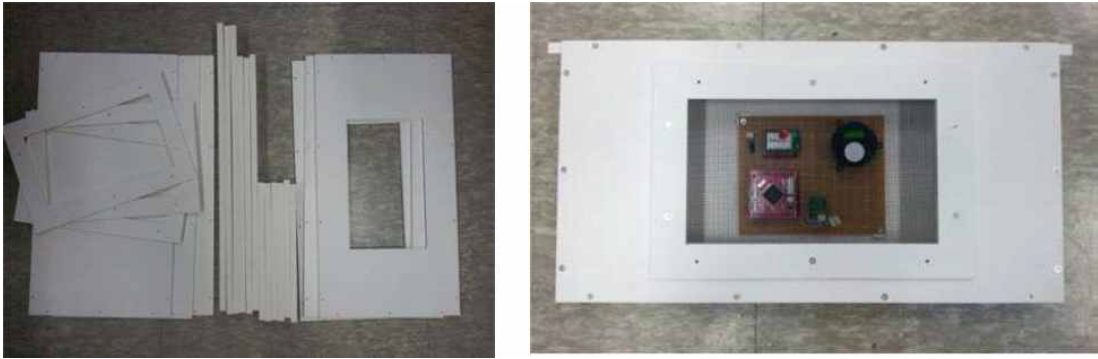


Fig. 16. Processed Panel Material(Left), Assembled Sensor Board Panel(Right)

센서의 하우징 조립시 센서보호 철장을 잡아주기 위한 가이드 부분이 두께만큼 외부로 돌출되도록 되어 있었으나, 소비들이 밀집한 경우 꿀벌 이동에 장애를 줄 수 있어서 Fig. 17과 같이 철망 가이드를 내부로 조립하는 방식으로 변경하는 것으로 최종적인 판넬 형태를 제작하였다.

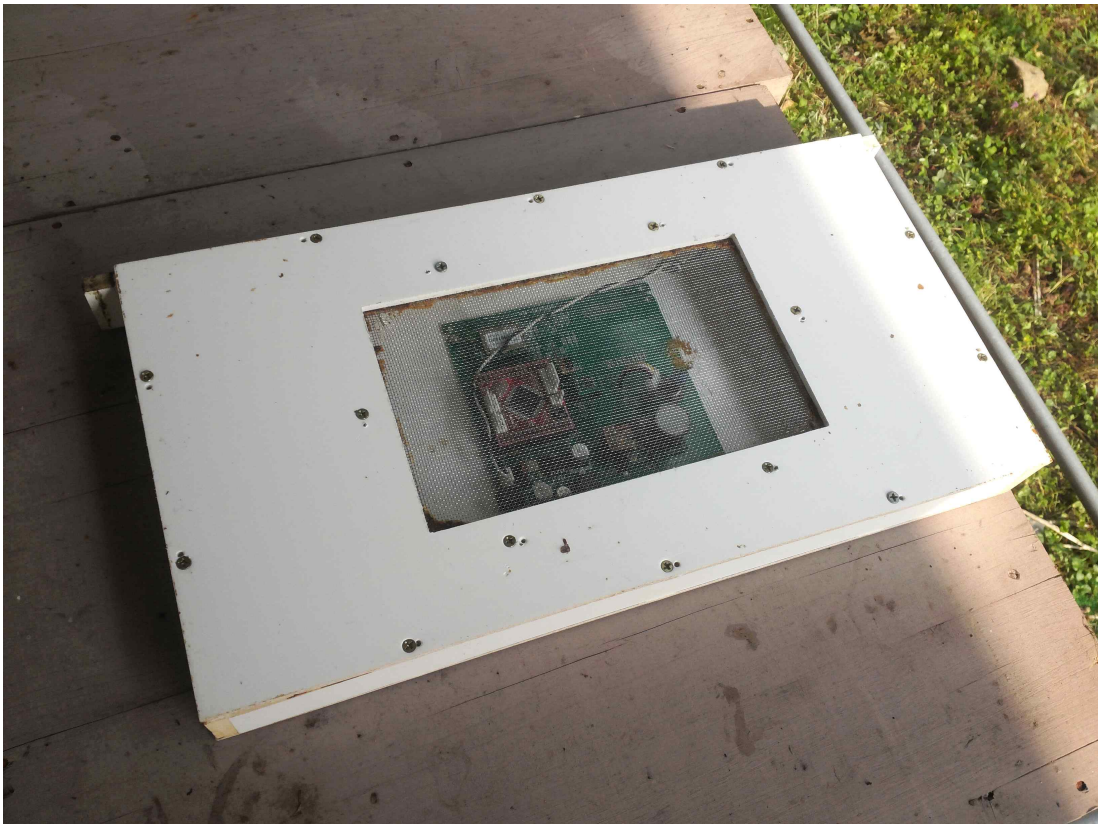


Fig. 17. Installation Panel

(2) 데이터 전송을 위한 통신보드

양봉 모니터링 시스템에서 데이터 수집부는 센서를 통해 데이터를 수집하는 센서보드와 여러 개의 센서보드에서 수집된 데이터를 ZigBee 통신 기술을 통해 수신 받은 후 TCP/IP 통신 프로토콜을 통해 서버부로 송신하는 통신보드로 구분된다. 이렇게 데이터 수집부를 센서보드와 통신보드로 구분한 이유는 다수의 센서보드에 하나의 통신보드를 매칭할 수 있는 N:1 통신을 통해 통신 효율을 높이고 비용을 절감하기 위함이고, 또 다른 이유로는 센서보드의 크기가 별통 내부에 설치되어야 하기 때문에 통신 모듈을 별도의 보드로 분리함으로써 센서보드 설치가 용이하도록 하기 위함이다.

본 논문에서 구성된 센서보드는 주요 기능 처리 및 수행을 위한 ATMEGA2560 8-bit MCU 모듈과 센서보드 상태 메시지 출력을 위한 CLCD420-B LCD Display 모듈, TCP/IP 통신 프로토콜을 통해 서버부의 DB로 데이터를 송신하기 위한 CDMA 모듈, 다수의 센서보드로부터 수집된 데이터를 수신받기 위한 N:1 ZigBee 통신 모듈로 구성되며 다음 Fig. 18에 나타나 있다.

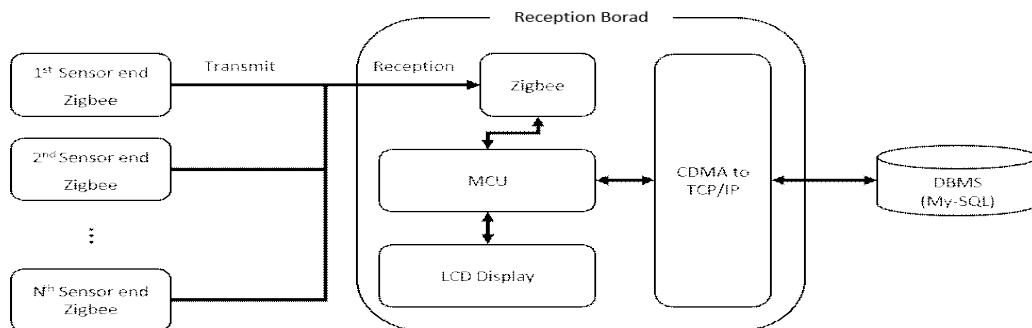


Fig. 18. Block Diagram of Communication Board

3.2.2 서버부

양봉 모니터링 시스템의 서버부는 TCP/IP 통신 프로토콜을 통해 데이터 수집부의 통신보드에서 전송된 데이터를 저장하는 물리적인 DB와 사용자 인터페이스를 통해 DB 접근을 제어하기 위한 DBMS로 구성된다. DB 관리를 위한 DB 테이블 명세서는 다음 Table 2에 나타나 있다.

Table 2 Table Specification

Num	Table name	Explanation
1	tb_sensing_data	Accumulation of monitoring value of sensor
2	tb_sensing_hive	Beehive ID code management
3	tb_sensong_sensor	Sensor ID code management
4	tb_sensing_site	Bee Farm ID code management

tb_sensing_data 테이블은 벌통내부의 각종 센서에 대하여 센싱된 값을 누적하며, tb_sensing_hive 테이블은 벌통아이디코드 및 벌통명칭을 등록 관리한다. tb_sensing_sensor 테이블은 센서의 종류를 등록 관리하며, tb_sensong_site 테이블은 양봉장아이디코드 및 양봉장명칭을 등록 관리하고 테이블별 상세 기술은 다음 Table 3부터 Table 6까지 나타나 있다.

Table 3 Table of tb_sensing_data

Table name : tb_sensing_data			
Num	column name	Explanation	Type
1	id	Data accumulation order	bigint(20)
2	sensor_date	Data accumulation date and time	datetime
3	site_id	Bee Farm ID code	char(4)
4	hive_id	Beehive ID code	char(4)
5	sensor_id	Sensor ID code	int(11)
6	sensor_data	Data value	double
7	probee_id	Wireless communication equipment ID	char(4)

Table 4 Table of tb_sensing_hive

Table name : tb_sensing_hive			
Num	column name	Explanation	Type
1	hive_id	Beehive ID code	char(4)
2	site_id	Bee Farm ID code	char(4)
3	probee_id	Wireless communication equipment ID	char(4)
4	hive_name	Name of beehive	varchar(50)
5	hive_used	Whether to use beehive	char(1)
6	hive_order	The sort order of beehive	int(11)

Table 5 Table of tb_sensing_sensor

Table name : tb_sensing_sensor			
Num	column name	Explanation	Type
1	sensor_id	Sensor ID	char(4)
2	sensor_name	Name of sensor	varchar(50)

Table 6 Table of tb_sensing_site

Table name : tb_sensing_site			
Num	column name	Explanation	Type
1	site_id	Bee Farm ID code	char(4)
2	site_name	Name of Bee Farm	char(4)
3	site_period	Data transfer cycle	int(11)
4	site_plustm	Data accumulation cycle	int(11)
5	site_used	Whether to use Bee Farm	char(1)
6	site_order	The sort order of Bee Farm	int(11)

다음 Fig. 19는 DB관리를 위한 DBMS를 중심으로 서버부를 나타낸 그림이다.

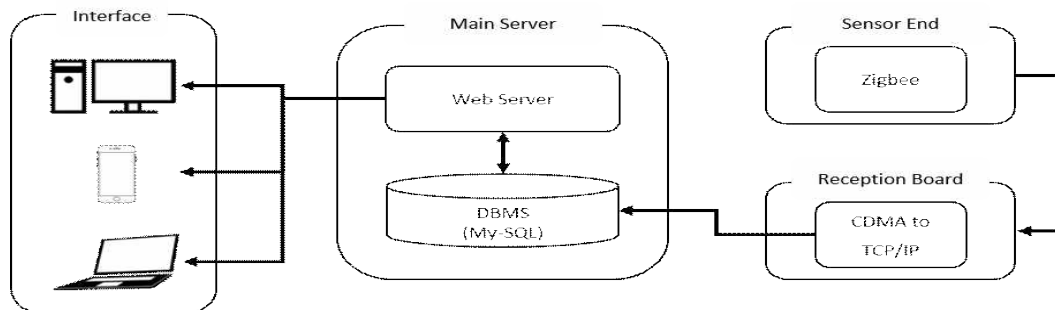


Fig. 19. Block Diagram of Server Section

센서보드에서 수집된 벌통의 생육환경 데이터는 DBMS에 저장되어 관리되고, DBMS는 트리거를 통해 이벤트 발생 시 푸시서버로 알람을 전달하거나 웹서버를 통해 사용자들이 DB로 접근할 수 있는 인터페이스를 제공한다. 사용자들은 웹서버 기반 양봉 모니터링 시스템을 통해 언제 어디서든지 센서가 설치된 곳 벌통 내부의 환경요소 데이터를 모니터링 할 수 있다.

3.2.3 인터페이스부

인터페이스부는 웹서버 기반의 DB에 저장된 벌통 내부 환경요소 데이터를 확인하고 관리하는 기능을 제공한다. 이를 위해 HTTP 프로토콜을 통해 DB에 접속할 수 있도록 웹서버 기반의 모니터링 상태 페이지를 지원하며, 사용자 및 접속자 관리를 위한 로그인 기능도 지원한다. 또한, 현재 센서보드에서 수집되는 데이터를 실시간으로 모니터링 가능한 페이지, 단일 환경요소 데이터를 분석할 수 있는 차트 기능, 여러 가지 환경요소 값을 비교해서 보여줄 수 있는 차트 기능 또한 지원한다. 마지막으로 PC, 휴대폰, 태블릿 등 접속 플랫폼에 상관없이 웹서버에 접속할 수 있다. 다음 Fig. 20은 인터페이스부 구성도 예시를 보여준다.

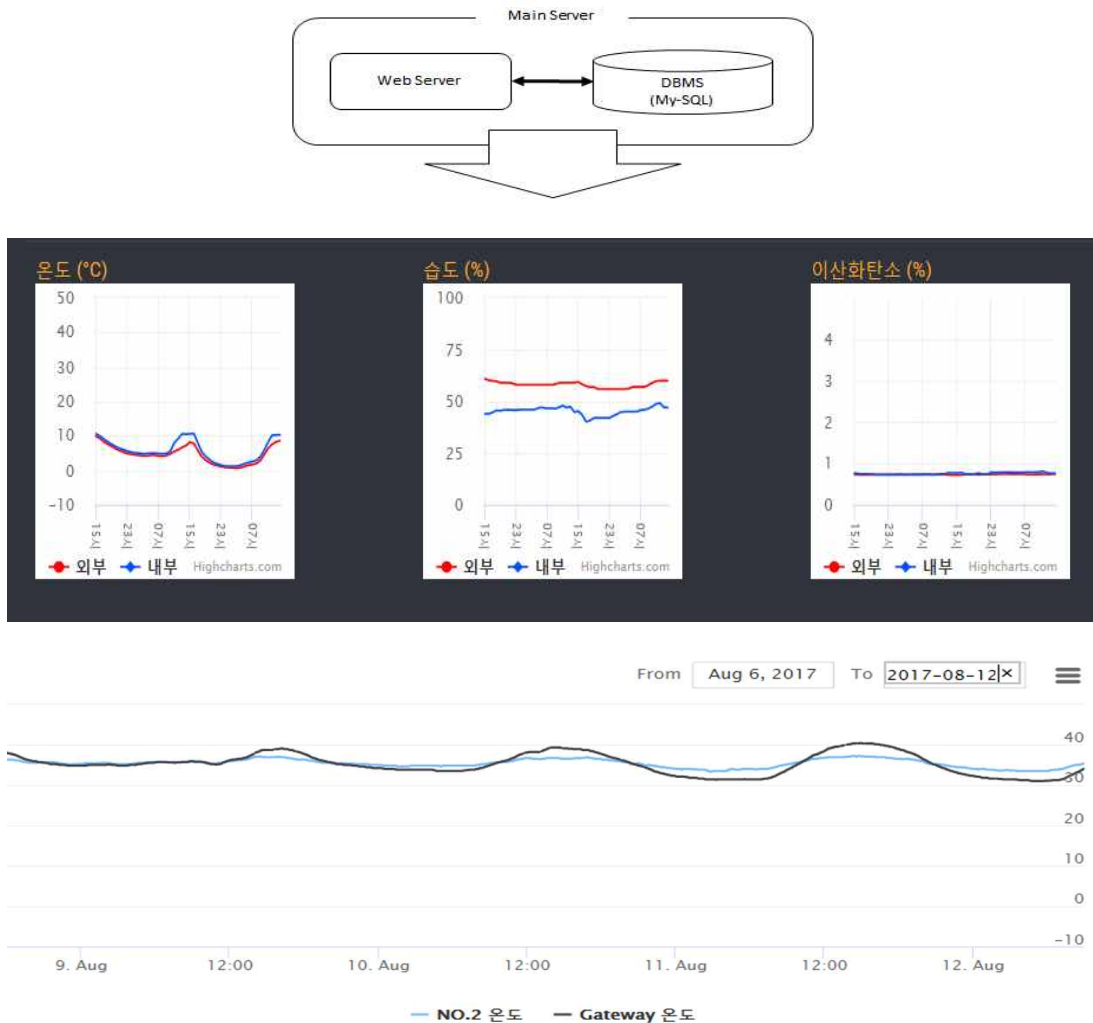


Fig. 20. Block Diagram of Interface Section

3.3 양봉 모니터링 시스템 구축 및 실험

설계한 시스템을 실험하기 위해 제주대학교 학내 양봉장에 다음 그림과 같이 양봉 모니터링 시스템을 구축하고 실험을 하였다.



Fig. 21. Beehive with Sensor Board(Left),
Installed Communication Board(Right)

제주대학교 양봉장에 구축된 스마트 양봉 시스템에서 수집된 데이터는 다음 그림과 같다. Fig. 22는 벌통 별로 측정된 환경요인을 그래프로 나타낸 것으로 하나의 벌통마다 소비 형태로 제작된 내부 센서와 센서보드로 제작된 외부센서가 있어 내·외부의 환경요인을 동시에 보여주고 있다. 그래프 상에서 푸른색으로 표시된 부분은 내부 환경요인을 나타내고 있으며 붉은색으로 표시된 부분은 외부 환경요인을 나타내고 있다. Fig. 23은 설정된 기간 동안에 수집된 센서 데이터 정보를 나타낸 것으로 이 그래프를 통해 벌통 1개의 좀 더 상세한 데이터를 얻을 수 있다. 이와 같이 수집된 측정 결과는 실제 환경을 잘 반영하고 있다.



Fig. 22. Monitoring Result

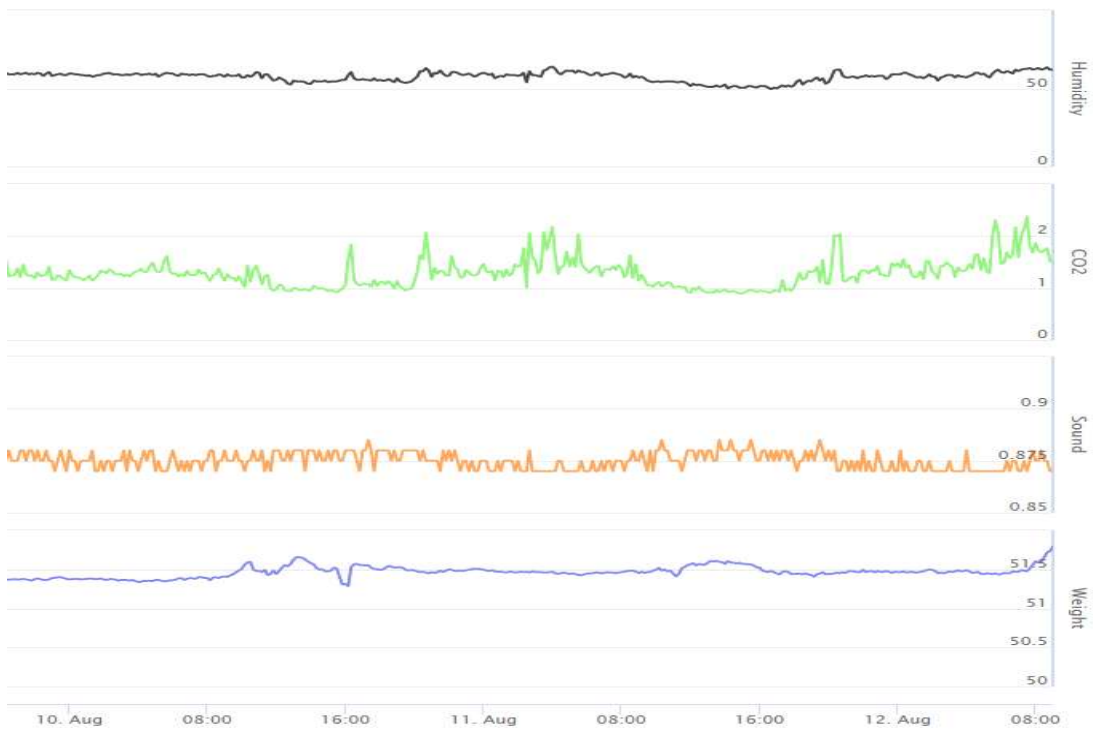


Fig. 23. Measurement Result During the Setup Period

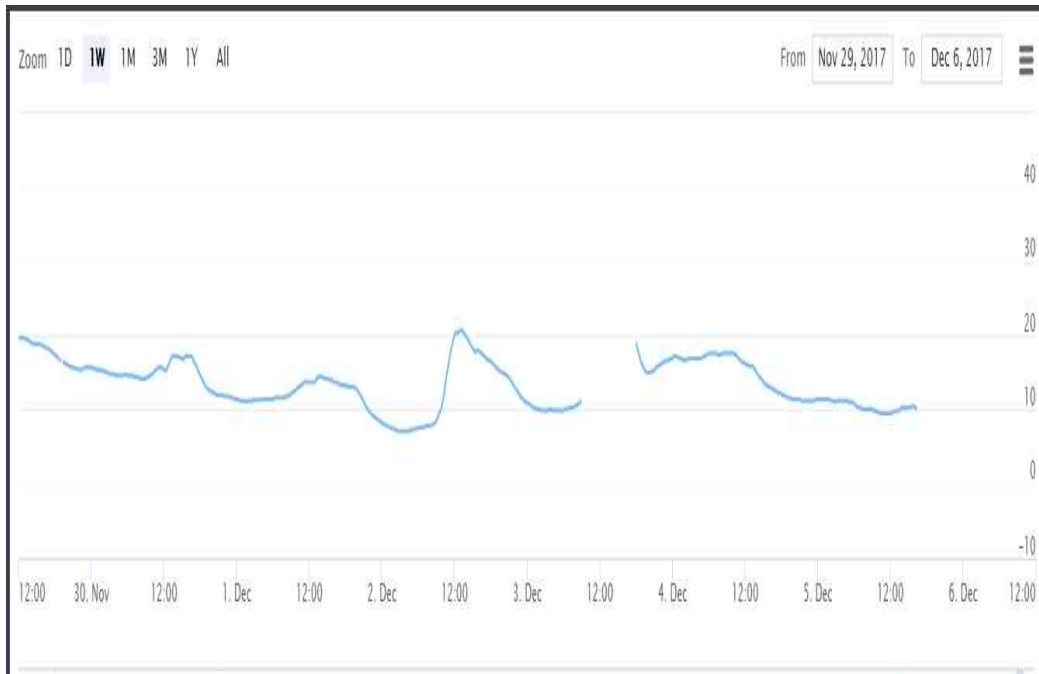


Fig. 24. Data Loss

그러나 몇몇 데이터 구간에서 Fig. 24와 같은 데이터 이상이 발견되었으며, 이 문제는 센서보드의 전원공급 문제, 통신보드의 통신오류 문제 및 전원공급 문제가 복합적으로 나타난 것으로 분석되었다. 따라서 최적의 꿀벌 생육환경을 유지하기 위해서는 이와 같이 누락되는 데이터를 보정할 수 있는 방법이 필요하다.

제 4 장 수집 데이터 정밀도 향상을 위한 연구

4.1 기존 데이터 분석

꿀벌 벌통 내부에서 측정되는 환경인자는 온도, 습도, 무게, CO₂, 소음으로 측정데이터는 웹서버에서 확인할 수 있으며 각각의 인자들은 센서의 측정 불안정 및 무의미한 데이터를 필터링하기 위해 센서의 값을 여러번 측정하여 측정값의 최고값, 최저값, 평균값을 볼 수 있으며 Fig. 25에 나타나있다.

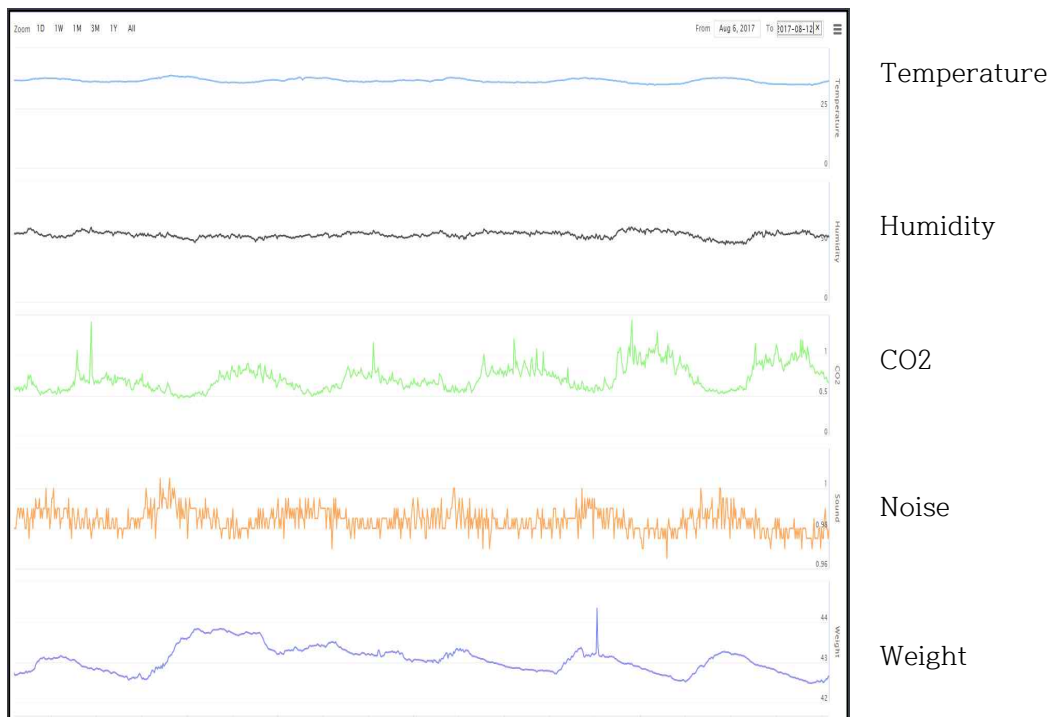


Fig. 25. Environmental Factors Measured Inside the Beehive

Fig. 25는 벌통 1개를 대상으로 측정되는 온도, 습도, 무게, CO₂, 소음 각 환경인자들을 그래프로 나타낸 것이며 각 환경요인을 분석함으로써 봉군세력 정도를 판단할 수 있는 데이터로 사용된다.

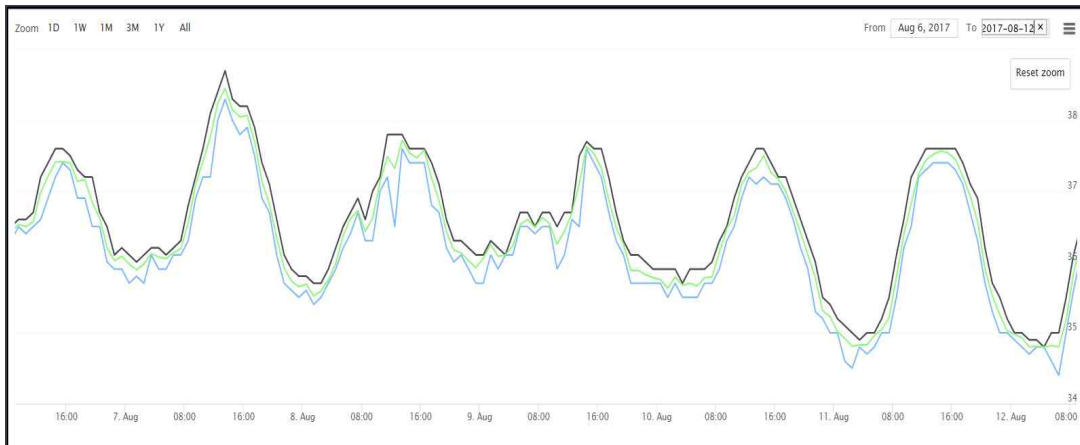


Fig. 26. Measurement Result Graph for One Factor

Fig. 26은 4번 별통의 온도인자만을 나타낸 그래프로 총 3가지의 그래프를 볼 수 있는데 여기서 검은색 그래프는 측정 온도의 최고값, 파란색 그래프는 최저값, 초록색 그래프는 평균값을 의미한다. 이 데이터 중 평균값은 센서의 측정 불안정, 무의미한 데이터를 필터링한 데이터이므로 데이터 분석을 위해 평균값 데이터만을 대상으로 하였다.

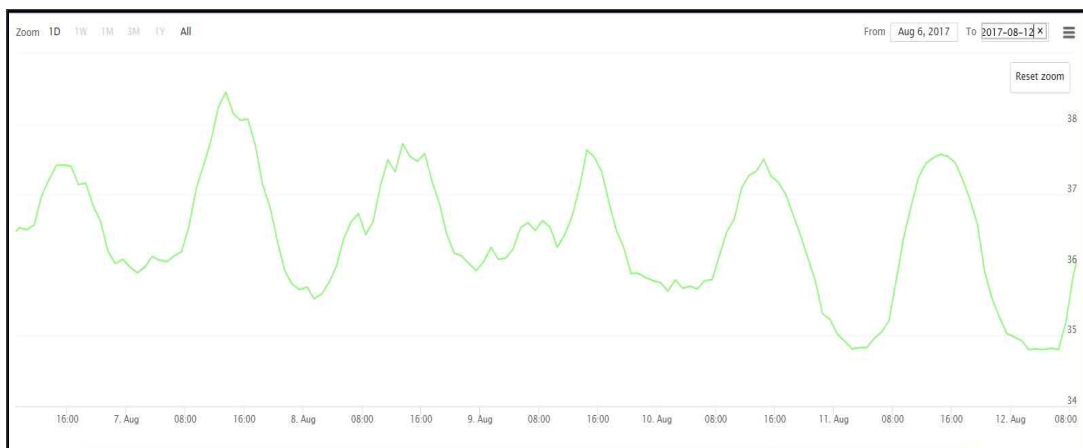


Fig. 27. Graph Showing Average value

4.2 누락 데이터 분석

앞서 측정 한 온·습도, 이산화탄소, 소음, 무게 데이터들은 어떠한 내·외부적 요인에 의해 네트워크 기술에 장애가 발생하면 센서로 측정 한 값이 누락되는 문제를 야기한다. 이와 같은 데이터 누락 문제는 특히 유선보다는 무선 네트워크에서 발생하는데 원인은 네트워크를 구성하는 장비들이 눈, 비 등의 자연 피해를 받아 생기는 외부 환경요인과, 네트워크를 구성하는 센서 노드, 센서 엔드 등에 배터리 소모문제로 전원이 공급되지 않아 통신이 불가능한 경우와 wifi, bluetooth의 통신 가능 거리의 한계와 같은 하드웨어적인 문제가 있다. 이러한 문제가 발생하면 기존의 데이터를 받는데 문제가 생기게 되고 결과적으로 Fig. 29와 같은 결과를 얻게 될 수도 있다. Fig. 29의 원본데이터는 Fig. 28이며 누락된 데이터 분석을 위해 데이터가 누락된 경우를 가정하였고 값을 정리하면 Table 8과 같다.

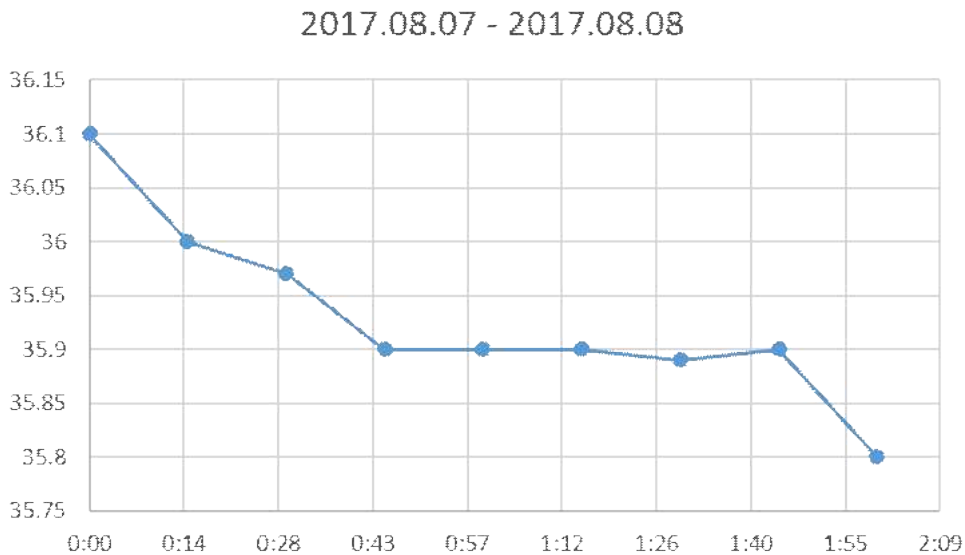


Fig. 28. Original Data

Table 7 Original Data Table

	0	1	2	3	4
$x(\text{time})$	00:00	00:15	00:30	00:45	01:00
$y(\text{temperature})$	36.10°C	36.00°C	35.97°C	35.90°C	35.90°C
	5	6	7	8	
$x(\text{time})$	01:15	01:30	01:45	02:00	
$y(\text{temperature})$	35.90°C	35.89°C	35.90°C	35.80°C	

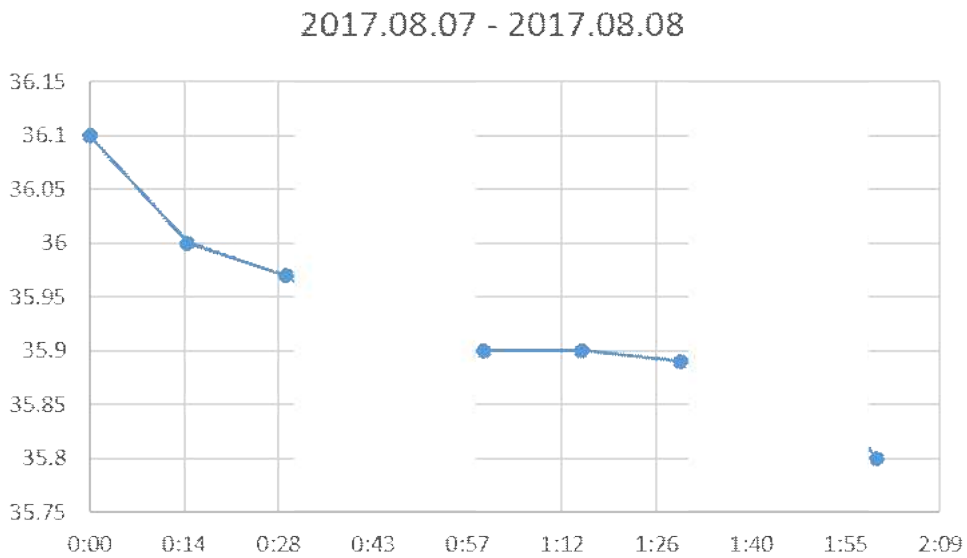


Fig. 29. Data Loss

Table 8. Data Loss Table

	0	1	2	3	4
$x(\text{time})$	00:00	00:15	00:30	/	01:00
$y(\text{temperature})$	36.10°C	36.00°C	35.97°C		35.90°C
	5	6	7	8	
$x(\text{time})$	01:15	01:30	/	02:00	
$y(\text{temperature})$	35.90°C	35.89°C		35.80°C	

Table 8을 바탕으로 누락된 데이터 00:45에서의 온도와 01:45에서의 온도를 뉴턴 보간법, 라그랑주 보간법, 스플라인 보간법을 사용하여 보간했고 시스템에 적합한 보간법 적용을 위해 각각의 데이터를 원본데이터와 비교하였다.

(1) 뉴턴 보간법 이용

뉴턴 보간법을 이용하여 00:45, 01:45에서의 누락된 온도데이터를 보간하면 Fig. 30과 같은 그래프를 얻을 수 있다.

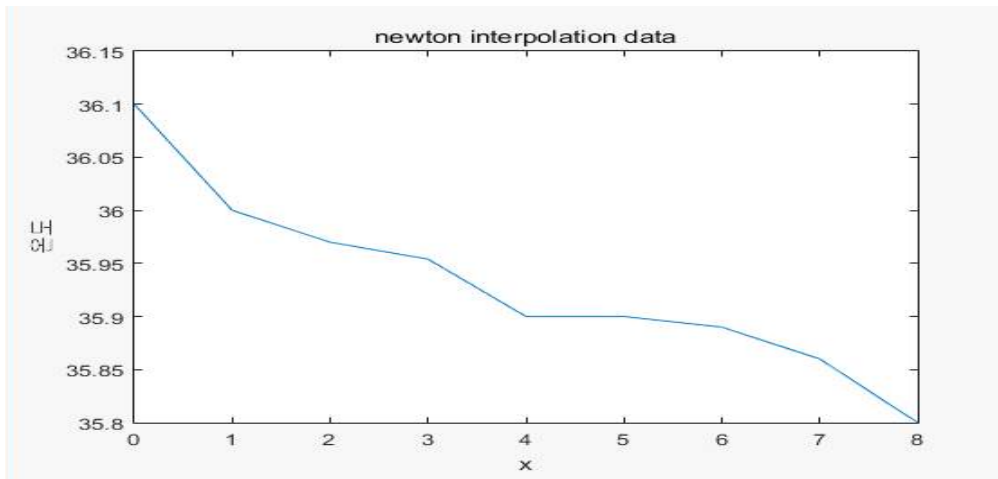


Fig. 30. Using Newton Interpolation Method

이 데이터를 원본데이터와 비교하면 Fig. 31과 같으며 00:45에서는 0.054°C, 01:45에서는 0.04°C의 차이가 발생하나 원본데이터에 거의 근접하게 보간이 가능함을 알 수 있다.

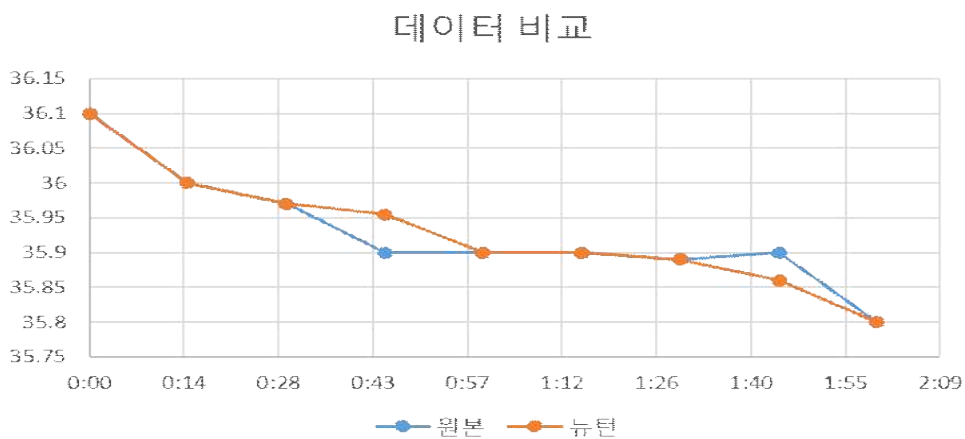


Fig. 31. Compare of Original Data and Newton Interpolation Data

(2) 라그랑주 보간법 이용

라그랑주 보간법을 이용하여 00:45, 01:45에서의 누락된 온도데이터를 보간하면 Fig. 32와 같은 그래프를 얻을 수 있다.

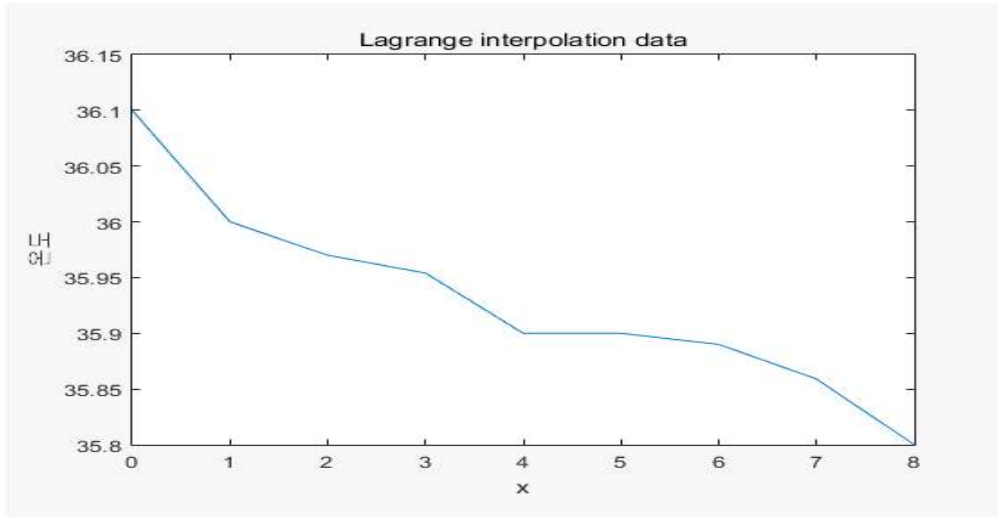


Fig. 32. Using Lagrange Interpolation Method

이 데이터를 원본데이터와 비교하면 Fig. 33과 같으며 00:45에서는 0.054°C, 01:45에서는 0.04°C의 차이로 뉴턴과 동일한 차이가 발생한다.

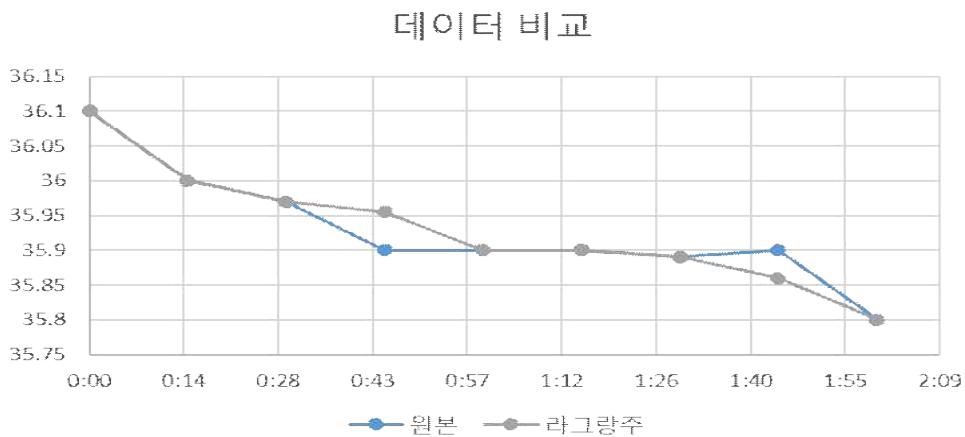


Fig. 33. Compare of Original Data and Lagrange Interpolation Data

(3)스플라인 보간법 이용

스플라인 보간법을 이용하여 00:45, 01:45에서의 누락된 온도데이터를 보간하면 Fig. 34와 같은 그래프를 얻을 수 있다.

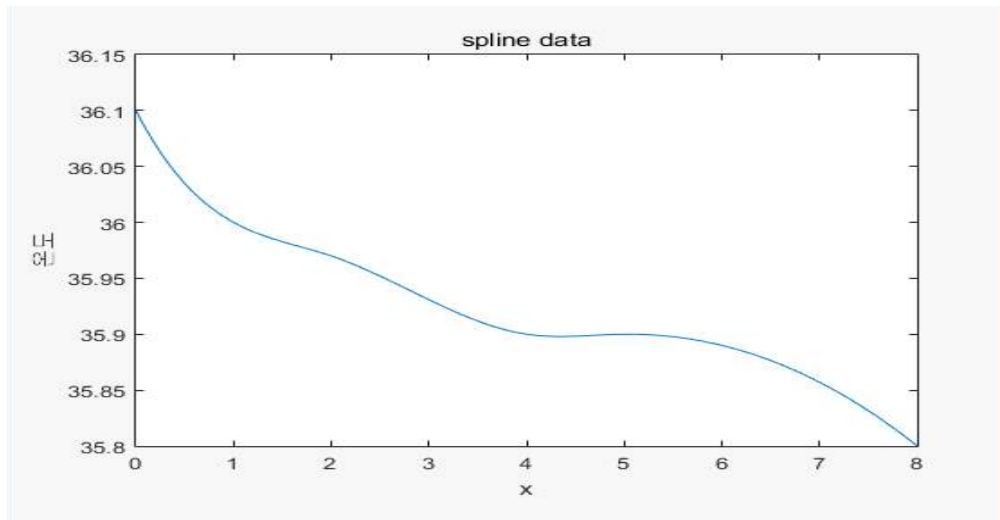


Fig. 34 Using Spline Interpolation Method

이 데이터를 원본데이터와 비교하면 Fig. 35와 같으며 00:45에서는 0.033℃, 01:45에서는 0.04℃의 차이로 00:45에서 오차가 더 줄어들었음을 알 수 있다.

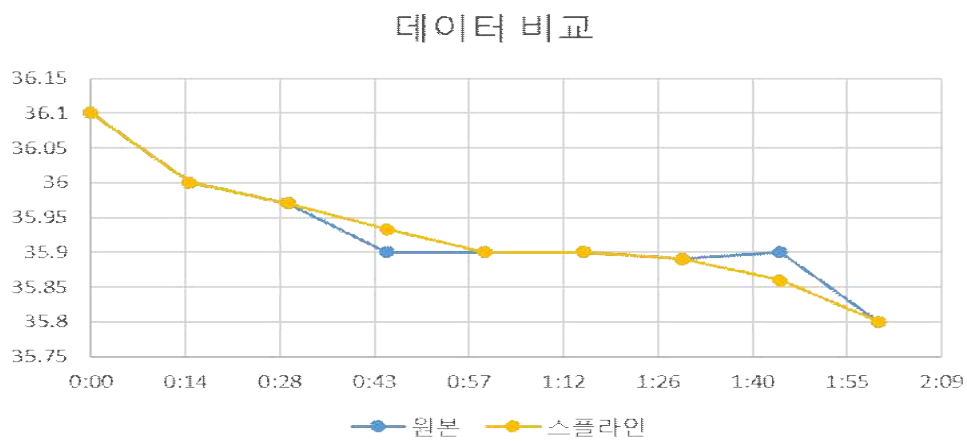


Fig. 35. Compare of Original Data and Spline Interpolation Data

4.3 데이터 보정 결과분석

양봉 모니터링 시스템에 적용하기 위한 보간법을 선정하기 위해 원본 데이터와 각각의 보간법을 이용한 데이터를 비교하였고 Fig. 36과 같이 나타났다.

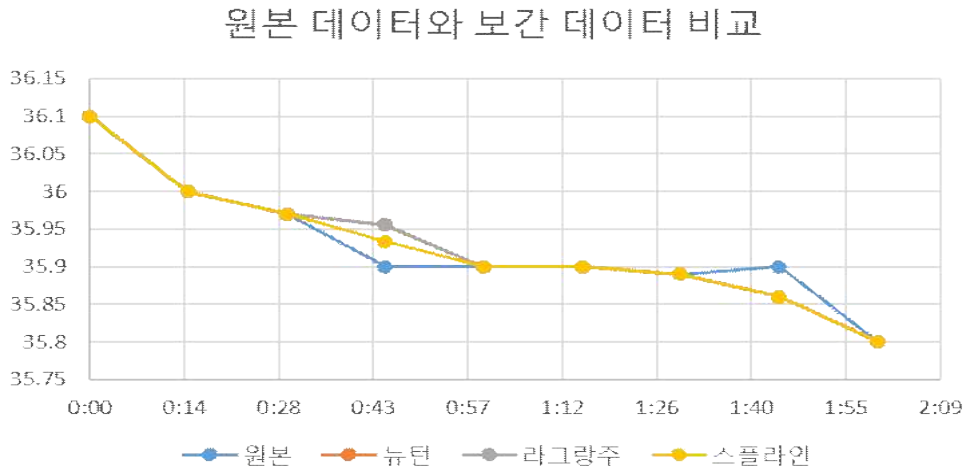


Fig. 36. Compare of Original Data and Interpolation Data

파란색 그래프는 원본 데이터에 대한 그래프, 주황색은 뉴턴 보간법에 대한 그래프, 회색은 라그랑주 보간법에 대한 그래프, 노란색은 스플라인 보간법에 대한 그래프이며 뉴턴 보간법과 라그랑주 보간법을 이용하여 보간한 결과는 비슷한 오차를 보이고 있다. 그리고 스플라인 보간법을 이용하여 보간한 결과는 다른 두 개의 보간법 보다 오차를 더 줄이면서 보간하는 것을 알 수 있다. 구축한 양봉 모니터링 시스템은 실시간으로 정확한 벌의 생육상태를 제공해야 하므로 보간한 오차가 적은 스플라인 보간법이 시스템에 적용하기에 적합하다.

제 5 장 데이터 처리 방안이 개선된 모니터링 시스템 설계

5.1 데이터 처리 방안 개선의 필요성

실시간 양봉 모니터링 시스템을 설계 및 구축하여 제주대학교 학내 양봉장에 설치 후 테스트 해본 결과 웹서버에서 센서의 변화를 그래프 형태로 확인 할 수 있었으며, 동시에 결과 그래프 사이에 외부요인으로 인한 데이터 누락현상을 발견하였다. 이 현상은 무선통신상의 오류로 인해 짧게는 몇 분 정도의 데이터가 들어오지 않다가 시간이 지나면 다시 들어오게 되거나 센서나 데이터 전송의 송·수신부분의 손상으로 길게는 하루이상의 데이터가 들어오지 않았으며 이를 방지할 경우 실시간 양봉 모니터링 시스템으로 꿀벌의 생육상태를 유지하는 것이 어렵게 된다. 따라서 데이터 누락 현상에 대한 처리방법이 필요하며 이를 위한 방법으로 본 논문에서는 데이터의 유효성을 판단하는 알고리즘을 제시한다.

5.2 기존 시스템에서 데이터 누락 처리 방안

처음시기에 시스템을 구축하고 테스트를 진행하면서 발생하는 데이터 누락 현상에 대해서는 데이터 누락이 발생하는지 모르고 있다가 사용자가 직접 웹서버에 들어가서 그래프를 보며 데이터의 누락을 확인하고 시스템 개발자에게 알려주어야 조치에 들어가는 Fig. 37과 같은 과정을 거쳤다. 이와 같은 과정은 사용자가 웹서버에 들어가 벌통의 생육상태를 확인하기 전까지는 데이터의 누락 현상을 확인하지 못한다는 점과 데이터 누락을 발견했을 때 시스템 개발자에게 일일이 문제현상을 알려줘야 한다는 불편함, 시스템 수정이 이루어지는 동안 여전히 데이터는 누락된 상태에 놓여 있게 되는 문제가 있다. 따라서 사용자가 일일이 웹서버에 들어가지 않아도 데이터의 누락 현상을 처리할 수 있는 방안이 필요하다.

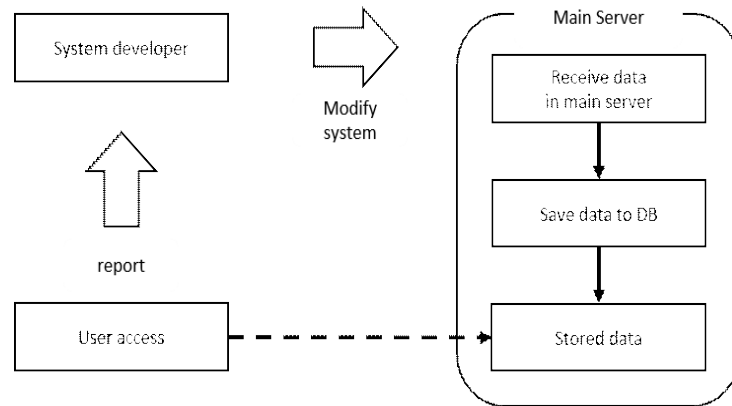


Fig. 37. Solution of Data Loss

5.3 데이터 유효성을 판단하는 알고리즘

앞서 실시한 제주대학교 학내 양봉장에서의 테스트 결과 그래프를 살펴보면 데이터의 누락은 짧게는 몇 분, 길게는 하루정도의 손실이 발생하는데 데이터 누락이 짧은 경우는 시스템을 일일이 수정하지 않고 보간법을 이용하여 누락된 데이터를 보간 하면 된다. 그러나 데이터 누락이 1시간 이상 지속될 경우 더 이상의 보간은 의미가 없으며 사용자에게 메시지 알림을 통하여 데이터 누락 현상을 사용자에게 알려줘야 한다.

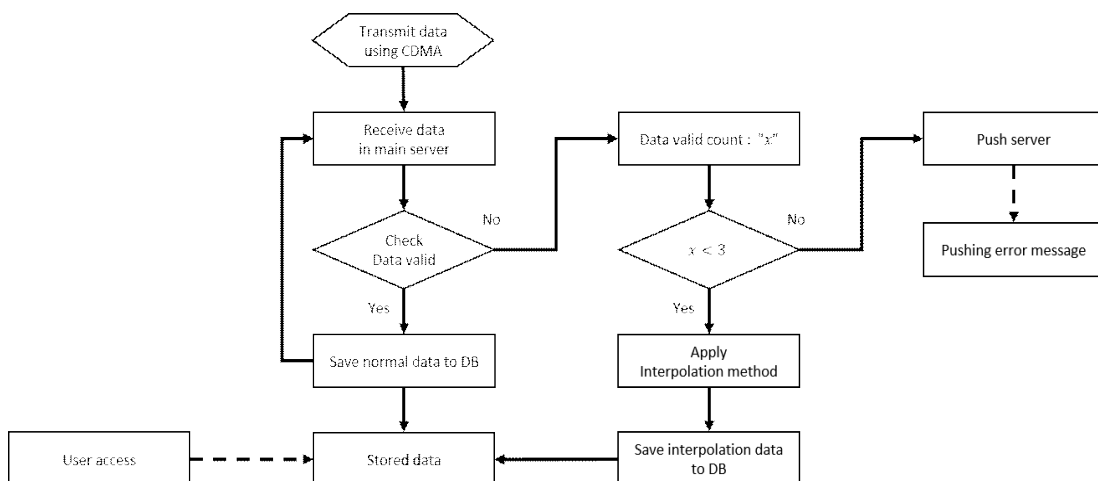


Fig. 38. System Algorithm with Interpolation Method

제시하는 데이터 유효성을 판단하는 알고리즘은 Fig. 38과 같으며 센서의 데이터가 메인서버로 들어오기 전까지 대기 상태로 있다가 데이터가 들어오면 동작을 진행한다. 메인서버에 데이터가 들어오면 우선 데이터 유효성을 판단하여 데이터가 유효하면 일반 DB에 저장하고 다시 데이터 수신 대기상태로 돌아간다. 만약 데이터 유효성 판단에서 데이터가 유효하지 않으면 유효하지 않은 데이터의 수신 횟수를 기록하고, 수신횟수가 3회 미만이면 보간법을 이용하여 데이터를 보간한다. 이때 수신횟수 간격은 15분 간격이며 보간한 데이터는 일반 DB와는 구분되는 보간 DB에 저장한다. 이렇게 저장된 데이터를 사용자는 웹을 통해 확인 할 수 있다. 만약 유효하지 않은 데이터의 수신 횟수가 3회를 넘어가면 보간법을 사용하지 않고 알림 서버로 신호를 보내 사용자에게 에러 알림 메시지를 보내게 된다. 본 논문에서는 제시하는 알고리즘 중 데이터 유효성을 체크하여 유효하지 않은 데이터 수신 회수가 3회 미만이면 동작하는 보간하는 부분에 대해 시뮬레이션 해 보았다.

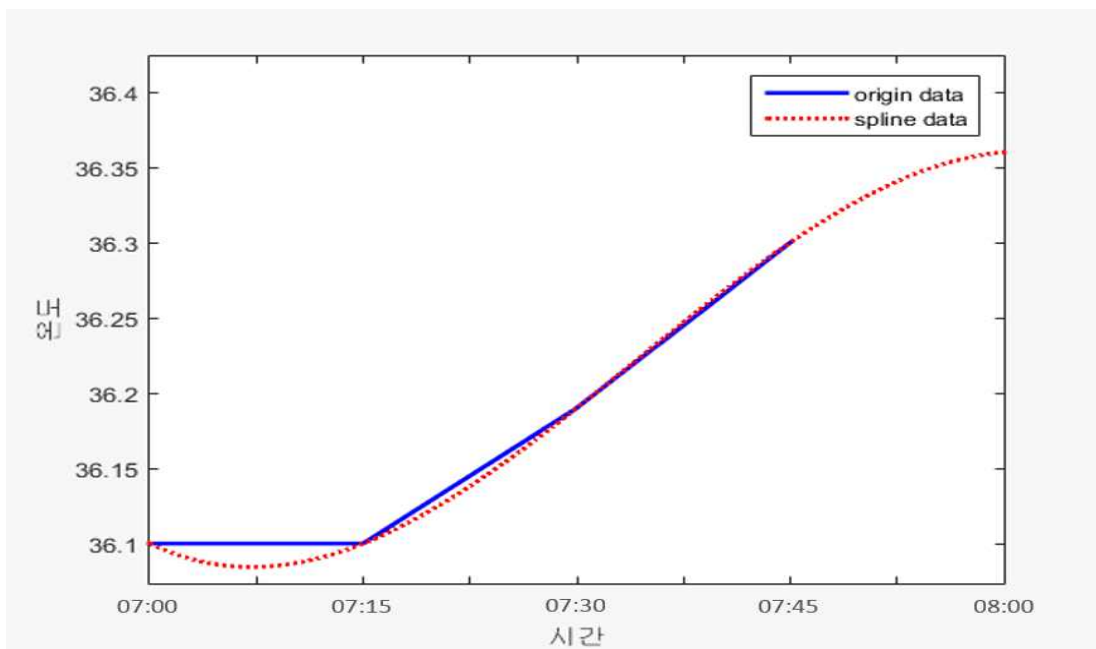


Fig. 39. Data Interpolation 1 time

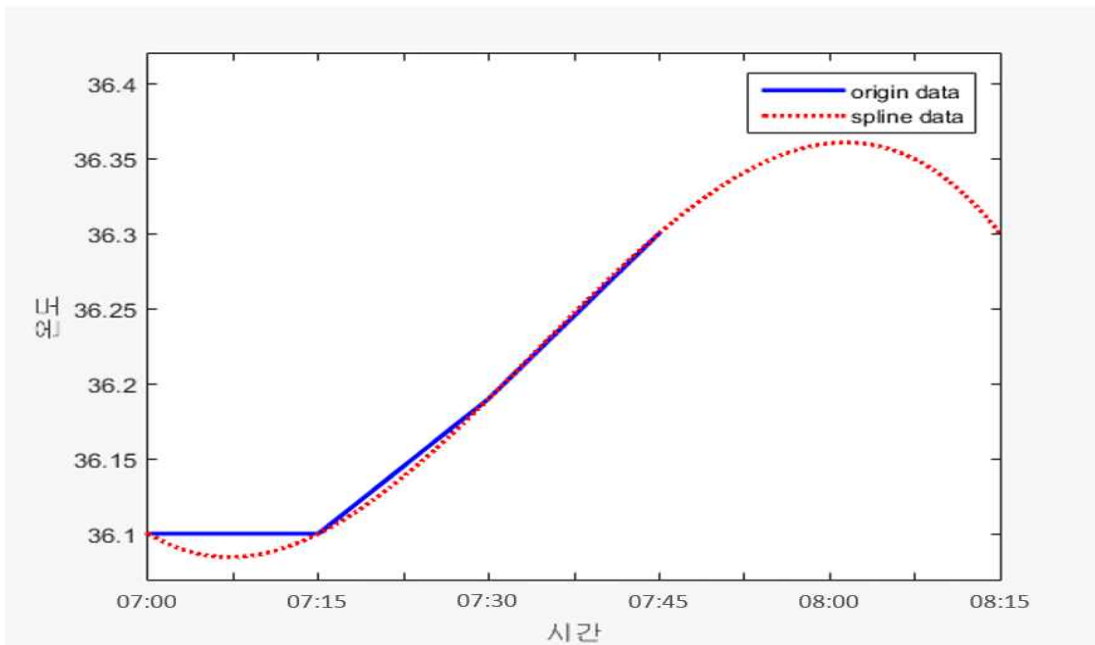


Fig. 40. Data Interpolation 2 time

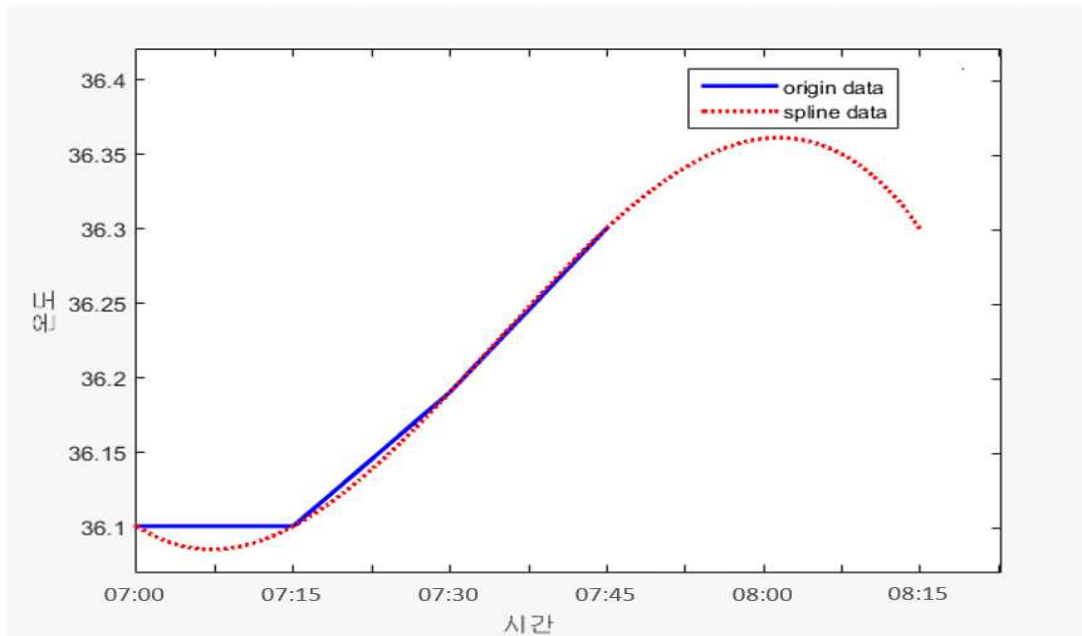


Fig. 41. Stop Interpolation

Fig. 39는 데이터 유효성을 판단하는 알고리즘이 1회 시행 되었을 경우 진행되는 데이터 보간에 대한 결과를 나타낸다. 파란색 그래프는 기존의 측정데이터로 07:00부터 진행되어 07:45까지 15분 간격으로 이상 없이 데이터가 들어오고 있었으나 다음 데이터인 08:00에서 이상이 발생하여 더 이상 그래프가 생성되지 않았다. 빨간색 그래프는 기존의 데이터 정보를 바탕으로 보간이 이뤄진 그래프로 08:00에서의 데이터를 예상하여 그래프를 보간하고 있다. Fig. 40은 데이터 유효성을 판단하는 알고리즘이 2회 시행 되었을 경우 진행되는 데이터 보간에 대한 결과를 나타내며 Fig. 41은 유효하지 않은 데이터 수신 회수가 3회 이상이므로 더 이상 보간법이 이뤄지지 않는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 유효하지 않은 데이터 수신 회수가 3회 이상이 되면 보간법을 이용한 데이터는 더 이상 보간하는 의미가 없어지게 되므로 사용자에게 에러 알림 메시지를 보내 빠른 대처가 가능하도록 해야 한다.

제 6 장 결론

꿀벌은 양봉산물의 생산은 물론이고, 농작물의 수분활동에 주도적으로 관여함으로써 그 역할이 매우 중요하다. 최근 꿀벌의 개체수가 전 세계적으로 감소하고 있는데, 이는 다양한 꿀벌 질병이 그 원인으로 지목되고 있다. 이에 대한 대비책으로서 다양한 방제방법이 제시되고는 있지만, 가장 중요한 것은 질병의 발병을 조기에 감지하여 확산을 방지하는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 실시간 양봉 모니터링 시스템 모델을 제안하고 실제 양봉장에 구축하여 벌통 내부의 생육환경 정보를 모니터링 하였다. 특히 온도, 습도, 무게, 이산화탄소, 소음의 꿀벌 생육 환경요소에 관한 연구를 수행하여 시스템에 필요한 적절한 센서를 선정하였다. 동시에 벌통 내부에 센서가 위치해야 함에 따라 발생하는 센서 및 관련 전자장치들의 공간적인 문제와, 다수의 벌통에 하나의 통신 모듈을 구성하도록 하여 관련 비용을 절감할 수 있는 문제를 고려하여 실시간 양봉 모니터링 시스템 모델을 설계하고 구축하였다. 이를 통하여 실제 벌통 내부의 환경요소를 모니터링하는 실험을 진행하였고 각각의 생육 환경요소 데이터가 DB 서버에 저장되므로 동시에 사용자 인터페이스를 통해 관련 데이터를 확인할 수 있었다.

한편, 데이터 수집 시스템이 야외에 설치됨으로 인해 발생하는 문제로 인해 순간적인 데이터 누락이 발생함을 확인하였으며, 이 문제를 해결하기 위해 누락된 데이터에 대해 여러 가지 보간법을 적용하고 시뮬레이션을 통해 오차를 비교해 보았다. 여기서 확인된 최적의 보간법을 데이터 유효성 판단 알고리즘에 적용하면 실시간 양봉 모니터링 시스템에서 누락 데이터가 발생하더라도 이를 보간할 수 있고 누락이 1시간 이상 지속된다면 사용자에게 메시지로 알려 빠르게 대처할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김관중, 허재두. 2015. 스마트팜 기술동향 및 전망. *Electronics and Telecommunications Trends*. 30(5): 1 - 10.
- [2] 이준영, 김신호, 이새봄, 최형진, 정재진. 2015. 스마트 농업 확산을 위한 IoT 기반 개방형 플랫폼의 필요성 및 구축 방안 연구. *Journal of Korea Multimedia Society*. 17(11): 1313-1324.
- [3] 안정훈, 이혜림. 2015. 농촌의 삶을 바꾸는 사물인터넷 기반 스마트팜. *국토*. 403: 19-26.
- [4] 이지웅, 황정환, 여현. 2014. 농업 ICT 융합기술 동향 및 발전방향. *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*. 31(5): 54-60.
- [5] 한재환. 2015. 국내 양봉농가의 경영실태 및 양봉산업 발전 요인에 관한연구. *Journal of Apiculture*. 30(2): 127-133.
- [6] vanEngelsdorp D, Hayes J Jr, Underwood RM, Pettis J. 2008. A Survey of Honey Bee Colony Losses in the U.S., Fall 2007 to spring 2008. *PLoS One*. 3(12): e4071.
- [7] 유미선, 조용호, 김일욱, 강민희, 권순환, 한상훈, 윤병수. 2008. Loop-mediated Isothermal Amplification (LAMP)을 이용한 꿀벌 바이러스 질병의 신속 검출법 개발. *Journal of Apiculture*. 23(3): 185-190.
- [8] 김소민, 임수진, 김정민, 임윤규, 윤병수. 2017. Slow Bee Paralysis Virus(SBPV) 신속 검출을 위한 초고속 역전사 중합효소 연쇄반응법의 개발. *Journal of Apiculture*. 32(3): 171-180.
- [9] 김병순, 정철의. 2015. 클라우드 기반의 실시간 봉군 온·습도 모니터링 시스템의 설계 및 구현. *Journal of Apiculture*. 30(4): 263-267.
- [10] 박로운, 김현, 송미장. 2015. 농생명산업의 빅데이터 실용사례에 대한 분석과 활용 방안. *KoreanHerb.Med.Inf*. 3(3): 29-42.

- [11] Aleksejs Zacepins, Armands Kviesis, Aldis Pecka, Vitalijs Osadcuks. 2017. Development of Internet of Things concept for Precision Beekeeping. International Carpathian Control Conference (ICCC). 23-27.
- [12] Fiona Edwards Murphy, Emanuel Popovici, Pádraig Whelan, Michele Magno. 2015. Development of an Heterogeneous Wireless Sensor Network for Instrumentation and Analysis of Beehives. Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). 346-351.
- [13] 김병순. 2015. 꿀벌 봉군을 위한 적응형 온도데이터 로거 설계 및 구현. *Journal of Apiculture*. 30(4): 259-262.
- [14] 남성희, 최지영, 이명렬, 홍인표, 성규병, 이광길, 여주홍. 2009. 꿀벌 백목병의 생장요인분석 및 방제약제 선발. *Journal of Apiculture*. 24(2): 101-108.
- [15] 이훈복, 정철의. 2010. 늦여름 서양종 꿀벌의 봉군 온도 조절에 관한 연구. *Journal of Apiculture*. 25(1): 1-7.
- [16] Nagy KA, Stallone JN. 1976. Temperature maintenance and CO2 concentration in a swarm cluster of honey bees, *Apis mellifera*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. 55(2): 169-171.
- [17] 정영제, 박현석, 김병화, 김영찬. 2013. 통행시간 추정을 위한 Voting Rule과 중위절대편차법 기반의 복합 필터링 모형. *한국ITS학회논문지*. 12(6): 10-21.
- [18] Chapra. 2011. *Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists*. McGraw-Hill Education. 405-455.