

발간등록번호

11-1543000-002558-01

IoT 상태모니터링 기술 기반 스마트양봉 시스템 구현 및 국가방역체계 적용 최종보고서

2019. 02. 27.

주관연구기관 / 제주대학교
협동연구기관 / 경기대학교
협동연구기관 / 농림축산검역본부
협동연구기관 / (주)아르고넷

농림축산식품부

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “IoT 상태모니터링 기술 기반 스마트양봉 시스템 구현 및 국가방역체계 적용”(개발기간 : 2015.12.28. ~ 2018.12.27.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 02. 27.

주관연구기관명 : 제주대학교 산학협력단장

협동연구기관명 : 경기대학교 산학협력단장

농림축산 검역본부장

아르고넷 대표이사

주관연구책임자 : 제주대학교 교수	임윤규
협동연구책임자 : 경기대학교 교수	윤병수
농림축산검역본부	조운상
아르고넷 대표 이사	박종진

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	115102-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2015.12.28 ~ 2018.12.27	단 계 구 분	3년차/ 3년차
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세 부 과 제 명	IoT 상태모니터링 기술 기반 스마트양봉 시스템 구현 및 국가방역체계 적용			
연구책임자	임 윤 규	해당단계 참여연구원 수	총: 28명 내부: 26명 외부: 2명	해당단계 연구개발비	정부: 220,000천원 민간: 74,000천원 계: 294,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 88명 내부: 79명 외부: 9명	총 연구개발 비	정부: 660,000천원 민간: 222,000천원 계: 882,000천원
연구기관명 및 소속부서명	제주대학교 산학협력단 경기대학교 산학협력단 농림축산검역본부			참여기업명	(주)아르고넷
국제공동연구 위탁연구	-			-	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	-해당사항 없음
-------------------------	----------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

<p>요약: 과학적 스마트 양봉을 실현할 수 있는 시스템을 상품화하여 양봉 산업의 노동력 절감과 생산성의 획기적인 향상을 추구하고, 개발된 시스템을 국가방역기관에 적용하여 꿀벌질병의 예찰과 효과적인 초등방역체계를 구축하기 위함을 목표로 함. 꿀벌생육환경 모니터링 HW/SW 통합환경구축에 따른 시제품 제시하였으며, Rule기반 생육상태 진단 및 예측시스템과 농민 친화적 user interface를 구축함. 또한, mKAHIS와 스마트양봉시스템 연계를 통한 검역본부실증지원시스템 실현함. 총 6건의 특허출원과, 3건의 특허등록, 4건의 S/W등록, 22건의 국내외 논문 게재와 56건의 학술발표, 20명의 인력양성, 1건의 정책활용, 3건의 홍보전시 실적을 달성함.</p>	<p>보고서 면수 201</p>
--	-------------------

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>목적: 과학적 양봉을 실현할 수 있는 스마트양봉 시스템을 상품화하여 양봉 산업의 노동력 절감과 생산성의 획기적인 향상을 추구하고, 개발된 시스템을 국가방역기관에 적용하여 꿀벌질병의 예찰과 효과적인 초등방역체계를 구축하고자 함.</p> <p>연구내용: 1. IoT 기반기술을 응용한 생육환경제어기자재 개발 2. 환경제어 시스템 적용에 따른 생육영향평가 3. 양봉 생육환경 모니터링 및 제어시스템(스마트 양봉시스템) 개발 4. 국가방역체계 첨단화를 위한 꿀벌질병감시 조기대응시스템 적용</p>				
<p>연구개발성과</p>	<p>전 연구기간을 통하여 총 6건의 특허출원과, 3건의 특허등록, 4건의 S/W등록, 21건의 국내외 논문게재와 56건의 학술발표, 20명의 인력양성, 1건의 정책활용, 3건의 홍보전시 성과를 달성함.</p>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>본 연구과제의 개발성과물은, ‘양봉현장에서의 스마트 양봉관리시스템’과 이를 적용한 ‘국가 꿀벌질병 조기방역체계 구축’에 활용될 계획이며, 이미 mKAHIS에 시험적으로 적용되고 있음..</p> <p>이에 따라, 기존 양봉산업에서의 가장 큰 애로사항 즉, 양봉에 소요되는 시간과 노동력의 절감이 가능하며, 데이터에 기반한 정밀꿀벌사양관리를 통하여 벌꿀위생 및 생산성 향상의 효과가 기대됨.</p> <p>또한, 꿀벌질병의 국가방역 차원에서는, 첨단기술화에 의한 꿀벌질병의 조기에찰을 통하여 선제적 방어체계를 구축할 수 있을 것으로 기대되며, 나아가 건강한 생태계의 보존에도 일조할 수 있을 것임.</p>				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>꿀벌</p>	<p>정밀양봉</p>	<p>사물인터넷</p>	<p>실시간 원격제어</p>	<p>센서네트워크</p>
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>honeybee</p>	<p>precision apiculture</p>	<p>IoT</p>	<p>real-time remote control</p>	<p>sensor network</p>

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	6
1-1. 연구개발의 목적	6
1-2. 연구개발의 필요성	7
1-3. 연구개발의 범위	19
2. 연구수행 내용 및 결과	21
2-1. 연구개발의 추진 전략 · 방법	21
2-2. 연구개발의 추진체계	22
2-3. 연구개발 내용 및 결과	23
가. 생육 데이터의 분석을 통한 제어조건 설정	23
나. 생육환경 제어를 위한 통합형 제어장치 개발	75
다. 양봉 생육환경 모니터링 및 제어시스템 설계	85
라. IoT 기반 스마트양봉시스템의 국가방역체계 적용 및 검역본부 실증지원시스템 구축	153
마. 유전자분석기술을 이용한 벌꿀 품질관리법 개발	158
바. 연구개발성과	186
3. 목표달성도 및 관련분야 기여도	191
3-1. 목표달성도	191
3-2. 관련분야의 기여도	194
4. 연구개발의 활용계획 등	196
4-1. 연구결과의 활용	196
4-2. 추가연구의 필요성	196
붙임. 참고문헌	199

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 목적

□ 꿀벌의 중요성

- 유엔식량농업기구(FAO)에 따르면 꿀벌은 세계 식량의 90%를 차지하는 100대 주요 작물 중 71종의 수분작용 (pollination, 受粉作用)을 돕고 있으며, 세계적인 환경단체 ‘어스 워치(Earthwatch)’는 “대체 불가능한 생물 5종 가운데 꿀벌은 첫 번째 종”이라고 발표할 정도로 중요하며, 꿀벌의 세계 농업 기여도는 2030억달러에 이를 만큼 중요한 가치로 평가되고 있음.
- 하지만 최근 바이러스, 외래종 유입, 생태계교란 등으로 인해 전 세계적으로 꿀벌의 수가 25~40% 정도 감소했으며, 우리나라의 토종벌 역시 10% 남짓만 남은 만큼 심각한 상황임.

□ 꿀벌의 감소, 그 문제점

- 봉군 (bee colony, 蜂群)붕괴현상 (CCD; Colony Collapse Disorder; 꿀벌실종)은 미국에서 시작되어 유럽 등지에서 결정적 작물의 감산을 야기하고 있고, 주요 원인으로 신종 바이러스 질병, 네오니코티노이드 (neonicotinoid)계 농약중독, 태양활동 등 다양한 이론이 주장되고 있으나 아직 그 병인체에 대한 결정적 증거는 밝혀내지 못하고 있는 실정임.
- 꿀벌질병 정밀진단과 치료에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있으나, 일선 양봉현장에서의 발병억제를 위한 환경조절이나 병적징후 조기 모니터링 및 상태진단을 위한 제어체계는 전무하여 이에 대한 연구개발이 절실히 필요한 실정임.
- 해외의 경우 도심양봉시스템 적용을 위한 몇몇 시스템이 개발 중에 있으나, 양봉시설 및 환경을 정밀하게 모니터링 및 진단하여 최적 제어할 수 있는 기술은 전무한 실정이며, 도시화에 따른 환경변화, 양봉 농민의 고령화, 농업인구의 감소 등의 요인에 의하여 새로운 수요와 환경을 반영한 첨단 양봉기술에 대한 수요가 증대되고 있음.
- 이러한 양봉농민 수요를 반영한 첨단 양봉기술 개발을 위하여 본 과제에서는 사물인터넷 기술 기반의 꿀벌양봉사육상 무게, 온·습도, 소리, 진동 등의 정밀 실시간모니터링을 통한 상태진단 기술을 개발하고자 함.
- 꿀벌생육상태 모니터링에 따른 국가 방역관리자 (농림축산검역본부) 및 사용자 (양봉농가) 알람과 조치사항 자동통지, 소문(hive entrance, 巢文)개폐 등 양봉상 (hive, 養蜂箱) 상태를 자동으로 관리할 수 있는 스마트 양봉 시스템을 구축하고자 함.

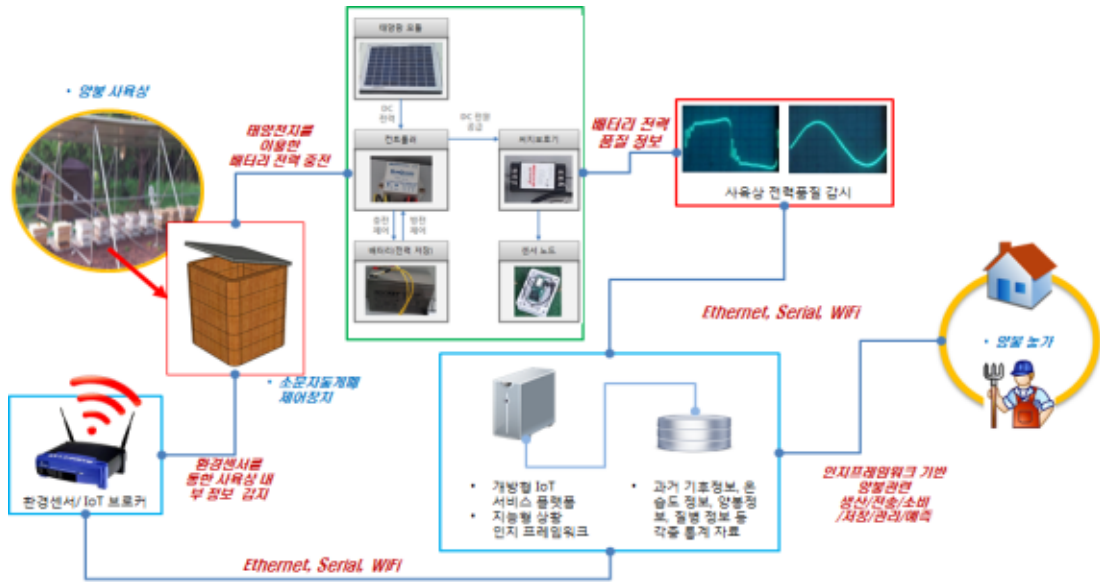


그림 1 IoT 상태모니터링 기술 기반 스마트양봉 시스템

1-2. 연구개발의 필요성

□ 양봉환경 및 운영관리의 문제점

- 국내 양봉업계에서도 다양한 병해충이 문제가 되고 있는데, 가장 중요한 질병은 세균성 부저병 (腐蛆病, Foulbrood), 노제마 (*Nosema ceranae*), 꿀벌응애 (*Varroa destructor*), 중국 가시응애 (*Tropilaelaps mercedesae*) 등이며, 항생제, 살비제 (acaricide, miticide; 殺蟬濟), 유기산 등의 약제에 의하여 방제되고 있음.
- 그러나 질병발생의 빈도는 감소되고 있지 않으며, 또한 항생제 및 기타 약제의 오남용에 따른 내성균주(耐性菌株)의 출현과, 식품위생 관점에서의 우려를 낳게 하고 있음.
- 한편, 토종벌을 궤멸상태로까지 몰고 간 낭충봉아부패병(Sacbrood virus, 囊蟲蜂兒腐敗病)이 최근에 큰 문제가 되고 있으나 아직 적당한 예방 및 치료제가 제시되어 있지 않고 있으므로, 조기발견에 따른 소각처리만이 피해를 최소화 시키는 유일한 방법임.
- 결국, 질병초기에 징후를 감지하고 선제적인 조치로 추가적인 확산을 제어하는 효과적인 방법론이 적용되어야 하나, 일선 양봉현장에서의 발병억제를 위한 환경조절이나 병적 징후의 조기 모니터링 및 접근 가능한 제어체계는 아직 제시되어있지 않음.



그림 2 양봉경영의 실태

좌) 개별벌통의 직접 내검(內檢), 내검(內檢)을 위한 고도의 노동력이 소요될 뿐 아니라, 생육환경의 교란 및 접촉에 의한 질병확산의 위험성이 증가함. 우) 예방적투여의 목적으로 Tetracyclin(테트라사이클린)을 소비에 붓고 있다. 내성균출현이 및 항생제잔류에 의한 식품위생의 문제점을 내포하고 있음.



그림 3 직접내검에 의한 봉군의 건전성 확인

좌) 건전한 봉군 (bee colony, 蜂群)의 소방형태, 우) AFB (American foul brood, 미국부저병)감염 형태. 일단 질병이 발생한 후에야 직접 육안으로 검사하여 비로소 확인이 가능함. 이미 질병확산이 이루어진 이후의 시기임.

□ IoT 첨단기술 접목의 필요성

- IoT 즉 사물인터넷 기술은 단순히 사물을 네트워크로 연결한다는 기술적 의미에 머무르지 않고, 사람과 사물 간에 의사소통을 가능케 함으로써 우리 생활에 지금까지와 다른 근본적 변화를 가져올 수 있는 기술임.
- 전통적 양봉기술이 1) 각 양봉 농민의 감각을 통한 간헐적 상황감지, 2) 개인적 지식 수준에 따른 상황판단, 3) 시간적/ 공간적 제약으로 인한 지연된 상황대처를 숙명처럼 받아들이었으나,
- IoT 기반 스마트 양봉기술은 1) 각종 센서를 통한 연속적/ 과학적 상황감지, 2) 각종 지식 데이터베이스 (Knowledge Database)를 기반으로 한 전문적 상황판단, 3) 시간적/ 공간적 제약을 뛰어 넘는 적시 상황대처를 가능케 할 것임.
- 특히 IoT 기반의 상태모니터링과 상태진단 기술의 접목은 질병 및 봉분상태 조기 예측 및 조치가 가능할 뿐만 아니라 벌꿀 상태 관리를 통한 고품질, 고부가가치 벌꿀 생산이 가능하여 양봉 산업의 경쟁력 강화와 양봉업의 패러다임을 변화시킬 수 있는 획기적인 시도로써 그 필요성이 인정됨.

□ 단일화 밀원 관리 등 벌꿀 품질 관리의 중요성

- 국내 밀원식물의 종류는 약 600종, 주요 밀원식물은 120종으로 다양하며, 일반적으로 다양한 밀원을 포함하고 있는 잡화꿀이 일반적이거나, 일부 해외 선진국의 경우 벌꿀 품질 관리를 통하여 특정 밀원 및 성분을 추출하는 단일화꿀 (unifloral honey, 單一花蜜) 개발을 통하여 양봉농가의 고부가가치 상품으로 개발되고 있음.
- 단일화 꿀은 보통 아카시아꿀, 밤꿀, 유채꿀, 헛개나무꿀, 벚꽃꿀 등 특정 성분 또는 특색있는 맛을 보유하고 있는 소수의 꿀종을 호칭하며, 잡화꿀 (mixed honey, 雜花蜜)에 비하여 품질이 규격화 될 수 있으며, 일반적으로 잡화꿀에 비하여 고품질 및 고가로 판매되고 있음.
- 하지만 국내 단일화 꿀이 소수인 이유는 밀원의 복잡한 분포, 개화시기의 중복 등 다양한 요인이 있으나, 단일화 꿀을 얻기 위한 정밀양봉 (precision apiculture) 등 양봉농가 체계적인 관리 및 인력 부족이 가장 큰 원임임.



그림 4 고가로 거래되는 순수밀원의 꿀

2015 APIMONDIA에 출품된 고가의 꿀. 단일밀원의 기능성, 청정 이미지를 강조하여 부가가치를 높였다. 양봉전용 digital scale 데이터를 통하여 순수밀원 (unifloral honey, 純粹蜜源)의 분획을 생산한다면, 밀원의 혼합으로 인한 '잡꿀'이 아닌 브랜드가치를 지니는 순수한 벌꿀로 인정되어 고부가가치의 양봉산물을 생산할 수 있을 것이다.

□ 국가지원정책과의 연계 시스템 필요성

- 국내에서는 2007년도 농림축산식품부·미래창조과학부(구 정통부)간 협력을 체결('07.7)하여 미래창조과학부 주도 하에 IT신기술 적용 선도 사업을 추진하여 ICT기술을 기반으로한 스마트팜 기술 개발을 시작으로 IT신기술의 활용은 주로 USN(19개), RFID(10개), LED(1개) 등을 이용하였으며, 부분적으로 PDA, GIS/GPS, 텔레매틱스 등의 기술을 활용하고 있음.
- 현재 국내 RFID/USN을 이용한 농업기술 수준은 세계적인 수준의 30% 정도로 아직 온실농업, 수산업과 같은 정해진 닫힌 구역에 대한 관리 기술만 연구되었다. 대부분의 농업인 열린 공간 농업, 즉 노지에 대한 농업 기술에 대한 연구는 미미하여 세계적인 수준에 도달하지 못한 상태임.
- 노지 농업 기술은 정밀 제어 알고리즘, 높은 수준의 정밀 제어 시스템, 생장환경관리의 통합적인 시스템의 개발이 필수적인 분야로 이 부분에 대한 기술 개발 없이는 국내 농업 기술은 세계적으로 도약하기 어렵다는 문제점을 가지고 있음.
- 본 연구개발 과제를 통해 양봉산업 현장에 IoT 기반의 제어시스템을 통한 스마트양봉의 구현한다면 세계적 스마트 팜 기술확보 및 국가방역체계적용시스템을 접목할 수 있는 토대가 될 것으로 기대함.

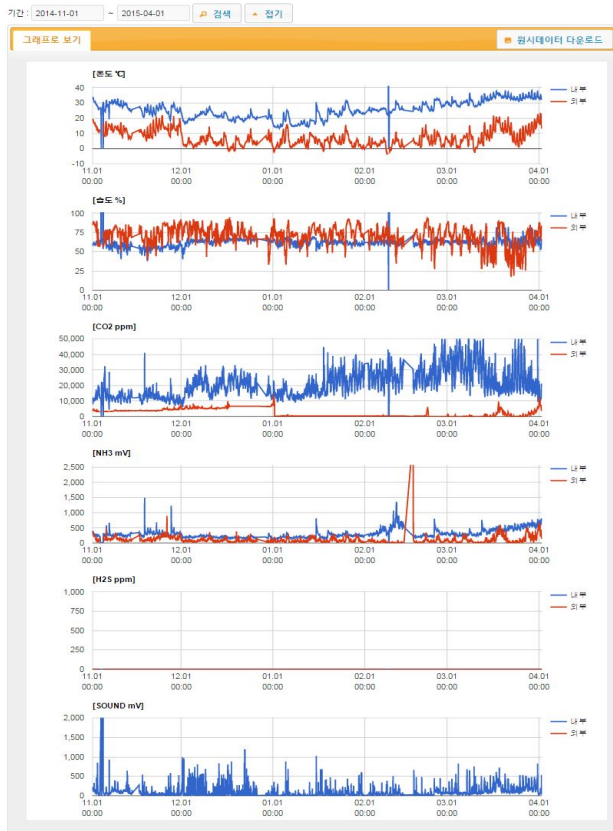
□ IoT 상태모니터링-진단 및 꿀벌양봉사육상 상태제어 기술 필요

- 본 연구개발 과제를 위한 선행연구를 통하여 u-IT 융·복합기술 기반 양봉 질병 감시 및 조기대응 시스템과 양봉상 (hive, 養蜂箱) 내부 환경인자를 실시간으로 원격 인지하고 이에 따른 신속한 대응이 가능하도록 경보발송체계를 개발하였음.
- 선행연구 중 생육환경의 가장 핵심적인 내용은 꿀벌의 생육단계별의 온, 습도변동패턴과 양봉상 (hive, 養蜂箱)의 무게변화에 따른 질병징후예측 및 봉군 (bee colony, 蜂群) 군세의 변화를 예측하는 기술로 무게, 온·습도에 따른 꿀벌 생육에 대한 일부 경향성을 분석하였음.
- 하지만 이러한 생육환경 경향성에 따른 능동적인 대처가 되지 못하여 최적 사육환경을 유지할 수 있는 실시간 환경제어 시스템 구축이 필요함.
 - 양봉사육상 소문(hive entrance, 巢文)자동 개폐에 의한 실시간 환경제어
 - 온, 습도 및 CO2 취기 조절
 - 말벌 등의 해충침입시 소문(hive entrance, 巢文) 차단 등의 긴급조치
 - 양봉상 (hive, 養蜂箱)내 과도한 온도 상승시 개포 (bee veil, 蓋布) 자동개폐에 의한 신속한 환기 조절

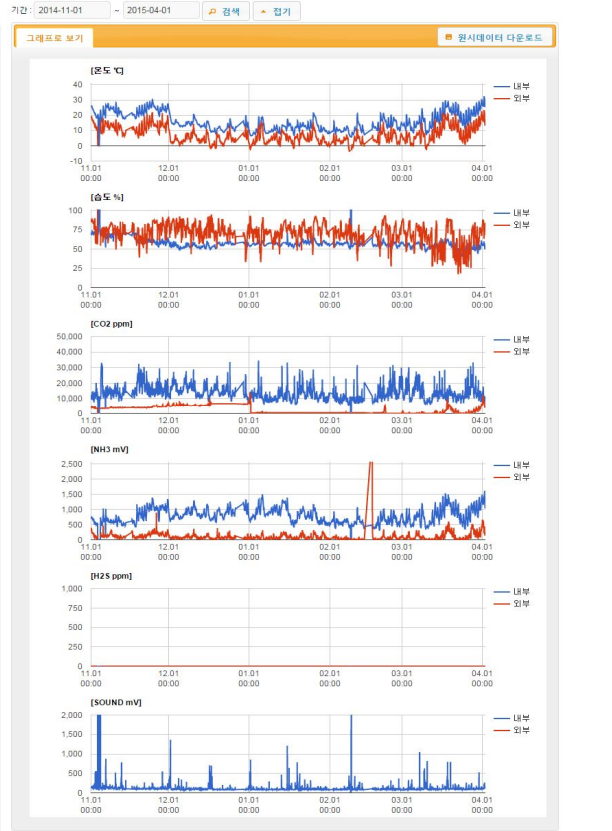


그림 5 선행연구로 개발한 시스템
데이터 수집 및 송신장치, 꿀벌 양봉사육상에 소비형태로 삽입 장착

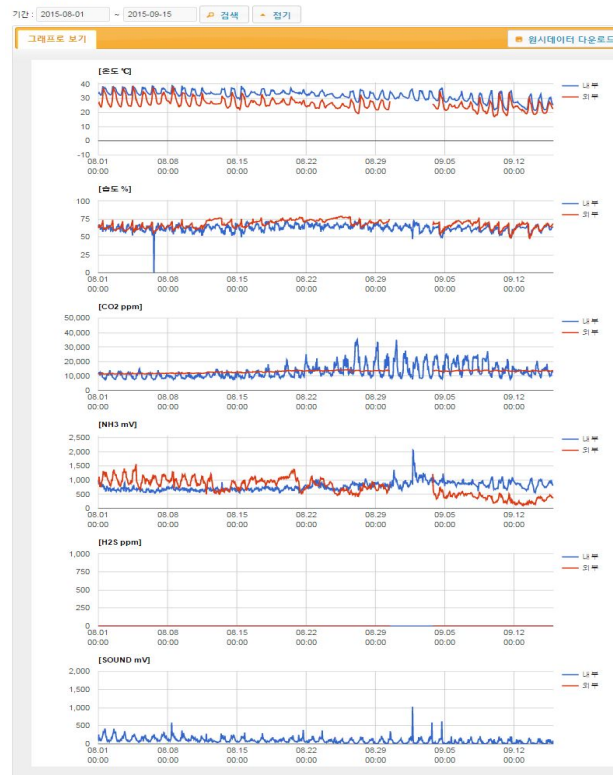
양봉장-별동3(7E7C)



양봉장-별동3(817F)



양봉장-별동14(817E)



양봉장-별동6(817F)

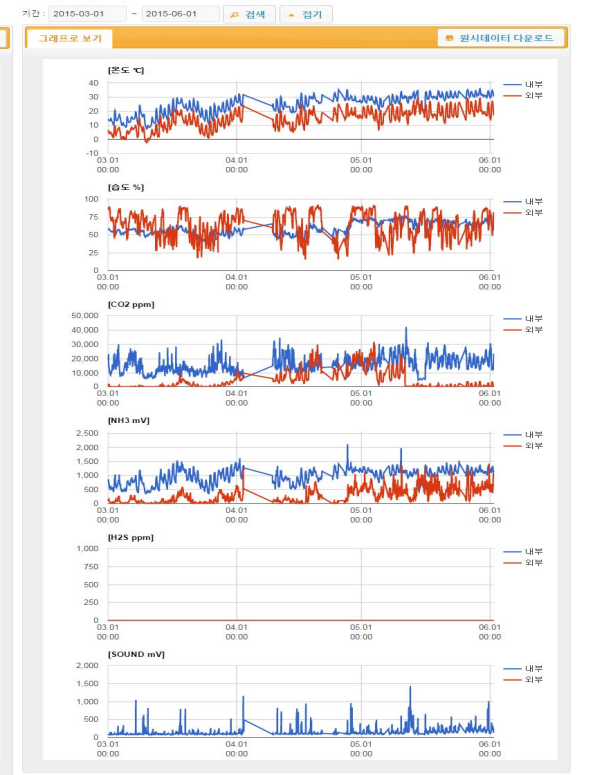


그림 6 선행연구의 생육환경모니터링 데이터

시기별의 생존 및 육아를 위한 온습도 환경을 꿀벌 스스로가 조절하고 있다. 아래그림 좌우는 각각, 응애의 피해 부저병의 피해가 있을 때 나타나는 전형적인 패턴을 보여준다. 특히, 양봉사육상 내의 온도조절 실패가 두드러지게 나타났다.

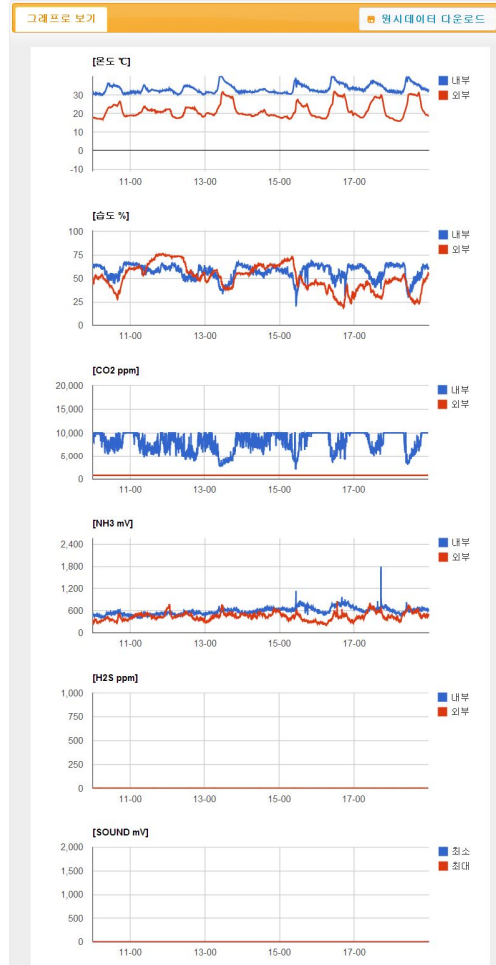


그림 7 선행연구의 생육환경모니터링 데이터

분봉열(swarming fever, 分蜂熱)의 발생 (양봉사육상 내부의 온도가 38℃ 이상 상승함을 보여주고 있다. 우측그림은 하절기 야간에 벌들이 양봉사육상 외부로 나와있다. 이때 양봉사육상 내부의 온도를 낮추어주지 않는다면, 자연분봉 (Natural swarming, dividing bee, 自然分蜂)의 진행이 일어나거나, larvae의 양육이 부실해져서 약군화될 가능성이 크며, 질병에 취약해진다.

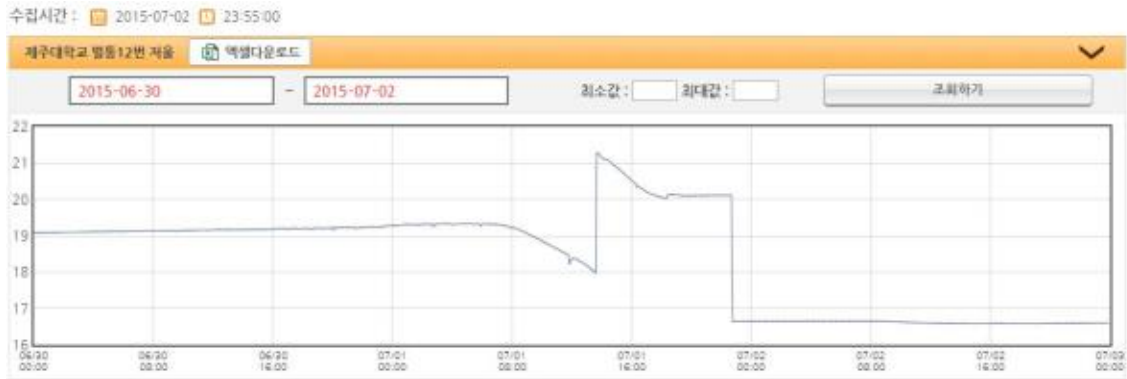


그림 8 도봉이 일어난 양봉사육상의 증량 정보

즉각적인 조치가 이루어지지 않는다면 지속적인 도봉으로 근의 소멸이 초래된다. 그러므로 양봉사육상의 무게변화를 모니터링하기 위한 양봉전용 digital scale의 개발과 데이터전송 시스템의 개발이 요구된다.



그림 9 월동기에 뒤이은 유밀기 중의 양봉사육상 무게변화

저장식량을 소비하는 기간이 지나면서 양봉사육상의 무게가 증가하기 시작한다. 무게증가가 시작한 후 약 5일 이내에 정리채밀을 시작한다면, 일상적인 양봉에서 생산이 가능한 양의 (적색의 bar) 1.5배 정도의 순수한 화밀을 생산할 수 있다(청색의 바). 이는 획기적인 생산성 향상과 직결된다. 또한, 각 밀원별의 nectar의 유입과 종료시점을 파악함도 가능하다.

□ 양봉농민 사용이 편리한 차별화된 인터페이스 개발 필요

- 수준 높은 기술이 접목되는 첨단기술이 융합된 원격제어 스마트 시스템일지라도 실수요자인 양봉농민에게 있어 쉽게 접근할 수 있는 방식으로 제공되기 위한 농민 친화적 그래픽인터페이스 제공이 필수
- 일반사용자와 전문가(검역본부, 연구자 등)가 접근할 수 있는 인터페이스와 기능을 분리한 시스템이 필요
 - 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력, 온도, 습도, 소음, 일기, 배터리소모내역 등이 icons과 같은 알기 쉬운 심볼로 형상화한 직관적인 일반사용자 그래픽 인터페이스
 - 그래프, 데이터 분석 툴 기능이 포함된 전문가 인터페이스 제공

□ 양봉농가 현장 수요분석에 따른 시스템 기능 적용

- 양봉농가에서 가장 필요로 하는 기능은 정확한 채밀시기의 결정, 자연분봉 (Natural swarming, dividing bee, 自然分蜂)의 예측, 군세변화의 조기감지로 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력과 유밀의 정도 및 사양이 필요한 시기를 정확하게 확인할 수 있는 정보와 이에 따른 조치사항을 제공
 - 채밀(採蜜)시기, 인공사양시기(당액급여시기)의 정확한 정보제공 수단
 - 분봉확인의 정확하고 직접적인 정보제공하여 신속한 대처가 가능
 - 온, 습도정보와 더불어 군세 확인의 정확한 정보제공 기능
- 양봉은 고정양봉 뿐 아니라 주 밀원을 따라 이동하며 다양한 주변환경에 맞게 배치해야 하는 이동양봉으로 이루어지므로, 모든 기자재는 무선화된 상태에서 운영이 필요.
 - 이동양봉 및 무전력지역 적용을 위한 무선 센서브라켓 (Sensor bracket) 적용
 - 센서 전력공급을 위한 무선방식 적용
- 양봉현장이 야생동물의 침입이나 봉군 (bee colony, 蜂群) 도난방지를 위한 anti-theft tracking device 기술 적용 필요

□ 선행연구와의 기술적 차별성

- 기술적 측면에서 기존 선행연구의 USN기반 기술은 2004년 IT839전략의 3대 인프라로 기술개발이 추진된 바 있지만, 10년이 지난 2015년 USN 시장은 기술 생태계 조성에 미흡한 실정임.
- USN기술은 센싱정보 취득을 위해 멀티홉, 게이트웨이, 미들웨어, 응용 단계 등의 복잡한 데이터 전송과정이 필요하고, 특히 WSN 통신기술 개발에 치중되어 있어 네트워크

설정 및 관리에 어려움이 있으며, 센서노드에 따라 온도, 습도, 조도 등 기본적인 환경 정보만 센싱이 가능하며 정보에 대한 제한적인 응용범위와 디바이스 자체 오류에 대한 보정문제가 발생됨.

- 그러나 본 연구개발 기술은 기본적으로 USN과 기술적으로 유사하지만, 근본적으로 통신·네트워크 기술 중심이 아닌 사람(양봉 농민)과 지식(양봉 환경 정보)를 중심으로 서비스를 제공하는 기술임.
- 단순히 정보만을 센싱하여 사용자에게 제공하는 기술이 아니라 기존 USN기술을 포함한 멀티모듈, 다분야 센싱을 통한 포괄적인 센싱 환경을 제공하고, 사용자의 생활습관, 행동 패턴, 영상, 음성 등을 분석하여 상황 인지 및 예측을 수행하는 빅데이터 처리 기술을 적용함.
- 따라서, 기존 봉군 (bee colony, 蜂群)의 양봉상(hive, 養蜂箱)에 적용되어 있는 USN기반 센싱 시스템을 대체하여 IoT기반 스마트 양봉 시스템의 도입은 각각의 환경모니터링 데이터를 취합하여 양봉농민과 관련부처에서 손쉽게 접근할 수 있는 개방형 서비스 개발환경(SDK, API), 사용자 맞춤형 정보 환경 등 복합 서비스를 제공할 수 있음.
- 특히 질병통제 및 예방에 따른 국가방역의 정책적 시점에서, 가축으로 분류되어 있는 꿀벌의 질병방제 담당총괄부서는 ‘농림축산검역본부’이며 질병조기감지시스템을 도입하여 적용한다면, 한정된 인원으로 운용하여야 하는 꿀벌질병발생감시 및 통제정책의 효율적인 수행을 위한 강력한 도구가 될 수 있을 것임.
- 농림축산검역본부의 ‘꿀벌질병제어센터’가 주축이 되어서 전국농가의 질병발생상황을 실시간으로 모니터링 할 수가 있으므로, 궁극적으로 선제적인 국가방역업무의 수행도 가능

분야	기존 USN기술	IoT 기반 스마트 양봉기술
개념	USN은 통신/네트워크 기술	IoT의 3대 요소인 사물/인터넷/지식 중심 + 사람,서비스 중심 개념 추가
통신기술	ZigBee, IEEE802.15.4, Bluetooth, PLC, WiFi, Serial 등	ZigBee, IEEE802.15.4, Bluetooth, DASH7, Weightless, PLC, WiFi, Serial 등 (멀티프로토콜 지원)
네트워크 특성	복잡한 다중 계층 멀티홉 등	단순 계층구조: 센싱 디바이스 - IoT Broker - 응용 서비스(3단계), IoT 공통 플랫폼(가상센싱)- 응용 서비스(2단계), 단일 홉 네트워킹
데이터 유형 및 센서	정형화된 센싱 정보: 온도, 습도, 가속도(환경 센싱)	정형 및 비정형 정보 복합 : 환경 센싱+ 비정형데이터(생활습관, 행동양식, SNS 정보, 건강 정보, 영상, 음성, 가상센서, 기존 통계 정보등)
IoT공통 서비스 플랫폼	센싱 정보 처리, 분산 DB 활용, 스트림 데이터처리, 오픈 API, 정형화	빅데이터 처리, 분산 DB사용한 고성능 센싱 정보처리, 상황 인지프레임워크와의 연동, 비정형데이터 정형화 기능, 스트림센싱 정보 처리, 오픈 API, SDK
상황 인지 기법	임계치, 선형 회귀분석, 결정 트리, 통계적 기법(단일변수 중심)	점진적 결정트리 사용, 상황별 예측 알고리즘, 사회공학적인 기법(인간 생활, 심리, 생활 습관, 행동 패턴 등), 앙상블 기반 예측 정확도 향상, 고성능 인지 칩 개발,기존 통계적 기법도 사용(다변수 중심)
서비스	단일 서비스 중심,특정 기간 시범서비스 수행, 폐쇄적 서비스 개발	복합 서비스 중심, 지속적 운용
수익 모델	디바이스, 플랫폼, 서비스 S/W, 서비스 사용료	디바이스,플랫폼, 서비스 S/W, 서비스 사용료, 예측 정보 및 복합 지식 서비스
서비스 다양성	보통	매우 높음

표 1 기존 USN기술과 IoT 기반 스마트 양봉기술의 비교

1-3. 연구개발의 범위

본 연구의 주 내용은 IoT(사물인터넷기법)을 적용한 모니터링 시스템과 그 결과에 대응하는 원격제어장치, 양봉농민이 가장 필요로 하는 양봉전용 digital scale의 설계를 통하여 현장에 직접 적용이 가능한 시제품과 농민 친화적 소프트웨어를 개발하는 것이다. 꿀벌은 가축으로 인정되고 있고 따라서 질병방역을 위하여 국가차원의 질병모니터링 및 통제가 필요하나 한정된 인력과 장비로 말미암아, 농민의 신고에 의존해 현장조사와 방역대책을 수립할 수밖에 없었다. 따라서 개발된 시스템을 국가방역에 적용시키기 위한 연구를 수행함으로써 현행의 방역시스템을 획기적으로 개선할 수 있을 것이며, 이를 통해 선제적인 대 농민 서비스 제공할 수 있을 것으로 기대하고 본 연구를 수행하였다.

본 과제에서는 다음의 세부목표를 설정하여 양봉산업의 획기적인 발전과 사업화를 이루고자 하였다.

- 모든 환경에 적용가능한 현장성 있는 IoT 기반의 스마트양봉 시스템 기술 개발
- 꿀벌 생육환경모니터링 결과에 대응한 원격제어시스템 기술 개발
- 저밀(貯蜜)량 변동의 실시간 원격모니터링에 의한 꿀벌 생산성 향상 기술 개발
- 농민 친화적인 User interface의 개발 및 데이터전송 및 처리기술의 개선
- 국가방역체계 첨단화를 위한 IoT기반 꿀벌질병발생감시 및 조기대응시스템의 정착



그림 10 연구개발의 구성도

1) IoT 기반기술을 응용한 생육환경제어기자재 개발

- 모든 양봉현장에 적용가능한 최적화된 신호수집 및 전송장치의 개발 (양봉사육상 형태의 수납형으로 design)
- 양봉사육상내 환경모니터링 결과에 대응한 원격제어장치 및 운용시스템 개발
 - 양봉사육상내부 봉군 (bee colony, 蜂群)별 온도, 습도, 무게, 소리에 대한 센싱디바이스 개발 및 무선 데이터 전송 환경 구축을 통한 원격제어시스템 개발
- 꿀벌의 밀도 및 저밀(貯蜜)량의 실시간 모니터링이 가능한 양봉전용 digital scale 개발
- IoT기반의 환경모니터링 시스템의 전원관리 최적화를 통한 소비전력 관리 기능개발
 - 태양광모듈, Lo-ion 배터리 등 부가적인 충전시스템을 구축하여 환경모니터링 시스템의 전력 확보 및 부족전원을 개선하고 안정적인 모니터링/제어 환경을 유지할 수 있도록 함.

2) 환경제어 시스템적용에 따른 생육영향평가

- 개발 시스템이 생육위해요인 제어에 미치는 효능평가 연구
- 기후대별 적용평가 연구
- 유용성 평가에 따른 적용 최적화 연구

3) 양봉 생육환경 모니터링 및 제어시스템(스마트 양봉시스템) 개발

- 빅데이터 처리를 위해 확장성(Scalability) 이슈와 성능(Performance) 이슈를 고려한 시스템 아키텍처 연구
- 양봉 생육환경 모니터링 및 제어시스템 HW-SW 통합환경 구축
- 양봉 사육농가 실증을 통한 농민 친화적 인터페이스 적용

4) 국가방역체계 첨단화를 위한 IoT기반 꿀벌질병감시 및 조기대응시스템의 적용

- 생육환경모니터링을 통한 통합관제시스템 운영관리 및 표준모델 평가
- 대농민 서비스를 위한 선제적 조기대응시스템의 적용 평가

2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. 연구개발의 추진 전략 · 방법

- IoT기반 스마트양봉 제어시스템 개발을 위해 적합 연구사육시설 소요과약 및 기반시설을 마련함 (기반시설 기 확보되어있음).
- 입지의 조건에 따라 주변의 벌과 질병의 교류 방지 및 도봉의 예방을 위해 여타의 봉군 (bee colony, 蜂群) 과의 접촉을 최소화하기 위한 거리적 격리 장소를 선정하여 실험용 봉군 (bee colony, 蜂群) 사육 시설을 설치함 (기반시설 기 확보되어있음).
- 연구시설은 눈, 비 및 하절기 직사광선을 막기 위한 차단물을 설치하고 사육조건을 옥외 양봉의 환경과 동일하게 설치하여 진행함 (기반시설 기 확보되어있음).
- 제주대학교와 경기대학교, 아르고넷, 검역검사본부 간의 서버 설치위치와 양봉장 테스트 베드 위치를 고려한 원거리 데이터 전송 상황과 데이터 확보 테스트를 진행함.
- 꿀벌 생육 정상 시그널 수집을 위한 기초연구를 바탕으로, 질병발생시 상황에 대비한 미국부저병 (AFB, American foulbrood)와 유럽부저병 (EFB, European foulbrood), 진균성 질병인 백묵병 (Chalk-brood, 白墨病)의 시그널을 조사·분석함.
- 연구 개발에 활용할 센서노드는 자신에게 연결되어 실장 되어 있는 센서를 구분하고 구분된 센서를 바탕으로 미리 설정된 데이터 전송 프로토콜 버전을 데이터 전송 앞머리에 붙여 데이터를 전송하여, 데이터를 규격화하고 불필요한 데이터를 생략하여 통신 속도 및 안정성을 향상함.

2-2. 연구개발의 추진체계

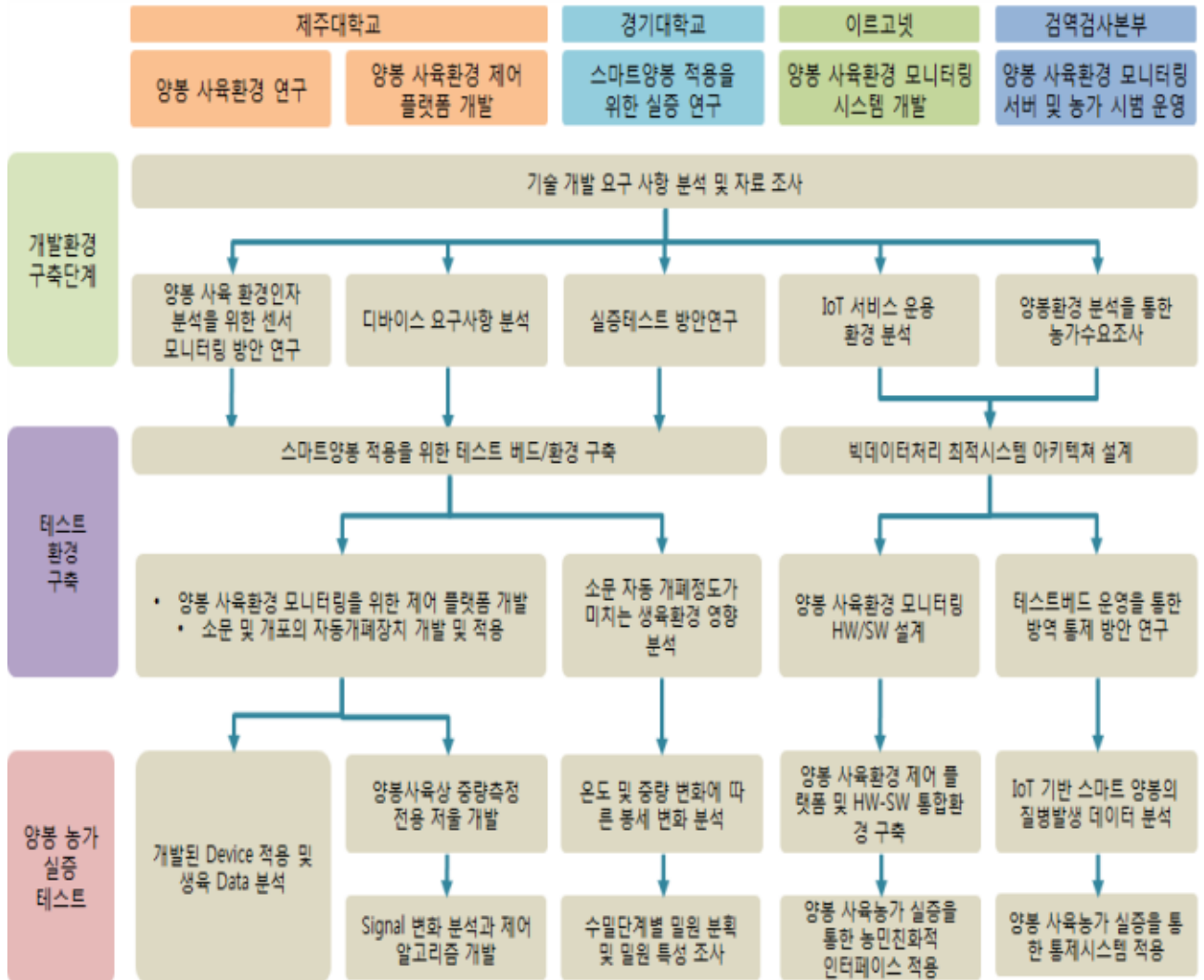


그림 11 연구개발 추진 체계도

2-3. 연구개발 내용 및 결과

가. 생육 데이터의 분석을 통한 제어조건 설정

10기의 센서 디바이스(유선 디바이스 5군, 무선 디바이스 5군)를 10군의 서양꿀벌(*Apis mellifera*)에 설치하여 각 생육시기 별로 온도(°C), 상대습도(%), CO2농도(%), 소음(mV), 무게(kg) 5가지 환경인자 데이터를 수집, 모니터링하여 봉군 (bee colony, 蜂群)에 발생하는 이벤트에 대응하는 환경인자의 변화를 수집, 분석하였다. 각 환경인자는 선행연구에서 도출한 결과를 바탕으로 선정하였으며, 센서의 위치는 선행연구과제에서 도출한 결과에 입각하여 격리관 내부 양봉사육상 벽으로 위치시켰다.

각 생육시기는 크게 월동준비기간, 월동기, 춘계 생육기, 유밀기(有蜜期), 장마 및 무밀기(無蜜期)로 나누어 각 시기별로 생육데이터를 수집하였다. 각 인자의 임계치 및 적정치는 각 생육시기마다 상이하게 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 예를 들면 월동기에 25°C 이상을 상회하는 것은 월동기 산란의 진행으로 농가 입장에서는 불리한 현상으로 볼 수 있으나 반대로 봉군 (bee colony, 蜂群)이 생육을 활발하게 하는 시기의 온도가 25°C 이하로 내려가는 것은 산란이 중단되었다는 신호로 불리한 현상으로 판단 할 수 있다. 따라서 각 생육시기 별로 다양한 상황을 부여하여 제어 조건을 다르게 설계하고자하였다.

각 제어 조건은 본 연구에서 권장하는 임계값을 기본 설정값(Default value)으로 가지나, 사용자의 필요에 따라 임의로 설정 값을 변경할 수 있도록 하여, 그 수치에 따라 제어 및 정보가 가능하도록 인터페이스를 설계하였다. 기본 설정값(Default value)은 해당연구를 통한 봉군의 모니터링과 문헌에 보고된 내용에 따라 설정하였다. 이 값은 사전에 꿀벌 생육에 악영향을 주는 환경조건을 조기에 경보해주어 조치하도록 설정한 것이기 때문에 특정 임계값에 도달한다고 하여 즉각적으로 꿀벌이 폐사할 가능성이 있는 값은 아니다.

1) 월동준비기간 및 월동기 생육 데이터 분석 및 알고리즘 제어조건

○ 꿀벌의 월동기작과 외기온도

변온동물인 곤충의 활동은 외기온도의 영향을 크게 받을 수밖에 없다. 각 곤충의 종마다 상이하나 가슴근육을 예열하여 특정온도 이상으로 온도를 올려야만 비행할 수 있기 때문에 곤충의 활동은 특정 외기온도 이상이 되어야 가능하다고 알려져 있다. 온대지방에서 가을이 지나고 겨울이 오면서 외기온도가 내려가기 시작하면 꿀벌의 외역활동도 감소한다. 외기온도가 12°C 이하로 내려가기 시작하면 꿀벌의 비행능력이 현저하게 떨어지고 야외활동이 거의 없어진다고 알려져 있다.

영속성(永續性)을 갖는 꿀벌개체군은 같은 사회성 곤충이지만 개체군이 1년 주기로 소멸하는 뒤영벌이나 말벌과는 다르게 겨울에도 개체군이 생존하여 내년 봄까지 유지된다. 꿀벌은 외기온도가 낮아지고 주변에 밀원식물이 사라지면 겨울임을 인지하고 봉구를 형성하는데 이러한 월동기작을 통하여 겨울에도 생존이 가능하다. 외기온도가 17 °C 이하로 내려가면 꿀

벌들이 어느 정도 뭉치는 것을 관찰 할 수 있으나 이는 단순한 집합으로 능동적인 봉구형성 단계로 볼 수 없다. 외기온도가 12 ~ 13°C 로 내려가면 상기 언급하였듯이 외역활동이 거의 사라지며, 벌통 내부에서도 변화가 관측되는데 이때부터 본격적인 봉구를 형성한다. 봉구의 각 부분별 온도는 그림 12와 같다. 봉구중앙에는 여왕벌이 위치하며 이를 둘러싼 일벌들이 교대하며 온도를 유지한다. 봉구 내부에는 난방벌들이 위치하며 가슴근육운동에 의한 능동적인 발열활동으로 온도를 유지하며, 이때 난방벌의 발열 행동은 꿀벌의 체온을 정상 체온보다 9 ° C 높은 44 ° C까지 올릴 수 있다고 알려져 있다(Kleinhenz *et al.*, 2003). 발열을 위한 에너지원으로 저장한 먹이를 소모하게 되므로 외기온도가 낮아지면 먹이의 소모량이 증가한다. 이러한 봉구 내부의 능동적 발열은 외기온도 영하 5°C 이하에서 나타나기 때문에 외기온도 영하 5°C 이하에서는 먹이의 소모량이 급격하게 높아진다. 봉구 외부의 벌들은 발열활동을 하지 않고 일종의 단열재 역할을 수행하게 되며, 꿀벌이 버티기 어려울정도로 체온이 내려가면 내부 난방벌과 위치를 바꿔가면서 온도를 유지하며 먹이를 섭취한다. 따라서 월동의 성공을 위해서는 잘 전화되어 저장된 충분한 꿀과 꽃가루, 봉구의 유지를 위한 충분한 수의 일벌이 필요하며, 봉구의 구심점 역할을 할 여왕벌이 건전해야한다.

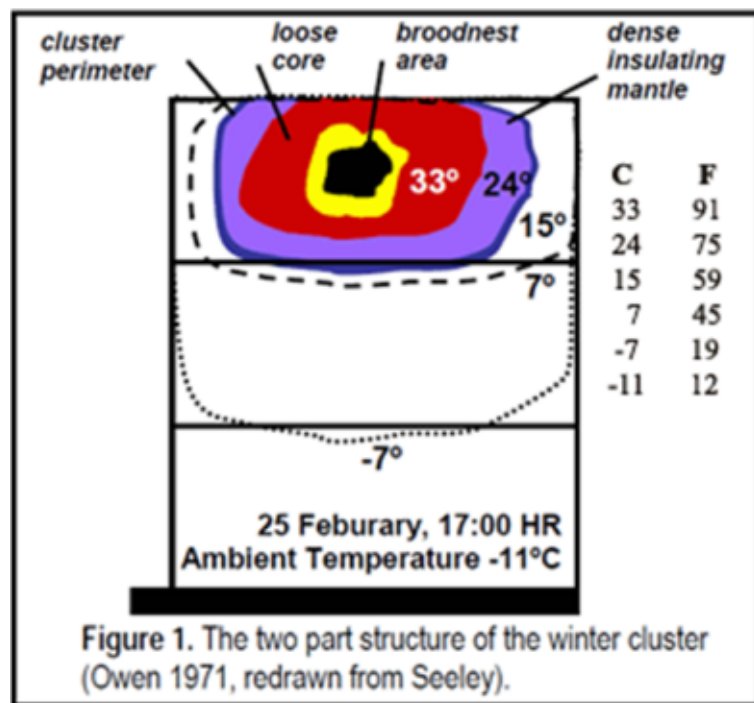


그림 12 월동기 봉구의 온도



그림 13 봉구의 실제 형태

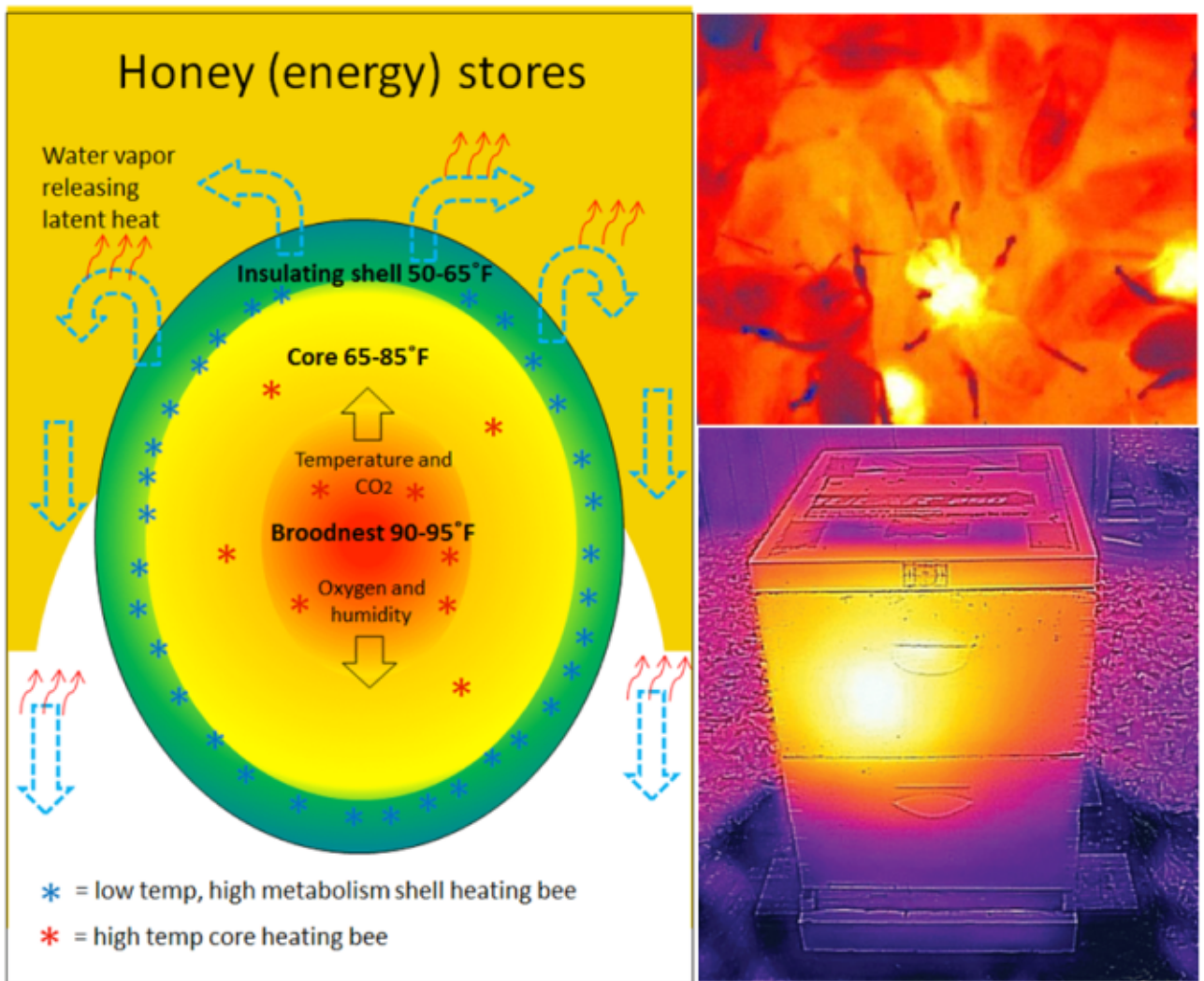


그림 14 꿀벌의 월동 기작과 적외선 카메라로 본 난방벌의 발열활동과 봉구

1차년도 11월 10일 설치한 센서디바이스를 통하여 모니터링을 시작하였다. 2016년 11월

23일 본격적인 월동을 위하여 외부포장 및 내부보온을 진행하였다. 12월 중순 경 갑자기 발생한 이상 고온 현상에 따른 월동먹이의 소모가 우려되어 12월 28일에 2번 봉군 (bee colony, 蜂群)과 6번 봉군 (bee colony, 蜂群)을 대표 봉군 (bee colony, 蜂群)으로 선정하고 내검(內檢)을 진행하여 월동먹이의 양과 산란유무를 관찰하였다. 그 결과 두 봉군 (bee colony, 蜂群) 모두 산란이 진행되지 않았으며, 월동먹이의 소모도 크지 않아 추가로 먹이의 보충을 진행하지 않았다. 17년 2월 14일 월동을 마무리 짓고 본격적인 봄벌 육성을 시작하였다.

○ 월동준비기간 및 월동기 온도 데이터 분석결과 및 알고리즘 제어조건

모든 봉군 (bee colony, 蜂群)은 여왕벌을 가두는 방법 따위의 인위적 산란 제어를 실시하지 않았다. 그 결과 2번 봉군 (bee colony, 蜂群)은 11월 중순 까지 산란 및 육아가 진행된 것이 확인되었다. 온도 데이터 분석결과 30℃ 전후로 온도가 유지되었으며 이는 산란과 육아를 위한 보온활동에 의한 것으로 볼 수 있다. 생육 및 육아가 활발히 일어나는 양봉사육상 중앙부의 온도는 외부 온도변화에 무관하게 34℃ 근처에서 미세하게 조절된다는 사실을 기반으로 하여 봉군 (bee colony, 蜂群)의 온도 데이터가 30℃ 전후로 유지되고 있으면 산란 및 육아가 지속되고 있다는 판단이 가능하다. 월동준비기간에 산란이 지속되면 겨울을 나아갈 일벌이 저온환경에서 무리한 육아 온도 유지를 위하여 불필요한 노동을 하게 되고 이로 인하여 수명이 감소한다. 1마리의 유충을 육아하는데 필요한 육아벌의 비율은 저온환경에서는 고온에서보다 많은 일벌이 필요한 비효율적인 상황이 발생하기 때문에 농가에서는 실내 월동, 당액공급을 통한 산란공간 제어, 기존양봉장보다 더 저온인 고지대로 이동 등 인위적인 조치를 통하여 산란을 억제한다. 이러한 상황을 방지하기 위해 월동준비기 산란의 유무를 확인하고, 이를 인위적으로 제어하고자 한다면, 온도 데이터는 산란 및 육아의 진행 여부를 판단하는데 있어서 좋은 단서가 될 것으로 사료된다.

봉세가 비교적 약한 3번 ~ 6번 봉군 (bee colony, 蜂群)의 경우 11월 15일 이후 생육권의 온도가 30℃ 이하로 내려가는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 월동식량의 저밀(貯蜜)로 인한 산란권의 압박과 월동 준비과정으로 인한 여왕벌의 산란중단으로 육아를 위한 보온활동이 중단된 것으로 판단된다.



그림 15 월동준비기간 및 월동기 강군 2번 봉군의 온도 데이터 분석



그림 16 월동준비기간 및 월동기 5번 봉군(중간 군세)의 온도 데이터 분석

제주(184) 기온분석 일 자료 (기간 : 2016 ~ 2017년 01~12월 01~31일)

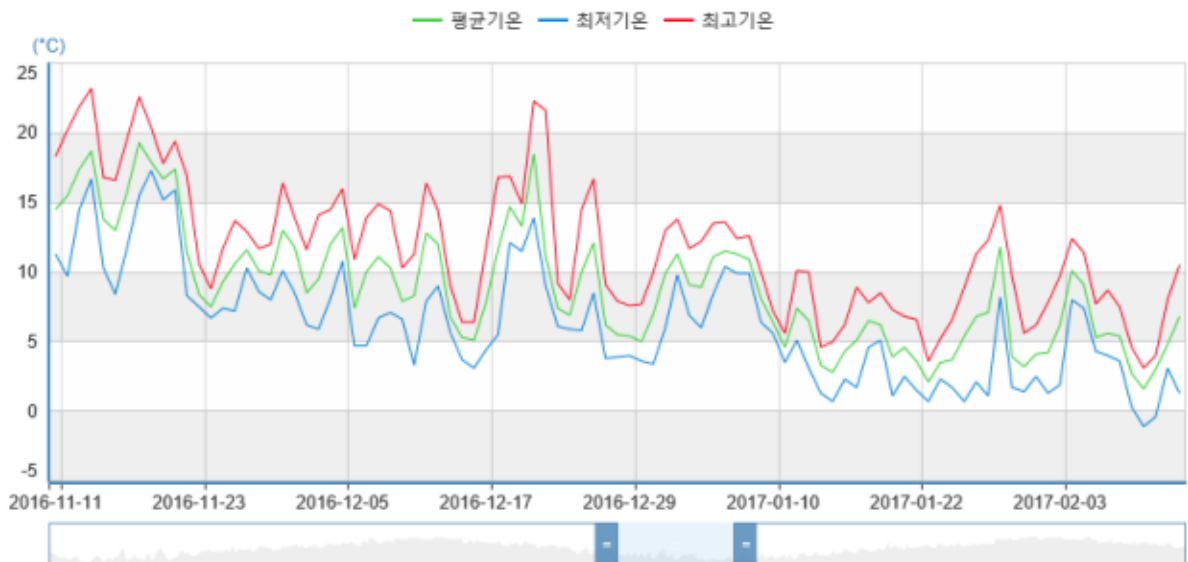


그림 17 월동 기간 내 제주시 기온 분석 자료(기상자료개방포털)

월동보온포장을 실시한 후 안정적으로 봉구 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)를 형성하였을 경우 외기온도가 낮은 날에도 10℃ 이상의 온도를 유지하였으며 외기온도가 높은 날에는 25℃ 이상을 상회하는 경우도 종종 발생하였다. 이는 이상고온으로 인한 외기온도의 상승 및 태양광의 영향으로 봉구 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)를 일시적으로 해체하고 외부활동과 월동기 체내에 쌓인 노폐물을 외부에 배설하는 행위인 탈분(脫糞)을 한 것으로 추정된다. 12월 18일부터 12월 21일까지 기간에는 2번 봉군 (bee colony, 蜂群)의 경우 봉군 (bee colony, 蜂群) 내 온도가 30℃를 육박하였고 다른 봉군 (bee colony, 蜂群)들도 25℃ 정도를 상회하였다. 이 기간에 제주시의 경우 매우 온난한 날씨가 비정상적으로 지속되었던 시기였다. 기상청 자료에 따르면 30년간 12월 21일 제주지역의 평균온도는 7.9℃도였다. 2016년 12월 21일 제주시의 평균온도는 무려 18.5℃로 기록되었으며, 이는 30년간 평균 온도를 크게 웃도는 수치이다. 이러한 자료를 참고하였을 때 2016년 12월 19일부터 2016년 12월 22일까지의 높은 외기온도는 이상 고온이라고 판단되며 봉군 (bee colony, 蜂群)도 이에 자극을 받아 봉구 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)를 해체한 것으로 추정된다.

이상적인 월동을 위해서는 낮은 온도가 큰 변동 없이 지속되어야 한다. 이러한 이유로 몇몇 농가에서는 창고와 같은 실내에서 온도변화가 없는 저온상태를 유지해 안정한 환경을 조성하여 겨울을 나는 경우도 있다. 이는 봉구 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)가 유지되면 꿀벌이 활동을 억제하므로 월동먹이의 불필요한 소모가 없어 월동먹이의 절량으로 인한 봉군 (bee colony, 蜂群)의 소멸 우려가 없으며, 높은 외기온도에 의해 자극을 받아 외출한 꿀벌이 갑자기 낮아진 외기온도에 의해서 사망하는 현상을 방지하는 효과가 있다. 따라서 과도한 월동포장으로 인하여 양봉사육상의 온도가 지나치게 높아지면 꿀벌에게 자극을 주어 봉구 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)를 해체하는 역효과를 낳기 때문에 동계 봉군 (bee colony, 蜂群)관리에 있어서 과도한 월동포장은 불리하다고 알려져 있다.

지구온난화로 인한 이상기후 현상이 빈번한 최근의 경향을 보았을 때 이상고온에 의한 꿀벌의 불필요한 봉구(Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)의 해체와 활동을 억제하고 이상저온에 의한 폐사를 방지하는 것이 매우 중요하다. 향후 농가 보급 시 적절한 월동포장의 수준을 확립하는데 있어서 전년 월동포장 이후 온도 변화 패턴을 분석하여 온도가 지나치게 높아지는 경향이 관찰된다면 금년 기상과 비교하여 월동포장의 정도를 보다 느슨하게 설정할 필요가 있을 것이다. 월동포장시기 온도데이터는 월동포장의 수준을 설정하는 것에 대하여 훌륭한 단서를 제공해 줄 것이며, 이상기후에 대한 대비와 조치를 가능하게 할 것으로 기대된다.

월동 준비기에 남부지방의 경우 때때로 인위적인 산란의 억제가 필요한데 이 때 수집된 온도 데이터를 통하여 산란 유무를 파악할 수 있다. 봉군 (bee colony, 蜂群)의 온도가 30℃ 정도를 유지하는 경우 안정적인 육아 및 산란이 이루어지는 것이며 그 이하로 지속적으로 내려가는 경우 산란 및 육아가 중단된 것이므로 이를 참고하여 산란의 진행 또는 중단을 사용자가 원하는 방향으로 조치를 취하면 된다. 월동포장을 진행한 후에는 벌통을 열어 속살 피기가 불가능하므로 이 때 온도데이터를 통해 봉군 (bee colony, 蜂群)의 폐사여부와 활동 여부, 봉구 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)의 상태를 추정할 수 있다.

사용자가 설정한 월동기간 중 봉군 (bee colony, 蜂群)의 온도가 10℃ 이하로 떨어지고 이

상황이 지속되어 7℃ 이하로 내려가면 꿀벌의 행동이 마비되어 먹이섭취, 봉구(Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)유지활동이 불가능하며 5℃ 이하로 내려가면 12시간이내에 동사하기 때문에 결국 봉군 (bee colony, 蜂群)의 소멸이 우려되므로 일간 최저온도가 10℃ 이하를 나타낼 경우 경보를 사용자에게 전송하도록 한다.

만일 월동 포장 후 봉군 (bee colony, 蜂群)의 온도가 30℃를 상회하는 경우 여왕벌의 산란이 재개된 것이므로 월동포장의 축소(縮巢)와 직사광선의 차단을 권고하고, 일반적으로 월동시기 막바지인 1월 말 이후에 이러한 데이터가 나타난다면 봄벌 기르기를 본격적으로 시작하여 자극먹이와 대체화분, 깨끗한 식수를 공급하는 것을 고려하고, 육아 및 생육권의 온도유지를 위하여 더욱 충실하게 보온을 실시할 것을 권고하여야 한다.

○ 월동준비기간 및 월동기 무게 데이터 분석결과 및 알고리즘 제어조건

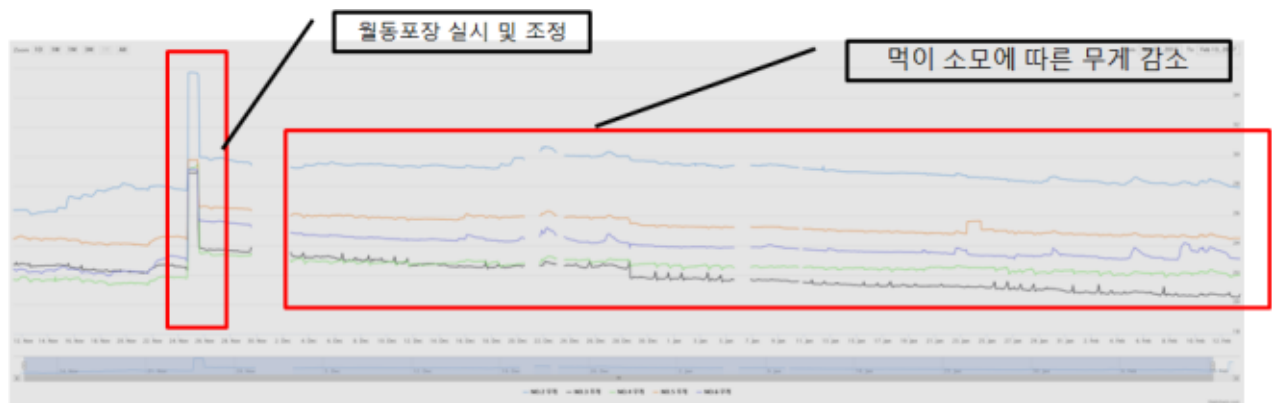


그림 18 월동기 모든 실험 봉군의 무게 변화 데이터 분석

월동기 무게패턴 분석결과 월동사양을 중단하고 월동포장을 실시한 후 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 먹이의 소모에 의한 지속적인 무게의 감소가 관찰되었다. 봉군 (bee colony, 蜂群)의 무게는 비교적 일정한 속도로 감소하여 완만한 기울기를 나타내었다. 만약 무게의 감소폭이 커질 경우 봉군 (bee colony, 蜂群)내부의 벌들이 외부로 나와 활동하다가 동사하였거나 탈분(脫糞)에 따른 외출로 인한 무게 변화를 추정할 수 있다. 그리고 외부에서 침입, 도난과 같은 사건이 발생하였을 수도 있다. 따라서 무게의 감소가 급격해지는 경향이 지속된다면 사용자에게 양봉장에 방문하여 봉군 (bee colony, 蜂群)을 외부에서 관찰하도록 권장해야 한다.

월동 시기 무게의 증가는 일반적으로 정상적인 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 발생할 수 없기 때문에 무게가 증가할 경우 들쥐의 봉군 (bee colony, 蜂群) 내부 침입, 적설과 우천에 의한 무게 증가로 추정이 가능하다. 벌통 상단, 소문(hive entrance, 巢文) 정면에 적설이 진행되어 소문(hive entrance, 巢文)을 막는 경우 봉군 (bee colony, 蜂群)의 소멸이 우려되므로 양봉장에 방문하여 조치가 필요하며, 들쥐의 내부 침입의 경우 봉군 (bee colony, 蜂群)의 치명적인 피해를 유발하여 봉군 (bee colony, 蜂群)이 소멸할 수 있는 문제이다.

이를 구현하려면 무게의 급증과 급감의 정확한 수치를 명확하게 설정하여 제어조건을 확립 하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 향후 대기압 센서 또는 강우량 센서의 도입을 통하

여 저기압으로 강우 및 적설 상황을 추정하여 무게 증가 시점과 비교할 필요성이 있다. 우천에 의한 벌통의 습기 흡수와 보온물이 젖으면 이를 통해서 무게가 증가하게 되기 때문에 우천여부의 파악은 더욱 필요할 것이다. 특히 대기압 센서의 경우 매우 저가이며(1만원 이하, 그림 19), 각 DAQ에 모두 적용이 필요하지 않고 외부에 1기만 설치하면 되므로 적용가능성이 클 것으로 기대된다.

	<p>BMP180 / 대기압 센서 / 고도 센서...</p> <p>5,500원</p> <p>옥션</p>		<p>(PP-A226) BMP280 디지털 정밀 고도...</p> <p>2,200원</p> <p>G마켓 리뷰 1</p>
	<p>해외 [시부야]HiLetgo BME280 대기압 센...</p> <p>41,150원</p> <p>유닛808 </p>		<p>아두이노 BMP180 대기압 센서 모듈</p> <p>3,540원</p> <p>인터파크 </p>

그림 19 포털사이트에서 검색한 대기압센서의 가격

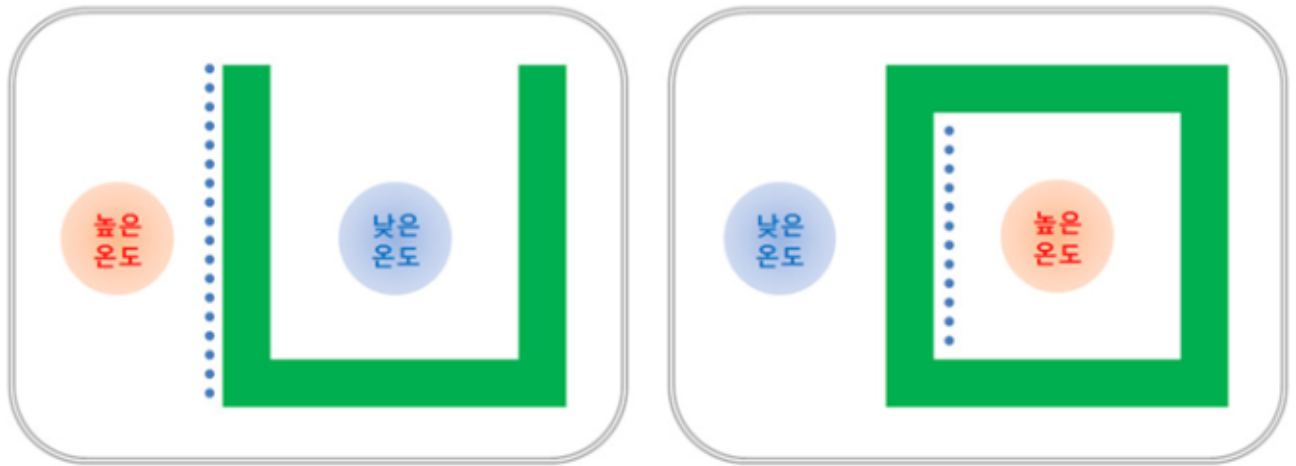
○ 월동준비기간 및 월동기 상대습도 데이터 분석결과 및 알고리즘 제어조건



그림 20 월동기 모든 실험 봉군의 상대 습도 데이터 분석

겨울철 월동포장 시 양봉사육상 내부의 상대습도는 봉군 (bee colony, 蜂群)마다 그 범위가 달랐으나 대체로 25% ~ 70%를 유지하였다. 상대습도가 지나치게 높게 나타나는 경우 사육상 내부로 누수가 발생하였거나 보온자재의 수분 흡수, 과도한 월동포장, 비닐 개포(bee veil, 蓋布)의 사용 등으로 인한 통기 불량을 추정할 수 있다. 또한 겨울철 몇몇 양봉농가에서는 단열이 우수한 스티로폼 벌통을 이용하여 겨울을 나기도 하는데, 스티로폼 벌통의 단점은 습기 배출이 되지 않아 양봉사육상 내부가 습도가 높아져 진균성 질병인 백묵병(Chalk

brood, 白墨病)의 감염이 잦다는 것이다. 그리고 농업용 비닐을 잘라 개포 (bee veil, 蓋布)처럼 덮어주거나 우드락 등 단열재질을 격리판 형태로 제작하여 보온해주기도 하는데, 이러한 처리도 마찬가지로 외기 내기 차이에 따른 결로현상의 원인이 될 수 있다. 월동 시 결로가 발생하면 봉군 (bee colony, 蜂群)에 치명적이라고 알려져있다. 결로가 봉구 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)에 접촉되면 온도유지에 어려움이 발생하고 결국 봉군 (bee colony, 蜂群)이 사멸하는 결과를 초래할 수도 있다. 결로는 외기온도와 내부온도의 차이와 내부 상대습도가 작용하여 발생하기 때문에 단순히 봉군 내 상대습도만을 측정하여 예측하기는 어렵다.



사례 1. 맥주컵

사례 2. 집

그림 21 일상생활에서 결로현상의 예

겨울철 따뜻한 실내가 습하고 외부온도가 낮을 때 벽면에 결로 현상이 생기는데, 양봉사 육상또한 내부는 봉구를 형성하여 꿀벌이 발열을 하기 때문에 외기온도보다 높은 상태가 유지되고 있고 외부는 낮은온도가 유지되고 있기 때문에 동일한 현상으로 외부와 맞닿은 벽통의 측면부터 결로가 맺힌다.

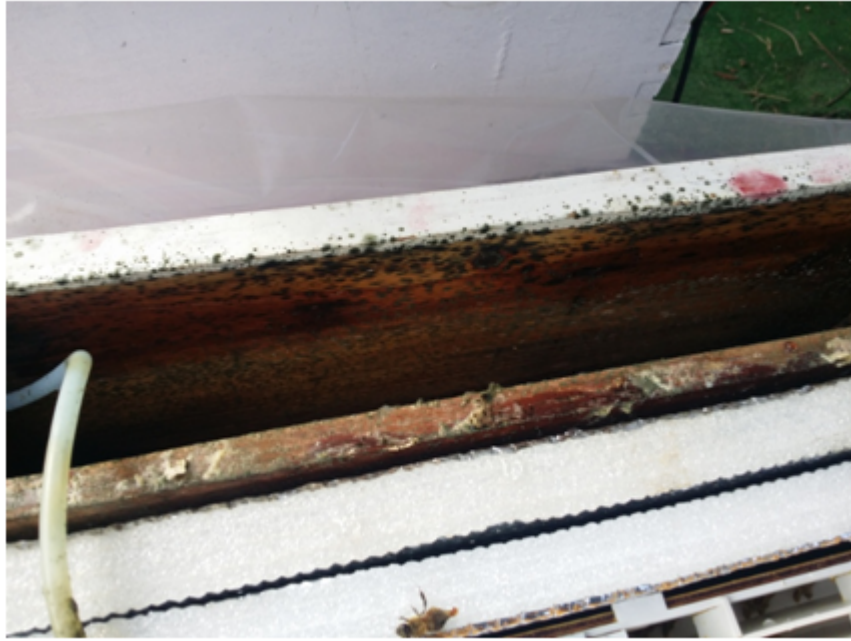
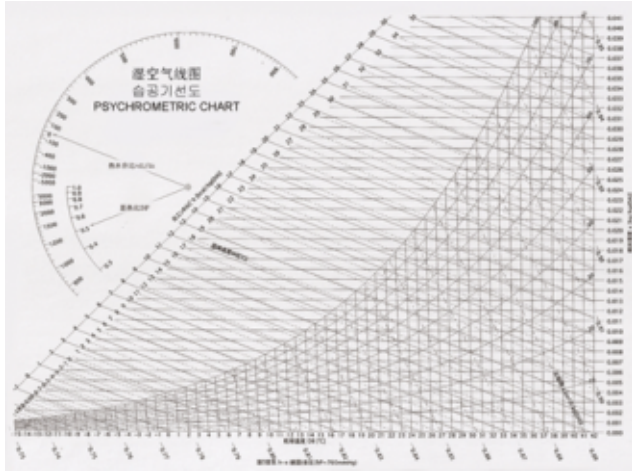


그림 22 전면비닐개포를 설치한 봉군에서 결로로 인한 곰팡이



그림 23 전면비닐개포를 설치한 봉군의 상대습도 범위

전면비닐개포를 설치한 1월 19일부터 그 후 내검한 2월 15일까지의 생육데이터를 나타낸 것이다. 해당 봉군은 50~60%의 상대습도를 나타내었으나 전면 비닐개포로 인한 결로현상이 나타나 진균의 번식으로 인한 오염이 나타났다. 비록 전면비닐개포가 결로현상으로 인하여 농가에서 지양되는 처리이나, 상대습도만으로 결로현상을 파악하지 못한다는 것을 보여주는 결과이다.



		이슬(결로)점 온도(Dew Point Temperature)									
공기 온도 (°C)	상대습도 (%)										
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
상대습도에 따른 이슬점(결로점) 온도 (°C)											
8	-1.8	-0.5	0.7	1.8	2.9	3.8	4.8	5.6	6.5	7.2	
10	-0.1	1.4	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	9.2	
12	1.9	3.3	4.5	5.6	6.7	7.7	8.7	9.6	10.4	11.2	
14	3.7	5.1	6.4	7.5	8.6	9.6	10.6	11.5	12.4	13.2	
16	5.6	7.0	8.2	9.4	10.5	11.6	12.5	13.5	14.4	15.2	
18	7.4	8.8	10.1	11.3	12.4	13.5	14.5	15.4	16.3	17.2	
20	9.3	10.7	12.0	13.2	14.4	15.4	16.4	17.4	18.3	19.2	
22	11.1	12.5	13.9	15.1	16.3	17.4	18.4	19.4	20.3	21.2	
24	12.9	14.4	15.7	17.0	18.2	19.3	20.3	21.3	22.3	23.1	
26	14.8	16.2	17.6	18.9	20.1	21.2	22.3	23.3	24.2	25.1	
28	16.6	18.1	19.5	20.8	22.0	23.1	24.2	25.2	26.2	27.1	
30	18.4	20.0	21.4	22.7	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2	29.1	
35	23.0	24.6	26.1	27.4	28.7	29.9	31.0	32.1	33.1	34.1	

그림 24 결로 현상을 계산하기 위한 습공기선도표와 온도와 습도에 따른 이슬점표

결과적으로 상대습도 수치만으로 정상범위를 설정하기는 어려우나 정상적으로 생육하는 봉군에서 그 값이 70%를 상회하는 일이 없었다. 또한 상대습도로 결로현상의 판단은 어렵기 때문에 결로가 양봉을 경영하는데 있어 중요한 모니터링 요소로 판단된다면 결로 센서의 도입도 고려해볼 필요가 있다고 판단된다.

일반적으로 봉군 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)를 풀고 산란을 유도하여 봉군 (bee colony, 蜂群)의 생육개시를 촉진하는 소위 말하는 봄벌 깨우기는 대체화분을 급여하고 내외부 보온포장을 강화하여 산란과 생육을 촉진하는 것으로 보편적인 양봉농가에서는 지역마다 상이하나 일반적으로 입춘 전후에 실시하고 있다. 최근들어 가온장치를 활용하여 봄벌 키우기를 보다 조기에 실시하여 봉군분양을 통하여 부소득을 올리고자 하는 농가가 많고, 다양한 가온장치의 개발이 시도되고 있다. 이 때 가장 주의해야 할 것은 인위적 가온에 의해 봉군 (bee colony, 蜂群)내부가 건조해지는 현상이다. 봉군 내부의 습도유지는 반드시 필요한 것으로, 그 예로 50% 상대 습도 이하의 수준에서 알은 부화하지 않으며 90 ~95 %의 상대습도가 알 부화의 최적 수치로 알려져 있다(Doul, 1976). 이것은 봉군 내부의 상대습도가 90%를 육박하는 것을 뜻하는 것은 아니며 이는 소방 내부에만 국한 된 것이다. 그렇다고 지나치게 내부가 습한 조건은 질병을 유발한다. 병원성 미생물을 포함한 생물체에 수분활성도는 매우 중요한 발육인자이기 때문으로 Flores 등 (1960)에 따르면 30°C의 동일온도에서 상대습도가 68%일 때 불과 0.95%의 chalk brood(백목병, *Ascosphaera apis*)가 발생하였으나 상대습도가 87% 일 때 발생률이 무려 7.75%로 나타났다. 즉 지나치게 건조하면 알의 부화가 불가능한 등 생육에 악영향을 주며 지나치게 습한 경우 진균성 질병의 감염과 벌통의 오염을 야기한다. 만일 가온 처리 하였을 때 상대습도가 25% 이하로 내려간다면 사용자는 반드시 가습 조치를 해야 할 것으로 생각된다. 향후 열선을 설치한 농가에서 상대습도의 최저치를 경보조건으로 설정하여 사용한다면 가온장치를 이용하는 양봉농가에서 매우 유용하게 이용가능 할 것으로 예상되며 자동제어 시스템을 활용한 자동 가습장치의 적용 또한 기대되는 부분이다.

○ 월동준비기간 및 월동기 CO₂ 농도 데이터 분석결과 및 알고리즘 제어조건

CO₂는 대기 중에는 약 390ppm (약 0.04%)의 낮은 농도로 존재하고 있으며 유기물의 연소, 생물의 호흡, 미생물의 발효 등에 의하여 만들어진다. 봉군 (bee colony, 蜂群) 내부에서 CO₂는 꿀벌의 대사활동과정에서 체내에서 호흡에 의하여 배출된다. Nagy & Stallone(1976)에 의하면 외기의 낮은 온도가 봉구 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)내부의 CO₂의 농도를 상승시켜주는 요인이라 하여, CO₂ 농도와 생육온도간의 밀접한 관계가 있음을 시사하였다. 공기의 흐름이 비교적 정체되어 있는 꿀벌 사육통 내부의 이산화탄소 농도는 월동기 봉군 (bee colony, 蜂群)의 생존여부를 추정하는데 유효한 지표가 될 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 월동기 CO₂ 농도가 대조군인 빈 양봉사육상과 유사한 농도로 나타나며 그 변화량이 낮다면 봉군 (bee colony, 蜂群)의 폐사 또는 약화를 의심해 볼 수 있다. 즉 CO₂농도는 그 자체로 봉군 (bee colony, 蜂群)의 생존여부를 확인할 수 있는 생육 신호라고 볼 수 있다.

월동기 CO₂ 농도의 범위는 0.1%에서 최대 약 4%로 나타났으며 대조군인 빈 양봉사육상의 경우 0.05%를 나타내었다. 따라서 양봉사육상 내부 CO₂의 농도 0.1%를 최소 농도로 설정하여 꿀벌의 생존여부를 판단 할 수 있는 임계값으로 설정하여 0.1% 이하로 내려가는 경우 봉군 (bee colony, 蜂群)의 소멸을 추정하는 제어조건으로 설정하였다. 월동기 꿀벌의 사체가 소문(hive entrance, 巢文)에 쌓여 막히는 상황이 발생하기도 한다. 이 때 공기의 흐름이 차단되고, 봉군 (bee colony, 蜂群)이 질식하여 사망하는 경우도 종종 있기 때문에 농가에서는 지속적으로 소문(hive entrance, 巢文) 앞을 철사 따위의 물체로 긁어 사체를 제거하여준다. 만약 봉군 (bee colony, 蜂群)의 사체로 소문(hive entrance, 巢文)이 막히는 상황이 발생한다면 환기의 불량으로 봉군 (bee colony, 蜂群) 내 CO₂ 농도가 급증할 것으로 예상된다.

○ 월동기 소음 데이터 분석결과 및 알고리즘 제어조건



그림 25 월동기 모든 실험 봉군의 소음 데이터 분석

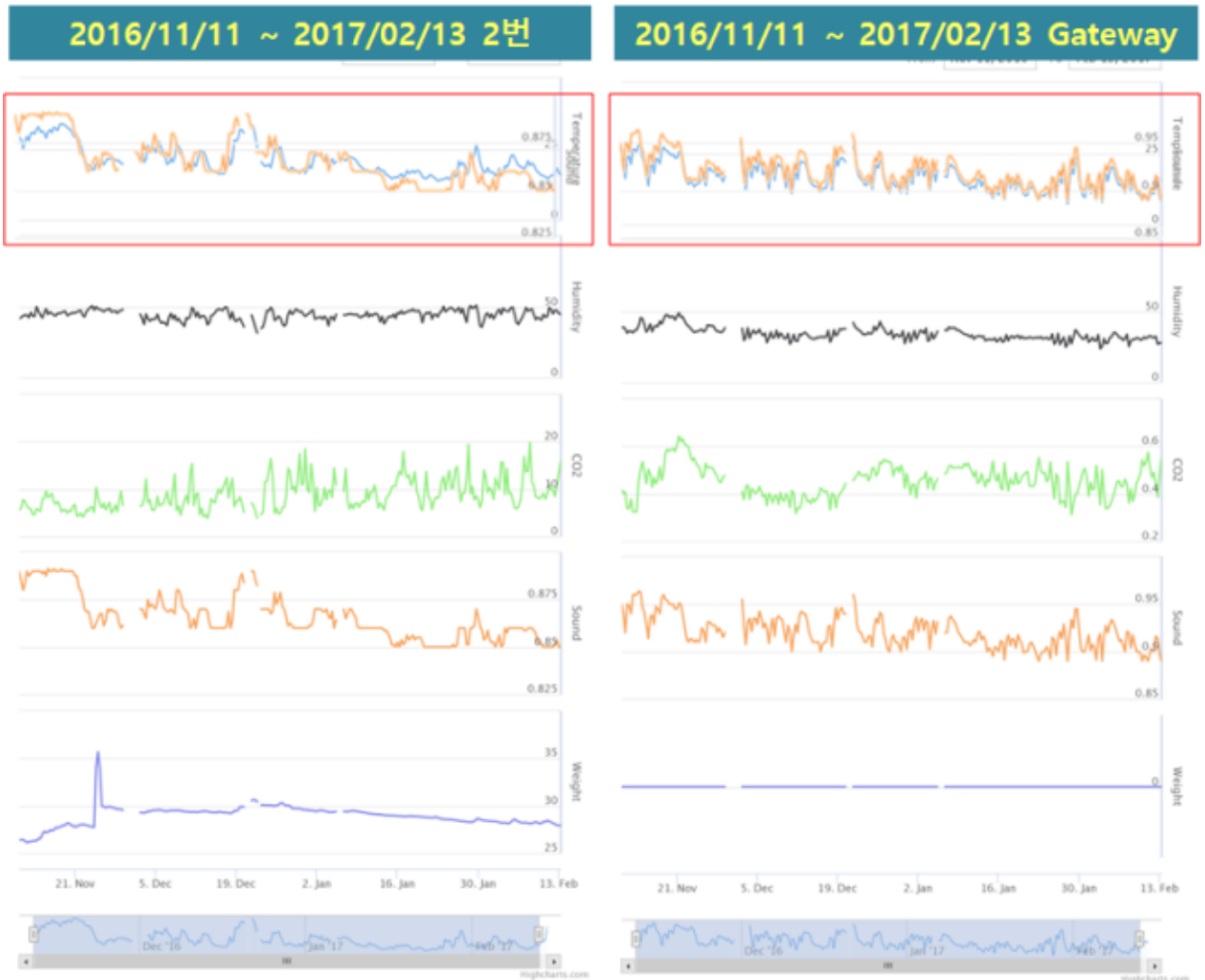


그림 26 게이트웨이(빈 양봉사육상) 내 환경인자 데이터와 양봉사육상 내부 환경인자의 비교 온도와 소음을 겹쳐 비교한 결과 매우 유사한 변동 양상을 보였다.

본 연구에서 센서디바이스를 설치하고 관찰 한 결과 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 측정되어 전송된 온도 데이터와 봉군 (bee colony, 蜂群) 내부에서 측정된 소음 데이터의 패턴이 매우 유사하게 나타나는 것을 확인하였다. 이는 꿀벌은 온도를 올리기 위하여 가슴근육을 진동하는데 이러한 행동에 의해서 나타나는 소음이 반영된 것으로 추정하였다. 그러나 대조군 즉, 봉군 (bee colony, 蜂群)이 생육하지 않는 빈 양봉사육상 내부에 설치된 센서에서 측정된 값도 마찬가지로 온도와 소음의 경향이 매우 유사하게 나타났다. 이 부분은 온도와 소음 데이터 간 간접현상 또는 기계가 작동하면서 발생하는 열과 소음 간의 상관관계로 추정되지만 아직 밝혀내지는 못하였다. 향후 센서의 측정값을 점검 및 보정하고 기계적 원인을 분석할 예정에 있다. 이러한 결과로 비추어 보았을 때 보정 및 진단도구의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

5번 봉군 (bee colony, 蜂群)을 제외한 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 0.83 ~ 0.90 mV의 소음이 발생하였다. 이는 센서의 초기 설정 값에 차이 때문인 것으로 판단되며, 향후 소음 센서의 보정과 점검이 필요할 것으로 보인다. 수집된 데이터의 신뢰도를 높이고, 이상 데이터의 발생 시 해당 데이터가 봉군 (bee colony, 蜂群) 내 어떠한 사건에 의한 것 인지 검증

하기 위하여 센서를 보정, 검정하는 장치나 체계가 반드시 필요할 것으로 사료된다.

꿀벌의 의사소통은 크게 2가지로 춤으로 일컬어지는 행동학적 의사소통과 진동으로 의사소통을 하는 음향학적 의사소통으로 나뉘며 이 때 230 - 270 Hz의 진동을 이용한다고 알려져 있다. 온도를 조절하기 위한 선풍활동, 꽃꿀을 건조하는 과정, 외적의 침입을 격퇴하는 과정, 분봉과정에서 반드시 날개 짓에 의한 소음이 발생한다. 따라서 소음인자는 벌들의 의사소통 등 행동학적, 생태학적으로도 큰 의미가 있는 인자이기 때문에 향후 분석을 위한 전문적인 장비의 도입과 인력이 추가된다면 매우 유용한 정보를 제공할 것으로 사료된다.

시 기	상 황	센서표출값	조치 사항 발령
월동기	봉구 해체 산란 개시	일간 최저온도 1주 이상 지속적 상승 무게 감소량 증가	외부포장 축소, 직사광선 차단 or 봄벌키우기 개시 (시기에 맞게 적용)
	저온 비상시	일간 최저온도가 10℃ 이하를 나타낼 경우	경보: 보온철저, 방풍망 설치
	적설에 의한 소문 폐쇄	무게 증가	제설 작업 실시
	월동먹이의 절량	지속적인 무게 감소	저밀소비 보충, 봄벌깨우기
	환기불량 가온 시 건조 양봉사육상 틈새 존재	최저 습도 25% 이하 최대 습도 70% 이상 3일 이상 지속	70% 초과 시 과습, 통풍 요망 25% 미만 시 건조, 가습 필요
	봉군의 소멸	CO ₂ 일교차 없음 CO ₂ 농도 0.1% 이하	봉군소멸여부 점검

표 2 월동기 센서표출 값에 따른 제어규칙 및 조치사항 발령

2) 춘계 생육기 생육 데이터 분석 및 알고리즘 제어 조건

이 시기는 봉군 (bee colony, 蜂群)의 월동이 종료되어 봉구 (Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)가 해체되며, 이에 따라 농가에서는 꿀벌의 육아를 촉진시키고 활동을 자극하기 위하여 먹이와 식수를 공급하게 된다. 이는 유밀기(有蜜期)와 유사한 환경을 조성하여 꿀벌의 활동을 자극하고, 유밀기(有蜜期) 벌꿀의 생산을 위하여 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력을 성장시키기 위한 것이다. 이 시기 우화한 일벌들은 유밀기(有蜜期)에 외역을 나가 꽃꿀을 채취하기 때문에 이 시기 양봉관리가 한해 벌꿀생산의 성패를 좌우한다고 볼 수 있다. 산벚나무 등 초봄 밀원식물이 풍부하고 기후가 온화한 일부 지역의 경우 벚꽃꿀 채밀을 목표하기도 하지만 대부분 양봉농가의 경우 5월에 있을 아카시아 유밀기(有蜜期) 이전에 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력을 최상위로 끌어올리는 작업에 몰두한다. 이때 가장 중요한 것은

크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 월동기보다 더욱 보온에 주의를 기울여 꿀벌의 육아를 위한 노력을 줄여주고, 양질의 먹이를 제공하여 산란을 촉진시키는 것이다. 두 번째로 봉군 (bee colony, 蜂群)을 지나치게 웃자라지 않게 관리하여야 한다. 아카시아 유밀기(有蜜期)인 5월 초순, 중순에 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력이 절정에 이르러야 하므로 지나치게 빠르게 키워 봉군(bee colony, 蜂群)세력의 전성기가 이르게 온다면 정작 유밀기(有蜜期)에 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 발생하여 생산량이 크게 감소하는 결과를 낳기 때문이다. 이를 위하여 지나친 과보온을 예방하여야 하며 벌들에게 충분한 산란공간을 제공하여야 한다. 마지막으로 질병의 관리인데, 이 시기는 일교차가 매우 크며, 월동 직후 초봄에는 봉세가 약하기 때문에 육아에 필요한 보온유지에 어려움을 겪게 된다. 이로 인하여 백목병, 노제마병과 같은 질병이 발병이 빈번한 기간이다. 따라서 벌들이 분산되지 않도록 소비를 적게 배치하여 생육권의 온도손실을 예방하여야 한다. 즉 이시기의 중점을 뒤야 할 것은 지나친 보온과 먹이공급으로 인한 봉군(bee colony, 蜂群)의 빠른 생육도 결과적으로 분봉의 요인이 되기 때문에 금물이며, 반대로 보온에 소홀하고 먹이 공급을 제대로 하지 않는 것도 봉세의 약화와 질병의 발병을 초래하기 때문에 중용의 도를 지키는 것이 필요하다.

따라서 적절한 모니터링으로 양봉사육상의 문제를 조기에 예측하여 질병과 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)을 예방하고, 양봉사육상 내 환경을 제어하여 환경변수를 최적화할 수 있다면, 본 연구로 인한 가장 큰 효과를 기대할 수 있는 시기라고 볼 수 있다.

2월 14일 월동을 종료하기 위하여 본격적인 내검(內檢)을 진행하였다. 5봉군 (bee colony, 蜂群) 모두 큰 이상 없이 생존하였으며 이미 산란이 진행되어 봉개된 소방이 형성된 봉군 (bee colony, 蜂群)이 대다수였다. 곧 바로 대체화분을 공급하였고, 자극먹이인 당액도 설탕과 물의 비율을 1kg : 1L 비율로 배합하여 식품용 비닐팩에 1kg씩 채우고 항온기에 넣어 35°C로 가열하여 공급하였다. 먹이와 식수는 떨어지지 않도록 꾸준히 공급하였다.

○ 춘계 생육기 온도 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건



그림 27 춘계 생육기 강군과 약군, 빈 양봉사육상의 온도 비교 분석

2월 14일에 자극먹이를 급여한 후 수집된 온도 데이터가 상승하는 경향을 보이는 것이 관찰되었다. 특히 가장 강군인 2번의 경우가 그 상승폭이 가장 두드러지는 것을 확인하였다. 그러나 강군인 2번을 제외하고 다른 봉군 (bee colony, 蜂群)들은 상승된 온도를 유지하는 것에 어려움을 겪는 것이 관찰되었다. 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)의 온도가 20°C를 상회하

였으나 3월 9일 이전까지는 외기온도에 영향을 크게 받아 외기온도의 경향을 따라가는 형태를 보였고, 3월 28일 이후에는 외기온도 변화의 영향 없이 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)이 30℃ 이상의 온도를 안정적으로 나타내었다. 이는 외기온도가 올라가고 봉군 (bee colony, 蜂群)이 성장함에 따라 봉군 (bee colony, 蜂群)의 생육이 활발해지기 시작하고 이에 탄력을 받아 안정적인 육아온도를 유지하는 것으로 판단된다.

수집된 환경인자의 데이터 중 약군과 강군을 비교하였을 때 가장 큰 차이를 보인 것은 온도였다. 약군의 경우 외기온도 변화에 따라 양봉사육상 내부 온도의 변화가 컸으며, 온도변화의 경향 또한 외기온도와 유사하게 나타났다. 강군의 경우 외기온도에 의한 영향을 적게 받아 30 ~ 34℃를 유지하려는 경향을 나타내었다. 2월과 3월은 일교차가 매우 큰 기간이기 때문에 외기온도에 변화폭이 매우 컸으며, 양봉사육상 내부온도 또한 이 영향을 많이 받았다. 3월 중순이후 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)의 항온성이 강해져 외기온도에 대한 영향이 감소하는 것으로 나타났다.

숙련된 양봉농가의 경우 일몰 이전부터 이른 아침까지 기온이 낮은 시간대에는 외부포장재를 소문(hive entrance, 巢文) 앞까지 덮어 찬바람을 막아주고 소문(hive entrance, 巢文)의 넓이도 조절해주는 조치를 해주기도 하는데, 향후 소문(hive entrance, 巢文)개폐장치를 개발하여 제어가 가능한 단계에 이르면 온도에 따라서 소문(hive entrance, 巢文)의 넓이를 조절하는 제어 조건을 확립한다면 일교차가 큰 초봄과 가을에 봉군 (bee colony, 蜂群)의 생육에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

4월에 들어서자 정오 무렵 봉군 (bee colony, 蜂群) 내부 온도가 35℃ 이상으로 올라가는 상황도 자주 발생하였다. 이때부터는 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 발생하는 시기이기 때문에 봉군 (bee colony, 蜂群) 내부온도가 35℃ 이상으로 지속되는 경우 봉군 내부 일벌의 개체수밀도가 높게 유지되는 단계로서 지속적인 관찰과 조치가 필요하다. 양봉사육상 내부가 봉군 (bee colony, 蜂群)의 개체 수에 비해 좁고 산란할 공간이 부족하다고 판단하게 되면 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 발생하여 외역활동을 중단하고 새로운 여왕벌을 양성하기 시작한다. 또한 기존의 여왕벌도 분봉을 준비하는 과정에서 산란을 중단하고 몸의 크기를 줄여 비행준비를 하게 되는데 이러한 과정에서 봉군 (bee colony, 蜂群)의 성장에 큰 타격을 주게 된다. 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 고조되어 분봉(Swarming)을 하게 되면 해당 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력은 절반이하로 감소하게 되고 이는 해당 봉군 (bee colony, 蜂群)의 경제성의 상실을 야기한다. 위와 같은 이유로 봄철 양봉농가에서 분봉열(swarming fever, 分蜂熱) 방지는 가장 중요한 요소라고 볼 수 있다. 분봉열의 직접적인 원인은 개체수 증가에 따른 각 개체에 전해지는 여왕벌 페로몬 농도의 저하이지만 과보온 또한 분봉열을 촉진한다고 알려져 있다. 경험많은 양봉가에 따르면 분봉열이 발생한 경우 개포를 제거하면 일시적으로 분봉열이 소모되기도 한다는 경험에서 나온 조치법을 제안하기도 하였다(양봉 52주, 권상현 저). 따라서 35℃ 이상의 온도가 지속적으로 유지될 때 일 때 사용자에게 메일을 통하여 조치를 권고하는 알고리즘규칙을 제안하였으며 향후 센서디바이스 상단에 자동 환기구를 통하여 양봉사육상 내부 온도환경을 조절하는 체계를 구상하였다. 위 결과를 종합하면 춘계 생육기 온도 데이터에 따른 알고리즘 제어 조건은 꿀벌의 사육 및 육아 온도인 30 ~ 34℃를 기준으로 위 온도를 유지할 수 있도록 하는 것에 중점을 두었다. 만약 온도가 30℃ 이하로 내려가는 경우 사용자에게 보온대책을 강구할 것을 권고한다. 이 상

황이 지속된다면 봄에 일벌의 개체수가 급격히 감소하여 봉군 (bee colony, 蜂群)이 붕괴되는 춘감현상(봄에 봉군의 개체수가 급감하는 현상)이 의심되므로 즉각 합봉 등의 조치를 권고한다. 35℃ 이상의 온도가 지속되는 경우 분봉열(swarming fever, 分蜂熱) 발생 가능성이 높아지므로 보온물을 해체하여 온도를 낮추고, 양봉사육상 내부의 공소비를 넣고, 당액급여를 줄여주어 산란공간을 확보하여주고, 계상(super, 繼箱) 또는 가상의 설치, 격리판 외곽에 빈 공간을 확보하여 공간적 여유를 제공하는 등 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)을 방지하는 조치를 권고해주며, 자동환기구가 작동하여 온도를 줄여주는 자동제어 기능 또한 작동하게 한다.

○ 춘계 생육기 무게 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건

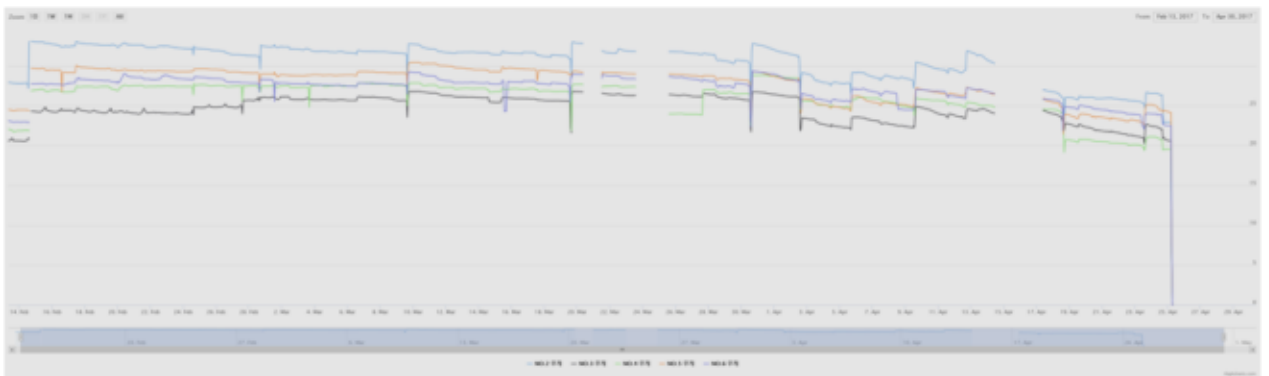


그림 28 춘계 생육기 봉군 무게의 변화 경향

무게는 온도와 함께 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력평가를 판단하는데 있어 좋은 단서로 작용하고 있다. 춘계 초기에는 먹이와 식수의 공급이 지속적으로 이루어지는 시기이다. 군세가 강하고 산란 및 육아가 활발할수록 무게의 감소량이 높기 때문에 무게가 감소하는 경향을 각 봉군 (bee colony, 蜂群) 간에 비교한다면 군세평가에 좋은 지표가 될 것이다. 또한 먹이의 보충시기를 파악하는데도 도움이 될 것으로 보인다.

월동준비기에 월동먹이의 과잉 공급 또는 뒤늦은 산란과 이에 따른 육아활동이 발생하여 일벌이 지나치게 혹사하였다면 월동 일벌의 수명이 감소하게 된다. 결국 봄에 많은 수의 일벌이 사망함으로써 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력이 약화되어 결국 봉군 (bee colony, 蜂群)이 붕괴되는 춘감현상이 발생하게 되는데, 이 현상을 파악하는데 있어서 봉군 (bee colony, 蜂群) 무게의 급격한 감소 또한 그 지표가 될 것이다. 예상대로 춘계 생육기 초기에 수집된 무게 데이터를 분석한 결과 무게는 먹이를 추가해줄 때를 제외하고 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며 지속적으로 먹이가 소모되는 것을 확인 할 수 있었다.

봉군 (bee colony, 蜂群)의 생육이 어느 정도 이루어지고 주변에 밀원식물이 개화하기 시작하면 무게 데이터가 가지는 의미는 더욱 커지게 된다. 이는 꿀벌이 수집하는 양봉산물로 양봉농가 소득에 직결되는 벌꿀과 꽃가루의 반입을 알 수 있는 지표로 작용하기 때문이다. 앞서 언급했듯이 봄에는 산란과 육아를 통해 일벌의 개체수가 증가하고, 먹이의 소모량이 많기 때문에 먹이를 공급해주어도 봉군 (bee colony, 蜂群)의 무게는 지속적으로 감소하거나 유지되는 경향을 보인다. 만약 이러한 경향이 감소추세에서 연속적인 증가추세로 변화한다

면 외부에서 유입되는 꽃꿀과 화분의 양이 내부에서 소모되는 먹이의 양보다 많다는 것을 나타낸다. 일반적으로 양봉농가에서는 주변에 밀원식물이 만개하고 벌꿀이 유입되기 시작한 시점 또는 경험이나 격언, 숙련된 양봉농가의 방법을 답습하는 방법으로 정리채밀의 시기를 선정한다. 정리채밀 또는 저밀소비를 꺼내는 작업을 통해 겨울과 봄에 급여하였던 당액으로 구성된 벌꿀을 벌통 내부에서 제거하는 과정을 진행한다. 만약 정리 채밀이 지체된다면 자연 밀원에서 수집된 벌꿀까지 함께 손실되기 때문에 이 시점을 정확하게 예측하여 조기에 정리채밀을 실시하는 것이 경제적인 측면에서 매우 유리하다. 실제로 폭밀기(爆蜜期)인 5월에는 지역에 따라 상이하나 하루에도 많으면 십여kg의 벌꿀이 유입되는 경우도 있다. 또한 정리채밀을 유밀기(有蜜期) 이전에 진행하는 경우 꿀벌의 먹이가 부족해져 봉군 (bee colony, 蜂群)의 손실을 유발하게 되어 유밀기(有蜜期)에 큰 생산량 손해를 보게 된다.

따라서 춘계 생육기 무게데이터에 의한 알고리즘 제어 조건 확립에 있어서 가장 중요한 것은 무게가 증가하거나 감소하는 경향을 파악하여 그 변화량이 급증하여 지속되는 경우에는 정리채밀을 권고하여 생산량의 증대를 유도한다. 반대로 급감소하는 경우에는 먹이의 소모, 춘감현상 발생으로 인한 개체수 감소, 분봉발생 등 내검(內檢)을 통한 조치가 필요한 상황일 가능성이 크기 때문에 이를 파악하여 생산자격을 최대한 확보, 유지할 수 있도록 해야 한다.

○ 춘계 생육기 상대습도 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건



그림 29 백목병 감염 초기 정상봉군과 상대 습도 비교(2017/02/13 ~ 2017/02/28)

봄철 양봉사육상 내부 상대습도는 제주도 지역 일평균 상대습도가 80%를 초과한 4월 16일 ~ 17일에 60%를 상회하였으나 이 날을 제외하고 25 ~ 70 % 범위를 유지하였다. 기상청 자료를 참고하여 제주지역 평균 상대습도와 양봉사육상 내부 상대습도를 비교하였을 때 양봉사육상 내부 상대습도는 외기 상대습도의 영향을 크게 받는 것으로 추정된다. 그러나 각 봉군 (bee colony, 蜂群)마다 다른 경향을 나타내어 명확한 규칙을 찾아내기는 어려웠다. 봉세가 가장 강한 2번의 경우 다른 봉군 (bee colony, 蜂群)에 비해서 양봉사육상 내부의 상대습도가 대체로 낮게 나타났다. 이러한 이유는 봉세가 강할수록 환경을 유지하는 능력이 강하며, 또한 상대습도는 온도와 반비례하는 경향을 나타내는데, 강군의 경우 온도를 유지하는 능력이 뛰어나기 때문에 상대습도가 낮게 나타난 것으로 추정된다.

백목병은 자낭균류에 속하는 곤충병원성 진균인 *Ascosphaera apis* 의해서 꿀벌의 유충이 감염되는 질병으로 주로 일교차가 심한 초봄에 많이 발생한다. 백목병은 진균에 의한 질병이므로 상대습도가 질병의 전파 및 감염에 있어서 매우 중요하기 때문에 양봉사육상 내부의 상대습도가 백목병 감염여부를 반영할 것으로 추정하였다. 실제 Flores 등 (1960)에 따르면 30℃의 동일온도에서 상대습도가 68%일 때 불과 0.95%의 chalkbrood(백목병, *Ascosphaera apis*)가 발생하였으나 상대습도가 87% 일 때 발생률이 무려 7.75%로 나타났다. 따라서 월동 종료 후 자연적으로 백목병에 감염된 봉군 (bee colony, 蜂群)인 3번 봉군 (bee colony, 蜂群)의 상대습도가 더 높게 나타날 것으로 추정하였다. 실제 발병이 시작된 초봄(2월 13일 이후) 상대습도를 비교한 결과 다른 봉군 (bee colony, 蜂群)의 상대습도에 비하여 높게 나타났으며 외기 습도에 대한 영향을 더욱 크게 받아 변화폭이 큰 경향을 보였다. 이는 군세가 약하여 환기활동이 떨어진 것이 원인으로 추정되며 단순히 상대습도가 높은 값을 나타내어 백목병의 감염되었다는 인과관계를 증명하기는 어려웠다.

이 시기에는 유밀기(有蜜期) 준비를 위하여 봉군 (bee colony, 蜂群)의 성장이 요구되는 시기이기 때문에 당액을 급여한다. 꿀벌이 당액을 섭취하면 당액의 주성분인 sucrose(자당; 蔗糖)는 꿀벌이 소화효소에 의한 전화(轉化, inversion)과정으로 화학적으로 변화하여 glucose(포도당) fructose(과당)으로 분해되고, 일벌의 날개 짓을 통한 선풍활동(Fanning behavior, 旋風活動)으로 당액의 수분이 증발하게 된다. 꿀벌은 이러한 과정을 거쳐 먹이를 벌꿀로 전환시켜 소방(巢房)에 저장한다. 꿀벌의 선풍과정을 통해서 벌꿀에서 증발하는 수분이 양봉사육상 내부의 상대습도에 영향을 줄 것으로 추정하였다. 선풍과정은 주로 야간에 이루어지기 때문에 만약 벌꿀의 수분을 제거하기 위한 선풍활동이 상대습도에 영향을 준다면 야간의 상대습도가 증가하여야 한다. 대체로 일몰 후 야간까지 습도가 증가하였으며, 일출이 가까워지면서 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 외기 습도 또한 야간에 더욱 높아지기 때문에 선풍에 의한 화밀의 수분증발로 인한 습도의 변화인지, 외기 습도의 영향인지, 야간의 외기온도의 저하로 인한 보온활동에 의한 상대습도의 증가인지는 향후 심도 있는 분석이 필요하다.

종합하면 상대습도데이터를 통한 춘계 생육기의 알고리즘 제어 조건은 봉군 (bee colony, 蜂群)이 생존하였을 때 상대습도의 정상범위인 25 ~ 70%를 임계치로 설정하여 이 값에 미달하거나 초과하는 경우 사용자에게 권고하여 조치를 취할 수 있도록 하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 또한 진균성 질병인 백목병 감염과 양봉사육상 내부 상대습도의 관계에 대한 데이터가 수집되었으나, 봉군 간 비교에서 얻은 단순한 값이기 때문에 향후 외기 환경과의 정밀한 비교분석, 인공감염, 대조군 선정을 통해 상관관계를 명확하게 검증할 필요성이 있다고 판단된다.

○ 춘계 생육기 CO₂ 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건

생육기가 되자 이전 월동기와 비교해서 CO₂ 농도의 변화 경향과 그 값이 두드러지게 커진 것이 관찰 되었다. 특히 2월 14일 오후 2시경 월동을 중단하고 먹이를 급여하자 그 수치가 확연히 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 먹이와 식수의 급여로 일벌들이 자극을 받아 생육활동을 개시하는 과정에서 발생한 것으로 추정된다. 이 시기 CO₂ 농도는 크게는 4%를 상회하는 경우도 종종 발생하였고 그 시간은 주로 자정 무렵에서 새벽인 경우가 가장 많았다. 이는 증가하는 시점이 상대습도와 유사한 경향이 나타나는 것으로 보았을 때 공급한 먹이의

수분을 선풍활동으로 제거하는 과정과 야간에 낮아진 온도를 올리기 위한 활발한 대사활동에 의해 발생한 것으로 추정된다

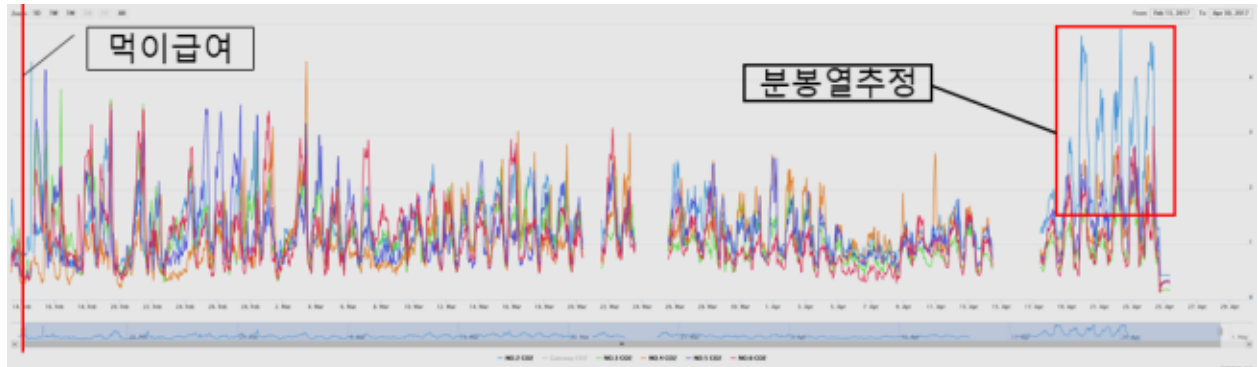


그림 30 춘계 생육기 전체 봉군의 CO₂ 변화 경향

다른 봉군 (bee colony, 蜂群)과 비교하였을 때 월등하게 높은 4% 이상의 CO₂ 상승폭이 2번 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 4월 19일부터 4월 24일까지 6회 정도 나타났다. 이 특이 데이터는 대체로 이른 아침과 새벽에 최대치를 나타내었다. 이 시기에 2번 봉군 (bee colony, 蜂群)의 경우 한참 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 발생하여 많은 왕대를 부착하고 수벌 집을 짓는 것이 내검(內檢)을 통해 관찰되었으며, 결국 4월 25일 경 여왕벌의 망실(亡失)을 최종 확인하였다. 1개 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 발생한 현상과 데이터를 통하여 분봉열 (swarming fever, 分蜂熱)과 CO₂농도의 관계가 존재한다고 단정 짓는 것은 지나친 일반화 일 수도 있다. 그러나 다른 봉군 (bee colony, 蜂群)과 비교하였을 때 그 경향이 두드러지기 때문에 향후 인공적인 분봉열(swarming fever, 分蜂熱) 유도를 통해 그 신호를 분석하여 CO₂농도의 상승현상이 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)과 관계가 있는 것인지 파악할 필요가 있다고 판단된다.

○ 춘계 생육기 소음 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건



그림 31 춘계 생육기 소음 데이터 분석 결과

춘계 생육기 소음 데이터 분석 결과 5번 봉군 (bee colony, 蜂群)을 제외한 모든 봉군 (bee

colony, 蜂群)에서 0.83 ~ 1.00 mV의 소음이 발생하였다. 5번이 낮게 나타나는 이유는 센서의 초기 설정 값에 따른 것으로 판단되며 5번 센서 디바이스 내 소음 센서의 보정이 필요한 것으로 보인다. 월동기와 마찬가지로 온도의 변화와 유사한 변화폭을 나타내었고 센서의 감도가 낮아 변화폭의 관찰이 어려워 의미있는 해석이 어려웠다.

시 기	상 황	센서표출값	조치사항 발령
춘계 생육개시 유밀기 준비	봉구 해체 산란시작	일간최저온도 20℃ 이상 지속 CO ₂ 최대값 증가	봄벌 키우기 시작 월동해체 및 보온 철저 먹이와 식수의 공급
	산란 및 육아 부진	산란 후 30℃ 일간 최저온도 30℃ 이하 지속 일간 최저온도 25℃ 미만 도달	보온 조치 철저, 소문 좁히기 내검 후 축소 진행
	분봉열 발생	일간 최저 온도 35℃ 이상 지속	가상, 계상설치, 소문 확장 보온물 해체 내검 후 증소진행
	정리채밀 시기선정	무게 최저값 5일 연속증가	정리채밀 후 저밀용 소비 보충 먹이 공급 중단
	먹이보충임박	먹이 보충 후 해당 무게만큼 감소	먹이 보충
	분봉열	CO ₂ 농도의 급격한 상승이 반복 (4% 이상)	계상, 가상 설치 소문 확장, 환기 조치 보온물 제거
	분봉	무게의 급격한 감소	분봉군 수습 후 본 봉군축소

표 3 춘계 생육기 센서 표출 값에 따른 제어규칙 및 조치사항 발령

3) 유밀기(有蜜期) 생육 데이터 분석 및 알고리즘 제어 조건

국내 최대의 밀원인 아까시나무의 개화가 빠르면 4월말부터 시작되며 식생이 육지부와 상이한 제주도의 경우에도 5월에는 주요 밀원식물로 알려진 감귤나무, 때죽나무를 비롯하여 많은 야생 밀원식물이 개화한다. 5월이 지나고 6월이 되면 밤나무 꽃이 개화하여 유밀기가 지속된다. 이 때문에 전국 모든 양봉농가에서는 이 시기에 세력이 최성기에 이르도록 하여 생산량을 극대화 할 수 있도록 연중 양봉관리 일정을 조절하고 있다. 이 시기 양봉관리에 요점은 채밀을 극대화하기 위하여 많은 수의 외역봉(forager bee, field bee)의 확보와 분봉열(swarming fever) 방지로 볼 수 있다.

○ 유밀기(有蜜期) 온도 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건

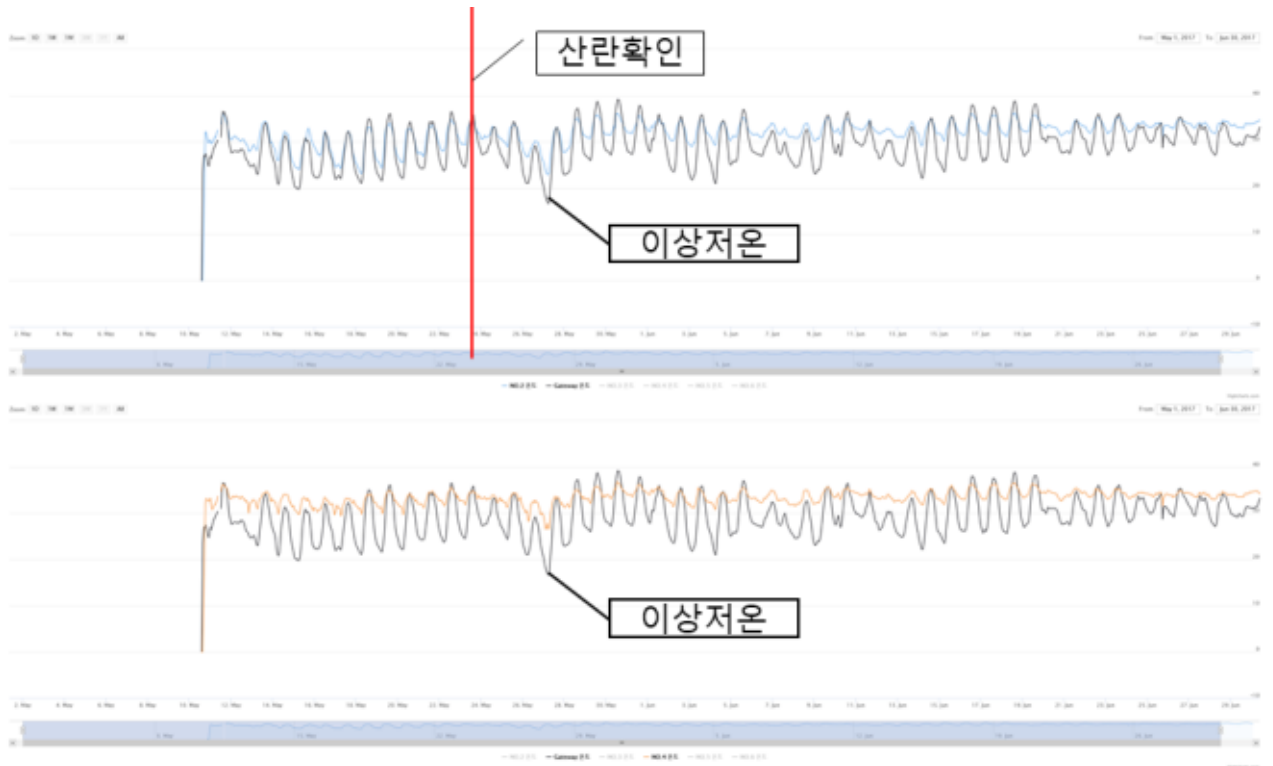


그림 32 유밀기 약군(신여왕초기)과 강군의 온도 비교 분석

이 시기는 기후가 매우 온난하고 주변의 개화한 밀원식물이 풍부하여 봉군 (bee colony, 蜂群)의 성장이 빠르고 봉세도 매우 강하다. 양봉사육상 내부는 이상저온이 발생한 5월 27일 오전 4시를 제외하고 최저온도는 25℃, 간혹 36.5℃ 이상을 나타냈으나 최대온도는 대체로 35℃ 이내를 유지하였다. 주로 이른 아침인 오전5시부터 오전8시까지 온도가 가장 낮게 나타나는 것을 확인하였으며 주간에 25℃ 이하로 내려가는 경우는 거의 없었다. 따라서 이 시기에 25℃ 이하로 내려간다면 봉세가 약화되었거나 산란이 중단된 것으로 판단이 가능할 것으로 보인다. 2번 봉군 (bee colony, 蜂群)은 4월말 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)로 인하여 여왕벌이 망실(亡失)되어 무왕군(無王群)의 상태를 유지하였다. 그 후 5월 18일에 변성왕대 유도를 통해 우화한 여왕벌이 발견되었고 5월 23일 첫 산란이 확인되었다. 여왕벌의 망실(亡失) 이후 봉세가 약화되어 다른 봉군 (bee colony, 蜂群)에 비하여 더 큰 온도 변화를 나타내었다. 산란의 시작을 확인한 5월 23일 이전에 온도를 보면 외기온도와 거의 유사한 변동을 보이다가 이상저온을 나타냈던 5월 27일 오전 새벽에 23℃를 나타내었고 그 이후로는 30℃ 이상을 유지하였다. 이는 무왕군(無王群) 상태에서는 산란이 없기 때문에 육아를 위한 온도 유지의 필요성이 낮아 온도가 내려간 것으로 판단된다. 또한 첫 산란 후에도 산란에 탄력을 받는데 도달하는 시간이 다소 소모되므로 이 기간 동안 육아 및 산란을 위한 환경유지능력이 다소 약화되었다가 본격적으로 산란이 진행되자 30℃ 이상의 온도를 유지한 것으로 추정된다. 강군인 4번의 경우 이상저온을 나타낸 5월 27일을 제외하고 30 ~ 35℃의 온도를 외기온도와 관계없이 안정적으로 유지하였다.

이 시기도 춘계 생육기와 마찬가지로 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)의 방지와 육아 및 산

란을 위한 적정 온도 유지가 가장 중요하다. 이 시기에 주간 온도가 25℃ 이하로 내려가는 경우는 매우 드물게 관찰되었기 때문에 이 시기에 주간온도가 25℃ 이하인 경우 외기온도가 이상저온이 아니나 이러한 현상이 발생하면 군세가 매우 약화되었거나 여왕벌의 망실(亡失), 분봉, 산란 기능 장애 등 문제가 발생하여 산란이 중단된 것으로 볼 수 있을 것이다. 그러므로 즉각 내검(內檢)을 실시하여 봉군 (bee colony, 蜂群)에 문제가 발생했는가를 살피고 봉세가 약화되었거나 여왕벌이 망실(亡失)된 경우 합봉, 보온, 여왕벌의 유입 등 조치를 권고하는 것이 바람직하다.

다량의 채밀을 위해 인위적으로 여왕벌을 가두거나 여왕벌을 교체하기 위하여 무왕군(無王群)을 만들어 산란을 억제하는 방법을 사용하기도 한다. 이러한 경우에는 예외로 주간 온도가 25℃로 내려가도 봉군 (bee colony, 蜂群)의 상황이 비정상은 아니라고 판단되므로 별도의 알고리즘 제어 조건을 확립하여야 할 것으로 생각되나 향후 이러한 시도를 하여 양봉 사육상의 온도변화를 확인해볼 필요성이 있다고 사료된다.

35℃ 이상의 온도가 지속되는 경우 분봉열(swarming fever, 分蜂熱) 발생 가능성이 높아지므로 만일 지금까지 보온물을 설치한 상황이면 해체하여 온도를 낮추거나, 천개포 (bee veil, 蓋布)를 접어주거나 소문을 전부 개방하는 처방 또한 고려하여야 하며 계상(super, 繼箱) 또는 가상(높이가 계상의 절반 정도로 분봉 방지에 이용)을 추가로 설치하거나 공소비를 넣어 주어 조소를 유도하고, 격리판 외곽에 빈 공간을 확보하여 공간적 여유를 제공하여주는 등 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)을 방지하는 조치를 권고하는 것이 바람직하다.

○ 유밀기(有蜜期) 무게 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건



그림 33 유밀기 채밀자격군과 약군의 무게 증가 패턴 비교

밀원식물이 개화하기 시작하여 본격적으로 수밀이 진행되는 시기이기 때문에 무게 데이터가 가지는 의미는 매우 크다. 이는 꿀벌이 수집하는 양봉산물로서 양봉농가 소득에 직결되는 벌꿀과 꽃가루의 반입을 알 수 있는 지표로 작용하기 때문이다. 지역에 따라 상이하나 대체로 5월 초·중순에 정리채밀을 실시하게 되는데 정리채밀이 지나치게 빠르면 꿀벌이 이용 가능한 먹이가 사라져 봉군 (bee colony, 蜂群)에 치명적인 피해를 야기하며 정리채밀이 단 하루라도 지체되는 경우 많게는 10kg 이상의 생산량 감소가 예상된다. 실제로 폭밀기인 5월에는 지역에 따라 상이하나 하루에도 많으면 최대 십여 kg의 벌꿀이 유입된다. 본 연구 시설 내 실험봉군은 5월 15일 정리채밀을 진행하여 6월 3일에 첫 채밀을 하였으며 6월 15일

에 두 번째 채밀을 실시하였다. 정리 채밀 직후 유밀이 활발하게 일어나 무게증가폭이 두드러지는 것을 데이터 상으로 쉽게 확인이 가능하였다. 강군인 4번 봉군 (bee colony, 蜂群)의 경우 5월 15일 정리채밀을 실시한 후 무게가 급격하게 증가하는 것을 관찰하였다. 6월 3일까지 약 15kg의 증가를 나타냈다. 하지만 군세가 약한 3번 봉군 (bee colony, 蜂群)의 경우 정리채밀을 실시한 후 소폭 증가하였으나 그 증가량이 미미하여 채밀을 진행하지 않았다. 양봉격언 중 약군 10군보다 강군 1군이 낫다는 말이 있는데 이 말이 실감되는 결과라고 판단된다.

적정 채밀 시기는 각 농가마다 선호하는 벌꿀의 농도와 숙성정도가 상이하기 때문에 명확한 제어조건을 제시할 수는 없으나, 무게의 증가량을 확인하여 저밀(貯蜜)할 공간이 없는 상황에 도달하면 사용자에게 채밀을 권고하는 시스템을 개발하는 것이 바람직하다고 사료된다. 유밀기(有蜜期) 무게데이터에 의한 제어조건 확립에 있어서 가장 중요한 것은 무게가 증가하거나 감소하는 경향을 파악하여 그 변화량이 급증하여 지속되기 시작하면 본격적인 유밀기(有蜜期)에 도입한 것이기 때문에 정리채밀 실시를 권장하여 생산량의 증대를 유도한다. 변화량이 급증하다가 주춤한다면 더 이상의 저밀(貯蜜)공간이 없는 것이므로 채밀을 실시하여야 한다. 반대로 증가추세에서 확실한 감소추세로 전환되는 시점에는 화밀의 유입이 종료된 상황이기 때문에 바로 채밀을 실시하여 꿀벌이 소모하여 감소하는 양을 최소화 하고, 주변 지역에 추가적으로 개화하는 식물이 존재하는 경우 꿀을 생산하기 위한 준비를 하여야 하며, 주변에 추가적인 밀원식물이 없다면 정리채밀 시 보관하였던 저밀(貯蜜)소비를 공급하거나 바로 당액을 급여하여야 한다.

대부분의 양봉사육상이 나무로 제작되어 있어 습기를 흡수하며, 방수포, 보온덮개 등으로 덮여 있기 때문에 우천 시 빗물이 고이거나 개포 (bee veil, 蓋布) 등이 젖게 되면 이로 인한 양봉사육상의 무게 변동이 발생 하게 된다. 향후 외기 기상상황을 수집하여 기상환경 변화에 따른 무게변화와 작업에 의해서 발생하는 무게변동을 구별할 수 있게 하는 제어조건 확립 또한 필요하다.

○ 유밀기(有蜜期) 습도 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건

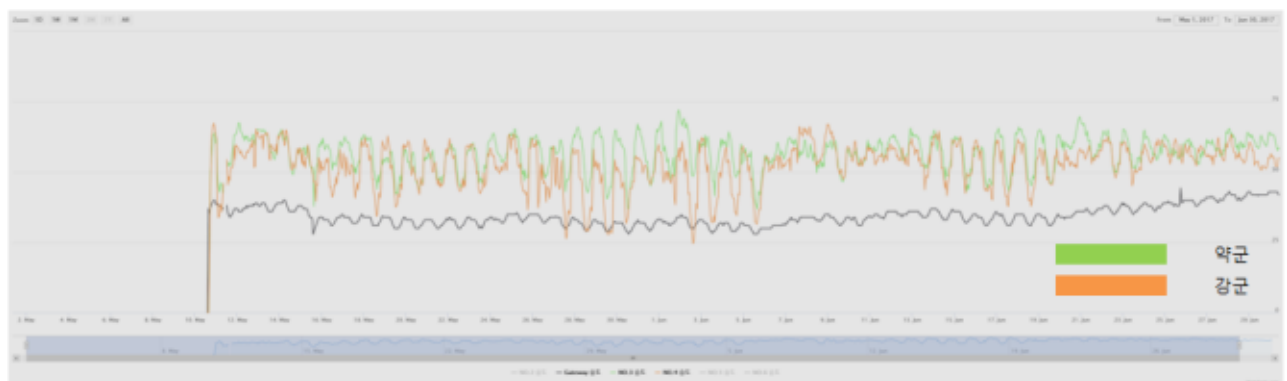


그림 34 유밀기강군과 약군 빈 양봉사육상의 상대습도 비교

유밀기(有蜜期) 양봉사육상 내부 상대습도는 25 ~ 70% 범위를 유지하였으나 특정 봉군

(bee colony, 蜂群)에서 간혹 70%를 초과하는 경우가 발생하였다. 주로 야간에 매우 높게 나타나는 경향을 나타냈다. 빈 양봉사육상 내부 상대습도와 비교하였을 때 유사한 경향을 나타내는 것으로 보아 상대습도는 외부 요인에 영향을 많이 받는 것으로 보인다. 그리고 유밀기(有蜜期) 이전 초봄보다는 대체적으로 높은 값을 나타내었고, 약군이 강군보다 높은 경향을 나타내었다. 이전에 언급하였던 온도와 상대습도의 반비례 관계로 보았을 때 보온활동이 활발한 봉군 (bee colony, 蜂群)일수록 상대습도가 낮게 나타나는 것은 당연하다고 판단된다. 또한 강군의 경우 계상(super, 繼箱)의 설치에 따른 습기의 분산, 과보온에 대한 우려로 인한 소문(hive entrance, 巢文) 확장 및 개포 (bee veil, 蓋布) 모서리 개방 등에 의한 영향도 있을 것으로 보인다.

○ 유밀기(有蜜期) CO₂ 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건

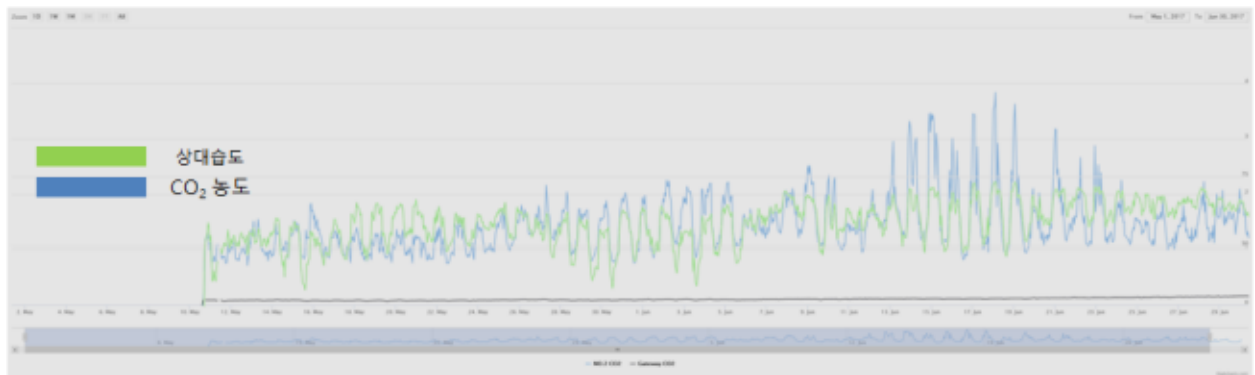


그림 35 유밀기 동일 봉군의 상대습도와 CO₂ 변화 경향 비교



그림 36 유밀기 습도와 CO₂의 비교 분석

유밀기(有蜜期) CO₂ 농도를 분석한 결과 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)의 CO₂농도는 0.2 ~ 4%를 나타내었고 특이하게도 활동이 활발한 낮보다는 야간과 새벽에 높은 값을 나타내었다. 2번 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 6월 13일 이후로 야간에 높은 CO₂ 농도를 나타내었는데 그 원인을 파악하지는 못하였으나 흥미롭게도 상대습도의 경향과 매우 유사한 것을 알 수 있었다. 특히 상대습도와 CO₂ 모두 자정 전후와 새벽에 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 야간과 새벽에 벌꿀의 수분을 제거하기 위한 선풍활동이 활발하게 이루어지는 과정에서 대사활동에서 방출되는 CO₂농도가 증가하고 꽃꿀에서 증발한 수분에 의해 상대습도도 높게 나타난 것이라는 해석이 가능한 결과였으나, 야간의 기온저하로 인한 온도 조절 활동, 야간에 모두 귀소하는 꿀벌의 생태상 야간에 벌통 내부의 개체수가 많음으로 인한 가능성 또한 존재한다. 이 두 요인에 모두 기인하여 야간에 높은 CO₂ 농도가 나타나는 것으로 추정된다.

○ 유밀기(有蜜期) 소음 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건



그림 37 유밀기(有蜜期) 소음데이터 분석결과

유밀기(有蜜期) 생육기 소음 데이터 분석 결과 5번 봉군 (bee colony, 蜂群)을 제외한 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 0.83 ~ 1.00 mV의 소음이 발생하였다. 5번이 낮게 나타나는 이유는 센서의 초기 설정 값에 따른 것으로 판단되며 5번 센서 디바이스 내 소음 센서의 보정이 필요한 것으로 보인다. 5번을 제외하고 대체로 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력과 비례하였으나 초기 설정값에 의한 것인지 봉세를 반영한 것인지 알 수 없었다. 춘계 생육기와 마찬가지로 온도의 변화와 유사한 변화폭을 나타내었고 센서의 감도가 낮아 변화폭의 관찰이 어려워 의미있는 해석이 어려웠다.

시 기	상 황	센서표출값	조치사항 발령
유밀기	산란 및 육아 부진	최저온도 30℃ 이하 3일간 지속 최저온도 25℃ 이하 도달	보온 강구, 축소 여왕벌 상태 점검 필요
	환기 요구	일간 최저 온도 35℃ 이상 지속	계상, 가상 설치 환기, 소문확장 프로폴리스망의 설치
	정리채밀 시기선정	무게 최저값 5일 연속증가	정리채밀 후 저밀용 소비 보충 먹이 공급 중단
	저밀공간 부족	무게 최저값 5일 연속 감소, 지체	채밀 실시 계상 내 저밀소비 위치 전환
	유밀기 종료	무게 최저값 2일 연속 감소, 지체	채밀 후 먹이 보충 채밀 후 다음 유밀기 준비
	분봉	무게의 급격한 감소	분봉군 수습 후 본 봉군 축소

표 4 유밀기 센서표출값에 따른 제어규칙 및 조치사항 발령

4) 장마철 및 무밀기(無蜜期) 생육 데이터 분석 및 알고리즘 제어조건

이 시기는 유밀기(有蜜期)가 끝나 개화한 밀원식물이 부족해지기 시작하며, 장마로 인해 우천과 습하고 더운 날씨가 지속되다가 장마철이 끝나면 무더위가 시작된다. 즉 꿀벌에게는 무척 가혹한 환경조건이 지속되는 기간이라고 볼 수 있다. 그러나 수확이 끝난 시기이므로 봉군 (bee colony, 蜂群)을 관리하는 농가의 입장에서는 관리에 다소 소홀해 질 수 있는 시기이기도 하다. 그러나 이 때 봉군 (bee colony, 蜂群)관리에 소홀하게 되면 먹이의 부족으로 인한 세력의 약화 및 도봉, 고온으로 인한 응애의 다발생, 부저병 등 질병의 피해 등 여러 위험요소가 많기 때문에 봉군 (bee colony, 蜂群)에 큰 피해를 초래하게 된다. 특히 장마가 지속되면 직접적인 봉군 (bee colony, 蜂群)의 검사가 어렵고 자칫 내검(內檢)을 진행하다가 도봉의 피해를 입을 우려가 매우 크기 때문에 해당 시스템을 통해서 내검(內檢) 없이 봉군 (bee colony, 蜂群)의 상태를 진단, 평가할 수 있을 것으로 기대되며, 이를 통하여 앞서 언급한 여러 가지 위험요소에 대한 조기진단 및 후조치가 가능할 것으로 보인다.

○ 장마철 및 무밀기(無蜜期) 온도 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건

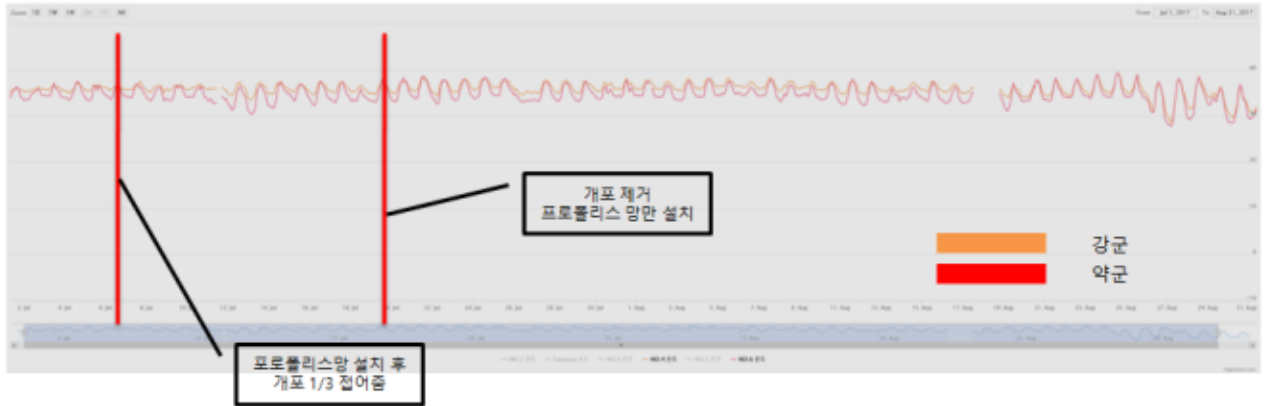


그림 38 장마철 및 무밀기강군과 약군의 온도 경향

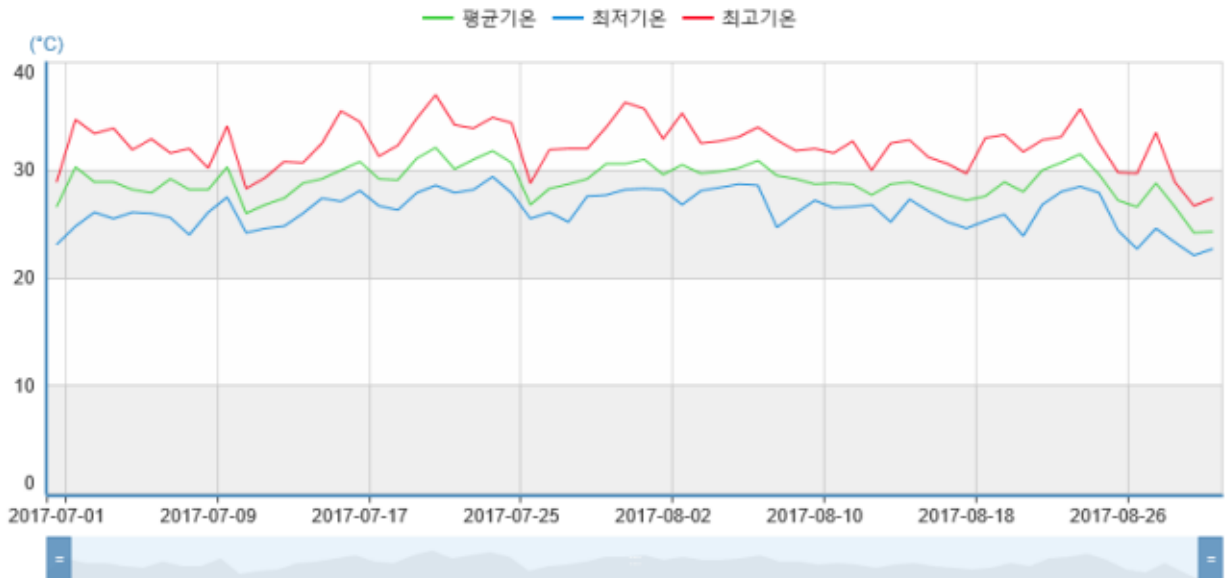


그림 39 7월, 8월 제주시 지역 기온

이 시기는 고온기이기 때문에 강군과 약군 상관없이 30°C 이상의 온도를 유지하였으며, 35°C 전후에서 온도 값이 측정되었다. 8월 26일 이후로 일교차가 커지는 시점이 발생하였는데 제주시 지역 기온과 비교해본 결과 이때 양봉사육상 내부온도도 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 더위가 강해짐에 따라서 7월 7일에 프로폴리스망을 이용하여 프로폴리스망을 설치하고 상단의 개포 (bee veil, 蓋布)를 올린 후에 개포 (bee veil, 蓋布)를 1/3 정도 접어주는 방법과 7월 19일에 개포 (bee veil, 蓋布)를 완전히 제거하는 방법으로 환기 조치를 하였으나 큰 온도의 저하는 나타내지 않았다. 그러나 이러한 조치가 꿀벌의 온도조절 활동으로 인한 노동력을 절감시켜주는 효과는 분명히 존재할 것으로 판단된다. 그러나 벌통 내 습도 유지에 악영향을 준다는 의견도 존재하기 때문에 향후 검증이 필요하다고 사료된다. 한낮에는 37°C를 상회하는 경우도 자주 발생하였다. 그러나 35°C 이상이 지속되어도 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 발생하지는 않았다. 온도가 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)과 관련된 매우

중요한 인자이긴 하나 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 발생하기 위해서는 개체군이 크기가 일정 크기 이상이어야 하며, 개체군에 크기에 비해서 양봉사육상의 공간이 협소하여 산란의 진행이 원활하지 못한 경우 발생한다고 알려져 있다. 때문에 35℃ 이상의 고온이 지속되어도 반드시 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 발생하지는 않은 것으로 보인다. 그러나 고온의 지속적인 유지 또한 꿀벌 개체군의 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)을 유발한다는 것이 양봉농가의 보편적인 의견이므로 고온이 지속될 경우 환기조치 등으로 온도를 낮춰줄 필요성은 존재한다. 본 연구는 수집된 생육 데이터를 바탕으로 봉군 (bee colony, 蜂群) (蜂群) 내 특정 이벤트를 조기에 진단, 예찰하고 제어 규칙을 확립하여 그에 맞는 조치를 사용자에 권고함과 동시에 적정 환경으로 제어하는 것을 최종 목표로 하고 있기 때문에 35℃ 이상의 고온 또한 환경제어를 통해서 생육 최적 온도로 조절이 가능하도록 하는 것이 목표이다. 그 일환으로 자동개폐환기구를 개발하였다.

○ 장마철 및 무밀기(無蜜期) 무게 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건



그림 40 장마철 및 무밀기에 강군과 약군 무게 데이터의 변화 양상

이 시기는 개화하는 야생화들이 비교적 적고, 지속되는 우천으로 일벌이 외역을 나가기 어려운 환경이다. 야생꿀벌의 경우 유밀기(有蜜期)에 수집하여 저장해놓은 벌꿀을 먹으면서 버티지만, 인간의 개입이 이루어지는 꿀벌의 경우 채밀을 진행하였기 때문에 채밀로 손실된 먹이를 당액공급을 통해서 제공하여야 한다. 또한 이 시기에는 외부에서 유입되는 먹이가 없고, 무더위로 인하여 산란 또한 제대로 이루어지지 않는다. 따라서 대체화분의 급여도 주변 밀원식물의 유무에 따라 선택적으로 이루어지고 있다. 따라서 무밀기(無蜜期)에는 무게의 증감 데이터를 통하여 공급한 먹이를 섭취하는지 여부를 알 수 있을 것이며, 섭취속도에 따른 봉군 (bee colony, 蜂群)세력 의 잠재력 또한 평가가 가능할 것으로 사료된다.

6월 30일부터 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)에 자동사양기를 설치하여 당액탱크에 당액을 보충하면서 24시간 동안 자율급여를 실시하였다. 유밀기(有蜜期) 이 후 대체로 이루어지는 작업인 봉세를 고르기 위한 봉충소비의 봉군 (bee colony, 蜂群) 간 이동, 완전 밀개된 저밀(貯蜜)소비를 보관하기 위하여 꺼내는 작업, 계상(super, 繼箱)을 내리고 단상(mono floor bee box, 單箱)으로 재편성하는 작업을 제외하고는 지속적인 먹이 공급에 의하여 양봉사육상의 무게는 지속적으로 증가하였다. 그러나 자율급여의 특성상 무게의 증가폭은 매우 상이하여 강군과 약군의 차이가 뚜렷하게 나타났다. 이는 봉군(bee colony, 蜂群)간의 세력의 강약에

따른 개체수의 차이에 의한 것으로 추정된다.

최근 다수의 봉군 (bee colony, 蜂群) 을 사양하는 대규모농가와 취미양봉가의 경우 당액 탱크에 타이머를 통하여 원하는 시간에 개폐 작동하는 밸브를 설치, 자동화 시스템을 구축하여 당액을 공급하고 있다. 자동사양기는 사용자가 편리하게 당액탱크에 당액만 공급하면 원하는 시간에 자동으로 양봉사육상으로 공급된다는 장점이 있으나 관리가 미흡한 경우 누수, 막힘 등의 문제가 발생하여 원활한 당액의 공급이 어렵고 봉군의 세력에 따라 섭취량이 상이하며 각 봉군의 섭취량을 정량하기 어렵다. 만일 사용자가 이러한 장치를 사용하여 당액을 특정 시간에 공급하는 경우 특정 시간에 무게 증가량이 없다면 자동사양기 또는 당액 호스에 문제가 발생한 것으로 볼 수 있다. 그러나 주로 야간에 당액이 공급되고, 양봉사육상 내부를 관찰해야만 당액이 원활히 공급되는지 알 수 있기 때문에 문제를 파악하고 해결하는데 많은 시간이 소모된다. 이 시기 당액 공급이 원활하지 않으면 해당봉군 (bee colony, 蜂群)은 약세화되며, 당액이 공급되지 않는 봉군 (bee colony, 蜂群)이 주변에 당액이 공급되는 벌통을 침입하게 되는 도봉현상이 일어날 것이다.

종합하자면 이 시기는 국내 식생분포 상 대체로 무밀기(無蜜期)에 가깝고 잦은 비로 인하여 꿀벌의 원활한 외역이 어려운 시기이기 때문에 지속적인 먹이 공급이 필수이고, 이에 따라서 양봉사육상 내부 무게도 증가하게 된다. 그러므로 먹이의 공급은 꾸준하나 무게의 증가가 없거나 감소하는 경우 봉군 (bee colony, 蜂群)의 문제가 발생한 것으로 풀이된다. 자동사양기를 이용한다면 자동사양기 또는 당액호스에 문제가 생겨 막혔거나, 새는 현상으로 인하여 먹이의 공급이 원활하지 않은 것이며, 무게가 감소하는 경우 도봉의 가능성도 있다. 또한 먹이의 섭취속도와 무게의 증가량은 비례하기 때문에 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력평가도 무게 변화량의 비교를 통해 가능할 것으로 보인다. 따라서 이 시기에 무게 데이터를 참고하여 알고리즘 제어 조건을 설계할 때 그 이전과 마찬가지로 증가와 감소 경향을 파악하는 것이 가장 중요할 것으로 보인다. 그러나 이 시기는 잦은 우천으로 인하여 양봉사육상의 습기 흡수, 빗물에 의한 무게 증가 또한 수집 데이터에 반영되기 때문에 향후 이러한 데이터를 인위적으로 가공하여 알고리즘 제어 조건에서 배제하는 체계의 개발이 필요할 것으로 보인다.

○ 장마철 및 무밀기(無蜜期) 상대습도 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건

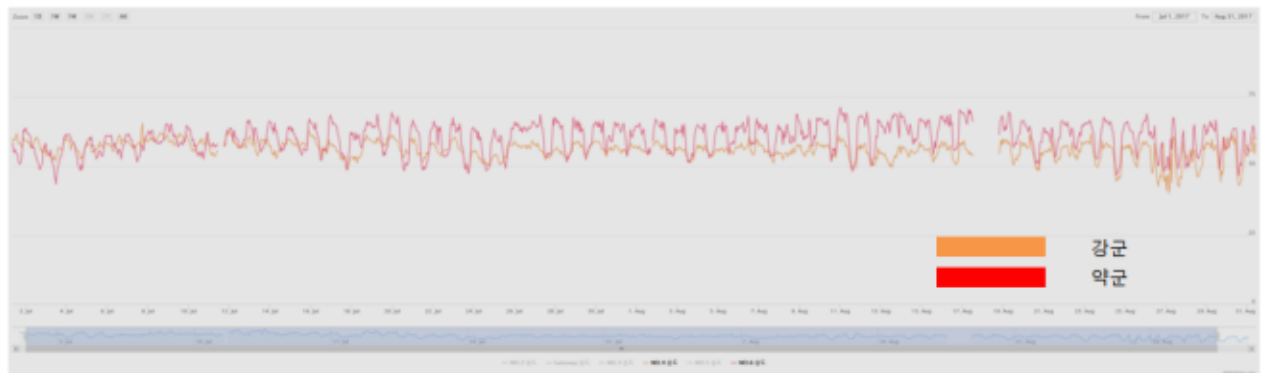


그림 41 강군과 약군의 상대습도 변화 경향

장마로 인하여 기상청 자료에 따른 제주시 지역의 상대습도가 90%를 육박하여도 양봉사 육상 내부는 30 ~70%의 상대습도를 유지하였다. 이전 결과와 마찬가지로 상대습도는 약군에서 상대적으로 높게 나타났다. 이전 데이터를 종합하였을 때 각 시기 별로 그 범위가 상이하였으나 봉군 (bee colony, 蜂群) 내 적정 상대습도의 범위는 25 ~ 70%로 보인다. 그러나 외기 상대습도가 높은 날을 제외하고는 70% 정도로 상회하는 날은 없었기 때문에 70%의 상대습도는 다소 습한 상태로 판단된다.

이전 결과와 마찬가지로 이 시기 상대습도 또한 야간에 높은 경향을 나타내었으며, CO₂ 농도의 변화 경향과 유사한 양상을 나타내었다. 이 또한 지속적인 먹이공급을 통하여 공급된 당액을 벌꿀로 전화시키는 과정에서 야간에 선풍작업이 활발하게 일어난 결과로 해석이 된다. 물론 야간에 외기 상대습도가 높기 때문에 그에 따른 영향으로 상대습도가 높게 나타날수도 있으나 이 경우 CO₂와 상관관계는 설명이 되지 않기 때문에 위와 같은 해석에 더욱 힘이 실리는 결과를 나타내었다. 또한 온도와 반비례하는 경향도 이전과 마찬가지로 나타났고, 군세에 따른 온도유지능력은 강군이 약군보다 강하므로 약군에서 습도가 높게 나타나는 현상의 원인으로 파악된다.

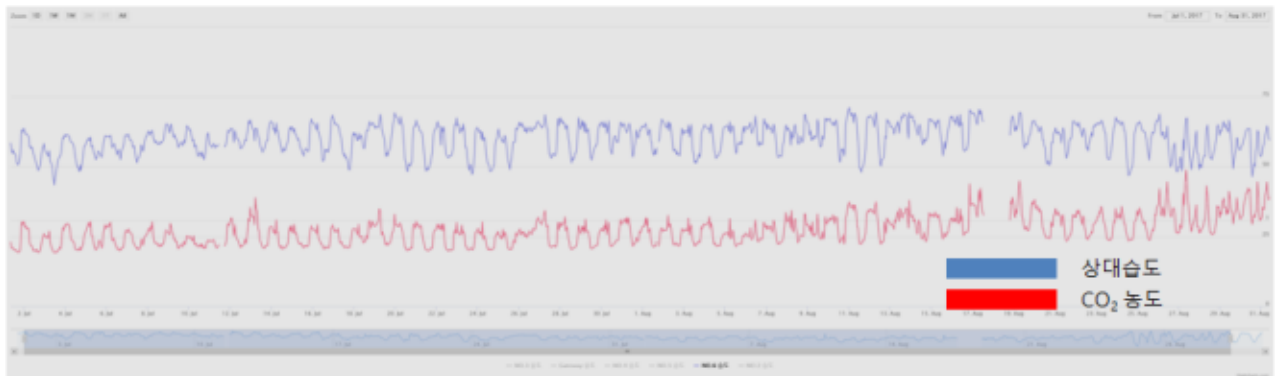


그림 42 동일 봉군의 상대습도와 CO₂ 변화 양상

○ 장마철 및 무밀기(無蜜期) CO₂ 농도 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건

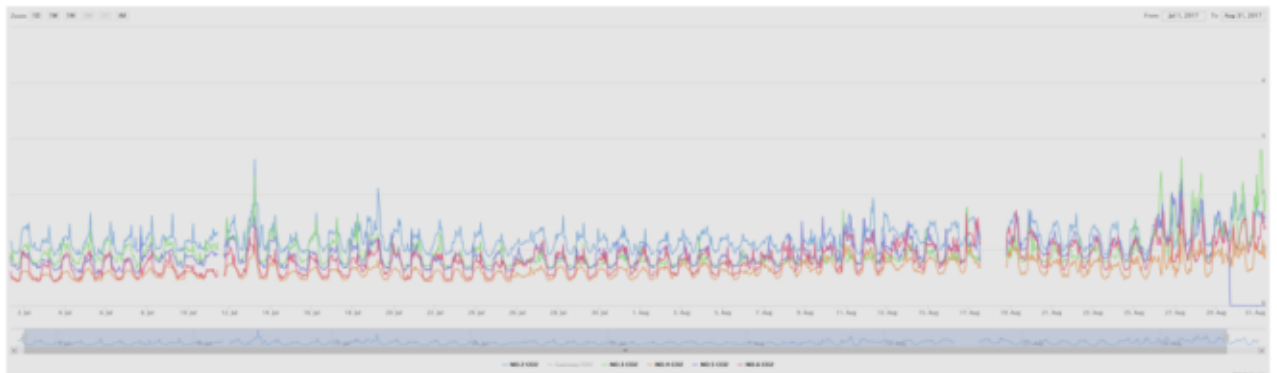


그림 43 장마철 및 무밀기 CO₂ 농도 데이터 변화 양상

장마철 및 무밀기(無蜜期) CO₂ 농도를 분석한 결과 이전 유밀기(有蜜期) 때와 마찬가지로 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)의 CO₂농도는 0.2 ~ 4%를 나타내었고 이전 결과와 마찬가지로 활동이 활발한 낮보다는 야간과 새벽에 높은 값을 나타내었다. 전체 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 8월 26일 이후 높은 CO₂농도를 나타냈으며 특히 3번 봉군 (bee colony, 蜂群)이 두드러지는 증가를 나타냈으나 그 원인을 파악하지는 못하였다. 온도와 상대습도 간 관계로 보았을 때 3번봉군 (bee colony, 蜂群)은 약군이므로 온도를 유지하는 능력이 떨어지므로 그에 따라서 온도를 올리기 위한 CO₂ 농도 또한 높아진 것으로 추정된다. 마찬가지로 상대습도의 변화 경향과 CO₂ 농도의 변화 경향은 매우 유사한 것을 알 수 있었다. 이는 공급한 먹이의 수분을 증발 시키는 선풍과정이 활발하게 이루어지면서 방출되는 CO₂농도가 증가하고 먹이에서 증발한 수분에 의하여 상대습도도 높게 나타난 것이라는 해석이 가능한 결과였다.

○ 장마철 및 무밀기(無蜜期) 소음 데이터 분석 결과 및 알고리즘 제어조건

장마철 및 무밀기(無蜜期) 소음 데이터 분석 결과 5번 봉군 (bee colony, 蜂群)을 제외한 모든 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 0.83 ~ 1.00 mV의 소음이 발생하였다. 5번이 낮게 나타나는 이유는 센서의 초기 설정 값에 따른 것으로 판단되며 5번 센서 디바이스 내 소음 센서의 보정이 필요한 것으로 보인다. 5번을 제외하고 대체로 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력과 비례하였으나 초기 설정 값에 의한 것인지 봉세를 반영한 것인지 알 수 없었다. 이전의 결과와 마찬가지로 온도의 변화와 유사한 변화폭을 나타내었고 센서의 감도가 낮아 변화폭의 관찰이 어려워 의미있는 해석이 어려웠다.

시 기	상 황	센서표출값	조치사항 발령
장마철 및 무밀기	분봉열 위험	일간 최저 온도 35℃ 이상 지속	보온 강구, 축소 여왕벌 상태 점검 필요 온도 제어 시스템 가동
	산란 및 육아 중단	일간 최저온도 30℃ 이하 3일간 지속	내검 진행 여왕벌 점검 보온 조치
	도봉	먹이공급 중에도 급속한 감소 (250g/h)	소문 가리기 피해 봉군 양봉장 2km 밖 이동
	자동차양기 사용 중 막힘 또는 누수	먹이공급 중에도 감소추세 증가량 없음	자동차양기 및 호스의 점검 및 보수
	유밀기 종료	최저 값 2일 연속 감소, 지체	채밀 후 먹이 보충 채밀 후 다음 유밀기 준비

표 5 장마철 및 무밀기 센서표출 값에 따른 제어규칙 및 조치사항 발령

5) 특이 데이터 분석결과 및 알고리즘 제어조건

○ 백목병 감염



그림 44 백목병 감염 초기 정상봉군과 상대 습도 비교(2017/02/13 ~ 2017/02/28)

백목병의 감염은 월동이 끝나고 첫 내검(內檢)을 진행할 때 3번 봉군 (bee colony, 蜂群)안, 밖에서 미이라 형태의 유충이 발견되었다. 병징이 지속적으로 나타나다가 5월말에 호전되었다. 6월 초까지 미미한 정도이나 감염된 유충의 사체가 지속적으로 발견되었다. 백목병 감염 봉군 (bee colony, 蜂群) (蜂群)의 경우 봉세를 상대적으로 비교하였을 때 약군에 속해 있었으며, 온도 유지력 또한 강군에 비해 낮았다. 그러나 비슷한 온도 유지력을 보인 다른 약군에서 모두 백목병의 감염이 있지는 않았기 때문에, 이러한 데이터가 백목병에 대한 특이 데이터라고 볼 수는 없었다. 그러나 상대습도에서 특이한 데이터가 수집되었는데, 그림 44에서 보듯이 감염 초기에 상대습도가 다른 봉군 (bee colony, 蜂群)에 비해 매우 높게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과는 특정 임계치에 도달하면 질병에 감염되는 절대적인 수치가 아닐뿐더러 봉군 (bee colony, 蜂群)과 봉군 (bee colony, 蜂群) 간의 비교에 의해서 얻어진 것이므로 이를 바탕으로 제어 조건의 설정은 어려울 것으로 판단된다. 그러나 백목병과 상대습도의 관계가 데이터를 통하여 수치로 나타났기 때문에 매우 의미가 있다고 사료된다.

상 황	센서표출값	조치사항 발령
백목병의 감염 초기	타 봉군에 비해 상당히 높게 나타남 (10% 이상)	축소실시 습기 제거를 위한 환기 비닐개포 등 과습 원인 제거 백목병 사체 청소 및 통같이 청소활동 촉진을 위한 당액 다량 급여

표 6 백목병 감염 초기 센서표출 값에 따른 제어규칙 및 조치사항 발령

○ 미국부저병 감염

10월 20일 4번 봉군 (bee colony, 蜂群)내검(內檢) 결과 봉개된 소방이 함몰되어 있고, 불규칙한 구멍이 나타났다. 또한 봉개된 소방 간의 간격이 넓고 불규칙하였으며, 유충이 갈색으로 부패하여 소방 벽에 붙어 있는 병징이 나타났다. 병징을 육안으로 판별한 결과 전형적인 미국부저병(AFB)의 증세와 매우 유사하여 감염이 의심되었다. 미국부저병을 현장진단하기 위하여 Holst milk test와 Match stick test를 진행하였다. Match stick test는 이쭉시개나 성냥면봉 따위의 막대로 감염이 의심되는 봉방을 찌른 후 막대를 빼면 용해된 유충의 조직이 막대에 묻어 나오는데 이때 끈적끈적한 액체가 늘어나는 길이가 2cm 이상일 때 미국부저병을 의심할 수 있다.



그림 45 Match stick test

Holst milk test는 미국부저병이 발생하였을 때 유래하는 단백질 분해효소가 우유와 반응하면 우유의 단백질을 분해하는 것에 착안하여 만들어진 방법으로 비교적 간편한 방법으로 현장에서 보다 정확하게 미국부저병을 진단할 수 있다. 탈지분유에 적당한 양에 물을 넣고 희석한 후 미국부저병이 상당히 진행되어 딱지형태(scale)로 응고된 유충을 넣고 잘 저어 준 후 따뜻한 곳에 20분간 보관한 후 색조변화를 관찰하였다. 그 결과 미국부저병 시료를 넣은 튜브 내 액체는 대조군과 비교하여 투명하게 변한 것을 확인 할 수 있었다.

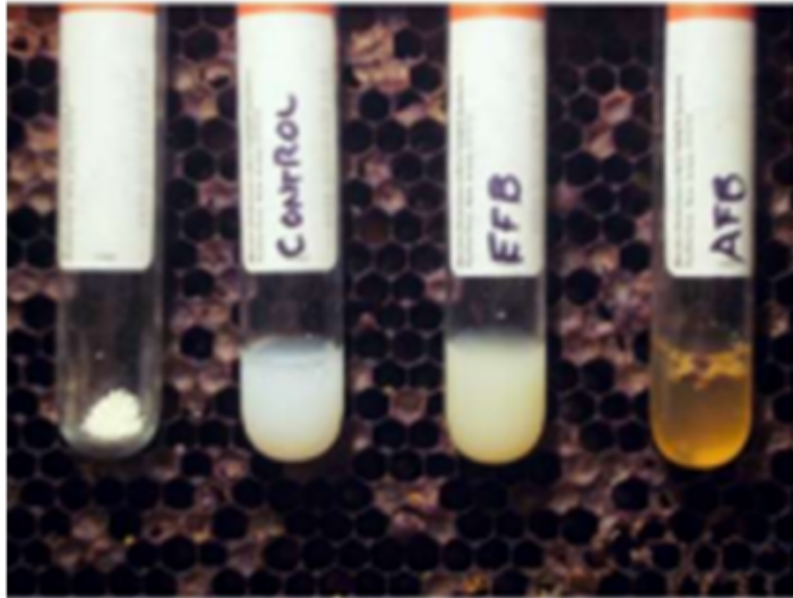


그림 46 Holst milk test

위 방법들은 현장에서 간이 진단에 활용가능한 방법으로 현장에서 간편하게 질병을 진단 가능하나 정밀도는 떨어지기 때문에 추가적으로 본 연구진에서 개발한 진단 키트와 초고속 PCR을 활용하여 최종적으로 미국부저병 감염으로 진단하였다.

또한 한 개의 소방에 산란이 2회 ~ 3회 발생한 형태를 보이는 산란성 일벌의 산란으로 추정되는 알을 발견할 수 있었다. 감염을 육안으로 파악하기 전 어느 시점에 감염이 되었는지 파악이 어려워 감염확인 이전 약 한달 간 수집된 데이터를 건전한 강군과 비교하여 보았다.

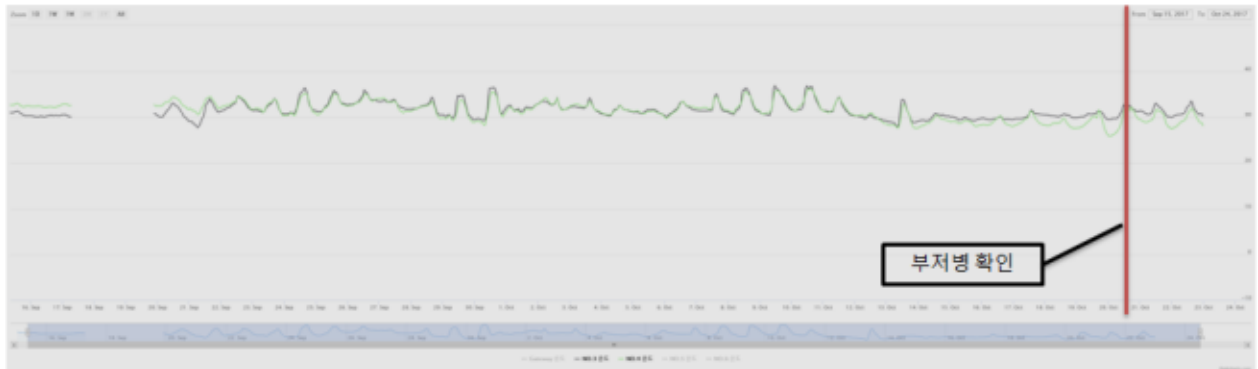


그림 47 정상봉군과 부저병감염 추정 봉군의 약 한달 간 온도 변화 비교

온도

그림 47를 보면 검은색 선이 정상봉군 (bee colony, 蜂群)의 온도이며, 녹색선이 부저병 감염 봉군 (bee colony, 蜂群)의 온도이다. 10월 13일 이전까지는 거의 유사한 경향을 나타내다가, 그 후 감염 봉군 (bee colony, 蜂群)에서 확인한 감소를 나타내었다. 정상봉군 (bee colony, 蜂群)은 30°C를 거의 유지하였으나 감염 봉군 (bee colony, 蜂群)은 27°C 이하로 내려가는 것이 관찰되었다. 이 봉군 (bee colony, 蜂群)은 부저병감염과 무왕군(無王群)의

증상이 동시에 나타났기 때문에 온도저하가 여왕벌의 망실(亡失)로 산란이 중단되어 발생한 것일 수도 있다. 부저병으로 인한 온도의 저하로 확신할 수는 없었으나 질병이 감염되면 봉세가 약해지기 때문에 온도 유지능력의 저하현상은 당연하다고 생각된다.



그림 48 정상봉군과 부저병감염 추정 봉군의 약 한달 간 상대습도 변화 비교

상대습도

습도는 이외로 정상봉군 (bee colony, 蜂群)이 대체로 높게 나타나다가 10월 11일 이후 정상봉군 (bee colony, 蜂群)의 습도가 급증하여 60 ~70%를 상회하였다. 이 부분은 예상과는 정반대의 양상을 나타내었는데, 대체로 강군에서 온도와 상대습도가 반비례하여 상대습도가 낮게 나타났던 이전과는 다른 양상을 보였다. 어떠한 원리에서 감염봉군 (bee colony, 蜂群)의 상대습도가 낮게 나타나는지 아직 가설을 구상하지 못하였다.



그림 49 정상봉군과 부저병감염 추정 봉군의 약 한달 간 CO₂ 변화 비교

CO₂ 농도

CO₂의 경우 이제까지의 경향과 마찬가지로 상대습도와 유사한 경향을 나타내어 정상봉군 (bee colony, 蜂群)의 상대습도가 높은 만큼 그에 비례하여 높게 나타났으며, 3번 봉군 (bee colony, 蜂群)의 경우 강군이기에 때문에 CO₂ 농도가 약군인 감염군보다 높게 나오는 것으로 보인다. 다른 봉군 (bee colony, 蜂群)의 경우도 CO₂ 농도가 강군인 해당봉군 (bee colony, 蜂群)에 비해서 낮게 나타났기 때문에 CO₂ 농도는 감염으로 인한 확인한 특징을 나타내지는 않는 것으로 보인다.

소음



그림 50 정상봉군과 부저병감염 추정 봉군의 약 한달 간 소음 변화 비교

소음의 경우 가장 특이적인 데이터를 나타내었다. 감염 확인 3일전 아침인 17일 오전 5시부터 0.96mV 이상으로 보통 1.0mV 전후를 나타내었으나 최대 1.28mV까지의 소음을 약 10시간 정도로 유지하였으며 5회 반복되었다. 이는 이제까지 모니터링을 통해 얻었던 소음 데이터 중 가장 특이한 데이터로 앞으로 인공감염을 통한 감염 표본수의 확보, 정밀한 대조군의 선정을 통하여 연관성을 심도있게 분석해 볼 필요가 있다고 사료된다. 그러나 봉군과 봉군간 단순비교로 얻은 데이터이기 때문에 이러한 현상이 미국부저병의 감염으로 발생하였다고는 볼 수 없다.

무게

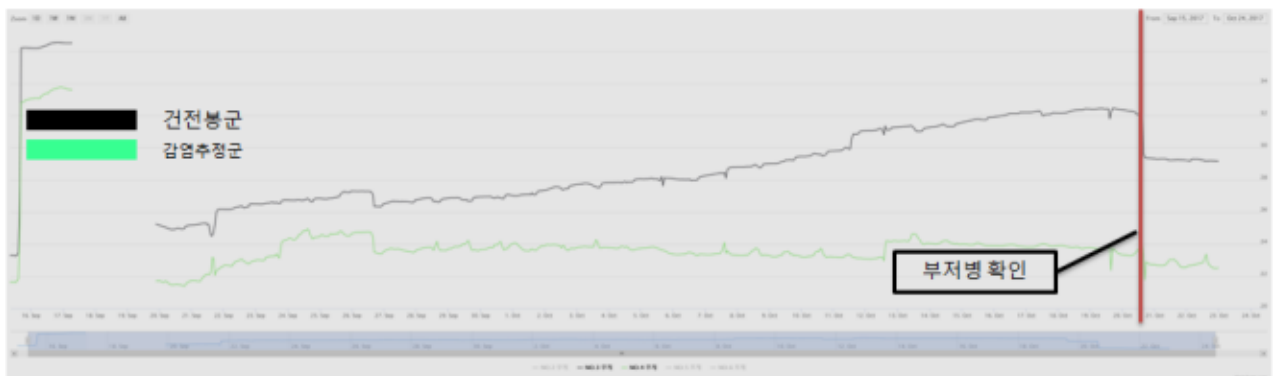


그림 51 정상봉군과 부저병감염 추정 봉군의 약 한달 간 무게 변화 비교

이 시기에는 자동사양기 타이머를 이용하여 야간 특정 시간에 지속적인 당액을 공급하였다. 당액을 모두 섭취하면 자동사양기 내부의 부레를 통해서 밸브가 개방된 시간동안에는 당액이 계속 급여된다. 이러한 당액공급방법의 경우 군세의 따라서 급여량이 달라지기 때문에 먹이의 섭취로 인한 무게 증가량을 통해 군세의 정도를 평가할 수 있다. 무게 변화를 분석한 결과 건전봉군 (bee colony, 蜂群)의 무게 증가량이 월등하게 높음을 알 수 있었다. 이

는 자동사양기의 기능 문제, 또는 봉세의 약화로 인한 섭취량 저하 등 다양한 이유로 추정
이 가능하다. 자동사양기에 문제가 빈번하게 발생하였으므로 질병의 징후에 의한 무게감소
로 확진을 내리기가 어려운 상황이었다. 그러나 봉세와 무게와 먹이섭취량은 비례하기 때문
에 봉세의 약화로 인한 무게감소의 가능성을 배제할 수는 없다.

종합적으로 보았을 때 현재까지 질병 및 외부기생충의 감염에 의한 확연한 데이터 패턴의
변화는 수집하기 어려웠다. 해외 여러 사례와 문헌검색에서도 음향분석을 통한 무왕군 상태
파악, 분봉열 및 분봉의 예측 및 경보를 예측하는 것에는 도달하였으나 질병 및 외부기생충
에 대한 데이터 수집은 보고되지 않았기 때문에 향후 추가적인 연구와 지속적인 모니터링이
필요하다.

○ 여왕벌의 망실(亡失)과 무왕군(無王群)

여러 개체가 하나의 유기체처럼 작용하는 초개체인 꿀벌집단에서 여왕벌은 생식기능을 담
당한다. 하나의 개체가 다세포 유기체의 세포와 같은 역할을 하는 초개체에서 여왕벌의 산
란을 통한 일벌의 탄생은 다세포 유기체에서 세포의 재생, 분열과 유사하다고 볼 수 있다.
따라서 여왕벌은 봉군 (bee colony, 蜂群)의 유지와 군세의 확장에 있어서 필수적인 존재이
다. 여왕벌이 망실(亡失)되면 일벌들은 곧 바로 산란 후 3일 이내의 유충이 존재하는 소방에
비상용 왕대를 만들어 새로운 여왕벌을 양성한다. 그러나 태어나는 모든 여왕벌이 교미를
마치고 성공적으로 봉군 (bee colony, 蜂群)에 정착하지는 못한다. 교미비행을 떠나 거미, 조
류, 말벌 등 천적에게 잡혀 먹히기도 하며, 그 밖에 여러 가지 변수로 교미에 실패하는 경우
도 있다. 이렇게 무왕군(無王群)인 상태에서 새 여왕벌 양성에 실패가 반복되면 결국 봉군
(bee colony, 蜂群)내에는 여왕벌이 될 수 있는 산란 후 3일 이내의 유충이 없는 상태가 된다.
여왕벌이 방출하는 성페로몬에 의해서 난소의 발육이 억제되었던 일벌은 무왕군(無王群)인
상태에서 여왕벌 페로몬 농도가 특정 농도 이하로 감소하면 난소가 발육하여 산란을 하
기 시작한다. 그러나 산란성일벌에게는 정자가 없기 때문에 무정란만을 산란하게 되고 결국 봉
군 (bee colony, 蜂群)에서 수벌만 남게 되어 봉군 (bee colony, 蜂群)이 소멸하는 결과를 초
래하게 된다.

여왕벌의 망실(亡失)로 인한 봉군 (bee colony, 蜂群)의 소멸을 막으려면 여왕벌의 망실(亡
失)로 인한 무왕군(無王群) 상태를 조기에 발견하여 여왕벌을 유입시켜주거나, 3일령 유충이
봉군 (bee colony, 蜂群)에 존재하지 않는다면 왕대를 만들 수 있도록 3일령 유충이 포함된
소비를 넣어주는 조치가 필요하다. 여왕벌 망실(亡失) 상태를 조기에 발견할 수 있는 제어
조건을 설계하기 위하여 무왕군(無王群)과 정상봉군 (bee colony, 蜂群)의 생육데이터를 비교
분석하였다.

무왕군(無王群)인 2번 봉군 (bee colony, 蜂群)의 경우 8월 29일 몸집이 작은 여왕벌이 1개
체 발견되었으며, 여왕벌이 출방하여 하단에 탈출구가 있는 왕대 1개와 아직 출방하지 않은
왕대1개가 발견되었다. 출방하지 않은 왕대가 있는 소비는 꺼내어 다른 봉군 (bee colony,
蜂群)에 보충하였다. 그 후 9월 6일과 9월 11일 산란여부를 점검하였으나 산란이 진행되지
않았음을 확인하였다. 이전에 발견한 여왕벌은 분봉을 나가기위해 몸을 줄인 구여왕벌이거

나 갓 출방한 신여왕벌로 추정하였다. 그러나 구여왕벌인 경우 분봉이 진행되었을 것이고, 이로 인한 무게의 감소가 나타나야 하나, 작업과정에서 발생한 무게감소 외에는 무게감소는 없었다. 따라서 새 여왕벌의 출방으로 가능성을 두고 데이터를 해석하였다. 9월 12일 신여왕벌이 교미를 실패한 것을 가정하고 변성왕대의 생성을 유도하기 위하여 어린 유충이 있는 소비를 보충하여 경과를 관찰하였다. 그러나 왕대를 짓는 것은 관찰되지 않았고 9월 21일 여왕벌과 소수의 알을 발견하였는데 이 때 여왕벌이 작업자의 상체로 날아올라 매달리는 현상이 관찰되었다. 이는 여왕벌이 아직 교미가 진행되지 않아 몸이 가벼운 것으로 추정하였으나, 산란이 소량 발견되어 명확한 진단이 어려웠다. 처녀왕의 경우 안정을 취해야 하기 때문에 약 2주간은 자주 열어보지 않고 먹이 보충만 진행하였다. 그 후 지속적으로 흐리고 습한 날씨가 지속되어 관찰을 진행할 수 없었다. 10월 20일 관찰결과 산란성일벌의 산란으로 인하여 수벌집이 무성하였고, 수벌의 개체수도 제법 보였으며, 봉세도 매우 약화되어 있었다. 수벌의 경우 산란 후 24일 이후에 성충이 되기 때문에 9월 말부터 산란성일벌 또는 교미에 실패한 신여왕(new queen bee, 新女王)의 산란이 진행된 것으로 추정하였다.

온도



그림 52 무왕군과 정상봉군의 온도 경향 비교

온도의 경우 여왕벌을 최초로 발견한 이후로 정상봉군 (bee colony, 蜂群)과 비교해서 낮은 값을 나타내었다. 8월 27일과 9월 3일에는 30℃ 이하로 내려가는 것이 관찰되었다. 9월 6일 이후로는 정상봉군 (bee colony, 蜂群)과 비교하여 온도를 유지하는 능력이 매우 저하되어 25℃ 이하로 내려가기도 하였으며 온도가 지속적으로 낮게 나타났다. 이는 산란 중단으로 인하여 육아를 위한 보온활동 또한 중단되었으며, 봉세가 약화되어 일어난 현상으로 관찰된다. 결과적으로 육아가 진행되는 시기에 봉군 (bee colony, 蜂群)의 온도가 30℃ 이하로 내려가는 현상이 자주 발생하고 유지된다면 산란과 육아가 정상적으로 이루어지지 않는 것이고 이는 여왕벌의 이상으로 인한 가능성이 가장 높기 때문에 여왕벌의 망실(亡失)에 있어서 가장 중요한 데이터는 온도라고 판단된다.

상대습도

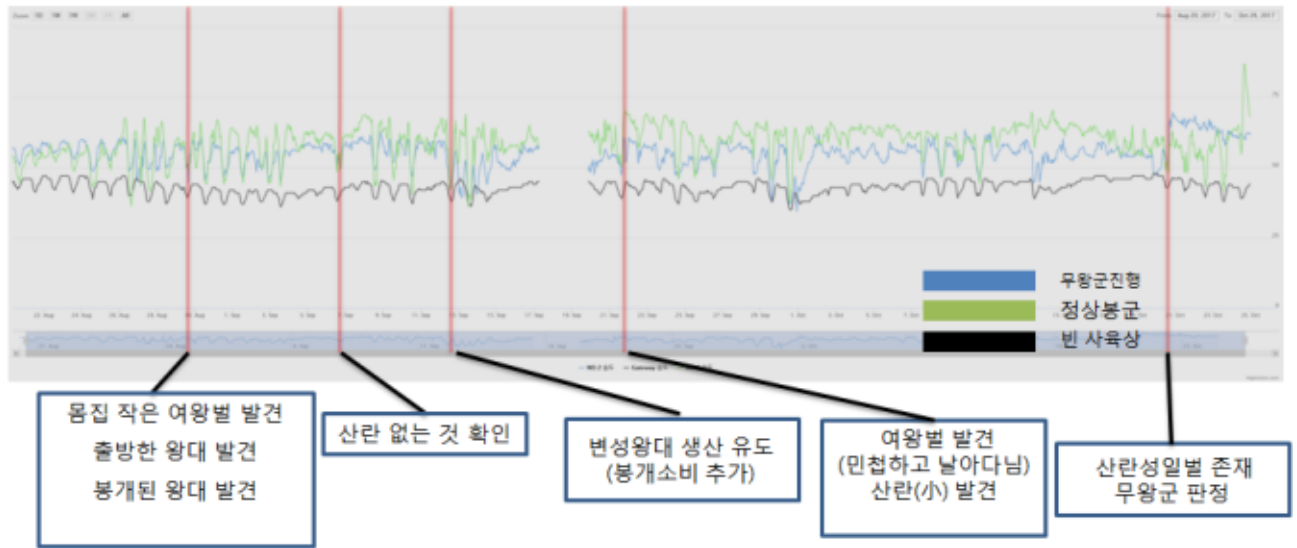


그림 53 무왕군과 정상봉군의 상대습도 경향 비교

상대습도의 경우 정상봉군 (bee colony, 蜂群)이 높게 나타났고, 대체로 CO₂와 비례하는 것으로 추정된다. 상대습도와 무왕군(無王群)과의 연관성은 크지 않은 것으로 보이며, 무왕군(無王群) 판정 후 축소(縮巢)를 진행하자 상대습도가 높아지는 것이 관찰되었다.

CO₂농도

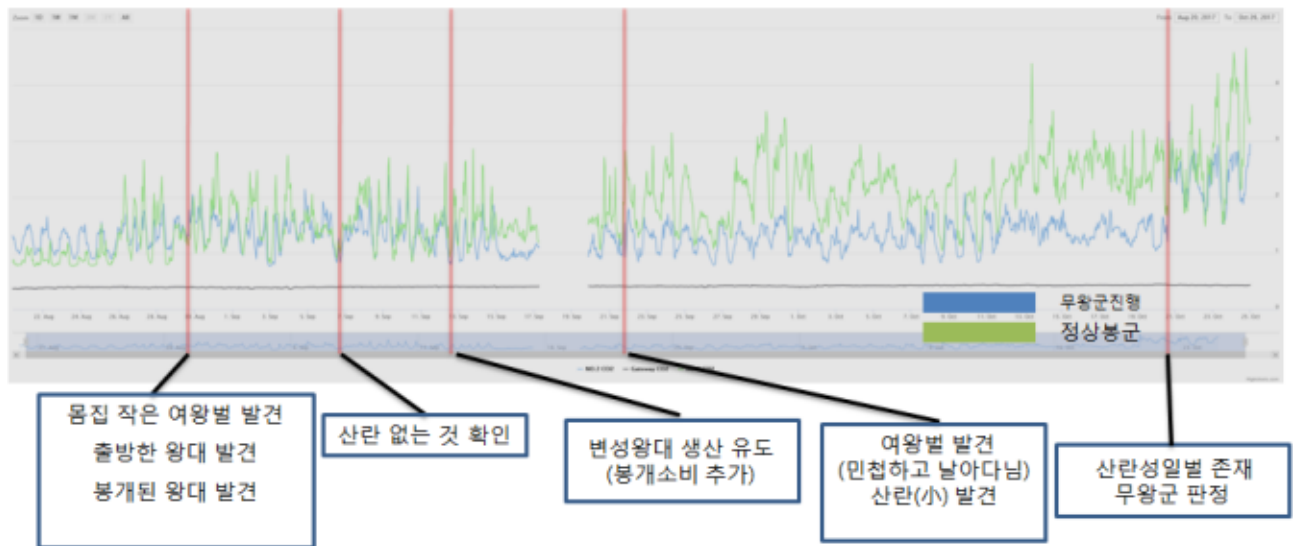


그림 54 무왕군과 정상봉군 (bee colony, 蜂群)의 CO₂농도 경향 비교

CO₂농도는 상대습도와 대체로 비례하였고, 무왕군(無王群)인 약군에서 낮게 나타났는데 이는 군세의 차이로 인한 결과라고 판단된다.

무계

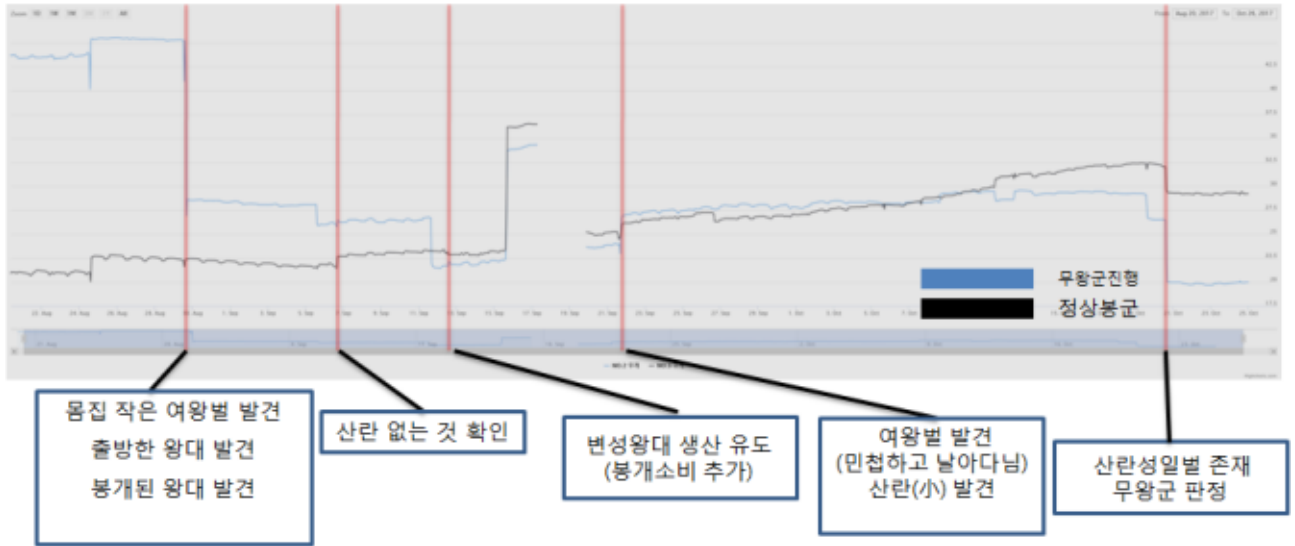


그림 55 무왕군과 정상봉군의 무게 경향 비교

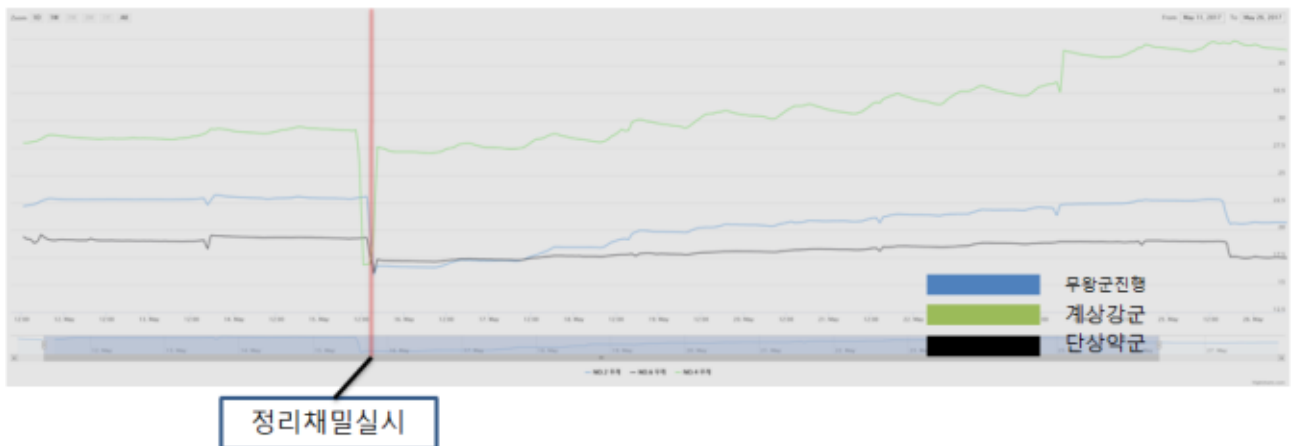


그림 56 무왕군과 정상봉군의 유밀기 무게 경향 비교

무왕군(無王群)의 경우 군세의 비해 무게의 증가량이 높았는데 이는 산란부진으로 인하여 저밀(貯蜜)을 할 수 있는 공간이 많이 확보된 결과로 추정된다. 실제 일선 현장에서 유밀기(有蜜期)에 여왕벌을 가두거나 신여왕(new queen bee, 新女王)교체를 진행하여 산란기간의 공백을 주어 저밀(貯蜜)을 유도하는 방법을 많이 사용하고 있다. 이러한 이유로 유밀기(有蜜期) 또는 당액을 공급하는 시기에 무왕군(無王群)의 경우 무게증가가 군세에 비하여 활발할 것으로 판단된다. 또한 육아의 중단으로 인한 유충의 육아에 필요한 먹이 소모가 적은 것도 하나의 원인으로 생각된다. 그림 56을 보면 유밀기(有蜜期)에 무왕군(無王群) 상태가 진행된 봉군 (bee colony, 蜂群) (蜂群)과 계상(super, 繼箱)강군, 무왕군(無王群)과 비슷한 세력의 단상(mono floor bee box, 單箱)약군의 무게 증가를 비교한 결과로 무왕군(無王群)은 계상(super, 繼箱)강군 만큼은 아니었으나 단상(mono floor bee box, 單箱)약군과 비교하여 월등한 무게증가를 나타내었다.

소음

소음은 온도와 무게와 더불어 봉군 (bee colony, 蜂群)의 이상유무를 가장 잘 반영할 잠재력이 있는 환경인자로 판단된다. 특히 여왕벌의 유무와 분봉열(swarming fever, 分蜂熱), 분봉 직전의 상태를 가장 잘 나타내는 인자로 알려져있다. Cejrowski(2018) 등은 벌통에 음향 센서를 설치하여 데이터를 수집하고, 수집된 음향데이터를 Linear Predictive Coding(선형예측부호화), SVM(Support Vector Machine), t-SNE을 통해서 무왕군을 파악하고, 신왕과 구왕의 데이터 차이에 따른 알고리즘을 개발하여 제안한 바 있다. 이러한 결과를 비추어 보았을 때 음향 환경인자는 전문적인 분석능력과 장비가 도입된다면 Machine Learning 기술과 융합하여 봉군의 이상현상을 파악할 수 있는 잠재력이 크다고 판단된다.

상 황	환경 인자 변화		조치사항 발령
	온도	항온성 저하	
무왕군			축소진행
	무게	유밀기, 당액공급기에는 증가량이 군세에 비해 높게 나타남	신여왕, 왕대 유입 변성왕대 유도를 위한 유충소비 삽입

표 7 무왕군 상황에서 제어 조건의 확립 및 조치사항

○ 분봉 시의 신호변화

분봉은 양봉경영에 있어서 가장 돌발적인 변수로 작용하며, 경험이 많지 않은 양봉농가의 경우 이를 제어하는데 어려움을 겪을 수밖에 없다. 또한 분봉이 발생한 분봉군을 제때 수용하지 못하면 분봉군을 망실하여 심각한 경제적 손실을 유발시킨다. 분봉은 분봉이 발생하기 전 분봉열이 발생하지 않도록 사전조치와 사양관리를 통해서 방지하는 것이 가장 이상적이거나 꿀벌의 자연적인 번식본능이므로 억제가 쉽지 않다. 초기 분봉군은 본 벌통 인근에 비교적 낮은 나무에 1차적으로 안착하기 때문에 분봉이 발생한 시점에 이를 조기에 파악한다면 분봉군을 포획하여 수용할 수 있는 확률을 높일 수 있다. 본 연구에서는 분봉열이 발생한 봉군에서 실시간으로 분봉현상을 관측하였으며 이를 통하여 분봉 시 나타나는 수집 인자의 변화값을 수집하였다. 해당봉군의 2차 분봉을 유도하기 위하여, 왕대를 제거하지 않고 방치하여 추가적인 분봉 데이터를 얻었으며 분봉이 발생하는 것을 관측하지 않고 변화값의 경향을 통해 분봉을 파악할 수 있었다.



그림 58 2018년 4월 17일 발생한 분봉

2018년 4월 17일 오전 11시경 ~12시 경에 분봉현상을 관측하였으며, 분봉이 발생하고 불과 10분 사이에 급격한 무게감소, 온도 증가, CO₂의 증가가 관측되었다.

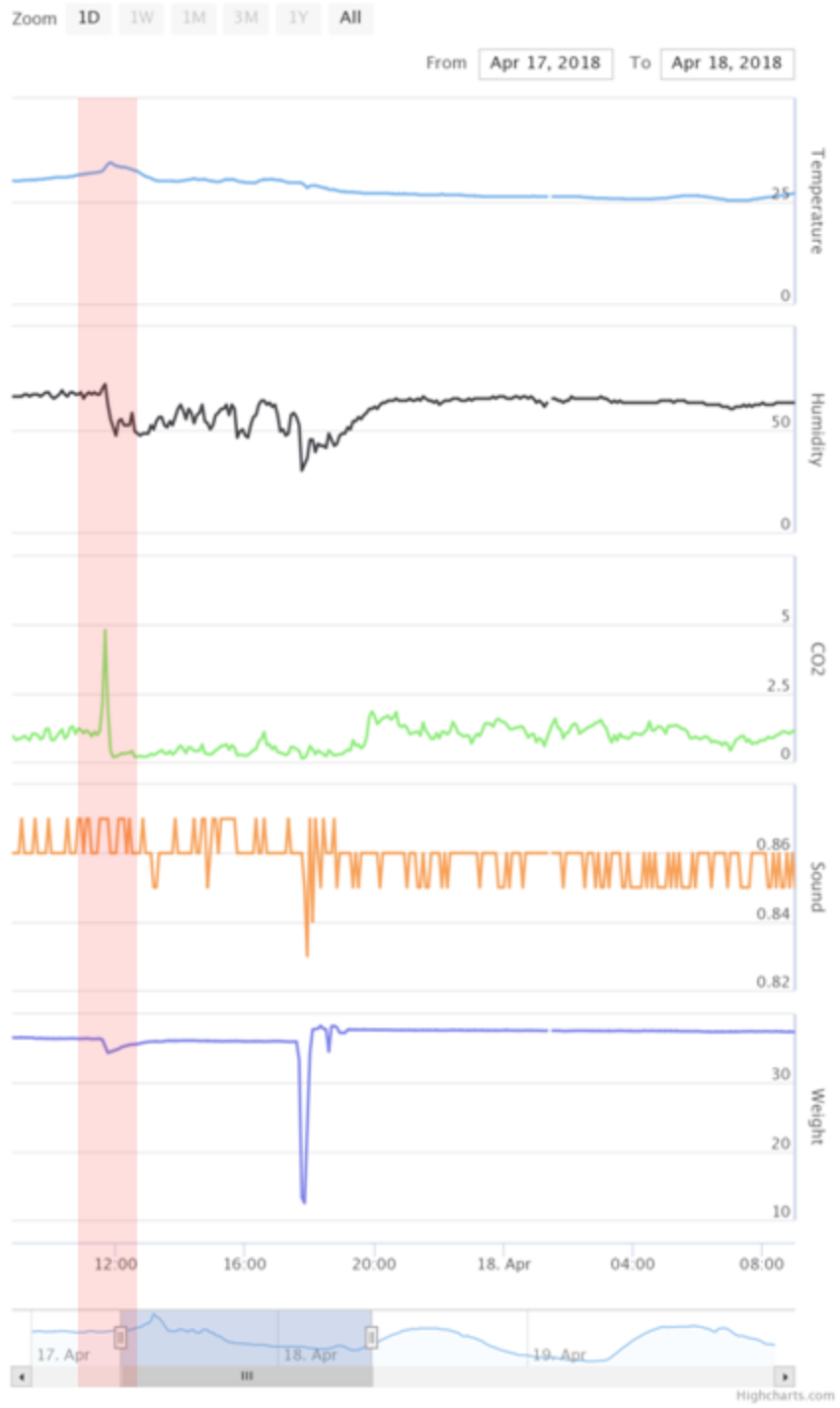


그림 59 분봉 시 나타난 수집 데이터 변화

DateTime	Temperature	Humidity	CO2	Sound	Weight
2018-04-17 10:40	31	68	1.289	0.86	36.49
2018-04-17 10:45	31.2	67	1.016	0.86	36.47
2018-04-17 10:50	31.4	67	1.212	0.87	36.42
2018-04-17 10:55	31.4	68	1.173	0.87	36.44
2018-04-17 11:00	31.6	65	1.047	0.86	36.45
2018-04-17 11:05	31.6	67	1.148	0.87	36.48
2018-04-17 11:10	31.8	68	1.083	0.87	36.45
2018-04-17 11:15	31.8	67	0.935	0.86	36.4
2018-04-17 11:20	31.9	68	1.102	0.86	36.39
2018-04-17 11:25	32	67	0.981	0.86	36.42
2018-04-17 11:30	32.1	67	1.126	0.87	36.43
2018-04-17 11:35	32.3	70	2.124	0.87	36.3
2018-04-17 11:40	33.1	72	4.808	0.87	35.31
2018-04-17 11:45	34	62	1.961	0.87	34.38
2018-04-17 11:50	34.4	55	0.394	0.86	34.52
2018-04-17 11:55	34	51	0.177	0.86	34.67
2018-04-17 12:00	33.5	47	0.19	0.86	34.8
2018-04-17 12:05	33.5	54	0.239	0.87	34.94
2018-04-17 12:10	33.2	55	0.306	0.87	35.2
2018-04-17 12:15	33.3	52	0.296	0.87	35.31
2018-04-17 12:20	33.1	52	0.322	0.86	35.42
2018-04-17 12:25	32.9	52	0.335	0.87	35.55
2018-04-17 12:30	32.7	58	0.392	0.86	35.59
2018-04-17 12:35	32.4	49	0.185	0.86	35.61
2018-04-17 12:40	32.3	48	0.186	0.86	35.66

표 8 분봉 시 나타난 수집 데이터의 변화 수치

해당 그래프와 표를 보면 분봉 시 확연한 변화를 파악할 수 있다. 각 인자 별로 그 변화를 분석하였다.

온도

온도는 분봉이 일어나기 1시간 전인 10:40 경에 시점에 31℃에서 분봉이 발생한 시점에 33℃로 증가하였다. 이는 분봉 전 예열과정으로 인하여 봉군과 일벌 개체의 온도가 상승한다는 기존 연구(Seeley & Tautz 2001; Seeley *et al* 2003; Zacepins *et al* 2016)와 일치하는 결과였다.

상대습도

상대습도는 분봉이 일어난 후 급격하게 감소하는 경향을 나타냈다. 특이하게도 분봉이 발생하는 시점에 증가하여 최대값을 나타내다가 분봉이 발생한 후 감소하였다. 이는 분봉 전 예열과정에서 발생하는 날개짓으로 인한 환기현상으로 파악되나 상대습도는 외기의 영향을 크게 받으며 특히 한낮의 경우 더욱 그러하기 때문에 추가적인 고찰이 필요하다(Ferrari *et al* 2008).

CO₂

CO₂는 가장 급격한 변화를 나타낸 인자였다. 분봉 이전에 1% 내외의 값을 나타내다가 분봉이 진행되는 시점에 무려 4.8%를 상회하는 증가를 나타내었다. 이는 분봉을 위한 예열과정과 분봉과정에서 활동으로 인한 대사량의 증가가 반영된 것으로 보인다. Ferrari 등(2008)의 유사 연구에서는 CO₂ 센서를 도입하지 않았기 때문에 이러한 결과를 도출하지 못하였으나 본 연구에서는 CO₂ 센서를 설치하였기 때문에 이러한 데이터를 수집할 수 있었다.

음향

음향은 Ferrari 등(2008)에서 정상봉군의 야간, 주간, 분봉 시 패턴을 파악하는데 성공하였으며 스펙트로그램분석을 통하여 분봉시점에 발생하는 음향의 변화 또한 파악하였으나, 본 연구에서는 소음 분석을 위한 장비와 인력의 부족으로 소음 분석 부분이 상대적으로 미흡하여 의미있는 데이터를 수집하지 못하였다. 향후 추가적인 연구에서는 소음 분석부분에 가중치를 높게 두어야 할 것으로 판단된다.

무게

분봉이 발생하기 전 분봉에 합류하는 분봉군은 분봉을 위한 이동과 새로운 정착에 필요한 식량을 섭취하여 체내에 저장한다. 이러한 분봉군은 분봉이 발생하면 일시에 본 봉군에서 빠져나오기 때문에 이러한 이유로 분봉이 발생하면 무게의 감소는 필연적이다. 분봉전 36.43kg의 봉군은 분봉 후 무려 2kg 가량이 감소하였다.

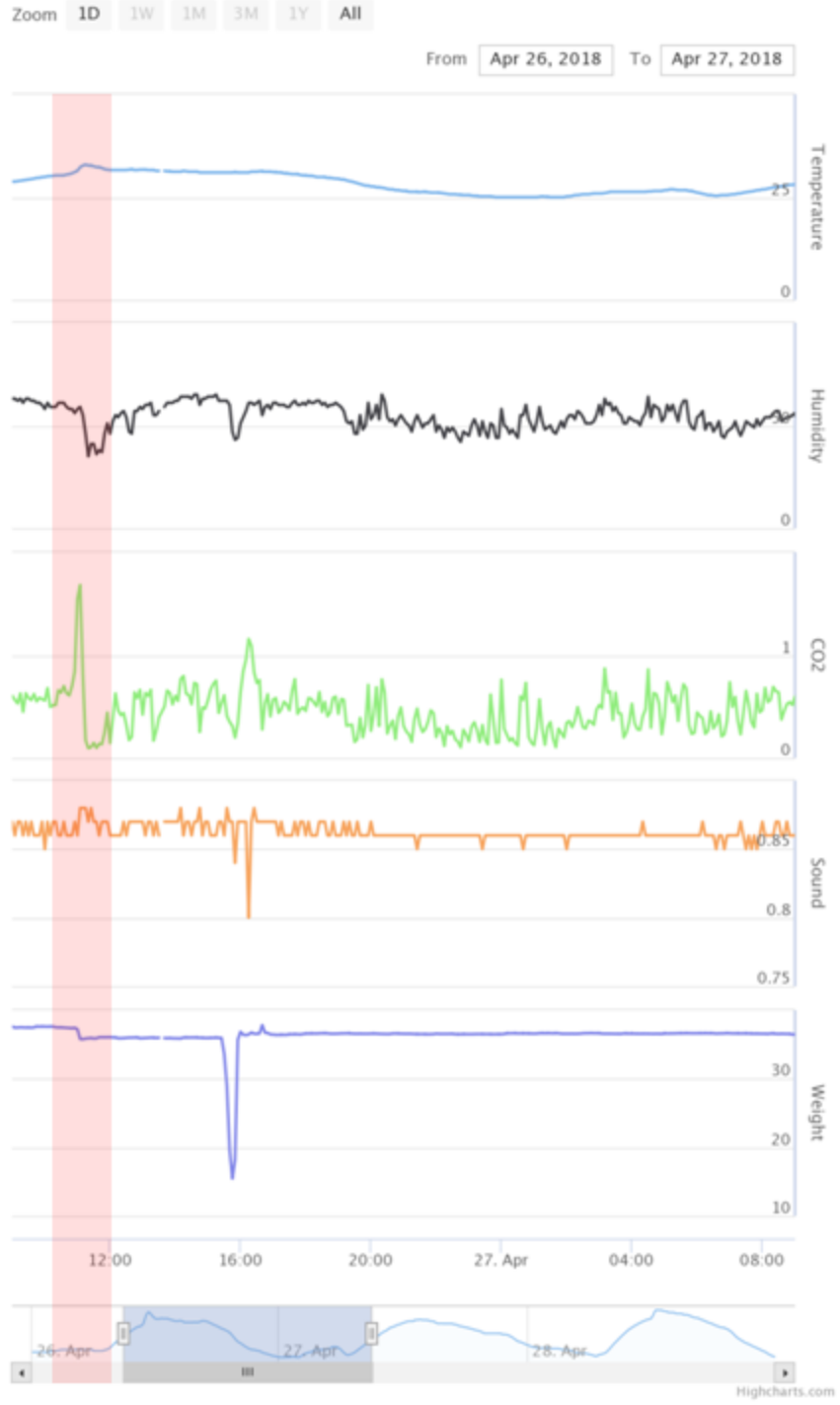


그림 60 2차분봉 시 나타난 수집 데이터 변화

DateTime	Temperature	Humidity	CO2	Sound	Weight
2018-04-26 10:05	30.1	61	0.679	0.87	37.61
2018-04-26 10:10	30.1	59	0.496	0.86	37.64
2018-04-26 10:15	30.2	59	0.513	0.87	37.63
2018-04-26 10:20	30.3	59	0.515	0.87	37.53
2018-04-26 10:25	30.3	61	0.658	0.86	37.49
2018-04-26 10:30	30.3	61	0.635	0.86	37.5
2018-04-26 10:35	30.3	61	0.7	0.87	37.47
2018-04-26 10:40	30.5	59	0.629	0.86	37.45
2018-04-26 10:45	30.6	58	0.608	0.86	37.42
2018-04-26 10:50	30.8	58	0.698	0.86	37.38
2018-04-26 10:55	31.1	56	0.839	0.87	37.45
2018-04-26 11:00	31.4	58	1.546	0.86	37.24
2018-04-26 11:05	32.3	59	1.682	0.88	35.81
2018-04-26 11:10	32.7	55	0.804	0.88	35.79
2018-04-26 11:15	32.9	46	0.172	0.88	35.88
2018-04-26 11:20	32.7	35	0.095	0.87	35.92
2018-04-26 11:25	32.7	41	0.104	0.88	35.95
2018-04-26 11:30	32.5	41	0.147	0.87	35.89
2018-04-26 11:35	32.3	36	0.097	0.87	35.91
2018-04-26 11:40	32.3	38	0.137	0.86	36.06
2018-04-26 11:45	32.1	37	0.133	0.87	36.07
2018-04-26 11:50	31.8	46	0.248	0.87	36.06
2018-04-26 11:55	31.7	51	0.44	0.87	36.07
2018-04-26 12:00	31.6	46	0.145	0.86	36.08
2018-04-26 12:05	31.6	52	0.38	0.86	36.04

표 9 2차분봉 시 나타난 수집 데이터 변화 수치

2차분봉

2차분봉에서도 1차분봉과 유사한 경향을 나타내었다. 온도는 분봉이 일어나기 1시간 전인 10:05 경에 시점에 30℃에서 분봉이 발생한 시점에 32℃로 증가하였다. 이는 1차분봉과 큰 차이가 없는 결과로 분봉 시 온도증가는 기존문헌과 해당 수집데이터에서 모두 증명되어 알고리즘 설계에 활용가능한 것으로 사료된다. 상대습도 또한 1차분봉과 마찬가지로 분봉이 일어난 후 급격하게 감소하는 경향을 나타냈다. CO₂는 이미 1차분봉으로 인하여 많은 개체수가 감소하였기 때문에 2차분봉이 발생하기 전 0.6%의 1차분봉 전보다 낮은 값을 나타내었으며, 분봉이 진행된 시점에 1.6%까지 급증하였다. 이는 1차분봉과 동일한 결과로 이는 분봉

을 위한 예열과정과 분봉과정에서 활동으로 인한 대사량의 증가가 반영된 것이라는 가설에 더욱 힘을 실어주는 결과였다. 음향은 1차분봉과 마찬가지로 큰 변화를 수집하지 못하였다. 무게는분봉전 37.45kg에서 35.81로 약 1.4kg의 감소를 나타내었다.

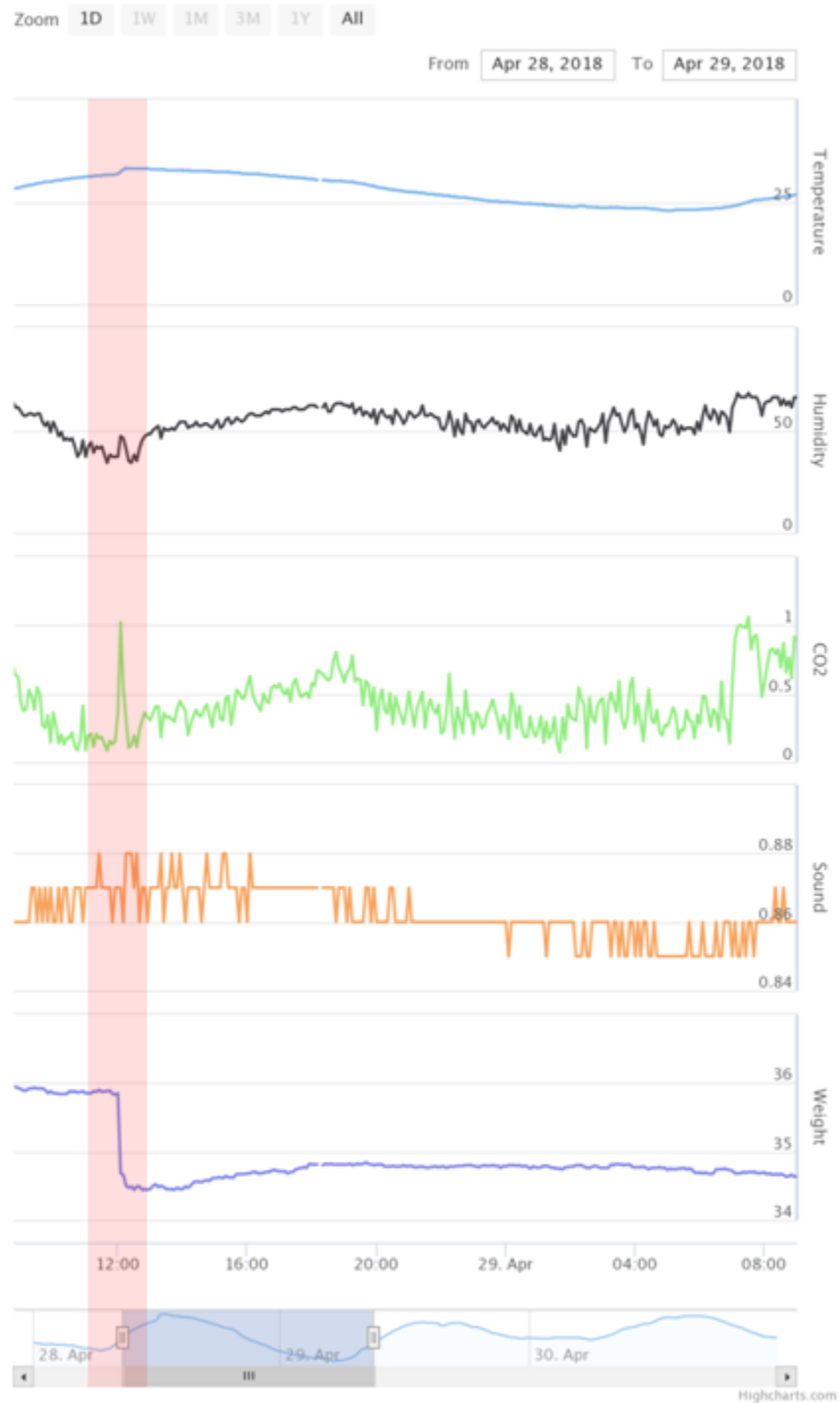


그림 61 3차분봉 시 나타난 수집 데이터 변화

DateTime	Temperature	Humidity	CO2	Sound	Weight
2018-04-28 11:05	31.2	42	0.196	0.87	35.85
2018-04-28 11:10	31.2	44	0.209	0.87	35.85
2018-04-28 11:05	31.2	42	0.196	0.87	35.85
2018-04-28 11:10	31.2	44	0.209	0.87	35.85
2018-04-28 11:15	31.3	39	0.114	0.87	35.88
2018-04-28 11:20	31.4	42	0.207	0.87	35.87
2018-04-28 11:25	31.4	41	0.174	0.88	35.9
2018-04-28 11:30	31.4	42	0.184	0.87	35.87
2018-04-28 11:35	31.6	38	0.132	0.87	35.88
2018-04-28 11:40	31.6	34	0.085	0.87	35.88
2018-04-28 11:45	31.6	38	0.157	0.87	35.89
2018-04-28 11:50	31.6	37	0.13	0.86	35.84
2018-04-28 11:55	31.7	37	0.155	0.87	35.83
2018-04-28 12:00	31.8	37	0.362	0.87	35.85
2018-04-28 12:05	32.4	47	1.023	0.87	34.68
2018-04-28 12:10	32.9	46	0.54	0.86	34.66
2018-04-28 12:15	33.2	41	0.318	0.88	34.5
2018-04-28 12:20	33.1	35	0.104	0.88	34.47
2018-04-28 12:25	33.1	34	0.126	0.88	34.49
2018-04-28 12:30	33.1	38	0.198	0.87	34.44
2018-04-28 12:35	33.1	35	0.111	0.88	34.49
2018-04-28 12:40	33.1	41	0.235	0.86	34.49
2018-04-28 12:45	33.1	45	0.308	0.87	34.44
2018-04-28 12:50	33.1	47	0.363	0.87	34.45
2018-04-28 12:55	33.1	48	0.328	0.86	34.44
2018-04-28 13:00	33	48	0.306	0.87	34.45
2018-04-28 13:05	32.9	50	0.358	0.87	34.5

표 10 3차분봉 시 나타난 수집 데이터 변화

3차분봉

3차분봉에서도 전반적인 경향은 1차분봉 및 2차분봉과 유사하였다. 그러나 상대습도의 변화 폭이 낮았는데 이 때 외기 상대습도가 이미 40%대로 낮은 상태였기 때문에 환기에 의한 별통 내부의 상대습도의 감소 효과 적었던 것으로 파악된다.

	1차	2차	3차	종합
온도	약 2℃ 증가	약 2℃ 증가	약 1.5℃ 증가	1 ~ 2℃ 증가
습도	분봉 후 13% 감소	분봉 후 약 13% 감소	큰 변화 없음(외기 상대습도가 낮은 상태)	외기 상대습도가 높은 경우 확인한 감소치 나타냄
CO ₂	3.5% 이상 증가	1% 이상 증가	2% 이상 증가	1 ~ 3% 증가
음향	변화없음	변화없음	변화없음	향후 음향센서 개선 및 추가 연구 필요
무게	2kg 가량 감소	2kg 가량 감소	1.5kg 가량 감소	1 ~2 kg 감소

표 11 분봉 시 제어 조건 수립을 위한 기초자료

나. 생육환경 제어를 위한 통합형 제어 장치 개발

1) 온도 제어를 위한 통합형 제어 장치 개발

○ 온도 변화에 따른 제어방안 연구의 필요성

꿀벌은 가축 중에서 가장 작은 냉혈동물이며, 적외선 카메라로 관찰한 바에 의하면 가슴 부분을 벽에 밀착시킨 후 비행근육을 이용하여 발열을 한다. 최대 30분간 열을 방출하고 이 때 체온은 거의 43℃ 이상으로 올라간다. 생육온도의 범위로 볼 때, 7℃에서 활동이 마비되며, 5℃에서는 12시간 이내에 동사하고, 13℃ 이하에서는 외부활동을 할 수 없다. 이렇게 온도가 내려가면 벌은 월동을 위한 봉구(Winter cluster, grouped bee-ball, 蜂球)를 형성하고 발열활동을 통해 내부온도를 약 34℃로 유지한다.

양봉사육상 내부가 고온이 될 경우 여왕벌은 산란을 중지하고 일벌은 모든 활동을 중지한다. 그리고 날개의 선풍을 이용하여 양봉사육상 내부의 온도를 낮추는 작업을 한다. 벌의 개체수가 늘어나 소상 내부가 좁아지고 각 일벌 개체에 전달되는 여왕벌 페로몬의 양이 감소하면 꿀벌의 종족번식의 본능에 의해 봉군(bee colony, 蜂群)의 분봉은 필연적으로 나타난다. 이처럼 양봉사육상이 좁아졌을 때 분봉하고자 하는 증세를 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이라고 한다. 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 발생하면 상대적으로 꿀의 채집이 줄어들기 때문에 양봉농가로서는 손실이 발생하게 된다. 따라서 분봉열(swarming fever, 分蜂熱)이 발생할 경우 이를 미리 감지하여 여러 가지 조치를 통해서 환경을 조절하는 것이 매우 중요하다.

이러한 이유로 유밀기(有蜜期)의 온도변화의 감지는 매우 중요하며, 벌이 온도를 유지하기 위한 활동으로 인해 채집활동이 줄어드는 것을 방지하는 것도 매우 중요하다. 이를 위해 온도를 일정하게 유지시켜줄 수 있는 생육환경 제어는 매우 중요한 의미를 갖는다.

○ 온도 제어방안 연구

대부분의 양봉농가에서는 유밀기(有蜜期) 및 하계에 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부의 소비위에 덮여 있는 개포(bee veil, 蓋布)의 일부를 열어두는 작업을 실시하며, 일부 농가에서는 개포(bee veil, 蓋布)를 해체하고 프로폴리스망을 설치하기도한다. 대류현상에 의해 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부의 더운 열은 개포(bee veil, 蓋布)의 열린 부분으로 배출되고 양봉상(hive, 養蜂箱) 하단부의 소문(hive entrance, 巢文)을 통해 외부의 차가운 공기가 내부로 유입되게 된다. 이를 통해 꿀벌의 온도조절 활동 특히 선풍활동에 대한 부담을 크게 덜어줄 수 있다. 하지만 이 방법은 아침과 저녁, 그리고 밤에는 보온을 위해 개포(bee veil, 蓋布)를 다시 덮어야 하고, 이는 양봉농가에서 꾸준한 관심과 인력을 집중하도록 만든다. 만약 개포(bee veil, 蓋布)의 여닫이 작업을 자동으로 제어할 수 있다면 꿀벌과 양봉농가 양쪽에 크게 도움이 될 것으로 기대된다. 그 방법은 다음과 같다.

- 현재 스마트 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부에 장착되어 있는 센서 보드를 제외한 나머지 소비를 개포 (bee veil, 蓋布)로 덮음
- 센서보드의 상단부에 구멍을 뚫으면 대류 현상에 의해 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부의 더운 공기가 센서보드 상단부를 통해 외부로 배출됨
- 센서보드 상단부 구멍에 자동 개폐 장치를 장착하여 온도 변화에 따라 개폐 동작이 이루어지도록 함

○ 온도 제어를 위한 자동 개폐 장치 개념도

여름철 유밀기(有蜜期) 개포 (bee veil, 蓋布) 여단이 작업을 자동으로 제어하기 위해서는 먼저 공기의 흐름을 분석해야 한다. 다음 그림 62-A과 같이 양봉상(hive, 養蜂箱)의 소문(hive entrance, 巢文)으로 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부의 온도(보통 36도)보다 차가운 온도가 유입되게 되고, 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부의 열은 대류현상에 의해 센서보드 상단을 먼저 통과한 뒤 상단 덮개 측면 환기구를 통해 빠져나가게 될 것이다. 다음 그림 62-B는 센서보드를 제외한 나머지 소비에 개포 (bee veil, 蓋布)를 덮고 고정된 그림이고 소문(hive entrance, 巢文)에서 차가운 공기가 유입되고, 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부의 열은 센서보드 상단을 통해 배출되는 것을 묘사한 그림이다.

실제 센서보드 내부의 자동 개폐 장치는 래크와 피니언(Rack & Pinion) 구조로 구성된 다음 그림 62-C, 62-D에 의해 설명된다. 그림 62-C은 상단 덮개가 닫힌 상태를 보여주고, 그림 62-D는 상단 덮개가 열린 상태를 보여준다. 상단 덮개의 개폐 동작은 래크와 피니언의 동작 상태에 따라 결정된다.

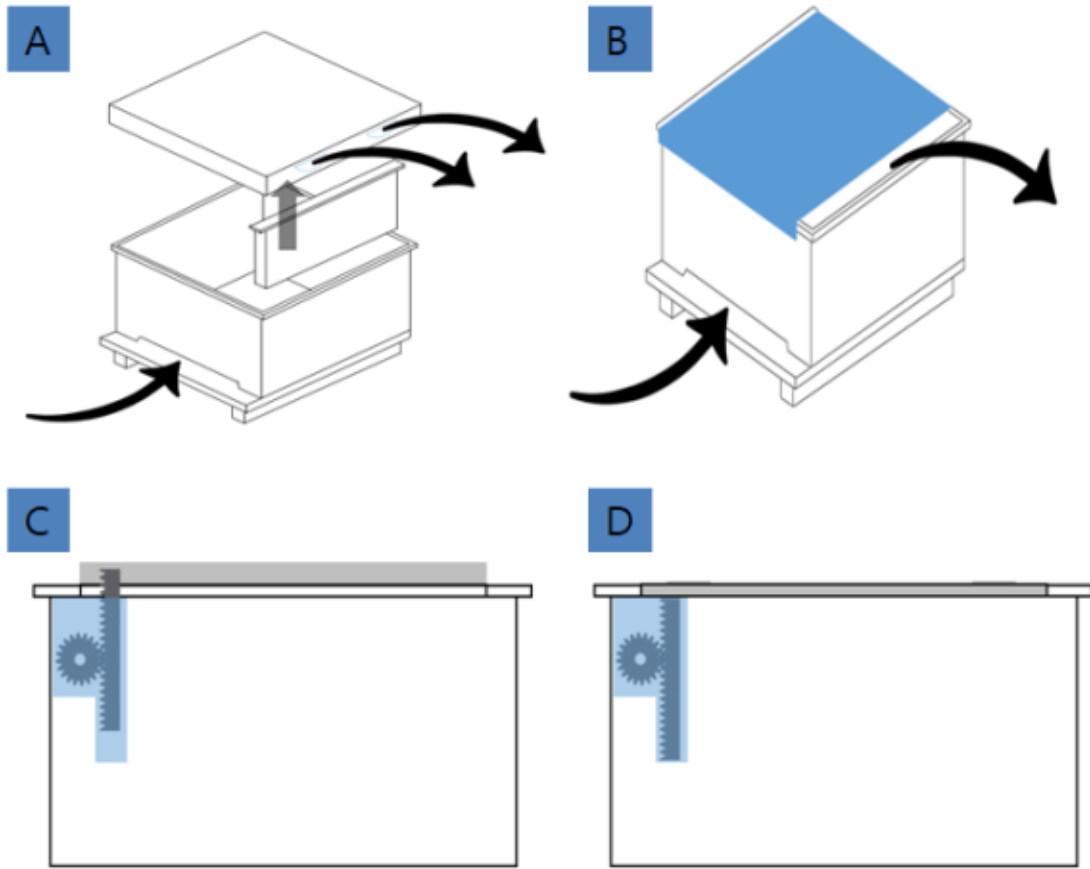


그림 62 온도 제어를 위한 자동 개폐 장치 개념도

○ 자동 개폐 장치 동작 원리

랙(Rack)은 곧고 평평한 막대기에 톱니를 붙인 것을 말하고 피니언(Pinion)은 랙과 맞물리는 상대적으로 작은 기어를 말한다. 랙과 피니언(Rack & Pinion) 구조는 랙과 피니언의 맞물림을 통해 피니언의 회전운동을 랙의 직선운동으로 변환하는데 사용되는 동력 전달 방식을 말한다.

자동 개폐 장치에서 피니언은 센서보드 안에 설치된 전기모터와 연결되어 회전운동을 얻고, 랙은 피니언과의 맞물림을 통해 회전운동을 직선운동으로 변환되게 되며, 이 운동을 통해 센서보드의 상단을 들어올리는 동작을 수행하거나 그 반대의 동작을 수행하게 된다.

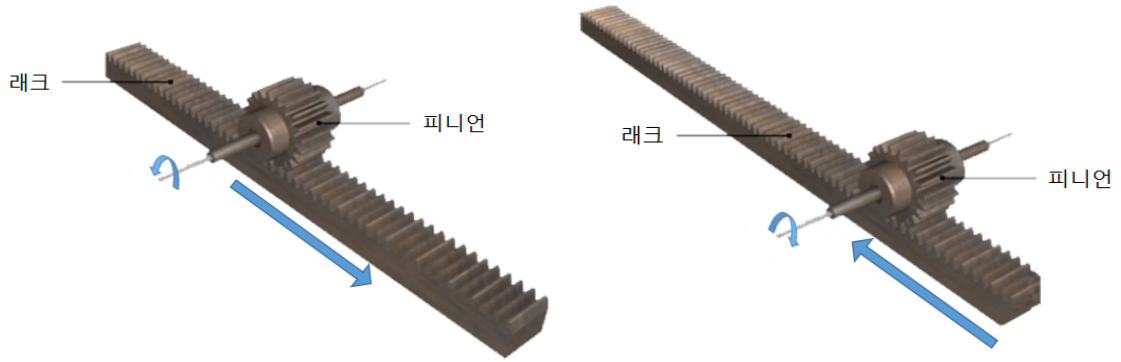


그림 63 레그와 피니언의 장치 동작 원리

○ 자동 개폐 장치 동작 테스트 및 결과

본 연구에서 개발된 스마트 양봉 시스템에서 무엇보다 중요한 것은 전기모터를 사용해 동작 시 저전력으로 동작을 해야 하는 점과, 유휴 상태(Idle State, 遊休常態)에서 전력 소모가 없어야 하는 점이다. 그리고 센서 보드 내부에 설치할 수 있어야 하며 그 구조 또한 매우 단순해야 한다는 것이다. 레크와 피니언 동작 방식은 다른 동력 전달 방식에 비해 센서 보드 내부에 설치할 수 있을 만큼 상대적으로 구조가 단순하고 전체적인 크기도 작은 크기로 구현이 가능한 구조이다.

센서 보드는 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부에 위치하고 있기 때문에 자동 개폐 장치 또한 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부에 위치하게 된다. 자동 개폐 장치의 동작이 꿀벌의 생육환경에 영향을 미치지 않도록 전체적인 구조를 패키징을 할 필요가 있다.

2) 탈착식 무게측정장치가 포함된 새로운 형태의 양봉상(hive, 養蜂箱) 제안

○ 양봉사육상 무게 변화에 따른 제어방안 연구의 필요성

양봉사육상의 증량은 채밀의 시기와 수밀량을 가늠하는데 유용한 지표가 된다. 또한 양봉사육상의 증량은 생육활동의 왕성한 정도를 보여주므로 전체 봉군 (bee colony, 蜂群)의 세력을 짐작하는데 중요한 참고자료가 될 수 있을 것이다. 증량의 급격한 변동은 도봉의 발생이나 외부 야생동물의 침입 등의 비상상황의 발령에도 유용한 지표가 된다. 특히 양봉농가의 입장에서는 채밀의 시기와 수밀량의 가늠, 그에 따른 채밀시기의 결정 혹은 채밀 후의 사료 투입결정 등, 생산성에 직접적인 영향을 미치게 된다.

현재 스마트 양봉 시스템에 적용된 전자저울의 저울판 위에 양봉상(hive, 養蜂箱)을 고정시킬 경우 바람이나 미세한 조작에 의해서도 전, 후, 좌, 우로 지속적인 흔들림이 발생하는 것으로 확인되었다. 흔들림이 발생하는 이유는, 1점에 해당하는 저울판과 전자저울 내부 중앙의 로드셀이 연결 부위가 넓은 면적을 가지는 양봉상(hive, 養蜂箱)을 안정적으로 받칠 수 없는 구조로 되어있기 때문으로 분석되었다. 이를 해결하고자 상용저울을 구매하여 설치할

경우 비용문제가 발생하기 때문에 농가보급이 최종 목표인 본 과제에는 적합하지 않다고 판단하였다.

저울판의 흔들림은 양봉상(hive, 養蜂箱)이 흔들림을 의미하고, 양봉상(hive, 養蜂箱)이 흔들림으로 인해 안정적이어서 할 꿀벌의 생육환경에 좋지 않는 영향을 미치어 꿀벌에게 스트레스를 줄 수 있고 꿀벌의 공격성을 높여 작업자의 안전에도 위험을 초래할 수 있다.

이러한 이유로 흔들림을 방지할 수 있는 양봉사육상 무게 측정 장치를 개발하는 것은 흔들림에 관련된 생육환경을 평상시와 다름없이 유지시켜 줌과 동시에 양봉사육상 무게 변화를 측정할 수 있기 때문에 매우 중요한 의미를 갖는다.

○ 탈착식 양봉사육상 무게 측정방안 연구



그림 64 기존의 양봉사육상 설치 모습

현재 스마트 양봉 시스템에 적용된 전자저울의 경우 중앙에 위치한 1곳의 로드셀로 구성된 저울판위에 양봉상(hive, 養蜂箱)이 올라가는 구조이기 때문에 흔들림을 효과적으로 제어할 수가 없다. 이 문제를 해결하기 위해 무게 측정 장치를 양봉상(hive, 養蜂箱)의 하단부에 고정 (탈착식)하는 것을 제안하였고 하중 테스트를 통해 이를 검증하였다.

흔들림을 방지하는 주요 기전은 꿀벌양봉사육상의 하중을 3곳의 포인트로 지지하되, 2곳은 양봉사육상의 고정된 받침대가 지지하고 1곳은 load cell이 지지하며 무게를 sensing하는 원리이기 때문이다. 이 경우 하중이 3각형으로 배치되므로 안정적인 양봉사육상의 정립이 가능하며, 무게의 변동에 따른 load cell의 부하량은 적당한 factor을 대입해 주기만 하면 되기 때문에 양봉사육상 무게변동의 정확한 측정이 가능하다.

○ 하중 테스트

무게 측정장치가 양봉상(hive, 養蜂箱)의 하단부에 설치되어 있다고 가정했을 때, 아래 그

림과 같이 4개의 위치에 무게 측정장치가 설치될 수 있다. A위치는 양봉상(hive, 養蜂箱)의 소문(hive entrance, 巢文)을 기준으로 우측 하단을 의미하고, B위치는 소문(hive entrance, 巢文)을 기준으로 좌측 하단을 의미한다. C위치는 소문(hive entrance, 巢文) 위치로 전방을 의미하고, D위치는 소문(hive entrance, 巢文)을 기준으로 반대편인 후방을 의미한다.

여기에 하부 정중앙이 정확히 저울판 위에 있는 위치를 하부중앙이라고 하고, 여기서 측정되는 무게를 기준 값으로 삼는다. 그리고 각 A~D 위치에서 무게의 변화량을 측정하여 기준값과 비교하여 무게측정 장치가 위치할 최적의 위치를 실험하였다. 양봉상(hive, 養蜂箱)에 3.2kg을 갖는 무게추(벽돌)를 소문(hive entrance, 巢文)기준으로 우측(A위치)부터 하나씩 증가시켰을 때 하부중앙 위치를 포함한 모든 위치에서 무게의 변화량을 측정하였다. 우측(A위치)부터 무게추를 추가한 이유는 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부의 소비가 꿀벌에 생육권의 확대에 의해 채워지는 위치와 동일하게 하기 위함이다.

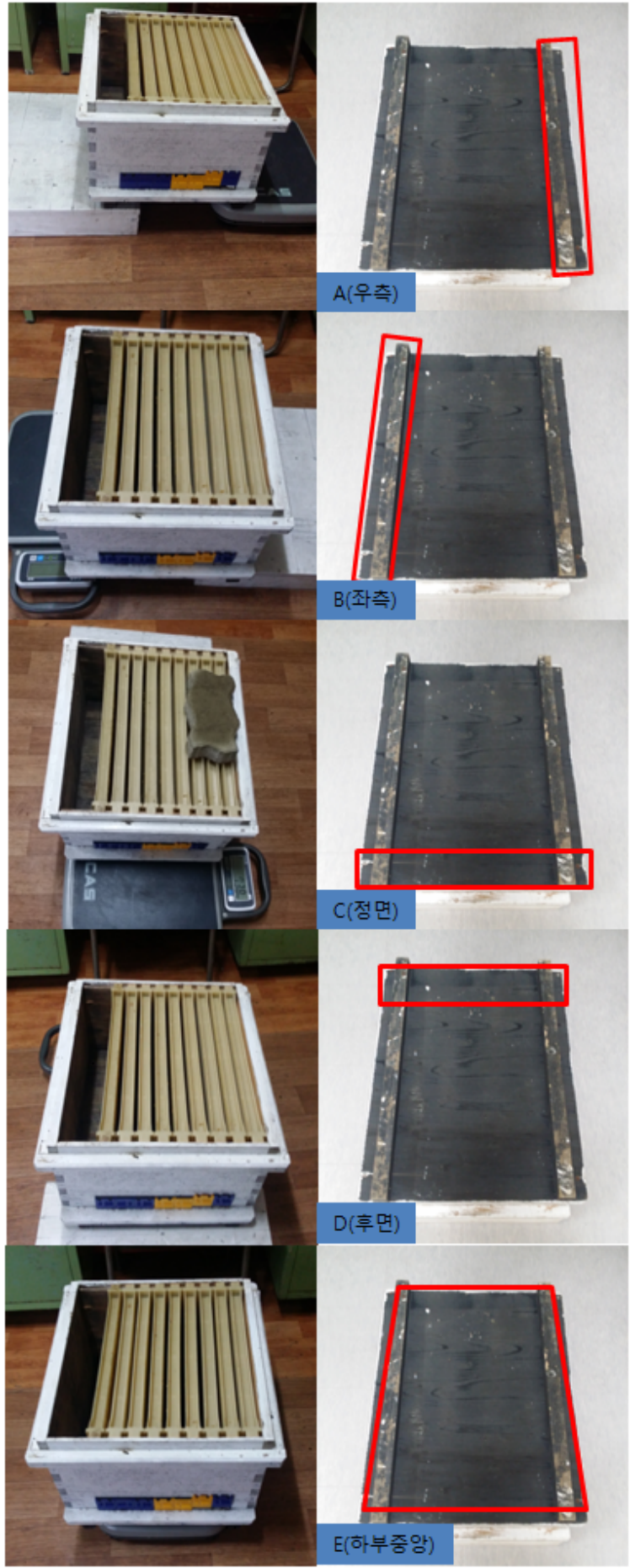


그림 65 하중 테스트 진행 중 무게 측정 장치의 위치

○ 테스트 결과 분석

다음 하단의 표는 양봉상(hive, 養蜂箱)의 무게가 14.76kg이고, 3.2kg의 무게추를 하나씩 증가시킬 때의 하부중앙을 포함한 각각의 측정 위치에서 측정된 무게를 의미하고, 다음 우측표는 각각의 위치에서 측정된 양봉상(hive, 養蜂箱) 무게를 제거했을 때 나타난 값으로 무게추의 변화량을 의미한다.

추가무게	무게측정 장치의 위치					추가무게	무게측정 장치의 위치				
	A	B	C	D	하부중앙		A	B	C	D	하부중앙
0	7.86	7.04	7.44	8.3	14.76	0	0	0	0	0	
3.2	11.08	6.98	8.84	10.28	18.04	3.22	-0.06	1.4	1.98	3.28	
6.4	13.68	7.56	10.3	12.44	21.18	5.82	0.52	2.86	4.14	6.42	
9.6	15.86	8.68	11.76	14.52	24.44	8	1.64	4.32	6.22	9.68	
12.8	17.36	10.5	13.32	16.44	27.8	9.5	3.46	5.88	8.14	13.04	
16	18.24	13	14.92	18.46	30.9	10.38	5.96	7.48	10.16	16.14	
양봉상무게						7.86	7.04	7.44	8.3	14.76	

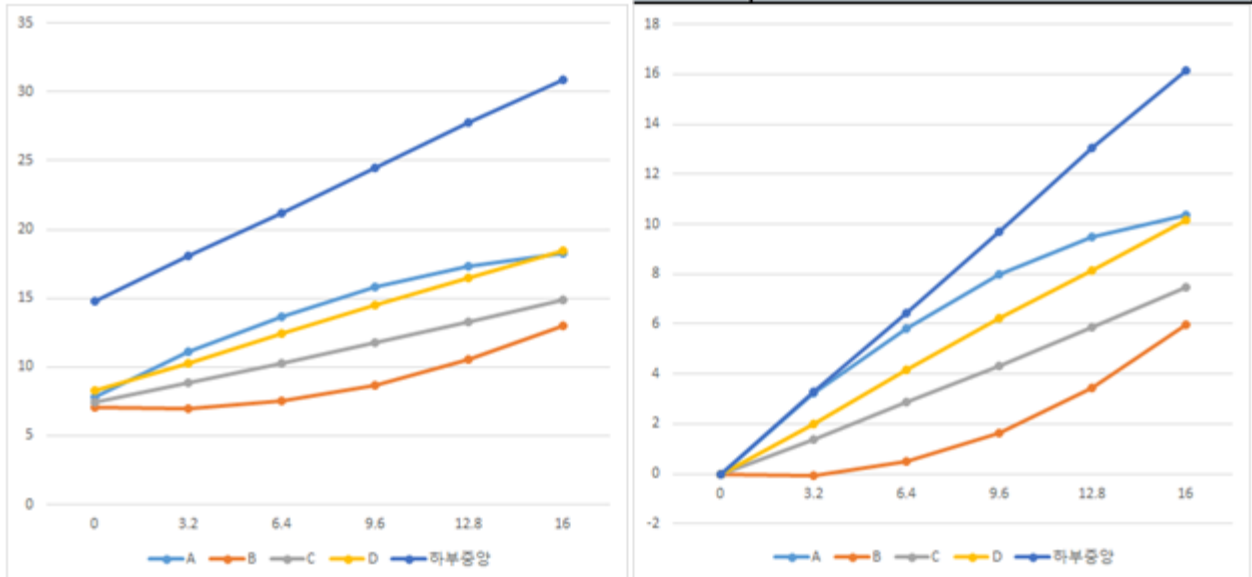


그림 66 하중테스트 결과

변화량 그래프인 좌측 그래프를 보면 A위치의 그래프는 무게추가 적을 때 기준무게와 동일하게 증가하다가 증가량이 점점 감소하고 있는 것이 보이고, B위치의 그래프는 이와 반대로 처음 무게량이 변화가 없다가 점점 기준무게와 동일한 값으로 증가하고 있음을 보인다. 이것은 실제 꿀벌이 소비에 꿀을 저장할 때와 봉세의 확장이 A위치부터 시작한다는 것을 고려했을 때 B위치보다는 A위치가 실제 무게 무게변화량에 가깝게 변화하고 있음을 의미한다. 그러나 A의 경우 생육권에서 멀리 있는 곳의 무게가 과소평가되며 B는 반대로 생육권에서 가까운 곳의 무게가 과소평가되는 문제가 존재한다. C와 D위치의 경우 무게 변화량이 실제 무게변화량과 비슷하게 일정하게 변하고 있음을 확인할 수 있으나, 실제 변화량의 1/2 크기에서 변화하고 있음이 보인다. 이 문제는 향후 SW와 HW 보정을 통해서 해결이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 결과를 보았을 때 무게측정 장치가 위치할 최적의 위치는 D위치임을 알 수 있다.

○ 무게측정 장치가 탈착이 가능한 형태로 부착된 양봉상(hive, 養蜂箱) 제안

상기 결과분석에 따라 기존 양봉상(hive, 養蜂箱)의 소문(hive entrance, 巢文) 기준 후면 하단부 위치(D위치)에 무게 측정장치를 설치하여, 해당 위치의 하단 받침대를 제거하고 동일한 크기의 무게 측정장치를 구성하여 설치하는 방법이 있다. 여기서 한 가지 고려해야 할 점은 대부분의 양봉농가에서는 소문(hive entrance, 巢文)쪽 위치를 낮게 잡고 소문(hive entrance, 巢文) 후방쪽 위치를 살짝 높게 잡아 경사를 만들어 비가 올 경우, 양봉상(hive, 養蜂箱) 내부로 들어온 물을 소문(hive entrance, 巢文)을 통해 자연적으로 배출되도록 양봉상(hive, 養蜂箱)을 설치하고 있다. 이를 고려한다면 새로운 무게 측정장치를 설치하였다 하더라도 소문(hive entrance, 巢文) 후방쪽 높이를 약간 높이는 작업이 추가되어야 한다. 따라서 우리는 소문(hive entrance, 巢文)을 기준으로 좌측 우측에 있는 하단 받침대의 위치를 소문(hive entrance, 巢文)과 소문(hive entrance, 巢文) 후방 쪽에 위치하도록 변경하고 소문(hive entrance, 巢文) 후방쪽의 하단 받침대를 대신하여 무게 측정장치가 위치하도록 한다면 자동적으로 소문(hive entrance, 巢文)쪽으로 내부의 물이 배출될 수 있는 경사 구조를 가진 새로운 양봉상(hive, 養蜂箱)을 제안하였다. 이는 다음 그림67에 나타나 있다.



그림 67 무게 측정 장치가 후방 하단 받침대를 대신하는 새로운 형태의 양봉상

○ 무게측정 장치에 적용된 로드셀 개요

무게 측정장치의 핵심 부품인 로드셀은 무게를 측정하기 위한 센서로, 로드셀에 무게 혹은 힘이 가해지면 내부의 스트레인 게이지가 변형하게 되고 변형율에 따라 저항값이 바뀌고 여기에 오차 보정을 하여 일반적으로 많이 사용하는 kg단위의 무게로 변환한다. 로드셀은 다음의 표와 그림처럼 3가지 상태를 가진다. 변형이 없는 상태는 무게가 0인 상태와 동일하고 늘어난 변형은 무게가 증가하고 있음을 의미하고, 줄어든 변형은 무게가 감소하고 있음을 의미한다.

일반적인 범위의 무게(수kg~수십kg)를 측정하기 위해서 많이 사용되는 로드셀은 다음의 처

항목	상태	분석내용
A	변형이 없는 상태	평상시의 변형이 없는 상태 저항값의 변화가 없음
B	늘어나는 변형	변형이 인장형으로 늘어나게 되는 상태 저항값이 점점 증가함
C	줄어드는 변형	변형이 압축형으로 줄어들게 되는 상태 저항값이 점점 감소하게 됨

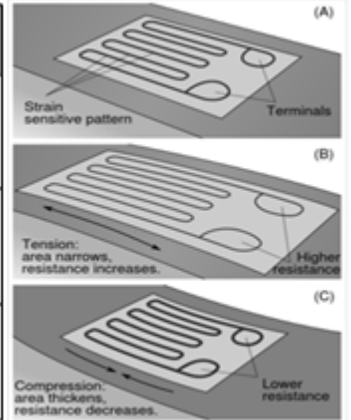


그림 68 스트레인 게이지의 작동 원리

럼 바 형태(Bar-Type)를 가지고, 하중이 스트레인 게이지에 변형을 잘 반영될 수 있도록 다음 의 변형 구조를 가지게 된다.

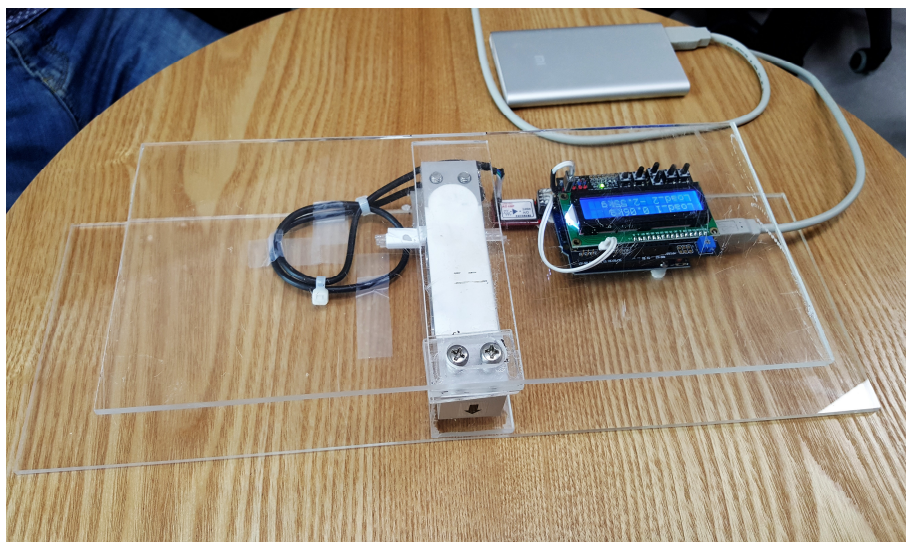
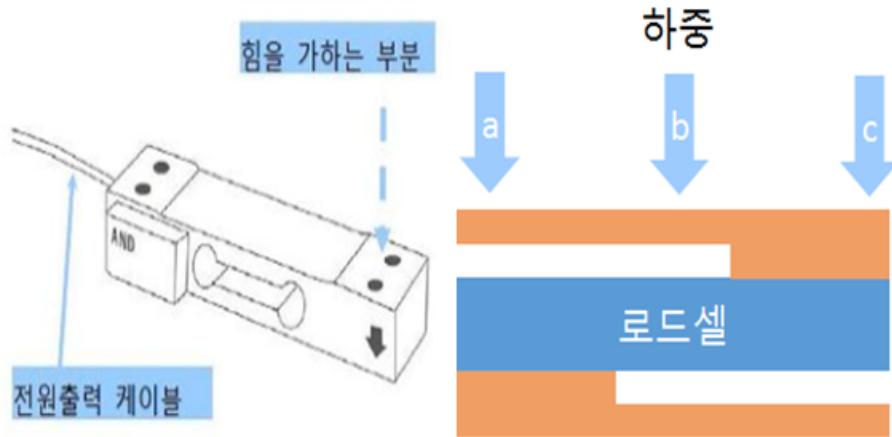


그림 69 로드셀 센서와 스트레인 게이지의 원리 및 구현

다. 양봉 생육환경 모니터링 및 제어시스템 설계

1) 스마트 양봉시스템 기능 요건 분석

(1) 주요 목표

- 소문개폐 기능 등이 포함되어 새롭게 개발되는 스마트 꿀벌사육상을 운용하기 위한 스마트 양봉시스템의 기능요건을 분석함
- 사육상으로부터 정보시스템으로 일방향의 정보 전달만 있는 기존 시스템과 달리, 새로운 스마트 꿀벌사육상은 정보시스템으로부터 사육상으로 제어명령을 전달하는 기능이 요구됨.
- 이를 위해 생육상태 진단 결과가 제어를 위한 기본 요건을 구성하고, 설정에 따라 능동적으로 제어 기능이 동작하는 등의 기능이 요구됨.

(2) 연구수행 내역

선행연구를 통해 u-IT 융·복합기술 기반 양봉 질병 감시 및 조기대응 시스템과 양봉상 내부 환경인자를 실시간으로 원격 인지하고 이에 따른 신속한 대응이 가능하도록 경보발송체계가 개발되었고 꿀벌의 생육단계별의 온, 습도변동패턴과 양봉상의 무게변화에 따른 질병징후예측 및 봉군 군세의 변화를 예측하는 기술로 무게, 온·습도에 따른 꿀벌 생육에 대한 일부 경향성을 분석하였으나 생육환경 경향성에 따른 능동적인 대처가 되지 못하여 최적 사육환경을 유지할 수 있는 아래와 같은 실시간 환경제어 시스템 구축이 필요함.

- 사육상 소문자동 개폐에 의한 실시간 환경제어
- 온, 습도 및 CO2 취기 조절
- 말벌 등의 해충침입시 소문 차단 등의 긴급조치
- 양봉상내 과도한 온도 상승시 개포 자동개폐에 의한 신속한 환기 조절

수준 높은 기술이 접목되는 첨단기술이 융합된 원격제어 스마트 시스템일지라도 실 수요자인 양봉농민에게 있어 쉽게 접근할 수 있는 방식으로 제공되기 위한 농민 친화적 그래픽인터페이스 제공이 필수이며, 일반사용자와 전문가(검역본부, 연구자 등)가 접근할 수 있는 인터페이스와 기능을 분리한 시스템이 필요함.

- 봉군의 세력, 온도, 습도, 소음, 일기, 배터리소모내역 등이 icons과 같은 알기 쉬운 심볼로 형상화한 직관적인 일반사용자 그래픽 인터페이스
- 그래프, 데이터 분석 툴 기능이 포함된 전문가 인터페이스 제공

① 주요 분석 항목

항목	명칭	분석내용
H/W (Firmware SW 등 포함)	HSP - Sensor Panel	온도, 습도, CO2, 소음 센싱 및 게이트웨이 전송
	HSC - SScale	무게 센싱 및 게이트웨이 전송
	HAC - ACtuator	소문 제어, 덮개 제어
	HGW - GateWay	Hive 로부터 전송 데이터 수신 및 데이터 수집 서버로 전송
	HRC - ReCeiver (PC Interface)	Gateway 로부터 전송된 데이터를 센터에서 수집
S/W	S4R - SW for Researcher	연구자를 위한 데이터 분석 서비스
	S4Q - SW for Quarantine	검역분부를 위한 모니터링 서비스
	S4B - SW for Beekeeper	포털 및 개별 농가 서비스

표 12 주요 분석항목

④ 전체 시스템 구성도

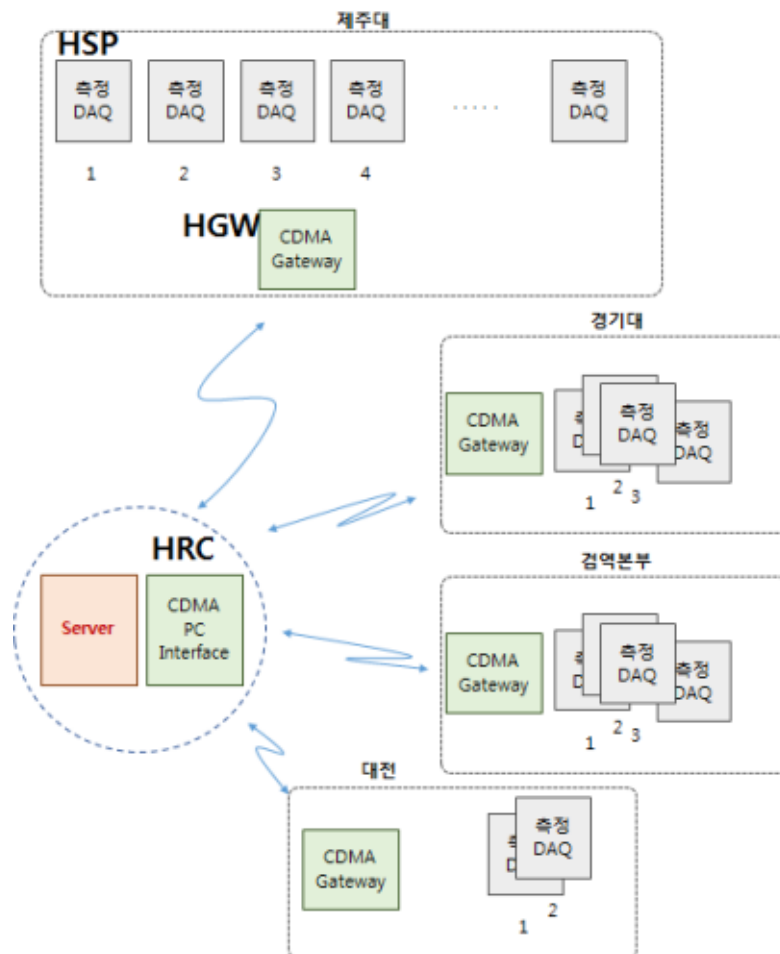


그림 70 전체 시스템 구성 개념도

2) 스마트 양봉시스템 설계

(1) 주요 목표

- 스마트 꿀벌사육상 내부의 각종 환경을 실시간으로 조회할 수 있는 H/W 및 S/W 시스템 설계를 수행함
- 사육상으로부터 다양한 형태의 정보를 안정적으로 전송할 수 있는 센서 패널 설계를 수행함
- 센서 패널로부터 전송된 데이터를 수집하기 위한 소프트웨어를 설계함.
- 센서 패널과 데이터 수집 시스템간의 프로토콜을 설계함.

(2) 연구수행 내역

스마트 양봉시스템 설계는 이용자 화면설계, 데이터베이스 설계, 스마트 꿀벌사육상 인터페이스 메시지 정의로 구성된다. 이용자 화면설계는 각종 기능에 접근하기 위한 화면 레이아웃 및 화면 간 네비게이션 구조를 설계한다. 데이터베이스 설계는 이용자 정보, 권한정보, 사육상정보 등 각종 관리정보와 수집데이터, 가공데이터, 분석데이터 등을 저장하기 위한 데이터 구조를 설계한다. 스마트 꿀벌사육상 인터페이스 메시지 정의는 사육상과 시스템간에 정보를 요청하고 응답하는데 사용될 메시지를 정의한다.

① 화면설계

- 화면에 처음 출력되는 화면으로 특정 지점의 꿀벌 사육상들에 대한 전반적인 정보를 기상정보와 함께 출력함



그림 71 Dashboard 화면설계 내역

- 양봉장 선택 옵션 (현재 양봉장은 제주대 1개, 경기대 2개, 화북양봉장 1개로 설정되어 있음)
- 선택한 양봉장의 벌통 이름과 센서 ID를 출력함
- 해당 센서의 당일 센싱 데이터를 출력함 - 해당항목 선택 시 상세 데이터 조회 팝업으로 이동

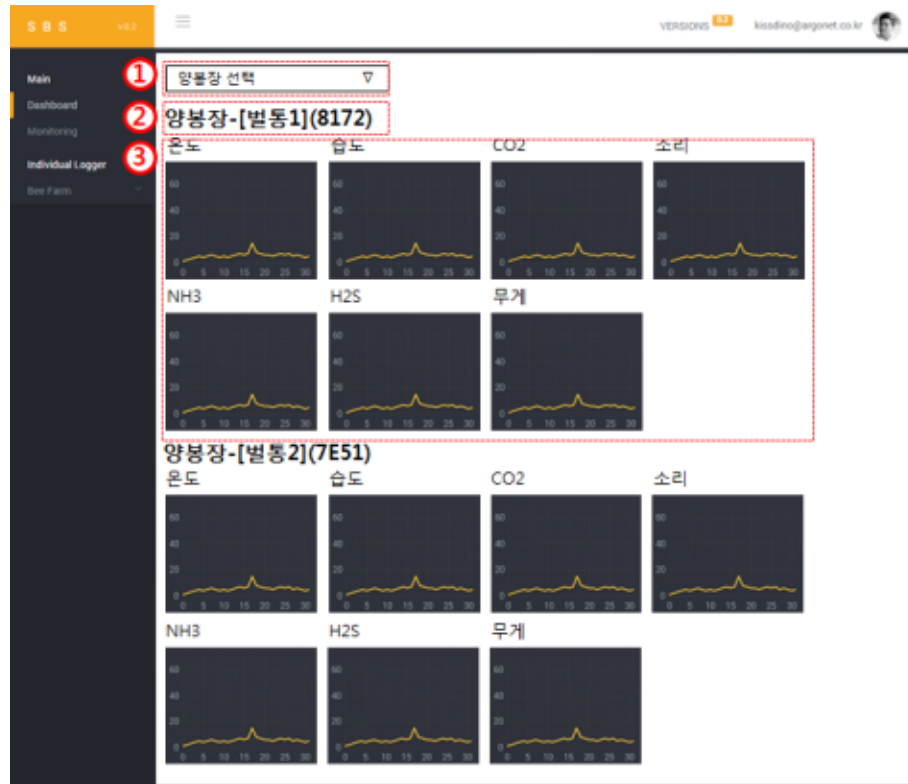


그림 72 센서 데이터 출력

- 최초 출력은 전체 기간의 데이터를 출력하며 시간을 조절할 수 있도록 하여 범위별 그래프를 제공함.
- 해당 범위에 상세 데이터 수치의 목록을 출력함.
- 다운로드 기능을 제공함. (엑셀이나 CSV 등)

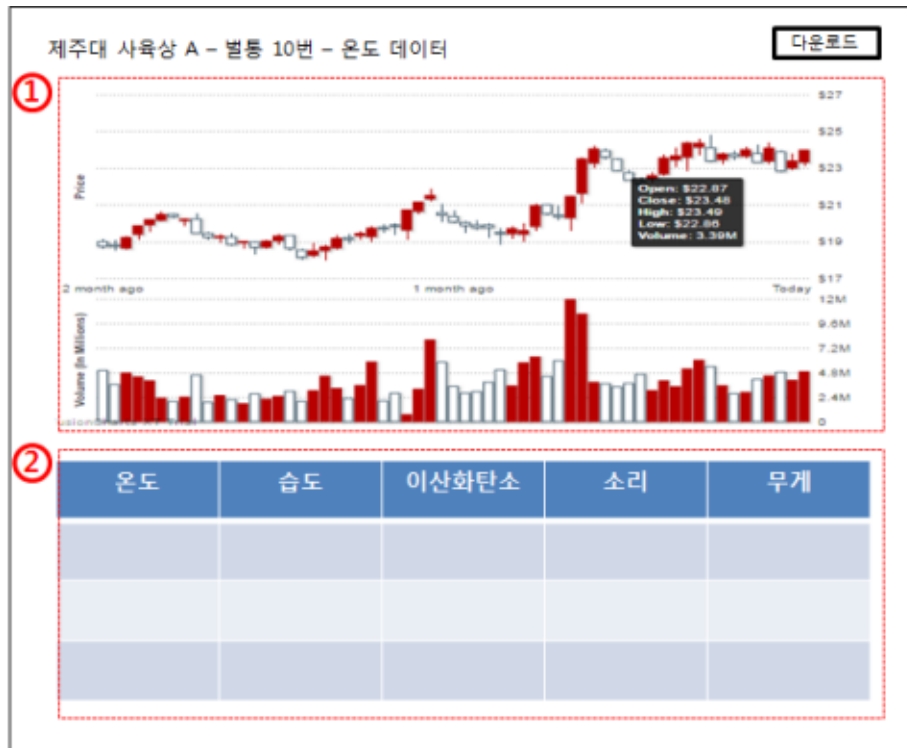


그림 73 센서데이터 상세정보 출력

- 별통 선택 후 기간을 입력하고 확인버튼을 누르면 아래 그래프들은 해당 기간의 데이터로 변경됨
- 센서 별 보기의 경우 현재와 동일하게 전체 센서 항목의 데이터를 시 계열에 따라서 출력함



그림 74 센서별 보기 항목 출력

- 별통 선택 후 기간을 입력하고 확인버튼을 누르면 아래 그래프들은 해당 기간의 데이터로 변경됨
- 각 센서 별 0의 기준점을 맞추어 전체 센서 데이터의 변화 추이를 출력함 (시간을 조절할 수 있도록 하고 각 시간의 포커스에 따라 상세정보가 출력되도록 함)



그림 75 데이터별 상세정보 출력



그림 76 센서별 상세정보 출력

② 데이터베이스 설계

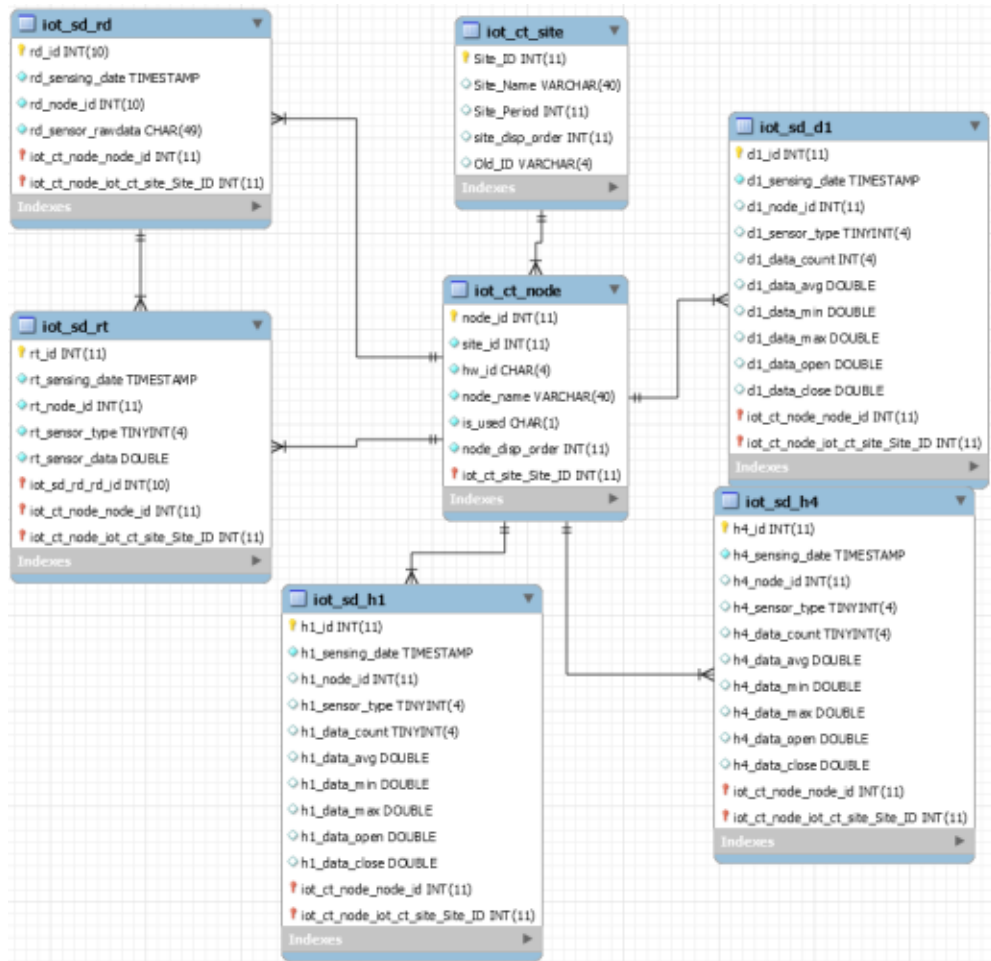


그림 77 주요 테이블의 ERD

③ 스마트 꿀벌사육상 인터페이스 메시지 정의

- 전체 메시지 구조

51Bytes

+000195(ZigBee ID(10),DipSwitch ID(1),습도(2),온도(3),소음(3),CO2(5),무게(3),Dummy(5),CRC(1), 개행문자(0D0A)

- 개별 메시지 형식

ZigBee ID : ZigBee 모듈에 붙어있는 고유 LONG ID(굵은글씨)

DipSwitch ID : 자사에서 보드를 구분하기 위해 부여하는 ID

습도 : 별도의 계산 불필요

온도 : $(x - 400) / 10$

소음 : $x / 100$

CO2 : $x * 10$
 무게 : $x / 100$
 CRC : STX~Dummy까지의 Hex값을 모두 더한 값의 최하위 1비트만 취한뒤 + 0x30
 - 0x30~0x3F의 값을 가짐

④ AVR 기반 센서 제어기

양봉현장에 요구사항을 반영한 센서 제어기 및 신호전송장치의 개발을 위해서 본 연구에서는 ATMEL사의 8bit MCU기반의 ATMEGA128을 메인으로 이용한 제어기를 개발하였다. 개발된 제어기에서는 벌통 내부의 온도, 습도, CO2 농도, 소음크기를 실시간으로 측정하고 외부에는 무게측정을 위한 저울을 구성하였다. 또한 소문 개폐와 관련해서는 Linear motor 를 장착하여 구현하였다. 또한 Gateway 장치와의 통신을 위해서는 Zigbee 통신방식을 이용한 무선 Data전송을 구현하였음.

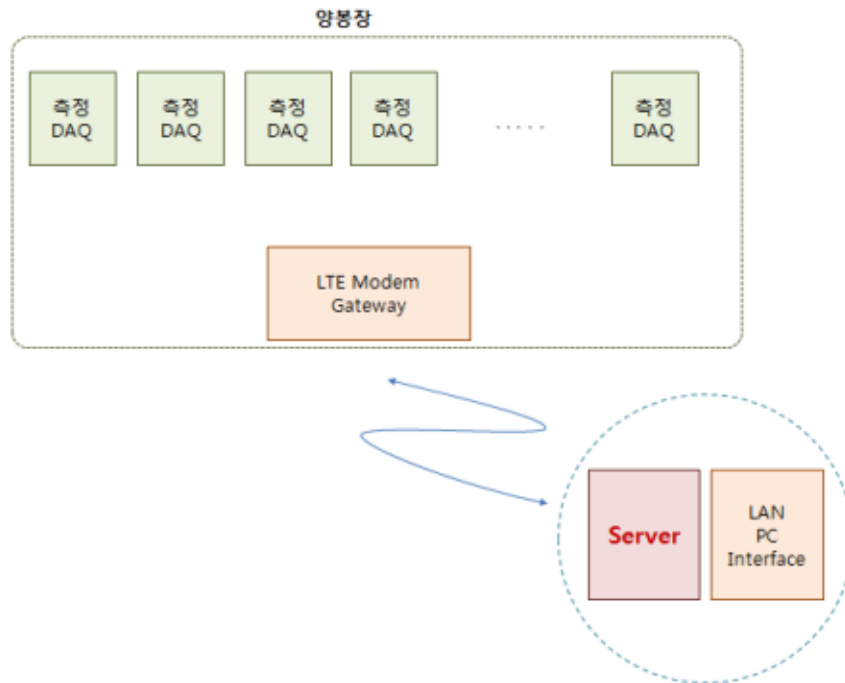


그림 78. 전체 시스템 Block

⑤ 측정 DAQ 장치 설계

센서 제어기를 통해서 측정되는 항목은 다음과 같다.

항목		측정범위	측정오차	비고
온도	In	-20 ~ 50°C	± 0.3°C	
	Out	-20 ~ 50°C	± 0.3°C	
습도		10~90% Rh	± 3 %	
CO2		0~50,000ppm(5%)	±100 ppm	반응속도2min 사용범위0~50°C
소음		0~3000 mV	±10 mV	mV
무게		0~50kg	±100g	

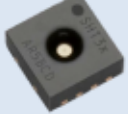
그림 79 각 센서의 스펙

○ 온도, 습도 측정

본 시스템에서 사용한 온도, 습도 측정을 위해 SHT-30-ARP-B를 이용하였으며, 센서에서 출력되는 Analog 값을 ATMEGA128의 ADC에서 입력으로 받아 신호처리를 통하여 온도와 습도로 환산하여 표시하였다.

SHT-30-ARP-B

Temperature & Humidity Sensor
Analog output module (DFN-8)



Features

- Fully calibrated, Linearized Temp compensated sensor
- Wide input : 2.4~5.5V
- Low power consumption (217µA,2Hz)
- Analog voltage output
- Small foot print 2.5 x 2.5 x 0.9mm(8pins)

Application

- HVAC
- Automotive
- Humidifiers
- Medical
- Automation
- Measurement
- Weather station
- Data Logger
- White Goods
- Consumer Goods

Humi Specifications

Range	0~100%RH
Accuracy (@ 25°C)	±3.0%RH(10 to 90%RH)
	±4.5%RH(Other Range)
Hysteresis	±0.8%RH @ 25°C
Resolution	14bit
Response time	time < 8s (τ63)

Temp Specifications

Range	-40~125°C
Accuracy	±0.3°C (10 to 55°C)
	±1.3°C (Other Range)
Resolution	14bit
Response time	>2s (τ63)

그림 80 온도, 습도 측정을 위한 센서 스펙

○ CO2 측정

CO2 측정을 위해서는 전용 최대 5%까지 측정이 가능한 COZIR 제품을 사용하였으며, 이 제품은 UART출력으로 Data값이 출력되어 ATMEGA128에서 UART 통신을 이용하여 해당 Data값을 취득하였다.

Ultra Low Power Carbon Dioxide Sensor

COZIR is an ultra low power (3.5mW²), high performance CO₂ sensor, ideally suited for battery operation and portable instruments. Based on patented IR LED and Detector technology and innovative optical designs, COZIR is the lowest power NDIR sensor available. Optional temperature and humidity sensing are available. COZIR is a third generation product from Gas Sensing Solutions Ltd – leaders in IR LED CO₂ sensing.

With measurement ranges of 0-5%, 0-20%, 0-60% and 0-100%, COZIR **Wide Range** sensors are suited for process control applications such as diving, industrial safety and automotive.

- Ultra-low Power 3.5mW
- Measurement ranges from 0 to 100%
- 3.3V supply.
- Peak current only 33mA.
- Optional Temperature and Humidity Output



COZIR™ Wide Range Sensor

Specifications

General Performance	
Warm-up Time	< 10s
Operating Conditions	0°C to 50°C (Standard) -25°C to 55°C (Extended range) 0 to 95% RH, non-condensing
Recommended Storage	-30°C to +70°C
CO2 Measurement	
Sensing Method	Non-dispersive infrared (NDIR) absorption Patented Gold-plated optics Patented Solid-state source and detector
Sample Method	Diffusion
Measurement Range	0-5%, 0-20%, 0-60%, 0-100%
Accuracy	±70 ppm +/- 5% of reading ¹
Non Linearity	< 1% of FS
Pressure Dependence	0.12% of reading per mm Hg in normal atmospheric conditions.
Operating Pressure Range	950 mbar to 10 bar ²
Response Time	4 secs to 2 mins (user Configurable) ³ Reading refreshed twice per second. ³

그림 81 CO2 측정을 위한 센서 스펙

○ 소음 측정

별통내부의 소음을 측정하기 위해서 본 시스템에서는 Condenser Microphone를 사용하였으며, Microphone에서 출력되는 신호를 증폭하여 ATMEGA128의 ADC로 입력으로 받아서 소음의 크기를 표시하도록 하였다.

Specifications

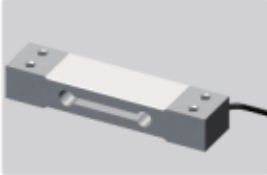
Sensitivity	See Model No. Table
Impedance	Max. 2.2 KΩ
Standard power supply	4.5 V DC
Current consumption	Max. 0.8 mA
Sensitivity reduction	Within -3dB at 3.0V
S/N ratio	More than 60dB
Directivity	Omnidirectional

Sensitivity (0dB=1V/Pa at 1KHz)	Model No. Table	
	Lead Wire Type	Pin Type
-46 ± 2dB	CMT-766	CMP-766
-44 ± 2dB	CMT-764	CMP-764
-42 ± 2dB	CMT-762	CMP-762
-40 ± 2dB	CMT-760	CMP-760
-38 ± 2dB	CMT-758	CMP-758
-36 ± 2dB	CMT-756	CMP-756

그림 82 소음측정용 Microphone의 스펙

○ 무게 측정

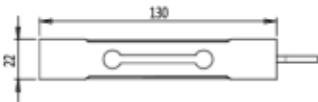
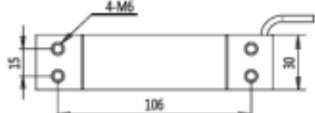
벌통을 무게 측정을 위해서는 Load cell과 전용 AMP를 이용하여 출력되는 Analog 신호를 ATMEGA128의 ADC로 입력받아 무게 환산을 하여 표시하였다.



LCS-D1 Load cell

- Good corrosion resistance and long-term stability
- Compact and beautiful structure, easy to install
- Applied to related electronic scale such as small-sized electronic platform scale, portable scale, etc.
- Optional measurement range: 3-50kg

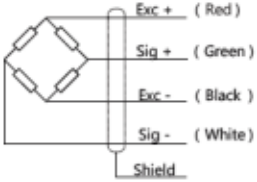
Dimension (mm)

Specification

Description	
Material	Aluminum Alloy
Rated Load(kg)	3/5/10/15/20/30/50
Performance Indicator	
Overall Precision	0.02 (linearity+hysteresis+repeatability)
Sensitivity	2.0±10%/m/V
Excitation Voltage	5-12V DC
Creep (30 min)	±0.02%/F.S/30min
Zero Balance	±2%/F.S
Input Resistance	410±10Ω
Output Resistance	350±3Ω
Insulation Resistance	≥2000MΩ
Working Environment	
Safety Overload	150%/F.S
Ultimate Overload	200%/F.S
Operation Temp Range	-20 to +65°C
Output Drift	±0.02%/F.S/10°C
Protection Class	IP65
Platform Size	<250x300mm

Wiring



Installation Diagram

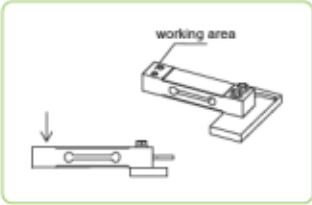
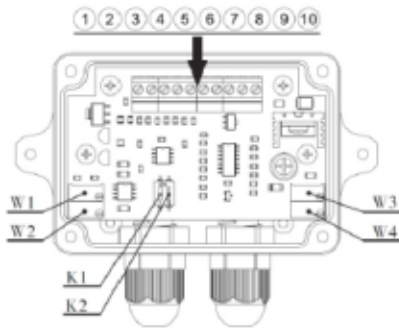


그림 83 중량 측정용 load cell

RW-ST01A Load Cell Amplifier



Wiring Terminal

- ① load cell Exc+
- ② load cell Sig+
- ③ load cell Sig-
- ④ load cell Exc-
- ⑤ load cell shield
- ⑥ power supply 24Vdc+
- ⑦ current output +
- ⑧ voltage output +
- ⑨ power supply & common
- ⑩ shield

- W1: voltage zero adjustment
- W2: voltage full-scale adjustment
- W3: current zero adjustment
- W4: current full-scale adjustment
- K1: voltage output option (0-5V or 0-10V)
- K2: zero adjustment range option (coarse or fine tuning)

Technical Data

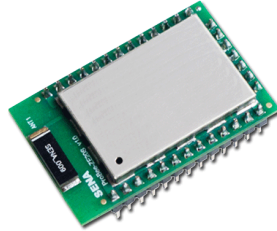
Power Supply	24Vdc (18-27Vdc)
Max Power	4W (when parallel connection load cell 4 pcs of 350Ω and output 20mA)
Wiring Mode	screw-type wiring terminal
Net Weight	100g
Dimension	115x58x33(mm) (LxWxH)
Working Temperature Range	-10°C to 50°C
Storage Temperature Range	-20°C to 80°C
Humidity	85%RH, no condensation
Load Cell Sensitivity Range	2.0mV/V ± 10%
Voltage Zero Adjustment Range	precision: 10%F.S., extension: 40%F.S.
Voltage Full-scale Adjustment Range	10%F.S.
Current Zero Adjustment Range	10%F.S.
Current Full-scale Adjustment Range	10%F.S.
Precision	better than 0.3% F.S.
Temperature Drift	better than 100ppm
Load Cell Excitation Voltage	5Vdc ± 5% (for load cell with excitation voltage 5-12V)
Load Cell Excitation Current	<60mA
Signal Output	0-5V or 0-10V and 4-20mA
Voltage Output Resistance	>5kΩ
Current Output Resistance	<500Ω

그림 84 무게 측정에 사용한 Load Cell과 AMP의 스펙

○ 무선통신을 위한 Zigbee Module

Gateway와의 무선통신을 위해 본 시스템에서는 Zigbee 방식을 적용하였으며, 사용한 Zigbee Module은 chipson사의 ProBee-ZE20SDC 모델을 사용하였다. 내장 안테나가 적용된 모델로 30m 내외로 무선통신이 가능한 제품이다.

Probee-ZE20S



Integrated 2.4Ghz, IEEE 802.15.4-2003 compliant transceiver
ZigBee Pro Certified
ZigBee Core: Ember EM357
출력세기: +8dBm (Boost mode)
수신감도: -102dBm @1% BER (Boost mode)
TX Current: 45mA@3.3V (max.)
RX Current: 31mA @3.3V (max.)
Sleep Current: Sleep Current: $\leq 2\mu\text{A}$
통신거리: 1.0 km (0.62 miles) @ 3.3V, +5dBi Dipole Antenna
안테나, 커넥터 옵션종류: 다이폴 1/3/5dBi, U.FL, RPSMA, Chip 안테나
UART Signals Support: UART_TXD/RXD, RTS/CTS, DTR/DSR
6 Analog Inputs
17 Digital Inputs/Outputs
RoHS Compliant

그림 85 무선통신을 위한 Zigbee Module의 스펙

3) 빅데이터 처리 최적 시스템 아키텍처 설계

(1) 주요 목표

- 대용량 데이터를 저장할 수 있는 저장소와 저장된 데이터를 활용할 수 있는 서비스 저장소를 구분하여 설계함.
- 실시간 전송 데이터에 대한 저장 구조를 설계함
- 센서 데이터를 활용하기 위한 시계열단위 구분 데이터구조를 설계함

(2) 연구수행 내역

① 데이터 구조 설계

Sensor data record amount estimate

For an Hive : 1 sensing data/ 5 minutes, 5 sensor/ 1 Hive 가정

	1 sensor records (about)	5 sensor records (about)	
/hour	12	60	
/day	300	1,500	* 24 hours
/month	9,000	45,000	* 30 days
/year	110,000	550,000	* 12 months
/5years	550,000	2,750,000	* 5 years

표 15 수집되는 raw data 량 예측

For 20 hives, 10 sites 라면 약 5억건의 raw data 발생을 예상하여 설계를 진행함

Summary table 구성을 위한 record amount estimate

time span 을 최대 5년에서 최소 1일로 줄여간다고 할 때 적절한 데이터 량 산정

(5분당 1 data, 하나의 센서를 기준으로)

	raw data	hourly	4 hourly	daily
1 day	300	24	6	1
1 week	2,100	170	42	7
1 month	9,000	720	180	30
1 year	110,000	8,600	2,190	365
5 years	550,000	43,000	10,800	1,800

표 16 수집되는 raw data 량 예측

동적으로 데이터 질의해 오기 - 웹에서 비동기 방식으로 데이터 Request 하여 보여주는 기능을 구현함

view data < 2 weeks ⇒ use raw data ⇒ max 4,200 data min

view data < 6 months ⇒ use hourly data ⇒ max 4,300 min 340 data

view data < 2 years ⇒ use 4 hourly data ⇒ max 4,400 min 1,000 data

view data > 2 years ⇒ use daily data ⇒ max ?? min 720 data

Default : 1 month / 1 year

time span 에 따른 쿼리 대상 데이터는 실 적용하며 적절하게 변경하도록 함

㉔ 데이터베이스 설계/ 데이터 마이그레이션

최대 raw data 5억건에 대하여, 적절한 index를 구성하면, 필요한 쿼리 성능은 나온다고 판단하여 하나의 테이블에 모든 Hive 데이터 저장: IOT_SD_RT

최대한 data size 를 줄일 수 있도록 unsigned integer - 4bytes - 40억 이상, unsigned tinyint - 1byte - 256, timestamp=5bytes 사용.

시간별, 일별 summary table 구성 : IOT_SD_H1, IOT_SD_H4 , IOT_SD_D1 등

(3) 스마트 양봉 시스템 프로토타입 구축

① 주요 목표

- 하드웨어 설계를 기반으로 꿀벌사육상 내부에 설치되는 센서패널 및 데이터 전송장치의 프로토타입을 구축함
- 센서 패널 데이터를 수신받아 빅데이터 처리용 데이터구조에 저장하는 시스템을 구축함
- 저장된 센서 패널 데이터를 조회할 수 있는 프로토타입 시스템을 구축함

② 연구수행 내역

- ㉔ 센서제어기 시제품 제작
- 센서 제어기 보드 회로도 설계

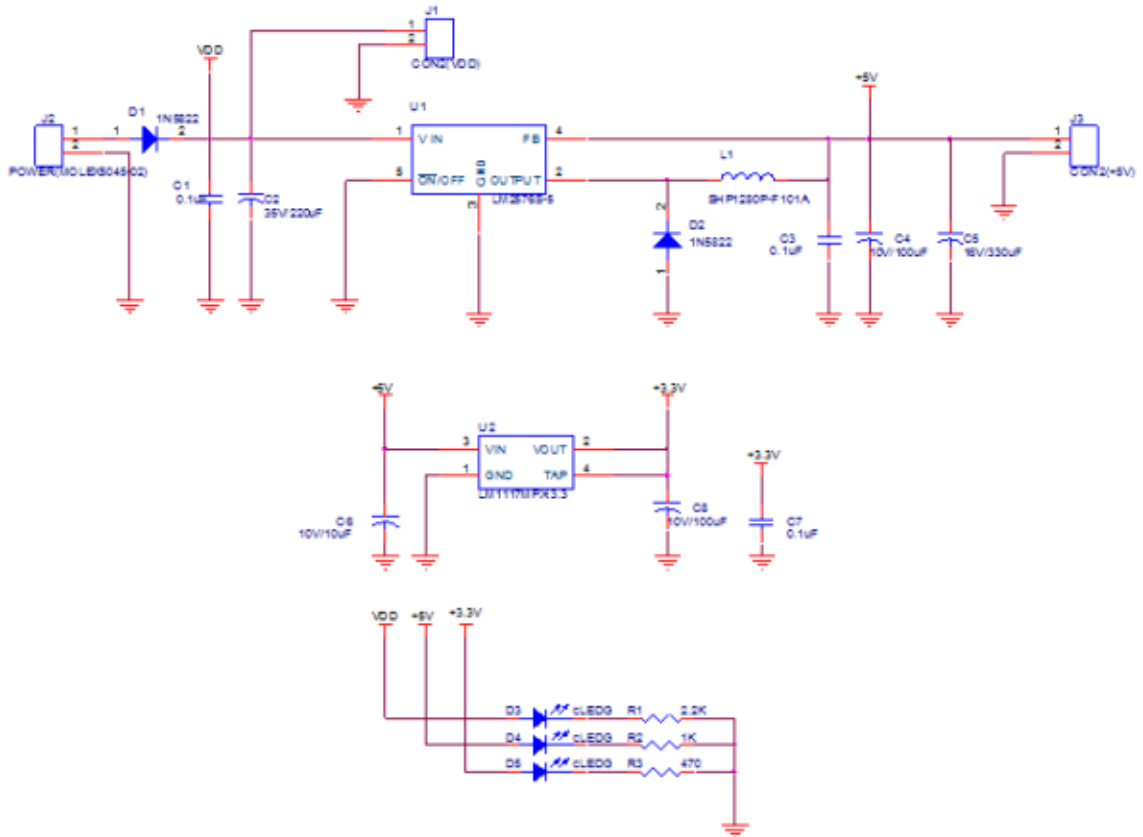


그림 86 회로도 설계 I

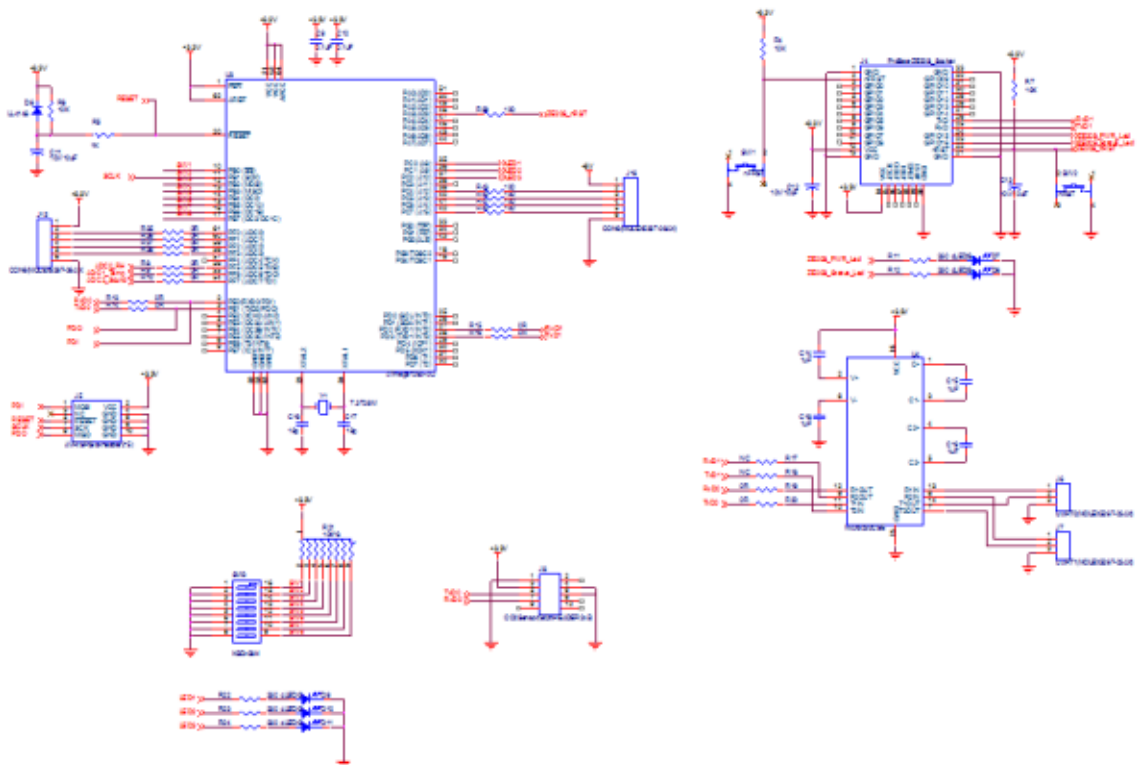


그림 87 회로도 설계 II

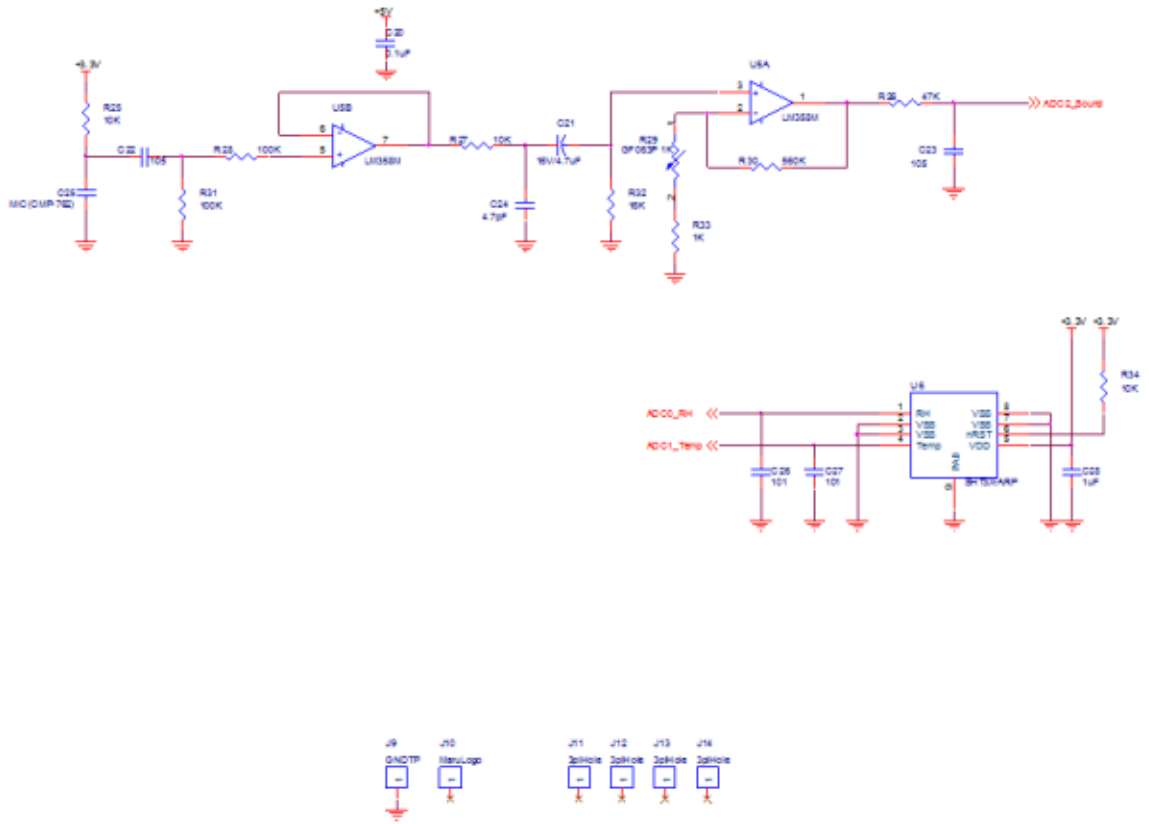


그림 88 회로도 설계 III

○ 센서 제어기 보드 설계 및 제작

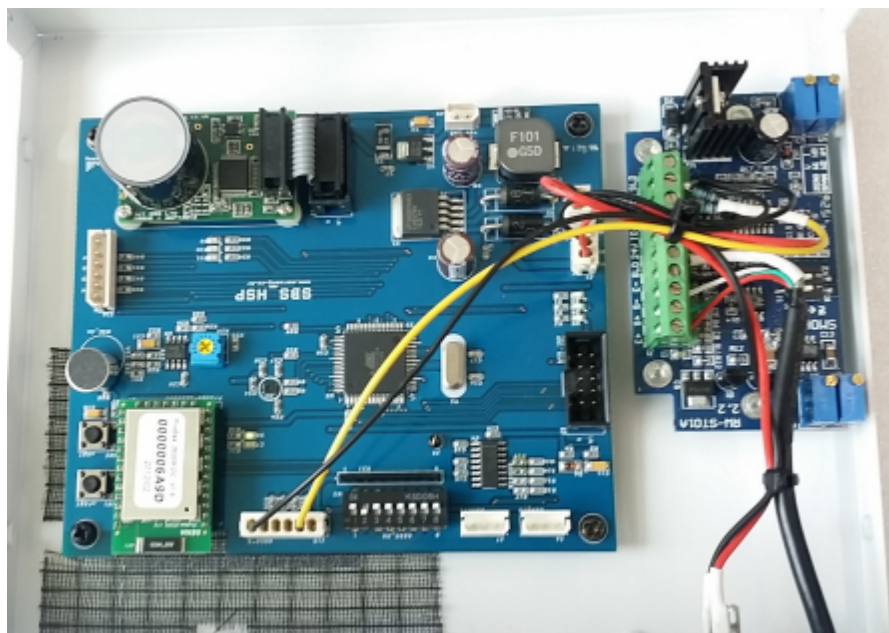
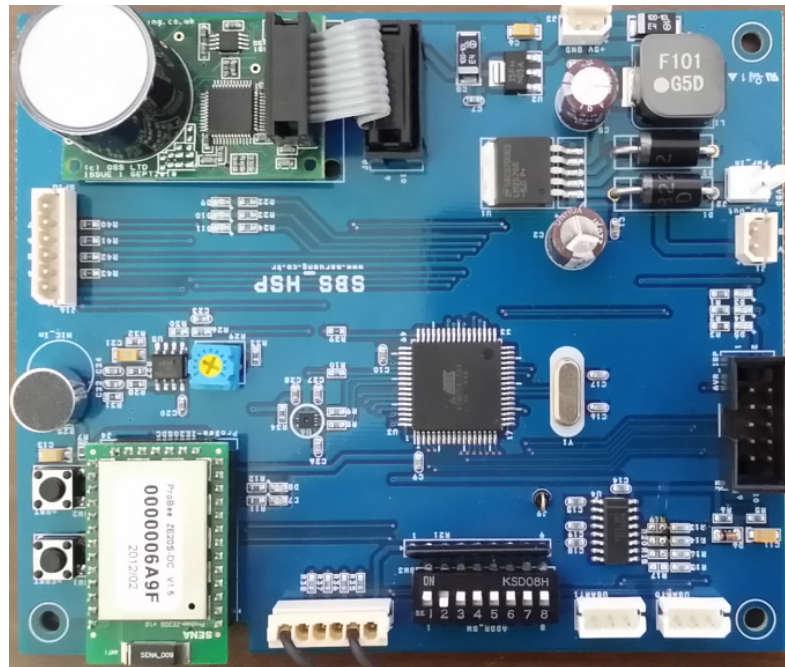


그림 89 제작된 센서 제어기 보드

○ 소비용 케이스 및 저울 제작 및 시험 Test

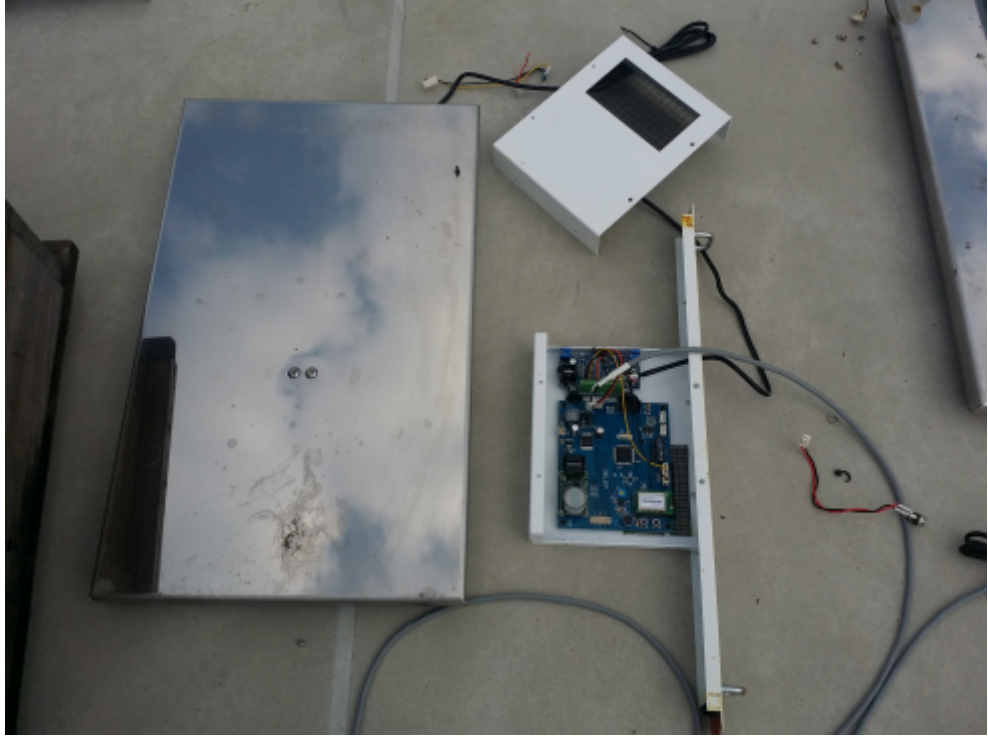


그림 90 소비용 케이스 및 저울 제작 및 설치

○ Gateway용 장비 및 시험 Test

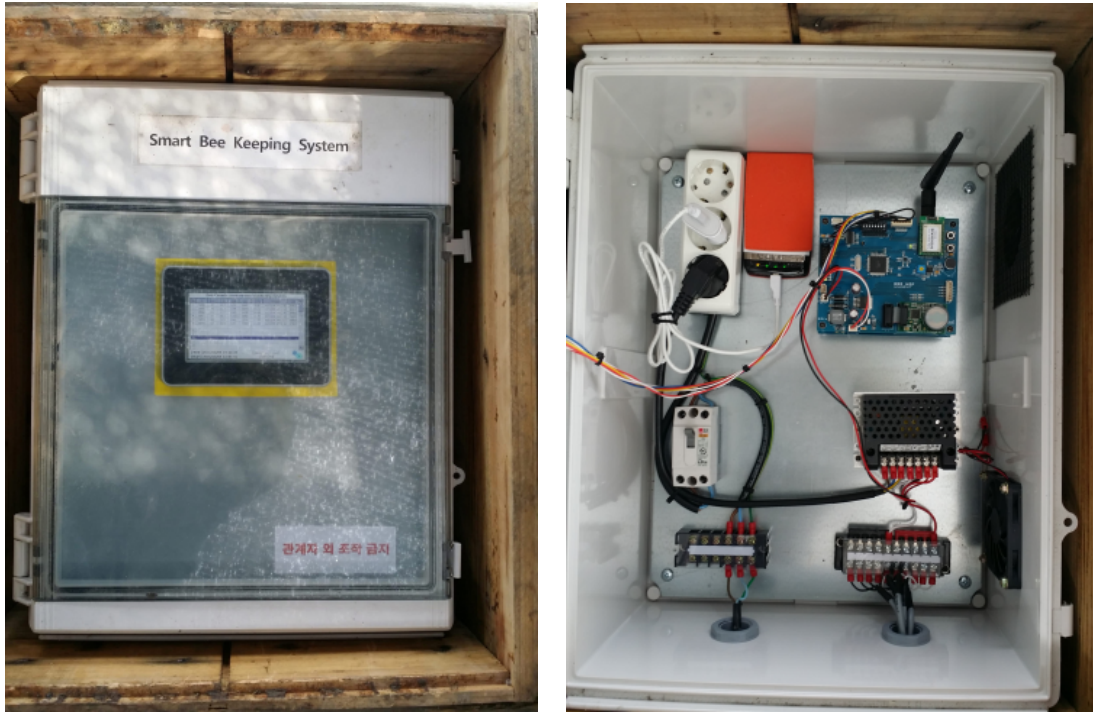


그림 91 Gateway용 장비

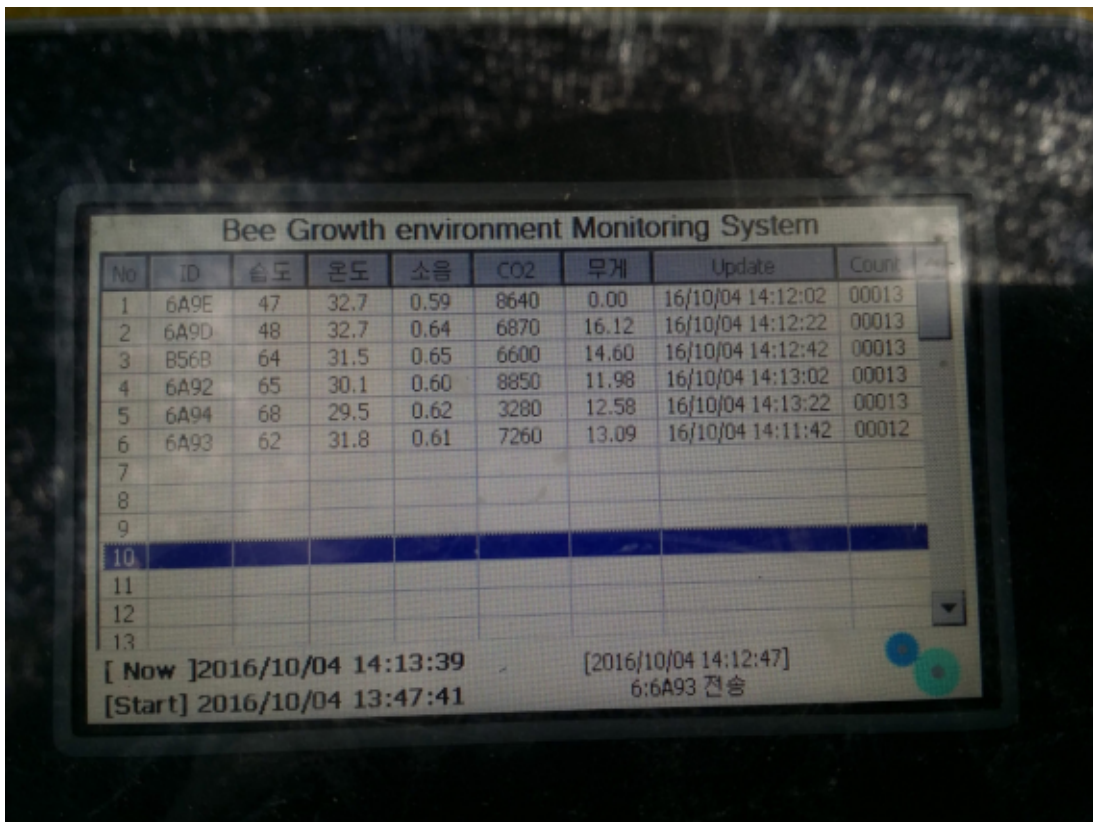


그림 92 Gateway용 장비 수집 데이터 송수신 상태 확인 디스플레이

○ 김천검역본부 현장 설치 장면



그림 93 검역본부 현장(옥상)에 위치한 시험봉군

② 센서데이터 수신 시스템 개발

위 센서 패널에서 수집된 데이터를 IOT 기반 스마트 꿀벌사육상 서버로 전송하면 아래 모듈을 통해 각각의 노드에서 전송하는 데이터를 수집하게 된다. 각 사육상별 고유 ID를 지니고 있어 해당 ID를 통해 전송되는 데이터를 수신하고 해당 데이터를 분석하여 온도, 습도, CO2, 소음, 무게 형태로 구분한 뒤 해당 데이터를 데이터베이스에 저장한다.

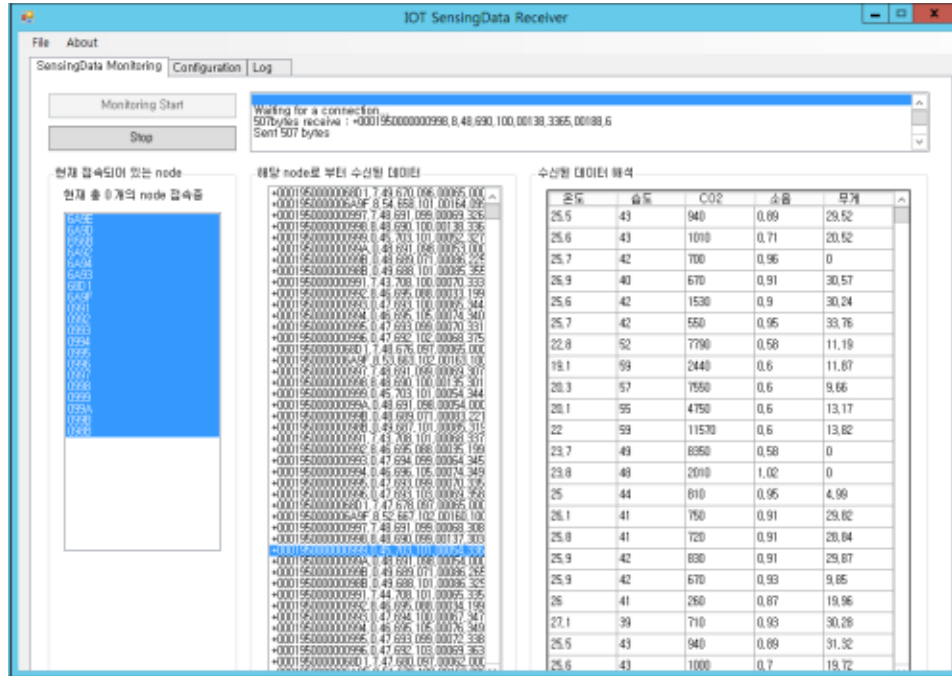


그림 94 센서 데이터 수신 시스템

③ 데이터 변환 시스템 개발

센서 데이터 수신 시스템에 의해 수집된 각 꿀벌사육상의 센서 데이터들은 기본적으로는 일반 시스템에서 사용할 수 없기에 해당 데이터를 가공하여 내부 시스템에서 사용할 수 있는 형태로 변환한다. 수집된 데이터를 RawData라고 하고 해당 RawData를 기준으로 일별, 4시간별, 1시간별 데이터로 변환하며 이때 각 시간별 데이터의 최대, 최소, 평균, 시작, 종료값을 구하여 저장한다.

날짜	RawData	01 변환 수	04 변환 수	05 변환 수
2016-10-19	28760	100	600	2400
2016-10-18	28725	100	600	2400
2016-10-17	28595	100	600	2400
2016-10-16	28710	100	600	2400
2016-10-15	28715	100	600	2400
2016-10-14	28690	100	600	2400
2016-10-13	28690	100	600	2400
2016-10-12	28785	100	600	2400
2016-10-11	28680	100	600	2400
2016-10-10	28775	100	600	2400
2016-10-09	28750	100	600	2400
2016-10-08	28685	100	600	2400
2016-10-07	28580	100	600	2400
2016-10-06	28715	100	600	2400
2016-10-05	28750	100	600	2400
2016-10-04	28045	100	500	1940
2016-10-03	20125	70	420	1680
2016-10-02	20145	70	420	1680
2016-10-01	20155	70	420	1680
2016-09-30	11980	70	380	200

그림 95 센서데이터 변환 시스템

④ 기상데이터 수집 시스템 개발

IOT기반 꿀벌사육상에서 수집된 온도, 습도 등의 데이터와 실제 일반 환경의 온도, 습도 데이터를 비교하기 위해 기상청으로부터 예보데이터와 관측데이터를 수집하고 이렇게 수집된 기상데이터를 정제하여 웹 시스템에 출력한다.

일시	상태
2016-09-17-00-51-14	정상
2016-09-17-03-51-22	정상
2016-09-17-06-51-34	정상
2016-09-17-09-51-33	정상
2016-09-17-12-51-28	정상
2016-09-17-15-51-23	정상
2016-09-17-18-51-12	정상
2016-09-17-21-51-19	정상
2016-09-18-00-51-14	정상
2016-09-18-03-51-15	정상
2016-09-18-06-51-17	정상
2016-09-18-09-51-25	정상
2016-09-18-12-51-18	정상
2016-09-18-15-51-15	정상
2016-09-18-18-51-12	정상
2016-09-18-21-51-20	정상
2016-09-19-00-51-23	정상
2016-09-19-03-51-02	정상
2016-09-19-06-51-09	정상
2016-09-19-09-51-10	비정상
2016-09-19-12-51-05	정상

그림 96 기상데이터 수집 시스템

⑤ 센서데이터 분석 시스템

센서 데이터 분석시스템은 크게 센서데이터와 외부데이터를 비교하는 기능, 특정 사육상과 타 사육상의 센서 데이터를 비교하는 기능, 특정 사육상의 센서에 대해 분석하는 기능, 특정 사육상의 전체 센서 데이터를 분석하는 기능으로 구성되어 있다.

- Dashboard : 현재시점에서 48시간 이전의 센서 데이터와 기상청 데이터를 비교하여 출력한다.
- Time Series analysis chart : 특정 기간동안의 다양한 꿀벌사육상의 개별 센서 데이터를 비교할 수 있다. X,Y축 데이터에 대한 Zoom In/Out 기능을 제공한다.
- Single Factor Variation chart : 특정 기간동안 단일 사육상의 개별 센서에 대하여 최대, 최소, 평균값을 비교할 수 있는 기능을 제공한다.
- Hive Status Combination chart : 특정 꿀벌사육상의 전체 센서에 대하여 기간별 데이터를 출력한다.
- Rawdata Table : 센서데이터의 수신 상태를 모니터링 할 수 있다.

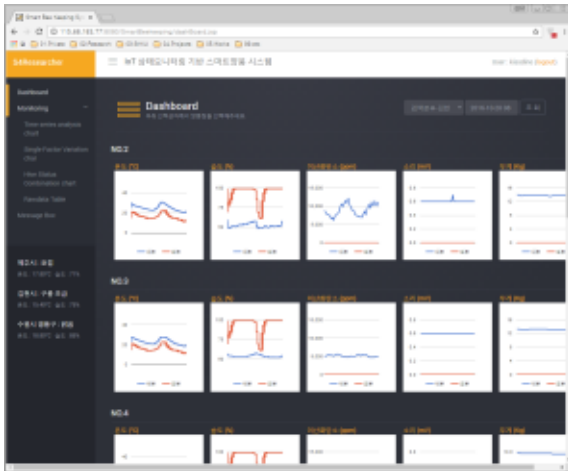


그림 97 Dashboard

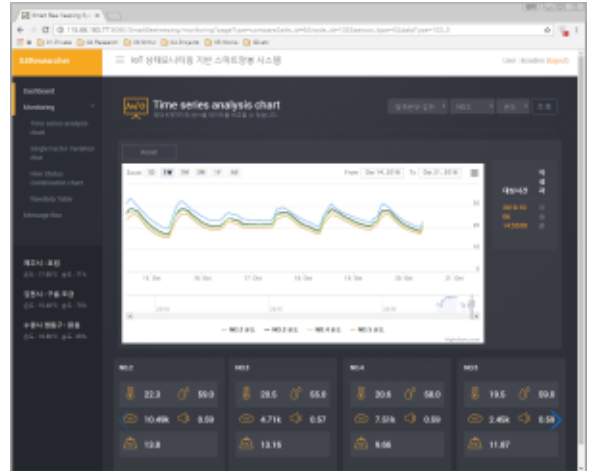


그림 98 Time Series analysis chart

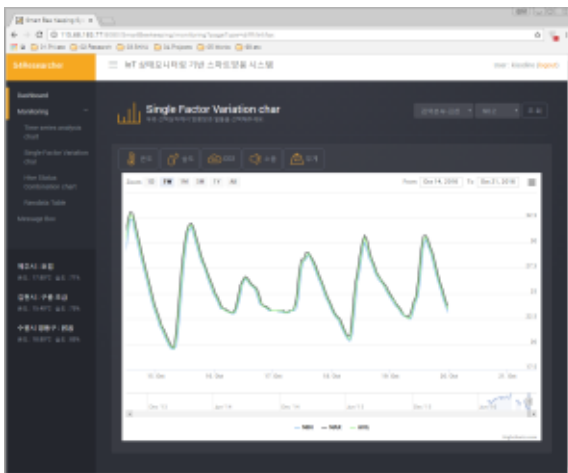


그림 99 Single Factor Variation chart

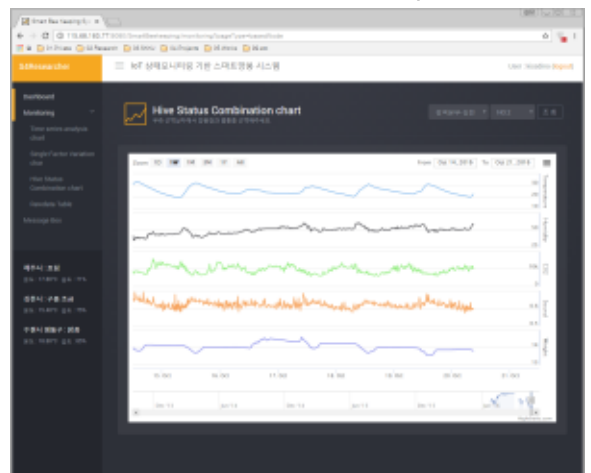


그림 100 Hive Status Combination chart

4) 양봉 생육환경 모니터링 및 제어시스템 HW-SW 통합환경 구축

(1) 규칙(Rule) 기반 생육상태 진단 및 예측시스템 구축

① 주요 목표

- 생육데이터 패턴에 대한 진단규칙 적용
- Threshold 설정을 통한 이상치 판별 기능 개발
- 패턴 이상을 체크하여 이메일을 통한 알림서비스 기능 개발
- 생성된 규칙(Rule)을 개별 꿀벌사육장에 적용할 수 있는 다중 규칙 적용기능 개발

② 연구수행 내역

㉠ 기본설계 개념

1차년도 연구 결과로 생육환경 데이터 패턴의 변화를 분석함으로써 이상 생육상태, 감염성 질병 등 다양한 생육상태를 파악할 수 있게 된다. 이러한 규칙을 기반으로 생육상태를 진단하고 이후 상태를 예측할 수 있는 진단 및 예측시스템을 구축함.

이를 위해 1차년도에 개발된 스마트 꿀벌사육상 시스템 및 관련시스템의 개선과 추가 개발을 진행하여 규칙(Rule) 기반 생육상태 진단 및 예측시스템을 개발하였으며 주요한 기능은 아래와 같다.

- 주요 생육데이터의 수집 및 분석 시스템 개발
- 규칙(Rule)의 유형을 크게 임계영역 설정과 복합규칙적용으로 구분하였음
- 임계영역 설정은 온도, 습도, CO2, 소음, 무게 의 5가지 요소별 최저/최고 한계치를 설정하여 해당 한계치를 초과하는 데이터가 수집되었을 경우 이메일을 통한 통지를 수행한다.
- 복합규칙적용은 1차년도 데이터 분석을 통해 주관과 1세부에서 정의한 특정 생육상태에 대한 규칙을 적용할 수 있도록 하고 수집된 센서 데이터를 분석하여 해당 규칙이 적용되었을 경우 이메일을 통한 통지를 수행한다.

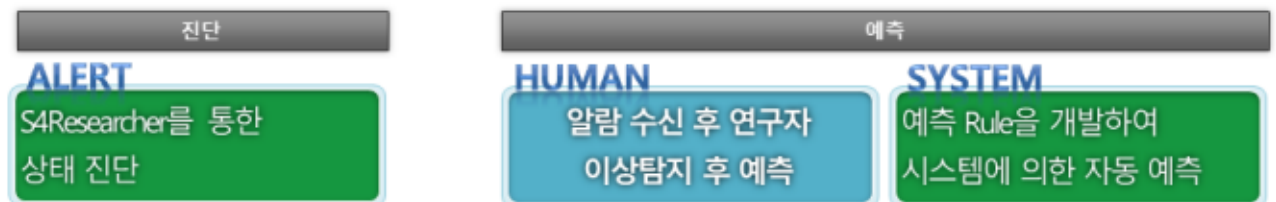


그림 101 진단과 예측의 구성

㉡ 임계영역 설정

임계영역 설정기능을 통해 각 데이터 요소별로 최저/최고 수치를 입력하고 해당 수치를 초과한 데이터가 수신된 경우 이메일을 통한 통지기능을 제공한다.

그림 102 임계영역 설정 화면

이는 아래 표에서 제시한 각 요소에 대한 이상 값을 점검하기 위한 기능으로 1차년도 연구를 통해 사육상, 환경, 영양의 요소를 설정하고 해당 요소에 대한 설정기능을 통해 수신 데이터 비교를 통해 통지하는 기능이다.

요소구분	항목	예시
사육상	측정유형별 threshold 설정	온도 : 35도 이상, 10도 이하 6시간 이상 지속 시
	측정유형 변화 threshold 설정	최근 24시간 이내 무게 10% 변화 발생
환경	외부 데이터의 threshold 설정	외부온도 : 36도 이상, -10도 이하
	추가 데이터 참조	해당 지역 강수량 100ml 이상
영양	사육상과 특정 이벤트간의 영향(d)	무게 : 20% 감소, 이벤트 : 채밀
	사육상과 시스템 조작으로 인한 영향(d)	온도 : 10% 감소, 소문개폐 작동
	사육상과 사육상간의 영향(id)	온도 : 30도 이상, CO2 : 30% 이상
	사육상과 환경간의 영향(id)	온도 : 30도 이상, 외부 습도 50% 이상

표 18 임계영역 설정을 통해 점검하고자 하는 구성요소

임계영역 설정기능을 통해 본 연구의 개별 주체들이 진단할 수 있는 항목은 아래와 같다.

- 연구자 : 질병이상 탐지
- 모니터링 기관 : 개별 사육상들의 전체적인 모니터링
- 시스템 운영 : 사육상 이상 및 서버 이상 탐지

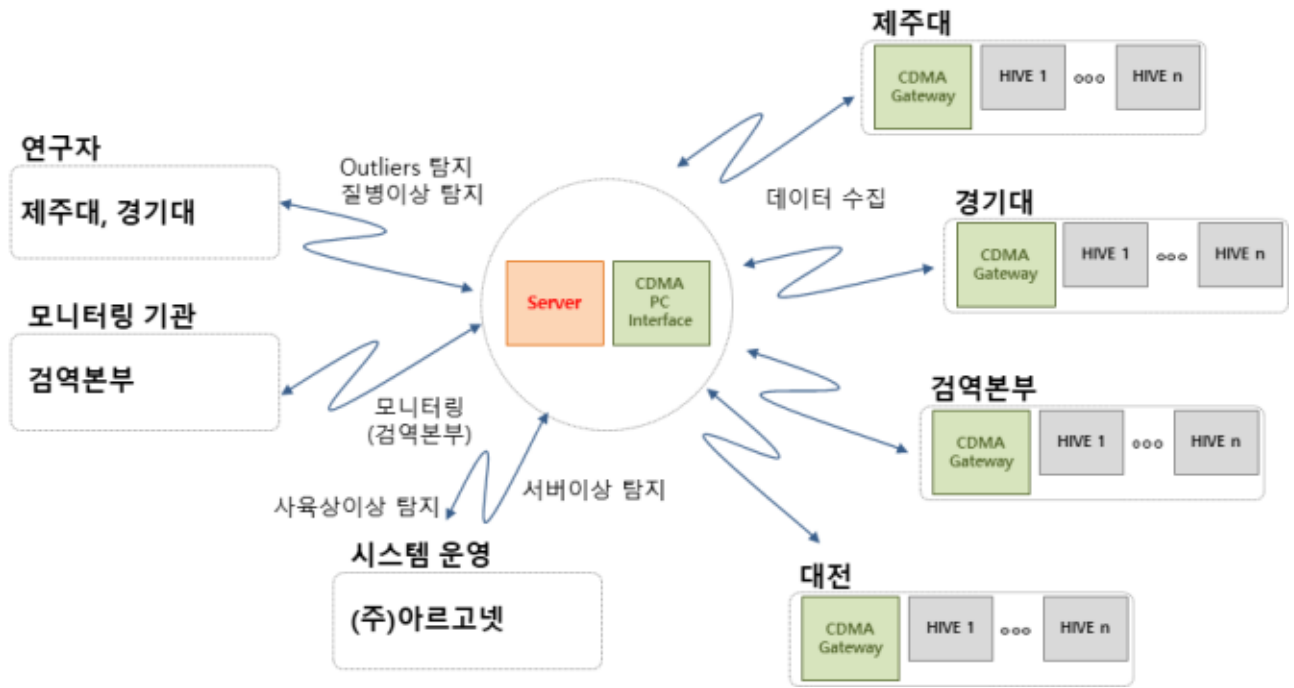


그림 103 연구주체별 점검기능

환경설정

입계영역 설정

번호	노드명	노드 ID	통신상태	최종수신시간	최종수신강도	확인
NO.2		SA02	정상	2017-07-28 10:07:41.0	무게: 23.21	확인
NO.3		SA03	정상	2017-07-28 10:07:42.0	무게: 23.47	확인
NO.4		SA02	정상	2017-07-28 10:07:44.0	무게: 23.47	확인
NO.5		SA04	정상	2017-07-28 10:07:45.0	무게: 27.18	확인
NO.6		SA03	정상	2017-07-28 10:07:46.0	무게: 26.41	확인
Gateway		SA06	정상 (계기오류)	2017-07-28 10:07:46.0	무게: 91.48	확인
NO.7		SA01	정상	2017-07-28 10:08:31.0	무게: 24.81	확인
NO.8		SA07	정상	2017-07-28 10:08:29.0	무게: 0.0	확인



그림 104 임계영역 설정 주요기능 예시

㉔ 복합규칙 적용

복합규칙의 적용은 임계영역설정보다 조금 더 상세한 특정상황 및 환경에 대한 규칙을 설정함으로써 각 상황을 검증하는 기능으로 개별 환경에 대한 규칙을 센서별로 설정하고 해당 규칙세트 완성한 다음 각각의 규칙을 적용하고자 하는 사이트를 설정함으로써 해당 규칙이 적용된다. 적용된 규칙세트는 개별 양봉장에서 수집된 데이터를 분석하여 각각의 규칙에 해당되는 데이터가 수신 될 경우 규칙별 메시지를 임계영역 설정과 동일하게 이메일을 통해 양봉장 담당자들에게 전송된다.

주요한 규칙세트는 아래와 같다.

- 흑한기 경고 (양봉장 기온, 벌통내부온도, 봉군소멸)
- 월동 중 생육 개시
- 분봉열
- 여왕 (Mating, 산란, 망실)
- 채밀 (정리채밀, 본채밀)
- 비상재해상황 (도난/야생동물 침입, 도봉, 강풍)
- 정상군세
- 약군

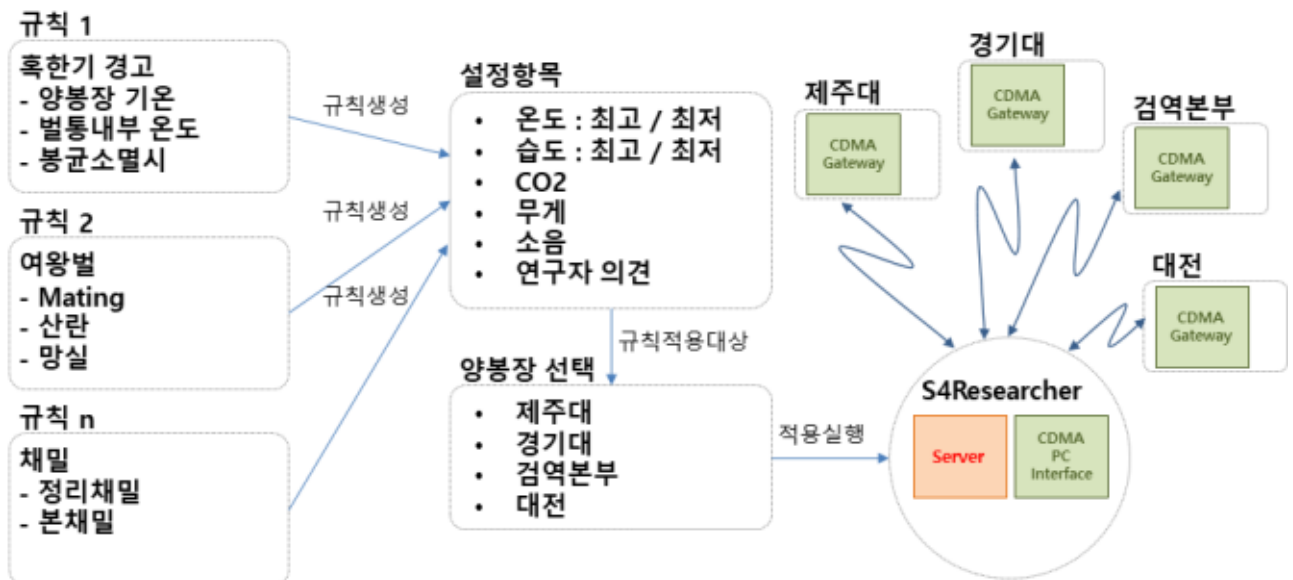


그림 105 복합규칙적용 워크플로우

위와 같은 규칙세트에 해당하는 각 값을 입력하고 규칙을 적용하는 알고리즘을 생성하게 된다. 이후 해당 알고리즘이 적용될 양봉장을 선택하고 적용을 실행하는 과정을 통해 복합규칙을 적용하게 되는데 개별 규칙세트가 등록된 알고리즘은 복수의 양봉장에 적용할 수 있어 유사한 환경을 지닌 양봉장사이에 동일한 규칙을 공유할 수 있도록 개발되었다.

번호	알고리즘 명칭	최종 수정일시	최종 수정자	알고리즘 적용대상
1	제주대 2017년도 적용 알고리즘	2017년 09월 25일	kissdino	제주대학교
2	제주대 2017년도 적용 알고리즘 - 2	2017년 10월 10일	kissdino	제주대학교, 경기대학교

그림 106 복합규칙 적용 목록

알고리즘 명칭

		온도		습도		CO2	무게	소음	GPS	조지사항
		최고	최저	최고	최저					
폭한기 경고	양봉장 기준									
	벌통 내부 온도									
	보급 스밀시									
벌통 중 생육 개시										
분봉일										
어왕	Mating									
	산란									
	망실									
재일	정리재일									
	본 재일									
비상재태상할	도난, 야생동물 침입									
	도봉									
	강풍									
정상근세										
익근										

저장

그림 107 복합규칙적용 화면 예시

(2) 소문개폐 등 스마트사육상 제어시스템 구축

① 주요 목표

- 1차년도에 개발한 시스템을 확장하여 소문개폐 및 개포처리를 원격에서 수행할 수 있는 사육상 제어시스템 개발진행
- PC나 스마트폰에서 제어를 실행하면 최대 10분 이내 사육상 시스템으로 해당 명령을 전송하여 이를 구동하도록 개발진행
- 소문개폐 제어시스템을 별도로 적용 및 원격으로 제어할수 있도록 구축 및 시험

② 연구수행 내역

스마트사육상은 단순히 생육환경 정보(온도, 습도 등)를 전송하는데 머무르지 않고 소문개폐와 같은 기능을 통해 생육환경을 원격지에서 제어할 수 있도록 개발된다. 1차년도 제어 알고리즘 연구 결과를 활용하여 스마트사육상 제어시스템을 구축한다. 개발될 제어 기능은 이용자의 명령에 의한 제어와 생육환경 정보 기반의 자동 제어가 가능하도록 시스템을 구축한다.

㉓ 스마트 사육상 제어시스템 고려요소

스마트 사육상 제어시스템을 위해 H/W-S/W 인터페이스와 소문개폐등의 하드웨어 제어부분으로 구분하여 시스템을 구성하였다. H/W-S/W 인터페이스 부분은 각 사육상의 상태를 조회하거나 제어할 수 있는 시스템을 구현하였고, 소문개폐등의 하드웨어 제어를 위해 1차년도에서 정의한 센서데이터의 수신용 프로토콜 이외에 스마트 사육상 제어를 위한 제어 프로토콜 설계하여 구현하였다.

<p>H/W-S/W 인터페이스</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1회 이상 데이터 미수신시 (5분단위) • 특정 시간대 데이터 미수신시 (1시간) • 각 센서별 특정값 반복시 (1시간) • 센서별 enable / disable 설정 기능 • 시간설정기능 • 이상데이터 발생시 log 테이블에 데이터 기록 후 관리자 푸시
<p>소문개폐</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① 센서 게이트웨이로 전송되는 데이터의 프로토콜 설정(마루이엔지) ② 문제 발생 유형을 혹은 데이터 전송 유형 설정(아르고넷) ③ 메시지유형 : 리셋, 개폐 ④ 노드정보 : 0000 (4자리 digit)

그림 108 스마트 사육상 제어시스템 기능 예시

㉔ H/W-S/W 인터페이스

H/W-S/W 인터페이스를 위해 S4Researcher에서 손쉬운 제어를 위한 인터페이스를 개발하였다. 특정 양봉장을 선택한 후 해당 양봉장의 개별 사육상을 선택하여 시스템 리셋, 소문개폐, 상단환기구 또는 개포의 개폐기능을 수행할 수 있도록 하였으며 최종 제어를 수행한 날짜와 제어의 유형이 함께 출력되도록 구현하였다.

별통 제어
사이트별 별통을 제어할 수 있습니다.

제주대학교 조회

별통 ID	Reset	소문제어	덜게제어	최종제어일시	최종제어유형
NO.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2017년 10월 12일	소문 덮기
NO.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2017년 10월 12일	소문 덮기
NO.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2017년 10월 12일	소문 덮기
NO.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2017년 10월 12일	소문 덮기
NO.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2017년 10월 12일	소문 덮기
Gateway	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2017년 10월 12일	소문 덮기
제주대 NO7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2017년 10월 12일	소문 덮기
제주대 NO8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2017년 10월 12일	소문 덮기

그림 109 인터페이스 구성 예시

㉔ 소문개폐 장치의 적용

소문개폐 장치를 적용하기 위해 소형의 Micro Servo Motro를 적용하였다. 소문개폐용 가이드를 Servo에 부착하여 끝별 사유상에 부착하여, 원격에서 소문개폐의 신호에 따라 자동 수동으로 소문을 개폐할수 있도록 설계 및 구축하였다.



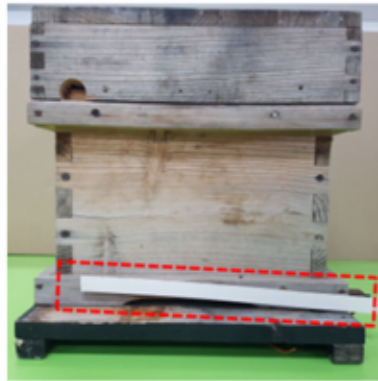
그림 110 별통에 장착된 소문개폐용 Servo



[소문 open 상태의 동작 모습]



[소문 Close 상태의 동작 모습]



[Servo의 제어를 통한 소문의 열림정도 제어 모습]

그림 111 별통에 장착된 소문개폐용 Servo 제어에 따른 소문 개폐

(3) HW(스마트 꿀벌사육상) - SW(스마트 양봉시스템) 통합환경 구축

① 주요 목표

- 소켓을 통한 데이터 전송방식을 통해 H/W-S/W간 통합환경을 구축함
- 기존 센서데이터 수신뿐만이 아닌 제어시스템을 통합함으로써 진단, 제어, 감지, 경보 등의 기능을 수행하도록 개발함
- Wireless 스마트 꿀벌사육상을 구현하기 위해 소비시스템의 센서별 전련소모량 등을 분석하여 무선 시스템에 최적화된 소비시스템을 구축하고 현장에 적용하도록 설계 및 구현

② 연구수행 내역

㉔ S4Researcher 시스템 보완

1차년도 연구를 통해 연구팀의 요구사항을 반영하여 S4Researcher 시스템을 보완하였다. 주요 보완사항은 수신된 센서데이터를 기반으로 효율높은 분석을 수행할 수 있도록 인터페이스를 개선하는 것으로써 1차년도에 구현되어 활용된 기능을 포함하여 1차년도에는 설계만 진행된 내용을 실제로 구현하는 형태로 진행되었다.

주요 보완 기능은 아래와 같다.

- 대시보드
- 시계열 분석 차트
- 단일 요인 변동 차트
- 별통 상태 조합 차트
- 원본 데이터



그림 112 1차년도 대시보드 화면설계 내역

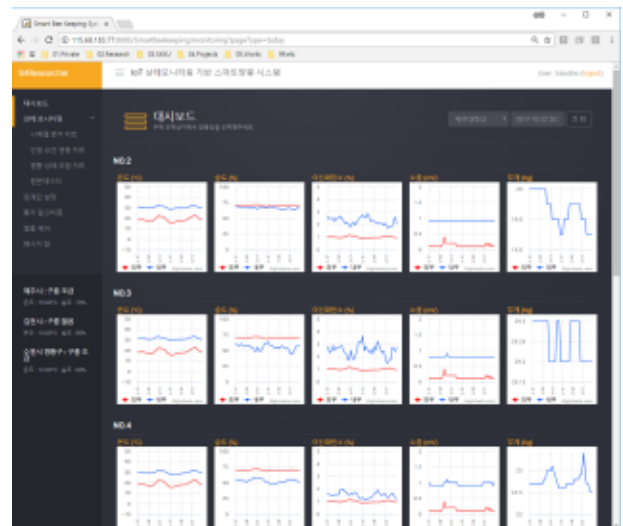


그림 113 2차년도 보완 구현 내역

- 1차년도에 구축된 꿀벌생육환경 모니터링 HW에서 보다 안정적인 Data수집을 위해 gateway와 각 소비시스템간의 data 통신에 대한 안정성을 위한 보완작업 및 1차년도에



그림 114 1차년도 사육상별 데이터 조회 기능

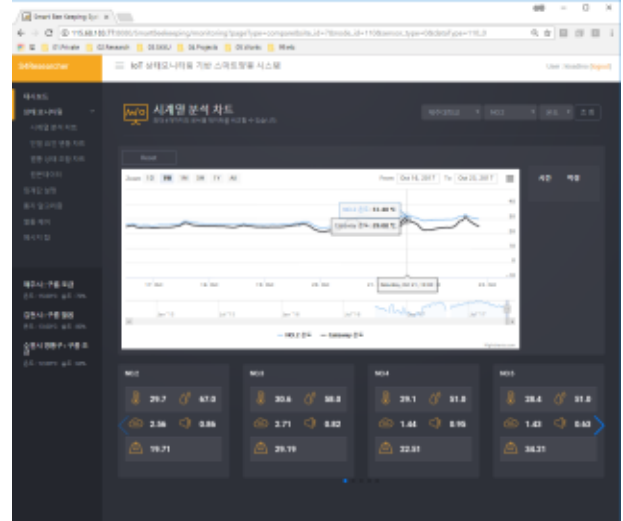


그림 115 2차년도 사육상별 데이터 조회 기능



그림 116 1차년도 센서별 상세정보 출력

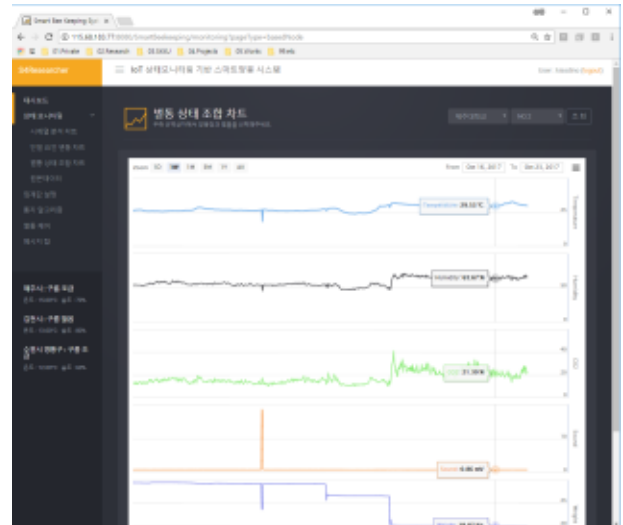


그림 117 2차년도 센서별 상세정보 출력

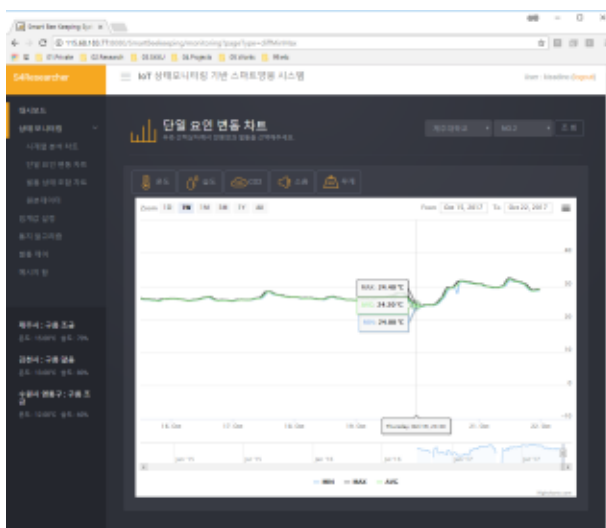


그림 118 단일 요인 변동 차트
제작된 저울시스템의 최대허용 무게 및 흔들림 등 보안을 위해 Load Cell 플랫폼을 이용하여 추가 설계를 하였다.

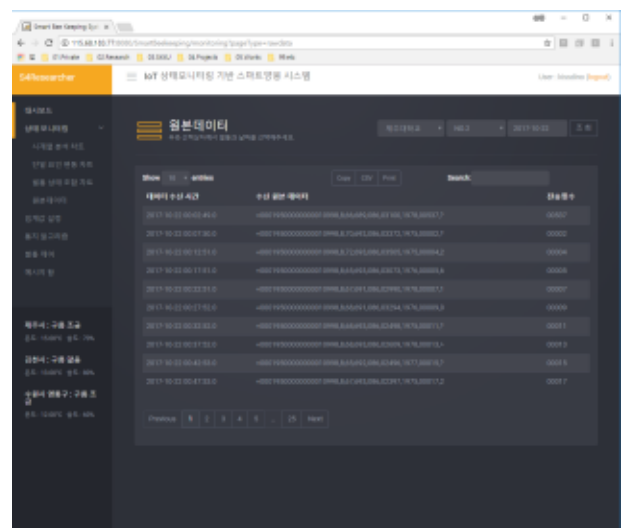


그림 119 원본데이터 조회

○ 기존의 Analog AMP 방식의 무게 측정 방식에서 Digital Amp 방식으로 변경하여 보다 안정적이고 신뢰성 있는 신호획득이 가능하도록 적용하였다.



그림 120 [2차년도 보완적용하여 현장에 설치한 사육상 모습]



그림 121 [1차년도에 적용한 Analog Amp방식]

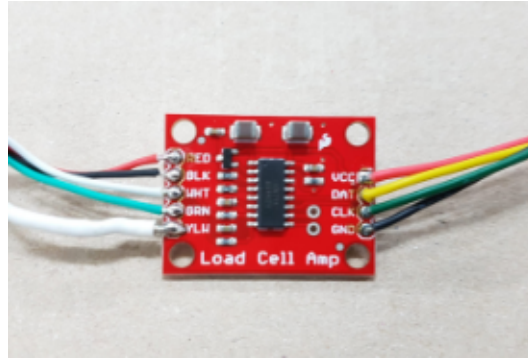


그림 122 [2차년도에 적용한 Digital Amp방식]

○ wireless 스마트 꿀벌 사육상 설계를 위한 구축 방안 모색

스마트 꿀벌사육상 구현을 위해 가장 중요한 요인중의 하나인 1차년도에 상시 전원으로 이용하여 운영중인 각 벌통내부의 소비 시스템의 wireless을 실현하는게 무엇보다 중요한 사안으로 고려가 된다. 이에 각 측정중인 각 센서별 전력소모를 분석하고 wireless 소비시스템을 구축하기 위한 방안을 모색하였다.

주요 항목	소비전류(1차년도 기준)
Main CPU	30.0 mA
온습도 센서	0.3 mA
CO2 센서	1.5 mA
저울 센서	3.0 mA
소음센서	1.0 mA
Zigbee	40.0 mA

표 23 각 구성 항목 당 소비전류 예측

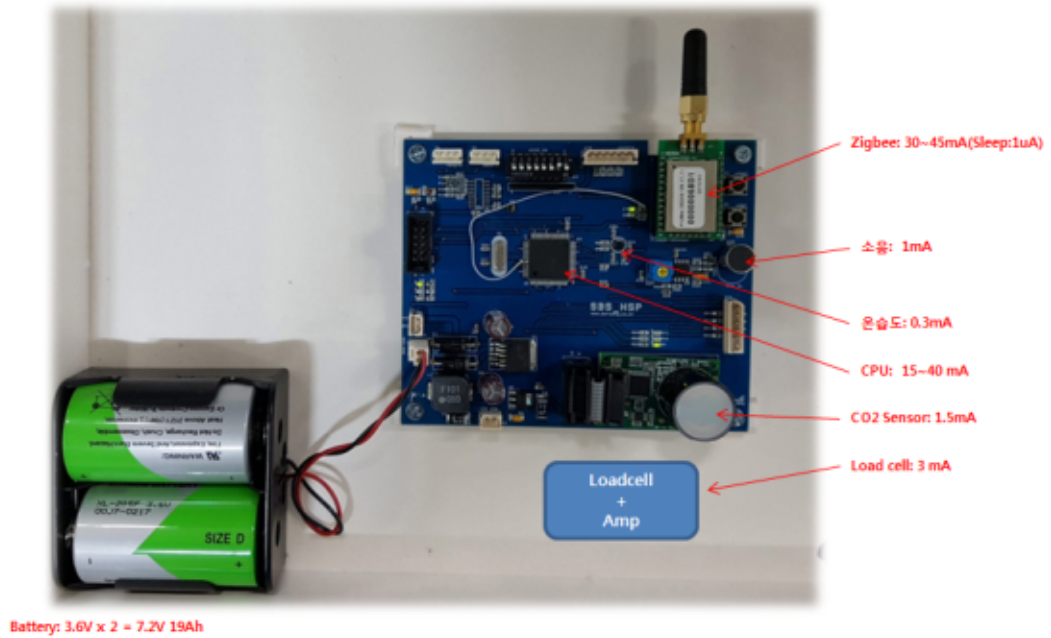


그림 123. [battery를 적용한 소비 시스템

1차년도에 적용한 소비 시스템은 위의 Battery(19Ah)를 기준으로 아래 도표와 같이 1주일 정도 사용이 가능했으며, 저전력 센서의 선택 및 대기상태의 소비전류를 최소화 하기 위한 프로그램적인 보완 등을 통하여 Battery 교환시 최소 6개월이상은 사용을 목표로 설계를 추진하였다.

또한 이후 현장 설치의 효과적인 적용을 위해 계속적으로 소비시스템과 저울 및 설치 방법에 대하여 지속적으로 최적화 방안에 대하여 검토한 후 적용하였다.

Battery수	Battery용량(mA)	소비전류(mA)	사용시간(Hours)	사용일(Days)
2EA	19000	100	190.00	8
	19000	30	633.33	26
	19000	10	1,900.00	79
	19000	5	3,800.00	158
4EA	38000	100	380.00	16
	38000	30	1,266.67	53
	38000	10	3,800.00	158
	38000	5	7,600.00	317

그림 124 배터리의 소비전류 및 사용시간 예측

5) 양봉 사육농가 실증을 통한 농민 친화적 인터페이스 적용

(1) 농민 친화적 이용자 인터페이스 구현

① 주요 목표

- 양봉 사육농가 농민을 위한 이용자 인터페이스를 구현
- 사육상의 상태를 한 눈에 알아볼 수 있도록 이미지 중심으로 각종 센서 정보 출력 시 스마트 꿀벌사육상의 무게, 도난 방지, 전원 관련 정보 포함
- 실증 사육 농민의 요구에 바탕을 두어 기존 인터페이스 개선
- 직관적인 이용자 인터페이스를 통해 다수의 꿀벌사육상의 상태를 모니터링 할 수 있으며, 모바일 지원을 통해 언제 어디서든 모니터링이 가능한 시스템 개발

② 연구수행 내역

㉠ 양봉 사육농가용 인터페이스 구축

양봉 사육농가용 인터페이스 개발을 위해 필요한 몇몇 기능을 도출하였으나 이동이 잦고 PC활용이 어려운 양봉 농가의 특성을 고려하여 휴대폰으로 접속 가능한 모바일 기반의 사육 농가용 인터페이스를 구축하였다. 양봉 사육농가용 인터페이스의 주요 기능은 아래와 같다.

- 로그인 : 스마트 사육상이 설치되면 Gateway당 1개의 계정이 생성되고 이를 이용하여 시스템에 로그인 할 수 있는 환경을 제공한다.
- 스마트 사육상 목록 : 시스템에 로그인 한 사육농가를 기준으로 해당 사육농가의 사육상 목록이 출력된다. 이때 출력되는 정보는 온도, 습도, CO2, 소음, 무게, 전압 정보이다.
- 스마트 사육상 상세정보 : 스마트 사육상 목록에서 특정 사육상을 선택하면 해당 사육상의 상세정보가 출력된다. 출력되는 정보는 목록의 간략정보와 유사하지만 소문 개폐 기능을 추가하여 온도 및 기타 생육환경을 확인하고 소문을 원격지에서 조작할 수 있는 기능을 제공하였다.

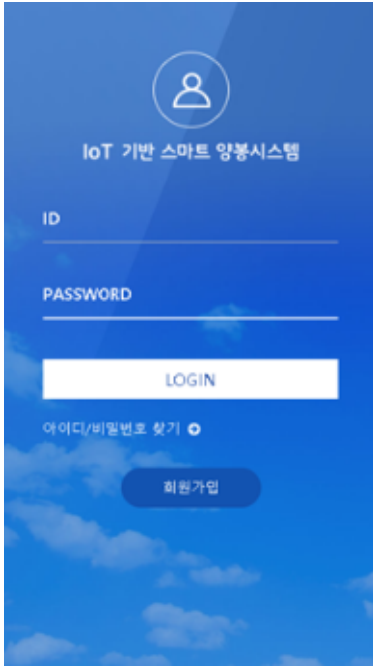


그림 125 로그인



그림 126 사육상 목록

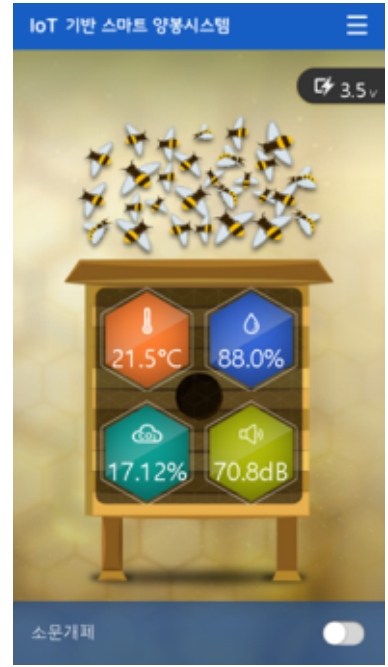


그림 127 상세정보

이와함께 질병의심신고 기능을 추가하여 해당 메뉴를 선택 할 경우 농림축산검역본부에서 운영하고 있는 KAHIS(국가가축방역통합시스템)으로 이동할 수 있도록 하였다.



그림 128 상세메뉴에서 KAHIS 시스템으로 이동

㉔ 센서 디바이스 개선

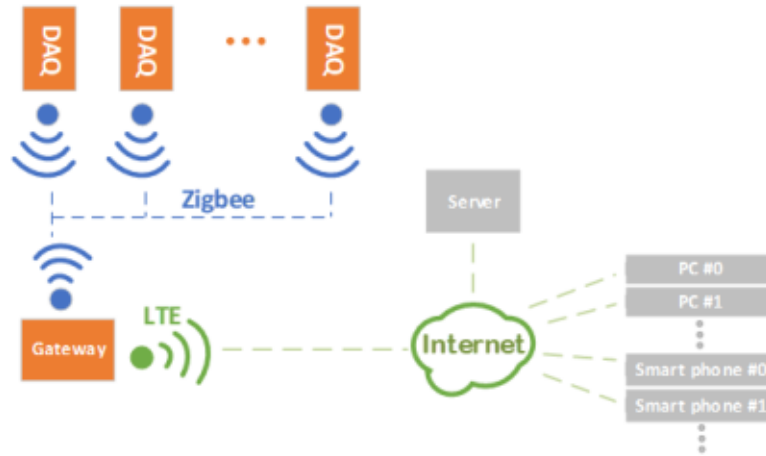


그림 129. 센서 디바이스 구성 및 연결

센서 디바이스는 센서 정보 수집 모듈인 DAQ와 정보 통합 및 전송 모듈인 Gateway로 구성된다. DAQ는 별통 내부의 온도, 습도, 이산화탄소 농도, 소음 크기, 별통의 무게 값을 측정 후, 저전력 무선통신(Zigbee)을 통해 측정값들을 Gateway로 전송한다. Gateway는 DAQ들로부터 받은 센서 값들을 통합하여 웹서버로 전송한다.

㉔ 센서 정보 수집 모듈(DAQ)의 개발

○ 기능

본 모듈은 ATMEL사 8bit MCU기반의 ATmega128을 이용하여 구현되었으며, MCU는 별통 내부의 센서들을 통해 온도, 습도, CO2 농도, 소음크기 값들을 측정하며, 외부 저울을 통해 무게 변화 값을 측정하고 실시간으로 전송하는 기능을 한다. 또한 공기 순환 및 온도 제어를 위해 servo motor 를 장착하여 개폐가 가능하도록 구현하였다. 또한 Gateway 장치와의 통신을 위해 Zigbee 통신방식을 이용한 저전력 무선 정보 전송 기능을 구현하였다.

○ 사양

항목	측정범위	측정오차/분해능
온도	-20 ~ 50℃	± 0.3℃
습도	10 ~ 90% Rh	± 3 %
CO2	0 ~ 50,000ppm(5%)	±100 ppm
소음	0 ~ 80dB	±5dB
무게	1 ~ 50kg	±100g

표 25 각 센서의 측정범위

- 구성
 - 구성도

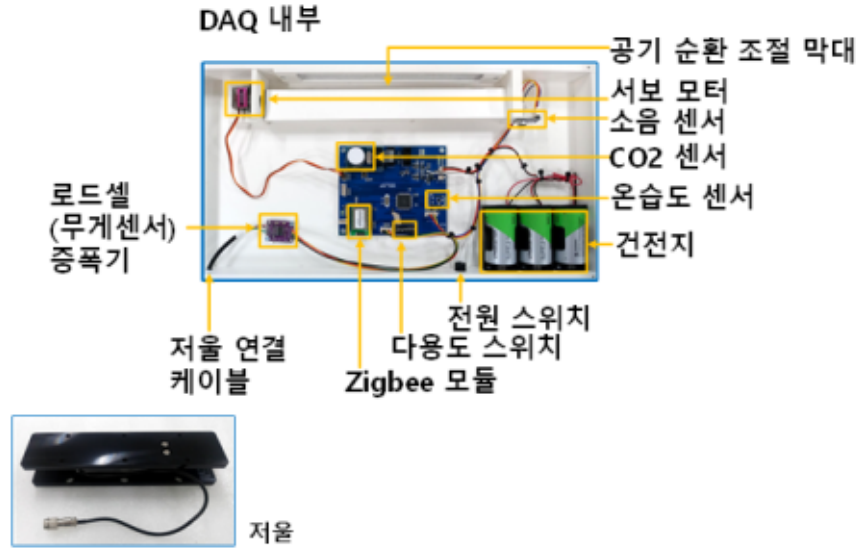


그림 130 센서 정보 수집 모듈 DAQ의 내부 구성도

ATmega128 MCU 중심의 메인 보드와 소음 센서, 온습도 센서, 이산화탄소 센서, 저울 센서, 공기 순환 조절 막대, 서보모터, 무게센서 증폭기, 저울, Zigbee, 건전지 등으로 구성되어 있다.

- 소음 센서

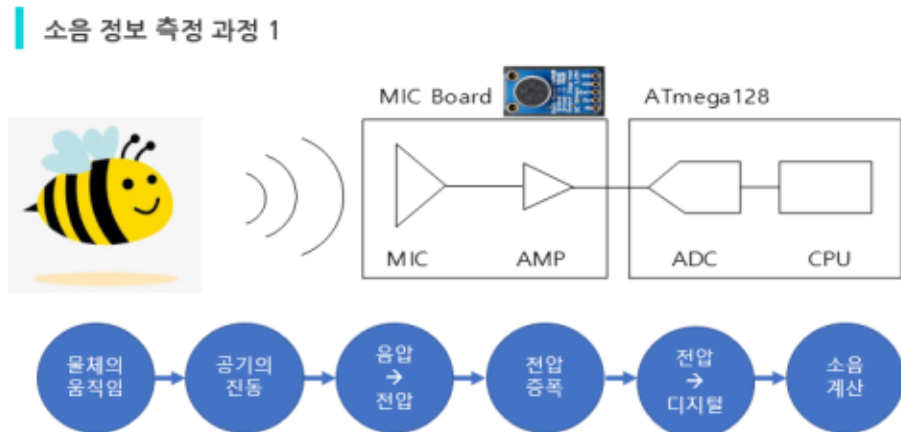


그림 131 소음측정과정 1

소음 정보 측정 과정 2

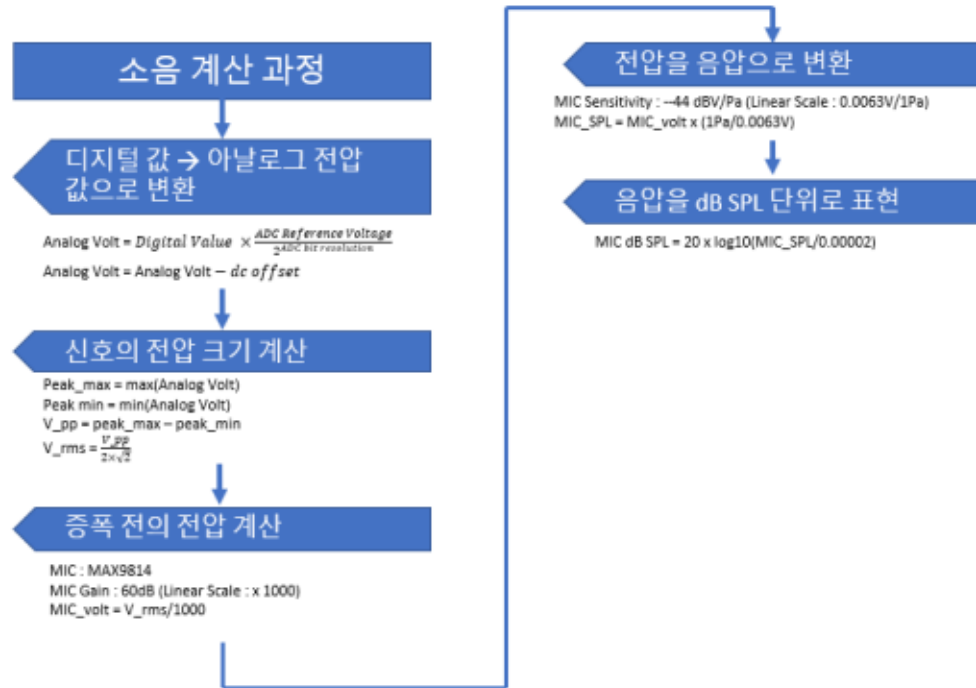


그림 132 소음 측정 과정 2

소음 센서는 물체의 움직임에 의해 공기가 진동하면, 마이크가 음압을 감지하고 전압형태로 출력해준다. 마이크로부터 출력되는 미세한 전압 신호는 보드의 전압 증폭기를 통해 증폭되게 된다. 이렇게 증폭된 전압 신호는 MCU 내부의 ADC(Analog to Digital Converter)를 통해 디지털 값으로 변환된다. MCU는 측정된 디지털 값을 통해 소음 값을 계산한다. 소음 값의 계산은 소음 신호가 MCU로 들어오는 과정의 역순 계산을 통해 구해질 수 있다. 이렇게 구해진 소음 값은 dB SPL(Sound Pressure Level) 단위로 전송된다.

소음 센서의 MIC 의 모델명은 CMA-4544PF-W 이며, -44dBV/Pa 의 Sensitivity를 갖는다. 증폭기의 모델명은 MAX9814 이며, 60dB 의 Gain을 갖는다.

- 무게 센서

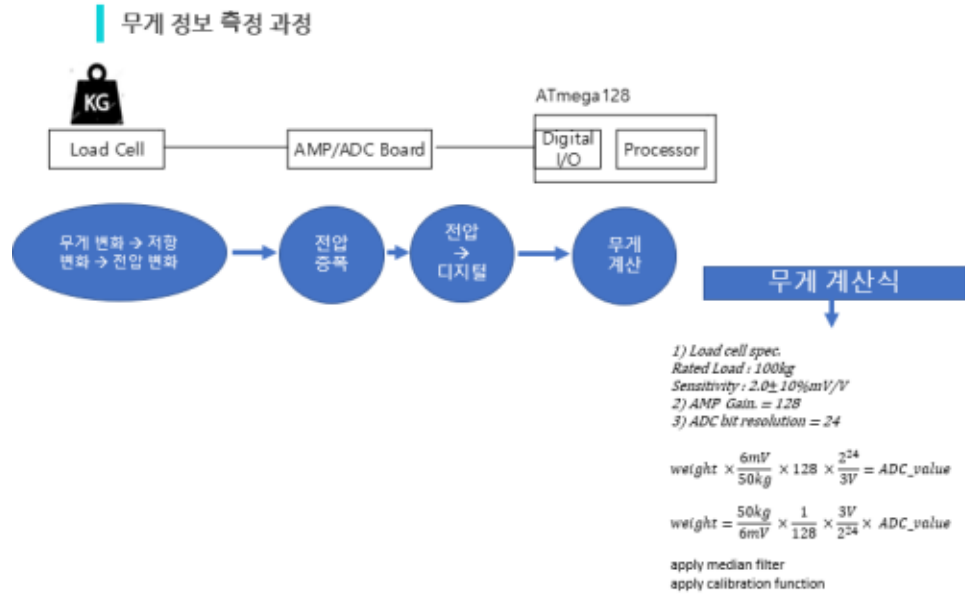


그림 133 무게 정보 계산 과정

무게 센서(로드셀)는 무게에 따라 저항이 변하며, 저항의 변화는 전압의 변화를 가져 온다. 곧 무게는 전압 값으로 출력되며, 로드셀로부터 출력되는 작은 전압은 증폭 및 디지털화 되어 MCU로 전송된다. MCU는 수신된 디지털 값을 통해 무게를 계산한다. 무게 값의 계산은 증폭기, 로드셀의 특성을 고려하여 계산되어진다. 사용된 로드셀은 최대 100Kg 까지 측정되며, 2.0+/-10mV/V 의 sensitivity를 갖는다.

Amp/ADC 의 모델명은 HX711이며 Gain 128, 24 bit resolution 특성을 갖고 있다.

- 온습도 센서

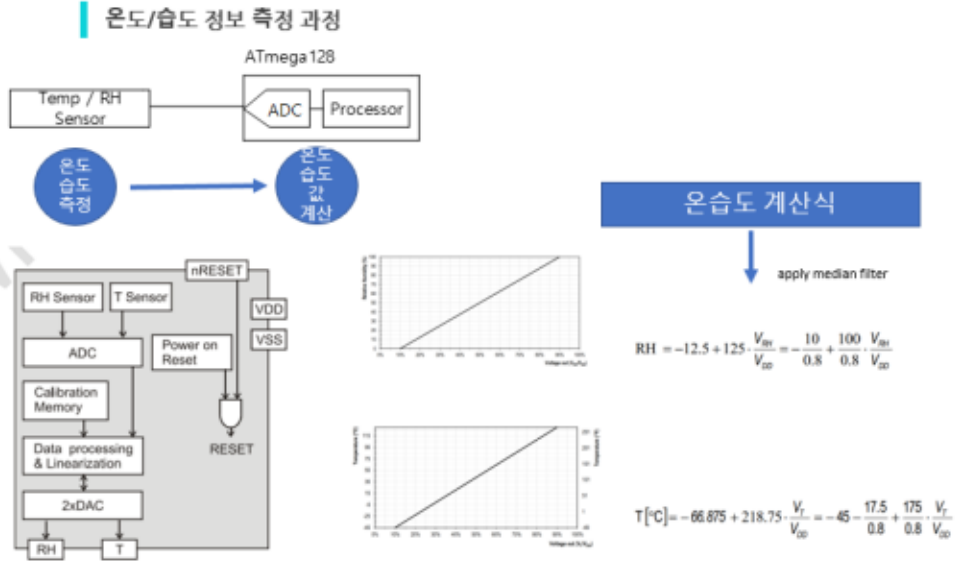


그림 134 온습도 정보 측정 과정

온습도 센서의 모델명은 SHT30-ARP 이며, 데이터시트에 제공된 정보를 참고하면 별의 생육 온도 범위 내에서는 +/- 0.3도 내의 오차를 갖는다.

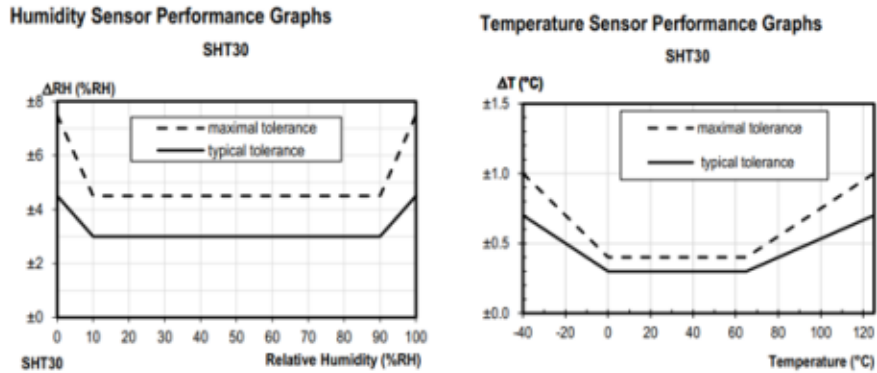


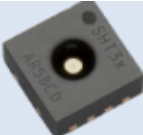
Figure 2 Tolerance of RH at 25°C for SHT30

Figure 6 Temperature accuracy of the SHT30 sensor.

그림 135 온습도 오차 그래프

SHT-30-ARP-B

Temperature & Humidity Sensor
Analog output module (DFN-8)



Features

- Fully calibrated, Linearized Temp compensated sensor
- Wide input : 2.4~5.5V
- Low power consumption (217μA,2Hz)
- Analog voltage output
- Small foot print 2.5 x 2.5 x 0.9mm(8pins)

Application

- HVAC
- Automotive
- Humidifiers
- Medical
- Automation
- Measurement
- Weather station
- Data Logger
- White Goods
- Consumer Goods

Humi Specifications

Range	0-100%RH
Accuracy (@ 25°C)	±3.0%RH(10 to 90%RH)
	±4.5%RH(Other Range)
Hysteresis	±0.8%RH @ 25°C
Resolution	14bit
Response time	time < 8s (t63)

Temp Specifications

Range	-40-125°C
Accuracy	±0.3°C (10 to 55°C)
	±1.3°C (Other Range)
Resolution	14bit
Response time	>2s (t63)

그림 136 온도, 습도 측정을 위한 센서 스펙

● 이산화탄소 센서

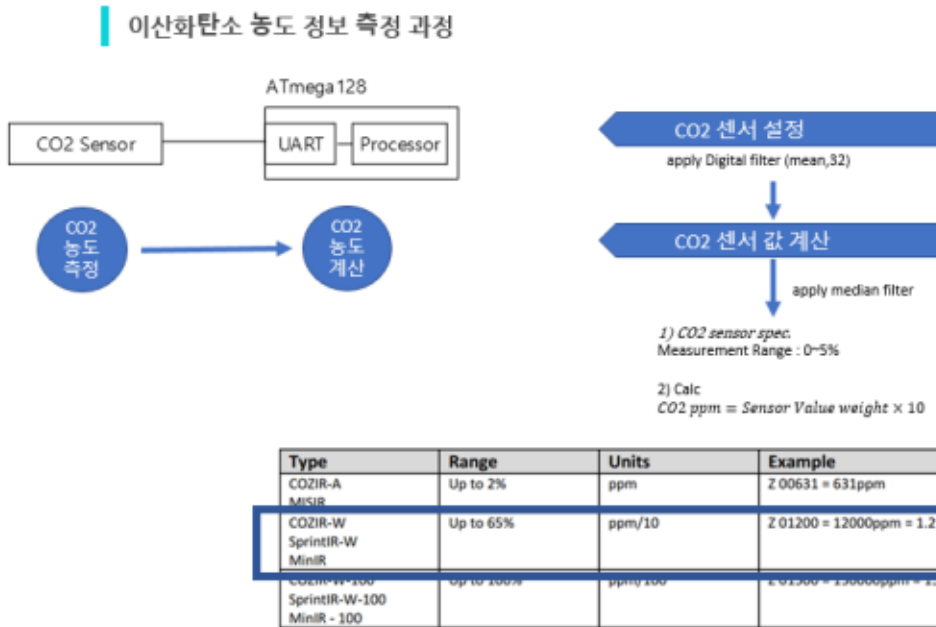


그림 137 이산화탄소 농도 측정 과정

이산화탄소 센서의 모델명은 COZIR사의 MinIR 이며, 측정된 이산화 탄소 농도 값을 디지털로 출력해준다. MCU는 내부 UART(Universal asynchronous receiver/transmitter) 모듈을 통해 센서 값을 요청하고 받아 Gateway로 전송한다.

Ultra Low Power Carbon Dioxide Sensor

COZIR is an ultra low power (3.5mW¹), high performance CO₂ sensor, ideally suited for battery operation and portable instruments. Based on patented IR LED and Detector technology and innovative optical designs, COZIR is the lowest power NDIR sensor available. Optional temperature and humidity sensing are available. COZIR is a third generation product from Gas Sensing Solutions Ltd – leaders in IR LED CO₂ sensing.

With measurement ranges of 0-5%, 0-20%, 0-60% and 0-100%, COZIR **Wide Range** sensors are suited for process control applications such as diving, industrial safety and automotive.

- Ultra-low Power 3.5mW
- Measurement ranges from 0 to 100%
- 3.3V supply.
- Peak current only 33mA.
- Optional Temperature and Humidity Output



COZIR™ Wide Range Sensor

Specifications

General Performance	
Warm-up Time	< 10s
Operating Conditions	0°C to 50°C (Standard) -25°C to 55°C (Extended range) 0 to 95% RH, non-condensing
Recommended Storage	-30°C to +70°C
CO ₂ Measurement	
Sensing Method	Non-dispersive infrared (NDIR) absorption Patented Gold-plated optics Patented Solid-state source and detector
Sample Method	Diffusion
Measurement Range	0-5%, 0-20%, 0-60%, 0-100%
Accuracy	±70 ppm +/- 5% of reading ³
Non Linearity	< 1% of FS
Pressure Dependence	0.13% of reading per mm Hg in normal atmospheric conditions.
Operating Pressure Range	950 mbar to 10 bar ²
Response Time	4 secs to 2 mins (user Configurable) ³ Reading refreshed twice per second. ³

그림 138. CO₂ 측정을 위한 센서 스펙

● 공기순환용 개폐기

위쪽에 위치하는 공기순환 통로의 개폐를 통해 별통 내부의 온도 조절을 목적으로 한다. 공기순환 통로의 개폐는 공기순환 조절 막대를 통해 이루어지며, 막대는 Servo Motor 에 의해 움직인다.

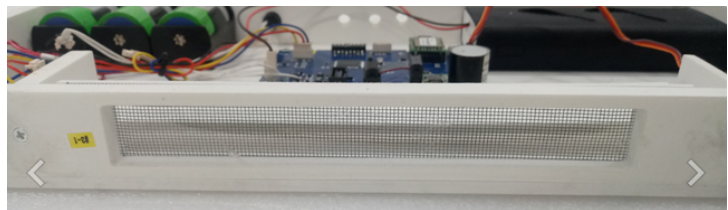
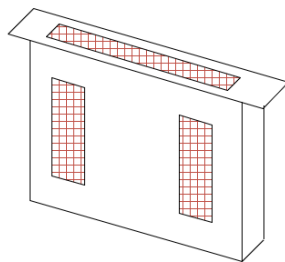


그림 139 공기 순환 통로

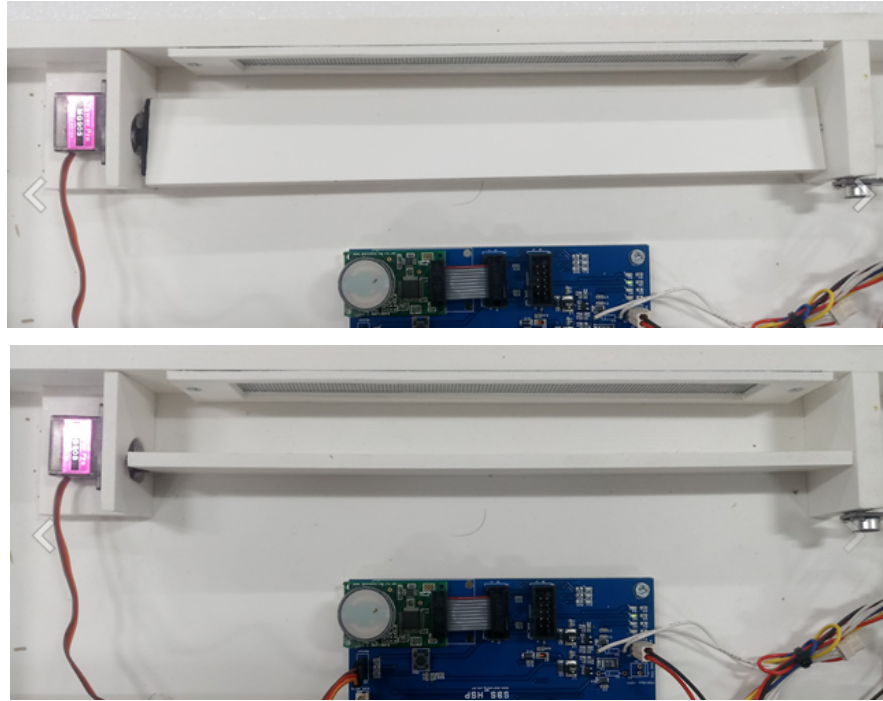


그림 140 공기 순환 막대의 열고 닫힘

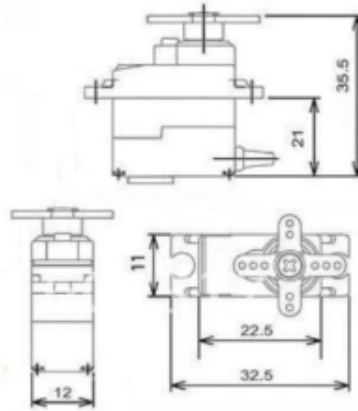


모터가 막대를 회전시켜 공기 순환 정도를 조절

그림 141 모터의 회전과 공기 순환

모터의 모델명은 MG90S 이며, PWM(Pulse Width Modulation) 방식으로 각도를 조정하도록 되어있다.

MG90S
Metal Gear Servo



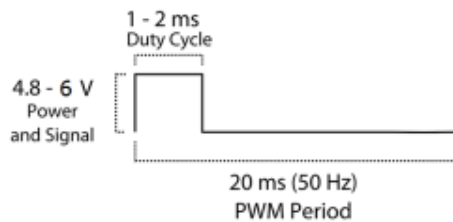
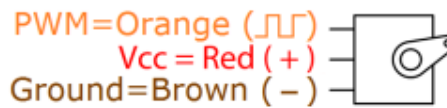
MG90S servo, Metal gear with one bearing

Tiny and lightweight with high output power, this tiny servo is perfect for RC Airplane, Helicopter, Quadcopter or Robot. This servo has *metal gears* for added strength and durability.

Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but *smaller*. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.

Specifications

- Weight: 13.4 g
- Dimension: 22.5 x 12 x 35.5 mm approx.
- Stall torque: 1.8 kgf·cm (4.8V), 2.2 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.1 s/60 degree (4.8 V), 0.08 s/60 degree (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V - 6.0 V
- Dead band width: 5 μs



Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2 ms pulse) is all the way to the right, "-90" (~1 ms pulse) is all the way to the left.

그림 142 모터의 사양 및 제어방법

● 소비 케이스

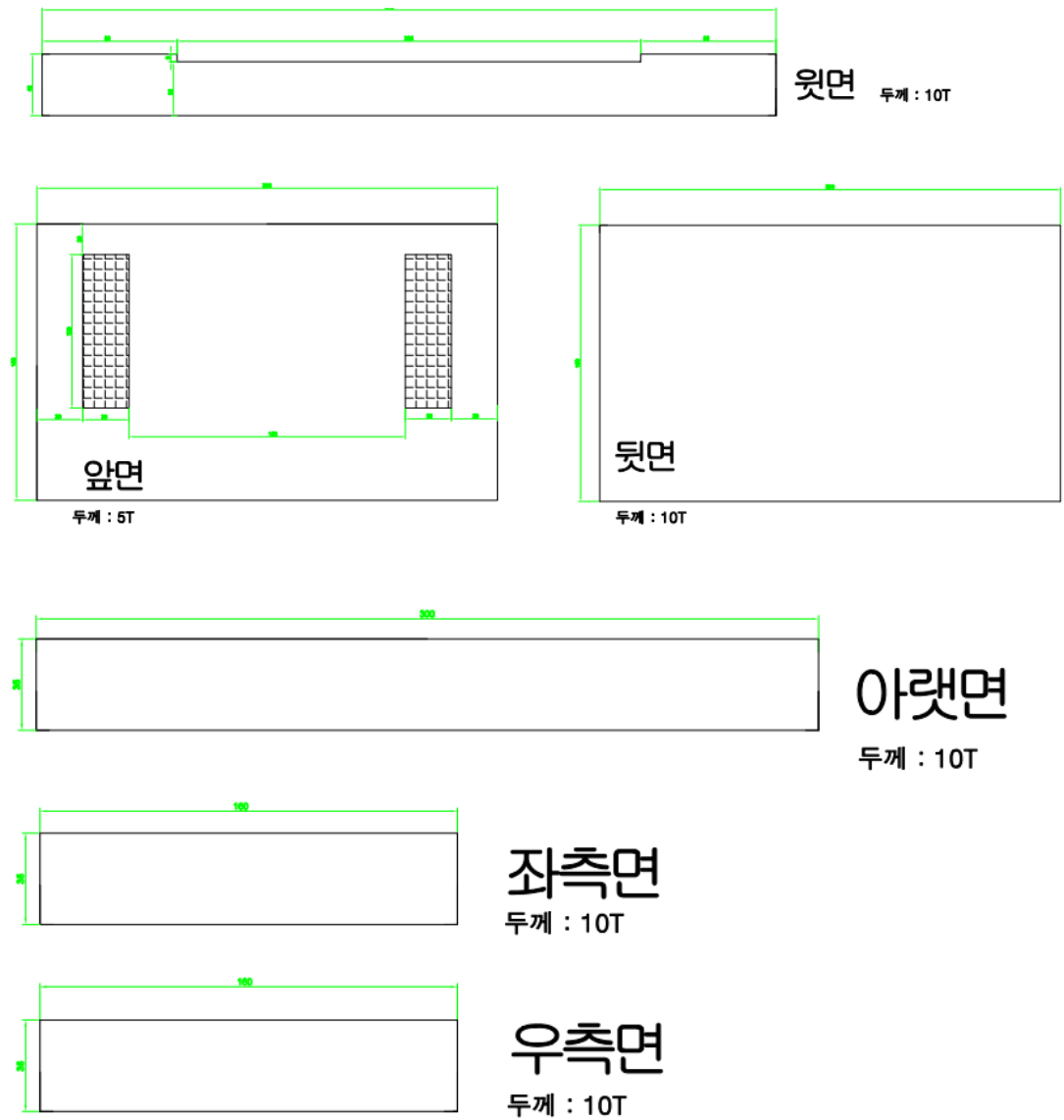


그림 143 소비 케이스 설계 도면



그림 144 소비 케이스 제작

○ 통신 프로토콜

DAQ와 Gateway 사이 통신 규약은 아래와 같다.

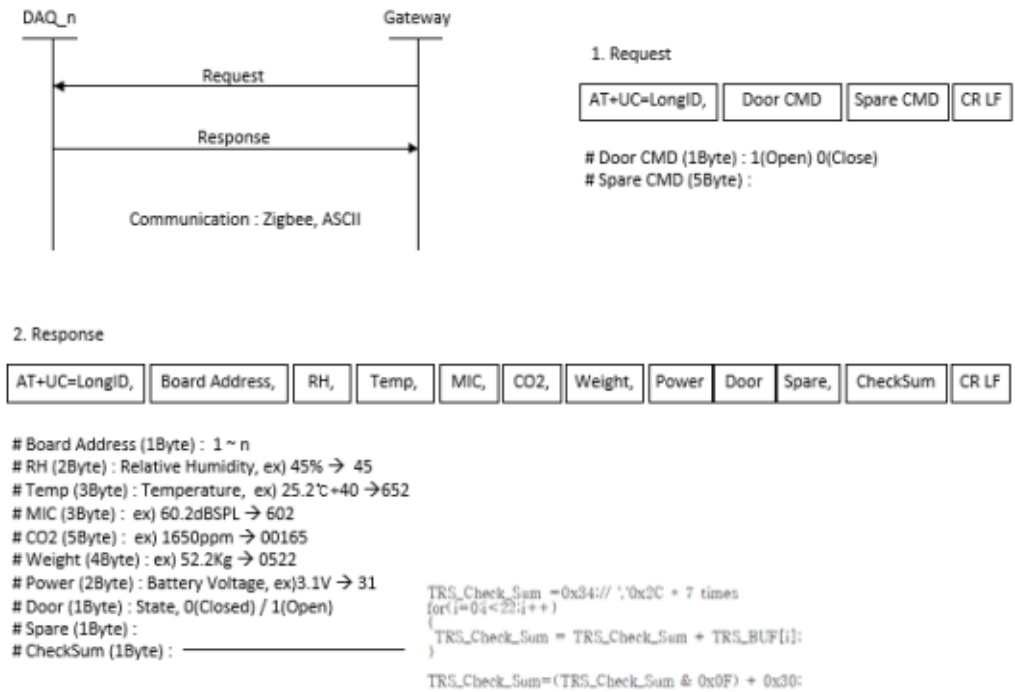


그림 145 통신프로토콜

- RH : 상대습도
- Temp : 온도
- MIC : 소음
- CO2 : 이산화탄소 농도
- Weight : 무게
- Power : 전원의 전압
- Door : 문 개폐 상태
- Door CMD : 문 개폐 명령

- 회로도

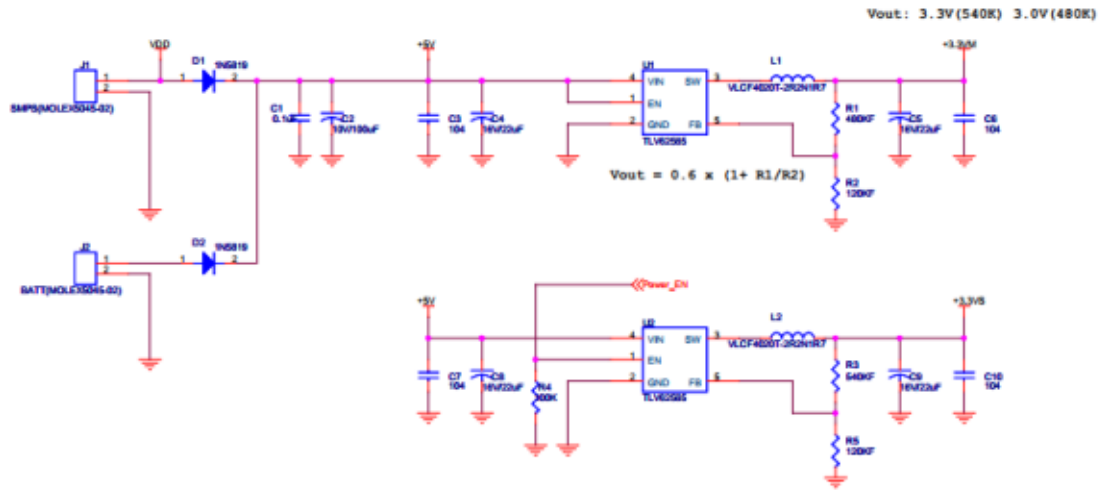


그림 146 전원부 회로

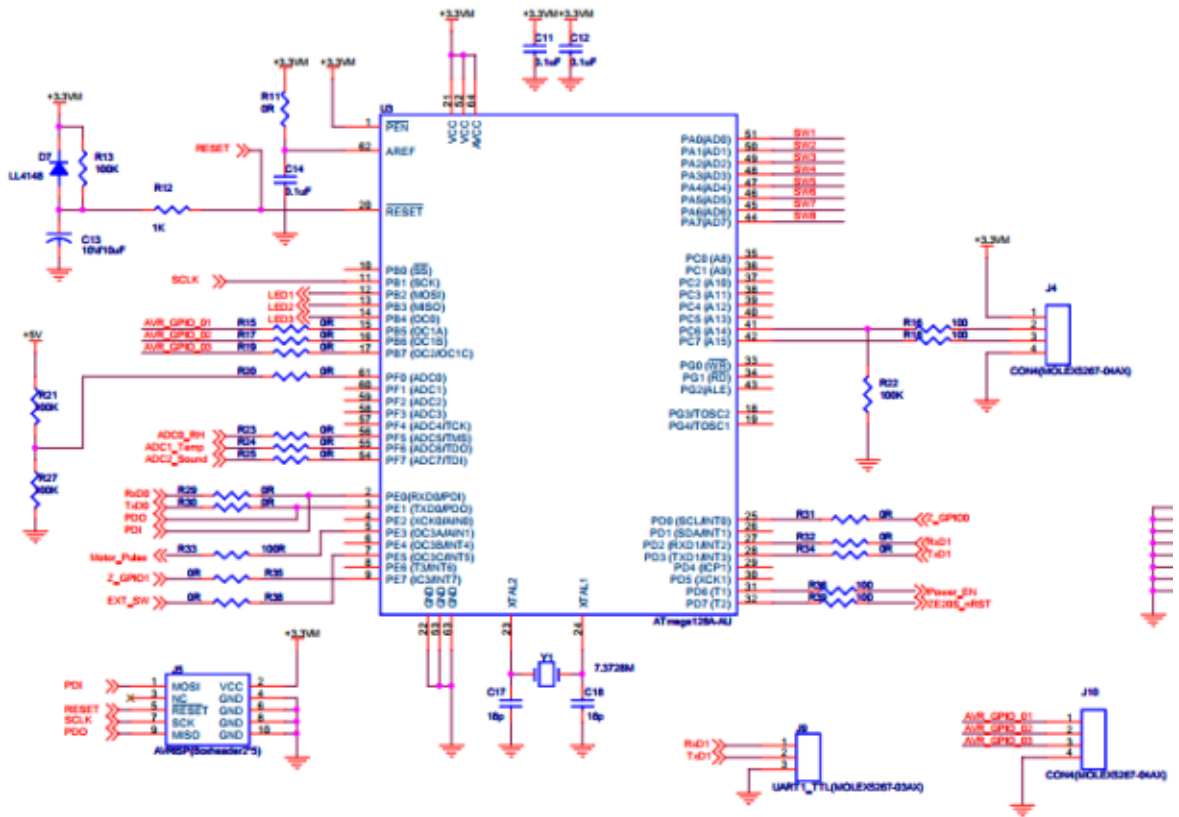


그림 147 MCU 주변 회로, 무게 센서 인터페이스

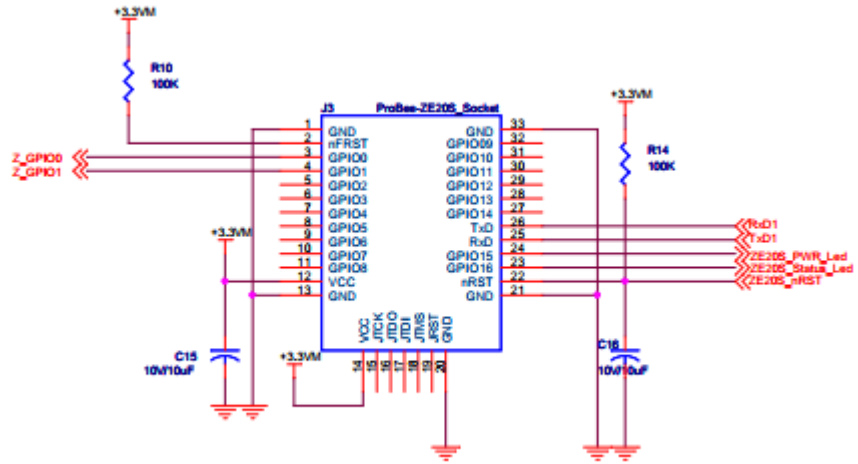


그림 148 Zigbee 모듈 회로

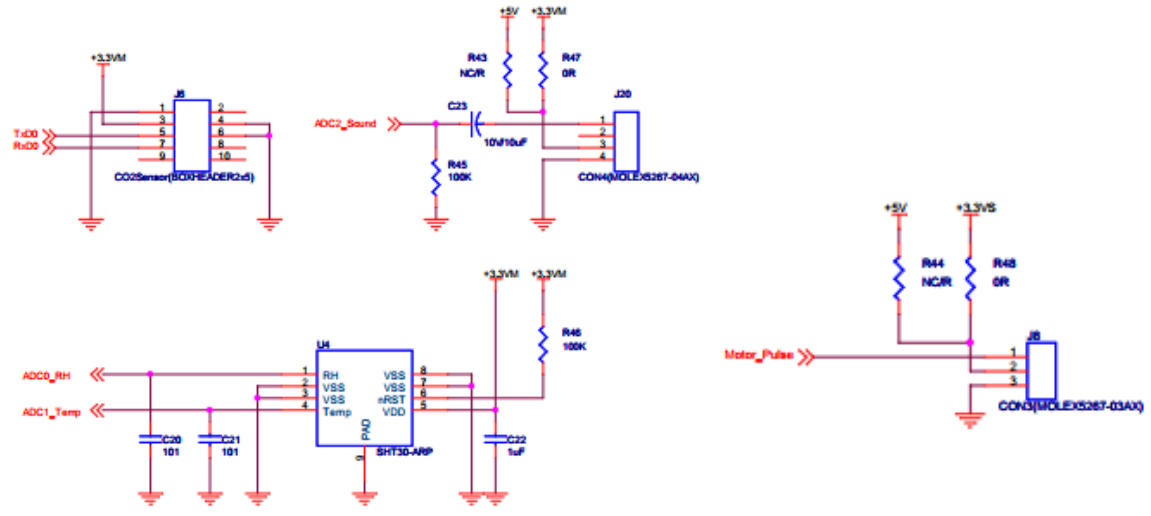
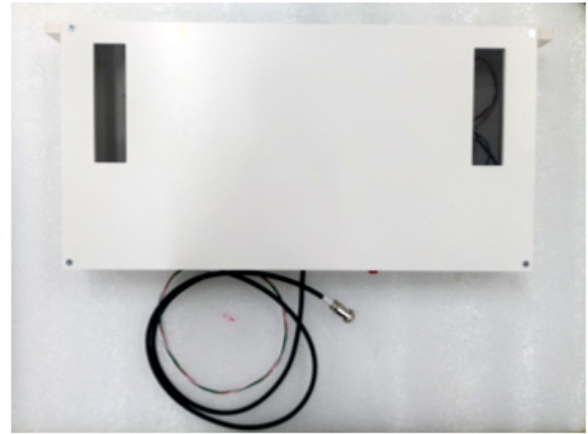


그림 149 온습도 회로, Servo Motor 인터페이스, 소음센서 인터페이스, CO2 센서 인터페이스

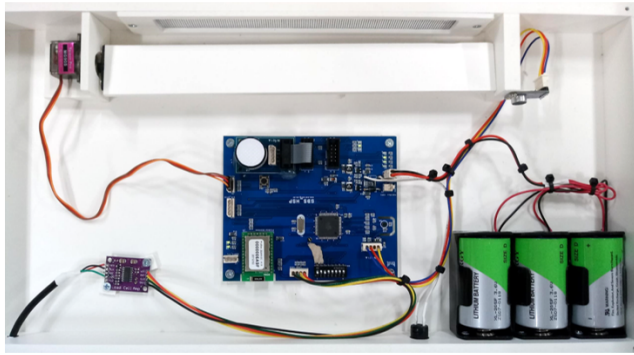
○ 결과물



DAQ 1번 (Reference)
* 저울과 연결되는 케이블이 존재하지 않음



DAQ 2-6번



DAQ 내부



저울 5개

그림 150 DAQ 내부, 외부

㉔ 정보 통합 및 전송 모듈(Gateway)의 개발

○ 기능

여러 개의 DAQ들로부터 받은 정보들을 통합하고, LTE 모뎀을 통해 취합된 정보를 웹 서버로 전송해주는 역할을 한다.

○ 구성



그림 151. Gateway 내부 구성

Gateway는 정보 통합 및 전송 모듈로 IEC266lite를 적용하였으며, Zigbee 모듈은 DAQ와 통신을 LTE모뎀은 웹서버와 통신을 하는데 이용된다.



그림 153. IEC266lite 모듈

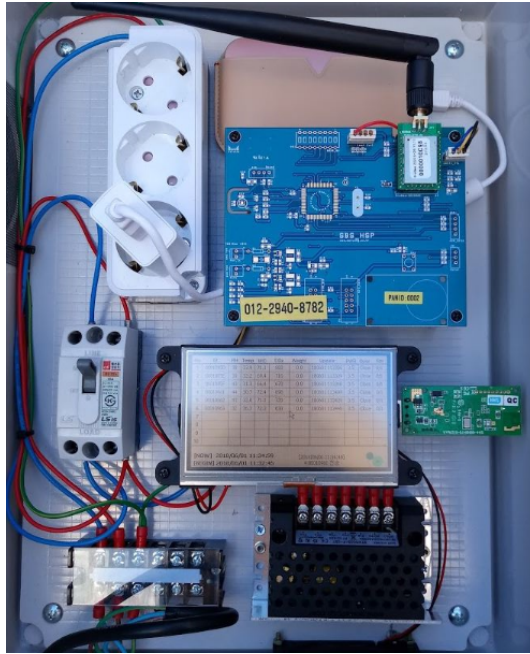
○ 결과물



그림 154. Gateway 외형, 내부 결과물

㉞ 센서 정보 수집 모듈(DAQ)과 정보 통합 및 전송 모듈(Gateway) 연동
DAQ와 Gateway를 연동하여, 온도, 습도, 소음, 이산화탄소 농도, 무게 값이 Gateway의

LCD 디스플레이에 표시되는지를 확인.



No	ID	RH	Temp	MC	CO ₂	Weight	Update	PWR	Door	Spr
1	00010709	68	27.3	60.0	650	0.0	180620 142940	3.5	Close	0/25
2	00013E51	69	31.3	71.8	2060	14.7	180620 142901	3.5	Close	0/23
3	00013E52	59	34.1	70.8	1710	17.9	180620 142920	3.5	Close	0/23
4	00013E53	64	32.8	71.8	2910	15.5	180620 142941	3.5	Close	0/25
5	00013E54	69	28.6	66.3	1470	14.6	180620 143001	3.5	Close	0/19
6	00013E55	67	32.2	71.3	1740	15.4	180620 143021	3.5	Close	0/22
7										
8										
9										
10										

[NOW] 2018/06/20 14:30:42 [2018/06/20 14:30:21]
 [BEGIN] 2018/06/20 13:29:54 3:00013E52 견송

그림 155 DAQ와 Gateway 연동 시험

㉞ 센서 디바이스의 설치

○ 제주대학교

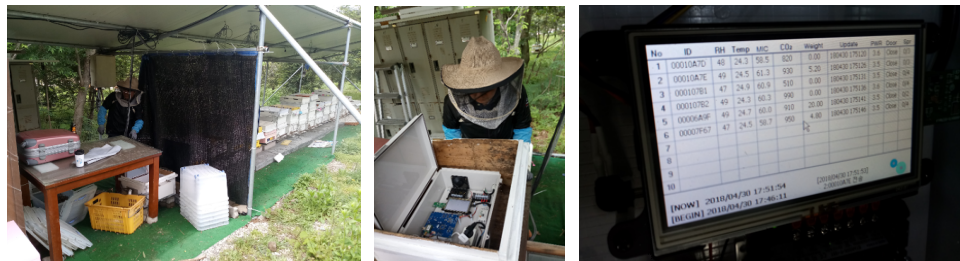


그림 156 제주대학교 설치

○ 경기대학교



그림 157 경기대학교 설치

○ 검역본부



그림 158 검역본부 설치

○ 보령 사육농가



그림 159 보령 설치

○ 화성 사육농가



그림 160 화성 설치

○ 춘천 사육농가



그림 161 춘천 설치

㉔ 별통 중량 측정 전용 저울 가공

2차년도에 저울은 미세한 바람에도 전,후,좌,우 흔들리는 불안정성을 보였다. 불안정성의 원인은 중앙 1점이 넓은 면적의 양봉상을 받치고 있기 때문이다. 따라서 안정성, 탈부착의 편의성 면에서 아래와 같은 구조로 저울을 가공하였다.

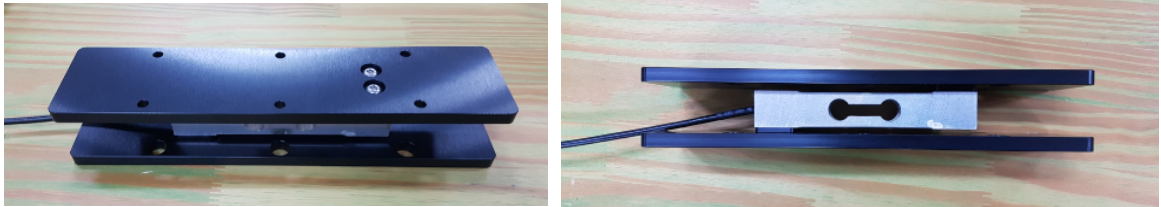


그림 162 전자 저울

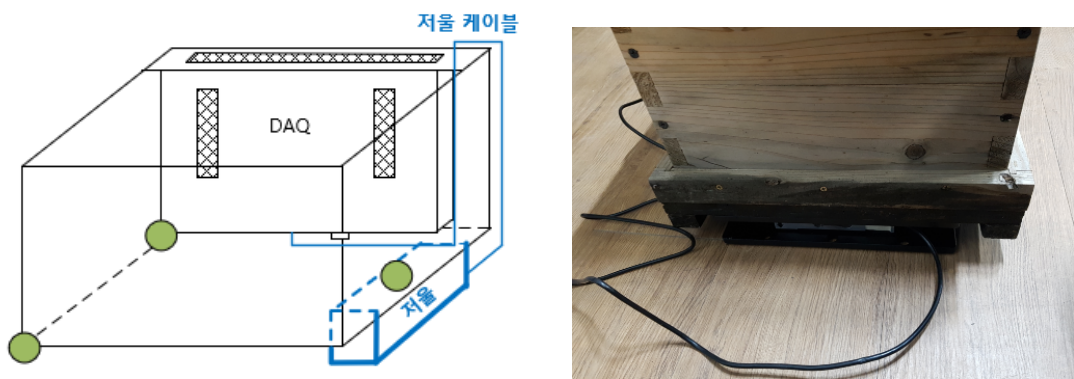


그림 163 전자 저울의 설치

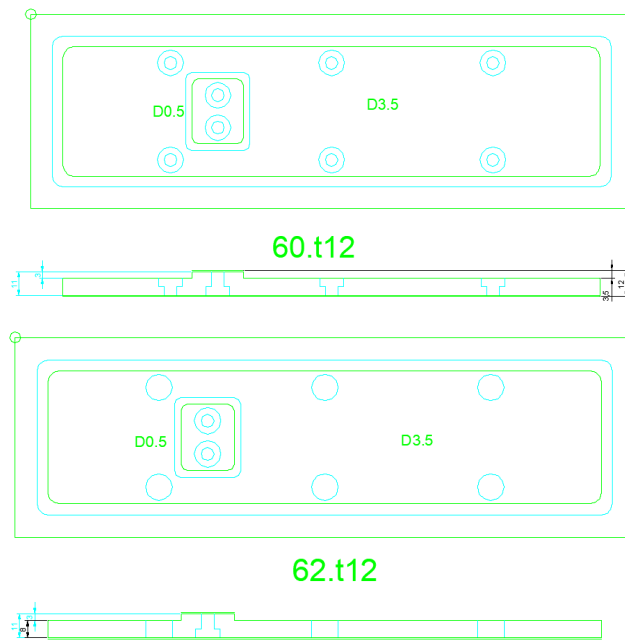


그림 164 저울 상판, 하판 설계도면

㉕ 저전력화 및 사용기간

Gateway는 상시 전원을 공급 받아 동작하며, DAQ는 배터리 전원을 이용해 동작한다.

따라서 DAQ 는 저전력 동작이 가능하도록 설계되어 장시간 센서 정보를 Gateway로 전송해주는 것이 바람직하다.

모든 기능을 구현 후, 멀티미터를 통해 3.5V, 55~60mA 로 210mW 정도의 전력이 소비됨을 확인하였다. 건전지 XL-205F 3개를 병렬로 연결할 경우, $(3.6V \times 15Ah) \times 3 = 162Wh$ 의 전력 공급이 가능하다. 따라서 $162Wh / 210mW =$ 약 32일, 즉 3개의 건전지를 이용해 32일 정도 구동 가능한 상태이다. 사용시간을 좀 더 개선할 목적으로 먼저 아래와 같이 보드를 구성하는 주요 부품들의 소비전력을 표로 정리하였다.

부품	소비전력 (부품의 데이터시트 참고)
AVR	약 18mW
HX711 (Loadcell AMP)	약 4.5mW
Zigbee	연속 통신시 135mW (통신 안할시 37mW) (슬립/파워다운/리셋 0.006mW)
Humidity-Temp Sensor	약 1.05mW
MAX9814 (Sound Sensor)	약 10mW
CO2 Sensor	약 3.5mW
PW step down converter	$210mW \times (1-0.9) = 21mW$

표 26 주요 부품들의 소비전력

주요부품만을 고려하였을 때, 약 193mW 정도로 예상되었으나, 실제 측정시 210mW 정도의 소비전력이었다. 17mW 정도의 차이는 그 외의 부품 및 예상 오차일 것으로 보이며, 저전력화 관점에서 중요한 점은 Zigbee 모듈이 가장 큰 전력 소비 부품이라는 점이다. 따라서 Zigbee 모듈을 실제 통신이 이뤄지지 않는 휴지 기간 동안에는 슬립/파워다운/리셋 상태로 전환 되도록 하는 제어가 필요하며, 이렇게 저전력화 하는 경우 아래와 같은 사용시간을 기대할 수 있다.

부품	소비전력 (부품의 데이터시트 참고, 실제 측정)
AVR	약 18mW
HX711 (Loadcell AMP)	약 4.5mW -> 약 1.5mW
Zigbee	연속 통신시 135mW 슬립/파워다운/리셋 0.006mW
Humidity-Temp Sensor	약 1.05mW
MAX9814 (Sound Sensor)	약 10mW
CO2 Sensor	약 3.5mW
PW step down converter	$60mW \times (1-0.9) = 6mW$
etc (주변 부품)	17mW

표 27 저전력화 하는 경우 소비전력

무게센서의 증폭기와 Zigbee 모듈을 파워다운 모드로 적용했을 경우 기존 210mW에서 57.056mW 로 152.944mW 가 절약됨을 확인할 수 있었다.

Zigbee 모듈을 계속 파워다운 모드로 적용시 Gateway와 통신이 불가능하므로, 아래와 같이 통신시간과 휴지시간을 적절히 분배하여 동작하도록 구현하였으며, 이와 같이 동작 시 예상되는 건전지 사용기간은 아래와 같다.

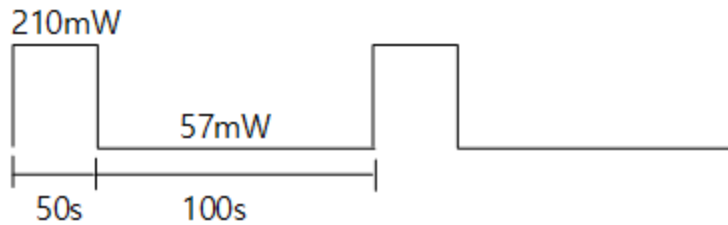


그림 165 Zigbee 모듈 연속통신 시, 파워다운 모드 시 소비전력 수치

$$(50/150) \times 210\text{mW} + (100/150) \times 57\text{mW} = 108\text{mW}$$

$$162\text{Wh} / 108\text{mW} = \text{약 } 62.5\text{일}$$

XL-205F 3개를 병렬로 연결할 경우, 약 두 달 동안 사용이 가능할 것으로 예상되었으며, 실제 필드에 적용결과 두 달 정도 동작하는 것으로 확인되었다.

㉔ 구버전과 신버전 보드의 온도 차이 규명

구버전과 신버전의 보드는 온도 값에서 아래와 같은 수치의 차이가 있었다.

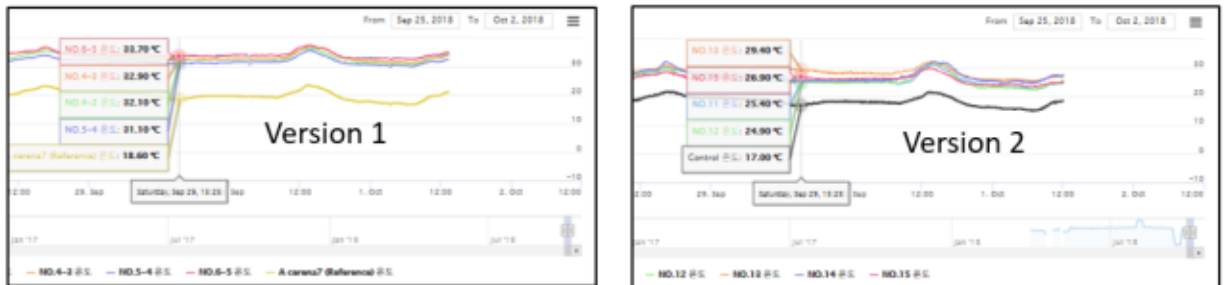


그림 166 구버전과 신버전의 온도 차이 그래프

Reference를 제외한 Version1, 2 는 약 5도 정도의 온도 차이를 보였다. 같은 센서를 사용함에도 불구하고 차이가 나는 원인을 분석한 결과 다음과 같았다. 구버전의 보드는 12V 전압의 전원을 받아 5V, 3.3V 로 낮춰 구동을 하도록 되어있다. 이 과정에서 보드에 발열이 있으며, 이런 현상이 온도 센서에 영향을 주어 차이가 발생할 수 있을 것으로 보인다. 신버전의 보드에서는 이런 발열 문제를 줄이고자 입력전압을 3.5V~4.5V 범위로 낮췄으며, 온도 센서를 보드의 외곽 쪽에 배치하여, 보드의 열이 온도 센서로 가능한 적게 전달 되도록 설계되었다.



온도 센서

- PCB 를 통해 열전달 되는 부분이 구조적으로 개선 됨
- 저전력 동작을 고려함으로 자체 발열량 상대적으로 줄어듬

그림 167 신버전의 온도 정확도 개선 구조

㉞ 온도 측정값의 정밀도 및 선형성 확인

일정한 온도를 유지하기 위해 Drying Oven 을 준비하였으며. Version1, Version2 그리고 비교 확인용 온도센서로 Multimeter, TX4S 를 Drying Oven 에 넣고 시험하였다.



그림 168 온도 측정값의 정밀도 및 선형성 확인 환경

Drying Oven 의 온도 제어 시간 등을 고려하여, 온도 설정 후 20~30분 뒤에 측정하였으며 결과를 아래와 같이 표로 나타내었다.

Version1 DAQ	Version2 DAQ	Multimeter	TX4S
27.8	26.9	26.8	26.9
30.8	29.2	29.3	29.3
33.3	32.0	31.9	31.8
35.9	34.5	34.5	34.6
38.9	37.3	37.0	37.2
41.6	40.1	39.8	39.9
44.4	42.9	42.5	42.6

표 28 온도 측정값의 정밀도 확인 과정

(단위 : ° C)

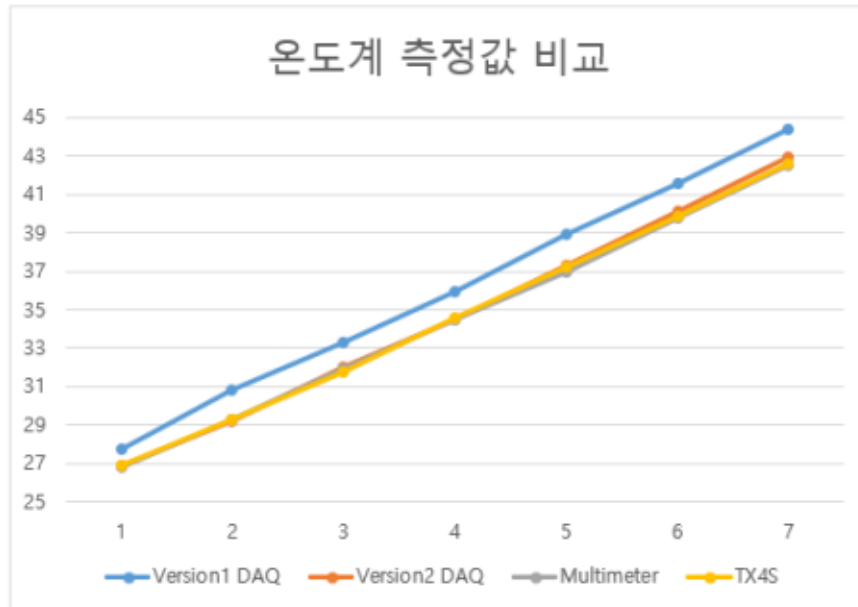


그림 169 온도 측정값 비교 그래프

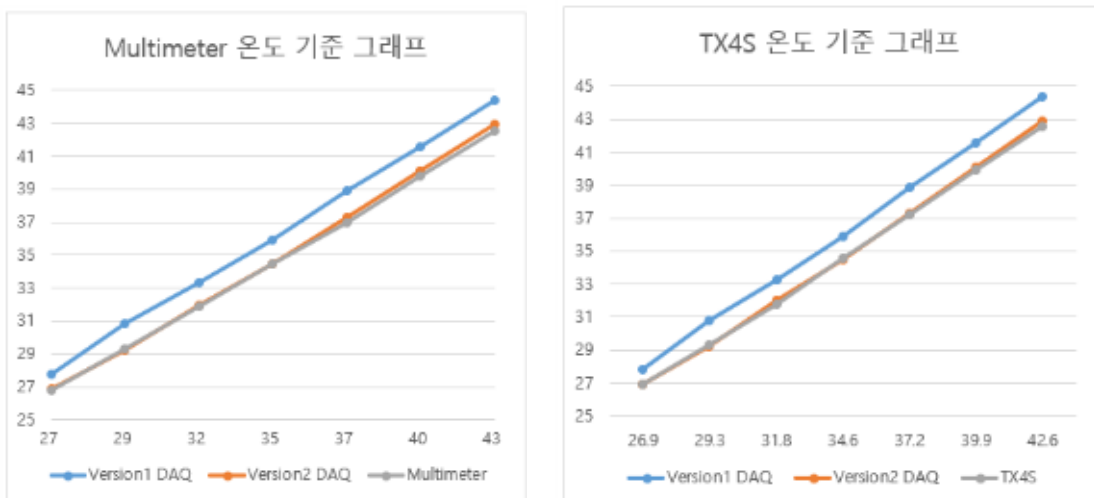


그림 171 온도 측정값의 선형성 확인 그래프

위 측정 결과를 토대로 각각의 온도 차이 값을 구해보면, V1과 Multimeter / TX4S 와는 1.6도 내의 차이가 있었으며, V2와 Multimeter / TX4S 와는 0.2도 내의 차이가 있는 것으로 확인 되었다.

	Multimeter-V1	Multimeter-V2	TX4S - V1	TX4S - V2
	-1.0	-0.1	-0.9	0.0
	-1.5	0.1	-1.5	0.1
	-1.4	-0.1	-1.5	-0.2
	-1.4	0.0	-1.3	0.1
	-1.9	-0.3	-1.7	-0.1
	-1.8	-0.3	-1.7	-0.2
	-1.9	-0.4	-1.8	-0.3

평균	-1.557142857	-0.157142857	-1.485714286	-0.085714286
----	--------------	--------------	--------------	--------------

표 29 온도측정 값 비교 표

SHT30-ARP 온습도 센서는 데이터시트에 +/-0.3 도의 accuracy 를 갖고 있다고 나오는데, 위 시험을 통해 확인해 본 결과 Version2의 온도센서는 해당 오차 안에 들어가는 것으로 보인다.

㉔ 소음 센서 테스트

소음 센서의 동작을 확인하기 위해 파형 발생기와 스피커를 이용해 각 주파수별 소음 입력을 넣어주었다.

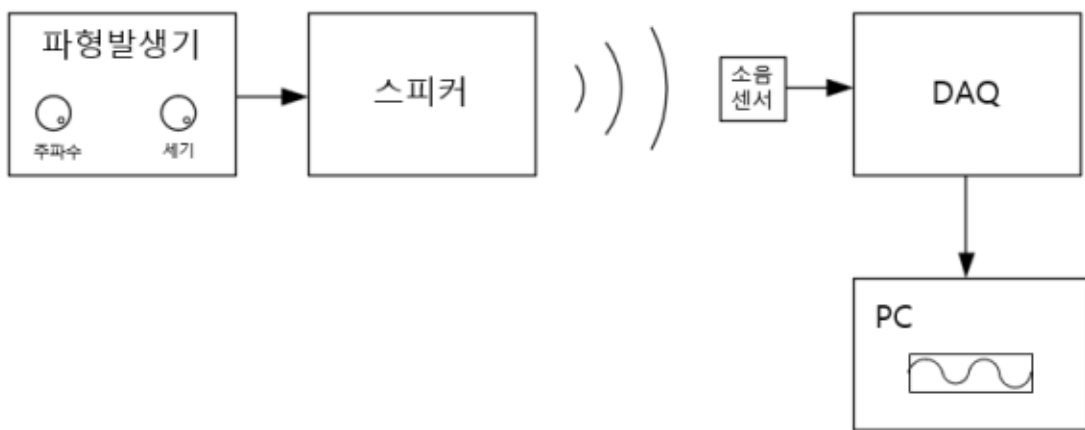


그림 172 소음 센서 테스트 환경 블록도



그림 174 소음 테스트 환경

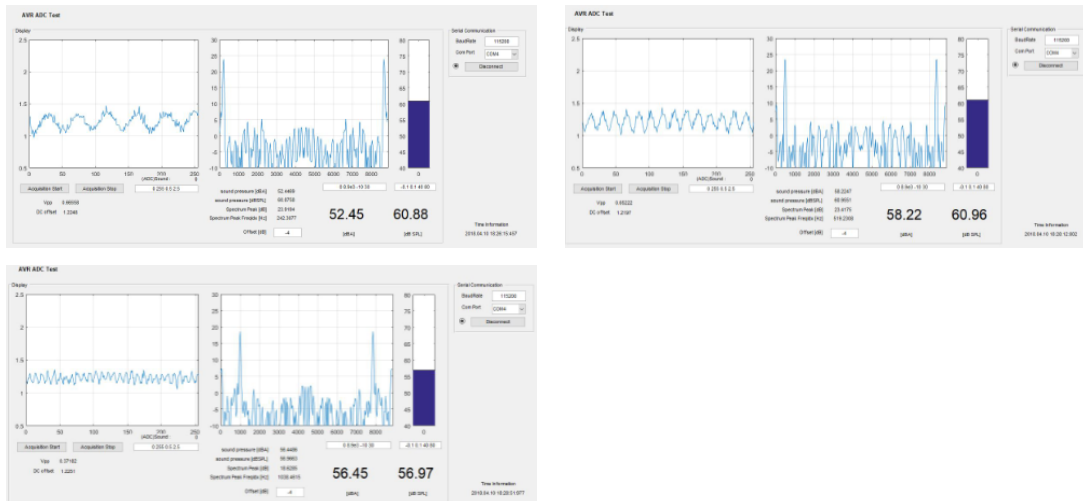


그림 175 소리의 세기, 주파수를 변경하며 테스트

200Hz에서 세기를 변화시킬 때, 소음 측정기와 DAQ의 소음 값을 비교해본 결과 아래와 같았다. 붉은 선은 소음 측정기 결과이며 단위는 dBA, 파란 선은 DAQ 측정값이며 단위는 dBA 이다. 가로축은 시행 인덱스이며, 세로축은 dBA 단위의 소음 크기를 나타낸다.

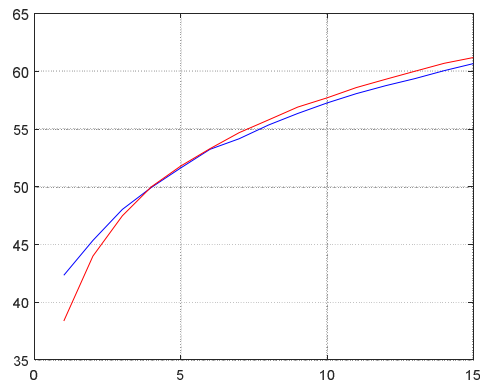


그림 176 소음 측정기와 DAQ 소음 측정값의 비교

㉠ 이산화탄소 센서에 대한 보정

현장에서 들어오는 Data확인시 CO2 센서 값에 대한 랜덤하게 이상 현상 보고가 있어, 해당 공급사 등을 통해 원인 파악을 진행하였다.

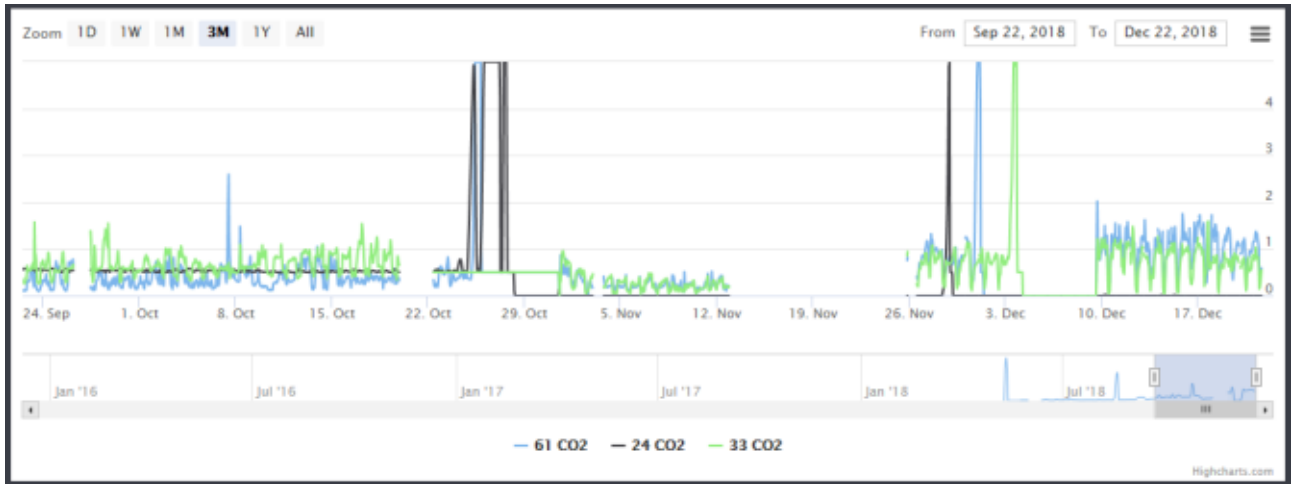


그림 177 이산화탄소 센서의 이상현상

이상현상으로는 CO2 센서 값이 일반적으로 벌통 내부에서 0.5~3% 정도의 값이 나와 야 하나 사용 환경에 따라 0%로 떨어져서 외부 변화에 영향을 받지 않는 경우와 센서 값의 최대치인 5%가 출력되는 현상이 보고 되었다.

Specifications

General Performance	
Warm-up Time	< 10s
Operating Conditions	0°C to 50°C (Standard) -25°C to 55°C (Extended range) 0 to 95% RH, non-condensing
Recommended Storage	-30°C to +70°C

그림 178 이산화탄소 센서의 스펙과 작동 온습도 범위

해당 센서의 사용 온도와 습도의 범위에 따라 현장의 온도는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단하여 습도에 대해서 내부적으로 시험을 진행하였다. 외부 습도에 대한 CO2 센서의 값의 변화를 관찰하였으나 미미하게 변화는 있으나 전체 해석에 영향을 줄 정도는 아닌 것으로 판단되었다. 또한 현장에서 문제있는 센서는 안정적인 전원공급 및 보정 작업에 의하여 이후 정상동작을 확인 하였다. 이에 따라 저전력 모드 사용에 따른 배터리 이상동작이 의심되어 출력전력이 충분한 보조 배터리 형태로 변경하여 안정적인 전원 공급을 유지하였다. 또한 정확한 배터리 확인을 위해 잔량 전압을 표시하여 배터리 교체에 대한 정보를 확인할수 있게 하였다.

㉔ 외부 배터리 수납함

○ 외부 배터리 수납함의 필요성

동면 기간 중에는 별통을 열 수 없기에 외부에 배터리를 보관하여, 배터리 방전 시 별통을 열지 않고도 외부에서 배터리를 분리하여 충전 교체하는 구조가 필요하다.



그림 179 외부 배터리 수납함 설치 예정

○ 외부 배터리 수납함 내부 구조 및 센서 디바이스와의 연결

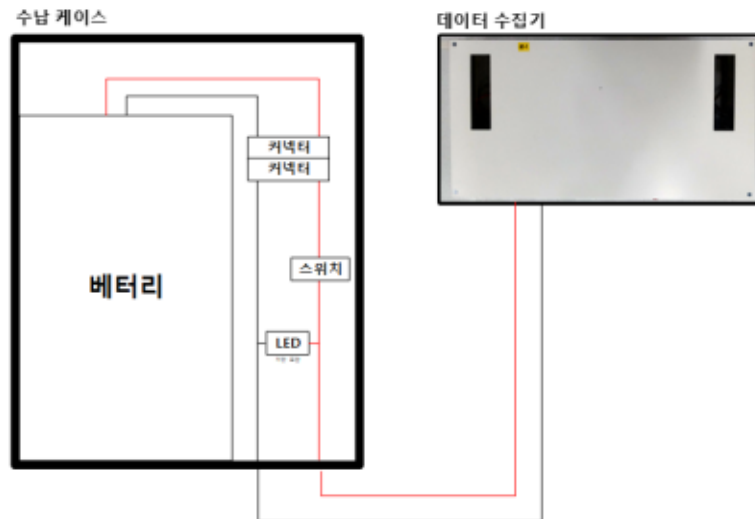


그림 180 외부 배터리 수납함의 내부 구조

배터리, 커넥터, 스위치, LED로 구성된다. 커넥터는 배터리를 분리하여 충전할 경우 편의성을 위해 필요하며, 스위치는 데이터 수집기의 전원 ON/OFF를 제어하는데 사용된다. 그리고 LED는 현재 동작 중인지를 확인하는 용도로 쓰인다.

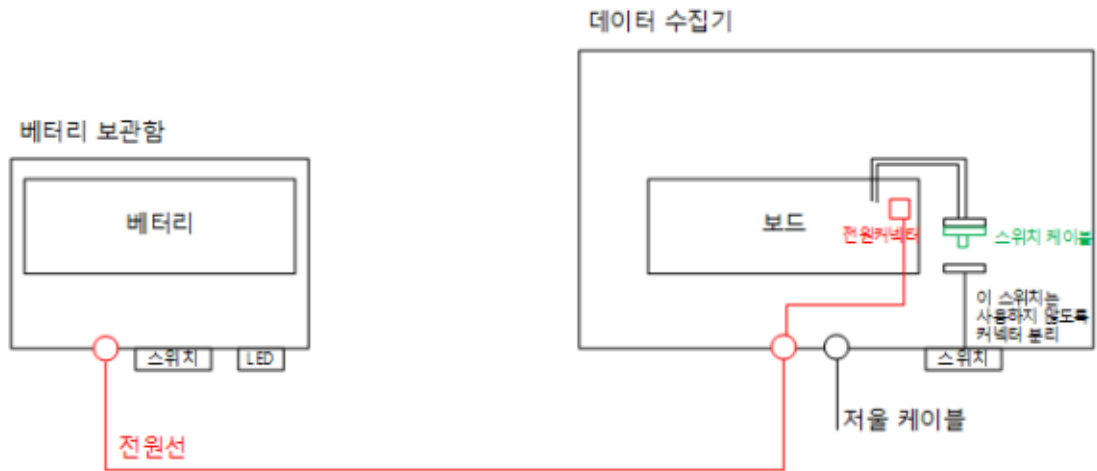


그림 181 외부 배터리 수납함과 센서 디바이스 연결

위와 같은 형태로 배터리와 센서 디바이스가 연결되어진다.

○ 외부 배터리 수납함의 제작

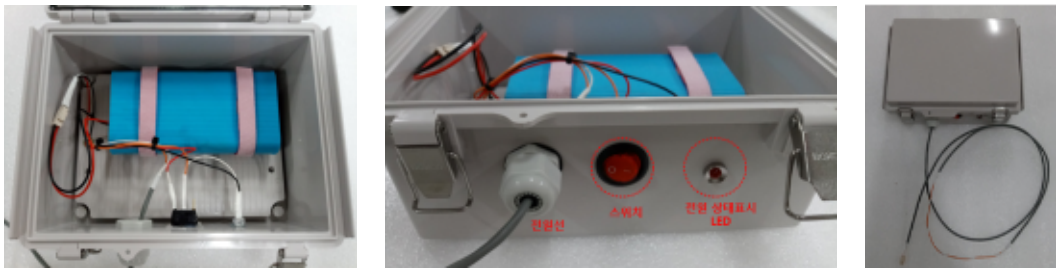


그림 184 외부 배터리 수납함 제작

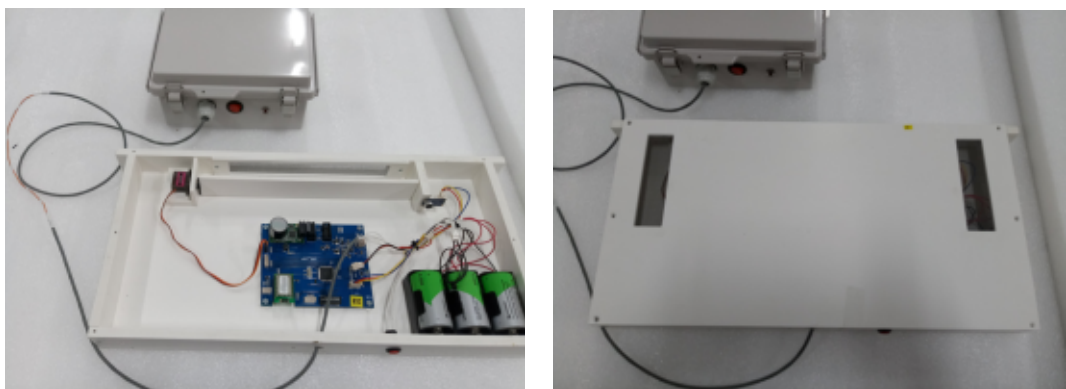


그림 186 외부 배터리와 센서 디바이스의 연결

○ 외부 배터리 수납함 설치



그림 187 외부 배터리 수납함 설치

라. IoT 기반 스마트양봉시스템의 국가방역체계 적용 및 검역본부 실증 지원 시스템 구축

1) 검역본부 실증 지원 시스템 구축

(1) 주요 목표

- 검역본부의 양봉 사육농가 실증 적용을 위한 지원 시스템을 구축
- 개발된 스마트 꿀벌사육상을 농가에 설치하고, 전체 실증 상황을 모니터링할 수 있도록 실증 지원 시스템을 구축
- 실증 지원 시스템은 개별 농가가 아닌 검역본부의 전문가 그룹이 활용할 수 있는 별도의 시스템으로 구축하고, 이를 통해 검역본부의 실 운용 시 전국적인 감시 및 조기대응이 가능한 수준의 시스템 기능과 성능을 확보할 수 있도록 함.

(2) 연구수행 내역

㉑ 전체 데이터의 규모

2019년 01월 현재 스마트 양봉 시스템에 수집되는 데이터의 규모는 아래와 같다.

항목	규모
설치지역	9개 양봉장 - 검역본부-김천 - 제주대학교 - 경기대학교 - 제주대학교-V2 - 검역본부-춘천 - 검역본부-김천-V2 - 검역본부-화성 - 경기대학교-V2 - 검역본부-보령
스마트 사육상 수	버전 1 : 20 버전 2 : 36
일일 센서데이터 수신량	수신 데이터 : 약 14만건 센서별 데이터 : 약 85만건
전체 데이터 수	수신 데이터 : 8,135,427 건 센서별 데이터 : 112,193,798 건

표 30 2019년 01월 현재 스마트 양봉 시스템에 수집되는 데이터의 규모

㉒ 검역본부용 모니터링 시스템 구축

위와 같이 전국단위에서 수집되는 대규모 데이터를 조회하고 사육농가별 이상징후를 파악할 수 있는 검역본부용 시스템을 구축하였다. 시스템의 주요 기능은 아래와 같다.

- 전체 사육상 모니터링 : 지도기반 서비스를 통해 현재 설치되어 있는 스마트 사육농가의 위치와 현황을 파악할 수 있는 기능을 제공한다.

< IoT 모니터링과 국가방역체계 연계방안 >



그림 188 IoT 모니터링 시스템과 국가방역체계 연계방안

- 질병의심 경고 : 생육환경 분석에 적용된 알고리즘을 바탕으로 임계영역을 초과하는 데이터가 수신되면 해당 경고 메시지와 함께 문자메시지를 전송한다.
- 생육인자별 비교데이터 제공 : 그래프 기반의 생육인자별 비교분석 데이터 시각화 기능을 제공한다.

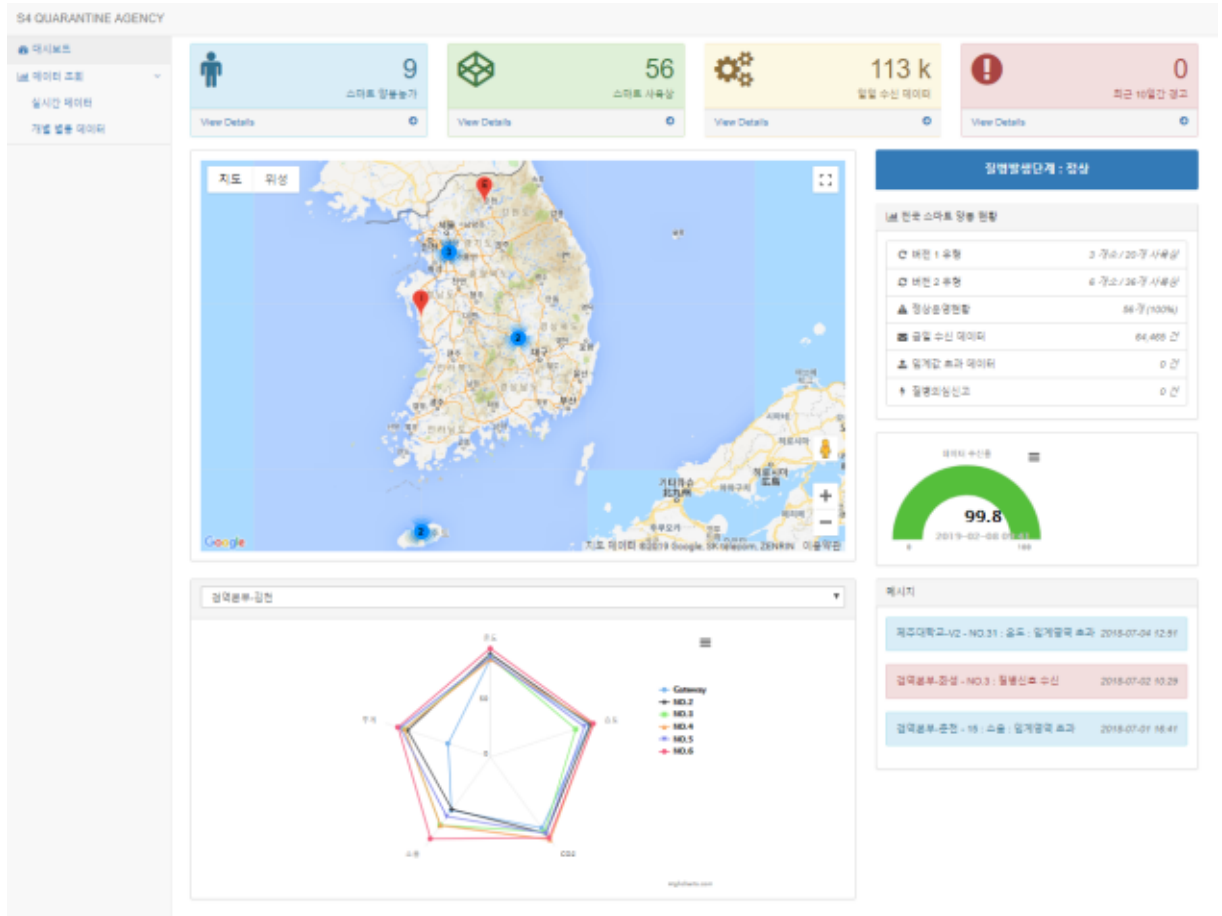


그림 189 검역본부용 모니터링 시스템

본 시스템을 활용하여 양봉농가에서 실시간으로 모니터링하여 이상징후가 발견되면, 사물인터넷을 이용하여 각 별통에 우선 긴급조치함. 이상징후의 상세한 원인을 파악하기 위해 현장에 가서 외검과 내검을 실시하고, 본 사항을 본 시스템과 연계된 모바일 국가가축방역시스템상 (m.kahis.go.kr)의 꿀벌질병상담관리를 통하여 신속진단처방을 받게됨. 따라서, 본 시스템의 적용으로 질병 조기검출 및 피해확산 방지를 조속히 취할 수 있게됨.

2). 농장실증시험

(1) 농장선정

- 개발된 SBS 스마트양봉시스템을 기후와 환경을 달리하여 경기, 강원, 충남, 경북 등 4개도의 농장에 분포시켜 설치 운영하였음
 - 경기도 화성 (최OO)
 - 강원도 춘천 (이OO)
 - 충청남도 보령 (김OO),
 - 경상북도 김천 (전OO)

(2) 농장내 SBS (Smart beekeeping system) 시스템 설치

- 각 농장당 5개의 IoT 패널을 벌통내에 설치하여 온습도, 무게, CO₂, 소음 등 5개 생육환경인자를 모니터링할 수 있도록 하였음

(3) 방역관리 활용성

- 첫 번째, 본 SBS 시스템은 봉군증식에 가장 중요한 분봉열 관리를 용이하게 하는 특장점을 발견할 수 있었으며, 적용농가 공히 그 장점을 인정하였음. 단, 사용자는 스마트폰 또는 PC를 이용한 프로그램을 운용할 정도의 기초지식이 있어야 원활하게 활용할 수 있을 것으로 사료됨
- 두 번째, 꿀 유입량을 무게 측정데이터를 실시간으로 분석함으로써 정밀하게 채밀시기를 결정할 수 있었다는 농장주의 평가가 있었음
- 세 번째, 특히 습도 인자의 측정이 가능함으로써 다습에 의해 유발될 수 있는 곰팡이성 질병 (백목병, 석고병, 노제마병) 등의 발병을 방지할 수 있는 조치를 적절히 할 수 있는 정보를 습득함으로써 곰팡이성 질병의 방역관리에 활용도가 높을 것으로 예상된다는 평가가 있었음
- 네 번째, 벌통 내검이 곤란한 상황 - 우기, 월동기 등 - 에는 더욱 IoT 센서링 시스템에서의 생육환경인자 모니터링 결과가 더욱 유용할 것으로 기대됨
- 다섯 번째, 기후와 환경이 각기 다른 지역별로 위치하고 있는 봉장의 생육환경인자를 실시간 모니터링하고 빅데이터화할 수 있다는 점이 향후 활용도를 제고하는데 유용할 것임

(4) 현 SBS 향후 개선점

- 첫 번째, IoT 센서주변의 꿀벌들에서 약간의 산란저하가 관찰되어 이에 대한 원인분석과 개선이 있다면 보다 완벽한 시스템이 될 것으로 사료됨
- 두 번째, IoT 센서 설치벌통의 꿀벌들이 비설치 벌통보다 약간 산만하고 불안한 행동을 일부 보여 이에 대한 원인 또한 개선되어야 할 것으로 사료됨

현재 국가방역체계는 현장에서 발생하는 꿀벌 폐사에 대한 병성감정에 국한되고 있으며, 능동적인 모니터링은 봄철 전국에 한정된 농가를 선정하여 운영되고 있는 실정임. 따라서, 전국에 대표성있는 양봉장을 선정하여 본 시스템을 적용할 경우, 능동적으로 국내 양봉장의 사육환경을 실시간 모니터링할 수 있음. 한반도 온난화, 미세먼지 급증 등 양봉장 환경변화를 모니터링할 수 있는 센서를 추가하여 위험요인에 대한 국내 변화량을 지속적으로 데이터베이스화하여 향후 4차산업의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대됨. 또한, 중앙모니터링 체계가 갖추어진다면, 이상징후를 보일 수 있는 소인을 조기에 발견하게 되고 그에 적절한 조치를 적시에 취할 수 있어 경제적피해를 최소화하거나 예방할 수 있는 시스템으로 활용이 가능할 것임.

3). 가축방역통합관리시스템과 SBS 연계를 통한 국가방역관리 활용도 제고

(1) 링크방안 1

○ ICT 쌍방향 신속진단처방시스템에 SBS 인터페이스를 링크하도록 관련 담당부서 (농림축산검역본부 방역감시과 전산실) 담당자와 협의를 하였으나, 보안상 곤란하다는 판단을 받았음. 향후 보안문제가 해결된다면, 링크방안 1을 재시도할 계획으로 있음

(2) 링크방안 2

○SBS 인터페이스내에 mKAHIS (m.kahis.go.kr)를 링크하여 IoT 센서모니터링시 이상범위를 보이는 별통에 대해서는 직접 관찰하고 질병 의심증상 발견시 ICT 쌍방향 신속진단처방시스템인 mKAHIS과 연계되는 방안으로서 링크시 전혀 문제가 없었음

(3) 현 mKAHIS-SBS 링크 운영체계의 장점 및 문제점

○따라서, 본 연구에서 개발한 IoT 기반 SBS 시스템과 꿀벌질병 모바일 국가방역시스템인 mKAHIS가 연계되어 시범운영되고 있으며, 향후 꿀벌질병으로 인한 이상반응뿐만 아니라, 분봉열 탐지, 유밀량 측정, 고온다습 감지 등의 위생적이고 과학적인 사양관리에도 많은 도움을 줄 수 있는 시스템이었음

○SBS 인터페이스와 모바일 국가방역관리시스템과의 연계성을 매우 좋으나, 하드웨어인 IoT 센서를 소비자(농장주)의 기호에 맞게 다양화할 필요가 있으며, 무엇보다 소형화, 경량화, 저비용화 등을 해결한다면 사용농가가 더욱 편리하고 유용하게 활용할 수 있을 것으로 사료됨

○봉장 모니터링 결과를 중앙통제센터에서 실시하며, 이상징후 모니터링결과는 인터페이스상에 특별히 잘 관찰될 수 있도록 별도의 표시 (예. 붉은색)로 구분함. 이상징후를 보이는 봉장은 자동 문자메세지등의 방법으로 즉각 경보조치를 보냄. 양봉농가에서는 현장확인하고 필요시 모바일 국가가축방역통합시스템 (m.kahis.go.kr)을 통해 질병상담관리와 실험실 검사를 의뢰함. 이를 통해 조기에 질병을 차단하는 효과를 볼 수 있음.

마. 유전자분석기술을 이용한 벌꿀품질관리법 개발

- 본 과제의 제안시 단일화 밀원 관리 등 벌꿀 품질 관리의 중요성을 제시하였으며 이에 대한 대책을 연구하기로 계획한 바 있음.
- 일부 해외 선진국의 경우 벌꿀 품질 관리를 통하여 특정 밀원 및 성분을 추출하는 단일화꿀 (unifloral honey, 單一花蜜) 개발을 통하여 양봉농가의 고부가가치 상품으로 개발되고 있으나, 국내양봉의 상황에서는 이것이 불가능한 것으로 인식되었다. 그 이유는
- 양봉에 필요한 상품화된 화분을 사용하기 때문에 유밀 시기의 화분과 구별되지 않는다는 점이다. 본 과제에서도 제 1차년도에 보고한 바, ‘화분의 형태학적인 동정’을 통하여 단일화 꿀의 동정을 시도하였으나 실용성이 없는 것으로 판단하였다.
- 특히, 인위적인 사양꿀의 혼입정도를 정확히 감별할 수 있는 방법이 제시되어있지 않기 때문에 야기되는 소비자의 불신이 양봉산업에서의 가장 큰 걸림돌이라 할 수 있다.
- 본 과제에서는, 사양꿀의 재료가 되는 사탕수수 및 사탕무우 유래의 설탕을 급이한 사양꿀에서 해당 식물의 특이 유전자를 검출하는 혁신적인 방식으로, 순수한 천연꿀과 사양꿀을 구별할 수 있는 방법을 제시하였다.

1). 사탕수수 설탕 및 사양꿀에서 사탕수수(*Saccharum officinarum*) 고유 유전자의 검출

벌꿀에 대한 국제 규격인 Codex 및 EU규정 등에서 벌꿀은 ‘꿀벌들이 꽃꿀, 수액 등 자연물을 채집하여 벌집에 저장한 벌집꿀과 이것에서 채밀한 벌꿀’로 정의하고 있으며(AOAC, 1995; EU Commission, 2015), 다른 물질이 첨가되지 않은 순수한 것을 말한다.

꿀벌에게 설탕을 먹여 제조한 사양꿀은 천연꿀과 구별이 쉽지 않고, 생산비용은 상대적으로 매우 저렴하여 상품으로써 천연꿀의 존립을 크게 위태롭게 하고 있을 뿐 아니라, 벌꿀 산업 전체에 대한 신뢰를 크게 떨어뜨리고 있다(Yoo *et al.*, 2010).

우리나라 식품공전에서는 천연꿀 뿐 아니라 설탕물을 주어 꿀벌이 수집한 사양꿀까지 벌꿀류에 포함하여 설정하고 있으며(MFDS, 2014), 이는 벌꿀 구성 성분의 이화학적 특성에 근거한 평가를 주로 하여 순수 벌꿀 여부의 확인에 어려움을 주고 있다. 사양꿀은 영양적인 면이나 가격적 면에서 천연꿀과 크게 차이나지만 외관상 구분이 잘 되지 않기에 분별할 수 있는 방법이 필요한 실정이다(Kim *et al.*, 2017).

국내에서도 사탕수수 설탕을 꿀벌에게 먹여 제조된 사양꿀이 공식적으로 판매되고 있으며, 사양꿀은 탄소동위원소비를 측정하는 EA-IRMS (Elemental Analysis-Isotope Ratio Mass

Spectrometry)법에 의해 천연꿀과 쉽게 구분될 수 있으나(Padovan *et al.*, 2003), 사탕꿀과 천연꿀이 혼합된 불량꿀의 경우, 계속적인 논란을 야기하고 있다. 또한 탄소동위원소비 분석법은 고가의 기기가 요구되는 점, 검출에 걸리는 시간, 그리고 사탕무 같은 C4 식물군의 당류 구분이 어렵다는 점 등의 문제점이 있어, 사탕꿀의 판별에 보다 확실한 대안이 요구되고 있다(Kim *et al.*, 2017).

근래까지, 고도로 정제된 백색 설탕에 잔류된 사탕수수 유전자는 있을 수 없으며, 더욱이 이 설탕물로 제조한 사탕꿀에는 사탕수수 유전자가 잔류될 수 없다는 통설은, 사탕꿀에 대한 유전자검사를 시도조차 어렵게 하여 왔다.

일반적으로 설탕의 정제는 1 ppb (part per billion) 수준으로 수행되고 있으며(CODEX, 2001), ppb의 수준이란 설탕 1 gram 당 1 ng의 양을 의미한다. 한편, 1ng의 DNA는 3kb DNA가 10^8 개(분자)가 존재하는 양으로, 현재 진보된 PCR 기술로는 10^1 분자의 DNA도 정량 검출할 수 있기에(김 등, 2017), 초극미량의 사탕수수 유전자가 설탕에 잔류된다면 이를 특이 PCR로 증폭하는 것은 능히 가능하리라 사료할 수 있었다.

한편, 당밀을 꿀벌의 사료로 사용한 생산된 벌꿀에서 당밀 고유 유전자를 PCR로 증폭시켜 이를 입증한 바 있었으며(Sobrino-Gregorio *et al.*, 2018), 설탕처럼 고도의 정제를 거치지 않았다 하더라도 밀원의 유전자가 생산된 벌꿀에서 검출되는 것은, 화분의 혼입을 제외하고도 충분히 가능성을 보여 주었다(Laube *et al.*, 2010).

사탕꿀의 제조에서 가장 쉽게 사용되는 당원은 사탕수수에서 생산된 설탕이라 할 것이다. 벌꿀에서 사탕수수 고유의 유전자 발견된다면, 이는 부주의하게 월동사양시킨 사탕꿀이 천연벌꿀과 혼합되는 경우와 의도적으로 설탕물을 사양시킨 사탕꿀이라 할 것이다.

본 연구는, 고도로 정제된 설탕과 그 설탕으로 만들어진 사탕꿀에 잔류할 수 있는 초미량의 사탕수수 고유 유전자의 존재를 입증하고, 더 나아가, 이 고유 유전자를 이용한 유전자 검사법을 새로운 사탕꿀판별법으로 제시하고자 수행하였다.

목적 유전자로는 사탕수수(Sugar Cane, *Saccharum officinarum*)의 엽록체에 위치한 maturase K (*matK*, Genbank accession No. LN849913) 유전자를 사용하였다. 사탕수수 고유의 유전자 (*matK*)는 사탕수수의 씨(재래종 Sugar cane seeds; 판매처, 가람원; 2018.6)로부터 확보하였다. 사탕수수 씨에서 추출한 DNA로부터 *matK* 유전자를 증폭시켰으며, 이 사탕수수 고유의 유전자를 탑재한 재조합 DNA pCane-Cp-mat를 제작하여 염기서열을 결정한 후, 사탕수수 고유의 분자 표준물질로 사용하였다(표 31)

	primer	Sequence (5'->3')	PCR product	Reference
Molecular Cloning*	Cane-cp-F	GGATTAAATGGTTCGAACTG	698bp	This study
	Cane-cp-R	TTCCGAAAAAACCCCGGGTA		
Detection PCR	Cane-cp-dF	CACCGCAATTATTTTATTCTGAG	271bp	
	Cane-cp-dR	GAACATCTTGAATCCGGTATTC		
Nested PCR	Cane-cp-nF	CTAGGGCAACTATCTTGTC	137bp	
	Cane-cp-nR	GGATAGGGTATTTCTATATGTGATAG		

표 31 Specific primers information of *Saccharum officinarum* chloroplast gene

* Primers for molecular cloning of *Saccharum officinarum*-specific *matK* gene on chloroplast.

본 연구에서 사용된 설탕 시료의 DNA는, 시판되고 있는 사탕수수 설탕(백설탕 하얀설탕; 원당 100%; 가는 백설탕; 2018. 4. 13 제조)으로 제조한 80% (w/v) 용액에서, CTAB (hexadecyltrimethyl ammonium bromide)법 및 DNA-binding column (Qiagen, Germany)을 연결시켜 추출하였다. 당액 10 ml에서 20 µl의 DNA용액을 얻었으며, 이중 1 µl를 PCR에 주형으로 사용하였다. PCR 반응액은 1 µl primer 용액 (각 10 pmole), 1 µl DNA 주형, 5 µl 2x Rapi:Detect Master mix (Genesystem Co., Korea), 2 µl 증류수를 각각 혼합하여, 총 10 µl /reaction로 조성하였다. 초고속 PCR은 초기변성 95°C 30초 이후에, 변성 95°C, 3초 - 혼성 55°C, 3초 - 중합 72°C, 3초를 1 cycle로 하여, 총 50 cycle을 GENECHECKER™ (Genesystem Co., Korea)를 사용하여 수행하였다.

결과적으로, 설탕에 잔류된 사탕수수 고유 유전자는 본 초고속 PCR에서 성공적으로 증폭시킬 수 있었으며, 이는 사탕수수 고유의 유전자를 탑재한 재조합 DNA pCane-Cp-mat로 증폭된 PCR산물과 Tm값, PCR 산물의 크기에서 일치하여, 동일한 DNA서열이 증폭된 것으로 판정되었다(그림 189).

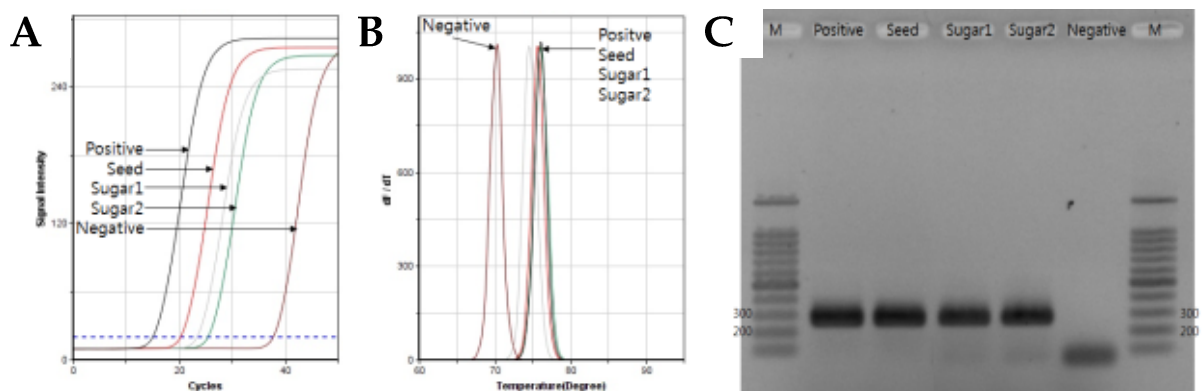


그림 189 Amplification of *S. officinarum*-specific *matK* gene with DNA from sugar

Panel A. Fluorescence graph of *S. officinarum*-specific PCRs with DNAs from sugar cane seed (Seed), pCane-Cp-mat (Positive), and samples 1, 2 (Sugar 1, 2) of sugar using primer, Cane-cp-dF/dR. **Panel B.** Melting temperature analysis. Tms of PCR products from sugar are estimated on 74.58 and 75.88°C, respectively. **Panel C.** Agarose gel electrophoresis of PCR products. Lane M is DNA size marker. Expected size of *S. officinarum*-specific PCR product is 271 bp-long.

사양꿀 시료로는 시판되고 있는 사양꿀(종근당건강, 사양벌꿀 90%, 잡화꿀 10%, 탄소동위원소 비 -12%)를 선택하였으며, 꿀 10ml를 사용하여 DNA의 추출, PCR의 조건 및 조성은 설탕시료의 경우와 동일하게 하였으며, 재조합 DNA pCane-Cp-mat을 사탕수수의 분자적 표준 물질로 사용하였다.

사양꿀에 잔류된 사탕수수 고유의 유전자도 본 초고속 PCR방법을 사용하여 성공적으로 증폭시킬 수 있었다. 이는 사탕수수 고유의 유전자를 탑재한 재조합 DNA pCane-Cp-mat로 증폭된 PCR산물과 Tm값 비교와 PCR 산물의 크기에서 일치하여, 동일한 DNA서열이 증폭된 것으로 판정되었다(그림 190).

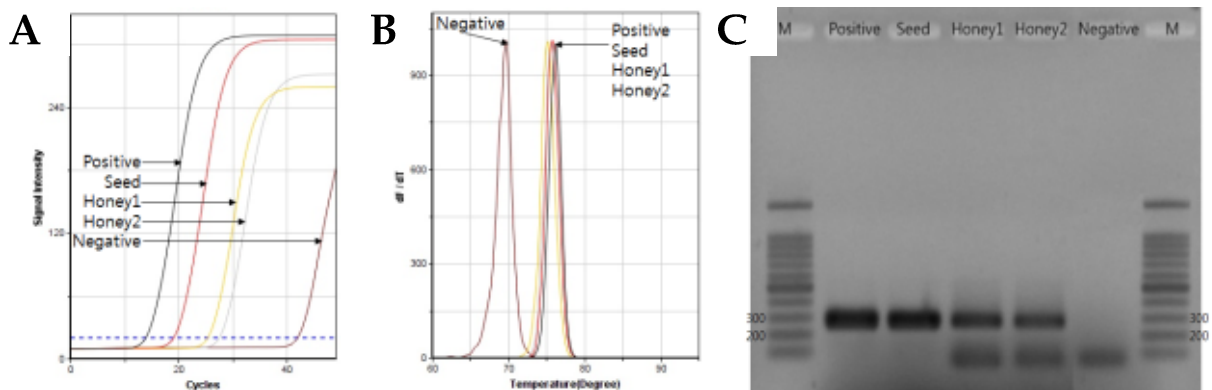


그림 190 Amplification of *S. officinarum*-specific *matK* gene with DNA from sugar-honey

Panel A. Fluorescence graph of *S. officinarum*-specific PCRs with DNAs from sugar cane seed (Seed), pCane-Cp-mat (Positive), and samples 1, 2 (Honey 1, 2) of sugar-honey using primer, Cane-cp-dF/dR. **Panel B.** Melting temperature analysis. Tms of PCR products from sugar-honey are estimated on 75.23 and 75.56°C, respectively. **Panel C.** Agarose gel electrophoresis of PCR products. Lane M is DNA size marker. Expected size of *S. officinarum*-specific PCR product is 271 bp-long.

사양꿀 및 설탕에서 증폭된 PCR산물이 사탕수수 고유의 *matK* 염기서열인지 재확인하기 위하여 nested primer를 사용한 재 PCR 증폭을 수행하였다. 즉, detection primer를 사용한 1차 PCR 산물들을 각기 증류수로 1000배 희석하여 nested PCR의 주형으로 사용하였으며, nested primer의 사용을 제외한 PCR 조성 및 조건은 1차 PCR과 동일하였다.

결과적으로, 사탕꿀과 설탕물에서 추출된 DNA를 *matK* 특이 PCR로 증폭시킨 1차 PCR 산물들은 각기 nested PCR을 통해 정확히 증폭되었으며, 분자적 표준물질로 사용한 pCane-Cp-mat의 PCR산물과 Tm값 및 DNA 크기에서 일치됨을 보여주어, 생산된 PCR산물들은 모두 사탕수수 고유의 *matK* 유전자임이 확인되었다(그림 191).

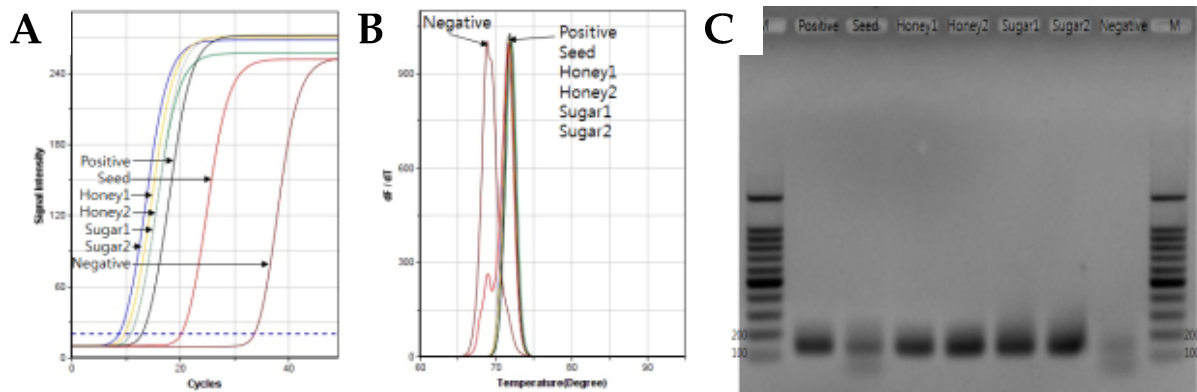


그림 191 Amplification of *S. officinarum*-specific gene with DNA from sugar-honey and sugar by using nested PCR

Panel A. Fluorescence graph of *S. officinarum*-specific nested PCRs with DNAs from sugar cane seed (Seed), pCane-Cp-mat (Positive), and first PCR product of sugar-honey (Honey 1, 2) and sugar (Sugar 1, 2) using primer, Cane-cp-nF/nR. **Panel B.** Melting temperature analysis. **Panel C.** Agarose gel electrophoresis of nested PCR products. Lane M is DNA size marker. Expected size of *S. officinarum*-specific nested PCR product is 137 bp-long.

사탕꿀 및 설탕에서 증폭된 PCR산물이 사탕수수 고유의 *matK* 염기서열을 가졌는지 보다 분명히 하기 위하여 각 PCR산물들에 대한 염기서열 결정을 수행하였다.

결정된 각 PCR산물들의 염기서열들은 정렬분석(alignment analysis)하였으며, 사탕수수, 사탕꿀, 설탕, 분자적 표준물질(pCane-Cp-mat)에서 증폭된 모든 PCR산물은, 의심의 여지없이 모두 사탕수수 고유의 *matK* 염기서열로 판정되었다(그림 192).

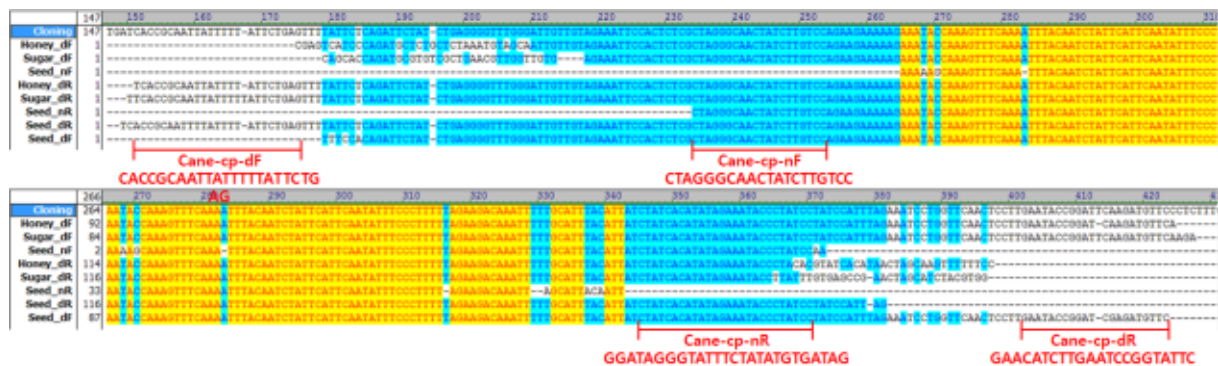


그림 192 Alignment for sequences of PCR products from each samples

DNA sequences of the PCR products from seed, sugar-honey and sugar were aligned. All sequences were identical with *matK* (Genbank accession No. LN849913).

한편, 본 연구에서 사용된 초고속 PCR은, PCR을 보다 빠르게 수행하고자 하는 특수한 PCR 방법이다. 그러므로 본 연구에서 제안하는 사탕수수 특이 *matK* PCR (*S. officinarum*-specific *matK* PCR)법이 현재 널리 사용되고 있는 일반 PCR기기에 바로 적용될 수 있는지 확인하고자, 일반 PCR기기를 사용한 사탕수수 특이 *matK* PCR을 수행하였다. 이를 위하여, 일반 PCR 기기인 Bioneer사의 Exicycler™ 96을 사용하였으며, PCR의 조성은 AccuPower® 2X GreenStar™ qPCR Master Mix (Bioneer, Korea)을 기본으로, 초고속 PCR의 경우와 동일한 primer들을 사용하였다(Table 1). 일반 PCR의 조건은 초기변성 95°C 5분 이후에, 변성 95°C, 30초 - 혼성 55°C, 30초 - 중합 72°C, 30초를 1 cycle로, 총 40 cycle을 수행하였다.

결과로서, 사탕수수의 씨, 사탕꿀, 설탕물에 추출된 DNA는 일반 PCR 조건에서도 성공적으로 증폭시킬 수 있었으며, 이는 사탕수수 고유의 유전자를 탑재한 재조합 DNA pCane-Cp-mat로 증폭된 PCR산물과 Tm값 및 PCR 산물의 크기에서 일치하여 동일한 DNA 서열이 증폭된 것으로 판정되었다. 이는 사탕수수 특이 *matK* PCR법이 어떤 기기를 사용하였을 때에도 설탕 및 사탕꿀에 잔류하는 사탕수수의 고유 유전자를 증폭시킬 수 있음을 의미하는 것이다(그림 193).

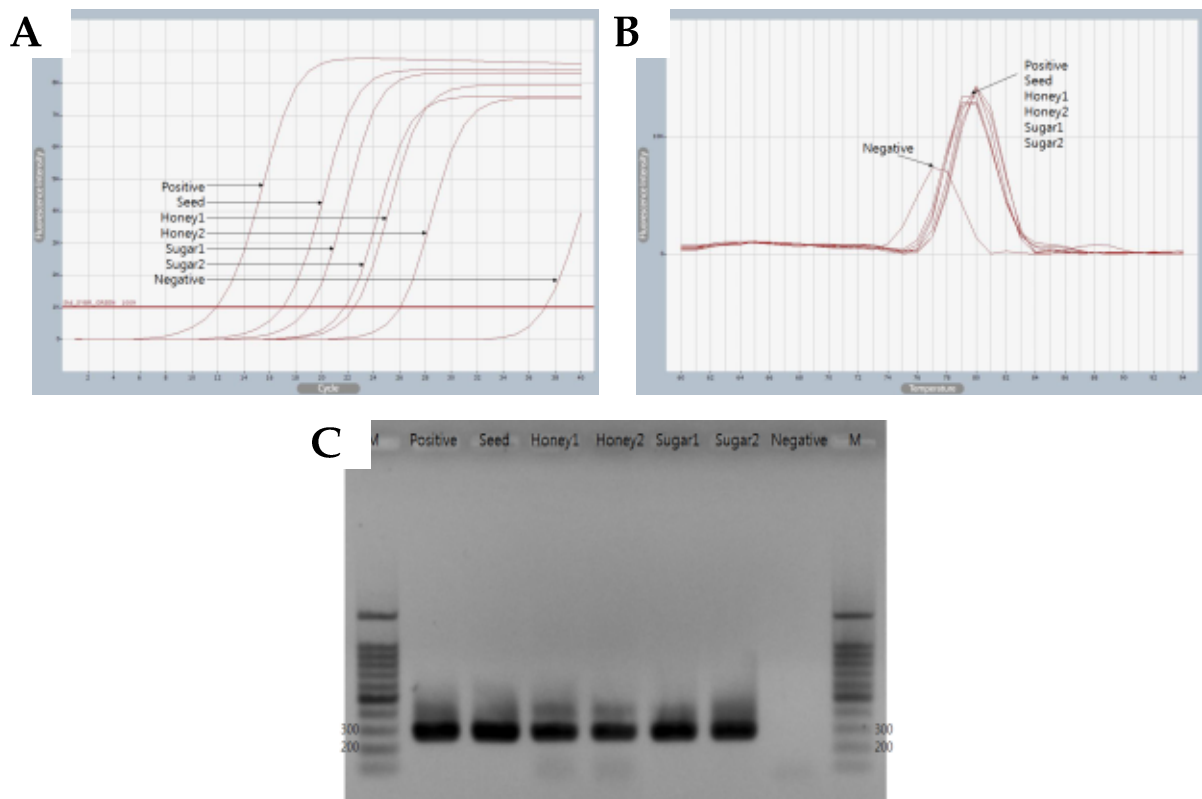


그림 193 Amplification of *S. officinarum*-specific *matK* gene with DNA from seed, sugar-honey and sugar using conventional PCR

Panel A. Fluorescence graph of *S. officinarum*-specific PCRs with DNAs from sugar cane seed (Seed), pCane-Cp-mat (Positive), sugar-honey (Honey 1, 2) and sugar (Sugar 1, 2) using primer, Cane-cp-dF/dR. **Panel B.** Melting temperature analysis. **Panel C.** Agarose gel electrophoresis of PCR products. Lane M is DNA size marker. Expected size of *S. officinarum*-specific PCR product is 271 bp-long.

결론적으로, 설탕사양으로 생산한 사양꿀에 잔류하는 사탕수수 고유의 유전자를 PCR 방법으로 검출할 수 있다는 사실을 본 연구는 입증할 수 있었다. 이는 우리가 아님바 최초의 보고이며, 이 사실은 사탕수수 설탕사양꿀 뿐 아니라, 옥수수 시럽(Corn syrup)등을 사용한 사양꿀 등에서 해당 고유 유전자를 검출할 수 있는 연구들로 파생될 수 있을 것이며, 천연벌꿀이 아닌 사양의 형태로 제조되는 모든 사양꿀의 밀원을 쉽게 판별할 수 있는 유전자 검사 방법으로 범위를 확장시킬 수 있을 것이다. 본 연구의 결과가 천연벌꿀의 위치를 공고히 하는데 널리 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

2) 사탕무(*Beta vulgaris*) 설탕으로 제조된 사양꿀에서 사탕무 고유 유전자의 검출

현재 사양꿀과 천연꿀을 판별하는 방법은 탄소동위원소비(C^{13}/C^{12})를 토대로 한 EA-IRMS (Elemental Analyser Isotope Ratio Mass Spectrometry)법과 LC-IRMS (Liquid Chromatography Isotope Ratio Mass Spectrometry)법이 주로 사용되고 있으며, 이외에 SCIRA (Stable Carbon Isotope Mass Spectrometry), FT-IR (reflectance-Fourier Transform Infrared spectroscopy), NMR spectroscopy, HPLC-ECD (High Performance Liquid Chromatography with Electrochemical Detection)법 등이 사양꿀 판별법으로 보고되었다 (Elflein and Raezke, 2008; Bertelli *et al.*, 2012; Rios-Corripio *et al.*, 2012; Sobrino-Gregorio *et al.*, 2017).

그러나, C4 식물군인 사탕수수(*Saccharum officinarum*)의 설탕으로 생산된 사양꿀의 경우, 탄소동위원소비, 즉 $d^{13}C$ 값이 -11% 수준으로 측정되어 천연꿀과의 구분에 수월한 반면, C3 식물군인 사탕무(*Beta vulgaris*)의 설탕으로 생산된 사양꿀의 경우, -22~-30%으로 측정되며 그 값이 천연꿀과 유사하기에, 탄소동위원소비를 사용한 방법에 의한 사탕무 사양꿀 판별은 불가능한 것으로 알려져 있다 (유 등, 2010).

지금까지 고도의 정제과정을 통해 생산된 설탕에서 사탕수수 또는 사탕무 고유 유전자의 검출은 가능하지 않은 것으로 생각되었고, 설탕을 사용하여 생산된 사양꿀에서 이들 고유 유전자의 검출은 더욱이 불가능한 것이라 생각되어 왔다.

그러나, 설탕을 사용한 사양꿀에서는 아니나, 일반 벌꿀에서 화분유전자를 이용하여 주 밀원 유전자를 검출하고자 하는 DNA 분리법과 PCR 증폭법은 이미 보고되었으며(Jain *et al.*,

2013), 같은 목적으로 rice syrup과 rice molasses를 사용한 사탕꿀에서 해당 식물체 유전자를 검출할 수 있는 PCR 방법이 제시된 바 있다(Sobrinó-Gregorio *et al.*, 2018).

한편, PCR (Polymerase Chain Reaction)법에 의한 DNA 증폭기술이 발전을 거듭함에 따라, 하나의 DNA 주형 분자만으로도 PCR에 의한 증폭이 가능함을 보여주고 있으며, 특히 초고속 PCR은 40회전 이상에서도 DNA 증폭이 계속되어 민감도를 보다 증대할 수 있었다(김 등, 2017). 이런 높은 민감성은 높은 수준의 정제를 거친 설탕에서도, 또한 이 설탕으로 제조한 사탕꿀에서도 사탕수수 또는 사탕무 고유 유전자가 초극미량이라도 잔류한다면, PCR을 통해 그 존재를 입증할 수 있을 것이라는 가능성을 높여 주었다.

따라서, 본 연구는 민감도가 높은 PCR법을 적용한다면, 고도로 정제된 설탕에서도, 그리고 이를 사용한 사탕꿀에서도 원 식물체의 고유 유전자 존재를 증명할 수 있을 것을 기대하게 되었으며, 현재 사용되고 있는 사탕꿀 판별법인 탄소 동위원소비 측정법을 무력하게 만드는 사탕무 사탕꿀을 대상으로 해당 사탕꿀에서의 사탕무 고유 유전자의 존재를 입증하고자 하였다.

공시재료는 경기대학교에서 2008년 9월 3일 제작된 사탕무 사탕꿀과 2008년 8월 11일 한국 양봉농협에서 공여받은 사탕무 설탕을 사용하였으며, 생체 시료는 사탕무 씨앗(Sugar Beet seed, 터키산, 2018년 3월; 아시아 종묘[주] 판매)을 사용하였다. 사탕무 씨앗에서 미토콘드리아 일부 유전자를 증폭시켜 molecular cloning하였으며, 재조합된 DNA는 pSugarBeet-mt라 명명하였다. 이에 탑재된 유전자 염기서열은 Genbank에 보고된 사탕무 미토콘드리아 유전자(Accession No. BA000024.1)와 100% 일치됨을 확인하였으며, 본 연구에서 표준 특이 유전자로 사용하였다.

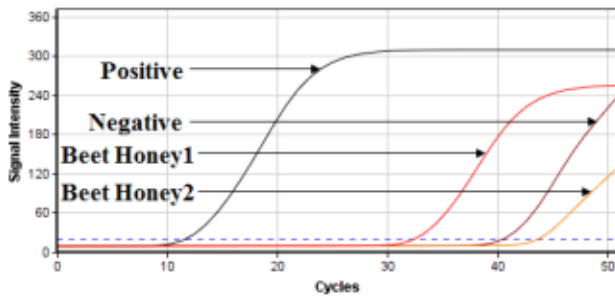
사탕무 설탕물과 사탕무 사탕꿀에서 DNA의 추출은 계면활성제인 Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB)와 phenol/chloroform 혼합액을 사용하여 추출 정제하는 CTAB법을 이용하였다 (윤 등, 2014). 이를 요약하면, 꿀 1ml에 30 μ l 10% SDS와 3 μ l proteinase K (20mg/ml)를 넣고 37°C waterbath에서 1시간동안 정치한 후, 100 μ l 5M NaCl을 넣고 혼합하였으며, 이에 80 μ l CTAB/NaCl 용액을 추가하고 혼합 후, 65°C에서 10분간 정치시켰다. 700 μ l phenol/chloroform (24:1)을 추가하고 진탕한 후, 12,000 rpm으로 실온에서 1분간 원심분리하였다. 그런 뒤, 상층부 용액만을 취하여 새로운 tube에서, 0.6배 양의 isopropanol을 넣고 혼합 후, 15,000 rpm으로 실온에서 15분간 원심분리하고 상등액을 제거하였다. 침전에 1ml의 75% ethanol을 가하여 녹여준 뒤, 5분간 정치하고 15,000 rpm으로 실온에서 15분간 원심분리하고 상등액을 제거하였다. DNA 침전은 30분간 자연건조 후 100 μ l TE buffer에 용해시켰으며, DNA 용액은 Biophotometer (Eppendorf, Germany)를 통해 농도를 측정하고 -20°C에서 보관하며 사용하였다.

사탕무 고유 유전자 검출을 위해서 초고속 PCR 기기인 Genechecker II (GENESYSTEM

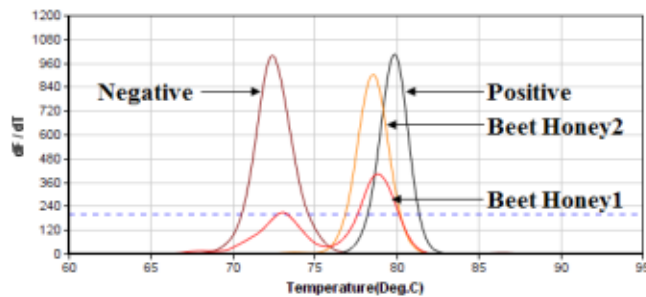
Co., Korea)를 사용하였으며, PCR 조건은 초기변성 95°C에서 30초 진행한 후, 95°C 변성 3초, 53°C 혼성 3초, 72°C 중합 3초를 1 cycle로 하였으며, 총 cycle 수는 50 cycle로 설정하였다. 각 PCR 반응액은 상기 DNA 용액 중 1 μ l를 주형으로 사용하였으며, 사탕무 고유 유전자의 검출을 위해 사용된 primer는 Forward primer: 5'-CTCGCTTTATCTCTTTCTACCGG-3', Reverse primer: 5'-GAAATCTCCTTCAGGTTTCAGTCG-3'이며, 각각 최종농도 1 μ M로 조정하였다.

결과로써, 사탕무 사양꿀 시료에서 추출된 DNA를 통해 사양꿀에 사탕무 고유 유전자가 잔류하고 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 증폭곡선, 용점 분석 및 아가로스 전기영동을 통하여 사탕무 고유 유전자임을 입증할 수 있었다(그림 194).

A



B



C



D

	Ct (cycles)	Tm (°C)	Result
Positive	12.11	79.95	+
Negative	39.86	72.43	-
Beet Honey 1	32.09	78.97	+
Beet Honey 2	42.91	78.64	+

그림 194 Detection of sugar beet-specific gene using DNA from sugar beet honey.

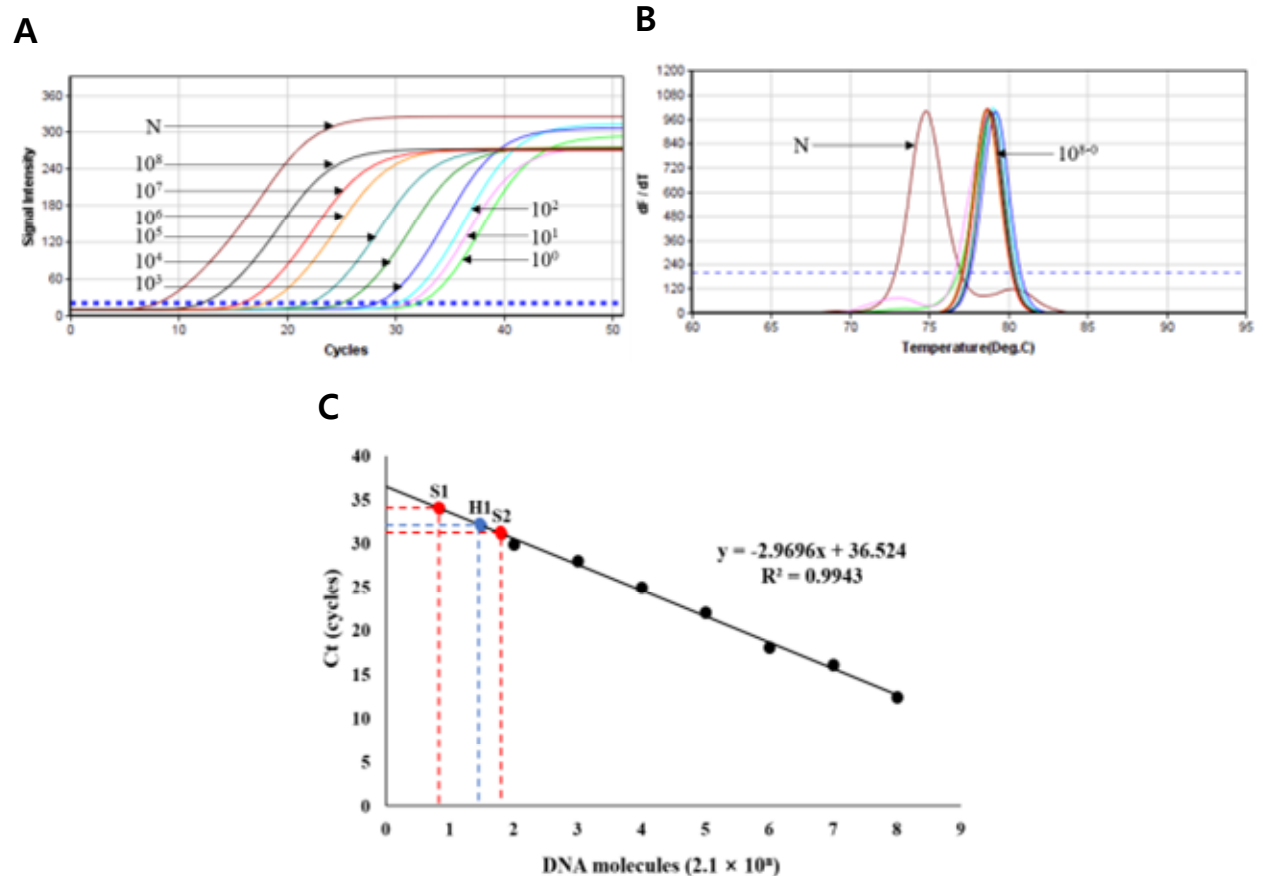
Panel A is the fluorescent graph of amplified target gene. Panel B, a peak graph of Tm against detection of sugar beet-specific gene in honey. Panel C, Lane M is the DNA size

marker (100bp, 200bp, 300bp); lane N, non-template; lane P, PCR with pSugarBeet-mt as positive (250bp); lane H1, PCR with DNA from sugar beet honey sample 1; lane H2, from sugar beet honey sample 2. **Panel D** shows each Ct (Threshold Cycles) and Tm (mid point of melting temperature) of PCRs.

pSugarBeet-mt는 사탕무 고유 염기서열(250bp)을 탑재한 플라스미드로써, 분광광도계에 의해 정량적으로 측정된 플라스미드 용액은 단위부피당 분자수를 정확히 계산할 수 있다. 이를 연속희석하여 각기 PCR의 주형으로 사용하였으며, 이 결과를 분석하여 표준 정량선으로 나타내었다. DNA추출과정에서 사양꿀 1g로부터 100 μ l의 DNA를 획득하였으며, PCR에 사용된 DNA는 1 μ l로, 이는 사양꿀 10 mg에서 획득한 DNA에 해당된다. 이를 상기 정량선에 대입하여, 꿀 1g에 존재하는 사탕무 고유 유전자의 분자수를 계산하였다.

그 결과, 사양꿀 시료 1의 경우 8.19×10^3 분자, 사양꿀 시료 2의 경우 1.49×10^1 분자를 함유하는 것으로 계산되었다.

이처럼 사양꿀 내에 존재하는 사탕무 고유 유전자의 양을 계산할 수 있으며, 이는 천연꿀과 사탕무 사양꿀의 혼합비를 밝힐 수 있는 정량법으로의 정립이 가능할 것으로 사료된다(그림 195).



D

DNA molecules	Ct (cycles)	Tm (°C)
2.10×10^8	12.47	78.82
2.10×10^7	16.10	78.80
2.10×10^6	18.12	78.49
2.10×10^5	22.09	78.82
2.10×10^4	24.97	78.49
2.10×10^3	28.03	79.15
2.10×10^2	29.95	79.15
2.10×10^1	30.76	78.82
2.10×10^0	31.71	78.82
N	8.53	74.86

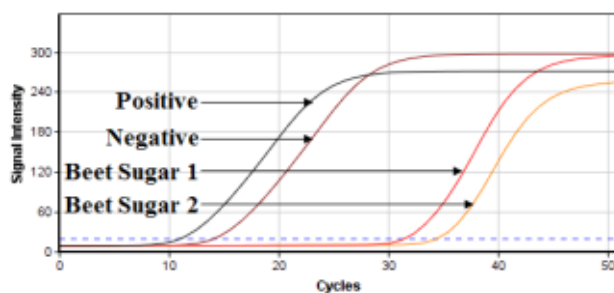
그림 195 Quantitative detection using pSugarBeet-mt against sugar beet-specific gene.

Panel A, the fluorescent graph of amplified target gene according to the serially diluted initial templates. Panel B, a peak graph of Tm. Panel C, the regression line according to the PCRs of panel A. And S1 (Sugar 1), S2 (Sugar 2) and H1 (honey 1) were indicated. Panel D shows each Ct and Tm of PCRs.

사탕무 꿀에서의 사탕무 고유 유전자의 검출 가능한 것을 확인함에 따라, 그 유전자가 사탕무 설탕을 통해 함유되었는지 여부와 사탕무 설탕에서의 사탕무 유전자 증폭을 확인하고자 하였다.

결과로는 사탕무 설탕 시료에서 추출된 DNA를 통해 설탕에 사탕무 고유 유전자의 DNA가 잔류되어 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 증폭곡선, 용점 분석 및 아가로스 전기영동으로 입증되었다(그림 196).

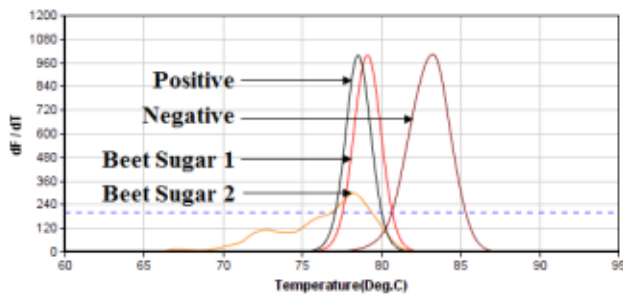
A



C



B



D

	Ct (cycles)	Tm (°C)	Result
Positive	11.48	78.49	+
Negative	14.43	83.11	-
Beet Sugar 1	31.16	79.15	+
Beet Sugar 2	34.03	78.16	+

그림 196 Detection of sugar beet-specific gene using DNA from sugar by sugar beet.

Panel A, the fluorescent graph of amplified target gene. Panel B, a peak graph of Tm against detection of sugar beet-specific gene in sugar. Panel C, Lane M is the DNA size marker (100bp, 200bp, 300bp); lane N, non-template; lane P, PCR with pSugarBeet-mt as positive (250bp); lane S1, PCR with DNA from sugar beet sugar sample 1; lane S2, from sugar beet sugar sample 2. Panel D shows each Ct and Tm of PCRs.

각 설탕 0.5g로부터 100 μ l의 DNA를 획득하였으며, PCR에 사용된 DNA는 1 μ l로, 이는 설탕 5 mg에서 획득한 DNA에 해당된다. 이를 상기 정량선에 대입하여, 설탕 0.5g에 존재하는 사탕무 고유 유전자의 분자수를 계산하였으며, 설탕 시료 1의 경우 1.36×10^4 분자와 설탕 시료 2의 경우 1.45×10^3 분자를 내재하는 것으로 계산되었다.

보다 분명하게 사탕무 고유 유전자의 검출임을 확인하기 위해 1차적으로 증폭된 PCR 산물을 재증폭하는 nested PCR법으로 검증하였다. 주형으로는 사탕무 특이 primer를 사용하여 증폭한 PCR 산물을 1/1000로 희석하여 사용하였다. 동일한 Genechecker II 기기를 사용하였으며, nested PCR 조건은 초기변성 95°C에서 30초 진행한 후, 95°C 변성 3초, 57°C 혼성 3초, 72°C 중합 3초를 1 cycle로 하였다. 또한, Ct 값이 30 cycle 이상일 경우 융점분석에서

값이 비특이적 증폭으로 측정되어 유효하지 않다고 판단해 총 cycle 수는 30 cycle로 설정하였다. 각 PCR 반응액은 상기 DNA 용액 중 1 μ l를 주형으로 사용하였으며, 사탕무임을 검증하기 위해 사용된 primer는 Forward primer: 5' -GAATTGCTGCTTGAAAGTTTTC-3' , Reverse primer: 5' -CAATTCTTCCTATTCTCCTGC-3' 이며, 각각 최종농도 1 μ M로 조정하였다.

결과로는 설탕 (Beet Sugar 1, Beet Sugar 2)과 꿀 (Beet Honey 1, Beet Honey 2) 시료에서 증폭한 산물이 내부 염기서열을 통해 증폭됨을 확인하였으며, 이는 증폭곡선, 용점 분석 및 아가로스 전기영동에서 증폭산물이 사탕무 고유 유전자임을 확증할 수 있었다(그림 197).

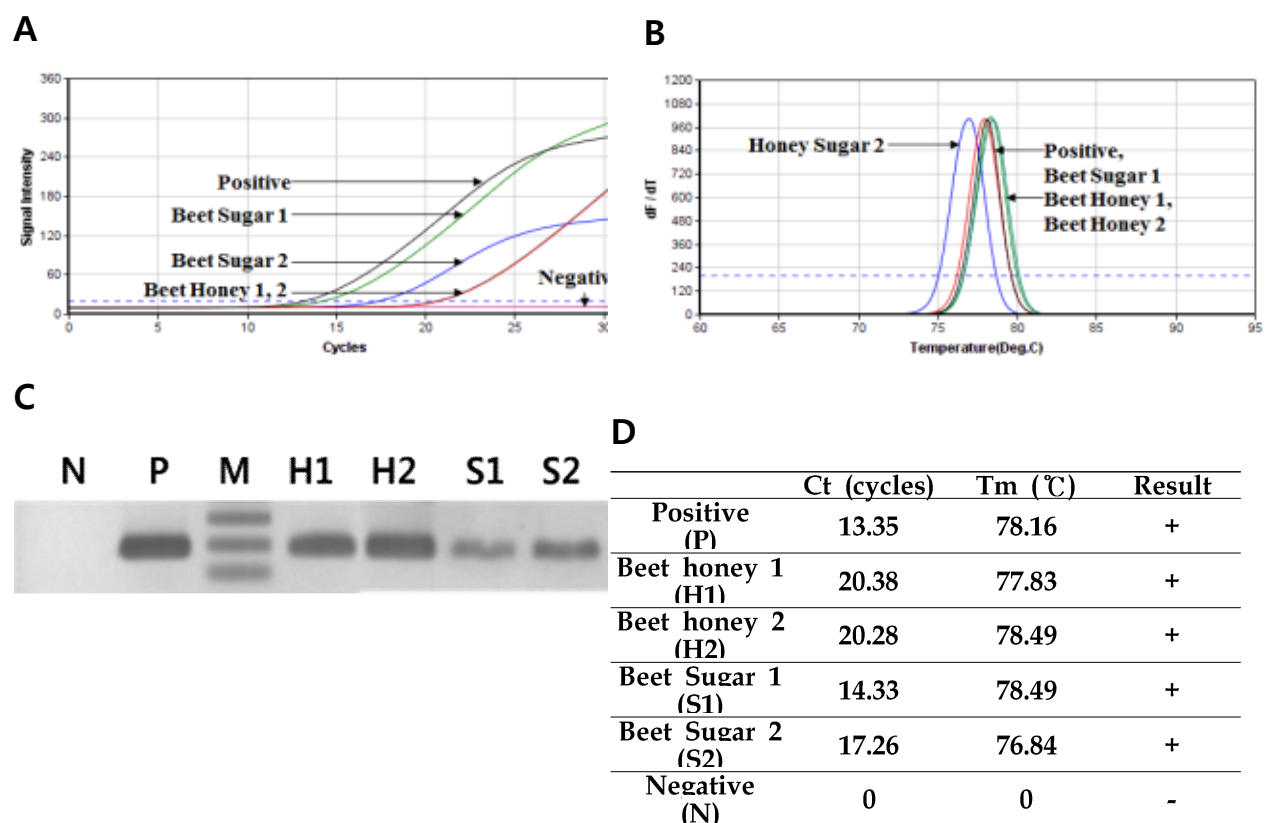


그림 198 Detection of sugar beet-specific gene using nested PCR.

Panel A, the fluorescent graph of amplified target gene through nested PCR. Panel B, a peak graph of Tm. Panel C, Lane M is the 100bp size marker (100bp, 200bp, 300bp); lane N, non-template; lane P, PCR with pSugarBeet-mt as positive (196bp); lane S1, nested PCR product with DNA from sugar sample 1; lane S2, sugar sample 2; lane H1, from sugar beet honey sample 1; lane H2, honey sample 2. Panel D shows each Ct and Tm of PCRs.

보다 명확한 사탕무 설탕과 사탕무 사탕꿀에서의 사탕무 유전자 검출을 입증하기 위해, PCR을 통해 생산된 PCR 산물을 정제하여 염기서열분석을 수행하였다. 사탕무 씨앗과 사탕무 설탕, 사탕무 사탕꿀에서 증폭된 PCR 산물과 nested PCR을 증폭해 얻은 PCR 산물은 Megaquick-spin™ Total fragment DNA purification kit (iNtRON, Korea)를 이용하여 정제한 뒤, Bionics사에 염기서열분석을 의뢰하였다.

Sanger sequencing을 통해 염기서열을 분석한 결과, 사탕무 씨앗, 사탕무 설탕, 사탕무 꿀에서 검출된 증폭산물은 사탕무 미토콘드리아 유전자(GenBank accession No. BA000024.1)와 모두 100%의 일치함을 보여 사탕무 고유 유전자임을 확인하였다. 또한, Nested PCR product을 이용한 염기서열 분석에서는 6번째 염기서열인 아데닌의 결손이 존재했으며, 상동성은 99.2%로 나타났다. 이를 통해, 각각의 사탕무 씨앗과 사탕무 설탕, 사탕무 꿀에서 검출된 DNA는 사탕무 고유 유전자임을 입증할 수 있었으며, 고도의 정제과정을 거친 사탕무 설탕과 사탕무 설탕을 이용해 생산된 꿀에서 주원료가 된 사탕무 유전자가 잔류함을 알 수 있었고, 잔류 DNA는 검출될 수 있음을 증명하였다(그림 199).



그림 199 Sequence alignment about PCR product from seed, sugar and honey of sugar beet.

BA000024.1 is *Beta vulgaris subsp. vulgaris* mitochondrial DNA, complete genome from Sapporo, Japan. Sugar beet seed is DNA sequence of its PCR product. Sugar beet sugar, Sugar beet honey and Nested PCR product were generated in this study. All of the detected DNAs were confirmed to be mitochondrial genes of sugar beet.

일반적으로 사용되는 PCR기기에서 본 검출법이 적용될 수 있는지 실험하고자, 일반 PCR기기인 PTC-200 Peltier thermal cycler (MJ Research, USA)를 사용하여 사탕무 고유 DNA 증폭을 시행하였다. PCR 조건은 초기변성 95°C에서 5분 진행한 후, 95°C 변성 30초, 53°C 혼성 30초, 72°C 중합 30초를 1 cycle로 하였으며, 총 cycle 수는 40 cycle로 설정하였다. 각 PCR 반응액은 DNA 용액 중 1µl를 주형으로 사용하였으며, 사탕무 고유 유전자의 검출을 위해 사용된 primer는 Forward primer: 5' -CTCGCTTTATCTTTCTACCGG-3', Reverse primer: 5' -GAAATCTCCTTCAGGTTTCAGTCG-3' 이며, 각각 최종농도 1µM로 조정하였다.

사탕무 씨앗과 사탕무 설탕, 사탕무 꿀에서 증폭된 산물은 전기영동을 통해 사탕무 고유 유전자임(250bp)을 확인하였고 더불어, 각 증폭 band는 nested PCR로도 확인되었으며, 예상된 196bp의 band를 관찰할 수 있었다(자료미제시). 이 결과는 사탕무 고유 유전자의 증폭으로 판단되며, 각 시료의 증폭을 확인함으로써 일반 PCR기기에서도 본 검출법이 충분히 적용가능함을 보여주었다(그림 200).

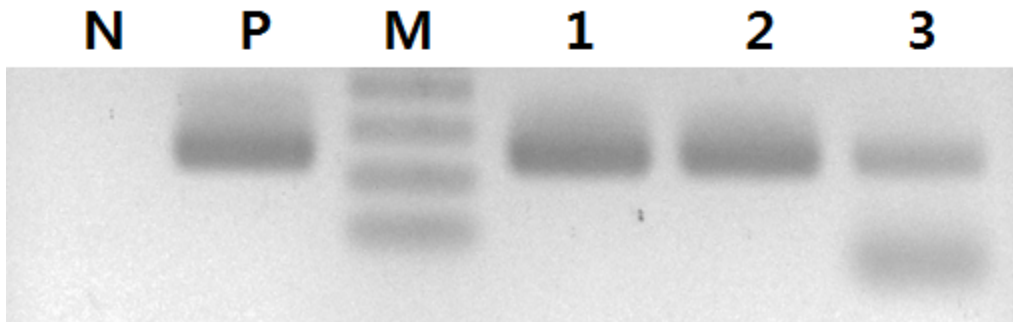


그림 200. Conventional PCR of sugar beet-specific gene in seed, sugar, honey.

Lane M is the 100bp ladder size marker (100bp, 200bp, 300bp, 400bp); lane N, non-template; lane P, amplification of PCR with pSugarBeet-mt as positive (250bp); lane 1, PCR with DNA from sugar beet seed sample; lane 2, from sugar beet sugar sample; lane 3, from sugar beet honey sample. Sugar beet-specific gene were well amplified with different DNA of sources using conventional PCR.

본 연구는 초고속 PCR법과 nested PCR법 그리고 Sanger sequencing을 이용하여 사탕무 꿀과 사탕무 설탕에서 사탕무 고유 유전자기 특이 검출될 수 있음을 증명한 것이며, 사탕무 고유 유전자의 양은 정량될 수 있음을 보여주었다.

별꿀에 잔류된 밀원 등의 화분 유전자를 PCR법을 이용하여 특이 검출한 연구, 즉 별꿀에서 화분 유전자의 프로파일링의 연구들은 보고된 바 있었으나(Jain *et al.*, 2013; Sobrino-Gregorio *et al.*, 2018), 이들 연구결과는 직접적으로 사양꿀 판별법으로 제시될 수 없었으며, 본 연구와 같이 고도의 정제과정을 거친 설탕을 당원으로 제조한 사양꿀에서 해당 당원, 즉 설탕의 특이 유전자를 특이 검출한 것은 아니었다.

사탕무 설탕과 사탕무 사양꿀 속에 존재하는 사탕무의 고유 유전자는 초극미량이며, 이를 정확히 정량/정성 분석을 하기 위하여, 사양꿀에서 보다 효과적인 DNA 분리법이 요구되고 있으며, 또한 대량의 별꿀시료들을 보다 빠르게 사탕무 사양꿀 판별을 수행하기 위하여, 본 정량 PCR을 사용하는 자동화 사탕무 사양꿀 판별방법도 개발되어야 할 것이다. 본 연구에 의하여 발견된 사탕무 사양꿀에서 사탕무 고유 유전자의 존재 입증은 국내외 사탕무 사양꿀의 진위 판정법으로 크게 활용되기를 기대한다.

3) 제조 또는 검사된 벌꿀에서 사탕무(*Beta vulgaris*) 또는 사탕수수(*Saccharum officinarum*) 고유 유전자의 검출법 적용

본 항의 결과는 한국양봉농협에서 제공한 사양꿀 의심 벌꿀 시료를 공시재료로 검사한 것이며, 전기한 1항 및 2항의 실험법을 적용하여 제공된 시료에서 각기 사탕무 또는 사탕수수 고유 유전자의 존재 유무를 확인하고자 한 것이다.

한국양봉농협에서 제공한 시료들 및 관련 정보는 다음과 같았다(표 32).

NO.	시료명	수분 (%)	전화당 (%)	자당 (%)	당비 (F/G)	HMF (mg/kg)	탄소비 (‰)	비고
1	액상과당	32.2	66.1	0.0	0.00	-	-12.5	과당
-1	Beet sugar + Invertase	22.4	76.0	0.2	1.24	6.8	-25.7	사탕무 인공합성 꿀
2	-2 Beet sugar + Invertase	22.1	77.2	0.6	1.26	7.0	-25.6	
-3	Beet sugar + Invertase	22.1	77.4	0.4	1.25	7.2	-25.9	
3	Unknown (1)	18.4	69.3	6.7	1.55	49.2	-24.0	의심
-1	Unknown (2)	21.7	68.7	4.0	1.54	8.0	-27.2	의심
4	-2 Unknown (2)	21.7	68.0	4.0	1.54	7.9	-27.2	
-3	Unknown (2)	21.9	66.4	4.5	1.50	8.9	-27.3	
-1	아카시아꿀	20.2	72.2	3.0	1.57	0.5	-25.2	저온농축
5	-2 아카시아꿀	21.3	67.2	2.0	1.55	0.1	-25.4	저온농축
-3	아카시아꿀	20.9	71.0	2.8	1.57	0.7	-25.8	

표 32 한국 양봉농협에서 제공한 시료명 및 관련 검사 정보

본 과제에서는 각 시료에서 사탕수수 또는 사탕무 고유 유전자를 검출하기 위하여 각 시료로부터 잔류된 DNA를 추출하였으며, 이는 계면활성제인 Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB)와 phenol/chloroform 혼합액을 사용하여 추출 정제하는 CTAB법을 이용하였다 (윤 등, 2014). 이를 약술하면, 꿀 1ml에 30 μ l 10% SDS와 3 μ l proteinase K (20mg/ml)를 넣고 37°C waterbath에서 1시간동안 정치한 후, 100 μ l 5M NaCl을 넣고 혼합하였으며, 이에 80 μ l CTAB/NaCl 용액을 추가하고 혼합 후, 65°C에서 10분간 정치시켰다. 700 μ l phenol/chloroform (24:1)을 추가하고 진탕한 후, 12,000 rpm으로 실온에서 1분간 원심분리하였다. 상층부 용액만을 취하여 새로운 tube에서, 0.6배 양의 isopropanol을 넣고 혼합 후, 15,000 rpm으로 실온에서 15분간 원심분리하고 상등액을 제거하였다. 침전에 1ml의 75% ethanol을 가하여 녹여준 뒤, 5분간 정치하고 15,000 rpm으로 실온에서 15분간 원심분리하고 상등액을 제거하였다. DNA 침전은 30분간 자연건조 후 100 μ l TE buffer에 용해시켰으며, DNA 용액은 Biophotometer (Eppendorf, Germany)를 통해 농도를 측정하고 -20°C에서 보관하며 사용하였다.

사탕무 고유 유전자 검출을 위해서 초고속 PCR 기기인 Genechecker II (GENESYSTEM

Co., Korea)를 사용하였으며, PCR 조건은 초기변성 95°C에서 30초 진행한 후, 95°C 변성 3초, 53°C 혼성 3초, 72°C 중합 3초를 1 cycle로 하였으며, 총 cycle 수는 50 cycle로 설정하였다. 각 PCR 반응액은 상기 DNA 용액 중 1 μ l를 주형으로 사용하였으며, 사탕무 고유 유전자의 검출을 위해 사용된 primer는 Forward primer: 5' -CTCGCTTTATCTCTTTCTACCGG-3' , Reverse primer: 5' -GAAATCTCCTTCAGGTTTCAGTCG-3' 이며, 각각 최종농도 1 μ M로 조정하였다.

사탕수수 고유 유전자의 검출을 위해 사용된 primer는 Forward primer: 5' -CACCGCAATTATTTTTATTCTGAG-3' , Reverse primer: 5' -GAACATCTTGAATCCGGTATTC-3' 이었다.

삼반복 PCR 증폭 실험을 통해 얻은 결과는 다음과 같이 정리되었으며, 상당수의 시료들이 한국양봉농협의 검사실에서 판정한 바와 달리 사탕수수 또는 사탕무의 유전자가 잔류된 것으로 나타났다(표 33) .

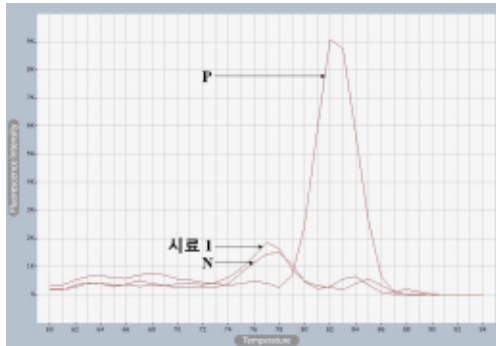
NO.	시료명	PCR 결과 판정	
		사탕무 고유 유전자	사탕수수 고유 유전자
1	액상과당	음성(참고: Fig. 1)	의양성(참고: Fig. 1)
	-1 Beet sugar + Invertase	양성 (참고: Fig. 2)	양성 (참고: Fig. 2)
2	-2 Beet sugar + Invertase	양성 (참고: Fig. 3)	양성 (참고: Fig. 3)
	-3 Beet sugar + Invertase	양성 (참고: Fig. 4)	양성 (참고: Fig. 4)
3	Unknown (1)	음성(참고: Fig. 5)	양성 (참고: Fig. 5)
	-1 Unknown (2)	의양성(참고: Fig. 6)	음성(참고: Fig. 6)
4	-2 Unknown (2)	음성(참고: Fig. 7)	음성(참고: Fig. 7)
	-3 Unknown (2)	음성(참고: Fig. 8)	음성(참고: Fig. 8)
	-1 아카시아꿀	양성 (참고: Fig. 9)	양성 (참고: Fig. 9)
5	-2 아카시아꿀	양성 (참고: Fig. 10)	양성 (참고: Fig. 10)
	-3 아카시아꿀	음성(참고: Fig. 11)	양성 (참고: Fig. 11)

표 33 한국 양봉농협에서 제공한 시료들에서 사탕수수/사탕무 고유 유전자의 검출 검사

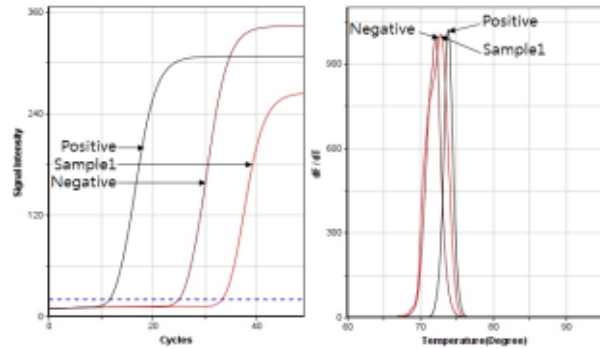
삼반복 PCR 증폭 검사를 통해 얻은 결과는 각 시료별로 아래에 수록하였으나, 각 시료에 대한 삼반복 실험 결과 중 하나씩의 실험결과만을 본 보고서에 제시하였다.

시료 1의 검출결과:

사탕무



사탕수수

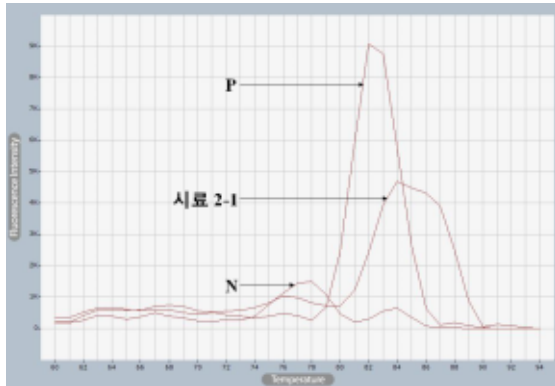


	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 1	33.96	77.50	32.86	72.64
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

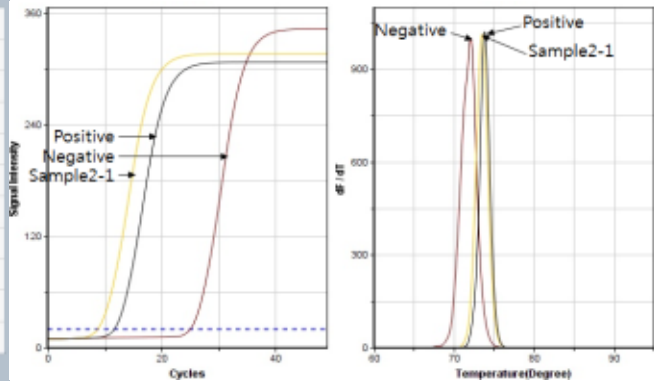
그림 201 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 1
 사탕무의 고유 유전자는 시료 1에서는 Tm값이 negative와 동일함으로 사탕무 고유유전자의 검출이 아닌 것으로 판단함. 사탕수수의 고유 유전자는 2차 PCR에서 시료 1의 Tm값이 positive와 유사한 Tm값을 형성하였으나, 결과상의 모호함이 있어 검출 결과 의심으로 판정함.

시료 2-1의 검출결과:

사탕무



사탕수수

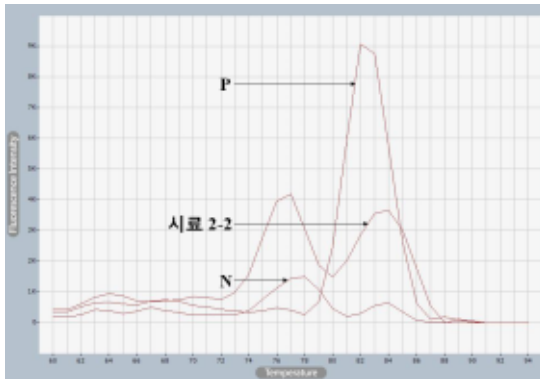


	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 2-1	26.30	84.50	9.27	73.61
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

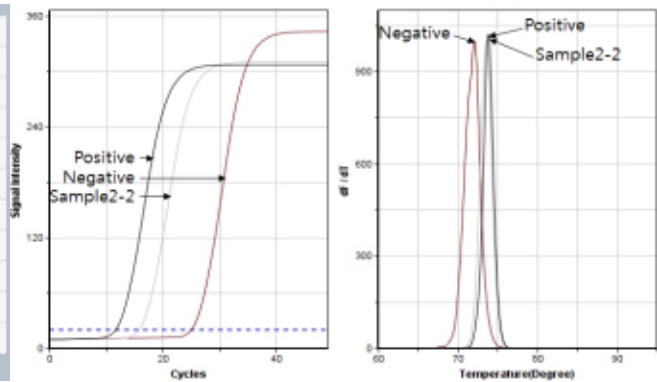
그림 202 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 2-1
 사탕무의 고유 유전자는 시료 2-1은 Positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕무 고유 유전자의 검출 결과 양성이라고 판단. 사탕수수 시료의 고유 유전자는 2-1의 1차 PCR에서 불확실한 값을 얻었으나, 연속된 2차 PCR에서 positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕수수 고유 유전자의 검출 결과 양성으로 판정.

시료 2-2의 검출결과:

사탕무



사탕수수

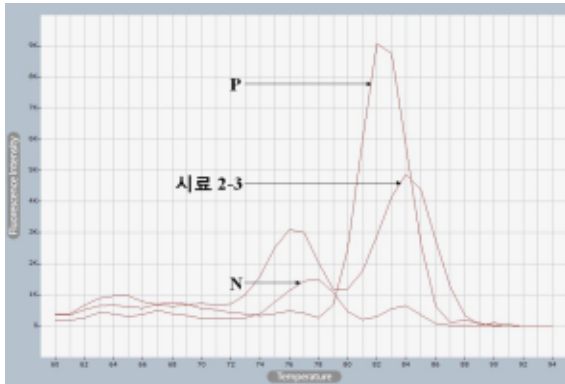


	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 2-2	29.05	76.50/83.50	16.07	73.61
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

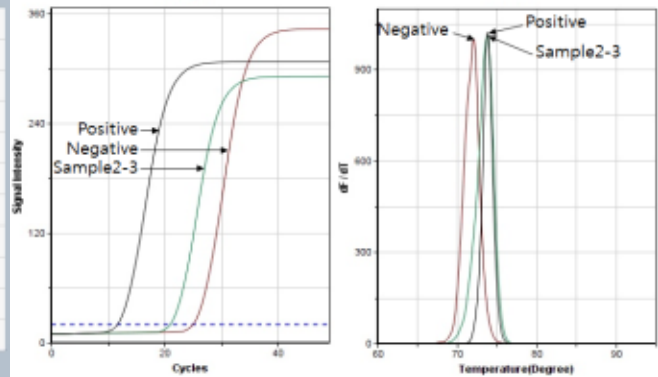
그림 203 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 2-2
 사탕무의 고유 유전자는 시료 2-2에서 Tm값이 76.50°C(negative 유사값)와 83.5°C(positive 유사값)으로 측정되어 사탕무 고유 유전자 함유 의심으로 판단. 사탕수수의 고유 유전자는 시료 2-2의 1차 PCR에서 음성결과를 확인하였으나, 연속된 2차 PCR에서 positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕수수 고유 유전자의 검출 결과 양성으로 판정.

시료 2-3의 검출결과:

사탕무



사탕수수

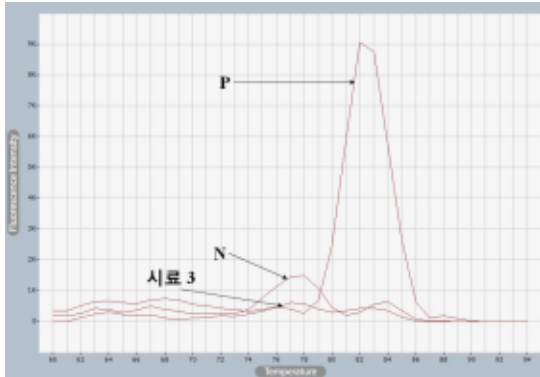


	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 2-3	28.19	84.50	21.05	73.61
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

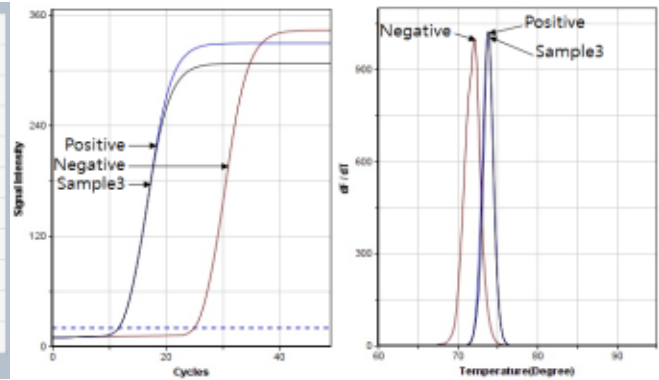
그림 204 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 2-3
 사탕무의 고유 유전자는 시료 2-3에서 Positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕무 고유 유전자의 검출 결과 양성이라고 판단. 사탕수수의 고유 유전자는 시료 2-3의 1차 PCR에서 음성결과를 확인하였으나, 연속된 2차 PCR에서 positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕수수 고유 유전자의 검출 결과 양성으로 판정.

시료 3의 검출결과:

사탕무



사탕수수



	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 3	-	-	12.10	73.94
Positive	9.02	82.5	12.10	73.94
Negative	-	77.05	24.90	71.99

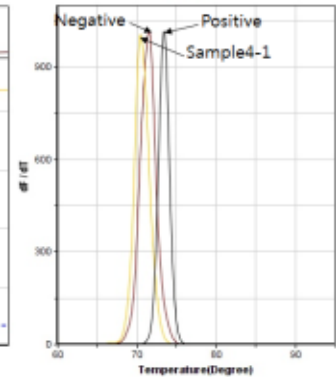
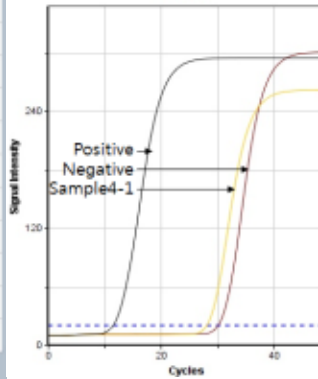
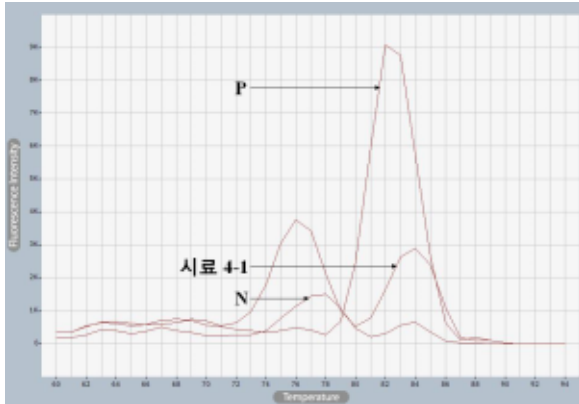
그림 205 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 3

사탕무의 고유 유전자는 시료 3에서 Tm값이 측정되지 않아 사탕무 고유유전자의 검출이 아니라고 판단. 사탕수수의 고유 유전자는 시료 3의 1차 PCR에서 음성결과를 확인하였으나, 연속된 2차 PCR에서 positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕수수 고유 유전자의 검출 결과 양성으로 판정.

시료 4의 검출결과:

사탕무

사탕수수

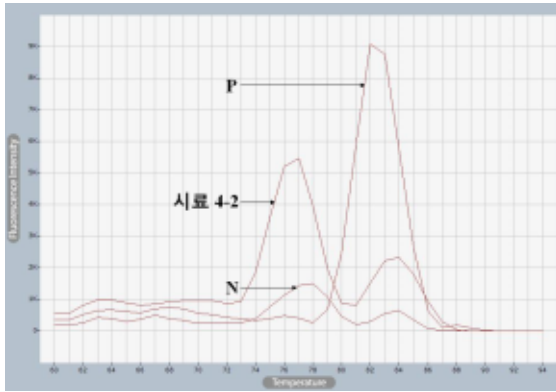


	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 4-1	30.89	76.50/83.50	27.82	70.37
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

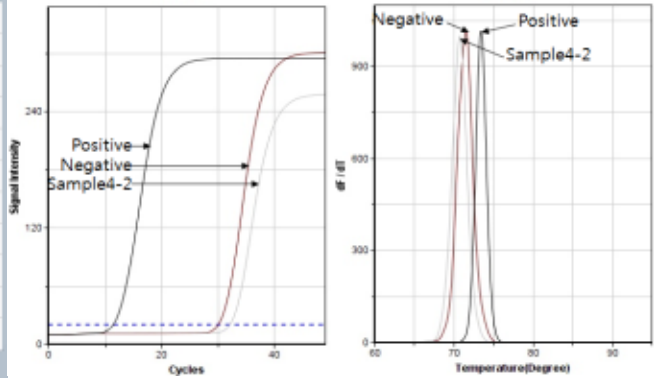
그림 206 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 4-1
 사탕무의 고유 유전자는 시료 4-1에서 Tm값이 76.50°C(negative 유사값)와 83.50°C(positive 유사값)으로 측정되어 사탕무 고유 유전자 함유 의심으로 판단. 사탕수수의 고유 유전자는 시료 4-1의 1차, 2차 PCR에서 모두 음성결과를 확인하였다.

시료 4-2의 검출결과:

사탕무



사탕수수

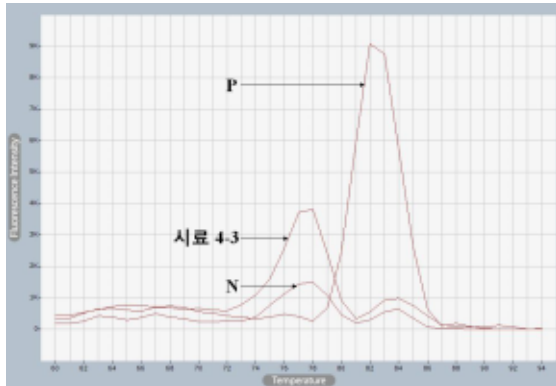


	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 4-2	30.91	76.50	31.70	70.37
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

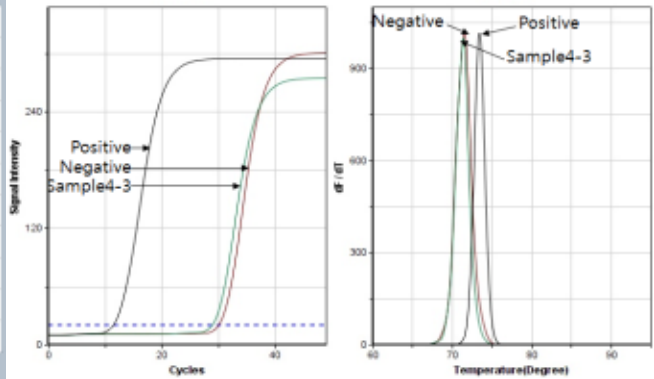
그림 207 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 4-2
 사탕무의 고유 유전자는 시료 4-2에서 Tm값이 negative와 유사함으로 사탕무 고유유전자의 검출이 아니라고 판단. 사탕수수의 고유 유전자는 시료 4-2의 1차, 2차 PCR에서 모두 음성 결과를 확인하였다.

시료 4-3의 검출결과:

사탕무



사탕수수

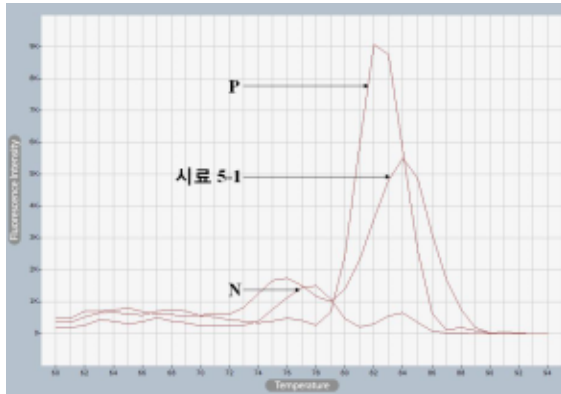


	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 4-3	32.25	77.50	28.61	71.34
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

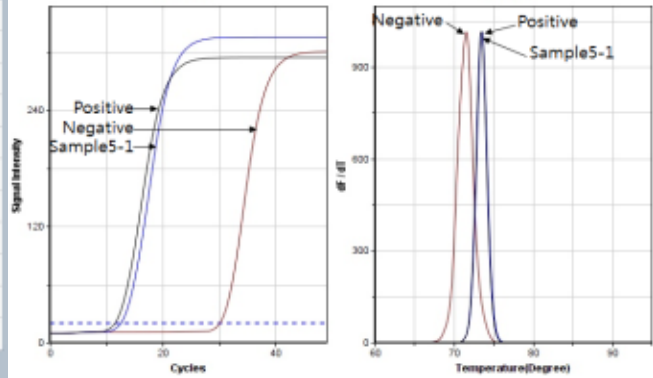
그림 208 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 4-3
 사탕무의 고유 유전자는 시료 4-3에서는 Tm값이 negative와 동일함으로 사탕무 고유유전자의 검출이 아니라고 판단. 사탕수수의 고유 유전자는 시료 4-3의 1차, 2차 PCR에서 모두 음성결과를 확인하였다.

시료 5-1의 검출결과:

사탕무



사탕수수

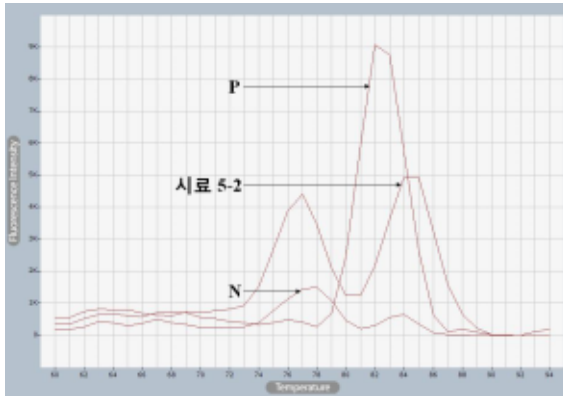


	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 5-1	27.42	84.00	12.97	73.61
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

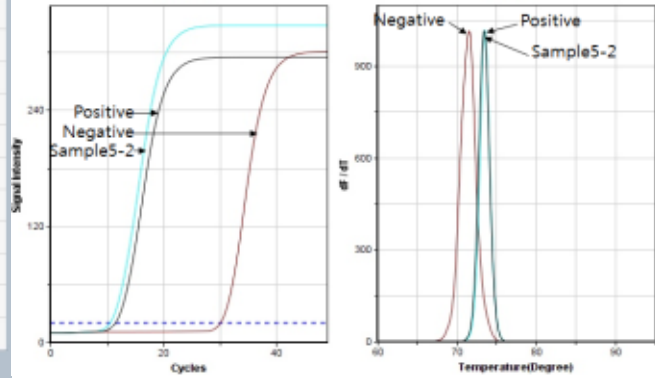
그림 209 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 5-1
 사탕무의 고유 유전자는 시료 5-1은 Positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕무 고유 유전자의 검출 결과 양성이라고 판단. 사탕수수의 고유 유전자는 시료 5-1의 1차 PCR에서 음성 결과를 확인하였으나, 연속된 2차 PCR에서 positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕수수 고유 유전자의 검출 결과 양성으로 판정.

시료 5-2의 검출결과:

사탕무



사탕수수

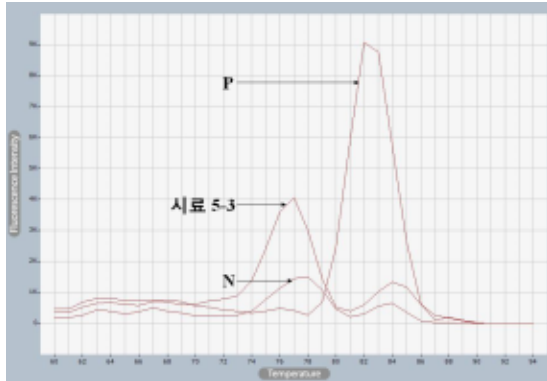


	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 5-2	28.31	84.50	11.05	73.61
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

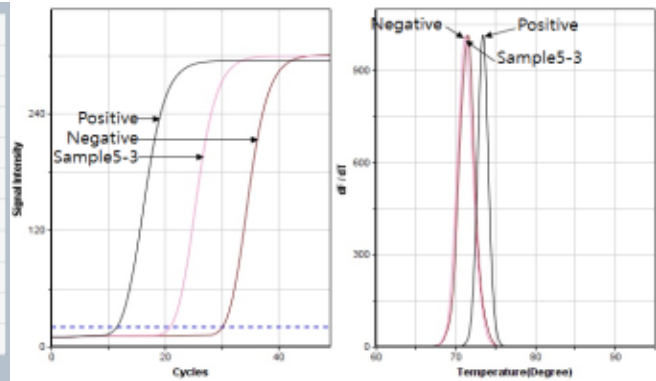
그림 210 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 5-2
 사탕무의 고유 유전자는 시료 5-2에서 Positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕무 고유 유전자의 검출 결과 양성이라고 판단. 사탕수수의 고유 유전자는 시료 5-2의 1차 PCR에서 음성결과를 확인하였으나, 연속된 2차 PCR에서 positive와 유사한 Tm값을 형성하여 사탕수수 고유 유전자의 검출 결과 양성으로 판정.

시료 5-3의 검출결과:

사탕무



사탕수수



	사탕무		사탕수수	
	Ct (cycles)	Tm (°C)	Ct (cycles)	Tm (°C)
시료 5-3	31.83	76.50	20.96	71.02
Positive	9.02	82.50	12.10	73.94
Negative	-	77.50	24.90	71.99

그림 211 Confirmation of *B. vulgaris* and *S. officinarum* specific gene in honey sample 5-3
 사탕무의 고유 유전자는 시료 5-3에서 Tm값이 negative와 유사하므로 사탕무 고유유전자의 검출이 아니라고 판단.

사탕수수의 고유 유전자는 시료 5-3의 1차, 2차 PCR에서 모두 음성결과를 확인하였다.

본 항의 검출실험의 결과는 아래와 요약된다.

- 사탕무: 시료 2-1, 2-2, 2-3, 5-1, 5-2에서 사탕무 고유 유전자를 검출할 수 있었으며, 시료 4-1에서는 모호한 결과로 사탕무 함유 의심으로 판정하였다. 그 외의 시료에서는 사탕무 고유 유전자를 검출할 수 없었다.
- 사탕수수: 시료 2-1, 2-2, 2-3, 3, 5-1, 5-2, 5-3에서 사탕수수 고유 유전자를 검출할 수 있었으며, 시료 1에서는 모호한 결과로 사탕수수 함유 의심으로 판정하였다. 그 외 시료에서는 사탕수수 고유 유전자를 검출할 수 없었다.

바. 연구개발 성과

- 국외논문 2편, 국내논문 20편, 국내특허출원 6건, 국내특허등록 3건, S/W등록 4건, 논문발표 56건을 달성하였음.
- 논문게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행년도	SCI여부
1	꿀벌 병원성 바이러스의 정량적 검출을 위한 정량 실시간 재조합효소-중합효소 증폭법의 개발	Journal of Apiculture	민상현	31(2)	국내	2016	비SCI
2	다중PCR증폭과 특이 DNA-chip을 활용한 꿀벌 주요 11종 병원체의 검출법 개발	Journal of Apiculture	왕지희	31(2)	국내	2016	비SCI
3	초고속 역전사 실시간 중합효소 연쇄반응을 이용한 한국산 낭중봉아부패병 바이러스의 가장 빠른 검출법	Journal of Apiculture	민상현	31(2)	국내	2016	비SCI
4	꿀벌의 석고병, 백목병 현장 진단을 위한 신속 Ascospaera apis 및 Aspergillus flavus 검출법 개발	Journal of Apiculture	왕지희	31(1)	국내	2016	비SCI
5	역전사 실시간 Recombinase Polymerase Amplification (RT-RT RPA)에 의한 꿀벌 Black queen cell virus의 검출	Journal of Apiculture	임수진	31(1)	국내	2016	비SCI
6	High Level of Sequence-Variation in Sacbrood Virus(SBV) from Apis mellifera	Journal of Apiculture	A-Tai Truong	32(4)	국내	2017	비SCI
7	Slow Bee Paralysis Virus(SBPV) 신속 검출을 위한 초고속 역전사 중합효소 연쇄반응법의 개발	Journal of Apiculture	김소민	32(3)	국내	2017	비SCI
8	초고속 유전자 증폭법을 이용한 벌집꼬마밀빠진벌레 (Aethina tumida)의 신속한 검출 기법 개발	Journal of Apiculture	김정민	32(2)	국내	2017	비SCI
9	뒤영벌 병원체 11종에 대한 실시간 중합효소 연쇄반응 검출법 개발	Journal of Apiculture	민상현	32(2)	국내	2017	비SCI
10	한국형 낭중봉아부패병 바이러스(kSBV)의 정의를 위한 새로운 SBV 유전자형의 제안	Journal of Apiculture	이철우	32(2)	국내	2017	비SCI
11	재조합효소-중합효소 증폭법(RPA) 및 중합효소 연쇄반응법(PCR)에서 생성된 특이 DNA 증폭산물 간의 비교	Journal of Apiculture	김정민	32(1)	국내	2017	비SCI
12	꿀벌 6종 주요 병원체에 대한 초고속 다중 PCR 검출법의 개발	Journal of Apiculture	임수진	32(1)	국내	2017	비SCI
13	Naturally produced honey by feeding chitosan to the honey bees	J Prev Vet Med	Geon Kim	42(2)	국내	2018	비SCI
14	Development of Ultra-rapid PCR System for Genotyping of Sacbrood Virus	Journal of Apiculture	A Tai Truong	33(2)	국내	2018	비SCI
15	사탕수수 설탕 및 사탕수수에서 사탕수수(Saccharum officinarum) 고유 유전자의 검출	Journal of Apiculture	김병희	33(3)	국내	2018	비SCI
16	사탕무(Beta vulgaris) 설탕으로 제조된 사탕수수에서 사탕무 고유 유전자의 검출	Journal of Apiculture	김소민	33(3)	국내	2018	비SCI
17	Acute Bee Paralysis Virus (ABPV)의 정확한 검출을 위한 Nested 초고속 PCR법의 개발	Journal of Apiculture	김문정	33(3)	국내	2018	비SCI
18	봉변을 이용한 꿀벌 바이러스성 병원체의 다중 초고속 PCR법	Journal of Apiculture	김정민	33(3)	국내	2018	비SCI
19	Detection of chronic bee paralysis virus using ultra-rapid PCR and nested ultra-rapid PCR	Journal of Apicultural Research	Byoung hee Kim	58(1)	국외	2018	SCI
20	Detection of Sugar Beet (Beta vulgaris) - Specific Gene from Honey Made by Sugar of Sugar Beet	Journal of Apiculture	김소민	33(3)	국내	2018	비SCI
21	Detection of Sugar Cane (Saccharum officinarum)-specific Gene from Sugar and Sugar-honey	Journal of Apiculture	김병희	33(3)	국내	2018	비SCI
22	Application of ultra-rapid qPCR and DNA chips for viral RNA detection and confirmation. (2018 Nov 19. doi: 10.1002/bab.1711. [Epub ahead of print]	Biotechnol Appl Biochem.	Kim JM		국외	2018	SCI

○ 특허출원

출원연도	특 허 명	출 원 인	등록국	등록번호
2017	초고속 PCR법을 이용한 벌집꼬마밀빠진벌레의 검출 방법	경기대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0149858
2017	뒤영벌 병원체 클레브시엘라 옥시토카 검출용 PCR 프라이머 및 이를 이용한 초고속 검출방법	경기대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0183625
2017	부착형 무게측정부를 구비한 꿀벌통의 모니터링 장치 및 그 방법	제주대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0184373
2017	자동환기장치를 구비한 꿀벌통	제주대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0184374
2017	소문개폐부를 구비한 꿀벌통	제주대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0184375
2017	전천후 서랍식 꿀벌 화분채집기	제주대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0184376

○ 특허등록

등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2016	습도센서 고정부를 구비한 꿀벌통의 모니터링 장치 및 그 방법	제주대학교 산학협력단	대한민국	10-1667309-0000
2016	온습도 센서 고정부를 구비한 꿀벌통	제주대학교 산학협력단	대한민국	10-1635455-0000
2017	소문개폐부를 구비한 꿀벌통	제주대학교 산학협력단	대한민국	10-1785371-0000

○ 기술요약정보

연도	기술명	요약내용	기술완성도
2017	부착형 무게측정부를 구비한 꿀벌통의 모니터링 장치 및 그 방법	본 기술은 꿀벌의 생육 및 채집활동에 의한 무게 변화량에 대한 모니터링 장치 및 그 방법에 관한 것이다. 유밀기 꿀벌의 방화활동에 의해 저장되는 벌꿀의 의한 무게의 변화량을 측정하여 수집된 무게데이터를 분석한 후 사용자에게 적절한 채밀시기를 권고함으로써 채밀시기를 정확하게 판단할 수 있도록 해준다. 종래의 무게측정부에서 발생하는 구조적 문제로 인한 흔들림을 효과적으로 억제할 뿐만 아니라 꿀벌통과 일체형으로 구성되어 있기 때문에 설치 및 적용이 간편하다는 효과가 있다.	실용화 단계
20	자동 환기부를	본 기술은 설정한 온습도 값의 임계치를 초과하여 분봉열	실용화

17	구비한 꿀벌통	<p>이 발생되기 전에 자동으로 센서 디바이스 상단에 자동개폐 장치가 개방되도록 설계하여 꿀벌이 안정적으로 생육할 수 있도록 과열을 방지하여 내부 환경을 제어해주는 역할을 하는 자동환기장치의 개발에 관한 것이다.</p> <p>측정된 온도가 사용자가 설정한 임계치를 초과하면 센서보드 내부의 MCU 또는 서버, 미들웨어 임베디드의 명령을 통하여 자동 개폐 장치에 작동 명령을 내린다. 명령에 따라 환기구의 개방을 통하여 사육상 내부의 열을 대류현상을 통해 식혀주고, 이를 통하여 꿀벌의 생육 최적 온도인 35℃를 유지할 수 있도록 한다. 이는 꿀벌의 생육을 도와 노동 효율을 높여 벌꿀의 획득량을 증대시킴으로써 효율적인 양봉이 가능하도록 할 수 있는 효과가 있다.</p>	단계
20 17	소문 개폐부를 구비한 꿀벌통	<p>본 기술은 사용자가 서버를 통해 개폐를 제어할 수 있는 소문개폐장치로, 단두대 형태로 꿀벌통 외부에 간편하게 설치 가능하며, 개폐각도에 따라 소문의 개방 정도를 조절할 수 있도록 하여, 말벌의 피해가 있을 때는 사람이 현장에 방문하는데 걸리는 소요시간 동안 소문을 완전 폐쇄하여 1차 피해를 막고, 2차 조치를 통해 말벌의 제거를 행할 수 있도록 하며 야간에는 꿀벌의 출입이 없으므로 개방각도를 작게 하여 외부의 찬 공기의 유입을 차단하여 꿀벌의 보온활동에 대한 부담을 줄여주는 효과가 있다.</p> <p>종래에 개발된 제품의 경우 꿀벌과 말벌의 체구 차이를 이용하여, 소문 앞에 꿀벌은 출입이 자유롭고 꿀벌보다 체구가 큰 말벌은 출입을 제한하는 형태로 개발되었으나, 꿀벌이 보호망 외부로 나가 말벌과 조우하면 꿀벌은 결국 말벌의 공격에 노출되기 때문에 큰 효과를 보기 어려웠다. 사물인터넷 기술을 적용하여 사용자가 원하는 시점에 스마트폰, PC로 제어가 가능하며, 향후 말벌의 침입에 따른 내부 생육환경 변화 신호를 개폐제어 알고리즘으로 적용한다면 말벌이 침입하면 침입에 의한 측정 환경인자의 변화를 감지하여, 자동으로 소문을 폐쇄할 수 있다.</p>	기술개발 진행 중
20 18	유전자분석법에 의한 사양꿀벌 구분법	<p>PCR방식에 의하여 사탕수수 혹은 사탕무우 유전자를 검출하는 방법이며, 벌꿀 품질관리의 혁신적인 이정표가 될 전망이다. 이를 통하여 양봉산물의 고급화를 이룰 수 있게 될 것이며 궁극적으로 양봉농가의 소득증대에 크게 기여할 것으로 판단된다.</p>	기술개발 완료

○ 저작권(S/W)

등록연도	등록 프로그램명	저작자명	등록기관	등록번호
2016	꿀벌사육상 센서데이터 변환시스템	제주대학교 산학협력단	한국저작권위원회	C-2016-026055
2017	아오이티(IoT)기반 양봉상태 모니터링 시스템	주식회사 아르고넷	한국저작권위원회	C-2017-033871
2016	아이오티(IOT) 기반 꿀벌생육환경 모니터링 시스템	주식회사 아르고넷	한국저작권위원회	C-2016-024958
2018년	IoT(아이오티) 기반 스마트 양봉 시스템	주식회사 아르고넷	한국저작권위원회	C-2018-029773

○ 학술대회발표

번호	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	2016년 제31차 한국양봉학회 추계학술대회	민상현	2016-10-20	국립 산림과학원	대한민국
2	2017년 제32차 한국양봉학회 춘계학술대회	윤병수	2017-04-13	인천대학교 송도캠퍼스	대한민국
3	2017년 제32차 한국양봉학회 춘계학술대회	김정민	2017-04-13	인천대학교 송도캠퍼스	대한민국
4	2017년 제32차 한국양봉학회 춘계학술대회	이철우	2017-04-13	인천대학교 송도캠퍼스	대한민국
5	2017년 제32차 한국양봉학회 춘계학술대회	임수진	2017-04-13	인천대학교 송도캠퍼스	대한민국
6	2017년 제32차 한국양봉학회 춘계학술대회	임수진	2017-04-13	인천대학교 송도캠퍼스	대한민국
7	2017년 제32차 한국양봉학회 춘계학술대회	김정민	2017-04-13	인천대학교 송도캠퍼스	대한민국
8	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	임수진	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
9	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	김정민	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
10	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	AT Truong	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
11	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	윤병수	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
12	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	윤병수	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
13	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	임수진	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
14	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	AT Truong	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
15	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	김정민	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
16	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	윤병수	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
17	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	윤병수	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
18	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	윤병수	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
19	45 th APIMONDIA Congress	윤병수	2017-09-30	Istanbul Congress Center	대한민국
20	2016 한국실험동물학회 동계 Symposium	KT Kim	2016-02-19	강원도 용평리조트	대한민국
21	2016 한국실험동물학회 동계 Symposium	JM Cho	2016-02-19	강원도 용평리조트	대한민국
22	2016 KSPVM Symposium	M Kim	2016-05-27	제주대학교 수의과대학	대한민국
23	2016 KSPVM Symposium	JM Cho	2016-05-27	제주대학교 수의과대학	대한민국

24	2016년 제31차 한국양봉학회 춘계학술대회	민상현	2016-03-25	경상북도 잠사곤충사업장	대한민국
25	2016년 제31차 한국양봉학회 춘계학술대회	왕지희	2016-03-25	경상북도 잠사곤충사업장	대한민국
26	2016년 제31차 한국양봉학회 춘계학술대회	임수진	2016-03-25	경상북도 잠사곤충사업부	대한민국
27	2016년 제31차 한국양봉학회 추계학술대회	민상현	2016-10-21	국립산림과학원	대한민국
28	2016년 제31차 한국양봉학회 추계학술대회	왕지희	2016-10-21	국립산림과학원	대한민국
29	2016년 제31차 한국양봉학회 추계학술대회	임수진	2016-10-21	국립산림과학원	대한민국
30	2016년 제31차 한국양봉학회 춘계학술대회	민상현	2016-03-24	경상북도 잠사곤충사업장	대한민국
31	2016년 제31차 한국양봉학회 춘계학술대회	왕지희	2016-03-24	경상북도 잠사곤충사업장	대한민국
32	2016년 제31차 한국양봉학회 춘계학술대회	임수진	2016-03-24	경상북도 잠사곤충사업장	대한민국
33	2016년 제31차 한국양봉학회 추계학술대회	민상현	2016-10-20	국립산림과학원	대한민국
34	2016년 제31차 한국양봉학회 추계학술대회	왕지희	2016-10-20	국립산림과학원	대한민국
35	2016년 제31차 한국양봉학회 추계학술대회	임수진	2016-10-20	국립산림과학원	대한민국
36	2017년 제32차 한국양봉학회 추계학술대회	서수경	2017-10-24	논산시농업기술센터	대한민국
37	2018년 제33차 한국양봉학회 춘계학술대회	김소민	2018-04-13	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
38	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	김병희	2018-10-12	경북 칠곡군 호국평화기념관	대한민국
39	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	김소민	2018-04-12	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
40	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	김병희	2018-10-12	경북 칠곡군 호국평화기념관	대한민국
41	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	김소민	2018-10-12	경북 칠곡군 호국평화기념관	대한민국
42	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	김소민	2018-10-11	경북 칠곡군 호국평화기념관	대한민국
43	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	AT Truong	2018-10-12	경북 칠곡군 호국평화기념관	대한민국
44	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	AT Truong	2018-10-12	경북 칠곡군 호국평화기념관	대한민국
45	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	AT Truong	2018-04-13	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
46	2018년 제33차 한국양봉학회 춘계학술대회	AT Truong	2018-04-13	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
47	2018년 제33차 한국양봉학회 춘계학술대회	김병희	2018-04-13	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
48	2018년 제33차 한국양봉학회 춘계학술대회	김병희	2018-04-13	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
49	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	김문정	2018-10-12	경북 칠곡군 호국평화기념관	대한민국
50	2018년 제33차 한국양봉학회 춘계학술대회	김문정	2018-04-13	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
51	2018년 제33차 한국양봉학회 춘계학술대회	김문정	2018-04-13	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
52	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	김문정	2018-10-12	경북 칠곡군 호국평화기념관	대한민국
53	대한수의학회 2018년 추계국제학술대회	임윤규	2018-10-25	텔피노 골프앤리조트	대한민국
54	2018년 제33차 한국양봉학회 춘계학술대회	김정민	2018-04-12	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
55	2018년 제33차 한국양봉학회 춘계학술대회	김정민	2018-04-12	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
56	2018년 제33차 한국양봉학회 추계학술대회	김정민	2018-10-12	경북 칠곡군 호국평화기념관	대한민국

3. 목표달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표 달성도

구분	세부연구목표	달성 내용	달성도
2016	<p>* 꿀벌사육상 상태모니터링 데이터 분석 및 사육환경 연구</p> <p>○ 유밀단계별 밀원 분리 및 특성 조사</p>	<p>○ 양봉현장에 요구사항을 반영한 센서 제어기 및 신호전송장치의 개발</p> <p>- 온·습도등 데이터 저장 기능, 데이터 윽셋 제어 기능을 포함하는 AVR 기반 센서 제어기 개발</p> <p>- 무선네트워크 방식을 이용한 데이터 전송 장치 개발</p> <p>○ 소문 및 개포의 자동개폐장치의 제어 조건별(외기, 내부온, 습도, CO2 등) 작동 메커니즘 연구</p> <p>○ 내부 온, 습도, CO2 등 내부 환경을 고려한 꿀벌의 생육영향 분석</p> <p>○ 밀원 분석 및 특성 연구(아열대 식생 대상)</p>	100
	<p>* IoT기반 스마트양봉 실증연구</p> <p>○ 꿀벌생육환경인자 분석을 위한 실증연구</p>	<p>○ 소문 개폐정도에 따른 내부 환경변화 조사, 분석</p> <p>- 온, 습도 및 CO2 등의 변동 제어</p> <p>- 군집행동양상 변화 분석</p> <p>○ 인공감염에서 미세환경변화에 의한 원격 질병감지 징후의 발굴</p> <p>○ 절기별 소문개폐의 최적 조건 설정 (외기 온·습도에 연계)</p>	100
	<p>* 스마트양봉 시스템을 통한 총괄방역체계 개발</p> <p>○ 야외양봉장 모니터링 인자 발굴 및 농가 수요 조사</p>	<p>○ 질병관련 모니터링 인자 추가 발굴</p> <p>- 문헌조사와 농가현장조사를 통한 꿀벌질병관련 생육환경모니터링 인자 추가 발굴</p> <p>○ 스마트양봉시스템 농가 교육 및 적용 농가 선정</p>	100
	<p>*꿀벌생육환경 모니터링 및 제어시스템 개발</p> <p>○ 꿀벌생육환경 모니터링 HW/SW 설계</p>	<p>○ 스마트 양봉시스템 기능 요건 분석</p> <p>○ 스마트 양봉시스템 설계</p> <p>○ 빅데이터 처리용 최적 시스템 아키텍처 설계</p> <p>○ 스마트 양봉시스템 프로토타입 구축</p>	100

구분	세부연구목표	달성 내용	달성도
2017	<p>* 꿀벌사육상 생육환경제어 플랫폼 개발</p> <p>○ 양봉생육환경인자 제어를 위한 센서디바이스 개발</p> <p>○ 센서디바이스/제어시스템의 테스트베드 적용 및 영향평가</p>	<p>○ 제어조건(온·습도, 무게, 외부환경 등) 및 생육환경에 따른 제어방안 연구 - 온·습도, 사육상 무게 등 생육환경 제어를 위한 통합형 제어 장치 개발 - 제어조건 설정후 이상징후 발생 시 알람을 통해 환경변수를 최적화</p> <p>○ 사육상 제어 플랫폼 구축 및 제어 실증 테스트</p> <p>○ 개발된 device 적용 및 data 분석</p> <p>○ 소문 자동 개폐 장치 개발/생육환경 영향도 분석</p>	100
	<p>* IoT기반 스마트양봉 실증연구</p> <p>○ 양봉생육환경인자 제어를 위한 실증연구</p>	<p>○ 소문자동개폐 조절에 따른 생산성 영향분석</p> <p>○ 인공감염에서 미세환경변화에 의한 원격 질병감지 징후의 발굴</p> <p>○ 수밀단계별 밀원 분획 및 밀원특성조사 (밀원 확인 PCR 분석)</p>	100
	<p>* 스마트양봉 시스템을 통한 총괄방역체계 개발</p> <p>○ 시험봉장내 모니터링 결과 분석 및 방역 통제 방안 수립</p>	<p>○ 제주대, 경기대, 검역본부내 스마트양봉시스템 적용 결과 분석</p> <p>○ 생육환경 변동요인 분석</p> <p>○ 질병발생과 생육환경과의 연관성 분석 - 꿀벌질병과 생육환경인자 연관성 분석결과 확인 점검</p> <p>○ 생육환경 조절프로세스 연구개발 - IoT 기반 생육환경 조절을 통한 환경변화 프로세싱 양봉장 적용 시험</p> <p>○ 서버와 전송장치 및 운영체계 안정성 검토 - 서버, 전송장치, IoT 작동여부 등 스마트양봉 운영체계 안정성 점검</p>	100
	<p>*꿀벌생육환경 모니터링 및 제어시스템 개발</p> <p>○ 양봉 생육환경 모니터링 및 제어시스템 HW-SW 통합환경 구축</p>	<p>○ 규칙(Rule) 기반 생육상태 진단 및 예측시스템 구축</p> <p>○ 소문개폐 등 스마트사육상 제어시스템 구축</p> <p>○ HW(스마트 꿀벌사육상) - SW(스마트 양봉시스템) 통합환경 구축</p>	100

구분	세부연구목표	달성 내용	달성도
2018	<p>* 양봉 생육환경제어 검증/양봉농가 실증 테스트</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 양봉농가 실증테스트 ○ 양봉 생육환경제어 검증 ○ 개발된 센서/제어 디바이스 적용 및 데이터 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 꿀벌사육상 전용 저울 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 사육상의 중량 측정 저울 개발 및 중량 데이터의 오차값 필터링과 데이터 로그 분석 알고리즘 적용 ○ 생육환경인자 Signal 변화 분석과 제어알고리즘 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - 생육 제어변수의 데이터 분석을 통한 꿀 추출시기 및 꿀벌 이상징후를 감시 할수 있는 알고리즘 개발 ○ 제주대학교 내 스마트 양봉 시스템 테스트 베드 구축 및 운영 <ul style="list-style-type: none"> - 운영 데이터를 기반으로 한 양봉 농가 수요조사 및 실증 방안 마련 	100
	<p>* IoT기반 스마트양봉 실증연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 꿀벌생육환경제어를 위한 실증연구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사육상내의 생육환경 변화에 연계한 봉군생육정보 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 온도 및 중량변화에 따른 양봉정보 및 경보발령을 위한 자료제공 - 질병 감염시의 신호변화 분석 - 분봉 및 도봉 등의 외부요인에 의한 신호변화 분석 - 벌꿀 내부의 밀원 유전자 분석에 근거한 순수 벌꿀 검사법 개발 	100
	<p>* 스마트양봉 시스템을 통한 총괄방역체계 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 야외양봉장 적용시험을 통한 꿀벌질병 중앙통제시스템 실효성 검토 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 참여농가에 대한 시스템 적용 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 양봉장의 스마트양봉시스템 적용가능성 점검 및 문제점 해결 ○ 국가 중앙통제시스템 구축 방안 및 활용성 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 꿀벌질병관리센터에 의한 수행 ○ 전국적인 꿀벌질병 발생 조기경보 및 조기대응체계 구축 검토 	100
	<p>*꿀벌생육환경 모니터링 및 제어시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 양봉 사육농가 실증을 통한 농민 친화적 인터페이스 적용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 검역본부 실증 지원 시스템 구축 ○ 농민 친화적 이용자 인터페이스 구현 	100

3-2. 관련분야의 기여도

1) 기술적 측면

- 아직까지도 전통적인 양봉은 경험에 의하여 노동집약적인 활동으로 운영되고 있는 현실임. 본 연구 결과로 도출된 IoT 기반의 스마트 양봉시스템은 IT를 활용한 첨단양봉기술을 보급하는 것이며 이를 통하여 농촌정보화를 실현할 수 있을 것임.
- 또한, 스마트 기기를 통한 병해충 정보 등 각종 양봉정보 서비스를 적용할 수 있으며, 농가별 생육 데이터의 체계적 관리가 가능하게 된다. 온도/습도/이산화탄소 등 다양한 환경요소를 측정하는 센서의 확대, 성장환경 정보 DB 구축을 통한 노하우 획득 및 연구개발에 기여, u-IT 기술 적용에 따른 서비스 모델 확산에 따른 산업 수요에 기여, 현장시험을 통해 보다 효율적이고 실용적인 기술 및 사업을 창출할 수 있을 것임.
- 국외의 소수 기업들에 의하여 꿀벌 사육상 내부환경을 모니터링하는 결과가 소개되어 있으나, 생육에 불리한 환경을 개선할 수 있는 시스템 기술은 세계적으로도 본 연구진의 성과가 선두적인 것으로 사료된다. 특히, 내부온도가 35℃ 이상될 때 자동으로 환기시키는 조치는 꿀벌의 생육환경을 최적화 시켜 줄 뿐 아니라, 활동기의 분봉을 억제시키는 효과도 있으며, 관련 아이디어와 기술은 본 연구자들의 지견으로는 아직 보고된 바 없음
- PCR방법에 의한 사양꿀 검출 시스템의 개발은 꿀벌 품질관리의 관점에서 획기적인 기술 개발이며 세계 최초로 보고된 것임.
- 스마트양봉시스템을 국가방역체계에의 적용원리는, 시스템에 의하여 각 농가로 통보되는 병증의 빈도를 중앙에서 자동 모니터링됨으로써 전국적인 질병 발생양상을 예찰할 수 있도록 한 것으로, 전적으로 농가의 신고에 의하여 작동되던 기존의 방역시스템의 개선 및 자동화가 가능할 것으로 사료됨.

2) 경제적, 산업적 측면

- 양봉산업과 u-IT 융·복합 기술의 접목을 통한 지역농촌경제 발전과 양봉농가의 경쟁력을 확보할 수 있을 것이며, 선진국의 기술중속 방지 및 양봉 관련 세계 시장을 선도할 수 있을 것임.
- 데이터에 기반한 양봉 분야의 과학영농을 실현할 수 있는 기반이 마련되므로, 병충해를 조기에 감지할 수 있을 뿐 아니라, 밀시기 등의 정확한 계획에 의하여 양봉소득 생산성을 극대화 할 수 있을 것임.
- 특히, 사양꿀에 의하여 실추된 양봉산물의 품위를 보증할 수 있게 되었으므로 정당한 가격의 벌꿀유통이 가능할 것이므로 양봉농가의 소득향상에 크게 이바지할 것으로 사료됨.
- 양봉산업의 큰 위기 중 하나는 신규로 도입되는 외래성 병, 해충들이다. 그러나 이를 담당하는 국가기관의 인력은 턱없이 부족한 실정임을 감안할 때, 꿀벌질병의 국가방역도 시스

템에 맡겨야 마땅할 것이며, 본 과제에서 개발한 시스템을 접목하는 것이 해결책으로 제안될 수 있을 것임.

- 궁극적으로 꿀벌이 기능하는 가장 큰 역할은 화분매개 주역이라는 점이므로, 본 개발 결과물을 통하여 벌들의 개체수가 유지됨으로 인하여, 농업 및 임업분야의 생산성 증가도 꾀할 수 있을 것이며, 건강한 환경의 유지에도 큰 도움이 될 수 있을 것으로 사료됨.

4. 연구결과의 활용 계획 등

4-1. 연구결과의 활용

- 본과제의 핵심적인 연구결과물은 자동환기장치와 전용저울을 구비한 꿀벌통과 그 운용기술과 유전자 분석법에 의한 벌꿀품질관리 방법임.
- 자동환기장치와 전용저울을 구비한 꿀벌통과 그 운용기술은 본 연구과제의 근간이 되는 기술로서, 수요자의 맞춤형 제품으로 사업화하여 양봉농가에 보급할 계획임. 사업화 단계에서는 최적의 비용으로 제품을 출시하여 결과적으로 모든 양봉농가가 저렴한 비용으로 스마트 양봉을 운용할 수 있도록 할 것이며 이를 통한 생산성 향상이 기대됨.
- 또한, 제품의 안정성, 정밀성, 내구성 등의 제품 표준화에 대한 연구를 사업화 단계에서 철저히 시행하여 모든 양봉가에 연구의 혜택이 돌아가도록 추가적인 연구개발이 이루어질 예정임.
- 향후, APIMONDIA 와 국내학회 및 전시회에 전시하여 공격적인 홍보 및 마케팅을 수행할 계획입니다. 이를 통하여 농가에 소개 및 경제성에 대한 담론을 진행하여 사업화에 매진할 예정임. 또한, 농림자조금의 적용을 위한 양봉협회와 협조를 강화할 계획임.
- 유전자 분석법에 의한 벌꿀품질관리 방법은 국내 양봉산업에서의 가장 큰 애로사항인 사양꿀 혼입 여부를 감별할 수 있는 획기적인 정량법으로서 양봉산물에 대한 불신을 불식시킬 수 있을 것으로 사료됨. 이 기술을 양봉농민 기술단체에 제공하여, 양봉산물의 품위를 제고하고 과학적인 품질관리를 가능케함으로써, 양봉산물의 고급화에 큰 역할을 할 것으로 기대됨. 이는 궁극적으로 양봉농민들의 소득증대로 이어질 것으로 사료됨.

4-2. 추가연구의 필요성

1) 음향데이터의 음색(sound features)에 기반한 사육상 내부환경 해석연구

- 본 연구에서는 현장 보급을 위한 단가절감의 일환으로 초기 개발 단계부터 저가의 소음 센서를 도입하였다. 그러나 음압 위주의 단순한 측정치 만으로는 봉군의 규모를 파악할 수 있는 정도이다. 한편, 스펙트로그램 분석 등 전문적인 음향분석 기술과 수집된 데이터를 가공 및 분석하기 위한 다양한 통계적 기법과 Machine Learning 기술을 응용하여 무왕군 상태, 구왕과 신왕, 분봉 상태 등이 구분된다는 대한 연구결과들이 보고되고 있다.

- 향후 이와 관련된 추가연구가 이루어진다면 음향분석 전문 연구팀이 참여와, 음향분석을 위하여 소음센서의 스펙에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다. 이러한 센서는 Butterworth filter, Band-pass filter 등 필터 설치를 통한 선택적 주파수 즉, 꿀벌이 낼 수 있는 음향범위인 20 - 2000Hz 중 특정한 파장을 선별, 수집하고 분석하는 방향으로 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

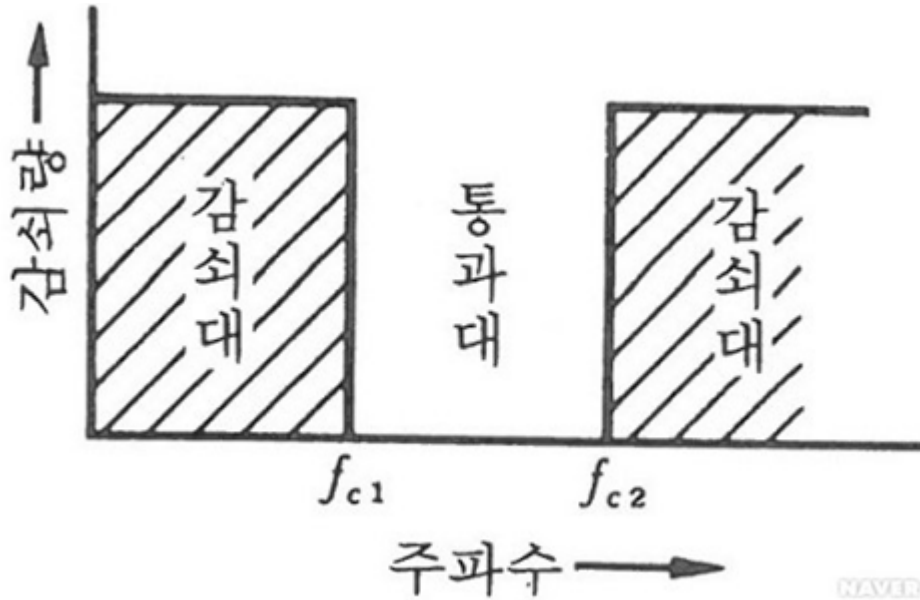


그림 212 Band-pass filter의 개념, Band-pass filter는 대역필터로 특정한 두 주파수, 즉 차단 주파수 f_1 및 f_2 사이에 있는 주파수 대역의 전류는 감쇠 없이 통과하고 그 이외의 모든 주파에 대해서는 감쇠를 주는 필터이다.

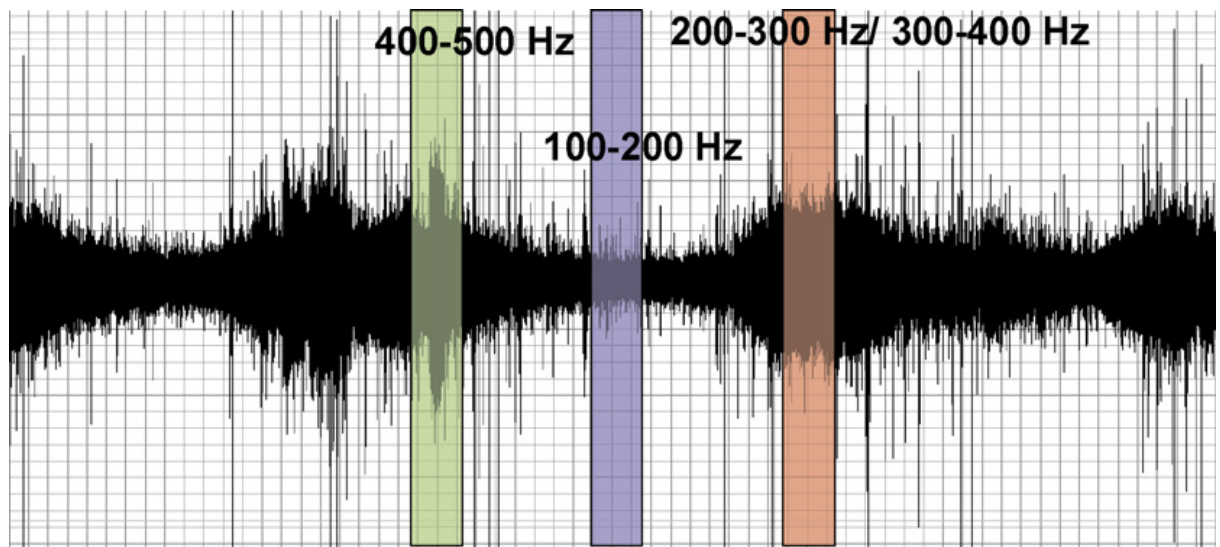
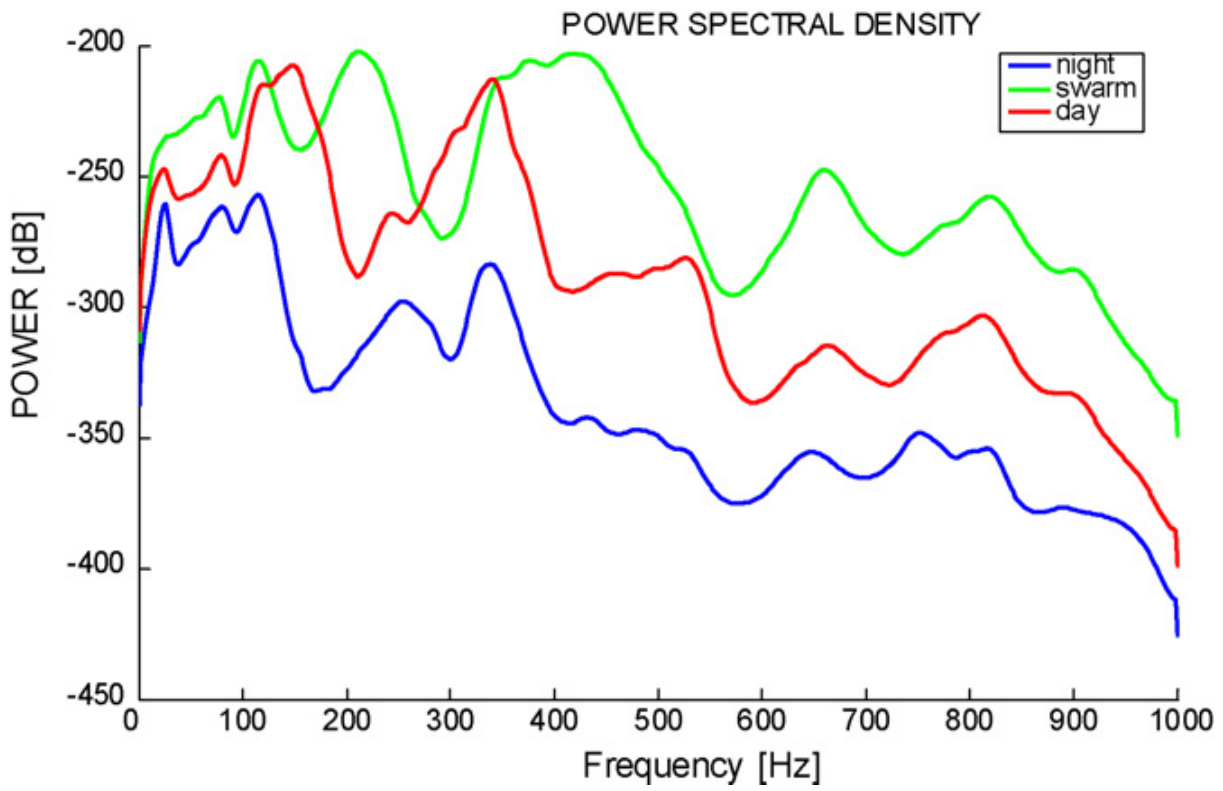


그림 213 음향분석을 통한 정상봉군의 주간, 야간 음향과 분봉 시 음향

붙임. 참고문헌

- AOAC. 1995. Official Method of Analysis of AOAC Intl. 20th ed. Method 998-12. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Bertelli, D., M. Lolli, G. Papotti, L. Bortolotti, G. Serra, and M. Plessi. 2010. Detection of adulteration by sugar syrups using one-dimensional and two-dimensional high-resolution Nuclear Magnetic Resonance. *J. Agric. Food Chem.* 58: 8495-8501.
- Boffo, E. F., L. A. Tavares, A. C. T. Tobias, M. M. C. Ferreira, and A. G. Ferreira. 2012. Identification of components of Brazilian honey by ¹H NMR and classification of its botanical origin by chemometric methods. *LWT - Food Sci. Technol.* 49: 55-63.
- Cejrowski, T., Szymański, J., Mora, H., & Gil, D. (2018, March). Detection of the Bee Queen Presence Using Sound Analysis. In *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems* (pp. 297-306). Springer, Cham.
- CODEX. 2001. CODEX STANDARD FOR SUGARS. CODEX STAN 212-1999.
- Doull KM 1976. The effects of different humidities on the hatching of the eggs of honeybees. *Apidologie* 7(1): 61-66.
- Edwards-Murphy, F., Magno, M., Whelan, P. M., O' Halloran, J., & Popovici, E. M. (2016). b+ WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 211-219.
- Elflein, L., and K. Raezke. 2008. Improved detection of honey adulteration by measuring differences between ¹³C/¹²C stable carbon isotope ratios of protein and sugar compounds with a combination of elemental analyser e isotope ratio mass spectrometry and liquid chromatography - isotope ratio mass spectrometry ($\delta^{13}\text{C}$ -EA/LC-IRMS). *Apidologie* 39: 574-587.
- European Commission. 2015. Official controls and enforcement. Honey 2015-16. Brussels, Belgium.
- Ferrari, S., Silva, M., Guarino, M., & Berckmans, D. (2008). Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period. *Computers and electronics in agriculture*, 64(1), 72-77.
- Flores, JM, J.A. Ruiz, J.M. Ruz, F. Puerta M. Bustos, F. Padilla, F. Campano 1996. Effect of temperature and humidity of sealed brood on chalkbrood development under controlled conditions. *Apidologie*. 27: 185-192.
- He, X. J., Tian, L. Q., Wu, X. B., & Zeng, Z. J. (2016). RFID monitoring indicates honeybees work harder before a rainy day. *Insect science*, 23(1), 157-159.
- Jain S. A., F. T. d. Jesus, G. M. Marchioro, and E. D. d. Araujo. 2013. Extraction of DNA from honey and its amplification by PCR for botanical identification. *Food Sci. Technol. Campinas* 33: 753-756.

- Kim, S. G., I. P. Hong, S. O. Woo, H. R. Jang, J. S. Jang and S. M. Han. 2017a. Chemical Composition of Korean Natural Honeys and Sugar Fed Honeys. *THE KOREAN JOURNAL OF FOOD AND NUTRITION* 30: 112-119.
- Kleinhenz, M., Bujok, B., Fuchs, S., & Tautz, J. (2003). Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. *Journal of Experimental Biology*, 206(23), 4217-4231.
- Kridi, D. S., Carvalho, C. G. N. D., & Gomes, D. G. (2014, September). A predictive algorithm for mitigate swarming bees through proactive monitoring via wireless sensor networks. In *Proceedings of the 11th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, & ubiquitous networks* (pp. 41-47). ACM.
- Laube, I., H. Hird, P. Brodmann, S. Ullmann, M. Schöne-Michling, J. Chisholm and H. Broll. 2010. Development of primer and probe sets for the detection of plant species in honey. *Food Chemistry* 118: 979-986.
- Lim, H. Y., S. H. Han and B. S. Yoon. 2014. *Manual of Methods for Molecular Biology IV*: 95-97.
- MFDS. 2014. Food Standard Code. Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea.
- Ohmenhaeuser, M., Y. B. Monakhova, T. Kuballa, and D. W. Lachenmeier. 2013. Qualitative and quantitative control of honeys using NMR spectroscopy and chemometrics. *Analytical Chemistry* 2013: 1-9.
- Owens, C. D. (1971). The thermology of wintering honey bee colonies (No. 1429). US Agricultural Research Service.
- Padovan, G. J., D. De Jong, L. P. Rodrigues and J. S. Marchini. 2003. Detection of adulteration of commercial honey samples by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio. *Food Chemistry* 82: 633-636.
- Riberio, R. d. O. R., E. T. Marsico, C. d. S. Carneiro, M. L. G. Monteiro, C. C. Junior, and E. F. O. d. Jesus. 2014. Detection of honey adulteration of high fructose corn syrup by low field Nuclear Magnetic Resonance (LF^1H NMR). *J. Food Eng.* 135: 39-43.
- Rios-Corripio, M. A., M. Rojas-Lopez, and R. Delgado-Macuil. 2012. Analysis of adulteration in honey with standard sugar solutions and syrups using attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate methods. *CyTA - J. Food* 10: 119-122.
- Seeley, T. D., Kleinhenz, M., Bujok, B., & Tautz, J. (2003). Thorough warm-up before take-off in honey bee swarms. *Naturwissenschaften*, 90(6), 256-260.
- Seeley, T. D., & Tautz, J. (2001). Worker piping in honey bee swarms and its role in preparing for liftoff. *Journal of Comparative Physiology A*, 187(8), 667-676.
- Sobrino-Gregorio, L., S. Vilanova, J. Prohens and I. Escriche. 2018. Detection of honey adulteration by conventional and real-time PCR. *Food Control* 95: 57-62.
- Szabo, T. I. (1985). The thermology of wintering honeybee colonies in 4-colony packs as

- affected by various hive entrances. Journal of Apicultural Research, 24(1), 27-37.
- Tosun, M. 2013. Detection of adulteration in honey samples added various sugar syrups with $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratio analysis method. Food chem. 138: 1629-1632.
- Yoo, E. C., Y. K. Kong and B. S. Yoon. 2010. A Study on the Improved Analysis-methods to Determine Adulterated Honeys. Korean Journal of Apiculture 25: 63-76.
- Zacepins, A., Kvišis, A., Stalidzans, E., Liepniece, M., & Meitalovs, J. (2016). Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring. Biosystems Engineering, 148, 76-80.
- 김정민, 임수진, Truong A Tai, 홍기정, 윤병수. 2017. 초고속 유전자 증폭법을 이용한 벌집 꼬마밀빠진벌레(*Aethina tumida*)의 신속한 검출 기법 개발. J. Apiculture 32: 119-131.
- 유응철, 공영건, 윤병수. 2010. 불량꿀 검사를 위한 개선된 분석 방법에 관한 연구. J. Apiculture 25: 63-76.
- 윤병수, 한상훈, 임희영. 2014. 분자생물학 연구방법론 IV. 경기대학교 출판부. 95p-97p.