

11-15430  
00-00235  
6-01

발간등록번호  
11-1543000-002356-01

**동물복지 실현을 위한  
ICT기반 에너지 순환형  
축사환경 관리시스템개발  
최종보고서**

2018.09.27.

주관연구기관 / (주)애그리로보텍  
협동연구기관 / (주)나래트랜드  
부산가톨릭대  
위탁연구기관 / 경상대학교

**농림축산식품부**

동물복지실현을 위한 ICT기반 에너지순환형축사환경관리시스템개발

동물복지실현을 위한 ICT기반 에너지순환형축사환경관리시스템개발 R&D Report

2018

농림축산식품부

<제출문>

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “동물복지 실현을 위한 ICT 기반에너지 순환형 축사환경 관리시스템 개발” (개발기간 : 2015. 08. 14 ~ 2018. 08. 13)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 09. 27.

주관연구기관명 : (주)에그리로보텍 (대표자) 함영화 (인

협동연구기관명 : (주)나래트랜드 (대표자) 최승욱

협동연구기관명 : 부산가톨릭대 산학협력단 (대표자) 김기연

참여기관명 : 경상대학교 산학협력단 (대표자) 김현태



주관연구책임자 : 함영화  
협동연구책임자 : 최승욱  
협동연구책임자 : 김기연  
참여기관책임자 : 김현태

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

위탁연구	연구기관명: 경상대학교	연구책임자: 김현대
------	--------------	------------

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반과제
-------------------------	------

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	10	3									

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

<p>요약</p> <p>연구추진결과</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 환경데이터 통합장치 개발 및 클라우드 적용(1세부)</li> <li>○ 에너지 모니터링 및 순환관리 장치 개발(1협동)</li> <li>○ 축사(양돈)내 환기 및 적정환경에 대한 가이드 개발(2협동)</li> <li>○ 개발된 내용의 현장 적용평가(위탁)를 진행</li> <li>○ 최종적으로 '에너지 순환형 축사환경관리 시스템'을 연구운영서버에 구축 (<a href="http://118.129.34.164:8095">http://118.129.34.164:8095</a> (연구운영서버))</li> </ul> <p>제품개발결과</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 각종 센서 및 제어를 운용할 수 있는 유/무선 통신 모듈 개발</li> <li>○ 양방향 전력량을 확인하여 축사의 에너지 효율 측정 모듈 개발</li> </ul>	<p>보고서 면수 :201</p>
---	--------------------

<요약문>

연구의  
목적 및 내용

본 연구는 동물복지를 전제한 축산생산성 제고를 위해 첨단 'ICT 융합형 축사환경 및 에너지 관리 시스템' 구축을 목적으로 함

(제1세부) 축산 환경 데이터의 통합 관리를 위한 클라우드 시스템 개발

- 각종 센서 및 제어기를 범용으로 운용할 수 있는 유/무선 통신 모듈 개발
- 클라우드 시스템 기반 축산 빅데이터 수집, 관리, 분석 서비스 개발
- 관리자 수요형 실시간 축사 모니터링 및 자동·원격 제어 스마트 웹 개발

(위탁) 목표 시스템의 개발단계별 현장 적용·검증을 통한 실증화 구현

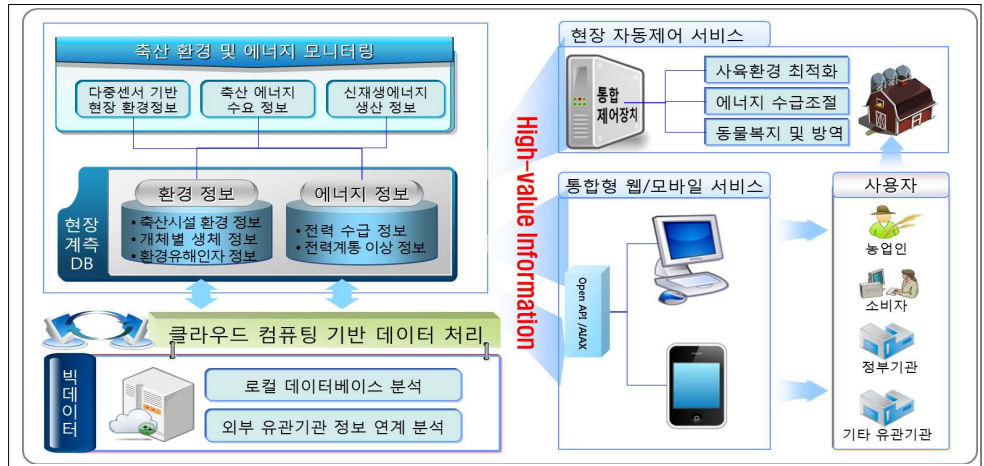
- 개발단계별 시제품의 소규모 실험조사 적용을 통한 운영성능 평가
- 최종 성과품의 실규모 농장 적용실험을 통한 실증화 정도 평가

(제1협동) ICT 기반 에너지 순환형 축사 관리 시스템 개발

- 실시간 전력량 및 전력계통 모니터링 기술 개발
- ICT융합형 전력망의 양방향 정보교환을 통한 에너지효율 최적화 기술개발
- 에너지관리 광역화를 위한 웹베이스시스템 개발 및 실증화(스마트 그리드)

(제2협동) 축산 생산성과 제품 안전성 향상 및 동물복지를 위한 축사적정 실내 환경관리 가이드라인 개발

- 축산 생산성 및 제품 안전성에 영향을 주는 환경 유해인자의 특성 파악을 위한 축사 공기오염물질의 노출수준과 배출계수 정량화 현장 평가
- 동물복지 관련 공기 오염물질의 위해도 DB 구축
- 다양한 축사 공기오염물질 노출에 따른 동물 복지 지수와의 통계적 상관성 규명
- ICT 기반 에너지 순환 축사 시스템 운영에 따른 친환경 적정 실내공기질 관리기준 합리화 모델 개발



본 연구를 통하여 환경데이터 통합장치 개발 및 클라우드 적용(1세부), 에너지 모니터링 및 순환관리 장치 개발(1협동), 축사(양돈)내 환기 및 적정환경에 대한 가이드 개발(2협동) 및 개발된 내용의 현장 적용평가(위탁)를 진행하여 최종적으로 '에너지 순환형 축사환경관리 시스템'을 연구운영서버에 구축 (<http://118.129.34.164:8095> (연구운영서버))



**(제1세부) 축산 환경 데이터의 통합 관리를 위한 클라우드 시스템 개발**

연구개발성과

- ▶ 각종 센서 및 제어를 운용할 수 있는 유/무선 통신 모듈 개발



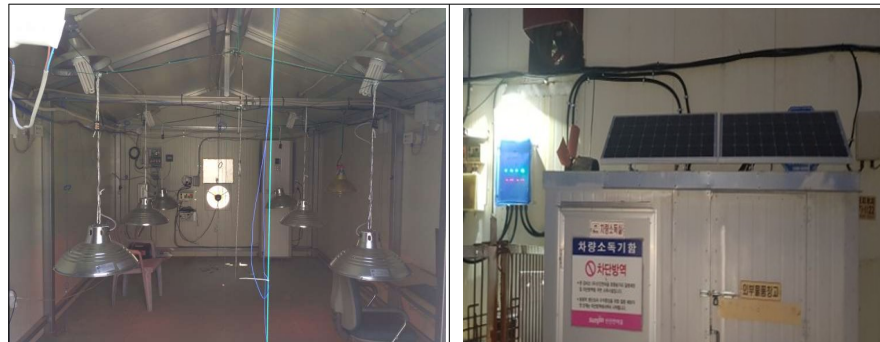
- ▶ 각종 센서 및 장비로부터 클라우드 기반으로 데이터 수집 시스템 개발



- ▶ 에너지 순환형 축사환경관리 시스템 구축(상단의 이미지 참조)

(위탁) 목표 시스템의 개발단계별 현장 적용·검증

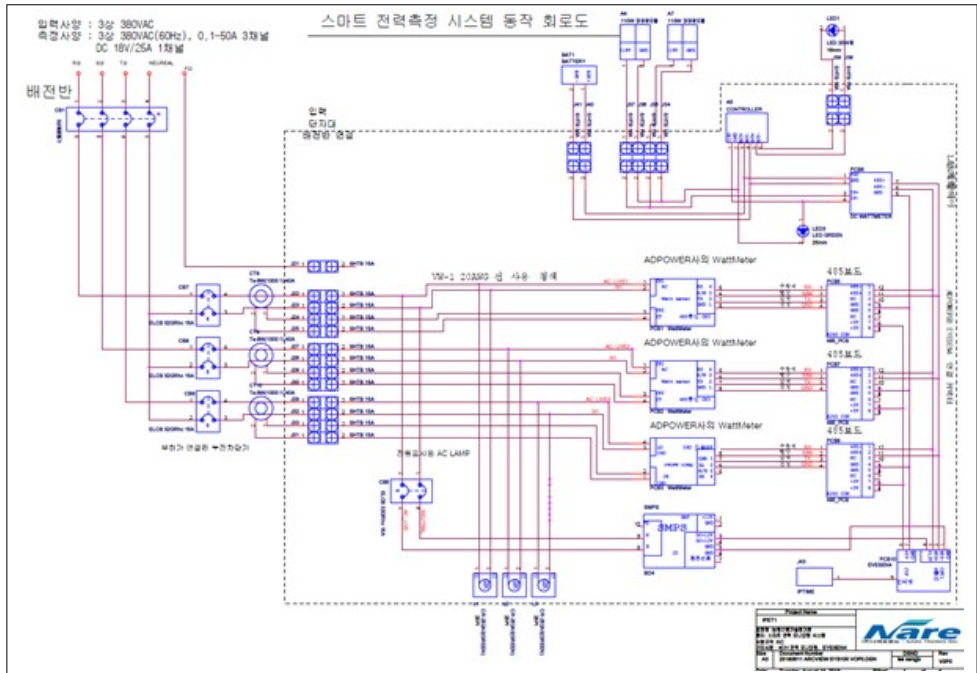
- 개발단계별 시제품의 소규모 및 실규모 돈사 적용 및 운영성능 평가



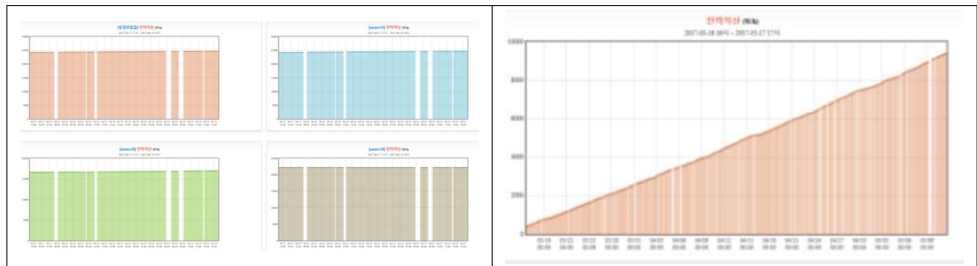
연구개발성과

**(제1협동) ICT 기반 에너지 순환형 축사 관리 시스템 개발**

○ 양방향 전력량을 확인하여 축사의 에너지 효율 측정 모듈 개발



○ 신재생에너지 모니터링 시스템 개발( S/W )



○ 특허 출원 1건 / 특허 등록 1건

**(제2협동) 축산 생산성과 제품 안전성 향상 및 동물복지를 위한 축사적정 실내**

**환경관리 가이드라인 개발**

▶ 축사 실내 주요 환경 유해인자의 권고 관리 기준 및 센싱 유효 범위

	실내 관리 기준 (권고치)	센싱 범위
암모니아	25(±10)ppm	15~35ppm
황화수소	5(±5)ppm	0~10ppm
미세분진(PM <sub>10</sub> )	600(±200)µg/m <sup>3</sup>	400~800µg/m <sup>3</sup>

▶ ICT 기반 에너지 순환 개념의 시스템이 적용되고 있는 축사(비교군)에서 측정된 실내 공기 오염물질 농도가 본 시스템이 적용되지 않고 있는 관행 축사(대조군)에 비해 낮은 것으로 조사됨

▶ 육성/비육돈 1,000두 사육 규모의 돈사를 ICT 기반의 에너지 순환 시스템을 적용하여 1년 동안 운영한다면 편익(136,053,720원)에서 비용(27,049,000원)을 차감한 약 109,004,720원의 경제적 효과가 있는 것으로 분석됨

<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p><b>(제1세부)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개발된 유무선 모듈을 활용하여 데이터 수집과 활용을 위한 상용화 통신모듈의 제품화</li> <li>○ 연구수행 중 설치된 농장들의 데이터를 지속적으로 수집하고 분석(데이터의 연계 분석)기능의 개선을 통하여 농가 통합서비스 기능 개발</li> </ul> <p><b>(제1협동)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 연구는 산학 연계를 통해 수행되므로 상품화 역량을 보유한 참여기관이 직접 상품화</li> <li>○ 각 참여기관은 과제 수행을 통해 획득한 기술 및 노하우를 바탕으로 성과품을 상품화하며, 중장기적 활용 전략을 바탕으로 성과품의 품질을 지속적 향상시켜 경쟁력있는 제품으로 업그레이드</li> </ul> <p><b>(제2협동)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 동물의 최적 생산 조건 확보 및 안전한 축산물 생산이 가능한 동물 복지 기반 축사 환경 관리 모델 개발</li> <li>○ 축산 농가 맞춤형 실내공기오염물질의 관리 가이드라인 제시</li> <li>○ 환경보건 분야에서 환경유해인자 노출된 일반 사람들의 건강 상태 변화를 예측하는데 널리 활용되고 있는 건강위해성평가모델 (Health Risk Assessment Model)을 축산 분야에 적용 가능</li> </ul>
------------------------------------	--

국문핵심어 (5개 이내)	축산생산성	에너지순환	실내환경 관리	동물복지	스마트그리드
영문핵심어 (5개 이내)	livestock productivity	energy recycle	indoor environment management	animal welfare	smart-grid

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

## <본문목차>

# < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 .....
  2. 연구수행 내용 및 결과 .....
  3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....
  4. 연구결과의 활용 계획 등 .....
- 붙임. 참고 문헌 .....

## <별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

### 본문 작성요령(제출 시 삭제할 것)

- 가. 본문의 순서는 장, 절, 1, 가, (1), (가), ①, ㉠ 등으로 하고, 장은 17 포인트 고딕체열, 절은 15포인트 명조체열, 본문은 11 포인트 명조체열로 합니다. 다만, 본문의 내용중 중요부문은 고딕체열을 사용할 수 있습니다.
- 나. 장은 원칙적으로 페이지를 바꾸어 시작합니다.
- 다. 본문은 11 포인트 횡으로 작성합니다.
- 라. 쪽 번호는 하단 중앙에 표기하되, 11 포인트로 합니다.
- 마. 각주는 해당 쪽 하단에 8포인트로 표기하며, 본문과 구분하도록 합니다.
- 바. 쪽 수는 편집순서 2의 제출문부터 시작합니다. 이 경우 삽입물이 있을 때에는 그 삽입물의 크기에 관계없이 1면을 한 쪽으로 하여 일련번호를 붙입니다.
- 사. 한글·한문·영문을 혼용합니다.
- 아. 뒷면지에 주의문을 넣습니다.
- 자. 참고문헌(reference) 인용의 경우 본문 중에 사용처를 반드시 표시하여야 합니다.

## <뒷면지>

### 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

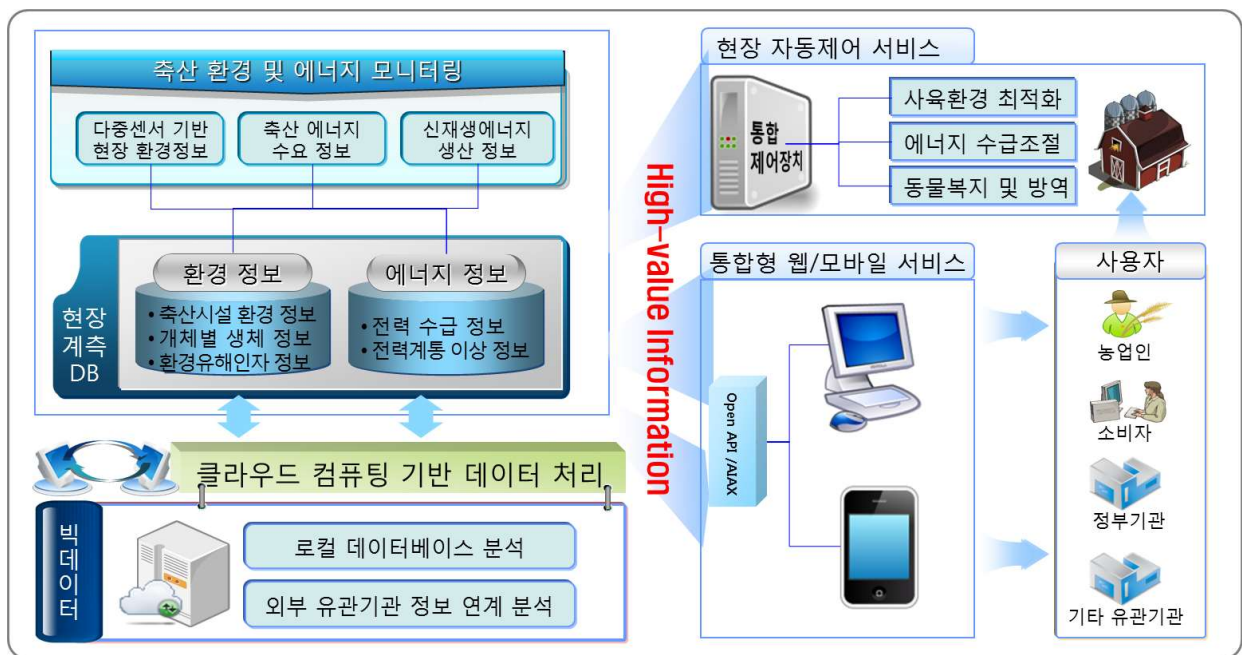
## <본문작성 양식>



# 제 1장. 연구개발과제의 개요

## 제1절. 연구개발 목적

- 본 연구는 동물복지를 전제한 축산 생산성 제고를 위해 첨단 ICT 융합형 축사 환경 및 에너지 관리시스템 구축을 목표로 함.
- ICT 활용을 통해 축산 현장의 다양한 환경 및 에너지 정보를 실시간 모니터링을 구현하고, 이러한 현장 계측 데이터와 더불어 외부 유관기관에서 제공하는 각종 유용 데이터베이스를 통합 분석함으로써 축산 현장에서 활용도가 높은 고품질 정보를 생산하는 클라우드 컴퓨팅 기반의 빅데이터 분석 알고리즘을 개발함.
- 축산 현장에서 사용하는 각종 자동화 장치를 클라우드 컴퓨팅으로 생산한 양질의 정보를 바탕으로 자동 제어할 수 있는 통합 제어장치 개발을 통해 축산 현장의 무의식적 생산성 개선 효과를 유도함. 또한 현장의 에너지 수급에 인근 지역의 신재생에너지를 지능적으로 접목하는 ICT 융합형 전력망 고도화를 통해 농가 에너지 부담의 친환경적 절감을 실현함.
- 관행적으로 사용되는 축산환경 지표를 넘어서는 환경유해인자 기반 차세대 지표의 개발을 통해 동물복지 수준의 제고를 지향하는 환경관리 기술을 개발함.



[그림] 연구개발의 최종목표

## 제2절. 연구개발의 필요성

### 가. 연구개발의 배경

○ 최근 한국의 축산은 선진 및 대형 농업국가와의 FTA 체결로 인한 수입 확대 전망, 국제 곡물가 변동으로 인한 사료공급 불안, 기후변화에 따른 사육환경 변화 등 외부요인으로 인해 업계 전반의 불확실성과 경기 불안이 증가되고 있으며, 이에 따른 자국 축산의 자생력 확보 및 국제 경쟁력 강화가 시급한 실정임.

- 축산은 국내 농업 총 생산액의 40% 수준(축잡업 기준)을 차지하는 농업의 큰 축이며, 폭넓은 전후방 산업을 포함하는 농산업 전반에서 강한 선순환 고리의 중심에 있음(표 1-1 참조).

[표 ] 농업부문 생산액 전망

(단위: 10억 원, 경상)

구분	2013	2014 (추정)	2015	2019	2024	연평균 변화율	
						15/14	24/14
농업	44,609	44,827	43,890	45,960	49,860	-2.1	1.1
재배업	28,297	27,028	26,698	27,401	28,508	-1.2	0.5
곡물류	10,254	9,468	8,833	8,015	7,431	-6.7	-2.4
쌀	8,532	8,190	7,562	6,742	6,099	-7.7	-2.9
채소류	9,633	9,443	9,661	10,379	11,127	2.3	1.7
과실류	4,114	3,616	3,637	4,028	4,325	0.6	1.8
특용·약용	1,771	1,905	1,898	2,070	2,325	-0.3	2.0
축잡업	16,312	17,799	17,192	18,559	21,352	-3.4	1.8
한육우	3,682	4,088	4,022	4,187	4,981	-1.6	2.0
양돈	5,010	6,126	5,585	5,991	6,847	-8.8	1.1
육계	2,171	2,041	2,162	2,394	2,693	5.9	2.8
낙농	2,074	2,192	2,036	1,957	1,878	-7.1	-1.5

※출처: 농업전망. 2015

- 축산 분야의 생산성은 지속적으로 개선되어 왔으나 최근 전반적으로 한계에 봉착하여 보합세를 지속하는 수준임. 특히 양돈분야의 생산성은 양돈기술 선진국에 대비하여 두드러진 낮은 산자수와 높은 폐사율을 나타내어 상당한 개선이 요구되며, 이로 인한 높은 생산비 구조는 국가경쟁력 하락의 가장 큰 요인으로 작용하는 것으로 조사되어 생산비의 효율성 극복이 시급함(표 1-2, 1-3 참조).

[표] 한국과 선진 양돈국의 생산성 비교

구분	실산자수	모든 회전율	이유 전 폐사율	PSY	이유 후 폐사율	MSY
네덜란드	13.1	2.38	11.4	27.1	8.9	24.7
덴마크	13.8	2.23	12.6	26.4	7.2	24.5
미국	11.1	2.39	11.0	22.9	7.4	21.2
한국	10.5	2.20	9.5	20.9	21.1	16.5

※출처: InterPIG, 2010

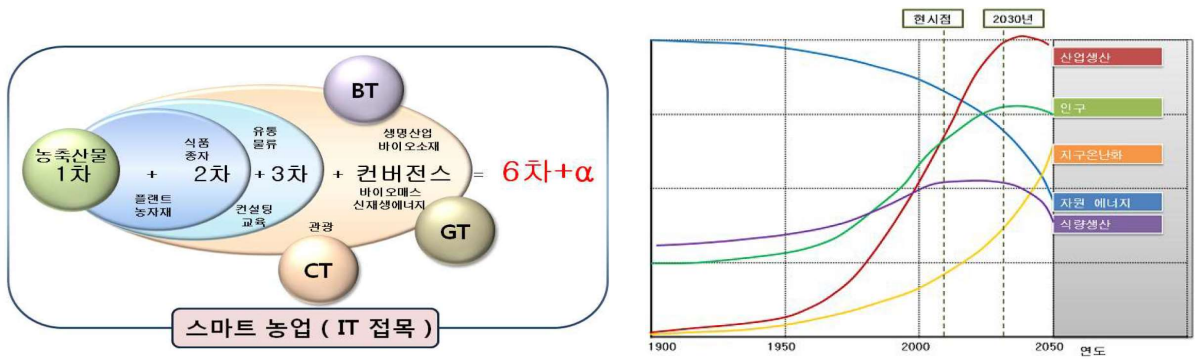
[표] 국가별 양돈산업 국가경쟁력 하위요인 지수

구분		한국	미국	캐나다	덴마크	벨기에	프랑스	네덜란드
생산요소	생산시장 인력	21.91	100.00	21.13	24.71	10.14	31.95	10.67
	연구개발	18.46	100.00	20.94	14.68	16.84	10.00	15.21
	생산비	25.78	100.00	17.89	25.78	10.00	25.78	10.36
	소비시장	10.00	100.00	68.99	30.70	15.26	16.55	21.74
소비시장	소비시장	100.00	17.83	12.42	10.00	10.76	11.37	10.31
	소비자 가격	100.00	50.37	50.37	50.37	50.37	50.37	50.37
	가격	10.00	61.73	100.00	52.69	31.54	100.00	19.21
경쟁양상	전략구조	10.00	61.13	64.40	98.09	71.41	86.38	100.00
	경쟁수준	100.00	31.87	50.07	74.57	53.16	34.17	46.59

※출처: 대한한돈협회, 양돈선진국의 실태와 경쟁력 비교조사, 2009. 11

- 최근 축산분야의 경쟁력 강화를 위해 ICT 융합형 농업기술 개발을 통한 생산성 향상과 신재생에너지 보급을 통한 에너지 비용 절감이 유망한 대안으로 부상함.
- 농림축산식품부는 농업의 미래성장산업화를 위해서는 정보통신기술(ICT), 신재생에너지 등 창의적 아이디어와 첨단기술의 접목을 통한 경쟁력 확보가 필요함을 강조함 (2014년 11월 19일, 대통령 주재 '농업 미래성장산업 대토론회')
- **(ICT 융합형 농업기술 개발)** 농업부문 정보통신기술(ICT) 융합은 기후변화로 인한 영농환경 변화는 물론, 농업노동력의 과소화와 고령화, 농업 성장 정체 등의 문제를 해결하고, 농산업을 새로운 성장 동력과 부가가치를 창출하는 미래성장산업으로 탈바꿈시키는 핵심 전략으로 대두됨.
  - 미래농업은 전통적인 생산방식에서 벗어나 관행 농업에 IT(정보통신), BT(바이오), ET(환경), NT(나노) 등 융합기술을 접목하여 고부가가치를 창출할 수 있는 6차 산업으로의 발전이며, 특히 농업과 ICT 기술의 융합은 농업의 생산, 유통, 소비 전 과정에 ICT

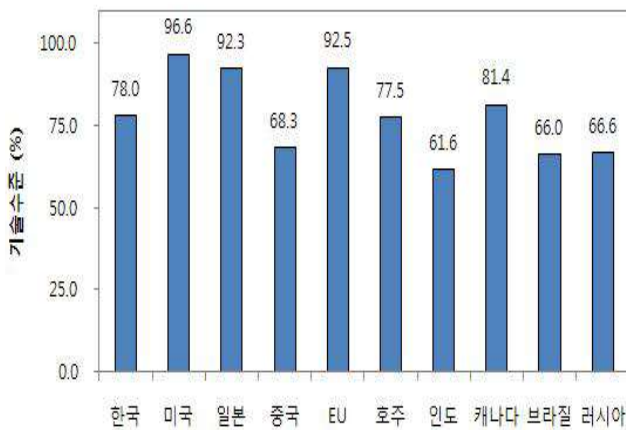
를 접목하여 신성장동력을 확충하고 새로운 가치를 창출하는 것임(그림 1-1 참조).



[그림] 스마트 농업 적용 분야(左), 기후변화에 따른 부문별 변화 추이와 전망(右)

※출처: KREI, 스마트 농업의 현황과 발전 방향(2013) KREI, 농업·농촌 2030/2050 비전과 과제(2010)

- 최근 농업은 환경변화 대응 및 생산성 제고를 위한 정밀농업(Precision Farming)을 지향하는 동시에 미래 신성장동력으로 각광을 받고 있으며, 다른 산업을 영위하던 글로벌 기업의 시장 참여가 확대되고 있음.
- 우리나라의 전반적인 농업기술은 아시아 상위 수준에 도달하였으며, 이에 세계적으로 기술력을 인정받는 국내 ICT 기술을 접목하여 국내 농업기술을 세계 최고 수준으로 견인할 수 있는 기회임(그림 1-2 참조).



연도별	농업과학기술 격차(단위: 년)			
	미국	EU	일본	중국
2005	5.9	3.2	4.1	-3.3
2010	5.4	4.2	3.9	-2.5
2015 (추정)	3.5	2.3	2.5	-1.9

[그림] 농업과학기술 전체 기술수준(左), 주요 국가와의 농업과학기술 격차(右)

※ 출처: 농촌진흥청, 제6차 농업과학기술 중장기 연구개발 계획안

- 우리나라 정부는 스마트 농업 촉진을 위해 2002년 1차 농업·농촌정보화 기본계획(농촌 지역의 PC 및 네트워크서비스 제공)을 시작으로 농산업 ICT 융합을 집중 육성하기 위한 지속적인 정책을 시행하고 있으며, 우리나라는 외국 선진기술과의 기술격차를 빠른 속도로 단축하고 있음.
- 농림축산식품부는 2013년 8월 '농식품 ICT 융복합 확산대책'을 발표하였으며, 국가과학

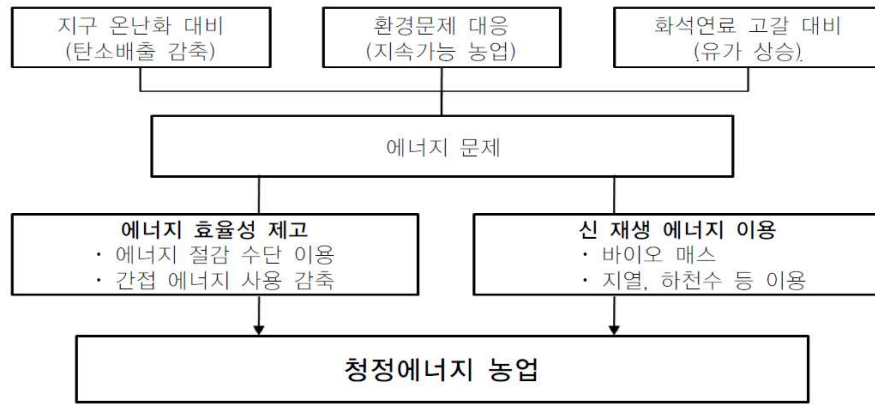
기술자문회의에서 과학기술을 접목한 농업분야 혁신을 위해 한국형 스마트팜을 2017년까지 토지면적 1,983m<sup>2</sup> 이하 영세농가 8,000가구에 보급할 계획을 표명함(표 1-4 참조).

[표 ] 스마트 농업 촉진을 위한 정부 정책

구분	추진 계획
농림축산 식품부	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 농식품 ICT 활성화를 위한 모델 구축 및 확산               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생산·유통지원체계, 농식품 품질 및 안전관리, 식품산업 진흥 및 경쟁력 강화, 디지털 및 스마트화 확산</li> </ul> </li> <li>● 농어촌지역 디지털 기반 조성               <ul style="list-style-type: none"> <li>- ICT 적용 마을(3,000개소), IT 융합서비스마을(700개소)</li> </ul> </li> <li>● 행정정보화를 통한 미래지향적 농정 실현               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 정책 지원체계 구축, 농수산사업시스템 구축, 농어업 시스템 및 관리 체계 구축, SMART 농림수산식품부 구현</li> <li>- 농수산식품통계 DB(16→32), 농수산사업정보시스템 구축(42→60), 대국민 서비스 만족도 향상</li> </ul> </li> <li>● 스마트 시대에 부응하는 IT 인프라 확충               <ul style="list-style-type: none"> <li>- IT 융합 기반조성, 농어촌 정보이용환경 개선, 보안강화</li> </ul> </li> <li>● IT 거버넌스 체계 구축               <ul style="list-style-type: none"> <li>- IT 조직 및 정책 기반조성, 관계부처·해외기관·산학관 간 협력 강화</li> </ul> </li> <li>● 농업정보화사업 촉진을 위한 품질관리체계akfus(농촌진흥청)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 품질관리 프로세스, 품질관리기준, 품질관리 가이드 등 3개 분야로 구성</li> </ul> </li> </ul>
미래창조 과학부	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 농업에 ICT를 접목하여 스마트폰을 활용한 작업관리 정보화, 가상경작, 온라인 직거래 판매 등 농업경영의 효율화 지원</li> <li>● 우체국쇼핑·물류를 활용한 소상공인·농업인 판로 지원</li> <li>● 2017년까지 소규모 농어촌 지역에 IPTV, 인터넷 전화 등 다양한 방통융합 서비스 제공을 위한 농어촌 광대역 가입자망 구축 지원(2013년, 176억원)</li> </ul>

※출처: 농림축산식품부(2012), 미래창조과학부(2013)

- **(신재생에너지 보급 확대)** 정부는 신재생에너지 이용기술의 농업시설 적용 및 확대보급 기반 구축, 국제유가·농자재 가격 상승으로 인한 농가의 경영비 부담 경감을 목적으로 농업에너지이용효율화사업을 2009년부터 시행함.
  - 근거법령: 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제4조(시책과 장려 등), 「에너지이용 합리화법」 제36조(폐열의 이용), 「농어업·농어촌 및 식품산업기본법」 제8조(농어업의 구조개선과 지속가능한 발전)
  - 기후변화로 인한 혹서기 및 혹한기 심화로 인해 냉난방비 급증, 농업용 에너지 단가 인상으로 인한 비용부담 가중 해소 목적(그림 1-3 참조)



[그림 1-3] 농업분야 청정에너지 이용 목적

※출처: KREI, 농업부문 에너지 수급 구조와 전망, 2010. 10

- 정부는 태양광 발전의 농촌 보급을 확대하기 위해 농업인 또는 농업법인이 소유한 건축물 지붕은 물론, 농업 생산과 무관한 시설의 설치가 엄격히 제한된 농업진흥구역 내에도 농업용 시설물 위에 태양광발전시설의 설치를 허용함(표 1-5, 1-6 참조).
- \* 농지가 농식품부 장관이 정하는 규모(3ha) 이상으로 집단화되어 농업목적으로 보전할 필요가 있는 지역
- 정부는 농업분야 신재생에너지 활용을 장려하기 위해 「농업·농촌 자발적 온실가스 감축사업」을 통해 실적을 달성한 농업경영체에게 인증서 수여 및 인센티브 지급을 시행함.

[표 ] 농업에너지이용효율화사업의 연도별 재정투입 계획

(단위 : 백만원)

구분	2012년까지	2013년	2014년	2015년	2016년이후
합계	682,611	181,531	163,618	144,979	297,563
국고	301,900	72,937	61,786	51,405	112,733
용자	49,076	11,882	16,962	23,406	30,949
지방비	180,655	53,565	48,514	40,096	87,932
자부담	150,980	43,147	36,356	30,072	65,949

※출처: 2015년 농업에너지이용효율화사업 시행지침

[표 ] 농업에너지이용효율화사업 지원 형태

구분	국고		지방비	자부담
	보조	용자		
- 에너지절감시설	20%	30%	30%	20%
- 공기열냉난방시설	20%	30%	30%	20%
- 지열냉난방시설	60%	10%	20%	10%
- 지중열냉난방시설	60%	10%	20%	10%
- 폐열 재이용시설(공모사업)	60%	10%	20%	10%(지방비 대체 가능)
- 폐열 재이용시설(단독사업)	60%	10%	20%	10%
- 목재펠릿난방기	30%	20%	30%	20%

※출처: 2015년 농업에너지이용효율화사업 시행지침

○ 축산업 경쟁력 강화에 있어 최근 동물복지는 중요한 요소로 부각되고 있으며, 축산업이 한정된 공간에서 집약적이고 기업화된 형태로 전환됨에 따라 발생하는 환경오염과 건강보건학적 문제들에 대한 관심과 규제가 국내외적으로 한층 증가되고 있는 실정임(표 1-7, 그림 1-4 참조).

- 축산 유래 공기오염물질은 매우 광범위한 분야에 걸쳐 영향을 미칠 수 있기 때문에 그에 대한 대책이 어렵고 시급한 상황임.
- 친환경 축산업의 진흥 도모 뿐만 아니라, 종사자와 인근 주변에 정주하는 사람들의 건강보건을 확보하기 위해 上記에서 언급한 문제의 해결은 지속가능한 축산(Sustainable Livestock) 구축에 중요한 선결과제임을 인식해야 할 시점임.

[표 ] 축산업으로 인해 방출된 공기오염물질의 환경보건학적 피해

구분	내용
거시적 관점	- 오존층파괴에 의한 지구 온난화의 가속 (Hospido and Sonesson, 2005) - 구제역 및 조류독감 바이러스 등의 질병 유발 인자의 공기 전염 확산 (Mayer 등, 2008)
미시적 관점	- 가축의 생산성 저하 (Demmers 등, 2003) - 인근 주변 지역의 악취 민원 증가 (Hayes 등, 2006) - 축산업 종사자의 흡입 노출로 인한 천식, 비염, 기관지염 등의 호흡기계 질환 유발 (Chang 등, 2001)

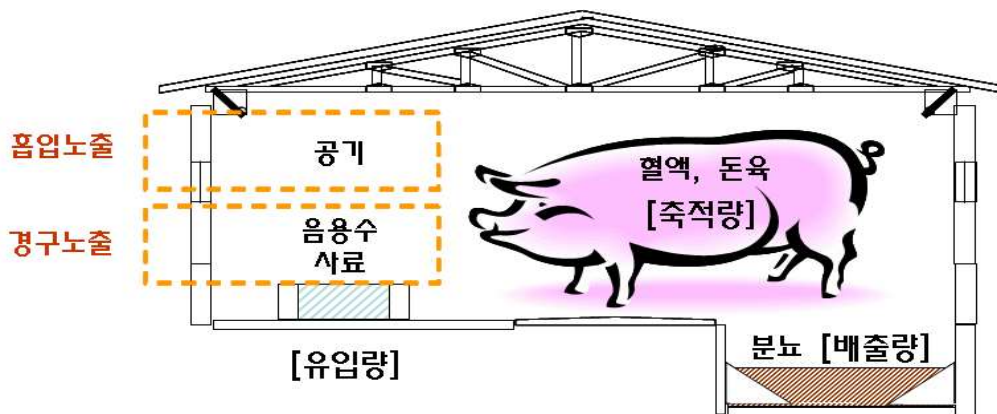


[그림 ] 축사에서 발생하는 공기오염물질의 실내외 환경보건학적 유해성

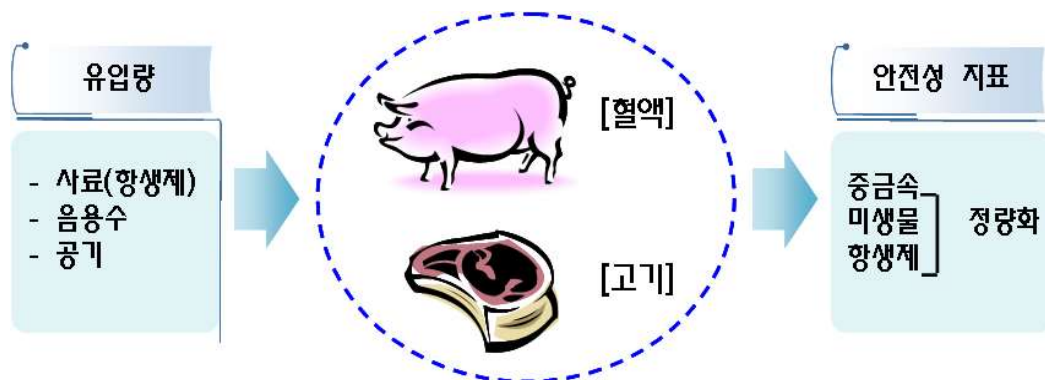
- 축사 공기오염물질의 발생으로 수반되는 환경보건학적 피해 사례를 사전에 예방하기 위해서는 우선적으로 기초 자료 확보를 통한 실질적인 발생량 추정과 이를 근거로 효과적인 현장 실증 제어 수단이 요구됨(그림 1-5, 그림 1-6 참조).
- 특히 지구온난화에 따른 급격한 기후변화 현상이 전 세계에 확산됨에 따라 축사에서

발생되는 공기오염물질의 발생양상에 영향을 줄 수 있는 향후 전개될 기상조건이 고려되어야 함.

- 최근 Well-being 의식이 전세계적으로 고조화되는 추세에 편승하여 소비자들이 안전성이 입증된 무공해 농산물을 주요 식단으로 추구하는 경향이 계속 높아지는 추세임.
  - 이러한 사회적 요구에 따라 육류 식단 중 하나인 돼지의 사육을 담당하고 있는 양돈 농가들은 경제적 측면에서 생산비 경감을 통한 돼지의 증체량 증대와 더불어 소비자들에게 보급되는 최종 돈육의 안전성을 확보해야하는 이중고에 처해 있는 상황임.
- 사육과정 중 돼지에게 경구나 호흡으로 노출되는 대부분의 유해오염물질, 특히 중금속류 등은 돼지 체내에 대부분 축적되어 결국 먹이 피라미드 과정을 통해 최종 소비자인 사람들에게 동시에 전달되는 것은 이미 알려져 있는 사실임.
  - 사료 첨가제 중 구리와 아연의 경우 돼지의 생산성 증대에 긍정적인 효과를 준다는 명목 하에 어떠한 설정기준 없이 다량 함유되어 최종 돈육의 안전성을 저해하는 요소로 작용할 가능성이 다분하나 이것과 관련한 대안 측면이 현재 간과 시 됨.



[그림] 돈사내 돼지에게 노출되는 환경 유해물질의 이동경로 및 유입, 축적, 배출의 흐름도



[그림] 다매체 노출에 의한 돼지 및 돈육의 안전성 지표 모식도



## 나. 연구개발대상 기술의 국내/외 현황

### (1) 국외 현황

- 세계에서는 사양관리 전산개발업체, 환경제어 시설업체 및 계열화 기업체를 중심으로 단편적이던 환경제어 시설과 제어항목을 다양화하는 시도가 이루어지고 있으며, 환경관리 시설의 복합적인 제어장비를 개발하여 농장에 접목하고 있다. 농장 및 돈사의 환경정보를 중앙에서 모니터링 하여 관리하는 시스템을 개발하여 적용하고 있음.
- 다양한 환경시설을 제어하고 있으나, 다중센서정보에 의하여 자동조절 되기보다는 온도, 풍속과의 연관식을 조사하여 환경제어 시설간에 환기팬의 가동량과 입기구의 개폐간에 연계 적용이 되도록 제어하고 있음. 또한 양돈장의 돼지 생산성적을 반영하여 다중환경 센서정보를 활용하는 변경하고 설정하는 것은 관리자의 역할로 자동화 되지 못하고 있음.
- **(덴마크)** 덴마크의 DLBR사의 Svine IT 프로그램은 양돈 농가의 중앙 컴퓨터 서버와 돈사에서 일하는 직원들의 포켓 컴퓨터와의 연결을 통해 각종 데이터들을 효과적으로 저장하고 그 데이터들로부터 양돈 경영의 미래 예측까지 가능하게 해주는 프로그램임(표 1-8 참조).
  - 이 프로그램을 통해 돼지의 짝짓기에서부터 임신, 분만, 이유식, 질병 치료, 비육돈 사육, 사료, 출하 등까지 양돈 경영 전반의 문제를 처리할 수 있음.

[표 1-8] DRBR사 Svien IT 각 개별 모듈의 특성

모듈명	가능작업	상호연관모듈
1. MiniPig	· 짝짓기, 임신, 분만, 이유식, 약물 소비량, 면역 조치 등에 관한 업무에 필요한 정보입력 및 분석 조회(사양관리 자료입력 및 조회를 위한 PDA용 프로그램)	2, 4, 6
2. 모돈	· 모돈사 내의 각종 변화 기록 및 통계목록 작성 · 생산보고서 출력 · 경제적 효과 분석 및 향후 6개월 간 최저 생산량 예측	3, 4, 5
3. 사료 최적화	· 최상의 배합비율 제시 · 사료 재고량을 고려한 사료 배합비 최적화 · 추가 작물 구입량 정보 제공 · 연말까지의 총 사료 소비량 정보 제공 · 새로운 사료제품에 대한 평가	4, 5, 6, 7
4. 모돈 분석	· 암돼지 무리의 행동 분석 및 예측 · 차트보드 등 시각화된 자료 작성 · 새끼돼지 격리 상태 보고 및 번식 분석 · 일자별 사료 낭비도 분석 및 도태 전략	
5. 생산 계획	· 생산수준의 변화와 소득의 상관관계를 분석 · 사료 비용의 변화로 인한 결과 보고 · 농가경영관리 프로그램의 예산분석 결과에 따른 생산계획 제공	3, 6, 7
6. 비육돈	· 전입일자/전출일자 등록 및 일자 별 성장 정도 확인 · 돈사 문제점 분석 및 생산보고서 출력 · 돼지 생산과 관련된 데이터베이스 구축	3, 5
7. 자돈	· 전입일자/전출일자 등록 및 일자별 성장 정도 확인 · 돈사 문제점 분석 및 생산보고서 출력 · 계산된 결과를 그래프 등으로 시각화 표현 가능 · 돼지 생산과 관련된 데이터베이스 구축	3, 5
8. 모돈 핵심 관리	· 개별 돼지들의 정보를 데이터 은행에 저장 · 인덱스를 통해 내 정보 목록 출력	4
9. 집중포인트 분석	· 생산지수 계산, 일자별 생산증가량 확인 · 타농장과 비교한 내 농장 성적 지표 비교 · 동일한 비용으로 얼마나 더 수익을 올릴 수 있을 것인지에 대한 정보 제공 · 동일한 사료비용으로 생산한계량 예측	4, 6
10. 모돈 육성 및 번식	· 데이터 은행에 저장하기 전 데이터의 정당성 확인 · 돼지 판매에 관한 출산 정보 출력 · 출산 정보와 함께 자동적으로 건강상태에 관한 정보 수집 · 돼지 수매가격 계산	2, 4

※출처: 농림수산식품부, 차세대 농림수산식품정책 IT 융합 마스터플랜 수립, 2011

- 미국, 유럽 등 선진 시장에서의 축산 ICT 기술의 수요는 주로 국가 차원의 질병 모니터링 및 방역 관리를 위해 연구 및 개발 되고 있음.
- **(미국)** 미국 농무부(USDA)와 관련 기관들은 다양한 동물 관련 문제를 모니터링하고 관련 정보를 수집하기 위하여 연속적인 프로그램을 수행하여 국가 주도의 로드맵과 ICT기반의 대응체계를 구축함(표 1-9 참조).

**[표 1-9] 미국의 축산 ICT 기술 및 정책 동향**

구분		내용
정책	정보기술 로드맵	○ USDA APHIS VS IT시스템의 현 상태를 기술하고, 국가의 질병 및 감시 관리데이터 저장소의 나아갈 방향을 제시
	동물 질병 추적	○ 미국 동물의 질병 추적을 위해 새롭고 유연한 체계 ○ 2004년부터 구축·실행되고 있는 NAIS를 발전시킨 전략
추진 체계	농무부(USDA) 산하 동식물검역소(Animal and Plant Health Inspection Service, APHIS)	○ 미국의 야생동물 및 가축의 위생, 동물제품의 품질 및 시장성, 수의 생물학 등을 보호하는 업무를 수행하는 공공기관 ○ 식품, 농업, 천연자원 및 관련 문제를 보호하고 추진하는 USDA의 전반적인 임무를 지원
	보건복지부(DHHS) 산하 질병예방 통제센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)	○ 질병을 총체적으로 관리하고 예방하는 중앙부서
ICT	국가동물건강감시시스템(NAHSS)	○ 연방 및 주 정부 기관들에서 수행하는 동물건강 모니터링 및 감시 활동을 통합하는 네트워크
	국가동물식별시스템(NAIS)	○ 식별번호를 통해 동물을 식별하고, 동물을 추적하는 유연한 시스템
	국가동물건강모니터링시스템(NAHMS)	○ 미국 전역의 위생 및 위생관리, 생산성 등에 대한 데이터를 수집, 분석, 배포

※ 출처: 스마트 사회 실현을 위한 디지털가축방역시스템 선진사례 분석, NIA, 2011

ㄱ. 국가동물건강감시시스템(National animal health surveillance system, NAHSS)

- 연방 및 주 정부 기관들에서 수행하는 동물건강 모니터링 및 감시 활동을 통합하는 네트워크
- 동물건강 데이터를 체계적으로 수집, 대조, 분석하여 특히 대응할 의무가 있는 협력자들에게 동물위생 정보를 신속하게 배포
- 자국 내 동물건강 및 공급되는 식료품에 대한 보호 체계를 개선하고, 기존의 동물건강 감시 프로그램 및 활동계획의 효율성을 증진하며, 무역과 관련된 국제 수요를 충족
- 단체 간 정보 교환 촉진, 진행 중인 프로그램의 개선, 필요한 인프라 확립 및 유지 활동 등을 통해 질병으로부터 동물 보호를 강화하는 서비스 제공

ㄴ. 국가동물식별시스템(National animal identification system, NAIS)

- USDA는 2003년 광우병 출현 이후 현대적이며 능률화된 정보시스템인 NAIS를 구축하여 현재까지 자율적으로 수행 → 생산자 및 동물위행관리관들이 효과적이고 신속하게 미국 내의 동물 발병에 대응할 수 있도록 지원

- NAIS는 획일적이지 않고 유연한데, 각 개인 생산자는 사업상 필요에 맞도록 참여도 조절 가능 → 연방 차원에서 NAIS와 관련된 벌금이나 강제 제도는 없으며, 생산자가 참여 여부 및 참여 정보를 결정하지만, 일부 주에서는 참여를 의무화 함
- NAIS의 구성요소
  - : 자산식별번호(Premises identification number, PIN) : 미국의 모든 가축과 가금류의 운영업체 및 시설의 소재지를 파악하는 표준
  - : 동물식별번호(Animal identification number, AIN) : 동물 질병의 추적가능성을 증진하기 위한 도구로, 개별 또는 집단적으로 동물을 식별
  - : 동물추적(Animal tracing) : AIN 또는 GIN(집단식별번호, Group identification number)로 이미 식별이 되는 동물의 주요 이동상황을 보고하여 추적
- ㉔. 국가동물건강모니터링시스템(National animal health monitoring system, NAHMS)
  - 미국 내 가축 질병의 수준 측정, 축산 농가에 해외 질병에 대한 경보 발령, 새로운 질병 징후에 대한 정보수집 등
  - 동물 및 인간의 건강 결정, 조사, 연구를 지원하기 위한 동물 건강정보를 제공
  - 수의 역학, 통계, 경제 및 정보제공의 전문기술을 공급함으로써 APHIS와 다른 이해관계자들을 지원
  - 학문 디자인, 정보수집, 데이터분석, 정보보급을 강화하기 위해 최신식 방법을 실행 및 개발
- (EU) 유럽국가는 "예방이 치료보다 우선(Prevention is better than cure)"을 기본으로 하는 '새로운 동물 건강 전략(New animal health strategy, 2007-2013)' 수립하여 동물복지 차원의 비전 제시 및 회원국 간의 데이터 공유를 시행함(표 1-10 참조).

[표 1-10] 유럽국가의 축산 ICT 기술 및 정책 동향

구 분		내 용
정책	The New Animal Health Strategy (2007-2013)	o 예방이 치료보다 우선이라는 비전하의 동물 건강 향상 전략
추진 체계	건강·소비자보호분과(The Health & Consumer Protection DG)	o EU회원국의 소비자와 사업자 사이의 분쟁을 완화하고 보호하는 역할
	유럽질병예방통제센터(European Centre for Disease Prevention and Control, ECDC)	o EU 회원국의 사람 및 동물 전염병 대응을 강화하고 예방·통제하기 위한 기준제시
ICT	동물질병통지시스템(ADNS)	o 중요한 동물 전염병을 등록하고 문서화하여, 질병 발생 상세 정보를 알려주는 시스템
	무역제어전문가시스템(TRACES)	o 인터넷을 기반으로 한 EU국가들과 사업자들의 수의학 당국 네트워크

※ 출처: 스마트 사회 실현을 위한 디지털가축방역시스템 선진사례 분석, NIA, 2011

- ㄱ. 동물 관련 위협 예방, 감시, 비상사태 준비 : 문제가 나타나기 전에 탐지하며, 발생한 상황과 위기를 관리하기 위한 준비
  - EU의 추적가능성 체계와 같은 감시 장치를 이용하는데, 이 체계 중에는 추적을 위한 식별시스템, 표지부착, 공동체 무역통제 및 전문가시스템 등을 포함
  - 신속한 대응 네트워크 형성, 위기관리기구, EU 수의학 신속 대응팀, EU 항생제 및 백신 은행의 강화 등의 조치 시행
- ㄴ. 과학, 혁신, 연구 : 과학은 새로운 동물 건강 정책의 토대이므로 EU는 과학적 혁신과 조사를 촉진하고 대중과 개인의 협력을 통해 연구 분야에 충분한 자금을 투입

○ 동물복지를 고려한 돈사 내 환경유해인자에 관한 연구는 다음과 같이 지속적으로 연구되고 있음.

- 환경유해인자 노출에 따른 돼지의 생산성 및 질병발생 평가 측면

- 동물 복지 차원에서 유럽을 중심으로 적정 사육밀도의 적용 및 환기시스템 개선 등의 사양관리 측면에서 돼지의 생산성을 평가한 경우는 있으나, 환경유해인자와 돼지의 생산성 간의 연관성을 연구한 사례는 미진한 상황임.
- 지금까지 첨가제 투여 등의 사료 조성 변화를 통한 영양원적 측면과 돈사 환기시스템 및 분뇨처리 방법 개선 등의 동물 복지 측면에서 주로 돼지의 생산성을 평가함.
- 돈사내 공기오염물질의 경우 돼지의 건강상 장해 측면에서 암모니아, 황화수소, 분진의 노출 수준에 따른 반응 양상을 연구한 것들이 대부분이나, 생산성 지수의 개발, 이유후전신소모성증후군 (PMWS) 발병 및 여타 다른 환경유해인자들과의 상호 연관성에 대한 고찰은 검토된 바 없음.

- 환경유해인자 노출에 따른 돈육의 안전성 평가 측면

- 서구유럽국가에서는 1960년대에서 1970년대로 전환하면서 많은 화학물질의 노출이 건강상에 장해를 유발할 수 있는가에 대한 의문이 증대되었으며, 또한 노출량에 따른 건강상의 장해 정도를 정량적으로 평가하고자 하는 사회적 요구가 제기됨.
- 이에 기존의 화학물질의 노출로 인한 건강상의 장해 유발 가능성을 평가하는데 있어 역학연구 및 독성학적 연구는 오랜 연구기간 및 많은 연구비의 소요 등과 같은 단점을 가지고 있음을 인식하고 이의 단점을 극복하기 위한 과학적 수단으로 건강위해성 평가 기술을 개발함.
- 이후 최근까지 많은 유해오염물질에 대한 개별 건강위해성평가 연구 뿐만아니라 복합 유해오염물질의 노출로 인한 건강위해성평가 기술이 개발되어졌으며, 최근에는 다중매체 노출에 의한 건강위해성 평가 기술이 개발되어 수행됨.
- 하지만 건강위해성평가 시스템과 관련한 대부분의 연구들이 축산물이 아닌 다른 종류의 음식 섭취에 따른 소비자의 건강과 공기오염물질 노출에 따른 불특정 사람들의 건

강 상태를 예측하는데 이용되었으며, 이를 프로그램화하여 상용화한 경우는 아직 보고된 바 없음.

- 본 연구에 적용할 Quantitative Risk Assessment (QRA) 모델은 국외에서 대부분 실내 공기오염물질의 호흡 노출로 인한 사람만의 건강위해성을 예측하는 데 초점을 맞추고 활용되고 있음(표 1-11 참조).
- “환경유해인자의 노출 → 돼지 → 소비자”의 각 단계별 환경유해인자(중금속)의 이동 경로에 따른 유해성 및 돈육 등의 축산물 제품의 경구 섭취로 인한 소비자들의 건강위해성을 평가하기 위해 RA 모델이 적용된 연구 사례는 보고된 바 없음.

[표 1-11] Quantitative Risk Assessment (QRA) 모델을 적용한 국외 연구 사례

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황 및 발표논문
Finnish Institute of Occupational Health (Finland)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1~6세아동의 Cancer risk : Ingestion(<math>2.3 \times 10^{-6}</math>, <math>1.7 \times 10^{-7}</math>), Dermal(<math>1.5 \times 10^{-6}</math>, <math>1.2 \times 10^{-7}</math>)</li> <li>• 결정론적위해성평가 : Ingestion(<math>2.3 \times 10^{-6}</math>), Dermal(<math>1.55 \times 10^{-6}</math>)</li> <li>• 확률론적위해성평가 : Ingestion(<math>1.2 \times 10^{-6}</math>), Dermal(<math>9.6 \times 10^{-7}</math>)</li> <li>• Hazard quotient(비발암) : 고농도노출(0.8, 0.09), 저농도노출(0.06, 0.005)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건축물에 사용된 PCB 방출에 의한 거주자의 건강위해성 평가 활용</li> <li>- Priha et al. (2005)</li> </ul>
Department of Public Health, Oregon State University (USA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 17개 HAPs가 발암위해도 <math>1 \times 10^6</math>초과</li> <li>• Acrolein이 비발암위해도 HI 1초과</li> <li>• 일부 HAPs는 mobile source로부터 기여</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 발암/비발암성의 43가지 HAPs에 의한 인체영향평가 활용</li> <li>- Tam and Neumann (2004)</li> </ul>
Research Centre for Urban Environmental Technology and Management, The Hong Kong Polytechnic University (Hong Kong)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모든 그룹에서 VOCs에 의한 발암위해도가 <math>1 \times 10^6</math>을 초과함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가정, 사무실, 학교, 교통수단, 쇼핑몰, 식당 등에서 VOCs에 노출에 의한 건강영향평가 활용</li> <li>- Schuhmacher et al. (2004)</li> </ul>

(2) 국내 현황

- 국내에서 양돈장의 시설 및 제어 개념은 사료자동급이, 자동급수, 자동분뇨처리 등에 대한 자동화 시설이 주를 이루고 있으며, 환경제어 분야는 환기팬, 보온 등에 대한 자동화 시설이 보편적인 상황임.
- 현장에서는 환경제어를 위한 항목으로 온도를 변수로 활용하고 있는 수준이며, 연구수준에서는 돈사면적, 환기방식, 환기팬의 가동량에 따라 온도, 습도, 풍속, 가스의 수치가 어떻게 변화되는지에 대한 연구가 이루어지고 있음.
- 온도, 습도, 풍속, 가스 등의 다중환경센서 정보에 의하여 환기제어 방식, 환기팬의 가동량, 보온등의 가동여부, 입기구의 개폐여부를 조절하여 환경을 제어하고, 제어결과에 따른 생산성적(육성성적)의 변화상황을 수집하여 양돈농가가 직접 자가진단을 할 수 있는 시스템 개발에 대한 연구는 이루어지고 있지 않는 상황임.
- **(제주특별자치도)** 제주특별자치도는 도 주관으로 아시아나HDT와 신세계아이앤씨, CS, 인포마인드, 나인웍스 컨소시엄은 u-IT 신기술 기반 양돈 HACCP 시스템 구축 프로젝트를 수행함(그림 1-7 참조).
  - 질병예방을 위한 생산단계 생장환경(온도, 습도,암모니아등) 모니터링, 위해요소관리(CCP) 및 RFID를 이용한 모돈 개체관리와 생산 이력관리를 중심으로 시행하고 양돈농가로부터 도축장, 가공공장, 백화점, FCG 인증전문식당 등 소비자에 이르는 모든 단계에 RFID 시스템을 구축하여 소비자가 안심하고 먹을 수 있는 식품 공급 시스템을 구축함.



[그림 1-7] 제주도의 u-IT 신기술 기반 양돈 HACCP 시스템

• (순천대학교) 순천대학교는 유비쿼터스 농업환경에서의 돈사 통합관리 시스템에 대한 연구를 수행함(그림 1-9 참조).

- 이 시스템에서는 돈사에는 USN 환경 센서들로 구성하며, 이 센서들은 돈사 내부의 USN 센서 게이트웨이를 포함하여 환경제어장치들과 함께 무선 네트워크를 형성함. 이 센서들은 각각 온도, 습도, 조도, 암모니아 가스의 정도를 감지하며 일정 주기로 센서에서 검출한 측정치를 돈사 관리 장치로 전송하며, 또한 돈사 관리 장치의 통제로 센서와 연결된 환경제어장치를 조절함으로써 돈사 내부의 생육 환경을 쾌적하게 조절하는 것을 목적으로 함.



[그림 1-8] 순천대학교 유비쿼터스 농업환경에서의 돈사 통합관리 시스템

- 동물복지를 고려한 돈사 내 환경유해인자에 관한 연구는 외국에 비해 연구가 부족한 실정임.
- 환경유해인자 노출에 따른 돼지의 생산성 및 이유후전신소모성증후군 발병 정도 평가
  - 외국의 경우와 마찬가지로 돼지의 영양원적 측면과 사육형태 측면에서 생산성을 평가 하였으나, 소수의 연구 사례만 보고되고 있으며, 환경유해인자 노출관련 연구는 전혀 수행된 바 없음.
  - 돈사내 환경유해인자 가운데 가스상물질인 암모니아와 황화합물 농도에 대한 기초 연구가 일부 진행되었으나 기존의 연구들은 악취방지법 시행에 따른 적정 악취관리를 위한 측면으로 수행된 것이며, 본 연구과제에서 제안하고자 하는 최적의 돼지 사육을 위한 생산성 측면과는 다소 거리가 있다고 할 수 있음. 또한 돼지의 기관지 질병과 세균성 질병의 매개체라 간주되는 입자상물질이나 생물학적물질에 대한 농도분석과 정량화 연구는 극히 초보적인 단계라 사료됨.

- 환경유해인자 노출에 따른 돈육의 안전성 평가 측면
  - 사람을 대상으로한 오염물질의 노출경로 및 건강위해성평가 국내 연구는 1990년대 이후 많은 연구가 진행됨.
  - 그러나 아직 1차 소비자인 돼지를 대상으로 한 오염물질의 노출경로 및 누적량 평가, 독성평가 및 건강위해성평가 연구는 외국과 마찬가지로 전무한 실정이며, 또한 돼지로부터 2차 소비자인 일반 사람들로의 오염물질 전달율에 관한 연구 역시 전무한 실정임.

다. 문제점 및 개선방향

○ 축사 환경 데이터 통합 관리를 위한 온라인 제어시스템 구축 관련

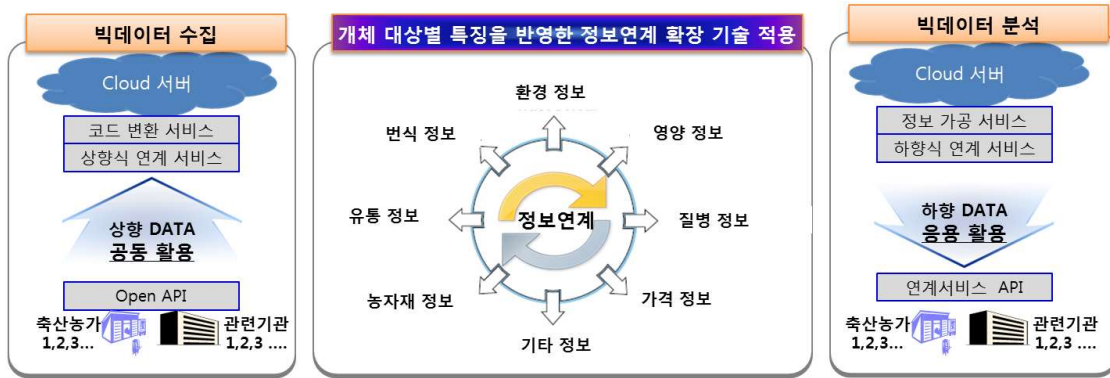
- 한계점
  - 축산시설 현대화를 위한 정부 및 업계의 지속적인 투자로 자동화 장비의 도입은 점차 확대되고 있으나 각 기자재 및 제품 간 호환성과 정보의 연계 및 통합 활용이 불가능한 상황임.
  - 예를들면 환기컨트롤러, 보온등컨트롤러, 급이기컨트롤러, 출하선별기 컨트롤러 등의 제품 및 제조사 별 상이한 프로토콜 및 통신방식을 적용하고 있어, 농장의 기계간 연계운영 및 제어, 자료의 통합분석 및 활용에 있어 자동화 장비의 통합 연계 활용에 한계가 있음(그림 1-14 참조).



[그림 1-14] 양돈장에서 사용하는 자동화 장비 예시

- 개선방안
  - 이러한 문제를 다양한 제품의 연결이 가능하도록 연계 모듈을 개발하고 개발된 모듈을 통하여 또는 제품에서 보유하고 있는 자료 전송방식으로 클라우드 시스템에 전송하고 전송된 자료를 클라우드 시스템에서는 분석 통합하여 이기종간의 정보연계 및 활용할 필요가 있음(그림 1-15 참조).





[그림 1-15] 클라우드 시스템 기반 정보 관리 시스템 개요도

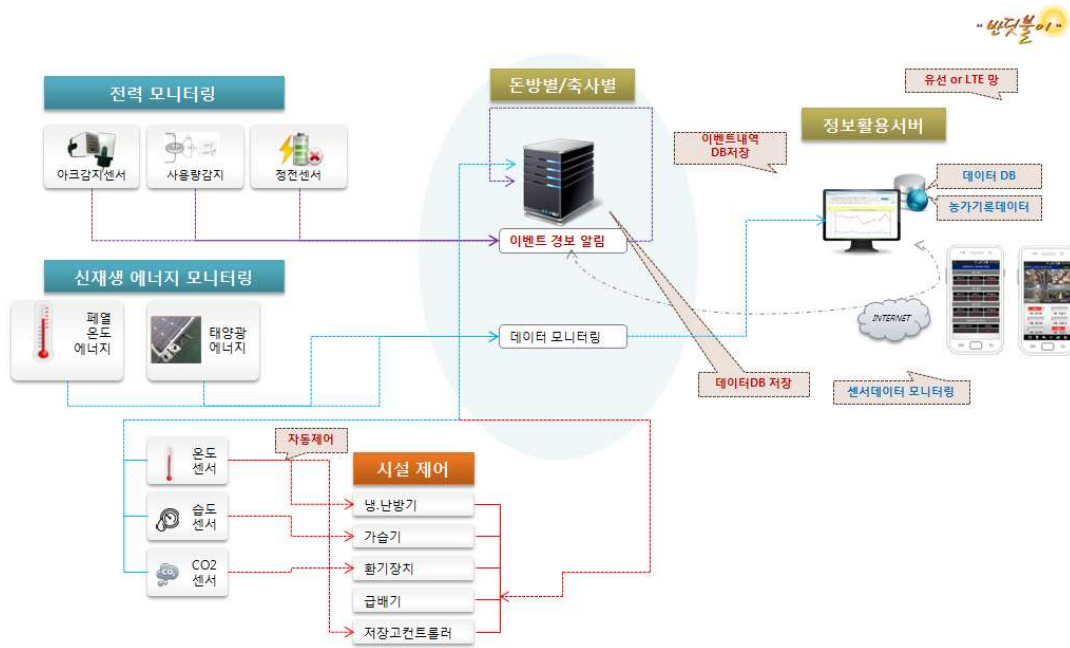
○ 에너지 순환형 축사 관리 S/W 및 시스템 개발 관련

● 한계점

- 농가 에너지 부담 경감을 위한 신재생에너지 보급은 확대되고 있으나, 실제 농가의 열악한 에너지 소비구조에 대한 적정 관리 및 개선이 선행되어야 함.
- 현 축사 등에서 사용되고 있는 전력계통은 단방향 전력 사용량을 표기해주는 아날로그 방식이므로 축사의 전력 소모량 등을 현장의 전력량계 외에서는 알 수 없으며, 회선별 전기 사용량 및 구간별 전원의 상태도 파악이 불가능 함. 즉, 기본적인 축사 전력 사용량의 측정이 난해하여 에너지 소모량의 파악이 어려움.
- 분전함에서 나온 전기는 대부분 장치의 제어를 위한 배전함에서 관리되고 있으나 전원의 on/off만을 제어하는 수준이며, 분전함을 통한 일반적인 분기 방식으로는 에너지 소모량에 따른 직·간접 제어가 불가능함.

● 개선방안

- 단방향 결과 산출 및 제어 방식에서 탈피한 정보통신기술(ICT)기술을 적용하여 양방향 실시간 데이터 정보교환을 통한 IoT를 실현함으로써 에너지 효율의 극대화, 최적화하는 지능형 관리 시스템 개발이 필요함(그림 1-16 참조).
- 돈방(축사) 별 에너지 소비량 분석에 기반한 수요관리중심의 데이터 마이닝으로 에너지 제어 및 신재생에너지 공급 방안이 요구되며, 이를 위한 돈방별 회선 감시 및 제어 기술의 개발이 선행되어야 함.
- 신재생에너지(태양광, 폐열 등)의 생산량과 축사의 에너지 수요량을 광역 단위로 수집, 분석한 후 에너지의 수급조절이 가능한 스마트 그리드 시스템의 개발이 필요함. 부차적으로 이러한 통합형 시스템은 에너지 수급 패턴의 분석정보를 바탕으로 에너지 관련 시설의 고장징후를 사전 감지하여 에너지 사고를 예방할 수 있음.



[그림 1-16] 에너지 순환형 스마트 그리드 시스템 개요도

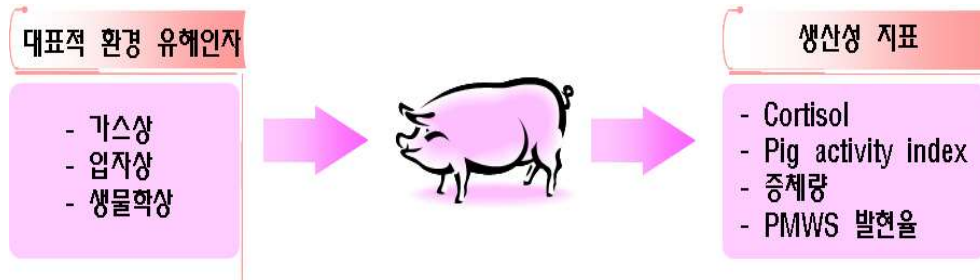
○ 축산 생산성과 제품 안전성 향상 및 동물복지를 위한 축사적정 실내 환경관리 가이드라인 개발 관련

• 한계점

- 한국농촌경제연구원(2013)의 보고에 의하면, 현재 우리나라 양돈농가에 기승을 부리고 있는 질병이 만성소모성질병(4P)이며, 특히 이유후전신소모성증후군(PMWS, Postweaning Multisystemic Wasting Syndrome)으로 인한 피해가 지속적으로 발생하고 있음. 뿐만 아니라 농림부와 양돈협회가 전국의 양돈농가를 대상으로 실시한 경영실태 조사 결과에서도 모든 평균 마리당 이유두수(PSY)가 07'년 21.3두에서 09'년 19.7두로 감소하여 생산성이 크게 저하되었고 이러한 원인을 이유후전신소모성 증후군에 기인한 것으로 추정됨. 또한 최근에는 구제역 바이러스의 전국 확산으로 인해 양돈 농가에 큰 피해를 주고 있는 상황임.
- 이유후전신소모성증후군은 전국적으로 약 50% 이상의 양돈장에서 피해를 겪어왔으며, 폐사율은 10-30%로 높지 않으나 비육능력이 현저하게 낮아지는 생산성 저하가 발생하여 농가의 생산비용 증가와 그에 따른 소득 감소를 유발시키고 있음. 본 질병은 이유 후 자돈의 면역력과 생리적 기능이 약해지는 시기에 여러 환경 요인들이 작용하여 영양 장애 및 저항력 저하로 이어지고 최종적으로 병원체의 복합감염에 의해 발생하는 것으로, 바이러스 특성상 공기와 생물학적 에어로졸(bioaerosol)로 전파되기 때문에 예방과 질병 근절이 매우 어려움.
- 돼지 만성소모성질병(4P)은 불량한 사육환경, 면역력 저하, 사양관리 및 스트레스 등의

요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로 추정되고 있으며, 그 가운데서도 사육시설 및 환경 관리 미흡이 가장 주요한 원인으로 인식되고 있는 실정임.

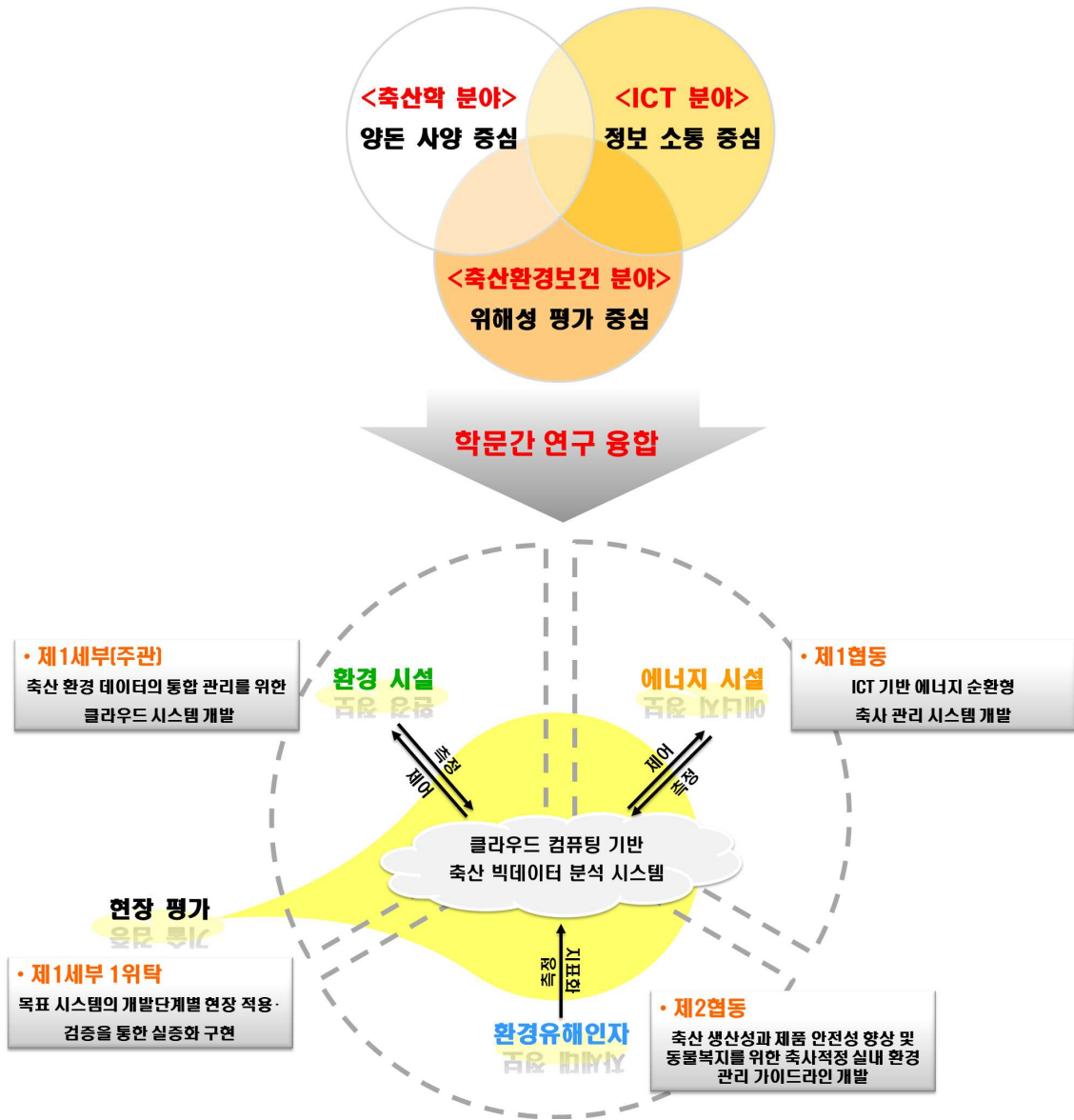
- 돈사의 시설 및 환경관리는 돼지의 입식에서부터 출하까지 돼지의 생리학적 반응과 질병 발생에 직·간접적으로 연관되어 있음은 익히 주지의 사실임. 그러나 돈사내에서 발생하는 유해물질(가스상 물질, 입자상 물질, 생물학상 물질) 가운데 어떠한 물질들이 돼지의 최적 생산성에 악영향을 미치고 더 나아가 양돈경영에 큰 부담을 주고 있는 만성 질병과 상호연관이 있는가에 대한 통합적인 환경관리 및 예찰 정보는 극히 제한적임(그림 1-17 참조).



[그림 1-17] 돈사내 환경 유해인자의 영향에 의한 돼지의 생산성 지표

• 개선방안

- 환경유해인자 노출에 따른 돼지의 생산성 및 최종 돈육의 안전성을 확보하기 위한 통합형 양돈 관리 시스템 모델 개발 및 활용이 필요함. 이러한 시스템은 친환경 축산을 표방하는 양돈 농가에게 운영상의 새로운 활로를 제시할 수 있을 것이라 판단되므로 축산 경쟁력 강화를 전제한 경제적·산업적 측면에서도 시급히 요구됨.
- 따라서 본 연구의 목적을 달성하기 위해서는 양돈 사양 중심의 축산학 분야, 위해성 평가 중심의 축산환경보건 분야, 중요 정보의 신속한 소통 중심의 ICT 분야를 포괄한 융합 형태의 연구가 반드시 선행되어야 함(그림 1-18 참조).



[그림 1-18] 본 기술 개발을 위한 학문간 연구 융합 체계도

마. 연구개발의 필요성

- ICT기반 에너지 순환형 축사 관리 및 동물복지 맞춤형 적정 실내환경 조성을 위한 축산 빅데이터 운용 클라우드 시스템 구축을 통하여 국내 축산의 국제 경쟁력을 제고함.
- 양질의 정보를 바탕으로 사육환경을 실시간 조정함으로써 생산성 저해 외부요인을 사전에 차단하며, 개체 정보의 피드백을 통해 맞춤형 관리가 가능한 정밀축산을 실현함.
- 생산성 향상과 아울러 무의식적으로 수요되는 에너지의 이용 효율을 극대화 하여 생산비 절감을 유도하고, 가중되는 에너지 비용 부담을 경감함.
- 일반 환경정보는 물론 축사 내 환경유해인자의 관리를 통해 개체 생산성 향상은 물론 안전한 식육 생산을 통해 부가가치 상승이 기대되며, 아울러 동물복지 실현과 작업자 안전도 개선이 가능함.



[그림 1-19] 연구개발의 필요성

### 제3절. 연구개발 범위

#### 1. 축산 환경 데이터의 통합 관리를 위한 클라우드 시스템 개발

- 각종 센서 및 제어기를 범용으로 운용할 수 있는 유/무선 통신 모듈 개발
- 클라우드 시스템 기반 축산 빅데이터 수집, 관리, 분석 서비스 개발
- 관리자 수요형 실시간 축사 모니터링 및 자동·원격 제어 스마트 웹 개발

#### 2. ICT 기반 에너지 순환형 축사 관리 시스템 개발

- 실시간 전력량 및 전력계통 모니터링 기술 개발
- ICT 융합형 전력망의 양방향 정보교환을 통한 에너지 효율 최적화 기술 개발
- 에너지 관리 광역화를 위한 웹베이스 시스템 개발 및 실증화(스마트 그리드)

#### 3. 축산 생산성과 제품 안전성 향상 및 동물복지를 위한 축사적정 실내 환경관리 가이드라인 개발

- 축산 생산성 및 제품 안전성에 영향을 주는 환경 유해인자의 특성 파악을 위한 축사 공기오염물질의 노출수준과 배출계수 정량화 현장 평가
- 동물복지 관련 공기 오염물질의 위해도 DB 구축
- 다양한 축사 공기오염물질 노출에 따른 동물 복지 지수와의 통계적 상관성 규명
- ICT 기반 에너지 순환 축사 시스템 운영에 따른 친환경 적정 실내공기질 관리기준 합리화 모델 개발

#### 4. 목표 시스템의 개발단계별 현장 적용·검증을 통한 실증화 구현

- 개발단계별 시제품의 소규모 실험돈사 즉시 적용을 통한 운영성능 평가
- 최종 성과품의 실규모 농장 적용실험을 통한 실증화 정도 평가

#### (제1세부 (주)에그리로보텍)

- 각종 센서 및 제어기를 범용으로 운용할 수 있는 유/무선 통신 모듈 개발
  - 축산 환경 데이터의 통합관리를 위한 모듈 구성
    - 유/무선 통신 기반의 모니터링 및 제어 패키지 구성
    - 계측값 대표성 확보를 위한 센서 설치 가이드 수립
    - \* 가축분뇨처리시설의 악취원에 대한 모니터링 방안 추가

**\* 측사환경 관리를 위한 공기질 외 센서(조도, 화재 등) 추가**

○ 클라우드 시스템 기반 측산 빅데이터 수집, 관리, 분석 서비스 개발

- PC와 스마트 디바이스(스마트폰, 태블릿PC 등)에서 동일한 수준의 기능과 서비스를 사용할 수 있는 환경 개발
  - PC 및 모바일 웹 페이지 보완
  - 제1협동연구기간에서 개발하는 에너지 순환형 측사 관리 시스템 통합

○ 관리자 수요형 실시간 측사 모니터링 및 자동·원격 제어 스마트 웹 개발

- 손쉬운 정보 활용 및 사용자 경험 반영을 위한 사용자 중심의 UI/UX 개발 필요
  - 측사 및 외부기관 데이터 통합 관리를 위한 클라우드 프로그램 개발
  - 빅데이터 분석을 통한 사양관리 가이드 제공 및 이의 활용도 평가 시스템 개발

(위탁 경상대학교)

○ 목표 시스템의 개발단계별 현장 적용·검증을 통한 실증화 구현

- 개발단계별 시제품의 소규모 실험돈사 즉시 적용을 통한 운영성능 평가
- 최종 성과품의 실규모 농장 적용실험을 통한 실증화 정도 평가

**(제1협동 (주)나래트랜드)**

○ 실시간 전력량 및 전력계통 모니터링 기술 개발

- 전력사용 값을 년/월/일 단위로 데이터베이스화하고, 비지속적 공급 특성을 나타내는 신재생에너지의 활용도를 높이기 위한 기존 전력망과의 연동형 제어기술을 개발함.
- 측사 내 전력기기의 비효율적 사용 및 재난 발생을 차단하기 위한 전력기기 이상 감지가 가능한 계측 H/W 및 S/W를 개발함.

○ ICT 융합형 전력망의 양방향 정보교환을 통한 에너지 효율 최적화 기술 개발

- 기존의 단방향 전력망에 정보통신기술(ICT)기술을 융합함으로써 전력 정보의 양방향·실시간 교환을 실현하여 에너지 효율을 최적화 및 극대화 할 수 있는 지능형 관리 시스템을 개발함.

○ 에너지 관리 광역화를 위한 웹베이스 시스템 개발 및 실증화(스마트 그리드)

- 신재생에너지와 기전력망의 에너지 전환체계를 실현한 ICT 기반 고도화 전력망을 활용하여 개별 농가는 물론 대단위 지역까지 연계할 수 있는 광역화 운용 기술을 개발함.

(제 2협동기관 : 부산가톨릭대학교 산학협력단)

- 축산 생산성 및 제품 안전성에 영향을 주는 환경 유해인자의 특성 파악을 위한 축사 공기오염물질의 노출수준과 배출계수 정량화 현장 평가
  - 국내에서 운용되고 있는 돈사의 시설 형태 특성 및 지역적 분포 현황 조사를 통한 측정 대상의 선정
    - ▷ 육성/비육돈사를 대상으로 분뇨처리 방식과 환기시스템 유형을 조합
    - ▷ 5가지 유형의 측정 대상 돈사 선정
      - SLAT 방식의 자연환기 돈사
      - SLAT 방식의 강제환기 돈사
      - SCRAPER 방식의 자연환기 돈사
      - SCRAPER 방식의 강제환기 돈사
      - BEDDING(툽밥) 방식의 자연환기 돈사
    - ▷ 각 유형별 지역적 분포를 고려하여 7개 돈사, 총 35개 돈사 측정
  - 국내외 문헌조사에 기반을 둔 축사 내 주요 공기오염물질의 유해성 조사를 통한 모니터링 대상 물질의 우선 순위 도출
    - ▷ 돼지 생산성과 돈육의 안전성에 영향을 주는 주요 공기오염물질에 대한 문헌 자료 분석
    - ▷ 상기 유해성 자료 분석 결과를 바탕으로 돈사 현장 모니터링 대상 물질 선정
      - 가스상 : 암모니아 & 황화수소
      - 입자상 : TSP & PM<sub>10</sub>
      - 생물학상 : 부유세균 & 부유진균
  - 계절 조건에 따른 측정 대상 축사들의 현장 방문을 통한 공기오염물질의 노출수준 정량화
    - ▷ 가스상, 입자상, 생물학상 오염물질의 노출 수준 평가
    - ▷ 분뇨처리 방식에 따른 공기오염물질 노출 수준 평가
    - ▷ 환기시스템 유형에 따른 공기오염물질 노출 수준 평가
    - ▷ 계절 조건에 따른 공기오염물질 노출 수준 평가
- 다양한 돈사 공기오염물질 노출에 따른 돼지 생산성 및 복지 지수와의 통계적



## 상관성 규명

- 현장 실증 실험을 통한 돈사 공기오염물질과 돼지 생산성 및 복지 지표와의 상관관계 및 Mass Balance 데이터 구축
  - ▷ 계절 조건에 따른 공기오염물질 노출 수준 평가
  - ▷ 중규모급의 육성/비육돈사 1개소 선정
  - ▷ 측정 기간
    - 돼지의 육성/비육 기간에 해당되는 3~4개월 동안 매주 1회 현장 방문하여 총 15회 측정
    - 3회 반복 측정을 통해 총 45개의 현장 데이터를 확보하여 통계적 분석의 신뢰도 확보
  - ▷ 돼지의 생산성 지표 측정
    - 사료요구율 (Feed Conversion Ratio; FCR)
  - ▷ 돼지의 복지 지표 측정
    - 돼지 행동 지수 (Pig Activity Index; PAI) & 스트레스 호르몬 (Cortisol)
  
- 다중회귀모델과 건강위해성평가모델 적용을 통한 돈사 공기오염물질 노출 수준에 따른 돼지의 생산성 및 복지 지표 등급 산정
  - ▷ 돈사 공기오염물질 노출 수준에 따른 돼지의 생산성 및 복지 지표와의 회귀계수 도출
  - ▷ Monte-Carlo 분석을 통한 불확실성 요소 배제
    - 건강위해성평가모델 적용에 의해 산정된 돼지의 복지 지표 등급 평가법에 대한 검증 수행
  
- 친환경 안전성 양돈 생산을 위한 통합형 돈사 환경 관리 모델 개발
  - ▷ 센서 현장 적용이 가능한 돈사 공기오염물질의 선정
    - 국내의 관리기준 설정 검토 및 역분산 가중평균 산출법 활용
  - ▷ 센서 현장 적용에 적합한 돈사 실내환경 관리기준의 제안
  
- 동물복지 관련 공기오염물질의 위해도 DB 구축 및 ICT 기반 에너지 순환 축사 시스템 운영에 따른 친환경 적정 실내공기질 관리기준 합리화 모델 개발
  - 국내/외 유관기관에서 제공하고 있는 화학물질 관련 보건 자료 고찰을 통한 가축에게 노출되는 주요 공기오염물질의 위해성(risk) 규명 및 DB 구축
    - ▷ Health Risk Assessment (HRA) 모델 적용에 따른 관리대상 공기오염물질의 가축 유형별 위해도(risk) 결정

- ICT 기반 에너지 순환 측사 시스템 운영에 따른 실내공기질 관리의 편의성 및 가축의 생산성 향상 수준 파악을 위한 현장 실증 평가

▷ 본 연구를 통해 개발된 ICT 기반 에너지 순환 측사 시스템이 적용되어 운영 중인 돈사와 미구축된 관행 돈사와의 현장 실증 비교

- 현장 실증 평가 대상 : 동일 규모의 원형 돈사
- 통계적 분석(Students t-test)을 통한 실내공기질 관리의 편의성 및 돼지 생산성 향상 수준의 상대 비교 평가
- 현장 측정 자료에 기반한 ICT 기반 에너지 순환 측사 시스템의 경제적 효율성 검증

- 제안된 돈사 실내공기질 관리기준의 현장 적용 합리화를 위한 검증

▷ 경제성 분석을 통한 돈사 공기오염물질의 관리기준 현장 적용 적정성 검토

- 비용 분석 : 직접비 및 간접비 산정
- 편익 분석 : 전문가 설문 조사(델파이 분석)을 통한 편익 추정
- 최종적으로 B/C ratio 산출을 통한 돈사 실내공기질 관리기준 설정의 타당성 제시

## 제2장. 연구수행 내용 및 결과

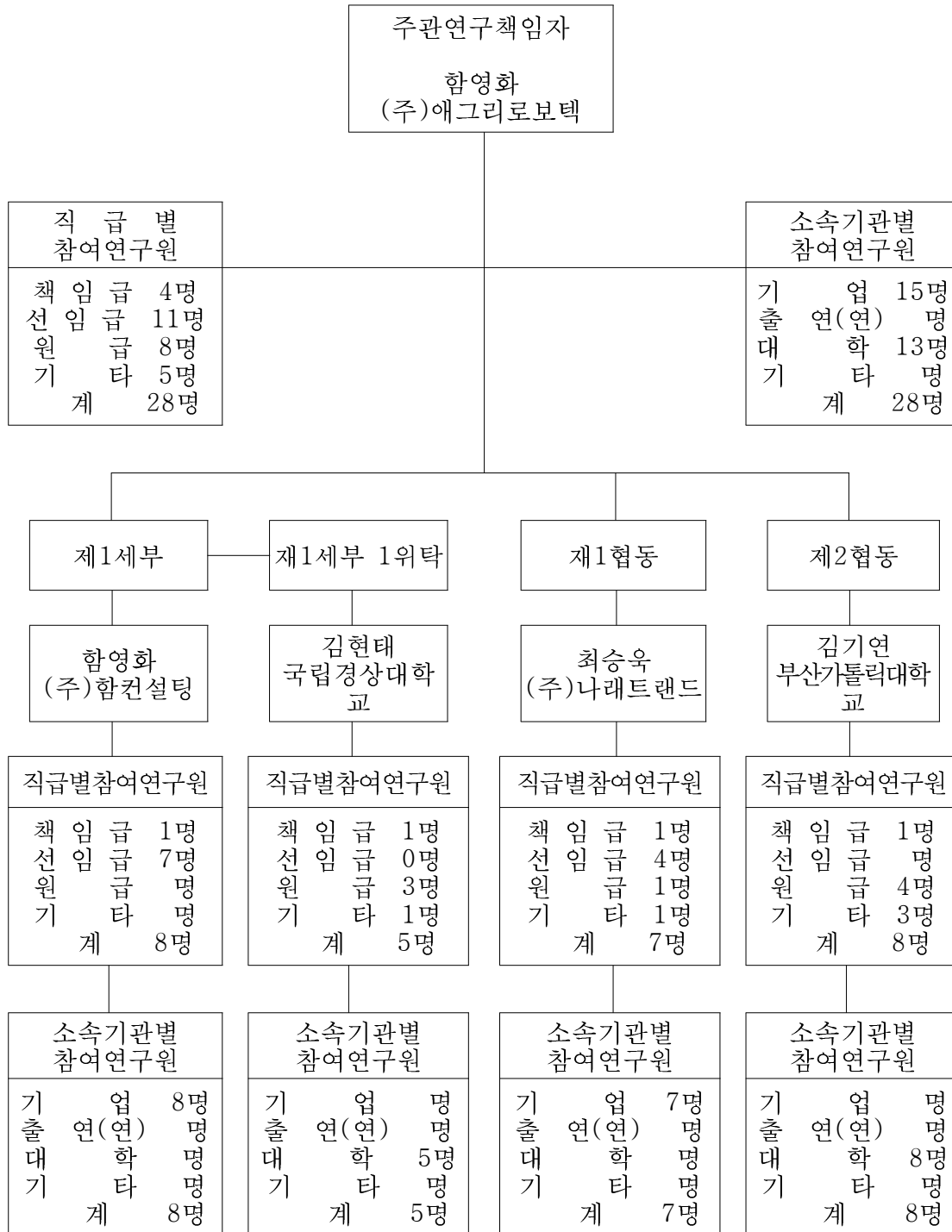
### 제1절. 추진목표와 일정

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	2015 ~ 2016	<b>(제1세부)</b> 각종 센서 및 제어기를 범용으로 운용할 수 있는 유/무선 통신 모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 기존 장비와의 호환 인터페이스를 지원하는 유/무선 통신 모듈 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 장치와 호환하는 표준형 통합장치 개발</li> <li>- 국내외 주요 제품(센서 및 제어기)의 보급률 및 사양 조사를 수행하고, 이를 바탕으로 선정된 제품의 연동을 위한 통합장치 개발 및 이기종 제품의 통합 연동 검증</li> </ul> </li> <li>● 센서 및 제어 통합장치용 표준화 프로토콜 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 농장 관리 장치 생산 업체들의 호환성 지원 및 해외 수출 기반 마련을 위한 표준화 추진</li> <li>- 센서 및 제어 통합운영 장치의 국내 표준과 국제 표준에 대한 분석을 통해 각각의 장단점을 도출하여 현 시스템과의 적응성 검토</li> </ul> </li> </ul>
		<b>(제1협동)</b> 실시간 전력량 및 전력계통 모니터링 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 축사내 전력기기의 전력사용량 모니터링 및 기기 이상 감지 H/W 및 S/W 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 회선별 전력량 모니터링, 누전 및 아크감지, 과전류 감지, 전선 과부하 감지, 회선 제어기술개발</li> <li>- 축사별 에너지 소비량을 분석한 수요관리중심의 에너지 데이터 로거 장치 개발</li> </ul> </li> <li>● 태양광등의 발전된 신재생 에너지 모니터링 및 제어, 수요 전력량 모니터링 및 H/W 개발</li> </ul>
		<b>(제2협동)</b> 축산 생산성 및 제품 안전성에 영향을 주는 환경 유해인자의 특성 파악을 위한 축사 공기오염물질의 노출수준과 배출계수 정량화 현장 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 국내에서 운용되고 있는 축사(돈사&amp;계사)의 시설 형태 특성 및 지역적 분포 현황 조사를 통한 측정 대상의 선정               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 선정기준 : 분뇨처리, 환기, 사료급여 방식별</li> <li>- 조사 대상 축사 수 : 형태별 각 3개소</li> </ul> </li> <li>● 국내외 문헌조사에 기반을 둔 축사 내 주요 공기오염물질의 유해성 조사를 통한 모니터링 대상 물질의 우선순위 도출               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 측정 대상 : 가스상, 입자상, 생물학상 오염물질</li> </ul> </li> <li>● 계절 조건에 따른 측정 대상 축사들의 현장 방문을 통한 공기오염물질의 노출량 및 배출계수의 정량화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 측정 시기 (4계절 대상) : 봄철 (3-5월), 여름철 (6-8월), 가을 철(9-11월), 겨울철 (12-2월)</li> </ul> </li> </ul>
		목표 시스템의 개발단계별 현장 적용·검증을 통한 실증화 구현	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 개발단계별 시제품의 소규모 실험돈사 즉시 적용을 통한 운영성능 평가</li> </ul>

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
2차년도	2016 ~ 2017	<b>(제1세부)</b> 클라우드 시스템 기반 축산 빅데이터 수집, 관리, 분석 서비스 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 축사 내외부 계측 정보 및 외부정보(기후, 생산 동향 등) 수집 클라우드 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개별 축사 내외부에서 계측되는 정보(온도, 습도, 풍속 등)과 더불어 외부 기관에서 제공하는 기상청 기후정보, 국가동물방역통합시스템(KAHIS) 질병정보 등의 데이터를 통합 수집</li> <li>- 현재 활용가능한 정보 이외의 신규 정보를 추가적으로 수용할 수 있는 개방형 플랫폼 개발 필요</li> </ul> </li> <li>● 수집된 정보를 분석하여 현장 운영에 사용할 수 있는 알고리즘 및 모듈 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수집된 빅데이터의 분석 알고리즘 개발</li> <li>- 분석정보 기반의 축사 현장 제어 알고리즘 및 모듈 개발</li> </ul> </li> </ul>
		<b>(제1협동)</b> ICT 융합형 전력망의 양방향 정보교환을 통한 에너지 효율 최적화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 기존의 단방향 전력망에 정보통신기술(ICT)기술을 이용한 양방향으로 실시간 정보교환하는 에너지 효율의 최적화, 극대화하는 지능형 관리시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 축사별 에너지 데이터 로거 장치와 연동된 에너지 전송 및 열에너지 제공 시스템 개발</li> <li>- 전력량 모니터링 웹 전송, 데이터 분석 기술 개발</li> </ul> </li> <li>● 다양한 유형(전기·열)의 신재생에너지를 측정하고 복합 에너지원의 통합형 수급 관리를 위한 유형간 상호치환 관리기술을 개발함. <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전기 및 열에너지 소비량 실시간제공 모듈의 중앙모니터링 시스템 개발</li> <li>- 분뇨처리시스템에서 발생하는 열에너지 및 외부 공급 폐열의 열에너지 관리를 위한 전송 제어 및 열공급 분배 장치 개발</li> </ul> </li> </ul>
		<b>(제2협동)</b> 다양한 축사 공기오염물질 노출에 따른 동물 복지 지수와의 통계적 상관성 규명	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 현장 실증 실험을 통한 축사 공기오염물질과 동물 생산성 및 복지 지수와의 상관관계 및 mass balance 데이터 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 중규모급의 육성/비육돈사 (1개소)</li> <li>- 측정 기간 <ul style="list-style-type: none"> <li>: 돼지 - 돈사 입식 후 출하시까지 (약 6개월)</li> <li>: 반복측정을 통한 데이터 신뢰도 확보</li> </ul> </li> <li>- 동물의 생산성 지표 측정: 증체량, 사료효율, 폐사율</li> <li>- 동물 복지 지수의 측정 <ul style="list-style-type: none"> <li>: pig activity index(PAI), stress hormone (cortisol, epinephrine, norepinephrine), PMWS 발현율</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>● 다중회귀모델과 건강위해성평가모델 적용을 통한 동물의 복지 지수 등급 산정 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 축사 공기오염물질 노출 수준에 따른 동물 복지 지수와의 회귀계수 도출</li> <li>- Monte-Carlo 분석을 통한 불확실성 요소 배제 <ul style="list-style-type: none"> <li>: 건강위해성평가모델 적용에 의해 산정된 동물의 복지 지수 등급 평가법에 대한 검증</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>● 친환경 안전성 동물 생산을 위한 통합형 축사 환경 관리 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 축사 내부의 적정 환경 유지를 위한 양돈 농가 주도형 관리 방안 제시</li> </ul> </li> </ul>
		목표 시스템의 개발단계별 현장 적용·검증을 통한 실증화 구현	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 실규모 농장 적용실험을 통한 개선사항 파악 및 최종 성과품 실증화 실험</li> </ul>

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
3차년도	2017 ~ 2018	<b>(제1세부)</b> 관리자 수요형 실시간 측사 모니터링 및 자동·원격 제어 스마트 웹 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PC와 스마트 디바이스(스마트폰, 태블릿PC 등)에서 동일한 수준의 기능과 서비스를 사용할 수 있는 환경 개발</li> <li>• 손쉬운 정보 활용 및 사용자 경험 반영을 위한 사용자 중심의 UI/UX 개발 필요</li> </ul>
		<b>(제1협동)</b> 에너지 관리 광역화를 위한 웹베이스 시스템 개발 및 실 증화(스마트 그리드)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신재생에너지와 기전력망의 에너지 전환체계를 실현한 ICT 기반 고도화 전력망을 활용하여 개별 농가는 물론 대단위 지역까지 연계할 수 있는 광역화 운용 기술을 개발함.</li> <li>- 규모별(단위별) 에너지 관리를 위한 웹베이스 S/W 개발</li> <li>- 클라우드 시스템 연동성 검증</li> <li>• 축산농가에서 실증시험을 통한 실용성 성능평가 및 보급 확산을 위한 사용자 매뉴얼 개발</li> <li>- 환경제어·스마트 전력제어·데이터 기반 자동 제어가 가능한 ICT기반 에너지 순환형 축사관리 및 동물복지 시스템 실증화</li> <li>- 사용자 및 이해관계자 편의성 제고를 위한 UI 개선 및 이해수준별 매뉴얼 개발</li> </ul>
	<b>(제2협동)</b> 동물복지 관련 공기오염물질 의 위해도 DB 구축 및 ICT 기반 에너지 순환 축사 시스 템 운영에 따른 친환경 적정 실내공기질 관리기준 합리화 모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내/외 유관기관에서 제공하고 있는 화학물질 관련 보건 자료 고찰을 통한 가축에게 노출되는 주요 공기오염물질의 유해성(hazard) 조사</li> <li>• 현장 실증 평가를 통한 가축의 공기오염물질 노출 수준 파악</li> <li>• Health Risk Assessment (HRA) 모델 적용에 따른 관리대상 공기오염물질의 가축 유형별 위해도(risk) 결정</li> <li>• 문헌 및 자료 고찰을 통한 국외 축사 실내공기질 관리기준 현황 및 국내 관리대상 축사 공기오염물질의 선정 기준 설정</li> <li>• 메타분석(Meta Analysis)에 따른 역분산 가중평균 산출법 적용을 통한 주요 축사 공기오염물질의 관리기준 제안</li> <li>• 축사 공기오염물질의 관리기준 현장 적용 적정성 검토를 위한 규제 영향 및 비용 편익 분석</li> </ul>	
	목표 시스템의 개발단계별 현 장 적용·검증을 통한 실증화 구현	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최종 성과품의 실규모 농장 적용실험을 통한 실증화 정도 평가</li> </ul>	

## 제2절. 연구개발 추진체계



### 제3절. 연구개발 추진전략

#### 1. 기본계획 수립을 위한 현업 네트워크 구축 및 운영

- 가. 국내 축산 농가 및 관련 기관 등 핵심 수요자를 중심으로 의견제공 창구 구축
- 나. 현장방문, 설문조사, 세미나 등 다양한 소통 활동을 수행하여 취합된 현장 의견을 연구 방향 반영

#### 2. 연구진도 관리를 위한 연구원간 협의체 운영

- 가. 자료수집 및 분석, 실험계획 및 결과의 공유 등을 통한 연구팀 간 유기적인 관계 확립
- 나. SNS를 이용한 상시 소통 채널 구축
- 다. 1회/2달 정기 회의를 통한 연구내용 소통

#### 3. 연구의 질(質)관리를 위한 자문위원회 운영

- 가. 연구진척에 따른 연구결과들의 질관리를 위해 산학연 외부전문가들을 위촉하여 구성
- 나. 3~4회/년(분기별 1회) 자문위원회 회의를 개최
- 다. 연구 결과 및 후속 연구과정에 대한 자문 실시

#### 4. 연차별 연구결과의 확산을 위한 심포지움 및 학회 참가

- 가. 축사분뇨 가스 에너지화 관련 업체에 대해 연구결과를 소개하는 심포지움 혹은 전시회 등 참가
- 나. 1차 및 2차년도 연구결과를 통한 학회 참가
- 다. 심포지움 및 학회에서 수렴된 의견은 후속 연구에 반영

#### 5. 학문/전공간-산·학·연간 융합을 통한 연구수행의 효율을 극대화

- 가. 산업체, 학교, 연구소간 협력체계를 강화하여 연구수행에 상호 보완적인 관계를 설정하여 이상적인 통섭구조를 확립

#### 6. 사후 품질관리 전략

- 가. 성과품의 상용화에 따른 품질보증은 본 연구를 통해 국내외 보급되는 제품 및 서비스의 품질에 대한 적절한 수준의 가시적 기준을 제공함.
- 나. 본 사업의 연구기간 종료 후 포스트 모템(post-mortem)을 실시하여 과제 전반적인 과정을 점검하고 개선점을 발굴하여 성과품의 완성도를 지속적으로 개선함으로써 품질 목표 수준의 지속적 상향을 통한 성과품의 국내외 시장 경쟁력을 유지함.

## 제4절. 연구개발 성과

성과목표	사업화지표									연구기반지표							
	지식 재산권		기술이전	사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용-홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	출원	등록		제품화	기술창업	매출창출	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보진시	
			SCI						비SCI								
최종목표	4	3	2	2						3	3	3	2		2	10	
소계	3	1	*	2						2	8	7	3		*	11	
달성도(%)	75	33	0	100						67	267	233	150		0	110	
종료 1차년도																	
종료 2차년도		1	1												1		
종료 3차년도		1															
소계		2	1												1		
합계	3	3	1	2						2	8	7	3		1	11	
달성도(%)	75	100	50	100						67	267	233	150		50	110	

### 1. 지적재산권

#### 가. 특허출원

- (1) 송풍기능, 안개분무기능 및 약액분무기능의 복합 동작을 통해 온도조절, 습도조절 및 유해가스제거를 동시에 수행하는 축사내 송풍장치 제어방법  
(출원번호 : 10-2018-0096267 / (주)에그리로보텍)
- (2) 노화이상징후와 풍속이상징후를 구별하여 축사 송풍팬의 운전을 제어하는 방법  
(출원번호 : 10-2018-0089963 / (주)에그리로보텍)
- (3) 아크감지장치 및 그 동작방법  
(출원번호 : 10-2015-081107 / (주)나래트랜드)

#### 나. 특허등록

- (1)

### 2. 기술이전 : 현재 없음 / 향후 추진예정임

### 3. 사업화

#### 가. 제품화

- (1) 클라우드 연계형 무선통신 모듈 (주)에그리로보텍  
- 기존제품 램스의 무선모듈 개발을 통하여 무선램스 제품 내부에 모듈(개발모듈)을 장착하여 무선기반의 무선램스 제품을 출시(예정)

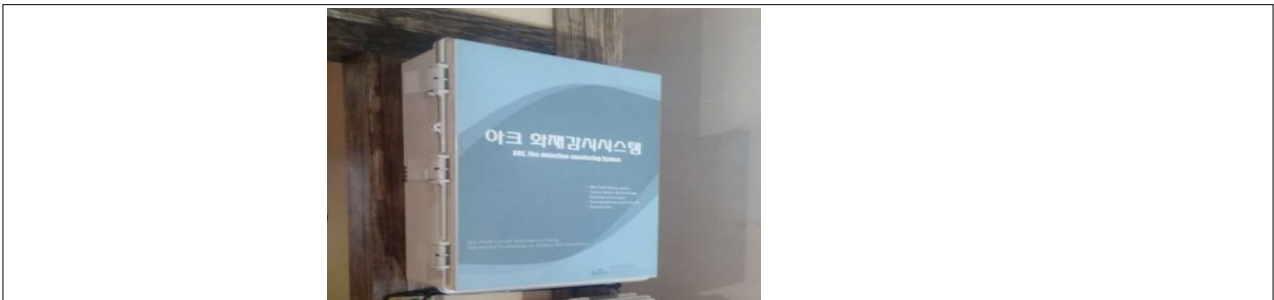


무선모듈 사진



(2) 전력량측정 및 아크감지 모듈 (주)나래트랜드

- 기존 아크감지 시스템에 개발된 전력량측정 모듈과 재생에너지 생산 측정 모듈을 장착하여 제품을 업그레이드 한 제품을 출시(예정)



4. 학술성과

가 SCI 논문

- (1) Exposure level and emission characteristics of ammonia and hydrogen sulphide in poultry building of South Korea  
( Indoor and Built Environment, 김기연, DOI:10.1177/1420326X16664776,온라인게재 )
- (2) Evaluation of thermal performance by using photovoltaic panels for heat balance in livestock House  
( Journal of Solar Energy Engineering: Including Wind Energy and Building Energy Conservation, 김현태, 미정(투고중) )

나. 비 SCI 논문

- (1) 공기정화기적용에 따른 돈사작업장에서 발생하는 악취물질 저감현장평가  
( 실내환경 및 냄새학회지, 김기연, 15호, 2016.03.31 )
- (2) Analysis of relationship to factor affecting energy balance in pig barn  
( 농업생명과학연구, 문병은, 51호, 2017.07 )
- (3) 가축분 퇴비의 중금속 함량 및 화학적 형태별 특성  
( 한국산업보건학회지, 김기연, 26호, 2016.6.30 )
- (4) 공기정화기 적용에 따른 돈사 작업장내 입자상물질 및 생물학상 물질저감효과에 관한 연구  
( 한국산업보건학회지, 김기연, 27호, 2017.3.31 )
- (5) 국내 계사 작업장 유형에 따른 분진 농도 및 발생량 분포  
( 한국산업보건학회지, 김기연, 26호, 2017.06.01 )
- (6) Field Investigation of Airborne Bacteria in Swine House of South Korea  
( Journal of Dairy veterinary sciences, 김기연, 2017.11.14 )
- (7) 벤젠의 국내 허용기준에 대한 연도별 초과 경향연구  
( 한국산업보건학회지, 김기연, 28호, 2018.08.28 )
- (8) Computing of Structure and Ventilation Heat Loss of Pig Barn House through Numerical Energy Model and Provide extra heat by using Renewable Energy source Solar Panel  
( Journal of Bio-systems Engineering, 김현태, 미정(투고중) )

다. 학술발표

- (1) 2016년도 한국산업보건학회 동계학술대회 ( 오성업, 김기연, 2016. 01. 28 )
- (2) 2016년도 한국산업보건학회 동계학술대회 ( 고한중, 김기연, 2016. 01. 28 )
- (3) 2016년도 한국산업보건학회 하계학술대회 ( 오성업, 김기연, 2016. 06. 17 )
- (4) 2016년도 한국산업보건학회 하계학술대회 ( 오성업, 조만수, 김기연, 2016. 08. 18)
- (5) 2016년도 한국산업보건학회 하계학술대회 ( 오성업, 김기연, 2016. 09. 09 )
- (6) ISES 2016 ( 서성철, 김기연, 고한중, 2016.10.05 )
- (7) ISMAB 2018 ( 김현태, 이영진, 2018. 5. 28-30 )

5. 교육지도

- (1) 축산ICT기술개발 및 보급확대 심포지엄 ( 2017, 함영화 (주)에그리로보텍 )
- (2) 2017년 새해영농설계 교육 ( 2017, 함영화 (주)에그리로보텍 )
- (3) 양돈장에서의 ICT장비 활용 및 운영 ( 2017, 함영화 (주)에그리로보텍 )

6. 정책활용홍보

가. 정책활용 : 현재없음 / 향후 제안 예정임

나. 홍보전시

- (1) 나라장터 엑스포 전시 ( 전력량계 아크감지기/ 2016.3.30-4.1 (주)나래트랜드 )
- (2) 양돈장의 다양한 환경정보 수집기술과 진단결과 활용방안  
( 월간한돈, 2015.9호, 함영화 (주)에그리로보텍 )
- (3) ICT융복합 돈사환경관리  
( 농림수산물교육문화정보원, 2015.10, 함영화 (주)에그리로보텍 )
- (4) 스마트팜 해외사례 및 데이터분석방법  
( 축산과학원, 2016.4, 함영화 (주)에그리로보텍 )
- (5) 농진청 심포지엄 전시  
( 농촌진흥청 LEMS, 2016.10.26-27, 함영화 (주)에그리로보텍 )
- (6) 이란ICT전시회  
( 전력량계 아크감지기, 2016.12.15-18, 최승욱 (주)나래트랜드 )
- (7) 월드 IT Show  
( 전력량계 아크감지기, 2017. 5.24-27, 최승욱 (주)나래트랜드 )
- (8) 월드 IT Show  
( LEMS, 2017.5.24-27, 함영화 (주)에그리로보텍 )
- (9) 2017 한국국제축산기자재전  
( LEMS, 2017.9.21-24, 함영화 (주)에그리로보텍 )
- (10) 베트남 일텍스 2018  
( LEMS, 2018.3.14-16, 함영화 (주)에그리로보텍 )
- (11) 세종축산기자재전  
( LEMS, 2018.9.12-14, 함영화 (주)에그리로보텍 )

## 제5절. 연구개발 추진결과

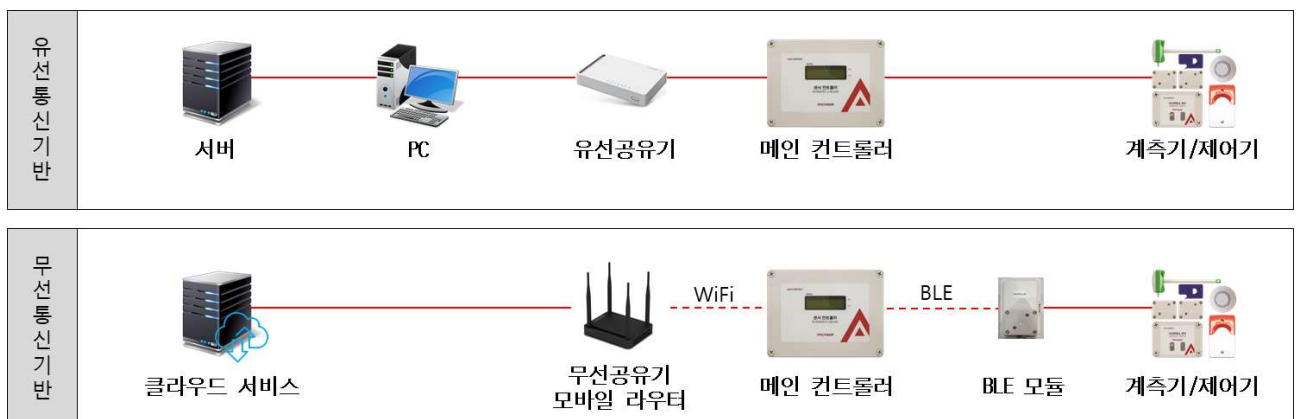
### 1. 제1세부 : 축산환경데이터의 통합관리를 위한 클라우드시스템 개발 (주)에그리로보텍

#### 가. 각종 센서 및 제어기를 범용으로 운용할 수 있는 유/무선 통신 모듈 개발

- 기존 장비와의 호환 인터페이스를 지원하는 유/무선 통신 모듈 개발
- 센서 및 제어 통합장치용 표준화 프로토콜 개발

##### (1) 메인 컨트롤러 관련

- 메인 컨트롤러는 유무선 통신이 가능하도록 설계하여 제작하였으며, 통신방식별 시스템 구성은 그림과 같음.
- ‘유선통신기반’은 국내외 ICT 환경관리장비에서 가장 일반적으로 사용하는 구성이며, 통신 안정성의 수준은 높으나 설치 및 유지보수 관리가 어려운 한계가 있음. 데이터를 저장, 연산하는 서버에서 계측기/제어기까지의 모든 통신을 유선으로 구성하며, 일부 연산을 PC 상주 소프트웨어를 통해 수행할 수 있어 서버 내 연산으로 인한 부하를 조절할 수 있음.
- ‘무선통신기반’은 최근 모바일 라우터, BLE 등 다양한 무선통신 기술의 발달에 따라 ICT 장비에서의 활용도가 높아지고 있음. 또한 클라우드 서비스의 발달로 유선통신에서 필수적으로 활용되던 PC, 서버를 대체함에 따라 데이터 운용 단계가 단순화되어 계측 및 제어에 따른 통신응답속도가 개선됨. 메인 컨트롤러와 클라우드 서비스 간 통신은 WiFi 기반 무선공유기 또는 LTE 모바일 라우터를 활용하며, 메인 컨트롤러와 계측기 또는 제어기 간의 통신은 BLE 통신을 활용함.



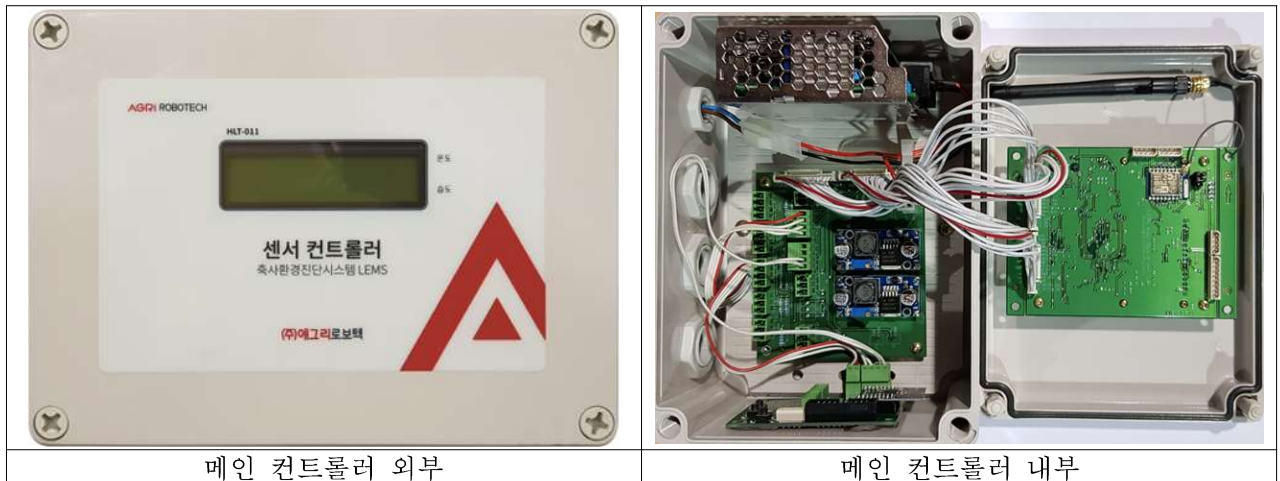
[그림] 유무선 통신방식별 시스템 구성

- 유선 및 무선 통신방식의 특성을 감안하여 활용하는 장비의 기능과 축사의 형태에 적합한 통신방식을 선정해야 함.
- 하드웨어의 구성, 현장 설치 측면에서는 무선통신을 활용하는 것이 유리하나, 데이터의 처리용량 및 안정성 측면에서는 유선기반이 우수한 것이 현실임. 최근 무선 통신과 클라우드 서비스의 빠른 진보를 미루어 볼 때, 지금까지 유선 기반의 ICT 장비 구성이 단기간 내 무선통신기반으로 전환 될 것으로 전망함.

**[표] 유무선 통신방식별 장단점**

	장점	단점	주요 대상
유선	·기본통신 안전성 ·제어 안정성 ·분산형 연산	·설치 불편 및 비용 과다 ·통신규격별 통신거리 제한 ·낙뢰 및 결선 위험	·소규모 축사 ·복잡구조(중축 등) 축사
무선	·설치 용이 및 비용 절감 ·통신 응답속도 개선 ·장치 연동 확장성	·구조물 및 이동물 전파장애 ·통신두절에 따른 제어 위험 ·외부 서비스 의존도 높음	·중대형 규모 축사 ·신축/복도형 축사 ·개방형 축사

- 계측 및 제어를 위한 메인 컨트롤러는 연산, 저장, 표시 및 외부 유무선 통신을 위한 메인 PCB와 계측기, 제어기 간 유선 통신을 위한 커넥트/파워PCB로 구성되어 있으며, 컨트롤러와 계측기 간 무선통신을 위한 BLE모듈 PCB를 부가장치로 설계함.






메인 컨트롤러 외부

메인 컨트롤러 내부

**[그림] 메인 컨트롤러 구성**

- 메인 컨트롤러를 구성하는 각 PCB의 기능 및 성능은 표와 같음.
  - 메인 PCB: 연산, 저장, 표시 및 외부 유무선 통신
  - 커넥트/파워 PCB: 전원 공급, 계측기 및 제어기 간 유선 통신
  - BLE 모듈 PCB: 계측기 및 제어기 간 무선 통신

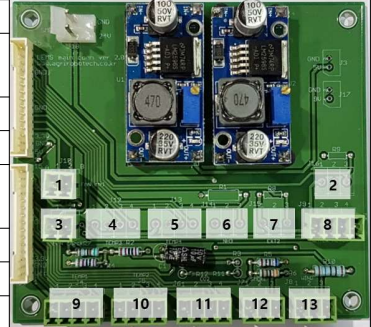
[표] 메인 컨트롤러 보드별 세부사항

구분	세부사항	사진	비고
메인 PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>·연산장치: STM 32F103R8T6</li> <li>·저장장치: Flash Memory</li> <li>·통신장치: TCP/IP, WiFi</li> <li>·표시장치: LCD</li> </ul>		
커넥트/파워 PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>·전원장치: 외부전원공급</li> <li>·통신포트: 전류, 전압, I<sup>2</sup>C, UART, RS-485, RS-232C, On/Off</li> </ul>		
BLE모듈 PCB	<ul style="list-style-type: none"> <li>·전원장치: 배터리 / 외부전원공급</li> <li>·통신방식: Bluetooth</li> </ul>		

- 커넥트/파워PCB는 다양한 계측기 및 제어기와 통신할 수 있도록 7종 통신규격(전류, 전압, I<sup>2</sup>C, UART, RS-485, RS-232C, On/Off)의 지원이 가능하도록 설계함.
  - 유선통신용 포트는 선정된 통신규격을 반영하여 구성하였으며, 포트 불량 등 서비스 상황을 고려하여 통신규격별 2개 이상의 포트를 확보하도록 총 13개 포트를 확보함.
  - 무선통신은 별도의 BLE모듈 PCB를 제작하여 유선통신용 포트에 연결하여 무선화 할 수 있도록 설계함.
  - 최초 Zigbee 방식도 병행 제작하였으나, 측사 환경에서의 통신 한계로 인하여 BLE 방식을 최종 선정하여 시제품화 함.
  
- BLE모듈 PCB는 전원공급을 아답터와 배터리 모두 사용할 수 있도록 설계하여 통신 및 전원의 완전 무선화를 구현함. 이를 통하여 유선통신의 규격별 통신유효거리로 인하여 센서의 설치위치가 제약되는 한계를 극복한 것으로 평가되어 설계함.
  - 농림부 주도로 2017년 설정한 축산 ICT 장비의 TTA 규격에 준하여 포트별 통신방식을 설정하였으며, 계측기 또한 TTA 규격에 적합하도록 선정함.

[표] 계측 및 제어 대상별 통신포트 구성

구분	대상	사진	지정통신포트													PCB구성					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13						
계측	기후	온습도	I <sup>2</sup> C																		
		풍속	4-20mA 전류																		
		차압	RS485																		
	공기질	이산화탄소	UART																		
		암모니아	4-20mA 전류																		
		tVOC	I <sup>2</sup> C																		
	생체	사료량	RS-485 MODBus RTU 9600bps																		
		음수량	I <sup>2</sup> C 기반 SMBus																		
		음수온도	I <sup>2</sup> C																		
		개체 체중 (돈형기)	RS232C																		
안전	연기감지	전압																			
	팬전원감지	전압																			
제어	팬 컨트롤러	RS-485 MODBus RTU 9600bps																			
	원치 컨트롤러	on/off																			
	보온등 컨트롤러	on/off																			
	경광등 컨트롤러	on/off																			



[표] ICT 장비의 주요 통신 규격

방식	규격	비고
유선	Ethernet(IEEE802.3); UTP CAT.5 결선방식 준용	
	RS-232C; 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200bps	
	RS-485ModbusRTU; 9600 bps(기본)	
무선	LoRa; 917~923.5MHz	
	IEEE802.11x; 902~928MHz, 2.412MHz~2.484GHz, 4.915~5.825GHz	
	IEEE802.15.4(Zigbee); 2.405~2.480GHz	
	IEEE802.15.1(Bluetooth); 2.405~2.480GHz	
	424Mhz,447Mhz	

\* 출처: TTA 사양관리 장비 표준안

(2) 무선통신기반 구축 관련

- ICT 기반 환경관리장비의 구성, 설치 및 유지보수에 있어 기존 유선통신이 가진 한계를 보완할 수 있는 방안으로 무선통신을 접목한 시스템을 구축함.
- 메인컨트롤러를 중심으로 ‘메인컨트롤러-PC/서버’와 ‘메인컨트롤러-계측기/제어기’ 단계의 통신을 무선화 하기 위하여 WiFi, Zigbee, BLE(Bluetooth 4.0) 기반의 무선모듈을 적용함.

- 무선 인터넷 환경이 구축된 개방도 높은 축사에서 활용을 위한 메인컨트롤러 WiFi 모듈 연계  
(유선 인터넷 환경이 구축되지 않은 축사 내 활용을 위한 메인컨트롤러 LTE모뎀 연계)
- 계측/제어기 유선 통신거리 제한 및 설치 편의성 개선을 위한 ZigBee/BLE모듈 연계

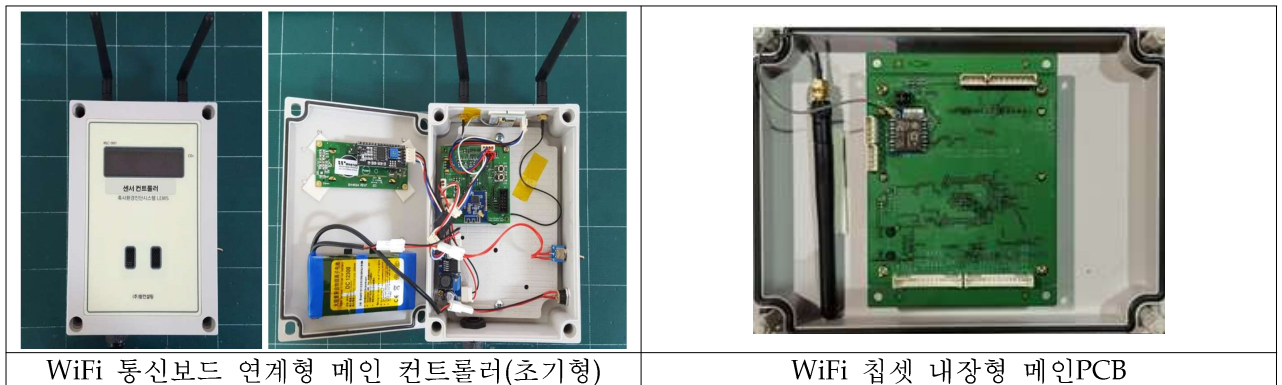
[표]. 센서네트워크의 대표적인 통신규격별 성능 비교

주체	기존			저전력 장거리 통신		LTE-MTC	
	Wi-Fi	ZigBee	Bluetooth	SigFox	L o R a WAN	LTE-M/ NB-LTE-M	NB-IoT
통신범위	20~100m	10~100m	10m	~13Km	~11Km	~11Km	~15Km
주파수	2.4GHz, 5GHz	868MHz, 900~928MHz, 2.4GHz	2.4GHz	8~900MHz (비면허 대역)	8~900MHz (비면허 대역)	1.4MHz/200KHz	200KHz
전송속도	2~54Mbps	240Kbps	1~2.1Mbps	100bps	10Kbps	1~2Mbps	200Kbps
전력소비/ 배터리 수명	50~200mW	~15mW	1~30mW	~10년	~10년	~10년	~10년
표준화	IEEE 802.11b.g	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	비표준	비표준	3GPP Release 12	3GPP Release 13

※ 출처: 소프트웨어정책연구소, 사물인터넷의 특징과 기반기술동향, 2016

• 메인컨트롤러-PC/서버 간 무선 통신 (WiFi 활용)

- 메인컨트롤러를 구성하는 메인PCB 설계에 WiFi 통신용 모듈을 반영하여 구성하였으며, 통신 안정성을 위해 2.4GHz (장거리, 지향성) 영역을 활용하도록 적용함.
- 프로토타입 모델은 WiFi 모듈을 외장 연결하여 현장 검증하였으며, 해당 결과를 바탕으로 메인PCB 설계에 WiFi 칩을 기본 적용함.
- LTE모뎀은 상용화된 모뎀을 메인PCB의 RJ45 포트에 연동하는 방식으로 단순 구성함.



WiFi 통신보드 연계형 메인 컨트롤러(초기형)

WiFi 칩셋 내장형 메인PCB

[그림] WiFi 통신 기반 메인컨트롤러 구성

- 메인컨트롤러-계측기/제어기 간 무선 통신 (ZigBee, BLE 활용)

- 센서 단위의 구성품과 네트워킹하기 위한 통신규격으로는 ZigBee와 BLE를 연동하여 개발함. ZigBee는 다양한 주파수 영역대를 활용할 수 있지만 전송속도가 느린 한계가 있으며, BLE는 주파수 영역은 제한적이거나 현재까지의 ICT 또는 IoT 장비를 통신하는데 충분한 속도의 유지가 가능함.
- 본 연구에서는 두 방식을 모두 개발하였으나, 최종적으로는 BLE 방식으로 실증화를 진행함.

### (3) ZigBee 모듈 개발

- ZigBee 기반 컨트롤러는 메인컨트롤러와 단순센서모듈(온습도센서)과 복합센서모듈(온습도센서, 이산화탄소센서, 풍속센서)로 구성함.

- 해당 통신규격의 사양을 고려하여 센서모듈을 제한적으로 설계함.

- 메인컨트롤러 - Wifi 및 ZigBee 통신모듈, LCD 디스플레이 모듈로 구성됨.
- 단순센서모듈 - 온습도센서 1개, ZigBee 통신모듈, 배터리로 전원공급이 구성됨.
- 복합센서모듈 - 온습도센서 2개, 이산화탄소센서 1개, 풍속센서 1개, ZigBee 통신모듈, 외부전원공급장치로 구성됨.

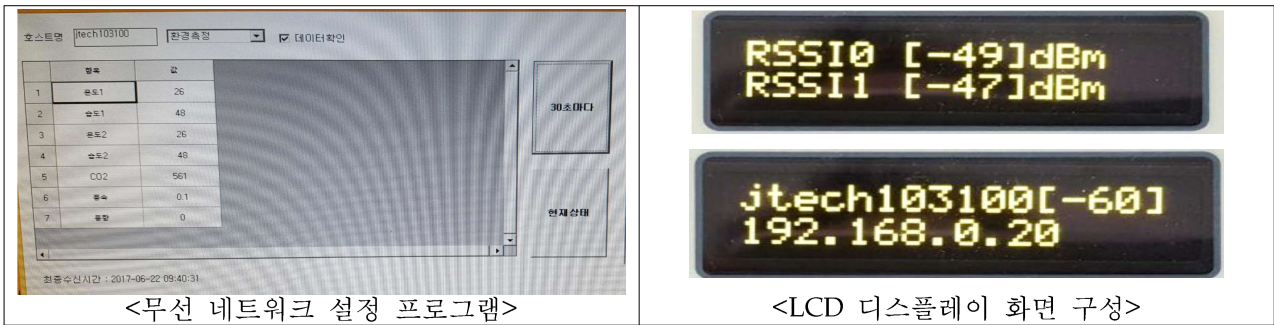


[그림] ZigBee 기반 무선통신 모듈 구성

- 무선 통신을 위한 수신 간격의 설정이 가능한 네트워크 연결 프로그램을 구성함. 수신 간격 조절을 통해 배터리 수명을 관리할 수 있으며, 다중 센서 연결로 인한 전력 수요를 해소하기 위해 복합센서 모듈의 경우 외부전원을 사용할 수 있도록 구성함.



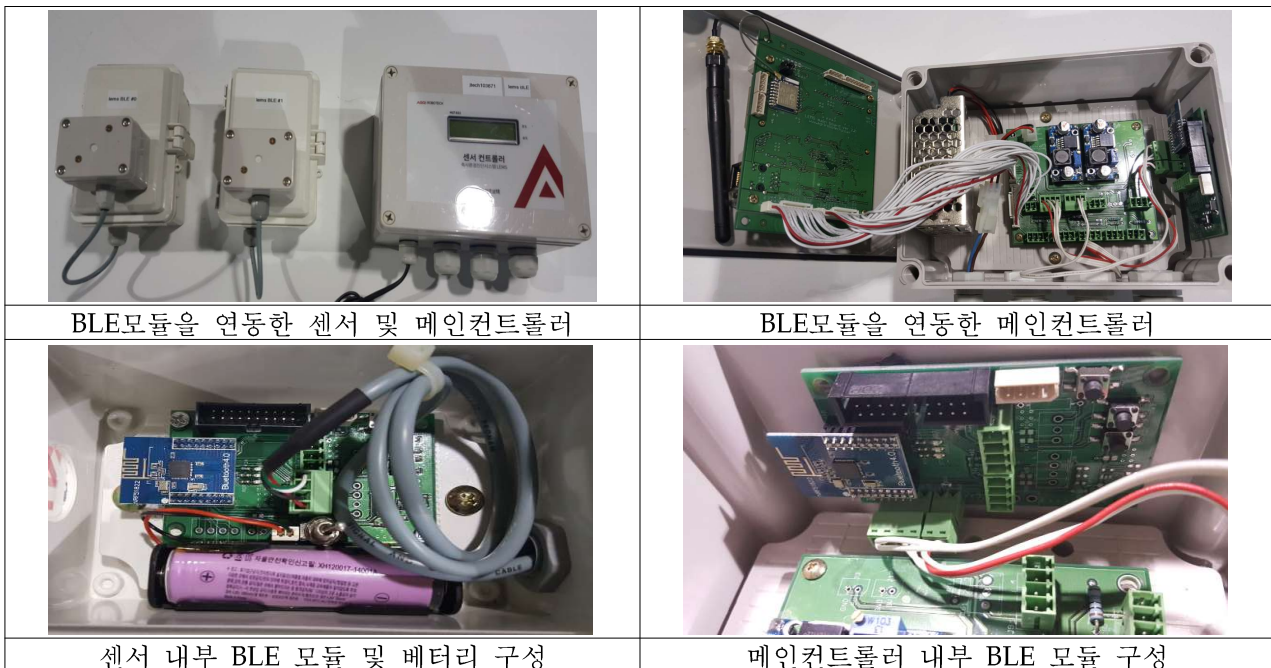
- 본 모듈을 활용하여 측사 환경에 적합한 다양한 통신 방식을 접목할 수 있는 기반을 구축함.



[그림] 네트워크 설정 프로그램 및 LCD 디스플레이 화면(Wifi 및 ZigBee 통신 상태 표시)

#### (4) BLE 모듈 개발

- 블루투스 기반 무선통신은 통신과 전원의 공급이 가능한 BLE모듈 PCB를 별도 설계하여 구현함.
  - BLE모듈은 메인컨트롤러의 경우 커넥트/파워PCB의 유선통신포트에 연결하여 가능하며, BLE 통신을 요구하는 계측기와 제어기를 연결할 수 있음.
- 해당 통신규격의 사양을 고려하여 다음의 시스템을 구성함.
  - 메인컨트롤러 - Wifi 및 BLE 통신모듈, LCD 디스플레이 모듈로 구성됨.
  - 센서모듈 - 통신포트 2개(최대 4개), BLE 통신모듈, 배터리 또는 외부전원공급장치로 구성됨.



BLE모듈을 연동한 센서 및 메인컨트롤러

BLE모듈을 연동한 메인컨트롤러

센서 내부 BLE 모듈 및 배터리 구성

메인컨트롤러 내부 BLE 모듈 구성

[그림] 블루투스 BLE 기반 무선통신 모듈 구성

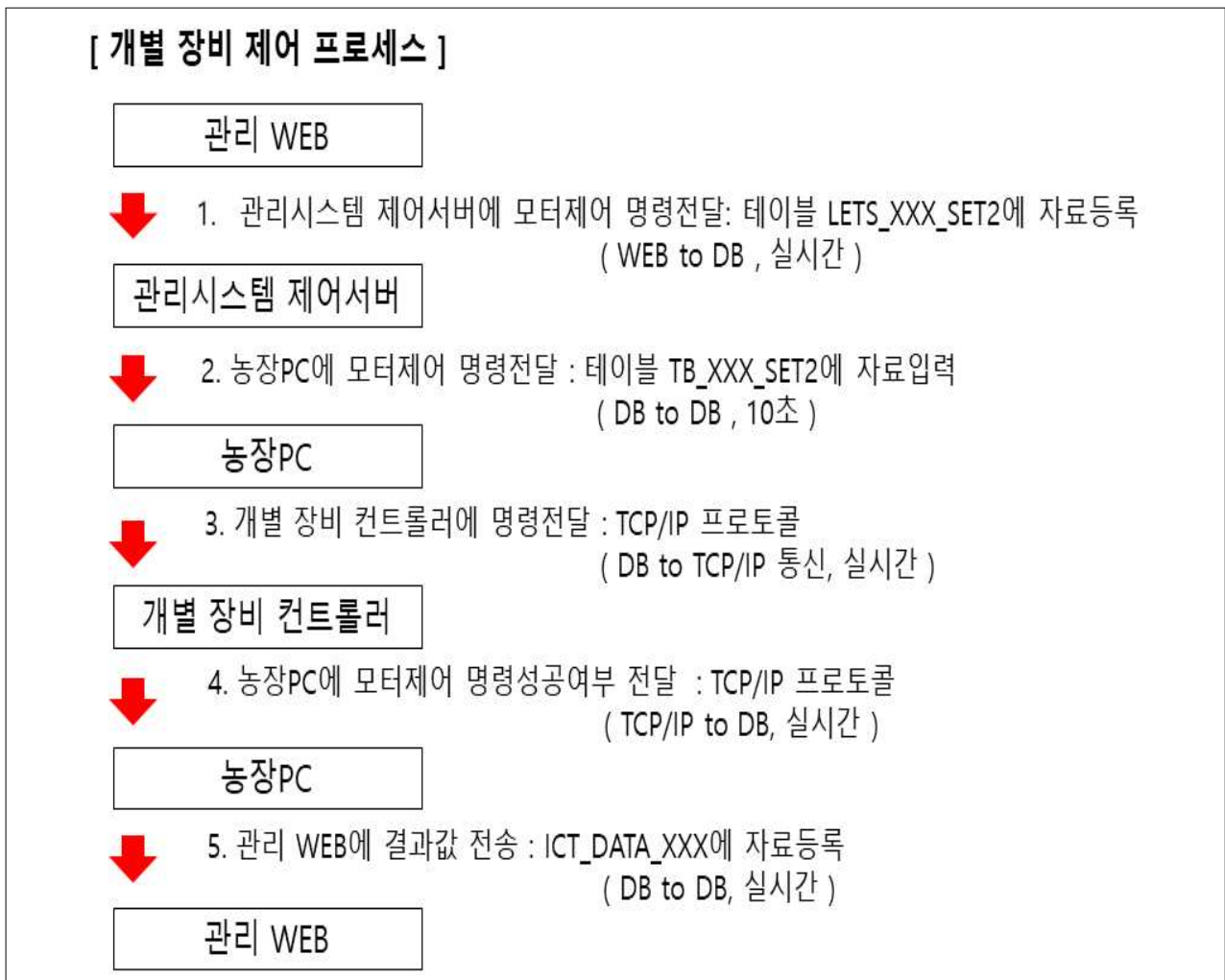
(5) 제어기 관련

- 측사 내부에서 실시간 계측한 환경 및 공기질 정보를 바탕으로 제어할 수 있는 환경관리용 장치 중 국내 양돈분야에서 활용도가 높은 구동장비인 팬, 윈치, 보온등을 자동 또는 원격 제어할 수 있는 컨트롤러를 개발함.
  - 팬 제어는 국내 양돈 현장에서 가장 많이 보급 된 방식의 컨트롤러를 메인컨트롤러와 RS-485 통신으로 연동하여 양방향 통신을 할 수 있도록 구성함.
  - 보온등 컨트롤러는 기본적인 On/Off 신호를 메인컨트롤러로 수신하여 제어되는 원리로 설계하였으며 이와 동일한 구성으로 현장에 알람을 줄 수 있는 경광등(사이렌)을 제어할 수 있도록 구성함.
- 윈치 제어 모듈은 전동개폐기, 모터드라이버, 컨트롤러(LEMS), PC 또는 모바일 장치로 구성함
  - 전동개폐기 - DC24V 전동모터, 리미트설정부, 감속부 등으로 구성되어 있으며 리미트 설정부에서 원하는 총 회전수를 설정하면 모터 동작 시 회전수를 카운트하여 최대로 열리거나 닫혔을 경우 자동으로 전류를 차단할 수 있음.
  - 모터드라이버 - 모터에 입력되는 전원을 컨트롤하는 장치로서 컨트롤러(렘스)에서 출력되는 PWM신호, 정/역회전 포트신호를 받아 해당 속도 및 정/역방향으로 모터전원을 출력함.
  - 메인컨트롤러 - MCU, 통신장치, 디스플레이 장치 등으로 구성되어 있으며 Ethernet으로 네트워크에 연결되어 있음. 서버(PC, 모바일장치) 와 TCP/IP 통신을 통해 개폐기 조정(0~100%)을 하며 상태를 서버에 전달함.

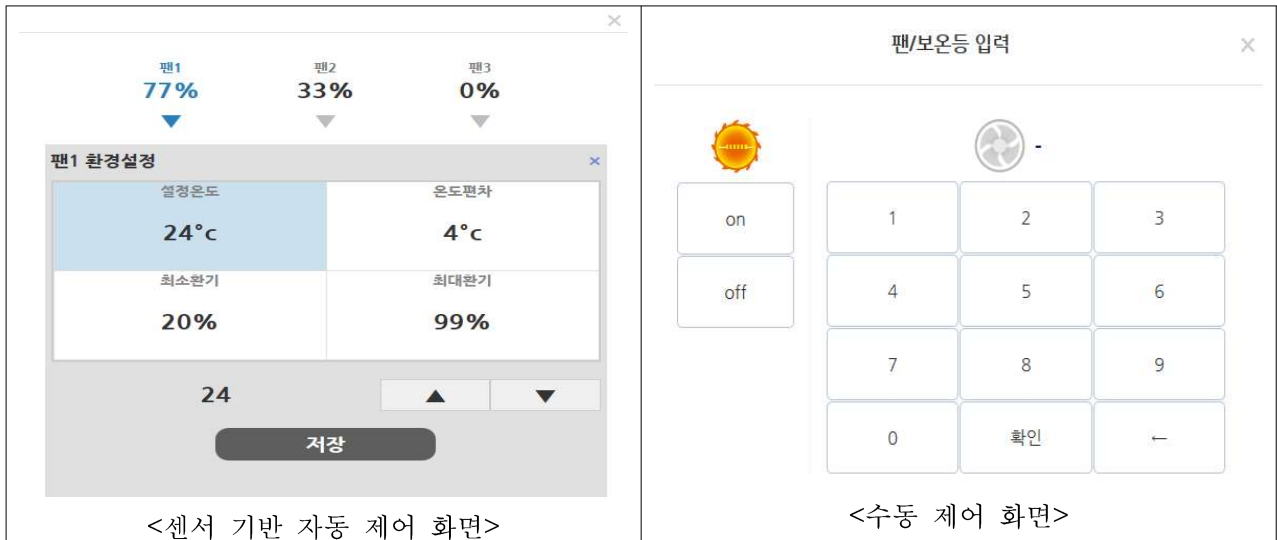


[그림] 모터류 장비 전용 제어모듈

- 전동개폐기와의 컨트롤은 모터드라이버를 통해 연결되며, 모터의 동작 상태는 전류센서를 연결하여 확인함.
  - 최초연결시 개폐기가 최소 닫혀있는 상태에서 최대 열려있는 상태까지 동작시켜 시간을 측정하여 100%시간으로 정하고 개폐기 제어량(0~100%)에 대한 통신을 받으면 위 시간을 계산하여 해당 시간 동안 모터를 동작함.
- 제어모듈은 온도, 습도 등 환경정보와 연동하여 자동으로 On/Off 제어는 물론 가동비율에 따른 가변제어가 가능하며, 필요한 경우 수동 제어도 가능하도록 프로그램을 구성함.



[그림] 장비 제어명령 프로세스



[그림] 장비 제어 프로그램 설정 화면

## (6) 센서 관련

### (가) 측사 내부 환경 및 개체 상태를 파악하기 위한 계측기의 선정

- 환경 계측을 위한 센서는 계측 대상의 특성에 따라 환경 및 공기질로 범주를 구분함.
  - 환기관점에서의 측사형태는 크게 자연환기를 활용하는 개방측사와 기계환기 기반의 무창측사로 구분할 수 있으며, 각 환기방식에 범용할 수 있는 센서를 중심으로 선정함.
  - 환기제어 범위가 넓은 기계환기의 가동상황으로 간접적으로 평가할 수 있는 차압(Differential Pressure)센서를 추가 연동함.
  - 미세분진(TSP, PM 등)센서는 국내 측사시설에서 입기 및 실내 분진 저감장치(또는 필터) 사용이 극히 일부인 상황이므로 제외함.
- 사양관리에 참고할 수 있는 생체정보 센서와 각종 사고에 대비하기위한 안전정보 센서를 적용함.
  - 비접촉식 온도 센서를 통한 체온 측정을 적용하였으나 주변환경 및 개체의 자세 등에 따른 개체 표피온도의 변화가 체온과의 편차가 큰 관계로 시제품화에서 제외함.
  - 사육성적 관련 지표 발굴을 위한 사료, 음수, 개체체중 관련 계측기를 추가함.
  - 측사에서 발생 가능한 화재 및 환기 사고를 예방하기 위한 안전용 계측기를 추가함.

### (나) 측사 내부의 환경 및 공기질 관리에 초점을 두어 센서연동 제어기를 선정

- 국내 측사 구조상 보급률이 높은 환기팬, 보온등, 원치커튼을 자동 또는 원격 조절할 수 있는 제어기를 연동 또는 자체 개발함.

- 냉/난방기의 경우 무창측사, 특히 번식 구간에 제한적으로 사용되며, 자체적으로 설정 온도에 따른 가변제어 기능을 탑재하고 있는 관계로 제어기로서의 연동 대상에서 제외함.
- 음수투약기는 아날로그 방식이 주를 이루며, 출하선별기는 프로토콜 개방에 대해 폐쇄적인 사유로 제어기로서의 연동 대상에서 제외함.

**[표] 대상 센서 및 제어기 종류**

구분		계획(변경 전)	최종(변경 후)	변경사유
계측	기후	온도 습도 풍속 -	온도 습도 풍속 차압	음압식 환기 참조용
	공기질	이산화탄소 미세분진(PM) - -	이산화탄소 (제외) 암모니아 총유기화합물(tVOC)	방진시설 보급 저조 측사, 가축분뇨처리장 수요 작업환경측정 대상
	생체	비접촉식 체온 센서(IR) - - -	(제외) 체중계(돈형기) 사료량/사료급이기 음수량/음수온도	편차 보정 한계 사양관리용 수요 사양관리용 수요 사양관리용 수요
	안전	- -	연기감지 팬전원감지	화재사고 방지용 수요 환기사고 방지용 수요
제어		환기팬 보온등 냉/난방기 사료급이기 음수투약기 출하선별기 -	환기팬 보온등 원치커튼 (제외) (제외) (제외) 경광등	냉/난방기 제한적 사용 생체정보 계측으로 분류 ICT 활용 저조 ICT 활용 저조 현장 정보 제공용

[표] 계측기별 사양

구분	대상	사진	측정 원리	통신방식 등 사양
기후	온습도		· (온도) 온도에 따라서 물질의 저항 값이 변화하는 소재(반도체 세라믹)를 이용하여 값의 변화 감지 · (습도) 습도흡착판이 대기상태의 수분을 흡수하여 양쪽에 붙어 있는 전극으로 전달하여 수분 양에 의한 전극의 전도도 변화 감지	통신 방식: I <sup>2</sup> C 온도 측정범위:-40~+123.8℃ 온도 측정오차: ±0.4℃ 습도 측정범위:0~100% 습도 오차: ±3%
	풍속		· 두 개의 저항성을 가진 필름 사이를 바람이 통과할 경우 온도를 측정하고 전류를 흐르게 하며, 다른 도선이 가열하여 상대적으로 일정한 온도를 유지하게 하고 온도가 offset이 되어 측정되는 온도와의 상대적인 값을 수치화(바람의 세기가 셀수록 온도가 떨어지는데 그때의 상대 값)	통신 방식:4-20mA 전류 측정범위:0~20m/s 측정오차: ±3%
	차압		· 물질의 압력차를 이용한 것으로 고체 물질의 압력을 이용하여 중량을 계산하고 물체의 압력에 의한 측정	통신 방식:RS485 측정범위:-500Pa~500Pa 측정오차: ±3%
공기질	이산화탄소		· LED 램프의 빛을 쬐서 CO <sub>2</sub> 를 거쳐 두 감지기에 도달하는데 수신하는 신호가 약해지는 정도를 계산	통신 방식:UART 측정범위:0~10,000ppm 측정오차: ±3%
	암모니아		· 검출 양에 따라 저항이 바뀌어 전류로 표시	통신 방식:4-20mA 전류 측정범위:0~100ppm 측정오차: ±10%
	tVOC		· 검출 양에 따라 저항이 바뀌어 전류로 나타내는 방식으로 깨끗한 공기에 노출시켜 기준점을 설정한 후 상대적인 농도값을 수치화	통신 방식:I <sup>2</sup> C 측정범위:tVOC-0~60000ppb CO <sub>2</sub> -400~60000ppm
생체	사료빈 중량기		· 사료빈을 지지하는 4축의 수직 중량을 로드셀로 측정하여 환산	통신 방식:RS-485 MODBus RTU 9600bps 측정범위:0~1500kg 측정오차: ±15kg%(0.01%)
	사료 급이기		· 돼지의 개체별 또는 시설별 사료를 공급하는 장치로서 스크류의 회전수를 측정하여 사료량을 환산	통신 방식:RS-485 MODBus RTU 9600bps 측정범위:0~15kg 측정오차: ±0.05kg%
	음수량 측정기		· 유속이 발생할 시 자석이 붙은 터빈이 회전하며, 이로 인해 발생한 자장의 변화를 감지	통신 방식:I <sup>2</sup> C 기반 SMBus 측정범위:0~30L/min
	음수온도		· 반도체 세라믹으로 이루어져 있으며, 온도에 따라서 물질의 저항 값이 변화하는 소재를 이용한 값의 변화 감지	통신 방식: I <sup>2</sup> C 온도 측정범위:-50~+125℃ 온도 측정오차: ±0.4℃
	개체체중 (돈형기)		· 돈형기를 지지하는 4축의 수직 중량을 로드셀로 측정하여 환산	통신 방식:RS232C 측정범위:-200kg 측정 오차:100g
	개체체온		· 비접촉식 온도센서를 개체에 조사하여 수집된 값을 환산	통신 방식:Modbus 485 RTU 측정범위:-20~+70℃ 측정오차: ±2%
	안전	연기감지		· 센서 내외부 2개의 이온실로 구성(양이온실 내부의 공기는 일정 전압에 의한 이온화) · 화재발생시 연소 생성물이 외부의 이온실로 유입, 이온 전류 감소 시 내외이온실의 분압비 변화로 인한 외부 이온실 작용 전압의 상승을 감지
팬전원감지			· 전류의 변화 감지	통신 방식:전압 측정범위:DC 0~12V

(7) 센서 설치 가이드라인 관련

• 센서(계측기) 설치가이드

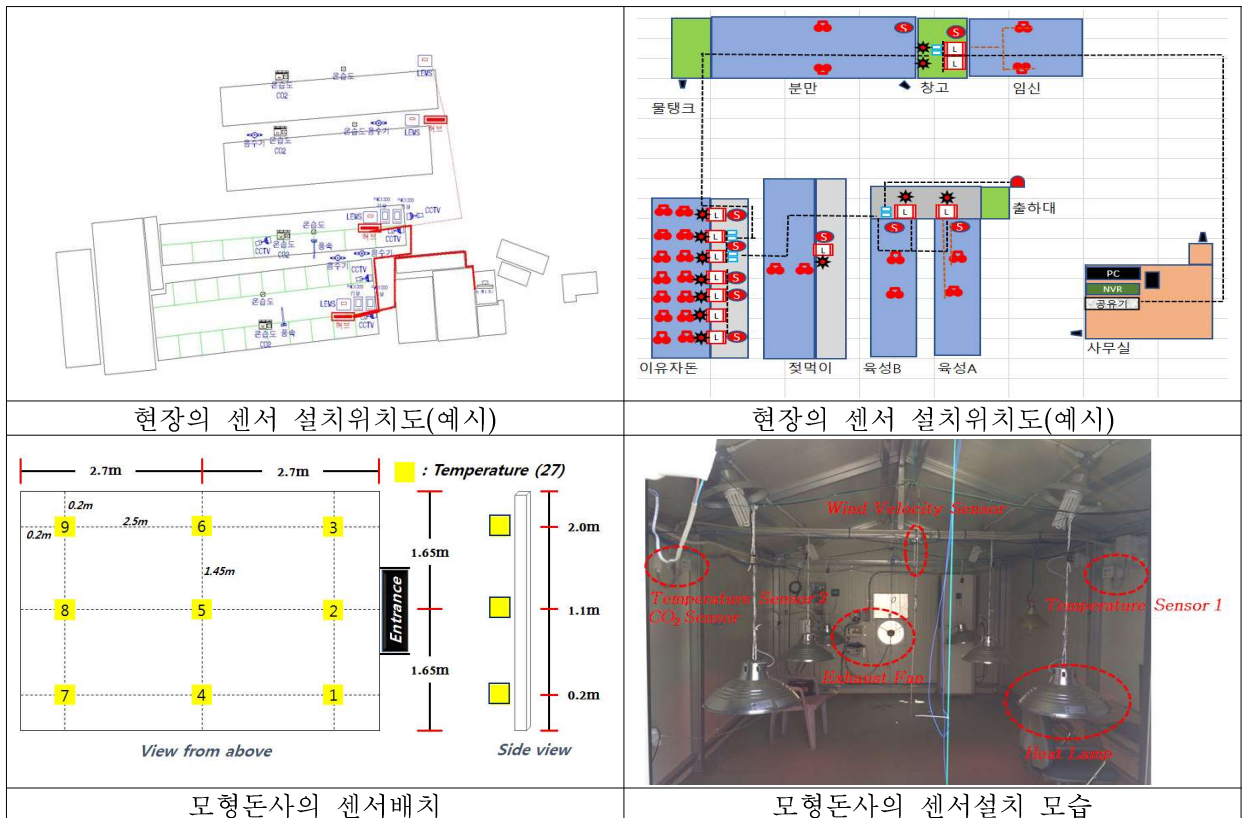
- 축사의 길이, 폭, 높이 등을 고려하고 설치되는 센서의 수량 및 계측값 활용 목표에 따라 센서의 설치위치를 선정함.



[그림] 현장의 각종 센서설치 모습

- 축사 내부 전반적 환경(MacroClimate)을 측정하는 수준으로 센서-컨트롤러 간 통신거리, 제한적인 센서위치 선정으로 인해 축사기반의 환경계측을 실시함.

- 개체 사육공간 중심 또는 정밀환경(MicroClimate)을 측정하는 수준은 돼지가 사육되고 있는 현실적인 문제 및 실용화시에 비용의 문제가 있으므로 **향후 새로운 과제로 실험실 수준의 정밀측정을 통한 축사의 전반적인 환경측정 결과를 활용하여 구분된 사육공간의 환경 조건을 추정하는 알고리즘 연구 및 개발이 필요함.**



[그림] 현장과 모형돈사의 센서설치 모습

(8) 클라우드 서비스 관련

• 본 연구의 클라우드 시스템은 클라우드 서비스를 제공하는 아마존(AWS)클라우드 서비스를 활용하여 시스템을 구축하였으며 클라우드 서비스의 개념은 IaaS(Infrastructure as a Service) 모델의 접목으로서 미국 Amazon社에서 제공하는 AWS 서비스를 활용함. IaaS는 클라우드 서비스 구축의 가장 기본이 되는 구성임.

- 아마존(AWS) 소개 : Amazon Elastic Compute Cloud(EC2)는 안전하고 크기 조절이 가능한 컴퓨팅 파워를 클라우드에서 제공하는 웹 서비스입니다. 개발자가 쉽게 웹 규모의 클라우드 컴퓨팅 작업을 할 수 있도록 설계되었습니다. Amazon EC2의 간단한 웹 서비스 인터페이스를 통해 간편하게 필요한 용량을 얻고 구성할 수 있습니다.

컴퓨팅 리소스에 대한 포괄적인 제어권을 제공하며, Amazon의 검증된 컴퓨팅 인프라에서 실행할 수 있습니다. Amazon EC2는 새로운 서버 인스턴스를 획득하고 부팅하는 데 필요한 시간을 단



몇 분으로 단축하므로 컴퓨팅 요구 사항의 변화에 따라 신속하게 용량을 확장하거나 축소할 수 있습니다. 또한 실제 사용한 만큼만 요금을 지불하면 되므로, 컴퓨팅 비용이 절약됩니다.

Amazon EC2는 개발자가 장애에 대한 복원력이 뛰어나고 일반적인 오류 상황에 영향을 받지 않는 애플리케이션을 구축할 수 있도록 도구를 제공합니다.

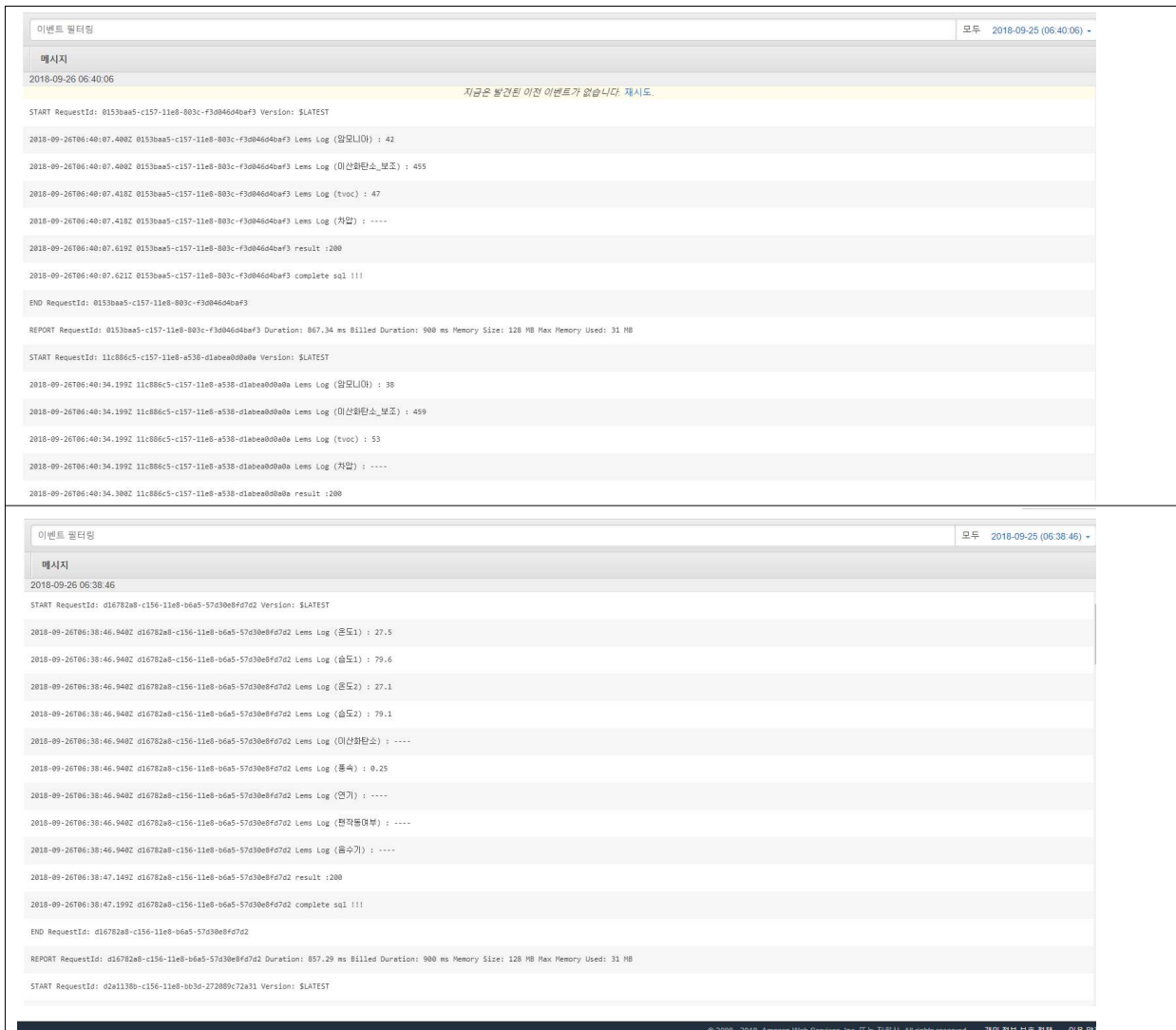
- ICT 기반 환경관리시스템과 AWS 서비스를 연동하기 위한 구성과 액세스 방법은 다음과 같으며 메인컨트롤러는 AWS 서비스와 PC를 거치지 않고 직접 통신할 수 있도록 메인 PCB의 WiFi 모듈에 별도의 펌웨어 플래쉬(Firmware Flash)를 반영함.

[표] 클라우드 서비스(AWS) 구성 및 액세스

구분	항목	세부사항	비고
구성	디바이스 게이트웨이	메인컨트롤러가 안전하고 효율적으로 AWS IoT와 통신할 수 있도록 함	
	메시지 브로커	메인컨트롤러와 AWS IoT 어플리케이션이 서로 메시지(농장 데이터 정보)를 게시 및 수신할 수 있는 보안 메커니즘 제공, MQTT 프로토콜을 사용하여 직접 게시 및 구독 가능	
	규칙 엔진	메시지(농장 데이터 정보) 처리 및 다른 AWS 서비스와 통합서비스 제공, 보안 및 자격 증명 서비스 - AWS 클라우드에서 보안에 대한 공동 책임 제공, 농장 데이터 정보를 안전하게 메시지 브로커로 전송	
	레지스트리	AWS 클라우드에서 각 디바이스에 연결된 리소스 체계화, 디바이스(메인컨트롤러) 등록하고 각 디바이스에 최대 3개의 사용자 지정 속성 연결 가능하며 문제 해결하는 능력 개선	
	디바이스 새도우	디바이스의 현재 상태 정보를 저장 및 검색하는데 사용되는 JSON문서	
	디바이스 새도우 서비스	AWS 클라우드에서 디바이스의 영구적 표현 제공하여 사용자는 디바이스 새도우에 업데이트된 상태 정보를 게시할 수 있고, 디바이스 연결 시 상태 동기화 가능	
	디바이스 프로비저닝 서비스	디바이스에 필요한 리소스, 즉 메인컨트롤러 인증서 및 한 가지 이상의 정책을 설명하는 템플릿을 사용하여 디바이스 프로비저닝 가능	
	사용자 지정 인증 서비스	Lambda 함수를 사용하여 자신의 인증 및 권한 부여 전략을 관리할 수 있도록 사용자 지정 권한 부여자 정의	
	작업 서비스	AWS IoT에 연결되는 하나 이상의 LEMS IoT로 전송 후 실행되는 원격 작업 정의	
액세스	AWS SDK	언어별 API를 사용하여 IoT 어플리케이션 구축	
	AWS IoT 디바이스 SDK	디바이스에서 실행되며 AWS IoT와 메시지를 송수신하는 어플리케이션 구축	

- 클라우드 서비스는 ICT 기반 기술의 운영에 따라 발생하는 컴퓨팅의 대부분을 현장의 PC나 컨트롤러를 통한 자체서버로의 연계가 아닌 인터넷 클라우드(웹기반/서버)에서 구현하게 함을 목적으로 함.

- 클라우드 서비스를 활용함으로써 ICT 장비 운영과 연계를 위한 프로토콜의 분석 및 연계를 최소화하고 장비에서 직접적으로 클라우드 서버로 데이터를 직접 전송함으로써 개발 속도와 데이터 활용성을 높일 수 있도록 함.
- ICT장비의 데이터 연계 및 제어를 위해 필요한 소프트웨어적 요소를 사용과 관리의 두 목적으로 설계한 클라우드서비스(웹서비스)를 통해 제공하므로 기존의 클라이언트-서버 방식이 가진 한계를 넘어서는 컴퓨팅이 가능함.



[그림] 클라우드 시스템으로 데이터의 송수신 로그자료(예시)

- 본 연구과제는 클라우드 시스템으로 ICT장비로부터 데이터를 수집하는 방식과 클라이언트-서버 방식으로 데이터를 수집하는 방식을 동시에 구축함으로써 ICT 장비에서 직접 클라우드 서비스로 연결할 수 없는 ICT 장비 및 센서의 데이터 수집도 가능하도록 구축함.

- 클라우드 서비스로 수집된 데이터의 경우, 클라우드의 웹서비스를 통하여 조회 및 활용이 가능하며 동시에 자체로 구축한 자체 서버에도 연동하도록 함.
  - 자체서버를 통하여 데이터 저장 및 연산을 통하여 제어를 위한 분석을 실시하고 수집된 자료의 보관을 위한 백업 기능을 구현함
  - 기존의 클라이언트-서버 방식으로 현장의 PC(및 콘트롤러)를 거쳐 ICT장비를 제어하는 것과 비교하여 자체서버에서 전송된 제어정보가 클라우드 시스템(AWS)을 활용함으로써 ICT 장비의 반응속도(제어명령 후 ICT장비의 동작까지의 시간)를 개선함.



[그림] 클라우드서비스를 활용한 데이터 흐름



[그림] 클라우드서비스 운영현황 모니터링

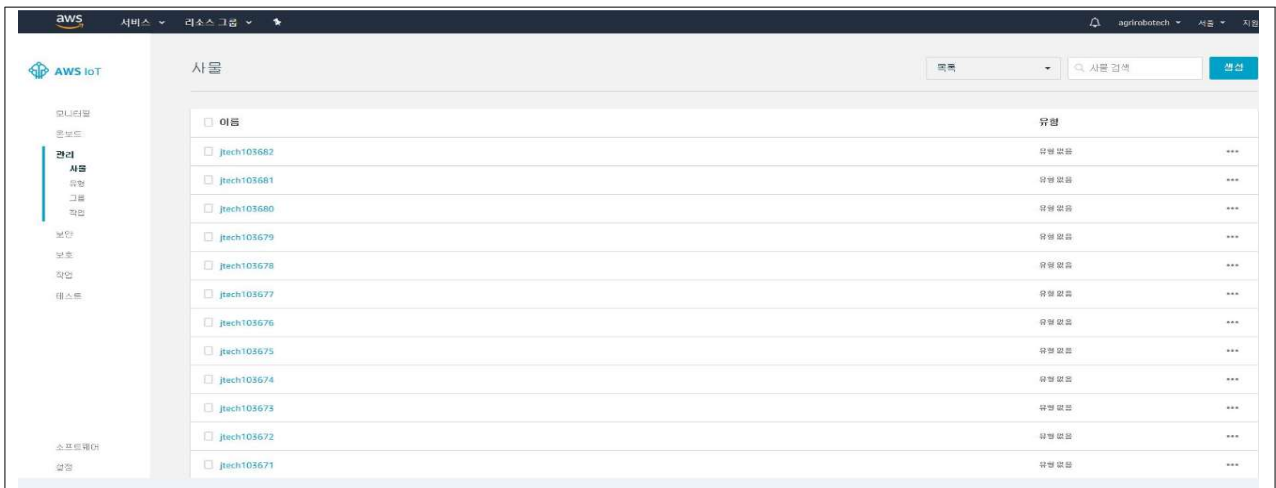
- 본 연구과제를 통하여 개발된 무선통신과 클라우드 서비스가 결합된 ‘축산환경 데이터의 통합관리를 위한 클라우드 시스템’은 축산분야 ICT 장비 활용에 있어 다음과 같은 장점이 있음.
  - 클라우드 기반활용에 따른 데이터 연동 및 송수신 기능의 개선
  - 웹기반 자체서비스 시스템의 변경시 적용 문제해소
  - 축사 내 다양한 배선에 의한 단선, 합선의 방지
  - 설치에 소요되는 자재, 시간 및 노동력 절감
  - 넓은 지역에서 유동적 접근 가능
  - 데이터 수집을 위한 현장 PC의 선택적 활용 가능

(9) 현장 실증화 관련

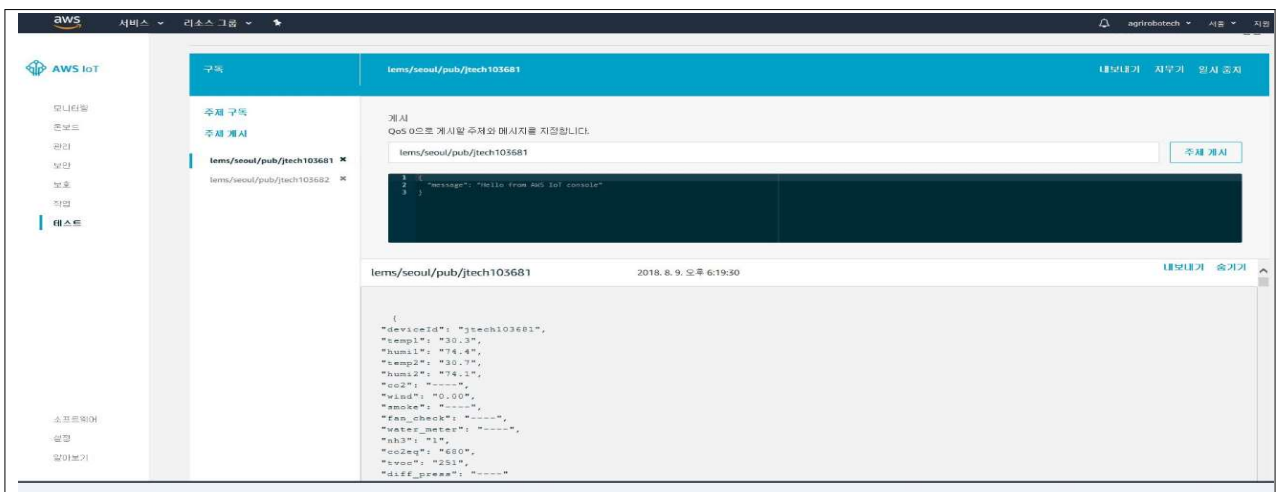
• AWS 클라우드 시스템 개발

- 개별 축사에서 계측되는 정보를 실시간으로 AWS 클라우드를 통해 수집하여 표 또는 그래프 형태로 데이터 제공
- AWS IoT는 무선 인터넷 연결제품(IoT)와 AWS 클라우드간에 양방향 통신 제공
- 다기종 디바이스(IoT)에서 원격 측정 데이터를 수집하고 해당 데이터를 저장 및 분석
- 사용자가 휴대전화 또는 테블릿 환경에서 다기종 디바이스(IoT)를 제어할 수 있는 어플리케이션 제작

• AWS IoT의 무선 LEMS IoT 통신테스트 검증

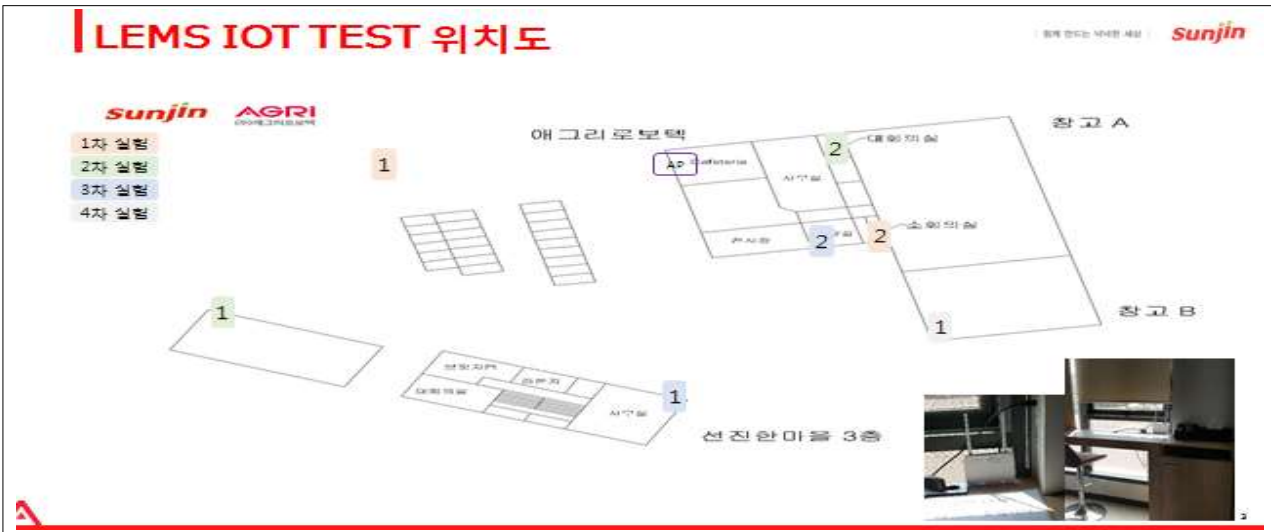


- AWS상에서의 LEMS IoT 모든 장비를 사물화 하여 연결 관리 작업실시



- 메시지(농장 데이터 정보) 보안 시스템 구축 작업실시
- AWS상에서의 LEMS IoT 컨트롤러로부터 메시지를 정상적으로 받는지 테스트 작업실시

• LEMS IoT 수신률 TEST 확인



#### 1차 TEST 결과(4/11~13)

조건	LEMS [tech103900	LEMS [tech103901(장애물)
	설치장소: 주차장 관리사무실 직선거리: 60m 장애물 현황: 없음 WIFI Analyzer: -65dbm	설치장소: 애그리보텍 소회의실 직선거리: 35m 장애물 현황: 유리, 콘크리트 WIFI Analyzer: -75dbm
결과	[Data Tables]	
설치 사진	[Photos]	

#### 2차 TEST 결과(4/16~18)

조건	LEMS [tech103900	LEMS [tech103901(장애물)
	설치장소: HUSEM 참고 직선거리: 85m 장애물 현황: 없음 WIFI Analyzer: -70dbm	설치장소: 애그리보텍 대회의실 직선거리: 21m 장애물 현황: 유리 2개 WIFI Analyzer: -72dbm
결과	[Data Tables]	
설치 사진	[Photos]	

#### 3차 TEST 결과(4/19~)

조건	LEMS [tech103900	LEMS [tech103901(장애물)
	설치장소: 선진한마을 외벽 직선거리: 70m(안테나 측면) 장애물 현황: 없음 WIFI Analyzer: -83dbm	설치장소: 애그리보텍 여자화장실 직선거리: 30m 장애물 현황: 유리, 콘크리트 WIFI Analyzer: -77dbm
결과	[Data Tables]	
설치 사진	[Photos]	


#### 4차 TEST 결과(4/14~16)


조건	LEMS [tech103900(장애물)	LEMS [tech103901(장애물)
	설치장소: LEMS 참고 직선거리: 60m 장애물 현황: 유리, 유리 WIFI Analyzer: -90dbm	설치장소: LEMS 참고 직선거리: 60m 장애물 현황: 유리, 유리, 철문(문 닫힘) WIFI Analyzer: 신호세기 없음
결과	[Data Tables]	
설치 사진	[Photos]	


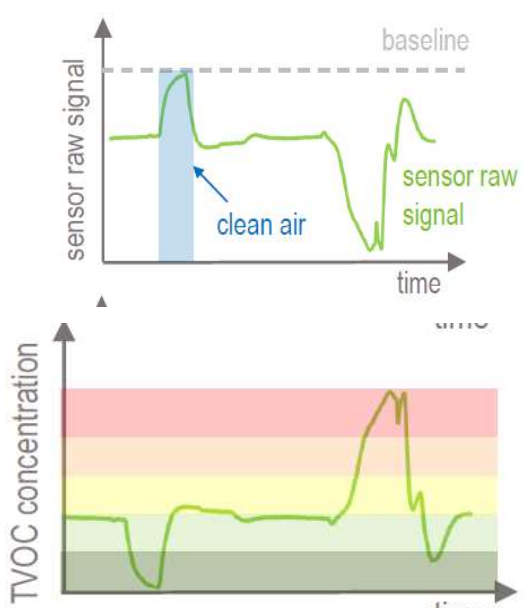
[그림] LEMS IoT 수신률 TEST 자료


- 디바이스 위치와 다양한 거리, 장애물에서의 데이터 수집률 확인을 통한 LEMS IoT 수신률 Test 결과에 따르면 Wifi Router로부터 신호세기 -90dbm 이하의 경우 무선통신 문제 발생 하며 날씨 등 통신 매질환경 고려하여 85% 마진(-75dbm) 이하에서 Extender(확장장치) 사용 필요
- 장애물 없는 직선거리 약 80m 통신가능하며 축산분야 ICT 장비의 설치 및 유지보수 측면에서 기존 유선 통신이 가진 한계를 보완하여 다양한 환경 및 장소에서 데이터 수집 가능


• LEMS IoT에 적용 가능한 센서 및 개선

온습도 센서	내용
	<ul style="list-style-type: none"> <li>-센서와 컨트롤러간에 설치 거리 I2C 방식 표준 1.5m 이내 정상 작동</li> <li>-현행 평균 30m 설치 작업으로 인하여 데이터 수신률 낮았음</li> <li>-I2C 통신방식에서 UART 통신방식 변경</li> <li>-데이터 수신 정확도 증가</li> </ul>

수온 센서	내용
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 농장 내 음수온도를 측정할 수 있는 온도 센서 개발 및 연동작업</li> <li>- I2C 통신방식 사용으로 UART로 바꿔줌으로써 원거리 데이터 수신 가능</li> </ul>

tVOC, NH3 센서	내용
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 돈사 내 유해가스 검출을 위한 센서 개발</li> <li>- 설치 환경에서의 깨끗한 공기의 baseline을 잡고 난 후 데이터 전송</li> <li>- 유해가스 검출량을 5단계 레벨화 하여 데이터 제공(일반적인 수치화된 데이터로는 사용자가 환경이 어느정도 레벨에 달해 있는지 인지할 수 없음)</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>

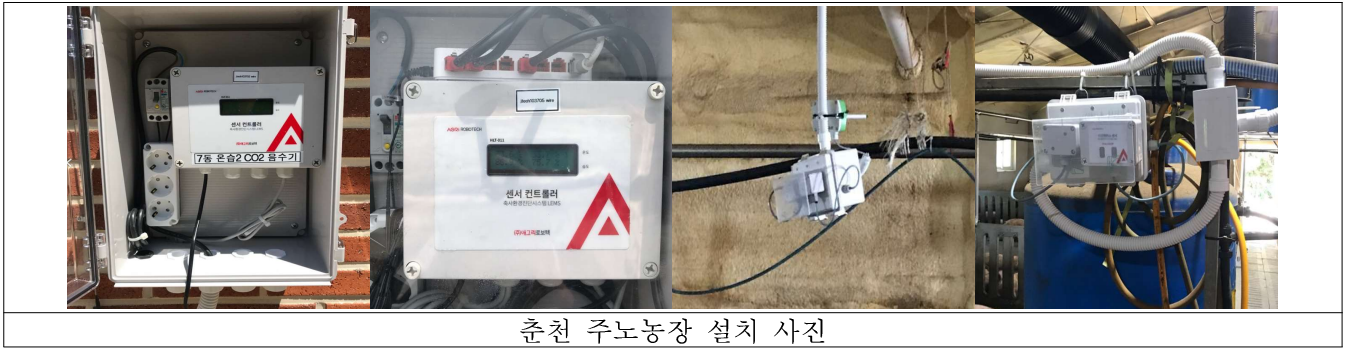
차압 센서	내용
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전류 값을 통해 양압과 음압의 차이 계산값을 데이터화</li> <li>- 돈사 내부 환기 팬의 작동상황 및 가동률 확인</li> </ul>

풍속 센서	내용
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존과 동일하게 사용되고 있던 풍속센서 LEMS IoT에 연동하여 데이터화</li> </ul>

● 현장설치프로세스 및 설치사례

			
<p>Extender가 부착된 LEMS IoT</p>	<p>현장에서의 wifi 신호 분석</p>	<p>컨트롤러 내부에 연동되어진 센서포트</p>	<p>AWS와 메시지를 주고 받고 있는 LEMS IoT</p>

			
<p>LEMS IoT 설치 작업</p>	<p>정읍 명화농장 설치 사진</p>		



춘천 주노농장 설치 사진



이천 제일종축 설치사진

• 설치농장의 정보 모니터링(예시)

<p>PC</p>	<p>모바일</p>	<p>tVOC 그래프 결과</p>





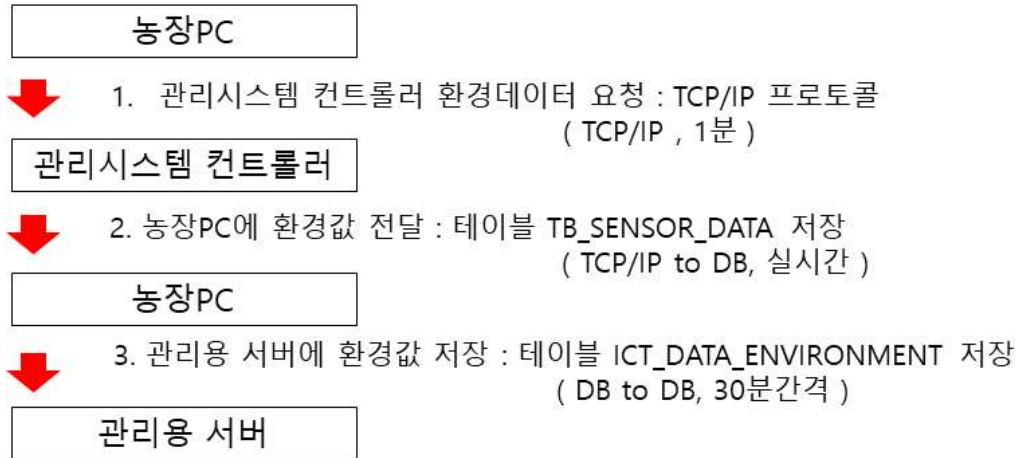
## 나. 클라우드 시스템 기반 축산 빅데이터 수집, 관리, 분석 서비스 개발

- 축사 내외부 계측 정보 및 외부정보(기후, 생산 동향 등) 수집 클라우드 시스템 개발
- 빅데이터 기반 환경 자가진단 및 조절 프로그램 설계

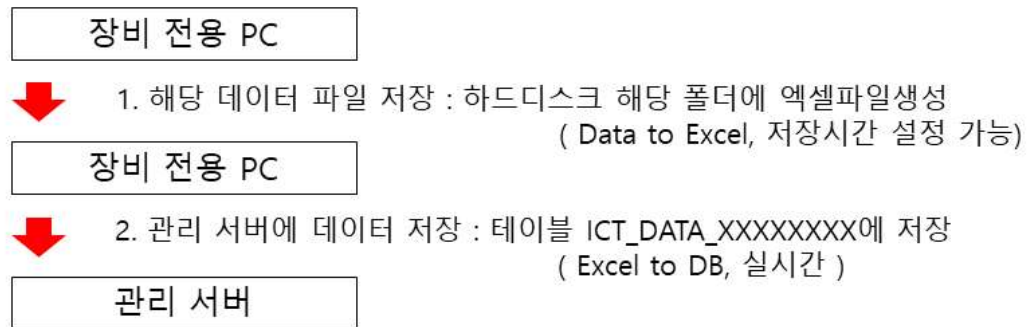
### (1) 축사내외부 계측정보 수집 클라우드 시스템 개발

- 개별 축사에서 계측되는 정보는 설정한 시간 간격마다 자동 수집하여 표 및 그래프 형태로 제공될 수는 클라우드 시스템을 개발함
  - 정보 수집 ICT 장비를 확대하기 위하여 데이터 제공 방식에 따른 모니터링 프로세스를 추가 개발함.
  - 축사 내 설치된 다양한 환경 모니터링 센서는 LEMS 컨트롤러를 통해 TCP/IP 프로토콜로 통신하여 서버에 저장됨.
  - ICT 장비의 사양에 따라, 특히 외산 또는 고도화 장비의 경우 LEMS 컨트롤러와 연동을 통한 실시간 데이터 수집을 위한 프로토콜 정보 미제공 및 통신포트의 부재에 따라 불가능 한 경우가 발생하였으며 이를 개선하기 위해 현장에 설치된 PC기반 랜상주 방식의 소프트웨어를 활용하여 데이터 수집(EXL, CSV, DBMS 등의 형태)을 지원하는 경우에 한하여 PC로부터 설정한 시간마다 데이터를 추출하여 웹 연동이 가능한 프로그램을 개발함.

**[ 실시간 모니터링 프로세스 ]**



**[ 근실시간 모니터링 프로세스 ]**



[그림] 실시간 및 일정간격(배치형태) 데이터 모니터링 프로세스

[표] 축사내외부 계측정보 내역

구분	내용
환경정보	온도, 습도, 풍속, 차압, 수온
사료정보	사료섭취량, 사료빈중량, 음수량
체중정보	개체체중
환기정보	환기팬가동율, 환기팬설정값, 원치가동율
공기질정보	CO2, NH3, tVOC
전력량	전력생산량, 전력소비량

(2) 공공(외부)정보 연계

- 공공(외부)기관에서 Open API 형태로 제공되는 공공데이터를 통합 수집할 수 있는

프로그램을 개발함.

- 공공데이터포털(<http://www.data.go.kr>)에서 개발계정을 생성하여 Open API로 제공되는 정보의 승인을 득하였으며, 해당 정보를 제공할 수 있는 웹사이트를 개발함.
- 기상정보 중 축사 운영에 반영할 수 있는 동네예보정보조회서비스, 중기예보정보조회서비스를 연동함.
- 동네예보정보조회서비스 중 초단기실황조회, 초단기예보조회, 동네예보조회 정보의 연동 및 중기예보정보조회서비스 중 중기육상예보조회, 중기기온조회, 중기전망조회, 중기육상신뢰도조회 정보를 연동함.
- Open API 서비스정보의 변동이 있어 일반 인증키(UTP-8), End Point 등의 수시 업데이트가 요구됨.



[그림]기상청 제공 기상정보 연동 프로그램



[그림] Open API 연동 프로그램 설정 화면

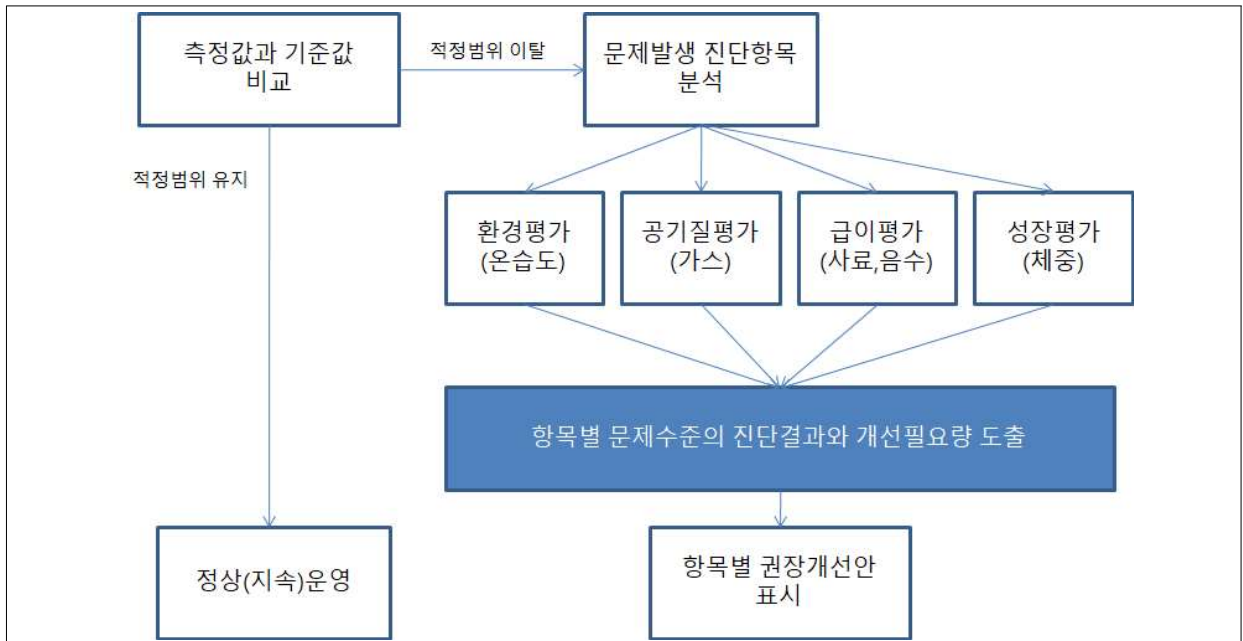
- 국가동물방역통합시스템(KAHIS)에서 제공되는 정보(가축전염병정보, 질병발생농장 정보, 가축사육정보, 질병진단정보, 신청자정보, 농장정보 등)를 연동할 수 있는 프로그램을 개발함.
- 축사 소재지 정보 입력을 통해 해당하는 지역의 정보를 실시간 제공할 수 있도록 사이트를 구성하였으며, 기타 Open API로 제공되는 정보를 추가적으로 수용할 수 있도록 개방형 플랫폼을 구축함.



[그림] Open API 데이터 연동 화면

### (3) 수집된 정보를 분석하여 현장 운영에 사용할 수 있는 알고리즘 및 모듈 개발

- 측정값의 적정성에 대한 평가를 통한 진단 알고리즘
  - 환경 자가 진단 알고리즘에서는 센서 종류에 따라서 환경을 조절하는 판단 기준이 달라지는데, 온도, 습도, 암모니아, 이산화탄소, 차압, tVOC 등의 다양한 환경센서로부터 수집한 데이터는 환경 상태를 파악함.
  - 환기팬의 조절을 위한 자가 진단에 이용되며 현재의 온도, 습도 등의 측정값과 적절한 기준의 온도, 습도 등과의 차이를 평가하고 진단함.
  - **진단평가를 위한 프로그램에서 진단을 위해 사용하는 적절한 기준값은 표준으로 제시되는 경우도 있지만 ICT장비 활용농가에서 지속적인 데이터 축적과 빅데이터 분석을 통하여 '농가 맞춤형 적정 기준값'을 도출하여 활용할 수 있도록 개발함.**
  - 계측기로부터 수집한 데이터는 진단을 통하여 환기팬, 입기구, 보온등, 냉방기를 조절하는 기초자료로 활용함.
  - 진단 알고리즘은 개별 측정항목의 적정값을 진단하고 다수의 항목이 부적절할 경우, 어떤 항목을 우선 제어 할 것인지는 제어 알고리즘에 적용함.



[그림] 적정성에 대한 평가를 통한 진단 알고리즘

- 적정성 평가를 위한 기준자료(예시)

[표] 돼지의 적정환경 기준

돼지상태체중 (Kg)	온도범위 (°C)	실효온도 (°C)	온도변이 (°C)	셋바람 (m/sec)	상대습도 (%)	암모니아 (ppm)
<b>분만</b>						
모돈	16-24	21(2.0)	2.8	0.15	75	10
신생자돈	32-40	35(1.0)	1.1	0.025	75	10
자돈(4주령)	27-38	27(1.0)	2.8	0.025	75	10
<b>육성돈</b>						
7-11	27-35	26(2.0)	2.8	0.15	75	10
11-22	25-32	23(2.0)	2.8	0.16	75	10
22-45	23-29	20(2.0)	5.6	0.17	75	10
45-68	20-27	18(2.0)	5.6	0.18	75	10
68-91	19-24	17(2.0)	5.6	0.19	75	10
91-113	18-21	16(2.0)	8.3	0.2	75	10
<b>임신</b>						
205	18-21	16(2.0)	8.3	0.25	75	10

\* 자료 : 축산과학원 ( 실효온도 자료 제외 )

[표] 돼지의 음수적정 기준

돼지체중 (Kg)	급수기높이 (Om)	급수당두수 (두/개)	급수량 (ml/분)	1일 섭취량( L/일 )		
				저온기	적온기	고온기
0-11	10	10	240	2	3	8
11-22	30	12	480	4	5	11
22-56	45	12	720	8	10	16
56-113	60	12	960	10	13	20
중돈	75	12	1,440	15	20	30
포유모돈	75	12	1,920	20	26	40

\* 자료 : 축산과학원

[표] 돼지의 일령별 성장기준(예시)

일령	체중 (kg)	일당증체량 (g/일)	일당섭취량 (kg/일)	저온 (°c)	고온 (°c)
21	5.5	0	0.7	30	31
22	5.7	200	0.7	30	31
23	6	300	0.7	30	31
24	6.2	200	0.7	30	31
25	6.5	300	0.7	29	31
26	6.7	200	0.7	29	31
27	7	300	0.7	29	31
28	7.2	200	0.7	29	31
29	7.5	300	0.7	29	31
30	7.7	200	1.03	29	31
31	8	300	1.03	29	31
32	8.3	300	1.03	28	30
33	8.6	300	1.03	28	30
34	8.8	200	1.03	28	30
35	9.1	300	1.03	28	30
36	9.4	300	1.03	28	30
37	9.6	200	1.03	28	30
38	9.9	300	1.03	28	30
39	10.1	200	1.03	27	30
40	10.4	300	1.03	27	30
41	10.6	200	1.03	27	30

\* 자료 : (주)함컨셀팅

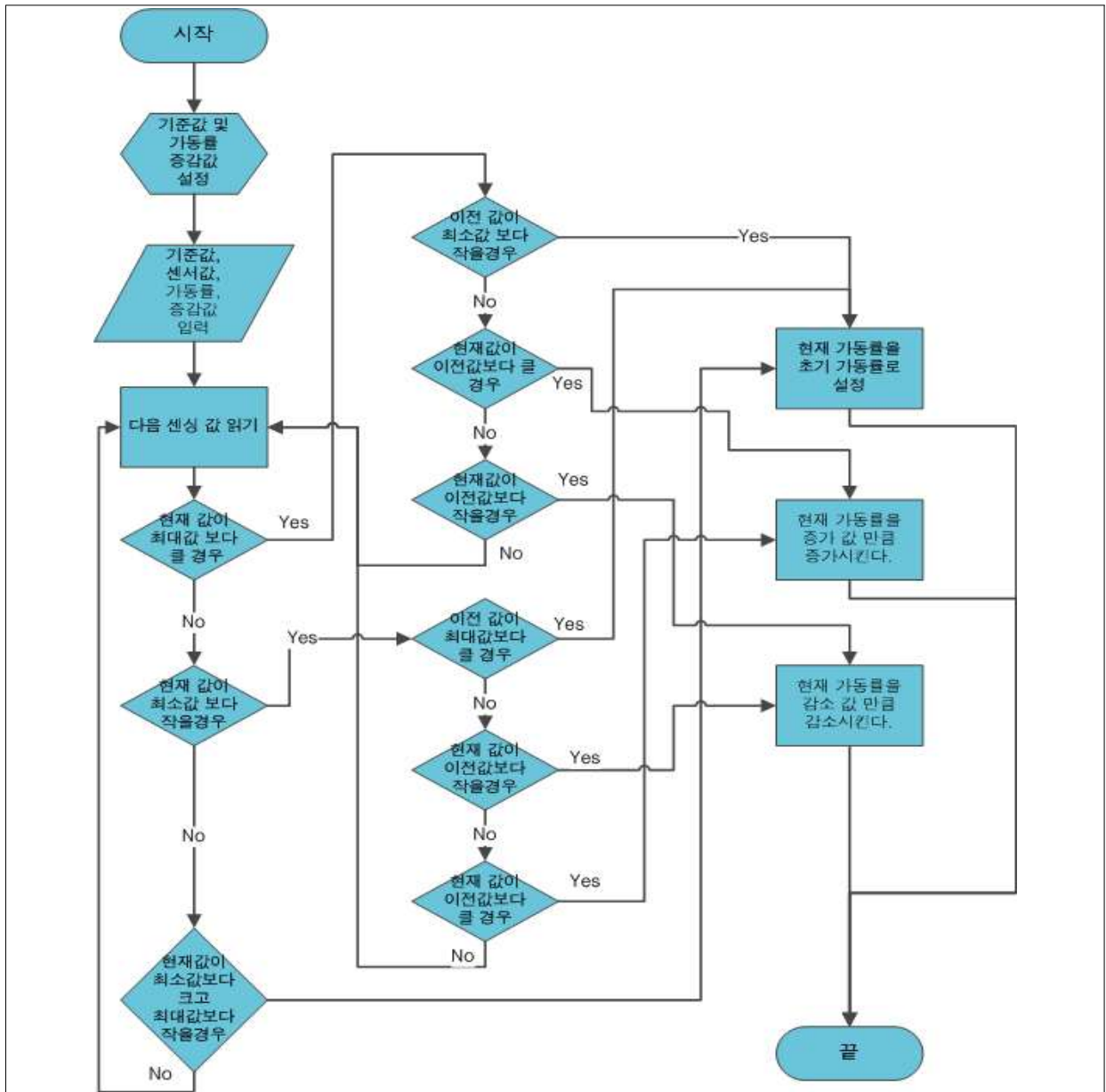
[표] 돼지의 성장단계별 환기량기준(예시)

사육단계/구분(kg)	저온기(Cold weather) 환기 추천량 : cfm				중온기(Mild weather) 환기 추천량 : cfm	고온기(Hot weather) 환기 추천량 : cfm
	습도조절 환기추천량			냄새 조절을 위한 환기 추천량		
	전면슬랏바닥	부분슬랏바닥	콘크리트바닥			
부만스톡(모돈+자돈)	10	17	20	35	80	500(250)
초기자돈(5.5-13.4)	1	1.6	2	3.5	10	25
자돈(13.4-34.0)	1.5	2.5	3	5	15	35
육성돈(34.0-68.0)	3.5	5.5	7	10	24	75
비육돈(68.0-100.0)	5	8	10	18	35	120
비육돈(100.0 이상)	6	10	12	20	40	150
임신돈(148.0)	6	10	12	20	40	150
웅돈(182.0)	7	12	14	24	50	300

\* 자료 : 축산과학원

• 빅데이터 및 진단결과를 활용한 제어 알고리즘

- 계측값을 분석한 진단결과에 따라 문제항목을 적정한 상황으로 개선하기 위한 권장값(적정값-측정값)이 제시되고 이를 위해 제어할 수 있는 ICT장비에 대한 제어값을 도출하도록 함.
- 일반적으로 제어값을 도출할 때 활용하는 방식은 최소한의 제어값을 통하여 변경되는 측정값을 모니터링하고 분석하여 다음 단계의 제어량을 도출하는 단계를 반복함.



[그림] 제어를 위한 알고리즘

- 예) ① 온도가 낮아 3도의 온도를 높이고자 한다고 가정하면 권장값은 '3도'가 되고 이를 위한 제어장비는 환기팬, 보온등, 난방기 등이 되어 제어값으로는 환기팬 '5% 가동률 감소', 보온등 'On', 난방기 설정온도 '3도 상승' 등이 도출됨.
- ② 다수의 장비에 동시에 제어값을 제공하여 변경할 수도 있고, 개별장비를 순차적으로 제어하여 변경할 수도 있음.
- ③ ICT 장비에 제어값(환기팬'5% 가동률 감소')을 적용한 결과 변경온도가 '1도 상승'이었다면 반복하여 환기팬 '5% 가동률 감소'의 제어값을 도출하게 됨.  
( 물론 환기팬 '10% 가동률 감소'를 제어값으로 도출할 수 있지만 항상 제어값은 장비별 최소변동값(예, 5%)을 기준으로 설정하도록 하여야 함.)
- ④ ③번의 과정을 반복적으로 진행하여 목표한 적정값으로 조절하도록 함.

- ⑤ 단, 예를 든 온도처럼 한가지 항목의 조절은 단순하지만 ③번의 과정을 진행하는 동안 습도, 풍속, 가스 등의 항목에서 적정값을 이탈하는 경우가 발생할 수 있는데 이러한 경우에는 목표항목과 권장값이 새롭게 진단되어 ① ~ ③ 번의 과정을 반복하게 됨.
- ⑥ 외부의 환경, 사육중인 가축의 상황 등에 따라 다수의 항목을 진단결과에 따른 적정값(범위)로 유지하기 어려운 상황이 발생할 수 있으므로 제어 알고리즘에서 우선순위 및 적정범위(예, 온도 20 ~ 24도)의 2차 범위(예, 18 ~ 26도)를 등록관리할 필요가 있음.
- ⑦ ⑥번의 상황이 발생할 경우, 우선순위가 높은 항목을 적정범위에 도달하도록 관리하고 우선순위가 낮은 항목은 2차 범위 내에 도달하도록 제어함.

**- 빅데이터를 활용하여 제어량을 도출하는 알고리즘은 유사한 상황의 빅데이터를 분석하여 권장값을 조절하기 위한 목표 제어량을 도출함.**

- 예) ① 온도가 낮아 3도의 온도를 높이고자 한다고 가정하면 권장값은 '3도'가 되고 이를 위한 제어장비는 환기팬, 보온등, 난방기 등이 되어 제어값이 도출됨.
- ② 일반적인 방식은 ICT 장비에 최소변동 제어값을 적용한 결과를 분석하고 이를 통하여 지속적으로 제어값을 도출하는 방식이라면 빅데이터를 활용한 방식은 온도 3도를 변경하기 위해서 유사(동일)한 조건의 경우의 데이터를 분석하여 제어장비(환기팬, 보온등, 냉난방기 등)에 어떤 제어값을 제공하면 목표 적정값에 도달할 수 있는지 분석하여 도달하기 위한 목표 제어값(예, 환기팬 15% 가동율 감소)을 도출함.
- ( 물론 환기팬 '15% 가동율 감소'를 제어값으로 도출할 수 있지만 항상 제어값은 장비별 최소 변동값(예, 5%)을 기준으로 변경 제어하도록 하여야 함.)
- ③ 다수의 장비에 동시에 제어값(예, 환기팬 5% 가동율 감소 + 보온등 'On')을 제공하여 변경할 수도 있고, 개별장비를 순차적으로 제어하여 변경할 수도 있음.
  - ④ ① ~ ③번의 과정을 반복적으로 진행하여 목표한 적정값으로 조절하도록 함.
  - ⑤ 단, 예를 든 온도처럼 한가지 항목의 조절은 단순하지만 ③번의 과정을 진행하는 동안 습도, 풍속, 가스 등의 항목에서 적정값을 이탈하는 경우가 발생할 수 있는데 이러한 경우에는 목표항목과 권장값이 새롭게 진단되어 ① ~ ③ 번의 과정을 반복하게 되지만 빅데이터 활용방식은 반복되는 회수가 적고 동시에 다수의 항목을 만족하는 제어값을 도출하는 것이 가능함.
  - ⑥ 외부의 환경, 사육중인 가축의 상황 등에 따라 다수의 항목을 진단결과에 따른 적정값(범위)로 유지하기 어려운 상황이 발생할 수 있으므로 제어 알고리즘에서 우선순위 및 적정범위(예, 온도 20 ~ 24도)의 2차 범위(예, 18 ~ 26도)를 등록관리할 필요가 있음.
  - ⑦ ⑥번의 상황이 발생할 경우, 우선순위가 높은 항목을 적정범위에 도달하도록 관리하고 우선순위가 낮은 항목은 2차 범위 내에 도달하도록 제어함.



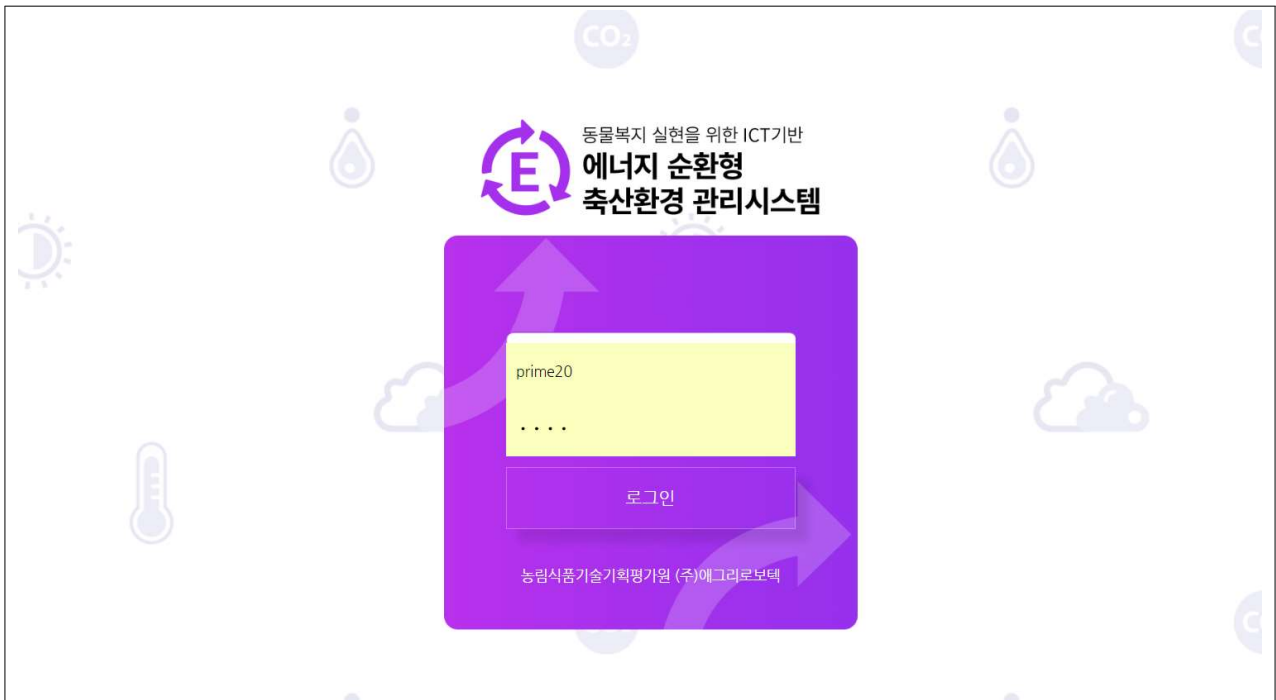
[표] 측정값의 진단에 따른 제어관리 화면(예시)

온도	습도	가스	풍속	MAX MIN	위치	항목	1	2	3	복도
28.1	69.3	2340	0.23	29.8	돈사1	온도	28.7	27.5	28.3	28.2
						습도	67.3	68.5	72.3	66.2
				가스		2340		2340		
				풍속		0.12	0.34			
+3	0	+500	+0.1	환기팬설정값			MIN 25	MAX 75	25도	2도
환기팬 가동율			보온등		냉방기		가습기			
+ 5%			OFF		ON(30%)		OFF			

#### 다. 관리자 수요형 실시간 축사 모니터링 및 자동·원격 제어 스마트 웹 개발

- 실시간 축사 모니터링 스마트 웹 개발
- 자동 및 원격제어 스마트 웹 개발

##### (1) 축산환경 데이터의 통합 관리를 위한 클라우드 시스템 개발(웹 기반)



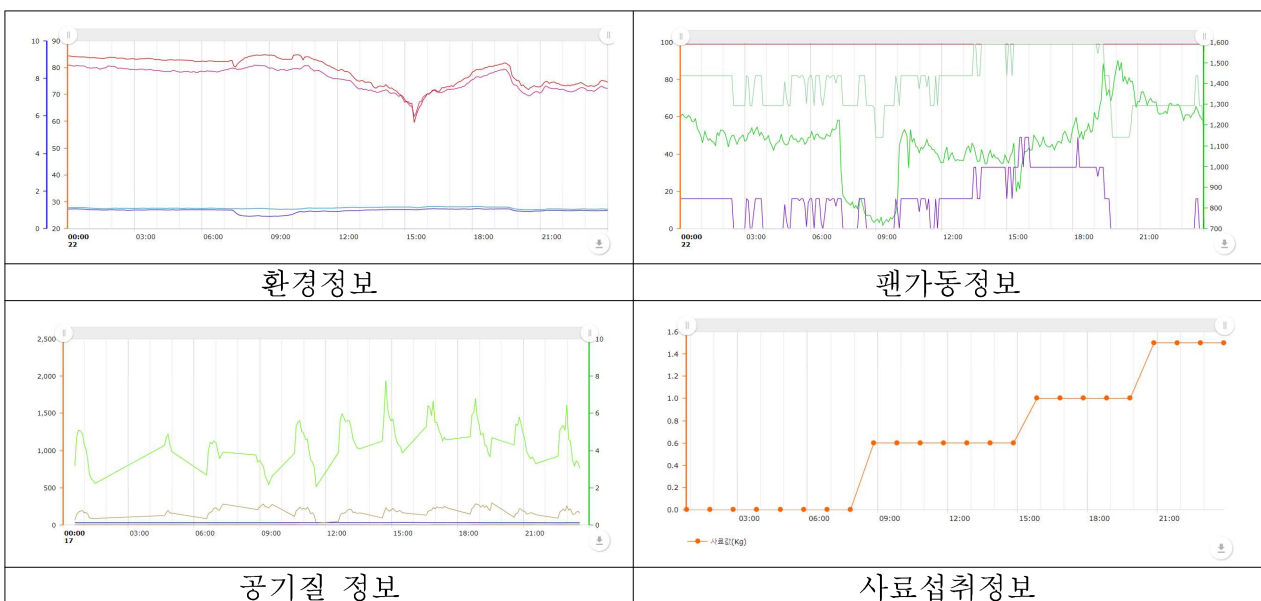
[그림] 축산환경 데이터의 통합 관리를 위한 클라우드 시스템 로그인 화면

- ‘축산환경 데이터의 통합 관리를 위한 클라우드 시스템(에너지 순환형 축산환경관리 시스템, <http://118.129.34.164:8095>)’은 본 연구과제에서 추진한 연구개발 내용은 통합 하여 관리 제공하는 클라우드 서비스(아마존 클라우드 서비스, AWS)와 연계하여 운영되는 웹기반 시스템으로 개발함.

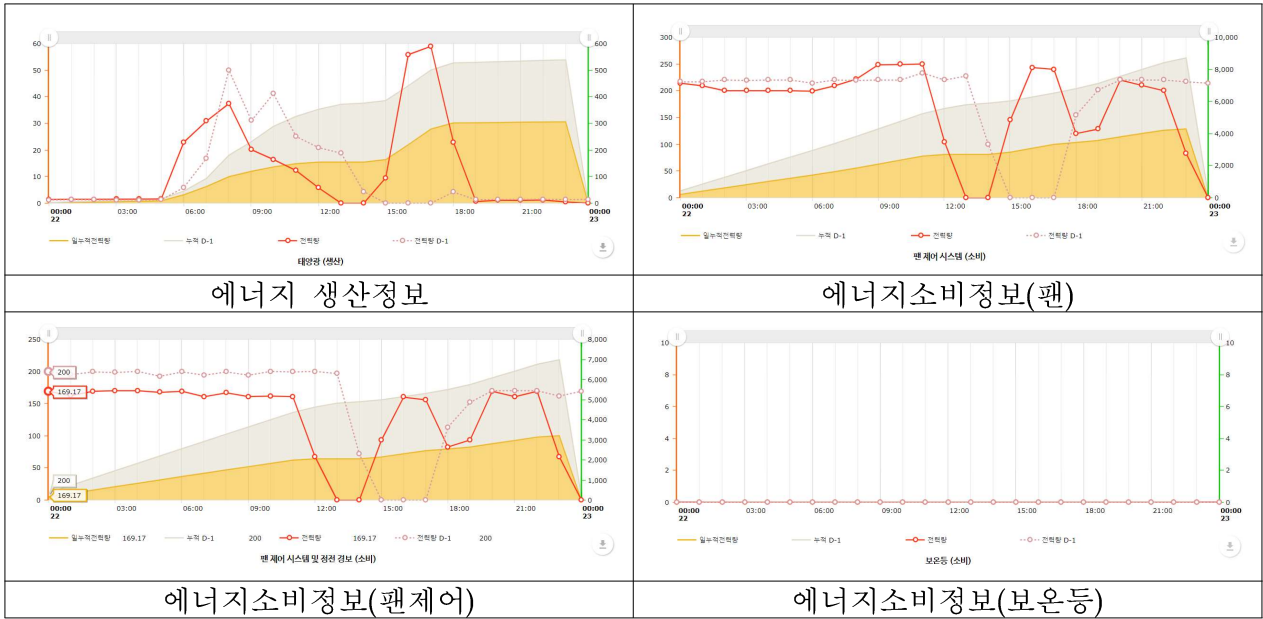
- 1세부 : 센서 및 제어기를 운영하고 데이터의 수집 및 분석 기능
- 1협동 : ICT장비의 에너지 생산, 소비 등의 순환 데이터의 수집 및 분석 기능
- 2협동 : 축사환경 센서의 운용을 위한 적정기준 정보 DB관리 기능



[그림] 축사환경 데이터의 통합 관리를 위한 클라우드 시스템 대시보드 화면(메인)



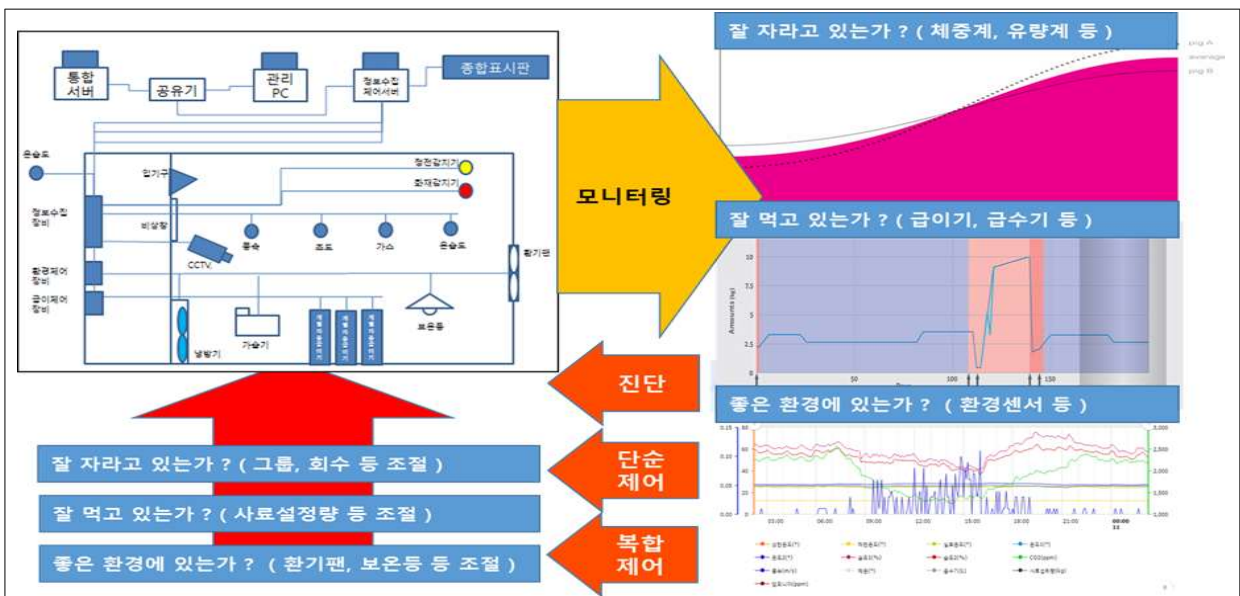
[그림] 시스템의 항목별 조회화면(1)



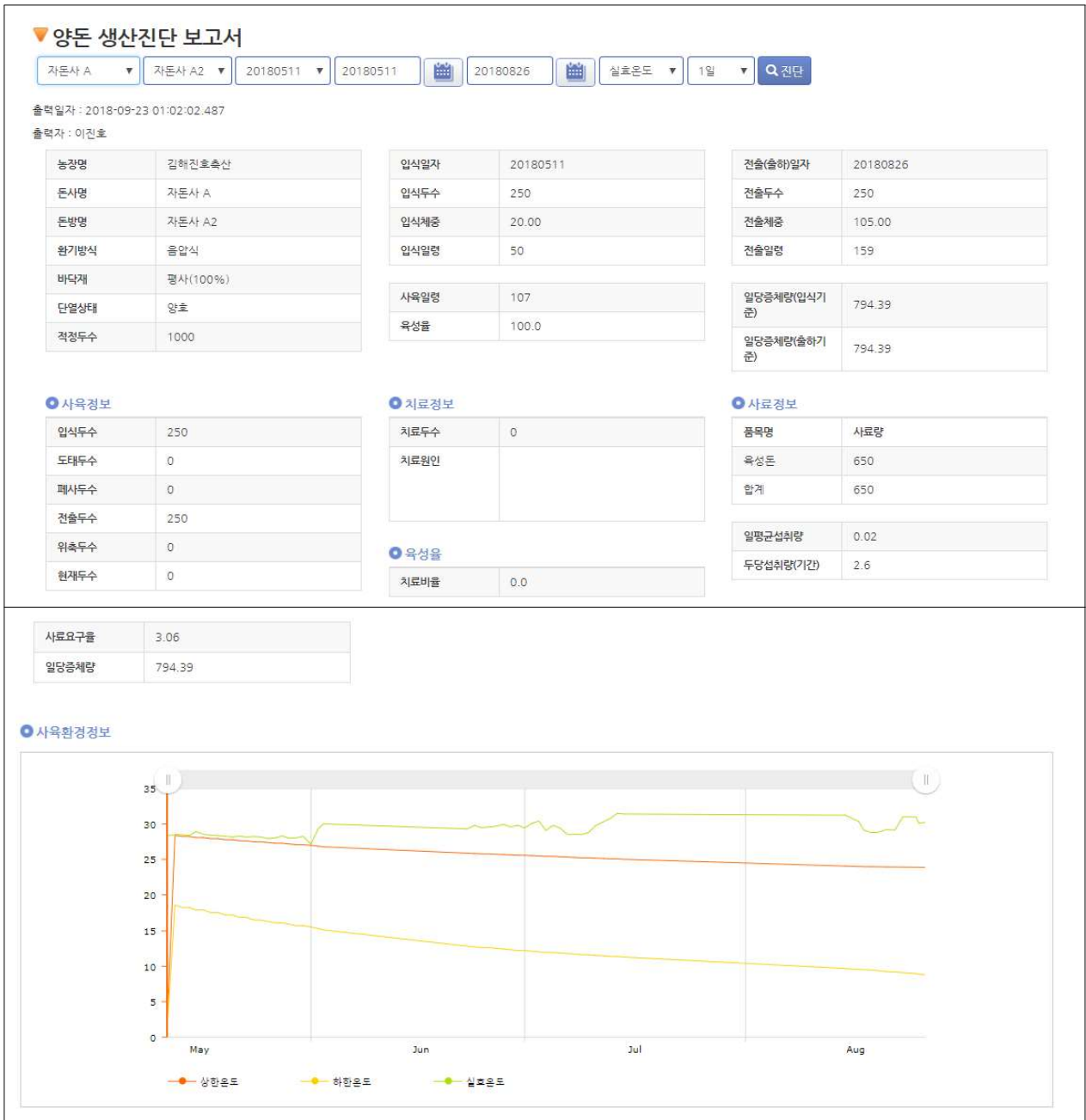
[그림] 시스템의 항목별 조회화면(2)



[그림] 시스템의 외부기관 연계정보 조회화면



[그림] 시스템의 활용 프로세스(예시)



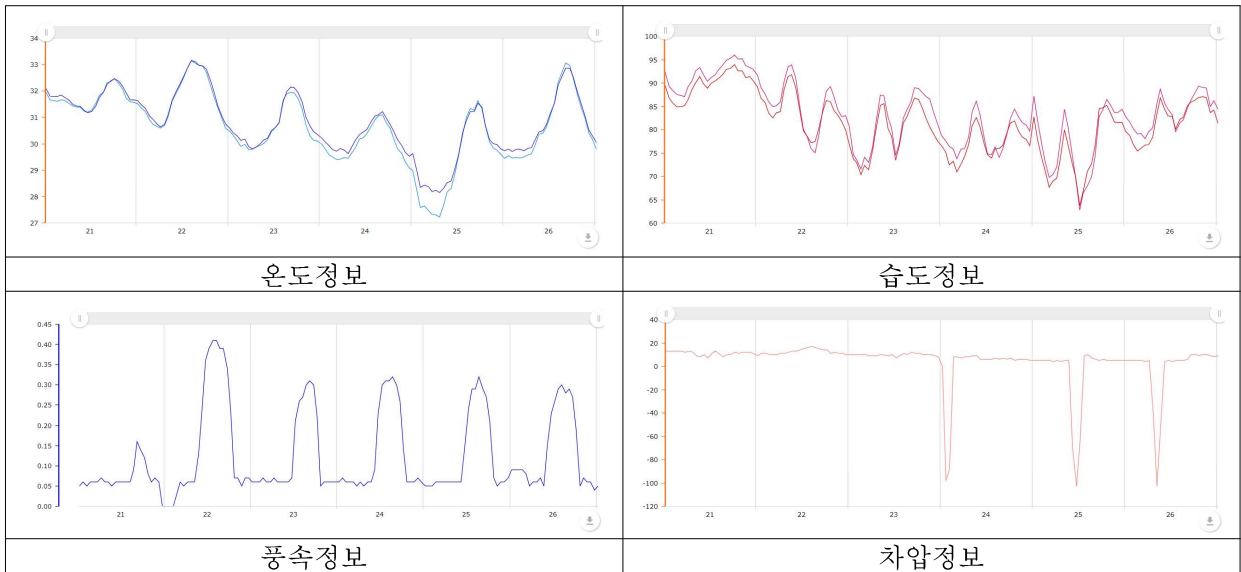
[그림] 시스템의 분석보고서 (예시)

## (2) 실시간 축사 모니터링 스마트 웹 개발

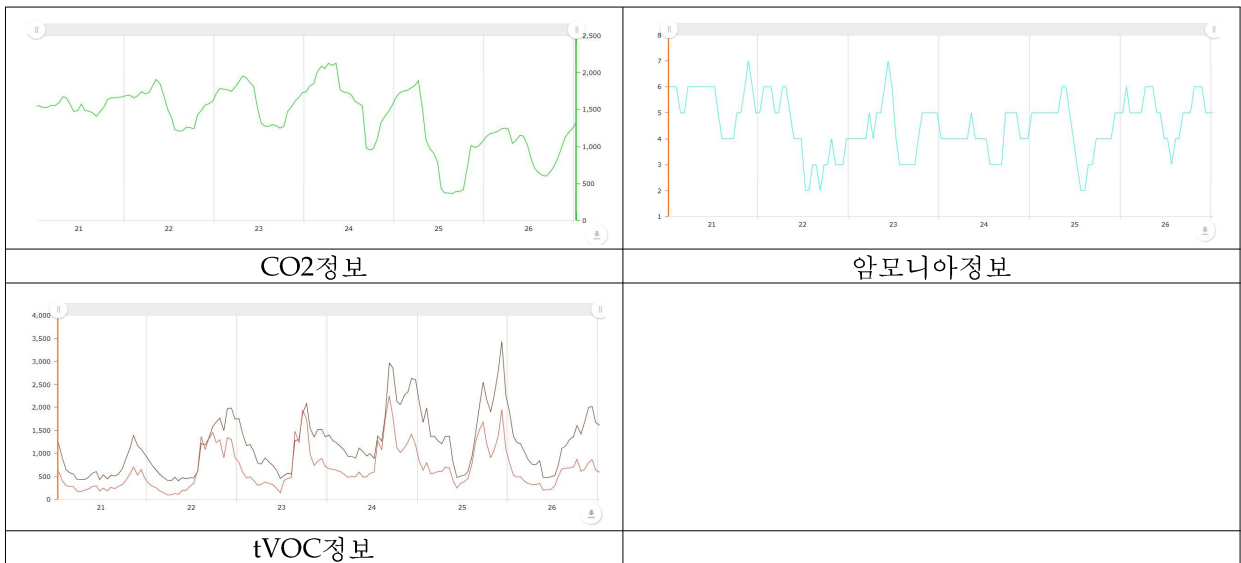


[그림] 시스템의 실시간 모니터링 항목 (예시)

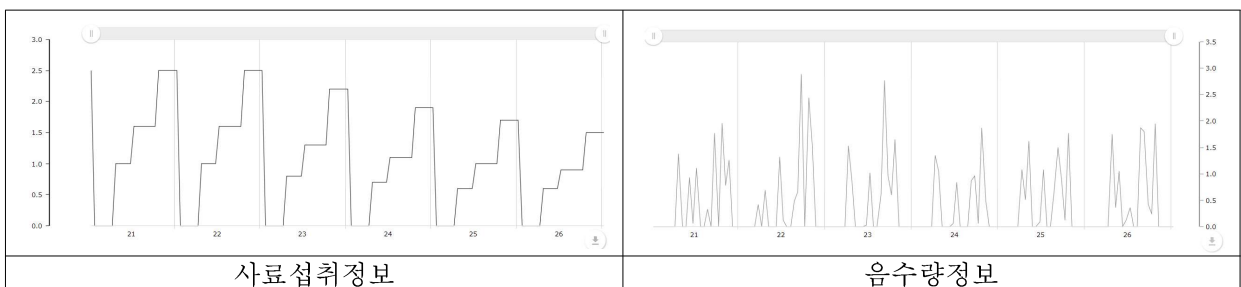
• 환경정보 모니터링



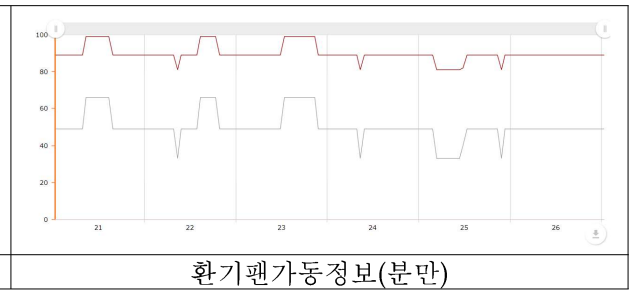
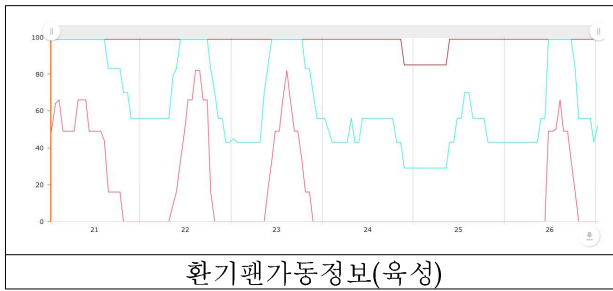
• 공기질정보 모니터링



• 급이정보 모니터링



• 환기장비정보 모니터링



• 체중정보 모니터링

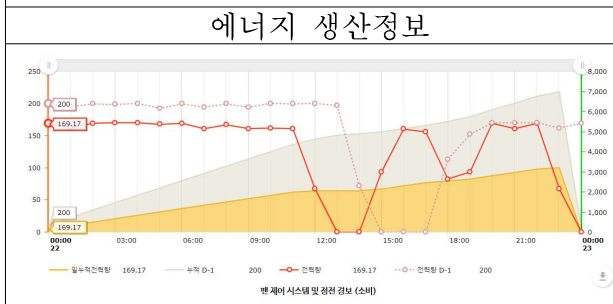
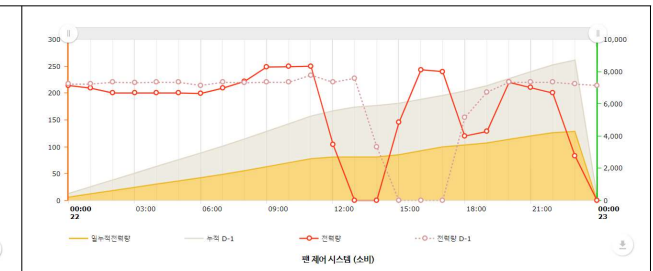
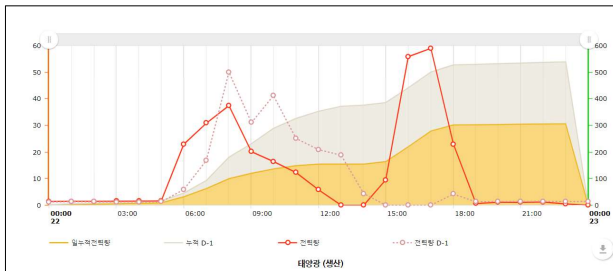
돈황기 모니터링 (개체별가공)

No.	본황기명	측정일	구분번호	체중	Pass 여부
1	후보본	2018.08.31	111	0.0	PASS
2	후보본	2018.08.31	111	70.8	PASS
3	후보본	2018.08.31	111	113.0	PASS
4	후보본	2018.08.31	112	122.5	PASS
5	후보본	2018.08.31	112	132.5	PASS
6	후보본	2018.08.31	112	122.5	PASS
7	후보본	2018.08.29	123	75.0	PASS
8	후보본	2018.08.29	234	74.8	PASS

개체체중정보

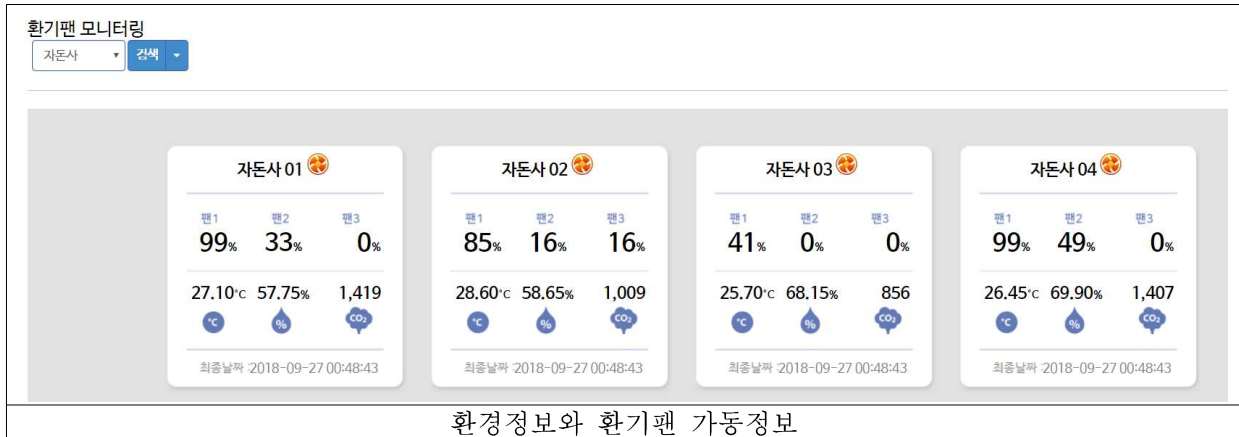


• 에너지 순환정보 모니터링

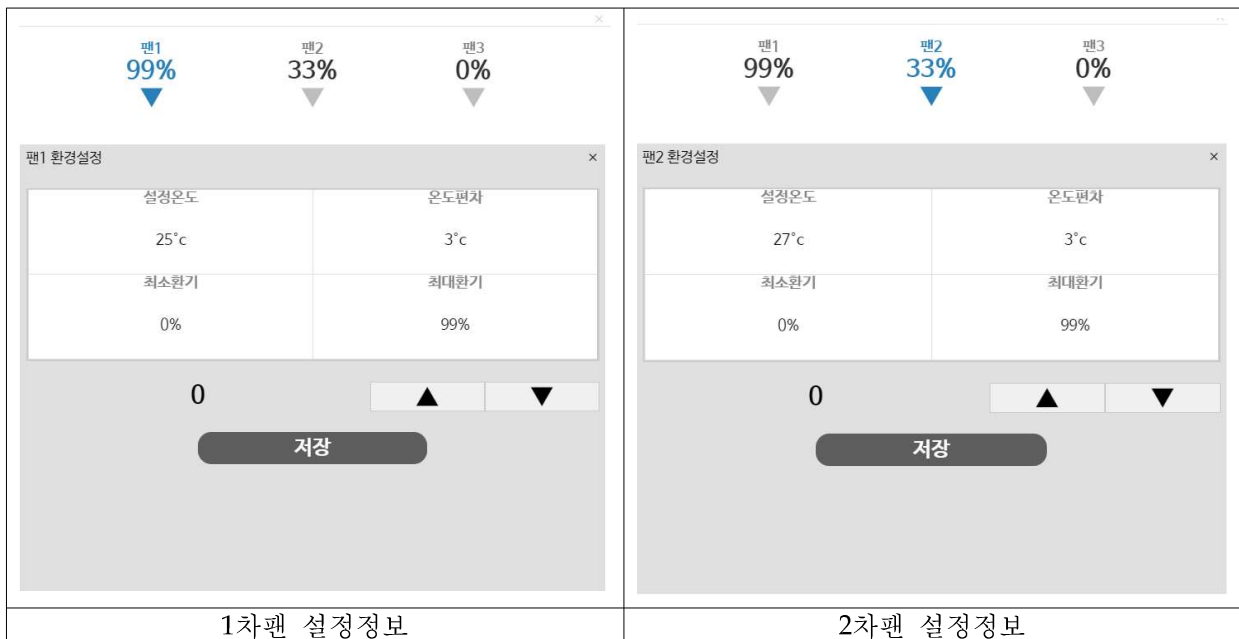


(3) 자동 및 원격제어 스마트 웹 개발

- 환기팬 원격제어 스마트 웹



- 축사의 환경정보와 환기팬 가동율을 모니터링하고 환경이 부적절 하거나 환기팬의 설정값을 점검하고 원격으로 설정값 변경 또는 환기량을 제어 할 수 있도록 구현



2. 제1세부(위탁) : 목표 시스템의 개발단계별 현장 적용·검증  
경상대학교

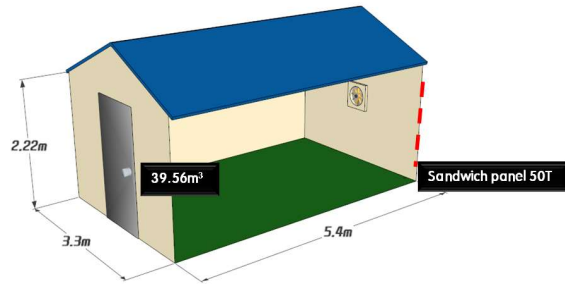
가. 모형돈사 설계 및 제작

- 모형돈사는 대한한돈협회 표준돈사 설계도(Korea Pork Producers Association, 2009)를 기준으로 상사법칙을 적용, 축소하여 샌드위치 패널(EPS Panel) 두께 50 mm, 가로

3,300 mm, 세로, 5,400 mm, 높이 2,200 mm로 설계하여 제작함



[그림] 1 모형돈사 외부.



[그림] 2 모형돈사 모식도.

#### 나. 축사환경 자가진단 시스템 (LEMS) 설치

- LEMS는 돈사 내 온·습도, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, 풍속을 실시간, 항목별, 기간별로 모니터링 하여 측정하는 시스템. 또한 배기팬, 보온등을 원격으로 제어 할 수 있으며, 축사내부 환경관리 방법 및 모델 설정과 축사내부 환경관리 기구 개발 설정함과 동시에 축사 내부 공기질을 파악할 수 있음.
- [그림] 3, 4, 5, 6과 같이 온·습도 센서는 돈사 내 양쪽 측벽에 설치하였고, CO<sub>2</sub> 센서는 2번 온도 센서 바로 옆에 부착하여 설치하였으며, 풍속도 센서는 돈사 중앙에 설치하였음.
- 이러한 환경변수들은 Data Logging 이 가능하고, 실시간 모니터링을 통해 축사환경 내 생산성 저해 외부요인을 파악하고, 양질의 정보를 바탕으로 사육환경을 실시간 조정 가능하며 실험돈사의 데이터 베이스를 구축하여 나아가 실제 현장적용 하는데 기초자료로 활용될 수 있음.





[그림] 3 온·습도, CO<sub>2</sub> 센서 .

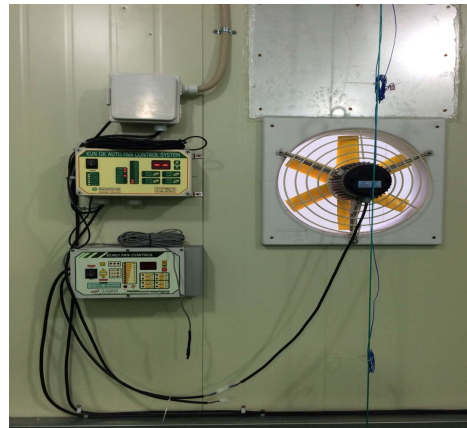


[그림] 4 풍속도 센서.

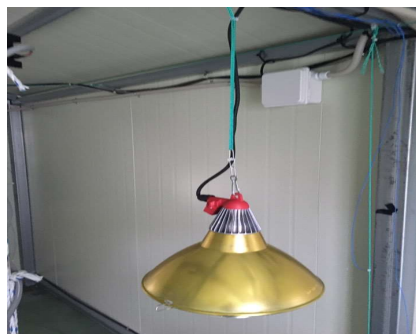
- 또한, 돈사 내 열분포를 측정하기 위해 데이터로거(midi LOGGER GL 820, GRAPHTEC, Japan)와 K-type 온도센서(K-type thermocouple)를 이용하였고, 온도 측정 지점은 [그림] 과 같이 돈사 내부 상, 중, 하 각각 9지점, 총 27지점에서 측정하였으며, 벽으로는 0.2 m의 간격, 바닥으로부터는 0.4 m의 간격을 띄어 측정하였음.



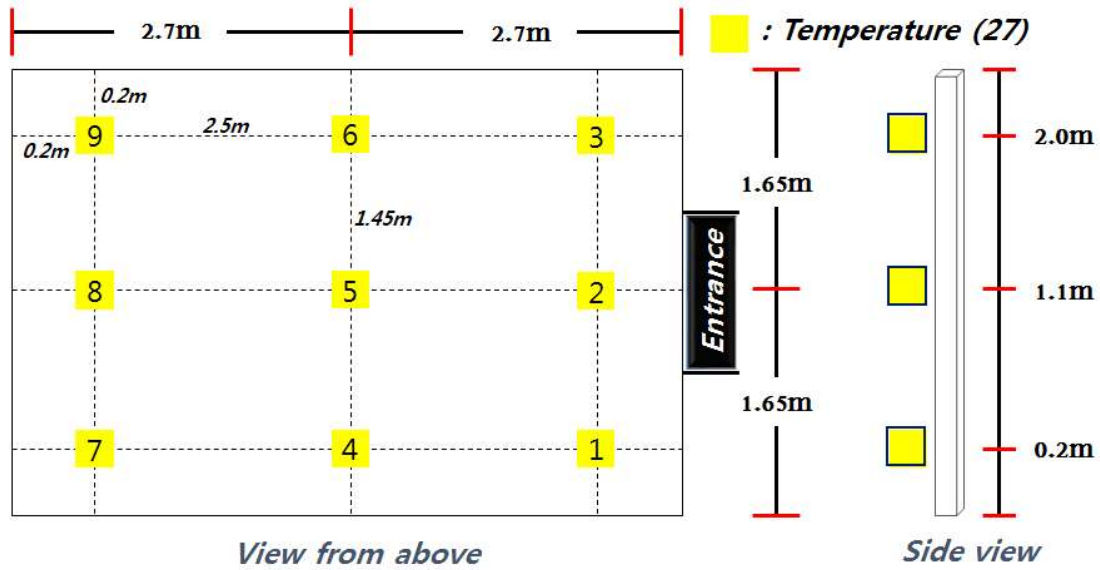
[그림] 5 LEMS 통합 모듈.



[그림] 6 배기 팬.



[그림] 7 LEMS 보온등.



[그림] 8 돈사 내 thermocouple 측정 위치.



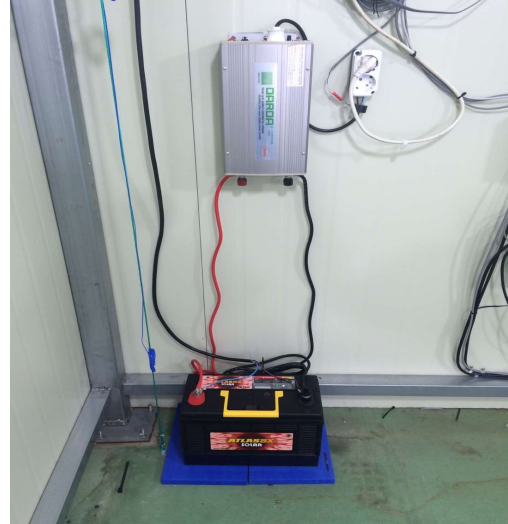
[그림] 9 모형돈사 내 LEMS 설치 및 측정 위치.

다. 실험돈사 내 전력량계 설치

- 회전원판에 전력과 비례하는 회전력을 가하여 전력의 사용시간을 원판의 회전수로 적산하는 원리인 전력량계를 모형 돈사 내에 설치하여 원판의 회전축과 연결된 계량장치에 숫자로 표시됨.
- 실험에 필요한 사육환경을 조성하기 위해 제어하는 환경 변수들에 관하여 소모하는 전력량을 실시간 모니터링 할 수 있으며, 단위는 Wh로 표시됨
- Sector 1(Sunlight pannel), Sector 2(Heat lamp), Sector 3(Exhaust fan), Sector 4(Air conditioner)로써 4가지 항목에 대해서 코일을 연결하여 전력량을 모니터링 함.



[그림] 10 모형돈사에 태양광 패널 부착 사진.



[그림] 11 태양패널 & 태양광 배터리 부착.



[그림] 12 모형돈사 내 통합 전력량계 설치.



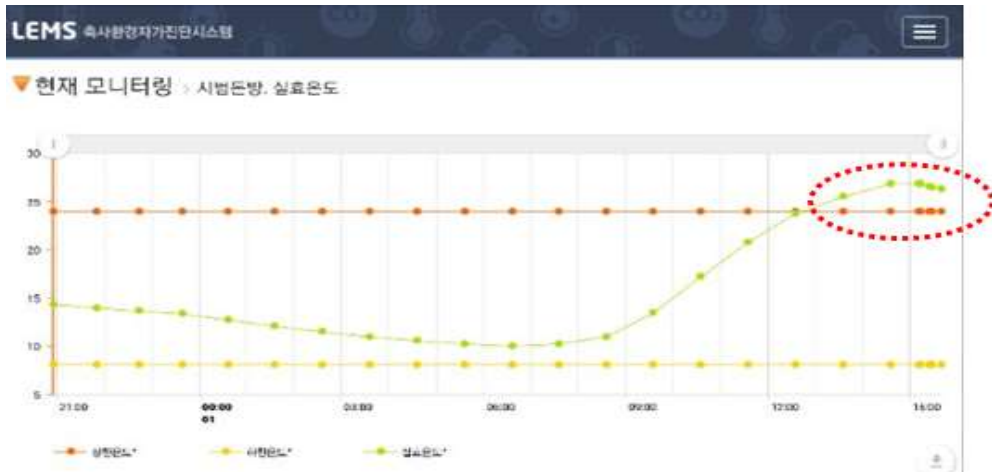
[그림] 13 전력량계 디스플레이 모듈.

## 라. 실험 방법

### (1) 실효 온도 유지를 위한 모형돈사 환경 제어

- [그림] 14와 같이 LEMS를 통해 온도를 중점적으로 실시간 모니터링을 하고 있음. 실효 온도는 주관기관인 함 컨설팅에서 개발한 것으로 영향요인(온·습도, 풍속, 단열, 계절, 바닥재 상태) 등을 고려해 돼지가 실제 느끼는 체감온도임. 이러한 실효온도를 상한온도와 하한온도 값을 설정하여 그림과 같이 17:00 이후에는 상한온도를 벗어나는 구간이 생기는 것을 방지하고자 함. 상한과 하한 범위 에서 초과, 미만 되지 않게

환경 변수 등을 제어 하여 쾌적한 사육환경을 조성하고자 함.



[그림] 14 LEMS를 이용한 돈사 내 실효온도 모니터링.

[표] 1. 설정 온도에 따른 모형돈사 내 환경 변수 측정

Test	Setting Temperature	Measurement
Test-1	20 °C	외기 온·습도 돈사 내 전력량 돈사 내 환경정보(LEMS)
Test-2	23 °C	
Test-3	26 °C	

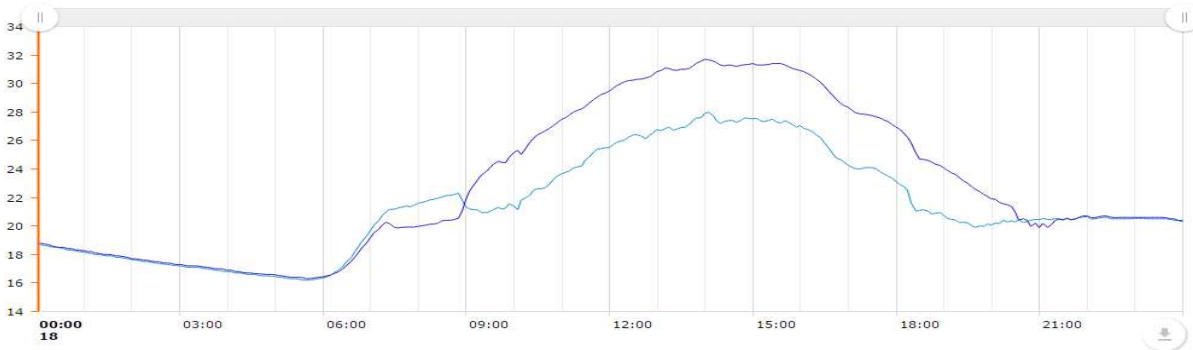
- 위 실험은 Test 별 온도를 설정하여, 설정온도가 초과하게 되면 배기팬과, 에어컨을 가동시켜 온도를 다시 낮춰주는 역할을 하였고, 보온등을 가동시켜 돼지의 발열량을 대체시켰음.
- 제어 알고리즘을 구축하기 전에 기본적인 돈사 내 환경변수 제어시스템의 운영성능을 평가하기 위해 [표] 1과 같이 온도를 3가지를 기준 값으로 설정하였음.
- 이러한 온도를 기준으로 배기팬 및 냉방기, 보온등을 가동하여 환경변수들이 원하는 기준에서 유지되는지, 또 한 환경 변수들은 외기 온·습도에 얼마나 영향을 받는지에 대한 기본적인 데이터를 추출함으로써 Data logic을 생성하는데 기초자료로 활용하고자 함.

(2) Test-1의 결과

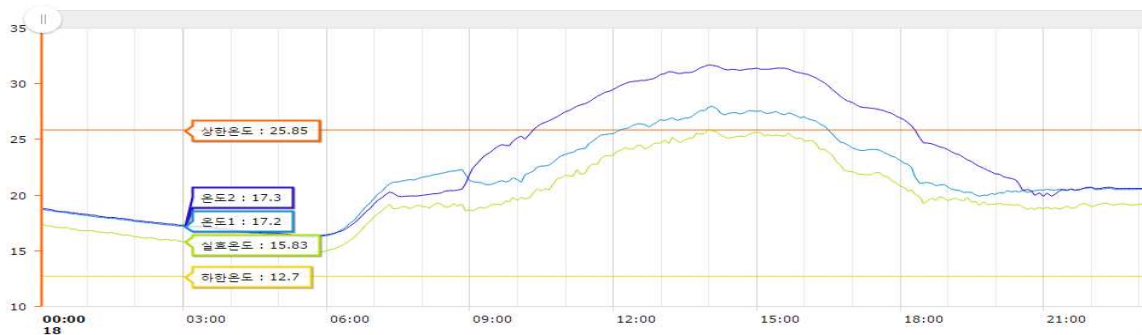
- 온도를 20°C로 설정한 Test-1은 [그림] 15와 같이 외기온에 영향으로 돈사 내부 온도가 26°C 까지 측정 되는 것을 알 수 있었음. 2번 온도센서는 30°C 까지 증가 하였지만 이는 해가 서쪽으로 지면서 2번 온도센서가 서쪽 벽체에 부착되었기 때문에 벽면 열전도에 의한 가능성으로 판단됨.
- [그림] 16과 같이 실효온도와 온도를 나타낸 그래프에서는 실효온도가 상한 & 하한

온도 범위 안에서 측정됨.

- Test-2, 3과 달리 Test-1은 최대 설정 온도를 넘는 경향이 있는데, 이는 외기온이 30°C 까지 올라가면서 그에 따른 영향으로 판단됨.

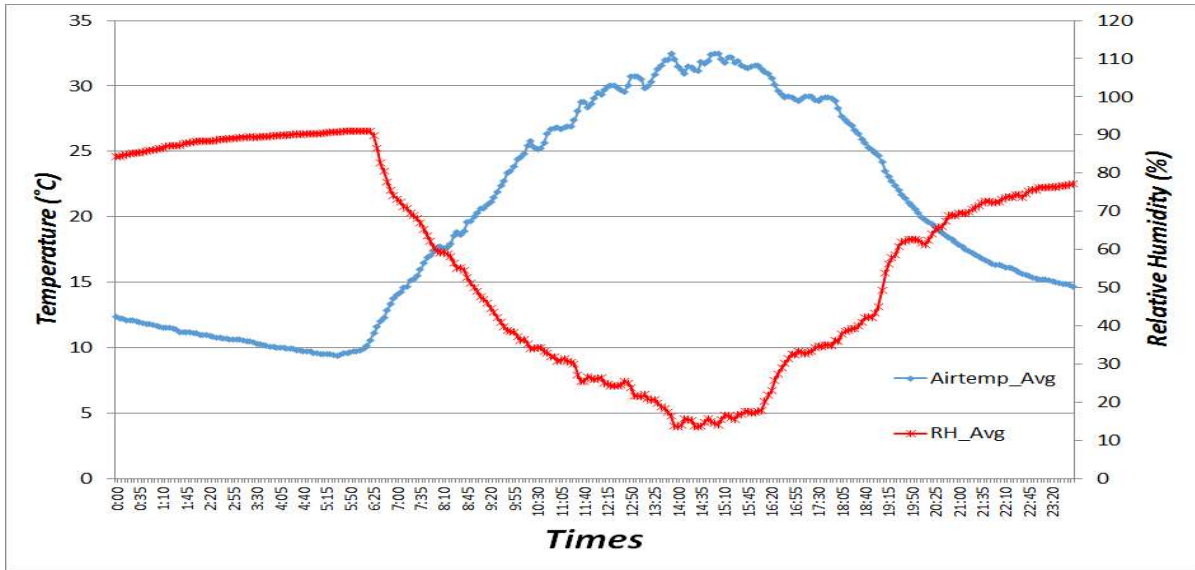


[그림] 15 Test-1의 온도 그래프.

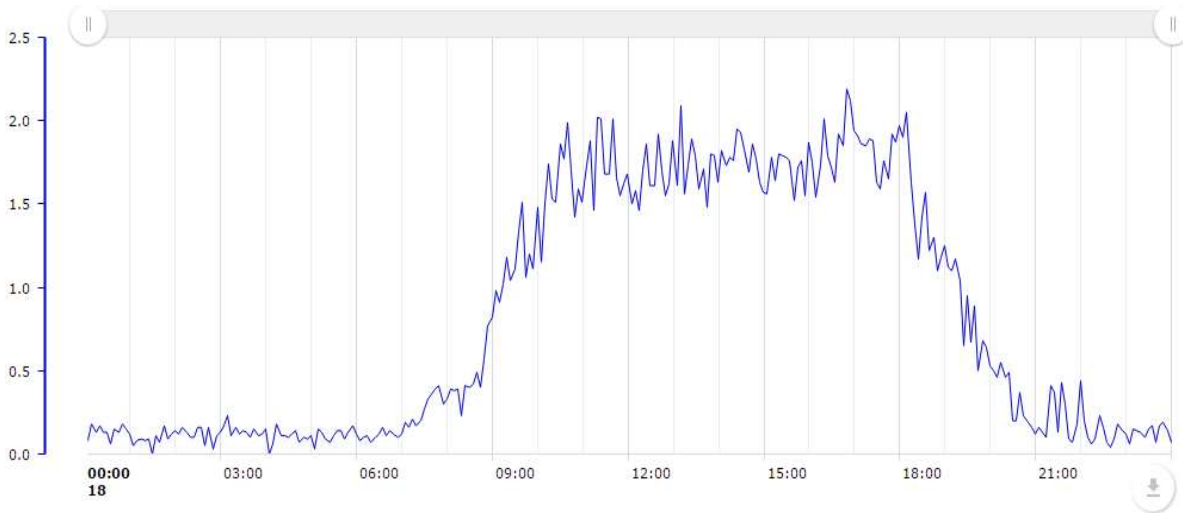


[그림] 16 Test-1의 온도, 실효온도, 상한&하한 온도 그래프.

- [그림] 17은 Test-1을 진행했던 5.18의 외기 온·습도 그래프임. 외부 온도는 05:50에 9°C로 가장 낮았고, 14:00에 32°C 로 가장 높게 나타남. 상대 습도는 외부온도가 가장 낮은 시점인 5:50에 27%로 가장 높았고, 14:00에 13%로 가장 낮게 나타났음. 온도와 상대습도는 서로 반비례적 경향을 보임.
- [그림] 18은 Test-1의 풍속을 나타낸 그래프임. 07:00까지 거의 측정되지 않다가 온도가 올라가면서 10:00까지 꾸준한 증가형태를 보임. 2m/s로 최고점을 찍은 후 부터는 약 8시간 가량 일정한 분포를 띄다가 그 후, 계속 감소함. 이는 외기온에 따른 돈사 내부에 온도가 증가함에 따라 배기팬의 가동효율도 증가하면서 풍속까지 올라가는 것으로 판단됨.

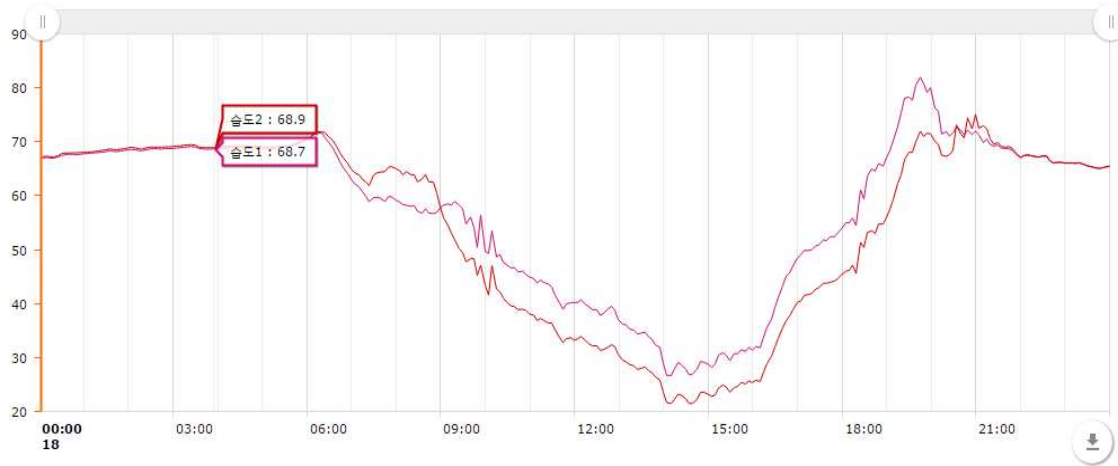


[그림] 17 Test-1을 진행했던 날의 외기 온·습도 그래프.

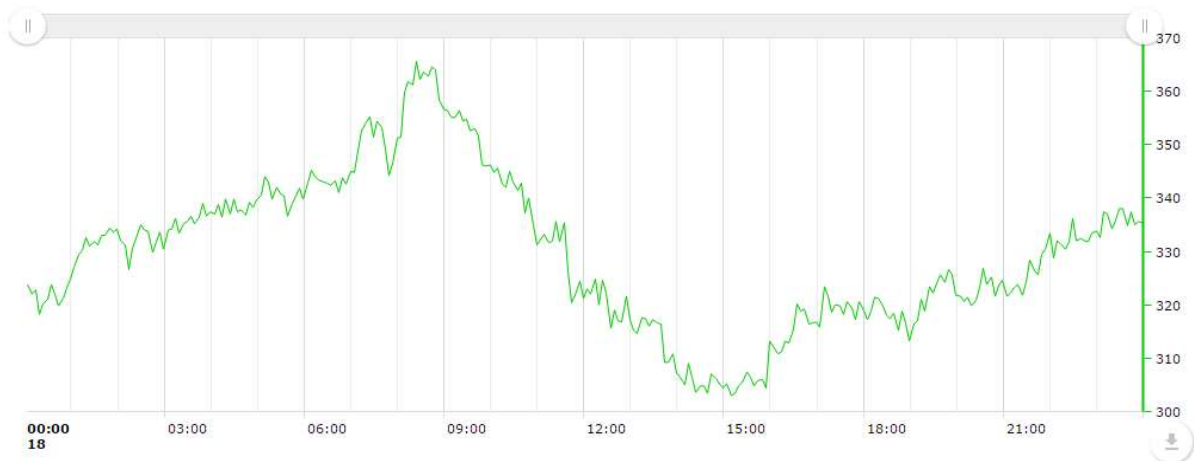


[그림] 18 Test-1의 풍속 그래프.

- [그림] 19는 Test-1의 습도를 나타낸 그래프임. 습도는 13:30에서 최저 22%로 측정되었고, 19:40에서 83%로 가장 높게 측정되었음. 06:00까지 거의 일정한 분포를 보이다가 13:30 까지 꾸준한 감소형태를 보임. 최저점을 기점으로 다시 증가 형태를 보이며 19:00 부터는 일정한 분포로 측정됨.
- [그림] 20은 Test-1의 CO<sub>2</sub>를 나타낸 그래프임. CO<sub>2</sub>는 08:30에서 최고 365ppm, 14:00에서 305ppm으로 가장 낮게 측정됨. 08:00 까지 꾸준한 증가 형태를 보이다가 14:00까지 감소형태를 보이며 그 후로는 미세하게 증가하는 경향을 보임.



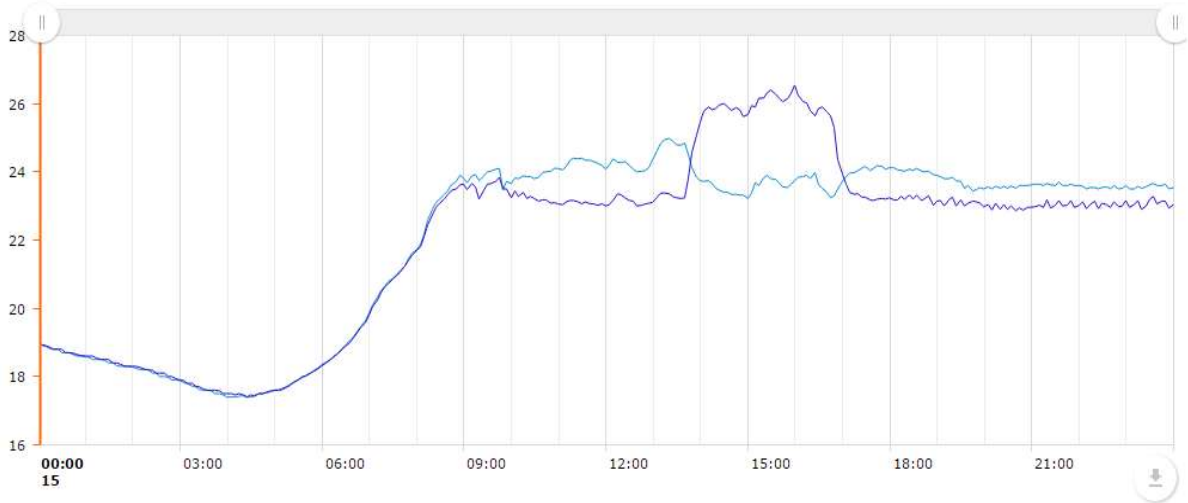
[그림] 19 Test-1의 습도 그래프.



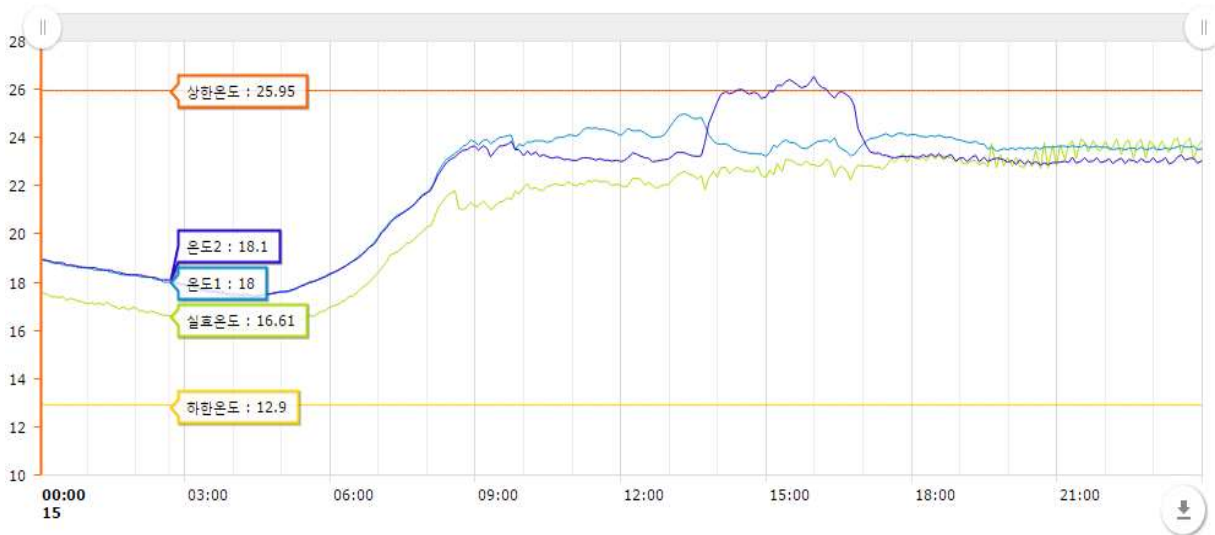
[그림] 20 Test-1의 CO<sub>2</sub> 그래프.

### (3) Test-2의 결과

- 온도를 23°C로 설정한 Test-2는 [그림] 21과 같이 23°C를 유지하면서, ±1°C 범위에서 분포하는 것을 알 수 있었음.
- 1번 온도 센서(하늘색)와 2번 온도 센서(보라색)이 1-2°C 가량 차이 나는 구간이 있는데, 이는 태양광이 09:00-13:00 사이에는 동쪽에서 향하기 때문에 동쪽에 위치한 1번 센서의 온도가 높은 것으로 판단되고, 마찬가지로 13:00 이후에 태양광이 서쪽으로 향하면서 서쪽에 위치한 2번 센서의 온도가 더 높은 것으로 판단됨.
- [그림] 22와 같이 돼지가 느끼는 체감온도인 실효온도는 상한온도 (25.95 °C), 하한온도 (12.9°C) 범위 안에 분포하는 것을 알 수 있었음.



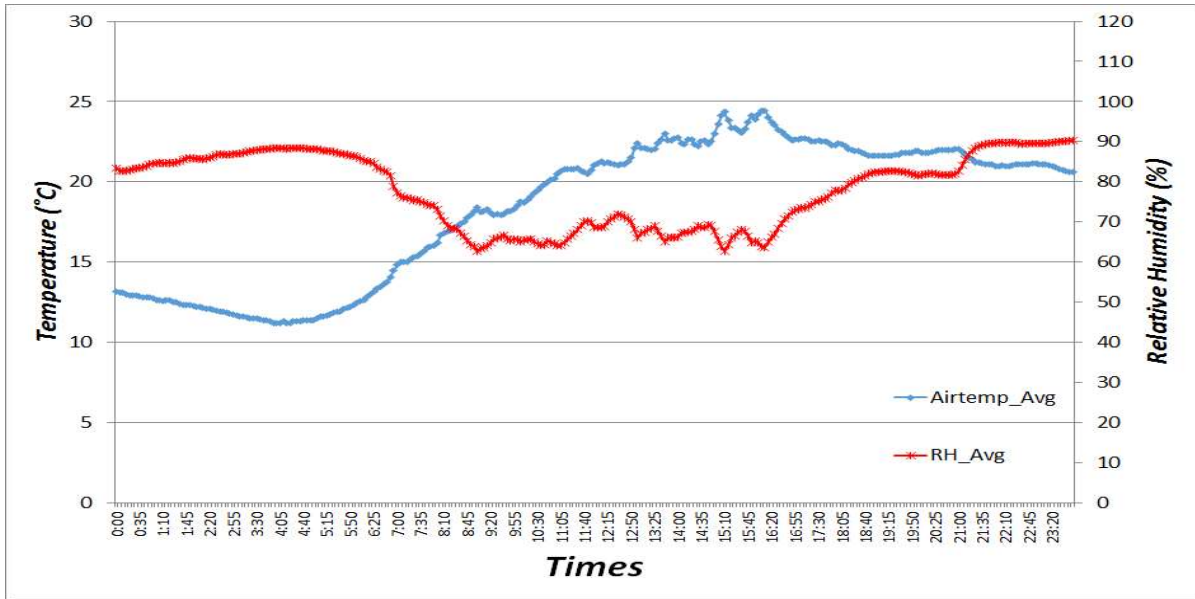
[그림] 21 Test-2의 온도 그래프.



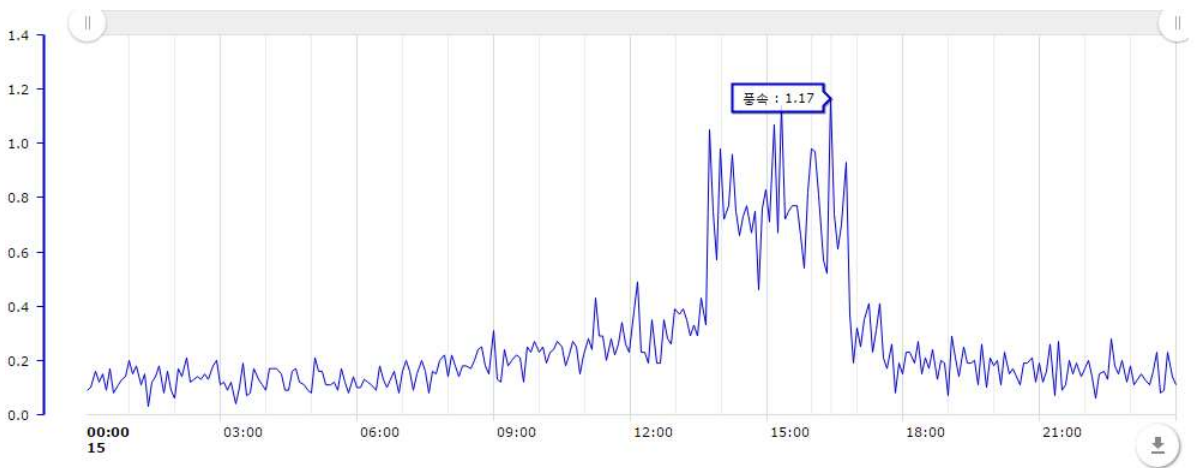
[그림] 22 Test-2의 온도, 실효온도, 상한&하한 온도 그래프.

- [그림] 23은 Test-2을 진행했던 5.15의 외기 온·습도 그래프임. 외부 온도는 04:30에 12°C로 가장 낮았고, 15:00에 24°C로 가장 높게 나타남. 상대 습도는 21:40에 89%로 가장 높았고, 15:10에 62%로 가장 낮게 나타났음. 온도와 상대습도는 서로 반비례적 경향을 보임.
- [그림] 24는 Test-2의 풍속을 나타낸 그래프임. 13:30까지 거의 미세한 기울기로 증가형태를 보임. 그 후 약 3시간 가량 08-1.7m/s 까지 높은 분포를 보이다 0.3m/s 안팎으로 일정한 형태로 측정됨.



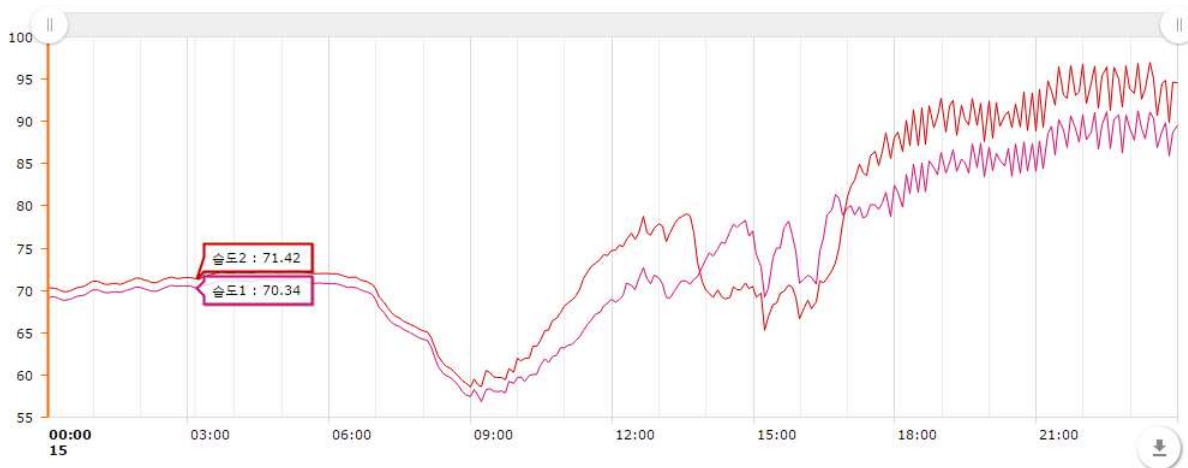


[그림] 23 Test-2의 외기 온·습도 그래프.



[그림] 24 Test-2의 풍속 그래프.

- [그림] 25는 Test-2의 습도를 나타낸 그래프임. 습도는 09:00에서 최저 58%로 측정되었고, 23:00에서 96%로 가장 높게 측정되었음. 07:00까지는 일정한 분포를 보이다가 그 후 9시까지 감소하는 형태를 보임. 09:00이후로는 꾸준히 증가하는 것으로 측정됨.
- [그림] 26은 Test-2의 CO<sub>2</sub>를 나타낸 그래프임. CO<sub>2</sub>는 09:00에서 최고 310ppm, 23:30에서 282ppm으로 가장 낮게 측정됨.



[그림] 25 Test-2의 습도 그래프.

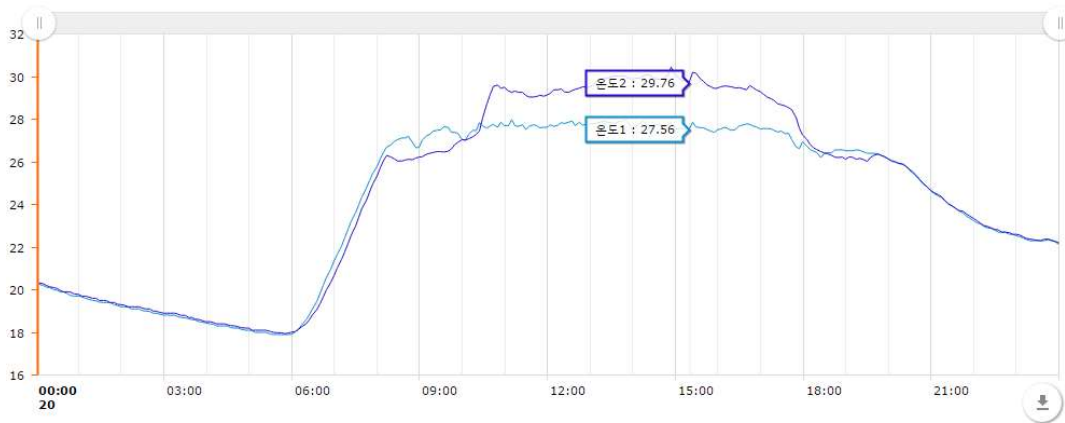


[그림] 26 Test-2의 CO<sub>2</sub> 그래프.

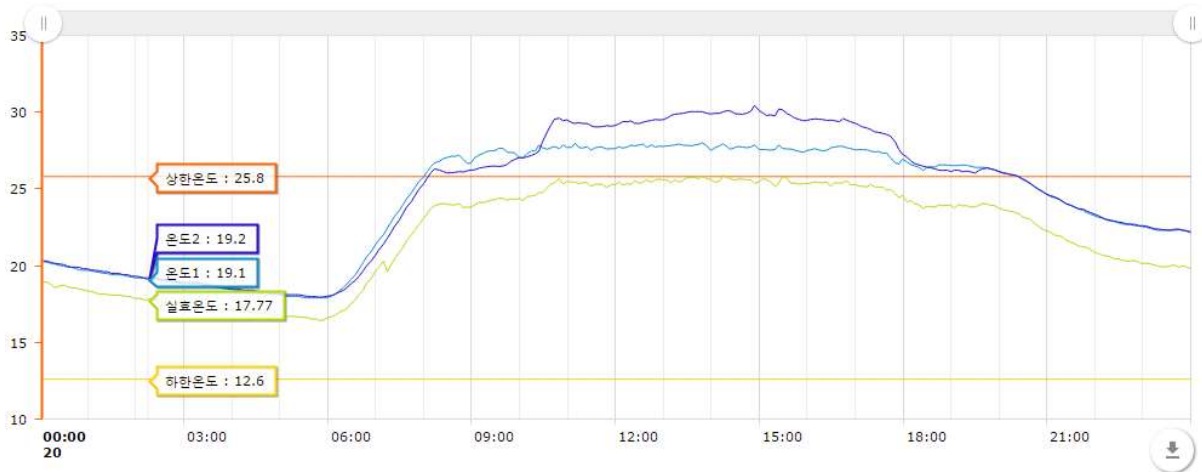
(4) Test-3의 결과

- 최대 온도를 26°C로 설정한 Test-3은 [그림] 27과 같이 26-30°C 사이에서 분포하는 것을 알 수 있었음.
- 1번 온도 센서(하늘색)과 2번 온도 센서(보라색)이 최대 2.2°C 가량 차이나는 구간이 있는데, 이는 Test-2와 같은 이유로써 태양광이 07:30-10:00 사이에는 동쪽에서 향하기 때문에 동쪽에 위치한 1번 센서의 온도가 높은 것으로 판단되고, 마찬가지로 10:00 이후에 태양광이 서쪽으로 향하면서 서쪽에 위치한 2번 센서의 온도가 더 높은 것으로 판단됨.
- [그림] 28과 같이 돼지가 느끼는 체감온도인 실효온도는 상한온도 (25.8 °C), 하한온

도 (12.6°C) 범위 안에 분포하는 것을 알 수 있었음.

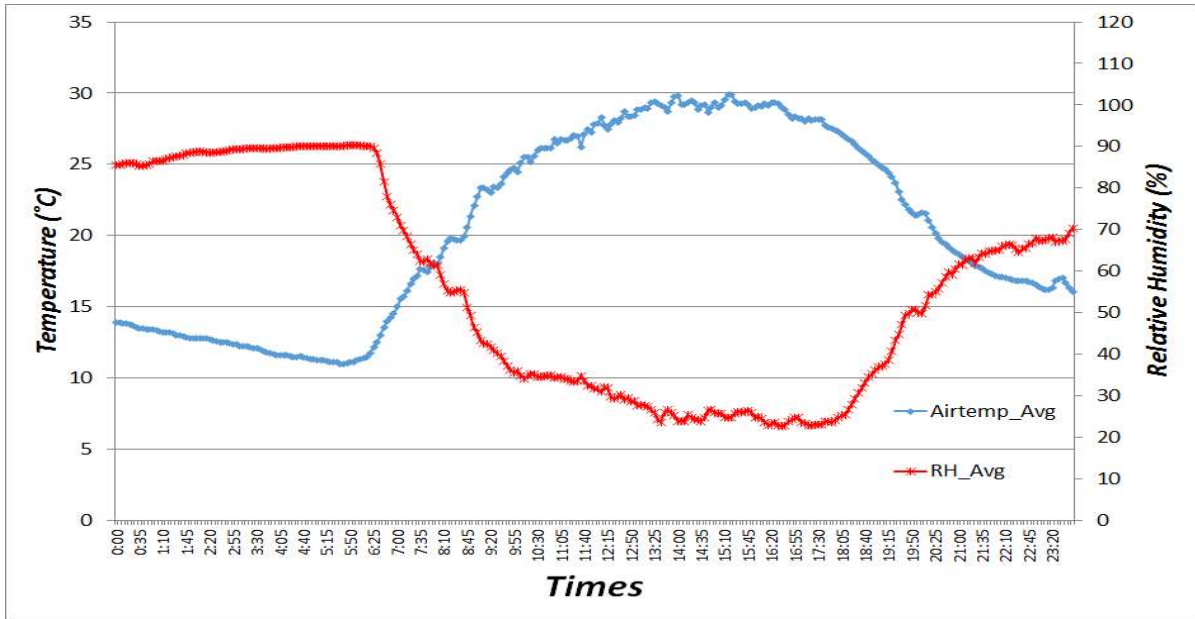


[그림] 27 Test-3의 온도 그래프.

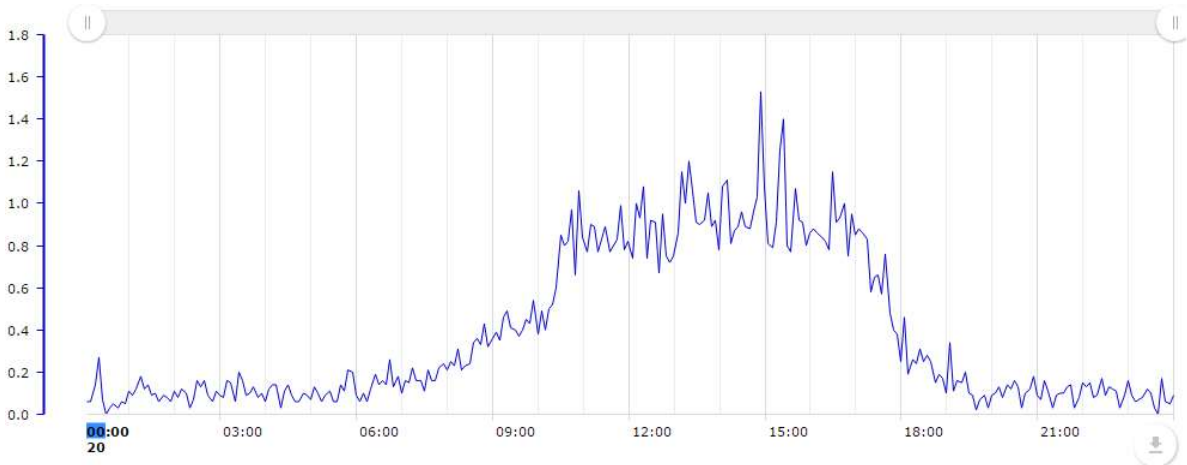


[그림] 28 Test-3의 온도, 실효온도, 상한&하한 온도 그래프.

- [그림] 29는 Test-3을 진행했던 5.20의 외기 온·습도 그래프임. 외부 온도는 05:50에 12°C로 가장 낮았고, 15:00에 30°C로 가장 높게 나타남. 상대 습도는 05:50에 90%로 가장 높았고, 17:30에 23%로 가장 낮게 나타났음. 온도와 상대습도는 서로 반비례적 경향을 보임.
- [그림] 30은 Test-3의 풍속을 나타낸 그래프임. 10:00까지 거의 미세한 기울기로 증가형태를 보임. 그 후 약 7시간 가량 0.8-1.5m/s 까지 높은 분포를 보이다 0.2m/s 안팎으로 일정한 형태로 측정됨.

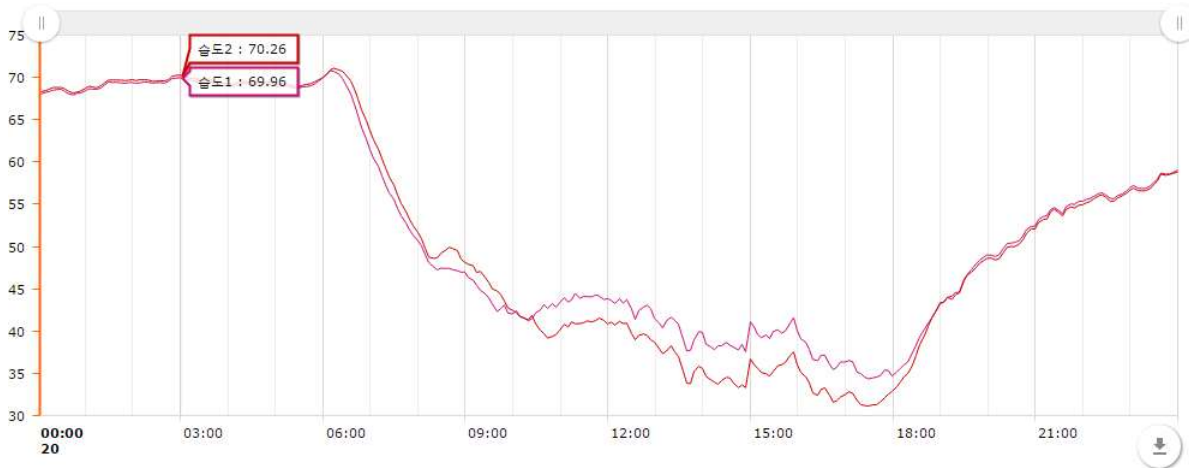


[그림] 29 Test-3의 외기 온·습도 그래프.



[그림] 30 Test-3의 풍속 그래프.

- [그림] 31은 Test-3의 습도를 나타낸 그래프임. 습도는 17:00에서 최저 30%로 측정되었고, 06:00에서 72%로 가장 높게 측정되었음.
- [그림] 32는 Test-3의 CO<sub>2</sub>를 나타낸 그래프임. CO<sub>2</sub>는 06:00에서 최고 390ppm, 17:00에서 310ppm으로 가장 낮게 측정됨.
- CO<sub>2</sub>와 습도 그래프의 최대, 최저 시간이 동일한 것을 알 수 있음. 이러한 결과를 통해 환경 변수들간의 상관 관계를 파악해 볼 필요가 있음.



[그림] 31 Test-3의 습도 그래프.

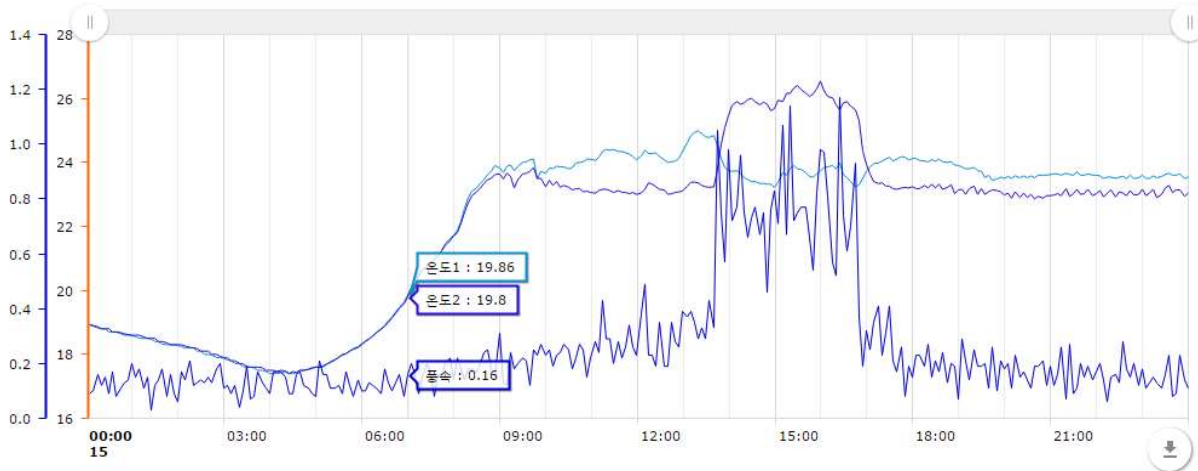


[그림] 32 Test-3의 CO<sub>2</sub> 그래프.

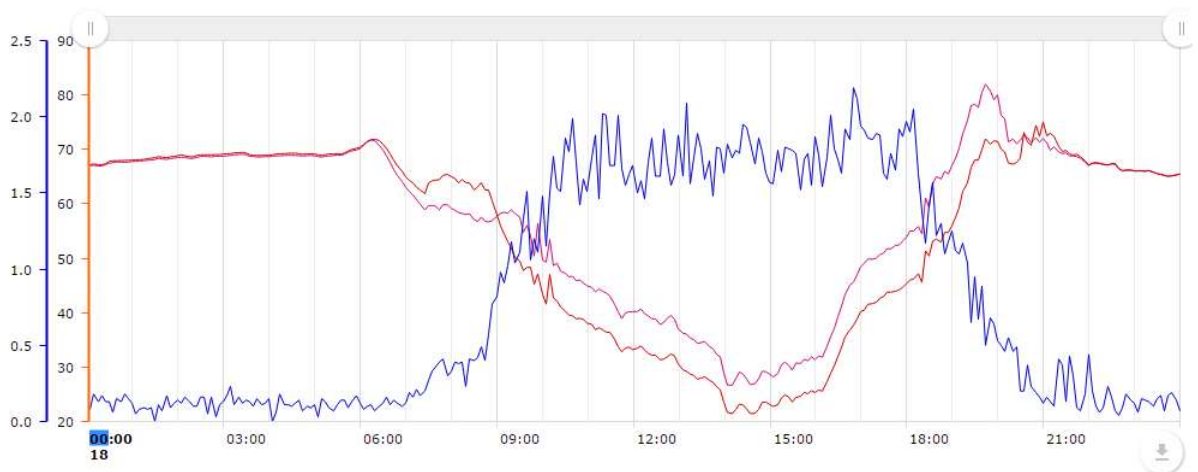
(5) 환경변수들 간의 상관관계 분석

- 다음은 온\*습도, CO<sub>2</sub>, 풍속 등 환경변수들 간의 상관관계를 분석하여 돈사 내 적정 사육환경 조성에 대해 조금 더 효율적인 작업을 하고자 함.
- 앞서서도 설명했듯이 대표적으로 온도와 습도는 서로 반비례적 관계를 가지고 있고, 돈사 내 온도와 풍속에 대해 분석을 하였음. [그림] 33과 같이 온도가 증가함에 따라 돈사 내의 음압방식의 원리로 가동되는 배기팬의 출력이 증가하면서 돈사 외부에서 내부로 들어오는 바람이 증가하게 됨. 이는 기후적 관점과는 전혀 무관하고 돈사 내부 시스템적 접근으로써 돈사 내부 온도와 풍속은 서로 비례적 관계를 가진다는 것을 알 수 있음.

- 온도와 습도가 보통 반비례적 경향을 가지고 있는데, 돈사 내부에서는 온도와 풍속이 비례적 관계를 가지므로 [그림] 34와 같이 풍속과 습도도 반비례적 관계를 가진다는 것을 유추할 수 있음.



[그림] 33 온도와 풍속간의 상관관계 그래프.



[그림] 34 습도와 풍속간의 상관관계 그래프.

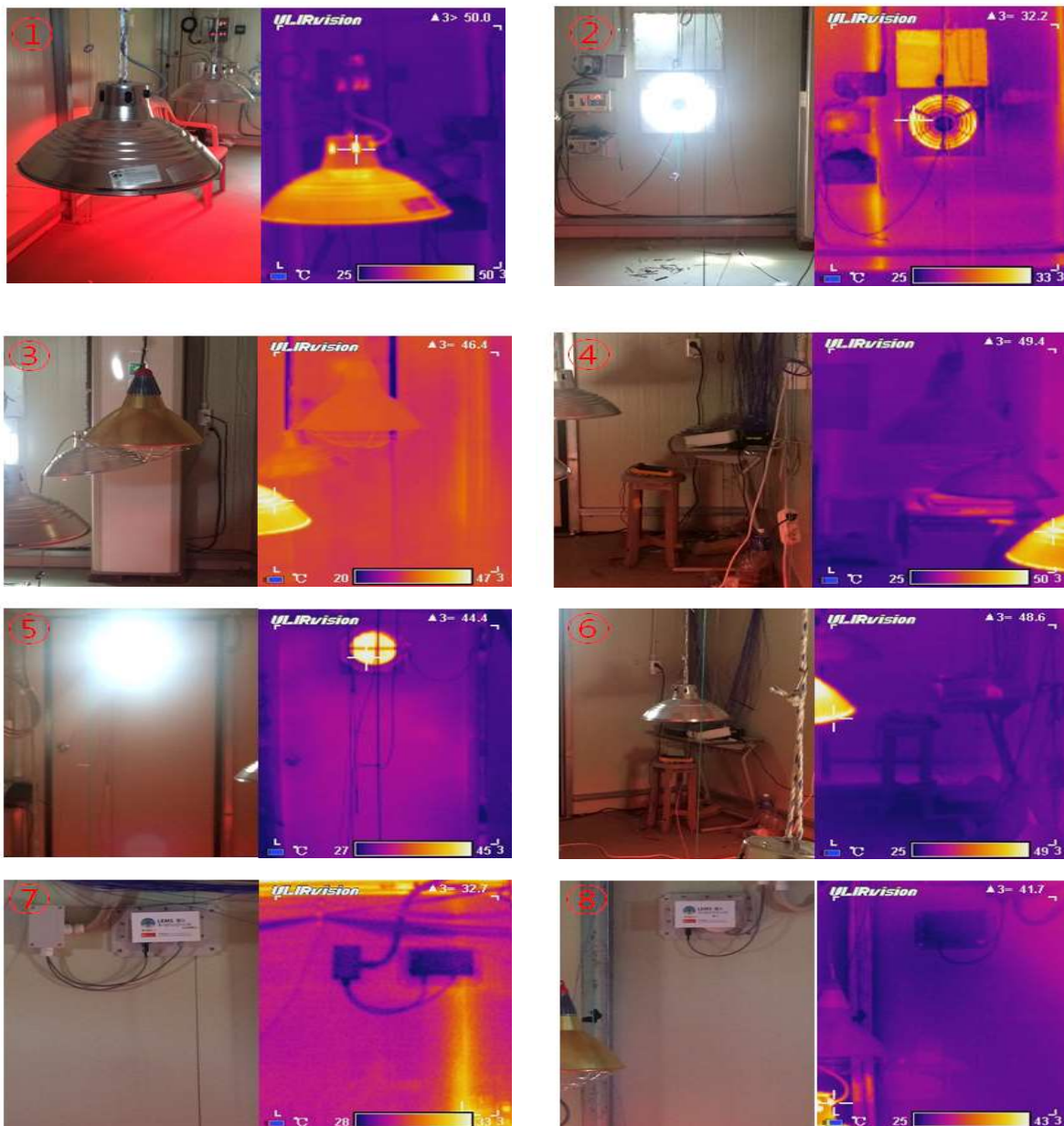
(6) 열화상 카메라를 이용한 돈사 내부 열 분포 측정 및 돈사 내 층별 온도 분석

- [그림] 8과 같이 돈사 내 열분포를 측정하기 위해 데이터로거와 K-type 온도센서 (K-type thermocouple)를 이용하였고, 돈사 내부 상, 중, 하 각각 9지점, 총 27지점에서 측정하였으며, 벽으로는 0.2 m의 간격, 바닥으로부터는 0.4 m의 간격을 띄어 측정하였음.
- 열화상 카메라 [그림] 35와 같이 Y사 TI-120를 사용하여 돈사 내부 8개 구간을 측정하였음. [그림] 36-7, 8은 1, 2 번 온도센서의 돈사 벽체 온도를 찍은 사진인데, 위에 그래프에서도 설명했듯이 2번 온도센서 (서쪽)에 위치한 7번 사진이 8번 보다 온도가 높은 것을 알 수 있었음. 대체적으로 보온등의 온도는 약 50°C 정도로 측정되었고 또

한, 배기팬 쪽 온도보다 출입문의 입기 댐퍼쪽 공기 온도가 더 높은 것을 알 수 있었음. 가축들의 적정 사육환경 조성을 위해 돈사 내 균등한 열 분포를 목적으로 하는 자세한 분석이 필요할 것으로 판단됨.

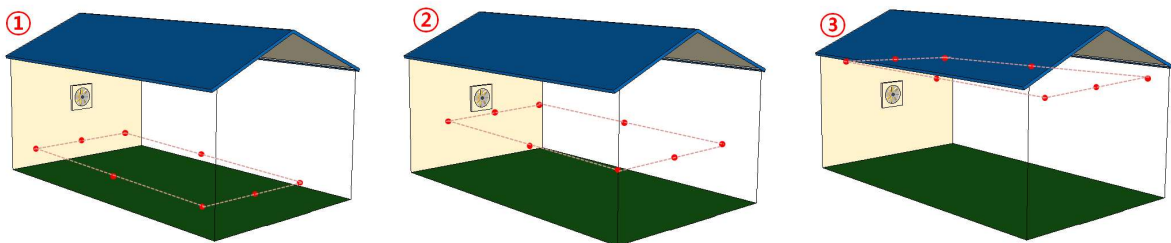


[그림] 35 T1-120 열화상 카메라.



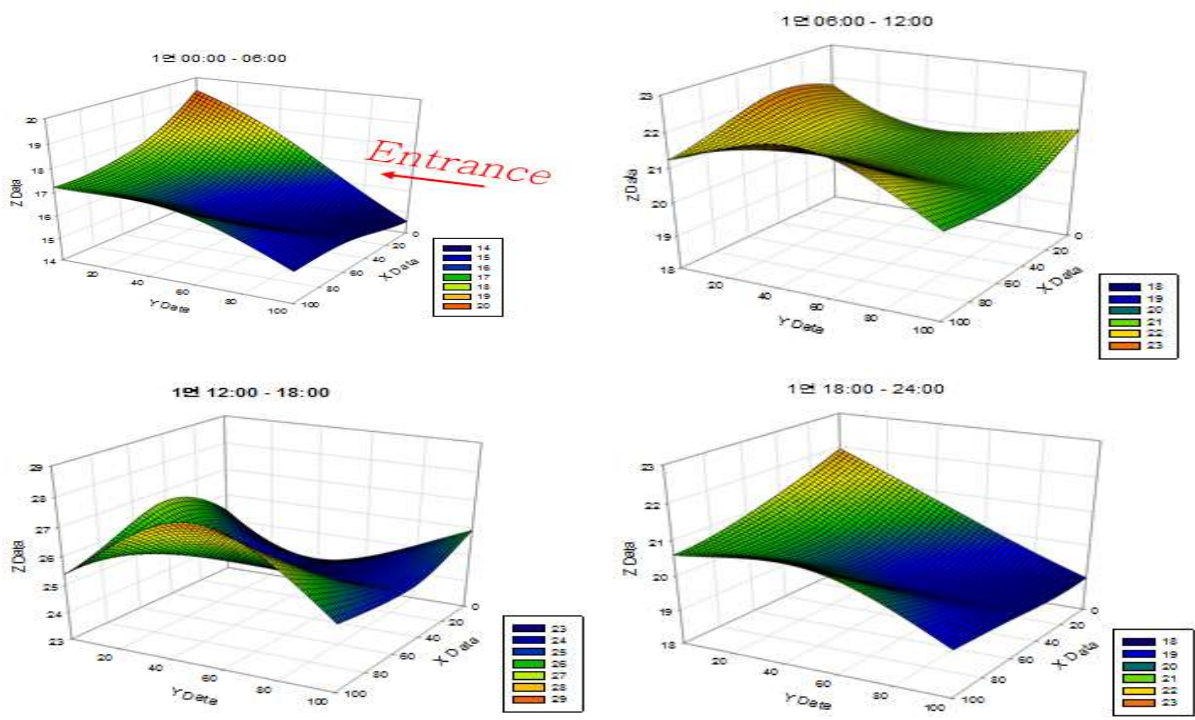
[그림] 36 열화상 카메라를 이용한 돈사 내부 열 분포.

- 다음은 [그림] 37과 같이 돈사 내의 층별로 상, 중, 하 3높이를 6시간 단위로 온도 평균을 Sigma-Plot 프로그램을 이용하여 온도분포를 나타내었음. [그림] 38은 하층부인 1면의 시간대 별로 온도 분포를 나타낸 것임. 00:00-06:00 까지의 온도를 살펴보면 출입구 쪽은 대체로 온도가 낮은 편이고, 에어컨이 위치한 쪽의 온도가 높은 것을 알 수 있었음. 이는 출입구 쪽 damper로 외부의 찬 공기가 유입되면서 발생하는 현상으로 판단됨.
- 1면의 06:00-12:00 에서는 해가 뜨고 돈사 내부가 태양광으로부터 열을 받기 시작하면서 입기구 쪽 damper로 외부 공기가 순환 되는 곳을 제외하고, 대부분 온도가 높은 것으로 측정됨. 또한, 12:00-18:00 온도 분포로는 오후에 에어컨이 가동되기 시작하면서 에어컨이 있는 (0,0) 구간에서 온도가 낮고, 태양광을 받는 x축이 100이 되는 구간은 온도가 굉장히 높게 측정되었음. 마지막으로 해가지는 18:00-24:00에는 새벽인 00:00-06:00 와 온도 편차는 작지만 분포는 거의 비슷하게 측정되었음.
- 2면 중층부 면의 00:00-06:00 까지의 온도분포를 살펴보면, 새벽에 출입문의 damper로 찬 공기가 유입되면서 Y축이 0인 배기팬 구간쪽보다 온도가 2-3°C 가량 낮은 것으로 측정됨. 06:00-12:00 구간과 12:00-18:00 구간은 온도는 다르지만 분포는 비슷한 것을 알 수 있었음. 온도가 20°C 보다 높게 측정되면서 제어에 의해 에어컨이 가동됨에 따라 에어컨이 있는 (0,0) 구간의 온도가 현저하게 낮아짐. 또 한, 새벽과는 다르게 입기 damper로 오후의 뜨거운 공기가 유입되면서 배기팬 쪽보다 온도가 높아짐. 18:00-24:00 구간은 새벽 시간 그래프와 비슷한 분포를 보였고, 원인도 이와 같다고 판단됨.
- 3면 상층부 면의 00:00-06:00 까지의 온도분포는 하층부와, 중층부의 온도분포 그래프와 비슷한 분포를 보였지만 온도 편차는 측정 지점별로 큰 차이를 나타냄. 3면 상층부 면은 중층부, 하층부 면의 공통점인 에어컨 구간 (0,0)에서 가장 낮은 온도를 보인 것과는 반대로 가장 높게 측정됨. 이는 Thermocouple의 위치가 에어컨보다 높은 곳에서 측정 했기 때문으로 판단됨. 가축의 적정 사육환경 조성을 위해 CFD 또는 유체 순환 모니터링을 통해 실제 공기가 어떠한 방향으로 유동되는지에 대한 연구가 필요하다고 판단됨.

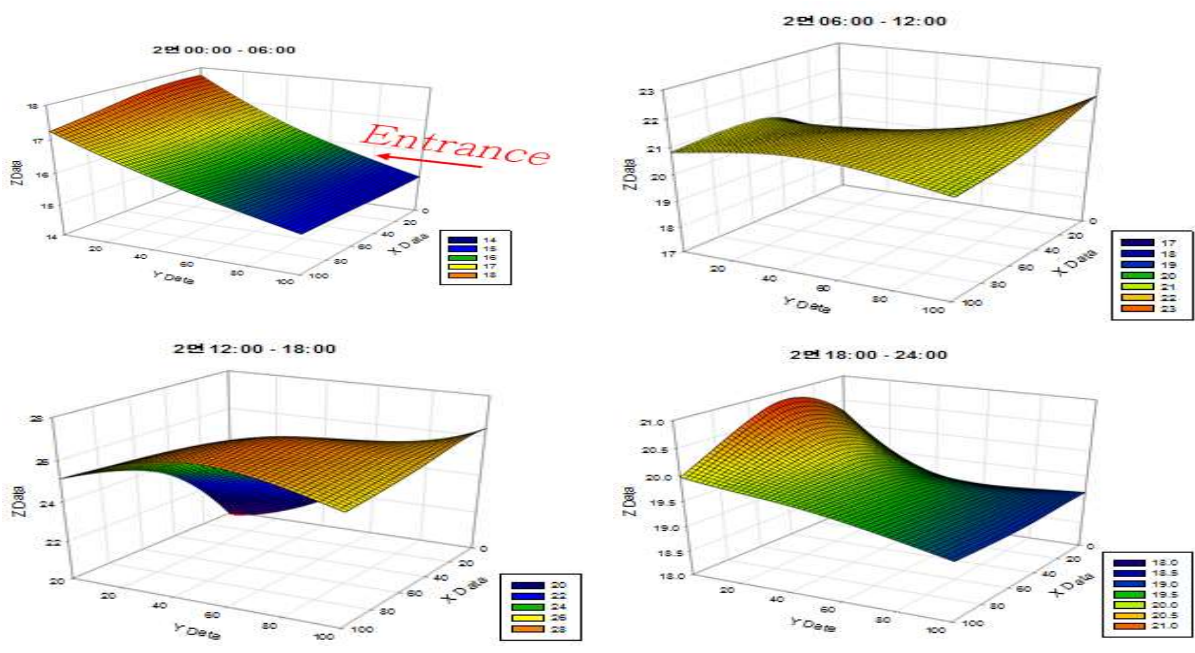


[그림] 37 돈사 내의 층별 온도 분석

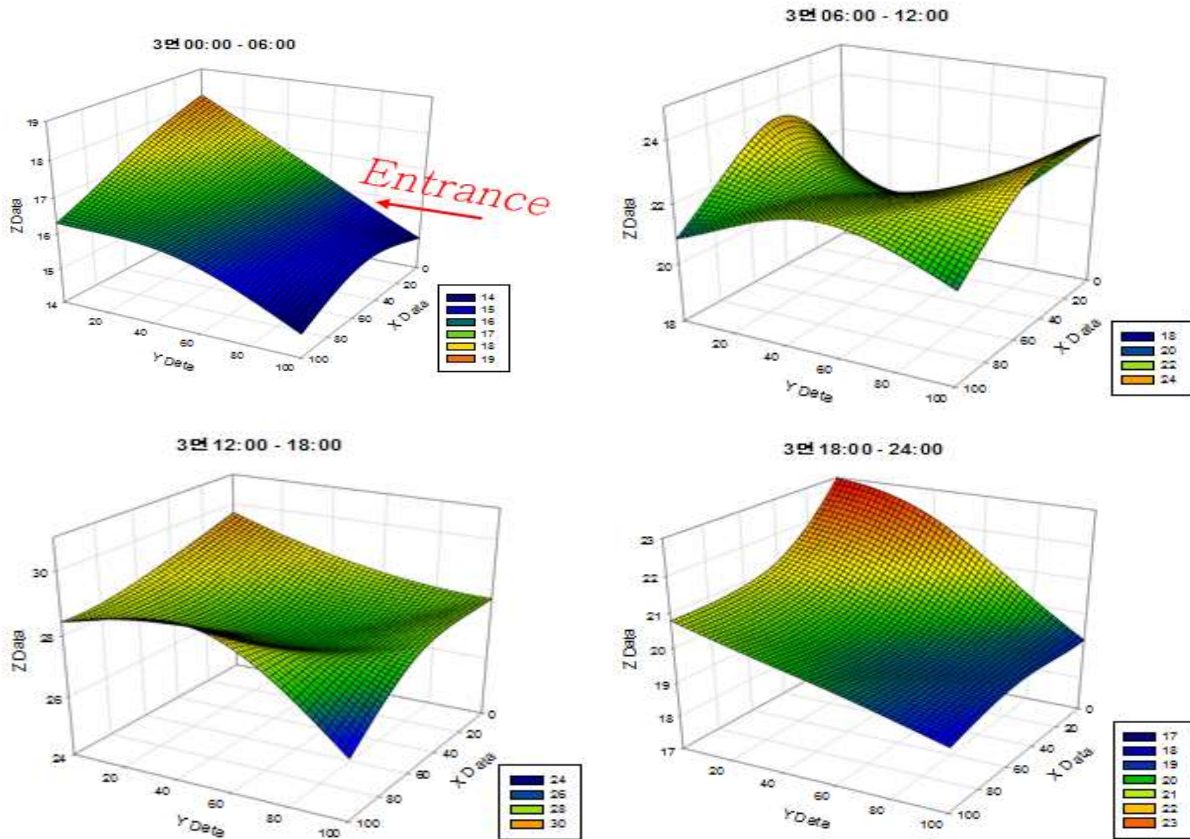




[그림] 38 1번 면의 시간대 별 온도 분석



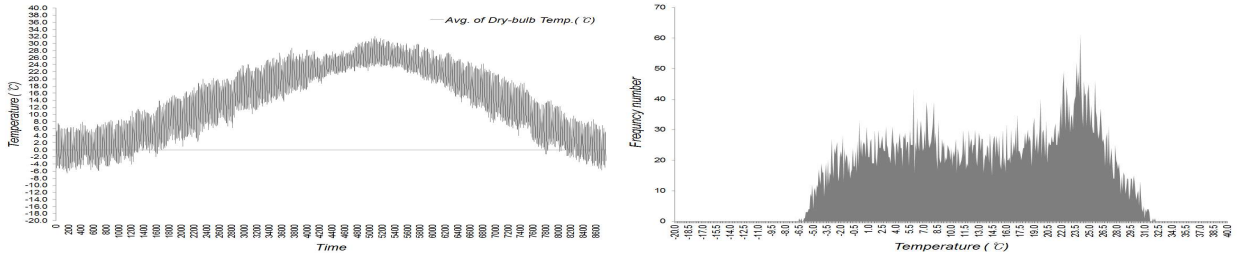
[그림] 39 2번 면의 시간대 별 온도 분석



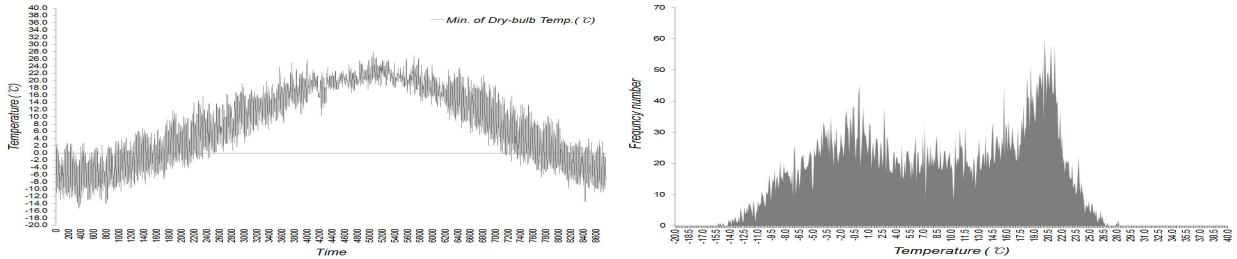
[그림] 40 3면 면의 시간대 별 온도 분석

### (7) 설계 외기조건별 냉난방부하 분석

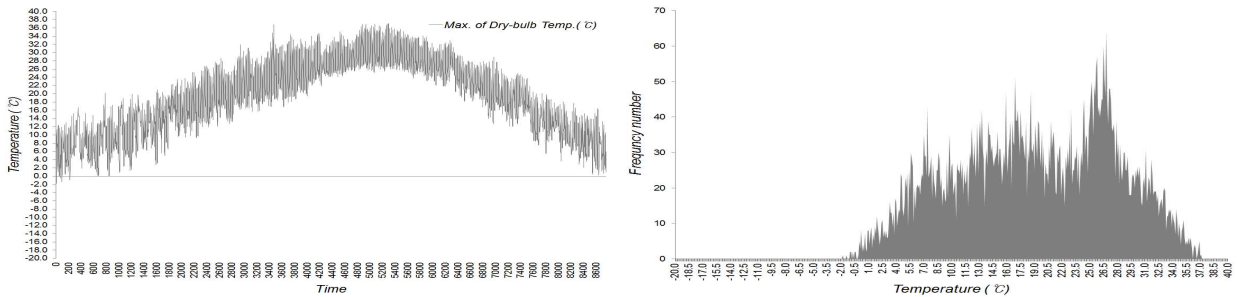
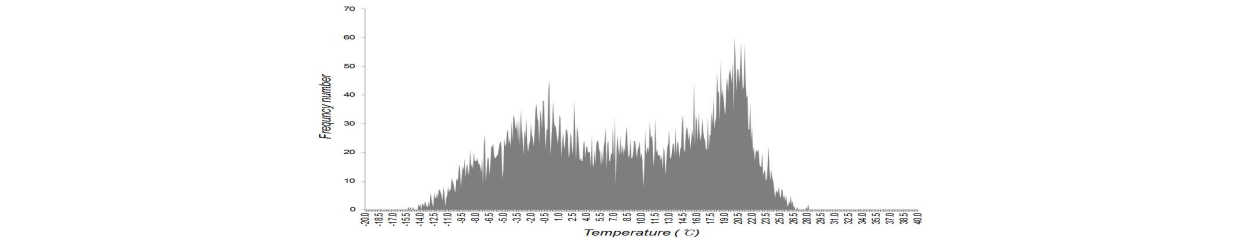
- 실험돈사 내·외부 온도 조건에 따른 최대 냉난방부하 계산 및 필요, 초과 에너지를 계산하기 위해 설계 외기온도를 설정함
- 실험돈사 소재지(경남 진주)의 20년 간 외기온도 데이터를 수집, 분석을 실시함
- 외기온도 데이터는 기상청 자료를 활용, 1984년부터 2014년 간 1시간 단위의 평균, 최저, 최고온도 데이터를 각각 활용함
- 20년 간 평균, 최저, 최고 외기온도 값을 온도 범위를 중심으로 빈도 수 표현함
- TAC 온도는 초과 위험률을 고려한 설계용 외기 온도를 의미하고 축사의 동절기 설계온도는 12월~2월의 약 90일 동안에 나타난 기온출현빈도의 2.5%에 해당하는 온도로 설정함



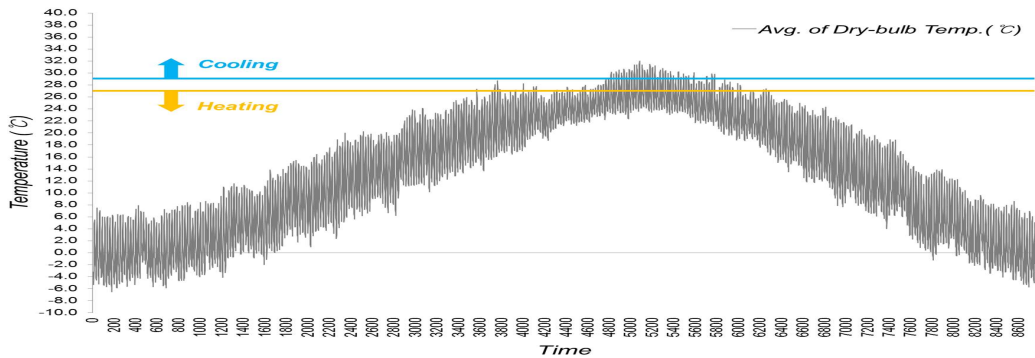
[그림] 20년 간 평균 외기온도 및 빈도 수 (1984년~2014년)



[그림] 20년 간 최저 외기온도 평균 값 (1984년~2014년)

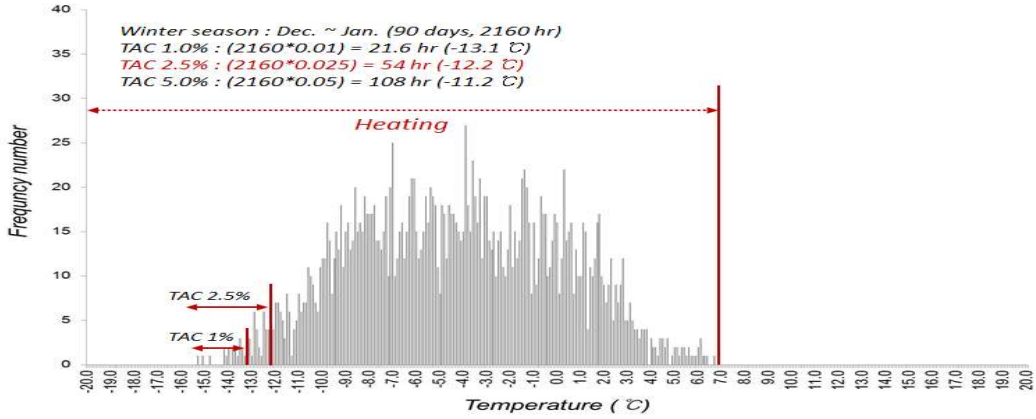


[그림] 20년 간 최고 외기온도 평균 값 (1984년~2014년)



[그림] 20년 간 평균 외기온도 및 축사 내부 설정온도 기준

- 실험돈사 내부 온도는 자돈사 사육 평균 적정온도인 약 28.0℃를 기준으로 설정하였고, 동절기 설계온도는 90일 간, 총 2,160시간 중 TAC 2.5%에 해당하는 54시간, 약 -12.2℃를 동절기 설계 외기온도로 설정함



[그림] 동절기 TAC 2.5% 기준 외기 설계온도

- 따라서 본 연구에서는 동절기(12월~2월, 약 90일) 실험돈사 최대 난방부하 계산을 위해 외기 설계온도를 약 -12.2℃, 실험돈사 내부 온도를 약 28.0℃ 설계하였으며, 따라서 이를 기준으로, 실험돈사 필요 난방 용량 및 필요, 초과 에너지를 계산함

[표] 실험돈사 구조에 따른 열관류율(W/m<sup>2</sup>·K)

구분	벽면	지붕면	바닥면
구조	외벽	아연도금강판, 0.5 mm	일반 콘크리트, 300 mm
	내벽	아연도금강판, 0.5 mm	
	단열	발포폴리스틸렌, 50 mm	
외벽면	$(1/\alpha_0) : (1/23) = 0.043$	$(1/\alpha_0) : (1/35) = 0.029$	-
강판(외벽)	$(\ell_1/k_1) : (0.0005/45) = 0.00001$	$(\ell_1/k_1) : (0.0005/45) = 0.00001$	$(\ell_1/k_1) : (0.3/1.4) = 0.214$
단열재	$(0.05/0.047) = 1.064$	$(\ell_2/k_2) : (0.05/0.047) = 1.064$	-
강판(내벽)	$(0.0005/45) = 0.00001$	$(\ell_3/k_3) : (0.0005/45) = 0.00001$	-
내벽면	$(1/8.29) = 0.121$	$(1/\hat{\alpha}_i) : (1/9.08) = 0.110$	-
열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)	$1/U = (1/\alpha_0) + \sum(\ell_n/k_n) + (1/\alpha_i) = 1.228 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$ $\therefore U = 0.814 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$1/U = (1/\alpha_0) + \sum(\ell_n/k_n) + (1/\alpha_i) = 1.203 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$ $\therefore U = 0.831 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$1/U = 0.214 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$ $\therefore U = 4.672 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

- 최대 난방부하는 실험돈사 구조적 열 손실 및 환기를 통한 열 손실을 기준으로 분석하였고, 각 벽체의 규격에 따른 열관류율(W/m<sup>2</sup>·K), 환기량을 기준으로 분석함
  - 실험돈사 구조에 따른 열관류율은 벽면, 지붕면, 바닥면으로 구분하여 분석함
  - 벽면과 지붕면은 EPS 패널 50T, 바닥면은 콘크리트로 약 300T로 가정함

- 벽면은 총 열관류율 약  $0.814 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , 지붕면은 약  $0.831 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , 바닥면은 약  $4.672 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 계산됨

- 실험돈사 벽체 구조 및 위치에 따른 구조적 에너지 변화를 분석하기 위해 벽체 온도를 측정함, 벽체는 데이터로거 및 K-type 써모커플(Thermo-couple)을 사용, 한 면의 벽체 당 2점의 온도를 측정함

표 1-1-2. 실험돈사 벽체 온도 측정 위치

구분	벽체 1(S)	벽체 2(W)	벽체 3(N)	벽체 4(E)	지붕 1	지붕 2	바닥 1	바닥 2
내벽	Ch.28, 29	Ch.30, 31	Ch.32, 33	Ch.34, 35	Ch.36, 37	Ch.38, 39	Ch.40, 41	Ch.42, 43
외벽	Ch.44, 45	Ch.46, 47	Ch.48, 49	Ch.50, 51	Ch.52, 53	Ch.54, 55	-	-



[그림] 실험돈사 내·외부 벽체 온도 측정

- 설계 외기온도, 실험돈사 내부 설정온도, 실험돈사 구조체의 열관류율( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ) 값을 바탕으로 동절기 최대 난방부하를 분석함
  - 설계 외기온도는 TAC 2.5%인 약  $-12.2^\circ\text{C}$ , 실험돈사 내부 설정온도는 약  $28.0^\circ\text{C}$ 로 설정하였음, 따라서 외기온도가 약  $-12.2^\circ\text{C}$ 일 때, 내부 온도를  $28.0^\circ\text{C}$ 로 유지하기 위해 필요한 난방 에너지를 분석하였으며, 이 결과를 바탕으로 실험돈사 내부의 난방 용량을 결정함
  - 표 1-1-2의 실험돈사 구조에 따른 최대 난방부하는 각 벽면의 방위, 면적( $\text{m}^2$ ), 열관류율( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ), 온도 차( $^\circ\text{C}$ ), 노출계수를 통해 계산하였으며, 총 열 손실은  $2,205.7 \text{ W}$ 로 계산됨

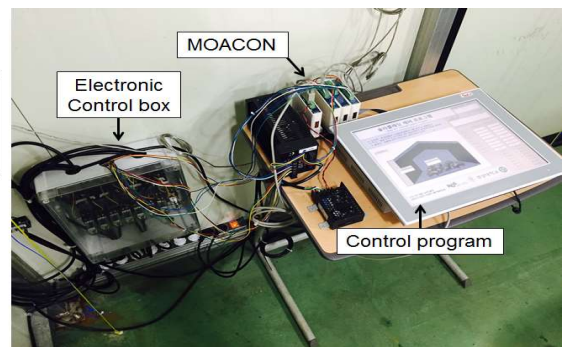
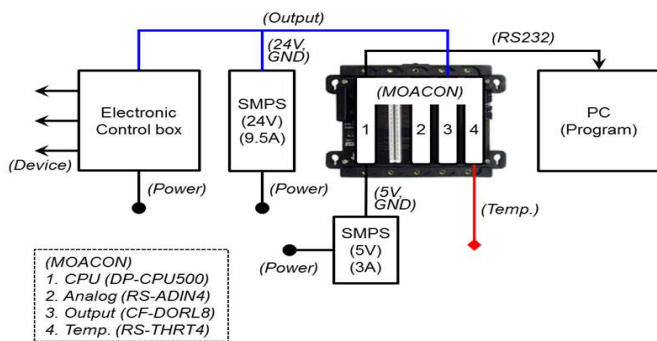
[표] 실험돈사 구조에 따른 최대 난방부하

구분	방위	구조	면적 (m <sup>2</sup> )		열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K)	온도 차 (°C)	노출계수	열 손실 (W)
최대 난방부하 (구조)	South	벽면	2.2*5.4	11.88	0.814	40.2	1	388.75
		지붕면	1.84*5.4	9.94	0.831		1	332.06
	North	벽면	2.2*5.4	11.88	0.814		1.2	466.50
		지붕면	1.84*5.4	9.94	0.831		1.2	398.47
	West	벽면	(2.2*3.3)+(3.3*0.7/2)	8.42	0.814		1.15	316.85
	East	벽면	(2.2*3.3)+(3.3*0.7/2)	8.42	0.814		1.1	303.08
합 계								2,205.7

- 실험돈사 내부 온도 유지를 위한 필요 열량은 약 558.14 kcal로 계산되었으며, 설계 외기온도가 -12.2°C 일 때, 실험돈사 내부 온도를 28.0°C로 유지하기 위한 필요 열량은 약 58,912 kcal로 계산됨

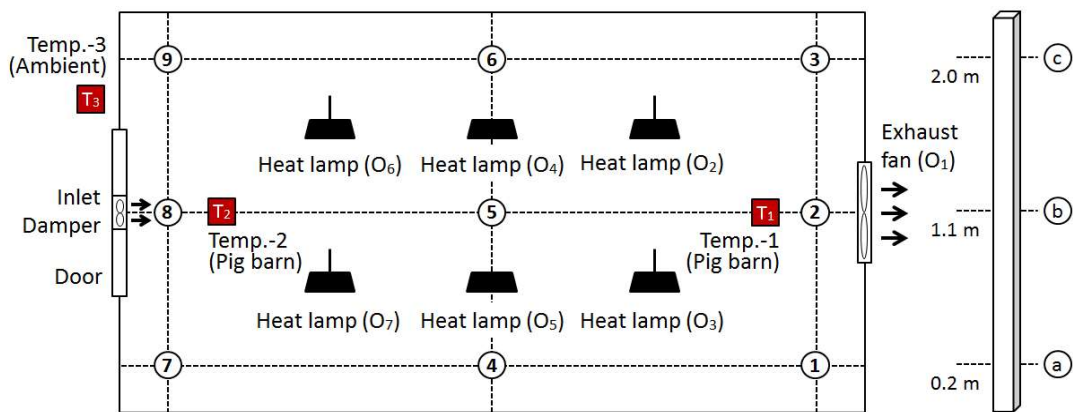
(8) 실험돈사 내 제어 시스템 구성 및 분석

- 실험돈사 내부 열 환경 관리 및 에너지 분석을 위한 제어 시스템을 구성함, 제어 시스템은 실험돈사 내부 온도 측정 및 설정된 제어 논리에 의해 돈사 내부 열 환경을 관리할 수 있는 환기팬, 입기 댐퍼, 보온등 등의 장치를 ON/OFF 방식으로 제어함
- 제어 시스템은 그림 7과 같이 제어 프로그램 및 데이터 저장을 위한 PC, 온도 값 입력 및 출력 제어를 위한 MOACON DP-CPU500(통신부), RS-ADIN4(아날로그 값 입력부), CF-DORL8(출력 제어부), RS-THRT4(온도 입력부), 전원 공급을 위한 SMPS 및 전기 제어부로 구성함
- 제어 시스템의 구동 원리는 프로그램 내 설정된 제어 논리에 설정된 온도 값과 측정된 온도 값의 비교를 통해 연결된 장치를 ON/OFF로 제어하게 됨



[그림] 실험돈사 제어 시스템 원리 및 구성

- 온도 측정은 MOACON RS-THRT4(온도 측정부)에 연결된 PT100Ω 온도센서를 통해 신호 값을 측정 및 수신 후, Visual C++로 제작된 프로그램 내에서 교정, 온도 값으로 변환됨, 이후 프로그램 내 설정된 값과 측정된 값의 비교를 통해 CF-DORL8(출력 제어부)에서 SMPS와 연결된 전기 제어부 내 릴레이 출력 전원의 연결 및 차단을 통해 장치를 ON/OFF로 제어함
- 각각의 장치가 가동될 때(ON), 프로그램 내 설정된 제어 장치별 출력 신호(Port Number)의 조합을 통해 시간별 어떤 장치가 가동되었는지 알 수 있고 온도 측정 값과 출력 신호 결과는 PC에 1분 단위로 저장됨
- 실험돈사별 온도 측정 위치, 출력 제어 장치 및 출력 신호는 그림1-1-8 및 표 1-1-3과 같음



[그림] 실험돈사 내 온도 측정 위치 및 출력 제어 장치

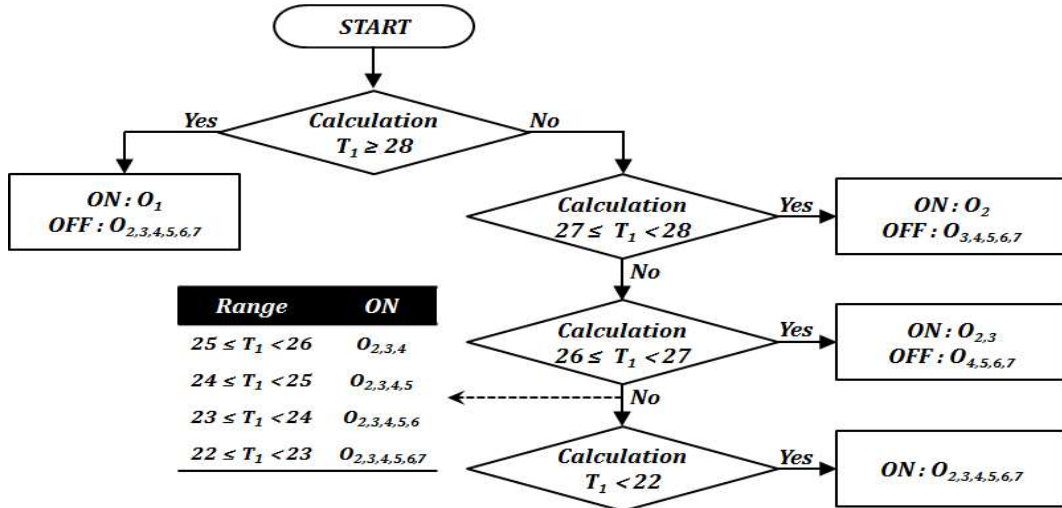


[그림] 실험돈사 내 온도 측정 및 장치 설치

[표] 실험돈사 내 제어 시스템의 입력 및 출력 값

입력 값 (온도)	측정 위치	출력 값 (제어)	제어 장치	출력 신호 (Port Number)	
				단일 신호	누적 신호 조합
T1	실내 온도 (1)	O1	환기팬	1	환기팬 가동 시 = (1)
T2	실내 온도 (2)	O2	보온등 1	2	보온등 1개 가동 시 = (2)
T3	외기 온도	O3	보온등 2	4	보온등 2개 = (6) (2+4)
T4	-	O4	보온등 3	8	보온등 3개 = (14) (2+4+8)
N/A		O5	보온등 4	16	보온등 4개 = (30) (2+4+8+16)
		O6	보온등 5	32	보온등 5개 = (62) (2+4+8+16+32)
		O7	보온등 6	64	보온등 6개 = (126)

- 프로그램 내 설정된 제어 논리는 그림 1-1-10과 같음, 실내 온도가 28.0℃ 이상 시, 난방이 필요하지 않기 때문에 보온등을 끄고 최저 환기만 실시하였고, 실내 온도가 28.0℃ 미만 시, 온도 범위에 따라 최고 28.0℃부터 최저 22.0℃까지 1.0℃ 단위, 6단계 별 온도 조건에 따라 보온등 가동 개수를 조절함
- 실험돈사 내부 온도를 짧은 시간 안에 적정 온도인 28.0℃로 상승, 유지시키기 위해 온도 범위를 약 1.0℃로 짧게 설정함



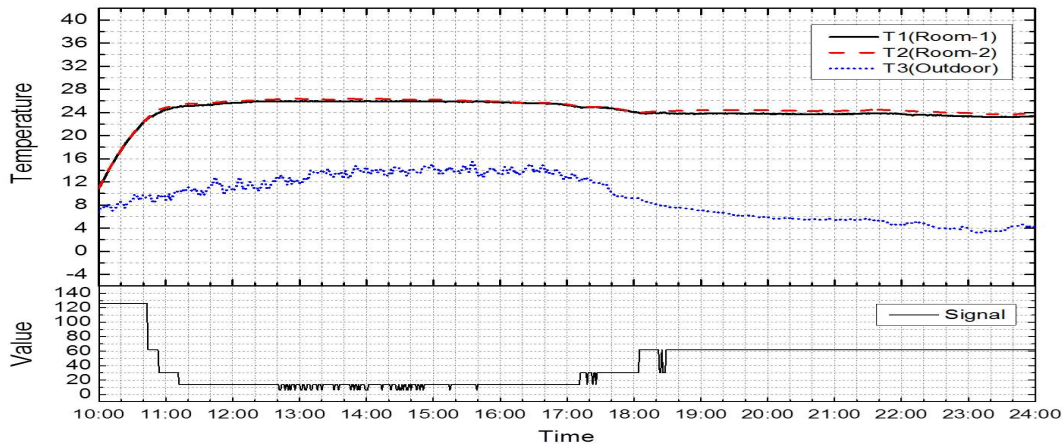
[그림] 제어 시스템의 제어 논리(Flow chart)

- 실험돈사 내 제어 시스템은 약 4일(Day 1~4) 간 가동되었으며, 실험돈사 내, 외부 온도 및 출력 신호(Port number)를 확인함
- Day 1~4의 실험돈사 내부 온도(T1, T2)는 외기온(T3)의 경향과 달리 비교적 일정하게 약 26℃에서 28℃ 범위 내 유지되는 것을 확인함, 온도 센서 T1과 T2의 측정 오



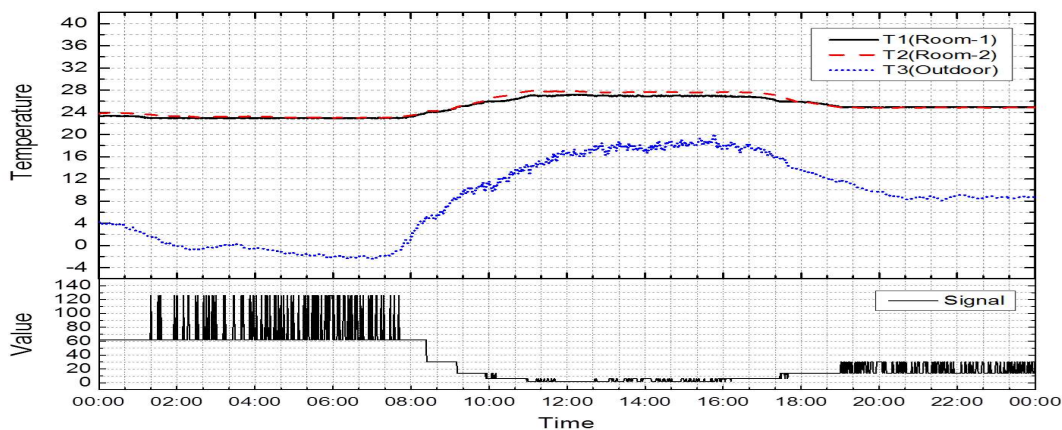
차는 거의 없는 것으로 확인함

- 출력 신호(Port number)를 통해 온도 변화에 따른 장치 가동 유무를 확인함
- Day 1의 돈사 내부 온도가 10:00 경 약 11.2°C로 측정됨에 따라 출력신호는 126, 즉 보온등이 6개 모두 가동된 것을 알 수 있음, 이후 돈사 내부 온도가 상승함에 따라 보온등 가동이 단계적으로 중단되었으며 돈사 내부 온도가 25.0°C로 측정된 약 11:11 경부터 보온등이 3개(14) 가동되는 것을 알 수 있음

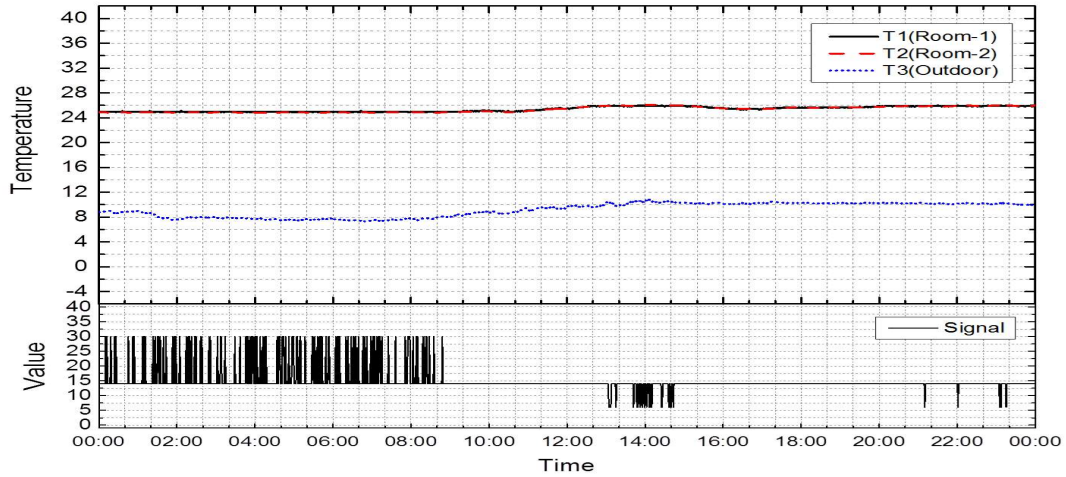


[그림] 실험돈사 온도 및 출력 신호 변화 (Day 1; 3월 2일)

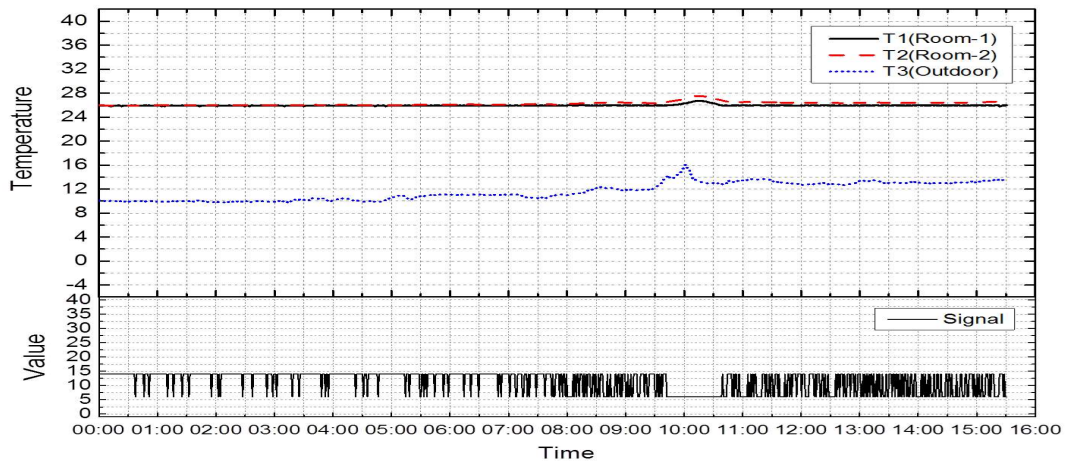
- Day 2의 실험돈사 내부 온도는 00:00 부터 08:30 까지 약 24°C로 일정하게 유지되는 것을 알 수 있음, 이는 같은 시각 약 4°C부터 -2°C 사이의 외기온 대비 약 20°C 이상 높은 온도이며 출력 신호(Port number)를 통해 실내온도 유지를 위해 보온등의 ON/OFF가 반복되는 것을 알 수 있음, 또한 출력 신호를 통해 약 11:00부터 17:00 사이는 최소 난방만 가동된 것을 알 수 있음
- Day 3, 4의 제어 시스템 가동 결과는 기상상태 및 외기온도 영향으로 인해 실험돈사 내부온도가 일정하게 유지됨



[그림] 실험돈사 온도 및 출력 신호 변화 (Day 2; 3월 3일)



[그림] 실험돈사 온도 및 출력 신호 변화 (Day 3; 3월 4일)



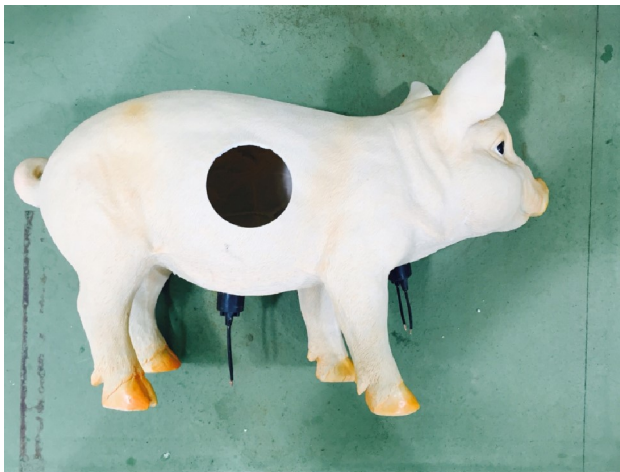
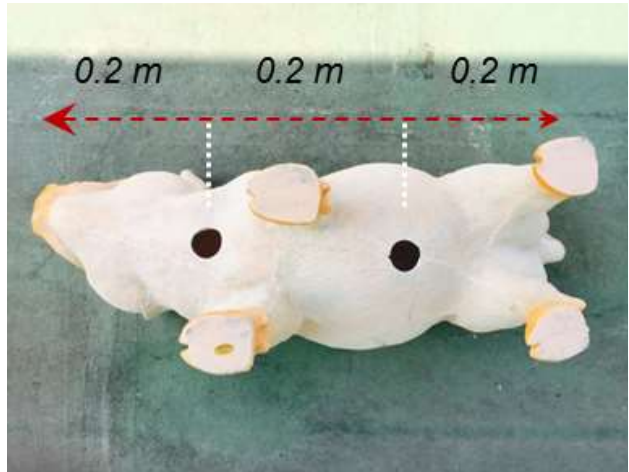
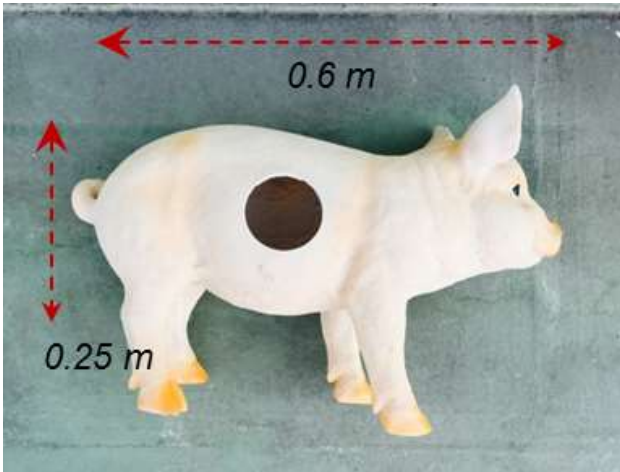
[그림] 실험돈사 온도 및 출력 신호 변화 (Day 4; 3월 5일)

- 실험돈사 내부 온도 측정 및 출력 신호(Port number) 값을 통해 제어 대상 장비의 가동 유무를 파악할 수 있으며, 이를 통해 내·외부 온도에 따른 가동 장치와 전력량 계측이 가능함, 따라서 설계 외기온도에 따른 실험돈사 최대 냉난방부하 분석 결과를 토대로 실험돈사 내·외부의 설정된 변수인자에 따른 실험돈사 내부 소요 에너지 분석이 가능하며, 이를 통해 목표 시스템의 검증 및 분석이 가능할 것으로 판단됨

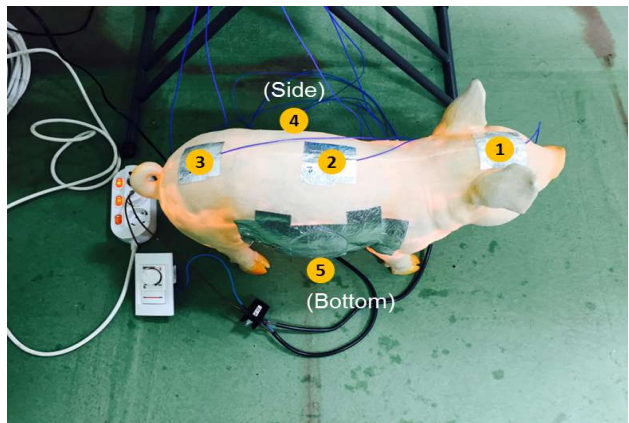
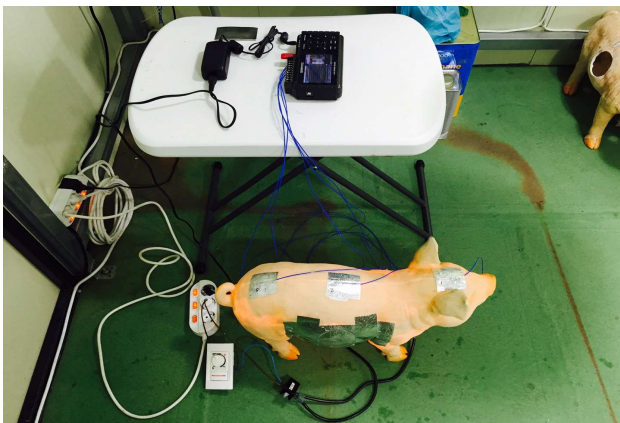
### (9) 모형 실험돈 구성 및 에너지 발생량 분석

- 실험돈사 내 돼지 사육에 따른 에너지 발생량을 분석하기 위해 모형 실험돈을 제작, 표면 온도 측정을 통해 발열량을 분석함
  - 실제 가축으로부터 발생하는 열량은 발열 및 호흡 등으로 이루어지며 참고문헌 등의 선행자료를 통해 분석이 가능하나, 본 실험에서는 돼지 모델 제작에 의한 실험돈사 내 열 흡수, 방출 열량을 판단하고자 함

- 모형 실험돈의 크기는 다리를 제외하고 측면 기준 가로 약 0.6 m, 세로 약 0.25 m 임  
- 가로 총 0.6 m를 기준으로 0.2 m 간격으로 전구를 설치함
- 모형 실험돈은 내부에 60W 백열등 전구 2개를 삽입, 설치함, 표면온도 측정 후 적정 온도 범위를 유지하기 위해 조광기를 통해 광을 조절함

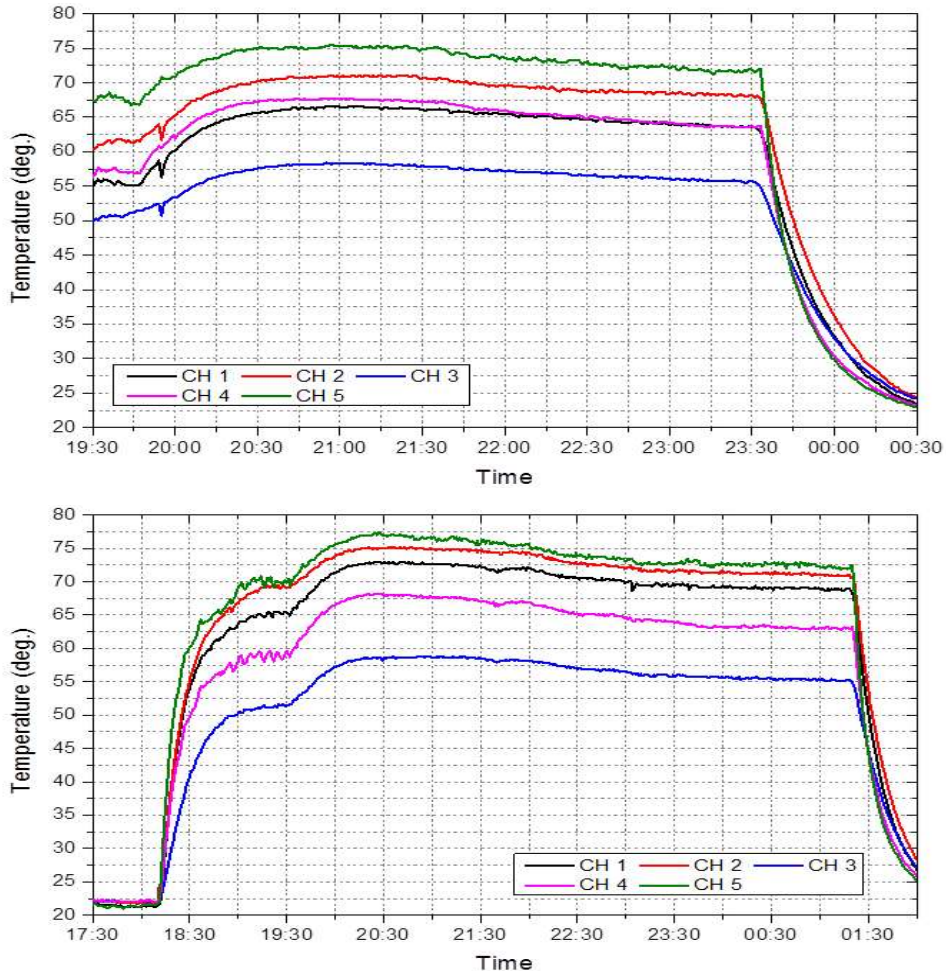


[그림] 모형 실험돈 제작 과정



[그림] 모형 실험돈 표면온도 측정 및 데이터 수집

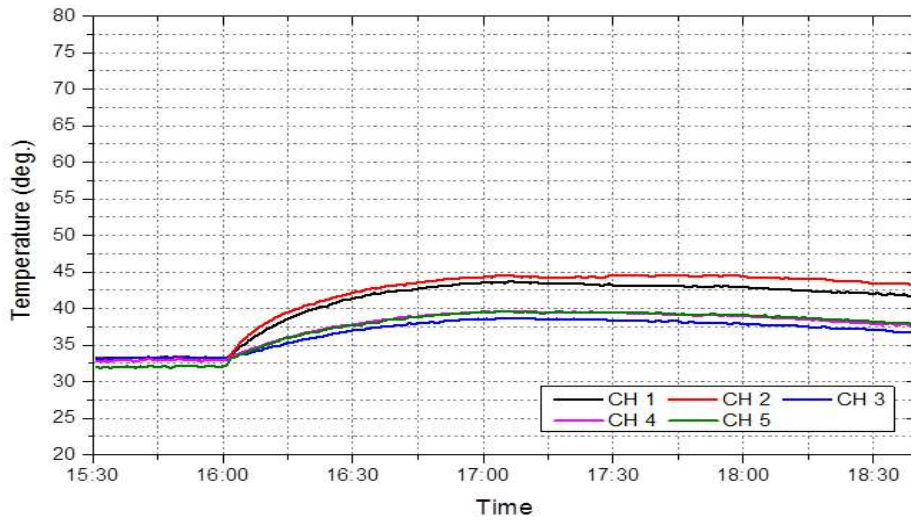
- 모형 실험돈의 표면온도는 등부 3점(Ch. 1, 2, 3), 측면부 1점(Ch. 4), 복부 1점(Ch. 5), 총 5점을 측정하였음
- 모형 실험돈의 표면온도 측정 결과, 그림 1-1-17과 같이 표면온도는 최고 약 77.8℃, 같은 시각 최저 약 58.5℃로 매우 높게 나타남, 또한 Ch. 1~5의 측정 위치별 온도는 다르게 나타났는데, 복부 측의 Ch. 5가 가장 높게 측정되었고, 등부의 Ch. 3이 가장 낮게 측정됨



[그림] 모형 실험돈의 표면온도 측정 결과 (A)

- 조광기를 통해 광을 조절한 모형 실험돈 표면온도는 그림 18과 같이, 조절하지 않았을 때보다 낮은 온도를 나타냄, 최고 약 44.8℃로 측정(Ch. 2)로 측정되었으며, 조절하지 않았을 때와 마찬가지로 측정 위치별 온도 차는 발생하는 것을 알 수 있음
  - 조광기를 통해 광을 조절한 경우는 임의로 표면온도의 변화를 확인하며 조절함
- 추후 모형 실험돈을 통한 실험 방법 및 결과의 신뢰성 확보 및 검증을 위해 모형의 재질, 부피, 열전도율 등을 고려한 실험이 추가적으로 진행되어야 하며, 마찬가지로 모형 실험돈의 표면온도 값 보정 및 일정 온도를 유지할 수 있는 장치 또한 보완, 추가

실험이 진행되어야 함



[그림] 모형 실험동의 표면온도 측정 결과 (B, 광 조절)

### (10) 환경 계측(LEMS) 및 전력 계측(Farmnote) 시스템 운영, 평가

- 실험돈사에 설치된 축사환경 자가진단 시스템(LEMS)는 돈사 내 온·습도, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, 풍속을 실시간, 항목별, 기간별로 모니터링 하여 측정하는 시스템임, 또한 배기팬, 보온등을 원격으로 제어할 수 있으며, 축사내부 환경관리 방법 및 모델 설정, 축사 내부 환경관리 장치의 개발 등을 통해 축사 내부 공기 질의 파악이 가능함



[그림] 실험돈사 내 설치된 축사환경 진단 시스템(LEMS) 및 온·습도, CO<sub>2</sub>, 연기 감지 센서

- 온·습도, CO<sub>2</sub> 및 연기 감지 센서는 돈사 내 양쪽 측벽에 설치하였고, 풍속 센서는 돈사 중앙부에 설치함
- 축사환경 자가진단 시스템(LEMS)를 통해 축사 내부 환경변수들을 측정 및 데이터 저장이 가능하고 실시간 모니터링을 통해 축사 내부 환경의 가축 생산성 저하 요인을 파악하고 양질의 정보를 바탕으로 사육 환경을 실시간 조정 가능함, 이러한 시스템을 통해 실험돈사 내 환경변수별 DB구축이 가능함
- 전력 계측 시스템(Farmnote)은 실험돈사 내부 사육환경을 조성하기 위해 제어하는 장치들의 소모 전력량을 실시간 모니터링 할 수 있으며, Sector 1(태양광 패널), Sector 2(보온등), Sector 3(환기팬), Sector 4(냉방기)의 4가지 항목에 대해서 코일을 연결하여 전력량을 모니터링 함, 단위는 Wh로 표시됨



[그림] 실험돈사 내 설치된 전력 계측 시스템(Farmnote)

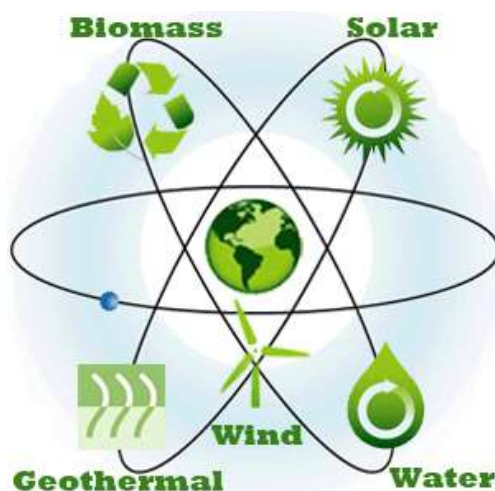
- 환경 계측 시스템(LEMS)를 통해 온도를 중점적으로 실시간 모니터링을 하고 있음, 실효 온도는 기타 영향요인(온·습도, 풍속, 단열, 계절, 바닥재 상태) 등을 고려하여 돼지가 실제 느끼는 체감온도임, 이러한 실효온도를 상한온도와 하한온도 값을 설정하여 그림과 같이 17:00 이후에는 상한온도를 벗어나는 구간이 생기는 것을 방지하고자 함, 상한과 하한 범위 에서 초과, 미만 되지 않게 환경 변수 등을 제어 하여 쾌적한 사육환경을 조성하고자 함

## (11) 돈사내 열평형에 대한 태양광 발전시스템 응용 프로그램

○ 신재생 에너지원인 태양광 발전시스템을 사용하여 돈사내 필요 열량을 확보하고자 하고, 실험돈사에서 열균형과 관련된 평형식의 적정성을 향상시키고자 한다. 이는 돈사내 폐지의 생주과정에서 편암함을 편안함을 유지하고 난방 비용을 절감하는 것이 매우 중요하다. 난방비용은 열 공급 시스템에서의 열손실계수, 공기침투속도와 열 손실을 구축에 따라 차이가 난다. 이러한 파라미터의 값이 양호한 재료는 건물의 구조를 개선하고 난방시스템의 최적제어를 현상에 의해 감소 될 수 있다.

○ 실험돈사에서 열균형은 돈사내 난방관련 제어 시스템의 개발에 사용된다. 상기 시스템은 기준 온도보다 낮을 때, 열을 제공하는 가열 램프 및 자동 제어 장치로 구성된다. 가축은 주변의 환경에 따른 건물의 구조에 사용 된 재료에 의해 내부의 온도를 유지하는 것은 가축의 건강에 직접적인 영향을 미친다. 축사의 단열 개선에 대한 많은 연구의 초점이 맞추어져 있다(Buscher 외. 2008, Krommweh 외. 2014). 그러나 대부분의 돈사에서 원하는 환경을 유지하는 것은 매우 고가의 장비나 재료가 필요하다.

○ 대부분의 돈사는 전기사용을 포함한 높은 운영비를 필요로 하며, 가끔은 복사열을 이용하여 원하는 에너지를 얻는 경우도 있다(Tamvakidis 등, 2015; 문 등, 2017). 따라서 신재생에너지를 이용하여 돈사의 열환경 개선에 활용하는 것은 매우 중요하면 앞으로도 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 에너지에 대한 요구도는 해마다 증가하고 있으면, 이러한 신재생에너지원은 여러 가지 있으며, 대부분은 태양에너지를 이용하고 있으면, 풀력, 수력, 수소나 연료 전지 등이 사용되어 있다. <그림 1>은 신재생에너지 원을 나타낸 그림이다.



[그림] 신재생 에너지

○ 신재생 에너지의 사용은 전세계적으로도 환경친화적이고 쉽게 사용할 수 있는 깨끗하고 안전하다. 태양에너지는 그러한 신재생에너지의 대표작인 에너지원이며, 해마다 연구에 대한 관심도가 증가하고 있다. 이를 위해 돈사에서 태양광 패널의 사용하여 원하는 돈사내 온도를 유지하고 쾌적한 환경을 유지하는 기술은 매우 유용하다고 할 수 있다.

## (12) 발전시스템 응용 프로그램 개발 목적 및 내용

이 연구의 목적은 열평형을 계산하고 에너지 태양광 패널의 재생소스를 사용하여 돈사의 온도를 유지하기 위해서 특정 돈사의 규모에 따른 태양광 패널의 규모를 추정하고 설정하기 위해서 진행되었다.





### - 실험설계

실험설계는 외부환경과 실내환경에 따른 <표 1>과 같이 계획하여 수행하였으며, 이를 이용하여 태양광의 필요면적을 추정하였다.




[표] 실험설계

실외기온(°C)	태양광 無		태양광 有	
	돼지 有	돼지 無	돼지 有	돼지 無
0-10	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
10-20	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8
20-30	Test 9	Test 10	Test 11	Test 12
30-40	Test 13	Test 14	Test 15	Test 16

위의 실험설계에서 태양광의 유무, 실험돼지의 유부에 따른 실내환경의 변화를 측정하였으며, 이때 필요한 에너지의 량을 수학적으로 실험적으로 산정하였다. 또한 <그림 2>는 실험을 위해 사용된 장치를 나타낸 것이다.

			
Control of Input and output MOACON, COMFILE Inc. DP-CPU 500 (CPU) CF-DIDC8 (DC input) RS-THRT4 (Temp. input)	Exhaust fan in pig house EU-350S, Euro-housing 350 mm, 3,300 m³/h 1,650 RPM, 104 W	Temperature measurement GL820, GRAPHTEC 20ch, expandable 200 ch -100°C < TS <1370°C ±(0.05 % of reading + 1.0 °C	Heating for pig house Ryu-Am Co. Inc. AC 220V 60Hz, 200W



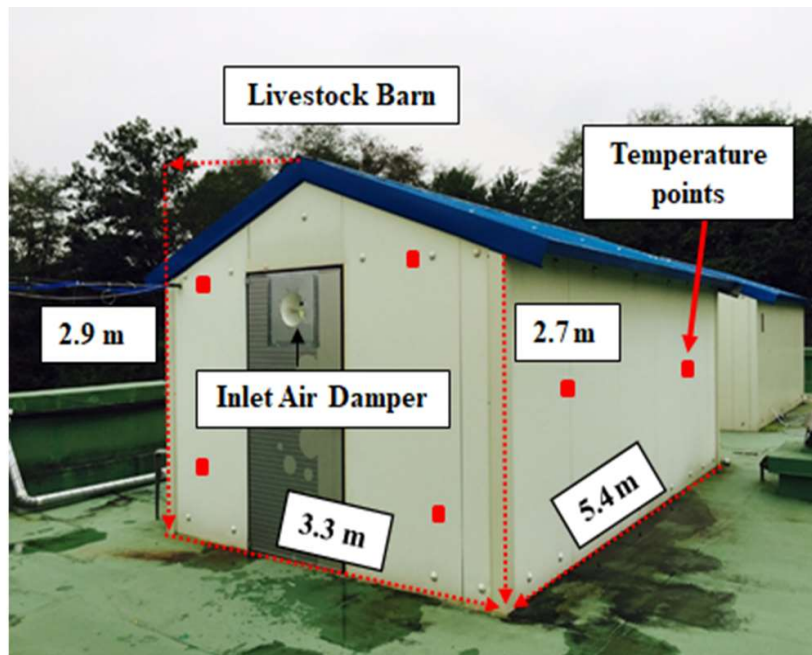
			
<p>Auto Damper Sanison Co., Inc Dimension 250 mm AC 220V 60Hz, 3.0W</p>	<p>Temperature measurement PT 100 Class B, 3 wire Sensor length 0.1 m, line length 5 m Temperature range -100 to +30 0°C</p>	<p>Temperature measurement PT 100 Class B sensor Dimension 140 mm, W 13 mm, Thickness 5 mm Temperature range -50 to +150 °C</p>	

[그림] 실험을 위한 장치

### - 실험돈사

실험은 경상대학교 내 실험돈사를 이용하였다. 실험돈사는 지리적으로 "위도 35°9'N, 경도 128°E에 위치해 있으며, 고도는 약 44m이다. 실험 축사의 치수는 2.9m×5.4m×3.3m이며, 두께 0.05 m이며, <그림 3>과 같다.

아연 도금 강판 및 폴리스티렌벽 및 축사지붕등의 재료로 사용하였으며, 발포폴리스티렌 시트로 단열하여 온도를 유지할수 있도록 하였다. 아연 도금 강판을 적절히 폴리스티렌 재료로 내부 및 외부 고정시켰다<그림 4>.



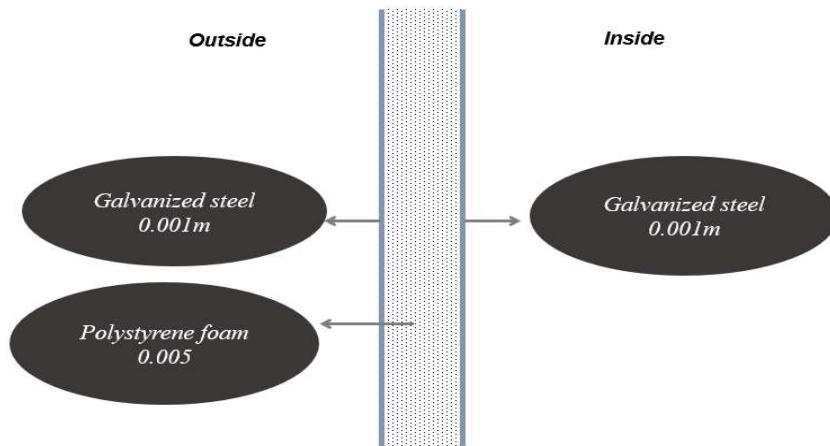
[그림] 실험돈사



[그림] 단열재료

- 아연 도금 강판과 발포폴리스티렌 시트

본 실험에 이용한 단열재료는 아연 도금강판을 외층으로 하고, 내층의 폭은 0.001 m 이며 폴리스티렌시트 0.05M이다<그림 5>.



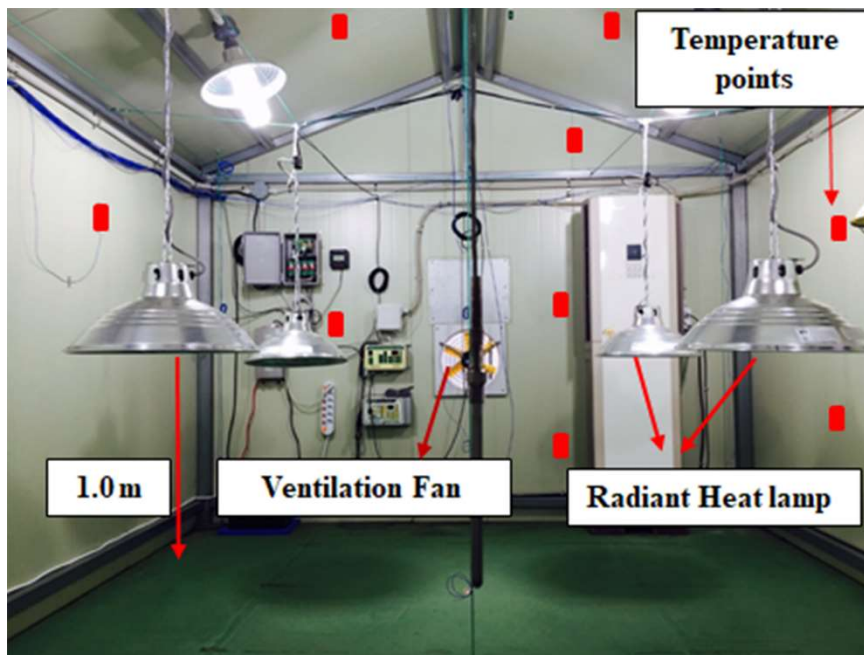
[그림] 단열재료 의 개략적인 열관련 단면도

- 내부 환경과 실험 측사

<그림 6>은 도시된 바와 같이 실험측사를 나타낸 사진이며, 실내 여러 실험 장비가 포함되어 있다. . 열시설이나 제습같은 냉각 제어기술은 실내 공기질을 유지하기 위해서 실내 오염물질의 제거를 위한 일정 송풍팬 (EU-350, 유로(주), 한국) 및 공기입구댐퍼 변위 (댐퍼 Q 250 Sanison(주), 한국)을 이용하여 평균 공기 유량을 0.069 m<sup>3</sup>/s가 되게 하였으며, 각각 측사의 서쪽벽에 설치되었다. 또한, 온도 환경에 복사 가열램프(할로겐 램프, 600 W)를 이용하여 원하는 온도를 유지하게 하였다. 이는 실내의 온도를 유지하고, 실내 가축의 체온을 유지하기 위해서 열을 제공하는 역할을 하며, 이를 위해서 돈사 내 1.0m 높이에서 복사가 가능하도록 설치하였으며, <그림 7>과 같이 설치하였으며, 실내에 6개를 설치하였다.



<그림 6> 실험 축사의 내부 환경 및 장치



<그림 7> 보온 및 냉각을 위한 송풍 팬과 가열램프

### - 태양 광 발전 시스템

태양전지패널(LG300N1C-B3 (300w))을 실험축사 남쪽 지붕에 설치하였다. 신재생에너지로 이러한 태양광 패널을 설치하고 (ATLASBX SOLAR SB 2000, 12 개 볼트, 200 AHM) 개의 전지에 부착이 태양광 패널을 이용하여 전기 에너지로 변환시켰다. 교류전류로 배터리 인버터에 부착된 직류. 태양광 패널은 전지, 에너지저장 인 밧데리에 연결하여 충전 되도록 하였다<그림 13>, <그림 14>.



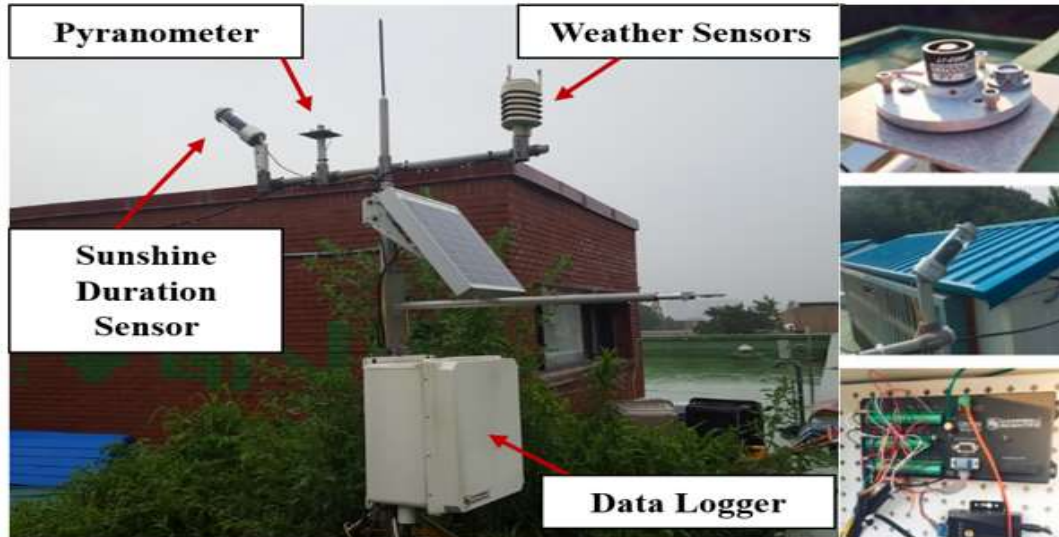
[그림] 남쪽 지붕에 있는 태양 광 패널



[그림] 인버터와 저장 배터리

## - 외부 기상데이터

외부 기상(온도)데이터는 기상관측소 (캠벨과학, 로건, USA)를 이용하였으며, 실험측사 근처에 설치하였다<그림 16>. 데이터는 매 5 분 간격으로 데이터를 저장하였으며, 기상 센서 (WXT520, VIASALA, 핀란드)는 외부 공기의 온도, 습도, 바람의 속도와 방향을 측정하였다.



[그림] 실험 측사 외부환경측정장치

## (13) 에너지수지

### - 실험 가축 측사 내부의 열 균형

열수지를 위한 입력 및 출력 소스는 에너지 밸런스 모델을 이용하여 계산한다(Masy 등., 2015). 공기의 에너지 균형의 개념은 제어 볼륨, 벽, 천장, 바닥, 및 공기 유입구와 공기 배출구에 의해 둘러싸인 공간 내를 의미한다 (올브라이트 LD 등., 1990).

[표] 기호의 의미

$q_s$	Sensible heat gain animal (W)
$q_m$	Sensible heat gain from electrical device (W)
$q_{so}$	Sensible heat gain from sun (W)
$q_h$	Sensible heat gain from heating device (W)
$q_{vi}$	Sensible heat gain from ventilation inlet (W)
$q_w$	Sensible heat transfer through material (W)
$q_f$	Sensible heat transfer through floor (W)
$q_e$	Conversion of sensible heat to latent heat (W)
$q_{vo}$	Sensible heat loss through ventilation outlet (W)
$C_p$	Specific heat capacity of Air ( $Jkg^{-1}C^{-1}$ )
$\rho$	Air density ( $kgm^{-3}$ )

$V_{HB}$	Ventilation rate ( $m^3s^{-1}$ )
$t_i$	Inside Temperature ( $^{\circ}C$ )
$t_o$	Outside Temperature ( $^{\circ}C$ )
$U$	Thermal transmission
$A$	Area ( $m^2$ )
$F$	Perimeter heat loss factor ( $Wm^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ )
$P$	Perimeter length of the building (m)

본 연구에서는 에너지의 개념은 현열에 적용됩니다. 제어 스토리지 볼륨의 변화는 열 이득 및 에너지의 일반적인 형태에 기초하여 열손실의 차이이다. 따라서, 열평형모델 (Samer, M. 등., 2011 Hellickson MA 외., 1983 올브라이트 LD, 1990)의 형태로 표현 될 수 있다(식 1).

$$qs + qm + qso + qh + qvi = qw + qf + qe + qv \text{-----}(1)$$

또한, 각 재료의 단열 정도는 <표 3>과 같이 나타내었다.

[표] 축사 치수 및 U-값

방향	구조	영역 (L × B) (mm)		U-값 (W / m <sup>2</sup> .C)
남쪽	벽	2.2 × 5.4	11.88	0.69
	지붕	1.84 × 5.4	9.94	0.63
북쪽	벽	2.2 × 5.4	11.88	0.69
	지붕	1.84 × 5.4	9.94	0.63
서쪽	벽	(2.2 × 3.3) + (3.3 × 0.7 / 2)	8.42	0.69
동쪽	벽	(2.2 × 3.3) + (3.3 × 0.7 / 2)	8.42	0.69
바닥	바닥	5.4 × 3.3	17.82	0.72

위의 표에서 살펴보면, 차원 방향 및 축사의 영역뿐 만 아니라, 축사에 사용된 재료의 U 계산 값을 나타것이다. 남쪽과 북쪽 지붕이 9.94 m<sup>2</sup>, 축사의 남쪽과 북쪽 벽의 크기는 11.88 m<sup>2</sup>이다. 서쪽과 동쪽 벽은 8.42m<sup>2</sup>이고, 축사 차지하는 공간의 바닥은 17.82 m<sup>3</sup>이다.

## - 결과 및 고찰

모든 기상 데이터 및 내부 가축 데이터 수집과 처리는 엑셀 (마이크로 소프트 오피스 2010, 시애틀, WA, USA)를 이용하여 계산하였다. 이러한 외부공기온도, 내부축사온도 및 열손실 회귀분석 태양방사선의 강도 등의 계측 데이터와의 관계를 파악하고자, OriginPro의 9.0(MA, USA)를 사용하여 수행하였다.

실내 측사 온도와 실외 공기의 온도와 태양 복사 데이터는 태양 광패널의 사용하지 않고 수집되었다.

[표] 태양광 패널을 사용하지 않은 상태에서 실내 및 실외 공기 데이터

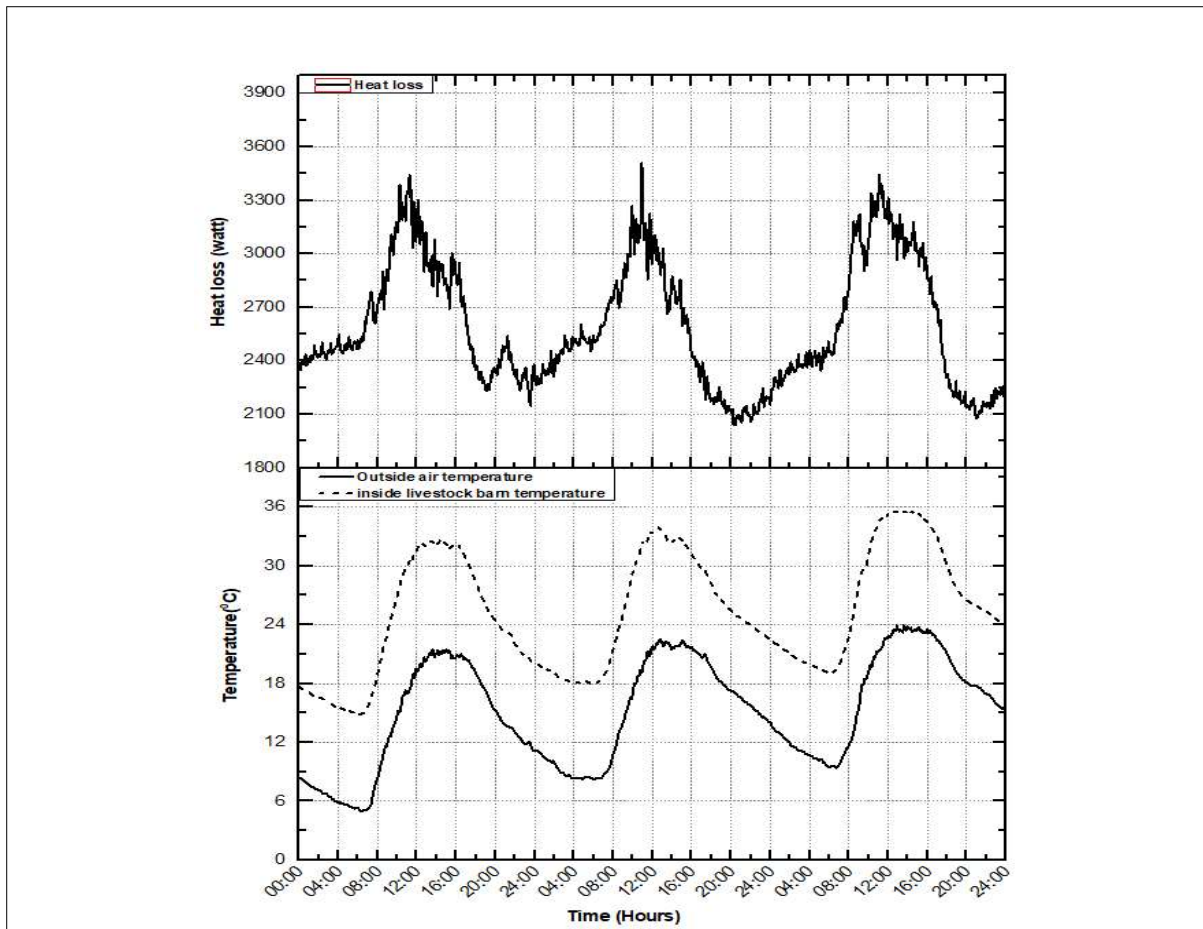
시각 (시간)	내부 계산 온도 (°C)	외부 온도 계산치 (°C)	태양 복사 (W / mm <sup>2</sup> )
12시	19.80	10.79	0.04
1시	19.22	10.01	0.02
2시	18.59	9.20	0.02
3시	18.09	8.57	0.02
4시	17.78	8.17	0.01
5시	17.52	7.90	0.03
6시	17.46	7.65	13.69
7시	19.21	8.82	101.47
8시	22.91	11.91	271.14
9시	27.08	15.44	470.56
10시	30.62	18.27	634.44
11시	32.74	20.25	747.84
12시	33.69	21.69	794.83
13시	33.56	22.15	683.72
14시	33.50	22.16	580.72
15시	33.04	22.08	481.25
16시	32.01	21.68	303.15
17시	30.26	20.77	159.98
18시	27.85	19.04	28.01
19시	26.10	17.49	0.20
20시	25.04	16.46	0.02
21시	24.33	15.69	0.02
22시	23.34	14.80	0.03
23시	22.59	13.91	0.02

#### - 태양 광 패널의 사용하지 않고 온도, 일사량 및 열 손실

Chow 등은 2003년 신재생 자원을 사용하여 실내 쾌적한 환경을 유지하기 위해 건물의 전기 출력을 향상시키기 위해 태양 광 패널을 사용했다. ESP-R 건물에너지 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 수치 해석의 결과는 실내 환경을 개선하는 데 사용할 수 있는 전기므로 더 나은 수익률을 보여주었다. 이를 기반으로 위의 실험결과를 분석하였다. 또한 Tyers, M., 2007년에 태양광패널은 탄소발생을 줄이고 가축을 위한 더 나은 실내 환경을 유지하기 위해 전기를 생산하는 기술로서 가축에게 가장 적합한 솔루션을 발표했다.

<그림 17>은 태양광 발전패널을 사용하지 않는 내부 및 외부 공기 온도 및 열 손실을 나타낸 것이다. 데이터는 3일간 기록이며, 열손실은 온도차이에 따라 계산하였다. 외부 공기 온도는 오전 7시부터 점차 증가하고 오후 2시를 기점으로 점차 감소하는 것을 알수 있다. 또한, 내부 측사의 온도는 이른 아침 오전 7시 증가와 오후 2시 최대에 도달 시작

3 일간 측정하였다.



[그림] 태양광발전 패널을 사용하지 않는 내부 및 외부 공기 온도 및 열 손실.

내부 축사 온도의 증감 경향은 외기온도와 유사한 형태로 나타났다. 그러나, 상기 열 손실은 에너지 모델을 이용하여 산출하고, 온도 차이 사이의 밀접한 관계를 발견하였다. Lee등은 2011년에 열 손실 및 온도차이를 회귀 분석을 사용하여 열 손실이 온도차에 따라 선형 적으로 증가하는 것이 관찰하였다.

마찬가지로 온도, 태양 방사선 데이터가 측정되고 내부와 외부의 온도 및 열 손실을 비교 하였다. 태양 방사선의 지속 시간은 아침 7시에서 저녁 7:00 PM까지이며, 최대 태양 방사선은 12:00 pm에 발견되었다.

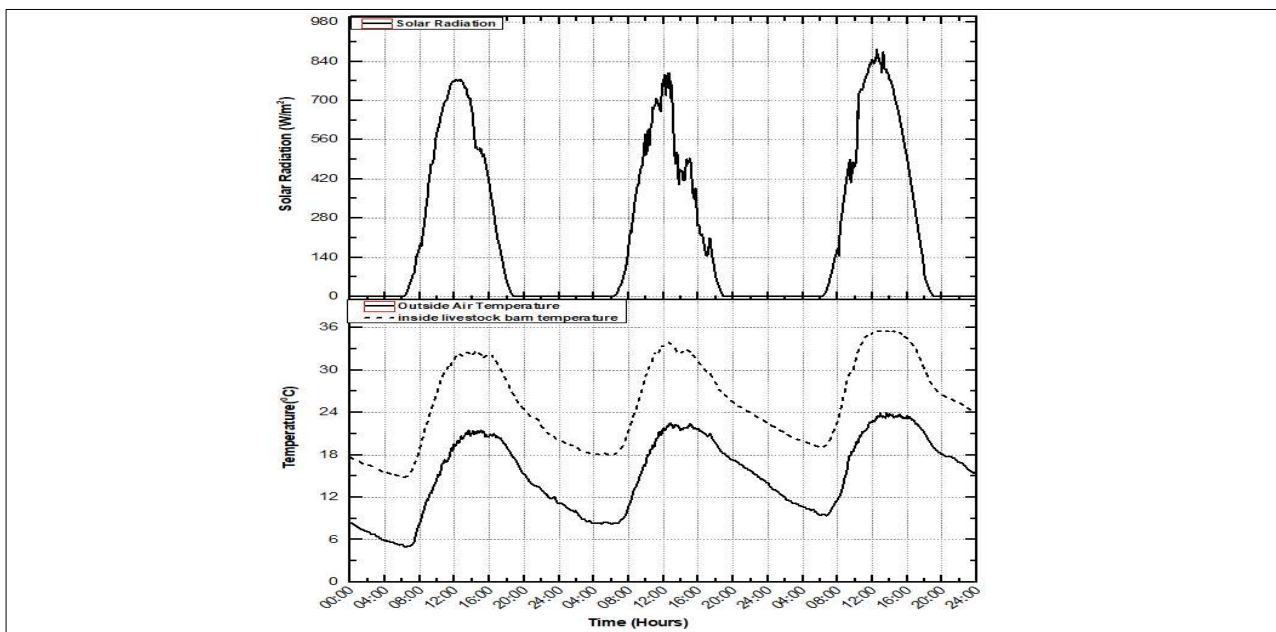
태양 방사선, 열손실 및 축사 내부 온도 측정 데이터를 3 일 측정된 결과, 증감의 경향은 유사하게 나타났다. 최소, 최대 및 실외공기, 실내축사 온도, 태양복사열을 포함해서 열손실과 온도 차이에 대한 분석은 <표 5>에서 나타내었다.



[표] 최대, 최소 및 평균, 열 손실, 온도

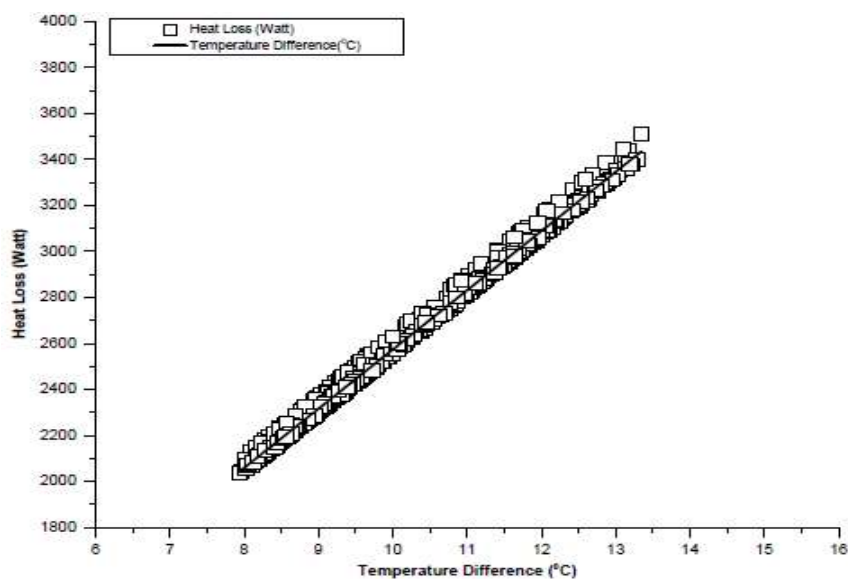
일	데이터	온도 (°C)			열 손실 (와트)	태양 방사선 (W / m <sup>2</sup> )
		외부	내부	ΔT		
일 - 1	최대	20.5	32.7	11.2	3340.7	775.6
	최소	4	14.8	9.8	2148.2	0
	평균	13.2	23.6	10.4	2638.9	219.0
	SD	5.76	6.38	1.2	311.8	248.0
일 - 2	최대	21.5	33.9	10.4	3408.8	797.1
	최소	8.2	16.9	9.7	1937.4	0
	평균	15.3	25.7	10.4	2519.8	193.6
	SD	5.0	5.4	1.2	329.4	254.6
일 - 3	최대	23.9	35.6	11.7	3444.3	883
	최소	9.4	19.1	9.7	2078.7	0
	평균	16.9	27.1	10.2	2609.8	246.1
	SD	4.9	5.9	1.5	396.1	316.4

위의 표에서 1일째는 최대, 최소 및 평균온도차는 11.2°C, 9.8°C, 10.4°C이다. 열은 에너지모델을 만드는데, 사용되었으며, 최대, 최소 및 평균손실량은 3340.7w, 2148.2w, 2638.9w이고, 평균태양복사는 219.0 (W/m<sup>2</sup>), 최대값은 775.0(W/m<sup>2</sup>)이다. 마찬가지로 2일째는 최대, 최소 및 평균온도차는 10.4°C, 9.7°C, 10.4°C로 나타났다. 같은 날 열손실계산은 3408.8w, 1937.4w, 2519.8w로 나타났다. 평균일사량은 193.6(W/m<sup>2</sup>)6이었고 최대는 797.1(m<sup>2</sup>/W)이었다. 그러나 3일째는 온도차의 경우, 최대 11.7°C, 최저 9.7°C 및 평균 10.2°C로 나타났다. 또한 열손실 평균 2609.8w, 최대 3444.3w, 및 최소 2078.7w이며, 전체적으로 태양방사선 883.0(m<sup>2</sup>/W)와 평균246.1(m<sup>2</sup>/W)이었다. 3일간의 평균온도차는 약간 증가했고 결과적으로 변화가 열손실에서 약0.6°C정고 감소시킨다.



[그림] 태양 전지를 사용하지 않는 내외부 온도의 일사량

<그림 18>은 태양열 복사, 주변 온도 및 내부 실온을 나타낸 그림이다. 태양방사선은 내부와 외부 온도를 이용하여 비교하였다. 1일째, 최대일사는 775.6W/m<sup>2</sup>, 평균일사는 219.0 W로 나타났으며, 표에서 일사량이 가장 높은 시점에서 최대 온도도 서서히 감소하는 것을 알 수 있다. 2 일째, 최대태양방사선 797.1W/m<sup>2</sup>에 도달하였다. 이는 높은 외기온의 영향으로 판단되면, 최고기온의 증가에 따른 영향으로 판단된다. 3 일째, 최대 일사량은 883.1W/m<sup>2</sup>로 나타났으며, 평균은 246.1W/m<sup>2</sup>로 나타났다. 이러한 일사량은 오전 6시부터 서서히 증가하고, 오후 6시까지 계속된다. 주위 온도는 일사량과 증가 및 감소의 형태가 유사하고, 동일한 패턴을 가지는 것은 높은 상관관계를 가지는 것을 의미한다.



[그림] 태양광패널을 사용하지 않고 열 손실과 온도 차이의 상관관계

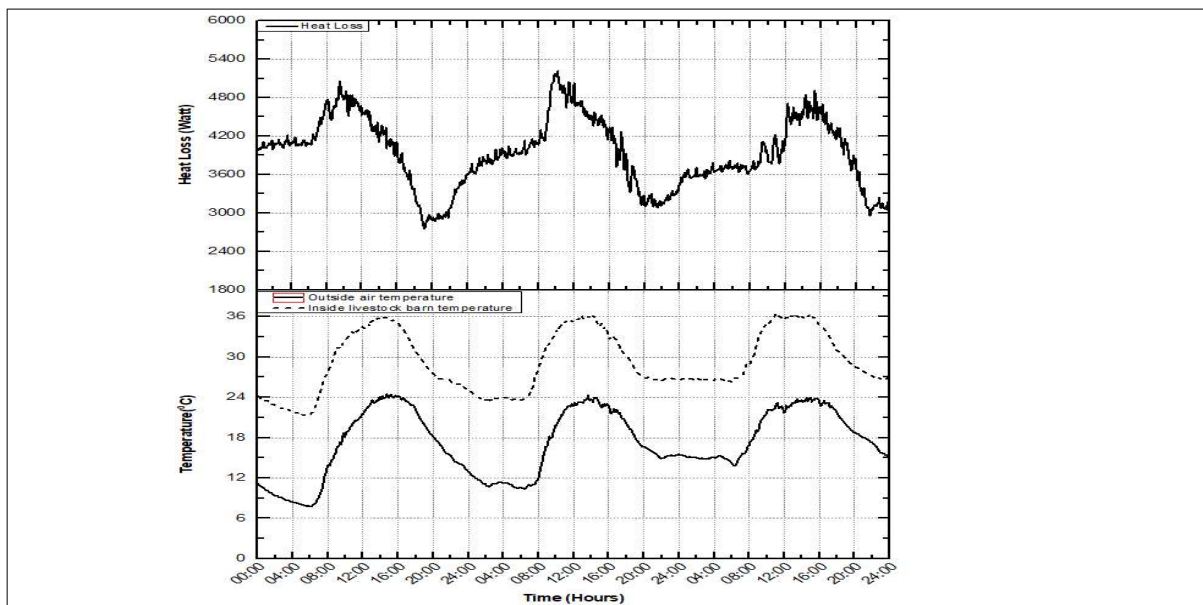
<그림 19>는 측사 내외부의 온도차이와 열손실과의 상관관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 살펴보면, 온도차와 열손실과의 사이에는 거의 선형관계를 유지하는 것을 알 수 있으며, 회귀분석을 통한 결과를 살펴보면  $R^2 = 0.99$ 로 매우 높은 상관관계를 유지하면서 증가 및 감소의 형태를 나타낸다.

또한 실내온도와 외기 온도 및 일사량 데이터를 태양광패널과 동시에 자료를 수집하였다. <표 6>은 측사내부의 기온과 외부와 기온차 및 태양복사열을 나타낸 표이며, 이것을 기반으로 태양광패널이 열손실에 미치는 영향 등을 계산하는 자료로 활용하였다. 이는 앞절에서와 마찬가지로 최고, 최저 및 평균 내외부 온도, 일사량 및 열손실량을 계산하고 정리하였다.

[표] 태양광패널 사용하는 경우의 실내외온도 및 태양복사열

시간 (시간)	내부 계산 온도 (°C)	외부 온도 계산치 (°C)	태양 복사 (W/mm <sup>2</sup> )
12시	25.07	12.77	0.03
1시	24.58	12.11	0.02
2시	24.29	11.66	0.02
3시	24.24	11.64	0.03
4시	24.11	11.52	0.02
5시	23.84	11.07	0.02
6시	24.38	11.07	15.01
7시	26.83	12.86	134.74
8시	29.85	15.92	326.58
9시	32.70	(18.85)	536.09
10시	34.34	20.86	691.09
11시	35.13	22.01	784.12
12시	35.39	22.74	813.82
13시	35.89	23.50	765.13
14시	35.80	23.71	643.19
15시	35.12	23.55	523.18
16시	33.79	22.94	332.38
17시	31.81	22.12	136.69
18시	29.98	20.27	19.48
19시	28.28	18.48	0.07
20시	27.37	17.37	0.02
21시	26.96	16.30	0.04
22시	26.56	15.42	0.04
23시	25.58	14.83	0.03

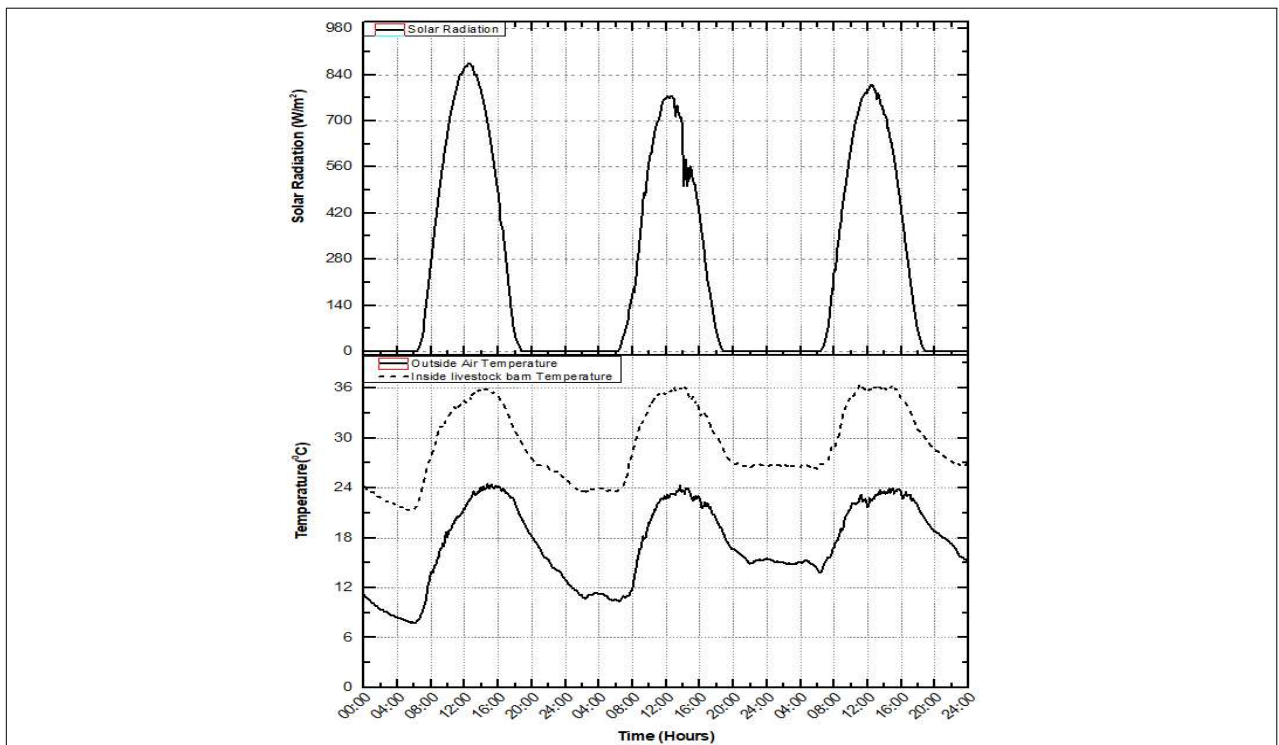
<그림 20>은 축사내외부의 온도 및 열손실자료를 나타낸 그림이다. 전체적으로 3일간 의 데이터를 나타낸 그림이며, 외부 공기 온도는 아침 6:00부터 온도가 증가하고, 15:00 이후에 감소하는 것을 알 수 있으며, 이것은 최고기온을 정점으로 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 앞절에서와 마찬가지로 태양광패널의 일사량은 축사외부의 온도와 같은 패턴 을 가지는 것을 알 수 있다.



[그림] 태양복사열량과 축사내외부 온도

[표] 태양광패널을 사용하는 경우의 자료

일	구분	기온 (°C)			열 손실 (와트)	태양 방사선 (W / m <sup>2</sup> )
		외부	내부	ΔT		
1 일	최대	24.7	36.4	11.7	5055.9	875.0
	최소	7.8	21.3	13.6	2749.9	0.0
	평균	16.2	28.5	12.3	3938.1	259.8
	SD	5.8	5.0	1.8	584.9	330.5
2 일	최대	24.1	35.7	11.6	5213.6	775.6
	최소	10.4	23.5	13.1	3086.8	0.0
	평균	16.7	29.0	12.3	3966.0	218.1
	SD	4.8	4.5	1.5	557.5	283.3
3 일	최대	24.3	36.2	11.9	4905.6	810.0
	최소	13.8	26.3	12.5	2955.2	0.0
	평균	18.8	30.4	11.6	3789.8	238.2
	SD	3.4	3.8	1.2	504.7	303.9

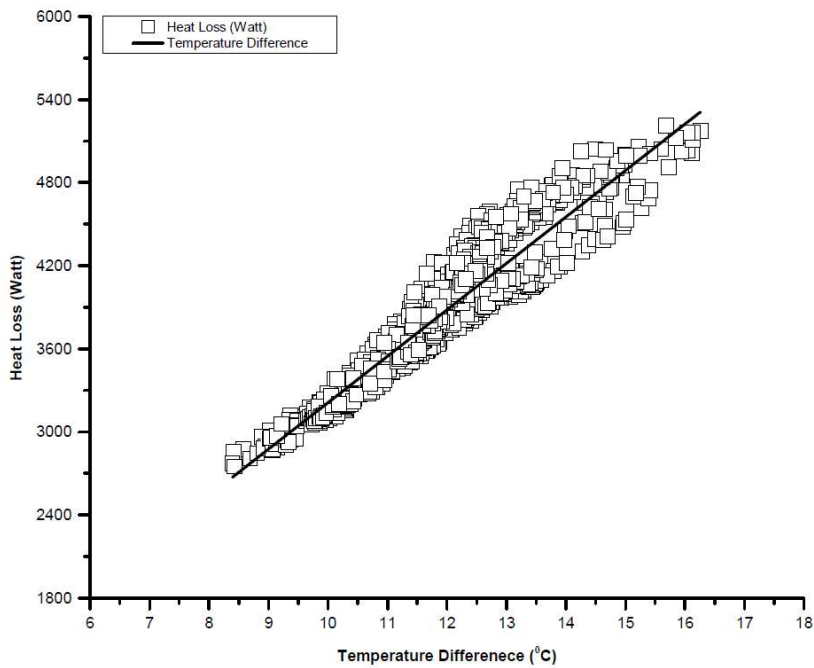


[그림] 태양 복사열에 의한 내외부 온도

위의 표에서 살펴보면, 1일째, 최대, 최소 및 평균온도차는 11.7°C, 13.6 °C 및 12.3°C로 나타났다. 이는 에너지모델을 구축하는데 기본 자료로 활용된다. 이것을 기본으로 열손실을 계산한 결과, 최대, 최소 및 평균 열손실은 각각 5055.9w, 2749.9w 및 3938.1w가 나왔으며, 이때 태양의 평균복사열은 259.0(W/m<sup>2</sup>), 최대값은 875.0(W/m<sup>2</sup>)로 나타났다. 같은 방법으로 2일 째, 최대, 최소 및 평균온도차는 각각 11.6°C, 13.4 °C 및 12.3°C로 나타났다. 또한 열손실의 경우에도 각각, 5213.6w, 3086.8w, 및 3966.0w로 나타났다. 또한 평균일사량 218.1(m<sup>2</sup>/W)이고, 최대 775.6(m<sup>2</sup>/W)이었다. 그러나, 3일째, 최대, 최소 및 평균온도차는 각각 12.5°C, 11.6°C, 11.9°C였다. 또한 평균열손실 4905.6w이고, 최대값, 최소값은 각각 2955.2w, 3789.8w로 나타났다. 마지막으로 최대 일사량

810(m<sup>2</sup>/W)와 평균일사량은 238.2(m<sup>2</sup>/W)로 나타났다.

<그림 21>은 태양광발전시스템을 부착한 상태에서 측사내외부의 온도 및 태양복사열을 표시한 그림이다. 1일째는 최대, 최소 온도는 각각 24.7°C, 7.8°C이고, 평균은 16.2°C이다. 한편, 최소, 최대 내부 온도는 각각 21.3°C, 36.4°C이며, 평균 28.5°C이다. 이때, 열손실은 평균 3938.1w, 최대, 최소 열손실은 각각 5055.9w, 2749.9w로 나타났다. 이러한 자료는 태양광패널을 부착한 상태에서 내부의 온도가 증가한 것을 알 수 있다. 2일 째는 1일째와 마찬가지로 거의 유사한 형태를 보이는 것을 알 수 있다.



[그림] 태양광패널을 사용한 경우, 열 손실과 온도차의 상관관계

<그림 22>는 태양광패널 사용과 온도차이, 열손실의 상관관계를 나타낸 그림이다. 여기는 살펴보면, 열손실과 온도차이의 상관분석 결과  $R^2=0.88$ 로 나타났으며, 이는 태양광패널이 없는 상태에 비해서 낮은 상관관계를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 태양광패널이 상관도에 영향을 미친 것을 알 수 있다.

[표] 태양광패널 사용한 경우, 온도차이 및 열손실의 추정

Days	Data	Temperature (°C)						HLP	HLWP (Watt)	HLD (Watt)
		OTP	OWP	ΔT	IP	IWP	ΔT			
Day-1	Mean	16.2	13.2	3.0	28.5	23.6	4.9	3938.1	2638.9	1299.2
Day-2	Mean	16.7	15.3	1.4	29.0	25.7	3.3	3966.0	2519.8	1449.2
Day-3	Mean	18.8	16.9	1.9	30.4	27.1	3.6	3789.8	2609.8	1180.0

OTP: Outside air temperature with photovoltaic panels

OWP: outside temperature without photovoltaic panels

*ΔT: Temperature Difference*

*IP: Inside livestock barn temperature with photovoltaic cells*

*IWP: Inside livestock barn temperature without photovoltaic cells*

*HLP: Heat loss with photovoltaic panels*

*HLWP: Heat loss without photovoltaic panels*

*HLD: Heat loss difference*

위의 표에서 태양광패널의 사용한 경우와 태양광패널을 사용하지 않고 경우의 온도차를 표시하였는데, 태양광패널을 사용한 경우에 축사내부의 온도를 2-3°C 증가 한다는 것을 알 수 있다,

### - 외부공기의 온도에 따라 축사내부의 환경유지를 위한 태양전지패널

실험축사의 체적은 157.46m<sup>3</sup>이다. 이 경우에 실내 공기온도는 돼지의 체중에 따라 변할 수 있지만, 일반적으로 실내 온도는 21-32°C를 유지하는 것이 환경측면에서는 유리하다. 따라서 아래 <표 9>는 적정 태양광패널을 제안할 수 있는 근거를 나타낸 것이며, 이를 밧데리 형태로 표시하였다.

[표] 실험축사에 따른 태양광패널의 적정예

온도 (°C)				Solar panels(kW)	Batteries (200Ahm) 12 volt
Outside air temp (To)	Indoor air temp(Ti)	Desire temp (Td)	Required temp difference (Td-Ti)		
<10	15-18	28	13-10	2.0	6
10-15	<b>18- 21.7</b>	28	10-6.3	1.4	5
15-20	<b>21-23.6</b>	28	7-4.4	0.8	3
>20	<b>25-28</b>	28	3-0	0.5	2

위의 제시한 결과를 살펴 보면, 실험연구를 기반으로 외기온도에 따라 <10°C인 경우, 내부가 약 15~18°C인 것을 알 수 있었다. 또한 희망온도가 28°C이며, 온도 차이는 13-10°C로 나타났다. 또한 온도차가 13-10°C인 경우에는 태양광은 2.0킬로 전력량계 및 태양전지패널 6개가 필요하다는 것을 알 수 있다. 위의 표는 외기온과 내외부 온도 차이에 따른 태양광패널의 개수를 추정하는 표이다. 이것은 다음의 수식으로 정리될 수 있다.

$$SP(kW) = 4.625 - 0.165(OT) + 0.001(VL) - 0.075(RTD) + 0.001(SR)$$

where, SP = Solar Panels

OT = Outside air temperature,

VL = Volume of livestock barn,

RTD = Required temperature difference,

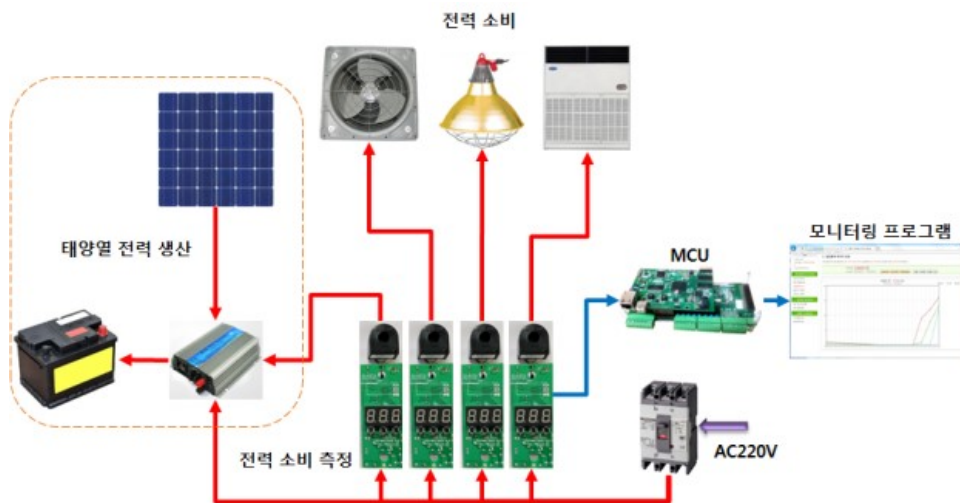
SR = Solar Radiation

따라서 본 연구에서 최종적으로 축사에서 에너지평형식을 기반으로 실험적으로 필요한 신재생에너지의 량 및 필요시스템을 설정하는데 기초자료가 될 것으로 판단된다.

### 3. 제1협동 : ICT기반 에너지 순환형 축사관리 시스템 개발 (주)나래트랜드

#### 가. 전력량계와 태양열 전력 생산 시스템의 설계

그림은 동물복지 실현을 위한 ICT 기반 에너지 순환형 축사환경 관리시스템 개발을 위한 소비전력 측정 시스템 구성도이다.



[그림] 소비전력 측정을 위한 시스템 구성도

위의 시스템은 크게 2가지로 나뉜다. 하나는 각 전력 소비 기기들에 대한 소비전력 측정과 다른 하나는 태양열 전력 생산하여 그에 대한 소비전력을 측정하는 것으로 구성 되어 있다. 먼저, 소비전력 측정 부분에서는 모형 돈사에 설치된 팬, 히팅 전열기, 에어컨 등에 대한 소비전력을 측정하도록 한다.

다음 태양열 전력 생산 부분에서는 태양열로 생산된 전력을 배터리에 축적하고 그에 대해 소비되는 전력을 측정하도록 구성하였다. 소비전력 측정 부분에는 4개의 소비전력 측정 모듈이 들어가 있으며, 아래 표와 같이 각 측정 모듈이 할당되어 있다.

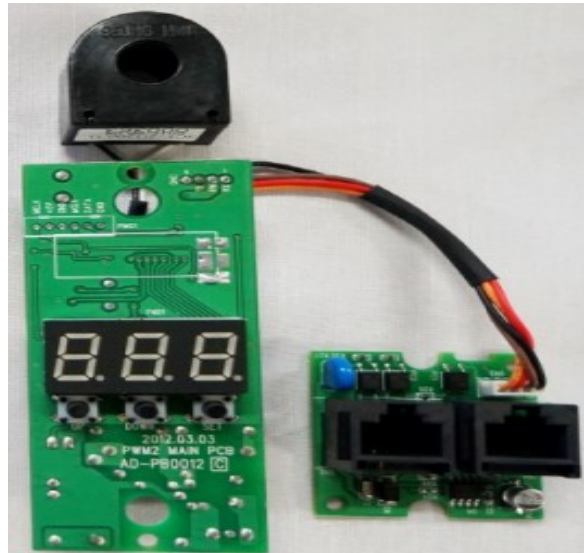
[표] 소비전력 측정 모듈 할당

Section	할당	수량
#1	태양열 소비 전력	1대
#2	환기 팬	1대
#3	히팅 전열기	1대
#4	에어컨	1대

## 나. 전력량계와 태양열 전력 생산 시스템의 구성

### (1) 전력량계의 시스템 구성

전력량계는 전력을 측정하는 모듈과 전력선에 흐르는 전압 및 전류를 감지해 내는 감지코일, RS-485 방식으로 통신할 수 있는 통신 모듈로 구성되어 있다. 아래 그림은 소비전력 측정 모듈에 대한 사진이다.



[그림] 소비전력 측정 모듈 사진

감지코일에서 출력되는 신호의 세기를 측정모듈 내부에 있는 MCU에서 ADC를 통해 디지털 데이터로 변환한 다음 7-세그먼트를 통해 값을 출력하는 구조로 구성되어 있다. 또한 RS-485 통신을 통해 전압, 전류, 임계값 등을 서버로 전송할 수 있도록 구성되어 있다. 아래 표는 소비전력 측정 모듈의 규격표이다.

[표] 소비전력 측정 모듈 규격표

항목	규격	비고
저전압	AC 190V	
과전압	AC 250V	
저전류	AC 0.0A	
과전류	AC 15.0A	
전압 경고 임계 값 범위	AC 190V ~ 250V	
전류 경고 임계 값 범위	AC 0.0A ~ 15.0A	
입력 전원	AC 220V 2선식	
측정 모드	전압, 전류, 역률, 전력	
통신 방식	RS-485	2-wire sharing

전압/전류 경고 임계 값 범위를 설정하여 그 이상이거나 이하로 측정될 시에는 경보음과 함께 7-세그먼트가 점멸을 하여 경보를 발생한다. 또한, 경보 정보를 서버로 전송하여 서버에서는 경보 발생을 감지하여 경보를 표시할 수 있다.



## (2) Main Control Unit의 구성

Main Control Unit은 CPU, Memory, Ethernet Phy, USB, GPIO 등으로 구성되어 있다. 아래의 그림은 Main Control Unit 사진이다.



[그림] 1차년도 소비 전력 측정용 Main Processing Unit

CPU는 ARM9 계열의 범용 CPU를 사용하였으며, 그에 따른 Flash Memory로 구성되었다. CPU는 RS-485 프로토콜을 처리하며, Ethernet을 통하여 모니터링 프로그램이 있는 서버와 통신을 하여 데이터를 전송하고 처리한다.

Ethernet은 10/100Mbps를 지원하며, 케이블은 Cat.5이상을 사용하면 통신이 가능하다. 표준 RJ45를 이용하여 범용성을 갖는다. 내부 Ethernet 프로토콜은 TCP/IP 통신으로 이루어진다. 아래의 표는 2차 년도에 개발된 MCU의 스펙이다.

양방향 데이터 통신을 위한 기반 장비로서 전력량계와의 통신을 통해 데이터 서버로 자료를 전송하는 기능을 한다.



[그림] 2차년도 소비 전력 측정용 Main Processing Unit

[표] Main Control Unit의 스펙

항목	스펙	비고
입력 전원	DC 12V	
CPU	Cortex M3	
Ethernet	10/100Base-TX 1ea	
USB	USB 2.0 Type B	
센서 채널 INPUT	8CH	
센서 채널 OUTPUT	8CH Relay	
RS-485	1EA	

### (3) 태양열 집광판의 구성

태양열 집광판은 시범 돈사의 지붕에 설치되었다. DC 12V 100W급으로 전력이 생산된다. 1차년도에 태양열 집광판을 한 개 설치하여 운영하였으나 실제적인 생산량을 파악하기 위해 집광판을 2대 운영하기 위해 1대를 더 설치하였다.

아래의 그림은 태양열 집광판 사진이다.



[그림] 모형돈사에 태양광 패널 부착 사진

### (4) 에너지 순환형 축사관리 시스템 개발

#### (가) 실시간 데이터 화면의 구성



[그림] 실시간 모니터링 프로그램 화면

전력을 측정하는 4개의 측정모듈을 태양열 생산전력, 환기팬, 히팅전열기, 에어컨으로 분류하여 4개 섹션으로 구분하였다.

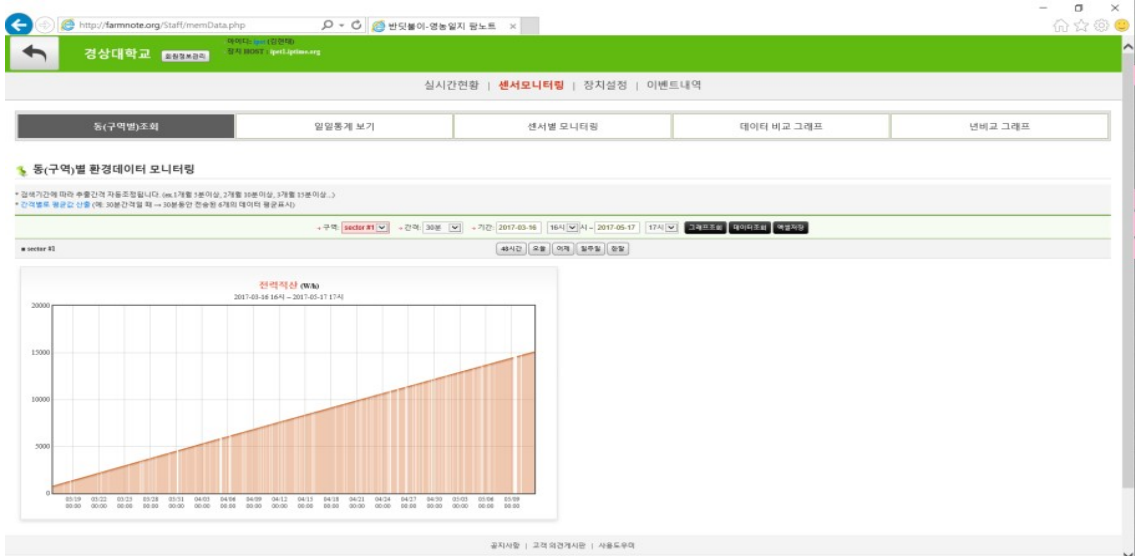
[표] 소비전력 측정 구역 할당

Section	할당	측정 단위 시간
#1	태양열 생산 전력	10분
#2	환기 팬	10분
#3	히팅 전열기	10분
#4	에어컨	10분

위의 표에서 보는 바와 같이 각 섹션마다 그 역할이 할당되어 있고, section #1은 태양열의 소비전력을 측정하고, section #2는 환기 팬의 소비전력을 측정하고, section #3은 히팅 전열기의 소비전력을, section #4는 에어컨의 소비전력을 각각 측정한 데이터가 10분마다 전달이 되면 즉시 화면에 출력을 하도록 설계 되어있다.

(나) 동(구역)별 환경데이터 모니터링 화면의 구성

아래의 그림은 동(구역)별 환경데이터 모니터링 화면이다.



위 그림은 각 Section 별로 수집된 데이터를 표시하는 모니터링 화면이다.

각 모니터링의 데이터가 자세한 데이터 또는 추이를 보고 싶을 때 사용하는 모니터링 프로그램이다. 현재 그림은 적산전력량을 표시하는 것으로 시간이 지날수록 그 수치가 누적되어 증가하는 것을 알 수 있다.



위의 그림은 Sector#2에 대한 적산전력량을 그래프조회로 표현된 그림이다.

(다) 일일통계 보기 화면의 구성

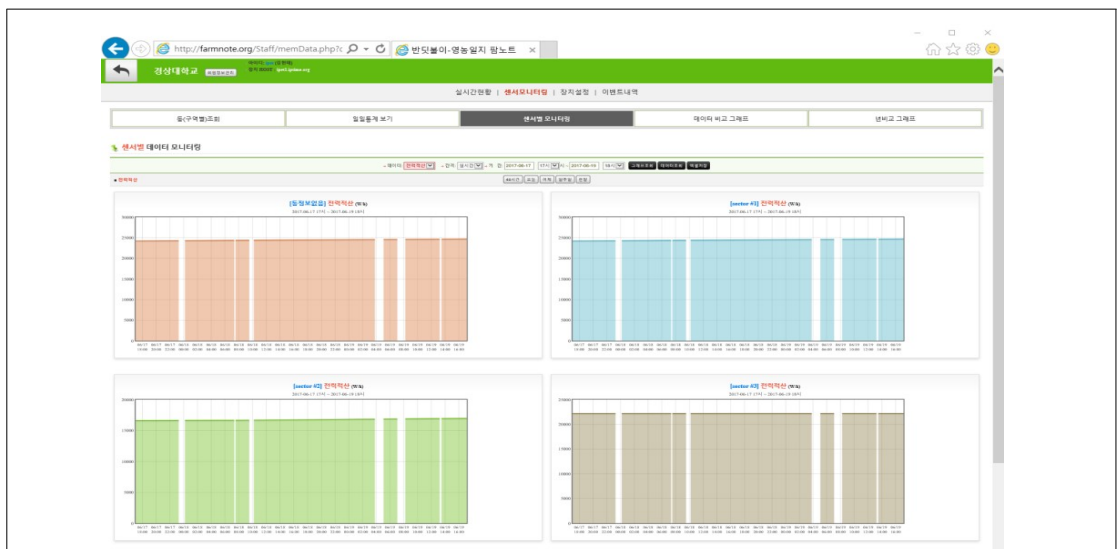
아래의 그림은 일일통계 보기 화면이다.



위 그림은 Section을 기준으로 사용자가 원하는 기간 동안의 데이터를 표시하는 모니터링 프로그램이다. 각 일정 별로 최고, 최저, 평균에 대한 값을 표시할 수 있어 급격한 온도 차이 등을 날자 별로 쉽게 알아볼 수 있는 환경을 제공한다. 온도가 상승함에 따라 수치가 증가함을 알 수 있다.

(라) 센서별 모니터링 그래프 화면의 구성

아래의 그림은 센서별 모니터링 그래프 화면이다.



위 그림은 모든 Section에서 발생된 데이터를 기간 단위로 표시하는 모니터링 프로그램이다. 이는 각 Section에서 발생한 소비전력량을 설정된 기간 단위에서 쉽게 알아볼 수 있도록 표시할 수 있다.

(마) 데이터비교 그래프 화면의 구성

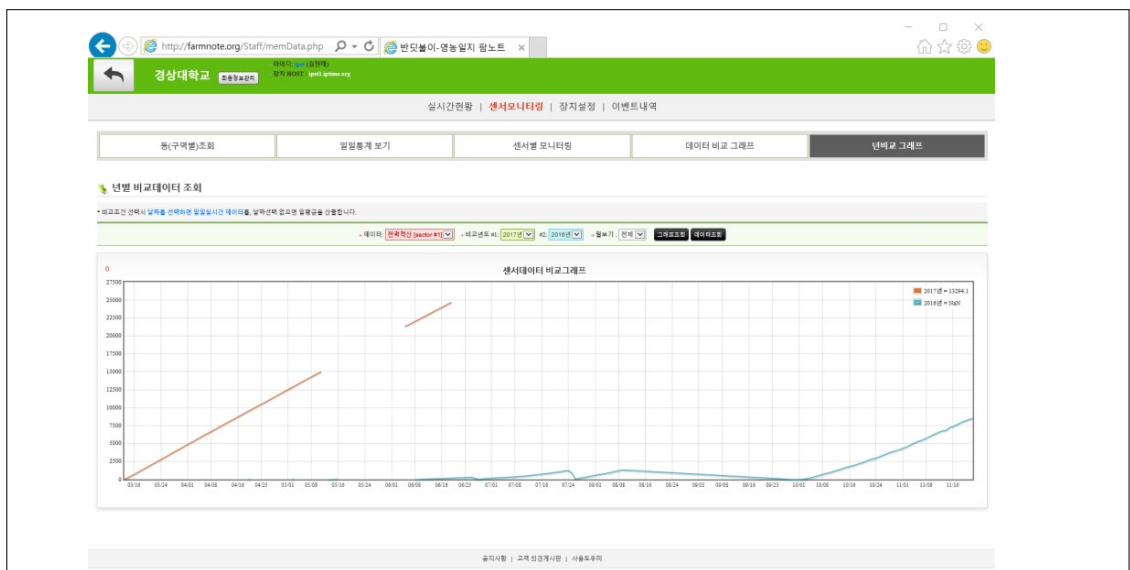
아래의 그림은 데이터비교 그래프 화면이다.



위 그림은 데이터비교 그래프로써 Section 별로 설정 기간 동안의 데이터를 동시에 표시할 수 있는 모니터링 프로그램이다.

(바) 연간비교 그래프 화면의 구성

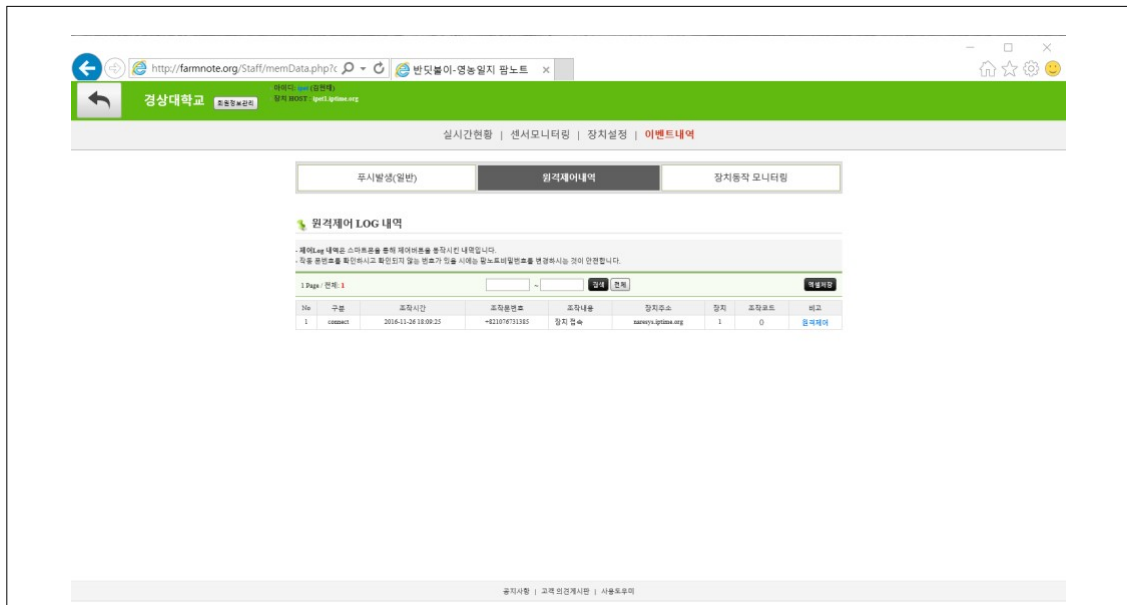
아래의 그림은 년비교 그래프 화면이다.



위 그림은 년 비교 데이터를 표시한다. 붉은 색은 2018년 데이터이고, 파란색은 2017년도 데이터를 표시한 것이다.

(사) 원격제어 로그내역 화면의 구성

아래의 그림은 원격제어 로그내역 화면이다.



위 그림은 MCU를 원격으로 제어한 내용을 확인할 수 있는 모니터링 프로그램이다. 조작시간, 조작내용, 어떤 장치를 제어했는지 등을 알 수 있다.

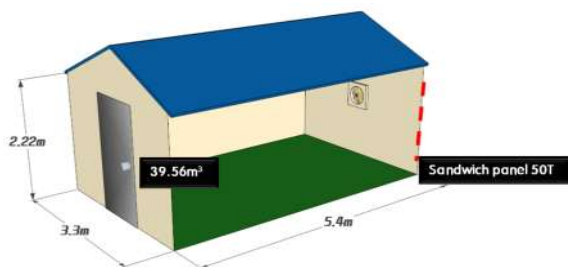
다. 실험돈사 설치

(1) 모형돈사 설계 및 제작

모형돈사는 대한한돈협회 표준돈사 설계도(Korea Pork Producers Association, 2009)를 기준으로 상사법칙을 적용, 축소하여 샌드위치 패널(EPS Panel) 두께 50 mm, 가로 3,300 mm, 세로, 5,400 mm, 높이 2,200 mm로 설계하여 제작함



[그림] 모형돈사 외부



[그림] 모형돈사 모식도

## (2) 실험돈사 내 전력량계 설치

회전원판에 전력과 비례하는 회전력을 가하여 전력의 사용시간을 원판의 회전수로 적산하는 원리인 전력량계를 모형 돈사 내에 설치하여 원판의 회전축과 연결된 계량장치에 숫자로 표시됨.

실험에 필요한 사육환경을 조성하기 위해 제어하는 환경 변수들에 관하여 소모하는 전력량을 실시간 모니터링 할 수 있으며, 단위는 Wh로 표시됨

Sector 1(Sunlight pannel), Sector 2(Heat lamp), Sector 3(Exhaust fan), Sector 4(Air conditioner)로써 4가지 항목에 대해서 코일을 연결하여 전력량을 모니터링 함.



[그림] 모형돈사에 태양광 패널 추가 부착



[그림] 모형돈사에 설치된 제어장치 설치

## (3) RS-485 프로토콜

돈사 내부에서의 전력 측정 모듈과 Main Control Unit은 논리적으로 RS-485 인터페이스로 구성되어있으며, 물리적으로 2-wired sharing으로 연결되어 있다. 또한, 아래와 같은 RS-485 프로토콜을 이용하여 데이터 통신을 실행한다.

항목	통신설정	비고
통신 방식	RS-485	
속도	19,200bps	
패리티	N	
정지 비트	1	
흐름제어	N	

[표] Frame 구조 (MCU -> 전력 측정 모듈)

Start Code	Header (4byte)			DATA	CRC	EXT
0x15	Dest ID 2Byte	Source ID 1Byte	Cmd Code 1Byte	n Byte	2Byte	0x03

[표] Frame 구조 (전력 측정 모듈 -> MCU)

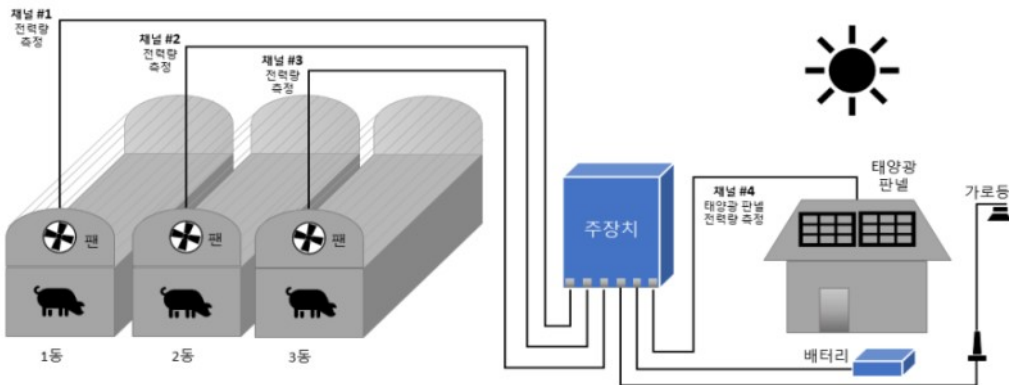
Start Code	Header (4byte)			DATA	CRC	EXT
0x1A	Dest ID 1Byte	Source ID 2Byte	Cmd Code 1Byte	n Byte	2Byte	0x03

라. 스마트전력 측정 시스템 설치 장비

(1) 시스템 소개

스마트 전력 측정 시스템은 ARCVIEW-SYS-100을 기반으로 전력 측정 모듈과 485통신 보드, EYSEEN4, SMPS, CT, 태양광 발전량 측정을 위한 측정 보드와 태양광 발전 시스템 등으로 구성된다. 이 시스템은 AC 전압과 전류를 측정하고 사용 전력량을 디스플레이 하고 통신을 통해 측정된 값을 인터넷을 통해 서버로 전송한다

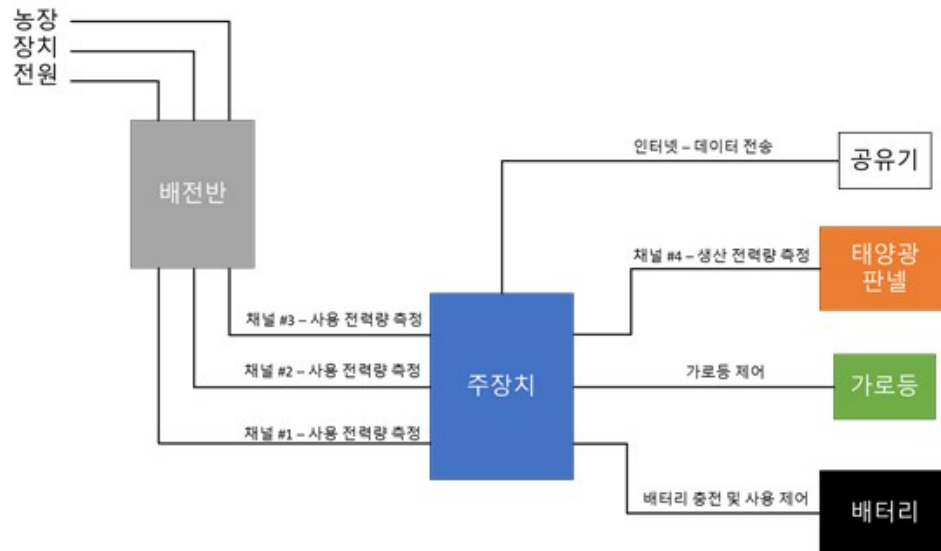
(2) 시스템 구조 및 설계



[그림] 스마트 전력 측정시스템 설치 구성도

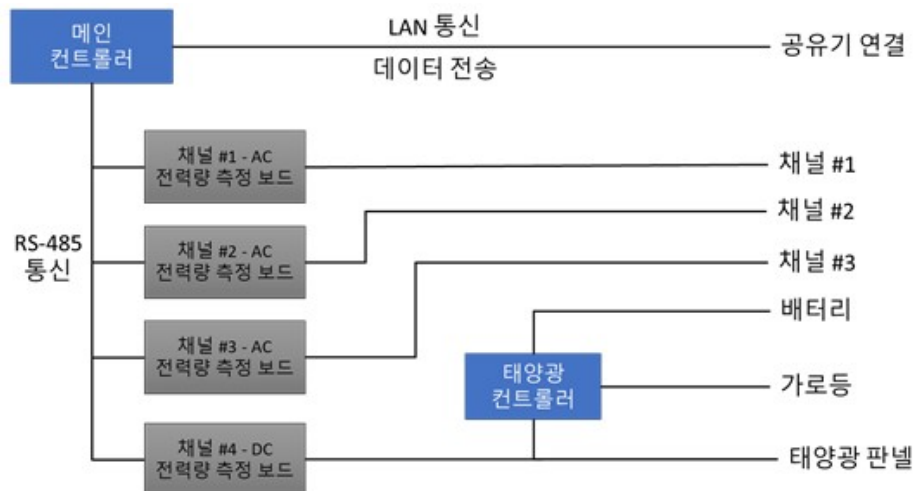
스마트 전력 측정시스템의 설치 구성도와 같이 CH1, CH2, CH3에 대해 축사의 전력 소비량을 측정하고, CH4는 태양광 판넬로부터 생산되는 재생 에너지의 전력 생산량을 측정한다. 또한 태양광 판넬에서 생산된 전력량을 가로등의 소비전력량으로 소비한 양과 비교 측정한다.





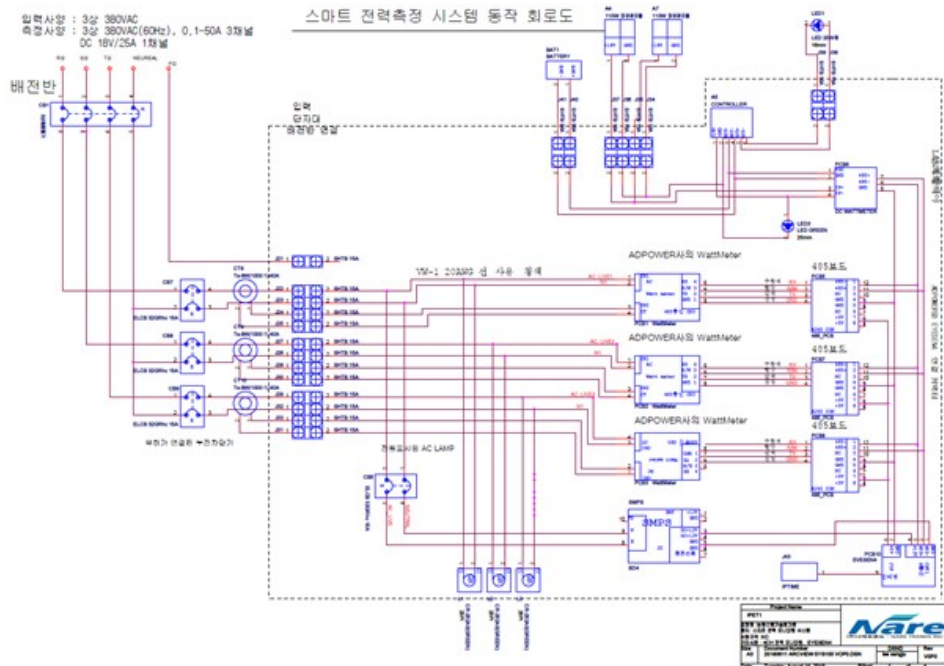
[그림] 스마트 전력 측정시스템 설치 블록다이어그램

실제 측사에 설치되는 상태에 대한 블록다이어그램이다. 농장의 전원은 배전반을 통해 전원이 공급되며 그 전력선은 CH1, CH2, CH3은 각 측사로 공급되는 전원으로서, 이 전원선과 주장치가 연결되어 공급되는 전력량을 측정할 수 있다. 태양광 패널에서 생산되는 CH4의 전력을 배터리에 충전되며 야간에 사용되는 가로등으로 소비전력량을 측정하였다. 또한 공유기를 통해 데이터를 데이터베이스로 전송하였다.



[그림] 스마트 전력 측정시스템 연결도

스마트 전력 측정시스템의 메인 컨트롤러는 CH1,CH2,CH3,CH4의 전력량 측정보드와 RS485로 다중 연결된다. 또한 메인 컨트롤러는 LAN 통신을 통해 공유기와 연결되어 인터넷을 통해 데이터베이스에 데이터를 저장하고 관리하는 기능을 지원한다.



[그림] 스마트 전력 측정시스템 회로도

스마트 전력 측정시스템의 회로도이다. 메인 컨트롤러와 전력량 측정 보드와 RS485로 연결됨을 확인할 수 있고, CT를 통해 전력량을 측정하여 메인 컨트롤러에서 전력량을 확인할 수 있다.

(3) 정격 사양

(가) AC 전력 측정 시스템 전기적 사양

항목	사양	비고
사용전압	AC 220V±20%	60Hz
측정 전류	AC 0.1A~30A	
측정 무효전력	AC 0.01~10kVAR	
본체 모듈	87(W)X27(H)X36(D)mm	
통신모듈	38(W)X22(H)X40(D)mm	
RS485	속도19200bps, 정지비트1,ID설정:1-256	
전압 전류 측정채널	4채널	
통신보드	LAN통신	EYSEN4
전원표시등	AC 전원표기	GREEN, 1채널
FND 표기	유효전력(W), 전류(A), 전압(V), 역률(PF)	3 Digit FND 로 계측된 모든 계측 값을 표시
전류 정보	RMS 값으로 계측	

(나) 태양광 발전 전력량 측정 전기적 사양서

항목	사양	비고
사용전압	DC 18V±30%	
측정 전류	AC 0.1A~30A	
본체 모듈	135(W)X25(H)X60(D)mm	
RS485	속도19200bps, 정지비트1, ID설정:1-256	
전압 전류 측정채널	2 채널	
전원표시등	AC 전원표기	GREEN, 1채널
FND 표기	유효전력(W), 전류(A), 전압(V)	4 Digit FND 로 계측된 모든 계측 값을 표시
전류 정보	RMS 값으로 계측	

(다) 태양광 발전 시스템 전기적 사양

항목	사양	비고
태양광 패널	DC 12V, 110W	
Battery	12VDC/26A	
태양광 컨트롤러	12VDC, 300W	
가로등	12VDC, 20W	

(4) 데이터 통신 구조

(가) 기본 정보

Resource URI	<a href="http://farmnote.org/zmobile/sensorinfo/newFarmSensor.php">http://farmnote.org/zmobile/sensorinfo/newFarmSensor.php</a>
Protocol/ HTTP Method	REST / POST Method
Version	1.0

(나) Query String Parameter

Name	Data Type	Mandator y	Example	Description
call_chk	String	Y	sensorData	검색 유형
cid	String	Y	ipetsen	접근자 아이디
uid	String	Y	nr180701	농장 회원 아이디
Flag	Int	Y	1	식별코드 1: 최신 데이터 조회 2: 검색 기간 데이터 조회
stime	Datetime	N	0000-00-00 00:00:00	검색 대상 시작 시간 (Flag=2의 경우만 입력)
etime	Datetime	N	0000-00-00 00:00:00	검색 대상 종료 시간 (Flag=2의 경우만 입력)

(다) Response Parameter

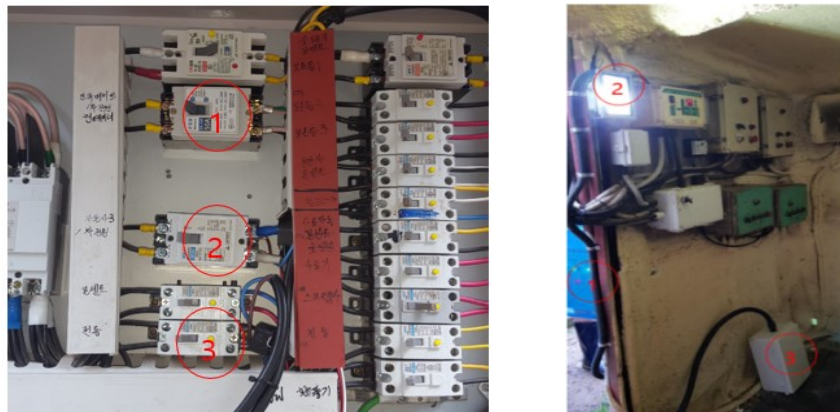
Name	Data Type	Description
sensorInfo	Node	센서정보
uid	String	농장 회원 아이디
sensorData	Node	센서데이터 검색 범위
dataCh1	Node	채널 #1 (AC)
measT	String	데이터 측정 시간
V	String	전압 (Volt)
A	String	전류 (Ampere)
W	String	5분 간의 평균 전력 (Watt)
dataCh2	Node	채널 #2 (AC)
measT	String	데이터 측정 시간
V	String	전압 (Volt)
A	String	전류 (Ampere)
W	String	5분 간의 평균 전력 (Watt)
dataCh3	Node	채널 #3 (AC)
measT	String	데이터 측정 시간
V	String	전압 (Volt)
A	String	전류 (Ampere)
W	String	5분 간의 평균 전력 (Watt)
dataCh4	Node	채널 #4 (DC - 태양광)
measT	String	데이터 측정 시간
V	String	전압 (Volt)
A	String	전류 (Ampere)
W	String	5분 간의 평균 전력 (Watt)

마. 실증용 3개 농장 설치 현황

(1) 농장 현황

No.	농장명	주소	대표
1	지팜	경상북도 경주시 내남면 박달리	서무화
2	춘원농장	전라북도 정읍시 이평면 청량리	김영규
3	주호농장	강원도 춘천시 동산면 조양리	지용은

(2) 지팜



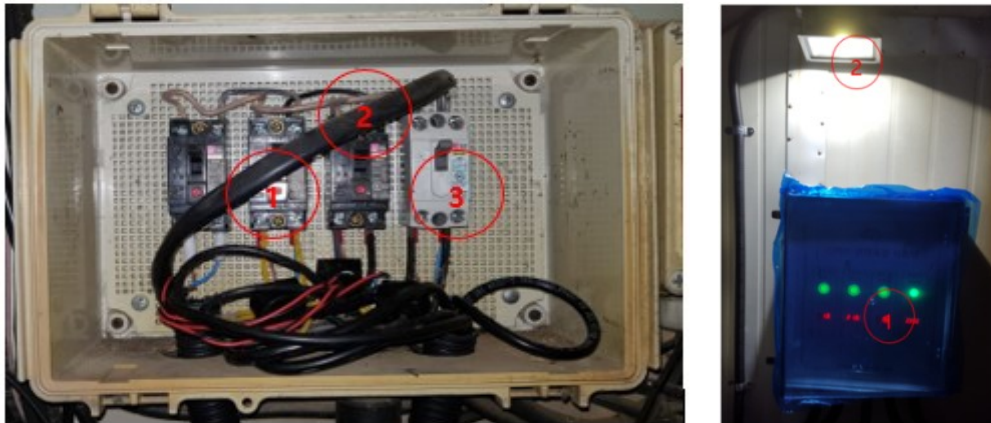
[그림] 지팜 배전반 및 설치모습

지팜 농장의 배전반 상태는 1, 2, 3은 각 돈사에 연결되는 누전차단기이고 이 케이블을 연결하여 스마트 전력 측정시스템과 연결하였다. 태양광 컨트롤 모듈을 통해 태양광 패널을 컨트롤하여 신재생 에너지의 전력량을 측정할 수 있다.



[그림] 태양광 패널 설치 상태

(3) 춘원농장



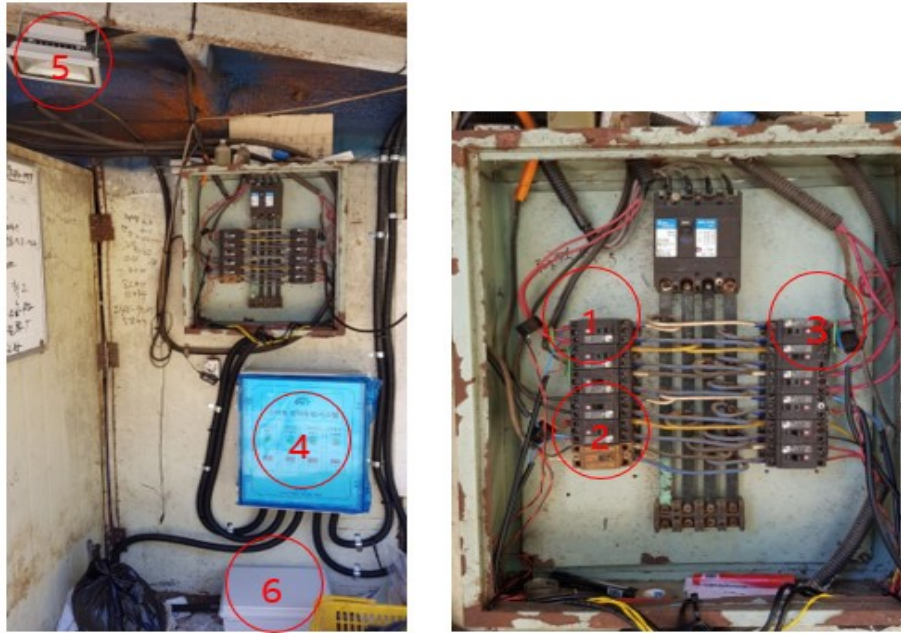
[그림] 춘원농장 배전함 및 시스템 설치모습

춘원농장의 배전함 상태는 CH1, CH2, CH3은 돈사의 AC팬의 전력량을 측정하도록 설치가 되었다. 각 장치가 정확히 연결되었고 데이터베이스로 정보가 입력되는 것을 확인하였다. 아래 사진은 태양광 패널을 연결한 상태를 나타낸다.



[그림] 태양광 패널 설치모습

#### (4) 주호농장



[그림] 스마트 전력 측정시스템 설치모습

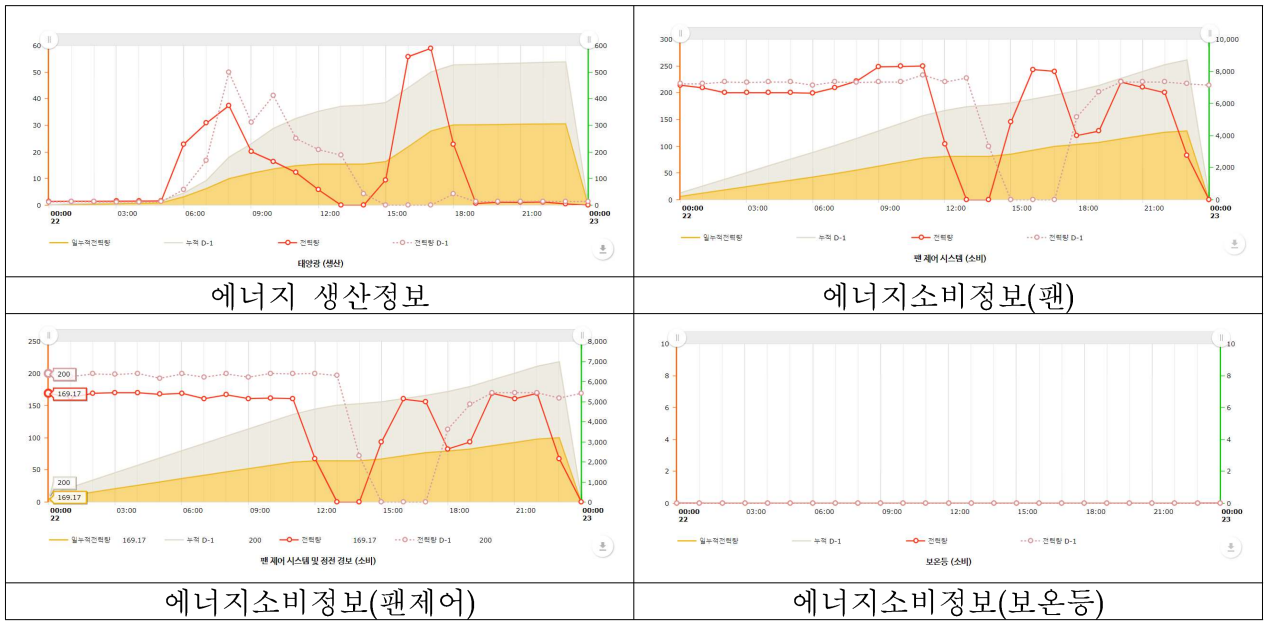
주호농장의 스마트 전력 측정시스템의 설치 사진이다. 이번에 설치된 5번은 전등이고, 4번은 스마트 전력 측정시스템 설치된 모습, 6번은 배터리 합체의 모습이다. 축사 3동의 분전반에서는 CH1, CH2, CH3은 AC 팬 전원으로 연결하여 전력량을 측정하도록 하였다.



[그림] 주호농장 스마트 전력 측정시스템의 설치와 태양광 패널 설치모습

주장치 내부 사진을 보면 1 메인 컨트롤러, 2 태양광 컨트롤러, 3 AC 전력 측정 모듈, 4 태양광 전력 생산량 측정 보드, 5 공유기로 구성되어있다. 태양광 패널은 축사의 지붕위에 설치하여 스마트 전력 측정시스템과 연동하도록 하였다.

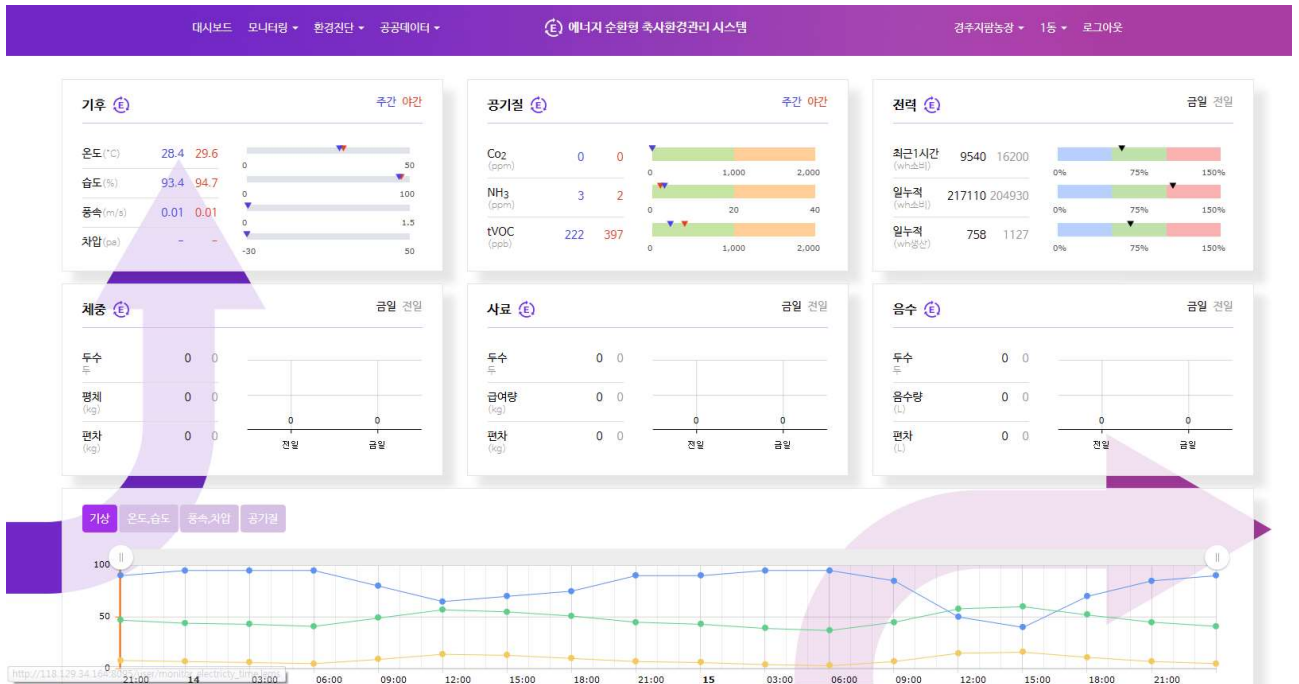
(5) 에너지 순환정보 모니터링정보 연계



(6) 실제 농가에 전체 통합 시스템 적용 결과

위 (5)의 그래프와 같이 환경모니터링 시스템, 팬 컨트롤러에 의한 팬 제어, 보온등의 전력소비량을 실시간으로 측정하여 각 시간대의 작동유무와 기기의 결함을 확인하여 빠른 대응을 통해 최적화된 사양관리가 가능하다.

아래는 에너지 순환형 축사환경관리 시스템이 설치된 농장의 실시간 누적데이터다.



[그림] 지팜농장 실시간 모니터링



[그림] 춘원농장 실시간 모니터링

#### 4. 제2협동 : 축산 생산성과 제품 안전성 향상 및 동물복지를 위한 축사적정 실내 환경관리 가이드 라인 개발 ( 부산가톨릭대학교 산학협력단 )

가. 축산 생산성 및 제품 안전성에 영향을 주는 환경 유해인자의 특성 파악을 위한 축사 공기오염물질의 노출수준과 배출계수 정량화 현장 평가

(1) 국내에서 운용되고 있는 돈사의 시설 형태 특성 및 지역적 분포 현황 조사를 통한 측정 대상의 선정

본 연구에서 조사된 돈사는 분뇨 처리 시스템 및 환기 방식을 고려하여 5가지 돈사 유형을 조사 대상으로 하였다(<그림 1> 참조). 분뇨 처리 시스템의 형태를 기준으로 우리나라의 돈사 유형을 세 가지로 분류하면 슬러리 돈사(Deep-pit manure system with slats), 스크레이퍼 돈사(Manure removal system by scraper), 톱밥 돈사(Deep-litter bed system)이며, 환기 방식 측면에서는 주로 측벽 배기를 적용하는 밀폐형 강제 환기와 측벽에 윈치 커튼(winch-curtain)을 설치하여 환기를 유도하는 개방형 자연 환기로 구분할 수 있는데, 톱밥 돈사의 경우 대부분이 개방형 자연 환기 돈사 형태를 취하고 있다. 또한 돼지 성장 단계 측면에서는 평균 체중 75~100kg의 육성/비육돈을 사육하고 있는 농가를 대상으로 하였다.



<그림 1> 분뇨처리방식에 따른 돈사의 분류



(<左, 슬러리돈사>, <中, 스크레이퍼돈사>,<右, 톱밥돈사>)

지역 조건을 고려하고 국내 모든 돈사 분포 현황을 반영하기 위해 중부권, 남부권, 제주권에 위치한 돈사를 대상으로 하였고, <표 1>에서 제시하고 있는 5가지 돈사 유형에 대해 각 7개씩 선정하여 총 35개의 농가를 방문 조사하였다. 또한 우리나라의 사계절 기후 조건을 반영하기 위해 봄철(3-5월), 여름철(6-8월), 가을철(9-11월), 겨울철(12-2월)에 대해 각 1회씩 현장 평가하는 것으로 계획하였고, 여름철 현장 방문 조사는 추후 수행할 예정이다.

<표 1> 조사대상 돈사의 종류

돈사 유형		사육 단계	조사 농가 수
분뇨처리시스템	환기 방식		
슬러리 (Deep-pit manure system with slats)	자연환기 (Natural ventilation)	육성/비육돈	7
	기계환기 (Mechanic ventilation)	육성/비육돈	7
스크레이퍼 (Manure removal system by scraper)	자연환기 (Natural ventilation)	육성/비육돈	7
	기계환기 (Mechanic ventilation)	육성/비육돈	7
톱밥 (Deep-litter bed system)	자연환기 (Natural ventilation)	육성/비육돈	7

나. 국내외 문헌조사에 기반을 둔 축사 내 주요 공기오염물질의 유해성 조사를 통한 모니터링 대상 물질의 우선 순위 도출

돼지의 생산성에 부정적 영향을 미치는 돈사 내부의 공기오염물질은 크게 가스상, 입자상, 생물학상으로 분류되고, 이들의 주요 발생원은 돼지, 사료, 분뇨로 추정된다 (Kim et al., 2005). 돈분뇨의 생물학적 분해를 통해 암모니아와 황화수소가 주로 발생되고 메탄, 이산화탄소, 수증기 등도 동시에 생성되게 된다. 아민류, 알콜류, 알데히드류, 케톤류, 지방산류, 황화합물 등의 미량원소들도 발생되나, 이들은 돈사 악취 형성에 기여할 뿐 돼지의 생산성에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 보고되고 있다. 가스상 물질과 더불어 분진 등의 입자상 물질과 부유세균, 부유진균, 엔도톡신 등의 생물학상 물질도 돈사내 동일한 발생원에서 상당한 농도 수준으로 발생된다 (ASHRAE, 1981). 돈사 내부에서 발생하는 이러한 공기오염물질들은 돼지의 코나 입을 통한 흡입 노출에 의해 호흡기계 관련 증상들을 유발하는 것으로 알려져 있다 (Heber 등, 1988; Crook 등, 1991; Chang 등, 2001).

### (1) 가스상 오염물질

돼지들에 의해 배설된 분뇨가 피트(pit)내에서 저장되어 혐기성 미생물에 의해 분해되는 경우가 주요 발생 과정이며, 돼지의 호흡 및 환기시스템의 작동시에도 발생된다 (Chang 등,

2001). 돈사내 주요 가스상 오염물질들 중 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 메탄(CH<sub>4</sub>), 그리고 아산화질소(N<sub>2</sub>O)는 발생량이 상대적으로 경미하여 일반적으로 작업장 노출기준을 초과하지 않는 것으로 보고되고 있다 (Verstegen 등, 1976; Noblet 등, 1989). 하지만, 돈사 작업장 내 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 황화수소(H<sub>2</sub>S)의 농도 및 발생량은 다른 작업장에 비해 상대적으로 높으며, 특히 외부 기온이 극단적으로 저하되는 동절기시 실내 온도 유지를 위해 최소 환기율을 적용하는 경우 노출기준을 초과하여 작업자의 체내 유해물질로 작용할 수 있다 (Nordstrom과 McQuitty, 1976; Coleman 등, 1991). Bruce(1981)의 연구에 따르면 암모니아 노출에 따른 작업자의 신체적 증상은 5-50ppm 범위에서 후각 감지, 100-500ppm 범위에서 눈의 염증, 2,000-3,000ppm 범위에서 재채기 및 침흘림, 그리고 10,000ppm이상의 농도에 노출되면 즉시 사망하는 것으로 알려져 있다. 한편, 황화수소는 1시간 동안 50-100ppm 범위에 노출되면 눈의 염증 및 호흡기의 이상이 발견되고, 8-48시간 동안 150ppm에 노출시에는 사망할 수 있으며, 700-2,000ppm에서는 즉사하는 것으로 보고하고 있다.

또한 암모니아와 황화수소는 돈사 내 악취 발생의 주요 원인 물질로서 (Hartung과 Phillips, 1994; Heber 등, 1997) 외부로 방출시 인근 정주민들에게 심미적 불쾌감을 일으켜 악취 관련 민원을 야기시키기 때문에 현재 미국과 유럽은 양돈업자들에게 엄격한 환경 규제를 강화하고 있는 실정이다 (Wathes 등, 1998; Gay 등, 2003). 특히 돈사 내에서 외부로 방출된 암모니아는 지구 온난화의 원인 물질일 뿐만 아니라, 비를 통해 육지와 수계에 도달하면 토양의 산성화 및 하천의 부영양화를 초래하는 물질이 기도 하다 (Harssema 등, 1981; van Breemen 등, 1982; Buijsman과 Erisman, 1988).

이러한 문제의 심각성 때문에 미국과 유럽에서는 암모니아와 황화수소의 작업자 노출 정도를 파악하기 위한 현장 조사를 상당 수의 돈사 작업장을 대상으로 수행하고 있으며 (Crook 등, 1991; Duchaine 등, 2000), 대기 및 토양 환경을 보호하기 위한 측면에서 외부로 방출되는 암모니아와 황화수소의 발생량 정량화를 위한 배출 원단위 산정에 관한 연구도 동시에 수행하고 있다 (Koerkamp 등, 1998; Gay 등, 2003). 그러나 우리나라의 경우 돈사내 암모니아와 황화수소에 대한 기초적 분석 자료의 현장 조사마저도 거의 수행되지 않고 있는 상황이라 돈사 작업장의 근무 환경 조건을 개선하기 위한 관리 대책을 세우는 것은 현재로서는 불가능하다.

## (2) 입자상 오염물질

공기 중 입자상 오염물질이란 에어로졸, 분진, 중금속 등을 가리키는데, 에어로졸은 아주 미세한 크기의 고상 또는 액상의 입자로서 오랜 시간 동안 가스물질과 함께 공기 중에 부유하여 이동하는 것이고 (Hinds, 1982), 분진은 직경 0.5~1,000  $\mu\text{m}$ 의 폭넓은 범위를 가진 고체상의 입자를 의미하며 (Pearson과 Sharples, 1995), 부유 입자는 고상 및 액상 형태의 입자들을 모두 총칭한다 (Carpenter, 1986). 사람이 호흡을 하는 동안 코와 입으로 들어오는 입자상 물질은 흡입성 입자로 평균 직경이 약 50  $\mu\text{m}$  미만인 부유 입자들을 말하며, 흡입성 입자 중 폐의 가스교환 부위까지 도달하는 입자는 호흡성 입자로 일반적으로 5.0  $\mu\text{m}$  이하의 입자들을 가리킨다 (Wathes와 Randall, 1989; Pearson과 Sharples, 1995) 즉, 크기가 큰 입자들은 쉽게 침착되나 작은 크기의 입자들은 사람과 동물의 호흡기에까지 전달된다 (Fuchs, 1964, Gregory, 1973). 공기

역학적 평균 직경이 10  $\mu\text{m}$  이상의 입자들은 코의 비강, 5~10  $\mu\text{m}$  범위의 입자들은 호흡기계의 상부, 5  $\mu\text{m}$  이하의 입자들은 폐에 침착되며 (Carpenter, 1986), 일반적으로 5  $\mu\text{m}$  이하의 입자들이 사람의 호흡기계에 유해한 영향을 주어 호흡기 관련 질병을 유발하는 인자로 알려져 있다 (Wathes 등, 1983; Hong과 Cho, 2001).

일반적으로 돈사 내부에 분포하는 입자상 오염물질은 유기성 분진으로 사료, 건조화된 돼지 분뇨, 돼지의 피부 및 털 등에서 발생되며 (Koon 등, 1963; Harry, 1978), 이 중 주된 성분은 사료인 것으로 보고되고 있다 (Welford 등, 1992). 또한 돈사 작업장에서 발생하는 분진의 조성은 유기물 함량이 전체 87%로 여기에는 조단백질 24%, 지방 4~5%, 조섬유 3~5%로 구성되어 있다 (Hartung 등, 1985). 돈사의 경우 환기 상태나 사료 투입 방식에 따라 차이는 있지만, 5  $\mu\text{m}$  이하의 입자들의 수가 전체 입자 수의 70~95%를 차지한다는 연구 보고가 있다 (Bundy와 Hazen, 1975; Honey와 Mcquitty, 1979).

돼지의 성장촉진이나 사료효율 개선 등의 여러 가지 목적으로 사료에 첨가되는 Cu, Zn, As, Mn, Fe 및 Se 같은 중금속의 미량원소들이 사료 관리법에서 제시하는 기준량보다 초과 투입되어 시중에 판매되는 것이 사실이며, 전량 동물체 내에서 이용되지 않고 일부 분뇨로 배출된다 (Sims and Wolf, 1994). 특히, 돈분뇨의 경우 Zn와 Cu 같은 특정 중금속이 퇴비의 원료로 이용할 수 없는 도시 고형폐기물이나 하수오니에 포함된 함량보다 높다는 보고(Mullins et al., 1982; Williams et al., 1984)에 근거를 둔다면 사료와 분뇨로 인한 돈사 내부의 공기 중 중금속 농도가 상당 수준에 이를 것이라 추정되나, 현재까지 국내외적으로 돈사를 대상으로 공기 중 중금속 농도 조사에 대한 현장 연구는 전무한 실정이다.

따라서 돈사내 돼지들은 상당한 양의 호흡성 분진에 노출되고 있음을 추정할 수 있으며, 호흡기 질병의 발병 가능성을 동시에 내포하고 있다. 돈사에서 일하는 작업자들을 대상으로 연구한 Donham 등 (1990)의 보고에 의하면 미국 내 양돈업에 종사하는 작업자의 20%가 만성적인 재채기 증상, 25%가 담(痰) 생성의 경험이 있다고 하였으며, 비종사자에 비해 호흡 곤란, 코와 눈의 따가움과 같은 직업성 질병의 발생률이 높다고 하였다. 더욱이 최근들어 돈사 구조가 기존 자연환기를 통한 개방형 돈사 형태에서 돼지의 증체율 향상을 목적으로 기계환기를 통한 밀폐형 돈사 형태의 보급이 확대되어 가고 있지만, 환경위생학적 측면에서는 돈사내 분진과 중금속 등의 입자상 오염물질 농도가 증가되어 돼지들의 노출 수준 가능성이 오히려 높아지는 건강상의 위해 효과를 내포하고 있다. 따라서 입자상 오염물질 노출에 따른 돼지들의 호흡기계 질환 발병 예방 대책을 설정하기 위해서는 우선 돈사내 발생하는 입자상 오염물질의 정량화 및 노출량 파악에 대한 현장 조사가 선행되어야 한다.

선진국의 경우 정량화 작업을 위한 광범위한 현장 조사가 최근에 수행되었고 (Takai 등, 1998), 돈사에서 일하는 사람들을 대상으로 한 노출 수준 조사 (Crook 등, 1991; Chang 등, 2001) 및 입자상 오염물질의 발생과 내부 환경 요인과의 관계를 규명한 연구들 (Attwood 등, 1987; Heber 등, 1988; Duchaine 등, 2000)도 보고되고 있다. 그러나 국내에서는 유일하게 유등[23]에 의한 보고가 있으나, 아직까지 돈사내 입자상 오염물질의 농도 및 발생량에 대한 현장 조사 연구가 상당히 미흡한 실정이다.

### (3) 생물학상 오염물질

부유 미생물과 같은 생물학상 오염 물질들은 미세분진에 흡착된 후 호흡을 통해 사람의 경우 폐포에 도달하여 폐렴, 천식, 기관지염, 비염 등과 같은 호흡기 계통의 질병을 유발하게 된다 (Donham 등, 1986; Bruce와 Sommer, 1987; Crook 등, 1991; Olson과 Bark, 1996). 이러한 돈사내 생물학상 오염물질들의 농도 수준 및 정량화 규명을 위한 현장 조사 (Wathes 등, 1998; Chang 등, 2001; Gay 등, 2003)와 발생 기작 및 원인 (Attwood 등, 1987; Gustafsson, 1999; Duchaine 등, 2000)에 대한 국외의 연구는 상당 부분 수행되고 있으며, 최근 들어 국내에서도 이 분야에 대한 관심이 대두되기 시작했으나 (김과 김, 2003; 유 등, 2003) 대부분의 가스상 물질과 입자상 물질에 국한되어 수행되었다.

생물학상 오염물질(bioaerosol)에 관한 국외의 연구는 돈사 환경 뿐만 아니라, 실내 주거 공간 및 기타 여러 작업장을 대상으로도 수행되었다. 선행 연구 결과에 의하면 밀폐형 돈사내 생물학상 오염물질의 농도는 다른 실내 공간의 오염도보다 상대적으로 상당히 높다고 보고되었다 (Clark 등, 1983; Thorne 등, 1992; Griffiths와 Decosemo, 1994). 돈사를 대상으로 한 생물학상 오염물질의 연구는 주로 돼지보다는 작업자의 건강을 보호하기 위한 보건위생학적 측면에서 수행되었으며, 돈사내 주요 오염물질인 암모니아나 분진과 같은 기타 다른 유해물질과의 상호 연관성 및 노출 정도를 규명하는 데 중점을 두었다 (Clark 등, 1983; Crook 등, 1991; Duchaine 등, 2000; Chang 등, 2001). 유럽에서는 이미 대규모 현장 조사를 통해 각 나라마다 돈사 작업장의 유형별로 생물학상 오염물질의 농도 및 발생량을 정량화하여 작업자의 노출 수준 및 두당 혹은 면적당 원단위 발생량을 산정하였다 (Seedorf 등, 1998). 돈사내 부유하고 있는 미생물들을 동정한 몇몇 연구들도 보고되고 있는데, Elliott 등 (1976)에 의하면 돈사의 실내 공기 중에는 *Staphylococcus*가 주요 우점 세균이며, *Salmonella*는 전혀 검출되지 않았다고 보고하고 있다. Cormier 등 (1990)은 돈사 내에는 다양한 미생물들이 분포하고 있으며, 농도 측면에서 그람 양성 세균이 대부분이며 그람 음성 세균과 곰팡이는 매우 적은 농도로 존재하고 있다고 하였다.

또한 세균으로는 *Enterobacter agglomerans*, *Moraxella*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas*가, 곰팡이로는 *Scopulariopsis*, *Apergillus*, *Penicillium*, *Candida*가 주요 우점종이라 보고하였다. 또한 현재 사회적으로 문제시되고 있는 구제역 바이러스의 외부 전파 이동 거리를 대기 확산 모델 기법을 적용하여 추정된 연구 사례도 보고되고 있다 (Casal 등, 1995; Sorensen 등, 2001).

그러나 국내에서는 아직까지 돈사내 생물학상 오염물질의 농도 및 발생량에 대한 현장 조사 작업이 상당히 미흡한 실정이며, 생물학상 오염물질 노출로 인해 야기되는 돼지의 호흡기계 질병 발생 메커니즘을 규명하기 위해서는 현장 조사가 시급히 선행되어야 할 것이라 사료되는 바이다.

### (4) 종합

국내외 문헌 자료들을 분석한 결과 돼지의 생산성과 돈육의 안전성에 영향을 주는 주요 공

기오염물질은 가스상, 입자상, 생물학상으로 분류되는 것으로 조사되었다. 조사된 환경 유해성 측면을 고려하여 본 연구를 통해 돈사 현장에서 우선적으로 모니터링할 공기오염물질은 다음과 같이 선정하였다.

- ▶ 가스상 오염물질 : 암모니아( $\text{NH}_3$ ) & 황화수소( $\text{H}_2\text{S}$ )
- ▶ 입자상 오염물질 : 총부유분진(TSP) & 미세분진( $\text{PM}_{10}$ )
- ▶ 생물학상 오염물질 : 부유세균 & 부유진균

다. 계절 조건에 따른 측정 대상 축사들의 현장 방문을 통한 공기오염물질의 노출수준 정량

#### (1) 연구 방법

##### (가) 가스상 오염물질 (암모니아 & 황화수소)

암모니아와 황화수소의 측정 방법은 NIOSH에서 제시한 분석 방법에 근거하였다 (NIOSH, 1998). 암모니아의 경우 황산 흡수액 10ml를 넣은 임핀저(impinger)를 폴리에틸렌 튜브로 공기 흡입 펌프(Model 71G9, Gilian Instrument Corp., Wayne, N.J.)에 연결한 후 1.5~2.0 l/min의 유량으로 돈사내 농도 수준에 따라 15~45분 동안 공기 시료를 포집한 후 UV-spectrophotometer를 통해 흡광법으로 측정하였다. 황화수소는 고체 활성탄관으로 시료를 포집한 후 Ion Chromatography를 통해 측정하였으며, 그 밖의 분석 과정은 암모니아의 경우와 동일하다.

시료 채취 지점은 돈사 내부 중앙 지점에서 바닥으로부터 1m 상부 지점에서 수행하였고, 시료 채취 시간은 오전 10시부터 오후 5시 사이에 3회 반복 측정하였다. 그리고 이 분석한 값들의 산술평균값을 대표값으로 하였다.

##### (나) 입자상 오염물질 (TSP & $\text{PM}_{10}$ )

직독식 측정장비 (Dust mate, Electrolox Corp., USA)를 돈사 중앙 바닥 1m 상부 지점에 설치하여 매 5분 간격으로 24시간 모니터링한 후 저장된 데이터의 산술 평균값을 TSP와  $\text{PM}_{10}$ 의 대표값으로 하였다.

##### (다) 생물학상 오염물질 (부유세균 & 부유진균)

부유 미생물의 시료 채취를 위해 1단 관성충돌기(one-stage cascade impactor) 장비를 사용하였다. 분당 28.3 l의 유량으로 1-20분씩 공기를 돈사 중앙 바닥 1m 상부 지점에서 포집하였다. 공기 시료 포집시 멸균 확인된 배지를 사용기에 장착하고 채취하고자 하는 미생물의 종류에 따라 배지를 교체할 때와 포집 전 기기 외부를 70% 알콜로 소독처리 하여 오염을 예방하였다. 포집된 배지는 오염방지를 위하여 곧바로 실험실용 필름을 이용하여 봉한 후 보관하여 미생물 실로 즉시 운반하여 곰팡이의 성장을 억제하기 위해 cycloheximide 500mg이 첨가된 세균용 배

지 Trypticase Soy Agar (TSA) (Lot 3087230, Becton Dickinson and Company, USA)는 37℃에서 24~48시간, 세균의 성장을 억제하기 위해 chloramphenicol 100mg이 첨가된 곰팡이용 배지 Malt Extract Agar (MEA) (Lot 5111476, Becton Dickinson and Company, USA)는 실온인 25℃에서 72시간 이상 배양 시킨 후 관찰하였다.

정량 평가를 위한 부유세균과 부유진균의 농도 산출은 한천 배지에 배양된 집락수(colony)를 계수한 값에 포집 공기량(m<sup>3</sup>)으로 나눈 CFU/m<sup>3</sup>의 값으로 표시하였다 (식 1, 2 참조)

$$\text{CFU (Colony Forming Unit)/m}^3 = \text{Colony counted on agar plate} / \text{Air volume(m}^3\text{)} \dots \text{식(1)}$$

$$\text{Air volume (m}^3\text{)} = 28.3 \ell / \text{min} \times \text{sampling time(min)} / 10^3 \dots \text{식(2)}$$

<표 2> 현장 평가 시료 채취 항목 및 분석 방법

장비사진	물질구분	항목	시료채취 장비	분석방법
	환경적 요인	온도	IAQ surveyor meter (Gray wolf, USA)	광산란 직독식
		습도		
	입자상 물질	TSP, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1</sub>	Dust mate (Turkey LTD, USA)	광산란 직독식
	가스상 물질	암모니아	TG-501 (Gray wolf, USA)	광산란 직독식
		황화수소		
	생물학상 물질	부유세균	BUCK Bio-culture (A.P. BUCK, USA)	배양법, 정량평가
부유진균				



가스상 오염물질



입자상 오염물질



생물학상 오염물질

[그림] 돈사 현장 측정 사진

(라) 통계 처리



측정 데이터 분석은 SAS package(2008)를 이용한 ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석 방법을 통해 돈사 유형에 따른 공기오염물질의 농도의 통계적 차이를 입증하였다.

## (2) 연구 결과 및 고찰

### (가) 가스상 오염물질 (암모니아 & 황화수소)

<그림 3>에 나타난 바와 같이 돈사 내부 암모니아의 평균 농도는 자연환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철 4.71(±0.62)ppm, 겨울철 7.97(±1.38)ppm, 봄철 4.69(±0.55)ppm으로, 강제환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철 7.79(±0.57)ppm, 겨울철 11.24(±1.20)ppm, 봄철 7.73(±0.53)ppm으로, 자연환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철 6.45(±0.38)ppm, 겨울철 8.24(±0.48)ppm, 봄철 6.11(±0.53)ppm으로, 강제환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철 8.71(±0.61)ppm, 겨울철 12.93(±0.61)ppm, 봄철 8.59(±0.58)ppm으로, 자연환기 방식의 톱밥 돈사의 경우 가을철 4.03(±0.26)ppm, 겨울철 5.49(±0.45)ppm, 봄철 4.04(±0.26)ppm으로 분석되었다.

돈사 유형에 관계없이 현장 측정된 모든 돈사 내부 암모니아의 평균 농도는 7.25(±2.26)ppm으로 조사되었다. 현장 측정 결과 돈사 유형 측면에서는 암모니아 평균 농도가 스크레퍼 돈사(강제환기)>슬러리 돈사(강제환기)>스크레퍼 돈사(자연환기)>슬러리 돈사(자연환기)>톱밥 돈사(자연환기)의 순서로 나타나 강제환기 방식의 스크레퍼 돈사가 가장 높은 암모니아 농도를 보였고 ( $p<0.05$ ), 계절 측면에서는 겨울>봄>가을 순서로 조사되어 겨울철이 가장 높았으나 봄철과 가을철 측정 데이터 간의 농도 차이는 통계적으로 입증되지 않았다 ( $p>0.05$ ).

<그림 4>에 나타난 바와 같이 돈사 내부 황화수소의 평균 농도는 자연환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철 337.3(±36.0)ppb, 겨울철 474.2(±36.0)ppb, 봄철 328.7(±35.7)ppb로, 강제환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철 516.5(±55.2)ppb, 겨울철 655.4(±60.7)ppb, 봄철 549.5(±69.5)ppb로, 자연환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철 453.6(±69.1)ppb, 겨울철 532.4(±44.9)ppb, 봄철 420.4(±48.2)ppb로, 강제환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철 668.9(±58.1)ppb, 겨울철 808.5(±46.7)ppb, 봄철 650.4(±57.5)ppb로, 자연환기 방식의 톱밥 돈사의 경우 가을철 194.9(±38.6)ppb, 겨울철 341.2(±40.9)ppb, 봄철 168.4(±9.7)ppb로 분석되었다.

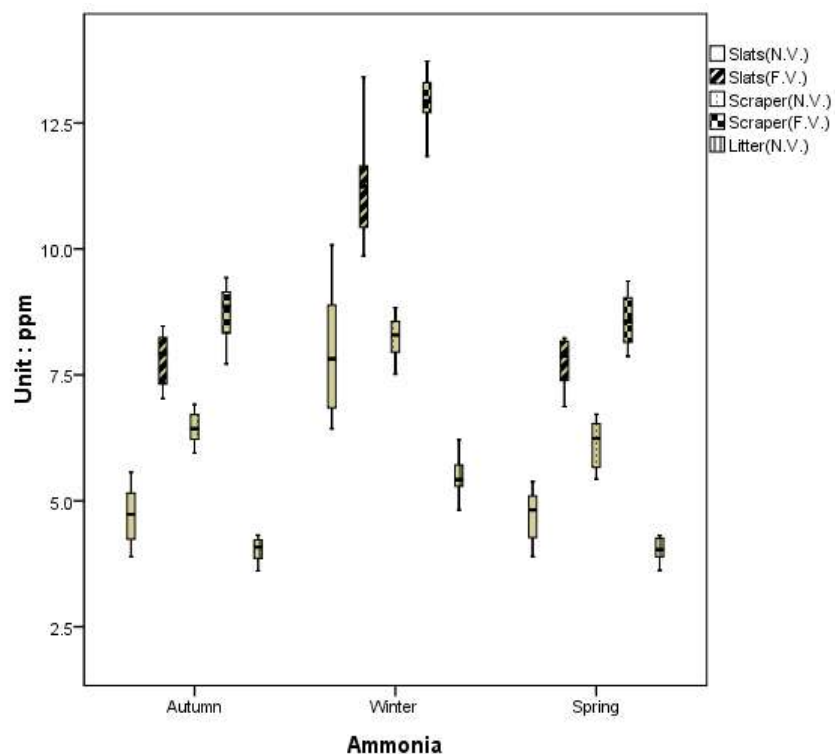
돈사 유형에 관계없이 현장 측정된 모든 돈사 내부 황화수소의 평균 농도는 473.4(±181.2)ppb로 조사되었다. 현장 측정 결과 돈사 유형 측면에서는 황화수소 평균 농도가 스크레퍼 돈사(강제환기)>슬러리 돈사(강제환기)>스크레퍼 돈사(자연환기)>슬러리 돈사(자연환기)>톱밥 돈사(자연환기)의 순서로 나타나 강제환기 방식의 스크레퍼 돈사가 가장 높은 황화수소 농도를 보였고 ( $p<0.05$ ), 계절 측면에서는 겨울>봄>가을 순서로 조사되어 겨울철이 가장 높았으나 봄철과 가을철 측정 데이터 간의 농도 차이는 통계적으로 입증되지 않아 ( $p>0.05$ ) 암모니아의 경우와 동일한 결과가 도출되었다.

Kim et al. (2008c)의 선행 연구 결과에 의하면 돈사 내부 암모니아의 농도가 7.5ppm(0.8~

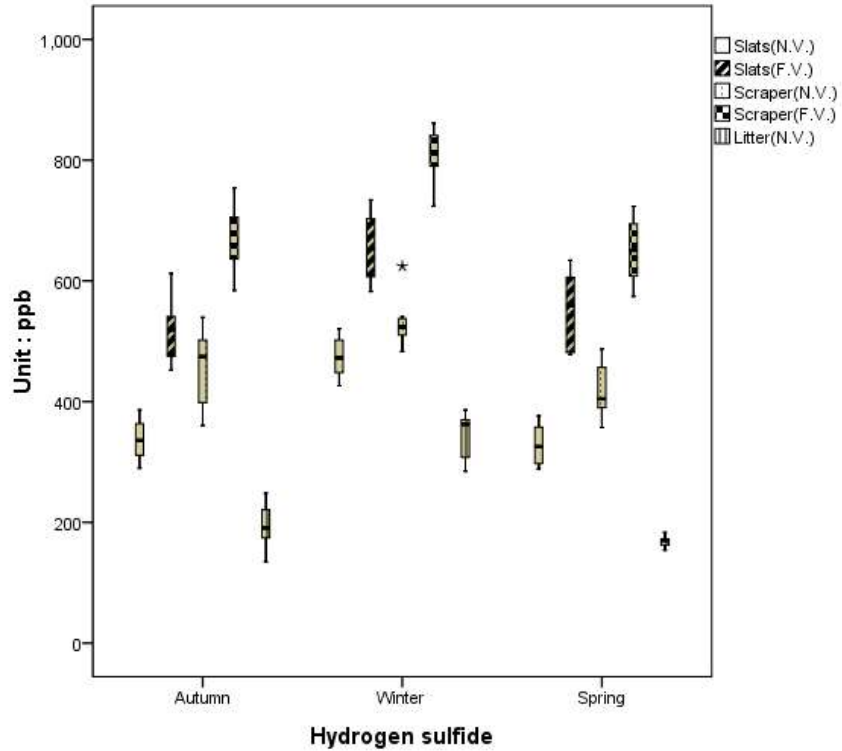
21.4ppm)이었고 황화수소의 농도는 286.5ppb(45.8~1,235ppb)인 것으로 조사되었다. 하지만 이들의 연구 결과는 측정 시기 측면에서 봄과 가을철에만, 조사대상 측면에서는 돈사 유형을 육성/비육 돈사로만 한정해서 수행되었고 또한 시료 채취 및 분석 방법이 본 연구에 적용된 방법과 상이하기 때문에 측정 결과 값을 단순 비교하기에는 객관적 측면에서 상당한 무리가 따른다고 할 수 있다.

육성/비육 돈사에서 암모니아와 황화수소 농도가 가장 높게 측정된 이유는 돼지의 성장 단계가 증가함에 따라 배설하는 분뇨의 양도 동시에 증가되기 때문에 돈사 내부에서 암모니아와 황화수소 등의 가스상 오염물질들 대부분이 분뇨의 혐/호기성 분해에 의해 기인한다는 사실(Ni et al., 2000)에 근거를 두면 해석된다.

돈사 내부 암모니아와 황화수소 농도가 겨울철이 가장 높고, 여름철이 가장 낮게 나타난 이유는 적용되는 환기율 차이에 근거를 둘 수 있다. 일반적으로 대부분의 양돈 농가가 효율적인 돼지 사양 관리를 위해 외부 기온이 상대적으로 낮은 겨울철에는 환기량을 낮추고 외부 기온이 상대적으로 높은 여름철에는 환기량을 높여 돼지 사육에 적합한 돈사 내부 적정 온도를 유지한다. 따라서 상대적으로 높은 환기율이 적용되는 여름철에 환기에 의해 돈사 내부에서 외부로 배출되는 암모니아와 황화수소 등의 가스상 오염물질들의 양이 낮은 환기율이 적용되는 겨울철보다 많기 때문에 상기와 같은 측정 결과가 도출되었다고 판단된다.



[그림] 돈사 유형 및 계절에 따른 돈사 내부의 암모니아 농도 분포



[그림] 돈사 유형 및 계절에 따른 돈사 내부의 황화수소 농도 분포

(나) 입자상 오염물질 (총부유분진 & 미세분진)

<그림 5>에 나타난 바와 같이 돈사 내부 총부유분진(TSP)의 평균 농도는 자연환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철  $650(\pm 62.1)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $834(\pm 62.7)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄철  $645(\pm 61.1)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로, 강제환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철  $1,215(\pm 236)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $1,534(\pm 272)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄철  $1,209(\pm 257)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로, 자연환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철  $1,085(\pm 129)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $1,393(\pm 144)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄철  $1,047(\pm 121)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로, 강제환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철  $1,462(\pm 291)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $1,948(\pm 271)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄철  $1,525(\pm 239)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로, 자연환기 방식의 톱밥 돈사의 경우 가을철  $1,846(\pm 335)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $2,459(\pm 370)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄철  $2,116(\pm 444)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로 분석되었다.

돈사 유형에 관계없이 현장 측정된 모든 돈사 내부 총부유분진의 평균 농도는  $1,398(\pm 534)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로 조사되었다. 현장 측정 결과 돈사 유형 측면에서는 총부유분진의 평균 농도가 톱밥 돈사(자연환기)>스크레퍼 돈사(강제환기)>슬러리 돈사(강제환기)>스크레퍼 돈사(자연환기)>슬러리 돈사(자연환기)의 순서로 나타나 자연환기 방식의 톱밥 돈사가 가장 높은 총부유분진 농도를 보였고( $p < 0.05$ ), 계절 측면에서는 겨울>봄>가을 순서로 조사되어 겨울철이 가장 높았으나 봄철과 가을철 측정 데이터 간의 농도 차이는 통계적으로 입증되지 않았다 ( $p > 0.05$ ).

<그림 6>에 나타난 바와 같이 돈사 내부 미세분진( $\text{PM}_{10}$ )의 평균 농도는 자연환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철  $327(\pm 56.5)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $487(\pm 55.5)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄철  $341(\pm 41.4)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로, 강제환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철  $526(\pm 55.1)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $718(\pm 41.9)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄

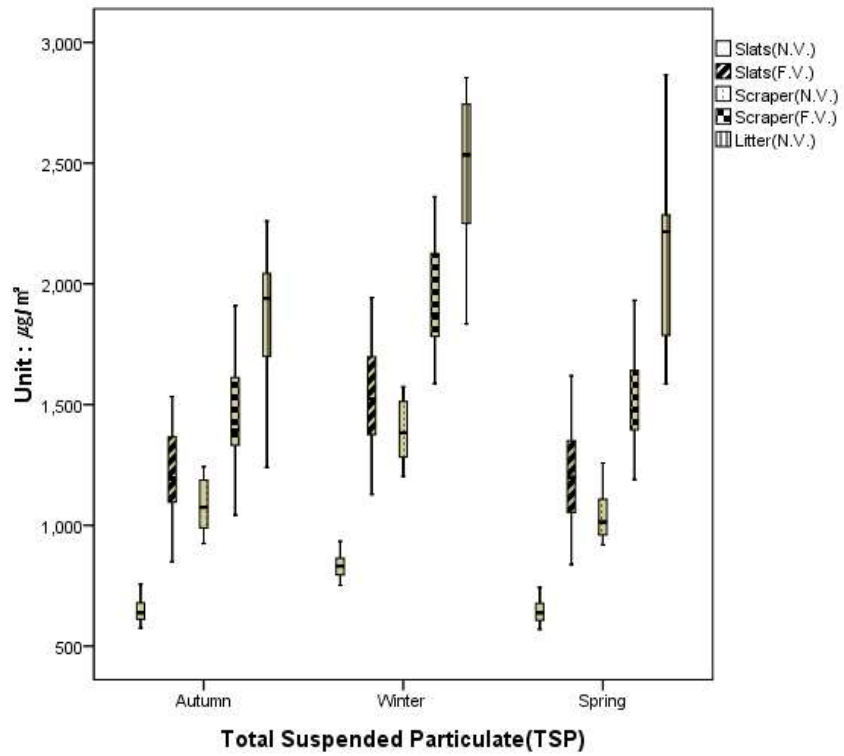
철  $497(\pm 46.9)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로, 자연환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철  $480(\pm 64.6)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $641(\pm 57.4)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄철  $443(\pm 45.9)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로, 강제환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철  $763(\pm 41.0)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $974(\pm 61.7)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄철  $746(\pm 72.2)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로, 자연환기 방식의 톱밥 돈사의 경우 가을철  $1,315(\pm 140)\mu\text{g m}^{-3}$ , 겨울철  $1,581(\pm 149)\mu\text{g m}^{-3}$ , 봄철  $1,240(\pm 143)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로 분석되었다. 돈사 유형에 관계없이 현장 측정된 모든 돈사 내부 총부유분진의 평균 농도는  $739(\pm 392)\mu\text{g m}^{-3}$ 으로 조사되었다.

현장 측정 결과 돈사 유형 측면에서는 미세분진의 평균 농도가 톱밥 돈사(자연환기)>스크레퍼 돈사(강제환기)>슬러리 돈사(강제환기)>스크레퍼 돈사(자연환기)>슬러리 돈사(자연환기)의 순서로 나타나 자연환기 방식의 톱밥 돈사가 가장 높은 미세분진 농도를 보였고( $p < 0.05$ ), 계절 측면에서는 겨울>봄>가을 순서로 조사되어 겨울철이 가장 높았으나 봄철과 가을철 측정 데이터 간의 농도 차이는 통계적으로 입증되지 않아 ( $p > 0.05$ ) 총부유분진의 경우와 동일한 결과도 출되었다.

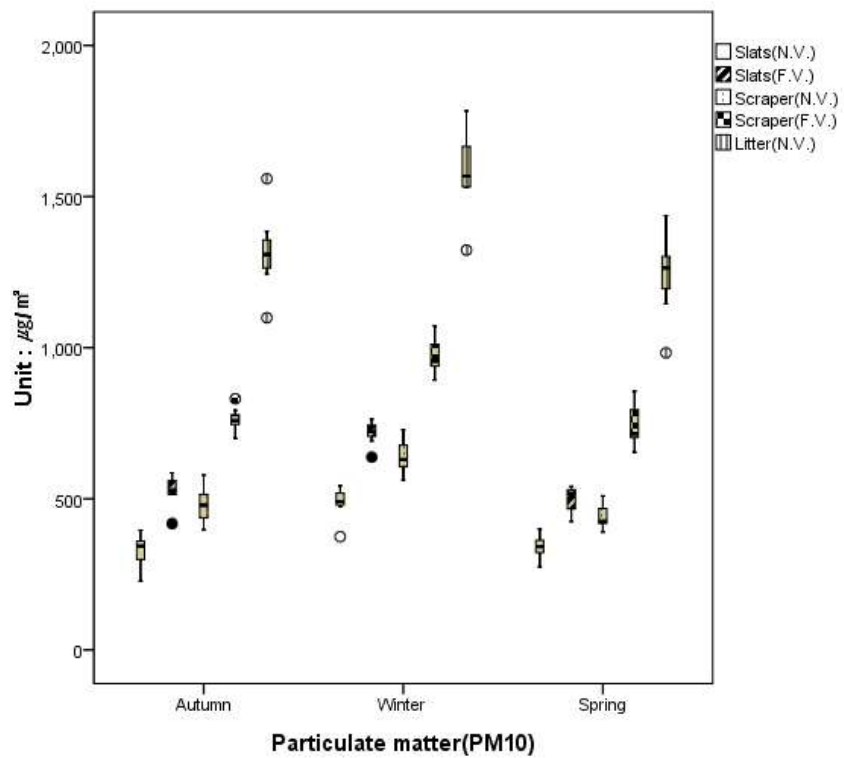
돈사내 분진은 대부분 사료, 분뇨, 돼지 털 및 피부에서 유래하기 때문에 (Takai et al., 1998) 성장한 돼지들이 입식되고 있는 육성/비육 돈사의 분진 농도가 상대적으로 높았을 것이며, 또한 돼지들의 활동성이 임신돈이나 자돈에 비해 상대적으로 뛰어나기 때문에 돼지들의 활동성이 높게 되면 돈사 바닥에 침전되어 있던 입자상 물질들이 다시 공기 중으로 부유된다는 연구 보고 (Kim et al., 2008a)에 근거를 두면 본 연구 결과의 이유가 추론되는 바이다.

현장 측정 결과 입자상 오염물질 중 TSP와  $\text{PM}_{10}$ 은 정반대로 환기율이 높은 여름철에 돈사 내부 농도가 가장 높은 것으로 조사된 점이 특이할만한 사항이다. 환기율이 증가하게 되면 돈사 내부에 형성된 공기 흐름을 따라 오염물질들이 외부로 배출되는 양 또한 증가되는 것이 일반적 사실이나 이는 가스상 오염물질에만 해당되는 것이라 할 수 있다. 입자상 오염물질 중 TSP나  $\text{PM}_{10}$ 의 경우 입경이  $\text{PM}_{2.5}$ 나  $\text{PM}_1$ 과 같은 극미세분진에 비해 상대적으로 크고 이는 자체 질량이 커 공기 중에서 상당한 중력을 지니고 있을 것이라는 점을 암시하고 있기 때문에 환기에 의해 형성된 공기 흐름 패턴을 그대로 따라간다고 단정할 수 없다.

이러한 판단의 추정은 환기율이 높을수록 호흡성 분진보다 입경 크기가 큰 총분진 농도가 돈사 내부에서 높거나 비슷한 수준이라고 보고한 선행 연구 결과 (Kim et al., 2007)에 의해서도 뒷받침된다.



[그림] 돈사 유형 및 계절에 따른 돈사 내부의 총부유분진의 농도 분포



[그림] 돈사 유형 및 계절에 따른 돈사 내부의 미세분진의 농도 분포

#### (다) 생물학상 오염물질 (부유세균 & 부유진균)

<그림 7>에 나타난 바와 같이 돈사 내부 부유세균의 평균 농도는 자연환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철  $2.51(\pm 0.23)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $3.07(\pm 0.14)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $2.69(\pm 0.16)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로, 강제환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철  $3.71(\pm 0.21)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $4.23(\pm 0.11)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $3.66(\pm 0.08)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로, 자연환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철  $3.51(\pm 0.19)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $4.01(\pm 0.19)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $3.45(\pm 0.20)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로, 강제환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철  $4.96(\pm 0.32)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $5.61(\pm 0.24)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $4.64(\pm 0.31)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로, 자연환기 방식의 톱밥 돈사의 경우 가을철  $5.55(\pm 0.32)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $6.43(\pm 0.29)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $5.55(\pm 0.36)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로 분석되었다.

돈사 유형에 관계없이 현장 측정된 모든 돈사 내부 부유세균의 평균 농도는  $4.24(\pm 1.22)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로 조사되었다. 현장 측정 결과 돈사 유형 측면에서는 부유세균의 평균 농도가 톱밥 돈사(자연환기)>스크레퍼 돈사(강제환기)>슬러리 돈사(강제환기)>스크레퍼 돈사(자연환기)>슬러리 돈사(자연환기)의 순서로 나타나 자연환기 방식의 톱밥 돈사가 가장 높은 부유세균 농도를 보였고( $p < 0.05$ ), 계절 측면에서는 겨울>봄>가을 순서로 조사되어 겨울철이 가장 높았으나 봄철과 가을철 측정 데이터 간의 농도 차이는 통계적으로 입증되지 않았다( $p > 0.05$ ).

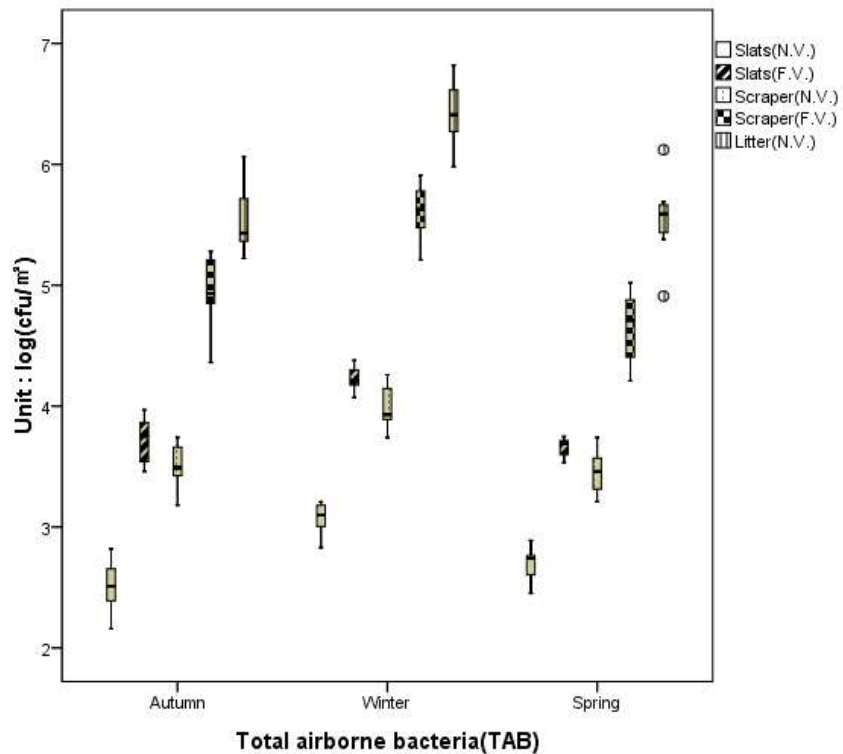
<그림 8>에 나타난 바와 같이 돈사 내부 부유진균의 평균 농도는 자연환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철  $1.71(\pm 0.19)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $2.14(\pm 0.14)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $1.80(\pm 0.26)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로, 강제환기 방식의 슬러리 돈사의 경우 가을철  $2.66(\pm 0.19)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $3.12(\pm 0.11)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $2.53(\pm 0.10)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로, 자연환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철  $2.73(\pm 0.22)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $3.31(\pm 0.10)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $2.68(\pm 0.17)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로, 강제환기 방식의 스크레퍼 돈사의 경우 가을철  $3.05(\pm 0.18)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $3.55(\pm 0.13)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $3.04(\pm 0.19)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로, 자연환기 방식의 톱밥 돈사의 경우 가을철  $4.97(\pm 0.36)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 겨울철  $5.50(\pm 0.22)\log(\text{cfu m}^{-3})$ , 봄철  $4.84(\pm 0.18)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로 분석되었다. 돈사 유형에 관계없이 현장 측정된 모든 돈사 내부 부유세균의 평균 농도는  $3.17(\pm 1.19)\log(\text{cfu m}^{-3})$ 으로 조사되었다.

현장 측정 결과 돈사 유형 측면에서는 부유진균의 평균 농도가 톱밥 돈사(자연환기)>스크레퍼 돈사(강제환기)>슬러리 돈사(강제환기)>스크레퍼 돈사(자연환기)>슬러리 돈사(자연환기)의 순서로 나타나 자연환기 방식의 톱밥 돈사가 가장 높은 부유진균 농도를 보였고( $p < 0.05$ ), 계절 측면에서는 겨울>봄>가을 순서로 조사되어 겨울철이 가장 높았으나 봄철과 가을철 측정 데이터 간의 농도 차이는 통계적으로 입증되지 않았으며 ( $p > 0.05$ ) 부유세균의 경우와 동일한 결과가 도출되었다.

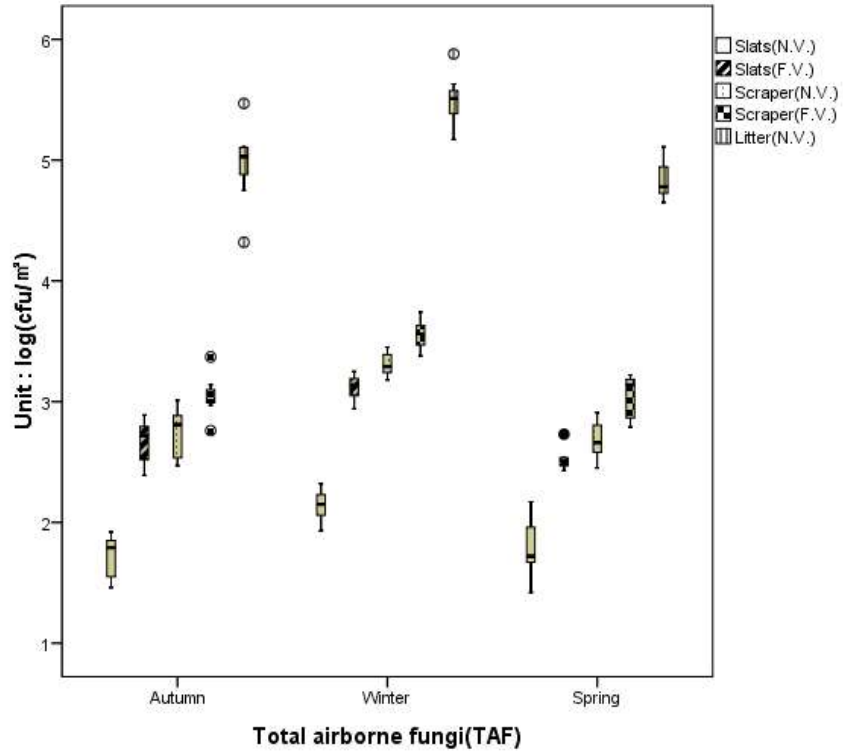
돈사내 부유 미생물을 측정한 Kim et al. (2008b)의 선행 연구 결과에 의하면 부유 세균과 진균의 농도가 각각  $10^4\text{cfu m}^{-3}$ 과  $10^3\text{cfu m}^{-3}$  수준인 것으로 보고하고 있으나, 측정시기가 봄과

가을철에만 수행된 점과 시료 채취 방법이 충돌법이 아닌 흡수법으로 적용된 점이 본 연구와 상이하기 때문에 서로의 측정 결과를 단면적으로 비교한다는 것은 객관성이 결여된다. 사람들이 거주하는 일반 시설들에서 측정된 부유 세균과 진균의 농도 (김윤신 등, 2002; 이창래 등, 2005; 박재범 등, 2006; 김기연 등, 2007)와 비교시 본 연구에서 측정된 돈사 내부 농도는 10~100배에 해당될 정도로 아주 높은 수치인 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 사료, 분뇨, 돼지의 피부 및 털 등 부유 미생물의 주요 발생원이 될 수 있는 유기성 원료가 일반 시설들에 비해 돈사 내부에 상대적으로 많이 분포하고 있기 때문이다 (Cormier et al., 1990). 돈사 유형 및 계절에 따른 부유 세균과 진균의 농도 분포 양상이 대체로 입자상 오염물질의 경우와 유사한 것으로 나타났는데, 이는 미생물 자체가 고체상 입자 형태 범주에 포함된다라는 점과 대부분의 부유 미생물들이 독립적으로 존재하지 않고 분진 등의 입자상 물질 표면에 흡착된 후 영양원을 공급받아 공기 중에서 생존 능력을 유지한다라는 점 (Kim et al., 2005)에 근거하여 해석될 수 있다.



[그림] 돈사 유형 및 계절에 따른 돈사 내부의 부유세균의 농도 분포



[그림] 돈사 유형 및 계절에 따른 돈사 내부의 부유진균의 농도 분포

### (3) 결론

현장 측정 결과 분뇨 처리 방식에 따른 돈사 유형의 경우 가스상 오염물질의 농도는 스크레퍼 돈사에서 가장 높게 나타났고, 톱밥 돈사에서 가장 낮은 수준인 것으로 분석되었다. 반면 입자상과 생물학상 오염물질의 농도는 톱밥 돈사에서 가장 높은 수준으로 나타났고, 슬러리 돈사에서 가장 낮은 것으로 조사되었다. 환기 방식 측면에서는 측정대상 모든 공기오염물질 모두 자연환기 방식보다 강제환기 방식이 적용되는 돈사에서 높은 농도로 조사되어 현재 국내에서 운용되고 있는 돈사의 경우 기계 팬에 의한 환기율이 적정하게 설정되고 있지 못한 것으로 판단된다. 계절 조건에 따른 돈사 내 공기오염물질의 농도 수준은 겨울철에서 가장 높게 나타났고, 봄철과 가을철은 서로 유사한 것으로 조사되었는데 이는 돈사 내부의 적정 온열 조건을 유지하기 위해 겨울철에는 상대적으로 낮은 환기율이 적용된 이유라 사료된다.

### 나. 다양한 돈사 공기오염물질 노출에 따른 돼지 생산성 및 복지 지수와의 통계적 상관성 규명

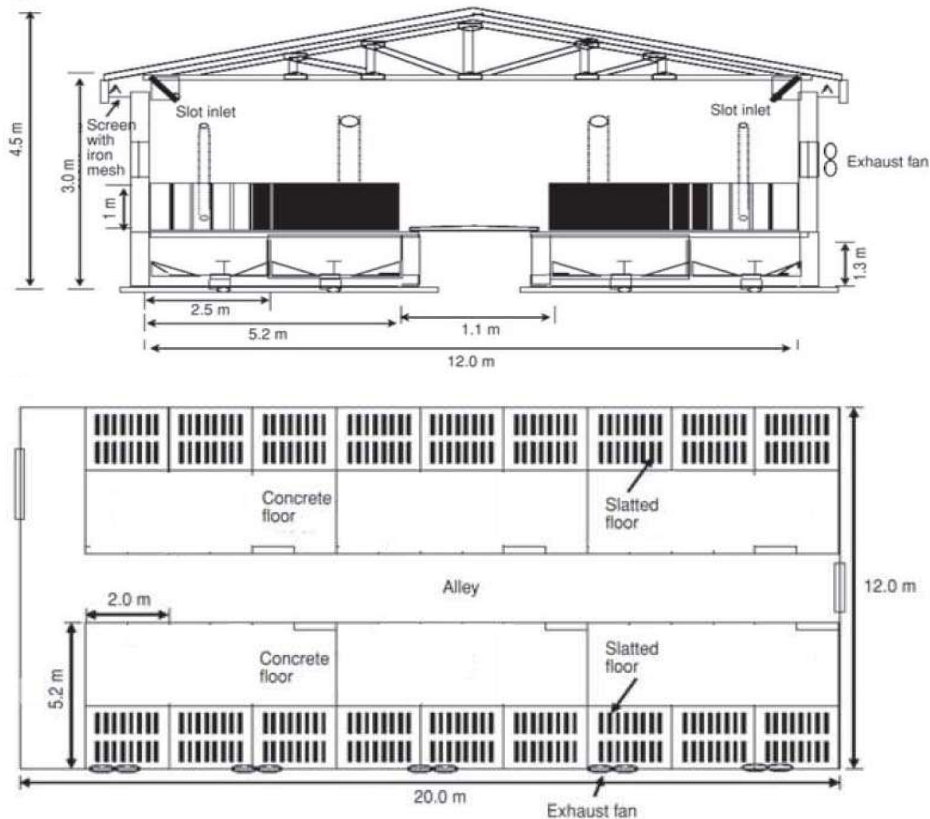
#### (1) 현장 실증 실험을 통한 돈사 공기오염물질과 돼지 생산성 및 복지 지수와의 상관관계 및 Mass Balance 데이터 구축



## (가) 연구 방법

### - 측정 대상

본 연구에서는 평가 대상 돈사(<그림 9> 참조) 내 공기오염물질 노출에 따른 돼지 복지를 평가하기 위한 지표로 돼지행동지수(Pig Activity Index; PAI)와 체내 코티졸(Cortisol) 농도를 선정하였고, 생산성 평가 지표로는 사료요구율(Feed Conversion Ratio)을 대상으로 하였다.



[그림] 본 연구에서 수행된 실험 대상 돈사 제원

### - 동물 복지 지표

#### ① 돼지행동지수 (Pig Activity Index; PAI)

돼지 행동 지수는 전체 돼지 마리 수 중에 네 발로 서 있는 돼지 마리 수가 차지하는 비율로서 Parbst et al.(2000)이 제안한 방법이다. 돼지 행동 지수의 증가는 돈사 내부의 적절한 환경 조건 조성으로 인해 돼지의 활발한 움직임의 비율이 높아진다는 의미로 돼지의 운동 생리학적인 반응을 통해 돼지가 받는 스트레스를 간접적으로 평가할 수 있는 지표라 할 수 있다. 본 연구에서는 돈사의 중앙 지점에서 양 측면의 각각 세 개의 펜(pen)에 입식된 돼지들을 평가 대상으로 하였고, 공기오염물질의 시료를 채취하는 동안 조사자가 직접 5번 반복 계수하여 이를 평균하여 산출하였다.

## ② 코티졸 (Cortisol)

동물복지에 대한 관심이 고조되면서 동물의 사육조건에 따른 스트레스 정도를 평가하는데 있어 스트레스 호르몬 농도를 평가한 연구 사례가 보고된 바 있다 (Beerda et al., 1999, Groot et al., 2001). 스트레스 수준을 평가하기 위해 일반적으로 활용된 호르몬으로는 콜티졸, 에피네프린, 노르에피네프린이 있다. 그러나 에피네프린과 노르에피네프린의 경우 급성 스트레스를 반영하는 호르몬으로 혈액 내 농도를 분석하기 위해서는 주사기를 사용한 채혈(<그림 10> 참조)이 수행되어야 하기 때문에 이로 인한 돼지들의 스트레스를 추가 반영할 오류가 있다. 따라서 본 연구에서는 스트레스 호르몬 중 만성적 스트레스 영향을 반영하는 콜티졸을 대상으로 평가하였다.

코티졸의 검사 방법으로 RIA(Radio immuno assay)를 적용하였고, 본 방법의 검사 원리는 다음과 같다. Immobilize antibody가 부착된 polypropylene tube에 표준 물질과 serum sample을 넣어 반응을 유도하고, 여기에 Coated 125 I-labeled cortisol을 넣어 antibody bound fraction을 radiolabeled cortisol로 분리한다. 이때 antibody-specimen-125 I-labeled cortisol로 완전히 결합한 물질을 제외한 나머지 unbound form은 제거하고, gamma counter에 측정하여 cortisol의 농도를 구한다.



제품명 :  
Gamma counter -  
Cobra II

제조사	사용시약	참고치
(제조사 : Hewlett Packard, USA) Catecholamine 2분획	COAT-A-COUNT Cortisol (제조사:DPC, USA)	Serum ; AM 50-250ug/ml PM 25-125ug/ml Urine ; 200-900ug/day



[그림] 코티졸 채취 현장 모습  
(左부터 : 채혈 준비, 채취된 시료, 채혈, 채혈후 락카로 표시)

### ③ 사료요구율 (Feed conversion ratio; FCR)

돼지의 단위 체중 증가에 필요한 사료섭취량으로 단계별 사료섭취량을 증체량으로 나눈 값을 의미한다. 이는 성장 중인 돼지에 어떤 사료를 주었을 경우의 증체량과 사료섭취량에 대한 비율인 사료효율 (Feed efficiency ratio)의 반대개념으로 급여된 사료가 돼지의 증체로 어느 정도 전환되었는가를 조사하는데 활용되는 지표이다. 따라서 사료요구율이 낮을수록 돼지의 생산성이 향상되었다고 할 수 있다. 본 연구에서는 평가 대상 돈사에 입식된 전체 돼지들 중 중앙 양쪽 측면 두 펜(pen)에 입식된 돼지 10마리를 선정 표기하여 투여된 사료량과 이에 따른 증체량을 나누어 산정하였다.

#### - 통계 분석

통계 분석 프로그램(SPSS 4.0)을 이용하여 Pearson's correlation test 방법을 적용해 돼지 복지 지표(돼지 행동 지수와 혈액 내 코티졸 농도) 및 생산성 지수(사료요구율)과 돈사 내부의 열적 인자(온도와 상대습도) 및 공기오염물질간의 통계적 상관분석을 수행하였다.

#### (나) 연구 결과 및 고찰

##### - 현장 측정 결과

<표 2>는 조사 대상 돈사 내부에서 측정된 돼지 복지 지표(돼지 행동 지수와 코티졸), 돼지 생산성 지표(사료요구율), 열적 인자(온도와 상대습도), 공기오염물질의 농도 분포를 보여주고 있다. 각 측정 항목별 평균값, 표준편차, 범위를 살펴보면 돼지 행동 지수는 41.5(±8.6; 23.8~63.2), 돼지 생체 혈액 내 코티졸 농도는 4.3(±0.9; 2.6~6.4)μg/dl, 사료요구율은 1.61(±0.06; 1.51~1.73), 돈사 내부 온도는 24.7(±2.4; 20.8~28.8)°C, 돈사 내부 상대습도는 71.1(±7.3; 56.6~83.9)%, 총부유분진(TSP) 농도는 3,198(±796; 1,731~4,934)μg/m<sup>3</sup>, 미세분진(TSP) 농도는 1,705(±764; 131~3,443)μg/m<sup>3</sup>, 악취 농도 지수는 449(±113; 233~707), 암모니아 농도는 10.1(±2.4; 5.7~15.2)ppm, 황화수소 농도는 154.5(±19.9; 114.2~191.4)ppb, 총부유세균 농도는 429,721(±360,686; 29,214~1,958,033)cfu/m<sup>3</sup>, 총부유진균 농도는 27,032(±16,410; 5,448~82,269)cfu/m<sup>3</sup>인 것으로 조사되었다.

<표 2> 돈사 실내환경 오염인자와 동물 복지 지표의 현장 측정 결과

	PAI <sup>1</sup>	Cortisol (μg/dl)	FCR <sup>2</sup>	Temp. (°C)	R.H. (%)	TSP (μg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	OCI <sup>3</sup>	NH <sub>3</sub> (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppb)	TAB <sup>4</sup> (cfu/m <sup>3</sup> )	TAF <sup>5</sup> (cfu/m <sup>3</sup> )
Mean	41.5	4.3	1.61	24.7	71.1	3,198	1,705	449	10.1	154.5	429,721	27,032
S.D.	8.6	0.9	0.06	2.4	7.3	796	764	113	2.4	19.9	360,686	16,410
Max.	63.2	6.4	1.73	28.8	83.9	4,934	3,443	707	15.2	191.4	1,958,033	82,269
Min.	23.8	2.6	1.51	20.8	56.6	1,731	131	233	5.7	114.2	29,214	5,448

<sup>1</sup>Pig Activity Index : 돼지 행동 지수, <sup>2</sup>Feed Conversion Ratio : 사료요구율, <sup>3</sup>Odor Concentration Index : 악취 농도 지수, <sup>4</sup>Total Airborne Bacteria : 총부유세균, <sup>5</sup>Total Airborne Fungi : 총부유진균

- 공기오염물질 노출 수준과 돼지 행동 지수와의 상관관계

<표 3>에 나타난 바와 같이 돈사 내 공기오염물질 및 열적 인자(온도 & 상대습도) 노출 수준과 돼지 행동 지수와의 상관관계를 통계적으로 분석한 것이다. 동물 행동 지수(PAI)와 양의 상관관계를 보인 요인은 상대습도( $r=0.17$ ), 총부유분진( $r=0.77$ ), 미세분진( $r=0.34$ ), 총부유세균( $r=0.51$ ), 총부유진균( $r=0.62$ ) 항목으로 나타났으나, 통계적 유의성이 입증된 요인은 총부유분진( $p<0.01$ )과 총부유진균( $p<0.062$ )인 것으로 분석되었다. 반면 동물 행동 지수와 음의 상관관계를 보인 요인은 온도( $r=-0.21$ ), 악취 농도 지수( $r=-0.29$ ), 암모니아( $r=-0.64$ ), 황화수소( $r=-0.41$ )였고 이 중 암모니아만이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다( $p<0.05$ ).

본 연구 결과에 의하면 돈사 내부의 열적 인자인 온도는 증가하고 상대습도가 감소되면 돼지의 움직임이 둔화되는 것으로 나타났으나, 통계적으로 유의하지 않았다( $p>0.05$ ). 돈사 내부의 온도와 상대습도 수준에 따른 행동성을 포함한 돼지의 생리학적 반응 양상은 연구자들마다 다른 결과를 제시하고 있기 때문에 본 분석 결과를 일반화하기에는 적절하지 못한 것으로 판단된다. 따라서 돈사 내부의 열적 인자에 따른 돼지의 행동성과의 상관관계를 명확히 규명하기 위해서는 향후 추가 연구들이 수행되어야 할 것이다.

돼지 행동 지수와 총부유분진(TSP)과의 통계적으로 유의한 양의 상관성을 보인 분석 결과는 돈사 내 돼지의 행동성이 증가되면 분진의 농도가 따라서 높아진다는 선행 연구 결과(Pederson 1993; Gustafsson 1999)에 근거하여 해석될 수 있다. 즉 돼지가 움직이게 되면 돈사 바닥에 분포하고 있는 건조화된 돼지 분뇨가 입자화되어 공기 중으로 비산되기 때문이라 판단된다. 반면 돼지 행동 지수와 미세분진( $PM_{10}$ )간 통계적 유의성을 보이지 않은 결과는 돈사내 돼지의 움직임이 많으면 미세분진과 같은 호흡성 분진의 농도가 급격히 증가한다고 보고한 Morrison et al. (1993)의 선행 연구 결과와 상반된 것으로 이는 돈사 내부의 미세분진의 농도는 돼지의 행동정보보다는 환기에 의해 형성되는 공기 흐름 패턴에 상대적으로 더 많은 영향을 받는다는 Barber et al. (1991)의 연구 결과에 근거하여 추정될 수 있다. 입경 크기가  $10\mu m$  이하의 미세분진 중  $0.01\mu m$  이하의 입자들은 일반적으로 브라운 운동 (Brown's movement)에 의한 확산 형태로 가스상 물질처럼 공기 중에서 이동하기 때문에 미세분진의 농도는 돈사 내부에 형성된 공기 흐름 패턴에 따라 주로 결정된다고 할 수 있다.

부유 미생물은 일반적으로 분진 입자 표면에 부착되어 공기 중에서 함께 이동하기 때문에 나타난 결과라 추정된다. 돈사 내 부유 미생물이 돼지 행동에 의해 비산된 분뇨 입자 표면에 쉽게 부착되어 여기서 영양분을 공급받아 공기 중에서 생존한다는 선행 연구 결과들 (Robertson and Frieben 1984; Donham et al. 1986)이 이를 뒷받침 해 준다.

측정 대상 가스상 물질인 암모니아와 황화수소는 돼지 행동 지수와 음의 상관관계를 보였으나, 통계적으로 유의한 가스상 물질은 암모니아인 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과는 황화수소보다는 암모니아가 돼지의 움직임을 더 둔화시키는 가스상 물질임을 시사해 준다. 하지만 Morrison et al.(1993)의 선행 연구 결과에 의하면 돼지의 행동성은 암모니아의 노출량보다는 돼지들의 군집 특성에 의해 주로 좌우되며, 일반적으로 돈사 내 형성되는 암모니아 농도 수준

은 돼지들의 움직임 저하에 큰 영향을 주지 않는다고 보고하여 본 연구 결과와는 상반된 것이다. 따라서 암모니아와 같은 돈사 내부에서 발생하는 주요 가스상 물질들이 돼지 행동성에 어떠한 영향을 주는지에 대한 추가 연구들이 향후 수행되어야 할 것으로 사료된다.

악취 농도 지수도 가스상 물질과 같이 돼지 행동 지수와 음의 상관성을 보였으나, 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 악취는 수천가지 이상의 화학 물질들이 복합되어 형성되기 때문에 어떤 특정한 개별 가스상 물질로 대표할 수 없다. 따라서 돈사 내부의 악취가 돼지의 움직임을 촉진 또는 둔화시키는 요인으로 단정하기에는 무리가 있다고 사료된다.

돈사 내부의 여러 환경 인자들에 대한 돼지들의 생리학적 반응 관계는 매우 복잡하고, 각각의 공기오염물질이 돼지들에게 어떠한 영향을 주는지를 명확하게 규명하는 것 또한 현재로서는 어려운 일이며 이에 대한 과학적 정보도 부족한 실정이다 (Nicks et al., 1993). 돈사 내 공기오염물질 중 암모니아와 황화수소 노출 수준에 따른 돼지들의 생리학적 반응 양상을 보고한 몇몇 연구 자료들이 있으나 (Stombaugh et al., 1969; Galbraith and Robertson, 1971), 돼지들의 질병 예방과 복지 확보를 위한 암모니아와 황화수소의 공식적인 노출기준은 국내외적으로 아직 설정된 바 없다. 몇몇 연구자들은 분진과 부유미생물 노출 수준에 따라 호흡기계 질병과 같은 돼지들의 임상적 반응 양상이 어떻게 변화되는지를 조사하였다 (Curtis et al., 1974; Donham et al., 1986; Olson and Bark, 1996).

그리고 이러한 연구 결과들을 근거로 Donham과 Cumro (1999)는 돼지 사육시 준수해야 할 분진과 부유미생물의 노출기준을 권고하기도 하였으나, 암모니아와 황화수소와 같은 가스상 물질처럼 본 인자들에 대한 공식적 노출기준도 국내외적으로 발표된 바 없다. 따라서 공간적으로 제한된 돈사에서 돼지들을 사육하는 경우 이들의 복지 및 질병 예방, 더 나아가 최종 돈육 품질의 안전성을 보장하기 위한 가스상, 입자상, 생물학상 공기오염물질의 합리화된 적정 노출기준이 과학적 연구 과정과 검토를 통해 설정되어야 할 것이다. 또한 비디오 촬영, 돼지 음성 분석, 온라인 센싱 등의 돼지의 행동성을 실시간으로 모니터링할 수 있는 방법들이 향후 적용되어 돈사 내부의 공기오염물질 노출에 따른 돼지들의 반응성을 심도있게 조사해야 할 것이다.

<표 3> 돈사 실내환경 오염인자와 동물 행동 지수와 상관성 분석 결과

	PAI <sup>1</sup>	Temp.	R.H.	TSP	PM <sub>10</sub>	OCI <sup>2</sup>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	TAB <sup>3</sup>	TAF <sup>4</sup>
PAI	1.00	-0.21	0.17	0.77**	0.34	-0.29	-0.64*	-0.41	0.51	0.62*

<sup>1</sup>Pig Activity Index : 돼지 행동 지수, <sup>2</sup>Odor Concentration Index : 악취 농도 지수, <sup>3</sup>Total Airborne Bacteria : 총부유세균, <sup>4</sup>Total Airborne Fungi : 총부유진균

\* : p<0.05, \*\* : p<0.01

- 공기오염물질 노출 수준과 코티졸 농도와의 상관관계

<표 4>에 나타난 바와 같이 돈사 내 공기오염물질 및 열적 인자(온도 & 상대습도) 노출 수준과 돼지 혈액 내 코티졸 농도와의 상관관계를 통계적으로 분석한 것이다. 코티졸 농도와 양

의 상관관계를 보인 요인은 온도( $r=0.34$ ), 악취 농도 지수( $r=0.25$ ), 암모니아( $r=0.76$ ), 황화수소( $r=0.47$ ) 항목으로 나타났으나, 이 중 암모니아만 통계적 유의성이 입증되었다( $p<0.01$ ). 반면 코티졸 농도와 음의 상관관계를 보인 요인은 상대습도( $r=-0.22$ ), 총부유분진( $r=-0.67$ ), 미세분진( $r=-0.41$ ), 총부유세균( $r=-0.36$ ), 총부유진균( $r=-0.43$ )였고 총부유분진만이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다( $p<0.05$ ).

본 통계 분석 결과에 근거하여 해석하게 되면 돈사 내 공기오염물질 및 열적 인자와 돼지 혈액 내 코티졸 농도간의 상관관계는 돼지 행동 지수와는 정반대인 결과로 나타났다. 즉 돈사 내 암모니아와 같은 가스상 물질의 노출 수준과 온도가 증가되면 돼지들이 스트레스를 많이 받는 것으로 판단되고 이로 인해 돼지의 행동성이 둔화되어 돈사 바닥에 침전되어 있는 건조화된 분뇨와 사료 입자가 공기 중으로 쉽게 비산되지 못해 분진 및 부유 미생물들의 농도가 상대적으로 감소하게 되어 코티졸 농도와 음의 상관관계를 보인 것으로 추정된다.

스트레스 호르몬은 스트레스 부하에 따른 생식기능, 면역기능, 지각능력, 대사작용 등 신체적 기능에 미치는 부정적 영향도 연구되고 있다 (Groot et al., 2001; Roussel et al., 2004; Ott, 2005). 특히 스트레스에 따른 면역기능저하에 따른 질병발생 감수성 증가와 같은 스트레스와 면역기능변화의 상관성에 대한 연구가 집중적으로 진행되고 있다 (Elenkov and Chrousos, 1999). 돼지가 스트레스와 같은 위협 상황이 오면 몸은 그러한 위협에 대항하기 위해 에너지를 생산해 내야 하는데 돼지의 신경계 중 교감 신경계가 활동을 시작하고 부신(adrenal gland)에서 에피네프린(epinephrine), 노르에피네프린(norepinephrine), 스테로이드(steroid) 계열의 호르몬이 분비되는데 코티졸은 부신 피질에서 분비되는 스테로이드계 호르몬으로 스트레스와 같은 위협 상황이 오면 각 기관의 혈액 방출량이 많아지고 상대적으로 맥박과 호흡이 빨라지며, 감각기관이 예민해 진다.

그리하여, 고혈압, 만성피로, 두통이 발생하고 특히, 면역력이 약해져 감기 질병이 오게 된다. 돼지 스트레스와 혈액 내 코티졸 농도와의 관계를 연구한 Webel(1997)의 선행 결과에 따르면 돼지 혈액 내 스트레스 호르몬 중 코티졸 농도가 상승하게 되면 중체량은 상대적으로 감소되는 것으로 보고하고 있어 돼지에게 부여되는 스트레스가 복지 측면 뿐만 아니라 생산성과도 연관되어 있음을 알 수 있다.

<표 4> 돈사 실내환경 오염인자와 돼지 혈중 코티졸 농도와의 상관성 분석 결과

	Cortisol	Temp.	R.H.	TSP	PM <sub>10</sub>	OCI <sup>1</sup>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	TAB <sup>2</sup>	TAF <sup>3</sup>
Cortisol	1.00	0.34	-0.22	-0.67*	-0.41	0.25	0.76**	0.47	-0.36	-0.43

<sup>1</sup>Odor Concentration Index : 악취 농도 지수, <sup>2</sup>Total Airborne Bacteria : 총부유세균, <sup>3</sup>Total Airborne Fungi : 총부유진균

\* :  $p<0.05$ , \*\* :  $p<0.01$

- 공기오염물질 노출 수준과 사료 요구율과의 상관관계

<표 5>에 나타난 바와 같이 돈사 내 공기오염물질 및 열적 인자(온도 & 상대습도) 노출 수준과 사료 요구율과의 상관관계를 통계적으로 분석한 것이다. 사료 요구율과 양의 상관관계를 보인 요인은 온도( $r=0.54$ ), 악취 농도 지수( $r=0.33$ ), 암모니아( $r=0.71$ ), 황화수소( $r=0.39$ ) 항목으로 나타났으나, 이 중 암모니아만 통계적 유의성이 입증되었다( $p<0.05$ ). 반면 사료 요구율과 음의 상관관계를 보인 요인은 상대습도( $r=-0.13$ ), 총부유분진( $r=-0.69$ ), 미세먼진( $r=-0.36$ ), 총부유세균( $r=-0.24$ ), 총부유진균( $r=-0.38$ )였고 총부유분진만이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다( $p<0.05$ ).

본 통계 분석 결과 근거시 돈사 내 공기오염물질 및 열적 인자와 사료 요구율과의 상관관계 양상은 돼지 혈액 내 코티졸 농도의 경우와 동일한 것으로 조사되었다. '사료요구율이 낮다'라는 것은 급이된 사료가 돼지의 증체로 전환되는 비율이 높다는 것을 의미하기 때문에 사료 이외의 다른 돈사 환경적 요소들이 돼지 증체에 기여하고 있음을 암시하고 있다. 따라서 돈사 내 암모니아와 같은 가스상 물질의 노출 수준과 온도가 증가되면 열악한 환경 조건에 따른 스트레스를 극복하기 위한 하나의 방편으로 돼지들은 사료를 많이 먹게 되지만 상대적으로 증체로의 전환율은 감소되는 것으로 사료된다.

<표 5> 돈사 실내환경 오염인자와 사료요구율과의 상관성 분석 결과

	FCR <sup>1</sup>	Temp.	R.H.	TSP	PM <sub>10</sub>	OCI <sup>2</sup>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	TAB <sup>3</sup>	TAF <sup>4</sup>
FCR	1.00	0.54	-0.13	-0.69*	-0.36	0.33	0.71*	0.39	-0.24	-0.38

<sup>1</sup>Feed Conversion Ratio : 사료 요구율, <sup>2</sup>Odor Concentration Index : 악취 농도 지수, <sup>3</sup>Total Airborne Bacteria : 총부유세균, <sup>4</sup>Total Airborne Fungi : 총부유진균

\* :  $p<0.05$ , \*\* :  $p<0.01$

(2) 다중회귀모델과 건강위해성평가모델 적용을 통한 돈사 공기오염물질 노출 수준에 따른 돼지의 생산성 및 복지 지수 등급 산정

(가) 다중회귀모델 분석 결과

- 동물 행동 지수 측면

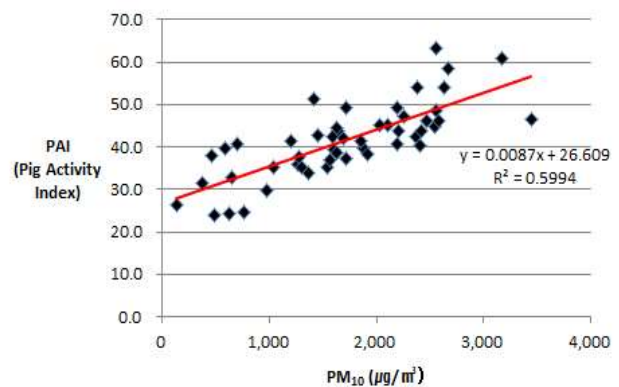
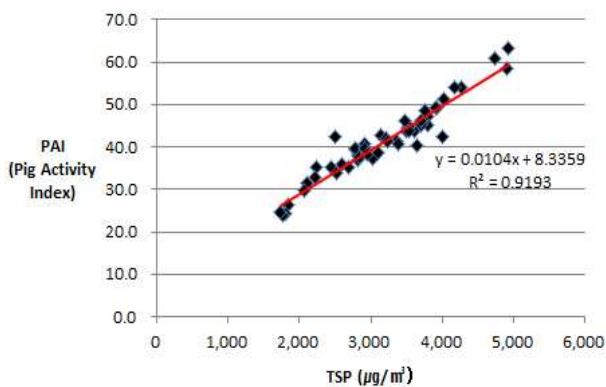
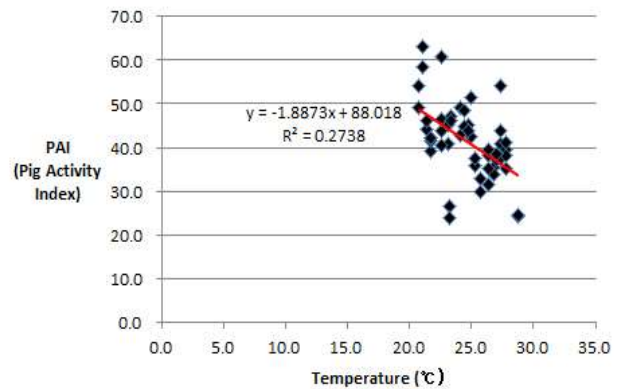
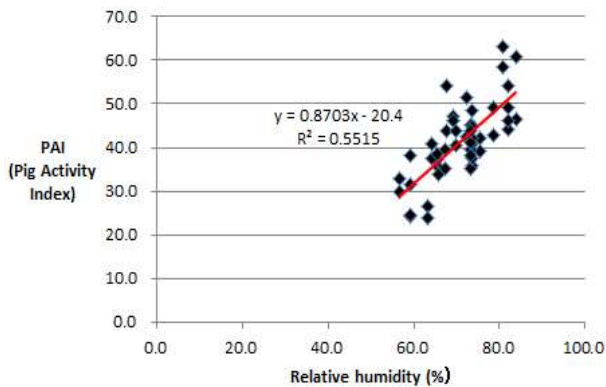
<표 6>은 현장 측정 데이터를 다중 회귀 통계 모델을 적용하여 돈사 내부의 열적 요인(온도 & 상대습도)와 공기오염물질 노출농도를 독립 변수로 설정한 후 본 인자들의 영향을 받는 돼지 행동 지수를 종속 변수로 분석한 것이고, <그림 11>은 개별 독립 변수에 대해 종속 변수인 돼지 행동 지수와와의 직선 회귀 분석을 그래프로 제시한 것이다. 분석 결과, 돼지 행동 지수와 양의 상관성을 보인 인자들은 상대습도 ( $C=0.870$ ), 총부유분진(TSP) ( $d=0.010$ ), 미세먼진(PM<sub>10</sub>) ( $e=0.009$ ), 총부유세균 ( $i=0.001$ ), 총부유진균 ( $j=0.002$ )였고, 이 중 통계적 유의성을 보인 인자는 총부유분진 ( $p<0.01$ )과 총부유진균 ( $p<0.05$ )인 것으로 나타났다. 반면 돼지 행동 지수와 음의

상관성을 보인 인자들은 온도 ( $b=-1.887$ ), 악취 농도 지수 ( $f=-0.016$ ), 암모니아 ( $g=-3.301$ ), 황화수소 ( $h=-0.240$ )였고, 통계적 유의성을 나타낸 인자는 암모니아 ( $p<0.05$ )인 것으로 분석되었다. 따라서 통계학적 측면에서 돼지의 행동성 증가에 따른 실질적인 노출 농도가 높아진 인자는 총부유분진과 총부유진균이라 할 수 있고, 암모니아 노출 수준이 증가되면 돼지의 행동성이 둔화됨을 알 수 있다.

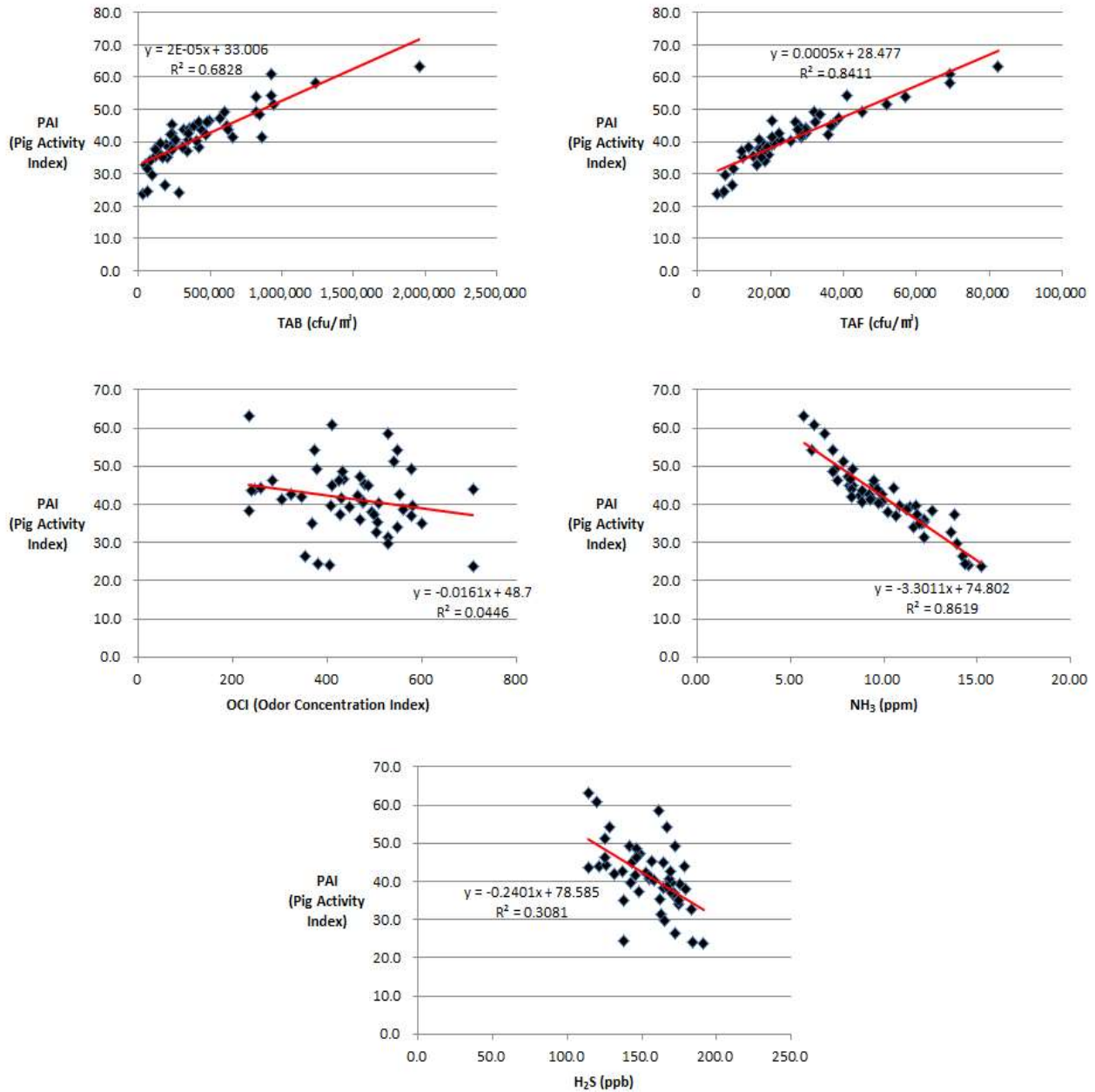
<표 6> 돈사 실내환경 오염인자와 동물 행동 지수와의 다중회귀분석 결과

Equation model :  $Y(\text{pig activity index}) = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_4 + fX_5 + gX_6 + hX_7 + iX_8 + jX_9$

Variables		Estimated value	P-value
Intercept	a	35.24	0.18
Temperature ( $X_1$ )	b	-1.887	0.32
Relative humidity ( $X_2$ )	c	0.870	0.23
TSP ( $X_3$ )	d	0.010	$p<0.01$
PM <sub>10</sub> ( $X_4$ )	e	0.009	0.29
Total airborne bacteria ( $X_8$ )	i	0.001	0.42
Total airborne fungi ( $X_9$ )	j	0.002	$p<0.05$
Odor concentration index ( $X_5$ )	f	-0.016	0.16
Ammonia ( $X_6$ )	g	-3.301	$p<0.05$
Hydrogen sulfide ( $X_7$ )	h	-0.240	0.33







<그림 11> 각각의 돈사 실내환경 오염인자와 동물 행동 지수간의 직선 회귀 분석 결과

- 돼지 생체 코티졸 농도 측면

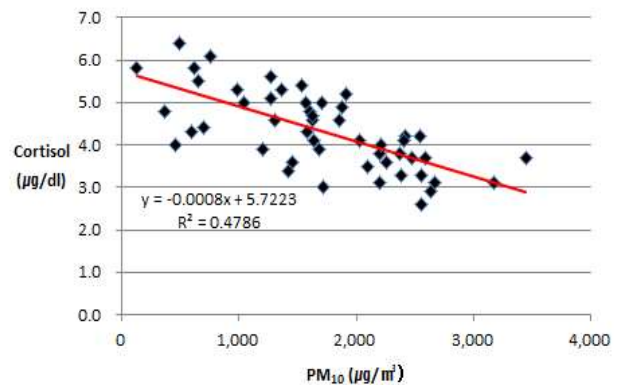
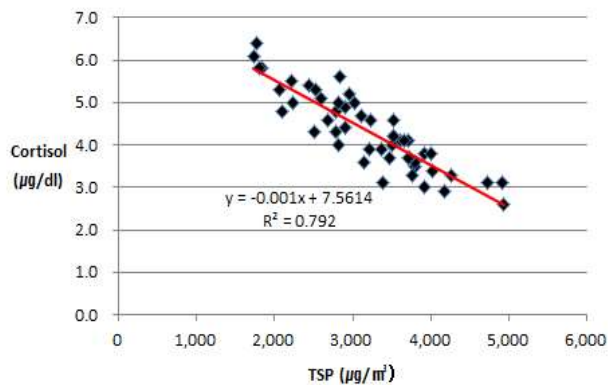
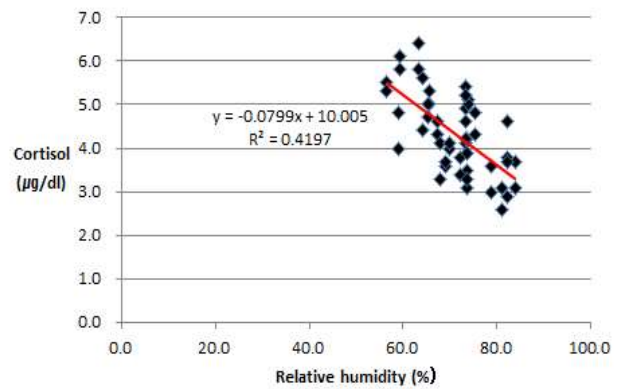
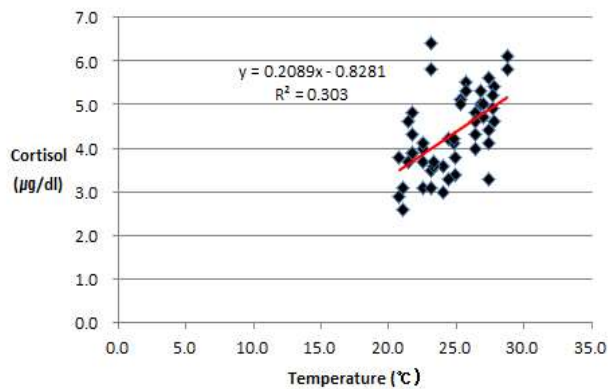
<표 7>은 현장 측정 데이터를 다중 회귀 통계 모델을 적용하여 돈사 내부의 열적 요인(온도 & 상대습도)와 공기오염물질 노출농도를 독립 변수로 설정한 후 본 인자들의 영향을 받는 돼지 생체 내 코티졸 농도를 종속 변수로 분석한 것이고, <그림 12>는 개별 독립 변수에 대해 종속 변수인 돼지 생체 내 코티졸 농도와와의 직선 회귀 분석을 그래프로 제시한 것이다. 분석 결과, 돼지 생체 내 코티졸 농도와 양의 상관성을 보인 인자들은 온도 ( $b=0.209$ ), 약취 농도 지수 ( $f=0.001$ ), 암모니아 ( $g=0.352$ ), 황화수소 ( $h=0.022$ )였고, 이 중 통계적 유의성을 보인 인자는 암모니아 ( $p<0.01$ )인 것으로 나타났다. 반면 돼지 생체 내 코티졸 농도와 음의 상관성을 보인 인자들은 상대습도 ( $c=-0.079$ ), 총부유분진(TSP) ( $d=-0.002$ ), 미세분진(PM<sub>10</sub>) ( $e=-0.001$ ), 총부유세

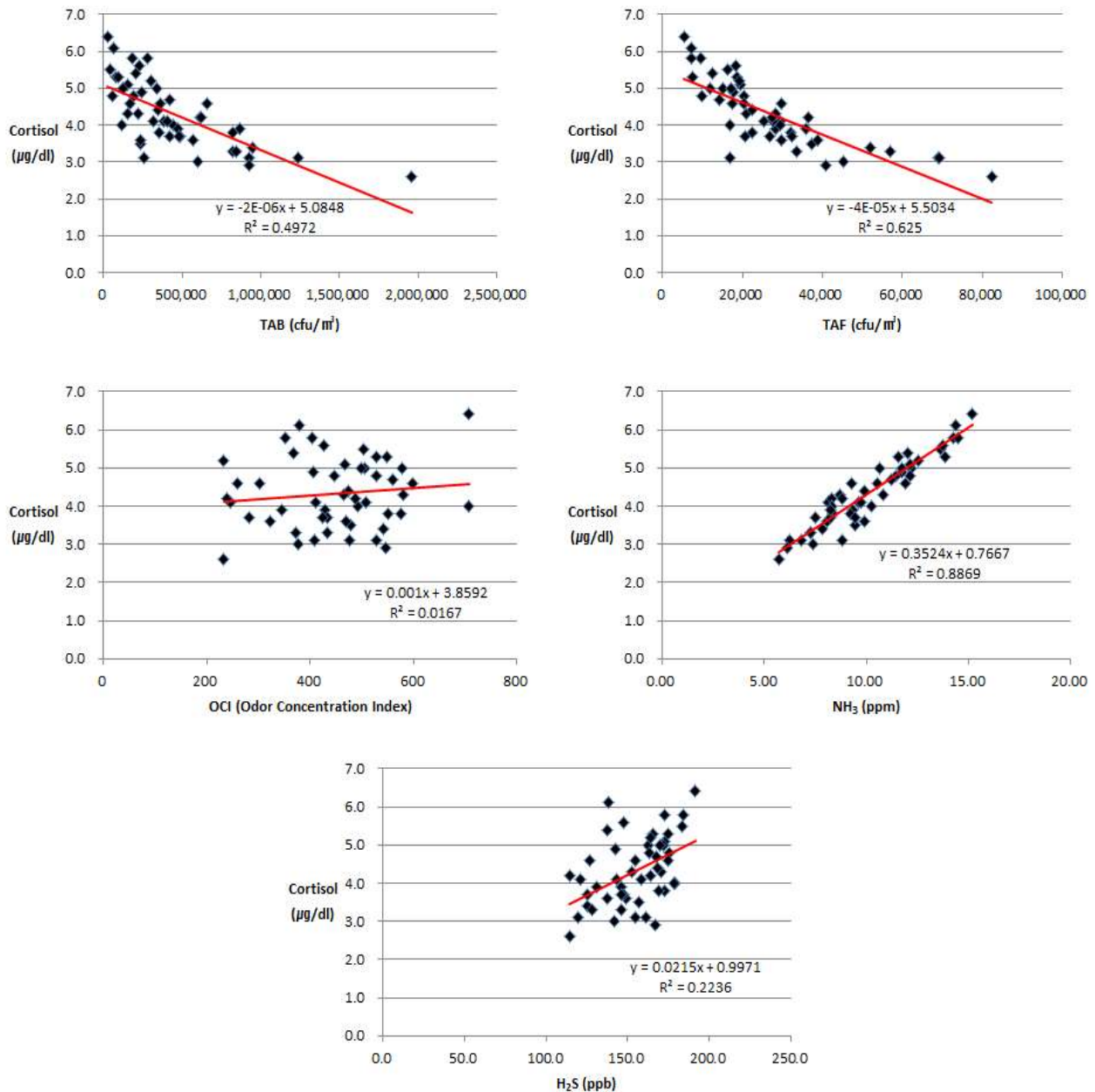
균 ( $i=-2E-06$ ), 총부유진균 ( $j=-4E-05$ )이었고, 통계적 유의성을 나타낸 인자는 총부유분진 ( $p<0.05$ )인 것으로 분석되었다. 따라서 통계학적 측면에서 돈사 실내 환경의 열악한 요인 중 돼지들에게 만성적 스트레스를 부가하는 인자는 암모니아라 할 수 있고, 총부유분진의 노출 수준은 돼지들의 스트레스 유발에 유의한 영향을 주지 않는 것으로 해석될 수 있다.

<표 7> 돈사 실내환경 오염인자와 돼지 혈중 내 코티졸 농도와의 다중회귀분석 결과

Equation model :  $Y(\text{cortisol concentration}) = a+bX_1+cX_2+dX_3+eX_4+fX_5+gX_6+hX_7+iX_8+jX_9$

Variables	Estimated value	P-value	
Intercept	a	3.852	0.12
Temperature ( $X_1$ )	b	0.209	0.28
Relative humidity ( $X_2$ )	c	-0.079	0.16
TSP ( $X_3$ )	d	-0.002	$p<0.05$
PM <sub>10</sub> ( $X_4$ )	e	-0.001	0.36
Total airborne bacteria ( $X_8$ )	i	-2E-06	0.26
Total airborne fungi ( $X_9$ )	j	-4E-05	0.29
Odor concentration index ( $X_5$ )	f	0.001	0.08
Ammonia ( $X_6$ )	g	0.352	$p<0.01$
Hydrogen sulfide ( $X_7$ )	h	0.022	0.37





<그림 12> 각각의 돈사 실내환경 오염인자와 돼지 혈중 내 코티졸 농도와의 직선 회귀 분석 결과

- 사료 요구율 측면

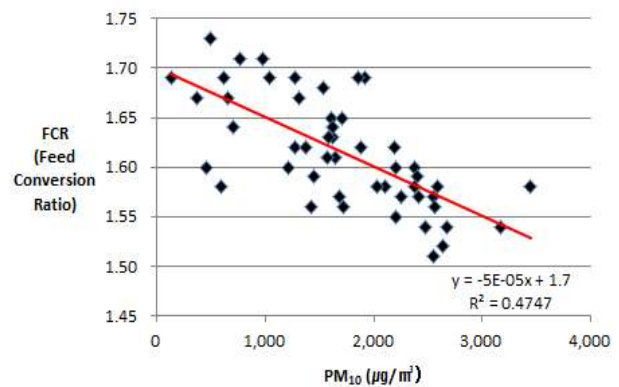
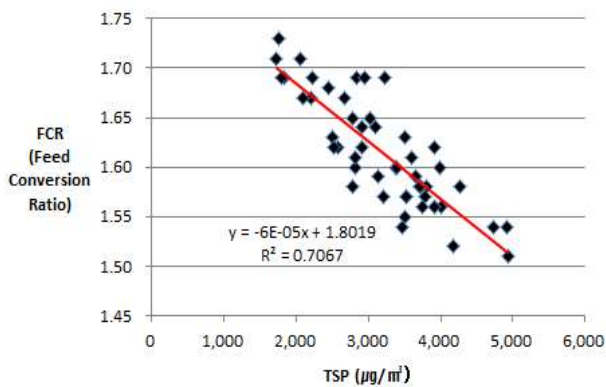
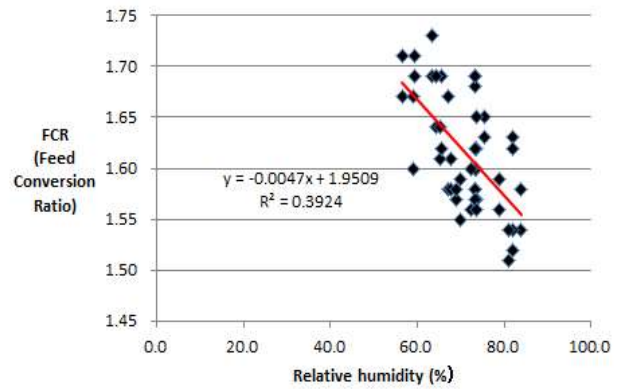
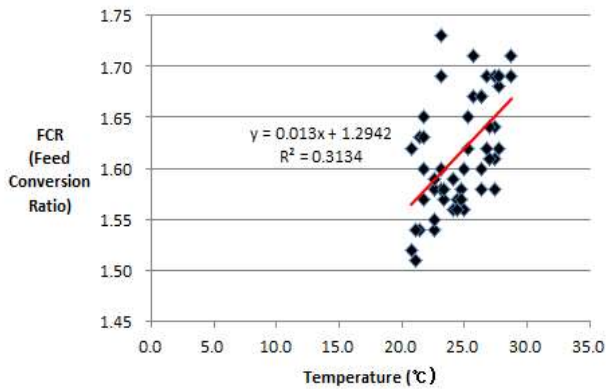
<표 8>은 현장 측정 데이터를 다중 회귀 통계 모델을 적용하여 돈사 내부의 열적 요인(온도 & 상대습도)와 공기오염물질 노출농도를 독립 변수로 설정한 후 본 인자들의 영향을 받는 돼지들의 사료 요구율을 종속 변수로 분석한 것이고, <그림 13>은 개별 독립 변수에 대해 종속 변수인 사료 요구율과의 직선 회귀 분석을 그래프로 제시한 것이다. 분석 결과, 사료 요구율과 양의 상관성을 보인 인자들은 온도 ( $b=0.013$ ), 약취 농도 지수 ( $f=4E-05$ ), 암모니아 ( $g=0.021$ ), 황화수소 ( $h=0.001$ )였고, 이 중 통계적 유의성을 보인 인자는 암모니아 ( $p<0.05$ )인 것으로 나타났다. 반면 사료 요구율과 음의 상관성을 보인 인자들은 상대습도 ( $c=-0.005$ ), 총부유분진(TSP) ( $d=-6E-05$ ), 미세먼진(PM<sub>10</sub>) ( $e=-5E-05$ ), 총부유세균 ( $i=-2E-06$ ), 총부유진균 ( $j=-4E-05$ )이었고, 통

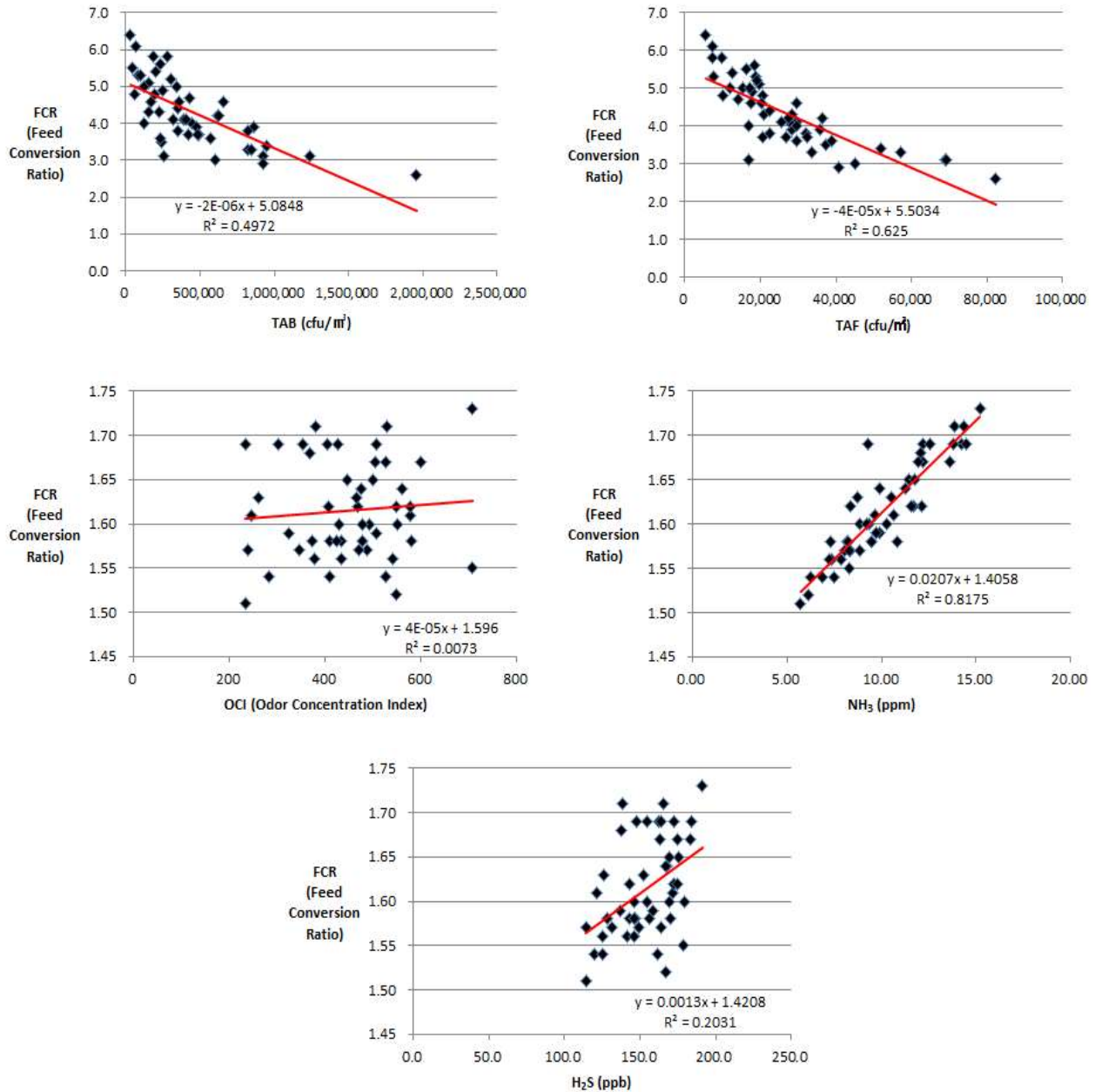
계적 유의성을 나타낸 인자는 총부유분진 ( $p < 0.05$ )인 것으로 분석되었다. 따라서 통계학적 측면에서 돼지 증체에 소요되는 사료 요구량을 증가시키는 부정적 환경 요인은 암모니아라 할 수 있고, 총부유분진의 노출 수준은 돼지 생산성에 유의한 영향을 주지 않는 것으로 해석될 수 있다. 본 통계 분석 결과는 돼지 생체 내 코티졸 농도와 유사한 것으로 돈사 실내 환경 인자 중 노출 농도가 증가되면 돼지들의 행동성 저하 및 만성적 스트레스를 유발시키는 통계적 유의한 인자는 암모니아고, 동시에 사료 요구율 측면에서 돼지의 생산성도 악화시키는 공기오염 물질이라 해석될 수 있다.

<표 8> 돈사 실내환경 오염인자와 사료요구율과의 다중회귀분석 결과

Equation model :  $Y(\text{feed conversion ratio}) = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_4 + fX_5 + gX_6 + hX_7 + iX_8 + jX_9$

Variables		Estimated value	P-value
Intercept	a	1.594	0.17
Temperature ( $X_1$ )	b	0.013	0.31
Relative humidity ( $X_2$ )	c	-0.005	0.42
TSP ( $X_3$ )	d	-6E-05	$p < 0.05$
PM <sub>10</sub> ( $X_4$ )	e	-5E-05	0.43
Total airborne bacteria ( $X_8$ )	i	-2E-06	0.31
Total airborne fungi ( $X_9$ )	j	-4E-05	0.38
Odor concentration index ( $X_5$ )	f	4E-05	0.61
Ammonia ( $X_6$ )	g	0.021	$p < 0.05$
Hydrogen sulfide ( $X_7$ )	h	0.001	0.24





<그림 13> 각각의 돈사 실내환경 오염인자와 사료요구율간의 직선 회귀 분석 결과

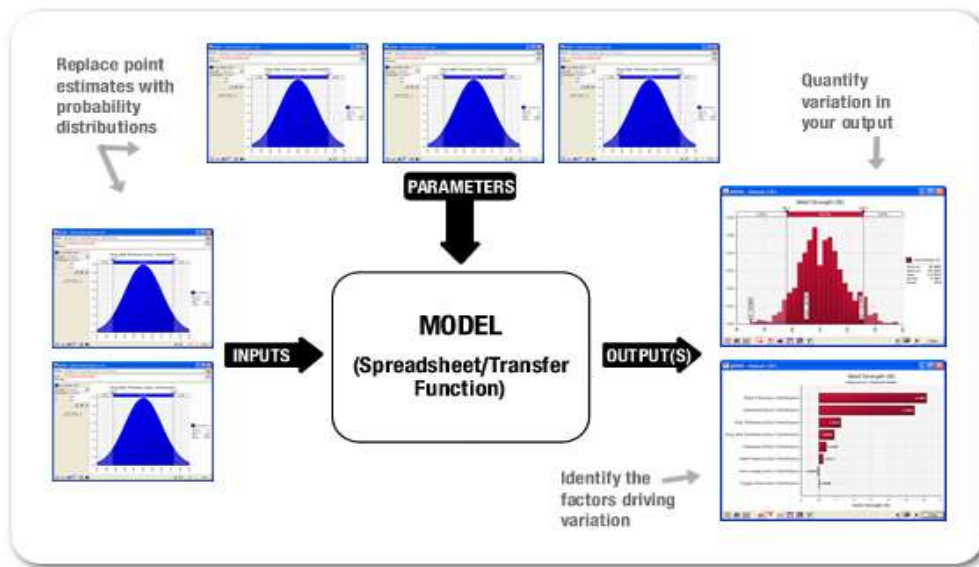
(나) 건강위해성 평가모델 적용 결과

- 다중회귀분석을 통해 돼지 복지 및 생산성에 부정적 영향을 주는 것으로 통계학적 측면에서 입증된 암모니아에 대해 본 분석 결과에 대한 불확실성 요소를 제거하기 위해 건강위해성평 평가모델의 프로세스 중 하나인 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo simulation) 기법을 적용하였다.

- 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 노출실태 평가

몬테카를로 시뮬레이션 기법은 불확실한 상황에서 의사결정을 위한 확률적 시스템을 이용한 모의실험을 말한다. 특정 변수의 미래를 예측하기 위해서는 이 변수와 이 변수에 영향을 주는

변수들간의 관계를 설정하는 모형이 필요하다. 이때 변수들간의 관계가 확실하여 예측치를 정확하게 찾을 수 있는 모형을 확정보형(deterministic model)이라 하고, 결과를 정확하게 예측할 수 없는 모형을 확률모형(stochastic model)이라 한다. 일반적으로 확정보형에서는 분석적 해(analytic solution)를 찾는 것이 가능하다. 즉, 방정식으로 모형을 세우고 수학적으로 이를 계산하여 변수에 대한 해를 찾는 것이다. 그러나 확률모형에 대해서는 이러한 분석적인 방법으로 해를 찾는 것이 불가능한 경우가 대부분이다. 따라서 수치적인 방법(numerical method)으로 해를 찾아야 하며, 이를 위하여 확률모형의 모수(parameter)나 변수에 대하여 반복적으로 여러 수치를 시도하여 확률변수의 분포를 얻어내야 한다. 이때 이 분포를 시뮬레이션 하기 위하여 반복적으로 이용하는 수치를 일련의 난수(random number)로부터 얻을 때 이를 몬테카를로 시뮬레이션이라 한다(<그림 14> 참조).



<그림 14> 몬테카를로 시뮬레이션 분석 절차 과정

- 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 통한 예측치 산출

Monte-Carlo simulation을 통해 예측치 산출의 경우 여러 요소들에 의해 결정된다. 우선 본 연구에서 예측치 산출의 기반이 되는 돈사 실내환경 측정결과에서 물질별 평균, 표준편차, 최대값, 최소값 등의 변수를 나열한다. 현장 측정 결과를 통해 얻어진 변수를 기반으로 하여 정규분포 및 비정규분포 여부를 설정하고 신뢰구간을 설정한다. 그에 따른 난수(Random number) 시도 횟수를 입력하여 설정된 변수들에 의해 예측치를 최종 산출한다.

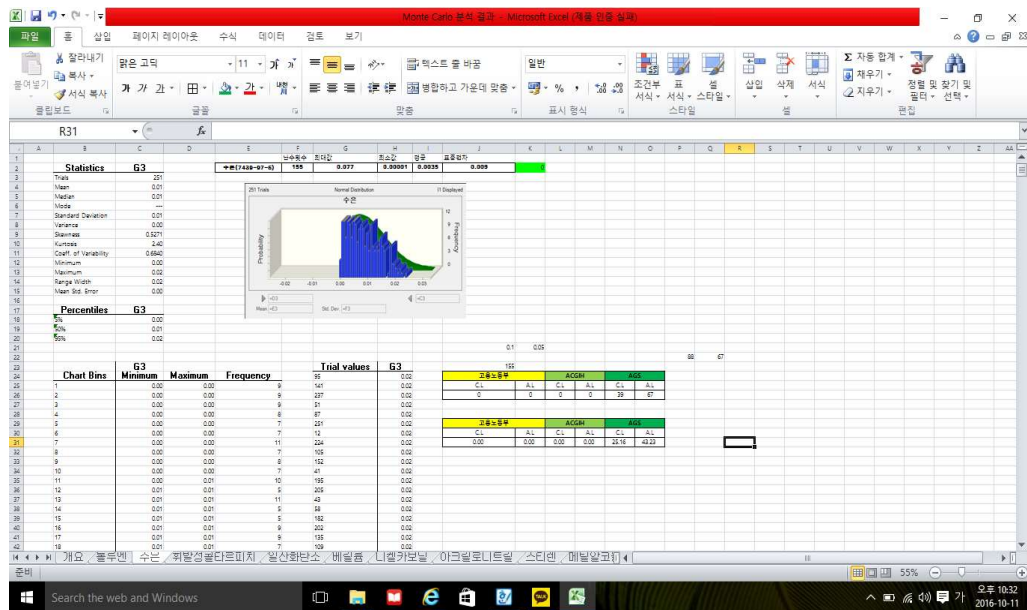
본 연구의 경우 물질별 작업환경측정결과에 대해 다음과 같은 가정으로 실시하였다.

- 측정결과는 정규분포를 한다.
- 신뢰구간 95%에서 예측치를 산출한다.
- 난수(Random number) 시도 횟수의 경우 각 물질의 5년간의 측정 시료

수를 설정한다.

- 산출된 예측치에 근거한 현장 측정 자료의 불확실성 요인 제거

몬테카를로 시뮬레이션 기법을 통해 산출된 예측치와 현장 측정 자료와의 비교를 통해 본 데이터의 불확실성 요인을 제거하였다. 이는 추후 돈사 실내환경 가이드라인 설정에 필요한 근거 자료로서 현장 측정 데이터의 통계적 유효성을 검증하는 절차로 각 수준에 대해 난수(Random number) 횟수와 비교하는 방법으로 수행되었다(<그림 15> 참조).



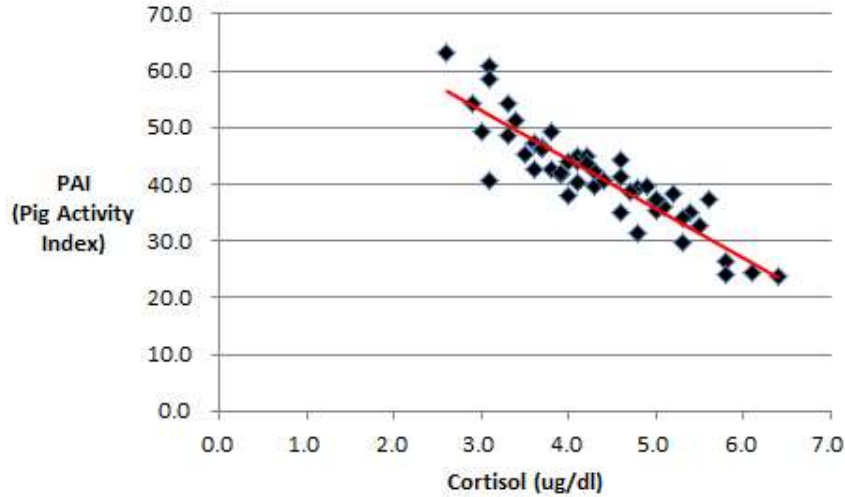
<그림 15> 몬테카를로 분석을 통한 현장 측정 데이터의 불확실성 검증

(다) 주요 공기오염물질 노출에 따른 돼지 복지 및 생산성 등급 산정

- 돼지 복지 및 생산성을 대표하는 지표인 동물 행동 지수, 생체 코티졸 농도, 사료 요구율과 측정대상 공기오염물질 중 통계적으로 유의한 암모니아에 대해 노출 수준별 복지 및 생산성 등급을 산정하였다.

(1) 돼지 복지 등급 : 돼지 행동 지수 측면

돈사에 입식되어 사육되는 돼지들의 복지 수준을 반영하기 위한 돼지 행동 지수의 적정 참고치는 현재까지 보고된 바 없으나, 복지 수준을 반영하는 또 하나의 지표인 돼지 생체 내 코티졸 농도의 경우 적정 참고치 범위( $2.5\mu\text{g}/\text{dl} \sim 12.5\mu\text{g}/\text{dl}$ )가 제시되어 있다. 따라서 현장 측정을 통해 확보된 돼지 행동 지수와 돼지 생체 내 코티졸 농도간의 통계적 상관 분석(<그림 16> 참조)을 통해 직선회귀식(<식 1> 참조)을 산출한 후 본 수식에 돼지 생체 내 코티졸 농도의 경우 적정 참고치를 독립 변수로 대입하여 이에 상응하는 돼지 행동 지수를 역으로 추정하는 방법을 적용하였다(<그림 16> 참조).



<그림 16> 돼지 행동 지수와 돼지 혈중 내 코티졸 농도간의 직선 회귀 분석 결과

$$Y = -8.55X + 78.45 \quad (R^2 = 0.81) \text{ ----- (식 1)}$$

Y : 돼지 행동 지수, X : 돼지 생체 내 코티졸 농도( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )

<식 1>을 통해 단순 추정된 돼지 행동 지수의 적정 참고치 범위는 “-28~57”로 분석되었다. 하지만 돼지 행동 지수의 경우 음(-)의 값은 존재하지 않고 단순 지수화를 위해 상한값인 57을 일의 자리에서 반올림하여 적정 참고치 범위를 “0~60”으로 조정하였다. 추정된 본 범위의 중앙값인 30을 기준으로 돼지 행동 지수에 따른 돼지 복지 수준을 상(60 이상), 중(30 이상 60 미만), 하(0 이상 30미만)로 등급화 하였고, 본 등급에 해당되는 수치를 돼지 행동 지수와 암모니아 노출 농도간의 통계적 상관 분석을 통해 산출된 직선회귀식(<식 2> 참조)에 독립변수로 대입하여 이에 상응하는 암모니아 노출 농도를 추정하였다.

$$Y = -0.26X + 20.92 \quad (R^2 = 0.86) \text{ ----- (식 2)}$$

Y : 암모니아 노출 농도(ppm), X : 돼지 행동 지수

분석 결과 돼지 행동 지수 측면에서의 돼지 복지 등급별 암모니아 노출 농도 수준은 “상 : 5.32ppm 미만”, “중 : 5.32ppm~13.12ppm”, “하 : 13.12ppm 이상”으로 산정되었다. 단순 지수화를 위해 산출된 모든 수치를 소수점 첫째 자리에서 반올림한 값으로 조정하였고, 이를 모두 종합한 내용은 <표 9>에 제시한 바와 같다.

<표 9> 돼지 행동 지수에 기반한 암모니아 노출 수준에 따른 동물 복지 수준

동물 복지 수준	돼지 행동 지수 (pig activity index)	암모니아 (ppm)
양호	PAI $\gg$ 60	0 $\ll$ NH <sub>3</sub> < 5
보통	30 $\ll$ PAI < 60	5 $\ll$ NH <sub>3</sub> < 13
불량	PAI < 30	13 $\ll$ NH <sub>3</sub>



(2) 돼지 복지 등급 : 돼지 생체 내 코티졸 농도 측면

돼지 복지 수준을 반영하는 지표 중 만성 스트레스 호르몬인 코티졸 농도의 적정 참고치 범위는 “2.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$ ~12.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$ ”으로 제시되고 있다. 이를 근거로 돼지 생체 내 코티졸 농도에 따른 돼지 복지 수준을 상(2.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$  미만), 중(2.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상 12.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$  미만), 하(12.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$  이상)로 등급화 하였고, 본 등급에 해당되는 수치를 돼지 생체 내 코티졸 농도와 암모니아 노출 농도간의 통계적 상관 분석을 통해 산출된 직선회귀식(<식 3> 참조)에 독립변수로 대입하여 이에 상응하는 암모니아 노출 농도를 추정하였다.

$$Y = 2.52X + 0.79 \quad (R^2 = 0.88) \text{ ----- (식 3)}$$

Y : 암모니아 노출 농도(ppm), X : 돼지 생체 내 코티졸 농도( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )

분석 결과 돼지 생체 내 코티졸 농도 측면에서의 돼지 복지 등급별 암모니아 노출 농도 수준은 “상 : 5.41ppm 미만”, “중 : 5.51ppm~30.36ppm”, “하 : 30.46ppm 이상”으로 산정되었다. 단순 지수화를 위해 산출된 모든 수치를 소수점 첫째 자리에서 반올림한 값으로 조정하였고, 이를 모두 종합한 내용은 <표 10>에 제시한 바와 같다.

<표 10> 돼지 혈중 코티졸 농도에 기반한 암모니아 노출 수준에 따른 동물 복지 수준

동물 복지 수준	돼지 혈중 코티졸 농도 ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	암모니아 (ppm)
양호	Cortisol < 2.5	0 $\ll$ NH <sub>3</sub> < 5
보통	2.5 $\ll$ Cortisol < 12.5	5 $\ll$ NH <sub>3</sub> < 30
불량	12.5 $\ll$ Cortisol	30 $\ll$ NH <sub>3</sub>

(3) 돼지 생산성 등급 : 사료 요구율 측면

돼지의 사양표준자료(NRC)에 따르면 돼지 생산성 수준을 반영하는 지표 중 하나인 사료 요구율의 적정 참고치 범위는 육성/비육돈을 기준으로 “2.72~3.92”로 제시되고 있다(<표 11> 참조). 이를 근거로 사료 요구율에 따른 돼지 생산성 수준을 상(2.72 미만), 중(2.72 이상 3.92 미만), 하(3.92 이상)로 등급화 하였고, 본 등급에 해당되는 수치를 사료 요구율과 암모니아 노출 농도간의 통계적 상관 분석을 통해 산출된 직선회귀식(<식 4> 참조)에 독립변수로 대입하여 이에 상응하는 암모니아 노출 농도를 추정하였다.

$$Y = 39.49X - 53.68 \quad (R^2 = 0.82) \text{ ----- (식 4)}$$

Y : 암모니아 노출 농도(ppm), X : 사료 요구율

분석 결과 사료 요구율 측면에서의 돼지 생산성 등급별 암모니아 노출 농도 수준은 “상 : 53.74ppm 미만”, “중 : 53.74ppm~101.13ppm”, “하 : 101.13ppm 이상”으로 산정되었다. 하지만 <표 11>에 나타난 바와 같이 표준 사료급여량 지표에서 제시된 적정 사료 요구율의 경우 돼지

의 일령과 체중을 대비한 것으로 일령 측면에서 사육기간 60일, 체중 측면에서 50kg의 차이를 고려한다면 돼지 생산성 등급에 따른 암모니아 노출 농도 수준을 세 개의 범주로 구분하기에는 논리적 제약이 따른다. 따라서 단순 지수화를 위해 산출된 모든 수치를 소수점 첫째 자리에서 반올림하였고, 이를 각 범주의 중앙값(25ppm과 75ppm)을 기점으로 다시 세분화하여 최종 5등급으로 제시하였다(<표 12> 참조).

<표 11> 육성/비육돈 기준 사양 표준 자료

〈S급〉		(15~100kg)				
일령	체중	1일사료* 급여량	1kg중체당 사료량		사료소요량	
			기간별	누적	기간별소요량	총소요량
47~58일	15~20(18)kg	0.71kg	1.56kg	1.56kg	7.8kg	7.8kg
58~67	20~25(23)	1.08	1.95	1.75	9.7	17.5
67~76	25~30(28)	1.21	2.18	2.89	10.9	28.4
76~85	30~35(33)	1.29	2.32	2.00	11.6	40.0
85~93	35~40(38)	1.54	2.46	2.09	12.3	52.3
93~100	40~45(43)	1.87	2.62	2.18	13.1	65.4
100~107	45~50(48)	1.91	2.68	2.25	13.4	78.8
107~114	50~55(53)	1.94	2.72	2.31	13.6	92.4
114~120	55~60(58)	2.38	2.86	2.37	14.3	106.7
120~126	60~65(63)	2.47	2.96	2.43	14.8	121.5
126~132	65~70(68)	2.58	3.10	2.49	15.5	137.0
132~138	70~75(73)	2.60	3.12	2.54	15.6	152.6
138~144	75~80(78)	2.67	3.20	2.59	16.0	168.6
144~150	80~85(83)	2.85	3.42	2.65	17.1	185.7
150~156	85~90(88)	3.13	3.44	2.70	17.2	202.9
156~162	90~95(93)	2.87	3.58	2.76	17.9	220.1
162~167	95~100(98)	3.27	3.92	2.82	19.6	239.7

1) ( )는 평균체중 2) \*: 기간내 1일 사료급여량 3) DE 3,300kcal/kg이상 사료

<표 12> 사료요구율에 기반한 암모니아 노출 수준에 따른 돼지 생산성 수준

동물 복지 수준	사료요구율 (feed conversion ratio)	암모니아 (ppm)
매우 양호	FCR < 1.99	0 << NH <sub>3</sub> < 25
양호	1.99 << FCR < 2.72	25 << NH <sub>3</sub> < 50
보통	2.72 << FCR < 3.26	50 << NH <sub>3</sub> < 75
불량	3.26 << FCR < 3.92	75 << NH <sub>3</sub> < 100
매우 불량	3.92 << FCR	100 << NH <sub>3</sub>

(다) 친환경 안전성 양돈 생산을 위한 통합형 돈사 환경 관리 모델 개발

- 현장 측정 데이터에 대한 통계적 분석 결과와 현재 상용화되어 시중에 판매되고 있는 센서 현황을 고려하여 친환경 안전성 양돈 생산을 위한 통합형 돈사 환경을 위한 공기오염 물질로 암모니아, 황화수소, 미세먼진(PM<sub>10</sub>)을 선정하였다.

- **센서 적용을 위한 돈사 실내환경 관리기준 설정 : 암모니아**

- ICT 개념의 통합형 돈사 환경 관리 모델 개발을 위한 암모니아의 돈사 실내환경 관리 기준 설정 및 센서 현장 적용 가능 여부를 파악하기 위해 국내외에서 제시하고 있는 작업장 노출기준을 고찰하였고, 역분산 가중평균(Inverse-variance-weighted average) 산출법을 적용하였다.

(1) 작업장 노출기준

암모니아의 경우 현재 실내공기질 기준 항목으로 미설정되어 있어 대신 국내외 작업장 노출 기준(<표 13> 참조)을 돈사 실내환경 관리기준 설정의 기초자료로 활용하였다. 고찰 결과 시간가중평균(Time Weighted Average; TWA) 측면에서의 각 국가별 노출기준 설정 범위는 10ppm~50ppm 이었고, 우리나라와 미국의 경우는 동일하게 25ppm으로 제시하고 있다. 단시간노출기준(Shorterm Exposure Limit; STEL)측면에서의 국내외 노출기준은 20ppm~50ppm의 범위로 설정하고 있었고, 우리나라와 미국은 시간가중평균 측면과 마찬가지로 동일한 노출기준(35ppm)을 설정하여 관리하고 있다.

<표 13> 암모니아의 국내/외 작업장 노출기준

	Limit value (TWA)		Limit value(STEL)	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
<b>South Korea</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>35</b>	<b>27</b>
<b>USA - ACGIH</b>	<b>25</b>		<b>35</b>	
USA - NIOSH	25	18	35	27
USA - OSHA	50	35		
Australia	25	17	35	24
Austria	20	14	50	36
Belgium	20	14	50	36
Canada - Ontario	25		35	
Canada - Québec	25	17	35	24
Denmark	20	14	40	28
European Union	20	14	50	36
Finland	20	14	50	36
France	10	7	20	14
Germany (AGS)	20	14	40	28
Germany (DFG)	20	14	40	28
Hungary		14		36
Ireland	20	14	50	36
Italy	20	14	50	36
Latvia	20	14	50	36
New Zealand	25	17	35	24
China		20		30
Poland		14		28
Singapore	25	17	35	24
Spain	20	14	50	36
Sweden	20	14	50	36
Switzerland	20	14	40	28
The Netherlands		14		36
Turkey	20	14	50	36

### (2) 역분산 가중평균(Inverse-variance-weighted average) 산출법 활용

현재까지 보고된 국내/외 돈사 내부의 암모니아 측정 농도 결과들을 Der Simonian-Laird 방법의 메타 분석을 적용하여 역분산 가중평균을 산출하여 그 값을 대표치로 추정한 결과 19.34(±7.29)ppm인 것으로 조사되었다.

### (3) 관리기준 제안

<표 14>에서 제시된 바와 같이 주요 국가들에서 설정한 암모니아의 작업장 노출기준(8시간 개념의 시간가중평균 측면과 15분 개념의 단시간 노출평균)과 메타분석을 통한 역분산 가중평균값을 모두 고려할 수 있는 대표 수치로 25ppm을 제안하는 바이다. 여기에 돈사 내부의 여러 환경 변수의 영향에 따른 센서 측정값의 불확실성을 고려하여 ±10ppm의 오차 범위를 추가 설정할 필요가 있을 것으로 사료된다. 따라서 ICT를 활용한 돈사 내부 암모니아의 실시간 모니터링용 센서의 측정 가능 범위는 15ppm~35ppm으로 설정하는 것이 유효할 것으로 판단된다.

<표 14> 돈사 실내 환경 측면에서의 암모니아의 권고 관리 기준 및 센싱 범위

작업장 노출 기준		역분산 가중평균값	실내 관리 기준 (권고치)	센싱 범위
8시간(TWA)	15분(STEL)			
10~50ppm	20~50ppm	19.34(±7.29)ppm	25(±10)ppm	15~35ppm

#### - 센서 적용을 위한 돈사 실내환경 관리기준 설정 : 황화수소

- ICT 개념의 통합형 돈사 환경 관리 모델 개발을 위한 황화수소의 돈사 실내환경 관리 기준 설정 및 센서 현장 적용 가능 여부를 파악하기 위해 국내외에서 제시하고 있는 작업장 노출기준을 고찰하였고, 역분산 가중평균(Inverse-variance-weighted average) 산출법을 적용하였다.

#### (1) 작업장 노출기준

황화수소의 경우도 현재 실내공기질 기준 항목으로 미설정되어 있어 대신 국내외 작업장 노출기준(<표 15> 참조)을 돈사 실내환경 관리기준 설정의 기초자료로 활용하였다. 고찰 결과 시간가중평균T(Time Weighted Average; TWA) 측면에서의 각 국가별 노출기준 설정 범위는 1ppm~10ppm 이였고, 우리나라와 미국의 경우는 동일하게 10ppm으로 제시하고 있다. 단시간 노출기준(Shorterm Exposure Limit; STEL)측면에서의 국내외 노출기준은 5ppm~20ppm의 범위로 설정하고 있었고, 우리나라와 미국은 시간가중평균 측면과 마찬가지로 동일한 노출기준(15ppm)을 설정하여 관리하고 있다.

<표 15> 황화수소의 국내/외 작업장 노출기준

	Limit value (TWA)		Limit value(STEL)	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
South Korea	10	14	15	21
USA - ACGIH	10	14	15	21
USA - NIOSH			10	15
USA - OSHA	4		20	
Australia	10	14	15	21
Austria	5	7	5	7
Belgium	5	7	10	14
Canada - Ontario	10		15	
Canada - Québec	10	14	15	21
Denmark	10	15	20	30
European Union	5	7	10	14
Finland	5	7	10	14
France	5	7	10	14
Germany (AGS)	5	7,1	10	14,2
Germany (DFG)	5	7,1	10	14,2
Hungary		14		14
Ireland	5	7	10	14
Italy	5	7	10	14
Japan	10			
Latvia		10		
People's Republic of China				10
Poland		7		14
Singapore	10	14	15	21
Spain	1		5	
Sweden	10	14	15	20
Switzerland	5	7,1	10	14,2
The Netherlands		2,3		
Turkey	5	7	10	14
United Kingdom	5	7	10	14

(2) 역분산 가중평균(Inverse-variance-weighted average) 산출법 활용

현재까지 보고된 국내/외 돈사 내부의 황화수소 측정 농도 결과들을 Der Simonian-Laird 방법의 메타 분석을 적용하여 역분산 가중평균을 산출하여 그 값을 대표치로 추정된 결과 4.23(±3.81)ppm인 것으로 조사되었다.

(3) 관리기준 제안

<표 16>에서 제시된 바와 같이 주요 국가들에서 설정한 황화수소의 작업장 노출기준(시간가중평균 측면과 단시간노출평균)과 메타분석을 통한 역분산 가중평균값을 모두 고려할 수 있는 대표 수치로 55ppm을 제안하는 바이다. 여기에 돈사 내부의 여러 환경 변수의 영향에 따른 센서 측정값의 불확실성을 고려하여 ±5ppm의 오차 범위를 추가 설정할 필요가 있을 것으로 사료된다. 따라서 ICT를 활용한 돈사 내부 황화수소의 실시간 모니터링용 센서의 측정 가능 범

위는 0ppm~10ppm으로 설정하는 것이 유효할 것으로 판단된다.

<표 16> 돈사 실내 환경 측면에서의 황화수소의 권고 관리 기준 및 센싱 범위

작업장 노출 기준		역분산 가중평균값	실내 관리 기준 (권고치)	센싱 범위
8시간(TWA)	15분(STEL)			
1~10ppm	5~20ppm	4.23(±3.81)ppm	5(±5)ppm	0~10ppm

- **센서 적용을 위한 돈사 실내환경 관리기준 설정 : 미세먼진(PM<sub>10</sub>)**

- ICT 개념의 통합형 돈사 환경 관리 모델 개발을 위한 미세먼진의 돈사 실내환경 관리 기준 설정 및 센서 현장 적용 가능 여부를 파악하기 위해 국내외에서 제시하고 있는 실내공기질 관리기준을 고찰하였고, 역분산 가중평균(Inverse-variance-weighted average) 산출법을 적용하였다.

(1) 실내공기질 관리기준

미세분진에 대한 작업장 노출기준의 경우 국내/외 모두 성분과 입경에 따라 여러 유형별로 설정하고 있기 때문에 돈사 실내환경 관리기준 설정의 근거 자료로 활용하기에는 부적절하다고 판단된다. 따라서 분진 항목에 대해 주요 여러 국가들에서 실내공기질 관리기준 항목으로 설정하여 관리하고 있는 미세먼진(PM<sub>10</sub>)을 대상으로 조사하였다(<표 17> 참조).

<표 17> 미세먼진의 국내/외 실내 관리 기준

국가	대한민국	일본	홍콩	캐나다	싱가포르
대상 시설	다중이용시설& 사무실	특정 이용시설	다중이용시설& 사무실	주거 공간	사무실
관리 기준	150µg/m <sup>3</sup>	150µg/m <sup>3</sup>	180µg/m <sup>3</sup>	100µg/m <sup>3</sup>	150µg/m <sup>3</sup>

(2) 역분산 가중평균(Inverse-variance-weighted average) 산출법 활용

현재까지 보고된 국내/외 돈사 내부의 미세먼진 측정 농도 결과들을 Der Simonian-Laird 방법의 메타 분석을 적용하여 역분산 가중평균을 산출하여 그 값을 대표치로 추정한 결과 624(±237)µg/m<sup>3</sup>인 것으로 조사되었다.

(3) 관리기준 제안

<표 18>에서 제시된 바와 같이 돈사 내부에는 미세먼진의 발생원으로 작용하는 사료, 분진, 돼지 털 등이 상당량 존재하여 일반 작업장 및 다중이용시설보다 상대적으로 미세먼진이 고농도로 유지되고 있는 상황이기 때문에 일반 실내공기질 관리기준을 적용하는 것은 부적절하다고 판단된다. 따라서 미세먼진의 경우 메타분석을 통한 역분산 가중평균값만을 고려하여 대표 수치로 600µg/m<sup>3</sup>을 제안하는 바이다. 여기에 돈사 내부의 여러 환경 변수의 영향에 따른 센서

측정값의 불확실성을 고려하여  $\pm 200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 오차 범위를 추가 설정할 필요가 있을 것으로 사료된다. 따라서 ICT를 활용한 돈사 내부 미세먼진의 실시간 모니터링용 센서의 측정 가능 범위는  $400\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정하는 것이 유효할 것으로 판단된다.

<표 18> 돈사 실내 환경 측면에서의 미세먼진의 권고 관리 기준 및 센싱 범위

실내 관리 기준	역분산 가중평균값	실내 관리 기준 (권고치)	센싱 범위
100~180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	524( $\pm 237$ ) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	600( $\pm 200$ ) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	400~800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

#### 다. 동물복지 관련 공기오염물질의 위해도 DB 구축 및 ICT 기반 에너지 순환 축사 시스템 운영에 따른 친환경 적정 실내공기질 관리기준 합리화 모델 개발

(1) 국내/외 유관기관에서 제공하고 있는 화학물질 관련 보건 자료 고찰을 통한 가축에게 노출되는 주요 공기오염물질의 위해성(risk) 규명 및 DB 구축

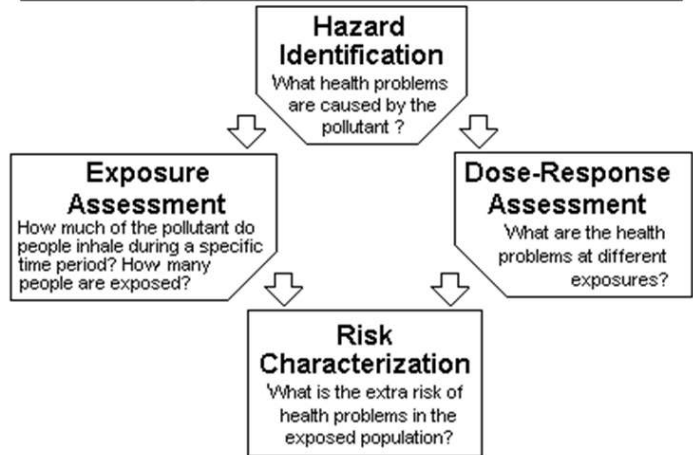
- Health Risk Assessment (HRA) 모델 적용에 따른 관리대상 공기오염물질의 가축 유형별 위해도(risk) 결정

<그림 17~19>에서 제시된 건강 위해성 평가 모델 절차에 따라 평가 대상 돈사 실내공기 오염물질 중 독성 참고치(RfC)가 보고되고 있는 암모니아와 황화수소에 대해 1, 2차 년도에서 현장 측정된 돈사 실내 농도에 노출시 돼지들에게 나타날 수 있는 위해성을 추정하였다. 건강 위해도 결정은 산정된 노출량에 흡입 노출 참고치(RfC, Reference Concentration for Inhalation Exposure)와의 비교를 통해 그 수준이 “1”을 초과하는 경우에는 유해영향(독성)이 발생할 가능성이 있음을 제시하며, “1”이하인 경우 발생할 가능성이 없음을 제시한다.

분석 결과 암모니아의 경우 1.78, 황화수소의 경우 2.45로 나타나 모두 “1” 이상으로 산출되었다. 따라서 암모니아와 황화수소 노출로 돼지들에게서 건강 유해 영향이 발생할 가능성이 있는 것으로 추정된다.

하지만 건강 위해성 평가는 현장측정 결과에 보정계수를 적용하여 노출 및 건강 유해영향 발생 가능성을 판단하는 확률론적 평가 도구이다. 본 평가 결과 암모니아와 황화수소 모두 “1” 이상으로 산출되어 돼지의 건강 유해영향 발생의 잠재성이 있는 것으로 나타났지만, 현장 측정 결과치의 부족으로 본 추정 결과의 통계적 신뢰도는 매우 낮은 것으로 사료된다. 따라서 본 건강 위해성 평가 결과의 불확실성을 극복하기 위해서는 향후 돈사에서 배출되는 황화수소와 암모니아에 현장 노출 평가 연구가 계속해서 수행되어 통계적 유의성을 확보하기 위한 측정 데이터의 축적이 요구되는 바이다.

### The 4-Step Risk Assessment Process



<그림 17> 위해성 평가(Risk Assessment)의 기본 단계

- ADI (Acceptable Daily Intake) or TDI (Tolerable Daily Intake)**  

$$ADI, TDI (mg/kg/day) = \frac{NOEL \text{ or } LOAEL}{UF \times MF}$$

UF 10: Human variability  
 10: From animal to human  
 10: LOAEL instead of NOAEL  
 MF Modifying factor(>0~10)
- RfD (Reference Dose)**  

$$RfD(mg/kg/day) = \frac{NOEL \text{ or } LOAEL}{UF \times MF}$$

UF 10: Human variability  
 10: From animal to human  
 10: Less than chronic data  
 10: LOAEL instead of NOAEL  
 10: Incomplete data base  
 MF Modifying factor(>0~10)
- $$RfD(mg/kg/day) = \frac{BMD^*(Benchmark \ Dose)}{UF \times MF}$$

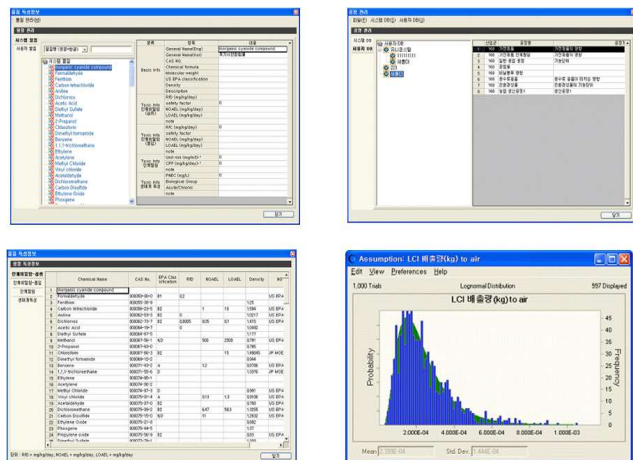
\*BMD : benchmark dose is based on a models-derived estimate of a particular incidence level, such as 5% or 10% incidence (ED<sub>5</sub>, ED<sub>10</sub>)

<그림 18> 위해도 지수(Hazard Index) 산정을 위한 ADI, TDI, RfD 산출 과정 모식도

$$Hazard \ Index = \frac{(ADDs)}{(RfD)}$$

$$ADDs = \frac{(C \times IR \times ED)}{(BW \times LT)}$$

**ADDs** : average daily doses(mg/kg-day)  
**C** : contaminant concentration in inhaled air(mg/m<sup>3</sup>)  
**IR** : inhalation rate(m<sup>3</sup>/day)  
**ED** : exposure duration(days)  
**BW** : body weight(kg)  
**AT** : averaging time(days)  
**LT** : lifetime(days)



<그림 19> 산정된 위해도 지수 (Hazard Index)의 불확실성 분석 절차



(2) ICT 기반 에너지 순환 측사 시스템 운영에 따른 실내공기질 관리의 편의성 및 가축의 생산성 향상 수준 파악을 위한 현장 실증 평가

- 본 연구를 통해 개발된 ICT 기반 에너지 순환 측사 시스템이 적용되어 운영 중인 돈사와 미구축된 관행 돈사와의 현장 실증 비교

(가) 연구 방법

돼지의 경우 육성/비육돈사, 계사의 경우 케이지 방식의 산란계사를 현장 실증 평가 대상으로 하였다. 실내 환경 인자의 실시간 모니터링 시스템이 적용되고 있는 ICT 기반 에너지 순환 개념의 돈사와 계사 1개소와 본 시스템이 적용되지 않고 있는 관행 돈사와 계사 1개소를 각각 선정하였다. 객관적 비교를 위해 평가 대상 돈사와 계사 모두 동일한 지역(경남 밀양), 사육 규모(돈사는 1,000두 & 계사는 10,000수), 분뇨 처리 방식(돈사는 슬러리 처리 방식 & 계사는 컨베이어 벨트 이송 방식), 환기 방식(돈사와 계사 모두 밀폐형 기계 환기 방식)이 적용되고 있었다.

측정 대상 실내환경 오염인자는 가스상 물질로 암모니아와 황화수소, 입자상 물질로 총부유분진(TSP)와 미세먼진(PM<sub>10</sub>), 생물학상 물질로 총부유세균과 총부유진균을 선정하였다. 동일한 날짜에 현장 방문하여 동시에 모니터링하였고, 비교군(ICT 기반 에너지 순환 개념의 돈사와 계사)과 대조군(ICT 관리 시스템이 적용되지 않고 있는 관행 돈사와 계사)과의 실내환경 오염인자 농도의 차이를 통계적 방법(Students t-test)으로 입증하기 위해 측정 횟수는 30회로 하였다.



<그림 20> ICT 기반 에너지 순환시스템이 적용되고 있는 산란계사의 내부 모습 및 현장 측정 사진

(나) 연구 결과 및 고찰

<표 19>은 ICT 기반 에너지 순환 개념의 시스템이 적용되고 있는 돈사(비교군)과 적용되지 않고 있는 관행 돈사(대조군)에서의 실내공기 오염물질의 실내 농도 수치를 보여주고 있다. 측정 결과 가스상, 입자상, 생물학상 물질 모두 ICT 기반 에너지 순환 개념의 시스템이 적용되고 있는 돈사(비교군)에서 측정된 농도

가 관행 돈사에 비해 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 하지만 통계적으로 유의한 차이를 보인 인자는 가스상 물질인 암모니아와 황화수소였고 ( $p < 0.05$ ), 입자상 오염물질과 생물학상 오염물질은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.05$ ).

<표 19> ICT 기반 에너지 순환 개념의 돈사와 관행 돈사간의 실내공기 오염물질 농도 비교

		돈사				p-value
		ICT 적용(비교군)		관행(대조군)		
		평균	표준편차	평균	표준편차	
가스상 오염물질 (ppm)	암모니아	8.42	2.43	13.19	3.19	0.021
	황화수소	0.029	0.006	0.068	0.021	0.038
입자상 오염물질 (mg/m <sup>3</sup> )	총부유분진 (TSP)	2.56	0.78	2.42	0.92	0.206
	미세분진 (PM <sub>10</sub> )	1.75	0.38	1.64	0.42	0.135
생물학상 오염물질 (cfu/m <sup>3</sup> )	총부유세균	12,560	5,411	11,381	6,028	0.093
	총부유진균	6,543	2,078	5,906	1,827	0.132

<표 20>에서 제시된 바와 같이 ICT 기반 에너지 순환 개념의 시스템이 적용되고 있는 계사(비교군)에서 측정된 실내공기 오염물질 농도가 본 시스템이 적용되지 않고 있는 관행 돈사(대조군)에 비해 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 하지만 돈사 측정 결과와 동일하게 통계적으로 유의한 차이를 보인 인자는 가스상 물질인 암모니아와 황화수소였고 ( $p < 0.05$ ), 입자상 오염물질과 생물학상 오염물질은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.05$ ).

<표 20> ICT 기반 에너지 순환 개념의 계사와 관행 계사간의 실내공기 오염물질 농도 비교

		계사				p-value
		ICT 적용(비교군)		관행(대조군)		
		평균	표준편차	평균	표준편차	
가스상 오염물질 (ppm)	암모니아	4.38	1.92	9.42	3.16	0.019
	황화수소	0.016	0.012	0.073	0.031	0.046
입자상 오염물질 (mg/m <sup>3</sup> )	총부유분진 (TSP)	2.78	1.06	2.71	0.84	0.234
	미세분진 (PM <sub>10</sub> )	1.91	0.52	1.75	0.67	0.158
생물학상 오염물질 (cfu/m <sup>3</sup> )	총부유세균	15,372	4,208	14,006	3,826	0.214
	총부유진균	9,517	2,356	8,724	2,724	0.133

측정 결과 돈사와 계사 모두 ICT 기반 에너지 순환 개념의 시스템이 적용되고 있는 축사(비교군)가 본 시스템이 적용되지 않고 있는 관행 축사(대조군)에 비해 상대적으로 실내공기 오염물질의 농도가 낮게 나타난 이유는 비교군 축사에서 실시간 모니터링에 따른 환기율 변화로 자동 제어가 실제 수행되고 있지는

않지만, 센서에 의해 측정된 결과를 농장 관리자가 수시로 인지할 수 있기 때문에 축사 내부의 환경 문제가 생기면 바로 대응할 수 있는 장점에서 비롯된 것으로 사료된다. 따라서 축사 내 실내공기 오염물질의 농도를 적정 수준으로 관리하기 위해서는 기존 관행 돈사보다 ICT 개념의 실시간 모니터링 시스템이 적용된 축사가 상대적으로 효율적이라 할 있다고 판단된다.

입자상과 생물학상 오염물질과는 달리 가스상 물질인 암모니아와 황화수소의 실내 농도가 두 유형의 축사 간에 통계적으로 유의하게 차이를 보인 이유는 환기율에 의한 것으로 일반적으로 가스상 오염물질은 확산에 의한 브라운 운동을 하기 때문에 환기 패턴에 따라 결정되는 반면, 입자상과 생물학상 오염물질은 자체 입경이 상당하므로 공기 유동을 잘 따라가지 않기 때문에 나타난 결과라 사료된다.

### (3) 제안된 돈사 실내공기질 관리기준의 현장 적용 합리화를 위한 검증

- 경제성 분석을 통한 돈사 공기오염물질의 관리기준 현장 적용 적정성 검토

#### (가) 비용 산출

ICT 기반의 에너지 순환 시스템이 적용된 돈사의 경우 환경관리기의 초기 설치비와 전기세 등의 운영 비용이 포함된 직접비와 사용 연도에 따라 소요되는 감가상각비의 간접비로 구분하여 산출하였다. 사양에 소요되는 사료비, 분뇨처리비 등의 경우 ICT 기반의 에너지 순환 시스템이 적용된 돈사나 적용되지 않은 돈사 모두 동일하다는 가정 하에 본 항목은 비용에 포함시키지 않았다.

비용 편익 분석 대상은 1,000두 규모의 육성/비육 돈사로 설정하였고, 이에 따른 돈사 실내환경 인자들의 실시간 모니터링을 위한 환경관리기의 투자 운영비 산정은 <표 21>에 근거하였다. 다시 농림축산식품부에서 제시하는 육성/비육돈의 적정 면적을 기준으로 1,000두 규모에 따른 환경관리기 초기 투자 비용과 운영 비용은 <표 22>와 같이 산출되었다. 감가상각비의 경우 일반적으로 제품의 내구 사용 연한을 7~10년으로 보고 있기 때문에 돈사 내부의 열악한 환경을 고려하여 가장 낮은 7년으로 설정하였고, 설치비를 7년으로 나눈 금액으로 산정하였다.

최종 분석 결과 ICT 기반의 에너지 순환 시스템이 적용된 돈사의 경우 사양에 소요되는 비용을 제외한 1,000두 사육 규모를 기준으로 7년 운영시 소요되는 비용은 총 27,049(천원/년)으로 추정되었다.

<표 21> 환경관리기 투자운영비 산정

- 환경관리기 관리면적(m <sup>2</sup> /대)	100
- 환경관리기 소비자가(천원/대)	3,000
- 환경관리기 연간전기세(천원/대)	7
- 환경관리기 내구연한(년/대)	7
- 사육체중(kg)	25~110
- 사육기간(일)	119
- 사육두수(두)	1,000
산출 근거 : 0.02kwh * 24hrs * 365days * 39.2원/kwh(농사용전력요금)	

<표 22> 두당 돈사시설 소요 면적에 따른 환경관리기의 직접비와 간접비 산출 내역

구분	면적 (m2/두)	사육조건			직접비		간접비	총계 (천원/년)
		사육두수	총면적	대수	설치비 (천원)	운영비 (천원/년)	감가상각 (천원/년)	
비육경영	0.62	1000	620.00	7	21,000	49	3,000	27,049

(나) 편익 산출

편익의 경우 해당 분야 전문가 설문 조사 방식(전화 연결)의 델파이 분석 기법을 적용하여 추정하였다. 축산환경 분야 전문가 15인을 대상으로 “ICT 기반의 에너지 순환 시스템이 돈사에 적용되는 경우 적용되지 않는 관행 돈사에 대비해서 돼지 생산성 증대에 따른 편익이 몇 % 증대될 것으로 예상하십니까?”라는 질문을 직접 전화 방식을 통해 1차 조사하였고, 응답 결과에 대한 신뢰도 확보를 위해 다시 한 달 후 동일한 질문에 대한 답변을 2차 조사를 통해 수행하였다. 이렇게 1차와 2차 조사를 통해 얻어진 답변 결과를 평균화하여 최종 편익 비율을 산출하였고, 그 결과는 평균 15.3%인 것으로 조사되었다.

전문가 조사에 의한 답변 결과를 근거로 육성/비육돈 1,000두 규모의 관행 돈사 대비 ICT 개념의 에너지 순환 시스템이 적용되는 돈사로 운용시 파생될 수 있는 돼지 생산성의 상대적 증대 효율을 금액으로 산출하기 위해 다음과 같은 절차로 수행하였다.

- ▶ 2017년도 전국 평균 돼지 경락 가격을 기준으로 설정
  - kg당 경매 가격 : 4,865원 (축산유통종합정보센터, 2017)
- ▶ 최종 출하되는 돼지 1두 도체시 지육의 평균 중량
  - 80kg으로 설정 (조건 : 연중 모든 양돈 농가)
- ▶ 최종 출하되는 돼지 1두당 부산물 평균 가격
  - 15,000원으로 추정 (축산유통종합정보센터, 2017)
- ▶ 최종 출하되는 돼지 1두 도체의 판매 추정액
  - 지육(80kg × 4,865원/kg) + 부산물(15,000원) = 404,200원
- ▶ 1,000두 기준시 예상되는 연간 판매 추정액
  - 404,200원 × 1,000두 × 2.2(연간 평균 돼지 출하 회수) = 889,240,000원

최종적으로 추정된 판매액을 관행 돈사 운영에 의해 산출된 것으로 설정하고, 여기에 델파이 조사 기법을 통해 산출된 ICT 개념의 에너지 순환 시스템이 적용되는 돈사 운영시 예상되는 상대적 돼지 생산성 증대 효율(평균 15.3%)을 적용하여 이에 대한 판매액을 재추정(889,240,000원 × 115.3 ÷ 100)하였다. 그 결과 1,025,293,720원으로 산출되었다.

(다) 비용/편익 비교

육성/비육돈 1,000두 사육 규모의 관행 돈사 대비 ICT 개념의 에너지 순환 시스템이 적용되는 돈사를 1년 동안 운영시 부가적으로 소요되는 비용은 <표 22>에서 제시된 바와 같이 약 27,049,000원으로 추정되었

다. 편익의 경우 1년 기준으로 관행 돈사는 889,240,000원, ICT 개념의 에너지 순환 시스템이 적용되는 돈사는 1,025,293,720원으로 돼지 출하 판매액이 추정되었고 두 금액의 차이는 136,053,720원으로 산출되었다. 따라서 육성/비육돈 1,000두 사육 규모의 돈사를 ICT 기반의 에너지 순환 시스템을 적용하여 1년 동안 운영한다면 편익(136,053,720원)에서 비용(27,049,000원)을 차감한 **109,004,720원의 경제적 효과가 있는 것으로 분석되었다.**

○ 사업화 계획 및 매출 실적 ( (주)에그리로보텍 )

- 클라우드 기반의 통신 모듈 제품

항 목	세부 항목		성 과		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		2년		
	소요예산(백만원)		300		
	예상 매출규모 (억원)		현재까지	3년후	5년후
			0	5	20
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	0.0	1.0	4.0
		국외	0.0	0.0	0.0
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		다수의 ICT 장비 연계 편이성과 확장성을 위한 게이트웨이 제품 개발			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	0	5	17	
	수 출	0	0	3	

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 3-1. 목표

본 연구는 동물복지를 전제한 축산생산성 제고를 위해 첨단 ICT 융합형 축사환경 및 에너지 관리 시스템 구축을 목적으로 함.

#### (제1세부) 축산 환경 데이터의 통합 관리를 위한 클라우드 시스템 개발

- 각종 센서 및 제어기를 범용으로 운용할 수 있는 유/무선 통신 모듈 개발
- 클라우드 시스템 기반 축산 빅데이터 수집, 관리, 분석 서비스 개발
- 관리자 수요형 실시간 축사 모니터링 및 자동·원격 제어 스마트 웹 개발

#### (위탁) 목표 시스템의 개발단계별 현장 적용·검증을 통한 실증화 구현

- 개발단계별 시제품의 소규모 실험돈사 적용을 통한 운영성능 평가
- 최종 성과품의 실규모 농장 적용실험을 통한 실증화 정도 평가

#### (제1협동) ICT 기반 에너지 순환형 축사 관리 시스템 개발

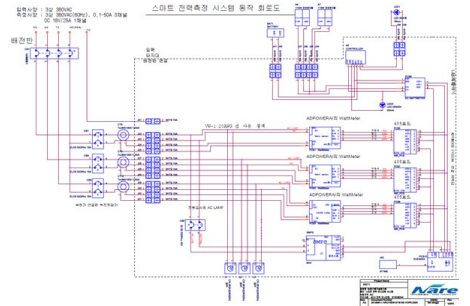
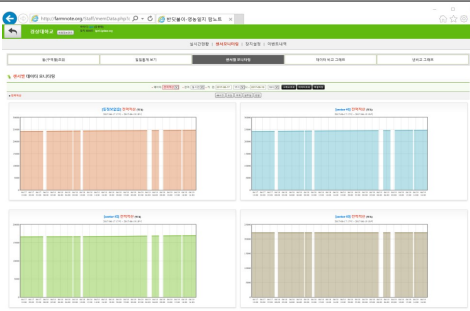
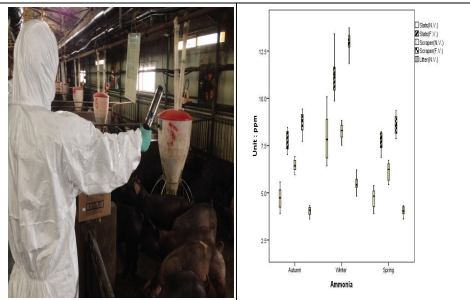
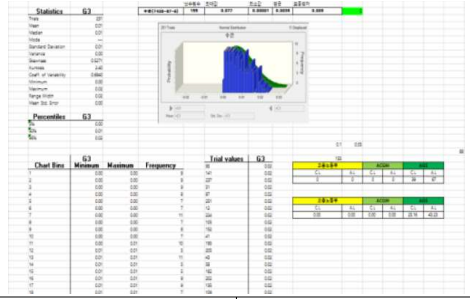
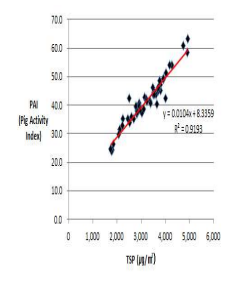
- 실시간 전력량 및 전력계통 모니터링 기술 개발
- ICT융합형 전력망의 양방향 정보교환을 통한 에너지효율 최적화 기술개발
- 에너지관리 광역화를 위한 웹베이스시스템 개발 및 실증화(스마트 그리드)

#### (제2협동) 축산 생산성과 제품 안전성 향상 및 동물복지를 위한 축사적정 실내 환경관리 가이드라인 개발

- 축산 생산성 및 제품 안전성에 영향을 주는 환경 유해인자의 특성 파악을 위한 축사 공기 오염물질의 노출수준과 배출계수 정량화 현장 평가
- 동물복지 관련 공기 오염물질의 위해도 DB 구축
- 다양한 축사 공기오염물질 노출에 따른 동물 복지 지수와의 통계적 상관성 규명
- ICT 기반 에너지 순환 축사 시스템 운영에 따른 친환경 적정 실내공기질 관리기준 합리화 모델 개발

3-2. 목표 달성여부

목표		달성여부(내용)	달성도(%)
<p>각종 센서 및 제어기를 범용으로 운용할 수 있는 유/무선 통신 모듈 개발</p>	<p>유/무선 통신모듈 개발완료</p>		<p>100</p>
<p>클라우드 시스템 기반 축산 빅데이터 수집, 관리, 분석 서비스 개발</p>	<p>클라우드 기반 서비스 개발완료 ( AWS 활용 )</p>		<p>100</p>
<p>관리자 수요형 실시간 축사 모니터링 및 자동·원격 제어 스마트 웹 개발</p>	<p>모니터링 및 제어 스마트 웹 개발 완료</p>		<p>100</p>
<p>개발단계별 시제품의 소규모 실험돈사 적용을 통한 운영성능 평가</p>	<p>실험돈사 운영 성능평가 완료</p>		<p>100</p>
<p>최종 성과품의 실규모 농장 적용실험을 통한 실증화 정도 평가</p>	<p>실규모농장 실증화 정도 평가 완료</p>		<p>100</p>
<p>실시간 전력량 및 전력계통 모니터링 기술 개발</p>	<p>모니터링 기술 개발 완료</p>		<p>100</p>

<p>ICT융합형 전력망의 양방향 정보교환을 통한 에너지효율 최적화 기술개발</p>	<p>정보교환을 통한 최적화기술 개발완료</p>		<p>100</p>																																														
<p>에너지관리 광역화를 위한 웹베이스시스템 개발 및 실증화(스마트 그리드)</p>	<p>웹베이스 시스템 개발 실증화 완료</p>		<p>100</p>																																														
<p>축산 생산성 및 제품 안전성에 영향을 주는 환경 유해인자의 특성 파악을 위한 축사 공기오염물질의 노출수준과 배출계수 정량화 현장 평가</p>	<p>노출수준 및 배출계수 정량화 현장 평가 완료</p>		<p>100</p>																																														
<p>동물복지 관련 공기 오염물질의 위해도 DB 구축</p>	<p>오염물질 위해도 DB 구축 완료</p>		<p>100</p>																																														
<p>다양한 축사 공기오염물질 노출에 따른 동물 복지 지수와의 통계적 상관성 규명</p>	<p>동물복지지수와 의 통계적 상관성 규명 완료</p>	<p>축사 내 공기오염물질 농도 측정 결과</p> <p>Equation model: <math>Y(\text{pig activity index}) = a + b(\text{NH}_3) + c(\text{H}_2\text{S}) + d(\text{TSP}) + e(\text{PM}_{10}) + f(\text{Total volatile fatty}) + g(\text{O}_2 \text{ concentration index}) + h(\text{Ammonia}) + i(\text{Hydrogen sulfide})</math></p> <table border="1" data-bbox="813 1456 1037 1702"> <thead> <tr> <th>Variables</th> <th>Estimated value</th> <th>P-value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Intercept</td> <td>a</td> <td>0.23</td> <td>0.18</td> </tr> <tr> <td>Temperature (°C)</td> <td>b</td> <td>-1.85</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>Relative humidity (%)</td> <td>c</td> <td>0.07</td> <td>0.13</td> </tr> <tr> <td>TSP (µg)</td> <td>d</td> <td>0.01</td> <td>&lt;0.001</td> </tr> <tr> <td>PM<sub>10</sub> (µg)</td> <td>e</td> <td>0.009</td> <td>0.12</td> </tr> <tr> <td>Total volatile fatty (µg)</td> <td>i</td> <td>0.001</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>Total volatile fatty (µg)</td> <td>j</td> <td>0.002</td> <td>&lt;0.05</td> </tr> <tr> <td>O<sub>2</sub> concentration index (µg)</td> <td>f</td> <td>-0.015</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>Ammonia (µg)</td> <td>g</td> <td>-3.31</td> <td>&lt;0.05</td> </tr> <tr> <td>Hydrogen sulfide (µg)</td> <td>h</td> <td>-4.20</td> <td>0.13</td> </tr> </tbody> </table> 	Variables	Estimated value	P-value	Intercept	a	0.23	0.18	Temperature (°C)	b	-1.85	0.02	Relative humidity (%)	c	0.07	0.13	TSP (µg)	d	0.01	<0.001	PM <sub>10</sub> (µg)	e	0.009	0.12	Total volatile fatty (µg)	i	0.001	0.02	Total volatile fatty (µg)	j	0.002	<0.05	O <sub>2</sub> concentration index (µg)	f	-0.015	0.16	Ammonia (µg)	g	-3.31	<0.05	Hydrogen sulfide (µg)	h	-4.20	0.13	<p>100</p>			
Variables	Estimated value	P-value																																															
Intercept	a	0.23	0.18																																														
Temperature (°C)	b	-1.85	0.02																																														
Relative humidity (%)	c	0.07	0.13																																														
TSP (µg)	d	0.01	<0.001																																														
PM <sub>10</sub> (µg)	e	0.009	0.12																																														
Total volatile fatty (µg)	i	0.001	0.02																																														
Total volatile fatty (µg)	j	0.002	<0.05																																														
O <sub>2</sub> concentration index (µg)	f	-0.015	0.16																																														
Ammonia (µg)	g	-3.31	<0.05																																														
Hydrogen sulfide (µg)	h	-4.20	0.13																																														
<p>ICT 기반 에너지 순환 축사 시스템 운영에 따른 친환경 적정 실내공기질 관리기준 합리화 모델 개발</p>	<p>친환경 적정 실내공기질 관리기준 합리화 모델 개발완료</p>	<p>&lt;표 19&gt; ICT 기반 에너지 순환 개념의 온사와 관행 온사간의 실내공기 오염물질 농도 비교</p> <table border="1" data-bbox="813 1724 1284 1948"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4">온사</th> <th rowspan="2">p-value</th> </tr> <tr> <th>ICT 적용(비교군) 평균</th> <th>ICT 적용(비교군) 표준편차</th> <th>관행(대조군) 평균</th> <th>관행(대조군) 표준편차</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>가스상 오염물질 (ppm)</td> <td>8.42</td> <td>2.43</td> <td>13.19</td> <td>3.19</td> <td>0.021</td> </tr> <tr> <td>입자상 오염물질 (미세분진 (PM<sub>10</sub>))</td> <td>0.029</td> <td>0.006</td> <td>0.068</td> <td>0.021</td> <td>0.038</td> </tr> <tr> <td>입자상 오염물질 (총부유분진 (TSP))</td> <td>2.56</td> <td>0.78</td> <td>2.42</td> <td>0.92</td> <td>0.206</td> </tr> <tr> <td>생물학상 오염물질 (총부유세균 (cfu/m<sup>3</sup>))</td> <td>1.75</td> <td>0.38</td> <td>1.64</td> <td>0.42</td> <td>0.135</td> </tr> <tr> <td>생물학상 오염물질 (총부유세균)</td> <td>12,560</td> <td>5,411</td> <td>11,381</td> <td>6,028</td> <td>0.093</td> </tr> <tr> <td>오염물질 (총부유세균)</td> <td>6,543</td> <td>2,078</td> <td>5,906</td> <td>1,827</td> <td>0.132</td> </tr> </tbody> </table>		온사				p-value	ICT 적용(비교군) 평균	ICT 적용(비교군) 표준편차	관행(대조군) 평균	관행(대조군) 표준편차	가스상 오염물질 (ppm)	8.42	2.43	13.19	3.19	0.021	입자상 오염물질 (미세분진 (PM <sub>10</sub> ))	0.029	0.006	0.068	0.021	0.038	입자상 오염물질 (총부유분진 (TSP))	2.56	0.78	2.42	0.92	0.206	생물학상 오염물질 (총부유세균 (cfu/m <sup>3</sup> ))	1.75	0.38	1.64	0.42	0.135	생물학상 오염물질 (총부유세균)	12,560	5,411	11,381	6,028	0.093	오염물질 (총부유세균)	6,543	2,078	5,906	1,827	0.132	<p>100</p>
	온사				p-value																																												
	ICT 적용(비교군) 평균	ICT 적용(비교군) 표준편차	관행(대조군) 평균	관행(대조군) 표준편차																																													
가스상 오염물질 (ppm)	8.42	2.43	13.19	3.19	0.021																																												
입자상 오염물질 (미세분진 (PM <sub>10</sub> ))	0.029	0.006	0.068	0.021	0.038																																												
입자상 오염물질 (총부유분진 (TSP))	2.56	0.78	2.42	0.92	0.206																																												
생물학상 오염물질 (총부유세균 (cfu/m <sup>3</sup> ))	1.75	0.38	1.64	0.42	0.135																																												
생물학상 오염물질 (총부유세균)	12,560	5,411	11,381	6,028	0.093																																												
오염물질 (총부유세균)	6,543	2,078	5,906	1,827	0.132																																												
<p>전체</p>			<p>100</p>																																														



### 3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

#### 가. 후속연구의 필요성

본 연구를 통하여 개발 및 현장테스트를 진행한 시스템과 장비들에 대하여 향후 제품화 및 사업화를 위하여 소수의 연구농장의 수준보다 많은 수의 농장이 밀집한 지역을 선정하여 다양한 상황의 농장을 대상으로 모델 시스템을 시범사업화 적용하는 연구가 필요함.

- (제1세부) 축산 환경 데이터의 통합 관리를 위한 클라우드 시스템 개발
- (제1협동) ICT 기반 에너지 순환형 축사 관리 시스템 개발
- (제2협동) 축산 생산성과 제품 안전성 향상 및 동물복지를 위한 축사적정 실내 환경관리 가이드라인 개발

#### 현장적용 연구안 (예시)

본 연구를 통하여 1,2 단계의 장비와 시스템의 개발은 완료되었으므로 3단계에 해당하는 축산 밀집지역에 축사환경 데이터 통합 및 에너지순환형 시스템을 적용하는 연구가 필요하며 재생 에너지 생산시설과 축사환경 데이터 통합 및 에너지순환 시설을 동시에 적용하여 모델화 사업을 통한 연구가 이루어진다면 국내의 축산 생산성과 에너지 순환 활용의 지역모델개발과 현장실증을 할 수 있을 것임.



## 4. 연구결과의 활용 계획 등

### 4-1. 제 1세부 : (주)에그리로보텍

- 개발된 유무선 모듈을 활용하여 데이터 수집과 활용을 위한 상용화 통신모듈의 제품화
- 연구수행 중 설치된 농장들의 데이터를 지속적으로 수집하고 분석(데이터의 연계 분석)기능의 개선을 통하여 농가 통합서비스 기능 개발

### 4-2. 제 1협동 : (주)나래트랜드

- 본 연구는 산학 연계를 통해 수행되므로 상품화 역량을 보유한 참여기관이 직접 상품화
- 각 참여기관은 과제 수행을 통해 획득한 기술 및 노하우를 바탕으로 성과품을 상품화하며, 중장기적 활용 전략을 바탕으로 성과품의 품질을 지속적 향상시켜 경쟁력있는 제품으로 업그레이드

### 4-3. 제 2협동 : 부산가톨릭대학 산학협력단

- 축사내 공기오염물질 발생 수준에 따른 동물의 질병 발현율 및 생산성 지수 산정
- 동물의 최적 생산 조건 확보 및 안전한 축산물 생산이 가능한 동물 복지 기반 축사 환경 관리 모델 개발
- 축산 농가 맞춤형 실내공기오염물질의 관리 가이드라인 제시
- 환경보건 분야에서 환경유해인자 노출된 일반 사람들의 건강 상태 변화를 예측하는데 널리 활용되고 있는 건강위해성평가모델 (Health Risk Assessment Model)을 축산 분야에 적용

## 붙임. 참고문헌

Kent, E.C., Tiddy, R.J., Taylor, P.K., Kent, E.C., Tiddy, R.J., Taylor, P. K., 1993. 태양 복사 효과에 대한 해양 대기 온도 관측의 보정. J. Atmos. 해양. Technol. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1993\)010<0900:COMATO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1993)010<0900:COMATO>2.0.CO;2)

Moon, B.E., Lee, M.H., Kim, H.T., Choi, T.H., Kim, Y.B., Ryou, Y.S., Kim, H.T., 2017. 실험용 돼지 축사에서 초별구이 된 집광 제어 시스템 개발을 통한 열 성능 평가. 솔. Energy 157, 201-215. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.08.026>

Samer, M., Loebstin, C., Fiedler, M., Ammon, C., Berg, W., Sanftleben, P., Brunsch, R., 2011. 공기 유량 측정 및 가스 배출에 대한 열 균형 및 추적 가스 기술 자연 환기 된 축사에서 정량화. 에너지 구축. 43, 3718-3728. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.008>

Zhu, Y., Wu, X., Zhao, R., 2017. 수평 미니 채널에서의 R32 유동 비등 : 제 2 부 열전달 및 압력 강하에 대한 유동 패턴 기반 예측 방법. Int. J. Heat Mass Transf. 115, 1233-1244. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.07.099>

J.A. Lindley, J.H Whitaker, 농업 건물 및 구조물, ASAE, St. Joseph, 미시건, 미국, 1996.

Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A.L., Yang, C., 2018. Global status of recycling waste solar panels: A review. Waste Manag. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.036>

S. Tamvakidis V.K. Firfiris A. Martzopoulou V.P. Fragos T.A. Kotsopoulos., 2015. : Performance evaluation of a hybrid solar heating system for farrowing houses. Energy, 97,162-174

Masy, G., Rehab, I., André, P., Georges, E., Randaxhe, F., Lemort, V., Lebrun, J., 2015. Lessons learned from heat balance analysis for holzkirchen twin houses experiment. Energy Procedia 78, 3270 - 3275. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.718>

Luqman M, Ahmad SR, Khan S, Ahmad U, Raza A, Akmal F. Estimation of solar energy potential from rooftop of Punjab government servants cooperative housing society Lahore using GIS. [article ID:56795]. Smart Grid and Renewable Energy 2015; 6 (05). <http://dx.doi.org/10.4236/sgre.2015.65012>

L.D. Albright, Environment control for animals and Plants, ASAE, St. Joseph, Michingan, USA, 1983.

Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A.A., Kim, K.H., 2018. Solar energy: Potential and future prospects. Renew. Sustain. Energy Rev. 82, 894 - 900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>

Ji, W.T., Zhao, C.Y., Zhang, D.C., Zhao, P.F., Li, Z.Y., He, Y.L., Tao, W.Q., 2017. Pool boiling heat transfer of R134a outside reentrant cavity tubes at higher heat flux. Appl. Therm. Eng. 127, 1364 - 1371.

Buscher, W. (2008). Heizenergieeinsparung in der Tierhaltung [Saving heating energy in

livestock farming]. In, KTBL-Schrift 463Energieeffiziente Landwirtschaft (Energy-efficient agriculture) (pp. 139e154). Darmstadt, Germany: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), ISBN 978-3- 939371-59-5 (in German).

Bond, T.E., Kelly, C.F., Heitman Jr., H., 1959. Hog house air conditioning and ventilation data. Trans. ASAE 2, 1 - 4.

Alva, G., Liu, L., Huang, X., Fang, G., 2017. Thermal energy storage materials and systems for solar energy applications. Renew. Sustain. Energy Rev. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.021>

Cairnie, A. B. and J. D. Pullar. 1957. The metabolism of the young pig. J. Physiol. 139(2):15P

Campbell Scientific, 2017. Instruction Manual - LI200X Pyranometer, Campbell Scientific Inc. Available at: <<https://www.campbellsci.com/li200x-l>>(accessedon01/03/2017).

ASAE Standards. 2000. Standards Engineering Practices. American Society of Agriculture Engineers.

Attwood P, Ruigewaard R, Versloot P, Dewit R, Heederik D, Boleij JSM. A study of the relationship between airborne contaminants and environment factors in Dutch swine confinement buildings. Am Ind Hyg Assoc J 1987;48:745-751.

Baker DE. Copper, soil, water, plant relationships. Fed. Proc. 1974;33:1188-1193.

Bernal MP, Roig A, Lax A, Navarro AF. Effects of the application of pig slurry on some physico-chemical and physical properties of calcareous soils. Bioresour Technol 1992;42:233-239.

Bruce JM, Sommer M. Environmental aspects of respiratory disease in intensive pig and poultry houses, Including the implications for human health. Proceedings EC Meeting Aberdeen, EC Commission Publications, Brussels 1987.

Bruce JM. Ventilation and temperature control criteria for pigs. In Environmental Aspects of Housing for Animal Production. Butterworths London. 1981;197-216.

Bundy DS, Hazen TE. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. Trans ASAE. 1975;18:138-144.

Carpenter GA. Dust in livestock buildings - review of some aspects. J Agric Eng Res 1986;33:227-241.

Casal J, Cuchi EP, Moreso JM. Forecasting virus atmospheric dispersion, Studies with foot-and-mouth disease. J Hazard Mat 1995;43:229-244.

Chang CW, Chung H, Huang CF, Su HJJ. Exposure assessment to airborne endotoxin, dust,

ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide in open style swine houses. *Ann Occup Hyg* 2001;45:457-465.

Clark S, Rylander R, Larsson L. Airborne bacteria, endotoxin and fungi in dust in poultry and swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1983;44:537-541.

Coleman RN, Feddes JJR, West BS. What is odour and the potential for its control? In *Proceedings Western Branch Meeting. Canadian Society of Animal Production, Chilliwack(Abtract)* 1991.

Cormier Y, Tremblay G, Meriaux A, Brochu G, Lavoie J. Airborne microbial contents in two types of swine confinement buildings in Quebec. *Am Ind Hyg Assoc J* 1990;51:304-309.

Crook B, Robertson JF, Glass SA, Botheroyd EM, Lacey J, Topping MD. Airborne dust, ammonia, microorganisms, and antigens in pig confinement houses and the respiratory health of exposed farm workers. *Am Ind Hyg Assoc J* 1991;52: 271-279.

Donham KJ, Merchant JA, Lassie D, Pependorf WJ, Burmeister LF. Preventing respiratory disease in swine onfinement workers:intervention through applied epidemiology, education and consultation. *Am J Ind Med* 1990;18:241-261.

Donham KJ., Scallon LJ., Pependorf W. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1986;47:404-410.

Duchaine C, Grimard Y, Cormier Y. Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000;61:56-63.

Elliott LF, McCalla TM, Deshazer JA. Bacteria in the air of housed swine units. *Appl Environ Microbiol* 1976;32:270-273.

Fuchs NA. *The Mechanics of Aerosols*. Oxford Pergamon Press 1964.

Gay SW, Schmidt DR, Clanton CJ, Janni KA., Jacobson LD, Weisberg S. Odor, total reduced sulfur, and ammonia emissions from animalhousing facilities and manure storage units in Minnesota. *Appl Eng Agric* 2003;19:347-360.

Gregory PH. *The Microbiology of the Atmosphere*. Aylesbury Leonard Hill. 1973.

Griffiths WD and Decosemo GAL. Assessment of bioaerosols : a critical review. *J Aerosol Sci* 1994;25:1425-1458.

Gustafsson G. Factors affecting the release and concentration of dust in pig houses. *J Agric Eng Res* 1999;74:379-390.

Harry EG. Air pollution in farm buildings and methods of control: a review. *Avian Patho* 1978;7:441-454

Hartung J. Dust in livestock buildings as a carrier of odours: a review. Paper presented at *FAO Conference on odours from organic sludges*, National Institute of Agricultural

Engineering, Silsoe 1985.

Heber AJ, Stroik M, Faubion JM, Willard LH. Size distribution and identification of aerial dust particles in swine finishing buildings. *Trans ASAE* 1988;31:882-887

Hinds WC. *Aerosol Technology*. New York: John Willey & Sons. 1982.

Honey LF and McQuitty JB. Some physical factors affecting dust concentrations in a pig facility. *Can Agric Eng.* 1979;21:9-14.

Hong YC and Cho SH. Health effects of ambient particulate pollutants. *J Prev Med Public Health* 2001;34:103-108.

Jongbloed AW, Poulsen HD, Dourmad JY, Van der Peer-Schwering CMC. Environmental and legislative aspects of pig production in The Netherlands, France and Denmark. *Livestock Production Science* 1999;58:243-249.

Kim KY, Ko HJ, Lee KJ, Park JB, Kim CN. Temporal and spatial distribution of aerial contaminants in an enclosed pig building in winter. *Environ Res* 2005;99:150-157.

Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim CN, Byeon SH. Association between pig activity and environmental factors in pig confinement buildings. *Aust J Exp Agric* 2008a;48:680-686.

Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim CN, Kim YS. Assessment of airborne bacteria and fungi in pig buildings in Korea. *Biosys Eng* 2008b;99:565-572.

Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim YS, Roh YM, Kim CN. Effect of ventilation rate on gradient of aerial contaminants in the confinement pig building. *Environ Res* 2007;103(3):352-357.

Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim YS, Roh YM, Lee CM, Kim CN. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *J Environ Manag* 2008c;88(2):195-202.

Koon J, Howes JR, Grub W, Rollo CA. Poultry dust: origin and composition. *Agric Eng* 1963;4:608-609.

Mullins GL, Martens DC, Miller WP, Kornegay ET, Hallock DL. Copper availability, form and mobility in soils from three-annual copper-enriched hog manure applications. *J Environ Qual* 1982;11:316-320.

Nicholson FA, Chambers BJ, Williams JR, Unwin RJ. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresour Technol* 1999;70:23-31.

Noblet J, Fortune H, Dubois S, Henry V. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible métabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA Paris 1989;1-106.

Nordstrom GA, McQuitty JB. *Manure Gases in the Animal Environment*. Department of Agricultural and Engineering, University of Alberta 1976.

Olson DK, Bark SM. Health hazards affecting the animal confinement farm worker. *American Assoc Occup Health Nurse J* 1996;44:198-204.

Pearson CC, Sharples TJ. Airborne dust concentrations in livestock buildings and the effect of feed. *J Agric Eng Res* 1995;60:145-154

Seedorf J, Hartung J, Schroder M, Linkert KH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL, White RP, Pederson S, Takai H, Johnsen JO, Metz JHM, Koerkamp PWG, Uenk GH, Wathes CM. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Eng Res* 1998;70:97-109.

Sims JT, Wolf DC. Poultry manure management: Agricultural and environmental issues. *Adv Agron* 1994;52:1-83.

Sorensen JH., Jensen CO, Mikkelsen T, Mackay DKJ Donaldson AI. Modelling the atmospheric dispersion of foot-and-mouth disease virus for emergency preparedness. *Phys Chem Earth* 2001;26:93-97.

Takai H, Pederson S, Johnsen JO, Metz JHM, Koerkamp PWG, Uenk GH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL, White RP, Hartung J, Seedorf J, Schroder M, Linkert KH, Wathes CM. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Eng Res* 1998;70:59-77

Thorne PS, Niekhaefer MS, Whitten P, Donham KJ. Comparison of bioaerosol sampling methods in barns housing swine. *Appl Environ Microbiol* 1992;58:2543-2551.

Verstegen MWA, Vanderhel W, Jongebreur AA, Enneman G. The influence of ammonia and humidity on activity and energy balance data in groups of pigs. *Zeitschrift fur Tierphysiologie, Tierernahrung und Futtermittelkunde* 1976;37:225-263.

Wathes CM, Randall, JM. Aerosol sampling in animal houses. Commission of the European Communities Report EUR 11877 EN 1989;141.

Wathes CM, Jones CDR, Webster AJF. Ventilation, air hygiene and animal health. *Vet Rec* 1998;Dec:554-559.

Welford RA, Feddes JJR, Barber EM. Pig building dustiness as affected by Canola oil in the feed. *Can Agric Eng* 1992;34:365-373

Williams DE, Vlamis J, Pukite AH, Corey JE. Metal movement in sludge-treated soils after six years of sludge addition:1. Cadmium, copper lead, and zinc. *Soil Sci* 1984;137:351-359.

Yoo DH, Kim HA, Han Y, Sung JH, Lee HK, Park, YG. Concentration of dusts and endotoxin in swine confinement buildings. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2003;13:45-52.

김기연, 김치년. 겨울철 밀폐형 돈사작업장에서 발생하는 실내공기 오염물질의 변동. *한국산업위생학회지* 2003;13:191-197.

김기연, 정연일, 김치년, 원종욱, 노재훈. 사료제조공장내 공기 중 세균과 진균 분포에 관한 연구. 한국산업위생학회지 2007;17:335-342.

김윤신, 이은규, 엽무중, 김기영. 다중이용시설에서의 실내 공기 중 미생물 분포에 관한 연구. 한국환경위생학회지 2002;28:85-92

박재범, 김기연, 장규엽, 김치년, 이경중. 다중이용시설 내부에 분포하는 부유진균의 입경별 농도 특성. 한국환경보건학회지 2006;32:36-45

이창래, 김기연, 김치년, 박동욱, 노재훈. 종합병원 내 부유 미생물 농도 및 환경 요인과의 상관성 조사. 한국산업위생학회지 2005;15:45-51

홍영진, 임희석, 백인기. 사료 내 Cu 및 Zn-Methionine Chelates 첨가가 육계의 생산성에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지 2002;44:399-406.